# การศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบารูนที่ผลิตโดยวิธีผงอะลูมิเนียม

# THE STUDY ON PROPERTIES OF THE AERATED CONCRETE PRODUCED BY ALUMINIUM POWDER METHOD


โดย

นายขจรพันธ์ ตันติพจน์

นายณัฐพงษ์ อภินันท์กูล

นายปรีชา ชีวะเจริญไชย



วัน เดือน ปี 16 ตค 2541

เลขทะเบียน 039001

เลขเรียกหนังสือ T ด0218 ข125ก


โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540


039001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# THE STUDY ON PROPERTIES OF THE AERATED CONCRETE PRODUCED BY ALUMINIUM POWDER METHOD

By

Mr. KAJORNPUN TANTIPOJ

Mr. NATTHAPONG APINANKUL

Mr. PREECHA CHEEVACHAROENCHAI

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR THE BACHELOR'S DEGREE OF

CONSTRUCTION ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

.....

| | |
|---|---|
| หัวข้อโครงงานพิเศษ | การศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตพรุนที่ผลิตโดยวิธีผงอะลูมิเนียม<br>THE STUDY ON PROPERTIES OF AERATED CONCRETE<br>PRODUECED BY ALUMINIUM POWDER METHOD |
| นักศึกษา | 1. นายชจรพันธ์ ตันติพจน์ รหัสประจำตัว 37014029<br>2. นายณัฐพงษ์ อภินันท์กูล รหัสประจำตัว 37014110<br>3. นายปรีชา ชีวะเจริญไชย รหัสประจำตัว 37014248 |
| หลักสูตร | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมการก่อสร้าง |
| ภาควิชา | วิศวกรรมโยธา |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล |

| คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ | ลายมือชื่อ |
|---|---|
| อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล | |
| อาจารย์สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์ | |
| อาจารย์อุบะ ศิริแก้ว | |

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(นายอำนวย พานิชกุลพงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ เดือน พ.ศ. 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดีตามจุดประสงค์เพราะได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล ที่ให้คำแนะนำที่มีคุณค่า และออกหนังสือติดต่อกับหน่วยงานต่างๆ ดร.พจมาน ชำนาญทัศน์ และ คุณฐานันดร พิทักษ์เกียรติ จากกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ที่ให้คำแนะนำ การวิเคราะห์ผลการทดสอบ และเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง ลุงฉอ้อน ที่ให้คำแนะนำในการทดสอบต่างๆ ในห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ตลอดจนเพื่อนๆ ที่ช่วยเหลือ และที่ขาดไม่ได้คือ บุพพการี ที่คอยให้กำลังใจและทุนทรัพย์ในการทำโครงงานพิเศษฉบับนี้

ผู้จัดทำ

นายขจรพันธ์ ตันติพจน์

นายณัฐพงษ์ อภินันท์กูล

นายปรีชา ชีวะเจริญไชย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตพรุนที่ผลิตโดยวิธีผงอะลูมิเนียม

# THE STUDY ON PROPERTIES OF THE AERATED CONCRETE PRODUCED BY ALUMINIUM POWDER METHOD


โดย 1.นายขจรพันธ์ ตันติพจน์ รหัสประจำตัว 37014029

2.นายณัฐพงษ์ อภินันท์กูล รหัสประจำตัว 37014110

3.นายปรีชา ชีวะเจริญไชย รหัสประจำตัว 37014248

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล



**บทคัดย่อ**

โครงงานพิเศษฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม และคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงเฉือน ความหนาแน่น อัตราการดูดซึม และสัมประสิทธ์การดูดกลืนเสียงของคอนกรีตพรุน จำนวนทั้งสิ้น 124 ตัวอย่าง โดยวิธีการผลิตแบบผสมผงอะลูมิเนียม ใช้ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.1% 0.15% 0.2%ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ คอนกรีตที่ใช้เป็นส่วนผสมของ ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 กับทรายละเอียดในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 และ 0.55 ใช้ปริมาณปูนขาว 5% และยิปซัม 3% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ค่ากำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงเฉือน และความหนาแน่นของคอนกรีตพรุน แปรผกผันกับปริมาณผงอะลูมิเนียมและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ส่วนค่าอัตราการดูดซึมแปรผันตรงกับ ปริมาณผงอะลูมิเนียม และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ อัตราส่วนผสมของคอนกรีตพรุนที่มีคุณสมบัติเหมาะสม คือ ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.15%โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.55 ปริมาณปูนขาว 5% และยิปซัม 3% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงโดยวิธี Standing Wave ได้ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงเท่ากับ 24.98% วิธี Reverberation Room ที่ความถี่ 500 Hz ได้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงเท่ากับ 28.70%

**ABSTRACT**

The objectives of this project are to define to study the properties and the suitable mixture of the aerated concrete. Ultimate compressive strength, shear strength, density, percentage of water absorption and the coefficient of sound absorption are obtained based on ASTM. Total number of specimens are 124 samples. Aluminium powder is applied about 0.1% 0.15% and 0.2% by cement weight. The ratio by weight between portland cement type I and fine sand is 1:1 whereas water cement ratio are 0.5 and 0.55. Lime and gypsum are 5% and 3% by weight of cement. Ultimate compressive strength, shear strength and density decrease with the quantity of aluminium powder and water cement ratio increasing. Water absorption increase with those variable increasing. The quantity of Aluminium powder 0.15% by weight of cement and water cement ratio 0.55 are the most suitable mixture for determinated the sound absorption test. The maximum coefficient of sound absorption at frequency 500 Hz for standing wave and reverberation room is 24.98% and 28.70%





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| กิตติกรรมประกาศ | (i) |
| บทคัดย่อ | (ii) |
| สารบัญ | (iii) |
| สารบัญตาราง | (v) |
| สารบัญรูป | (vi) |
| บทที่ 1 บทนำ | |
| 1.1 ทั่วไป | 1 |
| 1.2 จุดประสงค์ของการวิจัย | 1 |
| 1.3 ขอบเขตของการศึกษา | 1 |
| 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา | 2 |
| 1.5 งานศึกษาที่ผ่านมา | 2 |
| บทที่ 2 คอนกรีตเบา | |
| 2.1 ความหมาย | 4 |
| 2.2 ชนิดของคอนกรีตเบา | 4 |
| 2.3 วิธีการผลิตคอนกรีตพรุน | 5 |
| 2.4 คุณสมบัติทั่วไปของคอนกรีตพรุน | 6 |
| 2.5 การนำคอนกรีตพรุนมาประยุกต์ใช้กับงานต่างๆ | 7 |
| บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา | |
| 3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ | 10 |
| 3.2 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ | 11 |
| 3.3 วิธีการทดสอบ | 11 |
| 3.4 การทดสอบชิ้นตัวอย่างคอนกรีตพรุน | 14 |
| บทที่ 4 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ | |
| 4.1 ผลการศึกษา | 21 |
| 4.2 การวิเคราะห์ผลการศึกษา | 30 |
| 4.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการศึกษา | 32 |
| บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา | 33 |
| บรรณานุกรม | 34 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

ภาคผนวก ก ข้อมูลดิบและตัวอย่างการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง ด้วย Sabine Formula 36

ภาคผนวก ข ผลการทดสอบ Sieve Analysis ของทราย 58

ภาคผนวก ค การคำนวณราคาวัสดุคอนกรีตพรุนต่อหน่วยน้ำหนัก 60

ภาคผนวก ง การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมต่าง ๆ ของคอนกรีตพรุน กับวัสดุชนิดต่าง ๆ 62

ภาคผนวก จ รูปภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบต่าง ๆ 64



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


| | หน้า |
|---|---|
| ตารางที่ 4.1 แสดงจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ | 21 |
| ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงเฉือน ความหนาแน่น และอัตราการดูดซึมน้ำ | 23 |
| ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงด้วยวิธี Standing Wave ของคอนกรีตพรุนและผนังก่ออิฐฉาบปูน | 24 |
| ตารางที่ 4.4 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงด้วย Sabine Formula | 25 |
| ตารางผนวกที่ ก-1 การทดสอบกำลังอัดประลัยที่อายุ 7 วัน | 37 |
| ตารางผนวกที่ ก-2 การทดสอบกำลังอัดประลัยที่อายุ 28 วัน | 39 |
| ตารางผนวกที่ ก-3 การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนประลัยที่อายุ 28 วัน | 41 |
| ตารางผนวกที่ ก-4 การทดสอบหาค่าความหนาแน่น | 43 |
| ตารางผนวกที่ ก-5 แสดงอัตราการดูดซึม | 46 |
| ตารางผนวกที่ ก-6 ข้อมูลดิบการทดสอบด้วยวิธี Standing Wave ของคอนกรีตพรุน | 49 |
| ตารางผนวกที่ ก-7 ข้อมูลดิบการทดสอบด้วยวิธี Standing Wave ของผนังก่ออิฐฉาบปูน | 49 |
| ตารางผนวกที่ ก-8 การทดสอบหาสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงด้วยวิธี Reverberation Room | 50 |
| ตารางผนวก ข ผลการทดสอบ Sieve Analysis | 59 |
| ตารางผนวก ค การคำนวณราคาวัสดุคอนกรีตพรุนต่อหน่วยน้ำหนัก | 61 |
| ตารางผนวก ง การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมต่าง ๆ ของคอนกรีตพรุนกับวัสดุชนิดต่าง ๆ | 63 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป


| | หน้า |
|---|---|
| รูปที่ 2.1 แสดงผนังบ้าน 2 ชั้นที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตพรุน | 7 |
| รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของกำแพงป้องกันความร้อน | 8 |
| รูปที่ 2.3 แสดงการใช้คอนกรีตพรุนในการทำพื้นป้องกันความร้อน | 8 |
| รูปที่ 2.4 แสดงการก่อกำแพงคอนกรีตพรุน | 9 |
| รูปที่ 3.1 แสดงการใส่ส่วนผสมลงในแบบประมาณ 2 ใน 3 | 12 |
| รูปที่ 3.2 แสดงการพองตัวของคอนกรีตพรุน | 13 |
| รูปที่ 3.3 แสดงการบ่มชิ้นตัวอย่าง | 13 |
| รูปที่ 3.4 การจัดวางชิ้นตัวอย่างกำลังรับแรงเฉือน | 15 |
| รูปที่ 3.5 การติดตั้งเครื่องมือ Standing Wave Tube | 17 |
| รูปที่ 3.6 รางเลื่อนและชุดเครื่องมือทดสอบ Standing Wave | 18 |
| รูปที่ 3.7 ชุดเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ Reverberation Room | 20 |
| รูปที่ 3.8 การติดตั้งชิ้นทดสอบใน Reverberation Room | 20 |
| รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผงอะลูมิเนียมและกำลังรับแรงอัดเฉลี่ย | 26 |
| รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผงอะลูมิเนียมและกำลังรับแรงเฉือนเฉลี่ย | 26 |
| รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผงอะลูมิเนียมและความหนาแน่นเฉลี่ย | 27 |
| รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผงอะลูมิเนียมและอัตราการดูดซึมเฉลี่ย | 27 |
| รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงกับความถี่ของการทดสอบ Standing Wave | 28 |
| รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงกับความถี่ของการทดสอบ Reverberation Room | 29 |
| รูปที่ 4.7 รอยแตกเป็นแนวเอียงเนื่องจากแรงเฉือน | 31 |
| รูปที่ 4.8 รอยแตกในแนวดิ่งเนื่องจากแรงอัด | 32 |
| รูปผนวกที่ ก-1 กราฟแสดงผล Time Decay ของการทดสอบสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงด้วยวิธี Reverberation Room ของคอนกรีตพรุน | 51 |
| รูปผนวกที่ ก-2 กราฟแสดงผล Time Decay ของการทดสอบสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงด้วยวิธี Reverberation Room ของห้องเปล่า | 55 |
| รูปผนวกที่ จ-1 แบบหล่อชิ้นทดสอบขนาด 15 เซนติเมตร x 15 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร | 65 |
| รูปผนวกที่ จ-2 แบบหล่อชิ้นทดสอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9.8เซนติเมตร สูง 2.5 เซนติเมตร | 65 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปผนวกที่ จ-3 แบบหล่อชิ้นทดสอบขนาด 50 เซนติเมตร x 50 เซนติเมตร x 3 เซนติเมตร 66
รูปผนวกที่ จ-4 แหล่งกำเนิดคลื่นเสียง 124 dB 66
รูปผนวกที่ จ-5 ลำโพง และ ตัวรับคลื่นเสียง 67
รูปผนวกที่ จ-6 ชุดการทดสอบ Standing Wave 67
รูปผนวกที่ จ-7 Amplifier 68
รูปผนวกที่ จ-8 Band Pass Filter 68
รูปผนวกที่ จ-9 Signal Generator และ Measuring Amplifier 69
รูปผนวกที่ จ-10 Recorder 70
รูปผนวกที่ จ-11 อุปกรณ์อ่านค่า Time Decay 71



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ทั่วไป

การก่อสร้างของเมืองไทยในปัจจุบันประกอบขึ้นด้วยวัสดุประเภทคอนกรีตเป็นหลัก การใช้คอนกรีตมีความเหมาะสมกว่าวัสดุอื่นๆ เช่นไม้ และ เหล็ก เพราะสามารถทำให้เป็นรูปร่างต่างๆ และขนาดตามความต้องการได้ง่าย นอกจากนี้คอนกรีตยังมีคุณสมบัติอื่นๆ ที่น่าสนใจเช่น สามารถใช้เป็นฉนวนกันความร้อนและฉนวนกันเสียงได้ดี แต่จะมีปัญหาในด้านของน้ำหนักของตัวคอนกรีตที่มากถ้าสามารถลดน้ำหนักของคอนกรีตลงจะทำให้ประหยัดทั้ง เวลา และค่าก่อสร้างลงได้มาก จากเหตุผลต่างๆ เหล่านี้การใช้คอนกรีตเบาจึงเริ่ม มีการใช้กันอย่างแพร่หลายเพิ่มมากขึ้น การผลิตคอนกรีตเบานั้นมีหลายวิธีด้วยกันเช่น การอัดอากาศเข้าไปในเนื้อคอนกรีต การใช้มวลรวมเบาผสม หรือการไม่ใช้มวลรวมละเอียด แต่วิธีการเหล่านี้ยังคงมีปัญหาในด้านน้ำหนักและการควบคุมคุณภาพ

ดังนั้นโครงงานพิเศษนี้จึงทำขึ้นเพื่อศึกษาการผลิตและคุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีตพรุนโดยวิธี Aluminium Powder ซึ่งอาศัยหลักการทำให้เกิดฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตขณะผสม ซึ่งความพรุนที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ

## 1.2 จุดประสงค์ของการศึกษา

1.2.1เพื่อศึกษาส่วนประกอบที่เหมาะสมสำหรับการผลิตคอนกรีตพรุนด้วยวิธีการผลิตแบบ Aluminium Powder Method

1.2.2 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพของคอนกรีตพรุนด้วยวิธีการผลิตแบบAluminium Powder Method

## 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ในการวิจัยครั้งนี้จะศึกษาเฉพาะคอนกรีตเบาประเภทAerated Concreteที่ทำให้มีรูพรุนด้วยปฏิกริยาเคมีในเนื้อคอนกรีต โดยการใช้ผงอะลูมิเนียมเป็นตัวทำปฏิกริยา

ตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการทดสอบดังนี้

1.3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1

1.3.2 อัตราส่วนปูนซีเมนต์ ต่อ ทราย 1:1

1.3.3 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 และ 0.55

1.3.4 ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.1% 0.15% 0.2% โดยน้ำหนักของซีเมนต์

1.3.5 ปริมาณปูนขาว 5% และยิปซัม 3% โดยน้ำหนักของซีเมนต์

1.3.6 แบบหล่อชิ้นทดสอบเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร สำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ 7 วันและ 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.7 แบบหล่อคาน 15 เซนติเมตร x 15 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร สำหรับการทดสอบกำลังรับแรงเฉือน

1.3.8 แบบหล่อ 5 เซนติเมตร x 5 เซนติเมตร x 5 เซนติเมตร สำหรับการทดสอบการดูดซึม และการทดสอบหา ความหนาแน่น

1.3.9 แบบหล่อเส้นผ่าศูนย์กลาง 9.8 เซนติเมตร สูง 2.5 เซนติเมตร สำหรับการทดสอบสัมประสิทธิการดูดกลืนเสียง Standing Wave

1.3.10 แบบหล่อ 50 เซนติเมตร x 50 เซนติเมตร x 3 เซนติเมตร สำหรับการทดสอบสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง Reverberation Room

**1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา**

1.4.1 สามารถทราบถึงลักษณะทางวิศวกรรมของคอนกรีตพรุน

1.4.2 สามารถทราบถึงค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของคอนกรีตพรุน

1.4.3 สามารถนำข้อมูลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดต่าง ๆ เพื่อการนำไปใช้

**1.5 งานศึกษาที่ผ่านมา**

การศึกษาเรื่องคอนกรีตเบาเริ่มมากกว่า 40 ปี ในระยะเริ่มแรกจะเป็นคอนกรีตเบาประเภท Light Weight Aggregate และพัฒนามาตลอด จนกระทั่งนำมาใช้งานก่อสร้างทั่ว ๆ ไป เช่น หล่อเป็นก้อนสี่เหลี่ยม (Block) กำแพง หลังคา พื้น และประยุกต์ใช้ในงานคอนกรีตอัดแรง ทางด้นคอนกรีตเบาชนิด Foam Concrete หรือ Aerated Concrete ได้พัฒนาควบคู่มาโดยตลอด

ในปี ค.ศ. 1960 I.A. Benjamin [16] ได้ทำการศึกษาและผลิตคอนกรีตเบาประเภท Foam Concrete โดยใช้สารเคมีทำให้เกิดฟองก่อนแล้วจึงผสมกับคอนกรีต ปรากฏว่าคอนกรีตที่มีความหนาแน่น 0.79-0.95 ตันต่อลูกบาศก์เมตร มีกำลังรับแรงอัด 31.6-52.7 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยมีการหดตัวที่ 180 วัน เท่ากับ 0.2-0.6% มีคุณสมบัติเด่นคือ เป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี

ในปี ค.ศ. 1976 C.Bagon & S.Frondistou - Yannas [17] ได้ทำการศึกษาและผลิตคอนกรีตเบาประเภท Aerated Concrete โดยใช้ส่วนผสมระหว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 3 น้ำ ทรายละเอียด และสารทำให้เกิดฟองอากาศ ได้คอนกรีตที่มีความหนาแน่น 0.845 ตันต่อลูกบาศก์เมตร กำลังรับแรงอัด 48 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร Modulus of Elasticity มีค่าเท่ากับ $5.9 \times 10^4$ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ในปี พ.ศ. 2525 [6] ได้ทำการศึกษาและผลิตคอนกรีตเบาประเภท Foam Concrete โดยใช้ส่วนผสมระหว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 น้ำ ทรายละเอียด ผงซักฟอก ได้คอนกรีตที่มีความหนาแน่น 1.06 ตันต่อลูกบาศก์เมตร กำลังรับแรงอัดที่อายุ 20 วันเท่ากับ 5.7 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี พ.ศ. 2536 [7] ได้ทำการศึกษาและผลิตคอนกรีตเบาประเภท Light Weight Aggregate โดยใช้ ส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 หิน ทราย น้ำ Fly Ash ได้คอนกรีตที่มีอัตราการดูดซึมระหว่าง 6-9% กำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วันเท่ากับ 50-70 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ในปี พ.ศ. 2537 [8] ได้ทำการศึกษาและผลิตคอนกรีตเบาประเภท Foam Concrete ส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 3 ทรายละเอียด น้ำ ได้คอนกรีตที่มีความหนาแน่นเท่ากับ 1.73 ตันต่อลูกบาศก์เมตร กำลังรับแรงอัดที่อายุ 14 วัน เท่ากับ 103 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตประเภท Aerated Concrete ที่ผลิตด้วยผงอะลูมิเนียมโดยได้ศึกษาดังที่กล่าวไว้แล้วในขอบเขตการศึกษาหัวข้อที่ 1.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# คอนกรีตเบา

## 2.1 ความหมาย

ในปัจจุบันการก่อสร้างโดยทั่วไปในประเทศไทย มีส่วนประกอบทำด้วยคอนกรีตเป็นวัสดุหลัก เพราะการใช้คอนกรีตมีความสะดวกและเหมาะสมกว่าวัสดุอื่นๆ เนื่องจากสามารถหล่อเป็นรูปร่างต่างๆ ตามที่ต้องการได้ง่าย แต่โดยปกติแล้วคอนกรีตจะมีน้ำหนักมากทำให้โครงสร้างที่รองรับมีขนาดใหญ่ นั่นก็หมายความว่าฐานรากที่มารองรับก็ต้องมีขนาดใหญ่ด้วยเป็นการสิ้นเปลืองวัสดุในการก่อสร้าง ถ้าหากสามารถทำให้ส่วนประกอบต่าง ๆ ของอาคารมีน้ำหนักเบาลง จะทำให้ประหยัดวัสดุและเวลาในการก่อสร้าง จากแนวความคิดดังกล่าวจึงมีการคิดค้นที่จะมีการพัฒนาให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบากว่าเดิม จากเหตุผลดังกล่าวจึงมีการนำเอาคอนกรีตเบามาใช้งานมากขึ้น โดยปกติคอนกรีตเบาจะมีน้ำหนักประมาณ 400 - 1400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รับกำลังอัดได้ 10-140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีจุดเด่นในด้านที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อนและฉนวนกันเสียง แต่คอนกรีตเบาก็มีข้อจำกัดในด้านของการดูดซึมน้ำสูง จึงทำให้มีขอบเขตในการใช้คอนกรีตเบาอยู่บ้าง แต่อย่างไรก็ดีอาจจะมีการแก้ไขโดยการใช้วัสดุมาเคลือบผิวหน้าเพื่อลดการดูดซึมได้

## 2.2 ชนิดของคอนกรีตเบา

กรรมวิธีการผลิตคอนกรีตเบา มีหลายวิธีตามแต่แนวทางการวิจัยจะดำเนินการ แต่อาจจะจำแนกออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ 2 กลุ่มคือ

2.2.1 วิธีทางกายภาพ (Physical) เป็นการใช้มวลรวมผสมในคอนกรีตแทนหินแบ่งได้เป็น

2.2.1.1 การใช้วัสดุเบาผสมในคอนกรีตแทนหิน (Lightweight Aggregate Concrete)

2.2.1.2 การทำคอนกรีตโดยไม่ใช้มวลรวมละเอียด (No-Fines Aggregate Concrete)

2.2.2 วิธีทางเคมี (Chemical) เป็นการเพิ่มฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต ซึ่งยังแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

2.2.2.1 วิธีที่ทำให้เกิดโฟมขึ้นก่อนแล้วนำไปผสมกับคอนกรีตสด (Foaming Mixture)

2.2.2.2 วิธีที่ใส่สารเคมีเพื่อให้เกิดปฏิกริยาในเนื้อคอนกรีต (Aerated Concrete)

### 2.2.1.1 Lightweight Aggregate Concrete

เป็นกรรมวิธีการใช้มวลรวมเบาผสมแทนหิน ซึ่งจำแนกเป็นประเภทตามแหล่งที่มาคือได้มาจากธรรมชาติ (ภูเขาไฟ) ได้แก่ Pumice, Lava, Pozzolanas และได้มาจากกระบวนการผลิตจาก อุตสาหกรรม ได้แก่ Furnace Clinker, Cinder, Foamed Slag, Sintered Pulverized Fuel Ash, Expanded Clay, Shale or Slate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.2.1.2 No - Fines Aggregate Concrete**

คอนกรีตชนิดนี้ประกอบด้วยซีเมนต์และมวลรวมหยาบ อาจเป็นหินหรือกรวดที่มีขนาด 10-20 มิลลิเมตร หรือวัสดุมวลเบาชนิดอื่นๆ ซึ่งช่วยให้น้ำหนักลดลง 2ใน3 ของน้ำหนักคอนกรีตธรรมดา ส่วนผสมที่ใช้โดยมากจะเป็น 1:8 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.45 กำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน ประมาณ 50-80 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เหมาะสำหรับงานที่ไม่รับน้ำหนักมาก เช่น ผนังไม่รับแรง หรือเป็นวัสดุมุงหลังคา การหดตัวของประเภทนี้จะมีน้อยกว่าคอนกรีตเบาประเภทอื่น วัสดุมวลหยาบที่นำมาใช้ได้แก่ กรวดโม่ หรือหินโม่ตะกรันเม็ดหยาบ ขี้เถ้าเชื้อเพลิงผงเผา ดินเหนียวพองตัว หินเซลพองตัว หินกระดานชนวนพองตัว

**2.2.2.2 คอนกรีตพรุน (Aerated Concrete)**

เป็นคอนกรีตเบาอีกชนิดหนึ่ง ที่ทำให้เกิดฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต ซึ่งทำได้โดยการให้ฟองอากาศ กระจายในส่วนผสมของซีเมนต์ และทรายละเอียดที่ยังอยู่ในสภาพพลาสติก จากนั้นปล่อยให้แข็งตัว เนื่องจากคอนกรีตพรุนมีรูพรุนจากฟองอากาศ และมีมวลรวมแตกต่างจากคอนกรีตธรรมดา คือไม่ใช้มวลรวมหยาบในการผลิต ดังนั้นบางครั้งจึงเรียกว่า Aerated Mortar ซึ่งเป็นการเรียกตามลักษณะของเนื้อคอนกรีต ใช้กันในอังกฤษ และ อเมริกา ส่วนประเทศอื่นๆ ในยุโรปจะเรียกตามลักษณะกรรมวิธีการผลิต โดยจะเรียกว่า Foam Concrete

ลักษณะการผลิตคอนกรีตพรุนแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือแบบหล่อในที่ (In Situ Concrete) และแบบหล่อสำเร็จ (Precast Units) แบบหล่อสำเร็จซึ่งรวมทั้ง Block สำหรับก่อสร้างมักจะบ่มด้วยไอน้ำความดันสูง แต่แบบหล่อในที่จะใช้การบ่มอากาศ ความแตกต่างที่เกิดขึ้นของวิธีการบ่มที่ต่างกัน คือกำลังอัด และค่า Drying Shrinkage

คอนกรีตพรุนสำเร็จรูปจะผลิตในรูปของ Block นำไปใช้ในส่วนของผนัง หลังคา และแผ่นพื้น ส่วนการหล่อในที่จะใช้ทำ Insulation Roof หรือองค์อาคารอื่นๆ ที่มีวัตถุประสงค์ทางด้านการเป็นฉนวนความร้อน จากคุณสมบัติที่เป็นตัวนำความร้อนที่เลวจึงสามารถนำไปใช้ในบริเวณที่หนาวจัด หรือร้อนจัดได้ และคุณสมบัติที่ช่วยให้สามารถทำงานได้สะดวกคือ สามารถเลื่อยเป็นแผ่น เจาะ ตอก และต่อกันได้ง่ายด้วยกาวหรือวัสดุประสานอื่นๆ และมีคุณสมบัติที่ไม่ติดไฟ สามารถนำไปใช้แทนไม้ในส่วนประกอบที่รับแรงอัดไม่มากได้

**2.3 วิธีการผลิตคอนกรีตพรุน**

แบ่งออกได้เป็น 2 วิธี

2.3.1. วิธีทางกล (Mechanical Method) เป็นวิธีที่ง่ายๆ สามารถควบคุมการผลิตได้ แต่ความพรุนที่ได้จะไม่สม่ำเสมอ โดยทั่วไปยังแบ่งออกได้อีก 3วิธี

2.3.1.1 Air Entraining Agent เป็นวิธีโม่ส่วนเหลวๆ กับสารกักกระจายฟองอากาศจะทำให้เกิดฟองโดยการกวนโดยเครื่องผสมคอนกรีต โม่ที่ผสมอาจจะใช้โม่ผสมที่มีใบพัดหมุนในแนวราบ ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนาแน่นที่ได้จะประมาณ 0.5-0.8 ตันต่อลูกบาศก์เมตร ความเร็วในการผสม และเวลาในการผสม ถือเป็นตัวแปรที่สำคัญในการผลิตแบบนี้

2.3.1.2 Excess Water Method เป็นการผสมโดยใช้ปริมาณน้ำมากเกินพอที่ซีเมนต์จะทำปฏิกริยาสมบูรณ์ ทำโดยการผสมอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ให้ใช้น้ำมากๆ และทำการผสมหลายๆครั้ง ซึ่งจะทำให้มีจำนวนน้ำปริมาณมากเมื่อนำไปบ่มด้วยไอน้ำความดันสูงให้แห้ง ก็จะเกิดช่องว่างของอากาศแทนที่น้ำส่วนเกินที่ระเหยออกไป คอนกรีตที่ได้จะมีความหนาแน่นต่ำ และอาจเรียกอีกชื่อว่า Light Lime Concrete เพราะใช้ปูนขาวเป็นตัวเชื่อม

2.3.1.3 Preformed Foam Method เป็นวิธการที่ทำให้เกิดโฟมขึ้นมาก่อนจากการทำปฏิกริยาของสารเคมีแล้วนำไปผสมกับคอนกรีตทันที เมื่อคอนกรีตแข็งตัวก็จะได้คอนกรีตที่มีน้ำหนักเบา ปริมาณของฟองอากาศที่เกิดขึ้น จะขึ้นอยู่กับปริมาณของสารที่ทำให้เกิดโฟม ซึ่งจะใช้ประมาณ 2% โดยปริมาตรของคอนกรีต

2.3.2. วิธีการทางเคมี (Chemical Method) แบ่งออกได้เป็น 2 วิธีคือ

2.3.2.1 Hydrogen Peroxide and bleaching powder method เป็นการเติมของเหลวที่ไม่เสถียรภาพเข้าไปในซีเมนต์ และทำให้เกิดการแตกสลายเป็นน้ำและออกซิเจน ดังสมการ (1)

$$2\,H_2O_2 \text{ ----------> } 2H_2O + O_2 \qquad (1)$$

2.3.2.2 Aluminium Powder Method เป็นการใส่ผงอะลูมิเนียมลงในส่วนผสมต่างๆผงอะลูมิเนียมที่ใช้จะอยู่ในช่วง 0.1% - 0.2% โดยน้ำหนักของซีเมนต์ ทำให้เกิดฟองก๊าซไฮโดรเจนดังสมการ (2)

$$2Al + 3Ca(OH_2) + 6H_2O \text{ ----------> } 3CaO\,Al_2O_3 * 6H_2O + 3H_2 \qquad (2)$$

ซึ่งกรรมวิธีการผลิตจะต้องระมัดระวังและควบคุมให้ดี ในการผลิตจะต้องเอาทรายมาบดให้ละเอียดแล้วนำไปผสมกับซีเมนต์ ผงอะลูมิเนียม ยิปซัม ปูนขาว และน้ำ ถ้าเป็นการผสมในโรงงานผลิตขนาดใหญ่ จะผสมลงในแบบขนาดใหญ่ และผ่านแบบหล่อนี้ไปยัง Temperature-controlled Chamber สำหรับเกิดการ Expansion หลังจากปฏิกริยา Expansion เสร็จสิ้นจะมีส่วนเกินเกิดขึ้นที่ด้านบนก็จะนำชิ้นงานที่ได้ไปเลื่อยให้เป็นแผ่นขนาดเล็กตามต้องการ แล้วจึงนำไปบ่มด้วยเครื่องบ่มไอน้ำความดันสูง (Autoclaved) ประมาณ 12 เท่าของบรรยากาศปกติประมาณ 12 ชั่วโมงซึ่งจะได้คอนกรีตพรุนที่มีคุณภาพดีสม่ำเสมอ และมีน้ำหนักเพียง 0.2 - 0.5 เท่าของน้ำหนักคอนกรีตปกติ และเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมาก

**2.4 คุณสมบัติทั่วไปของคอนกรีตพรุน**

2.4.1 น้ำหนักเบากว่าคอนกรีตทั่วไป ประมาณ 0.3-1.5 ตันต่อลูกบาศก์เมตร แล้วแต่ส่วนผสม และวิธีการผลิต

2.4.2 มีความแข็งแรงต่ำ ประมาณ 25-85 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จึงนำไปใช้ในส่วนของโครงสร้างที่รับแรงน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 มีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี เนื่องจากมีฟองอากาศเล็กๆอยู่เป็นจำนวนมากในเนื้อคอนกรีตทำให้มีการนำความร้อนทะลุได้น้อยมาก จึงสามารถใช้ได้ดีในประเทศทางยุโรป เพราะสามารถป้องกันความร้อนที่เกิดจาก Heater ภายในบ้านไม่ให้ออกไปนอกบ้านได้ และสามารถนำมาใช้กับประเทศเขตร้อนเพื่อป้องกันความร้อนจากภายนอกได้ด้วย

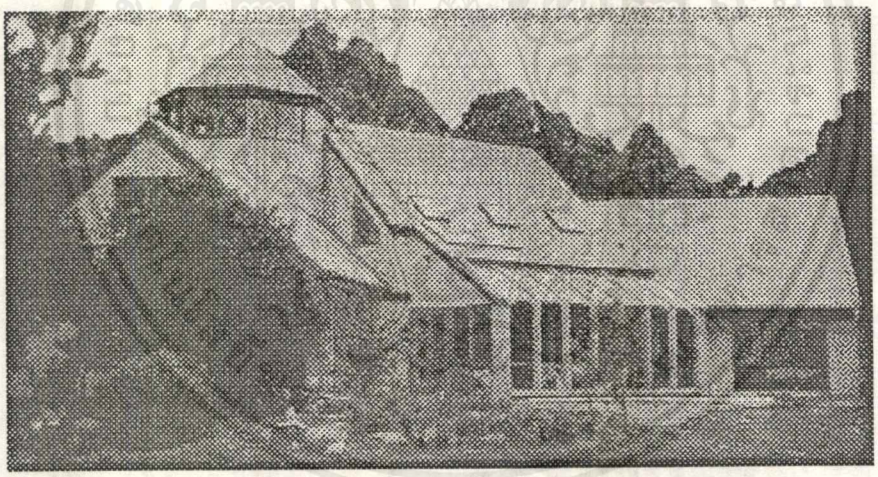
2.4.4 มีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันเสียงได้ดี

2.4.5 ก่อสร้างได้ง่าย เพราะสามารถตัด เจาะโดยใช้เครื่องมือปกติได้

2.4.6 การหดตัวและการระเหยของน้ำมีมาก แต่สามารถควบคุมได้โดยการใส่ปูนขาว และนำไปบ่มด้วยเครื่อง Autoclaved

**2.5 การนำคอนกรีตพรุนมาประยุกต์ใช้กับงานต่างๆ**

2.5.1 ใช้เป็นวัสดุสำเร็จรูป เช่นคอนกรีตบล็อก กำแพงสำเร็จรูปใช้สำหรับกำแพงที่รับน้ำหนักน้อยหรือไม่รับน้ำหนัก (Nonload-bearing Wall) แต่คอนกรีตพรุนที่จะใช้ในงานรับน้ำหนักควรจะมีความหนาไม่น้อยกว่า 3 นิ้ว นิยมใช้ในต่างประเทศมากเพราะเป็นฉนวนกันความร้อนและมีน้ำหนักเบาสามารถลดขนาดของโครงสร้างได้มากดังตัวอย่างบ้านที่ได้แสดงในรูปที่ 2.1

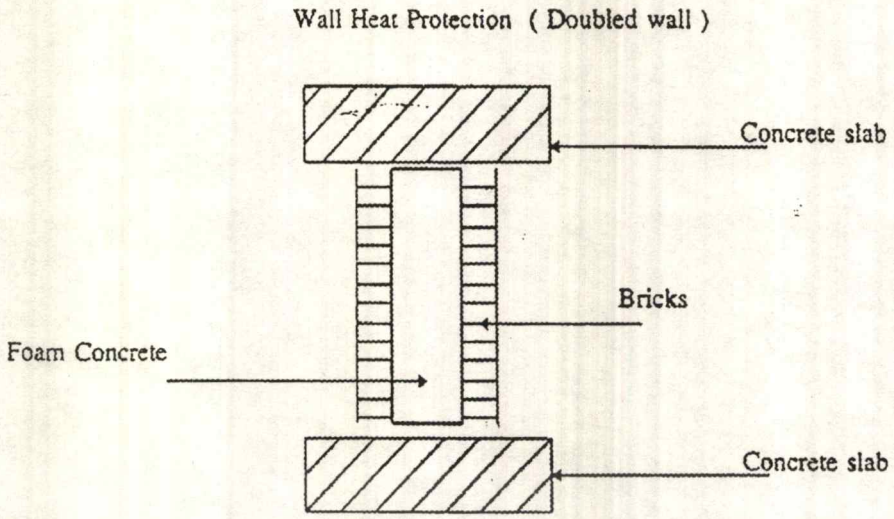


รูปที่2.1 แสดงผนังบ้าน 2ชั้นที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตพรุน (Hebel Germany,1997)

2.5.2 ใช้ในการทำ Cavity Infill คือการใช้คุณสมบัติที่เป็นฉนวนกันความร้อน โดยการเติมคอนกรีตพรุนลงในช่องว่างของโครงสร้างที่เว้นไว้เป็น block

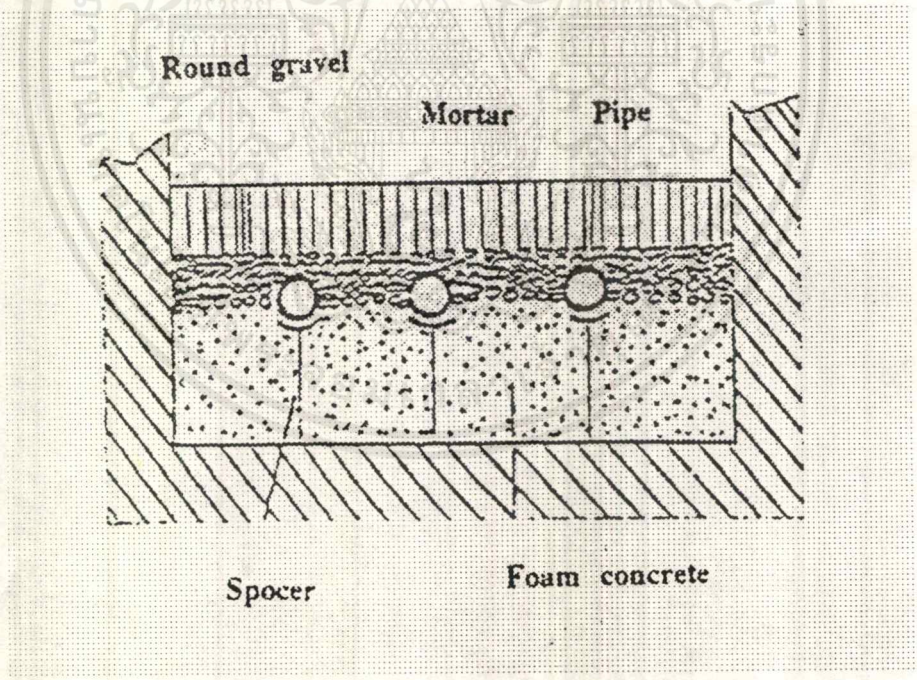
2.5.3 Sandwich Panels เป็นการก่ออิฐ 2 ด้านโดยเว้นช่องว่างตรงกลางประมาณ 5 เซนติเมตรแล้วเติมคอนกรีตพรุนลงในช่องว่าง ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยใช้คุณสมบัติที่เป็นฉนวนกันความร้อนและมีน้ำหนักเบาเป็นสำคัญ โดยอาจจะทำเป็นหลังคาหรือแผ่นพื้น ซึ่งเหมาะสำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่2.2 แสดงส่วนประกอบของกำแพงป้องกันความร้อน(Hebel Germany,1997)

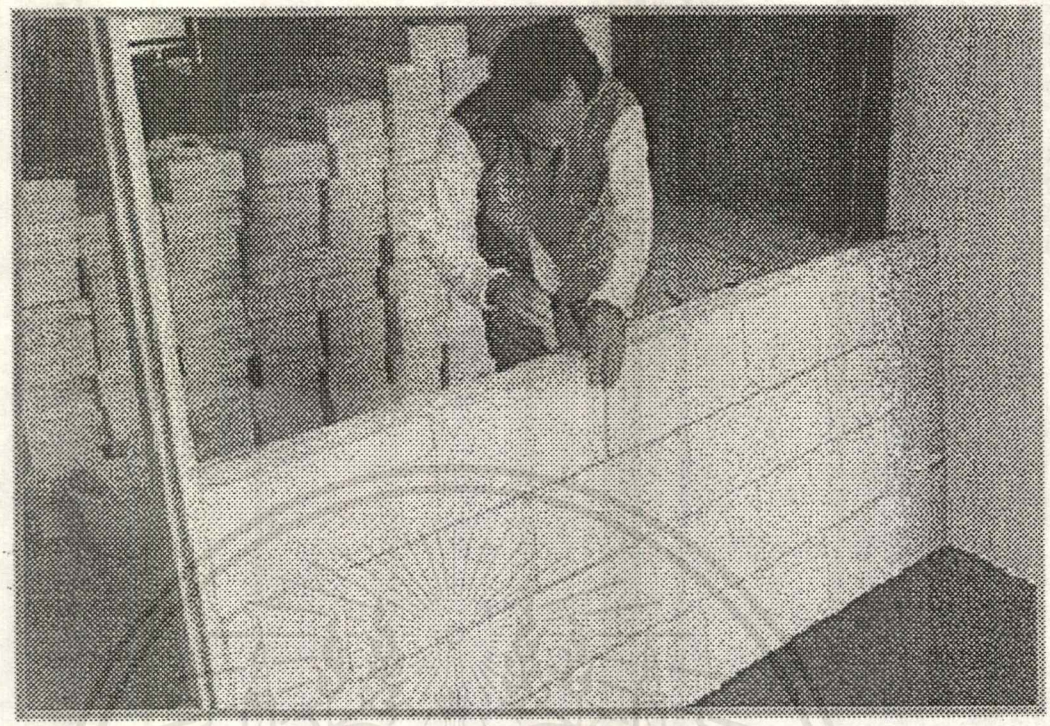
2.5.4 ใช้ในการทำพื้นป้องกันความร้อนและป้องกันการสูญเสียความร้อนของท่อน้ำร้อนโดนมีชั้นต่าง ๆ เพื่อป้องกันท่อน้ำร้อนดังรูปที่2.3




รูปที่2.3 แสดงการใช้คอนกรีตพรุนในการทำพื้นป้องกันความร้อน(Hebel Germany,1997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5 ใช้ในการทำวัสดุกันเสียงได้ดี เช่นกำแพงกันเสียงดังรูปที่ 2.4 เป็นการก่อกำแพงกันเสียง



รูปที่ 2.4 แสดงการก่อกำแพงคอนกรีตพรุน (Hebel Germany,1997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

## 3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1

3.1.2 ทรายเป็นทรายละเอียดร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 30 และบดด้วยเครื่อง Los Angeles Machine โดยมีค่า Specific Gravity เท่ากับ 2.78 Fineness Modulus เท่ากับ 2.92

3.1.3 เหล็กเส้นขนาด 12 มิลลิเมตร

3.1.4 สารเคมีที่ใช้ ได้แก่ ผงอะลูมิเนียม ปูนขาว ยิปซัม

3.1.5 น้ำ

3.1.6 เครื่องผสมคอนกรีตแบบ Pan Mixer

3.1.7 ชุดอุปกรณ์การทดสอบ Gradation

3.1.8 ชุดอุปกรณ์การทดสอบ กำลังรับแรงอัด แรงเฉือน

3.1.9 ชุดอุปกรณ์การทดสอบหาค่าความหนาแน่น อัตราการดูดซึม

3.1.10 ชุดอุปกรณ์การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงด้วยวิธี Standing Wave และ Reverberation Room ซึ่งได้แสดงรูปในภาคผนวก จ ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้

3.1.10.1 Signal Generator ดังรูปที่ จ-9

3.1.10.2 Standing Wave Apparatus ประกอบด้วย ท่อนำเสียง ลำโพง ตัวรับคลื่นเสียง รางเลื่อน ดังรูปที่ จ-6

3.1.10.3 Measuring Amplifier ดังรูปที่ จ-9

3.1.10.4 Band Pass Filter ดังรูปที่ จ-8

3.1.10.5 Amplifier ดังรูปที่ จ-7

3.1.10.6 Recorder ดังรูปที่ จ-10

3.1.10.7 Reverberation Room ลำโพง ตัวรับคลื่นเสียง ดังรูปที่ จ-5

3.1.10.8 แหล่งกำเนิดเสียง 124 dB ดังรูปที่ จ-4

3.1.10.9 อุปกรณ์วัดค่า Time Decay ดังรูปที่ จ-11

3.1.11 แบบหล่อชิ้นตัวอย่างขนาด 15 เซนติเมตร x 15 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร ดังรูปที่ จ-1

3.1.12 แบบหล่อชิ้นตัวอย่างเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 9.8 เซนติเมตรสูง 2.5 เซนติเมตรดังรูปที่ จ-2

3.1.13 แบบหล่อชิ้นตัวอย่างขนาด 50 เซนติเมตร x 50 เซนติเมตร x 3 เซนติเมตร ดังรูปที่ จ-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.2 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ**

3.2.1 ชิ้นตัวอย่างรูปทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร จำนวน 36 ตัวอย่าง

3.2.2 ชิ้นตัวอย่างรูปคานขนาด 15 เซนติเมตร x 15 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร จำนวน 18 ตัวอย่าง

3.2.3 ชิ้นตัวอย่างปลูกบาศก์ขนาด 5 เซนติเมตร x 5 เซนติเมตร x 5 เซนติเมตร จำนวน 30 ตัวอย่าง

3.2.4 ชิ้นตัวอย่างรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.8 เซนติเมตร สูง 2.5 เซนติเมตร จำนวน 10 ตัวอย่าง

3.2.5 ชิ้นตัวอย่างแผ่นพื้นขนาด 50 เซนติเมตร x 50 เซนติเมตร x 3 เซนติเมตร จำนวน 30 ตัวอย่าง

**3.3 วิธีการทดสอบ**

การดำเนินการศึกษาจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกเป็นการเตรียมชิ้นตัวอย่างคอนกรีตพรุนที่จะนำมาตัวอย่าง ขั้นตอนที่ 2 จะเป็นการนำชิ้นตัวอย่างไปตัวอย่างคุณสมบัติต่าง ๆ ในการทดสอบครั้งนี้ มีตัวแปรสำคัญในการตัวอย่าง คือ อัตราส่วนซีเมนต์ต่อทราย 1 : 1 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 และ 0.55 ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.1% 0.15% และ 0.2% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ปริมาณปูนขาว 5% และปริมาณยิปซัม 3% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

**3.3.1 วิธีการเตรียมชิ้นตัวอย่างคอนกรีตพรุน**

3.3.1.1 เตรียมส่วนผสมของคอนกรีตพรุนตามตัวแปรต่างๆ ที่กำหนดโดยใช้เครื่องชั่ง

3.3.1.2 ผสมปูนซีเมนต์ ผงอะลูมิเนียม ปูนขาว และยิบซัม คลุกเคล้าเข้าด้วยกัน

3.3.1.3 เทน้ำตามปริมาณที่คำนวณลงใน Pan Mixer ที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว

3.3.1.4 เทส่วนผสมที่คลุกเคล้าเรียบร้อยแล้วลงใน Pan Mixer

3.3.1.5 เปิดเครื่องผสมประมาณ 1 นาที พร้อมกับค่อยๆ เททรายลงใน Pan Mixer

3.3.1.6 หยุดเครื่องผสมประมาณ 1 นาที 30 วินาที พร้อมกับขูดเศษซีเมนต์ที่ติดอยู่ข้างๆ Pan Mixer ให้มารวมอยู่ตรงกลาง

3.3.1.7 เดินเครื่องผสมอีกครั้งให้ส่วนผสมเข้ากันได้ดีใช้เวลาประมาณ 3 นาที

3.3.1.8 นำส่วนผสมที่ได้เทลงในแบบ ประมาณ 2 ใน 3 ของแบบหล่อเพื่อเผื่อการขยายตัวของคอนกรีตพรุน ดังแสดงในรูปที่ 3.1

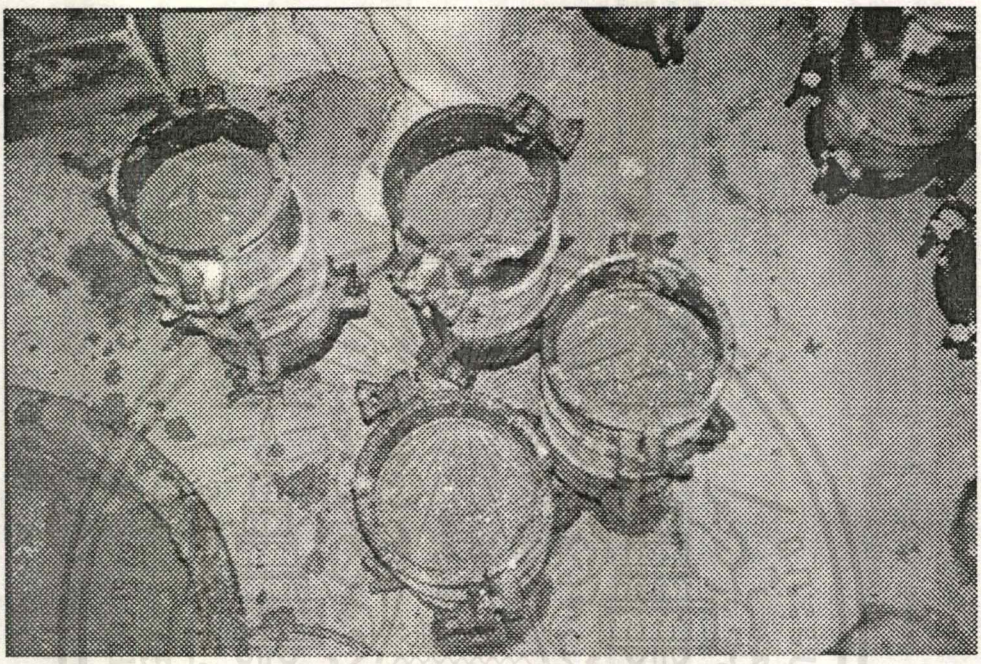
3.3.1.9 รอประมาณ 40 นาทีเพื่อให้คอนกรีตพรุนขยายตัวเต็มที่ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 แล้วจึงปาดหน้าให้เรียบ

3.3.1.10 ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงจึงถอดแบบ และเขียนหมายเลขรหัส แล้วนำไปบ่มในน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.3

3.3.1.11 ก่อนทำการทดสอบตัวอย่าง 1วัน ให้นำชิ้นตัวอย่างขึ้นจากน้ำไว้ในอุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

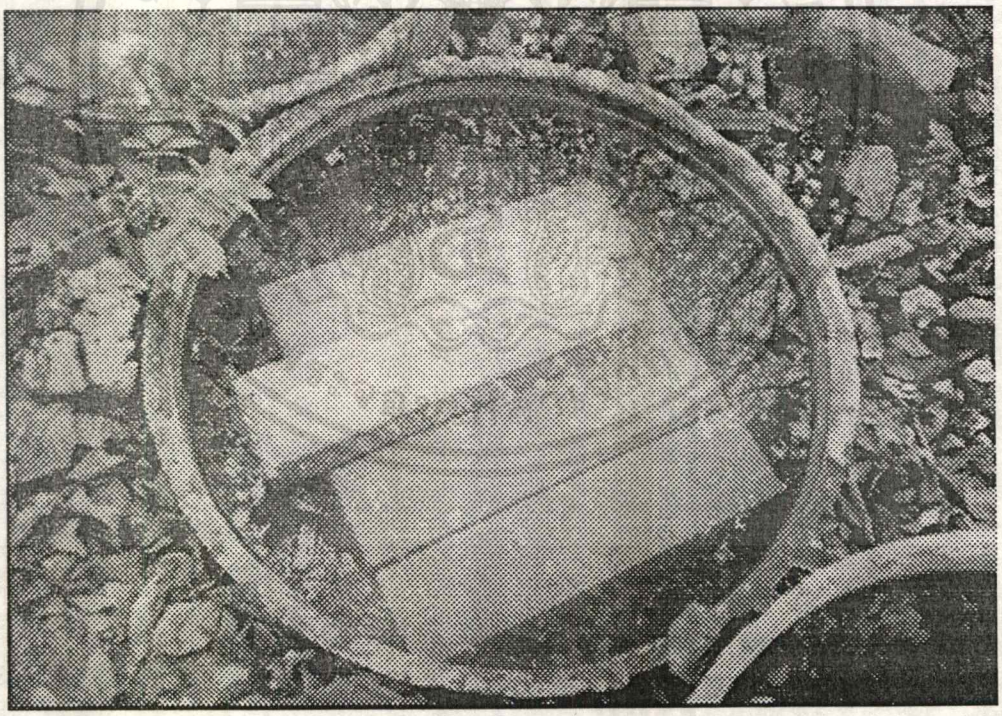
3.3.1.12 นำชิ้นตัวอย่างไปทดสอบ



รูปที่ 3.1 แสดงการใส่ส่วนผสมลงในแบบประมาณ 2 ใน 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 แสดงการพองตัวของคอนกรีตพรุน



รูปที่ 3.3 การบ่มชิ้นตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.3.2 ประเภทของการทดสอบ** แบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ดังนี้

3.3.2.1 การทดสอบหากำลังอัด ใช้แบบหล่อชิ้นตัวอย่าง ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ตัวอย่างที่ 7 วัน และ 28 วัน จำนวนตัวอย่างละ 3 ตัวอย่าง

3.3.2.2 การทดสอบหากำลังรับแรงเฉือน ใช้แบบหล่อชิ้นตัวอย่าง ขนาด 15 เซนติเมตร x 15 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร ตัวอย่างที่ 28วันจำนวน 3 ตัวอย่าง

3.3.2.3 การทดสอบหาความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ ใช้แบบหล่อชิ้นตัวอย่าง ขนาด 5 เซนติเมตร x 5 เซนติเมตร x 5 เซนติเมตร จำนวน 5 ตัวอย่าง

3.3.2.4 วิเคราะห์หาส่วนผสมที่เหมาะสมในด้านของความหนาแน่นและกำลังรับแรงมาทำการทดสอบ Standing Wave ใช้ชิ้นตัวอย่างขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 9.8 เซนติเมตร สูง 2.5 เซนติเมตร เพื่อทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง จำนวน 10 ตัวอย่าง

3.3.2.5 ทำการทดสอบ Reverberation Room ใช้ชิ้นตัวอย่างขนาด 50 เซนติเมตร x 50 เซนติเมตร x 3 เซนติเมตรจำนวน 30 ตัวอย่าง ประกอบเป็นแผ่นพื้นขนาด 2.5 เมตร x 3 เมตร เพื่อทดสอบหาสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง ใน Reverberation Room

**3.4 การทดสอบชิ้นตัวอย่างคอนกรีตพรุน**

**3.4.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด ASTM C 39 - 72**

นำแท่งตัวอย่างคอนกรีตไปวางบนศูนย์กลางของแท่นรองรับบนเครื่องตัวอย่าง จากนั้นให้น้ำหนักกดบนชิ้นตัวอย่างด้วยอัตราเร็วคงที่ จนกระทั่งชิ้นตัวอย่างพังบันทึกค่าน้ำหนักสูงสุดไว้แล้วคำนวณหาค่ากำลังรับแรงอัด สังเกตลักษณะการวิบัติและมุมของระนาบวิบัติ ดังสมการ(3)

$$F = \frac{P}{A} \tag{3}$$

โดยที่ P เป็นแรงกระทำสูงสุดต่อแท่งตัวอย่าง

A เป็นพื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่าง

**3.4.2 การทดสอบกำลังรับแรงเฉือน [9]**

นำแท่งตัวอย่างคอนกรีตไปวางบนแท่นรองรับบนเครื่องตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 3.4 จากนั้นให้น้ำหนักกดบนชิ้นตัวอย่างด้วยอัตราเร็วคงที่ จนกระทั่งชิ้นตัวอย่างพังบันทึกค่าน้ำหนักสูงสุดไว้แล้วคำนวณหาค่ากำลังรับแรงเฉือน สังเกตลักษณะการวิบัติและมุมของระนาบวิบัติ ดังสมการ(4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

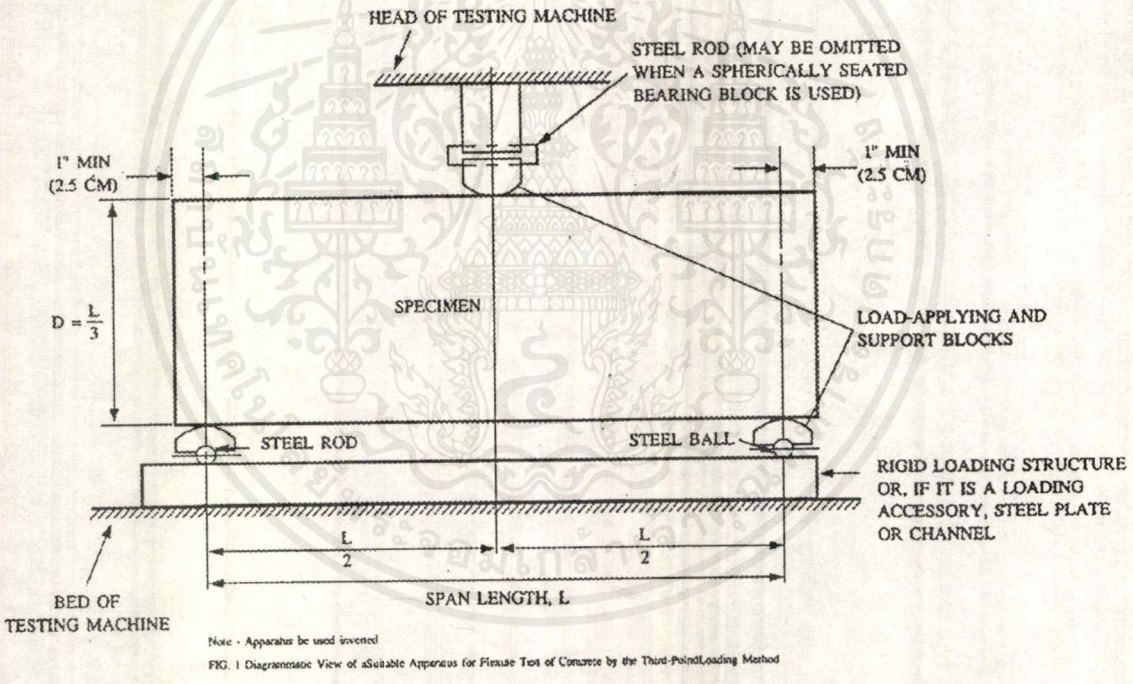
$$\iota = \frac{3V}{2A} \qquad (4)$$

โดยที่ $\iota$ เป็นค่ากำลังรับแรงเฉือน

V มีค่าเท่ากับ $\frac{P}{2}$

P เป็นแรงกระทำสูงสุดต่อคานตัวอย่าง

A เป็นพื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่างที่รับแรงเฉือน




รูปที่ 3.4 การจัดวางชิ้นตัวอย่างกำลังรับแรงเฉือน [2]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.4.3 การทดสอบหาค่าความหนาแน่น ASTM C 1040 - 93**

นำชิ้นตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักแล้ววัดความกว้าง ความยาว ความสูง คำนวณหาค่าความหนาแน่นดังสมการ(5)

$$D = \frac{M}{V} \qquad (5)$$

โดยที่ D เป็นค่าความหนาแน่น

M เป็นน้ำหนักแห้งของชิ้นตัวอย่าง

V เป็นปริมาตรของชิ้นตัวอย่าง

**3.4.5 การทดสอบหาค่าอัตราการดูดซึมน้ำ ASTM C 642 - 90**

นำชิ้นตัวอย่างไปทำการอบที่อุณหภูมิ 100-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหลังจากนั้นนำชิ้นตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักแล้วทำการบันทึกค่า นำชิ้นตัวอย่างแช่ในน้ำสะอาดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดให้นำขึ้นจากน้ำ ทำการซับน้ำที่ผิวออกแล้วนำไปชั่งบันทึกค่าน้ำหนัก คำนวณหาค่าอัตราการดูดซึมดังสมการ(6)

$$\text{อัตราการดูดซึมน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักหลังแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}) \times 100}{\text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}} \qquad (6)$$

**3.4.6 การทดสอบวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงด้วยวิธี Standing Wave ASTM C384 - 90a**

**3.4.6.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 และ รูปที่ 3.6**

[1] Standing Wave Apparatus ประกอบด้วย ท่อนำเสียง ลำโพงและตัวรับคลื่นเสียง รางเลื่อน

[2] Measuring Amplifier

[3] Signal Generator

[4] Band Pass Filter

[5] Amplifier

**3.4.6.2 วิธีการทดสอบ**

[1] เตรียมชิ้นทดสอบที่ส่วนผสมที่ดีที่สุดที่ได้จากการวิเคราะห์ ค่ากำลังรับแรงอัด แรงเฉือน ความหนาแน่น และอัตราการดูดซึมขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 9.8 เซนติเมตร สูง 2.5 เซนติเมตร จำนวน 5 ตัวอย่าง

[2] นำชิ้นทดสอบที่เตรียมมาติดตั้งใน Sample Holder แล้วประกอบเข้าที่ปลายท่อ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[3] ทำการขันสกรูที่ท่อให้แน่น

[4] เปิดเครื่องส่งสัญญาณ และปรับค่าสัญญาณความถี่ที่ Band Pass Filter ให้มีค่า 125 Hz

[5] เลื่อนตัวรับคลื่นเสียง ที่อยู่บนรางเลื่อนเข้าใกล้ชิ้นทดสอบจนสัมผัสกับผิวของชิ้นทดสอบ

[6] เปิด Output Voltage ที่ Signal Generator เพื่อส่งคลื่นเสียง Sine Curve

[7] เลื่อนตัวรับคลื่นเสียง ที่อยู่บนรางเลื่อนเข้าออก บริเวณใกล้กับผิวหน้าของชิ้นทดสอบเพื่อหาจุดที่รับพลังงานของคลื่นเสียงได้สูงสุด

[8] ทำการบันทึกค่าพลังงานสูงสุดที่วัดได้ ลง Measuring Amplifier

[9] เลื่อนตัวรับคลื่นเสียง ที่อยู่บนรางเลื่อน ออกจากชิ้นทดสอบ เพื่อหาจุดที่รับพลังงานของคลื่นเสียงได้น้อยที่สุด

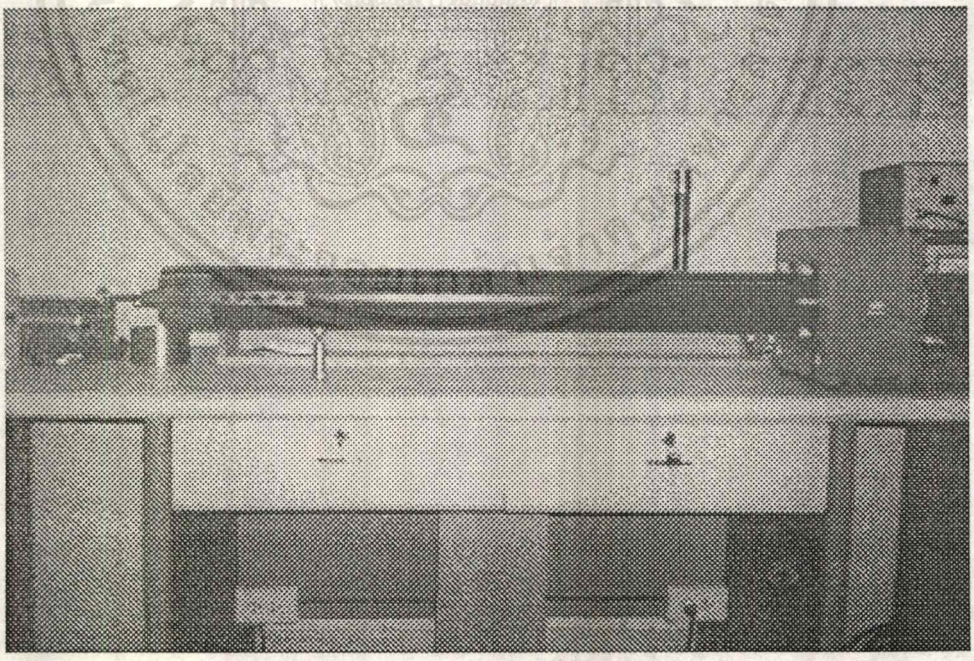
[10] ทำการบันทึกค่าพลังงานน้อยสุดที่วัดได้ ลง Measuring Amplifier

[11] อ่านค่าที่ได้จาก Measuring Amplifier บันทึกค่าที่อ่านได้เป็นค่าพลังงานที่สูญเสีย หรือค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง

[12] การทดสอบซ้ำตั้งแต่ ข้อ [5] ถึง ข้อ [11]โดยเปลี่ยนสัญญาณความถี่ที่ Band Pass Filter เป็น 250 500 1000 2000 และ 4000 ตามลำดับ

[13] ทำการทดสอบซ้ำจนครบ 5 ชิ้นตัวอย่าง

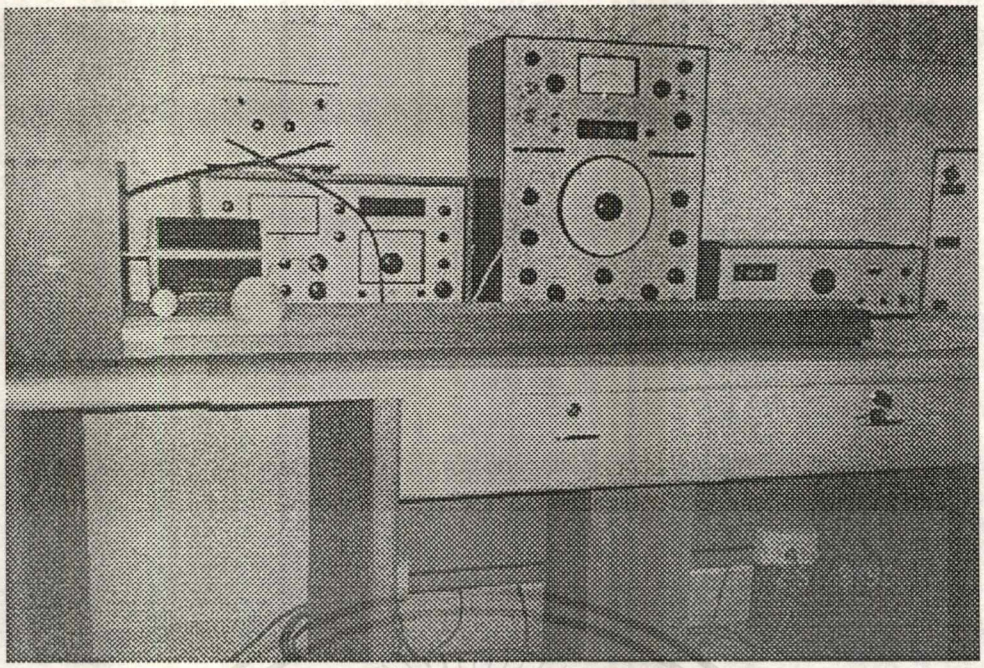
[14] ทำการวัดค่า Sample Holder ที่ไม่มีชิ้นทดสอบ และชิ้นส่วนผนังก่ออิฐฉาบปูน เพื่อนำมาเปรียบเทียบ



รูปที่ 3.5 การติดตั้งเครื่องมือ Standing Wave Tube



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 รางเลื่อน และ ชุดเครื่องมือทดสอบ Standing Wave

**3.4.7 การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนด้วยวิธี Reverberation Room ASTM C423-90a**

**3.4.7.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.8**

[1] Signal Generator

[2] Band Pass Filter

[3] Measuring Amplifier

[4] Amplifier

[5] Recorder

[6] ตัวรับคลื่นเสียง และ ลำโพง

[7] แหล่งกำเนิดเสียง 124 dB

[8] เครื่องวัดความชื้น และ อุณหภูมิ

[9] Reverberation Room



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.7.2 วิธีการทดสอบ

[1] เตรียมชิ้นทดสอบที่ส่วนผสมที่ดีที่สุดที่ได้จากการวิเคราะห์ ค่ากำลังรับแรงอัด แรงเฉือน ความหนาแน่น และอัตราการดูดซึมขนาด 50 เซนติเมตร x 50 เซนติเมตร x 3เซนติเมตร จำนวน 30 ตัวอย่าง

[2] นำชิ้นตัวอย่างเข้าประกอบในห้อง Reverberation เป็นแผ่นพื้นขนาด 2.5 เมตร x 3 เมตร โดยการฉาบรอยต่อให้เป็นเนื้อเดียวกัน

[3] ติดตั้งลำโพงและตัวรับคลื่นเสียง โดยให้ห่างกันประมาณ 2 เมตร และ ห่างจากผนังห้องไม่น้อยกว่า 1 เมตร

[4] ติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดสัญญาณ เครื่องวัดสัญญาณ และเครื่องบันทึกสัญญาณ

[5] ทำการวัดค่าของเครื่อง Measuring Amplifier โดยใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณ 124 เดซิเบล

[6] วัดค่าของความชื้น และอุณหภูมิใน Reverberation Room

[7] เปิดเครื่องส่งสัญญาณ และปรับค่าสัญญาณความถี่ที่ Band Pass Filter ให้มีค่า 125 Hz

[8] วัดค่าพลังงานคลื่นเสียงที่ได้โดยบันทึกใน Recorder

[9] สังเกตุค่าที่บันทึกได้ใน Recorder เริ่มเป็นกราฟที่มีความสม่ำเสมอแล้วจึงปิดเครื่องกำเนิดสัญญาณ

[10] อ่านค่ากราฟที่ Recorder ได้บันทึกไว้ด้วยอุปกรณ์การหาค่า Time Decay และบันทึกผล

[11] คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง

วิธีคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง

$$A = \frac{55.3V}{CT}$$

A = Sound Absorption Area

V = Volume of Reverberation Room

C = ความเร็วเสียง ( $20.047 \times \sqrt{(273.15+t)}$ )

T = Time Decay

$A_E$ = Sound Absorption Area of Specimen

$A_R$ = Sound Absorption Area of Empty Room

$\alpha$ = ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

$\alpha = ( A_E - A_R )/S$

S = ขนาดของตัวอย่าง

t = อุณหภูมิห้อง(องศาเซลเซียส)

[12] ทำการทดสอบซ้ำ ข้อ [7] ถึง ข้อ [11] โดยเปลี่ยนค่าความถี่ที่ Band Pass Filter เป็น 250 500 1000 2000 4000 Hz ตามลำดับ

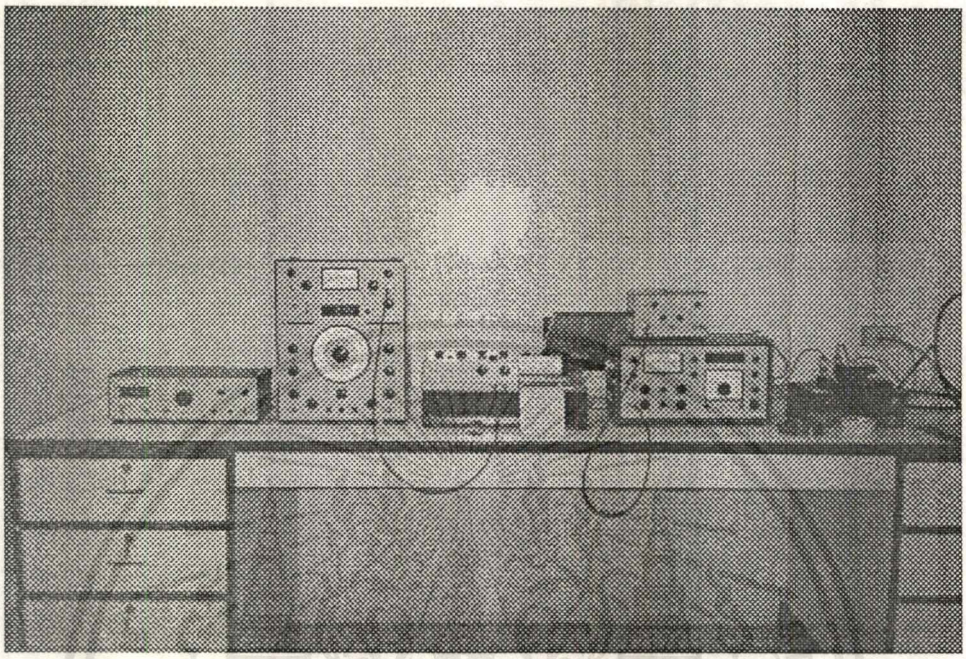


039001

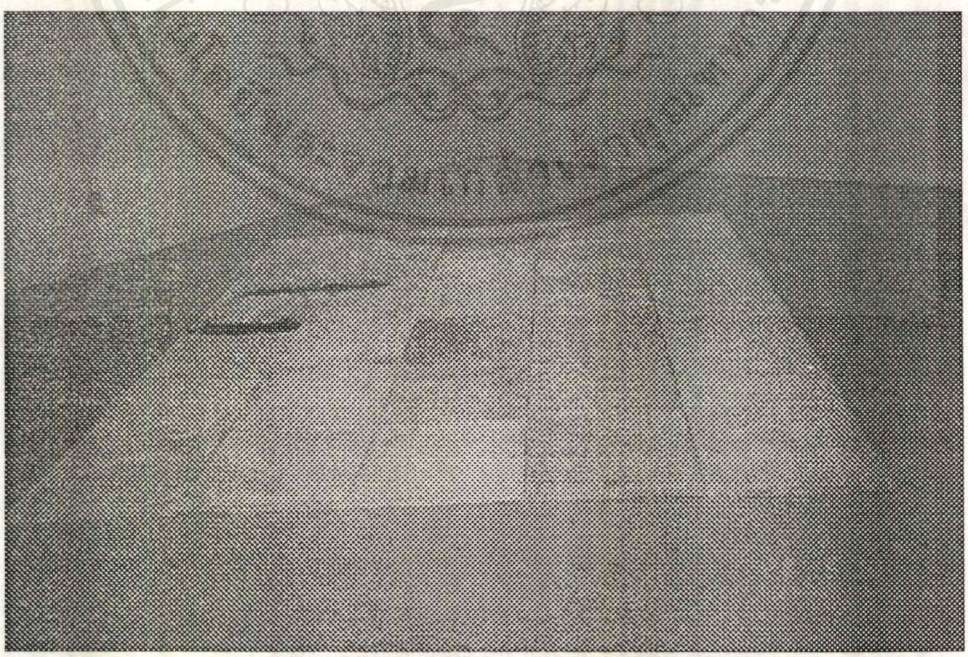
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[13] ทำการทดสอบซ้ำ 5 ครั้ง

[14] ทำการย้ายที่ตั้งเครื่องรับคลื่นเสียง และลำโพง ไปที่จุดอื่น โดยมีระยะห่างเท่าเดิม และทำการทดสอบซ้ำ ข้อ [6] ถึง ข้อ [13] อีกครั้ง



รูปที่ 3.7 ชุดเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ Reverberation Room



รูปที่ 3.8 การติดตั้งชิ้นทดสอบใน Reverberation Room

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# ผลการศึกษาและการวิเคราะห์

## 4.1 ผลการศึกษา

จากการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของคอนกรีตใช้จำนวนตัวอย่าง 124 ตัวอย่างดังตารางที่ 4.1

**ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ**

| การทดสอบ | ลักษณะชิ้นตัวอย่าง | จำนวน |
|---|---|---|
| การทดสอบกำลังรับแรงอัด | รูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. | 36 |
| การทดสอบกำลังรับแรงเฉือน | คานขนาด 15 x 15 x 60 ซม. | 18 |
| การทดสอบความหนาแน่นและอัตราการดูดซึม | รูปลูกบาศก์ขนาด 5 x 5 x 5 ซม. | 30 |
| การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง | รูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9.8 ซม. สูง 2.5 ซม. | 10 |
| | แผ่นพื้นขนาด 50 x 50 x 3 ซม. | 30 |

ที่อัตราส่วนผสมผงอะลูมิเนียม 0.10% อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ 0.50 ได้ค่ากำลังรับแรงอัด 58.34 กิโลกรัมต่อตารางเมตร กำลังรับแรงเฉือน 9.8 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ความหนาแน่น 1.45 ตันต่อลูกบาศก์เมตร อัตราการดูดซึมน้ำ 23.74%

ที่อัตราส่วนผสมผงอะลูมิเนียม 0.10% อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ 0.55 ได้ค่ากำลังรับแรงอัด 52.34 กิโลกรัมต่อตารางเมตร กำลังรับแรงเฉือน 9.32 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ความหนาแน่น 1.31 ตันต่อลูกบาศก์เมตร อัตราการดูดซึมน้ำ 25.77%

ที่อัตราส่วนผสมผงอะลูมิเนียม 0.15% อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ 0.50 ได้ค่ากำลังรับแรงอัด 48.33 กิโลกรัมต่อตารางเมตร กำลังรับแรงเฉือน 8.45 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ความหนาแน่น 1.33 ตันต่อลูกบาศก์เมตร อัตราการดูดซึมน้ำ 32.19%

ที่อัตราส่วนผสมผงอะลูมิเนียม 0.15% อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ 0.55 ได้ค่ากำลังรับแรงอัด 46.15 กิโลกรัมต่อตารางเมตร กำลังรับแรงเฉือน 7.17 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ความหนาแน่น 1.19 ตันต่อลูกบาศก์เมตร อัตราการดูดซึมน้ำ 35.36%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อัตราส่วนผสมผงอะลูมิเนียม 0.20% อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ 0.50 ได้ค่ากำลังรับแรงอัด 40.94 กิโลกรัมต่อตารางเมตร กำลังรับแรงเฉือน 8.09 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ความหนาแน่น 1.28 ตันต่อลูกบาศก์เมตร อัตราการดูดซึมน้ำ 42.72%

ที่อัตราส่วนผสมผงอะลูมิเนียม 0.20% อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ 0.55 ได้ค่ากำลังรับแรงอัด 38.25 กิโลกรัมต่อตารางเมตร กำลังรับแรงเฉือน 7.37 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ความหนาแน่น 1.18 ตันต่อลูกบาศก์เมตร อัตราการดูดซึมน้ำ 40.90%

ค่าดังกล่าวได้แสดงดังตารางที่ 4.2 และกราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.4 ตารางที่ 4.3 และ ตารางที่ 4.4 เป็นตารางแสดงค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของ 2 วิธี คือ

[1] Standing Wave

[2] Reverbveration Room

ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงที่หาด้วยด้วยวิธี Standing Wave ของคอนกรีตพรุนที่ความถี่ 125 Hz มีค่าเท่ากับ 4.46% ที่ค่าความถี่ 250 Hz มีค่าเท่ากับ 7.75% ที่ค่าความถี่ 500 Hz มีค่าเท่ากับ 24.98% ที่ค่าความถี่ 1,000 Hz มีค่าเท่ากับ 19.60% ที่ค่าความถี่ 2,000 Hz มีค่าเท่ากับ 14.94% ที่ค่าความถี่ 4,000 Hz มีค่าเท่ากับ 8.50%

ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงที่หาด้วยด้วยวิธี Standing Wave ของผนังก่ออิฐฉาบปูนที่ความถี่ 125 Hz มีค่าเท่ากับ 4.46% ที่ค่าความถี่ 250 Hz มีค่าเท่ากับ 7.75% ที่ค่าความถี่ 500 Hz มีค่าเท่ากับ 24.98% ที่ค่าความถี่ 1,000 Hz มีค่าเท่ากับ 19.60% ที่ค่าความถี่ 2,000 Hz มีค่าเท่ากับ 14.94% ที่ค่าความถี่ 4,000 Hz มีค่าเท่ากับ 8.50%

ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงที่หาด้วยวิธี Reverberation Room ของแผ่นพื้นตัวอย่างขนาด 7.5 ตารางเมตร ที่ความถี่ 125 Hz มีค่าเท่ากับ 6.9% ที่ค่าความถี่ 250 Hz มีค่าเท่ากับ 14.90% ที่ค่าความถี่ 500 Hz มีค่าเท่ากับ 28.70% ที่ค่าความถี่ 1,000 Hz มีค่าเท่ากับ 18.20% ที่ค่าความถี่ 2,000 H มีค่าเท่ากับ 22.3% ที่ค่าความถี่ 4,000 Hz มีค่าเท่ากับ 20%

ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่กับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงได้นำเสนอเป็นกราฟดังรูปที่ 4.5 และ รูปที่4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงเฉือน ความหนาแน่น และอัตราการดูดซึมน้ำ

| % Aluminium powder | water cement ratio | compressive strength ksc | Shear Strength ksc | Density t/m^3 | Percent Absorption % |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.10 | 0.50 | 58.34 | 9.80 | 1.45 | 23.74 |
| | 0.55 | 52.32 | 9.32 | 1.31 | 25.77 |
| 0.15 | 0.50 | 48.33 | 8.45 | 1.33 | 32.19 |
| | 0.55 | 46.15 | 7.17 | 1.19 | 35.36 |
| 0.20 | 0.50 | 40.94 | 8.09 | 1.28 | 41.72 |
| | 0.55 | 38.25 | 7.37 | 1.18 | 40.90 |

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงด้วยวิธี Standing Wave ของคอนกรีตพรุนและผนังก่ออิฐฉาบปูน

อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส

ความชื้นสัมพัทธ์ 48.8 %

ความดันบรรยากาศ 1009 มิลลิบาร์

| ความถี่ ( Hz ) | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง ของคอนกรีตพรุน(%) | 4.46 | 7.75 | 24.98 | 19.60 | 14.94 | 8.50 |
| ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง ของผนังก่ออิฐฉาบปูน(%) | 5.00 | 8.80 | 20.60 | 11.50 | 14.30 | 12.10 |

ตารางที่ 4.4 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงด้วย **Sabine Formula**

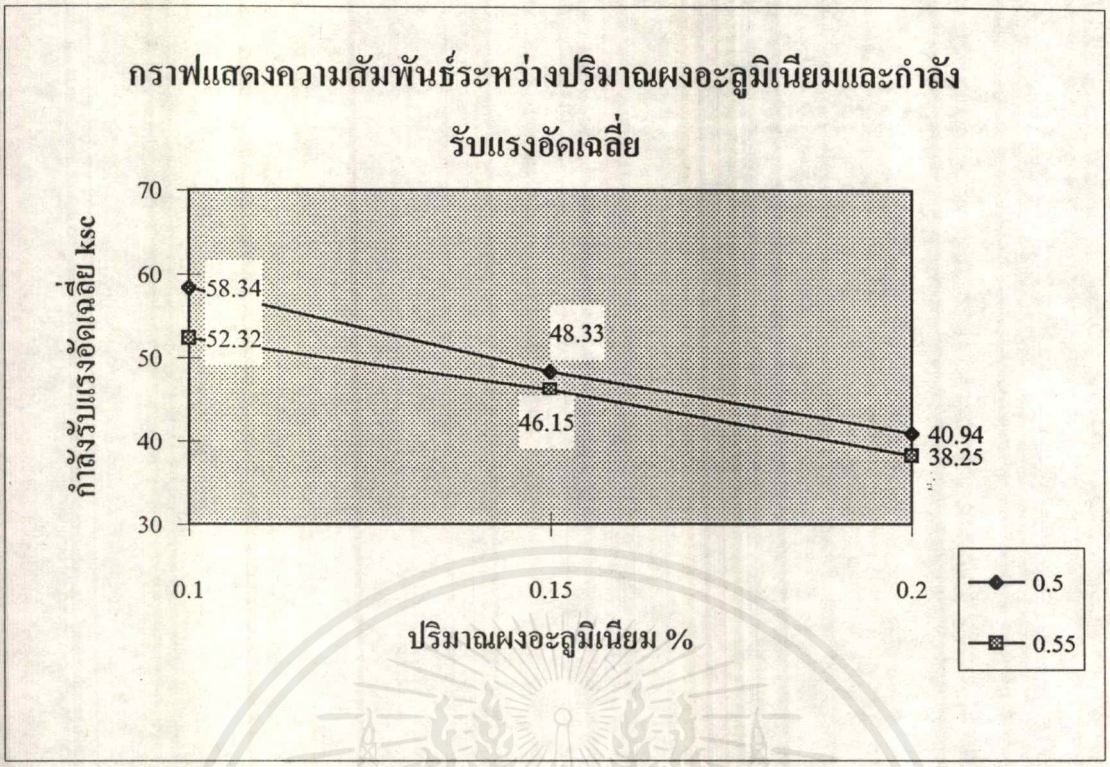
| ความถี่ ( Hz ) | Ar1 | Ar2 | Ae | A1 | A2 | (A1+A2)/2 | C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 125 | 28.215 | 28.215 | 27.696 | 0.519 | 0.519 | 0.519 | 0.069 |
| 250 | 19.975 | 20.520 | 19.129 | 0.846 | 1.391 | 1.119 | 0.149 |
| 500 | 14.948 | 15.149 | 12.898 | 2.050 | 2.251 | 2.150 | 0.287 |
| 1000 | 13.516 | 13.356 | 12.071 | 1.446 | 1.286 | 1.366 | 0.182 |
| 2000 | 14.850 | 15.048 | 13.278 | 1.572 | 1.770 | 1.671 | 0.223 |
| 4000 | 16.009 | 16.123 | 14.563 | 1.446 | 1.560 | 1.503 | 0.200 |

A1 , A2 = Sound Absorption Area

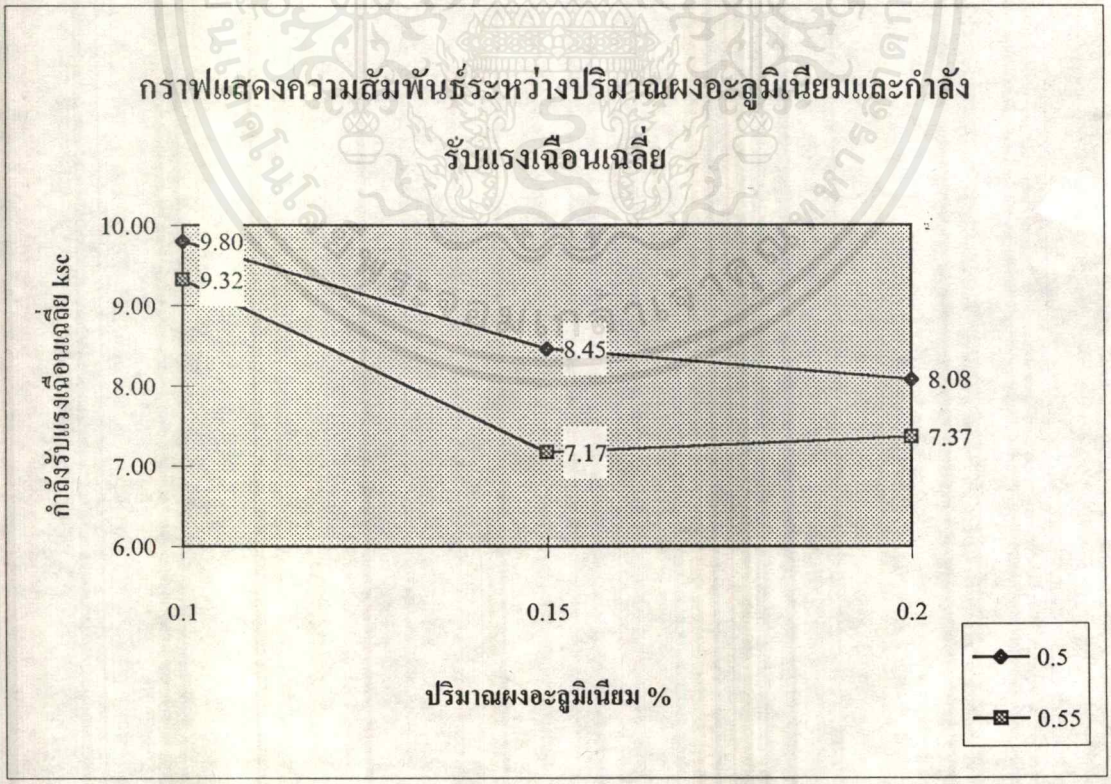
Ar1 , Ar2 = Sound Absorption Area of Specimen

Ae = Sound Absorption Area of Empty Room

C = Coefficient of Absorption

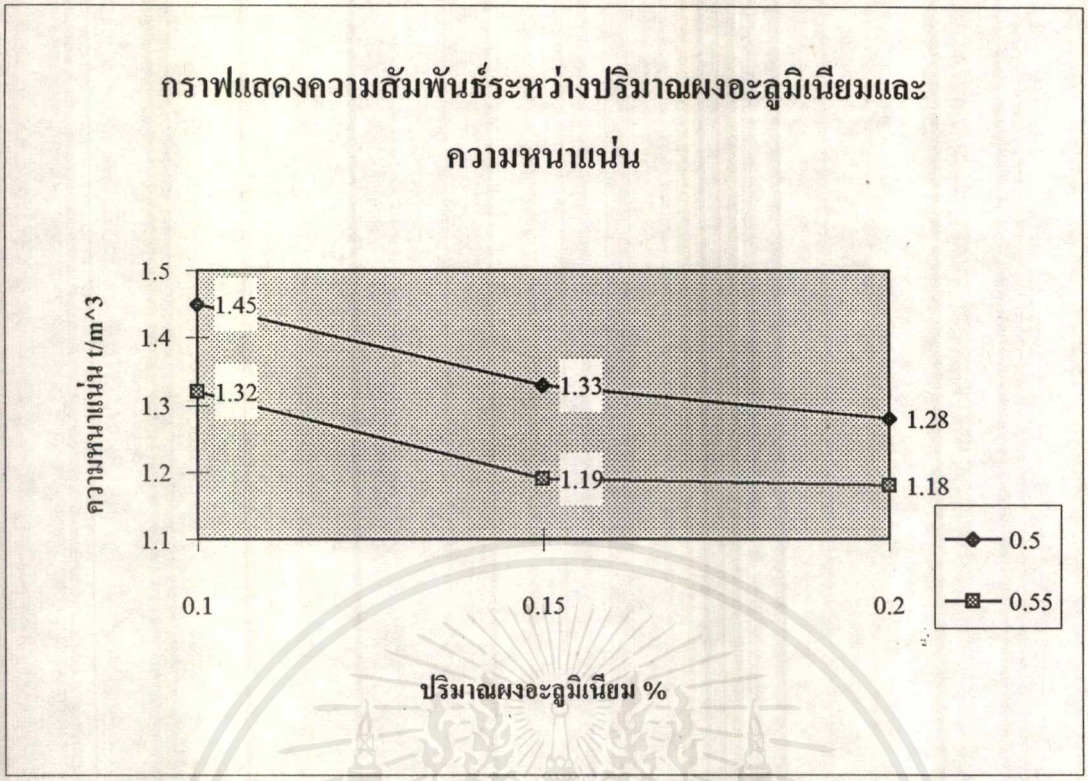



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณผงอะลูมิเนียมและกำลังรับแรงอัดเฉลี่ย

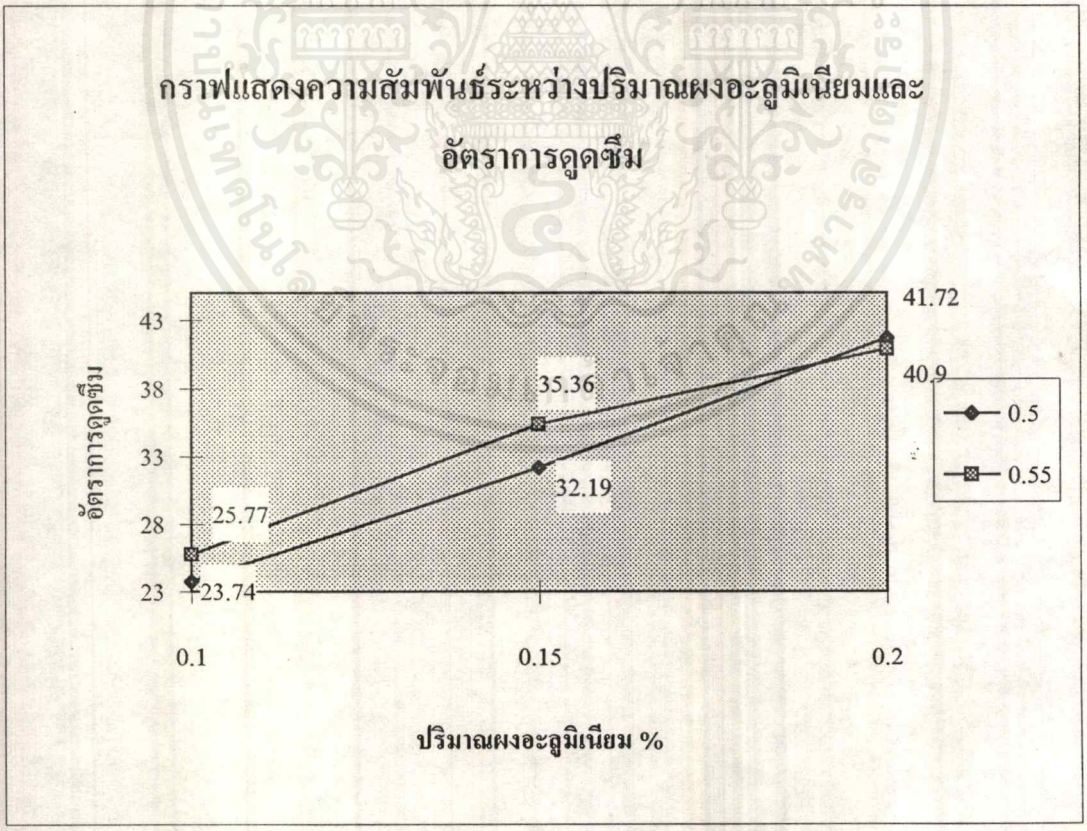



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณผงอะลูมิเนียมและกำลังรับแรงเฉือนเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

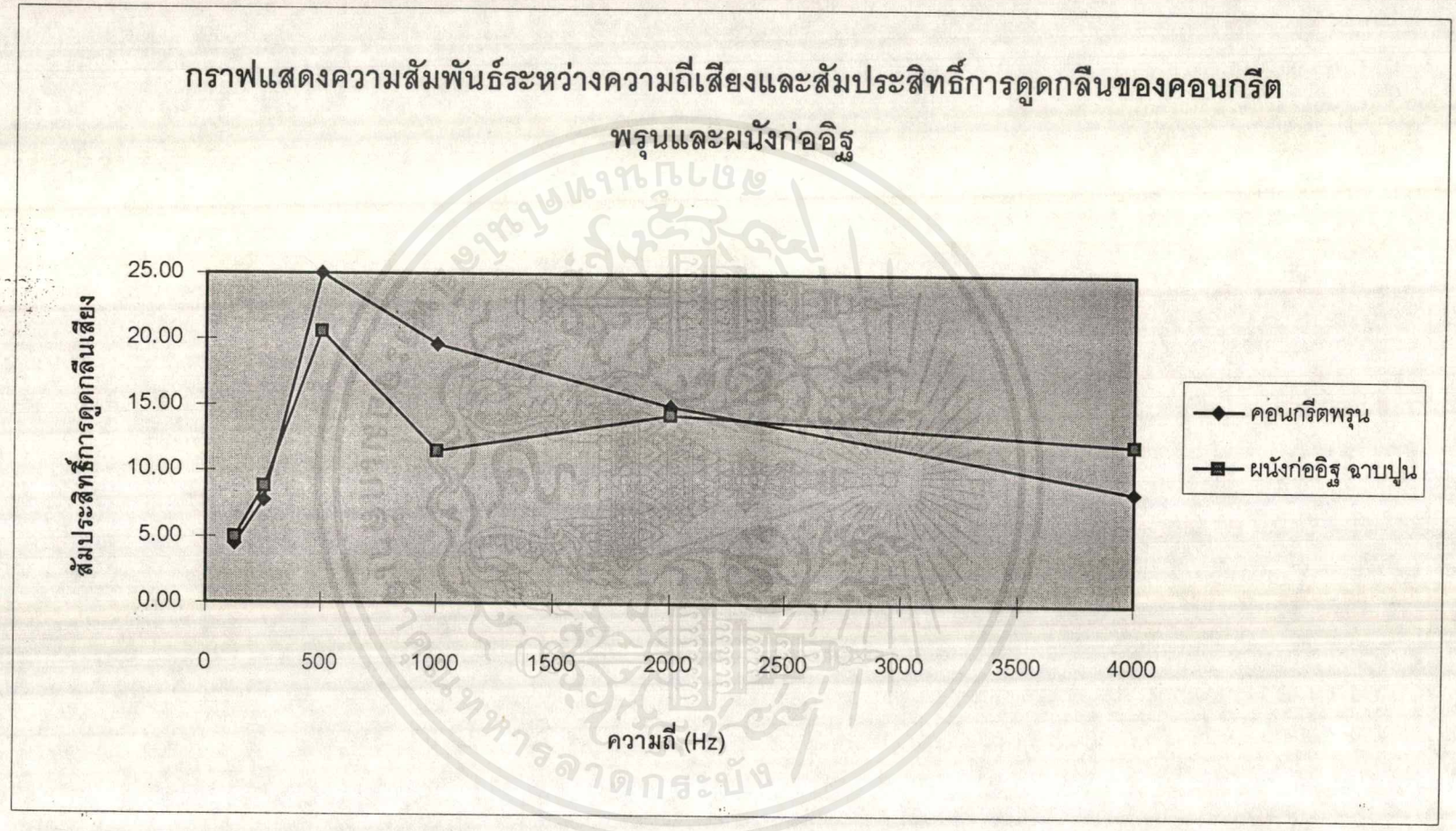



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณผงอะลูมิเนียมและความหนาแน่นเฉลี่ย

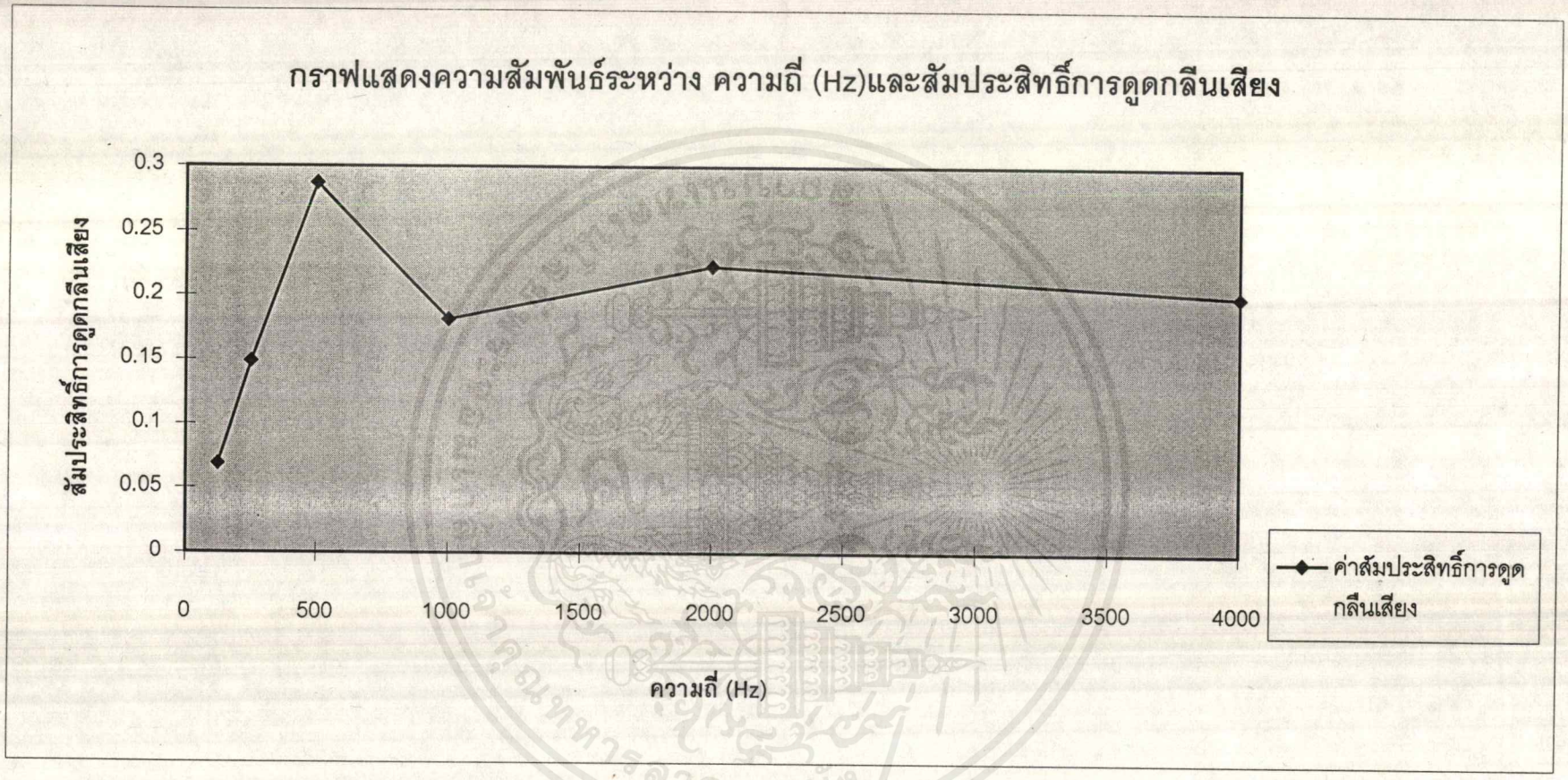



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณผงอะลูมิเนียมและอัตราการดูดซึมเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง กับ ความถี่ ของการทดสอบ Standing Wave




รูปที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง ของการทดสอบ Reverberation Room

**4.2 การวิเคราะห์ผลการศึกษา**

การวิเคราะห์ผลการศึกษา จะพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆดังนี้

**4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงกับปริมาณผงอะลูมิเนียม**

จากผลการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า กำลังรับแรงของคอนกรีตพรุนทั้งแรงอัด และแรงเฉือนจะแปรผกผันกับปริมาณผงอะลูมิเนียมที่ใส่ คือ เมื่อปริมาณผง อะลูมิเนียมเพิ่มมากขึ้น ความสามารถในการรับแรงจะลดลง เนื่องจากปริมาณผงอะลูมิเนียมเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดความพรุนในเนื้อคอนกรีตที่เพิ่มมากขึ้นแต่ความสามารถในการรับแรงลดลง จากกราฟดังกล่าวจะแสดงให้เห็นถึงกำลังรับแรงที่มากที่สุดที่ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.1% และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5

**4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับปริมาณผงอะลูมิเนียม**

จากผลการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าความหนาแน่นของคอนกรีตพรุนจะแปรผันผกผันกับปริมาณผงอะลูมิเนียมที่ใส่ คือ เมื่อปริมาณผงอะลูมิเนียมเพิ่มมากขึ้น ความหนาแน่นของคอนกรีตพรุนก็จะลดลง เนื่องจากปริมาณผงอะลูมิเนียมจะเข้าไปทำปฏิกริยากับน้ำ ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนเข้าไปแทนที่เนื้อของคอนกรีตทำให้คอนกรีตมีความพรุนและความหนาแน่นลดลง จากกราฟจะพบว่าความหนาแน่นจะลดลงเป็นเส้นตรงที่มีความชันมากในช่วงปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.1%-0.15% และเริ่มคงที่ไปจนถึงปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.2 %

**4.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซึมกับปริมาณผงอะลูมิเนียม**

จากผลการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าอัตราการดูดซึมจะแปรผันตรงกับปริมาณผงอะลูมิเนียม คือ เมื่อปริมาณผงอะลูมิเนียมเพิ่มมากขึ้น อัตราการดูดซึมจะเพิ่มมากขึ้นด้วย เนื่องจาก เมื่อปริมาณผงอะลูมิเนียมเพิ่มมากขึ้นความพรุนในเนื้อคอนกรีตก็จะเพิ่มมากขึ้น เป็นผลให้มีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ดีเพราะมีช่องว่างของอากาศอยู่มาก

**4.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับตัวแปรต่างๆ**

จากผลการศึกษาในรูปต่างๆพบว่า อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์มีความสัมพันธ์ในลักษณะเดียวกับปริมาณผงอะลูมิเนียม คือ เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มมากขึ้นความสามารถในการรับแรงจะลดลง ความหนาแน่นจะลดลง และอัตราการดูดซึมจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจาก น้ำเป็นองค์ประกอบในการทำปฏิกริยากับผงอะลูมิเนียม เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มมากขึ้นปริมาณของฟองก๊าซไฮโดรเจนก็จะเพิ่มมากขึ้นและเข้าไปแทนที่ในเนื้อคอนกรีตทำให้คอนกรีตทีความพรุนเพิ่มขึ้น

**4.2.5 รอยแตกของคอนกรีตพรุน**

เมื่อทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพรุน หลังจากรับกำลังจนวิบัติแล้วสามารถแบ่งลักษณะการวิบัติของชิ้นส่วนได้ออกเป็น 2 ลักษณะ และ เมื่อทำการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีตพรุน หลังจากรับกำลังจนวิบัติแล้วสามารถแบ่งลักษณะการวิบัติ ของชิ้นส่วนได้ออก เป็น 2 ลักษณะ เช่นกัน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

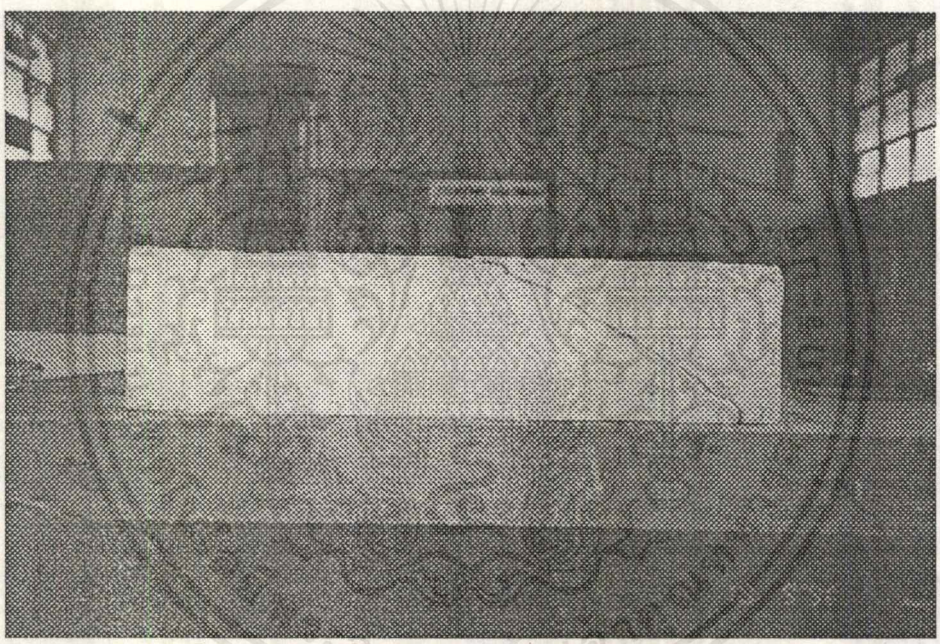
**4.2.5.1 กำลังรับแรงอัด**

[1] การแตกจะแตกในแนวเอียง 45 องศากับทิศทางของแรงที่กระทำซึ่งเป็นการวิบัติทั่วไปของ คอนกรีตที่เกิดในระนาบที่มีแรงเฉือนสูงสุด ลักษณะของเนื้อคอนกรีตที่วิบัติลักษณะนี้จะมีความพรุนสม่ำเสมอ

[2] การแตกลักษณะเป็นเส้นตรง หรือ แตกร้าวบริเวณด้านนอกกำลังรับแรงอัดจะไม่ค่อยสูงนัก ลักษณะของเนื้อคอนกรีตจะมีความพรุนไม่สม่ำเสมอ และแตกร้าวบริเวณที่มีความพรุนมาก

**4.2.5.2 กำลังรับแรงเฉือน**

[1] การแตกจะแตกในแนวเอียง ทำมุมเป็นแนวทแยงจากจุดที่รับแรงเฉือนไปหาจุดที่รองรับทั้งสองด้าน การวิบัติลักษณะนี้จะเป็นการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน ดังแสดงในรูปที่ 4.7



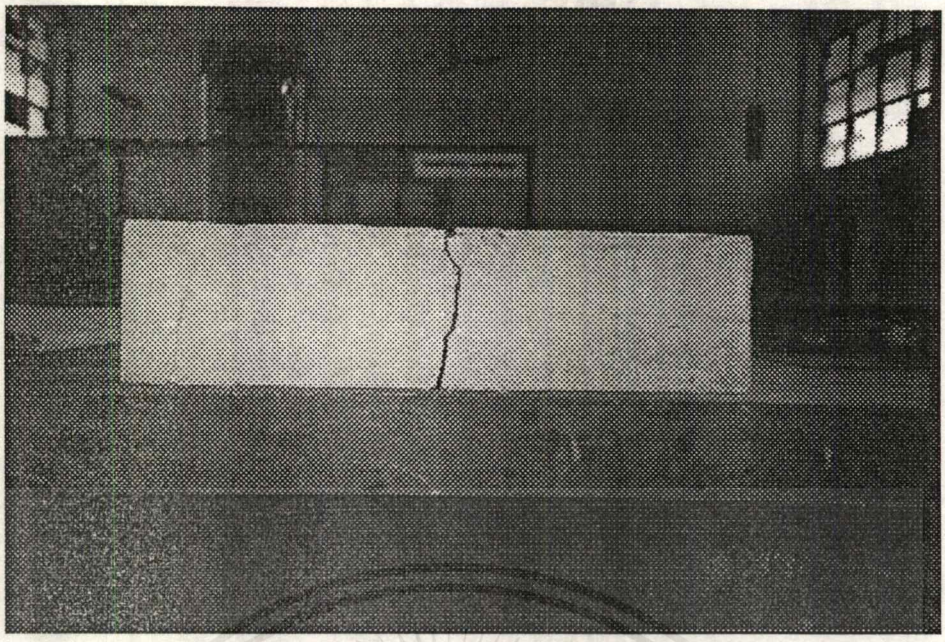
รูปที่ 4.7 รอยแตกเป็นแนวเอียงเนื่องจากแรงเฉือน

[2] การแตกในแนวดิ่งเป็นเส้นตรงจากจุที่รับแรงถึงท้องคาน การวิบัติลักษณะนี้เป็นการวิบัติเนื่องจากแรงดังแสดงในรูปที่ 4.8

**4.2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง**

ค่าการดูดกลืนเสียงที่สามารถรับได้นั้นเป็นผลมาจาก การที่พลังงานเสียงที่ส่งเข้าไปในวัสดุ เกิดการการหักล้างกันภายในตัววัสดุ เพราะวัสดุมีรูพรุนขนาด 0.1 ถึง 1 มิลลิเมตร ทำให้ค่าการสะท้อนกลับมีเฟสต่างกัน ถ้าค่าการสะท้อนกลับมีค่าเฟสต่างกันถึง 180 องศา ทำให้เกิดการหักล้างของพลังงานเสียง เมื่อเสียงสะท้อนกลับออกมา จะมีพลังงานบางส่วนที่สูญเสียไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 รอยแตกในแนวดิ่งเนื่องจากการแรงดัด

**4.2.7 ราคาคอนกรีตพรุน**

จากการศึกษาได้ความหนาแน่นของคอนกรีตพรุนที่มีส่วนผสมเหมาะสมเป็น 1,190 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีราคาเฉพาะค่าวัสดุประมาณ 2,610 บาทต่อลูกบาศก์เมตรซึ่งมีราคาแพงกว่าผนังของผลิตภัณฑ์ Q-CON รายละเอียดข้างต้นแสดงในภาคผนวก ค และภาคผนวก ง

**4.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการศึกษา**

4.3.1 ปูนซีเมนต์ที่นำมาใช้จับตัวเป็นก้อนทำให้มีปัญหาในการผสม

4.3.2 ทรายที่นำมาใช้ยังมีความละเอียดไม่สูงมากนัก

4.3.3 ผงอะลูมิเนียมเป็นสารเคมีที่นำเข้ามีจำนวนจำกัด ทำให้ไม่สามารถศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงได้ทุกส่วนผสม จึงใช้การวิเคราะห์หาส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการศึกษา

4.3.4 แบบหล่อที่ใช้หล่อชิ้นทดสอบในการศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงด้วยวิธี Standing Wave เป็นแบบหล่อที่ทำขึ้นเองมีปัญหาในการถอดแบบเนื่องจากการขยายตัวของคอนกรีตพรุนทำให้ขอบของชิ้นตัวอย่างมีรอยแตกบิ่นบ้างการใส่เข้า Sample Holder ไม่สนิทดี

4.3.5 รอยต่อของแผ่นทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงด้วยวิธี Reverberation Room ไม่เป็นเนื้อเดียวกับชิ้นทดสอบอาจส่งผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง

4.3.6 อุณหภูมิของห้องที่ใช้ทดสอบสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงด้วยวิธี Reverberation Room ไม่สามารถควบคุมที่มาตราฐานกำหนดแต่สามารถปรับแก้ค่าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาคอนกรีตพรุนด้วยวิธีผงอะลูมิเนียม โดยใช้อัตราส่วน ปูน ต่อ ทราย 1 : 1 โดยน้ำหนัก ปูนขาว 5% และยิปซัม 3% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ สรุปผลการศึกษาได้ว่า

5.1 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพรุน จะแปรผกผันกับ ปริมาณผงอะลูมิเนียม และแปรผกผันกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

5.2 กำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีตพรุน จะแปรผกผันกับ ปริมาณผงอะลูมิเนียม และแปรผกผันกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

5.3 ความหนาแน่นของคอนกรีตพรุน จะแปรผกผันกับ ปริมาณผงอะลูมิเนียม และแปรผกผันกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

5.4 อัตราการดูดซึมของคอนกรีตพรุน จะแปรผันตรงกับ ปริมาณผงอะลูมิเนียม และแปรผันตรงกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

5.5 อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดสอบครั้งนี้ โดยพิจารณาจาก กำลังรับแรงอัด และแรงเฉือน ความหนาแน่น และการดูดซึมของคอนกรีตพรุน คือ ใช้ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.15% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.55 มีราคาประมาณ 2,610 บาทต่อลูกบาศก์เมตร และมีคุณสมบัติดังนี้

| | |
|---|---|
| กำลังรับแรงอัด | 46.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร |
| กำลังรับแรงเฉือน | 7.17 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร |
| ความหนาแน่น | 1.19 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร |
| อัตราการดูดซึม | 35.36 % |

5.6 การศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงด้วยวิธี Standing Wave จะได้ว่าช่วง ความถี่ต่ำ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมมีค่าใกล้เคียงกับผนังก่ออิฐฉาบปูนทั่วไปคือ 4.46% กับ 5 % ตามลำดับ แต่จะมีค่าแตกต่างกันอย่างชัดเจนเมื่อความถี่เพิ่มมากขึ้น ที่ความถี่ 500 Hz มีค่า 24.98% กับ 20.6% ตามลำดับ ความถี่สำคัญที่ 1,000 Hz มีค่าแตกต่างต่างกัน คือ 19.6% กับ 11.5% จากการนั้นค่าความถี่ 2,000 และ 4,000 Hz จะมีค่าผิดพลาดเนื่องจากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อนำเสียงขนาด 100 มิลลิเมตร ใช้กับการวัดค่าความถี่ในช่วง 90-1,800 Hz

5.7 การศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงด้วยวิธี Reverberation Room จะได้ว่าความถี่ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงเพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงสูงสุดที่วัดได้คือ 28.70% ที่ความถี่ 500 Hz หลังจากนั้นค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงก็จะลดลงโดยมีค่าการดูดกลืนเสียงเท่ากับ 18.20% ที่ความถี่ 1,000 Hz หลังจากนั้นค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงก็จะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากถึงแม้ว่าค่าความถี่จะเพิ่มมากขึ้นก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม


[1] ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร. 2537 . คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 3

[2] อุดมวิทย์ กาญจนวรงค์. 2537 . ปฏิบัติงานทดสอบคอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 1

[3] ผศ.ศิริวัฒน์ ไชยชนะ. 2535 . ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[4] ถาวร เหรียญชลานุสาร. 2539 . คอนกรีตเบา. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[5] นรินทร์ เนาวประทีป. ฟิสิกส์ เล่ม2. สถาบันฟิสิกส์เซ็นเตอร์

[6] จุงเกี๊ยก แซ่เลี้ยว , ราสกร วัฒนสุชาติ และวัลลภ บุญญภพ. 2525 . คอนกรีตพรุน. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[7] นเรศ เชื้อกลาง และโชคดี สุขลิ้ม. 2536. คอนกรีตบล็อคจากส่วนผสมขี้เถ้าลอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[8] ฉลองวุฒิ สุทธิปัญโญ , กิตติพงศ์ เดนหล้า และประทวน มั่นคง. 2537. การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตพรุน. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[9] เอกชัย นิ่มพงษ์ศักดิ์ และสุรชัย สิริอาชารุ่งโรจน์. 2534 . การเปรียบเทียบกำลังอัดและกำลังเฉือนของคอนกรีตกำลังสูงซึ่งผลิตโดยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[10] American Society for Testing and Material (1990), Annual Book of ASTM Standard, U.S.A.

[11] American Society for Testing and Material (1993), Annual Book of ASTM Standard, U.S.A.

[12] ISO ( ), Measurement of Absorption Coefficients in a Reverberation Room. ISO Recommendation R 354.

[13] Bruel & Kjaer ( ), Instruction Manual Standing Wave Apparatus Type 4002.

[14] Short, A. and Kinniborgh, W. (1981), Light Weight Concrete, First Publishing Ltd.

[15] Neville, A.M. (1988), Properties of Concrete, Third Edition, ELBS Publishing.

[16] Benjamin I.A. ( ), Light Weight Concrete, American Concrete Institute, Detroit..



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[17] Bagon,C.and Yannas, F.S. (1979), Magazine of Concrete Research, Vol 28, No.97.

[18] Andrew Pytel and Ferdinand L. Singer (1988), Strength of Materials, Fourth Edition. Haper Collins Publisher.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก.
# ข้อมูลดิบและตัวอย่างการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงด้วย Sabine Formula



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก-1 การทดสอบกำลังอัดประลัยที่อายุ 7 วัน**

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.1%**

| อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | น้ำหนัก กก. | พื้นที่ ตร.ซม. | แรงที่จุดประลัย กก. | กำลังรับแรงอัดที่จุดประลัย กก./ตร.ซม. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.5 | 1 | 7.65 | 176.71 | 6810 | 38.54 |
| | 2 | 7.83 | 176.71 | 7320 | 41.42 |
| | 3 | 7.80 | 176.71 | 7275 | 41.17 |
| | | | | ค่าเฉลี่ย | 40.38 |

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.1%**

| อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | น้ำหนัก กก. | พื้นที่ ตร.ซม. | แรงที่จุดประลัย กก. | กำลังรับแรงอัดที่จุดประลัย กก./ตร.ซม. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.55 | 1 | 7.00 | 176.71 | 6450 | 36.50 |
| | 2 | 7.40 | 176.71 | 6030 | 34.12 |
| | 3 | 7.20 | 176.71 | 5910 | 33.44 |
| | | | | ค่าเฉลี่ย | 34.69 |

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.15%**

| อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | น้ำหนัก กก. | พื้นที่ ตร.ซม. | แรงที่จุดประลัย กก. | กำลังรับแรงอัดที่จุดประลัย กก./ตร.ซม. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.5 | 1 | 7.15 | 176.71 | 5450 | 30.84 |
| | 2 | 7.00 | 176.71 | 5200 | 29.43 |
| | 3 | 7.15 | 176.71 | 6060 | 34.29 |
| | | | | **ค่าเฉลี่ย** | 31.52 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก-1 การทดสอบกำลังอัดประลัยที่อายุ 7 วัน**

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.15%**

| อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | น้ำหนัก กก. | พื้นที่ ตร.ซม. | แรงที่จุดประลัย กก. | กำลังรับแรงอัดที่จุดประลัย กก. / ตร.ซม. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.55 | 1 | 6.60 | 176.71 | 4750 | 26.88 |
| | 2 | 6.55 | 176.71 | 4600 | 26.03 |
| | 3 | 6.20 | 176.71 | 5050 | 28.58 |
| | | | | ค่าเฉลี่ย | 27.16 |

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.2%**

| อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | น้ำหนัก กก. | พื้นที่ ตร.ซม. | แรงที่จุดประลัย กก. | กำลังรับแรงอัดที่จุดประลัย กก. / ตร.ซม. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.5 | 1 | 6.95 | 176.71 | 4950 | 28.01 |
| | 2 | 6.80 | 176.71 | 4890 | 27.67 |
| | 3 | 6.80 | 176.71 | 3900 | 22.07 |
| | | | | ค่าเฉลี่ย | 25.92 |

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.2%**

| อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | น้ำหนัก กก. | พื้นที่ ตร.ซม. | แรงที่จุดประลัย กก. | กำลังรับแรงอัดที่จุดประลัย กก. / ตร.ซม. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.55 | 1 | 6.55 | 176.71 | 4500 | 25.47 |
| | 2 | 6.70 | 176.71 | 4010 | 22.69 |
| | 3 | 6.80 | 176.71 | 4770 | 26.99 |
| | | | | ค่าเฉลี่ย | 25.05 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก-2 การทดสอบกำลังอัดประลัยที่อายุ 28 วัน**

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.1%**

| อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | น้ำหนัก กก. | พื้นที่ ตร.ซม. | แรงที่จุดประลัย กก. | กำลังรับแรงอัดที่จุดประลัย กก. / ตร.ซม. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.5 | 1 | 7.95 | 176.71 | 10140 | 57.38 |
| | 2 | 7.65 | 176.71 | 9990 | 56.53 |
| | 3 | 7.80 | 176.71 | 10800 | 61.12 |
| | | | | ค่าเฉลี่ย | 58.34 |

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.1%**

| อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | น้ำหนัก กก. | พื้นที่ ตร.ซม. | แรงที่จุดประลัย กก. | กำลังรับแรงอัดที่จุดประลัย กก. / ตร.ซม. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.55 | 1 | 7.20 | 176.71 | 9720 | 55.01 |
| | 2 | 6.90 | 176.71 | 9045 | 51.19 |
| | 3 | 6.90 | 176.71 | 8970 | 50.76 |
| | | | | ค่าเฉลี่ย | 52.32 |

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.15%**

| อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | น้ำหนัก กก. | พื้นที่ ตร.ซม. | แรงที่จุดประลัย กก. | กำลังรับแรงอัดที่จุดประลัย กก. / ตร.ซม. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.5 | 1 | 7.05 | 176.71 | 8235 | 46.60 |
| | 2 | 7.05 | 176.71 | 8280 | 46.86 |
| | 3 | 7.20 | 176.71 | 9105 | 51.53 |
| | | | | ค่าเฉลี่ย | 48.33 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก-2 การทดสอบกำลังอัดประลัยที่อายุ 28 วัน**

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.15%**

| อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | น้ำหนัก กก. | พื้นที่ ตร.ซม. | แรงที่จุดประลัย กก. | กำลังรับแรงอัดที่จุดประลัย กก. / ตร.ซม. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.55 | 1 | 6.40 | 176.71 | 6660 | 37.69 |
| | 2 | 6.75 | 176.71 | 8745 | 49.49 |
| | 3 | 6.50 | 176.71 | 9060 | 51.27 |
| | | | | ค่าเฉลี่ย | 46.15 |

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.2%**

| อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | น้ำหนัก กก. | พื้นที่ ตร.ซม. | แรงที่จุดประลัย กก. | กำลังรับแรงอัดที่จุดประลัย กก. / ตร.ซม. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.5 | 1 | 6.70 | 176.71 | 7125 | 40.32 |
| | 2 | 6.95 | 176.71 | 7560 | 42.78 |
| | 3 | 6.75 | 176.71 | 7020 | 39.73 |
| | | | | ค่าเฉลี่ย | 40.94 |

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.2%**

| อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | น้ำหนัก กก. | พื้นที่ ตร.ซม. | แรงที่จุดประลัย กก. | กำลังรับแรงอัดที่จุดประลัย กก. / ตร.ซม. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.55 | 1 | 6.80 | 176.71 | 7110 | 40.24 |
| | 2 | 6.55 | 176.71 | 7155 | 40.49 |
| | 3 | 6.70 | 176.71 | 6015 | 34.04 |
| | | | | ค่าเฉลี่ย | 38.25 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก-3 การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนประลัยที่อายุ 28 วัน**

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.1%**

| อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | น้ำหนัก กก. | พื้นที่ ตร.ซม. | แรงที่จุดประลัย กก. | กำลังรับแรงเฉือนที่จุดประลัย กก. / ตร.ซม. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.5 | 1 | 19.5 | 225 | 2550 | 8.50 |
| | 2 | 19.1 | 225 | 3495 | 11.65 |
| | 3 | 19.4 | 225 | 2775 | 9.25 |
| | | | | ค่าเฉลี่ย | 9.80 |

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.1%**

| อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | น้ำหนัก กก. | พื้นที่ ตร.ซม. | แรงที่จุดประลัย กก. | กำลังรับแรงเฉือนที่จุดประลัย กก. / ตร.ซม. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.55 | 1 | 17.8 | 225 | 2220 | 7.40 |
| | 2 | 19.5 | 225 | 3135 | 10.45 |
| | 3 | 18.1 | 225 | 3030 | 10.10 |
| | | | | ค่าเฉลี่ย | 9.32 |

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.15%**

| อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | น้ำหนัก กก. | พื้นที่ ตร.ซม. | แรงที่จุดประลัย กก. | กำลังรับแรงเฉือนที่จุดประลัย กก. / ตร.ซม. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.5 | 1 | 18.2 | 225 | 2775 | 9.25 |
| | 2 | 18 | 225 | 2400 | 8.00 |
| | 3 | 18.3 | 225 | 2430 | 8.10 |
| | | | | ค่าเฉลี่ย | 8.45 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก-3 การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนประลัยที่อายุ 28 วัน**

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.15%**

| อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | น้ำหนัก กก. | พื้นที่ ตร.ซม. | แรงที่จุดประลัย กก. | กำลังรับแรงเฉือนที่จุดประลัย กก. / ตร.ซม. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.55 | 1 | 16.2 | 225 | 1740 | 5.80 |
| | 2 | 16.8 | 225 | 2160 | 7.20 |
| | 3 | 16 | 225 | 2550 | 8.50 |
| | | | | ค่าเฉลี่ย | 7.17 |

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.2%**

| อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | น้ำหนัก กก. | พื้นที่ ตร.ซม. | แรงที่จุดประลัย กก. | กำลังรับแรงเฉือนที่จุดประลัย กก. / ตร.ซม. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.5 | 1 | 17.3 | 225 | 2130 | 7.10 |
| | 2 | 17 | 225 | 2865 | 9.55 |
| | 3 | 17 | 225 | 2280 | 7.60 |
| | | | | ค่าเฉลี่ย | 8.08 |

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.2%**

| อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | น้ำหนัก กก. | พื้นที่ ตร.ซม. | แรงที่จุดประลัย กก. | กำลังรับแรงเฉือนที่จุดประลัย กก. / ตร.ซม. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.55 | 1 | 16.3 | 225 | 2175 | 7.25 |
| | 2 | 16.3 | 225 | 2145 | 7.15 |
| | 3 | 16.7 | 225 | 2310 | 7.70 |
| | | | | ค่าเฉลี่ย | 7.37 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก-4 การทดสอบหาค่าความหนาแน่น**

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.1 %**

| อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | ปริมาตร ลบ.ซม. | น้ำหนัก กรัม | ความหนาแน่น กรัม / ลบ.ซม. |
|---|---|---|---|---|
| 0.5 | 1 | 130.58 | 185.4 | 1.42 |
| | 2 | 133.95 | 204.9 | 1.53 |
| | 3 | 135.53 | 200.6 | 1.48 |
| | 4 | 133.69 | 189.8 | 1.42 |
| | 5 | 134.74 | 190.0 | 1.41 |
| | | | ค่าเฉลี่ย | 1.45 |

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.1 %**

| อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | ปริมาตร ลบ.ซม. | น้ำหนัก กรัม | ความหนาแน่น กรัม / ลบ.ซม. |
|---|---|---|---|---|
| 0.55 | 1 | 132.12 | 174.4 | 1.32 |
| | 2 | 129.30 | 177.1 | 1.37 |
| | 3 | 130.82 | 167.4 | 1.28 |
| | 4 | 128.53 | 169.7 | 1.32 |
| | 5 | 131.09 | 170.4 | 1.30 |
| | | | ค่าเฉลี่ย | 1.32 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก-4 การทดสอบหาค่าความหนาแน่น**

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.15 %**

| อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | ปริมาตร ลบ.ซม. | น้ำหนัก กรัม | ความหนาแน่น กรัม / ลบ.ซม. |
|---|---|---|---|---|
| 0.5 | 1 | 135.26 | 179.9 | 1.33 |
| | 2 | 130.56 | 171.0 | 1.31 |
| | 3 | 128.50 | 176.0 | 1.37 |
| | 4 | 132.87 | 178.0 | 1.34 |
| | 5 | 132.65 | 173.8 | 1.31 |
| | | | ค่าเฉลี่ย | 1.33 |

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.15 %**

| อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | ปริมาตร ลบ.ซม. | น้ำหนัก กรัม | ความหนาแน่น กรัม / ลบ.ซม. |
|---|---|---|---|---|
| 0.55 | 1 | 126.50 | 154.3 | 1.22 |
| | 2 | 133.95 | 158.1 | 1.18 |
| | 3 | 132.12 | 155.9 | 1.18 |
| | 4 | 133.69 | 160.4 | 1.20 |
| | 5 | 130.57 | 152.8 | 1.17 |
| | | | ค่าเฉลี่ย | 1.19 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก-4 การทดสอบหาค่าความหนาแน่น**

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.2 %**

| อัตราส่วน น้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | ปริมาตร ลบ.ซม. | น้ำหนัก กรัม | ความหนาแน่น กรัม / ลบ.ซม. |
|---|---|---|---|---|
| 0.5 | 1 | 130.05 | 162.6 | 1.25 |
| | 2 | 128.78 | 163.6 | 1.27 |
| | 3 | 130.81 | 166.1 | 1.27 |
| | 4 | 131.10 | 170.4 | 1.30 |
| | 5 | 131.86 | 170.1 | 1.29 |
| | | | ค่าเฉลี่ย | 1.28 |

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.2 %**

| อัตราส่วน น้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | ปริมาตร ลบ.ซม. | น้ำหนัก กรัม | ความหนาแน่น กรัม / ลบ.ซม. |
|---|---|---|---|---|
| 0.55 | 1 | 128.79 | 158.4 | 1.23 |
| | 2 | 128.52 | 147.8 | 1.15 |
| | 3 | 131.61 | 155.3 | 1.18 |
| | 4 | 133.43 | 161.5 | 1.21 |
| | 5 | 132.65 | 152.5 | 1.15 |
| | | | ค่าเฉลี่ย | 1.18 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก-5 แสดงอัตราการดูดซึม**

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.1 %**

| อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | ปริมาตร ลบ.ซม. | น้ำหนักแห้ง กรัม | น้ำหนักเปียกน้ำ กรัม | น้ำหนักน้ำ กรัม | การดูดซึม % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.5 | 1 | 130.58 | 185.4 | 230.1 | 44.7 | 24.12 |
| | 2 | 133.95 | 204.9 | 251.8 | 46.9 | 22.87 |
| | 3 | 135.53 | 200.6 | 247.6 | 47.0 | 23.41 |
| | 4 | 133.69 | 189.8 | 237.0 | 47.2 | 24.85 |
| | 5 | 134.74 | 190.0 | 234.6 | 44.6 | 23.47 |
| | | | | | ค่าเฉลี่ย | 23.74 |

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.1 %**

| อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | ปริมาตร ลบ.ซม. | น้ำหนักแห้ง กรัม | น้ำหนักเปียกน้ำ กรัม | น้ำหนักน้ำ กรัม | การดูดซึม % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.55 | 1 | 132.12 | 174.4 | 219.2 | 44.8 | 25.67 |
| | 2 | 129.30 | 177.1 | 223.5 | 46.4 | 26.20 |
| | 3 | 130.82 | 167.4 | 209.0 | 41.6 | 24.85 |
| | 4 | 128.53 | 169.7 | 213.1 | 43.4 | 25.57 |
| | 5 | 131.09 | 170.4 | 215.6 | 45.2 | 26.55 |
| | | | | | ค่าเฉลี่ย | 25.77 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก-5 แสดงอัตราการดูดซึม**

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.15 %**

| อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | ปริมาตร ลบ.ซม. | น้ำหนักแห้ง กรัม | น้ำหนักเปียกน้ำ กรัม | น้ำหนักน้ำ กรัม | การดูดซึม % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.5 | 1 | 135.26 | 179.9 | 237.7 | 57.8 | 32.12 |
| | 2 | 130.56 | 171.0 | 225.4 | 54.4 | 31.84 |
| | 3 | 128.50 | 176.0 | 232.5 | 56.5 | 32.11 |
| | 4 | 132.87 | 178.0 | 235.0 | 57.0 | 32.02 |
| | 5 | 132.65 | 173.8 | 230.9 | 57.1 | 32.87 |
| | | | | | ค่าเฉลี่ย | 32.19 |

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.15 %**

| อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | ปริมาตร ลบ.ซม. | น้ำหนักแห้ง กรัม | น้ำหนักเปียกน้ำ กรัม | น้ำหนักน้ำ กรัม | การดูดซึม % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.55 | 1 | 126.50 | 154.3 | 208.5 | 54.2 | 35.1 |
| | 2 | 133.95 | 158.1 | 212.0 | 53.9 | 34.12 |
| | 3 | 132.12 | 155.9 | 213.1 | 57.2 | 36.66 |
| | 4 | 133.69 | 160.4 | 217.0 | 56.6 | 35.29 |
| | 5 | 130.57 | 152.8 | 207.2 | 54.4 | 35.63 |
| | | | | | ค่าเฉลี่ย | 35.36 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก-5 แสดงอัตราการดูดซึม**

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.2 %**

| อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | ปริมาตร ลบ.ซม. | น้ำหนักแห้ง กรัม | น้ำหนักเปียกน้ำ กรัม | น้ำหนักน้ำ กรัม | การดูดซึม % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.5 | 1 | 130.05 | 162.6 | 230.3 | 67.7 | 41.66 |
| | 2 | 128.78 | 163.6 | 229.0 | 65.4 | 39.95 |
| | 3 | 130.81 | 166.1 | 233.7 | 67.6 | 40.71 |
| | 4 | 131.10 | 170.4 | 245.2 | 74.8 | 43.88 |
| | 5 | 131.86 | 170.1 | 242.3 | 72.2 | 42.42 |
| | | | | | ค่าเฉลี่ย | 41.72 |

**ปริมาณผงอะลูมิเนียม 0.2 %**

| อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ | ตัวอย่างที่ | ปริมาตร ลบ.ซม. | น้ำหนักแห้ง กรัม | น้ำหนักเปียกน้ำ กรัม | น้ำหนักน้ำ กรัม | การดูดซึม % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.55 | 1 | 128.79 | 158.4 | 222.1 | 63.7 | 40.24 |
| | 2 | 128.52 | 147.8 | 208.7 | 60.9 | 41.22 |
| | 3 | 131.61 | 155.3 | 217.1 | 61.8 | 39.78 |
| | 4 | 133.43 | 161.5 | 226.6 | 65.1 | 40.31 |
| | 5 | 132.65 | 152.5 | 218.0 | 65.5 | 42.94 |
| | | | | | ค่าเฉลี่ย | 40.90 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก-6 ข้อมูลดิบการทดสอบด้วยวิธี Standing wave ของคอนกรีตพรุน**

| ความถี่ ( Hz ) | จำนวนครั้งที่วัด ( C )% | | | | | | Sample Holder |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | เฉลี่ย | เฉลี่ย |
| 125 | 5.50 | 3.50 | 4.10 | 5.20 | 4.00 | 4.46 | 4 |
| 250 | 12.70 | 7.60 | 9.50 | 92.00 | 7.00 | 7.75 | 7 |
| 500 | 34.50 | 29.00 | 27.40 | 19.00 | 15.00 | 24.98 | 7 |
| 1000 | 8.50 | 11.50 | 12.00 | 37.00 | 29.00 | 19.60 | 2 |
| 2000 | 2.50 | 15.00 | 34.00 | 18.00 | 5.20 | 14.94 | 1 |
| 4000 | 23.50 | 9.00 | 18.50 | 13.50 | 4.00 | 8.50 | 1 |

**ตารางที่ก-7 ข้อมูลดิบการทดสอบด้วยวิธีStanding waveของตัวอย่างผนังก่ออิฐฉาบปูน**

| ความถี่ ( Hz ) | จำนวนครั้งที่วัด ( C )% | | | | | | Sample Holder |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | เฉลี่ย | เฉลี่ย |
| 125 | 4.00 | 3.00 | 5.00 | 6.00 | 7.00 | 5.00 | 4 |
| 250 | 7.00 | 9.00 | 8.50 | 9.50 | 10.00 | 8.80 | 7 |
| 500 | 13.00 | 27.50 | 19.00 | 22.00 | 21.50 | 20.60 | 7 |
| 1000 | 29.00 | 5.50 | 6.00 | 9.00 | 8.00 | 11.50 | 2 |
| 2000 | 31.00 | 17.00 | 4.50 | 14.00 | 5.00 | 14.30 | 1 |
| 4000 | 23.50 | 6.50 | 16.50 | 9.00 | 5.00 | 12.10 | 1 |

หมายเหตุ ค่า C คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน

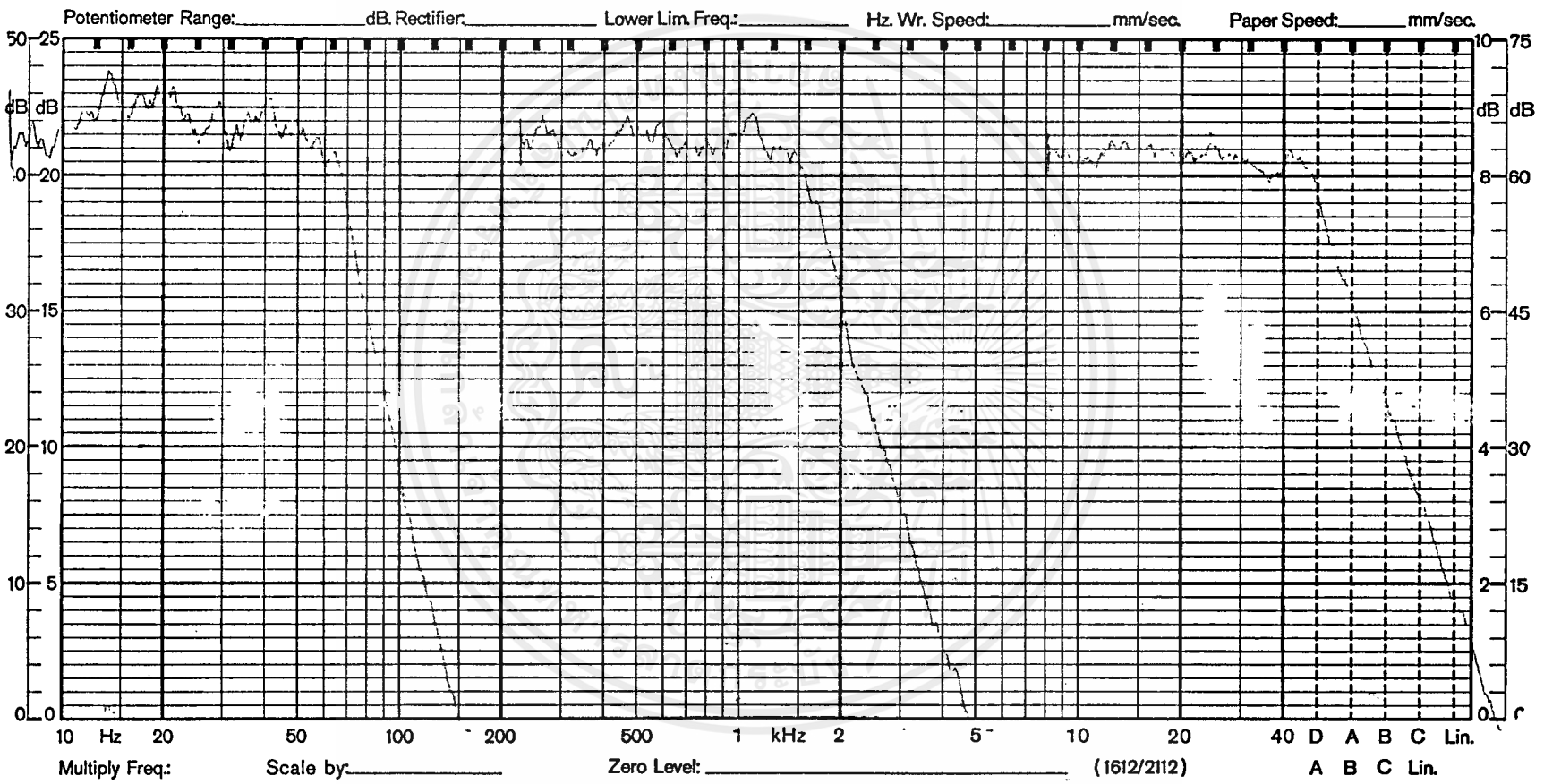
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก-8 การทดสอบหาสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงด้วยวิธี Reverberation room**

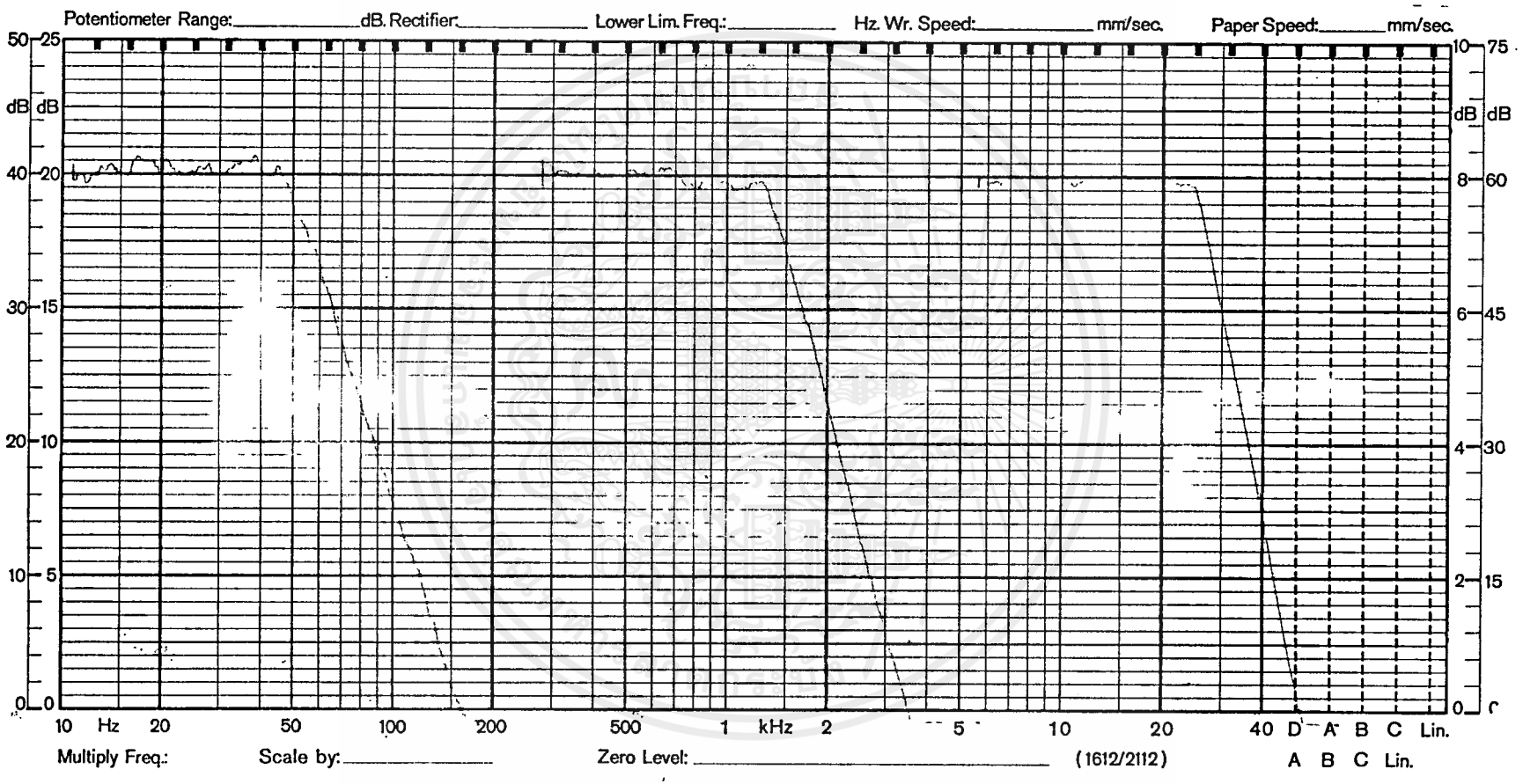
| ความถี่ ( Hz ) | Specimen Reverberation Time | | | | | | Time decay |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 4 | ครั้งที่ 5 | เฉลี่ย | of empty room |
| 125 | 0.800 | 0.830 | 0.800 | 0.750 | 0.810 | 0.800 | 0.815 |
| 250 | 1.100 | 1.100 | 1.200 | 1.150 | 1.100 | 1.130 | 1.180 |
| 500 | 1.500 | 1.550 | 1.480 | 1.500 | 1.500 | 1.510 | 1.750 |
| 1000 | 1.700 | 1.670 | 1.550 | 1.750 | 1.700 | 1.670 | 1.870 |
| 2000 | 1.500 | 1.500 | 1.550 | 1.500 | 1.550 | 1.520 | 1.700 |
| 4000 | 1.400 | 1.400 | 1.420 | 1.410 | 1.400 | 1.410 | 1.550 |

| ความถี่ ( Hz ) | Specimen Reverberation Time | | | | | | Time decay |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 4 | ครั้งที่ 5 | เฉลี่ย | of empty room |
| 125 | 0.800 | 0.800 | 0.830 | 0.770 | 0.810 | 0.800 | 0.815 |
| 250 | 1.150 | 1.100 | 1.050 | 1.120 | 1.100 | 1.100 | 1.180 |
| 500 | 1.500 | 1.500 | 1.480 | 1.500 | 1.480 | 1.490 | 1.750 |
| 1000 | 1.700 | 1.600 | 1.700 | 1.700 | 1.730 | 1.690 | 1.870 |
| 2000 | 1.480 | 1.500 | 1.500 | 1.450 | 1.550 | 1.500 | 1.700 |
| 4000 | 1.400 | 1.400 | 1.400 | 1.420 | 1.400 | 1.400 | 1.550 |

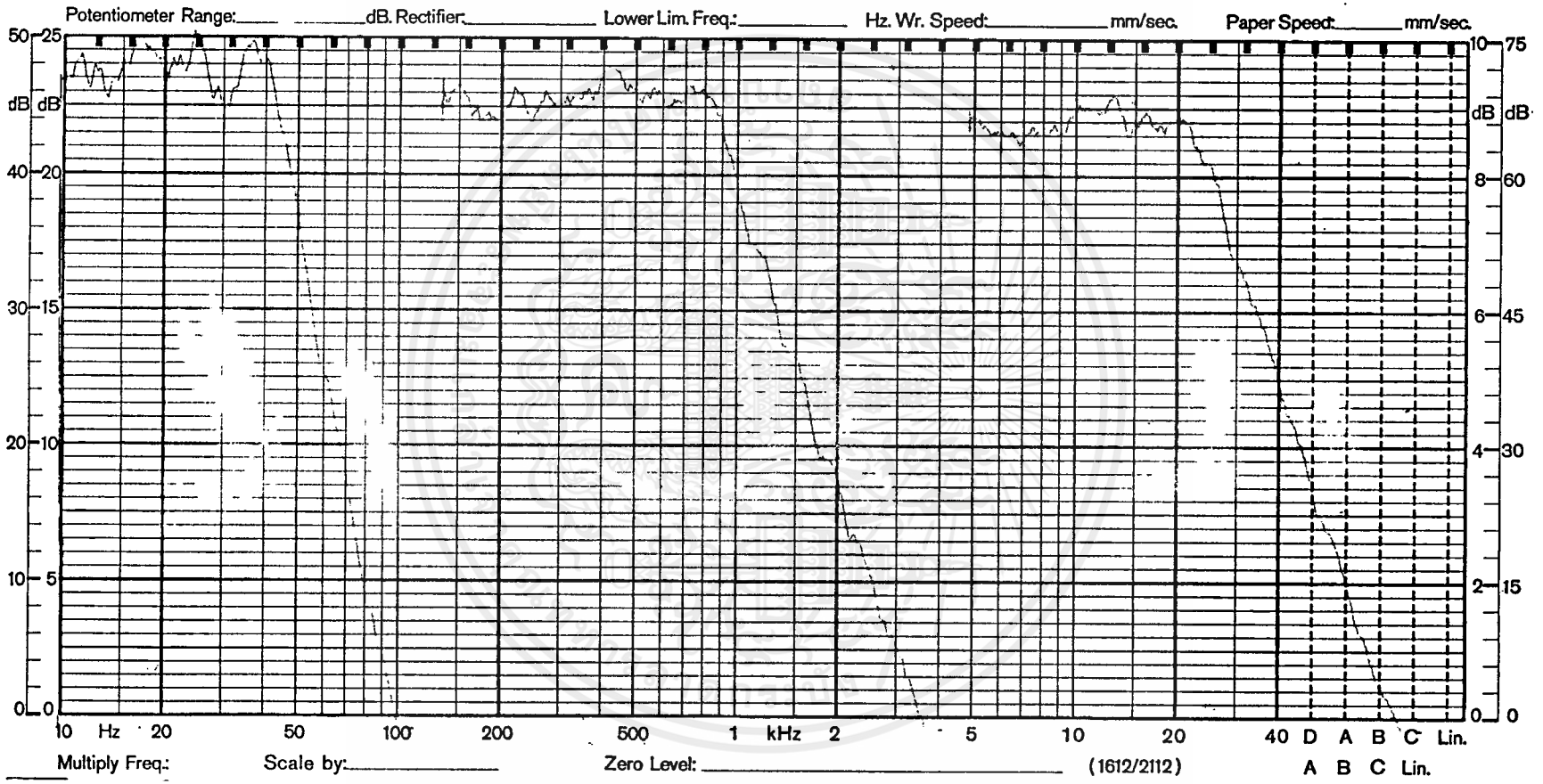
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



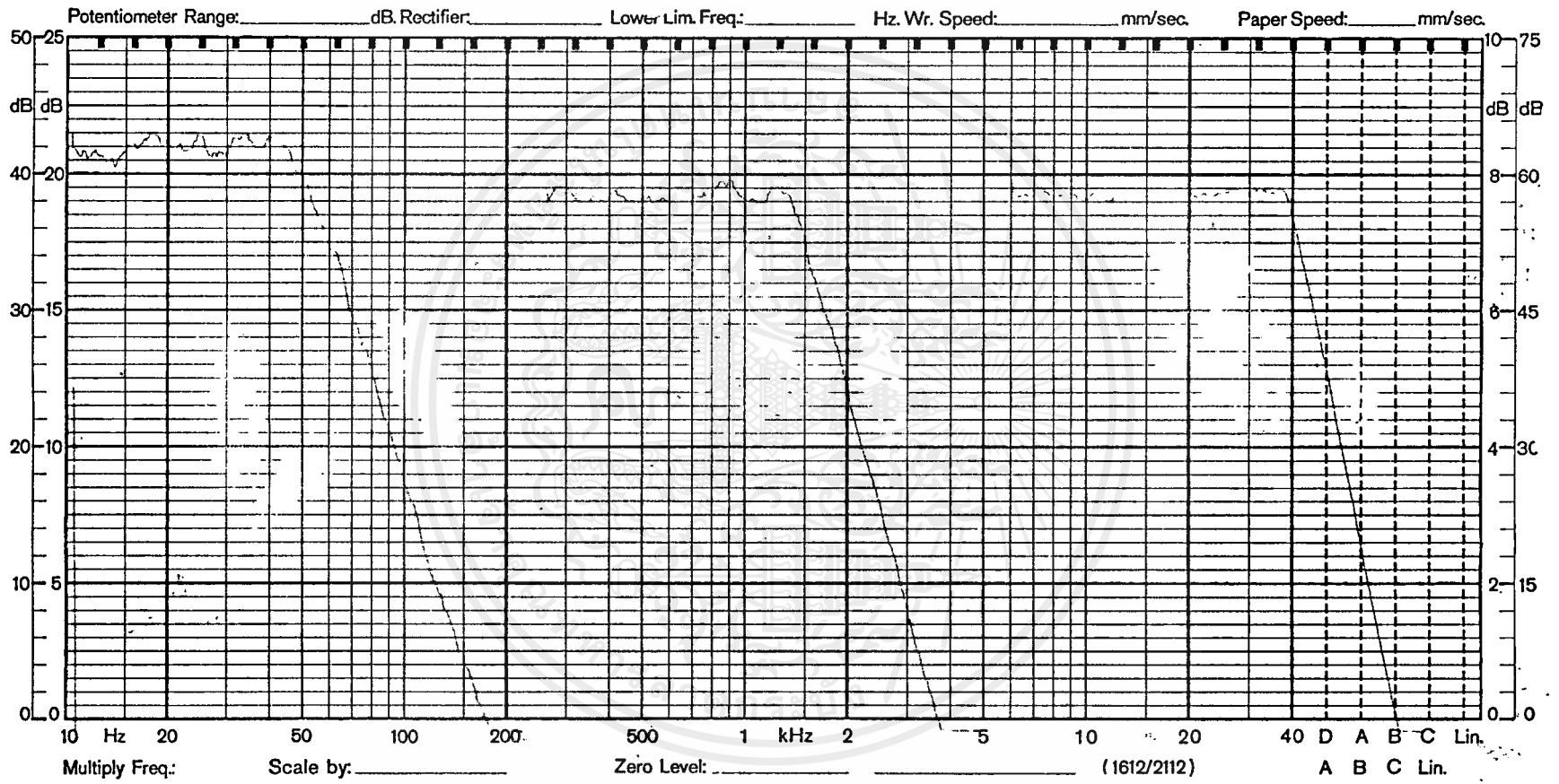

รูปที่ ก-1 กราฟแสดงผล TIME DECAY ของการทดสอบสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงด้วยวิธี REVERBERATION ROOM ของคอนกรีตพรุน



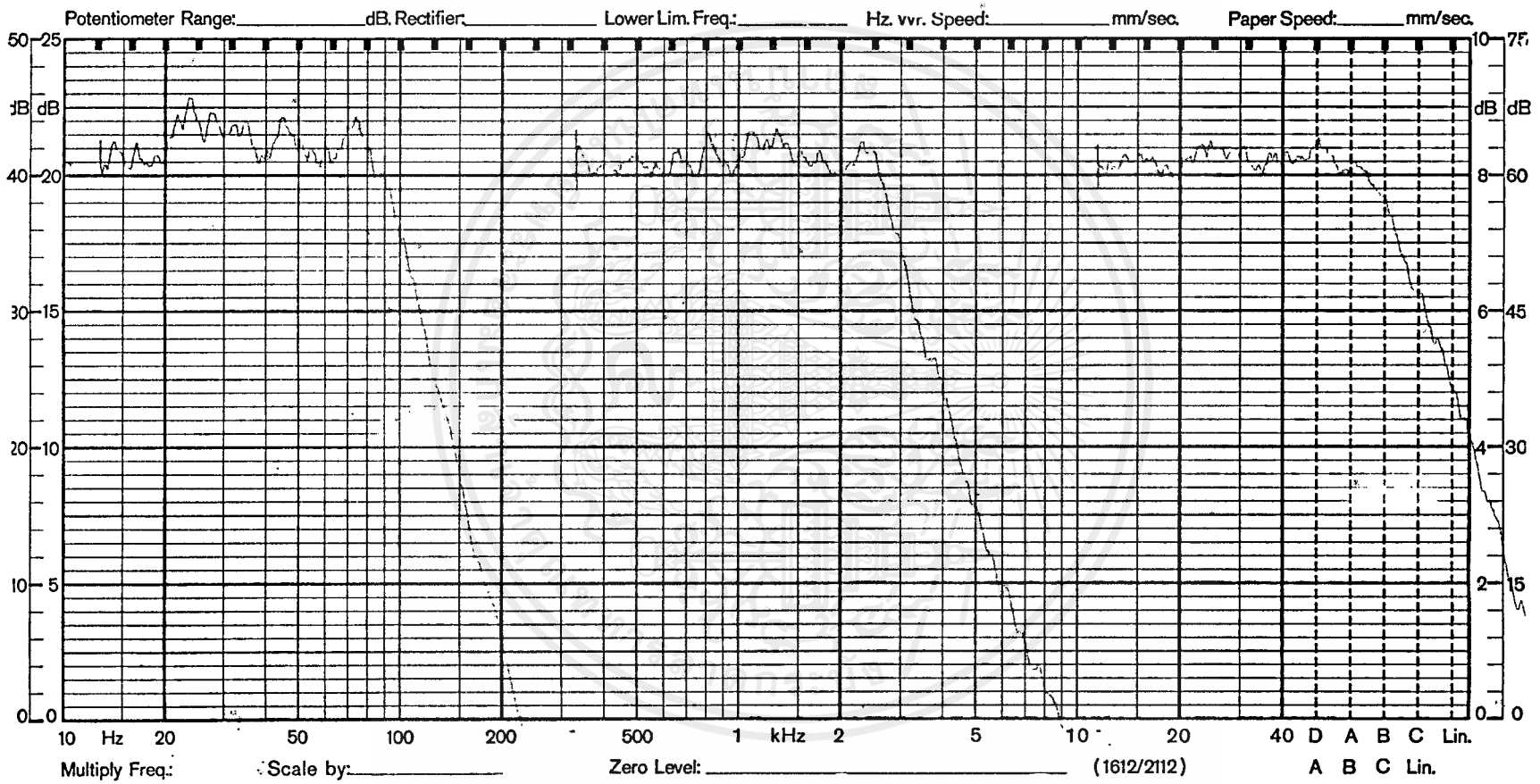

รูปที่ ก-1 กราฟแสดงผล TIME DECAY ของการทดสอบสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงด้วยวิธี REVERBERATION ROOM ของคอนกรีตพรุน



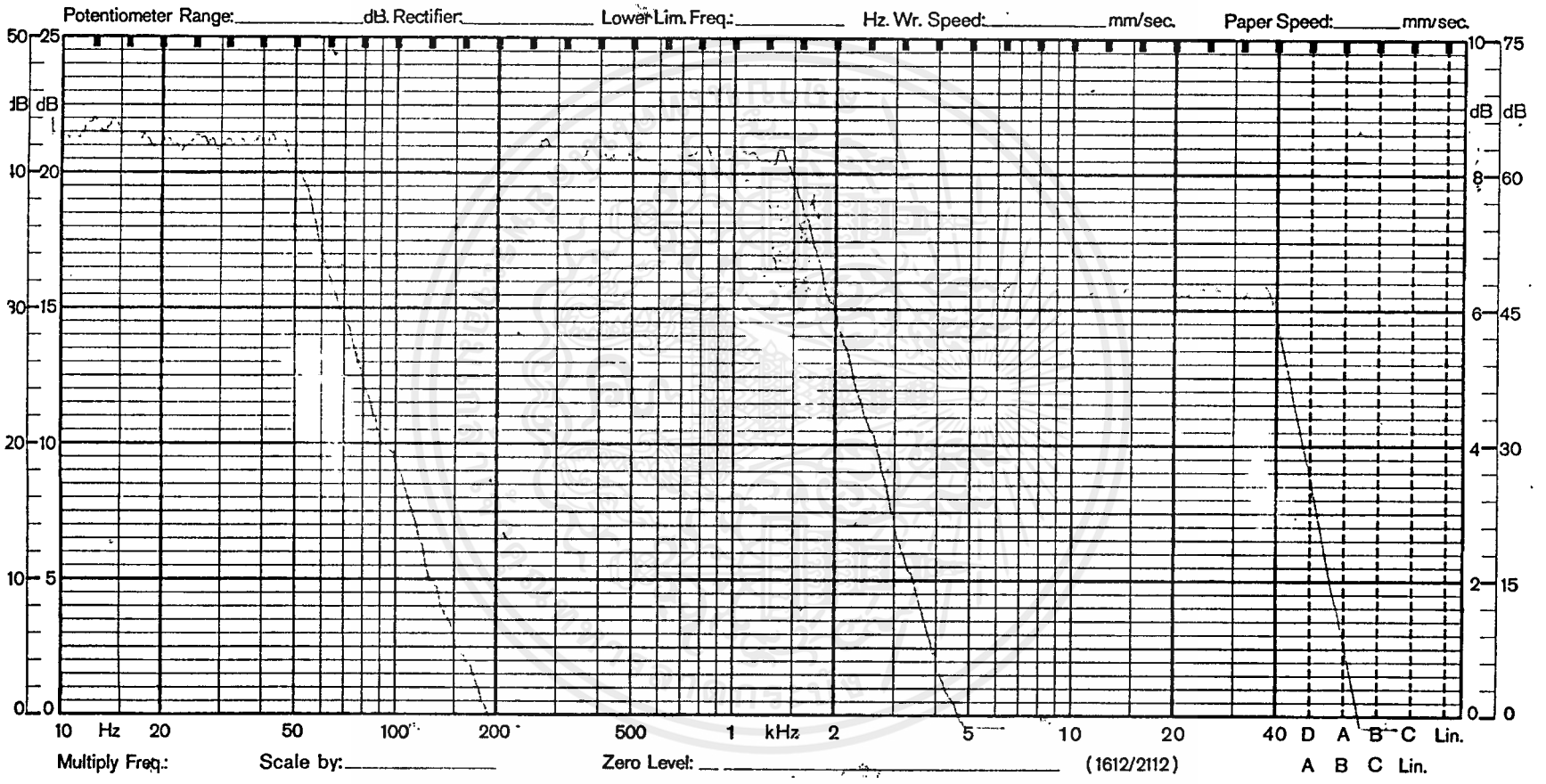

รูปที่ ก-1 กราฟแสดงผล TIME DECAY ของการทดสอบสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงด้วยวิธี REVERBERATION ROOM ของคอนกรีตพรุน




รูปที่ ก-1 กราฟแสดงผล TIME DECAY ของการทดสอบสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงด้วยวิธี REVERBERATION ROOM ของคอนกรีตพรุน




รูปที่ ก-2 กราฟแสดงผล TIME DECAY ของการทดสอบสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงด้วยวิธี REVERBERATION ROOM ของห้องเปล่า




รูปที่ ก-2 กราฟแสดงผล TIME DECAY ของการทดสอบสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงด้วยวิธี REVERBERATION ROOM ของห้องเปล่า

**ตัวอย่างการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงด้วย Sabine Formula**

**สูตรการคำนวณ** $A = 55.3 \times V/CT$

A = Sound absorption area

V = ปริมาตรห้อง 142 ลบ.ม.

C = speed of sound $20.047 \times (273.15+t)^{0.5}$

t = อุณหภูมิห้อง

T = ค่า TIMEDECAY

Co = ( Ar-Ae )/S

S = พื้นที่ชิ้นตัวอย่างทดสอบมีค่าเท่ากับ 7.50 ตร.ม.

Ae = sound absorption area of specimen

Ar = sound absorption area of empty room

จากตารางที่4.4

ที่ความถี่ 500 Hz จะได้ค่า TIMEDECAY เฉลี่ยของแผ่นพื้นตัวอย่าง เท่ากับ 1.50

จะได้ค่า TIME DECAY เฉลี่ยของห้องเปล่าเท่ากับ 1.75

ทดสอบที่อุณหภูมิ 28 °c ความชื้นสัมพัทธ์ 73.6%จะได้ค่าความเร็วเสียงเท่า 347.89 ม./วินาที

จากสูตรการคำนวณจะได้ว่า

Ae = 15.04805

Ar = 12.89833

Co = (15.0481-12.893)/7.5

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงที่ห้องที่มีตัวอย่างอยู่มีค่าเท่ากับ 0.28663

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ข.

# ผลการทดสอบ Sieve Analysis ของทราย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Sieve Analysis**

weight of sand = 1000 g.

Specific Gravity = 2.78

| Sieve No. | Sieve Opening (mm.) | Weight of sieve (g) | Wt. sieve + Sand | Wt. Sand Retainer | % Retained | Cummulative % Retained | % Finer |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 4.760 | - | - | - | - | - | - |
| 10 | 2.000 | - | - | - | - | - | - |
| 30 | 5.900 | 423 | - | - | 0 | 0 | 100 |
| 50 | 0.297 | 376 | 717.3 | 341.3 | 34.13 | 34.13 | 65.87 |
| 100 | 0.149 | 368 | 724.4 | 356.4 | 35.64 | 69.77 | 30.23 |
| 200 | 0.047 | 280 | 460.8 | 180.8 | 18.08 | 87.85 | 12.15 |
| Pan | - | 381 | 502.5 | 121.5 | 12.15 | 100 | 0 |
| Sum | - | - | - | 1000.00 | 100.00 | 291.75 | - |

Fineness Modulas = 291.75 / 100 = 2.92

# ภาคผนวก ค.
# การคำนวณราคาวัสดุคอนกรีตพรุนต่อหน่วยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค การคำนวณราคาวัสดุคอนกรีตพรุนต่อหน่วยน้ำหนัก

ความหนาแน่น 1,190 กก. / ลบ.ม.

| | ปูนซีเมนต์ | ทราย | ยิปซัม | ปูนขาว | ผงอะลูมิเนียม | น้ำ | รวม |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| อัตราส่วนต่อน้ำหนักซีเมนต์ | 1 | 1 | 0.03 | 0.05 | 0.0015 | 0.55 | 2.6315 |
| ปริมาณ ต่อ 1 ลบ.ม. (กิโลกรัม) | 452.21 | 452.21 | 13.57 | 22.61 | 0.68 | 248.72 | 1190 |
| หน่วย | 10 ถุง | 0.17 ลบ.ม. | 14 กก. | 23 กก. | 700 กรัม | 0.3 ลบ.ม. | - |
| ราคาต่อหน่วย (บาท) | 110 | 330 | 25 | 15 | 1.08 | 10 | - |
| ราคาต่อ 1 ลบ.ม.(บาท) | 1100 | 56 | 350 | 345 | 756 | 3 | 2610 |

# ภาคผนวก ง.
# การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมต่าง ๆ ของคอนกรีตพรุนกับวัสดุชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

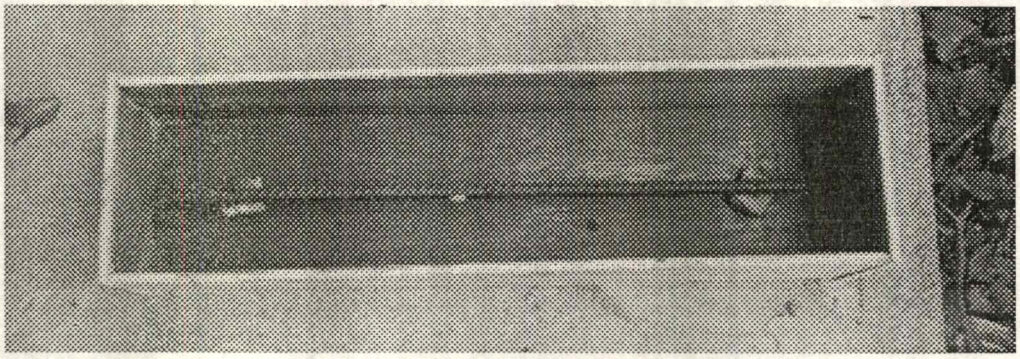
ภาคผนวก ง การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมต่าง ๆ ของคอนกรีตพรุนกับวัสดุชนิดต่าง ๆ

| ชนิดของผนัง | กำลังรับแรงอัด กก./ตร.ซม. | กำลังรับแรงเฉือน กก./ตร.ซม. | ความหนาแน่น กก/ลบ.ม. | อัตราการดูดซึมน้ำ % | อัตราการทนไฟ ชม. | ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงที่ 500 Hz(%) | ราคา/ตร.ม. บาท |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. คอนกรีตพรุน | 46.5 | 7.17 | 1190 | 35.36 | - | 28.7 | 261 |
| 2. Q-CON | - | - | 500-620 | 37 | 4 | 25 | 220 |
| 3. Super Block | 48-55 | - | 550-600 | 30.78 | 3 ชม. 51 นาที | 16 | 262.5 |
| 4. อิฐมอญ | 25-30 | - | 1920 | 30-35 | 0.5- 1 ชม. | - | 180 |
| 5. ผนังเบา CPAC | 150 | - | 1500 | 16 | 1 ถึง 2 ชม. | - | 341 |

# ภาคผนวก จ.
# รูปภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบต่าง ๆ



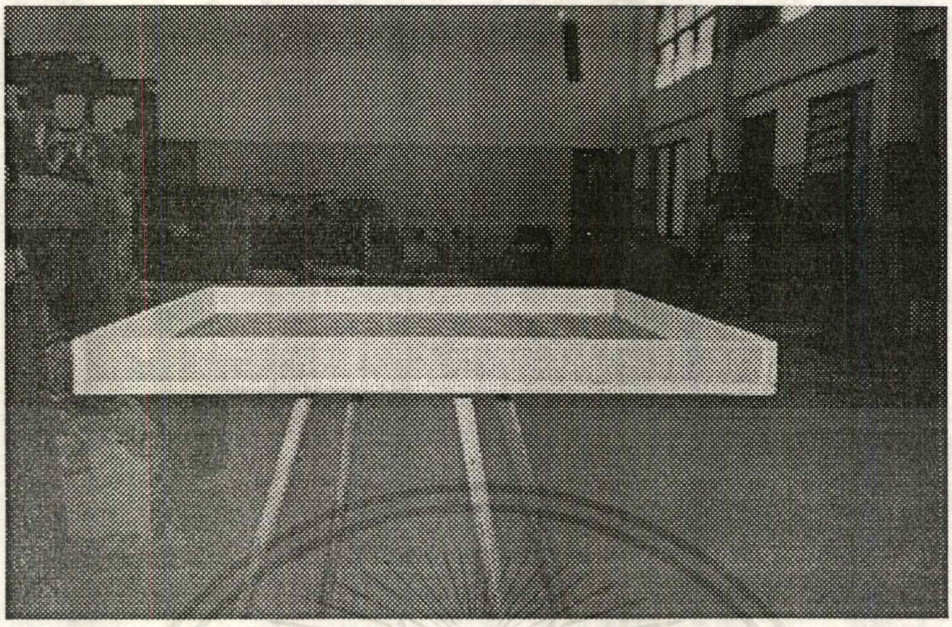
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



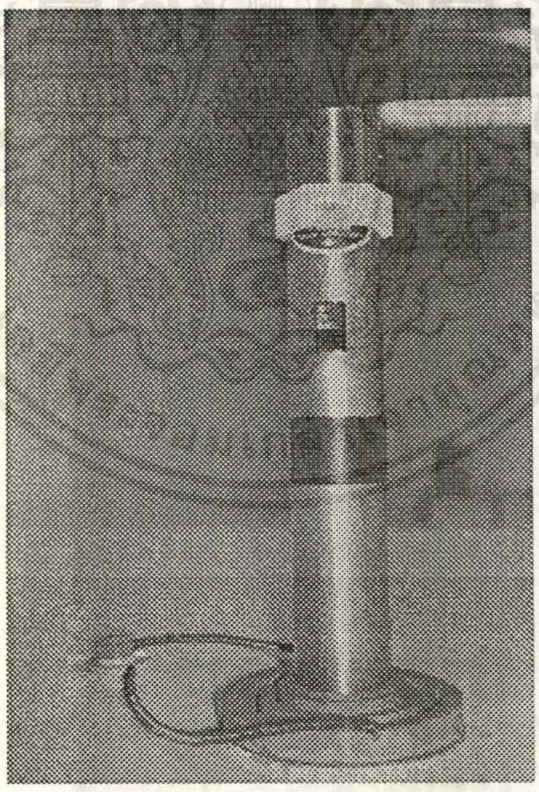
รูปที่ จ-1 แบบหล่อชิ้นทดสอบขนาด 15ซม. x 15ซม. x 60ซม.

รูปที่ จ-2 แบบหล่อชิ้นทดสอบขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 9.8ซม. สูง 2.5ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

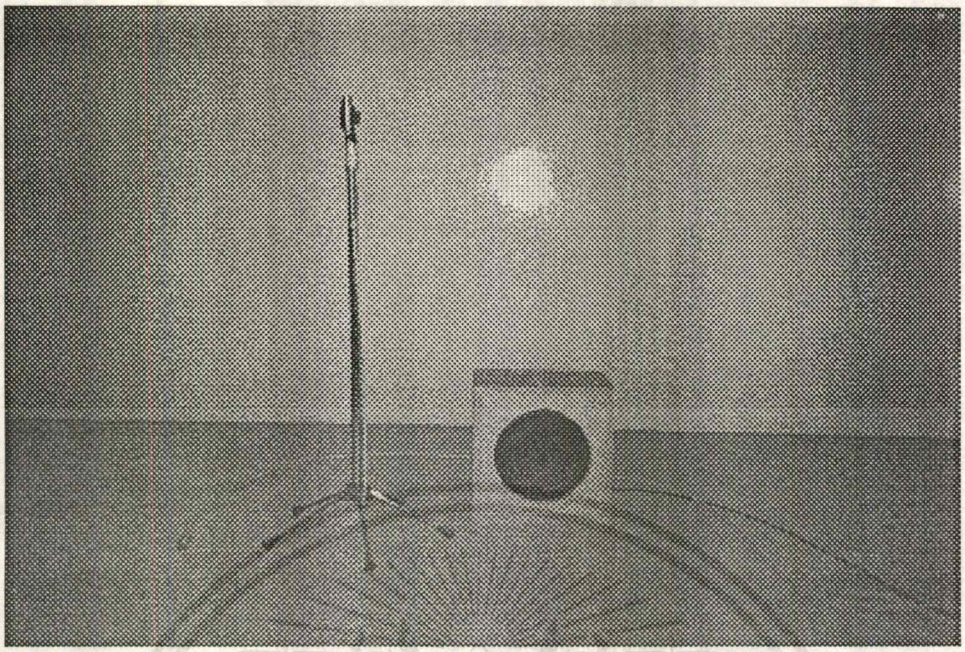


รูปที่ จ-3 แบบหล่อชิ้นทดสอบขนาด 50ซม. x 50ซม. x 3ซม.

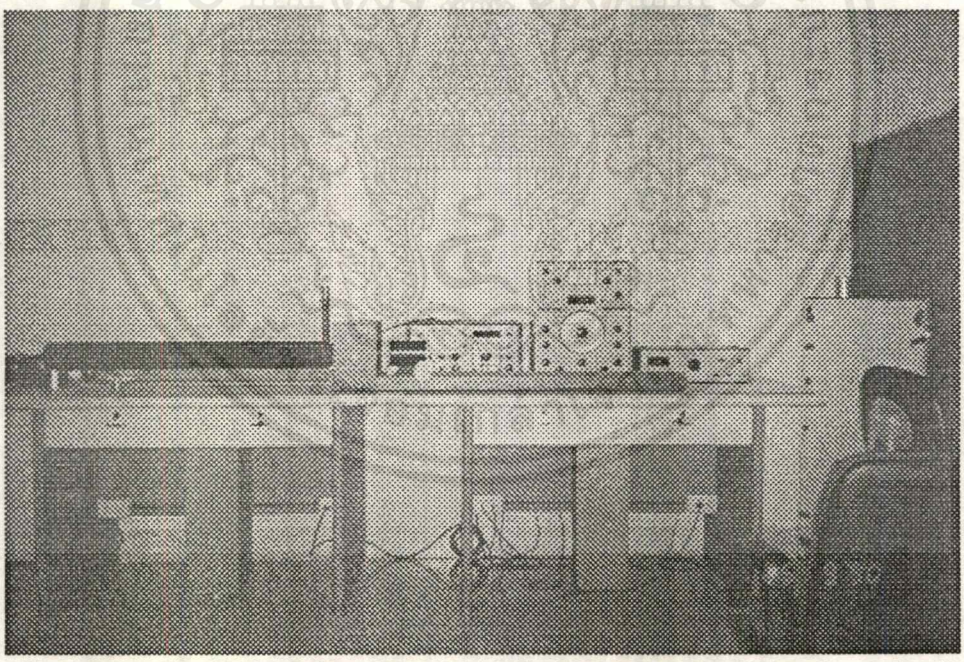


รูปที่ จ-4 แหล่งกำเนิดคลื่นเสียง 124 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

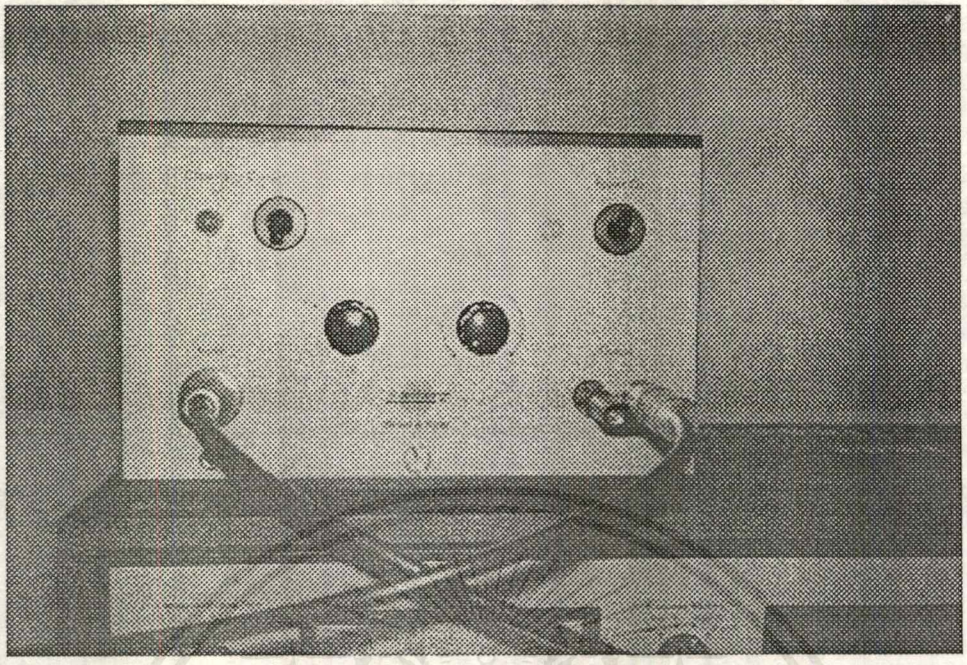


รูปที่ จ-5 ลำโพง และ ตัวรับคลื่นเสียง

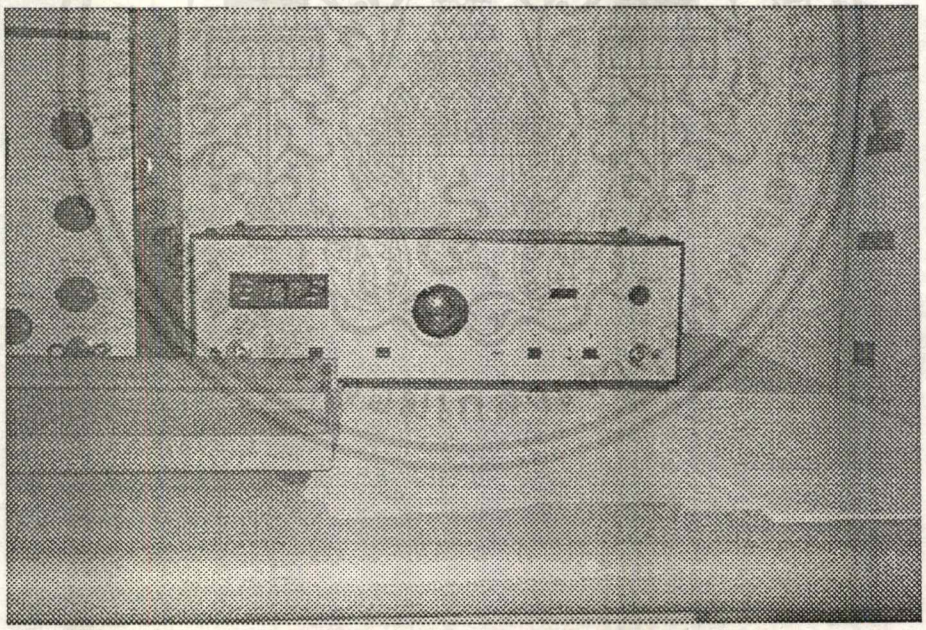


รูปที่ จ-6 ชุดการทดสอบ STANDING WAVE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

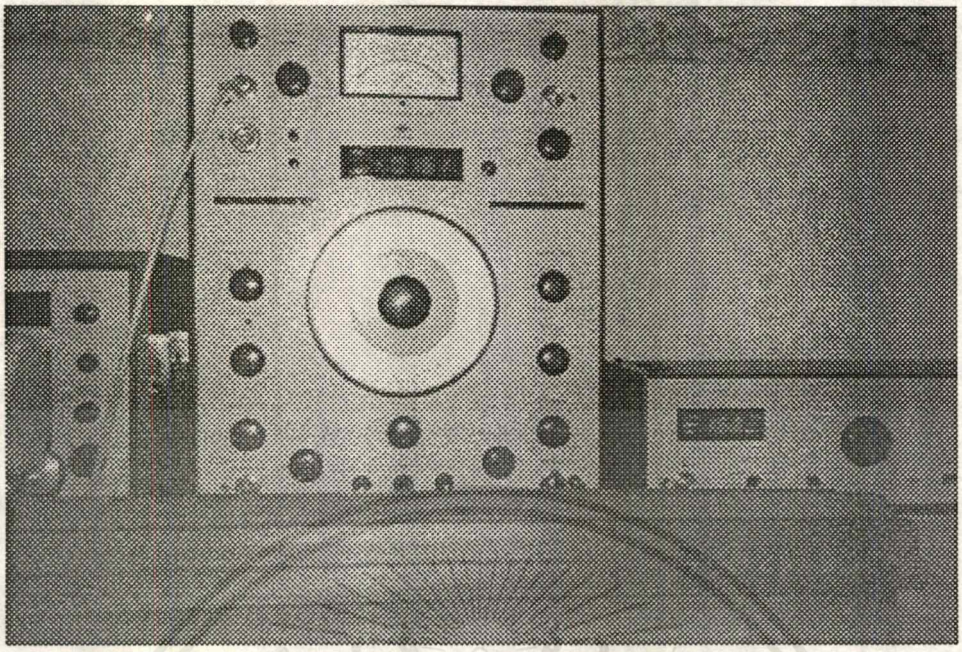


รูปที่ จ-7 AMPLIFIER



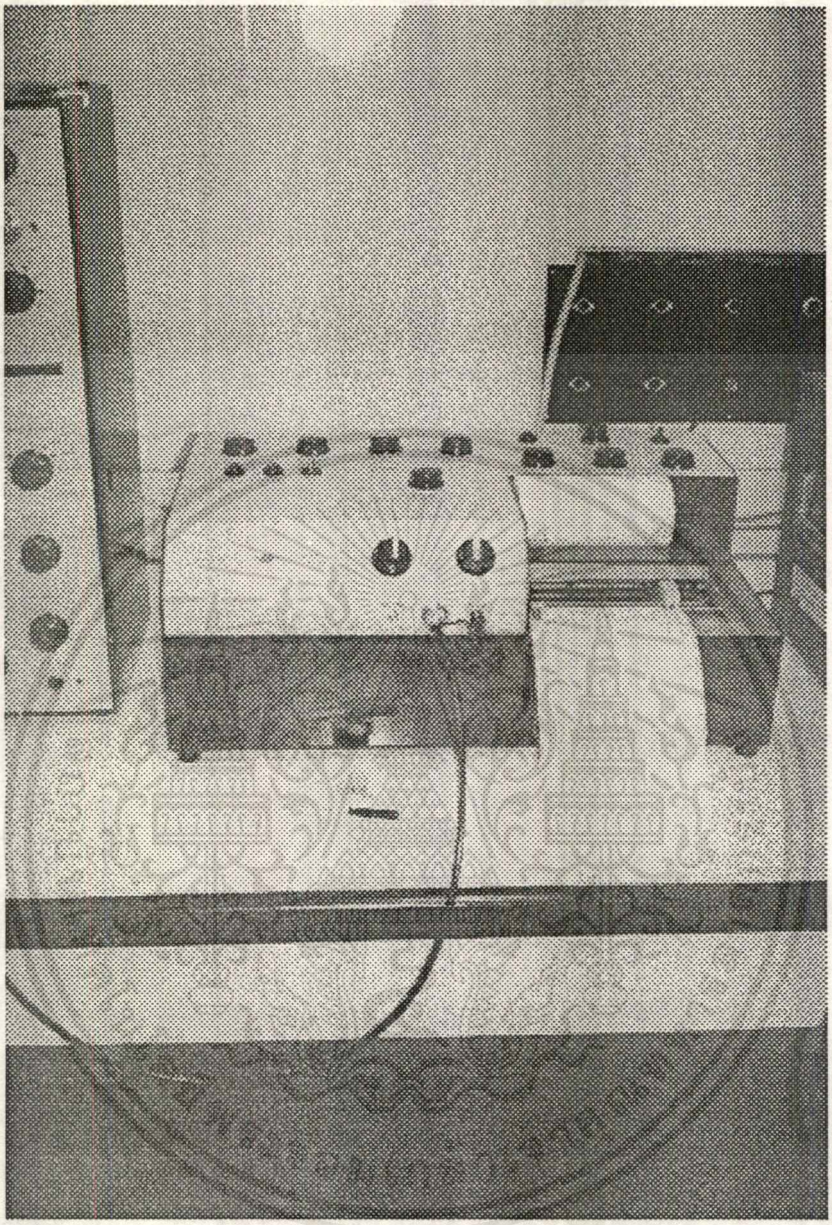
รูปที่ จ-8 BAND PASS FILTER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



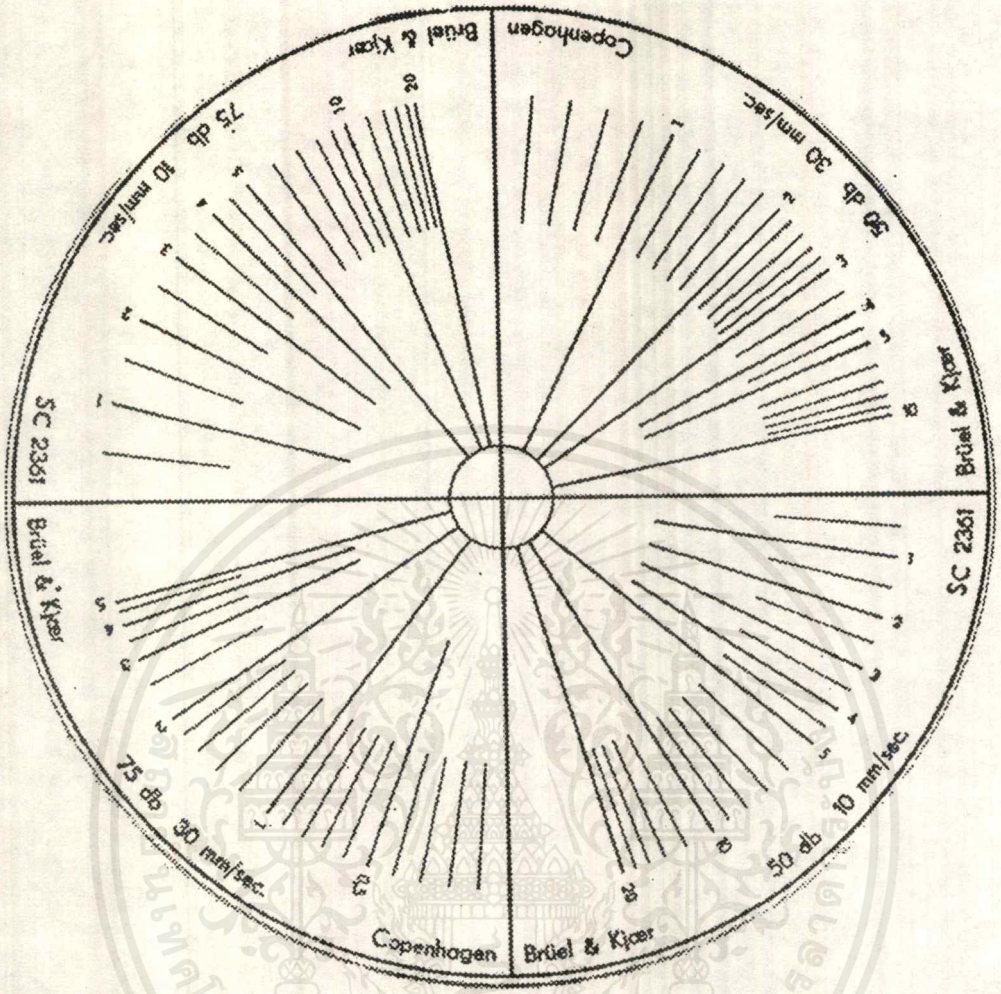
รูปที่ จ-9 SIGNAL GENERATOR และ MEASURING AMPLIFIER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ-10 RECORDER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ จ-11 อุปกรณ์อ่านค่า TIME DECAY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้