สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ฉนวนดูดซับเสียงจากคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ใช้แล้ว

Composite-Sound Absorber from Concrete Mixed with Scrap Rubber Tire

T104018

นายธนิน เลื่อมประพางกูล
นายพิเชฐ ปราชญ์พยนต์

เลขหมู่....................
เลขทะเบียน 104018
วัน,เดือน,ปี 28 ต.ค. 2552
.b..........................
.i..........................

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Composite-Sound Absorber from Concrete Mixed with Scrap Rubber Tire

TANIN LIUMPRAPANGKUL

PICHET PRACHPAYONT

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE BACHELOR DEGREE OF

CHEMICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	ฉนวนดูดซับเสียงจากคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ใช้แล้ว
โดย	นายธนิน เลื่อมประพางกูล
	นายพิเชฐ ปราชญ์พยนต์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อภินันท์ นัมคณิสรณ์
ปริญญานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
	สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(ผศ.ดร.อภินันท์ นัมคณิสรณ์)

....กรรมการ

(รศ. ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ)

....กรรมการ

(อ.บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	ฉนวนดูดซับเสียงจากคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ใช้แล้ว
โดย	นายธนิน เลื่อมประพางกูล
	นายพิเชฐ ปราชญ์พยนต์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อภินันท์ นันทคณิสรณ์
ปริญญานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
	สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ศึกษาแนวทางในการผลิตวัสดุดูดซับเสียงโดยใช้คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ใช้แล้ว 2 ขนาด คือ เม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 (2.79 มิลลิเมตร) และเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 20 (0.83 มิลลิเมตร) การผสมเม็ดยางรถยนต์ในเนื้อคอนกรีตจะแทนที่มวลรวมละเอียดคือทรายหยาบในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักของทรายตามลำดับ จากนั้นจึงหล่อขึ้นรูปและทดสอบสมบัติกายภาพและสมบัติเชิงกลของคอนกรีตผสม พบว่าความหนาแน่นของคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์จะลดลงตามอัตราส่วนผสมของเม็ดยางรถยนต์ที่เพิ่มขึ้น สำหรับสมบัติเชิงกลพบว่าค่ากำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงจะลดลงตามอัตราส่วนผสมของเม็ดยางรถยนต์ที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน ในด้านสมบัติการดูดซับเสียง พบว่าคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์สามารถดูดซับเสียงได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดาในช่วงความถี่ 1,000 เฮิรตซ์ เปอร์เซ็นต์การดูดซับเสียงจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสมของเม็ดยางรถยนต์ที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาสมบัติด้านต่างๆ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเม็ดยางรถยนต์ที่ผสมในคอนกรีตที่เหมาะสมสำหรับวัสดุที่ไม่ต้องการกำลังรับแรงสูง คือ เม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 ร้อยละ 20 มีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 13.8 เมกกะปาสคาล และมีค่าการลดระดับความดังของเสียงเท่ากับ 23 เปอร์เซ็นต์ จากระดับเสียงเริ่มต้น และสำหรับวัสดุโครงสร้างที่ต้องการกำลังรับแรง คือ คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 ร้อยละ 10 มีค่ากำลังรับแรงอัด 21.7 เมกกะปาสคาล และมีค่าการลดระดับความดังของเสียงเท่ากับ 18 เปอร์เซ็นต์ จากระดับเสียงเริ่มต้น ต้นทุนของคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 ร้อยละ 10 และ 20 ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร ประมาณ 3,300 บาท และ 4,600 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตธรรมดา 1 ลูกบาศก์เมตร จะมีราคาประมาณ 3,000 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	Composite-Sound Absorber from Concrete Mixed with Scrap Rubber Tire
Student	Mr. Tanin Liumprapangkul
	Mr. Pichet Prachpayont
Advisor	Asst.Prof.Dr.Apinan Namkanisorn
Report for	Bachelor Degree of Chemical Engineering
	Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

ABSTRACT

In this project, a composite-sound absorber produced from conventional concrete mixed with scrap rubber tire was studied. Two particle sizes of scrap rubber tire: No.7 (diameter 2.79 mm) and No.20 (diameter 0.83 mm) were used to replace sand at the ratio of 10, 20 and 30% by weight. The physical and mechanical properties as well as sound absorption coefficient of rubber-concrete composite were evaluated. It was found that the density, compressive strength and tensile strength of rubber-concrete composite decreased with increasing amount of scrap rubber tire. For sound absorption coefficient, rubber-concrete composite can absorb sound better than conventional concrete at a frequency of 1,000 Hz. In addition, sound absorption coefficient increased with increasing amount of scrap rubber. A composite-sound absorber containing 20 wt% of rubber No. 7 has a compressive strength of 13.8 MPa and 23% noise reduction which makes it suitable for the applications that require low compressive strength, whereas a composite-sound absorber containing 10 wt% of rubber No. 7 provides higher compressive strength of 21.7 MPa with lower noise reduction of 18%. The calculated cost of 1 m^3 rubber-concrete composite containing 10 wt% and 20 wt% rubber No. 7 were found to be 3,300 and 4,600 Bath, respectively, as compared to 3,000 Baht per 1 m^3 for conventional concrete.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีโดยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผศ.ดร.อภินันท์ นัมคณิสรณ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ตลอดจนตรวจและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ซึ่งคณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โครงการ”โครงงานอุตสาหกรรมและวิจัยสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี” (IRPUS) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย

ขอขอบพระคุณ บริษัท แฮนด์ อิน แฮนด์ ดีเวลลอปเม้นท์ แอนด์ เมเนจเม้นท์ จำกัด

ขอขอบพระคุณ บริษัท ยูเนี่ยนพัฒนกิจ จำกัด ที่ให้การอนุเคราะห์วัสดุเม็ดยางรถยนต์

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธาและภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ให้การอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คุณพิมใจ ภู่ชนะกิจ ในการติดต่อประสานงานและความช่วยเหลือด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณ สถาบันมาตรวิทยา กรมวิทยาศาสตร์บริการ ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

สุดท้ายนี้คณะผู้วิจัยใคร่ขอน้อมระลึกถึงพระคุณบิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่านที่คอยช่วยเหลือ และให้กำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ธนิน เลื่อมประพางกูล

พิเชฐ ปราชญ์พยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II
กิตติกรรมประกาศ.....III
สารบัญ.....IV
สารบัญรูป.....VII
สารบัญตาราง.....IX
สัญลักษณ์.....X
บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของเรื่อง.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....3
1.3 ขอบเขตของโครงงาน.....3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2.1 คอนกรีต.....4
2.1.1 คุณสมบัติของส่วนผสมคอนกรีต.....4
2.1.2 การผสมคอนกรีต.....5
2.1.3 การบ่มคอนกรีต.....6
2.1.4 คุณสมบัติของคอนกรีต.....6
2.2 ยางรถยนต์.....8
2.2.1 ส่วนประกอบของยางรถยนต์.....9
2.2.2 คุณสมบัติทั่วไปของยาง.....10
2.3 คอนกรีตมวลเบา.....12
2.3.1 ชนิดของคอนกรีตมวลเบา.....12
2.3.2 คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบา.....13
2.4 คุณสมบัติของการดูดซับเสียง.....14
2.4.1 การแผ่กระจายของเสียง.....15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.4.2 ความเข้มเสียง..16
2.4.3 ระดับความดังของเสียง 16
2.4.4 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง 17
2.4.5 สัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง.....................................17
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง...19
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง..20
3.2 สัดส่วนผสมคอนกรีต..21
3.3 การผสมและการหล่อชิ้นรูปคอนกรีต..22
3.4 การทดสอบสมบัติของคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์............................23
3.4.1 ความสามารถเทได้..23
3.4.2 การกระจายตัวของเม็ดยางรถยนต์...24
3.4.3 ความหนาแน่นของคอนกรีต 24
3.4.4 การทดสอบกำลังอัด 24
3.4.5 การทดสอบกำลังดึง 25
3.4.6 การทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง..............................25
บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล
4.1 สมบัติเชิงกายภาพ...27
4.1.1 ความสามารถเทได้ 27
4.1.2 การกระจายตัวของเม็ดยางรถยนต์...28
4.1.3 ความหนาแน่น 34
4.2 สมบัติเชิงกล 35
4.2.1 กำลังรับแรงอัด 35
4.2.2 รูปแบบการวิบัติของคอนกรีตภายใต้แรงอัด 36
4.2.3 กำลังรับแรงดึง 37
4.3 สมบัติการดูดซับเสียง 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.1 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง 38

4.3.2 ค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง 39

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง 41

5.1.1 สมบัติเชิงกายภาพ 41

5.1.2 สมบัติเชิงกล 41

5.1.3 สมบัติการดูดซับเสียง 42

5.2 การพิจารณาเลือกคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เพื่อใช้เป็นวัสดุดูดซับเสียง และการวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ 43

5.2.1 การพิจารณาเลือกคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เพื่อใช้เป็นวัสดุดูดซับเสียง และเปรียบเทียบสมบัติกับวัสดุดูดซับเสียงอื่นๆ 43

5.2.1 การวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ 45

5.2.3 การนำวัสดุดูดซับเสียงไปใช้งาน 45

5.3 ข้อเสนอแนะ 47

เอกสารอ้างอิง 48

ภาคผนวก ก การคำนวณสำหรับออกแบบส่วนผสมคอนกรีต 50

ภาคผนวก ข ผลการทดสอบ 55

ภาคผนวก ค ตัวอย่างการคำนวณ 61

ภาคผนวก ง ขั้นตอนวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 10534-1 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	เศษขยะจากยางรถยนต์ใช้แล้ว	2
2.1	ผังองค์ประกอบของคอนกรีต	4
2.2	ผลของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่มีต่อกำลังอัดที่อายุ 28 วัน	7
2.3	การทดสอบกำลังรับแรงดึงแบบ Splitting tensile strength	8
2.4	แผ่นยางดิบ	9
2.5	การสะท้อนจากพื้นผิวราบ	14
2.6	การดูดซับเสียงของตัวกลาง	18
3.1	(ก) เม็ดยางรถยนต์เบอร์ 20	
3.1	(ข) เม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7	20
3.2	เครื่องชั่งน้ำหนักวัสดุ	22
3.3	เครื่องผสม	22
3.4	แบบหล่อคอนกรีตทรงกระบอก	22
3.5	แท่งคอนกรีตที่ถอดจากแบบแล้ว	22
3.6	การวัดค่าการยุบตัวของคอนกรีตสด	23
3.7	แท่งคอนกรีตที่เคลือบส่วนปลายด้วยกำมะถัน	24
3.8	เครื่องทดสอบกำลังอัด	24
3.9	การทดสอบกำลังดึง	25
3.10	การทดสอบความสามารถในการดูดซับเสียง	26
3.11	ตัวอย่างทดสอบสำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง	26
4.1	เปรียบเทียบค่าการยุบตัวของคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์	27
4.2	การกระจายตัวขององค์ประกอบต่างๆ ในเนื้อคอนกรีตธรรมดา	28
4.3	การกระจายตัวของเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 ร้อยละ 10 ในเนื้อคอนกรีต	29
4.4	การกระจายตัวของเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 ร้อยละ 20 ในเนื้อคอนกรีต	29
4.5	การกระจายตัวของเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 ร้อยละ 30 ในเนื้อคอนกรีต	30
4.6	การกระจายตัวของเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 20 ร้อยละ 10 ในเนื้อคอนกรีต	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.7 การกระจายตัวของเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 20 ร้อยละ 20 ในเนื้อคอนกรีต.....31
4.8 การกระจายตัวของเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 20 ร้อยละ 30 ในเนื้อคอนกรีต.....31
4.9 การกระจายตัวของเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 และ 20 ร้อยละ 10 ในเนื้อคอนกรีต.....32
4.10 การกระจายตัวของเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 และ 20 ร้อยละ 20 ในเนื้อคอนกรีต.....32
4.11 การกระจายตัวของเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 และ 20 ร้อยละ 30 ในเนื้อคอนกรีต.....33
4.12 เปรียบเทียบความหนาแน่นของคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์.....34
4.13 เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์.....35
4.14 ลักษณะการแตกของคอนกรีตธรรมดา.....36
4.15 ลักษณะการแตกของคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์.....36
4.16 เปรียบเทียบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์.....37
4.17 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของคอนกรีตธรรมดา
และคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์.....38
4.18 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียงของคอนกรีตธรรมดา
และคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์.....39
ง.1 การจัดการทั่วไปในการทดสอบหาค่าการดูดซับเสียง.....66
ง.2 ชุดอุปกรณ์วัดค่าการดูดซับเสียง.....67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ระดับเสียงบริเวณริมถนนในกรุงเทพมหานคร ปี 2549 1
2.1 ค่ายุบตัวสำหรับงานก่อสร้างต่างๆ 7
2.2 การจำแนกประเภทของคอนกรีตมวลเบาตามการนำไปใช้งาน 12
3.1 สมบัติทางกายภาพของเม็ดยางรถยนต์....................21
3.2 สัดส่วนผสมของคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร 21
3.3 รายละเอียดจำนวนตัวอย่างและการทดสอบ 23
5.1 เปรียบเทียบขนาดของเม็ดทรายและเม็ดยางรถยนต์สองขนาด 42
5.2 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียงของวัสดุดูดซับเสียงแต่ละประเภท 44
5.3 เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของวัสดุโครงสร้างดูดซับเสียง 44
5.4 ราคาของคอนกรีตแต่ละประเภท 45
5.5 สัดส่วนผสมของคอนกรีตแต่ละประเภท....................46
5.6 ระดับเสียงที่ลดลงเมื่อใช้วัสดุดูดซับเสียงคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ 46
ก.1 ค่าการยุบตัวของคอนกรีต สำหรับโครงสร้างต่าง ๆ 51
ก.2 ค่าปริมาณน้ำและฟองอากาศสำหรับค่ายุบตัวและขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ....................52
ก.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์
และกำลังรับแรงอัดสำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง....................52
ก.4 ปริมาตรมวลรวมหยาบต่อปริมาตรของคอนกรีต....................53
ข.1 ค่าการยุบตัวของคอนกรีตแบบต่าง ๆ....................56
ข.2 ค่ากำลังอัดและค่ากำลังดึงของคอนกรีตชนิดต่างๆ 57
ข.3 ค่าความหนาแน่นของแท่งคอนกรีต....................59
ข.4 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง....................59
ข.5 ค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

		หน่วย
E	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น	ปาสคาล
i	มุมตกกระทบ	องศา
L_{eq}	Equivalent Continuous Sound Level	เดซิเบลเอ
r	มุมของการสะท้อน	องศา
α	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง	-
ρ	ความหนาแน่น	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
A	พื้นที่หน้าตัดของแท่งคอนกรีต	ตารางเมตร
D	เส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งคอนกรีต	เมตร
F	กำลังรับแรงอัด	ปาสคาล
L	ความยาวของแท่งคอนกรีต	เมตร
m	น้ำหนักแท่งคอนกรีต	กิโลกรัม
P	แรงกระทำสูงสุดต่อแท่งคอนกรีต	นิวตัน
T	ค่ากำลังรับแรงดึง	ปาสคาล
V	ปริมาตรของแท่งคอนกรีต	ลูกบาศก์เมตร
I	ความเข้มของเสียง	วัตต์ต่อตารางเมตร
W	กำลังของแหล่งกำเนิดเสียง	วัตต์
S	พื้นที่ผิวทรงกลม	ตารางเมตร
dB	ระดับความดังของเสียง	เดซิเบล
NRC	สัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง	-
α	สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง	-
Ei	พลังงานเสียงที่ตกกระทบวัตถุ	จูล
Er	พลังงานเสียงที่สะท้อนออกจากวัตถุ	จูล
Ea	พลังงานเสียงที่ถูกดูดกลืนหรือดูดซับในวัตถุ	จูล
Et	พลังงานเสียงที่ส่งผ่านไปยังอีกด้านหนึ่งของวัตถุ	จูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของเรื่อง

ในปัจจุบันมลภาวะทางเสียงมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ทั้งจากกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวัน การคมนาคมขนส่ง อุตสาหกรรม สถานบันเทิง และแหล่งอื่นๆ ซึ่งก่อให้เกิดความรำคาญ และเสียสุขภาพต่อผู้คนที่อาศัยอยู่ในบริเวณเหล่านั้น ซึ่งในปัจจุบันมลภาวะทางเสียงจัดเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญปัญหาหนึ่ง ตัวอย่างของพื้นที่ในกรุงเทพมหานครที่มีระดับเสียงเกินกว่าค่ามาตรฐานแสดงได้ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ระดับเสียงพื้นที่ริมถนนในกรุงเทพมหานคร ปี 2549 (ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด ที่วัดได้) [5]

ลำดับที่	สถานีตรวจวัด	ระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (L_{eq} 24 ชม.)	ร้อยละของจำนวนวันที่มีระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง เกิน 70 เดซิเบลเอ
1.	ถ.ประชาสงเคราะห์ เขตห้วยขวาง	63.5 - 80.1	5
2.	วงเวียน 22 กรกฎา ถ.สันติภาพ	71.0 - 78.5	100
3.	สถานีไฟฟ้าย่อย ถ.อินทรพิทักษ์ เขตธนบุรี	70.8 - 77.7	100
4.	สถานีตำรวจนครบาลโชคชัย ถ.ลาดพร้าว เขตบางกะปิ	68.8 - 88.1	95
5.	ริมรั้วการเคหะชุมชนดินแดง เขตดินแดง	63.7 - 83.1	93
6.	พาหุรัด ถ.ตรีเพชร เขตพระนคร	70.8 - 79.0	100
7.	กรมพลังงานทดแทน เขตบางกรวย นนทบุรี	63.6 - 76.1	1
8.	หมวดการทางธนบุรี ถ.เพชรเกษม ต.อ้อมน้อย อ.กระทุ่มแบน	58.4 - 82.9	4

หมายเหตุ : ระดับเสียงเฉลี่ย (L_{eq} ; Equivalent Continuous Sound Level) 24 ชั่วโมง เป็นค่าเฉลี่ยของพลังงานเสียงต่อเนื่องภายใน 24 ชั่วโมง มาตรฐานระดับเสียงโดยทั่วไปของประเทศไทย กำหนดค่าระดับเสียงเฉลี่ย (Leq) 24 ชั่วโมง ไว้ไม่เกิน 70 เดซิเบลเอ

จากตารางที่ 1.1 กำหนดค่าระดับเสียงเฉลี่ยมาตรฐานอยู่ที่ไม่เกิน 70 เดซิเบล พื้นที่ในกรุงเทพมหานครที่มีระดับเสียงเกินมาตรฐานตลอดทุกช่วงเวลา ได้แก่ วงเวียน 22 กรกฎา ถนนสันติภาพ มีระดับเสียงอยู่ในช่วง 71. - 78.5 เดซิเบล สถานีไฟฟ้าย่อย ถนนอินทรพิทักษ์ เขตธนบุรี มีระดับเสียงอยู่ในช่วง 70.8 - 77.7 เดซิเบล และย่านพาหุรัด ถนนตรีเพชร เขตพระนคร มีระดับเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ในช่วง 70.8 - 79.0 เดซิเบล ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวนี้เป็นพื้นที่ที่มีการจราจรคับคั่ง มลภาวะทางเสียงที่เกิดขึ้นก่อให้เกิดความรำคาญและเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่นั้น

นอกจากนี้ปัญหาขยะจากเศษยางรถยนต์ก็เป็นปัญหาหนึ่งที่สำคัญในปัจจุบันเนื่องมาจากการเติบโตอย่างรวดเร็วของอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ (รูปที่ 1.1) จากข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษในประเทศไทยมีเศษยางรถยนต์เก่าเกิดขึ้นประมาณ 1.7 ล้านตันต่อปี ขยะจากเศษยางรถยนต์ไม่สามารถกำจัดได้โดยการเผาเหมือนขยะทั่วไป เนื่องจากการเผาจะก่อให้เกิดสารเคมีอันตรายรวมทั้งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเขม่าดำซึ่งเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นเศษยางรถยนต์ส่วนใหญ่จะถูกกำจัดโดยการฝังกลบในที่ดินว่างเปล่า ซึ่งถ้าการจัดการไม่ดีจะกลายเป็นที่อยู่อาศัยให้แก่สัตว์เลื้อยคลานและแมลงต่างๆ ไปรบกวนผู้ที่พักอาศัย และยิ่งกว่านั้นอาจเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดอัคคีภัยเนื่องจากยางรถยนต์เป็นวัสดุที่ติดไฟได้ดีและเกิดการเผาไหม้เป็นเวลานาน

แนวคิดในการสร้างฉนวนดูดซับเสียงนี้ เกิดจากปัญหาของที่อยู่อาศัยภายในบริเวณชุมชนซึ่งมีการจราจรคับคั่ง และที่อยู่อาศัยบริเวณใกล้สนามบิน ซึ่งมีมลภาวะทางเสียงจากยานพาหนะต่างๆ จึงมีแนวคิดในการสร้างผลิตภัณฑ์คอนกรีตใหม่สำหรับงานก่อสร้าง โดยมีน้ำหนักเบากว่าคอนกรีตแบบธรรมดา ดูดซับเสียงได้ดี สามารถนำไปใช้ในงานก่อสร้างที่ไม่ต้องรับน้ำหนักมาก เช่น ฝ้าเพดาน ผนังระหว่างห้อง เป็นต้น

รูปที่ 1.1 เศษขยะจากยางรถยนต์ใช้แล้ว

โครงงานนี้จึงมุ่งเน้นเพื่อศึกษาแนวทางในการผลิตวัสดุเชิงประกอบสำหรับลดระดับเสียงซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารทั่วไปให้สามารถดูดซับคลื่นเสียงได้ โดยการนำประโยชน์จากเม็ดยางที่ได้จากยางรถยนต์ใช้แล้วมาผสมลงในคอนกรีต ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ซึ่งมีคุณสมบัติดูดซับเสียงได้ดี น้ำหนักเบา ความยืดหยุ่นสูง สามารถนำมาประกอบเป็นโครงสร้างอาคาร เพื่อลดระดับเสียงรบกวนได้ เช่น ผนังอาคาร หรือฝ้าเพดาน นอกจากนี้ยังสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตได้ง่าย วัสดุที่ใช้ในการผลิตสามารถหาได้ภายในประเทศ และเม็ดยางที่เติมลงในคอนกรีตได้จากยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว ซึ่งเป็นการช่วยลดของเสียจากอุตสาหกรรมยาง (รูปที่ 1.1) ซึ่งมีปริมาณมาก อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการก่อสร้างที่ต้องการคอนกรีตที่มีความยืดหยุ่นสูงและสามารถดูดซับเสียงได้ดี เพื่อใช้กับอาคารก่อสร้างในบริเวณที่มีเสียงดัง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อหาแนวทางในการสร้างผลิตภัณฑ์สำหรับลดระดับเสียง

1.2.2 เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับเศษยางรถยนต์เก่าและเป็นการกำจัดขยะจากเศษยางรถยนต์

1.2.3 เพื่อศึกษาคุณสมบัติของวัสดุคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์และเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุที่ได้กับผลิตภัณฑ์ลดระดับเสียงที่มีอยู่ในท้องตลาด

1.3 ขอบเขตโครงงาน

1.3.1 ศึกษาปัจจัยเกี่ยวกับขนาดของเม็ดยางรถยนต์ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลและเชิงกายภาพของคอนกรีตผสมที่ได้

1.3.2 ศึกษาปัจจัยเกี่ยวกับอัตราส่วนผสมของเม็ดยางรถยนต์ในเนื้อคอนกรีตที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลและเชิงกายภาพของคอนกรีตผสมที่ได้

1.3.3 พิจารณาผลการทดลองเพื่อเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับใช้ดูดซับเสียง

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

โครงงานนี้จะทำให้เกิดแนวทางใหม่สำหรับการผลิตวัสดุเชิงประกอบและสามารถนำมาใช้ในงานก่อสร้างได้จริง โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ คอนกรีตผสมเม็ดผงยางรถยนต์ใช้แล้วเพื่อลดระดับเสียง ซึ่งจะมีประโยชน์ในการแก้ปัญหามลภาวะทางเสียงในประเทศและชุมชนต่างๆ นอกจากนี้เทคโนโลยีในการนำผงยางรถยนต์ใช้แล้วกลับมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่จะมีประโยชน์ในภาคอุตสาหกรรมอื่นๆ อีกหลายด้านนอกเหนือจากการลดระดับมลภาวะทางเสียง

เนื่องจากโครงการนี้เป็นความร่วมมือกับภาคอุตสาหกรรม นักศึกษาจะได้รับประสบการณ์จริงจากการทำโครงงานรวมไปถึงความสัมพันธ์อันดีร่วมกับภาคอุตสาหกรรมและสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา อีกทั้งยังได้เรียนรู้การใช้เครื่องมือต่างๆ ที่ไม่มีสอนในหลักสูตรการเรียนทั้งในภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ ตลอดจนวิธีการแก้ไขปัญหาโดยใช้ความรู้ความชำนาญเพื่อให้เกิดงานวิจัยที่มีการนำผลไปใช้ประโยชน์ได้จริง และจะได้รับความรู้อย่างมากเกี่ยวกับงานคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คอนกรีต

คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในอดีตและปัจจุบันและคาดว่าในอนาคตยังคงหาวัสดุก่อสร้างที่จะมีสมบัติการใช้งานได้เทียบเท่าคอนกรีตคงยังไม่มี ซึ่งคอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่ให้ความคงทนและความแข็งแรง มีราคาถูก เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุก่อสร้างประเภทอื่นๆ และจัดหามาใช้งานได้โดยสะดวก ส่วนประกอบที่สำคัญของคอนกรีตจะประกอบด้วยส่วนผสม 2 ส่วน คือ ซีเมนต์เพสต์และวัสดุมวลรวมผสม ซีเมนต์เพสต์ คือ ส่วนผสมของปูนซีเมนต์กับน้ำ ส่วนวัสดุผสม คือ มวลรวมคละ ได้แก่ กรวด ทราย ซึ่งต้องนำมาผสมกันในสภาพที่มีความข้นเหลวพอเหมาะกับการนำไปใช้งานแต่ละประเภท ซึ่งจะต้องทำรายการออกแบบส่วนผสมเพื่อหากำลังอัดให้ตรงกับการนำไปใช้งานก่อน ต่อจากนั้นจึงจะเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งสามารถรับน้ำหนักได้ตามอายุการบ่มของคอนกรีต

2.1.1 สมบัติของส่วนผสมคอนกรีต

ส่วนผสมของคอนกรีตนั้นจะประกอบด้วยส่วนผสม 2 ส่วน คือ ซีเมนต์เพสต์และวัสดุประสาน ซึ่งส่วนผสมแต่ชนิดมีสมบัติดังนี้

รูปที่ 2.1 ผังองค์ประกอบของคอนกรีต

ซีเมนต์เพสต์ เป็นส่วนที่ได้มาจากปูนซีเมนต์ น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต ซึ่งสมบัติคือเสริมช่องว่างระหว่างมวลรวม เพิ่มความไหลลื่นของคอนกรีตสดขณะหล่อในแบบ เป็นวัสดุที่ทำให้เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังความแข็งแรงเมื่อคอนกรีตแข็งตัว ซึ่งสมบัติของซีเมนต์เพสต์จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของปูนซีเมนต์ อัตราส่วนผสมน้ำต่อปูนซีเมนต์ ความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ หรือเรียกว่า "ปฏิกิริยาไฮเดรชัน"

มวลรวมคละผสม เป็นวัสดุแทรกประสาน จำพวกทราย หิน กรวด ซึ่งเป็นวัสดุราคาถูกที่กระจายอยู่โดยทั่วซีเมนต์เพสต์ ซึ่งช่วยให้คอนกรีตมีความแข็งแรงคงทน ปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมาก มีความแข็งแรงทนทานคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี และทนความต้านทานต่อแรงกระแทกและการเสียดสี

น้ำและน้ำยาผสมคอนกรีต เป็นสารที่มีหน้าที่หลักที่ทำให้ก่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันกับปูนซีเมนต์ซึ่งจะทำหน้าที่หล่อลื่นเพื่อให้คอนกรีตมีความเหลวสามารถเทได้ ซึ่งทำการเคลือบมวลรวมคละผสมให้ยึดเกาะกันได้ระหว่างมวลเม็ด รวมทั้งน้ำยังใช้ในงานบ่มคอนกรีต หรือล้างวัสดุมวลรวมต่างๆ ส่วนน้ำยาผสมคอนกรีต จะช่วยปรับปรุงสมบัติทั้งคอนกรีตที่อยู่ในสภาพเหลวและแข็งตัวแล้วในด้านต่างๆ เช่น เวลาก่อตัว ความสามารถเทได้ การรับกำลังอัด ความทนทาน

ปัจจุบันคอนกรีตทั่วไป จะได้รับการดัดแปลงส่วนผสม เพื่อให้เหมาะกับสภาพการใช้งาน เช่น คอนกรีตไหล (Flow Concrete) คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) คอนกรีตสมรรถนะสูง (High Performance Concrete) คอนกรีตสูบส่ง (Pumped Concrete) คอนกรีตแข็งตัวเร็ว (High Early Strength Concrete) เป็นต้น คอนกรีตเหล่านี้ มักเป็นคอนกรีตที่มีคุณสมบัติพิเศษเพิ่มขึ้นจากคุณสมบัติคอนกรีตทั่วไป โดยมีการใส่สารผสมต่างๆ เพิ่มลงไป เช่น สารเคมีผสมเพิ่ม (Chemical Admixtures) สารประกอบแร่ธาตุผสมเพิ่ม (Mineral Admixtures) เป็นต้น โดยที่สัดส่วนผสมที่เลือกใช้ จะต้องมีการศึกษารายละเอียดและทดสอบให้สอดคล้องกับความต้องการของการใช้งานที่กำหนด เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดในการใช้งาน

2.1.2 การผสมคอนกรีต

การผสมคอนกรีตสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่

2.1.2.1 การผสมโดยน้ำหนัก คือ การชั่งน้ำหนัก โดยจะได้สัดส่วนผสมของคอนกรีตที่แน่นอนและสม่ำเสมอ เหมาะกับงานก่อสร้างใหญ่ๆ ที่ต้องการกำลังอัดของคอนกรีตสูง

2.1.2.2 การผสมโดยปริมาตร คือ การตวงจะได้ส่วนผสมของคอนกรีตที่แน่นอนและสม่ำเสมอพอสมควรเหมาะกับงานก่อสร้างทั่วไปที่ไม่ต้องการกำลังอัดของคอนกรีตสูง การตวงส่วนผสมควรตวงด้วยถังมาตรฐานไม่ควรตวงด้วยปุ้งกี๋ เพราะได้ส่วนผสมและกำลังอัดของคอนกรีตไม่แน่นอน ถังมาตรฐานที่แนะนำให้ใช้นี้เป็นถังทำด้วยไม้หรือพลาสติกมีขนาดพอดีกับปูนซีเมนต์ 1 ถุง (50 กิโลกรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 การบ่มคอนกรีต

การบ่มคอนกรีต (Curing of Concrete) เป็นการป้องกันไม่ให้ความชื้น (น้ำ) ระเหยออกไปจากคอนกรีตเร็วเกินไป เพื่อให้น้ำกับปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นต่อเนื่องกันตลอดเวลา ป้องกันการแตกร้าว ทำให้กำลังคอนกรีตเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งในช่วงแรกของการบ่มกำลังจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และค่อยๆ ช้าลงในเวลาต่อมา ระยะเวลาในการบ่มส่วนมากจะคิดเป็น 1 3 7 14 และ 28 วัน แล้วแต่การกำหนดว่าจะบ่มกี่วัน

ปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์นี้ตราบใดที่คอนกรีตมีความชื้นอยู่ก็จะยังทำปฏิกิริยาต่อไป แม้ว่าจะผ่านไปเป็นปีก็ตาม การบ่มคอนกรีตนี้หลังจากการหล่อเป็นแท่งตัวอย่างคอนกรีตแล้ว ก็จะทำการถอดแบบหล่อตัวอย่างคอนกรีต (ทุกชนิด) ภายใน 18 ถึง 48 ชั่วโมง หลังการหล่อ เมื่อถอดแบบแล้วให้ทำเครื่องหมายไว้และนำไปชั่งน้ำหนักบันทึกค่าไว้ แล้วจึงนำไปบ่มตามวิธีการต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.1.3.1 การบ่มคอนกรีตด้วยน้ำ จุ่มตัวอย่างลงในน้ำจนมิด และรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 21-25 องศาเซลเซียส หากไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ให้รายงานอุณหภูมิโดยเฉลี่ยในระหว่างการบ่มไปด้วย ควรเปลี่ยนน้ำอย่างน้อยทุกๆ 30 วัน

2.1.3.2 การบ่มคอนกรีตในทรายเปียก ฝังตัวอย่างลงในทรายจนมิด ทรายในขณะนั้นต้องเปียกจนอิ่มตัว เติมน้ำในกองทรายทุกๆ วันเพื่อให้ทรายเปียกอิ่มตัวตลอดเวลา รักษาอุณหภูมิตามที่กำหนดในช่วง 21-25 องศาเซลเซียส

2.1.3.3 การบ่มคอนกรีตในห้องบ่ม เก็บตัวอย่างในห้องบ่มซึ่งควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 21-25 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ควรเก็บตัวอย่างในห้องบ่มทันทีที่หล่อเสร็จ และควรเก็บไว้ในนั้นจนกว่าจะถึงเวลาทดสอบ ยกเว้นช่วงถอดแบบและเคลือบปลายเท่านั้น

2.1.4 คุณสมบัติของคอนกรีต

2.1.4.1 ความสามารถเทได้ (Workability) คือ ความสามารถในการที่จะเทคอนกรีตเข้าสู่แบบให้แน่น และไม่เกิดการแยกตัวของส่วนผสม ซึ่งเป็นสมบัติของคอนกรีตที่ผสมเสร็จใหม่ คอนกรีตที่มีความสามารถเทได้ที่เหมาะสมจะมีคุณสมบัติดังนี้

1. มีความเหลวเพียงพอต่อการใช้งาน คือ คอนกรีตสามารถไหลลื่นเข้าไปเต็มทุกๆ ส่วนของแบบหล่อ
2. ต้องไม่แยกตัวระหว่างการขนย้ายหรือการเท
3. ต้องสามารถอัดตัวแน่นในแบบหล่อได้อย่างดี

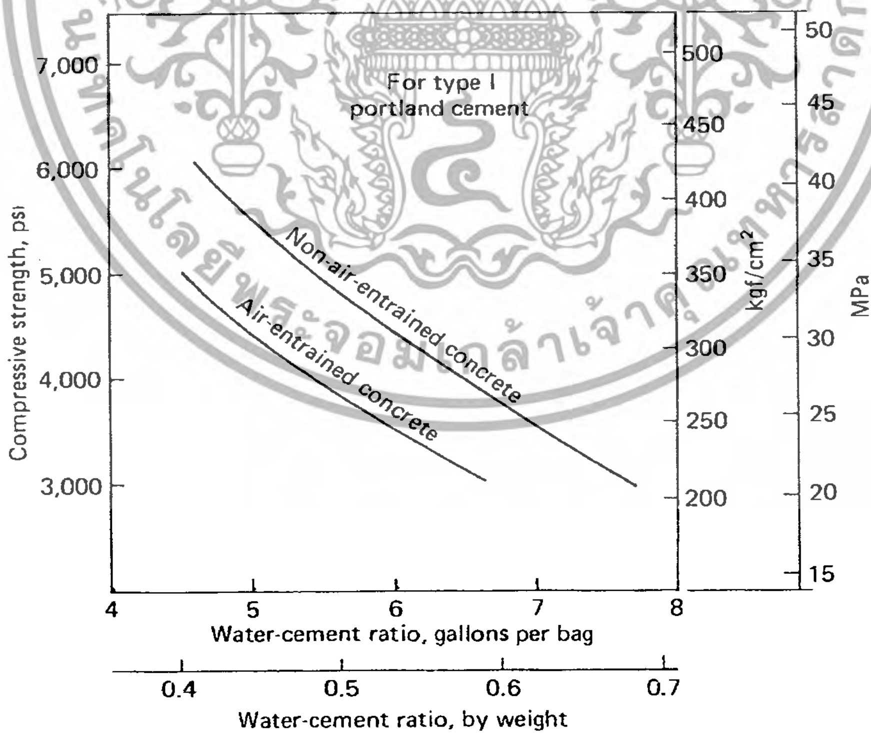
วิธีการใช้วัดความสามารถเทได้ของคอนกรีตที่ใช้กันแพร่หลาย คือ การวัดค่ายุบตัว ตัวอย่างค่ายุบตัวที่เหมาะสมกับงานก่อสร้างทั่วๆ ไปในประเทศไทย แสดงในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ค่ายุบตัวสำหรับงานก่อสร้างต่างๆ [2]

งานก่อสร้าง	ค่ายุบตัว (เซนติเมตร)
โครงสร้างทั่วไป	7.5 ± 2.5
เสาหรือผนังบาง	10.0 ± 2.5
งานที่เทด้วยคอนกรีตปั๊ม	10.0 ± 2.5
เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่	มากกว่า 15.0
โครงสร้างที่มีเหล็กเสริมหนาแน่น	มากกว่า 15.0

2.1.4.2 กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของคอนกรีตเนื่องจากเป็นตัวบอกคุณสมบัติอื่นๆ ได้เป็นอย่างดี เพราะค่ากำลังต้านทานหรือรับแรงแบบอื่นเป็นสัดส่วนกับกำลังรับแรงอัด กำลังอัดของคอนกรีตถูกควบคุมโดยอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ มวลรวมหยาบและละเอียด น้ำ และสารผสมเพิ่มต่างๆ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (Water/Cement Ratio, W/C) จะเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดกำลังของคอนกรีตดังแสดงในรูปที่ 2.2 ยิ่งอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์น้อยลงเท่าไหร่กำลังรับแรงอัดก็จะยิ่งสูงขึ้นเท่านั้น ปริมาณน้ำอย่างน้อยที่สุดจำนวนหนึ่งจำเป็นต่อปฏิกิริยาเคมีในการแข็งตัวของคอนกรีต น้ำที่เกินจากนั้นจะเพิ่มความสามารถในการเทได้แต่จะทำให้กำลังอัดลดลง



รูปที่ 2.2 ผลของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่มีต่อกำลังอัดที่อายุ 28 วัน [2]

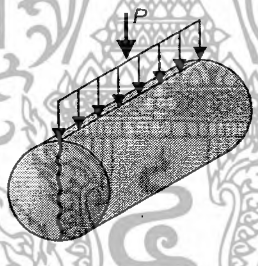
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังรับแรงอัดได้จากการทดสอบโดยใช้ชิ้นทดสอบรูปทรงกระบอก (Cylinder) เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. ที่อายุ 28 วัน ตามมาตรฐาน ASTM C31 โดยการกดอัดทรงกระบอกในแนวตั้งจนกระทั่งแตกออก

2.1.4.3 กำลังรับแรงดึง (Tensile Strength) กำลังของคอนกรีตในการรับแรงดึงมีผลอย่างมากต่อการแตกร้าวในโครงสร้าง ความต้านทานในด้านรับแรงดึงของคอนกรีตมีค่าประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึงโดยปกติจะได้จากการทดสอบ Splitting Tensile Strength ของทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM C496 โดยวางชิ้นทดสอบลงด้านข้างในเครื่องทดสอบดังในรูปที่ 2.3 ใช้แท่งเหล็กหนารองเพื่อให้แรงกด P กดแผ่กระจายเท่าๆ กัน ตลอดความยาวของทรงกระบอก ทรงกระบอกจะแตกออกเป็นสองส่วนเมื่อถึงกำลังรับแรงดึง หน่วยแรงดึงจะมีค่าเท่ากับ

$$T = \frac{2P}{\pi LD} \tag{2.1}$$

เมื่อ P คือ แรงกระทำสูงสุด D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางทรงกระบอก และ L คือ ความยาวทรงกระบอก



รูปที่ 2.3 การทดสอบกำลังรับแรงดึงแบบ Splitting tensile strength

2.2 ยางรถยนต์

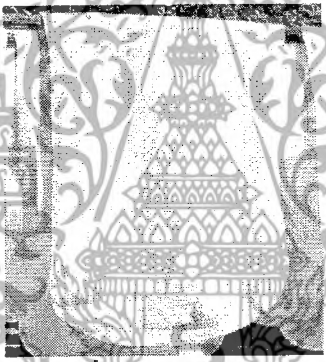
ยางและล้อรถยนต์มีความสำคัญในการขับขี่รถยนต์มาก อย่างเช่น การบังคับทิศทางรถ หรือแม้แต่การประหยัดเชื้อเพลิง ปัจจุบันมีความเจริญก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีการผลิต ทำให้ยางมีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วย โดยทั่วไปยางรถยนต์จะทำหน้าที่ คือ การรองรับน้ำหนักรถ และน้ำหนักบรรทุก หรือเรียกว่าเป็นการรับแรงในแนวรัศมี ช่วยลดแรงกระแทก ช่วยให้เกิดความนุ่มนวลบังคับทิศทางการเคลื่อนที่ของรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ส่วนประกอบของยางรถยนต์

2.2.1.1 ยางธรรมชาติ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการผลิตยางรถยนต์ คือ ช่วยทำให้ยางมีความยืดหยุ่นทนต่อแรงกระแทกและแรงดึงได้ดี แต่ยางธรรมชาติมีข้อจำกัด คือ เหมาะที่ใช้ในอุณหภูมิช่วง -40 ถึง 70 องศาเซลเซียส และไม่สามารถทนต่อน้ำมันบางประเภทได้

เนื้อยางเป็นพอลิเมอร์ของไอโซพรีน โดยมีไอโซพรีนเชื่อมต่อกันอยู่ตั้งแต่ 1500-15000 หน่วย ยางธรรมชาติจะเหนียวและอ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อน แข็งและเปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำ คุณสมบัติเช่นนี้ทำให้ไม่เหมาะในการนำไปใช้ จึงมีการนำกำมะถันใส่ลงไปในปริมาณที่พอเหมาะที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวของกำมะถัน ทำให้ได้ยางที่มีความยืดหยุ่นมากขึ้นและมีความคงตัวที่อุณหภูมิต่างๆ ดีขึ้น ยางที่ได้เรียกว่า ยางวัลคาไนซ์ ปฏิกิริยาระหว่างยางกับกำมะถันเรียกว่า ปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน การปรับปรุงยางอาจทำได้โดยการเติมซิลิกา หรือผงถ่านเพื่อเพิ่มความแข็งแรงก็ได้ สามารถนำมาใช้ทำยางรถยนต์ รองเท้า กระเป๋าน้ำร้อน ถุงมือยาง สายพาน สายยาง เป็นต้น



รูปที่ 2.4 แผ่นยางดิบ

2.2.1.2 ยางสังเคราะห์ เป็นพอลิเมอร์ที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้นเพื่อใช้ทดแทนความต้องการในการใช้ยางธรรมชาติ ได้แก่ ยางสังเคราะห์ สามารถจำแนกออกได้ เป็น 2 กลุ่ม คือ

กลุ่ม 1 ยางที่มีคุณสมบัติทนความร้อนได้ดีกว่ายางธรรมชาติ แต่คุณสมบัติทานด้านความเหนียวและความยืดหยุ่นด้อยกว่ายางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์กลุ่มนี้ ได้แก่ ยางสไตรีน – บิวตะไดอีน (Styrene - Butadiene Rubber) ยางบิวตะไดอีน (Polybutadiene Rubber)

กลุ่มที่ 2 เป็นยางที่มีคุณสมบัติทนต่อน้ำมัน ทนต่อความร้อนและโอโซน ยางสังเคราะห์ในกลุ่มนี้ เช่น ยางคลอโรพรีน (Chloroprene (Neoprene) Rubber) ยางอะคริโลไนไตรต์ - บิวตะไดอีน (Acrylomitrile - Butadiene (uilites) Rubber)

2.2.1.3 คาร์บอนแบล็ก มีคุณสมบัติช่วยให้ยางแข็งตัว เพื่อเพิ่มความทนทานของยาง และทนต่อรอยขีดขวนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.4 สารเคมีต่างๆ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการผสมยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์ และผงเขม่าดำ เพื่อเร่งปฏิกิริยาในการผลิต และเตรียมเป็น Compound Rubber ที่พร้อมนำไปขึ้นรูป สารเคมีที่ใช้แบ่งเป็น 4 กลุ่ม คือ

1. สารที่ทำให้ยางคงรูป (Valcanizing Agent) ใส่เพื่อให้สถานะของยางอยู่สถานะยืดหยุ่นได้ สารกลุ่มนี้ได้แก่ กำมะถัน
2. สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Protective Agent) สารกลุ่มที่ได้แก่ สารโอโซน
3. สารช่วยในกระบวนการผลิต เช่น น้ำมัน ช่วยให้ยางที่ทำการผสมมีคุณสมบัตินิ่มนวล
4. สารอื่นๆ เช่น สารที่ทำให้ยางฟู หรือใส่ให้ยางมีสีต่างๆ

2.2.2 คุณสมบัติทั่วไปของยาง

2.2.2.1 ความยืดหยุ่น (Elasticity) สมบัติความยืดหยุ่นเป็นลักษณะเด่นอีกประการหนึ่งของยางธรรมชาติ กล่าวคือยางธรรมชาติที่คงรูปแล้วจะมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับยางหมดไป ยางจะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิมได้อย่างรวดเร็ว

2.2.2.2 ความเหนียวติดกัน (Tack) ยางธรรมชาติ (ในสภาพที่ยังไม่แปรรูป) มีสมบัติดีเยี่ยมในด้านความเหนียวติดกันซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางล้อรถยนต์ เป็นต้น

2.2.2.3 ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีความเป็นระเบียบสูงจึงทำให้ยางธรรมชาติตกผลึกได้ง่ายเมื่อถูกยืด ซึ่งผลึกที่เกิดขึ้นจะช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับยาง ดังนั้น ยางธรรมชาติจึงมีค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงมากโดยที่ไม่ต้องใช้สารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วย (~20 เมกกะปาสคาล) การเติมสารตัวเติมเสริมแรงลงไปก็จะช่วยให้ค่าความทนทานสูงขึ้น ซึ่งสมบัตินี้จะแตกต่างจากยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่ที่มักมีค่าความทนทานต่อแรงดึงต่ำ จึงไม่สามารถนำไปใช้งานในทางวิศวกรรมได้นอกจาจะมีการเติมสารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วยเท่านั้น

2.2.2.4 ความทนทานต่อการฉีกขาด (Shear Stress) เนื่องจากยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้เมื่อถูกยืด ดังนั้น ยางธรรมชาติจึงมีความทนทานต่อการฉีกขาดสูงมากทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิสูง การเติมสารตัวเติมเสริมแรงลงไปก็จะช่วยทำให้ค่าความทนทานต่อการฉีกขาดสูงขึ้น

2.2.2.5 สมบัติเชิงพลวัติ (Dynamic Properties) ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัตที่ดี ยางมีการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนต่ำในระหว่างการใช้งาน นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังมีความต้านทานต่อการล้าตัว (Fatigue Resistance) ที่สูงมากอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.6 ความต้านทานต่อการขัดถู (Abrasion Resistance) ยางธรรมชาติมีค่าความต้านทานต่อการขัดถูสูง แต่ยังด้อยกว่ายาง SBR เล็กน้อย อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับยางสังเคราะห์ชนิดอื่นๆ พบว่า ยางธรรมชาติมีค่าความต้านทานต่อการขัดถูอยู่ในกลุ่มที่สูงมาก

2.2.2.7 ความเป็นฉนวนไฟฟ้า (Insulation) ยางธรรมชาติมีความเป็นฉนวนทางไฟฟ้าสูงมาก โดยมีค่าต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (Specific Resistively) สูงถึง 10^{15} หรือ 10^{16} โอห์ม.เซนติเมตร

2.2.2.8 ความทนทานต่อของเหลวและสารเคมี (Liquidmand Chemical Resistance) เนื่องจากองค์ประกอบของยางธรรมชาติเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้น ยางดิบจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน และโทลูอีน เป็นต้น ความสามารถในการละลายนี้จะลดลงถ้ายางเกิดการคงรูปเนื่องจากการเชื่อมโยงทางเคมีของโมเลกุลเกิดเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติในยางคงรูปจะไปขัดขวางกระบวนการละลายของยางยางคงรูปจึงเพียงแต่เกิดการบวมตัวในตัวทำละลายเหล่านี้เท่านั้น อย่างไรก็ดี การบวมตัวของยางดังกล่าวจะทำให้สมบัติเชิงกลของยางด้อยลง ด้วยเหตุนี้ ยางธรรมชาติจะไม่ทนต่อน้ำมันปิโตรเลียมหรือตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วต่างๆ นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังทนต่อกรดและด่างเจือจางได้ดี แต่ไม่ทนต่อกรดไนตริกและกรดกำมะถันเข้มข้น

2.2.2.9 การเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนโอโซนและแสงแดด (Aging Properties) เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่อยู่มาก ทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (oxidation) โดยมีแสงแดดหรือความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้น ยางธรรมชาติจึงถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังไม่ทนต่อโอโซนเพราะเมื่อยางถูกยืดและได้รับโอโซนนานๆ จะเกิดรอยแตกขนาดเล็กจำนวนมากที่บริเวณพื้นผิวในทิศตั้งฉากกับทิศทางการยืดตัวของยาง ด้วยเหตุนี้ ในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด เช่น สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Anti-Degradant) และไข ลงไปเพื่อยืดอายุการใช้งานของยางธรรมชาติ

2.2.2.10 การหักงอที่อุณหภูมิต่ำ (Low Temperature Flexibility) ยางธรรมชาติยังคงรักษาสมบัติความยืดหยุ่นหรือความสามารถในการหักงอได้แม้ที่อุณหภูมิต่ำมากๆ ซึ่งยางที่มีสมบัตินี้ที่ดีกว่ายางธรรมชาติมีเพียง 2 ชนิด คือ ยางบิวตะไดอีนและยางซิลิโคน

2.2.2.11 Compression Set ยางธรรมชาติมีค่าcompression set ค่อนข้างต่ำทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิสูงปานกลาง อย่างไรก็ตามค่า Compression set ที่อุณหภูมิต่ำของยางที่ธรรมชาติจะสูงขึ้นเนื่องจากยางอาจเกิดการตกผลึกทำให้ความยืดหยุ่นของยางเริ่มสูญเสียไป ในขณะที่ค่า compression set ที่อุณหภูมิสูงของยางธรรมชาติจะมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากยางธรรมชาติไม่ทนต่อความร้อน ยางจึงเกิดการเสื่อมสภาพ ซึ่งจะส่งผลทำให้สมบัติ compression set น้อยลง

2.2.2.12 การกระเด้งกระดอน (Rebound Resilience) ยางธรรมชาติมีสมบัติการกระเด้งกระดอนสูง (สูงกว่ายางชนิดอื่นๆ ทั้งหมด (ยกเว้นยางบิวตะไดอีน) และในระหว่างการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงของรูปร่าง ยางจะสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนน้อย ยางธรรมชาติจึงมีความร้อนสะสมต่ำเมื่อถูกใช้งานในเชิงพลวัตยางชนิดนี้จึงเหมาะในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่มีขนาดใหญ่ เช่นยางรถบรรทุกหรือยางล้อเครื่องบิน เพราะหากใช้ยางที่มีความร้อนสะสมสูงก็อาจทำให้ยางเกิดระเบิดได้ง่าย

2.2.2.13 อุณหภูมิของการใช้งาน (Service Temperature) ยางธรรมชาติสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิตั้งแต่ -55 - 70 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามหากเก็บยางไว้ที่อุณหภูมิต่ำนานๆ ยางอาจเกิดการตกผลึกซึ่งจะทำให้ยางแข็งขึ้นและสูญเสียความยืดหยุ่นไป แต่เมื่ออุณหภูมิการใช้งานสูงเกินไป สมบัติเชิงกลต่างๆ ก็จะด้อยลงเนื่องจากความร้อนจะทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพ ในบางกรณีที่มีการออกสูตรผสมเคมียางได้อย่างเหมาะสม (มีการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพลงไป) ยางธรรมชาติอาจสามารถนำไปใช้งานได้อย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิสูงถึง 90 - 100 องศาเซลเซียส

2.3 คอนกรีตมวลเบา (Lightweight Concrete)

คอนกรีตเบา คือ คอนกรีตที่มีน้ำหนักเบาและมีความหนาแน่นน้อยกว่าคอนกรีตที่นำมาใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป ซึ่งสามารถนำมาใช้แทนส่วนประกอบโครงสร้างเป็นผลทำให้ขนาดของโครงสร้างลดลงและรวมถึงลดแรงงานก่อสร้างด้วย อีกทั้งยังมีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อนและเก็บเสียงได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา

2.3.1 ชนิดของคอนกรีตมวลเบา จำแนกได้เป็น 3 ประเภทตามลักษณะการนำไปใช้งาน ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การจำแนกประเภทของคอนกรีตมวลเบาตามการนำไปใช้งาน [6]

ประเภท	กำลังอัด (เมกกะปาสคาล)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)
คอนกรีตเบาสำหรับงานโครงสร้าง (Structural Lightweight Concrete)	17.6 – 47.1	1,400 – 1,800
คอนกรีตสำหรับงานก่อ (Masonry Concrete)	9.8 – 17.6	500 – 800
คอนกรีตสำหรับงานฉนวนความร้อน (Insulating Concrete)	1 – 9.8	น้อยกว่า 800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบา

ค่ากำลังอัดที่อายุการบ่ม 28 วันของคอนกรีตมวลเบาจะขึ้นกับประเภทของการผลิต โดยมีค่าประมาณตั้งแต่ 9.8 ถึง 23.5 เมกกะปาสคาล

ค่าสัมประสิทธิ์การแตกหัก (Modulus of Rupture) ของคอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาทั่วๆ ไปจะสูงกว่าคอนกรีตมวลรวมน้ำหนักมากที่มีกำลังอัดเท่ากัน

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ของคอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาจะต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดา โดยค่า E ของมวลรวมคอนกรีตเบาจะอยู่ระหว่าง 1/3 ถึง 2/3 ของคอนกรีตธรรมดา และค่า E ของคอนกรีตพรุนจะมีค่าต่ำกว่า และค่า Poisson's Ratio ของคอนกรีตเบาจะเท่ากับคอนกรีตธรรมดา

คอนกรีตเบาโดยทั่วไป ไม่สามารถทนทานต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี จึงไม่เหมาะสมกับการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีสารซัลเฟตสูงปนอยู่หรือดินชื้นและการกระทบกระแทกจากแรงภายนอก เนื่องจากคอนกรีตเบานั้นมีความพรุนมาก

สัมประสิทธิ์การขยายตัวของคอนกรีตเบามีค่าอยู่ระหว่าง 7×10^{-6} ถึง 14×10^{-6} ต่อองศาเซนติเกรด ดังนั้นการหดตัวเมื่อแห้งและการเปลี่ยนแปลงความชื้นในคอนกรีตเบาบางกรณีอาจมีค่าสูง

การแตกหักของคอนกรีต เนื่องจากแรงภายนอกอาจจะมีผลมาจากการขัดสี การกระแทกและการรับน้ำหนักมากเกินไป ซึ่งจะทำให้โครงสร้างของคอนกรีตเกิดการเสียหายได้

การหดตัวเมื่อแห้ง โดยปกติแล้วคอนกรีตเบาจะมีการหดตัวมากกว่าคอนกรีตธรรมดาและจะมีค่าการหดตัวอยู่ประมาณร้อยละ 5 ถึง ร้อยละ 40 ส่วนคอนกรีตพรุนจะมีค่าการหาหดตัวมากกว่าคอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบา 5 ร้อยละ 10 เท่าในบางครั้ง

การคืบตัวหรือการล้าของคอนกรีตเบาโดยทั่วไปแล้ว จะมีการคืบตัวและยืดตัวตามความชื้นมากกว่าคอนกรีตธรรมดา ซึ่งการคืบตัวมากๆ จะสามารถช่วยลดความเค้นดึงเนื่องจากการหดตัวอีกทั้งยังช่วยลดภัยจากการแตกร้าวได้

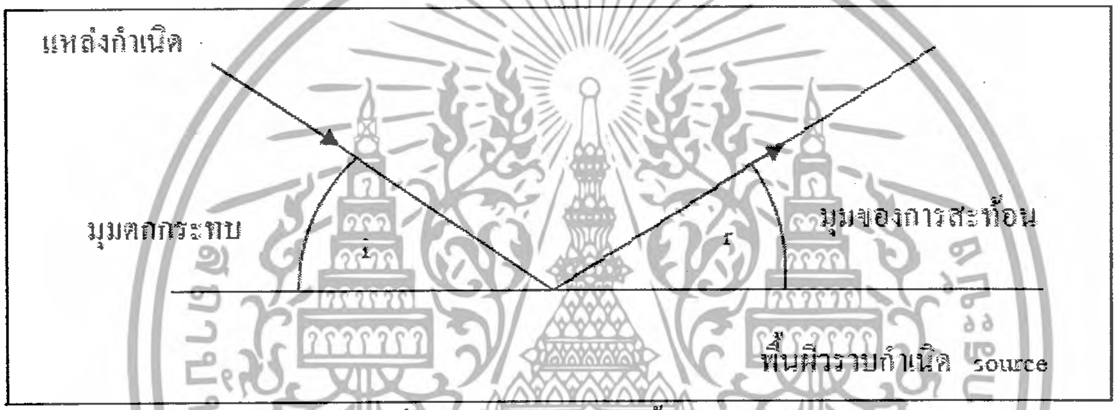
การป้องกันไฟ คอนกรีตเบานั้นมีความต้านทานเพลิงได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา เนื่องจากคอนกรีตเบาเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี บางครั้งจึงนิยมใช้คอนกรีตเบาเป็นวัสดุหุ้มโครงสร้างเหล็กกล้าเพื่อป้องกันเหล็กเวลาเกิดเพลิงไหม้ ซึ่งจะช่วยให้เหล็กไม่เสียคุณสมบัติ ทั้งนี้การต้านทานไฟนั้นขึ้นอยู่กับความหนาของคอนกรีตเบาด้วย

การเป็นฉนวนกันความร้อนและการเก็บเสียงสะท้อนเสียง คอนกรีตเบานั้นเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี เนื่องจากการมีความพรุนมากในเนื้อคอนกรีตจึงทำให้คอนกรีตเบามีการนำความร้อนต่ำ และคอนกรีตเบายังสามารถเก็บเสียงได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา แต่ถ้าทำการปรับแต่งผิวหน้าของคอนกรีตโดยการฉาบเรียบเสียใหม่ คอนกรีตเบายังสามารถสะท้อนเสียงได้สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 คุณสมบัติของการดูดซับเสียง (Properties of Sound Absorption)

การดูดซับเสียง (Sound Absorption) คือ การที่เสียงกระทบกับวัตถุและเสียงไม่ก้อง ลักษณะที่เมื่อคลื่นเสียงเดินทางไปกระทบสิ่งกีดขวาง เช่น ฝาผนังห้อง ม่านหรือ กำแพง เป็นต้น ส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนไปเป็นพลังงานความร้อน พลังงานอีกส่วนหนึ่งจะสามารถผ่านวัตถุนั้น เช่น ทำให้คนในห้องถัดไปได้ยิน พลังงานส่วนสุดท้ายจะสะท้อนกลับ เป็นต้น การสะท้อนกลับของคลื่นเสียงจากพื้นผิวที่ตกกระทบนั้น ถ้าหากคลื่นเสียงปะทะกับพื้นผิวที่ราบเรียบอีกครั้งก็จะมีความกว้างเปรียบเสมือนความยาวของเสียง และสมมติว่าส่วนของคลื่นเสียงนี้แสดงลักษณะเป็นลำแสง และมีเส้นตั้งฉากกั้นอยู่ จากกฎของการสะท้อน มุมของการสะท้อน “r” ของลำแสงนี้จะเท่ากับมุมที่ตกกระทบ “i” ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การสะท้อนจากพื้นผิวราบ

ในทางเรขาคณิตการสะท้อนของคลื่นเสียงจะคล้ายกับคลื่นแสง ส่วนที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดก็คือเรื่องของขนาด เพราะว่าความยาวคลื่นเฉลี่ยของเสียงเป็น 100,000 เท่าของคลื่นแสง จากตัวอย่างของกระจกหรือเลนส์ ถ้าจะใช้ส่งคลื่นเสียงให้ไปในทิศทางเดียวกัน จะต้องใช้ขนาดที่ใหญ่โตมาก เปรียบเทียบกับกระจกหรือเลนส์ที่ใช้เกี่ยวกับสายตาพื้นผิวที่เอียงโค้งเข้าข้างใน การสะท้อนของคลื่นเสียงจะรวมตัวกัน พื้นผิวลักษณะนี้การใช้บางครั้งก็เป็นตัวสะท้อนที่ให้ผลดี แต่ถ้าใช้อย่างขาดการพิจารณาแล้ว ก็จะนำไปสู่ระบบเสียงที่ไม่ดี

กฎของการสะท้อนเสียงนี้ใช้ในการพิจารณาการเปลี่ยนรูปทรงของห้องที่มีผลกระทบต่อการแพร่กระจายของเสียงในห้องนั้น ดังนั้นการเรียนรู้สามารถนำไปออกแบบพื้นผิวภายในห้องเพื่อให้เกิดผลในการสะท้อนที่ดี หรือ การกำจัดเสียงสะท้อน หรือ การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวเพื่ออีกนัยหนึ่งเป็นการเพิ่มการสะท้อนของเสียงให้สูงขึ้น (เสียงก้อง) แต่อย่างไรก็ตามควรจะต้องระมัดระวังในการใช้กฎของการสะท้อนเสียง เพราะว่าคลื่นเสียงในลักษณะที่กล่าวมาข้างต้นนี้จะไม่ครอบคลุมถึงคุณสมบัติการสะท้อนของเสียงในน้ำ เรื่องสำคัญอีกอย่างหนึ่งเกี่ยวกับการสะท้อนเสียงคือ เสียงก้อง หรือการซ้ำเสียงเดิม เป็นธรรมชาติอย่างหนึ่งของหู ที่สามารถแยกเสียง 2 เสียง ว่าเป็นคนละ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียง เกิดก่อนหรือเกิดหลังได้ต่อเมื่อเสียงหนึ่งๆ เดินทางมาถึงหูทีหลังเสียงแรกเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 0.1 วินาที มิฉะนั้นจะรู้สึกเป็นเสียงเดียวผสมกันไป

2.4.1 การแผ่กระจายของเสียง (Diffusion of Sound)

Diffusion ในความหมายทางอะคูสติก (อย่างเป็นทางการ) หมายถึง การประสมประสานกัน ของเสียงหลายๆ เสียงที่เกิดขึ้นให้เกิดเป็นเสียงเดียวกันมากขึ้น นักฟิสิกส์อาจจะให้ความหมายที่เป็นทางการและมีหลักเกณฑ์มากขึ้นกว่า เสียงมีการแผ่กระจายเมื่อ

1. ความหนาแน่นของพลังงานของเสียงที่มีรูปแบบ และมีอยู่ทั่วไป
2. การไหลของพลังงานที่มีอยู่ได้ทุกทิศทุกทางที่สามารถพิสูจน์ได้

ในห้องกระจายเสียงวิทยุ และห้องสตูดิโอ เสียงยิ่งมีการแผ่กระจายมากเท่าใดจะยิ่งดีมากเท่านั้น (สำหรับเกือบทุกกรณี) มีหลายวิธีที่จะเพิ่มการแผ่กระจายเสียง ในอดีตการสะท้อนของเสียงและการดูดซับของเสียงเป็นตัวแปรที่สำคัญ เด่นชัดมากที่สุดในการออกแบบห้องสตูดิโอ ในการออกแบบห้องสตูดิโอ จะนำเอาการแผ่กระจายของเสียง (Diffusion) มาเป็นตัวแปรที่สำคัญอย่างแรกในการพิจารณาออกแบบห้องด้วย ส่วนการดูดซับของเสียงจะนำมาพิจารณาในอันดับถัดไปโดยนำเอาการสะท้อนของเสียงและการแผ่กระจายของเสียงมาพิจารณาเป็นหัวข้อๆ ไป ทั้งๆ ที่ทั้งสองอย่างนี้จริงๆ แล้วมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกัน ตัวแผ่กระจายเสียงรูปทรงกระบอกหลายๆ รูป (The Poly Cylindrical Diffusion) พื้นผิวรูปนูน โค้ง (Semi Cylindrical) มีข้อดีหลายประการ มี 3 สิ่งที่จะเกิดขึ้นเมื่อคลื่น เสียงมากระทบพื้นผิวของรูปทรงกระบอก ดังต่อไปนี้

1. เสียงบางส่วนจะถูกดูดซับ
2. เสียงบางส่วนจะถูกสะท้อนกลับ
3. เสียงบางส่วนจะถูกแผ่กระจาย

เสียงที่ถูกดูดซับดังกล่าวส่วนใหญ่จะอยู่ในย่านความถี่ต่ำ เพราะว่ารูปทรงมีขนาดใหญ่การดูดซับเสียงที่ความถี่ต่ำมากๆ นี้เป็นพื้นฐานที่จำเป็นที่ต้องการภายในห้อง แต่ยากที่จะทำให้เกิดขึ้นได้ ช่องว่างระหว่างส่วนโค้งของแผ่นไดอะแฟรมของตัวกระจายเสียงแบบ Poly Cylindrical และผนัง ปกติแล้วถูกแบ่งเป็นพื้นที่เล็กๆ หลายๆ ส่วน ขึ้นอยู่กับว่าปริมาตรแต่ละพื้นที่จะเกิดความถี่รีโซแนนซ์ที่ความถี่ต่ำที่ยอดแหลมของการดูดซับเสียง ที่ยอดแหลมของการดูดซับเสียงจะกระจายอยู่ในความถี่ต่ำ ซึ่งจะช่วยในการดูดซับเสียงในย่านความถี่ต่ำที่ปกติจะเกิดยากเสียงที่ตกกระทบและสะท้อนจาก Poly Cylindrical จะแผ่กระจายไปได้หลายทิศทาง ส่วนที่สะท้อนจะต้องไม่ไปปนกับส่วนที่กระจายออกมา ทั้งเสียงสะท้อนและเสียงที่แผ่กระจายจะอยู่ในมุมที่กว้างกว่าในส่วนของเสียงที่แผ่กระจายมีผลมาจากการสั่นสะเทือนของแผ่นไดอะแฟรมที่เป็นรูปโค้งที่เสียงมากระทบ การสั่นสะเทือนของ Poly Diaphragm จะมีผลต่อการแผ่กระจายของเสียงสู่ห้องด้วยพลังงานของเสียงจำนวนหนึ่ง เสียงที่แผ่กระจายนี้ไม่ได้เป็นไปตามกฎการสะท้อน ปกติที่มุมตกเท่ากับมุมสะท้อน ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้เสียงที่แผ่กระจายออกมาจะมีค่ามุมประมาณ 120 องศา แผ่นไดอะแฟรมแผ่นเรียบจะแผ่กระจายเสียงในมุมที่แคบกว่ามาก การใช้วัสดุดูดซับเสียงที่มากเกินไปเพื่อที่จะไปแก้ไขข้อบกพร้องทางด้านอะคูสติกของเสียงภายในห้อง จะส่งผลทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานสัญญาณเสียง ด้วยการใช้ Poly Cylindrical ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สะท้อนและแผ่กระจายจะไปช่วยไม่ให้สูญเสียพลังงานที่มีค่านี้ไปห้องสตูดิโอและห้องบันทึกเสียงแบบแรกๆ ใช้แค่ผ้าม่าน พรม และแผ่นอะคูสติก เพื่อควบคุมค่าความยืดเยื้อของเสียงของห้อง ผลกระทบคือจะทำให้การดูดซับเสียงมากจนเกินไปของพลังงานความถี่สูง และดูดซับเสียงที่น้อยเกินไปของพลังงานความถี่ต่ำ ในปี 1940 ถึง ปี 1950 ได้มีการใช้ตัวแผ่กระจายเสียง Poly Cylindrical ในจำนวนที่มากนี้เพื่อไปแก้ปัญหาจากสภาพดังกล่าว ในช่วงเวลาดังกล่าวห้องกระจายเสียงวิทยุและห้องบันทึกเสียงบางแห่งที่ใหญ่ และดีที่สุดจะติดตั้งอุปกรณ์ Poly Cylindrical ทั้งบนผนังและเพดานห้อง แต่ในปัจจุบันนี้ Poly Cylindrical จะไม่พบเห็นในห้องสตูดิโอสมัยใหม่ อย่างไรก็ตามมีแนวโน้มที่จะนำกลับมาใช้อีก เนื่องจากมีรูปลักษณ์ที่ดี ราคาถูกและคุณสมบัติทางด้านอะคูสติกที่ดี

2.4.2 ความเข้มเสียง

ความเข้มของเสียงในสนามอิสระแปรผันโดยตรงกับกำลังของแหล่งกำเนิดเสียง และแปรผกผันกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดกำลังสอง ดังสมการ 2.2

$$I = W/S \tag{2.2}$$

โดย I = ความเข้มของเสียง (วัตต์ต่อตารางเมตร)

W = กำลังของแหล่งกำเนิดเสียง (วัตต์)

S = พื้นที่ผิวทรงกลม (ตารางเมตร)

เสียงแผ่วเบาที่สุดสำหรับหูของมนุษย์ที่สามารถได้ยินนั้นมีความเข้มเสียงประมาณ 10^{-12} วัตต์ต่อตารางเมตร และเสียงที่ดังที่สุดสำหรับหูของมนุษย์ที่สามารถทนได้ มีความเข้มเสียงประมาณ 1 วัตต์ต่อตารางเมตร มนุษย์แต่ละคนจะมีความสามารถในการตอบสนองต่อคลื่นเสียงที่มีความถี่ในช่วงประมาณ 20 เฮิรตซ์ ถึง 20000 เฮิรตซ์ อย่างไรก็ตาม ความสามารถต่อคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงๆ ของแต่ละบุคคลนั้น จะลดลงเมื่อมีอายุมากขึ้น

2.4.3 ระดับความดังของเสียง

เนื่องจากช่วงความเข้นของเสียงที่มีต่อการได้ยินของมนุษย์นั้นกว้างมาก จึงไม่นิยมกล่าวถึงความเข้มของเสียงโดยใช้สเกลแบบเลขคณิตธรรมดา แต่นิยมใช้สเกลลอกาลิธึมแทน ดังสมการ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

$$dB = 10\log(I / I_0) \tag{2.3}$$

โดย dB = ระดับความดังของเสียง (เดซิเบล)

I = ความเข้มของเสียงที่พิจารณา (วัตต์ต่อตารางเมตร)

I_0 = ความเข้มของเสียงอ้างอิง (10^{-12} วัตต์ต่อตารางเมตร)

2.4.4 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Absorption Coefficient)

เมื่อคลื่นเสียงตกลงบนพื้นผิวของวัตถุที่ดูดซับเสียงมันจะเสียพลังงานไปบนวัตถุนั้น การดูดซับของเสียงในวัสดุดูดซับเสียง จะอยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Absorption Coefficient) ใช้สัญลักษณ์ α (แอลฟา) สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงหมายถึง อัตราส่วนของพลังงานที่ถูกดูดซับในวัสดุดูดซับเสียง กับพลังงานที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของวัสดุดูดซับเสียงนั้น ดังนั้น α จะมีค่าระหว่าง 0 และ 1 เมื่อ $\alpha = 0$ หมายความว่า พลังงานเสียงทั้งหมดมีการสะท้อนกลับ เมื่อ $\alpha = 1$ หมายความว่าพลังงานทั้งหมดถูกดูดซับไว้ ค่าสัมประสิทธิ์ของการเก็บและดูดซับเสียงขึ้นอยู่กับความถี่และคุณสมบัติประจำตัวของวัสดุดูดซับเสียงนั้นๆ โดยวัสดุที่หนามากจะดูดซับเสียงได้มาก เสียงที่ถูกดูดซับ จะมีความยาวคลื่นเพียง 0.25 ของความยาวคลื่นทั้งหมด

2.4.5 สัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง (Noise Reduction Coefficient; NRC)

ค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง (Noise Reduction Coefficient; NRC) เป็นดัชนีชี้วัดที่แสดงให้เห็นถึงการดูดกลืนเสียงของวัสดุได้ดีกว่าดัชนีตัวอื่น ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเพียงอย่างเดียวอธิบายถึงลักษณะข้อแตกต่างของวัสดุได้ไม่ดีพอสำหรับการวิเคราะห์ผลทดสอบ

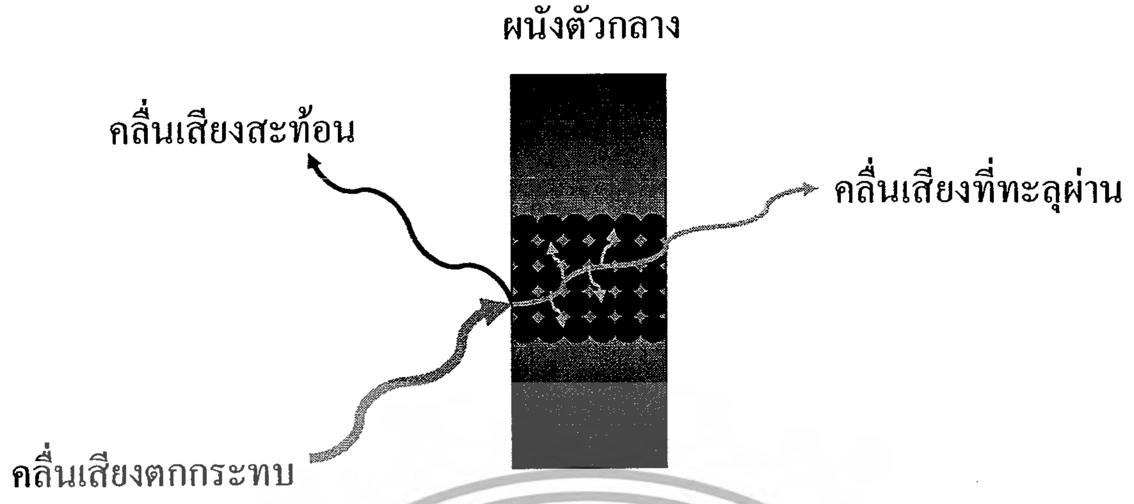
การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง สามารถหาได้จากสมการ 2.4

$$NRC = (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4) / 4 \tag{2.4}$$

โดย NRC = สัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ = สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ความถี่ต่างๆ 4 ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
104018



รูปที่ 2.6 การดูดซับเสียงของตัวกลาง

เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบกับวัตถุใด ๆ เช่นผนัง หรือ กำแพง จะเกิดปรากฏการณ์ที่สำคัญ 3 ประการ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 โดยพลังงานของคลื่นเสียงบางส่วนถูกส่งทะลุผ่านวัตถุไปอีกด้านหนึ่ง พลังงานบางส่วนถูกดูดกลืนหรือดูดซับโดยวัตถุนั้น และส่วนที่เหลือจะสะท้อนกลับเข้าสู่ตัวกลางเดิม จากกฎทรงพลังงานสามารถแสดงปรากฏการณ์ ข้างต้นด้วยสมการนี้

$$Ei = Er + Ea + Et \tag{2.5}$$

โดย Ei = พลังงานเสียงที่ตกกระทบวัตถุ

Er = พลังงานเสียงที่สะท้อนออกจากวัตถุ

Ea = พลังงานเสียงที่ถูกดูดกลืนหรือดูดซับในวัตถุ

Et = พลังงานเสียงที่ส่งผ่านไปยังอีกด้านหนึ่งของวัตถุ

พลังงานของคลื่นเสียงที่ถูกดูดกลืน จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานในรูปแบบอื่น ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนกลายเป็นพลังงานความร้อน และจากแนวคิดเกี่ยวกับการตกกระทบของคลื่นเสียงบนวัตถุใดๆ ดังกล่าวข้างต้น สามารถประยุกต์ใช้ในการควบคุมและป้องกันเสียงรบกวนได้ โดยการนำวัตถุที่มีคุณสมบัติในการดูดกลืนหรือสะท้อนคลื่นเสียงได้เป็นอย่างดีมาวางกั้นระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงและผู้ฟัง

อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติเชิงกายภาพของวัตถุกั้นเสียง จะเป็นตัวกำหนดถึงความสามารถในการลดระดับความดังเสียงของวัตถุนั้นๆ ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันวัสดุเชิงประกอบได้มีการศึกษาวิจัยกันอย่างแพร่หลาย โดยได้มีการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติเชิงกลของคอนกรีตผสมผงยางรถยนต์ใช้แล้ว [7] และเศษยางเก่า [8] ซึ่งจากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของคอนกรีตผสม ได้แก่ สัดส่วนของเม็ดยางรถยนต์ที่เติมลงไปในคอนกรีต และขนาดของเม็ดยางรถยนต์ เมื่อปริมาณของเม็ดยางรถยนต์ที่เติมลงไปมีมากขึ้น จะทำให้ความแข็งแรงเชิงกลลดลง แต่จะมีความเหนียวและความยืดหยุ่นดีขึ้น และในการศึกษาอื่นได้มีการนำอนุภาคเม็ดยางรถยนต์มาผสมกับวัสดุอื่นๆ เพื่อทำเป็นวัสดุเชิงประกอบสำหรับดูดซับเสียง โดย Zhou Hong และคณะ [9] ได้ทำการศึกษาการนำอนุภาคเม็ดยางรถยนต์รีไซเคิลมาทำเป็นวัสดุเชิงประกอบเพื่อดูดซับเสียง โดยนำชั้นอนุภาคเม็ดยางรถยนต์อยู่บนผิวของวัสดุโครงสร้างชนิดอื่น เช่น polyurethane ซึ่งจากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับเสียงของวัสดุเชิงประกอบนี้ ได้แก่ ขนาดของอนุภาคเม็ดยางรถยนต์ และความหนาของชั้นอนุภาคเม็ดยางรถยนต์ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าอนุภาคเม็ดยางรถยนต์มีความสามารถในการดูดกลืนคลื่นเสียงได้ดีที่ความถี่ต่ำ และยิ่งขนาดอนุภาคเม็ดยางรถยนต์มีขนาดใหญ่ขึ้น จะมีสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงมากขึ้น ในช่วงความถี่ที่สูงขึ้น นอกจากนี้วัสดุเชิงประกอบในชั้นอื่นนอกจากชั้นอนุภาคเม็ดยางรถยนต์ก็มีผลต่อสมบัติการดูดกลืนเสียงด้วย และในการศึกษาอื่นมีการศึกษาเกี่ยวกับการนำอนุภาคเม็ดยางรถยนต์มาใช้เป็นวัสดุเชิงประกอบเพื่อดูดซับเสียง แต่ยังไม่มีผู้นำเอาวัสดุเชิงประกอบที่เป็นคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์นี้มาทำเป็นโครงสร้างสำหรับดูดซับเสียง เหตุที่วัสดุเชิงประกอบประเภทนี้นำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับเสียงได้ดีนั้น เนื่องจากได้มีผู้ศึกษาเกี่ยวกับการดูดซับเสียงของเม็ดยางรถยนต์รีไซเคิล [10] โดยเมื่อเม็ดยางรถยนต์ที่มีขนาดต่างกันจะสามารถดูดซับเสียงได้ดีที่ช่วงความถี่ต่างกัน และผลในข้างต้นการลดขนาดเฉลี่ยของอนุภาคลงจะทำให้การลดระดับเสียงและความคดเคี้ยวในช่องว่างระหว่างอนุภาคเพิ่มขึ้น อีกทั้งวัสดุเชิงประกอบนี้มีน้ำหนักเบากว่าคอนกรีตปกติ และมีความแข็งแรงในระดับหนึ่ง จึงสามารถใช้เป็นโครงสร้างของสิ่งก่อสร้างรวมกับวัสดุอื่นๆ ได้โดยง่าย คอนกรีตสำหรับดูดซับเสียงจะผลิตขึ้นจากการนำเม็ดยางรถยนต์ที่ใช้แล้วผสมกับคอนกรีตเพื่อให้เกิดวัสดุเชิงประกอบที่มีน้ำหนักเบา ความยืดหยุ่นสูง รับแรงกระแทกได้ดี มีความเหนียว แตกร้าวยาก สามารถดูดซับคลื่นเสียงได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินโครงงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยเพื่อศึกษาสมบัติต่างๆ ของวัสดุเชิงประกอบคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เพื่อเป็นฉนวนดูดซับเสียง ประกอบด้วยขั้นตอนย่อยต่างๆ คือ การพิจารณาเลือกวัสดุ การกำหนดสัดส่วนผสมของวัสดุแต่ละชนิด การหล่อขึ้นรูปและวิธีการทดสอบสมบัติต่างๆ รวมถึงอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งจะได้กล่าวถึงในบทนี้

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 ปูนซีเมนต์ (Cement) ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland Cement) มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.15

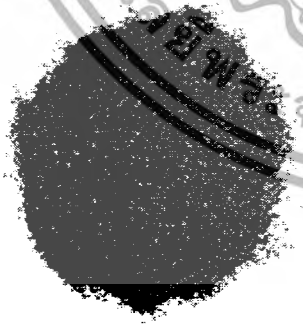
3.1.2 มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) ใช้ทรายที่มีขนาดประมาณ 0.3-0.6 มิลลิเมตร

3.1.3 มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) ใช้หินเกล็ดขนาด 3/8 นิ้ว

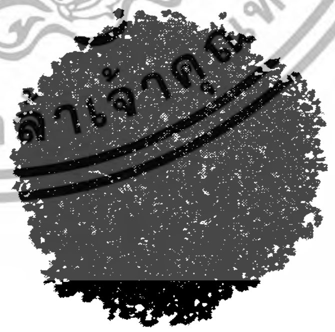
3.1.4 น้ำผสมคอนกรีต (Water) ใช้น้ำสะอาดปราศจากกรด ด่าง น้ำมัน และอินทรีย์สารอื่นๆ ในปริมาณที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีต

3.1.5 เม็ดยางจากเศษยางรถยนต์เก่า ซึ่งมี 2 ขนาด ได้แก่

- เม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 (เมช 7) มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.79 มิลลิเมตร
- เม็ดยางรถยนต์เบอร์ 20 (เมช 20) มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.83 มิลลิเมตร



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.1 (ก) เม็ดยางรถยนต์เบอร์ 20
(ข) เม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 สมบัติทางกายภาพของเม็ดยางรถยนต์ [1]

สมบัติทางกายภาพ	เม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7	เม็ดยางรถยนต์เบอร์ 20
ความถ่วงจำเพาะบัลค์เฉลี่ย	0.97	0.88
ความถ่วงจำเพาะแท้จริงเฉลี่ย	0.98	0.89
ค่าการดูดซึมความชื้นเฉลี่ย (%)	1.01	1.70
โมดูลัสความละเอียด	4.98	2.62

3.2 สัดส่วนผสมคอนกรีต

สัดส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ในการวิจัยได้ถูกออกแบบตามการแนะนำของสถาบันคอนกรีตแห่งสหรัฐอเมริกา (ACI 211.1-91) โดยออกแบบให้มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.54 และอัตราส่วนการแทนที่มวลรวมละเอียด (ทราย) ด้วยเม็ดยางรถยนต์จะแทนที่ไม่เกินร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก คือ เริ่มต้นที่การแทนที่ร้อยละ 10, 20 และ 30 ตามลำดับ และอัตราส่วนปูนซีเมนต์: ทราย: หิน เท่ากับ 1: 2.3: 1.8 โดยน้ำหนัก ซึ่งปริมาณวัสดุที่ใช้สำหรับอัตราส่วนผสมของคอนกรีต 1 ลบ. ม. สรุปได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สัดส่วนผสมของคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร

ประเภทของคอนกรีต	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร					
	ขนาดเม็ดยางรถยนต์		ซีเมนต์	มวลรวมหยาบ	มวลรวมละเอียด	น้ำ
	เบอร์ 7	เบอร์ 20				
PC	0	0	416.7	745.2	953.5	225
7 CR10	95.3	0	416.7	745.2	858.2	225
7 CR20	190.7	0	416.7	745.2	762.8	225
7 CR30	286.0	0	416.7	745.2	667.4	225
20 CR10	0	95.3	416.7	745.2	858.2	225
20 CR20	0	190.7	416.7	745.2	762.8	225
20 CR30	0	286.0	416.7	745.2	667.4	225
720 CR10	47.6	47.6	416.7	745.2	858.2	225
720 CR20	95.4	95.4	416.7	745.2	762.8	225
720 CR30	143.0	143.0	416.7	745.2	667.4	225

<u>หมายเหตุ</u> PC คือ คอนกรีตธรรมดา

7 CR10, 20, 30 คือ คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 ในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30

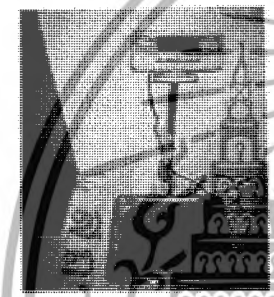
20 CR10, 20, 30 คือ คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 20 ในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30

720 CR10, 20, 30 คือ คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 และเบอร์ 20 เท่าๆกันในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

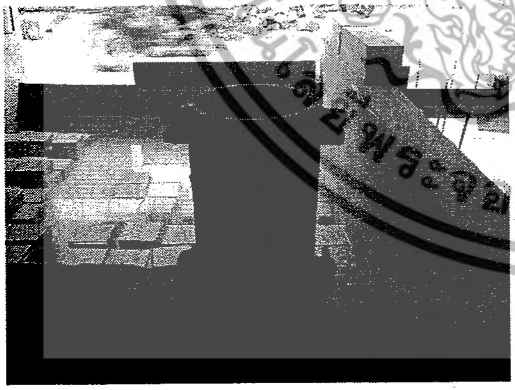
3.3 การผสมและการหล่อขึ้นรูปคอนกรีต

ในขั้นตอนการผสมส่วนผสมของคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์นั้นจะเริ่มต้นโดยชั่งน้ำหนักวัสดุต่างๆตามอัตราส่วนที่ได้กำหนดไว้ โดยใช้เครื่องชั่ง ตามรูปที่ 3.2 จากนั้นผสม หิน ทราย เม็ดยางรถยนต์ลงในกระบะเตรียม คลุกเคล้าให้วัสดุแต่ละชนิดกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ หลังจากนั้นจึงใส่ปูนซีเมนต์เข้าไปผสม เติมน้ำตามลงไปประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ คลุกเคล้าส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน แล้วจึงเทใส่เครื่องผสม ดังรูปที่ 3.3 แล้วเทน้ำที่เหลือตามลงไปอย่างสม่ำเสมอ ใช้เวลาผสมประมาณ 3 นาที จากนั้นทำการเทคอนกรีตดังกล่าวลงในแบบหล่อที่เตรียมไว้ ตามรูปที่ 3.4 ภายหลังจากหล่อคอนกรีตทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง จึงทำการถอดแบบหล่อออก แล้วนำแท่งคอนกรีตที่ได้ตามรูปที่ 3.5 ไปบ่มในบ่อน้ำเป็นเวลา 28 วัน จึงนำมาทดสอบสมบัติต่างๆ



รูปที่ 3.2 เครื่องชั่งน้ำหนักวัสดุ

รูปที่ 3.3 เครื่องผสม



รูปที่ 3.4 แบบหล่อคอนกรีตทรงกระบอก

รูปที่ 3.5 แท่งคอนกรีตที่ถอดจากแบบแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

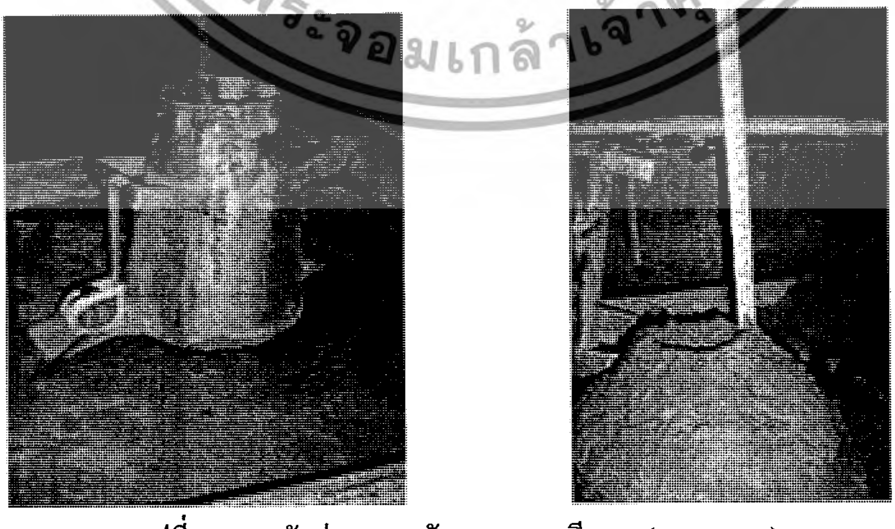
3.4 การทดสอบสมบัติของคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์

รายละเอียดและจำนวนชิ้นตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดจำนวนตัวอย่างและการทดสอบ

ประเภทของคอนกรีต	การทดสอบคุณสมบัติต่างๆ				
	การกระจายตัวเม็ดยางรถยนต์	ความหนาแน่น	กำลังรับแรงอัด	กำลังรับแรงดึง	การดูดซับเสียง
PC	6	6	3	3	4
7 CR10	6	6	3	3	4
7 CR20	6	6	3	3	4
7 CR30	6	6	3	3	4
20 CR10	6	6	3	3	4
20 CR20	6	6	3	3	4
20 CR30	6	6	3	3	4
720 CR10	6	6	3	3	4
720 CR20	6	6	3	3	4
720 CR30	6	6	3	3	4

3.4.1 ความสามารถเทได้ (Workability) ทดสอบด้วยวิธีวัดค่าการยุบตัวของคอนกรีตสด (slump test) ขณะที่ผสมคอนกรีตเสร็จใหม่ วัดค่าการยุบตัวของคอนกรีตดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การวัดค่าการยุบตัวของคอนกรีตสด (slump test)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การกระจายตัวของเม็ดยางรถยนต์ โดยการทุบแท่งคอนกรีตให้แตกออกจากกัน จากนั้นบันทึกภาพลักษณะการกระจายตัวของเม็ดยางรถยนต์ในเนื้อคอนกรีต

3.4.3 ความหนาแน่นของคอนกรีต โดยชั่งน้ำหนักของแท่งคอนกรีต และหาปริมาตรของแท่งคอนกรีตโดยการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางและส่วนสูงซึ่งความหนาแน่นสามารถคำนวณได้จากสมการ (3.1)

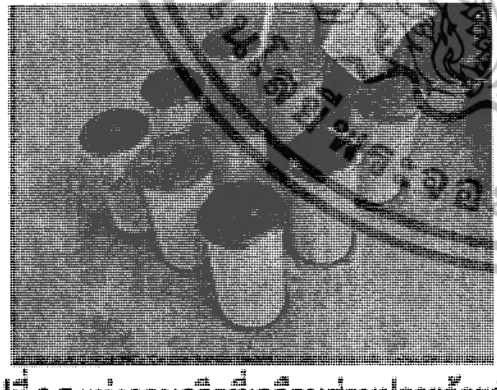
$$\rho = \frac{m}{V} \tag{3.1}$$

โดย ρ = ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

m = น้ำหนักแท่งคอนกรีต (กิโลกรัม)

V = ปริมาตรของแท่งคอนกรีต (ลูกบาศก์เมตร)

3.4.4 การทดสอบกำลังอัด (Compressive Strength) ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM C 39-96 ตัวอย่างทดสอบเป็นแท่งคอนกรีตทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ความสูง 30 เซนติเมตร ก่อนการทดสอบต้องทำการเคลือบหัว - ท้าย (Cap) ตัวอย่างด้วยกำมะถัน เพื่อให้ผิวสัมผัสด้านบนและด้านล่างของตัวอย่างเรียบ ดังรูปที่ 3.7 หลังจากนั้นทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบUniversal Testing Machine (UTM) ขนาด 1500 กิโลนิวตัน ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ผลการทดสอบที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์และคำนวณหาค่ากำลัง และความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด



รูปที่ 3.7 แท่งคอนกรีตที่เคลือบส่วนปลายด้วยกำมะถัน

รูปที่ 3.8 เครื่องทดสอบกำลังอัด

ค่าที่ทดสอบได้จากเครื่องมีหน่วยเป็นกิโลนิวตัน จึงต้องคำนวณเพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดจากสมการ (3.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

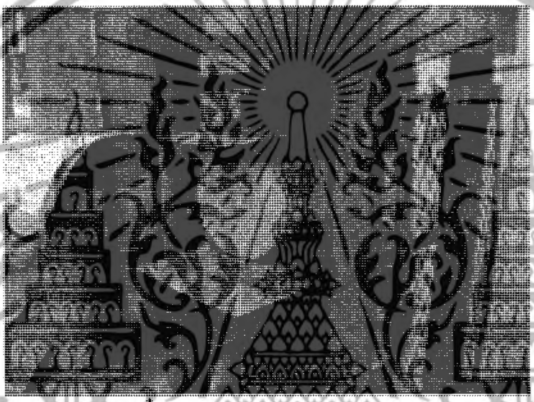
$$F = \frac{P}{A} \tag{3.2}$$

โดย F = กำลังรับแรงอัด (ปาสคาล)

P = แรงกระทำสูงสุดต่อแท่งคอนกรีต (นิวตัน)

A = พื้นที่หน้าตัดของแท่งคอนกรีต (ตารางเมตร)

3.4.5 การทดสอบกำลังดึง (Tensile Strength) ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM C 496 – 90 ด้วยเครื่อง UTM ทำโดยการอัดแท่งคอนกรีตทรงกระบอกที่วางในแนวนอนจนกระแท่งแตกออกในแนวทางดิ่ง ดังรูปที่ 3.9 ซึ่งจะใช้พิจารณาเกี่ยวกับการแตกร้าวของคอนกรีต



รูปที่ 3.9 การทดสอบกำลังดึง

ค่าที่อ่านได้จากเครื่องต้องคำนวณเป็นกำลังรับแรงดัดตามสมการ (3.3)

$$T = \frac{2P}{\pi DL} \tag{3.3}$$

โดย T = กำลังรับแรงดึงของแท่งคอนกรีต (ปาสคาล)

P = แรงกระทำสูงสุดต่อแท่งคอนกรีต (นิวตัน)

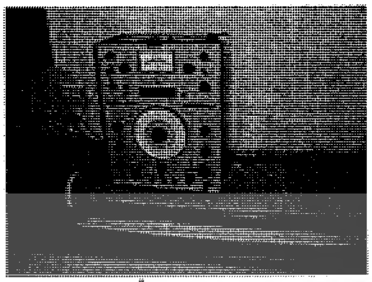
D = เส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งตัวอย่าง (เมตร)

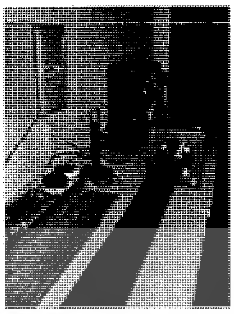
L = ความยาวของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง (เมตร)

3.4.6 การทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Sound Absorption Coefficient Test) ดำเนินการตามมาตรฐาน ISO 10534 - 1 : 1996 (E) แบบ (Standing Wave Ratio) ทดสอบที่ห้องปฏิบัติการเสียงและการสั่นสะเทือน สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยชิ้นตัวอย่างทดสอบถูกเตรียมให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.9 เซนติเมตร ความสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.0 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.11 สำหรับการทดสอบที่ใช้ความถี่เสียง 125 250 500 และ 1000 เฮิรตซ์ เครื่องทดสอบแสดงในรูปที่ 3.10





รูปที่ 3.10 การทดสอบความสามารถในการดูดซับเสียง

รูปที่ 3.11 ตัวอย่างทดสอบสำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

ค่าที่วัดได้จากเครื่องมือเป็น % Sound Absorption ซึ่งสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ผลได้โดยตรง

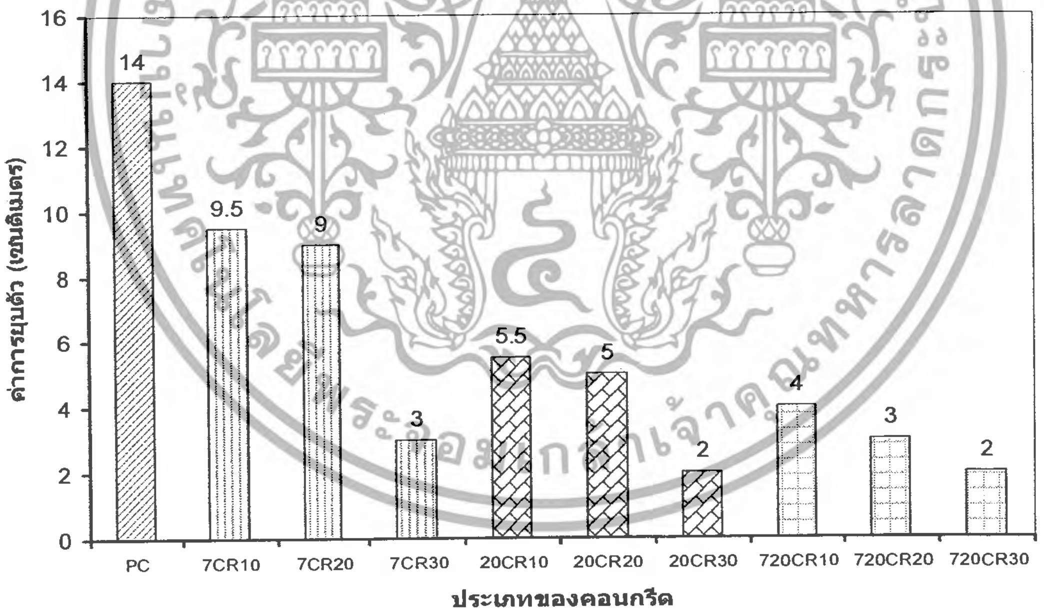
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

เนื้อหาในบทที่ 4 นี้ จะกล่าวถึง ผลการทดสอบรวมทั้งการวิเคราะห์เปรียบเทียบ คุณสมบัติเชิงกล (กำลังอัด กำลังดึง ลักษณะการวิบัติ) คุณสมบัติเชิงกายภาพ (ความสามารถเทได้ ความหนาแน่น การกระจายตัวของอนุภาคเม็ดยางรถยนต์) คุณสมบัติเกี่ยวกับเสียงของคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ทั้งสองขนาด

4.1 คุณสมบัติเชิงกายภาพ

4.1.1 ความสามารถเทได้ (Workability) การทดสอบความสามารถเทได้นี้ทดสอบโดยวิธีวัดค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่ผสมเสร็จใหม่ ค่าที่ได้สามารถสรุปเป็นแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าการยุบตัวของคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์

จากข้อมูลในรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่า การใส่เม็ดยางรถยนต์ลงไปแทนที่ทรายในการผสมคอนกรีตมีผลกระทบต่อความข้นเหลวของคอนกรีตสดแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณการแทนที่เม็ดยางรถยนต์ โดยคอนกรีตธรรมดา (PC) มีค่าการยุบตัวมากที่สุด ซึ่งบอกถึงความสามารถเทได้ของคอนกรีต ดีกว่าคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากคุณสมบัติขององค์ประกอบของเม็ดยางรถยนต์เป็นสารไม่ชอบน้ำ ดังนั้นเมื่อผสมเม็ดยางรถยนต์ลงในคอนกรีต ทำให้ปริมาณน้ำที่ใช้ในการหล่อลื่นไม่เพียงพอ ส่งผลให้ความสามารถในการเคลื่อนที่ (Mobility) ของคอนกรีตลดลง คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์จึงมีลักษณะข้นและแห้ง การประสานตัวไม่ดี เกิดรูพรุนมาก

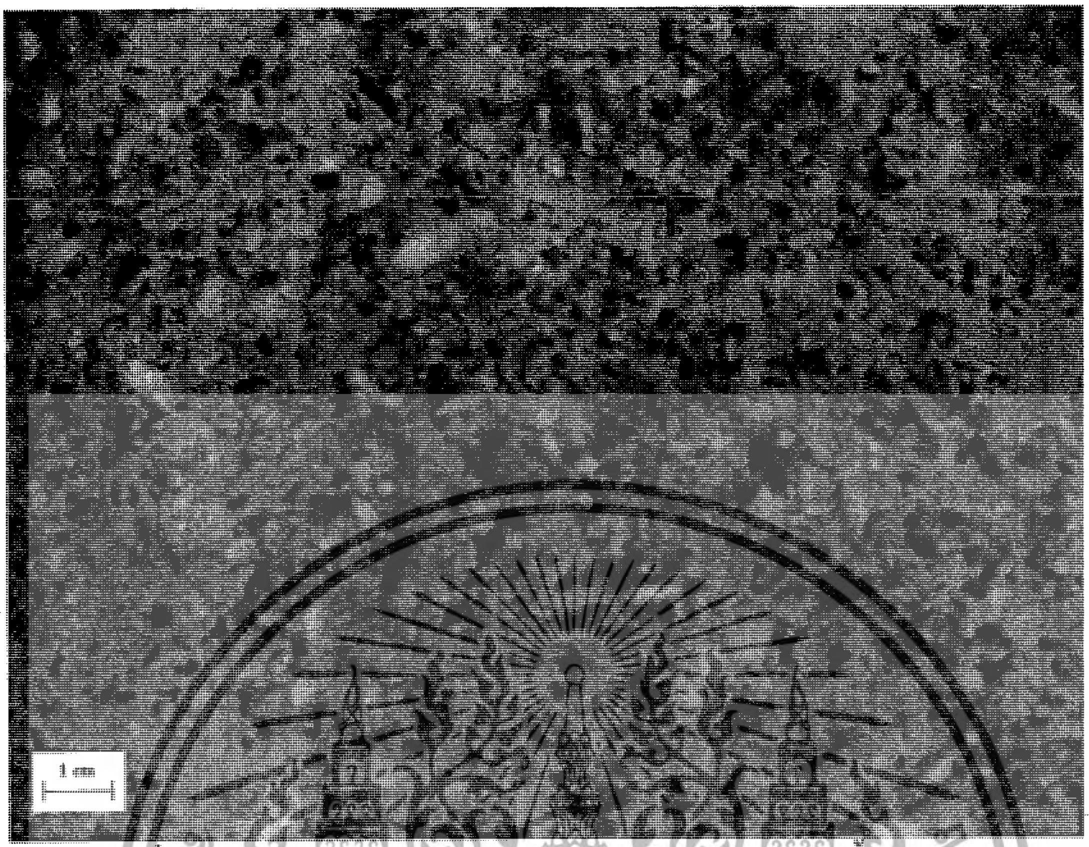
เมื่อเปรียบเทียบคอนกรีตที่ผสมเม็ดยางรถยนต์ทั้ง 3 แบบ พบว่า คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 มีความสามารถเทได้ดีกว่าคอนกรีตที่ผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 20 และเบอร์ 7 + 20 เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 20 มีขนาดเล็กกว่าเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 จึงทำให้มีพื้นที่ผิวสัมพัทธ์มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบที่น้ำหนักเท่ากัน เป็นเหตุให้คอนกรีตสดที่เตรียมได้มีความข้นหนืดและแห้งมากกว่า

นอกจากนี้ยังพบว่า คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ทั้ง 3 ลักษณะนี้ให้ค่าการยุบตัวเป็นสัดส่วนแปรผันโดยตรงกับปริมาณเม็ดยางรถยนต์เช่นกัน โดยมีค่าการยุบตัวลดลงเมื่อปริมาณเม็ดยางรถยนต์เพิ่มขึ้น ตั้งแต่ร้อยละ 10 จนถึงร้อยละ 30 ทุกสัดส่วนผสม

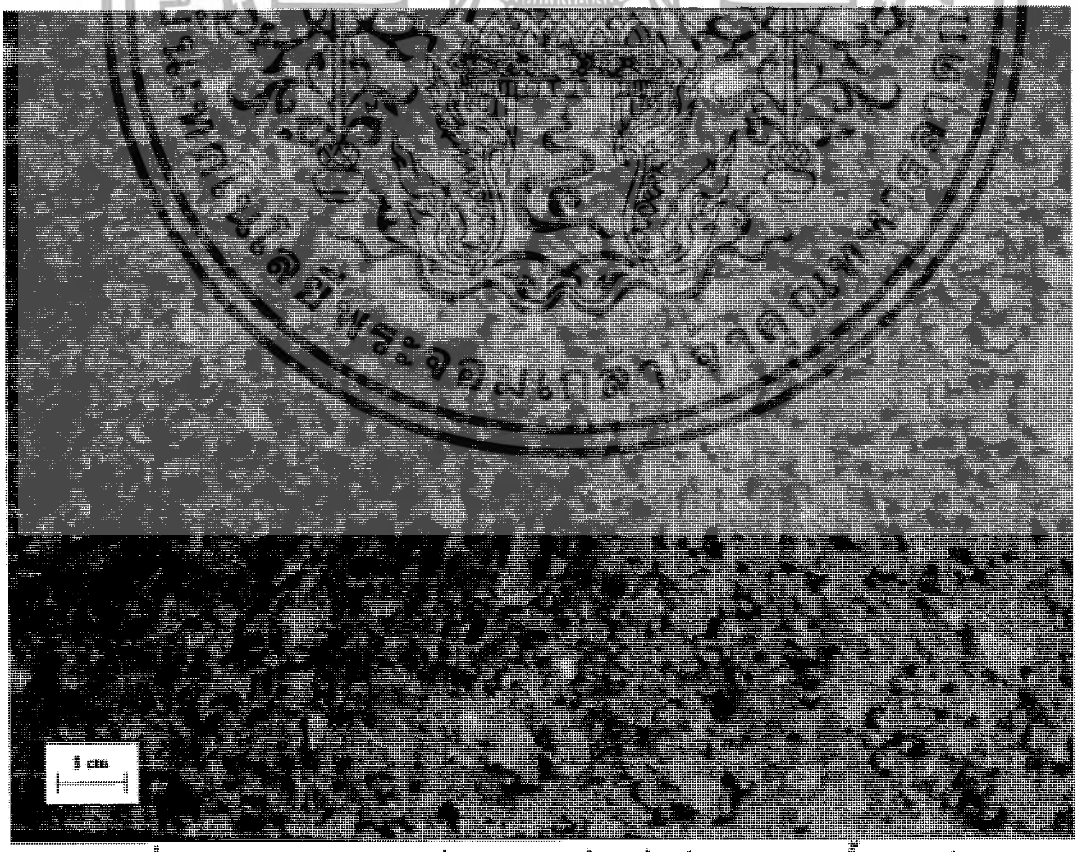
4.1.2 การกระจายตัวของเม็ดยางรถยนต์ รูปที่ 4.2 แสดงการกระจายตัวขององค์ประกอบต่างๆ ในเนื้อคอนกรีตธรรมดา และรูปที่ 4.3 ถึง 4.11 แสดงการกระจายตัวของเม็ดยางรถยนต์ชนิดต่างๆ ในเนื้อคอนกรีตที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

รูปที่ 4.2 การกระจายตัวขององค์ประกอบต่างๆ ในเนื้อคอนกรีตธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

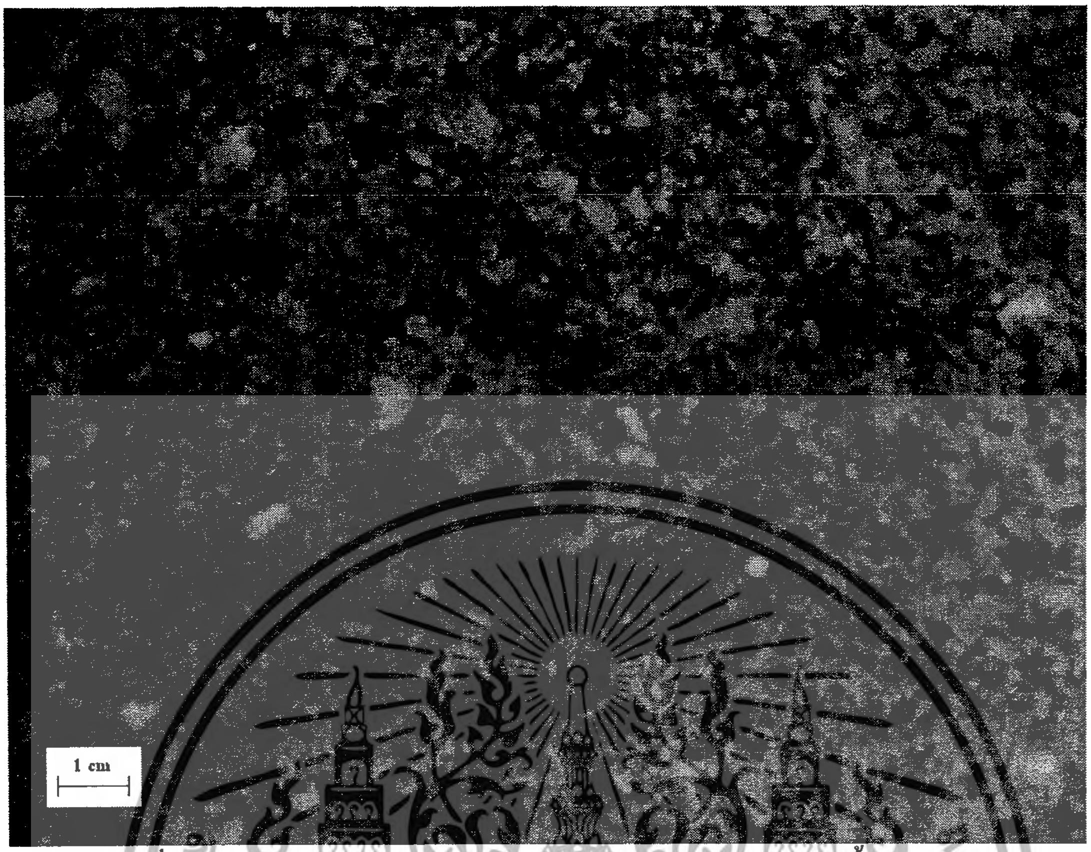


รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 ร้อยละ 10 ในเนื้อคอนกรีต

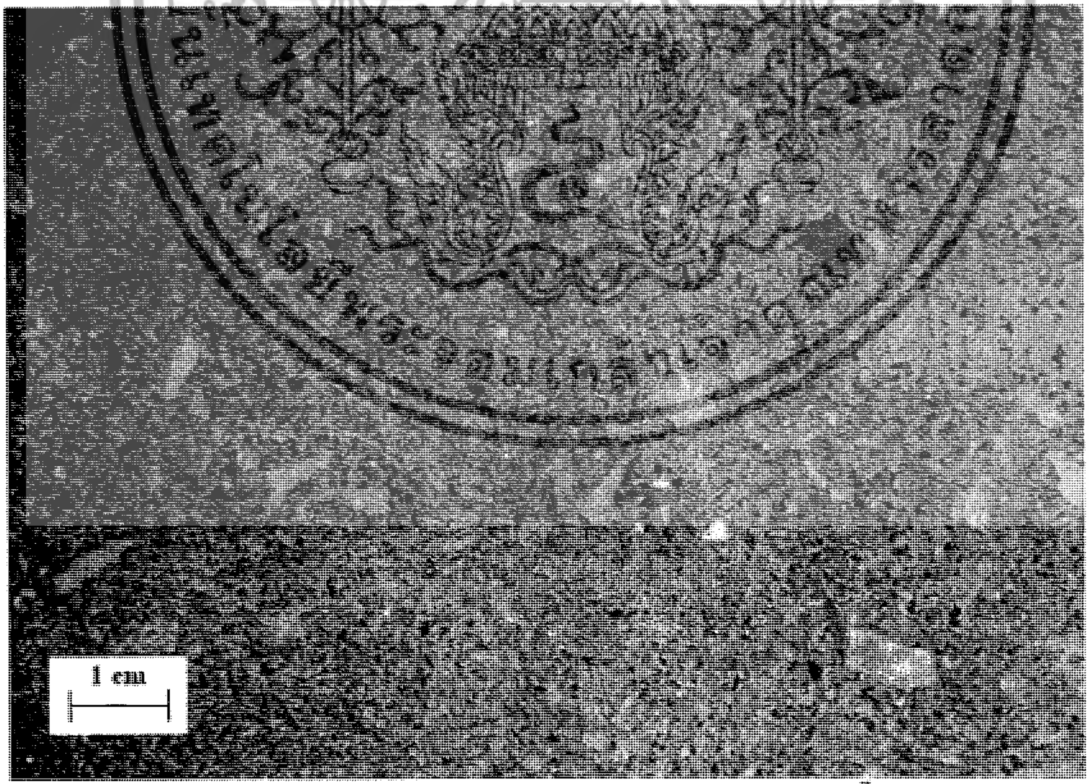


รูปที่ 4.4 การกระจายตัวของเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 ร้อยละ 20 ในเนื้อคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

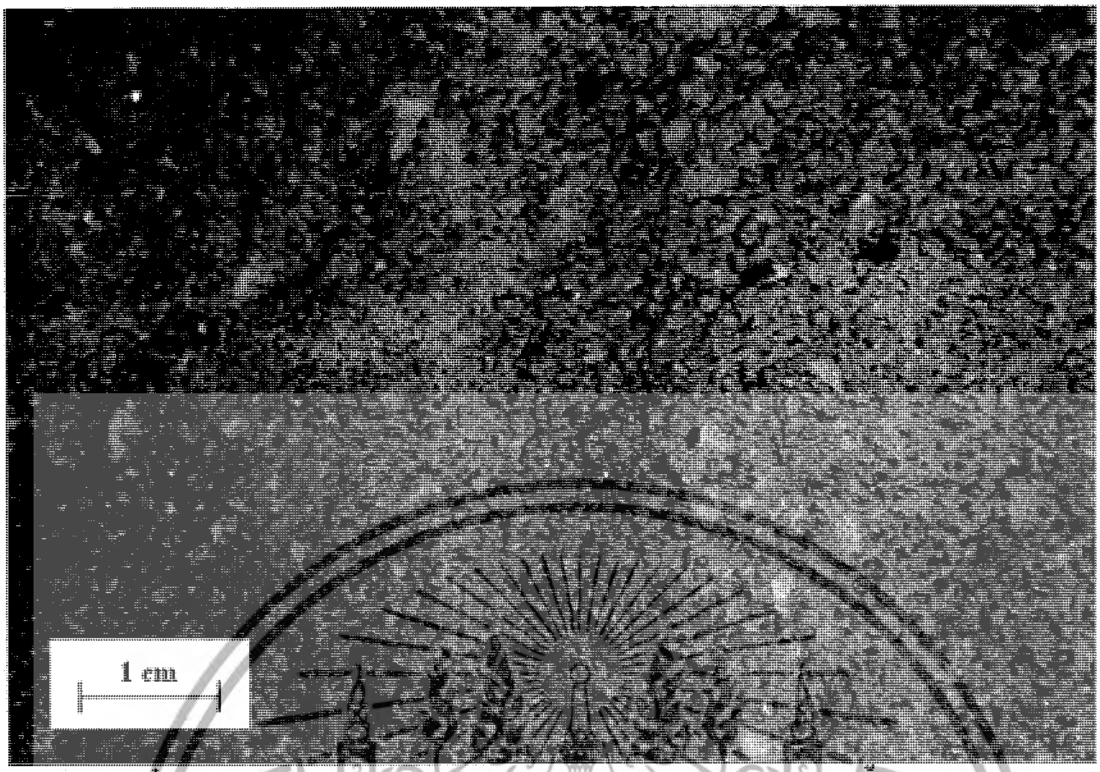


รูปที่ 4.5 การกระจายตัวของเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 ร้อยละ 30 ในเนื้อคอนกรีต

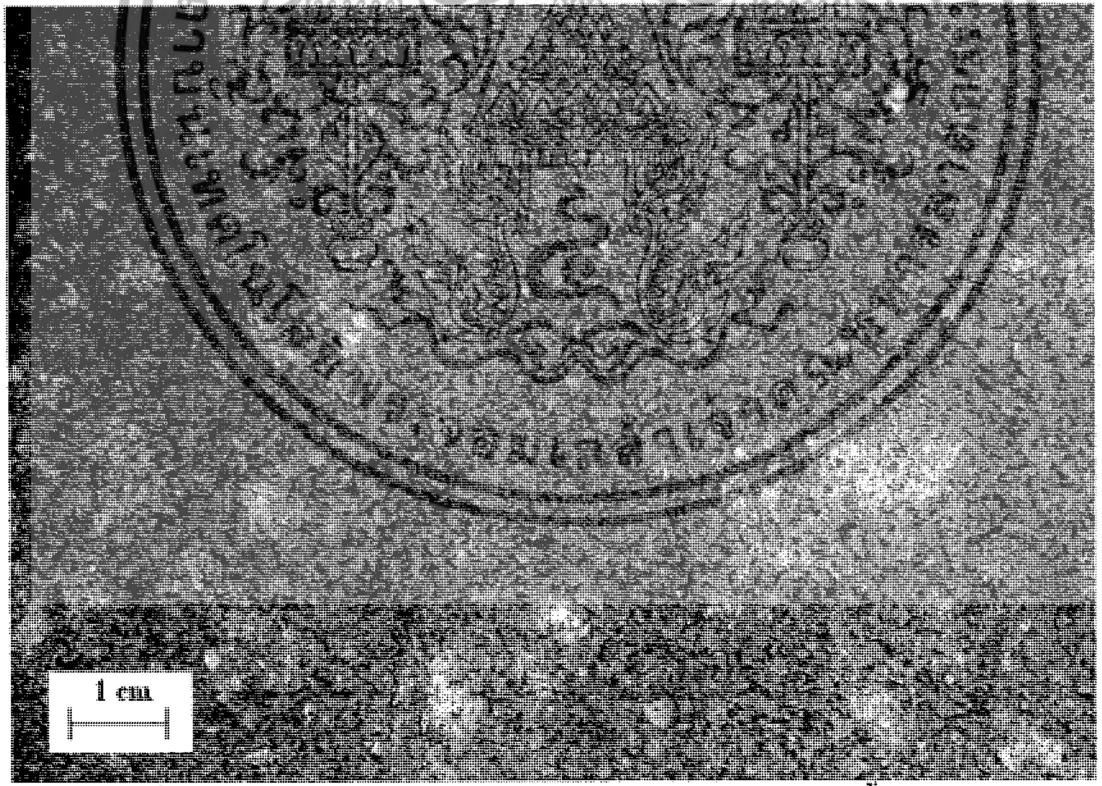


รูปที่ 4.6 การกระจายตัวของเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 20 ร้อยละ 10 ในเนื้อคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

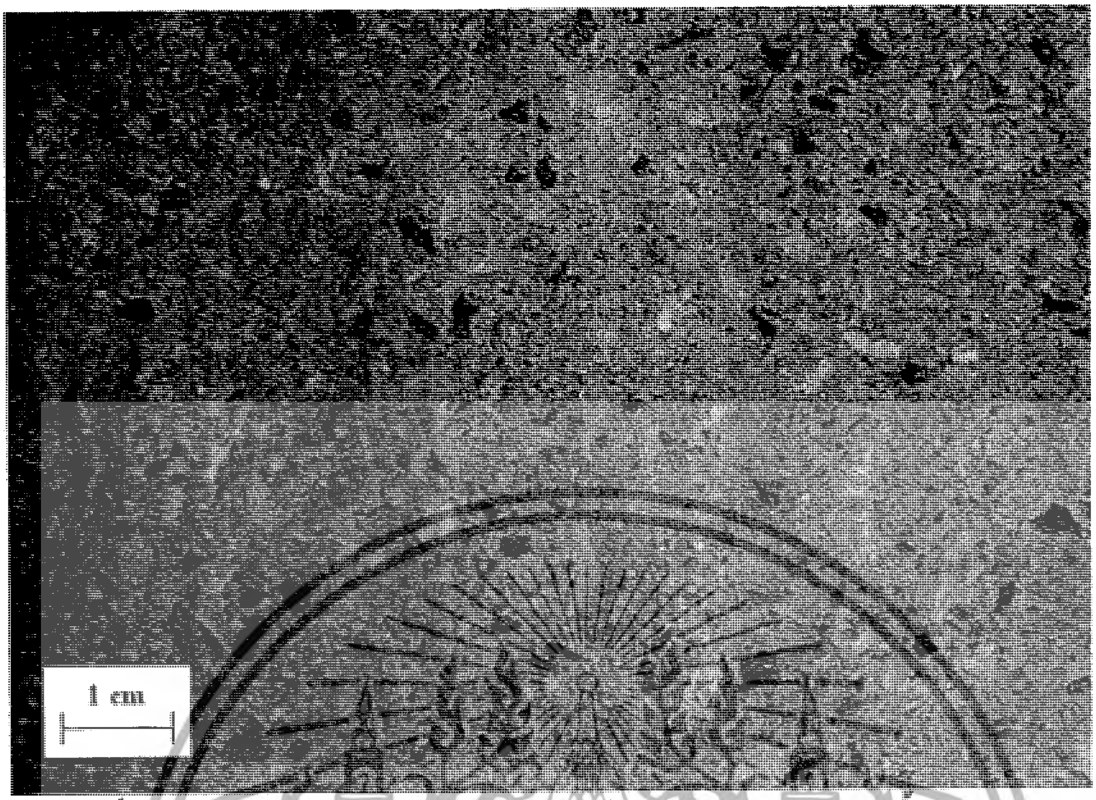


รูปที่ 4.7 การกระจายตัวของเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 20 ร้อยละ 20 ในเนื้อคอนกรีต

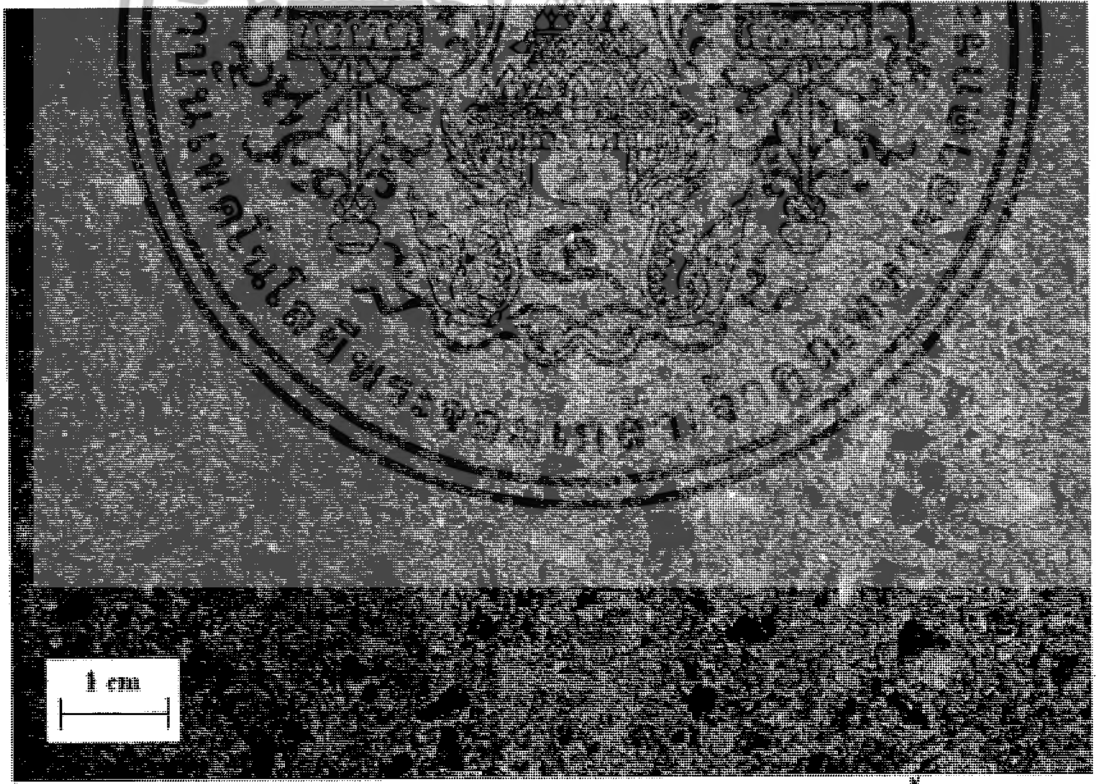


รูปที่ 4.8 การกระจายตัวของเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 20 ร้อยละ 30 ในเนื้อคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

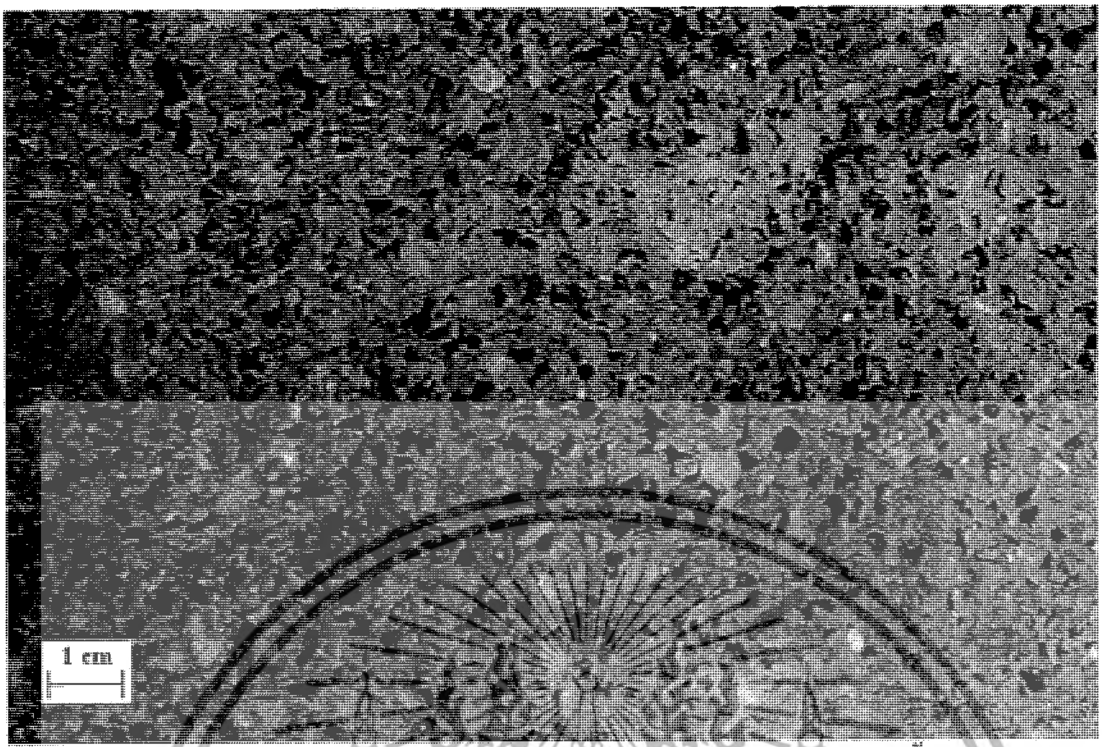


รูปที่ 4.9 การกระจายตัวของเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 และ 20 ร้อยละ 10 ในเนื้อคอนกรีต



รูปที่ 4.10 การกระจายตัวของเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 และ 20 ร้อยละ 20 ในเนื้อคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

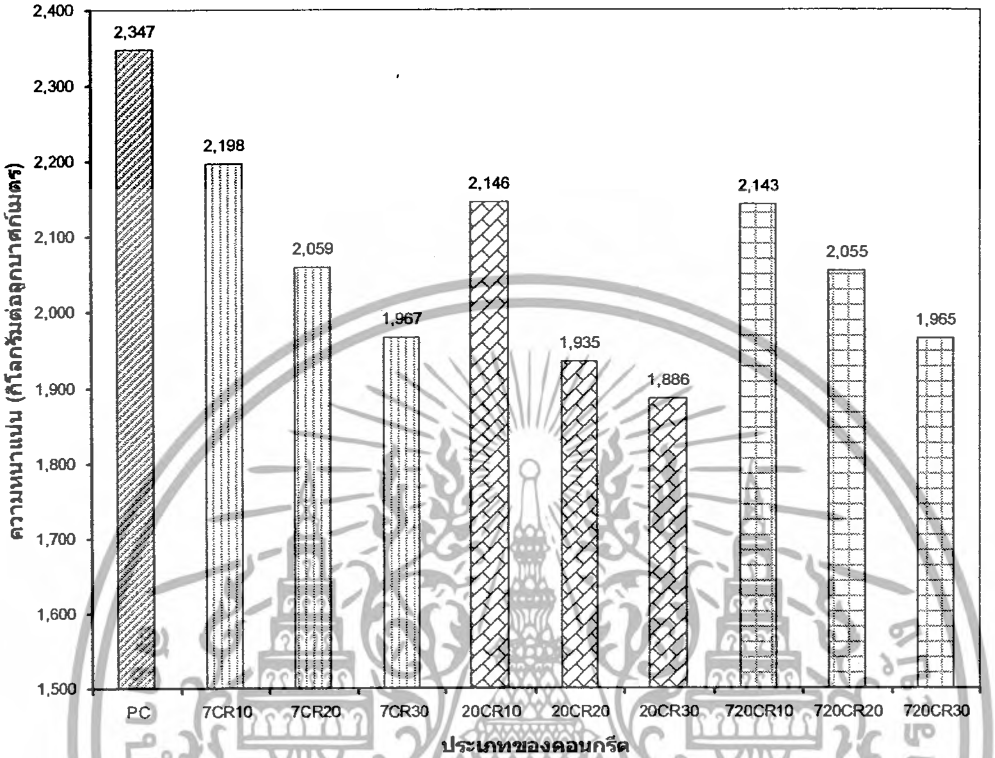


รูปที่ 4.11 การกระจายตัวของเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 และ 20 ร้อยละ 30 ในเนื้อคอนกรีต

เมื่อสังเกตการกระจายตัวของเม็ดยางรถยนต์ในเนื้อคอนกรีต พบว่าสามารถเห็นการกระจายตัวของเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 ได้อย่างชัดเจน เนื่องจากอนุภาคมีขนาดใหญ่ สามารถกระจายตัวได้สม่ำเสมอในช่วงอัตราส่วนร้อยละ 10 และ 20 เมื่ออัตราส่วนเพิ่มเป็นร้อยละ 30 เม็ดยางรถยนต์จะเริ่มกระจายได้ไม่ดีและจับตัวกันอยู่เป็นบางจุด สำหรับเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 20 พบว่าสามารถกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในเนื้อคอนกรีตทุกอัตราส่วนผสม ทั้งนี้เป็นเพราะเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 20 มีขนาดเล็กจึงกระจายตัวแทรกอยู่ระหว่างมวลรวมของเนื้อคอนกรีตได้ดีกว่าเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 นอกจากนี้ยังพบว่าที่อัตราส่วนผสมเม็ดยางรถยนต์มากขึ้น เนื้อคอนกรีตที่ผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 20 จะหลุดร่อนได้ง่ายกว่าเนื้อคอนกรีตที่ผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 และคอนกรีตที่ผสมด้วยเม็ดยางรถยนต์ทั้ง 2 ขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ความหนาแน่น (Density) ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตชนิดต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบความหนาแน่นของคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์

จากรูปที่ 4.12 จะเห็นว่า ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตธรรมดา (PC) จะมีค่าสูงที่สุด คือ 2347 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ เมื่อผสมเม็ดยางรถยนต์ในสัดส่วนที่สูงขึ้นคอนกรีตจะมีความหนาแน่นที่ลดลง โดยที่คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ร้อยละ 10 มีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 2,143 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ถึง 2,198 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ร้อยละ 20 มีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1,935 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ถึง 2,059 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และที่ร้อยละ 30 มีค่าความหนาแน่นต่ำที่สุด คือ ช่วง 1,886 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ถึง 1,967 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

เนื่องจากคุณสมบัติด้านความถ่วงจำเพาะของตัวเม็ดยางรถยนต์ที่ต่ำกว่าวัสดุชนิดอื่นนี้เมื่อนำไปแทนที่มวลรวมละเอียดทำให้ความแน่นของคอนกรีตลดลง และเมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของคอนกรีตที่ผสมเม็ดยางรถยนต์ทั้งสองขนาด ที่ปริมาณเม็ดยางรถยนต์เท่ากัน พบว่า คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 20 มีความหนาแน่นน้อยกว่าคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 และเบอร์ 7 + 20 ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากความถ่วงจำเพาะของเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 20 มีค่าน้อยกว่าเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 เมื่อนำไปผสมในคอนกรีตจึงทำให้ความหนาแน่นรวมมีค่าต่ำกว่า

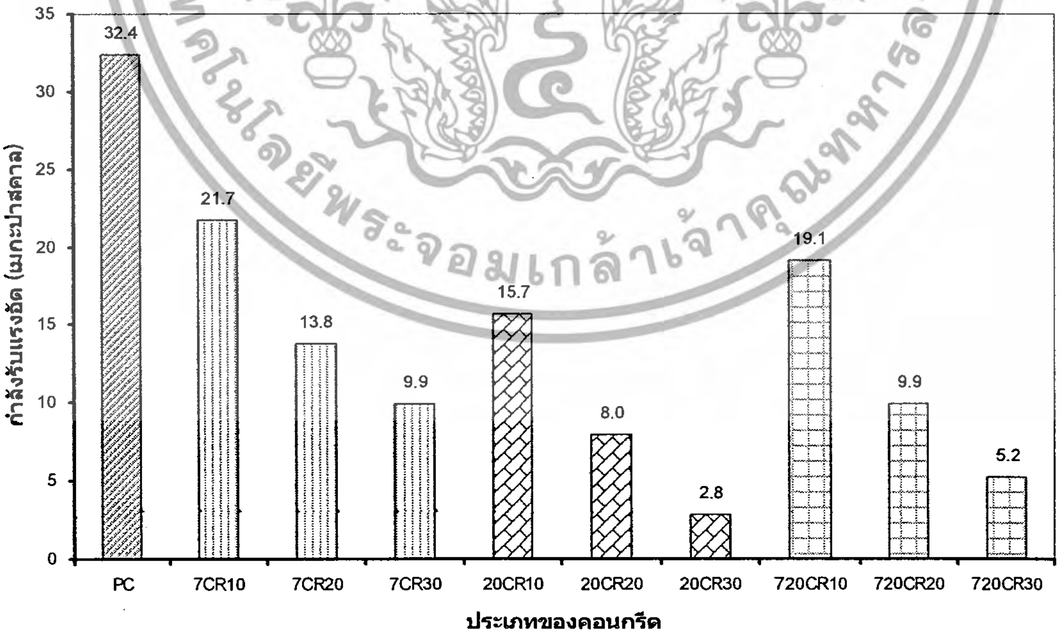
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติเชิงกลในแง่ของกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึง ผลที่เห็นได้ชัด ก็คือ การแทนที่ด้วยเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 20 มีค่ากำลังรับแรงต่ำที่สุดทุกสัดส่วนผสม เนื่องมากจากความหนาแน่นของคอนกรีตที่ต่ำสุดเช่นกัน

4.2 คุณสมบัติเชิงกล

4.2.1 กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ผลการทดสอบการรับแรงอัดแสดงไว้ดัง **รูปที่** 4.13 พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลงตามปริมาณสัดส่วนผสมเม็ดยางรถยนต์ที่เพิ่มขึ้น โดยคอนกรีตธรรมดา (PC) มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงที่สุด รองลงมา คือ คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 + 20 และคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 20 ตามลำดับ

สาเหตุที่ทำให้กำลังของคอนกรีตลดลง สืบเนื่องมาจากเม็ดยางรถยนต์มีกำลังต่ำกว่าทราย เมื่อนำเม็ดยางรถยนต์เข้าไปแทนที่ทรายในปริมาณที่สูงทำให้ค่ากำลังอัดลดลง และการที่คอนกรีตที่มีสัดส่วนผสมของเม็ดยางรถยนต์ขนาดใหญ่เบอร์ 7 และ 7 + 20ให้กำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 20 อาจจะเป็นเพราะเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 มีลักษณะที่เป็นเหลี่ยมมุมมากกว่า (แสดงในบทที่ 3 รูปที่ 3.1) ทำให้มีความสามารถในการหยุดหรือชะลอการเคลื่อนที่ของรอยร้าวได้ดีกว่าเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 20 ที่มีลักษณะผิวเป็นทรงกลม



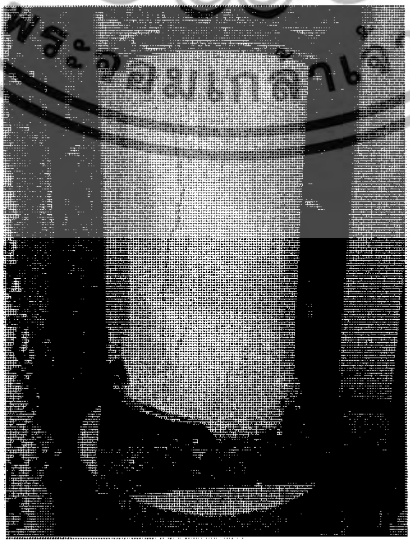
รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับมาตรฐานกรุงเทพมหานครกำหนดไว้ว่าคอนกรีตโครงสร้างต้องมีกำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน อย่างต่ำ 173 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือประมาณ 17 เมกกะปาสคาล ดังนั้น คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานนี้ได้แก่คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 ร้อยละ 10 และคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 + 20 ร้อยละ 10 ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 21.7 เมกกะ-ปาสคาล และ 19.1 เมกกะปาสคาล ตามลำดับ ค่ากำลังรับแรงอัดนี้อยู่ในช่วงเดียวกับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้สำหรับงานโครงสร้างและงานก่อ (บทที่ 2 ตารางที่ 2.2)

4.2.2 รูปแบบการวิบัติของคอนกรีตภายใต้แรงอัด (Failure Patterns of Concrete Subjected to Compressive Loading)

รูปที่ 4.14 ลักษณะการแตกของคอนกรีตธรรมดา



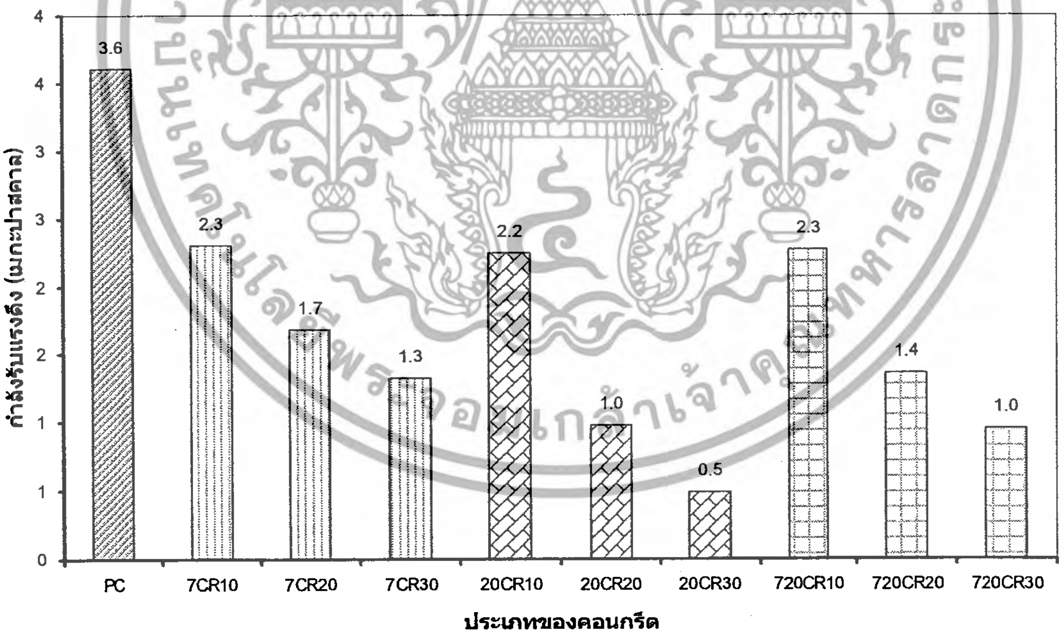
รูปที่ 4.15 ลักษณะการแตกของคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.14 คอนกรีตธรรมดา ลักษณะการแตกร้าวนั้นจะเป็นไปในลักษณะเปราะ (Brittle Failure) คือ มีจำนวนรอยร้าวน้อยและมีขนาดใหญ่ การวิบัติเกิดขึ้นอย่างรุนแรง ชิ้นตัวอย่างจะขาดออกจากกันโดยเห็นได้ชัดเจน

ส่วนรูปที่ 4.15 คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ ตัวอย่าง 7 CR 10 คือ คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 ในสัดส่วนร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก นั้นจะมีลักษณะการวิบัติรุนแรงน้อยกว่าคอนกรีตธรรมดารวมถึงมีจำนวนรอยร้าวขนาดเล็ก (Micro Cracks) มากกว่าหลังการวิบัติ การที่พฤติกรรมของคอนกรีตในช่วงวิบัติไม่รุนแรงและเป็นไปอย่างช้าๆ นั้นเป็นผลมาจากเม็ดยางรถยนต์ที่ผสมอยู่ในคอนกรีตมีความยืดหยุ่นช่วยดูดซับพลังงานได้ ในช่วงของการวิบัติ ซึ่งรูปแบบการวิบัติของคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 ในสัดส่วนอื่นๆ ก็ให้ผลคล้ายกัน

4.2.3 กำลังรับแรงดึง (Tensile Strength) ผลการทดสอบการรับแรงดึงแสดงไว้ดังรูปที่ 4.16 พบว่าเป็นไปในแนวทางเดียวกับการรับแรงอัด คือ คอนกรีตธรรมดาธรรมดา (PC) มีค่ากำลังรับแรงดึงสูงที่สุด จากนั้นกำลังรับแรงอัดจะลดลงตามสัดส่วนผสมเม็ดยางรถยนต์ที่สูงขึ้น สาเหตุเนื่องจากการเพิ่มเม็ดยางรถยนต์เข้าไปในส่วนผสมคอนกรีตทำให้การเกาะตัวกันเกิดได้ยากขึ้นและไม่ดีเท่าคอนกรีตธรรมดา ทำให้แตกร้าวได้ง่ายขณะรับแรงดึง



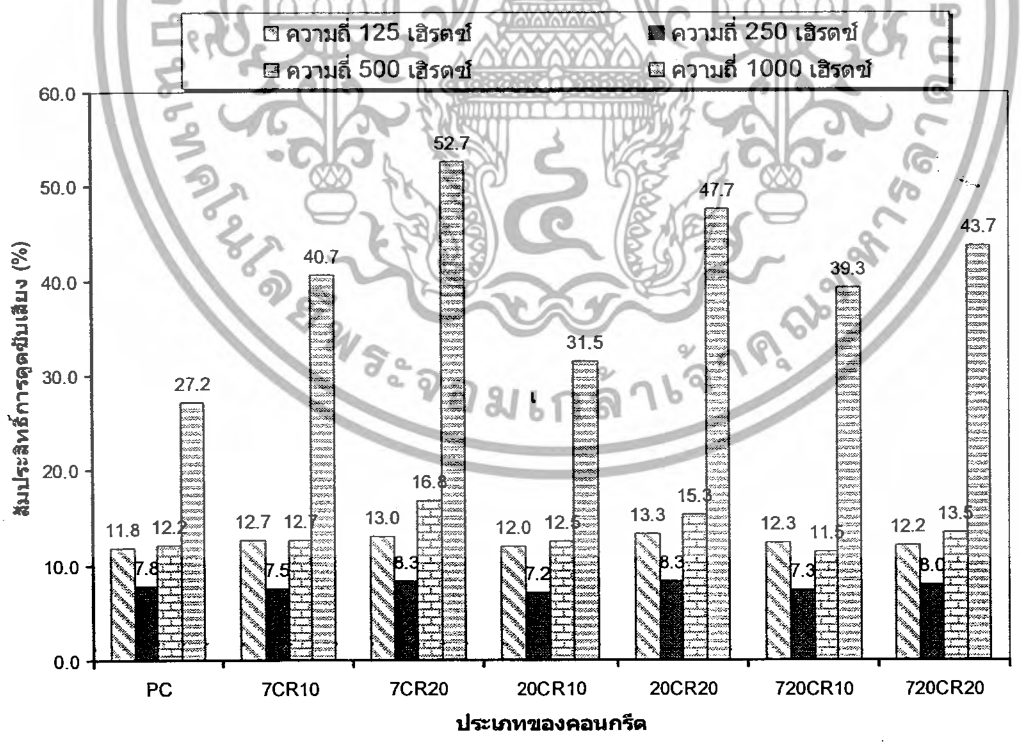
รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 คุณสมบัติการดูดซับเสียง

4.3.1 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Absorption Coefficient (α), %) ผลการทดสอบค่าการดูดซับเสียงของคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ที่ความถี่เสียง 125 เฮิรตซ์ 250 เฮิรตซ์ 500 เฮิรตซ์ และ 1000 เฮิรตซ์ แสดงไว้ดังรูปที่ 4.17 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของคอนกรีตธรรมดา (PC) กับคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ (CR) ที่ความถี่ 125 เฮิรตซ์ ถึงความถี่ 500 เฮิรตซ์ จะมีค่าแตกต่างกันไม่มาก โดยที่คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์มีแนวโน้มที่จะมีความสามารถในการดูดซับเสียงดีกว่าเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น โดยสังเกตได้จากที่ความถี่ 1000 เฮิรตซ์ คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์จะมีการดูดซับเสียงที่ดีกว่าคอนกรีตธรรมดาในทุกกรณี

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ (CR) ด้วยกันที่ความถี่ 1000 เฮิรตซ์ ซึ่งเห็นความแตกต่างของค่าทดสอบชัดเจน พบว่าคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 อัตราส่วนร้อยละ 20 ให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงดีที่สุด คือ มีค่า 52.7 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 20 อัตราส่วนร้อยละ 20 มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง 47.7 เปอร์เซ็นต์ และคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 และเบอร์ 20 อัตราส่วนร้อยละ 20 มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง 43.7 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

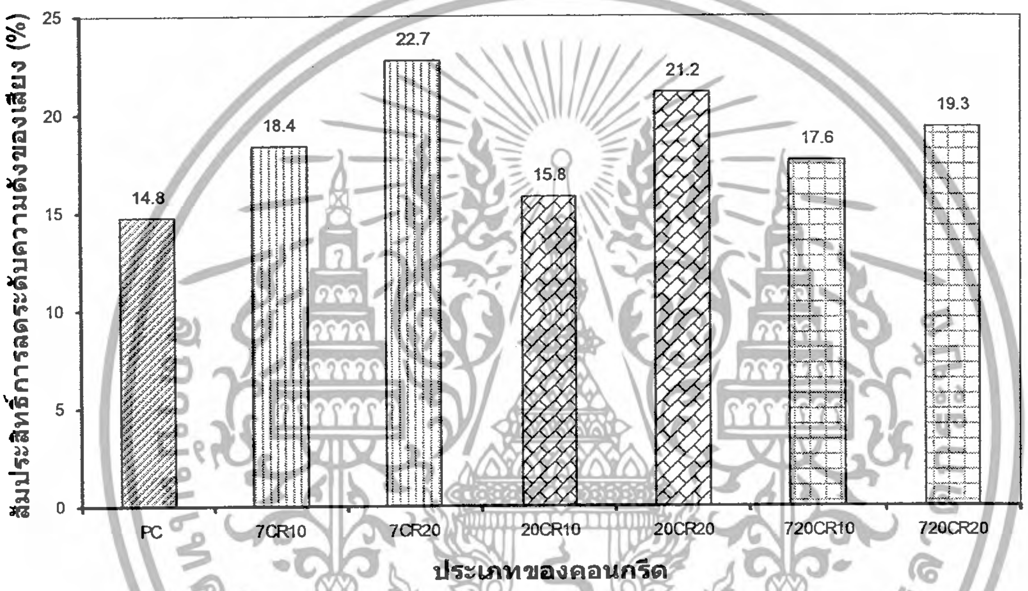


รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์อัตราส่วนร้อยละ 30 นั้นไม่ได้นำมาพิจารณาด้านการดูดซับเสียงด้วยเนื่องจากค่ากำลังอัดที่ต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดาถึงร้อยละ 69.5 นอกจากนี้องค์ประกอบในเนื้อคอนกรีตยังจับตัวกันได้ไม่ดี ทำให้ไม่เหมาะแก่การนำมาใช้งาน

4.3.2 ค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง (Noise Reduction Coefficient, NCR) เป็นค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงในแต่ละความถี่ ซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดที่แสดงให้เห็นถึงการดูดกลืนเสียงของวัสดุได้ดีกว่าดัชนีตัวอื่น รูปที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียงของคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์อัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียงของคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์

จากรูปที่ 4.18 พบว่าว่าคอนกรีตธรรมดา (PC) ที่ไม่ได้ใส่เม็ดยางรถยนต์มีความสามารถในการลดระดับความดังของเสียงต่ำที่สุด คือ มีค่าเท่ากับร้อยละ 15 ซึ่งหมายความว่า ถ้ามีระดับความดังของเสียงเท่ากับ 100 เดซิเบล กระทบกับผิวคอนกรีตเสียงที่หูได้ยินจะเท่ากับ 85 เดซิเบล

ส่วนพฤติกรรมของคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์มีความสามารถในการลดระดับความดังของเสียงได้ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 20 ด้วยกันแล้วพบว่าคอนกรีตที่ผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 มีสามารถลดระดับความดังของเสียงได้ดีที่สุด คือ มีค่าเท่ากับร้อยละ 23 หมายความว่า ถ้ามีระดับความดังของเสียงเท่ากับ 100 เดซิเบล กระทบกับผิวคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ เสียงที่หูได้ยินจะเท่ากับ 77 เดซิเบล รองลงมาคือ คอนกรีตที่มีส่วนผสมของเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 20 สามารถลดระดับความดังของเสียงได้ เท่ากับร้อยละ 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายความว่า ถ้ามีระดับความดังของเสียงเท่ากับ 100 เดซิเบล กระทบกับผิวคอนกรีต เสียงที่หูได้ยินจะเท่ากับ 79 เดซิเบล ในลำดับสุดท้ายเป็นคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 และเบอร์ 20 มีความสามารถลดระดับความดังของเสียง เท่ากับร้อยละ 19 หมายความว่า ถ้ามีระดับความดังของเสียงเท่ากับ 100 เดซิเบล กระทบกับผิวคอนกรีต เสียงที่หูได้ยินจะเท่ากับ 81 เดซิเบล

การที่คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์มีความสามารถในการดูดซับเสียงดีกว่าคอนกรีตธรรมดา เนื่องมาจากการผสมเม็ดยางรถยนต์ในคอนกรีตทำให้ความหนาแน่นลดลงและเกิดรูพรุนขึ้นในเนื้อคอนกรีต ทำให้การส่งผ่านคลื่นเสียงเกิดได้ยากขึ้น อีกทั้งพลังงานเสียงที่มีความถี่สูงสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนได้ เมื่อวัสดุเม็ดยางรถยนต์มีความสามารถในการดูดซับความร้อนได้ดี จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง มีค่าสูงตามปริมาณสัดส่วนเม็ดยางรถยนต์ที่เพิ่มขึ้น พอสรุปได้ว่า คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์มีคุณสมบัติด้านการดูดซับเสียง (Sound Absorption) ที่ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การผสมเม็ดยางรถยนต์เข้าไปในคอนกรีตส่งผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตต่างๆ กันไป ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณเม็ดยางรถยนต์ โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 สมบัติเชิงกายภาพ

5.1.1.1 การผสมเม็ดยางรถยนต์ในปริมาณสูง ทำให้ความสามารถเทได้ของคอนกรีตลดลง เมื่อวัดค่าการยุบตัวคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์จะมีค่าน้อยกว่าคอนกรีตธรรมดาทุกสัดส่วนผสม และมีค่าน้อยลงตามสัดส่วนเม็ดยางรถยนต์ที่เพิ่มขึ้น โดยคอนกรีตที่ผสมเม็ดยางรถยนต์ขนาดเล็ก (เบอร์ 20) จะมีค่าการยุบตัวน้อยกว่าคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ขนาดใหญ่ (เบอร์ 7)

5.1.1.2 ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ลดลงตามปริมาณสัดส่วนเม็ดยางรถยนต์ที่เพิ่มขึ้น คอนกรีตที่ผสมเม็ดยางรถยนต์ขนาดเล็ก (เบอร์ 20) จะมีความหนาแน่นน้อยกว่าคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ขนาดใหญ่ (เบอร์ 7)

5.1.1.3 การกระจายตัวของเม็ดยางรถยนต์ขนาดเล็ก (เบอร์ 20) ในเนื้อคอนกรีตจะเกิดขึ้นได้ดีกว่าเม็ดยางรถยนต์ขนาดใหญ่ (เบอร์ 7) เมื่อสัดส่วนเม็ดยางรถยนต์เพิ่มขึ้น และคอนกรีตที่ผสมเม็ดยางรถยนต์ขนาดเล็กจะเกิดการแตกร่อนได้ง่ายกว่า

5.1.2 สมบัติเชิงกล

5.1.2.1 กำลังอัดของคอนกรีตธรรมดาสูงกว่าคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ทุกสัดส่วนผสม ค่ากำลังอัดจะลดลงตามสัดส่วนผสมเม็ดยางรถยนต์ที่เพิ่มขึ้น โดยคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ขนาดใหญ่ (เบอร์ 7) จะให้ค่ากำลังอัดที่สูงกว่าคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ขนาดเล็ก (เบอร์ 20) เมื่อสัดส่วนผสมเท่ากัน

5.1.2.2 เมื่อวิเคราะห์ลักษณะการแตกร้าวของแท่งคอนกรีตขณะกำลังอัด พฤติกรรมหลังการแตกร้าวของคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์มีลักษณะแตกต่างจากคอนกรีตธรรมดาในแง่ของความเสียหายที่เกิดขึ้นช้ากว่าและรูปแบบการวิบัติที่ไม่รุนแรง

5.1.2.3 กำลังดึงของคอนกรีตธรรมดาสูงกว่าคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ทุกสัดส่วนผสมเช่นเดียวกับค่ากำลังอัด ซึ่งค่ากำลังดึงจะลดลงตามสัดส่วนผสมเม็ดยางรถยนต์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มขึ้น โดยคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ขนาดใหญ่ (เบอร์ 7) จะให้ค่ากำลังดึงที่สูงกว่าคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ขนาดเล็ก (เบอร์ 20) เมื่อสัดส่วนผสมเท่ากัน

5.1.3 สมบัติการดูดซับเสียง

5.1.3.1 คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ (CR) มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงใกล้เคียงกับคอนกรีตธรรมดา (PC) ที่ความถี่เสียงต่ำ (125 ถึง 500 เฮิรตซ์) แต่ที่ความถี่สูงขึ้น (1000 เฮิรตซ์) สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์มีแนวโน้มมากขึ้นและมีค่ามากกว่าคอนกรีตธรรมดาทุกสัดส่วนผสม โดยค่าสัมประสิทธิ์ดูดซับเสียงจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณอัตราส่วนผสมเม็ดยางรถยนต์ คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 อัตราส่วนร้อยละ 20 มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงมากที่สุด คือ 52.7 เปอร์เซ็นต์

5.1.3.2 เมื่อพิจารณาถึงดัชนีที่ใช้วัดอีกอย่างหนึ่ง คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง (NRC) พบว่าคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์สามารถลดระดับความดังของเสียงได้มากกว่าคอนกรีตธรรมดาทุกสัดส่วนผสม โดยคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 อัตราส่วนร้อยละ 20 สามารถลดระดับความดังของเสียงได้มากที่สุดคือ 23 เปอร์เซ็นต์

จากข้อสรุปสมบัติของคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ที่กล่าวมาข้างต้น อัตราส่วนผสมของเม็ดยางรถยนต์และขนาดของเม็ดยางรถยนต์ที่ใช้มีผลโดยตรงต่อสมบัติของคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ โดยอัตราส่วนผสมของเม็ดยางรถยนต์ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้สมบัติเชิงกลลดลง ขณะที่สมบัติการดูดซับเสียงดีขึ้น ซึ่งผลที่ได้ตรงกับงานวิจัยของสมยศ [1]

เป็นที่น่าสังเกตว่า ขนาดของเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 และเบอร์ 20 ซึ่งมีขนาดต่างกันเพียง 1.93 มิลลิเมตร กลับมีผลต่อสมบัติของคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ค่อนข้างมากเมื่อเทียบจากผลการทดสอบที่อัตราส่วนผสมของเม็ดยางรถยนต์เท่ากัน สาเหตุที่สมบัติของคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ทั้งสองขนาดมีผลต่างกันอาจพิจารณาจากลักษณะการแทรกตัวของเม็ดยางรถยนต์ในเนื้อคอนกรีต เม็ดยางรถยนต์ที่ผสมเข้าไปจะไปแทนที่มวลรวมละเอียดซึ่งก็คือทรายหยาบ ขนาดที่แตกต่างกันระหว่างเม็ดทรายและเม็ดยางรถยนต์จึงเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อลักษณะการแทนที่ของเม็ดยางรถยนต์ในเนื้อคอนกรีต

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบขนาดของเม็ดทรายและเม็ดยางรถยนต์สองขนาด

วัสดุ	ขนาด (มิลลิเมตร)
ทรายหยาบ	0.3 - 0.6
เม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7	2.79
เม็ดยางรถยนต์เบอร์ 20	0.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.1 เม็ดยางรถยนต์เบอร์ 20 ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับเม็ดทราย จะมีลักษณะการกระจายตัวคละปนไปกับทรายอย่างสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน (รูปที่ 4.6 ถึง 4.8) ในขณะที่เม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าเม็ดทรายจะแทรกตัวอยู่ในเนื้อคอนกรีตเป็นจุดสามารถมองเห็นได้ชัดเจน (รูปที่ 4.3 ถึง 4.5) ลักษณะการแทรกตัวในเนื้อคอนกรีตของเม็ดยางรถยนต์ที่ต่างกันนี้เป็นผลให้สมบัติของคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ทั้งสองขนาดต่างกัน

นอกจากนี้ รูปทรงของเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 ซึ่งมีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุมมากกว่าเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 20 ก็เป็นตัวแปรหนึ่งที่ทำให้สมบัติของคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ทั้งสองขนาดต่างกัน ซึ่งในส่วนนี้ต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

5.2 การพิจารณาเลือกคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เพื่อใช้เป็นวัสดุดูดซับเสียงและการวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์

5.2.1 การพิจารณาเลือกคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เพื่อใช้เป็นวัสดุดูดซับเสียงและเปรียบเทียบสมบัติกับวัสดุดูดซับเสียงอื่นๆ

วัสดุที่เหมาะสมในการเลือกใช้เป็นฉนวนดูดซับเสียงเมื่อพิจารณาในแง่ของการลดระดับความดังของเสียงแล้วจะเห็นว่า คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 อัตราส่วนร้อยละ 20 มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีค่าการลดระดับความดังของเสียงสูงที่สุด คือ 23 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อพิจารณารวมไปถึงสมบัติเชิงกลเช่น ค่ากำลังรับแรงอัด มีค่าเท่ากับ 13.8 เมกกะปาสคาล ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานสำหรับงานโครงสร้าง ดังนั้นคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 ร้อยละ 20 จึงเหมาะจะใช้เป็นวัสดุดูดซับเสียงที่ไม่ใช่โครงสร้างรับแรง เช่น ผนังกันเสียงริมถนน เป็นต้น

ในกรณีที่ต้องการใช้เป็นวัสดุโครงสร้าง เช่น ผนังกั้นภายในอาคาร แผ่นคอนกรีตปูพื้น อาจพิจารณาเลือกใช้คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 อัตราส่วนร้อยละ 10 ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัด 21.7 เมกกะปาสคาล และมีค่าการลดระดับความดังของเสียง 18 เปอร์เซ็นต์

เมื่อทำการเปรียบเทียบสมบัติการลดระดับความดังของเสียงของคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์กับวัสดุก่อสร้างและวัสดุดูดซับเสียงอื่นๆ ที่มีขายในท้องตลาด ดังตารางที่ 5.2 พบว่า คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ทั้ง 2 แบบ มีค่าการลดระดับความดังของเสียงอยู่ในเกณฑ์ปานกลางเมื่อเทียบกับวัสดุดูดซับเสียงอื่นๆ ค่าการลดระดับเสียงนี้อาจเพิ่มขึ้นได้อีกโดยการเพิ่มอัตราส่วนผสมเม็ดยางรถยนต์ลงไป ซึ่งต้องมีการศึกษาค้นคว้าต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียงของวัสดุดูดซับเสียงแต่ละประเภท [7]

วัสดุดูดซับเสียง	สัมประสิทธิ์การลดระดับเสียง
คอนกรีตธรรมดา	0.00 - 0.20
ผนังคอนกรีตบุด้วยพรมหนา	0.20 - 0.30
คอนกรีตมวลเบา	0.40 – 0.60
โฟมพอลิยูรีเทน	0.30
ผนังไม้	0.05 – 0.15
ไฟเบอร์กลาสหนา 1 นิ้ว	0.50 – 0.75
ซาวน์ดบอร์ดหนา 1/2 นิ้ว	0.20
กระจก	0.05 – 0.10
คอนกรีตผสมเส้นใยแก้ว (Glass Fiber Reinforced Concrete)	0.40 – 0.70
คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 ร้อยละ 10	0.18
คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 ร้อยละ 20	0.23

สำหรับสมบัติเชิงกลด้านความแข็งแรงของวัสดุดูดซับเสียงที่เป็นวัสดุโครงสร้างที่ต้องรับแรง ได้มีการเปรียบเทียบไว้ดังตารางที่ 5.3 จะเห็นว่า ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ยังมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตทั่วไปที่ใช้ในงานก่อสร้าง โดยเฉพาะเมื่ออัตราส่วนเม็ดยางรถยนต์สูงทำให้ยังไม่สามารถประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างโครงสร้างใหญ่ๆ ได้

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของวัสดุโครงสร้างดูดซับเสียง [2]

วัสดุโครงสร้างดูดซับเสียง	กำลังรับแรงอัด (เมกกะปาสคาล)
คอนกรีตธรรมดา	30 – 50
คอนกรีตมวลเบา	18 – 47
คอนกรีตผสมเส้นใยแก้ว	20 -35
คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 ร้อยละ 10	13.8
คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 ร้อยละ 20	21.7

ข้อสังเกตประการหนึ่งเกี่ยวกับวัสดุดูดซับเสียง คือ วัสดุดูดซับเสียงส่วนใหญ่มีลักษณะการใช้งานโดยการบุหรือปิดทับผนังเดิมที่มีอยู่เพื่อช่วยลดระดับเสียง เช่น พอลิยูรีเทน ไฟเบอร์กลาส ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุดูดซับเสียงที่เป็นวัสดุโครงสร้างในตัว เช่น คอนกรีตมวลเบา คอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผสมเม็ดยางรถยนต์ วัสดุดูดซับเสียงที่เป็นวัสดุโครงสร้างจะมีข้อได้เปรียบกว่า เนื่องจากสามารถดูดซับเสียงได้เองโดยไม่ต้องหาวัสดุอื่นมาบุหรือปิดทับ ทำให้ประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง

5.2.2 การวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์

ต้นทุนของคอนกรีตคิดต่อลูกบาศก์เมตรของคอนกรีตสามารถคำนวณได้ดังนี้

ต้นทุนต่อลูกบาศก์เมตร = ราคาปูน + ราคาทราย + ราคาหิน + ราคาเม็ดยางรถยนต์ + ค่าแรงงาน
(ราคาวัสดุทั้งหมดเป็นราคาค่าวัสดุที่ใช้หล่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร)

ต้นทุนของคอนกรีตแต่ละประเภทแสดงได้ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ราคาของคอนกรีตแต่ละประเภท

วัสดุโครงสร้างดูดซับเสียง	ราคา (บาท)
คอนกรีตธรรมดา	3,004
คอนกรีตมวลเบา	4,256
คอนกรีตผสมเส้นใยแก้ว	3,500
คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 ร้อยละ 10	3,239
คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 ร้อยละ 20	4,618

จากตาราง 5.4 จะเห็นว่า ราคาของคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ยังอยู่ในเกณฑ์สูงเมื่อเทียบกับคุณภาพในการป้องกันเสียงและสมบัติเชิงกล โดยราคาจะแพงขึ้นตามอัตราส่วนเม็ดยางรถยนต์ที่ผสมเพิ่มเข้าไปเนื่องจากเม็ดยางรถยนต์มีราคาแพงกว่าวัสดุอื่นๆ ค่อนข้างมาก จึงยังไม่เหมาะสำหรับใช้ในงานก่อสร้างที่ต้องใช้คอนกรีตในปริมาณมาก

5.2.3 การนำวัสดุดูดซับเสียงไปใช้งาน

ส่วนผสมของคอนกรีตคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 อัตราส่วนร้อยละ 10 และคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 อัตราส่วนร้อยละ 20 ซึ่งถูกนำมาใช้งานเป็นวัสดุดูดซับเสียงแสดงในตารางที่ 5.5 โดยเปรียบเทียบกับส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 สัดส่วนผสมของคอนกรีตแต่ละประเภท

ประเภทของคอนกรีต	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร					ลักษณะการใช้งาน
	เม็ดยางรถยนต์ เบอร์ 7	ซีเมนต์	มวลรวมหยาบ	มวลรวมละเอียด	น้ำ	
PC	0	416.7	745.2	953.5	225	ใช้สำหรับงานก่อสร้างทั่วไป
7 CR10	95.3	416.7	745.2	858.2	225	วัสดุดูดซับเสียงและใช้เป็นวัสดุโครงสร้าง
7 CR20	190.7	416.7	745.2	762.8	225	วัสดุดูดซับเสียงที่ไม่ใช่โครงสร้างรับแรง

ทำการคำนวณหาระดับเสียงที่ลดลงในพื้นที่ชุมชน 3 แห่งที่มีระดับเสียงเกินค่ามาตรฐานจากตารางที่ 1.1 ได้แก่ วงเวียน 22 กรกฎา ถนนสันติภาพ สถานีไฟฟ้าย่อย ถนนอินทรพิทักษ์ เขตธนบุรี และย่านพาหุรัด ถนนตรีเพชร เขตพระนคร เมื่อมีการใช้คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ทั้ง 2 ประเภทเป็นวัสดุดูดซับเสียง ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ระดับเสียงที่ลดลงเมื่อใช้วัสดุดูดซับเสียงคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์

ลำดับที่	สถานที่	ระดับเสียงเมื่อไม่ใช้วัสดุดูดซับเสียง (เดซิเบล)	ระดับเสียงเมื่อใช้วัสดุดูดซับเสียง 7CR10 (เดซิเบล)	ระดับเสียงเมื่อใช้วัสดุดูดซับเสียง 7CR20 (เดซิเบล)
1.	วงเวียน 22 กรกฎา ถนนสันติภาพ	71.0 – 78.5	57.9 – 64.1	54.9 - 60.7
2.	สถานีไฟฟ้าย่อย ถนนอินทร- พิทักษ์ เขตธนบุรี	70.8 – 77.7	57.8 – 63.4	54.7 – 60.1
3.	พาหุรัด ถนนตรีเพชร เขตพระนคร	70.8 – 79.0	57.8 – 64.5	54.7 – 61.1

ค่าระดับเสียงมาตรฐานอยู่ที่ 70 เดซิเบล ดังนั้นจากตารางที่ 5.6 การใช้คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เป็นวัสดุดูดซับเสียงสามารถลดระดับเสียงให้ต่ำกว่ามาตรฐานได้ในพื้นที่ทั้ง 3 แห่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะ

วัสดุดูดซับเสียงคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ที่ได้ยังจัดว่าด้อยกว่าวัสดุดูดซับเสียงทั่วไปที่มีขายอยู่ในท้องตลาด ทั้งในด้านราคาและด้านคุณภาพ ซึ่งข้อบกพร่องที่สำคัญ คือ สมบัติเชิงกลที่ด้อยกว่าคอนกรีตธรรมดา รวมถึงสมบัติด้านการประสานตัวกับองค์ประกอบอื่น ในขณะหล่อคอนกรีต ดังนั้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนนี้เพื่อปรับปรุงข้อบกพร่องและควรมีการทดลองใช้เม็ดยางรถยนต์ขนาดอื่นๆ เพิ่มเติมเนื่องจากคณะผู้วิจัยเห็นว่าขนาดของเม็ดยางรถยนต์ที่ต่างกันมีผลค่อนข้างมากต่อสมบัติของคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์ที่ได้ จึงเห็นว่าควรทดลองเพื่อหาขนาดเม็ดยางรถยนต์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่สุดทั้งทางด้านสมบัติเชิงกลและสมบัติด้านการดูดซับเสียง นอกจากนี้ควรหาวิธีลดต้นทุนการผลิตลงเพื่อให้สามารถพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์ต่อไป

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. สมยศ วิวัฒน์พัฒนพงศ์. "คอนกรีตมวลเบาปานกลางผสมเม็ดยาง". วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2548

2. วินิต ช่อวิเชียร. "คอนกรีตเทคโนโลยี". สำนักพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัด ป.สัมพันธ์พาณิชย์, 2544

3. ปีติ สุคนธสุขกุล, เฉลิมพล ไชยแก้ว. "คอนกรีตบล็อกผสมเม็ดยางรีไซเคิล". ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

4. หน่วยเทคโนโลยียาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (ศาลายา) จังหวัดนครปฐม. "ชนิดของยางและการใช้งาน." [Online]
: http://rubber.sc.mahidol.ac.th/rubbertech/NR.htm.

5. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. "ระดับเสียงในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ประจำปี 2549." [Online]
: http://www.aqnis.pcd.go.th/noise/noise/bkk-year/bkk_year_2549th.html.

6. Quality Construction Products Public Co.,Ltd. "คุณสมบัติพิเศษของคอนกรีตมวลเบา QCON." [Online] : http://www.qcon.co.th/feature.htm

7. NRCrating.com "Noise Reduction Coefficients (NRC) for Common Building Materials" [Online] : http://www.nrcratings.com/nrc.html

8. Ali R. Khaloo , M. Dehestani, P. Rahmatabadi. "Mechanical properties of concrete containing a high volume of tire–rubber particles." Waste Management, (2008).

9. A. Benazzouk, O. Douzane, K. Mezreb, M. Queéneudec. "Physico-mechanical properties of aerated cement composites containing shredded rubber waste." Cement & Concrete Composites, 28 (2006) 650–657.

10. Zhou Hong, Li Bo, Huang Guangsu, He Jia. "A novel composite sound absorber with recycled rubber particles." Journal of Sound and Vibration, 304 (2007) 400–406.

11. M.J. Swift, P. BrisÏ, K.V. Horoshenkov. "Acoustic absorption in re-cycled rubber granulate." Applied Acoustics, 57 (1999) 203-212.

12. Ming Lokitsangtong, Pongsak Kummol. "Evaluation of Acoustic Absorption Coefficient of Materials Using a Standing Wave Tube." การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20 18-20 ตุลาคม 2549 จังหวัดนครราชสีมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. K.V. Horoshenkov, M.J. Swift. "The effect of consolidation on the acoustic properties of loose rubber granulates." Applied Acoustics, 62 (2001) 665-690.

14. School of Civil Engineering, Institute of Industrial Technology, Suranaree University of Technology. "Mix Design and Mixing of Concrete by Mechanical Mixer." [Online] : http://www.sut.ac.th/Engineering/Civil/CourseOnline/430311/C71_MixDesign.htm.

15. B. Topcu and N. Avcular. "ANALYSIS OF RUBBERIZED CONCRETE AS A COMPOSITE MATERIAL." Cement and Concrete Research, Vol. 27, No. 8, (1997) 1135 – 1139.

16. C. Albano, N. Camacho, J. Reyes, J.L. Feliu, M. Herna.ndez. "Influence of scrap rubber addition to Portland I concrete composites: Destructive and non-destructive testing." Composite Structures 71 (2005) 439–446.

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การคำนวณสำหรับออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1 คุณสมบัติของส่วนผสมที่ใช้

ปูนซีเมนต์ : ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.15

มวลรวมหยาบ : หินเกล็ดขนาด 3/8 นิ้ว (10 มิลลิเมตร.) หน่วยน้ำหนักในสภาพแห้งและกระทุ้งแน่น เท่ากับ 1,612.00 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.69

มวลรวมละเอียด : ทรายขนาด 0.3 - 0.6 มิลลิเมตร โมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.80 มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.6

ก.2 ขั้นตอนการออกแบบ

ACI Committee 211 (ACI 211.1-91) ได้แนะนำให้ก่อนทำการออกแบบปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตจำเป็นต้องรู้คุณสมบัติของมวลรวมบางอย่าง ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ขนาดคละ การดูดซึมน้ำหรือปริมาณความชื้น และหน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบ โดยแบ่งขั้นตอนการออกแบบเป็น 7 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ค่ายุบตัว (ตาราง ข.1)

กำหนดให้ค่ายุบตัวเท่ากับ 8-10 เซนติเมตร สำหรับงานฐานรากคอนกรีตไม่เสริมเหล็กและผนัง

ตางรางที่ ก.1 ค่าการยุบตัวของคอนกรีต สำหรับ โครงสร้างต่างๆ [2]

ประเภทของโครงสร้าง	ค่าการยุบตัว (เซนติเมตร)	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
งานฐานราก กำแพง คอนกรีตเสริมเหล็ก	8.0	2.0
งานฐานรากคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก งานก่อสร้างใต้น้ำ	8.0	2.0
งานพื้น คาน และผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก	10.0	2.0
งานเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	10.0	2.0
งานพื้นถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก	8.0	2.0
งานคอนกรีตขนาดใหญ่	5.0	2.0

ขั้นตอนที่ 2 ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ

ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบที่ใช้เท่ากับ 10 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 ประมาณปริมาณน้ำ (ดูตาราง ก.2)

เลือกคอนกรีตที่ไม่มีสารกักฟองอากาศ

ปริมาณน้ำเท่ากับ 225 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ ก.2 ค่าปริมาณน้ำและฟองอากาศสำหรับค่ายุบตัวและขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ [2]

ค่ายุบตัว	น้ำหนัก (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)							
	ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม (มิลลิเมตร)							
	10	12.5	20	25	40	50	75	150
คอนกรีตไม่มีสารกักฟองอากาศ								
3.0 - 5.0	205	200	185	180	160	155	145	125
8.0 - 10.0	225	215	200	195	175	170	160	140
15.0 - 18.0	240	280	210	205	185	180	170	-

ขั้นตอนที่ 4 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (ตาราง ก.3)

งานวิจัยนี้ต้องการกำลังอัดคอนกรีตที่ 28 วัน เท่ากับ 30 เมกกะปาสคาล ดังนั้น อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.54

ตารางที่ ก.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์และกำลังรับแรงอัดสำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง [2]

กำลังอัดที่อายุ 28 วัน (เมกกะปาสคาล)	อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์โดยน้ำหนัก	
	คอนกรีตไม่มีสารกักกระจายฟองอากาศ	คอนกรีตมีสารกักกระจายฟองอากาศ
45	0.37	-
40	0.42	-
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.80	0.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณปริมาณปูนซีเมนต์

ปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 225/0.54 = 416.67 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ขั้นตอนที่ 6 หาปริมาณมวลรวมหยาบ (ตาราง ก.4)

ปริมาตรมวลรวมหยาบในสภาพแห้งและกระทุ้งแน่นต่อปริมาตรของคอนกรีตต่อโมดูลัสความละเอียดของทราย 2.80 และเลือกขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ 10 มิลลิเมตร จึงเลือกใช้ค่าเท่ากับ 0.46 ดังนั้นมวลรวมครอบครองปริมาตร 0.46 ลูกบาศก์เมตรต่อลูกบาศก์เมตร ของคอนกรีต

น้ำหนักของมวลรวมหยาบที่ใช้ เท่ากับ 0.46 x 1,612 = 741.52 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ ก.4 ปริมาตรมวลรวมหยาบต่อปริมาตรของคอนกรีต

ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ	**ปริมาตรมวลรวมหยาบในสภาพแห้งและกระทุ้งแน่นต่อปริมาตรของคอนกรีตสำหรับทรายที่มีค่าโมดูลัสความละเอียด**			
	2.40	2.60	2.80	3.00
10	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
40	0.76	0.74	0.72	0.70
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

ขั้นตอนที่ 7 หาปริมาณทรายและปฏิภาคส่วนผสม

คำนวณหาปริมาณทรายจากปริมาตรของส่วนผสมทั้งหมดในคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร

น้ำ 225/(1 x 1000) = 0.225 ลูกบาศก์เมตร

ปูนซีเมนต์ 416.67/(3.15 x 1000) = 0.132 ลูกบาศก์เมตร

มวลรวมหยาบ 741.52/(2.69 x 1000) = 0.276 ลูกบาศก์เมตร

รวมปริมาตรน้ำ ปูนซีเมนต์อากาศและมวลรวม = 0.633 ลูกบาศก์เมตร

ปริมาตรส่วนที่เหลือเป็นทราย = 0.367 ลูกบาศก์เมตร

น้ำหนักของทราย 0.367 x 2.6 x 1000 = 953.5 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

	น้ำ	:	ปูนซีเมนต์	:	ทราย	:	มวลรวมหยาบ
	225.00	:	416.67	:	953.5	:	741.52
หรือ	0.54	:	1	:	2.3	:	1.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ค่าการยุบตัวของคอนกรีตแบบต่างๆ

Specimen No.	Slump of Concrete (cm)
PC	14
7CR10	9.5
7CR20	9
7CR30	3
20CR10	5.5
20CR20	5
20CR30	2
720CR10	4
720CR20	3
720CR30	2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ค่ากำลังอัดและค่ากำลังดึงของคอนกรีตชนิดต่างๆ

Specimen No.	Code	Cross Sectional Area (cm^2)	Height (cm)	Ultimate Load (kN)	Compressive Strength (MPa)	Average Compressive Strength (MPa)
PC	1	177.66	29.90	490	27.6	
	2	178.37	29.70	700	39.2	
	3	180.98	29.70	550	30.4	32.4
7CR10	1	181.46	30.20	370	20.4	
	2	181.46	30.00	400	22.0	
	3	180.03	30.00	410	22.8	21.7
7CR20	1	181.70	29.90	240	13.2	
	2	176.48	29.90	250	14.2	
	3	177.66	30.00	250	14.0	13.8
7CR30	1	177.19	30.10	190	10.7	
	2	180.98	30.00	170	9.4	
	3	178.13	30.20	170	9.5	9.9
20CR10	1	177.19	29.90	300	16.9	
	2	177.66	30.00	270	15.2	
	3	180.50	30.20	270	15.0	15.7
20CR20	1	180.03	29.80	140	7.8	
	2	179.55	29.90	120	6.7	
	3	178.84	30.00	170	9.5	8.0
20CR30	1	177.66	29.90	60	3.4	
	2	179.32	30.10	40	2.2	
	3	180.03	30.00	50	2.8	2.8
720CR10	1	179.55	30.00	360	20.1	
	2	179.08	29.90	340	19.0	
	3	180.74	29.90	330	18.3	19.1
720CR20	1	179.32	29.90	160	8.9	
	2	174.37	29.90	190	10.9	
	3	180.50	30.00	180	10.0	9.9
720CR30	1	178.20	30.1	90	5.1	
	2	180.82	30.0	100	5.5	
	3	176.79	30.2	90	5.1	5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specimen No.	Code	Cross Sectional Area (cm^2)	Height (cm)	Ultimate Load (kN)	Tensile Strength (MPa)	Average Tensile Strength (MPa)
PC	1	175.07	29.90	220	3.1	
	2	178.84	30.20	310	4.3	
	3	179.08	29.80	240	3.4	3.6
7CR10	1	180.50	30.00	160	2.2	
	2	182.65	29.80	140	2.0	
	3	181.46	29.60	190	2.7	2.3
7CR20	1	180.03	29.80	120	1.7	
	2	176.71	29.80	130	1.9	
	3	184.09	30.00	108	1.5	1.7
7CR30	1	179.79	30.00	95	1.3	
	2	179.08	30.40	94	1.3	
	3	180.27	30.40	97	1.4	1.3
20CR10	1	180.27	29.80	150	2.1	
	2	176.24	30.30	164	2.3	
	3	178.13	29.90	164	2.3	2.2
20CR20	1	180.98	29.90	78	1.1	
	2	179.55	30.10	50	0.7	
	3	182.65	29.90	82	1.2	1.0
20CR30	1	179.32	30.20	35	0.5	
	2	178.60	29.30	30	0.4	
	3	177.42	30.10	40	0.6	0.5
720CR10	1	182.41	30.00	158	2.2	
	2	177.89	30.20	162	2.3	
	3	178.60	29.90	167	2.3	2.3
720CR20	1	181.70	30.00	102	1.4	
	2	180.27	29.80	92	1.3	
	3	178.37	30.00	96	1.3	1.4
720CR30	1	177.49	29.9	75	1.1	
	2	182.01	30.1	70	1.0	
	3	179.15	30.0	60	0.8	1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ค่าความหนาแน่นของแท่งคอนกรีต

Type of Concrete	Number of Example						Avg. Density kg/m^3
	1	2	3	4	5	6	
PC	2,334	2,326	2,307	2,403	2,348	2,365	2,347
7 CR10	2,139	2,179	2,181	2,168	2,150	2,193	2,198
7 CR20	2,025	2,104	2,064	2,069	2,096	1,999	2,059
7 CR30	1,988	1,930	1,982	1,973	1,973	1,960	1,967
20 CR10	2,159	2,156	2,093	2,131	2,176	2,159	2,146
20 CR20	1,931	1,954	1,916	1,939	1,932	1,939	1,935
20 CR30	1,867	1,895	1,909	1,882	1,857	1,908	1,886
720 CR10	2,139	2,157	2,139	2,109	2,152	2,161	2,143
720 CR20	2,003	2,075	2,002	1,972	2,014	2,031	2,055
720 CR30	1,976	1,932	1,997	1,986	1,918	1,982	1,965

ตารางที่ ข.4 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

Type of Concrete	Frequency 125 Hz			Frequency 250 Hz			Frequency 500 Hz			Frequency 1,000 Hz		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
PC	12.0	12.5	11.0	7.5	8.0	8.0	11.0	11.5	14.0	26.0	28.0	27.5
7CR10	13.5	11.5	13.0	7.0	7.0	8.5	12.5	11.5	14.0	40.0	40.0	42.0
7CR20	13.0	13.0	13.0	8.0	8.0	9.0	16.0	18.5	16.0	53.0	54.0	51.0
20CR10	11.5	12.0	12.5	7.0	7.5	7.0	11.5	14.0	12.0	31.0	32.0	31.5
20CR20	15.0	12.5	12.5	9.0	8.0	8.0	16.0	15.0	15.0	48.0	46.0	49.0
720CR10	11.5	12.0	13.5	7.0	7.0	8.0	11.5	11.0	12.0	43.0	38.0	37.0
720CR20	13.0	12.5	11.0	8.0	8.0	8.0	13.5	14.0	13.0	44.0	39.0	48.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง

Type of Concrete	Noise Reduction Coefficient (NRC)
PC	15
7CR10	18
7CR20	23
20CR10	16
20CR20	21
720CR10	18
720CR20	19

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.1 การคำนวณกำลังรับแรงอัด

ชิ้นตัวอย่าง PC ที่1 มีพื้นที่หน้าตัด 177.66 cm^2 แรงอัด 490 kN คำนวณโดยใช้สมการที่ 3.2

$$F = \frac{P}{A} \tag{3.2}$$

$$F = \frac{490kN}{177.66cm^2} \times \frac{10^4 m^2}{cm^2} \times \frac{MN}{10^3 kN}$$

$F = 27.6$ เมกกะปาสคาล

ค.2 การคำนวณกำลังรับแรงดึง

ชิ้นตัวอย่าง PC ที่1 มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.08 cm สูง 29.9 cm แรงกดตามแนวนอน 220 kN คำนวณโดยใช้สมการที่ 3.3

$$T = \frac{2P}{\pi DL} \tag{3.3}$$

$$T = \frac{2 \times 220kN}{\pi \times 15.08cm \times 29.9cm} \times \frac{10^4 m^2}{cm^2} \times \frac{MN}{1000kN}$$

$T = 3.1$ เมกกะปาสคาล

ค.3 การคำนวณเพื่อหาต้นทุนของคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์

ราคาวัสดุ

ปูนซีเมนต์ 1 ถุง 50 กิโลกรัม	146 บาท
ทรายหยาบ 1 ลูกบาศก์เมตร	370 บาท
น้ำหนักทรายหยาบ = 1,350 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	
หินเกล็ด 1 ถุง 25 กิโลกรัม	30 บาท
เม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 กิโลกรัมละ	12 บาท
เม็ดยางรถยนต์เบอร์ 20 กิโลกรัมละ	15 บาท

ค่าแรงงาน

คิดที่อัตราชั่วโมงละ 200 บาท การหล่อคอนกรีตแต่ละกะใช้เวลาประมาณ 4 ชม. รวมเป็นค่าแรง 800 บาทต่อกะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณต้นทุน

คอนกรีตธรรมดา (PC) ความหนาแน่น 2,347 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แยกองค์ประกอบตามสัดส่วนโดยมวลได้ดังนี้

ปูนซีเมนต์ 416.7 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ทราย 953.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

หิน 745.2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

คำนวณราคาคอนกรีตธรรมดาต่อลูกบาศก์เมตร

$$\frac{416.7\frac{kg}{m^3}}{50\frac{kg}{bag}}\times 146\frac{Bath}{bag} + \frac{953.5\frac{kg}{m^3}}{1350\frac{kg}{m^3 sand}}\times 370\frac{Bath}{m^3 sand} + \frac{745.2\frac{kg}{m^3}}{25\frac{kg}{bag}}\times 30\frac{Bath}{bag} + 800 Bath$$

3,004 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 ร้อยละ 10 ความหนาแน่น 2198 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แยกองค์ประกอบตามสัดส่วนโดยมวลได้ดังนี้

ปูนซีเมนต์ 389.65 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ทราย 806.6 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

หิน 701.37 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

เม็ดยางรถยนต์ 89.6 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

คำนวณราคาต่อลูกบาศก์เมตร

$$\frac{389.7\frac{kg}{m^3}}{50\frac{kg}{bag}}\times 146\frac{Bath}{bag} + \frac{806.6\frac{kg}{m^3}}{1350\frac{kg}{m^3 sand}}\times 370\frac{Bath}{m^3 sand} + \frac{701.4\frac{kg}{m^3}}{25\frac{kg}{bag}}\times 30\frac{Bath}{bag} + 89.6\frac{kg}{m^3}\times 12\frac{Bath}{kg} + 800 Bath$$

3,239 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เบอร์ 7 ร้อยละ 20 ความหนาแน่น 2059 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แยกองค์ประกอบตามสัดส่วนโดยมวลได้ดังนี้

ปูนซีเมนต์ 365.15 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ทราย 671.87 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หิน 657.27 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

เม็ดยางรถยนต์ 167.97 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

คำนวณราคาต่อลูกบาศก์เมตร

$$\frac{365.1\frac{kg}{m^3}}{50\frac{kg}{bag}}\times 146\frac{Bath}{bag} + \frac{671.9\frac{kg}{m^3}}{1350\frac{kg}{m^3 sand}}\times 370\frac{Bath}{m^3 sand} + \frac{657.3\frac{kg}{m^3}}{25\frac{kg}{bag}}\times 30\frac{Bath}{bag} + 168.0\frac{kg}{m^3}\times 12\frac{Bath}{kg} + 800 Bath$$

4,618 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

ค.4 ขั้นตอนการหาค่าสัมประสิทธิ์การลดระดับความดังของเสียง

คอนกรีตธรรมดา (PC) มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง 11.8, 7.8, 12.2 และ 27.2 คำนวณโดยใช้สมการที่ 2.4

$$NRC = (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4) / 4 \qquad (2.4)$$

$$NRC = (11.8 + 7.8 + 12.2 + 27.2) / 4$$

$$NRC = 15\ \%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ขั้นตอนวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 10534-1 : [29]

Standard Test Method for Acoustics-Determination of Sound Absorption Coefficient and Impedance in Impedance Tubes. Part 1: Method Using Standing Wave Ratio,

การหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.1 ขั้นตอนการหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) ของวัสดุ

ง.1.1 เตรียมตัวอย่างทดสอบเป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.9 เซนติเมตร หนา 5.0 เซนติเมตร สำหรับ เสียงความถี่ 125 250 500 และ1000 เฮิรตซ์ (1 ชุดทดสอบ มี 4 ตัวอย่าง เลือกมาทดสอบ 2 ตัวอย่าง ตามความชำนาญของผู้ทดสอบ)

ง.1.2 เครื่องทดสอบตามมาตรฐาน ISO 10534-1 (แสดงในรูปที่ ง.1และ ง.2) ประกอบไปด้วย

(1) ท่อวัดคลื่นนิ่ง (Standing Wave Tube) 1 ชุด

(2) เครื่องปรับความถี่เสียง (Sine Generator) 1 ชุด

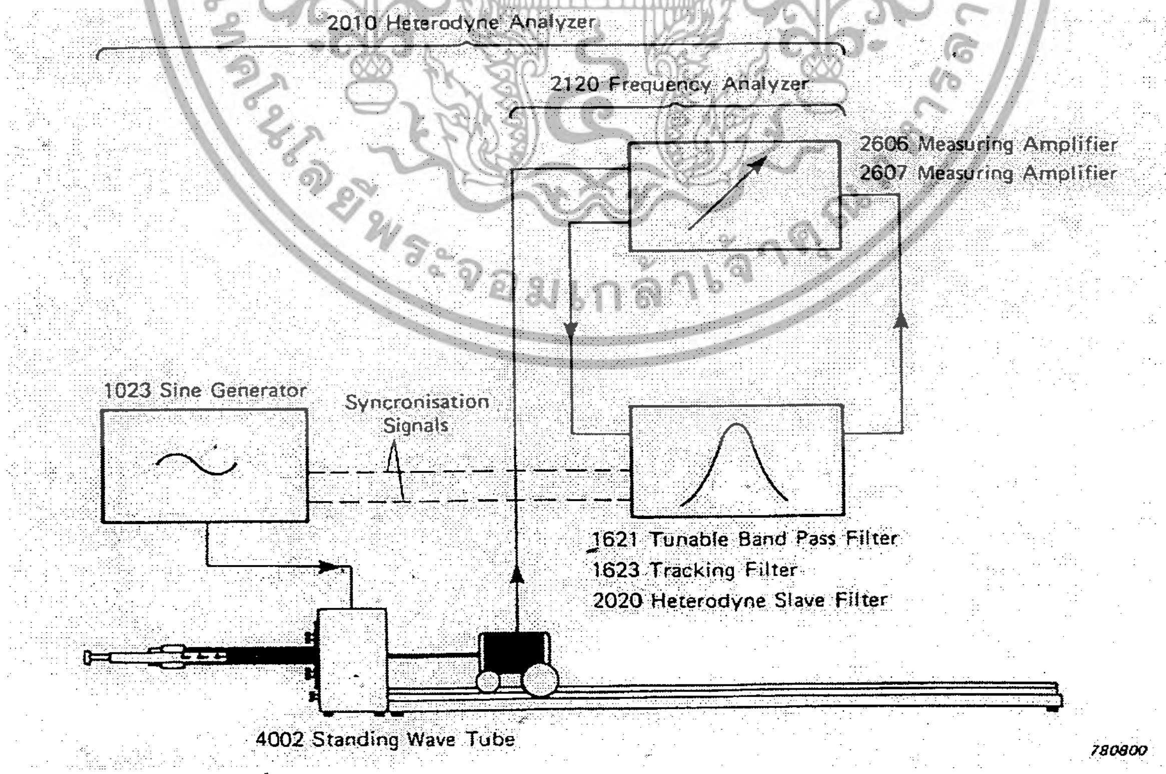
(3) เครื่องวัดค่าการดูดซับเสียง (Measuring Amplifier) 1 ชุด แสดงในรูปที่ ง.2

(4) รถไมโครโฟน (Microphone Carriage) 1 ชุด

(5) เครื่องปรับย่านความถี่ (Tunable Band Pass Filter) 1 ชุด (ในงานวิจัยครั้งนี้ปรับให้มีค่าเท่ากับ 31.60 Hz ตามคำแนะนำของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ)

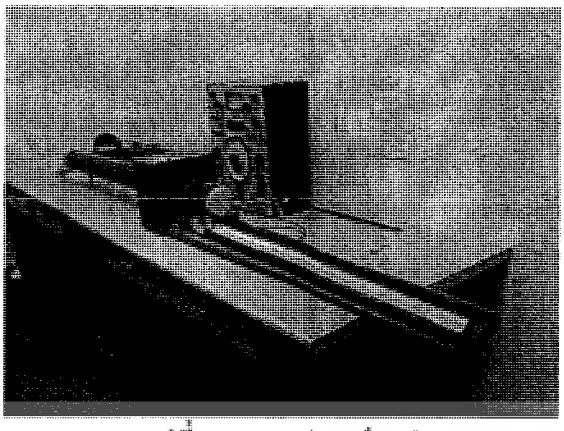
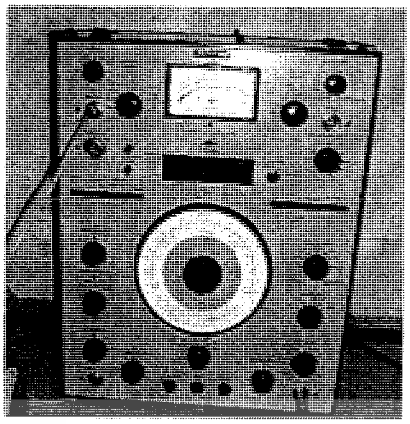
(6) ไม้บรรทัด (Vernier Scale) วัดการเคลื่อนที่ของรถไมโครโฟน (Microphone Carriage)

ง.1.3 วัดขนาดของชิ้นตัวอย่าง (Specimen) ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพอดีกับท่อวัดคลื่นนิ่ง (Standing Wave Tube)



รูปที่ ง.1 การจัดการทั่วไปในการทดสอบหาค่าการดูดซับเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ง.2 ชุดอุปกรณ์วัดค่าการดูดซับเสียง (Measuring Amplifier)

ง.1.4 ขั้นตอนการทดสอบวัดค่าการดูดซับเสียง (Sound Absorption) มีดังต่อไปนี้

1) ปรับค่าความถี่ของเครื่อง (Sine Generator) จนเข็มหยุดนิ่งไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ (ปรับเสียงความถี่ (125 250 500 และ1000 เฮิรตซ์))

2) ปล่อยสัญญาณเสียง ให้เข็มแสดงเต็มหน้าปัดของเครื่องปรับความถี่เสียง (Sine Generator) โดยการปรับ (Output Voltage) จนกระทั่งเข็มหยุดนิ่งไม่สามารถเคลื่อนที่ได้

3) หาค่าสูงสุดของคลื่นเสียง โดยการเลื่อนรถไมโครโฟน (Microphone Carriage) จนกระทั่งเข็มที่หน้าปัดแสดงค่าสูงสุด และบันทึกค่าระยะทางโดยการอ่านค่าจากไม้บรรทัด (Vernier Scale) จากนั้นเพิ่มค่า (Output Voltage) หรือปรับค่า Sens จนกระทั่งเข็มของเครื่องวัดค่าการดูดซับเสียง (Measuring Amplifier) แสดงค่า 100 เปอร์เซ็นต์

4) ปรับหาค่าต่ำสุดของคลื่นเสียง โดยการเลื่อนรถไมโครโฟน (Microphone Carriage) และอ่านค่า (%) Sound Absorption

5) เริ่มขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 4 อีกครั้ง จนกว่าจะได้ค่า % Sound Absorption ที่เหมาะสมที่สุด (โดยการหมุนตัวอย่างและทำเครื่องหมายในตำแหน่งที่ทำไว้แล้ว)

6) เมื่อได้ค่า % Sound Absorption ให้เปลี่ยนตัวอย่างใหม่ และเริ่มขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 5 อีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้