# การปรับปรุงอาคารให้ใช้งานได้ตามปกติ
# เมื่อเกิดมลภาวะทางเสียง

# NOISE CONTROL
# IN
# BUILDING

โดย
นายสมภพ ตั้งบุญธินา
นายทวี อุทัยเศรษฐวัฒน์

วัน เดือน ปี 1 ต.ค. 2540
เลขทะเบียน 037181
เลขเรียกหนังสือ T38374 ส๖๗ ก.

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
037181

# NOISE CONTROL
# IN
# BUILDING

MR. SOMPHOP TANGBOONTHINA
MR. TAVEE UTHAISATTAWAT

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE
BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
1995

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงงานพิเศษ

---

| | | | |
|---|---|---|---|
| หัวข้อโครงงานพิเศษ | การปรับปรุงอาคารให้ใช้งานได้ตามปกติเมื่อเกิดมลภาวะทางเสียง | | |
| นักศึกษา | นายทวี | อุทัยเศรษฐวัฒน์ | รหัสประจำตัว 35104158 |
| | นายสมภพ | ตั้งบุญธินา | รหัสประจำตัว 35104445 |
| หลักสูตร | วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต | | สาขาวิชา วิศวกรรมการก่อสร้าง |
| ภาควิชา | วิศวกรรมโยธา | | |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | อาจารย์ศักดิ์ชัย สกานุพงษ์ | | |

| คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ | ลายมือชื่อ |
|---|---|
| อาจารย์ศักดิ์ชัย สกานุพงษ์ | ..... |
| อาจารย์เกษม อมันตกุล | ..... |
| อาจารย์สุรัตน์ หวังเจริญ | ..... |
| อาจารย์สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์ | ..... |

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

.....
(อาจารย์อำนวย พานิชกุลพงศ์)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การปรับปรุงอาคารให้ใช้งานได้ตามปกติ เมื่อเกิดมลภาวะทางเสียง
# NOISE CONTROL IN BUILDING

โดย นายสมภพ ตั้งบุญธินา
นายทวี อุทัยเศรษฐวัฒน์

อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์ศักดิ์ชัย สกานุพงษ์

## บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงอาคารเรียนให้ใช้งานได้เมื่อได้รับมลภาวะทางเสียงจากโครงการท่าอากาศยานกรุงเทพที่สอง(สนามบินหนองงูเห่า) ที่ส่งผลกระทบต่อสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(สจล.) การศึกษาประกอบด้วยการรวบรวมข้อมูลทางด้านเสียง การรวบรวมข้อมูลผลกระทบทางด้านเสียงจากสนามบินหนองงูเห่าต่อสจล. และการทดลองทางด้านการปรับปรุงอาคารให้สามารถป้องกันเสียงได้ การทดลองเน้นไปที่การปรับปรุงอาคารเดิมให้สามารถใช้งานได้ต่อไป โดยสร้างแบบจำลองห้องเรียนและสร้างแหล่งกำเนิดเสียงโดยให้มีความดังเท่ากับที่ สจล. ได้รับผลกระทบจากสนามบินหนองงูเห่า ปรับปรุงห้องเรียนจำลองโดยเปลี่ยนขนาดและความหนากระจก และหาวัสดุซับเสียงภายในห้องที่เหมาะสม ทดสอบห้องเรียนจริงและนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกัน

## ABSTRACT

This special project study about noise control in building when receive noise pollution due to the present of Second Bangkok International Airport (SBIA) project that impact on King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMIT'L). This study consist of sound information,impact of noise from SBIA and noise control in building experiment that focus at improve present buildings by build classroom model and make sound source that sound pressure level equal to KMIT'L rceive from SBIA . The experiment test size,thickness of glass,sound absorption material and compare with result from real classroom.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษนี้ ขอขอบพระคุณต่อผู้ให้ความช่วยเหลือและร่วมมือทุกท่าน ขอขอบพระคุณอาจารย์ศักดิ์ชัย สกานุพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ที่ให้คำแนะนำและเป็นที่ปรึกษาที่ดีตลอดมา ขอขอบพระคุณ ผศ. นิภา ลีลารุจิ ภาควิชาโทรคมนาคม ที่ให้คำแนะนำทางด้านเสียงและให้ยืมอุปกรณ์ อาจารย์ประภากร สุวรรณะ หัวหน้าภาควิชาอิเลคโทรนิคส์ ให้ยืมอุปกรณ์และคำแนะนำ และขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา และขอขอบพระคุณ กรมวิทยาศาสตร์บริการ คณะวิทยาศาสตร์ สจล. สถาบันวิทยบริการจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันวิจัยภาวะแวดล้อม การท่าอากาศยานแห่งประเทศไทย

คณะผู้จัดทำ
นายสมภพ ตั้งบุญธินา
นายทวี อุทัยเศรษฐวัฒน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อ | ก |
| กิตติกรรมประกาศ | ข |
| สารบัญ | ค |
| สารบัญตาราง | ง |
| สารบัญรูป | จ |
| บทนำ | |
| -ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| -วัตถุประสงค์ | 1 |
| -ทฤษฎีและแนวคิดที่ใช้ในโครงงานพิเศษ | 1 |
| -ขอบเขตของโครงงานพิเศษ | 2 |
| -วิธีที่ใช้ในการศึกษา | 2 |
| -ผลที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| บทที่ 1 ทฤษฎีเสียง | |
| -เสียง | 3 |
| -การสะท้อนของคลื่นเสียง | 5 |
| -ประโยชน์ใช้สอยซึ่งอาศัยหลักการสะท้อนเสียง | 6 |
| -การหักเหของคลื่นเสียง | 6 |
| -ระดับเสียง | 8 |
| -ลักษณะสมบัติของเสียงทางไฟฟ้า | 12 |
| -ความเร็วของเสียง | 12 |
| -DECIBELS AND LEVELS | 17 |
| -SOUND POWER LEVEL | 18 |
| -กำลังอัดของเสียง SOUND PRESSURE LEVEL | 18 |
| -การเฉลี่ยค่าเดซิเบล | 19 |
| -การวิเคราะห์ย่ านความถี่เสียง | 19 |
| -การทำให้อคูสติคของห้องดียิ่งขึ้น | 22 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ผลกระทบทางด้านเสียงของโครงการท่าอากาศยานสากลกรุงเทพแห่งที่สองต่อ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
-ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ 27
-ทฤษฎีและสูตรที่ใช้ในการคำนวณ 34
-การคำนวณ 34
-การแปลงค่าจาก NEF เป็นเดซิเบล 35
บทที่ 3 การทดสอบการปรับปรุงอาคารให้ใช้งานได้ตามปกติเมื่อเกิดมลภาวะทางเสียง
-จุดประสงค์การทดสอบ 36
-เครื่องมือ-อุปกรณ์การทดสอบ 36
-วัสดุที่ใช้ทดสอบ 37
-การเตรียมการทดสอบ 37
-วิธีการทดสอบ 37
-ผลการทดสอบในห้องแบบจำลอง 41
-ผลการทดสอบในห้องเรียนจริง 50
-การคำนวนหาความหนาของกระจกหรือประเภทของกรจกโดยใช้กราฟที่ได้จากทดลอง 52
บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง
-สรุปผลการทดลอง 53
-ข้อเสนอแนะ 54
ภาคผนวก
-ตาราง,กราฟที่ได้จากการทดลองในห้องแบบจำลอง 55
-ภาพประกอบการทดลอง 92
บรรณานุกรม 105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


| | หน้า |
|---|---|
| ตาราง 1.1 ความเร็วเสียงในของแข็ง | 13 |
| ตาราง 1.2 ความเร็วเสียงในของเหลว | 15 |
| ตาราง 1.3 ความเร็วเสียงในก๊าซ | 16 |
| ตาราง 1.4 แสดงค่า Antilog (dB/10) | 20 |
| ตาราง 1.5 แสดงความถี่ของออคเทปเก่าและใหม่ | 21 |
| ตาราง 1.6 การสะท้อนของเสียงของวัสดุต่างๆ | 24 |
| ตาราง 1.7 สัมประสิทธิ์ของการเก็บและดูดซึมเสียงของวัสดุต่างชนิดที่ความถี่ต่างๆกัน | 25 |
| ตาราง 2.1 แสดงประเภทของเครื่องบินที่นำมาใช้ในโครงการสำหรับแต่ละกิจกรรม | 29 |
| ตาราง 2.2 แสดงจำนวนเที่ยวบินขึ้นและลงรวมกัน ในปี ค.ศ. 2010 และจำนวนเที่ยวบินช่วงกลางวันและกลางคืน | 30 |
| ตาราง 2.3 แสดงค่า NEF ที่มีผลต่อชุมชนโดยรอบสนามบิน | 31 |
| ตาราง 2.4 แสดงมาตราฐานการกำหนดค่า NEF ที่มีผลต่อชุมชนโดยรอบสนามบิน | 32 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป


| | หน้า |
|---|---|
| รูป 1.1 แสดงพื้นผิวน้ำเมื่อโยนก้อนหินลงไปกระทบจะแผ่กระจายออกไปรอบๆ | 4 |
| รูป 1.2 โครงสร้างของเสียงใน 1 รูปคลื่น | 4 |
| รูป 1.3 แสดงการสะท้อนของเสียง | 7 |
| รูป 1.4 การสะท้อนในท่อ | 7 |
| รูป 1.5 การหักเหของคลื่นเสียงกลางวัน | 9 |
| รูป 1.6 การหักเหของคลื่นเสียงกลางคืน | 9 |
| รูป 1.7 ลักษณะสมบัติของคลื่นความถี่เสียงและคลื่นความถี่ที่ทำให้เจ็บปวดหู | 11 |
| รูป 1.8 แสดงความสัมพันธ์คลื่นรูป sine | 11 |
| รูป 1.9 ระดับกำลังเสียงที่เหมาะสมของต้นกำเนิดเสียงต่างๆ | 26 |
| รูป 2.1 แสดงค่า NEF แบบ Mixed Preferential Runway Use และแบบ Equal Runway Use ซึ่งในแผนการใช้จริงจะใช้แบบแรก (แบบ MIX) | 28 |
| รูป 2.2 แสดงค่าระดับเสียงจากเครื่องบิน Turbojet (ค่า EPNLX) ที่ระยะต่างๆ (ft) | 33 |
| รูป 3.1 แสดงการประกอบแบบและวางเหล็กทำพื้นและฝาด้านบน | 92 |
| รูป 3.2 แสดงการก่อผนัง | 92 |
| รูป 3.3 แสดงภาพหลังจากฉาบแล้ว | 93 |
| รูป 3.4 Function Generator | 93 |
| รูป 3.5 แสดง Amplifier | 94 |
| รูป 3.6 Decibel Meter | 94 |
| รูป 3.7 ลำโพง | 95 |
| รูป 3.8 ลำโพงพร้อม Amplifier | 95 |
| รูป 3.9 แสดงห้องทดลอง | 96 |
| รูป 3.10 แสดงการประกอบผ้าม่าน | 96 |
| รูป 3.11 แสดงการประกอบผ้าม่านและพรม | 97 |
| รูป 3.12 แสดงการประกอบฝ้าเพดานระดับล่าง (-10.00 ซม.) | 97 |
| รูป 3.13 แสดงการประกอบฝ้าระดับกลาง (-5.00 ซม.) | 98 |
| รูป 3.14 แสดงการประกอบฝ้าระดับบน (+0.00 ซม.) | 98 |
| รูป 3.15 แสดงการประกอบฝ้าเพดานระดับบน | 99 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.16 แสดงการต่ออุปกรณ์และการทดลอง 99
รูป 3.17 แสดงห้องทดลอง 100
รูป 3.18 แสดงห้องทดลองด้านหลัง 100
รูป 3.19 แสดงช่องวัดเสียงด้านหลัง 101
รูป 3.20 แสดงการวัดเสียงภายในห้องทดลอง 101
รูป 3.21 แสดงการทดลองที่กระจกขนาด 2 ฟุต X 1 1/3 ฟุต 102
รูป 3.22 แสดงการทดลองที่กระจกขนาด 2 ฟุต X 1 1/3 ฟุต ประกอบผ้าม่านและพรม 102
รูป 3.23 แสดงการทดลองที่กระจกขนาด 2 ฟุต X 2/3 ฟุต ที่เพดานระดับสูง 103
รูป 3.24 แสดงการทดลองที่กระจกขนาด 2 ฟุต X 2/3 ฟุต ที่เพดานระดับกลาง 103
รูป 3.25 แสดงการทดลองที่กระจกขนาด 2 ฟุต X 2/3 ฟุต ที่เพดานระดับล่าง 104
รูป 3.26 แสดงการทดลองที่กระจกขนาด 2 ฟุต X 2/3 ฟุต ประกอบผ้าม่านและพรม 104
รูป 3.27 แสดงตำแหน่งที่วัดเสียงในห้องเรียนจริง 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทนำ

**ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา**

โครงการท่าอากาศยานสากลกรุงเทพแห่งที่ 2 (สนามบินหนองงูเห่า) มีสถานที่ก่อสร้างบริเวณหนองงูเห่าซึ่งมีอาณาบริเวณใกล้เคียงกับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ก่อให้เกิดมลภาวะด้านเสียงต่อสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งจะมีผลต่อการเรียนการสอนของสถาบันฯ ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงเห็นว่าควรจะมีการปรับปรุงอาคารเรียนให้สามารถป้องกันเสียงที่เกิดจากเครื่องบินได้ การปรับปรุงอาคารให้ใช้งานได้ตามปกติเมื่อเกิดมลภาวะทางเสียง จึงเป็นหัวข้อของการศึกษาในครั้งนี้

**วัตถุประสงค์**

1.เพื่อศึกษาพฤติกรรมของเสียง เพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมต่างๆของเสียงที่เกิดขึ้นและพฤติกรรมของวัสดุต่างๆต่อคลื่นเสียง

2.เพื่อศึกษาผลกระทบทางด้านเสียงจากสนามบินหนองงูเห่า ต่อสถาบันฯ

3.เพื่อทดลองวิธีต่างๆที่จะปรับปรุงอาคารเพื่อให้สามารถป้องกันและลดค่าระดับเสียงได้

**ทฤษฎีและแนวความคิดที่ใช้ในโครงงานพิเศษ**

ในการศึกษาครั้งนี้อาศัยแนวทางจากงานวิจัย “การศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของโครงการท่าอากาศยานสากลกรุงเทพแห่งที่สองต่อสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและพื้นที่ใกล้เคียง” ของนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยใช้แนวความคิดว่าเสียงจะแทรกเข้ามาในอาคารมากที่สุดทางกระจก มากกว่าเข้ามาทางคอนกรีต การศึกษาจะเน้นไปทางด้านการทดลองเกี่ยวกับกระจกและวัสดุประกอบอาคารอื่นๆร่วมด้วย โดยใช้ทฤษฎีทางด้านเสียงเข้ามาช่วยประยุกต์ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ขอบเขตของโครงงานพิเศษ**

โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงอาคารเพื่อป้องกันมลภาวะทางเสียง โดยมีขอบเขตการศึกษา ดังต่อไปนี้

1.มีการทดสอบเสียงโดยสร้างแบบจำลองห้อง

2.ทดสอบเสียงในสถานที่จริง

3.เสียงที่สร้างขึ้นเป็นเสียงที่เท่ากับเสียงที่มาจากเครื่องบิน

4.เสียงเครื่องบินเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ

**วิธีที่ใช้ในการศึกษา**

1.ศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีของเสียงเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการทดลอง

2.ศึกษาผลกระทบทางด้านเสียงจากโครงการท่าอากาศยานสากลกรุงเทพแห่งที่ 2 (สนามบินหนองงูเห่า) ต่อสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.ทดสอบการป้องกันเสียงของแบบจำลองห้อง โดยเปลี่ยน

-ขนาดของกระจก

-ความหนาของกระจก

-วัสดุซับเสียงภายในห้อง

-ความสูงของห้อง

ว่ามีผลกระทบต่อระดับเสียงในห้องอย่างไร

4.สรุปผลการทดลอง

**ผลที่คาดว่าจะได้รับ**

1.ทราบถึงแนวทางการปรับปรุงอาคาร ให้สามารถป้องกันเสียงจากเครื่องบินได้

2.ทราบถึงผลกระทบทางด้านเสียงจากสนามบินหนองงูเห่าต่อ สจล.

3.ทราบถึงพฤติกรรมของเสียง

4.ทราบถึงพฤติกรรมของวัสดุต่างๆที่นำมาทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่1

# ทฤษฎีเสียง

คำว่าคลื่นเมื่อใช้คำนี้กับอาการ ขึ้น-ลง บนผิวของน้ำเมื่อโยนก้อนหินลงไปในน้ำนิ่งๆแล้วเห็นระลอกกลม ๆ กระจายออกไปจากจุดนั้น แต่ว่าชิ้นไม้เล็ก ๆ ที่ลอยอยู่ในผิวน้ำลอยขึ้นลง จะเคลื่อนที่ไปข้าง ๆ ก็น้อยมาก ชิ้นไม้เปรียบได้กับการเคลื่อนที่ของน้ำ ณ จุดต่างๆ ซึ่งเคลื่อนที่ขึ้นลงขวางแนวการเดินทางของคลื่น คลื่นแบบนี้มีชื่อว่า Transverse wave หรือคลื่นตามขวาง ดังแสดงด้วยภาพ สมมุติว่าเราตัดลงมาในแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นขณะหนึ่งใช้ความยาวหนึ่งลูก(ซึ่งต่อๆไปก็ลักษณะอย่างนี้) ดังรูปที่1.1

แนว AB ในรูปที่1.2 เป็นระดับผิวของน้ำนิ่งจะเห็นส่วนที่สูงกว่าระดับนี้มากที่สุดที่จุด C ที่เรียกว่ายอดคลื่นหรือสันคลื่น(Crest) นั้นคือ คลื่นได้ทำให้โมเลกุลของน้ำที่ C ซึ่งเดิมเคยอยู่ที่ระดับ AB ขึ้นไปห่างจากตำแหน่งเดิมที่สุด ระยะคลื่นDisplace มากที่สุดเรียก Amplitude หรือความสูงของคลื่น จุด D เป็นจุดที่โมเลกุลของน้ำลงไปได้ระดับ AB ซึ่งมีค่าเท่ากับAmplitude เช่นกันเรียกว่าท้องคลื่น Though

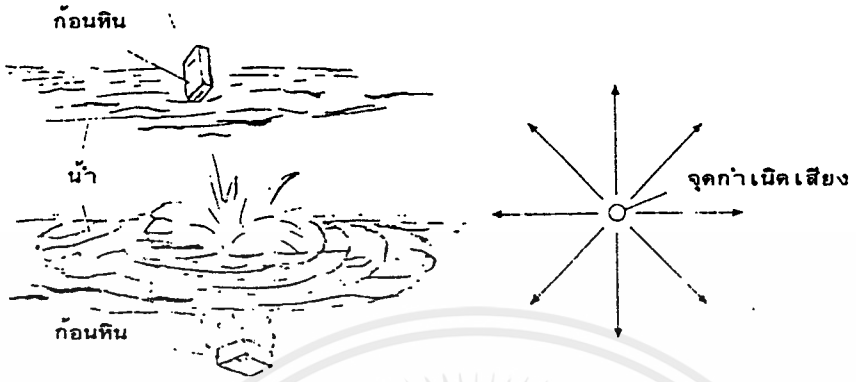
เวลาต่อมาเล็กน้อย สันคลื่นและท้องคลื่นถ้าวิ่งจากซ้ายไปขวาสันคลื่นก็จะเลื่อนไปทางขวา ยอดคลื่นที่วิ่งไปได้ทางแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นเท่าไรในหนึ่งหน่วยเวลา ก็เป็นความเร็วของคลื่นนั้น เวลาที่มันใช้ในการเดินทางไปได้หนึ่งลูก เรียก คาบ Period ระยะทางของหนึ่งลูกคลื่น เรียกความยาวคลื่น Wavelength อัตราที่โมเลกุลของน้ำที่ขึ้นลงกี่ครั้งหรือรอบต่อ 1 วินาที เรียกความถี่หรือ Frequency

เรื่องของคลื่นเสียงก็คล้ายๆกับคลื่นน้ำในแง่ที่ว่าคลื่นเสียงเดินทางผ่านตัวกลางไป จะทำให้อนุภาคในตัวกลางเคลื่อนที่ไปจากตำแหน่งเดิมแต่ละอนุภาคในแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นหนึ่งลูกเคลื่อนที่ไปจากตำแหน่งเดิมขนาดต่างๆกัน ในบริเวณครึ่งลูกจะไปในทิศทางเดียวกัน และตรงข้ามกับบรรดาอีกครึ่งลูก

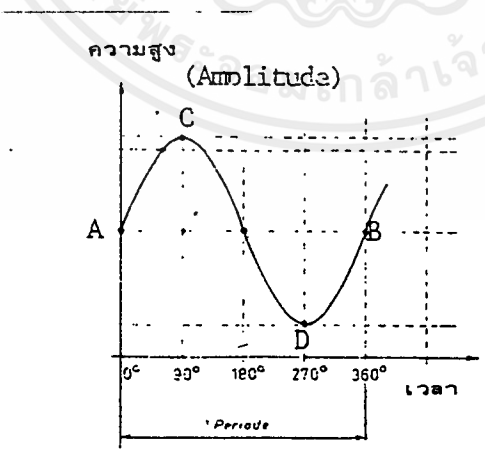
ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างคลื่นน้ำ และคลื่นเสียง คือ อนุภาคในตัวกลางในเรื่องเสียงอนุภาคจะมีการเคลื่อนไหวแต่ในแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นเท่านั้น เราจึงเห็นอนุภาคในครึ่งลูกคลื่นเคลื่อนที่ไปทางซ้ายชุด ทางขวาชุด ขนาดต่างๆกัน จึงเกิดจุดที่อนุภาคมาอัดตัวกันมากและจุดที่อนุภาคกระจายออกไปทั้งสองข้าง เกิดความกดดันน้อยในเวลาต่อมาจุดที่อนุภาคอัดกัน และกระจายออกจากกันก็เลื่อนไปในแนวทางการเคลื่อนที่ของคลื่น

ดังนั้น เมื่อมีเสียงเดินทางไปในตัวกลางจะเกิดจุดที่อนุภาคอัดตัวCompression และจุดที่อนุภาคขยายตัวออกจากกัน สลับกันไปตลอดทางและจุดเหล่านี้เคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งไปเรื่อยในแนวทางการเคลื่อนที่ของคลื่น มองในแง่ความกดดันPressure ที่จุดหนึ่งๆ จะมีค่ามากกว่าปกติ เท่ากับปกติและน้อยกว่าปกติสลับกันไป ลักษณะของคลื่นที่โมเลกุลของตัวกลางที่คลื่นนั้นเดินผ่าน มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูป 1.1 แสดงพื้นผิวน้ำเมื่อโยนก้อนหินลงไปกระทบจะแผ่กระจายออกไปรอบๆ**




**รูป 1.2 โครงสร้างของเสียงใน 1 รูปคลื่น**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสั่นหรือเคลื่อนที่ในแนวการเดินของคลื่น เรียกว่าคลื่นตามยาว Longtitudinal Wave จึงเป็นลักษณะประจำของคลื่นเสียงทั่วไป

เสียงเดินทางผ่านได้ในอากาศ ของแข็ง ของเหลว ยกเว้นสูญญากาศ ในบรรดาตัวกลางอากาศเป็นตัวกลางสำคัญที่สุดที่เกี่ยวข้องกับการที่คลื่นเสียงเดินทางไปและการได้ยิน

แสงและเสียงต่างก็เป็นคลื่นแต่ว่าแสงเป็นคลื่นที่สามารถเดินทางผ่านสูญญากาศได้ ส่วนเสียงเป็นคลื่นที่ต้องการตัวกลางที่เป็นสสารในการเดินทางไป ดูๆแล้วแสงเป็นเสมือนสมบัติของสากลUniverse ส่วนเสียงเป็นสมบัติของโลก

ความเร็วของเสียง Velocity of sound wave นักวิทยาศาสตร์ทดลองพบว่ามีค่าประมาณ 186000 ไมล์ต่อวินาที แสงมีความเร็วประมาณ 900000 เท่าของความเร็วเสียงในอากาศ ในอากาศเสียงเดินทางได้ประมาณ 1 ไมล์ใน 5 วินาที แต่ความเร็วของเสียงในอากาศที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ประมาณ 1090 ฟุตต่อวินาที หรือประมาณ 332.4 เมตรต่อวินาที หรือ 750 ไมล์ต่อชั่วโมง ที่เรียกว่าเป็นความเร็วหนึ่ง

แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความเร็วก็มากขึ้นตามลำดับ โดยประมาณความเร็วเพิ่มขึ้น 2 ฟุตต่อ 1 องศาเซลเซียส

**การสะท้อนของคลื่นเสียง**

เมื่อคลื่นเสียงเดินทางไปกระทบสิ่งกีดขวาง เช่น ฝาผนังห้อง ม่าน กำแพง ต้นไม้ ส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนไปเป็นพลังงานความร้อน พลังงานอีกส่วนหนึ่งจะสามารถผ่านวัตถุนั้น เช่น ทำให้คนในห้องถัดไปได้ยิน พลังงานส่วนสุดท้ายจะสะท้อนกลับ อย่างที่เราเห็นกันในเรื่องแสงสะท้อนที่กระจกเงา ไม่ว่าสิ่งกีดขวางจะเป็นวัตถุชนิดใด จะเกิดเหตุการณ์ทั้งสามอย่าง ในปริมาณต่างๆกัน

ในห้องน้ำมีฝาผนังแข็ง มีการดูดกลืน Absorption และการส่งผ่านทะลุน้อยมาก จึงมีพลังงานที่สะท้อนมามาก เราจึงเห็นผลของการสะท้อนชัดเจน และสะท้อนไปมาหลายหน บางครั้งมีจำนวน 200-300 ครั้ง ก่อนที่พลังงานที่สะท้อนจะอ่อนกำลัง จนไม่สามารถทำให้เราได้ยิน นั้นก็หมายถึงเราได้ยินเสียงนั้นนานกว่าปกติ และจะรู้สึกว่าเสียงนั้นยืดยาวออกไปไม่ใช่ได้ยินเป็นคำๆ 200-300 ครั้ง ทั้งนี้เพราะแต่ละเสียงมาถึงหูโนเวลาห่างกันน้อยมาก สมองไม่สามารถจะแยกออกให้เป็นคนละเสียงได้ ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า การยืดเยื้อของเสียง

ในที่บางแห่งมีการยืดเยื้อมากเกินไปทั้งนี้อาจเป็นด้วยมีสิ่งสะท้อนเสียง ซึ่งเป็นสิ่งที่แข็งๆเรียบๆ เช่นฝาผนัง หรือสิ่งแวดล้อมขนาดใหญ่ เช่นหอประชุม โรงภาพยนตร์ เหล่านี้ทำให้ได้ยินเสียงอู้งยากสับสนจับโจความไม่ได้ หมดความน่าฟังไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรงกันข้าม ถ้าเสียงที่ออกไปในตัวกลางไม่มีการสะท้อนกลับยังผู้ฟังเสียเลย เช่น พูดในที่โล่งแจ้ง หรือในที่ที่มีสิ่งที่ดูดกลืนพลังงานเสียง ซึ่งมีลักษณะตรงกันข้ามกับสิ่งสะท้อนเสียง คือ อ่อนนุ่ม ขรุขระ เช่นผ้าม่าน ผ้ากำมะหยี่ สำลี ทำให้ผู้ฟังได้ยินเสียงห้วนๆ หมดความน่าฟัง

ในทางดนตรี ต้องการการยืดเยื้อเสียงมากกว่าปกติ

กฎการสะท้อนของเสียงสามารถทดลองดูได้ดังรูปที่1.3

**ประโยชน์ใช้สอยซึ่งอาศัยหลักการสะท้อนของเสียง**

Speaking tube หรือ Megaphone เรียกตามภาษาของชาวบ้านว่าโทรโข่ง ให้พลังงานเสียงไม่กระจายทั่วบริเวณ แต่อาศัยการสะท้อนในท่อช่วยให้เสียงเดินทางไปในทิศหนึ่งมาก ทำให้ได้ยินได้ไกลดังรูปที่1.4

เรื่องสำคัญอีกอย่างหนึ่งเกี่ยวกับการสะท้อนของเสียงคือ ECHO หรือ การซ้ำเสียงเดิมเป็นธรรมชาติอย่างหนึ่งของหู ที่สามารถแยกเสียง 2 เสียงว่าเป็นคนละเสียง เกิดก่อน เกิดทีหลังกันได้ต่อเมื่อเสียงหนึ่งๆ มาถึงหูทีหลังเสียงแรกเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 0.1 วินาที มิฉะนั้นเราจะรู้สึกเป็นเสียงเดียวกันผสมไป

อาศัยความรู้ในด้านความเร็วเสียงมาคำนวณประกอบจะเห็นว่าเมื่อเสียงแรกมาถึงหูอีกเสียงหนึ่งต้องใช้เวลาอีกประมาณไม่น้อยกว่า 0.1 วินาที ซึ่งคิดเป็นระยะทาง

1 วินาที เสียงเดินทางในอากาศได้ประมาณ 1100 ฟุต

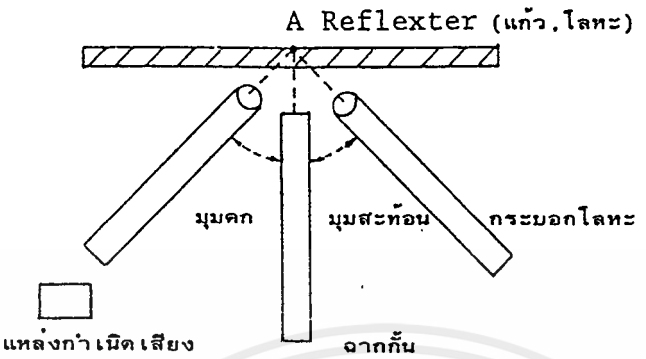
0.1วินาที เสียงเดินทางในอากาศได้ประมาณ (1100 ฟุต*0.1วินาที)/1วินาที

ดังนั้น ถ้าเราอยู่ห่างจากกำแพงพอสมควร และส่งเสียงตะโกน สักคำ สองคำ สิ่งแรกที่เราได้ยินเป็นเสียงที่ออกจากปาก อากาศ หู ซึ่งอาจจะพูดได้ว่าได้ยินทันที อีกสักครู่เราจะได้ยินเสียงอีกเสียงหนึ่งซ้ำเดิม เหมือนมีคนที่เสียงเหมือนเราคอยพูดอยู่ห่างๆ นั่นคือเสียง ECHO ซึ่งเป็นผลมาจากเสียงแรกเดินทางไปสะท้อนกำแพงกลับมายังหู ซึ่งเวลาไม่น้อยกว่า 0.1วินาที จะเดินทางได้ประมาณ 110 ฟุต นั่นคือระยะทางจากผู้พูดไปยังกำแพง และจากกำแพงกลับมายังหู ดังนั้นระยะทางจากผู้พูดไปยังกำแพงต้องไม่น้อยกว่า 55 ฟุต

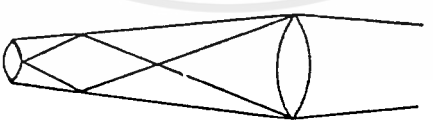
**การหักหของคลื่นเสียง**

เมื่อมีคลื่นเสียงออกจากแหล่งกำเนิดเสียง ที่อยู่ในตัวกลางที่เหมือนกันทุกอย่าง จะมีคลื่นเสียงออกไปทุกทิศทุกทางด้วยความเร็วเท่ากัน โมเลกุลของตัวกลางที่อยู่ห่างจากสิ่งกำเนิดเสียงเท่ากัน จะมีลักษณะการเคลื่อนที่แบบเดียวกัน หรือเรียกว่ามีวัตภาค phase เดียวกันแนวทรงกลมหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูป 1.3 แสดงการสะท้อนของเสียง**



**รูป 1.4 การสะท้อนในท่อ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงกลม ที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่แหล่งกำเนิดเสียงจะเป็นบริเวณโมเลกุลตัวกลาง อัดตัวหรือกระจายออกจากกันเช่นเดียวกัน

ในตัวกลางทั่วไป เช่น อากาศ เราทราบแล้วว่าระดับต่างๆมีความแตกต่างในเรื่อง อุณหภูมิ ความชื้น ความหนาแน่น อันเป็นผลเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางความเร็วและทำให้แนวการเคลื่อนที่และรูปคลื่นเปลี่ยนแปลงไป

อุณหภูมิ ณ ระดับต่างๆกันทำให้เกิดหักเหแนวทางเดินคลื่นเสียงซึ่งมีผลต่อการได้ยินใกล้หรือไกล คือได้ยินเสียงไกลๆในเวลากลางคืนดีกว่ากลางวัน ในระหว่างอากาศระดับใกล้พื้นดินอุ่นหรือร้อนกว่าอากาศระดับสูงๆ ขึ้นไป พอตกกลางคืนท้องฟ้าแจ่มใส พื้นโลกคลายความร้อนออกไป ทำให้อากาศติดๆ พื้นดินเย็นกว่าอากาศระดับสูง

ดังนั้นในเวลากลางวันคลื่นเสียงจึงหักเหขึ้นไปเหนือพื้นดินดังรูปที่1.5 เนื่องจากเสียงเดินทางไปใกล้ๆพื้นดินเร็วกว่า ในเวลากลางคืน เหตุการณ์ตรงกันข้ามคือ เสียงเดินทางโค้งงอลงสู่พื้นดินดังรูปที่1.6 นอกจากนั้น กลางคืนมีความเงียบสงบช่วยให้หูคนเรามีความไวต่อเสียงค่อยๆได้

คลื่นเสียงเดินทางในอากาศชื้น Moist air ได้เร็วกว่าในอากาศแห้ง Dry air แนวการเคลื่อนที่ของเสียงคล้ายกับเวลากลางคืน บางครั้งเราจะได้ยินเสียงฟ้าคำรามไกลๆได้ชัดเจน ซึ่งพอสันนิษฐานได้ว่าฝนกำลังจะตก

**ระดับเสียง**

หูคนปกติสามารถได้ยินเสียงที่มีความถี่ย่าน 20Hz-20000Hz การตอบสนองความถี่สูงของคนจะเปลี่ยนไปตามวัย คืออายุยิ่งมากความสามารถที่จะรับรู้เสียงสูงๆ ยิ่งลดลง

เสียงใดมีความถี่สูงกว่าอีกเสียงหนึ่งอาจเรียกได้ว่ามีระดับเสียงสูงกว่าHigher pitchอีกเสียง

เสียงของผู้ชายอยู่ในความถี่ประมาณ 250-1000 Hz

เสียงของผู้หญิงอยู่ในความถี่ประมาณ 500-1500 Hz

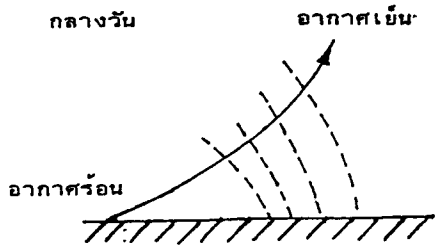
เท่าที่ทดลองกันมาความถี่เสียงที่หูคนคุ้น และตอบสนองไวที่สุดคือ ความถี่ 3000 Hz

ความเข้มของเสียง เสียงค่อย มีแอมปลิจูดต่ำ เสียงที่ดังขึ้นมีความเข้มมากขึ้น มีแอมปลิจูดสูง

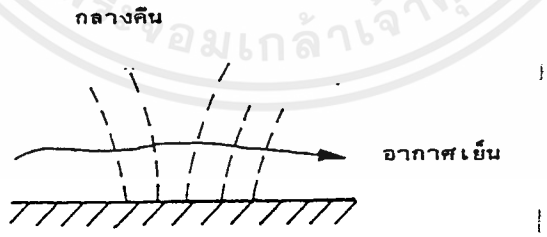
ในการทดลองพบว่า ความเข้มของเสียง ณ จุดต่างๆ มีขนาดผันแปร เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแอมปลิจูดยกกำลังสอง

ความไวของหูคนกับความเข้ม เมื่อเริ่มทดลองด้วยเสียงที่มีความถี่ขนาดหนึ่งมีความเข้มน้อยๆ ตั้งแต่เราไม่สามารถจะได้ยินได้ ค่อยๆเพิ่มความเข้มจนเราสามารถได้ยินได้ ณ จุดของความเข้มนั้นเราเรียกว่า Threshold of hearing ของความถี่นั้น เมื่อเพิ่มความเข้มขึ้นเรื่อยๆ เราจะได้ยินรู้สึกว่าดังขึ้นๆ ความเข้มที่เพิ่มที่เราได้ยินได้ปรากฏว่ามีค่ามากหลายล้านเท่าของความเข้มของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูป 1.5 การหักเหของคลื่นเสียงกลางวัน




รูป 1.6 การหักเหของคลื่นเสียงกลางคืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียงที่เริ่มได้ยิน นับได้ว่าหูคนเราสามารถรับความเข้มของเสียงหนึ่งๆ มีย่านใหญ่โตมาก จะต้องมีความเข้มอยู่ค่าหนึ่งเริ่มให้ความรู้สึกเจ็บปวดแทรกเข้ามากับการได้ยิน ค่านั้นเรียกว่า Threshold value of pain

ความเข้มและความถี่ ในการทดลองหาค่าของความเข้มของเสียงที่ความถี่ต่างๆ ที่พอดีให้เกิดความรู้สึกเจ็บในการได้ยิน ปรากฏว่ามีค่าความเข้มไม่เท่ากัน เสียงทีมีความถี่ต่ำๆ และสูงๆ มีแนวโน้มที่จะมีความเข้มมากๆจึงจะทำให้เกิดความรู้สึกเจ็บปวดในการได้ยิน หรือกล่าวง่ายๆที่ความถี่เท่าๆ กับเสียงความถี่ขนาดกลาง 1000-5000Hz

ตามรูปที่ 1.7 เส้นล่างแสดงถึงค่าความเข้มของความถี่ต่างๆ ที่ทำให้หูคนเกิดอาการได้ยินได้

เส้นบน แสดงค่าความเข้มของความถี่ต่างๆ ที่ทำให้เกิดอาการเจ็บแก่การได้ยิน ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าพอๆกัน

เนื่องจากหูคนสามารถรับความเข้มของเสียงย่านกว้างมาก จึงนิยมบอกค่าความเข้มของเสียงโดยการเปรียบเทียบกับค่าความถี่มาตรฐาน 1000Hz ที่มีความเข้มค่า 10E-16 watts/cm2 ซึ่งเป็นค่า Threshold value of hearing ของเสียง 1000Hz นี้แม้ว่าอัตราส่วนออกมาได้แล้ว บางเสียงยังมีค่ามากอีกจึงอาศัยความรู้ทาง Logarithm ฐาน10 เข้าช่วยเพื่อให้เกิดเป็นหน่วยมีค่าน้อย นอกจากนี้ความเข้มที่ต่างกันเล็กน้อยไม่อาจทำให้เรารู้สึกว่าดังกว่ากันได้ ต้องเป็นร้อยๆเท่า จึงจะให้ความรู้สึกเช่นนั้นได้

แสดงการคำนวณประกอบได้คือ

เสียงหนึ่งมีความเข้ม I1 watts/cm2 และเสียงมาตรฐานมีความเข้ม I2 หรือ 10E-16 watts/cm2

เสียงแรกมีความเข้มเหนือความถี่มาตรฐาน log10(I1/I2) Bel

หน่วย Bel ให้เป็นเกียรติแก่ Alexander Graham Bell ผู้ประดิษฐ์โทรศัพท์แต่หน่วยนี้ยังมีขนาดใหญ่อยู่จึงนิยมใช้หน่วยย่อยลงไปเป็น dB หรือ

1 Bel เท่ากับ 10 dB

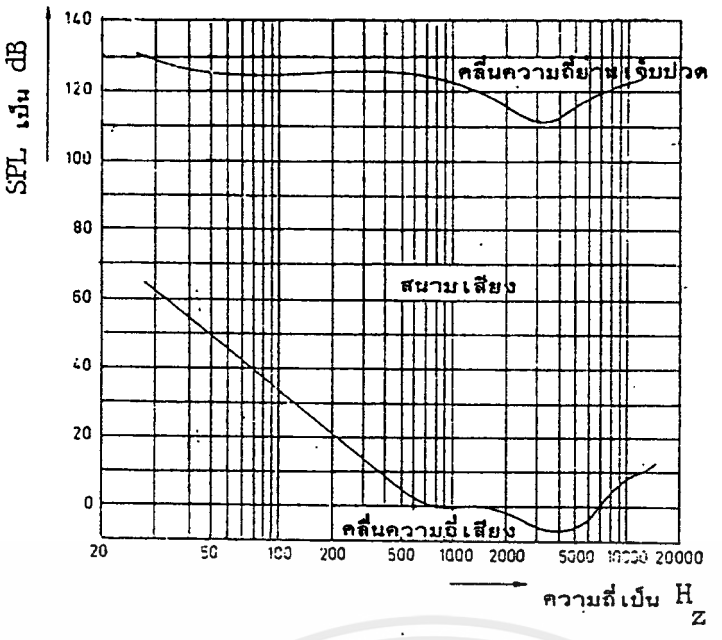
ค่ามาตรฐานของความเข้ม 1000 Hz ที่ทำให้หูได้ยิน Zero Intensity Level นี้ เสียงอื่นๆ ที่มีความเข้มเป็น 10 เท่าของเสียงมาตรฐานนี้ ถือว่ามีระดับของความเข้มเป็น 10เท่า คือ 10 dB เหนือค่ามาตรฐาน

ในทางวิศวกรรมโทรศัพท์นิยมใช้ค่ามาตรฐานเป็น 6 มิลลิวัตต์ ป้อนเข้าสาย 500 หรือ 600 โอห์ม ดังนั้นกำลัง 60 มิลลิวัตต์ จะมีระดับความเข้มเท่ากับ

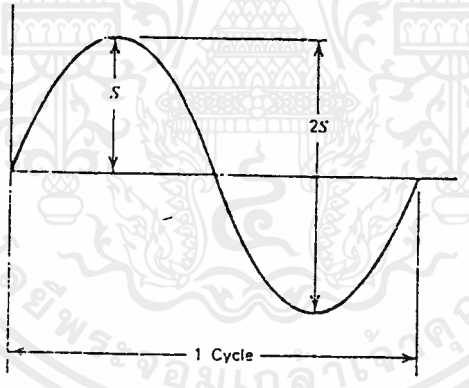
10log(60/6) dB =10dB

กำลัง 0.6 มิลลิวัตต์ จะมีระดับความเข้ม -10dB

เอกสารนี้สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูป 1.7 ลักษณะสมบัติของคลื่นความถี่เสียงและคลื่นความถี่ที่ทำให้เจ็บปวดหู**




**รูป 1.8 แสดงความสัมพันธ์คลื่นรูป sine**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ลักษณะสมบัติของเสียงทางไฟฟ้า**

Frequency จะได้จากระยะ Pitch

ตัวอย่างเช่น เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่จากข้างล่างขึ้นข้างบนภายในกระบอกสูบ ทำให้เกิดเป็น harmonic motion เกิดกำลังอัดต่างๆกัน ระยะทางจากจุดศูนย์กลางของกระบอกสูบไปยังจุดสุดท้าย จะเรียกว่า Amplitude ความยาวทั้งหมดของกระบอกจะเรียกว่า Double amplitude หรือ Displacement

ลูกสูบจะเคลื่อนที่สมบูรณ์ใน 1 cycle เมื่อเริ่มจากจุดศูนย์กลางของกระบอกสูบไปยังจุดที่ไกลที่สุดและกลับมาทางเดิม และเคลื่อนจากจุดตรงกันข้ามของกระบอกสูบกลับมาอีกครั้งหนึ่ง จึงจะกลับไปยังจุดศูนย์กลางของกระบอกสูบ

จำนวนครั้งต่อวินาทีของลูกสูบจากจุดข้างล่างขึ้นบน เมื่อผ่านครบ 1 cycle จะเรียกว่าความถี่ของเสียงนั่นคือจำนวน cycle ต่อวินาที CPS ระยะเวลาที่ได้จาก cycle ที่สมบูรณ์จะเรียกว่า period ตัวอย่างเช่นความถี่ 1000 Hz จะได้เป็น period= 1/1000 =0.001sec

ในรูป 1.8 จะแสดงความสัมพันธ์ในคลื่นรูป sine

**ความเร็วของเสียง**

ความเร็วของเสียงในอากาศ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิซึ่งจะเท่ากับ

$C = 49.03\sqrt{R}$

C = speed of sound in feet per second

R = temperature in rankine

(459.7+องศา F)

ตัวอย่างเช่น ที่อุณหภูมิ70 องศาฟาเรนไฮ ความเร็วเสียงในอากาศจะเท่ากับ

$C = 49.03\sqrt{459.7+70}$

$= 1128$ fps

ความยาวของคลื่นเสียง คือ ระยะที่คลื่นเสียงเดินทางครบ 1 รอบ ความเร็ว ความถี่ ความยาวคลื่น หาได้จาก

$C = f\Lambda$

C ความเร็วของเสียง มีหน่วยเป็นฟิตต่อวินาที

f ความถี่ มีหน่วยเป็น Hz

$\Lambda$ ความยาวคลื่น มีหน่วยเป็นฟุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ความเร็วของเสียงในของแข็ง (Velocity of sound in solids) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| วัสดุ | ความเร็วตามแนวเส้น | | ความเร็วตามแนวขวาง | |
| | ซ.ม/วินาที | ฟิต/วินาที | ซ.ม/วินาที | ฟิต/วินาที |
| อลูมินัม | $5.24 \times 10^5$ | $1.72 \times 10^4$ | $6.4 \times 10^5$ | $2.1 \times 10^4$ |
| แอนติโมนี | $3.40 \times 10^5$ | $1.12 \times 10^4$ | - | - |
| บิสมัส | $1.79 \times 10^5$ | $5.89 \times 10^3$ | $2.18 \times 10^5$ | $7.15 \times 10^3$ |
| ทองเหลือง | $3.42 \times 10^5$ | $1.12 \times 10^4$ | $4.25 \times 10^5$ | $1.39 \times 10^4$ |
| แคดเมียม | $2.40 \times 10^5$ | $7.87 \times 10^3$ | $2.78 \times 10^5$ | $9.12 \times 10^3$ |
| คอนสแตนแตน | $4.30 \times 10^5$ | $1.41 \times 10^4$ | $5.24 \times 10^5$ | $1.72 \times 10^4$ |
| ทองแดง | $3.58 \times 10^5$ | $1.17 \times 10^4$ | $4.60 \times 10^5$ | $1.51 \times 10^4$ |
| เงินเยอรมัน | $3.58 \times 10^5$ | $1.17 \times 10^4$ | $4.76 \times 10^5$ | $1.56 \times 10^4$ |
| ทอง | $2.03 \times 10^5$ | $6.66 \times 10^3$ | $3.24 \times 10^5$ | $1.06 \times 10^4$ |
| ไอรีดเดียม | $4.79 \times 10^5$ | $1.57 \times 10^4$ | - | - |
| เหล็ก | $5.17 \times 10^5$ | $1.70 \times 10^4$ | $5.85 \times 10^5$ | $1.92 \times 10^4$ |
| ตะกั่ว | $1.25 \times 10^5$ | $4.10 \times 10^3$ | $2.40 \times 10^5$ | $7.87 \times 10^3$ |
| แมกนีเซียม | $4.90 \times 10^5$ | $1.61 \times 10^4$ | - | - |
| แมงกานิส | $3.83 \times 10^5$ | $1.26 \times 10^4$ | $4.66 \times 10^5$ | $1.53 \times 10^4$ |
| นิคเกิล | $4.76 \times 10^5$ | $1.56 \times 10^4$ | $5.60 \times 10^5$ | $1.84 \times 10^4$ |
| ทองคำขาว | $2.80 \times 10^5$ | $9.19 \times 10^3$ | $3.96 \times 10^5$ | $1.30 \times 10^4$ |
| เงิน | $2.64 \times 10^5$ | $8.66 \times 10^3$ | $3.60 \times 10^5$ | $1.18 \times 10^4$ |
| เหล็กกล้า เหล็กเหนียว เหล็กซุบ | $5.05 \times 10^5$ | $1.66 \times 10^4$ | $6.10 \times 10^5$ | $2.00 \times 10^4$ |
| แทนทะลัม | $3.35 \times 10^5$ | $1.10 \times 10^4$ | - | - |
| ดีบุก | $2.73 \times 10^5$ | $8.96 \times 10^3$ | $3.32 \times 10^5$ | $1.09 \times 10^4$ |
| ทังสเตน | $4.31 \times 10^5$ | $1.41 \times 10^4$ | $5.46 \times 10^5$ | $1.79 \times 10^4$ |
| สังกะสี | $3.81 \times 10^5$ | $1.25 \times 10^4$ | $4.17 \times 10^5$ | $1.37 \times 10^4$ |
| ไม้ค้อค | $5.00 \times 10^4$ | $1.64 \times 10^3$ | - | - |

ตาราง 1.1 ความเร็วเสียงในของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| วัสดุ | ความเร็วตามแนวเส้น | | ความเร็วตามแนวขวาง | |
|---|---|---|---|---|
| | ซ.ม/วินาที | ฟิต/วินาที | ซ.ม/วินาที | ฟิต/วินาที |
| แร่คริสตัล ควอทซ์ ตัดตามแนวแกน X | $5.44 \times 10^5$ | $1.78 \times 10^4$ | $6.72 \times 10^5$ | $1.88 \times 10^4$ |
| หินเกลือ (Rock Zalt)ตัดตามแนวแกน X | $4.51 \times 10^5$ | $1.48 \times 10^4$ | $4.78 \times 10^5$ | $1.57 \times 10^4$ |
| แก้ว . กระจก (Glass) | | | | |
| หินเหล็ก (Heavy flint) | $3.49 \times 10^5$ | $1.15 \times 10^4$ | $3.76 \times 10^5$ | $1.23 \times 10^4$ |
| หินไฟชนิดแข็งพิเศษ(Extra heavy flint) | $4.55 \times 10^5$ | $1.49 \times 10^4$ | $4.80 \times 10^5$ | $1.57 \times 10^4$ |
| มงกฎที่ทำด้วยหินชนิดพิเศษ (Haviest-crown) | $4.71 \times 10^5$ | $1.55 \times 10^4$ | $5.26 \times 10^5$ | $1.73 \times 10^4$ |
| มงกฎ (crown) | $5.30 \times 10^5$ | $1.74 \times 10^4$ | $5.66 \times 10^5$ | $1.86 \times 10^4$ |
| หินควอทซ์ (Quartz) | $5.37 \times 10^5$ | $1.76 \times 10^4$ | $5.57 \times 10^5$ | $1.81 \times 10^4$ |
| หินอัคนี (Granite) | $3.95 \times 10^5$ | $1.30 \times 10^4$ | - | - |
| งาช้าง (Ivory) | $3.01 \times 10^5$ | $9.88 \times 10^3$ | - | - |
| หินอ่อน (Marble) | $3.81 \times 10^5$ | $1.25 \times 10^4$ | - | - |
| หินกระดาษชนวน (Slate) | $4.51 \times 10^5$ | $1.48 \times 10^4$ | - | - |
| ไม้ (Wood) | | | | |
| ไม้เอม (Elm) | $1.01 \times 10^5$ | $3.31 \times 10^3$ | - | - |
| ไม้โอ๊ค (Osk) | $4.10 \times 10^5$ | $1.35 \times 10^4$ | - | - |

**ตาราง 1.1 ความเร็วของเสียงในของแข็ง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| วัสดุ | อุณหภูมิ | | ความเร็ว | |
|---|---|---|---|---|
| | °C | °F | ซ.ม/วินาที | ฟิต/วินาที |
| เหล้า.สุรา ชนิดไวไฟที่สุด | 12.5 | 54.5 | $1.21 \times 10^5$ | $3.97 \times 10^3$ |
| (Alcohol, Ethyl) | 20 | 68 | $1.17 \times 10^5$ | $3.84 \times 10^3$ |
| น้ำมัน (Benzene) | 20 | 68 | $1.32 \times 10^5$ | $4.33 \times 10^3$ |
| Carbon Bisulfide | 20 | 68 | $1.16 \times 10^5$ | $3.81 \times 10^3$ |
| ยาสลบ(Chloroform) | 20 | 68 | $1.00 \times 10^5$ | $3.28 \times 10^3$ |
| อีเธอะ, Ethyl(Ether,Ethyl) | 20 | 68 | $1.01 \times 10^5$ | $3.31 \times 10^3$ |
| กลีซ - เธอะริน(Glycerine) | 20 | 68 | $1.92 \times 10^5$ | $6.30 \times 10^3$ |
| ปรอท (Mercury) | 20 | 68 | $1.45 \times 10^5$ | $4.76 \times 10^3$ |
| เพนทานี (Pentane) | 20 | 68 | $1.02 \times 10^5$ | $3.35 \times 10^3$ |
| ปิโตรเลียม (Petroleum) | 15 | 59 | $1.33 \times 10^5$ | $4.36 \times 10^3$ |
| น้ำมันสน (Turpentine) | 3.5 | 38.3 | $1.37 \times 10^5$ | $4.49 \times 10^3$ |
| | 27 | 80.6 | $1.28 \times 10^5$ | $4.20 \times 10^3$ |
| น้ำบริสุทธิ์ (Water,Fresh) | 17 | 62.6 | $1.43 \times 10^5$ | $4.69 \times 10^3$ |
| น้ำทะเล (Water,Sea) | 17 | 62.6 | $1.51 \times 10^5$ | $4.95 \times 10^3$ |

ตาราง 1.2 ความเร็วเสียงในของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| วัสดุ | อุณหภูมิ | | ความเร็ว | |
|---|---|---|---|---|
| | °C | °F | ซ.ม/วินาที | ฟิต/วินาที |
| อากาศ (Air) | 0 | 32 | $3.31 \times 10^4$ | $1.09 \times 10^3$ |
| | 20 | 68 | $3.43 \times 10^4$ | $1.13 \times 10^3$ |
| ก๊าซแอมโมเนีย (Ammonia Gas) | 0 | 32 | $4.15 \times 10^4$ | $1.48 \times 10^3$ |
| คาร์บอนไดอ๊อกไซด์ (Carbon Dioxide) | 20 | 32 | $2.59 \times 10^4$ | $8.50 \times 10^2$ |
| คาร์บอนมอนน๊อคไซด์ (Carbon Monoxide) | 0 | 32 | $3.33 \times 10^4$ | $1.09 \times 10^3$ |
| คลอรีน (Chlorine) | 0 | 32 | $2.06 \times 10^4$ | $6.76 \times 10^2$ |
| Ethane | 10 | 50 | $3.08 \times 10^4$ | $1.01 \times 10^3$ |
| Ethyene | 0 | 32 | $3.17 \times 10^4$ | $1.04 \times 10^3$ |
| ไฮโดรเจน (Hydrogen) | 0 | 32 | $1.28 \times 10^5$ | $4.20 \times 10^3$ |
| ไฮโดรเจน โคโลไรด์ (Hydrogen - Chloride) | 0 | 32 | $2.96 \times 10^4$ | $9.71 \times 10^2$ |
| ไฮโดรเจน ซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide) | 0 | 32 | $2.89 \times 10^4$ | $9.48 \times 10^2$ |
| เมธเอน (Methane) | 0 | 32 | $4.30 \times 10^4$ | $1.41 \times 10^3$ |
| ไนตริคอ๊อกไซด์ (Nitric Oxide) | 10 | 50 | $3.24 \times 10^4$ | $1.06 \times 10^3$ |
| ไนโตรเจน (Nitrogen) | 0 | 32 | $3.34 \times 10^4$ | $1.10 \times 10^3$ |
| | 20 | 68 | $3.51 \times 10^4$ | $1.15 \times 10^3$ |
| ไนตรัสอ๊อกไซด์ (Nitrous Oxide) | 0 | 32 | $2.60 \times 10^4$ | $8.53 \times 10^2$ |
| อ๊อกซิเจน (Oxygen) | 0 | 32 | $3.16 \times 10^4$ | $1.04 \times 10^3$ |
| | 20 | 68 | $3.26 \times 10^4$ | $1.08 \times 10^3$ |
| ซัลเฟอร์ไดอ๊อกไซด์ (Sulfur Dioxide) | 0 | 32 | $2.13 \times 10^4$ | $6.99 \times 10^2$ |
| ไอน้ำ (Water Vapor) | 0 | 32 | $1.01 \times 10^4$ | $3.31 \times 10^2$ |
| | 100 | 212 | $1.05 \times 10^4$ | $3.45 \times 10^2$ |

ตาราง 1.3 ความเร็วเสียงในก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อุณหภูมิ 70 องศาฟาเรนไฮ เมื่อความเร็วของเสียงเป็น 1128 fps

ที่ความถี่ 1000Hz ความยาวคลื่นเท่ากับ 1.238 ฟุต

ตารางที่1.1,1.2,1.3 แสดงความเร็วของเสียงในของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ที่แตกต่างกันตามลำดับ

กำลังความเข้ม และกำลังอัดของเสียง Sound power, Sound intensity and Sound pressure

กำลังของเสียง กำลังของเสียงของแหล่งกำเนิด คือผลรวมของพลังงานที่แผ่กระจายออกไปโดยแหล่งกำเนิดต่อ 1 หน่วยเวลา

ความเข้มของเสียง ความเข้มของเสียงในทิศทางเจาะจงคือ พลังงานเสียงที่แผ่กระจายไปในทิศทางนั้นต่อ 1 หน่วยเวลา

สูตรสำหรับหาค่าของกำลังเสียง ที่เกี่ยวข้องกับความเข้ม คือ

$$W = IS$$

W = กำลังของเสียง

I = ความเข้มของเสียง

S = พื้นที่ผิวทั้งหมด

ปัจจุบัน ในท้องตลาดยังไม่มีเครื่องมือวัดที่สามารถใช้โดยตรงสำหรับวัดค่า กำลังของเสียงหรือ ความเข้มของเสียง นอกจากจะอาศัยอ่านจากหูมนุษย์แต่ละคน และไมโครโฟนที่มีการตอบสนองกับกำลังอัดของเสียงเท่านั้น และเครื่องมือเหล่านั้นยังสามารถวัดได้เป็นเพียงค่าเอฟเฟคทีฟ

**DECIBELS AND LEVELS**

ในรูปของ เดซิเบล จะหาได้จากอัตราส่วนของกำลังวัตต์ทางไฟฟ้า คูณกับ 10 เท่าของลอการิทึม ฐาน 10

ดังตัวอย่างเช่น ถ้ากำลังของ สัญญาณเข้าของวงจรขยายอีเลคโทรนิคส์วงจรหนึ่ง เท่ากับ W1 และกำลังขยายสัญญาณขาออก เท่ากับ W2 ค่าเกนของวงจรขยายเป็นเดซิเบล จะเท่ากับ

$$dB = 10\log(W2/W1)$$

W1 = 1mW W2 = 10 mW power gain

$$dB = 10\log(10/1)$$

$$= 10dB$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

inputpower = 2W output power =20-watt

power gain ยังคงเป็น 10 dB

**SOUND POWER LEVEL**

ค่าระดับเดซิเบลจะใช้ได้ เฉพาะอัตราส่วนไม่ใช่สูตรที่แน่นอนที่จะใช้ได้จริงๆ นอกจากว่าค่าระดับเปรียบเทียบจะคงที่แน่นอน ในเรื่องของ acoustics ค่าระดับเปรียบเทียบ W1 จะใช้10E-12 Watt นั่นคือ

Sound power level = PWL = 10log(W/10E-12)

ถ้าต้นกำเนิดเสียงมีกำลัง 10E-5 W ระดับเสียงมีกำลังเท่ากับ

PWL = 10log(10E-5/10E-12) = 70dB re 10E-12 W

**กำลังอัดของเสียง SOUND PRESSURE LEVEL**

ในทางไฟฟ้า อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้า power จะเท่ากับอัตราส่วนของแรงดัน voltage ยกกำลังสอง

$$W2/W1 = (E2/E1)^2$$

E2,E1 แรงดันขาออก และแรงดันขาเข้า ตามลำดับ

ดังนั้น ค่าระดับกำลังไฟฟ้า เป็น เดซิเบล จะเท่ากับ 10* ลอการิทึมของอัตราส่วนกำลังไฟฟ้า

$$W2/W1 = (P2/P1)^2$$

$$SPL = 10\log(P2/P1)^2 = 20\log(P2/P1)$$

SPL กำลังอัดของเสียงเป็น เดซิเบล

P2 กำลังของเสียงเป็น นิวตันต่อตารางเมตร

P1 กำลังอัดของเสียงที่ระดับเปรียบเทียบ เป็น นิวตันต่อตารางเมตร

ในเรื่อง อะคูสติค ค่าระดับเปรียบเทียบคือ $2.0*10^{-5}$ N/m. บางครั้งจะเขียนเป็น 0.0002 dyne/cm or 0.0002μbar

ดังนั้น

$$SPL = 20\log(P/2.0*10^{-5})$$

ค่าระดับเปรียบเทียบคิดจากความถี่ 1000 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การเฉลี่ยค่าเดซิเบล**

การเฉลี่ยค่าเดซิเบลด้วยการคำนวณ เพื่อความรวดเร็วระดับกำลังของเสียง จะอ่านได้จากจำนวนครั้งจึงจะเป็นการคำนวณค่าเฉลี่ยของการอ่านทั้งหมด

**วิธีทำ** จะคล้ายกับการบวกค่า decibel การหาค่าเฉลี่ยจะหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\overline{SPL} = 10\log(1/n)*[\text{antilog}(SPL1/10)+\text{antilog}(SPL2/10)+...+\text{antilog}(SPLn/10)] \quad ...1$$

**ตัวอย่าง** หาค่าเฉลี่ยของกำลังอัดของเสียง 5 เสียง ที่ได้จากการวัดคือ 90,87,87,88และ89 dB

**วิธีทำ** จากตารางที่1.4

| เดซิเบล | antilog(db/10) |
|---|---|
| 90 | 10.00*10 |
| 87 | 5.01*10 |
| 87 | 5.01*10 |
| 88 | 6.31*10 |
| 89 | 7.94*10 |
| รวม | 34.27*10 |

$34.27*10^8/5 = 6.85*10^8$

$10\log 6.85*10^8 = 88.35 = 88.4$ dB

จากสมการ 1 สามารถเขียนอีกอย่างหนึ่งได้ดังนี้

$$\overline{SPL} = 10\log[\text{antilog}(SPL1/10)+\text{antilog}(SPL2/10)+...+\text{antilog}(SPLn/10)] -10\log n$$

**การวิเคราะห์ย่านความถี่เสียง Octave band analyzer**

การวิเคราะห์ย่านความถี่เสียง คือการวิเคราะห์ การวัดเสียงทางอุตสาหกรรมจะเรียกว่า implis ซึ่งจะแยกเป็นย่านความถี่แต่ละออคเทป octave และจะวัดระดับในแต่ละย่าน

โนการศึกษาเสียงรบกวนย่านความถี่ที่กำหนดไว้ตาม octave เก่าจะมีค่า 37.5-75,75-150,150-300,300-600,600-1200,1200-2400,2400-4800 และ 4800-9600 ในเครื่องมือวัดบางแบบจะเลื่อน octave ให้ต่ำและสูงกว่าที่กำหนด เช่น 20-75 และ 4800-10000 Hz ความถี่ตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
037181

| dB | Antilog $\frac{dB}{10}$ | dB | Antilog $\frac{dB}{10}$ |
|---|---|---|---|
| 65 | 0.03 x $10^6$ | 91 | 12.59 x $10^8$ |
| 66 | 0.04 x $10^6$ | 92 | 15.85 x $10^8$ |
| 67 | 0.05 x $10^6$ | 93 | 19.95 x $10^8$ |
| 68 | 0.06 x $10^6$ | 94 | 25.12 x $10^8$ |
| 69 | 0.08 x $10^6$ | 95 | 31.62 x $10^8$ |
| 70 | 0.10 x $10^6$ | 96 | 39.81 x $10^8$ |
| 71 | 0.13 x $10^6$ | 97 | 50.12 x $10^8$ |
| 72 | 0.16 x $10^6$ | 98 | 63.10 x $10^8$ |
| 73 | 0.20 x $10^6$ | 99 | 79.44 x $10^8$ |
| 74 | 0.25 x $10^6$ | 100 | 100.00 x $10^8$ |
| 75 | 0.32 x $10^6$ | 101 | 125.90 x $10^8$ |
| 76 | 0.40 x $10^6$ | 102 | 158.50 x $10^8$ |
| 77 | 0.50 x $10^6$ | 103 | 199.50 x $10^8$ |
| 78 | 0.63 x $10^6$ | 104 | 251.20 x $10^8$ |
| 79 | 0.79 x $10^6$ | 105 | 316.20 x $10^8$ |
| 80 | 1.00 x $10^6$ | 106 | 398.10 x $10^8$ |
| 81 | 1.26 x $10^6$ | 107 | 501.20 x $10^8$ |
| 82 | 1.59 x $10^6$ | 108 | 631.00 x $10^8$ |
| 83 | 2.00 x $10^6$ | 109 | 794.40 x $10^8$ |
| 84 | 2.51 x $10^6$ | 110 | 1000.00 x $10^8$ |
| 85 | 3.16 x $10^6$ | 111 | 1259.00 x $10^8$ |
| 86 | 3.98 x $10^6$ | 112 | 1585.00 x $10^8$ |
| 87 | 5.01 x $10^6$ | 113 | 1995.00 x $10^8$ |
| 88 | 6.31 x $10^6$ | 114 | 2512.00 x $10^8$ |
| 89 | 7.94 x $10^6$ | 115 | 3162.00 x $10^8$ |
| 90 | 10.00 x $10^6$ | | |

ตาราง 1.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ออคเทปเก่า (Old Octaves) | | | ออคเทปใหม่ (New Octaves) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Lower Cutoff | Center Frequency | Upper Cutoff | Lower Cutoff | Center Frequency | Upper Cutoff |
| 37.5 | 53 | 75 | 44 | 63 | 88 |
| 75 | 106 | 150 | 88 | 125 | 177 |
| 150 | 212 | 300 | 177 | 250 | 354 |
| 300 | 424 | 600 | 354 | 500 | 707 |
| 600 | 848 | 1200 | 707 | 1K | 1414 |
| 1200 | 1697 | 2400 | 1414 | 2K | 2828 |
| 2400 | 3394 | 4800 | 2828 | 4K | 5656 |
| 4800 | 6787 | 9600 | 5656 | 8K | 11312 |

ตาราง 1.5 แสดงความถี่ของออคเทปเก่าและใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลางcenter frequency ของแต่ละ octave คือค่าที่หาได้ทางคณิตศาสตร์ หรือเท่ากับ รากที่สองของผลคูณความถี่สูงกว่า และความถี่ต่ำกว่าคือ

$$f0 = \sqrt{f1*f2}$$

f0 ความถี่ตรงกลางcenter frequency Hz

f1 ความถี่ต่ำกว่าความถี่ตรงกลางlower cut off frequency Hz

f2 ความถี่สูงต่ำกว่าความถี่ตรงกลาง higher cut off frequency Hz

ตัวอย่าง จงหา center frequency ของความถี่ 75-150 Hz

$$f0 = \sqrt{75*150}$$

$$= 106 \text{ Hz}$$

การวิเคราะห์ย่าน Octave ใหม่ ประกอบด้วยความถี่สูงกว่าและต่ำกว่าความถี่ตัดcut off frequency เช่น 75-150 Hz ความถี่ตรงกลาง center frequency ของย่าน Octave ใหม่ คือ 62,125,250,500,1k,2k,4k,8k ความถี่ที่สูงกว่าความถี่ตัด cut off frequency ยังคงเป็นสองเท่าของความถี่ต่ำกว่าความถี่ตัดเพียงแต่ Octave ใหม่ จะเลื่อนไปจากเดิม ดังตารางที่1.5

**การทำให้อคูสติคของห้องดียิ่งขึ้น**

การจัดระบบเสียงภายในห้อง อยู่ในสภาวะที่ยากมากถ้าภายในห้องประกอบด้วยวัสดุเก็บเสียงที่เลว การที่จะทำให้ค่าระยะเวลาการสะท้อนของเสียงภายในห้องดี ขึ้นอยู่กับวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้สร้างห้องด้วย

ถ้าต้องการให้การจัดระบบเสียงภายในห้องคงที่แน่นอน จำเป็นจะต้องรู้คุรสมบัติที่แน่นอนของวัสดุที่ใช้สร้างห้อง และวัสดุทุกชนิดภายในห้อง

ในกฎนี้เราจะพบปัญหา 3 ข้อดังต่อไปนี้

1.การกั้นเสียง

2.การเก็บเสียง

3.การจ่ายเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.การกั้นเสียง

ความมุ่งหมายของการกั้นเสียง คือ เป็นวัสดุป้องกันเสียงอยู่ภายนอกห้องไม่ให้เข้าสู่ภายในห้อง หรือ กั้นเสียงภายในห้องไม่ให้ออกไปสู่ภายนอกห้องได้

2.การเก็บเสียง

เสียงสะท้อนจากฝาผนัง พื้นห้อง และเพดานห้อง สามารถจะทำให้ลดน้อยลงได้จากการใช้วัสดุเก็บเสียงบนพื้นที่ของห้องนั้น ซึ่งถ้าใส่วัสดุเก็บเสียงที่มีความสามารถเก็บเสียงได้ถึง 100% ก็จะไม่เกิดเสียงสะท้อนขึ้นเลยภายในห้องนั้นๆ

3.การจ่ายเสียง

การจ่ายเสียงในที่นี้หมายความว่า เสียงภายในห้องทั่วๆไป ที่ส่งมาจากแหล่งกำเนิด จะต้องมีระดับเสียงที่คงที่แน่นอนไม่มีการจางหาย หรือกรรโชค ซึ่งศัตรูของการจ่ายเสียงก็คือ เสียงสะท้อน ECHO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| วัสดุ | การสะท้อนของเสียงเป็น * |
|---|---|
| หินธรรมชาติขัดมัน | 95 |
| ปูนฉาบ | 95 |
| ไม้ (ขัดมัน หรือ เคลือบแลคเกอร์) | 95 |
| ไม้ (หาสีธรรมดา) | 90 |
| กำแพงเรียบที่ทำด้วยซีเมนต์ | 80 - 85 |
| ฝาผนังที่ทำด้วยทรายหยาบ (ชนิดรอยต่อต่าง ๆ กัน) | 75 |
| ฝาผนังที่เป็นภาพนูน | 64 |
| ฝาผนังที่ทำด้วยวัสดุขรุขระ หยาบ | 35 |
| ผ้าม่าน พรม (ชนิดไม่มีวัสดุยึดหยุ่นรองข้างล่าง) | 75 |
| พรม ชนิดมีสักหลาดผสม | 50 |
| เวทีที่ทำจากวัสดุแข็ง | 30 |
| สักหลาดอัดหนา (ไม่ได้ติดที่ฝาผนัง) | 25 |
| ผ้ากำมะหยี่ชนิดขนยาว | 20 |

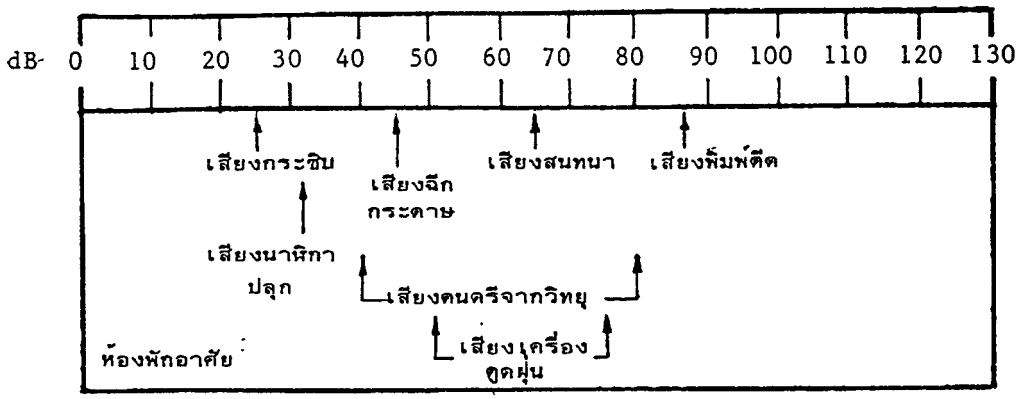
ตาราง 1.6 การสะท้อนของเสียงของวัสดุต่างๆ

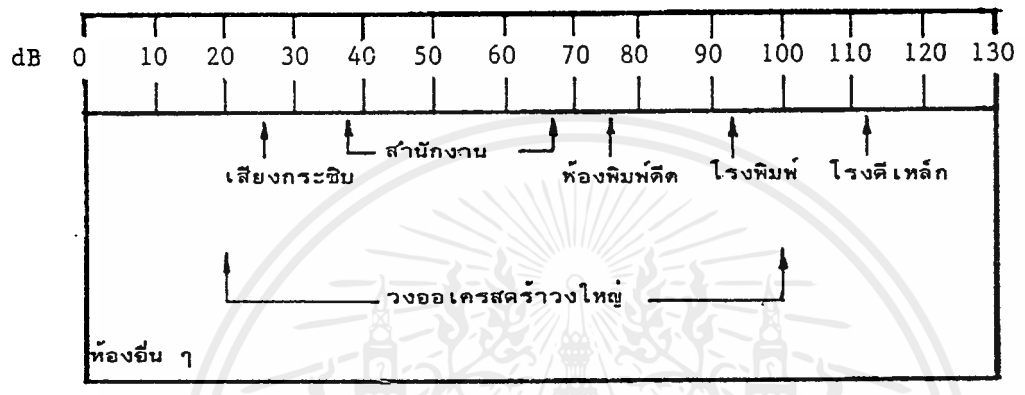
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

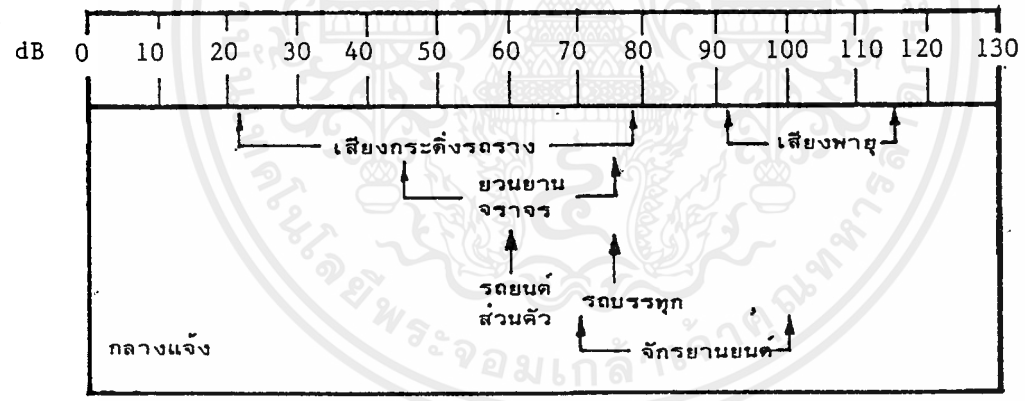
| วัสดุ | 125 $H_z$ | 250 $H_z$ | 500 $H_z$ | 1000 $H_z$ | 2000 $H_z$ | 4000 $H_z$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| อิฐไม่เคลือบเงา | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.07 |
| อิฐทาสี | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 |
| คอนกรีตบล๊อค | 0.36 | 0.44 | 0.31 | 0.29 | 0.39 | 0.25 |
| คอนกรีตบล๊อคทาสี | 0.10 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.09 | 0.08 |
| คอนกรีต | 0.01 | 0.01 | 0.015 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| ไม้ | 0.15 | 0.11 | 0.10 | 0.07 | 0.06 | 0.07 |
| แก้ว , หน้าต่างกระจก | 0.35 | 0.25 | 0.18 | 0.12 | 0.07 | 0.04 |
| ปลาสเตอร์ | 0.013 | 0.015 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 |
| ไม้อัด | 0.28 | 0.22 | 0.17 | 0.09 | 0.10 | 0.11 |
| กระเบื้อง 6 ปอนด์/ลบฟ | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 |
| ไฟเบอร์กลาส | 0.48 | 0.82 | 0.97 | 0.99 | 0.90 | 0.86 |

**ตาราง 1.7 สัมประสิทธิ์ของการเก็บและดูดซึมเสียงของวัสดุต่างชนิดที่ความถี่ต่างๆกัน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูป 1.9 ระดับกำลังของเสียงที่เหมาะสมของต้นกำเนิดเสียงต่างๆ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ผลกระทบด้านเสียงของโครงการท่าอากาศยานสากลกรุงเทพแห่งที่สองต่อสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์**

วิเคราะห์ผลกระทบด้านเสียงจากเครื่องบินที่มีต่อ สจล โดยคำนวณค่า NEF Noise Exposure Forecast และทำการเปรียบเทียบกับระดับเสียงมาตรฐาน Code

1.ประเภทของเครื่องบินที่นำมาใช้ในโครงการสำหรับแต่ละกิจกรรม ดังตาราง 2.1

2.จำนวนเที่ยวบินขึ้นและลงรวมกัน (ปี ค.ศ. 2010) และจำนวนเที่ยวบินช่วงกลางวันและกลางคืน ดังตารางที่ 2.2

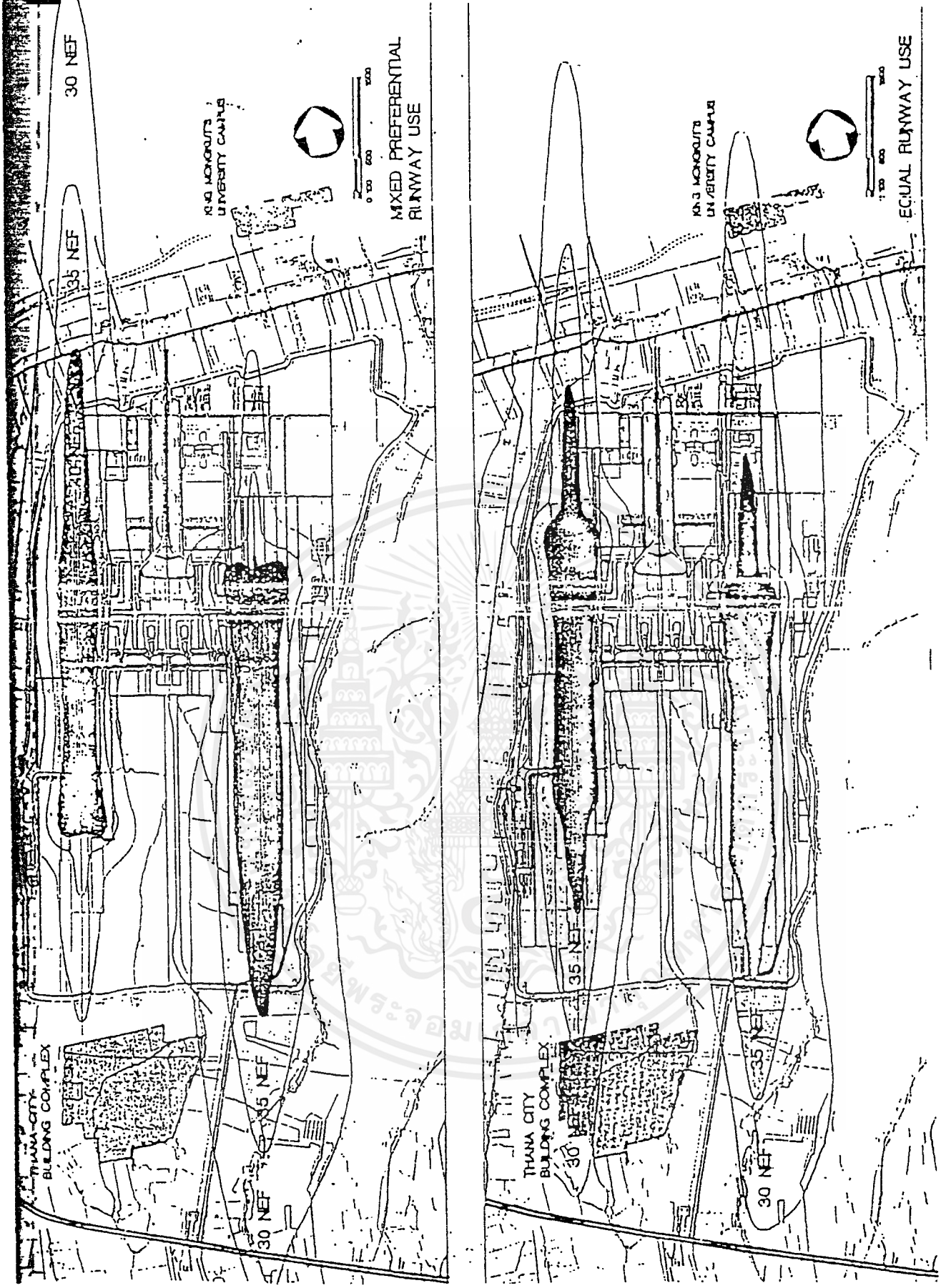
3.แผนที่โครงการฯ เมื่อวัดระยะทางในแนวราบ ระหว่างจุด take off - landing กับ สจล. บริเวณคณะสถาปัตย์ ได้ประมาณ 3.63 km(11909.45 ft)

4.การใช้ Runway ของโครงการจาก Master plan ของการท่าอากาศยานแห่งประเทศไทย ได้กำหนดการใช้ Runway เป็นแบบ Mixed preferential Runway Usage โดยมีรายละเอียดดังนี้ 80 เปอร์เซนต์ จะใช้Runway ทางด้านตะวันออกเป็นทางขึ้นไปทางทิศใต้ เพราะ Runway ทางด้านตะวันตกเป็นทางลงทางทิศเหนือ ส่วนอีก 20 เปอร์เซนต์ที่เหลือ จะใช้ Runway ทั้งสองเป็นทางขึ้นและทางลงอย่างละเท่าๆกัน ฉะนั้นในการวิเคราะห์ผลกระทบทางเสียง จึงคำนวณเฉพาะในกรณี Mixed preferential Runway Usage โดยการคำนวณจะใช้ในกรณี 20 เปอร์เซนต์ ของการใช้ Runway ทางด้านตะวันออก ซึ่งจะผ่านและมีผลกระทบต่อ สจล. โดยตรง

5. NEF( Noise Exposure Forecast ) contours ของแบบ Mixed preferential Runway Usage จะเห็นว่าเป็นการคิดรวมระหว่าง 80 และ 20 เปอร์เซนต์ จึงไม่มีผลต่อ สจล. ดังแสดงในรูปที่ 2.1

6. Code เปรียบเทียบว่าเสียงที่เกิดขึ้น จะมีผลกระทบต่อ สจล. หรือไม่ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 และ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูป 2.1 แสดงค่า NEF แบบ Mixed Preferential Runway Use และแบบ Equal Runway Use ซึ่งในแผนการใช้งานจริงจะใช้แบบแรก(แบบ MIX)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Aircraft Type | International Operations | Domestic Operations | Cargo Operations |
|---|---|---|---|
| Boeing747-400 | 70% (189.7) | 50% (60.6) | 80% (11.4) |
| Boeing767-300 | 4% (10.8) | 0% ( 0 ) | 0% ( 0 ) |
| Boeing757-200 | 10% (27.1) | 0% ( 0 ) | 0% ( 0 ) |
| Boeing737-500 | 10% (27.1) | 17.5% (21.2) | 0% ( 0 ) |
| Airbus310-200 | 6% (16.3) | 20% (24.2) | 20% (2.4 ) |
| BAE 146-300 | 0% ( 0 ) | 7.5% (9.1 ) | 0% ( 0 ) |
| BAE HS-748 | 0% ( 0 ) | 5% (6.1 ) | 0% ( 0 ) |

**ตาราง 2.1 แสดงประเภทของเครื่องบินที่นำมาใช้ในโครงการสำหรับแต่ละกิจกรรม**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Total Aircraft Operation-Year 2010-Landing and Take-Offs Combined | | |
|---|---|---|
| Type of Operation | Annual Total Operations | Averaged Daily Total |
| International | 98,923 | 271.0 (66.7%) |
| Domestic | 44,230 | 121.2 (29.8%) |
| Cargo | 5,210 | 14.3 (3.5% ) |
| Total | 148,363 | 406.5 |

| Distribution of Aircraft Operations - Day vs Night | | |
|---|---|---|
| Type of Operation | Percent Day Operations | Percent Night Operation |
| International | 75.9 (205.7) | 24.1 (65.3) |
| Domestic | 94.5 (114.5) | 5.5 ( 6.7) |
| Cargo | 95.0 (13.3 ) | 5.0 ( 1.0) |
| Total | (333.5) | (73.0) |

**ตาราง 2.2 แสดงจำนวนเที่ยวบินขึ้นและลงรวมกัน ในปี ค.ศ. 2010**

**และจำนวนเที่ยวบินช่วงกลางวันและกลางคืน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| NEF | ผลต่อชุมชน |
|---|---|
| > 40 | - ค่าระดับเสียงจากโครงการก่อให้เกิดการรบกวนต่อประชาชน ที่อยู่อาศัยและสิ่งก่อสร้างเป็นอย่างมาก ได้แก่ สิ่งก่อสร้างที่พักอาศัย, โรงเรียน ฯลฯ ซึ่งเป็นสิ่งก่อสร้างที่ไวต่อการได้รับผลกระทบด้านเสียงในพื้นที่ส่งเสริม ส่วน support land ควรติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเสียงรบกวน |
| 30 - 40 | - ค่าระดับเสียงจากโครงการก่อให้เกิดการรบกวนบ้าง ที่พักอาศัยในบริเวณดังกล่าวควรถูกป้องกันด้วยมาตรการป้องกันเสียงรบกวน |
| < 30 | - ค่าระดับเสียงจากโครงการยอมรับในพื้นที่นี้ |

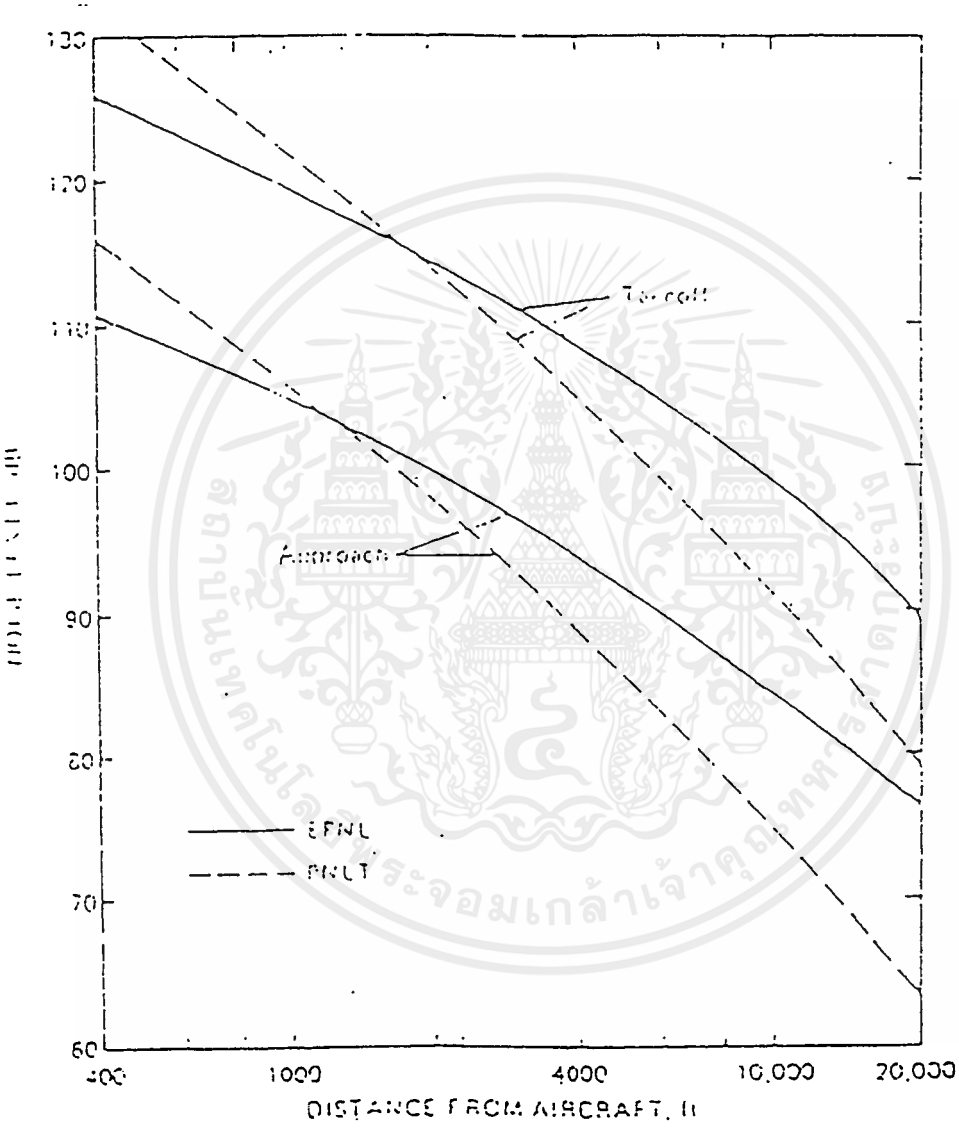
**ตาราง 2.3 แสดงค่า NEF ที่มีผลต่อชุมชนโดยรอบสนามบิน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Land Use | Noise Exposure Forecast (NEF) Areas | | |
|---|---|---|---|
| | Under 30 | 30-40 | Over 40 |
| Residential | yes | (B) | no |
| Commercial | yes | yes | (C) |
| Hotel, Motel | yes | (C) | no |
| Offices, Public Buildings | yes | (C) | no |
| Schools Hospitals, Churches | (C) | no | no |
| Theaters, Auditoriums | (A) (C) | no | no |
| Outdoor Amphitheaters, Theaters | (C) | no | no |
| Outdoor Recreational (Non-Spectator) | yes | yes | yes |
| Industrial | yes | yes | (C) |

**ตาราง 2.4 แสดงมาตรฐานการกำหนดค่า NEF ที่มีผลต่อชุมชนโดยรอบสนามบิน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูป 2.2 แสดงค่าระดับเสียงจากเครื่องบิน Turbojet (ค่าEPNLX) ที่ระยะต่างๆ**

**(Distance from Aircraft (ft) )**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ทฤษฎีและสูตรที่ใช้ในการคำนวณ**

การทำนายระดับเสียงจากโครงการสนามบิน ตามปกติแล้วนิยมสร้างเส้นระดับเสียง Noise contour เพื่อแสดงว่าระยะห่างจากโครงการเท่าไร ได้รับผลกระทบจากเสียงรบกวนหรือไม่

J.Crocker 1975 ได้เสนอการทำนายระดับเสียงจากโครงการสนามบินว่า ควรใช้ค่า NEF ( Noise Exposure Forecast ) ซึ่งสามารถสร้างเป็นเส้นระดับเสียง (Noise contour ) ได้ NEF ( Noise Exposure Forecast ) มักจะใช้สำหรับการคาดการณ์ว่าในพื้นที่โดยรอบโครงการสนามบิน ได้รับเสียงรบกวนหรือไม่โดยการคำนวณจากสมการ

NEF ij = EPNL ij + 10log (N d + 16.67 N n)-88

โดยค่า EPNL ij (Effective Percived Reference mean Noise Level)

= ระดับเสียงอ้างอิง หรือ Reference mean energy level (dBA)

สำหรับเครื่องบินชนิด I และเส้นทางการบิน j

Nd = จำนวนเที่ยวของเครื่องของเครื่องบินในเวลากลางวัน (ช่วงเวลา 07.00-22.00น.) เป็นเวลา 15 ชั่วโมง

Nn = จำนวนเที่ยวของเครื่องบินในเวลากลางคืน (ช่วงเวลา 22.00-07.00น.) เป็นเวลา 9 ชั่วโมง

ตามปกติกำหนดให้การรบกวนของคนต่อระดับเสียงในเวลากลางคืนคิดเป็น 10 เท่าของเวลากลางวันดังนั้น

16.67 = 10 * 15/9

เมื่อต้องการคำนวณค่า NEF จากเครื่องบินชนิดต่างๆ และเส้นทางการบินต่างๆ ต้องใช้สมการ

NEF = 10 log [antilog NEF ij/10]

สำหรับค่า ESPN ของเครื่องบินแต่ละประเภท หาได้จากคู่มือของเครื่องบินแต่ละประเภท ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.2 เป็นค่า EPNL สำหรับเครื่องบิน Turbo-Jet

**การคำนวณ**

การใช้ Runway ที่ผ่าน สจล. แบบ 20 เปอร์เซนต์

จำนวนเที่ยวบินเวลากลางวัน (07.00-22.00น.) = 333.5 เที่ยว

คิดเป็น = 333.5/2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= 166.75 เที่ยวต่อ 1runway

20% ของเที่ยวบินเวลากลางวันต่อหนึ่ง Runway = 33.35 เที่ยว

จำนวนเที่ยวบินเวลากลางคืน(22.00-07.00) = 73 เที่ยว

คิดเป็น = 73/2

= 36.5 เที่ยวต่อ 1Runway

20% ของเที่ยวบินเวลากลางคืนต่อหนึ่ง Runway = 7.3 เที่ยว

ระยะทางในแนวราบจากแนว Runway ถึงสจล. = 3.63 km

=11909.45 ft

จากรูปที่ 2.2 จะได้ค่า Noise Level (dB) หรือ EPNL

ขณะขึ้น = 99 dB

ขณะลง = 84 dB

แทนค่าในสมการ

NEF ij = EPNL ij + 10log (Nd+16.67Nn)-88

NEF ขึ้น = 99 + 10log (33.35+16.67*7.3)-88 = 32.9

NEF ลง = 84 + 10log (33.35+16.67*7.3)-88 =17.9

และจากสมการ

NEF = 10 log [antilog NEF ij/10]

ดังนั้นค่า NEF ที่ระยะห่างจากปลายสุดของทางวิ่ง 3.63

= 10 log [antilog 32.9/10 + antilog 17.9/10]

= 10 log [1949.84 + 61.56 ]

= 33.04

การแปลงค่าจาก NEF เป็น dB

dB = NEF + 37

จะได้ = 33 + 37 = 70 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่3
# การทดสอบการปรับปรุงอาคาร
# ให้ใช้งานได้ตามปกติ
# เมื่อเกิดมลภาวะทางเสียง

**จุดประสงค์การทดสอบ**

การทดสอบเพื่อหาวิธีการปรับปรุงอาคาร โดยการศึกษาความสามารถในการลดเสียงอันเกิดจากเครื่องบินของโครงการสนามบินแห่งชาติที่สอง ของวัสดุ

1. กระจก
    1.1 ขนาดของกระจก
    1.2 ความหนาของกระจก
2. ม่าน
3. พรม
4. ความสูงของฝ้าเพดาน

**เครื่องมือ-อุปกรณ์การทดสอบ**

1. เครื่อง Function Generator
2. เครื่อง Amplifier
3. ลำโพง
4. รางอลูมิเนียมกว้าง 6mm ยาว 2' จำนวน2ราง
5. ซิลิโคน
6. อิฐ
7. ปูนก่อ,ปูนฉาบ
8. สีพลาสติก
9. เหล็กเส้น
10. คอนกรีต
11. ดินน้ำมัน
12. Decibel Meter เครื่องวัดเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**วัสดุที่ใช้ทดสอบ**

1. กระจกบนาด 2'X2' หนา 3mm 5mm 6mm
2. กระจกขนาด 2'X1 1/3' หนา 3mm 5mm 6mm
3. กระจกขนาด 2'X2/3' หนา 3mm 5mm 6mm
4. ฝ้าเพดานขนาด 2'X2'
5. ผ้าม่าน
6. พรมขนาด 2'X2'

**การเตรียมการทดสอบ**

1. ก่ออิฐเป็นกำแพง 3 ด้าน กว้าง 2ฟุต สูง 2ฟุต ภายนอกฉาบปูน เจาะรูด้านหลังไว้สำหรับเครื่องวัดเสียง
2. ด้านที่4 ติดรางอลูมิเนียม 2 ราง ห่างกัน 4นิ้ว เพื่อทดสอบกระจก 2 ชั้น
3. หล่อฝาคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดความหนาเท่ากับความหนาผนัง ทาสี
4. ด้านบนของฝาคอนกรีตประกอบที่ยกฝาคอนกรีต
5. ต่ออุปกรณ์กำเนิดเสียง โดยให้ Function Generator เป็นตัวกำเนิดสัญญาณความถี่ และ Amplifier เป็นตัวขยายเสียงออกทางลำโพง
6. ยึดตะปูเป็นรางให้วางฝ้าเพดาน ความสูงวัดจากขอบบน 0 cm , 5 cm , 10 cm

**วิธีการทดสอบ**

การทดสอบค่าการลดลงของเสียงโดย ใช้เครื่องFunction Generator เป็นตัวกำเนิดสัญญาณความถี่ โดยปรับเปลี่ยนความถี่ตาม Octave ของเสียง

- 62 Hz
- 125 Hz
- 250 Hz
- 500 Hz
- 1000 Hz

โดยใช้ Decibel Meter วัดความดังของเสียงที่ออกจากลำโพง โดยปรับค่าที่เครื่องFunction Generator โดยปรับที่ Amplitude ให้ได้ค่า 80 dB ที่ทุกๆความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดจะใช้Decibel Meter วัดทางรูที่เว้นไว้ด้านหลังห้องทดลอง จะได้เสียงภายในห้องที่วัสดุนั้นๆลดเสียงลง

1. ทดสอบกระจกขนาด 2'X2' โดยห้องผนังและพื้นคอนกรีต และยังไม่ทาสีโดยทดสอบ

1.1 กระจกหนา 3mm

1.2 กระจกหนา 5mm

1.3 กระจกหนา 6mm

1.4 กระจกหนา 6mm 2ชั้น

โดยวัดเสียงที่ความสูงของเพดาน

- 2 ฟุต
- 1 ฟุต 10 นิ้ว
- 1 ฟุต 8 นิ้ว

2. ทดสอบกระจกขนาด 2'X2' โดยมีผ้าม่านหุ้มผนังทุกด้าน และมีพรมปูพื้น และยังไม่ทาสีโดยทดสอบ

2.1 กระจกหนา 3mm

2.2 กระจกหนา 5mm

2.3 กระจกหนา 6mm

2.4 กระจกหนา 6mm 2ชั้น

โดยวัดเสียงที่ความสูงของเพดาน

- 2 ฟุต
- 1 ฟุต 10 นิ้ว
- 1 ฟุต 8 นิ้ว

3. ทดสอบกระจกขนาด 2'X2' โดยห้องผนังและพื้นคอนกรีต และทาสีโดยรอบ โดยทดสอบ

2.1 กระจกหนา 3mm

2.2 กระจกหนา 5mm

2.3 กระจกหนา 6mm

2.4 กระจกหนา 6mm 2ชั้น

โดยวัดเสียงที่ความสูงของเพดาน

- 2 ฟุต
- 1 ฟุต 10 นิ้ว
- 1 ฟุต 8 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.ทดสอบกระจกขนาด 2'X2' โดยมีผ้าม่านหุ้มผนังทุกด้าน และมีพรมปูพื้น และทาสีโดยรอบ โดยทดสอบ

2.1 กระจกหนา 3mm

2.2 กระจกหนา 5mm

2.3 กระจกหนา 6mm

2.4 กระจกหนา 6mm 2ชั้น

โดยวัดเสียงที่ความสูงของเพดาน

- 2 ฟุต
- 1 ฟุต 10 นิ้ว
- 1 ฟุต 8 นิ้ว

5. ก่ออิฐฉาบปูนด้านด้านขึ้นมา 2/3' ทาสี

6. ทดสอบกระจกขนาด 2'X1 1/3' โดยห้องผนังและพื้นคอนกรีต และทาสีโดยรอบ โดยทดสอบ

2.1 กระจกหนา 3mm

2.2 กระจกหนา 5mm

2.3 กระจกหนา 6mm

2.4 กระจกหนา 6mm 2ชั้น

โดยวัดเสียงที่ความสูงของเพดาน

- 2 ฟุต
- 1 ฟุต 10 นิ้ว
- 1 ฟุต 8 นิ้ว

7. ทดสอบกระจกขนาด 2'X1 1/3' โดยมีผ้าม่านหุ้มผนังทุกด้าน และมีพรมปูพื้น และทาสีโดยรอบ โดยทดสอบ

2.1 กระจกหนา 3mm

2.2 กระจกหนา 5mm

2.3 กระจกหนา 6mm

2.4 กระจกหนา 6mm 2ชั้น

โดยวัดเสียงที่ความสูงของเพดาน

- 2 ฟุต
- 1 ฟุต 10 นิ้ว
- 1 ฟุต 8 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ก่ออิฐฉาบปูนทาสี ด้านหน้าขึ้นมาอีก 2/3'

9. ทดสอบกระจกขนาด 2'X2/3' โดยห้องผนังและพื้นคอนกรีต และทาสีโดยรอบ โดยทดสอบ

2.1 กระจกหนา 3mm

2.2 กระจกหนา 5mm

2.3 กระจกหนา 6mm

2.4 กระจกหนา 6mm 2ชั้น

โดยวัดเสียงที่ความสูงของเพดาน

- 2 ฟุต
- 1 ฟุต 10 นิ้ว
- 1 ฟุต 8 นิ้ว

10. ทดสอบกระจกขนาด 2'X2/3' โดยมีผ้าม่านหุ้มผนังทุกด้าน และมีพรมปูพื้น และทาสีโดยรอบ โดยทดสอบ

2.1 กระจกหนา 3mm

2.2 กระจกหนา 5mm

2.3 กระจกหนา 6mm

2.4 กระจกหนา 6mm 2ชั้น

โดยวัดเสียงที่ความสูงของเพดาน

- 2 ฟุต
- 1 ฟุต 10 นิ้ว
- 1 ฟุต 8 นิ้ว

11. ทำการทดสอบในห้องเรียนจริง โดยให้เสียง 80 dB ที่ความถี่ต่างๆ พร้อมทั้งวัดเสียงที่เกิดขึ้นจริงในห้องเรียน และนำค่าที่ได้จากการวัดในห้องเรียนจริงมาทำการเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวนได้จากการทดสอบในแบบจำลอง

12. นำผลที่ได้มาทำการสรุปและวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

***ผลการทดลอง***

นำค่าความดัง (dB) ที่วัดได้ภายในห้องทดลอง มาลงในตารางที่ความหนาของกระจกและความถี่ต่างๆ พร้อมทั้งเขียนกราฟ โดยมีตารางและกราฟทั้งหมด 18 แบบ

**1. กระจกแผ่นใหญ่ ขนาด 2' x 2'**

แบบที่ 1 ห้องเปล่าทาสี และความสูงของฝ้า 2.00 ฟุต

แบบที่ 2 ห้องเปล่าทาสี และความสูงของฝ้า 1.83 ฟุต

แบบที่ 3 ห้องเปล่าทาสี และความสูงของฝ้า 1.67 ฟุต

แบบที่ 4 ห้องเปล่าทาสี+ม่าน+พรม และความสูงของฝ้า 2.00 ฟุต

แบบที่ 5 ห้องเปล่าทาสี+ม่าน+พรม และความสูงของฝ้า 1.83 ฟุต

แบบที่ 6 ห้องเปล่าทาสี+ม่าน+พรม และความสูงของฝ้า 1.67 ฟุต

**2. กระจกแผ่นกลาง ขนาด 1.33' x 2'**

แบบที่ 7 ห้องเปล่าทาสี และความสูงของฝ้า 2.00 ฟุต

แบบที่ 8 ห้องเปล่าทาสี และความสูงของฝ้า 1.83 ฟุต

แบบที่ 9 ห้องเปล่าทาสี และความสูงของฝ้า 1.67 ฟุต

แบบที่ 10 ห้องเปล่าทาสี+ม่าน+พรม และความสูงของฝ้า 2.00 ฟุต

แบบที่ 11 ห้องเปล่าทาสี+ม่าน+พรม และความสูงของฝ้า 1.83 ฟุต

แบบที่ 12 ห้องเปล่าทาสี+ม่าน+พรม และความสูงของฝ้า 1.67 ฟุต

**3. กระจกแผ่นเล็ก ขนาด 0.67' x 2'**

แบบที่ 13 ห้องเปล่าทาสี และความสูงของฝ้า 2.00 ฟุต

แบบที่ 14 ห้องเปล่าทาสี และความสูงของฝ้า 1.83 ฟุต

แบบที่ 15 ห้องเปล่าทาสี และความสูงของฝ้า 1.67 ฟุต

แบบที่ 16 ห้องเปล่าทาสี+ม่าน+พรม และความสูงของฝ้า 2.00 ฟุต

แบบที่ 17 ห้องเปล่าทาสี+ม่าน+พรม และความสูงของฝ้า 1.83 ฟุต

แบบที่ 18 ห้องเปล่าทาสี+ม่าน+พรม และความสูงของฝ้า 1.67 ฟุต

<u>หมายเหตุ</u> ค่า Average = $10\log\{\text{antilog}(dB1/10) + \text{antilog}(dB2/10) + \ldots\ldots + \text{antilog}(dBn/10)\} - 10\log n$

โดย ค่า dB1 คือ ความดังครั้งที่ 1

ค่า dB2 คือ ความดังครั้งที่ 2

ค่า dBn คือ ความดังครั้งที่ n

ค่า n คือ จำนวน dB ทั้งหมดที่มาเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## *ความถี่ 1000 Hz*

พื้นที่ผนังของห้อง = 16 ตารางฟุต

พื้นที่ห้อง = 4 ตารางฟุต

**Table A. ห้องเปล่าทาสี และความสูงของฝ้า 2 ฟุต**

ความสูงฝ้า : พท.ห้อง = 0.5 ft/ft2

| | พื้นที่กระจก/พื้นที่ผนังของห้อง | | |
|---|---|---|---|
| ขนาดกระจก | 0.08 | 0.17 | 0.25 |
| 3 mm | 61.0202 | 62.8657 | 63.9210 |
| 5 mm | 58.0403 | 60.0407 | 61.9844 |
| 6 mm | 57.0603 | 60.0806 | 62.1000 |
| 6 mm 2ชั้น | 51.0811 | 53.0407 | 53.8825 |

**Table B. ห้องเปล่าทาสี และความสูงของฝ้า 1.83 ฟุต**

ความสูงฝ้า : พท.ห้อง = 0.4575 ft/ft2

| | พื้นที่กระจก/พื้นที่ผนังของห้อง | | |
|---|---|---|---|
| ขนาดกระจก | 0.08 | 0.17 | 0.25 |
| 3 mm | 63.3005 | 64.0407 | 65.3620 |
| 5 mm | 62.3032 | 62.9410 | 64.1620 |
| 6 mm | 62.0617 | 62.1417 | 64.1410 |
| 6 mm 2ชั้น | 51.0407 | 52.5014 | 54.0407 |

**Table C. ห้องเปล่าทาสี และความสูงของฝ้า 1.67 ฟุต**

ความสูงฝ้า : พท.ห้อง = 0.4175 ft/ft2

| | พื้นที่กระจก/พื้นที่ผนังของห้อง | | |
|---|---|---|---|
| ขนาดกระจก | 0.08 | 0.17 | 0.25 |
| 3 mm | 64.2042 | 65.1019 | 66.0200 |
| 5 mm | 63.4407 | 64.0810 | 65.0610 |
| 6 mm | 61.9009 | 62.1400 | 63.5400 |
| 6 mm 2ชั้น | 51.9211 | 53.3073 | 55.0220 |

**Table D. ห้องเปล่าทาสี+ม่าน+พรม และความสูงของฝ้า 2 ฟุต**

ความสูงฝ้า : พท.ห้อง = 0.5 ft/ft2

| | พื้นที่กระจก/พื้นที่ผนังของห้อง | | |
|---|---|---|---|
| ขนาดกระจก | 0.08 | 0.17 | 0.25 |
| 3 mm | 57.0202 | 58.0010 | 60.1211 |
| 5 mm | 55.0230 | 55.0407 | 56.9211 |
| 6 mm | 54.0050 | 54.9210 | 55.5820 |
| 6 mm 2ชั้น | 50.9829 | 52.1019 | 53.5400 |

**Table E. ห้องเปล่าทาสี+ม่าน+พรม และความสูงของฝ้า 1.83 ฟุต**

ความสูงฝ้า : พท.ห้อง = 0.4575 ft/ft2

| | พื้นที่กระจก/พื้นที่ผนังของห้อง | | |
|---|---|---|---|
| ขนาดกระจก | 0.08 | 0.17 | 0.25 |
| 3 mm | 57.6052 | 58.9010 | 61.0617 |
| 5 mm | 55.0407 | 56.2000 | 57.7658 |
| 6 mm | 53.0400 | 54.0407 | 55.0811 |
| 6 mm 2ชั้น | 51.8829 | 53.1426 | 53.9210 |

**Table F. ห้องเปล่าทาสี+ม่าน+พรม และความสูงของฝ้า 1.67 ฟุต**

ความสูงฝ้า : พท.ห้อง = 0.4175 ft/ft2

| | พื้นที่กระจก/พื้นที่ผนังของห้อง | | |
|---|---|---|---|
| ขนาดกระจก | 0.08 | 0.17 | 0.25 |
| 3 mm | 58.0626 | 58.2885 | 61.4211 |
| 5 mm | 55.8041 | 56.0400 | 58.2056 |
| 6 mm | 54.0407 | 55.5005 | 57.9020 |
| 6 mm 2ชั้น | 52.0403 | 53.1216 | 53.8811 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Table A.**

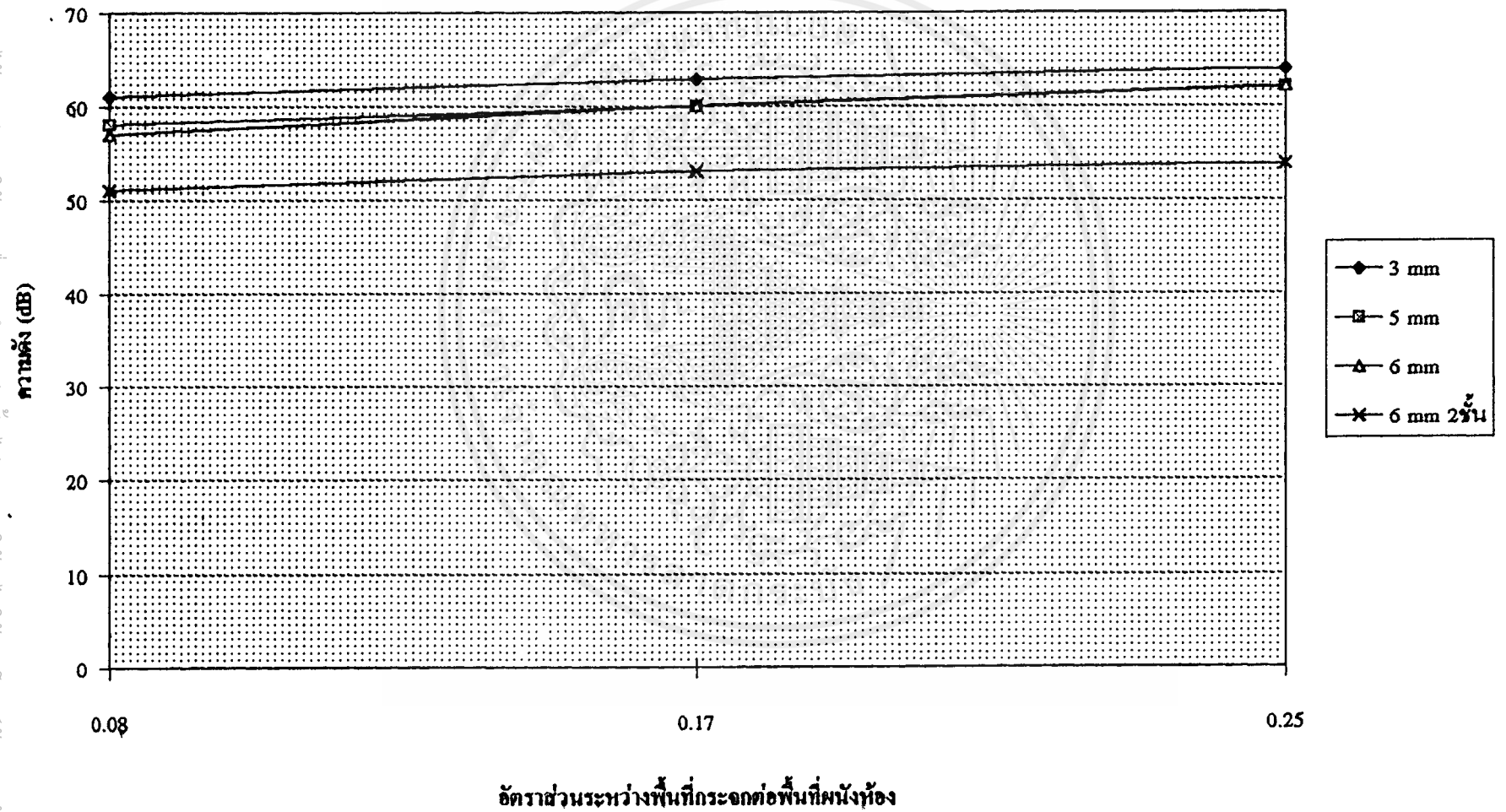

70
60
50
40
30
20
10
0
ความดัง (dB)
0.08
0.17
0.25
อัตราส่วนระหว่างพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังห้อง
3 mm
5 mm
6 mm
6 mm 2ชั้น

**Table B.**

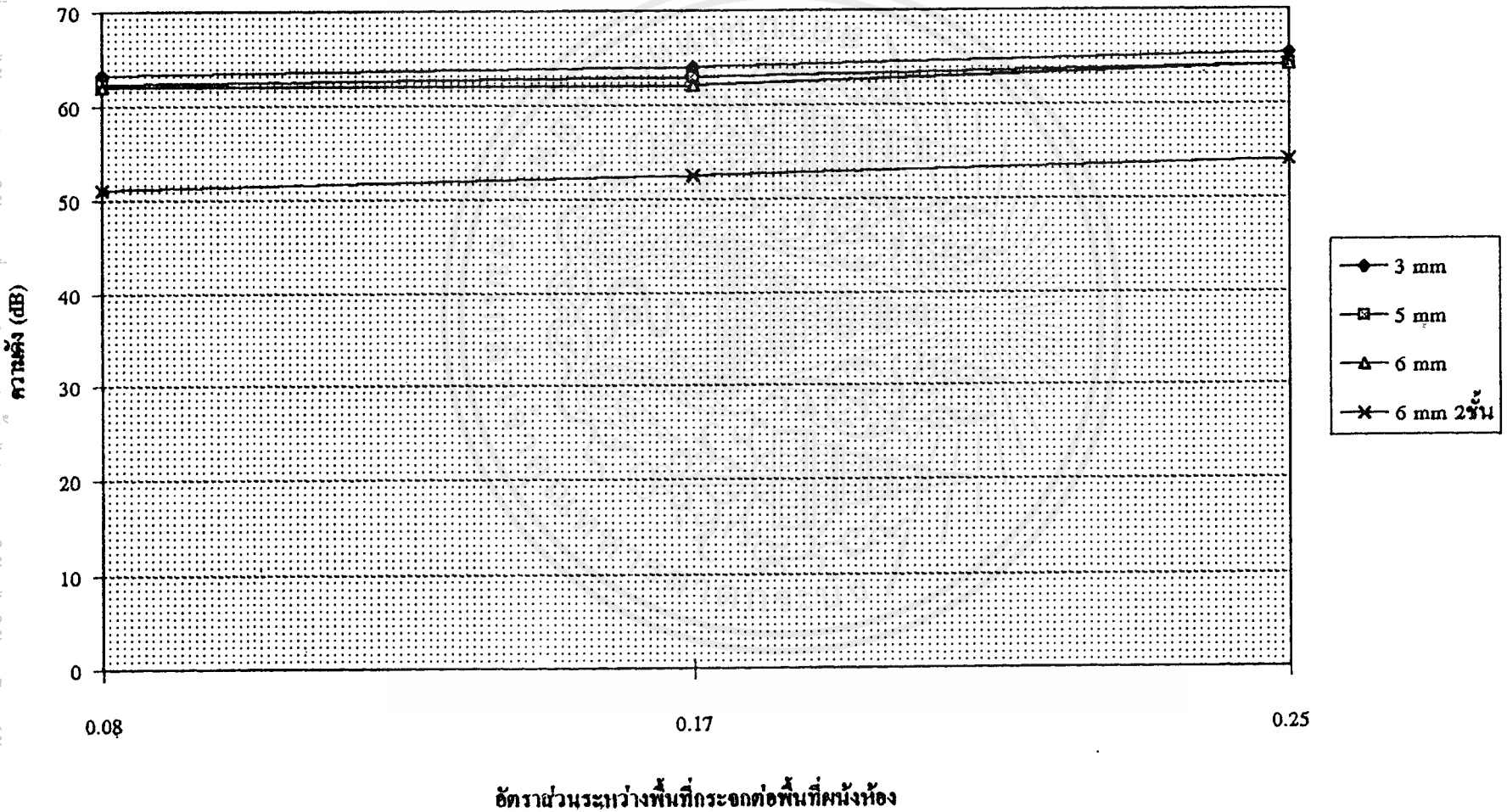

70
60
50
40
30
20
10
0
ความดัง (dB)
0.08
0.17
0.25
อัตราส่วนระหว่างพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังห้อง
3 mm
5 mm
6 mm
6 mm 2ชั้น

**Table C.**

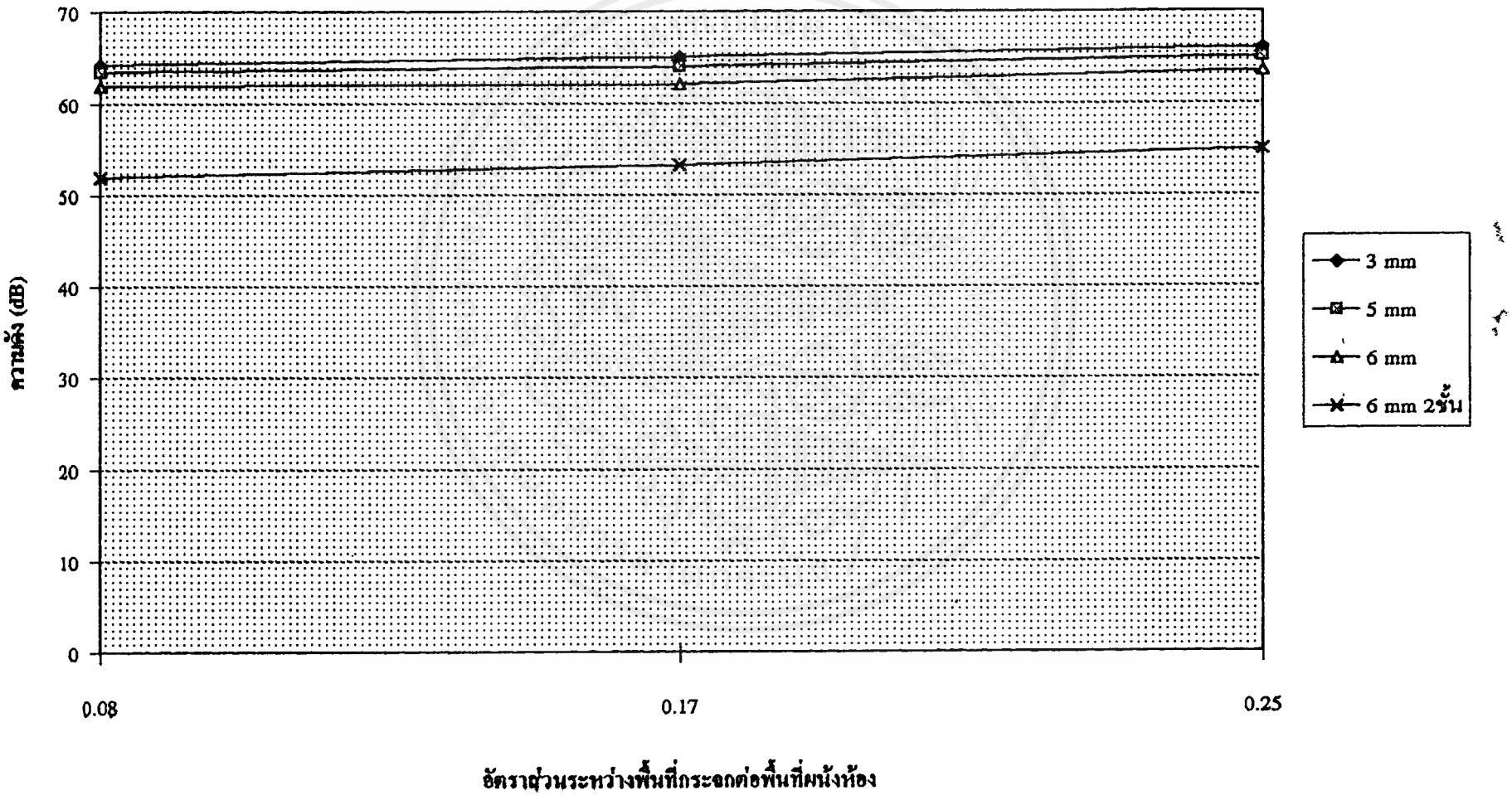

70
60
50
40
30
20
10
0
ความดัง (dB)
0.08
0.17
0.25
อัตราส่วนระหว่างพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังห้อง
3 mm
5 mm
6 mm
6 mm 2ชั้น

**Table D.**

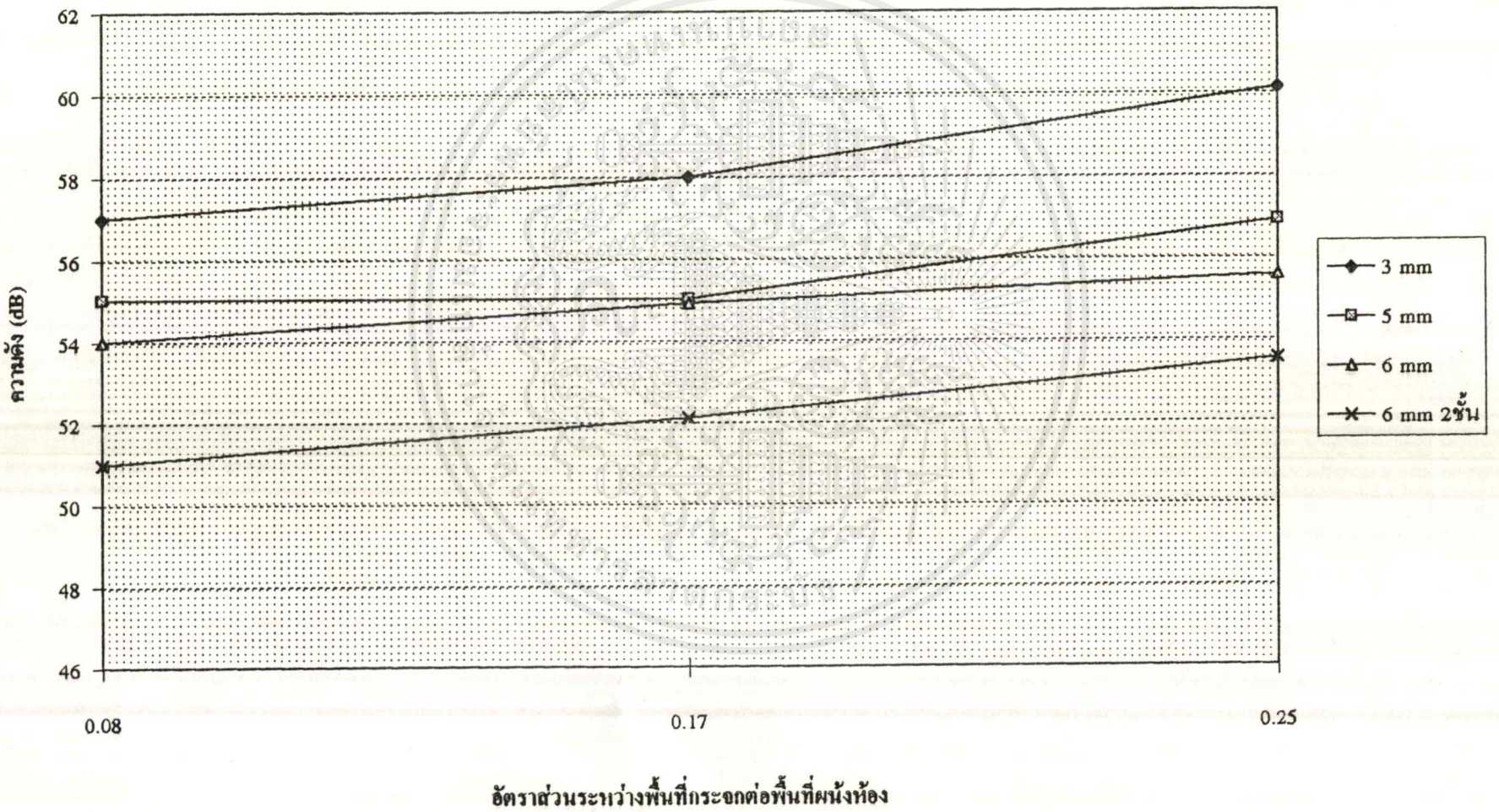

62
60
58
56
54
52
50
48
46
ความดัง (dB)
0.08
0.17
0.25
อัตราส่วนระหว่างพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังห้อง
3 mm
5 mm
6 mm
6 mm 2ชั้น

**Table E.**

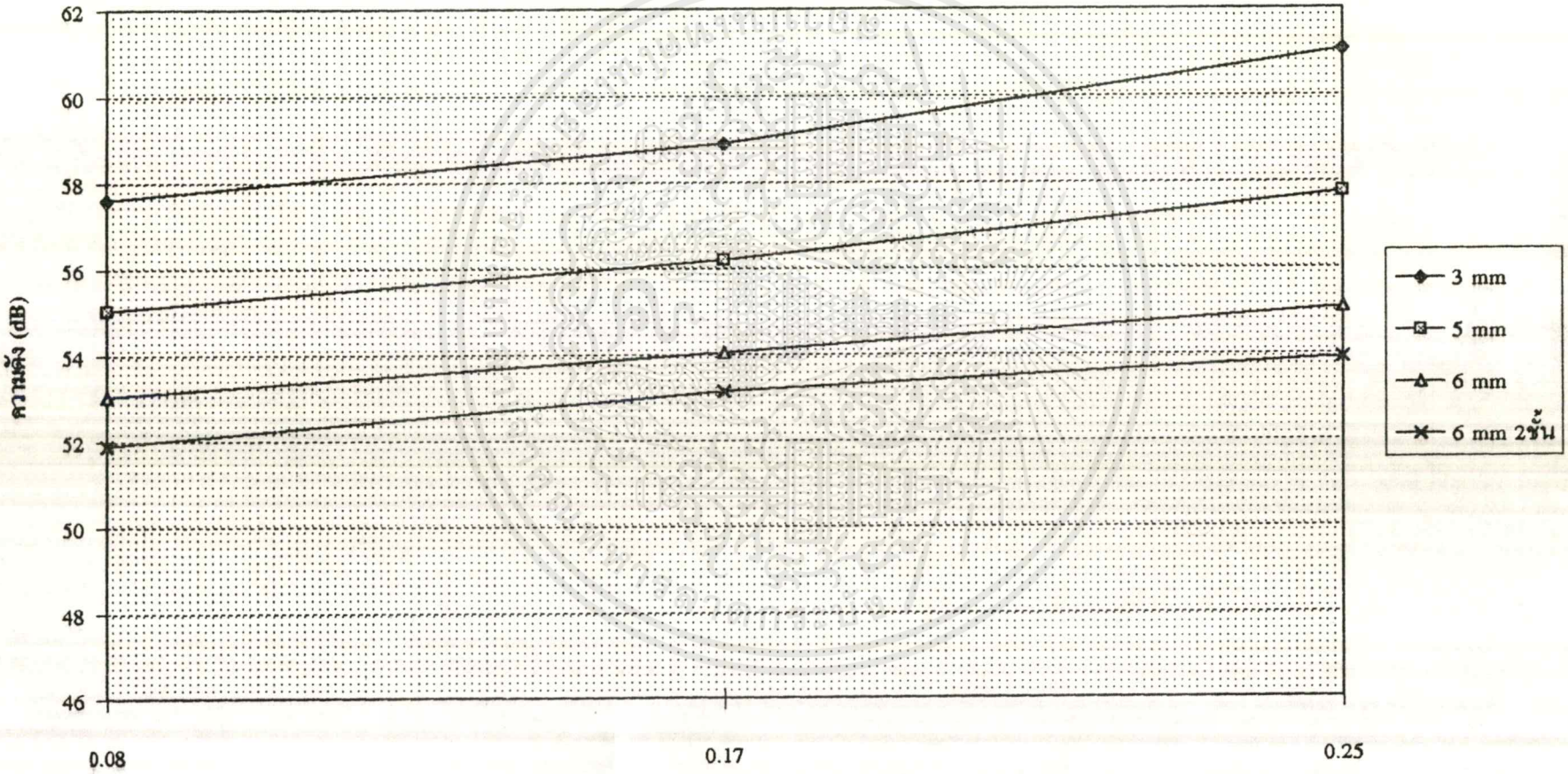
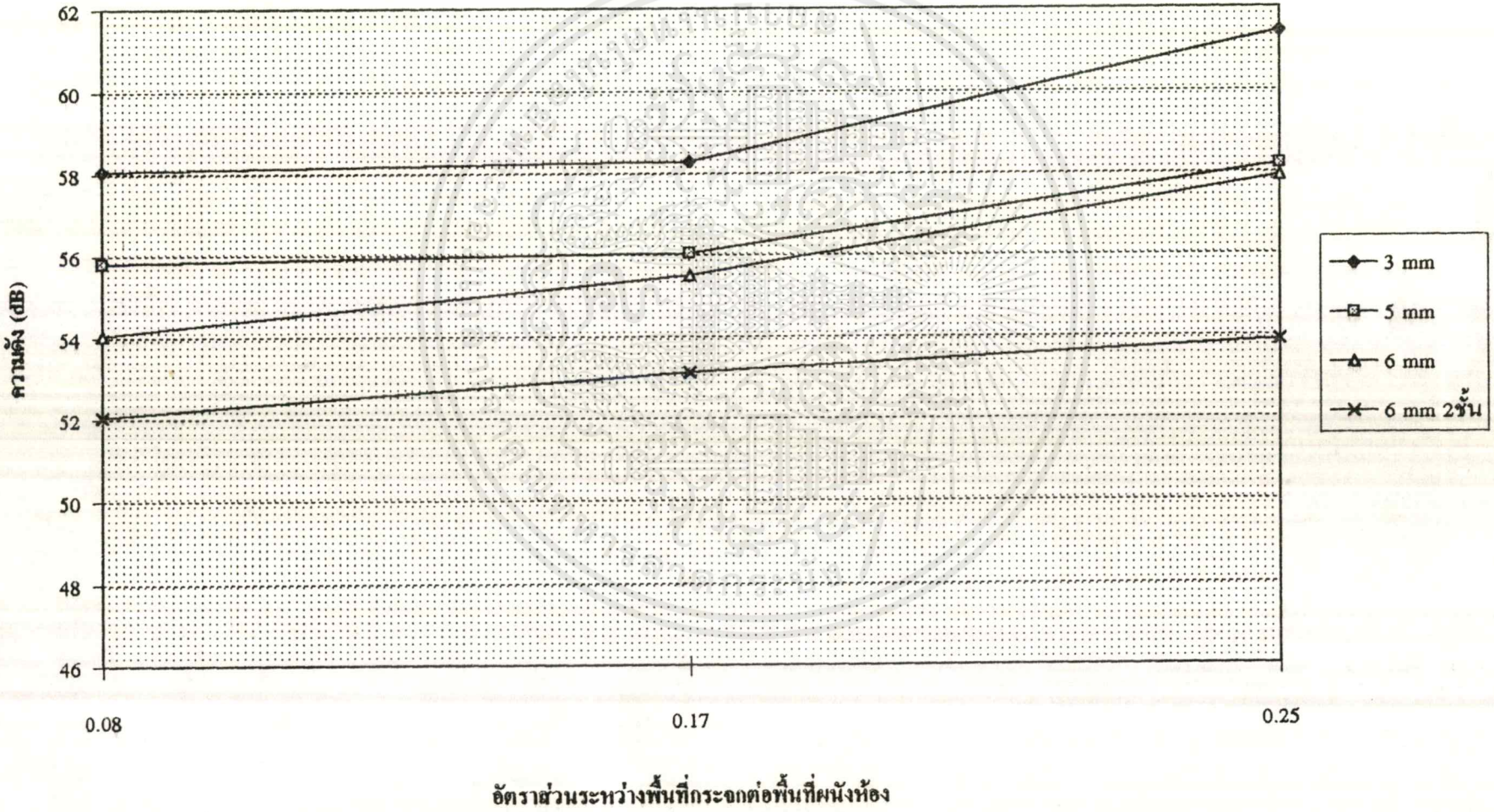
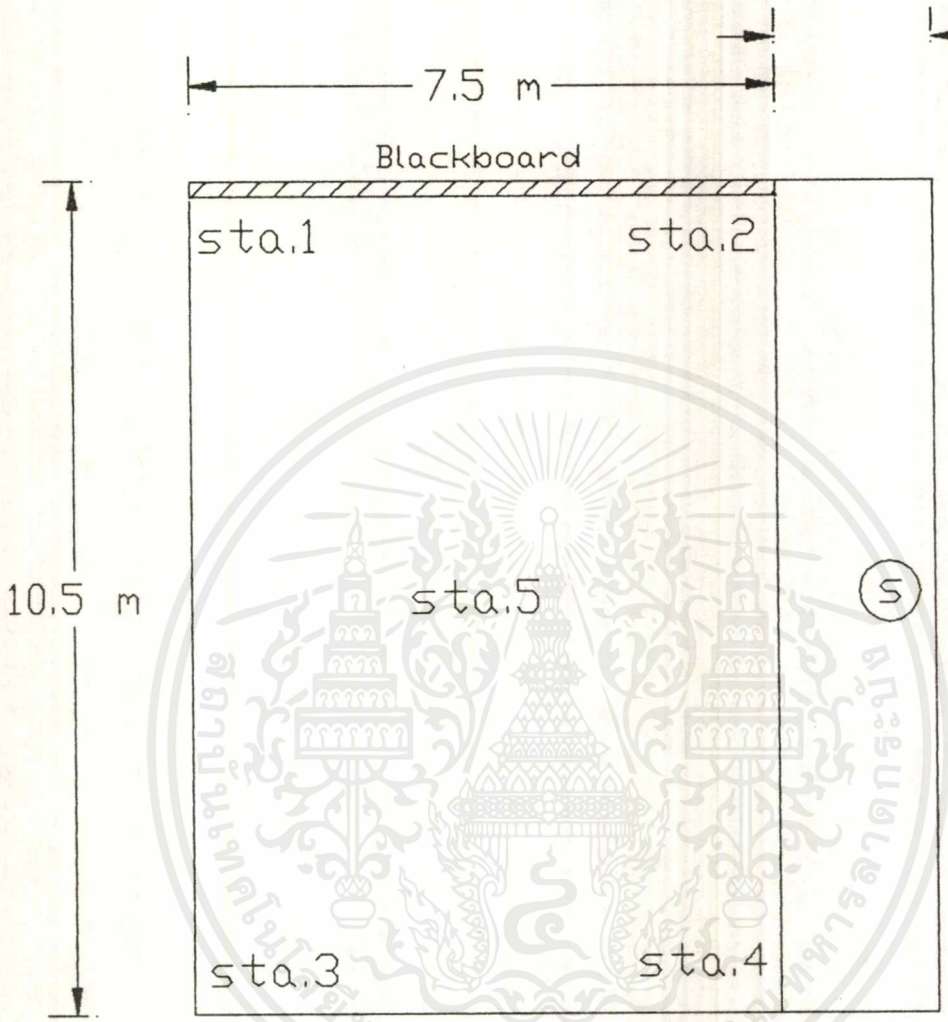

62
60
58
56
54
52
50
48
46
ความดัง (dB)
0.08
0.17
0.25
อัตราส่วนระหว่างพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังห้อง
3 mm
5 mm
6 mm
6 mm 2ชั้น

**Table F.**


62
60
58
56
54
52
50
48
46
ความดัง (dB)
0.08
0.17
0.25
อัตราส่วนระหว่างพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังห้อง
3 mm
5 mm
6 mm
6 mm 2ชั้น




รูปที่ 3.27 แสดงตำแหน่งที่วัดเสียงในห้องเรียนจริง

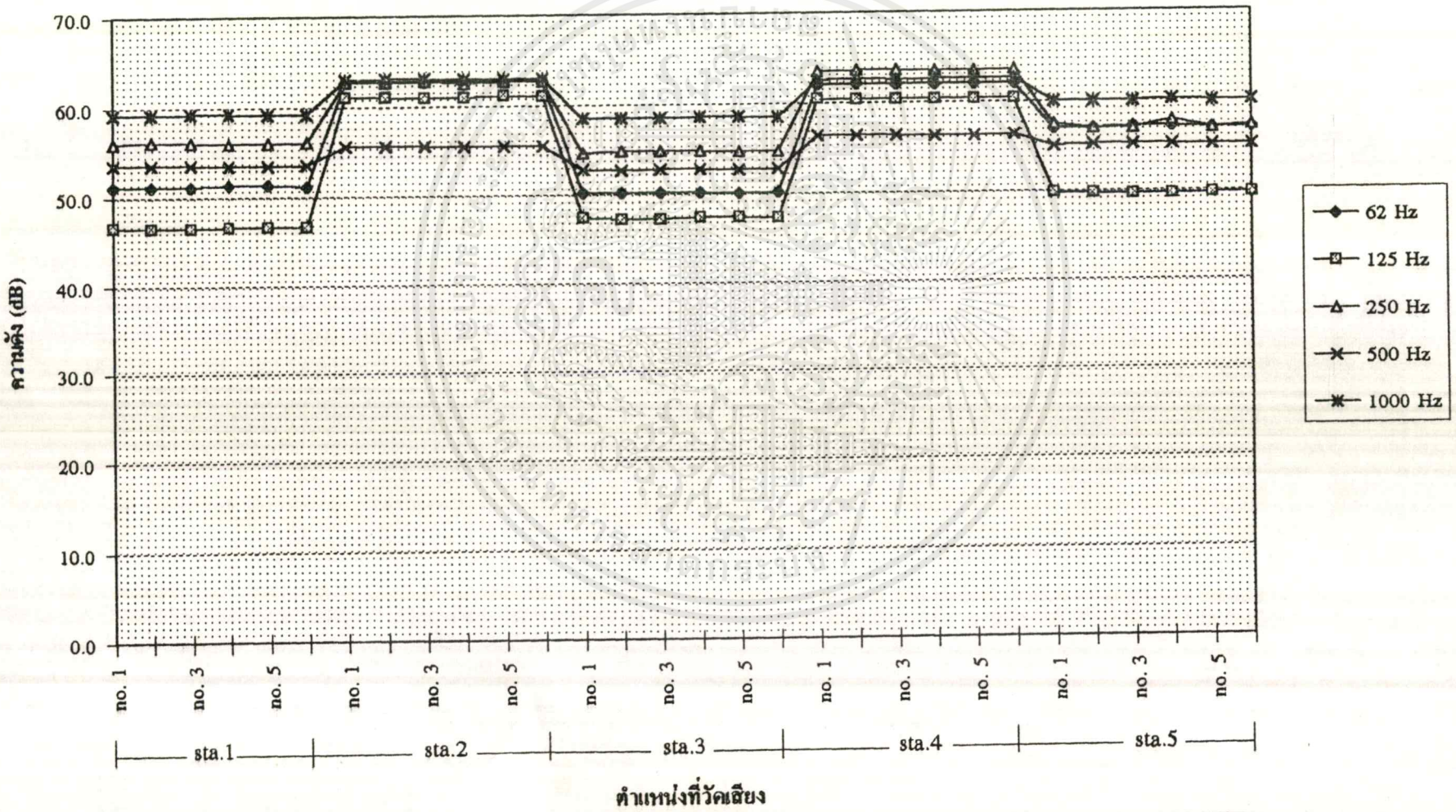
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

***ผลการทดสอบ***

* จากการให้ความดัง 80 dB ให้กับห้องเรียนที่มีขนาด กว้าง = 7.5 m, ยาว = 10.5 m, สูง = 3.5 m และกระจกที่ติดอยู่มีขนาด 3 mm

| | ตำแหน่งที่จุด 1 | | | | | | ตำแหน่งที่จุด 2 | | | | | | ตำแหน่งที่จุด 3 | | | | | | ตำแหน่งที่จุด 4 | | | | | | ตำแหน่งที่จุด 5 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ความถี่ | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average |
| 62 Hz | 51.1 | 51.1 | 51.1 | 51.3 | 51.3 | 51.1811 | 62.7 | 62.7 | 62.7 | 62.7 | 62.8 | 62.7202 | 50.2 | 50.2 | 50.2 | 50.2 | 50.1 | 50.1802 | 62.0 | 62.1 | 62.0 | 62.0 | 62.0 | 62.0202 | 57.0 | 57.0 | 57.2 | 57.2 | 57.0 | 57.0811 |
| 125 Hz | 46.6 | 46.5 | 46.5 | 46.6 | 46.6 | 46.5603 | 61.1 | 61.1 | 61.0 | 61.0 | 61.2 | 61.0806 | 47.3 | 47.2 | 47.2 | 47.3 | 47.3 | 47.2603 | 60.5 | 60.4 | 60.4 | 60.4 | 60.4 | 60.4202 | 49.8 | 49.7 | 49.6 | 49.6 | 49.7 | 49.6806 |
| 250 Hz | 56.0 | 56.2 | 56.1 | 56.0 | 56.0 | 56.0607 | 62.7 | 62.7 | 62.8 | 62.5 | 62.7 | 62.6811 | 54.6 | 54.8 | 54.8 | 54.8 | 54.7 | 54.7407 | 63.5 | 63.6 | 63.6 | 63.5 | 63.5 | 63.5403 | 57.5 | 57.0 | 57.0 | 57.8 | 57.0 | 57.2729 |
| 500 Hz | 53.6 | 53.6 | 53.6 | 53.5 | 53.5 | 53.5603 | 55.6 | 55.6 | 55.6 | 55.5 | 55.5 | 55.5603 | 52.8 | 52.7 | 52.8 | 52.8 | 52.7 | 52.7603 | 56.4 | 56.4 | 56.4 | 56.3 | 56.3 | 56.3603 | 55.0 | 55.2 | 55.2 | 55.2 | 55.1 | 55.1407 |
| 1000 Hz | 59.2 | 59.2 | 59.3 | 59.3 | 59.2 | 59.2403 | 63.0 | 63.1 | 63.1 | 63.0 | 63.0 | 63.0403 | 58.5 | 58.5 | 58.5 | 58.6 | 58.6 | 58.5403 | 62.5 | 62.7 | 62.5 | 62.6 | 62.7 | 62.6009 | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 60.2 | 60.0 | 60.0407 |

# กราฟแสดงผลการทดลองวัดเสียงในห้องจริง



**การคำนวนหาความหนาของกระจกหรือประเภทของกระจกโดยใช้กราฟที่ได้จากการทดลอง**

- เลือกห้องเรียน ชั้นที่ 2 ห้องแรก ของภาควิชาวิศวกรรมโยธา

ลักษณะห้องเรียน : กว้าง = 7.5 m, ยาว = 10.5 m, สูง = 3.5 m

หรือ กว้าง = 25 ft, ยาว = 35 ft, สูง = 11.67 ft

พื้นที่ห้องเรียน : กว้าง*ยาว = 7.5*10.5 = 78.75 $m^2$

พื้นที่ส่วนที่เป็นกระจก : (1*3.5)*3+(0.5*3.5)*3+(0.36*1)*3 = 16.83 $m^2$

พื้นที่ผนังห้องทั้งหมด : (2*3.5*7.5)+(2*3.5*10.5) = 126 $m^2$

ดังนั้น : พื้นที่กระจก/พื้นที่ผนังห้อง = 16.83/126 = 0.1336

: ความสูงของห้อง/พื้นที่ห้อง= 11.67/(25*35) = 0.0133 $ft/ft^2$

- จากการเปรียบเทียบค่าความสูงของห้อง/พื้นที่ห้อง ที่คำนวนได้กับค่าใน Table ที่ความถี่มาตราฐาน 1000 Hz พบว่าค่า 0.0133 $ft/ft^2$ มีค่าน้อยกว่า 0.4175 $ft/ft^2$

ดังนั้น : จึงเลือกค่าใน Table C. หรือ Table F. ซึ่งขึ้นกับลักษณะภายในห้องเรียนว่ามีลักษณะแบบใด และสมมติ เลือก Table C. เพื่อให้เหมือนกับห้องเรียนจริงและใช้เปรียบเทียบทดสอบกับค่าที่วัดจริงในห้องเรียน โดยจากค่าการวัดจริงในห้องเรียน และให้เสียงดังประมาณ 80 dB ที่ความถี่ 1000 Hz ค่ามากสุดได้ประมาณ 63.1 dB โดยกระจกมีความหนา 3 mm

: จากการคำนวนโดยใช้ Table C.ที่ความหนาของกระจก 3 mm พทกระจก/พทผนังห้อง = 0.1336 ได้ค่าความดังที่ได้จากกราฟประมาณ = 64.6 dB ซึ่งค่าที่ได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัดจริง = 63.1 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่4

# สรุปผลการทดลอง

**สรุปผลการทดลอง**

จากผลการทดลอง มีการเปลี่ยนวัสดุต่างๆ เพื่อจะทดลองหาค่าของระดับเสียงที่วัสดุเหล่านั้นจะช่วยให้ห้องทดสอบมีค่าระดับเสียงลดลง โดยวัสดุต่างๆ เช่น กระจก ซึ่งมีสมมติฐานว่าเสียงจะเข้ามาทางกระจกมากกว่าเข้ามาทางคอนกรีต จะเห็นได้ว่าเมื่อเปลี่ยนขนาดและความหนาของกระจก ค่าของเสียงในห้องทดลองจะเปลี่ยนแปลงตาม พรมและม่านเป็นวัสดุซับเสียงภายในห้องทดลอง เมื่อมีพรมและผ้าม่านจะช่วยลดระดับเสียงในห้องทดสอบได้ ระดับผ้าที่นำมาทดสอบนั้น ทำการทดลองเพื่อหาค่าว่าถ้าระดับเพดานต่ำลง จะมีผลต่อระดับเสียงในห้องทดลองหรือไม่ ดังจะแยกสรุปเป็นวัสดุต่างๆ ดังนี้

**กระจก**

จากผลการทดลอง เห็นได้ว่า

- เมื่อขนาดพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ห้องมีมากกว่า เสียงจะผ่านเข้ามาได้มากกว่า ค่าระดับเสียงในห้องทดลองมีค่ามาก โดยดูได้จากผลการทดลอง
- เมื่อขนาดพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ห้องมีน้อยกว่า เสียงจะผ่านเข้ามาได้น้อยกว่า ค่าระดับเสียงในห้องทดลองมีค่าน้อย โดยดูได้จากผลการทดลอง
- เมื่อความหนาของกระจกมากกว่า เสียงจะผ่านเข้ามาได้น้อยกว่า ค่าระดับเสียงในห้องทดลองมีค่าน้อย โดยดูได้จากผลการทดลอง
- เมื่อความหนาของกระจกน้อยกว่า เสียงจะผ่านเข้ามาได้มากกว่า ค่าระดับเสียงในห้องทดลองมีค่ามาก โดยดูได้จากผลการทดลอง
- กระจก สองชั้น ช่วยป้องกันเสียงเข้ามาในห้องทดสอบได้มากกว่ากระจกชั้นเดียว

**พรมและผ้าม่าน**

- เมื่อใส่พรมและผ้าม่านในห้องทดลอง ช่วยให้เสียงในห้องทดลองลดลงค่อนข้างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ระดับฝ้าเพดานห้อง**

- เมื่อลดระดับฝ้าเพดานลงมา ค่าระดับเสียงในห้องมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยเพิ่มขึ้นประมาณ 1-2 dB

**ความถี่**

-ที่ความถี่ต่างๆวัสดุต่างๆจะตอบสนองความถี่ไม่เท่ากันดูได้จากผลการทดลองที่ความถี่ต่างๆ โดยบางความถี่กระจกขนาดต่างๆจะลดความดังได้ไม่เท่ากัน และที่ใช้ความถี่ 1000 Hz เพราะว่าเป็นความถี่กลางที่ใช้วัดค่าทั่วไป

**การทดสอบที่ห้องเรียนจริง**

-เมื่อมีการทดสอบที่ห้องเรียนจริง ผลที่ได้จากการทดลองจะเห็นได้ว่ามีค่าน้อยกว่าค่าที่คำนวนได้จากตารางและกราฟที่ได้จากการทดสอบแบบจำลองเล็กน้อย เนื่องจากแบบจำลองนั้นมีขนาดเล็กกว่าห้องเรียนจริง ดังนั้นผลที่ได้จากแบบจำลองจะมีค่ามากกว่าปกติเนื่องจากมีเสียงสะท้อนในตัวห้องแบบจำลองมากกว่า

**วิเคราะห์ผลการทดลอง**

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ค่าที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากห้องเรียนจริง มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นตาราง(Table) และกราฟที่ได้จากการทดลองและการคำนวนจากแบบจำลอง สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงห้องเรียนหรืออาคารต่างๆได้

**ข้อเสนอแนะ**

1.เสียงที่เกิดจากสนามบินหนองงูเห่าจะมีผลกระทบต่อการเรียนการสอนจึงต้องมีการปรับปรุงอาคารเรียนโดยอาจติดกระจกหนาหรือภายในห้องอาจมีการติดผ้าม่านเป็นต้น

2.จากกราฟที่ได้จากผลการทดลองทำให้เลือกค่าที่ความหนาของกระจกที่เหมาะสมตามความต้องการ

3.กราฟที่ใช้ในการทดลองเหมาะสำหรับความดังเข้ามา 80 dB

4.การทดลองอาจมีข้อผิดพลาดได้จากการวัด เช่น การยารอยต่ออาจไม่แน่นพอ หรือมีเสียงรบกวนขณะทำการวัด จึงควรวัดในห้องที่เงียบ และห้องที่ทดสอบต่างจากห้องจริง เพราะว่าห้องจริงจะมีรอยต่อต่างๆตามประตู หน้าต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

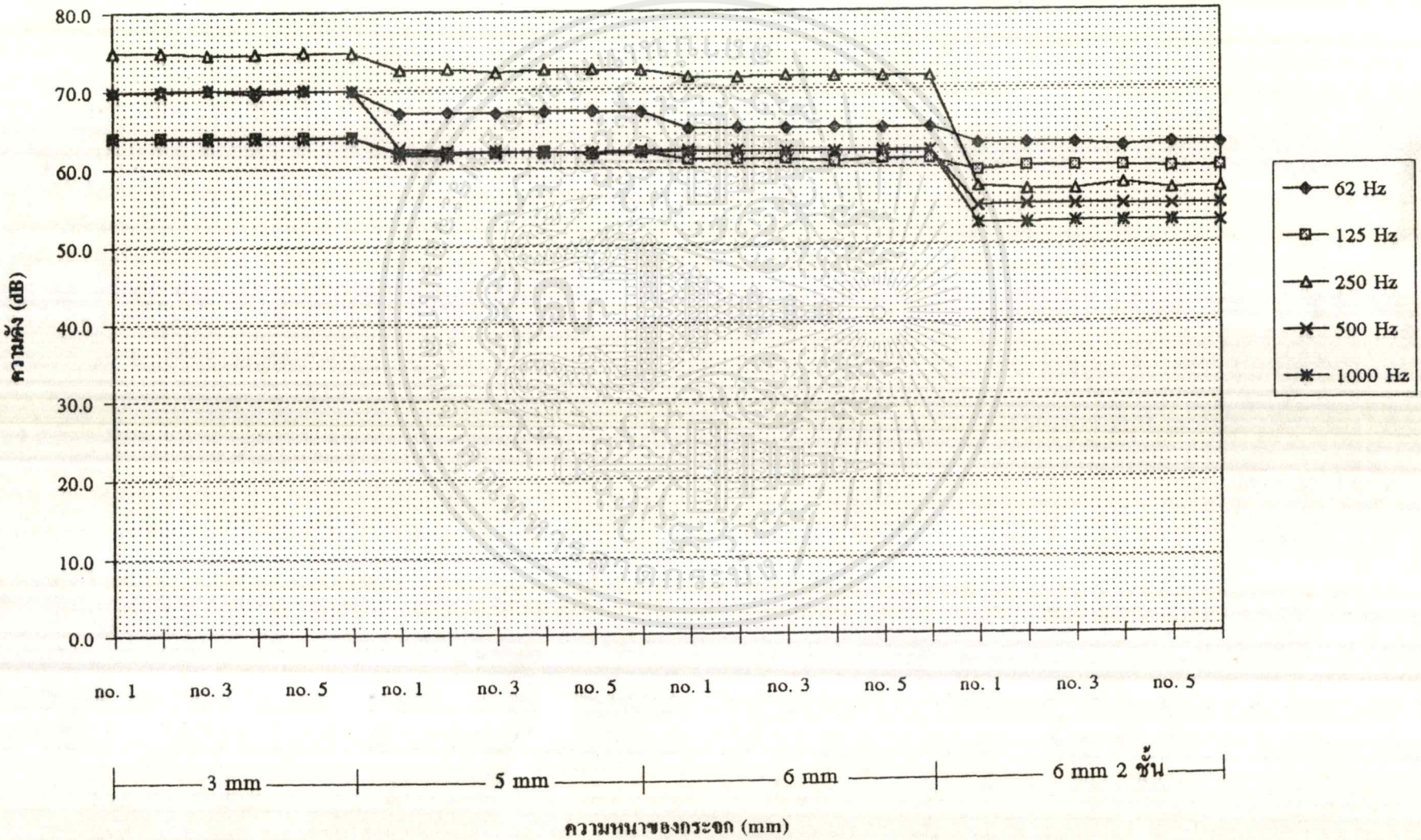
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## *แผ่นใหญ่ ขนาดกระจก 2' x 2'*

แบบที่ 1 ห้องเปล่าทาสี และความสูงของฝ้า 2 ฟุต

| | 3 mm | | | | | | 5 mm | | | | | | 6 mm | | | | | | 6 mm 2ชั้น | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ความถี่ | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average |
| 62 Hz | 69.8 | 70.0 | 70.1 | 69.5 | 70.0 | 69.8852 | 67.0 | 67.1 | 67.0 | 67.2 | 67.2 | 67.1009 | 65.0 | 65.1 | 65.0 | 65.1 | 65.0 | 65.0403 | 63.0 | 63.0 | 63.0 | 62.5 | 63.0 | 62.9045 |
| 125 Hz | 64.0 | 64.0 | 64.0 | 64.0 | 64.0 | 64.0000 | 62.0 | 62.0 | 62.0 | 62.1 | 61.8 | 61.9811 | 61.0 | 61.0 | 61.0 | 60.7 | 61.0 | 60.9416 | 59.5 | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 59.8 | 59.8644 |
| 250 Hz | 74.8 | 74.8 | 74.5 | 74.6 | 74.8 | 74.7018 | 72.5 | 72.6 | 72.2 | 72.5 | 72.5 | 72.4621 | 71.5 | 71.4 | 71.6 | 71.5 | 71.5 | 71.5005 | 57.5 | 57.0 | 57.0 | 57.8 | 57.0 | 57.2729 |
| 500 Hz | 69.8 | 69.8 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 69.9211 | 62.5 | 62.2 | 62.0 | 62.1 | 62.0 | 62.1640 | 62.2 | 62.1 | 62.0 | 62.0 | 62.0 | 62.0607 | 55.0 | 55.2 | 55.2 | 55.2 | 55.1 | 55.1407 |
| 1000 Hz | 64.0 | 64.0 | 63.9 | 63.8 | 63.9 | 63.9206 | 61.8 | 61.7 | 62.2 | 62.0 | 62.0 | 61.9435 | 62.0 | 62.1 | 62.0 | 62.0 | 62.1 | 62.0403 | 52.7 | 52.7 | 53.0 | 53.0 | 53.0 | 52.8825 |

## กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของกระจกกับความดังที่ความถี่ต่างๆ (แบบที่ 1)




ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

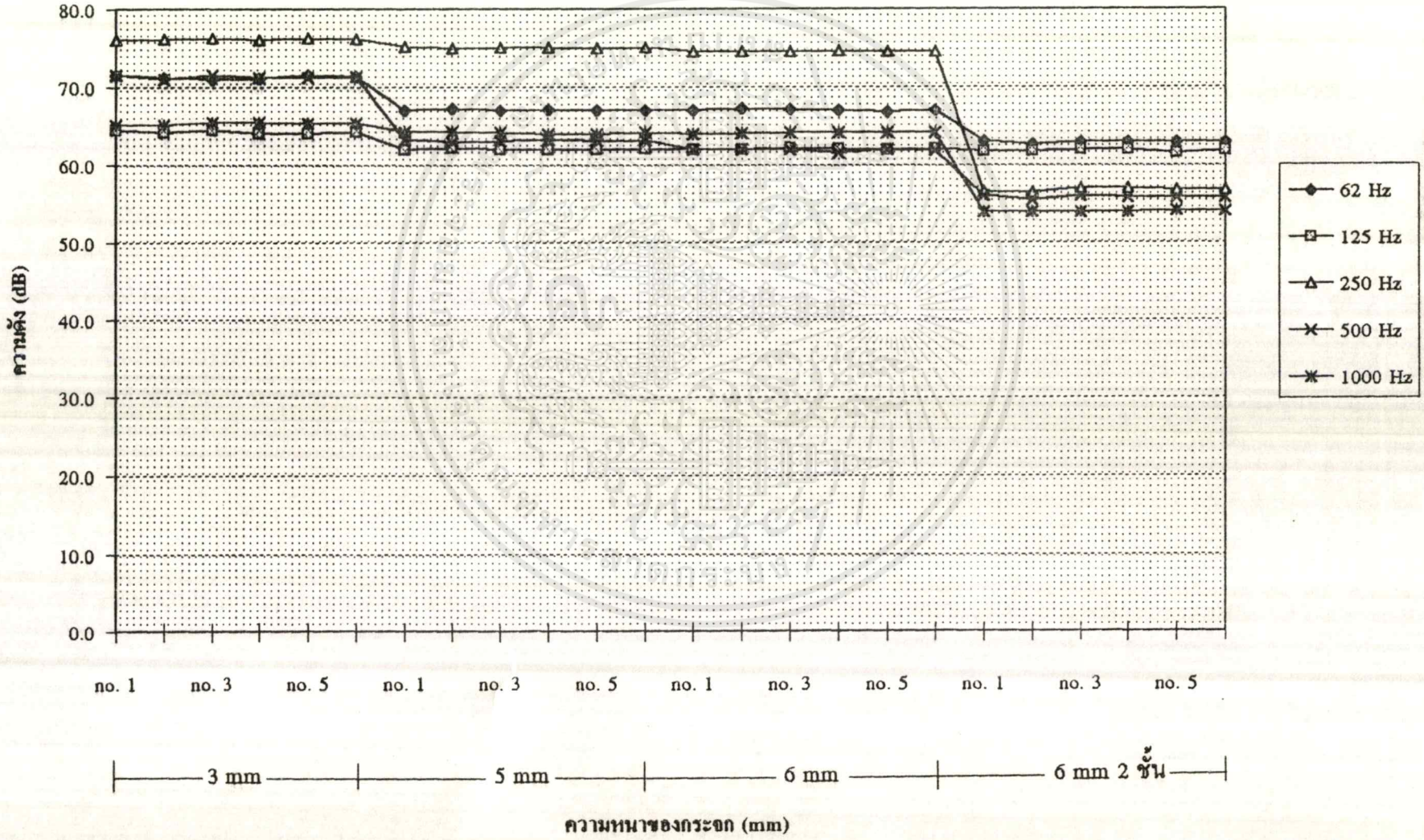
***แผ่นใหญ่ ขนาดกระจก 2' x 2'***

แบบที่ 2 ห้องเปล่าทาสี และความสูงของฝ้า 1.83 ฟุต

| | 3 mm | | | | | | 5 mm | | | | | | 6 mm | | | | | | 6 mm 2ชั้น | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ความถี่ | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average |
| 62 Hz | 71.5 | 71.2 | 71.0 | 71.1 | 71.5 | 71.2649 | 67.0 | 67.3 | 67.0 | 67.1 | 67.0 | 67.0816 | 67.0 | 67.2 | 67.1 | 67.0 | 66.8 | 67.0220 | 63.1 | 62.6 | 63.0 | 63.0 | 63.0 | 62.9434 |
| 125 Hz | 64.5 | 64.2 | 64.5 | 64.1 | 64.1 | 64.2839 | 62.0 | 62.2 | 62.0 | 62.0 | 62.0 | 62.0407 | 62.0 | 62.0 | 62.2 | 62.1 | 62.0 | 62.0607 | 61.8 | 61.8 | 62.0 | 62.0 | 61.5 | 61.8238 |
| 250 Hz | 76.0 | 76.1 | 76.3 | 76.0 | 76.3 | 76.1421 | 75.2 | 75.0 | 75.1 | 75.1 | 75.0 | 75.0806 | 74.5 | 74.5 | 74.5 | 74.6 | 74.5 | 74.5202 | 56.6 | 56.5 | 57.0 | 57.0 | 56.8 | 56.7848 |
| 500 Hz | 71.5 | 71.0 | 71.5 | 71.2 | 71.2 | 71.2843 | 63.3 | 63.0 | 63.1 | 63.3 | 63.1 | 63.1617 | 62.0 | 62.0 | 62.0 | 61.5 | 62.0 | 61.9045 | 56.0 | 55.5 | 56.0 | 55.8 | 55.8 | 55.8238 |
| 1000 Hz | 65.2 | 65.2 | 65.5 | 65.5 | 65.4 | 65.3621 | 64.3 | 64.3 | 64.2 | 64.0 | 64.0 | 64.1621 | 64.0 | 64.1 | 64.2 | 64.2 | 64.2 | 64.1407 | 54.0 | 54.0 | 54.0 | 54.0 | 54.2 | 54.0407 |

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ห้ามนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ห้ามดัดแปลงเนื้อหา ห้ามนำไปเผยแพร่ต่อ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น
ที่มา: ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของกระจกกับความดังที่ความถี่ต่างๆ (แบบที่ 2)



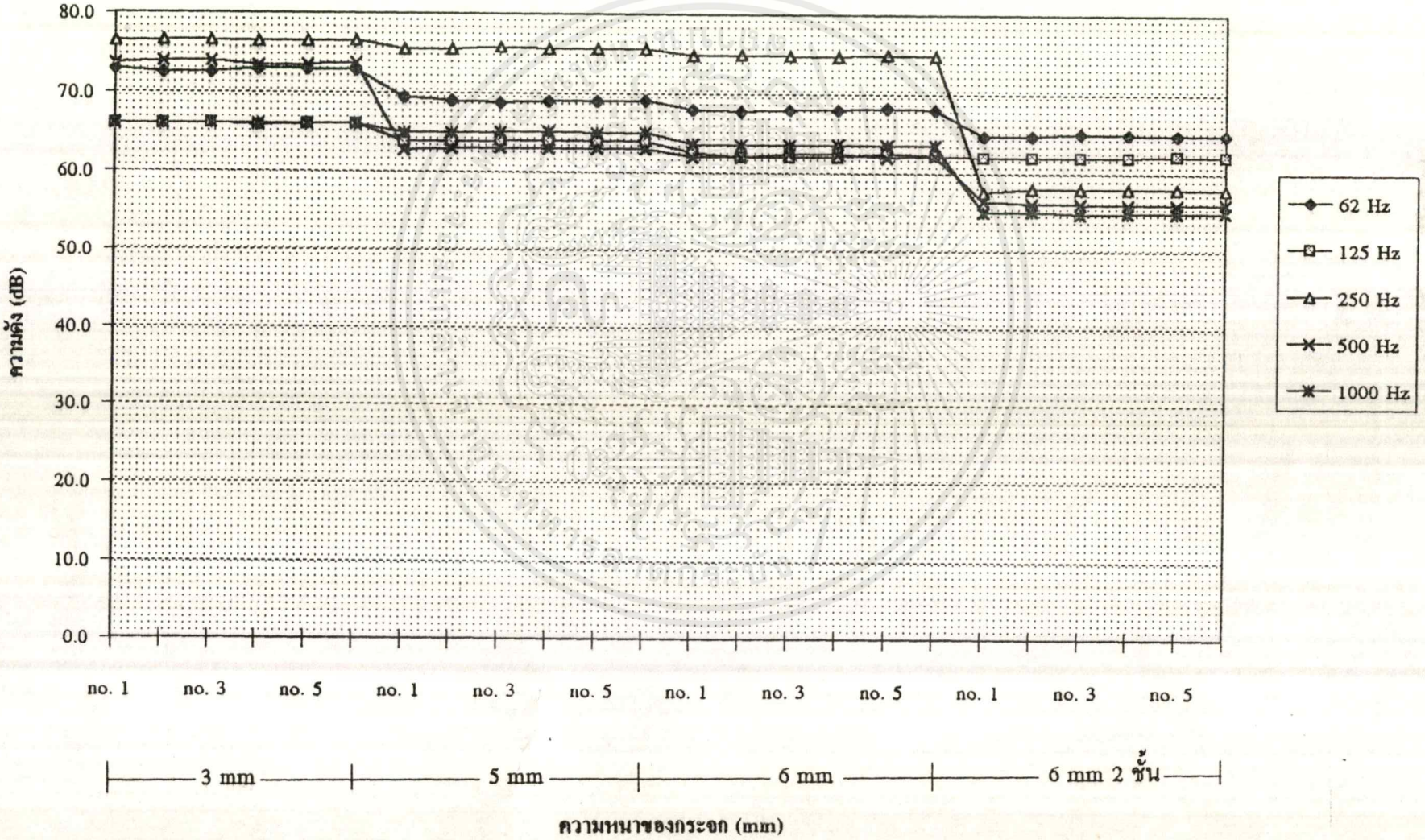
***แผ่นใหญ่ ขนาดกระจก 2' x 2'***

แบบที่ 3 ห้องเปล่าทาสี และความสูงของฝ้า 1.67 ฟุต

| | 3 mm | | | | | | 5 mm | | | | | | 6 mm | | | | | | 6 mm 2ชั้น | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ความถี่ | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average |
| 62 Hz | 73.0 | 72.5 | 72.5 | 73.0 | 73.0 | 72.8069 | 69.5 | 69.0 | 68.8 | 69.0 | 69.0 | 69.0664 | 68.0 | 67.8 | 68.0 | 68.0 | 68.2 | 68.0018 | 64.7 | 64.7 | 65.1 | 65.0 | 64.8 | 64.8631 |
| 125 Hz | 66.0 | 66.0 | 66.2 | 65.8 | 66.0 | 66.0018 | 63.8 | 63.8 | 64.0 | 64.0 | 64.0 | 63.9211 | 62.5 | 62.0 | 62.0 | 62.0 | 62.5 | 62.2070 | 62.0 | 62.0 | 62.0 | 62.0 | 62.2 | 62.0407 |
| 250 Hz | 76.5 | 76.6 | 76.6 | 76.5 | 76.5 | 76.5403 | 75.5 | 75.5 | 75.8 | 75.6 | 75.6 | 75.6014 | 74.8 | 75.0 | 74.8 | 74.7 | 75.0 | 74.8617 | 57.6 | 58.0 | 58.0 | 58.0 | 58.0 | 57.9229 |
| 500 Hz | 73.6 | 74.0 | 74.0 | 73.4 | 73.5 | 73.7074 | 62.8 | 63.0 | 63.1 | 63.0 | 63.0 | 62.9811 | 62.0 | 62.0 | 62.4 | 62.4 | 62.0 | 62.1644 | 56.5 | 56.2 | 56.2 | 56.0 | 56.0 | 56.1839 |
| 1000 Hz | 66.0 | 66.0 | 66.1 | 66.0 | 66.0 | 66.0202 | 65.0 | 65.0 | 65.1 | 65.2 | 65.0 | 65.0607 | 63.6 | 63.5 | 63.5 | 63.6 | 63.5 | 63.5403 | 55.1 | 55.2 | 54.8 | 55.0 | 55.0 | 55.0220 |

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ห้ามนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ยกเว้นได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ห้ามนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ยกเว้นได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

## กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของกระจกกับความดังที่ความถี่ต่างๆ (แบบที่ 3)



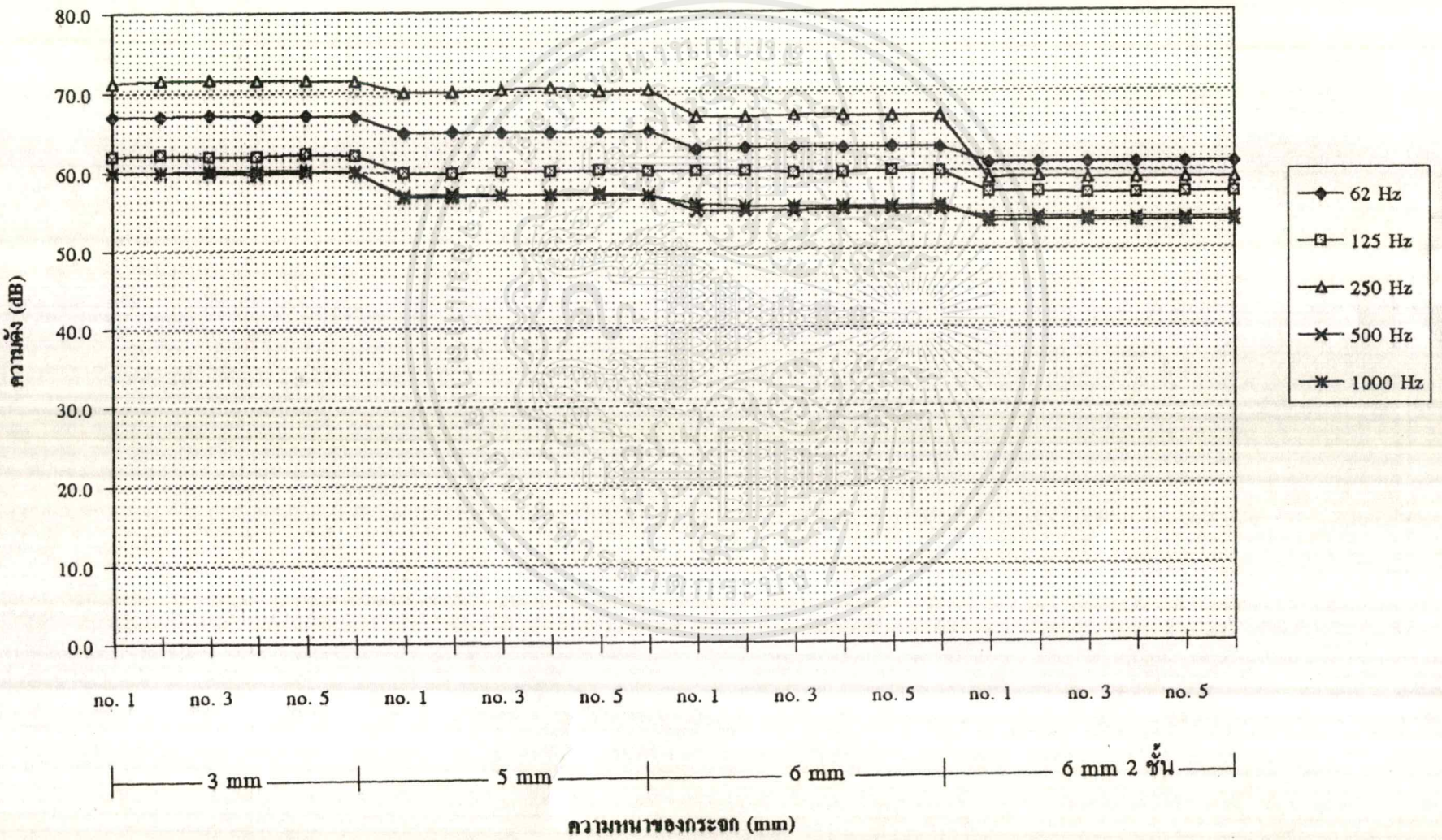
## *แผ่นใหญ่ ขนาดกระจก 2' x 2'*

แบบที่ 4 ห้องเปล่าทาสี+ม่าน+พรม และความสูงของฝ้า 2 ฟุต

| | 3 mm | | | | | | 5 mm | | | | | | 6 mm | | | | | | 6 mm 2ชั้น | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ความถี่ | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average |
| 62 Hz | 67.0 | 67.0 | 67.2 | 67.0 | 67.1 | 67.0607 | 65.0 | 65.1 | 65.0 | 65.0 | 65.0 | 65.0202 | 62.8 | 63.0 | 63.0 | 63.0 | 63.1 | 62.9811 | 61.0 | 61.0 | 61.0 | 61.0 | 61.0 | 61.0000 |
| 125 Hz | 62.0 | 62.2 | 62.0 | 62.0 | 62.3 | 62.1019 | 59.9 | 59.8 | 60.0 | 60.0 | 60.1 | 59.9612 | 60.0 | 60.0 | 59.8 | 59.8 | 60.0 | 59.9211 | 57.3 | 57.3 | 57.0 | 57.0 | 57.1 | 57.1421 |
| 250 Hz | 71.2 | 71.5 | 71.6 | 71.5 | 71.5 | 71.4621 | 70.0 | 70.0 | 70.3 | 70.5 | 70.0 | 70.1649 | 66.8 | 66.8 | 67.0 | 67.0 | 66.9 | 66.9009 | 59.0 | 59.2 | 59.0 | 59.0 | 59.0 | 59.0407 |
| 500 Hz | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 59.8 | 60.0 | 59.9607 | 57.0 | 57.2 | 57.0 | 57.0 | 57.2 | 57.0811 | 55.0 | 55.0 | 55.0 | 55.2 | 55.2 | 55.0811 | 54.1 | 54.2 | 54.0 | 54.0 | 54.0 | 54.0607 |
| 1000 Hz | 60.0 | 60.0 | 60.2 | 60.2 | 60.2 | 60.1211 | 56.8 | 56.8 | 57.0 | 57.0 | 57.0 | 56.9211 | 55.8 | 55.5 | 55.5 | 55.6 | 55.5 | 55.5816 | 53.5 | 53.6 | 53.6 | 53.5 | 53.5 | 53.5403 |

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ห้ามนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ห้ามดัดแปลงเนื้อหา ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปเผยแพร่ต่อ

## กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของกระจกกับความดังที่ความถี่ต่างๆ (แบบที่ 4)

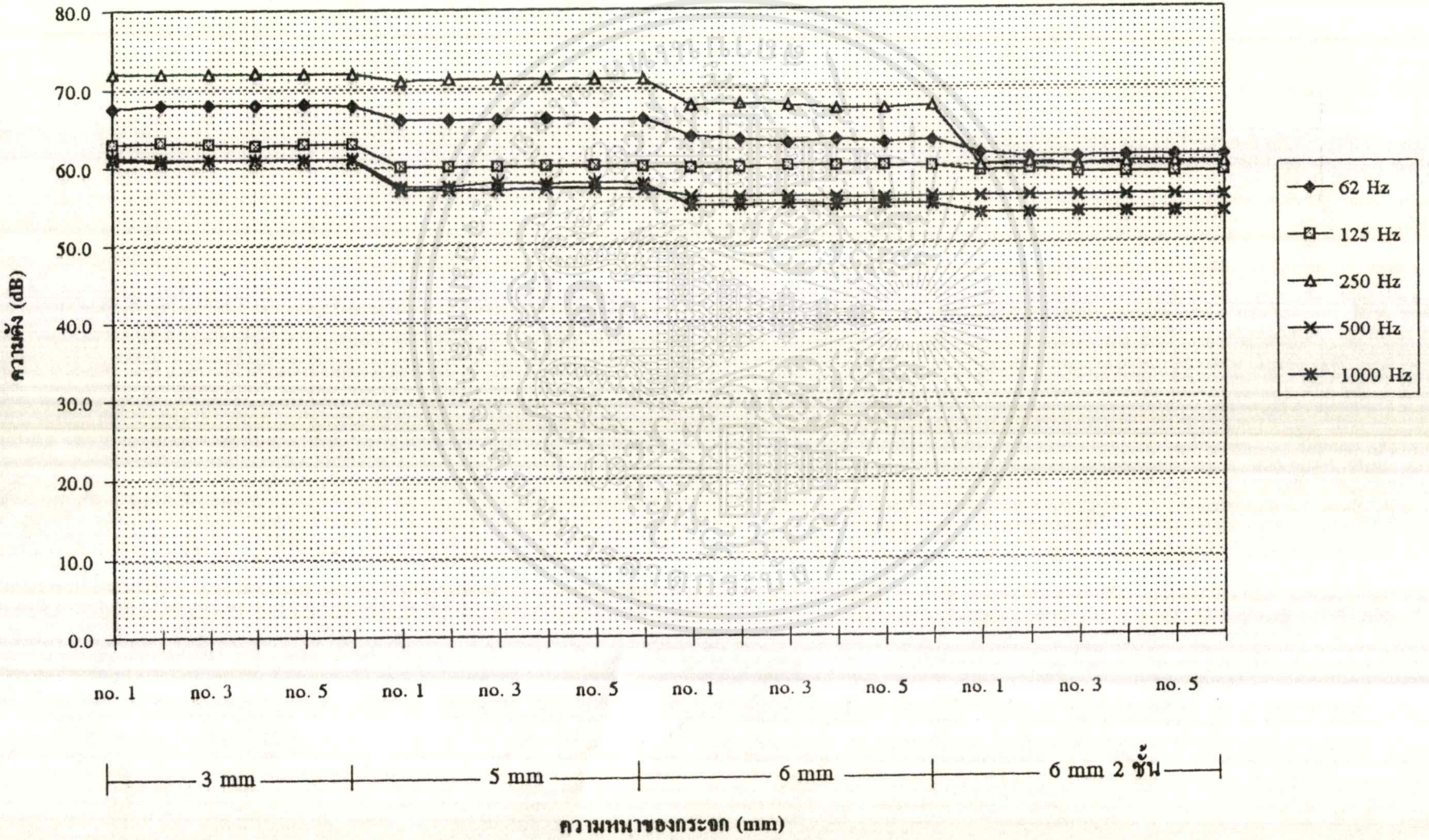


## *แผ่นใหญ่ ขนาดกระจก 2' x 2'*

แบบที่ 5 ห้องเปล่าทาสี+ม่าน+พรม และความสูงของฝ้า 1.83 ฟุต

| | 3 mm | | | | | | 5 mm | | | | | | 6 mm | | | | | | 6 mm 2ชั้น | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ความถี่ | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average |
| 62 Hz | 67.6 | 68.0 | 68.0 | 68.0 | 68.1 | 67.9434 | 66.0 | 66.0 | 66.2 | 66.3 | 66.0 | 66.1019 | 63.8 | 63.4 | 63.0 | 63.4 | 63.0 | 63.3304 | 61.5 | 61.0 | 61.0 | 61.2 | 61.2 | 61.1839 |
| 125 Hz | 63.0 | 63.2 | 63.0 | 62.8 | 63.0 | 63.0018 | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 60.1 | 60.1 | 60.0403 | 59.8 | 59.8 | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 59.9211 | 59.2 | 59.4 | 59.0 | 59.0 | 59.0 | 59.1230 |
| 250 Hz | 72.0 | 72.0 | 72.0 | 72.1 | 72.0 | 72.0202 | 71.0 | 71.2 | 71.2 | 71.2 | 71.2 | 71.1607 | 67.8 | 68.0 | 67.8 | 67.4 | 67.4 | 67.6866 | 60.0 | 60.3 | 60.0 | 60.3 | 60.3 | 60.1825 |
| 500 Hz | 61.0 | 60.8 | 61.0 | 61.0 | 61.0 | 60.9607 | 57.0 | 57.0 | 57.0 | 57.2 | 57.2 | 57.0811 | 56.2 | 56.0 | 56.0 | 56.0 | 55.9 | 56.0211 | 56.0 | 56.1 | 56.0 | 56.1 | 56.1 | 56.0603 |
| 1000 Hz | 61.3 | 61.0 | 61.0 | 61.0 | 61.0 | 61.0617 | 57.5 | 57.5 | 58.0 | 57.8 | 58.0 | 57.7658 | 55.0 | 55.0 | 55.2 | 55.0 | 55.2 | 55.0811 | 53.8 | 53.8 | 54.0 | 54.0 | 54.0 | 53.9211 |

## กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของกระจกกับความดังที่ความถี่ต่างๆ (แบบที่ 5)





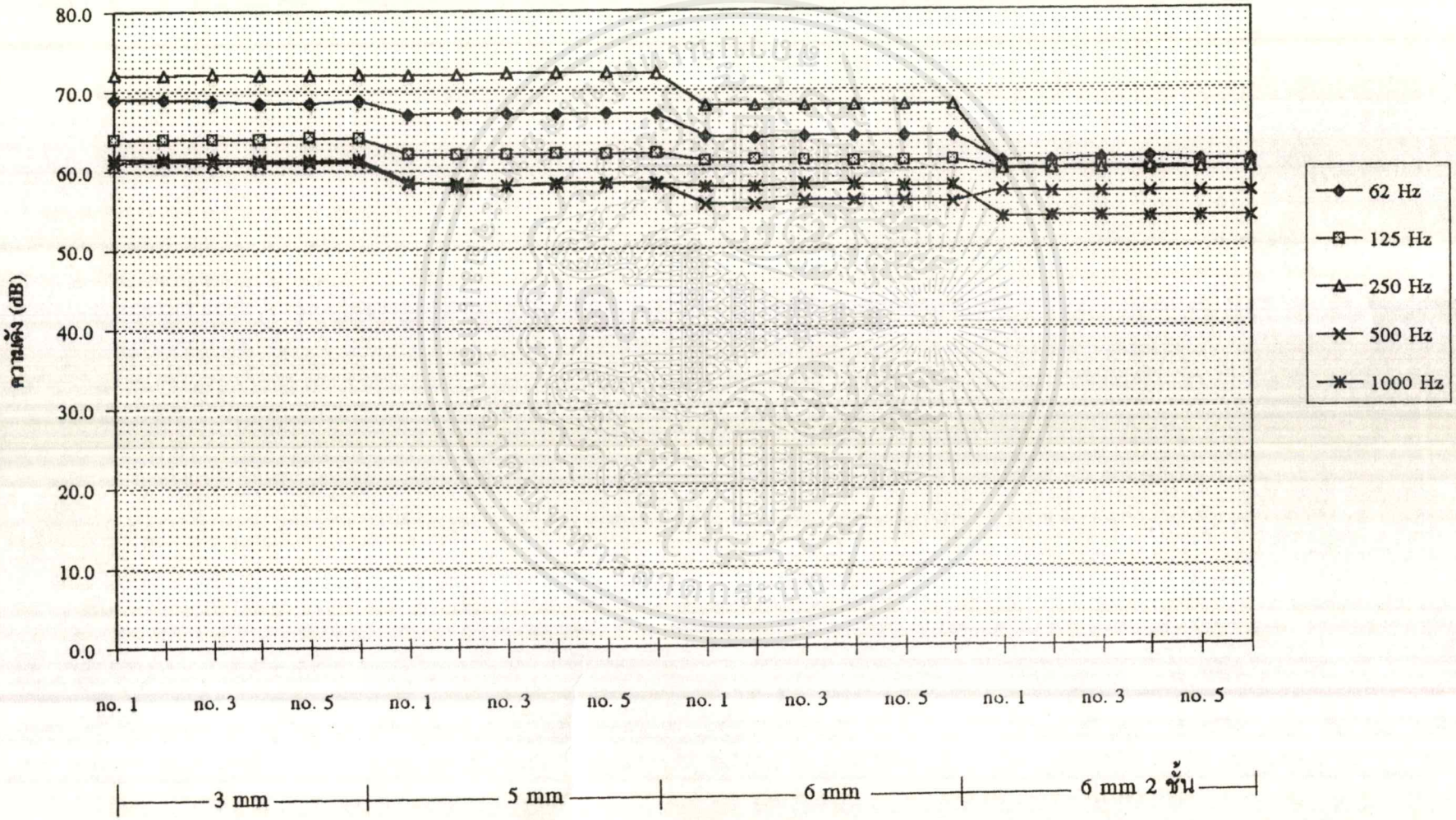

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## *แผ่นใหญ่ ขนาดกระจก 2' x 2'*

แบบที่ 6 ห้องเปล่าทาสี+ม่าน+พรม และความสูงของฝ้า 1.67 ฟุต

| | 3 mm | | | | | | 5 mm | | | | | | 6 mm | | | | | | 6 mm 2ชั้น | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ความถี่ | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average |
| 62 Hz | 69.0 | 69.0 | 68.8 | 68.5 | 68.5 | 68.7658 | 67.0 | 67.2 | 67.1 | 67.0 | 67.1 | 67.0806 | 64.2 | 64.0 | 64.2 | 64.2 | 64.2 | 64.1607 | 61.0 | 61.0 | 61.3 | 61.4 | 61.0 | 61.1435 |
| 125 Hz | 64.0 | 64.0 | 64.0 | 64.0 | 64.2 | 64.0407 | 62.1 | 62.0 | 62.0 | 62.1 | 62.0 | 62.0403 | 61.1 | 61.2 | 61.1 | 61.0 | 61.0 | 61.0806 | 59.9 | 60.0 | 60.2 | 59.8 | 60.0 | 59.9820 |
| 250 Hz | 72.1 | 72.0 | 72.2 | 72.0 | 72.0 | 72.0607 | 72.0 | 72.0 | 72.2 | 72.2 | 72.2 | 72.1211 | 68.0 | 68.0 | 68.0 | 68.0 | 68.0 | 68.0000 | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 60.2 | 60.0 | 60.0407 |
| 500 Hz | 61.0 | 61.3 | 61.0 | 61.0 | 61.0 | 61.0617 | 58.4 | 58.3 | 58.0 | 58.4 | 58.4 | 58.3027 | 55.6 | 55.6 | 56.0 | 56.0 | 56.0 | 55.8444 | 57.2 | 57.0 | 57.0 | 57.0 | 57.0 | 57.0407 |
| 1000 Hz | 61.5 | 61.5 | 61.5 | 61.3 | 61.3 | 61.4211 | 58.6 | 58.0 | 58.0 | 58.2 | 58.2 | 58.2056 | 57.8 | 57.8 | 58.1 | 58.0 | 57.8 | 57.9019 | 53.8 | 54.0 | 54.0 | 53.8 | 53.8 | 53.8811 |

## กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของกระจกกับความดังที่ความถี่ต่างๆ (แบบที่ 6)



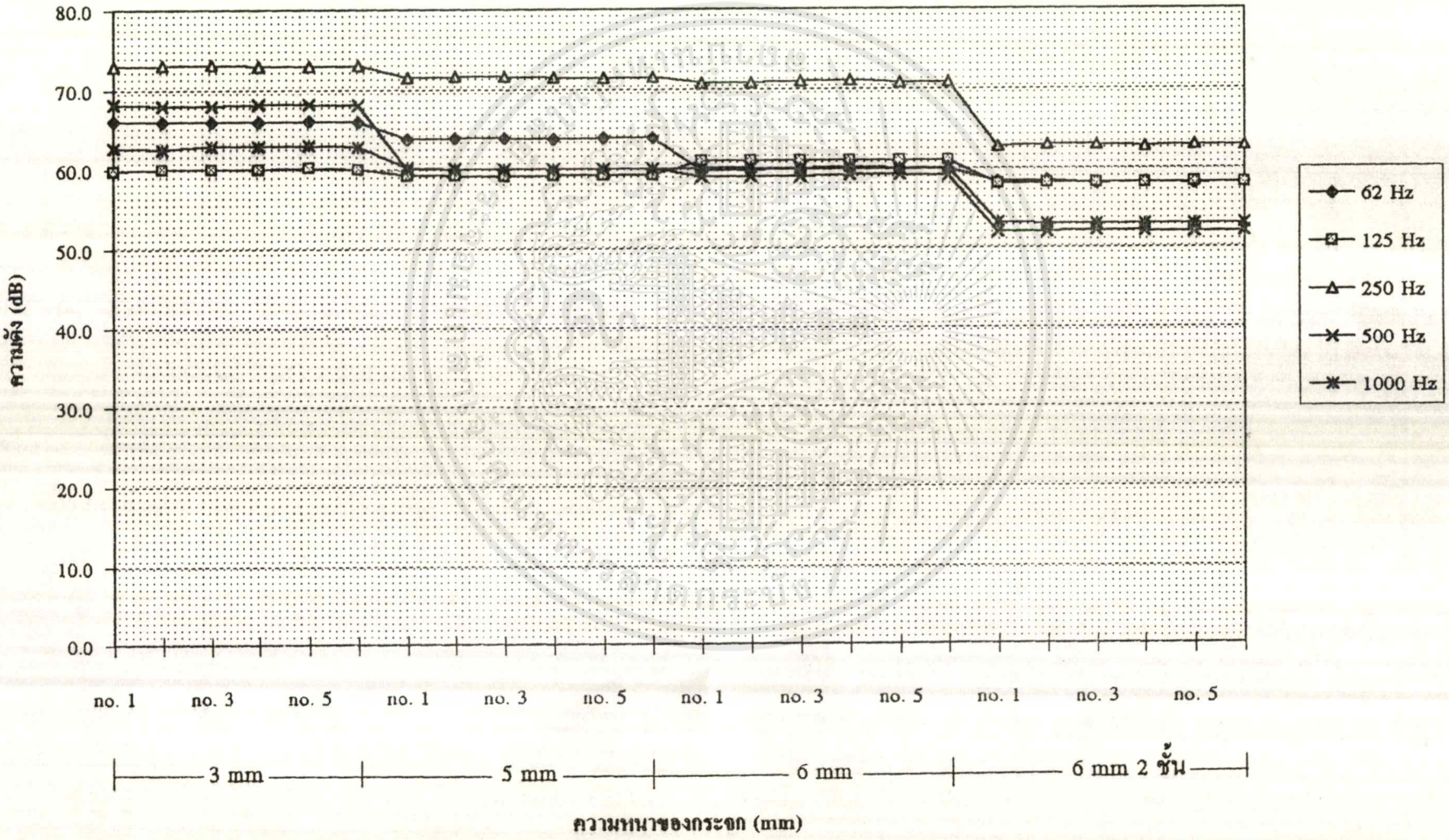
***แผ่นกลาง ขนาดกระจก 1.33' x 2'***

แบบที่ 7 ห้องเปล่าทาสี และความสูงของฝ้า 2 ฟุต

| | 3 mm | | | | | | 5 mm | | | | | | 6 mm | | | | | | 6 mm 2ชั้น | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ความถี่ | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average |
| 62 Hz | 66.2 | 66.0 | 66.0 | 66.0 | 66.1 | 66.0607 | 63.8 | 64.0 | 64.0 | 63.8 | 64.0 | 63.9211 | 59.8 | 59.8 | 60.0 | 59.9 | 60.0 | 59.9009 | 58.3 | 58.5 | 58.0 | 58.2 | 58.0 | 58.2042 |
| 125 Hz | 59.8 | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 60.2 | 60.0018 | 59.2 | 59.2 | 59.1 | 59.2 | 59.2 | 59.1802 | 61.0 | 61.0 | 61.0 | 61.0 | 61.0 | 61.0000 | 58.0 | 58.1 | 58.1 | 58.1 | 58.2 | 58.1005 |
| 250 Hz | 73.0 | 73.1 | 73.2 | 73.0 | 73.0 | 73.0607 | 71.5 | 71.6 | 71.6 | 71.5 | 71.4 | 71.5206 | 70.8 | 70.8 | 71.0 | 71.1 | 70.8 | 70.9019 | 62.7 | 63.0 | 63.0 | 62.7 | 63.0 | 62.8825 |
| 500 Hz | 68.2 | 68.0 | 68.0 | 68.2 | 68.2 | 68.1211 | 60.0 | 60.1 | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 60.0202 | 59.0 | 59.0 | 59.0 | 59.2 | 59.2 | 59.0811 | 52.0 | 52.0 | 52.2 | 52.1 | 52.0 | 52.0607 |
| 1000 Hz | 62.7 | 62.5 | 63.0 | 63.0 | 63.1 | 62.8657 | 60.2 | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 60.0407 | 60.1 | 60.1 | 60.0 | 60.2 | 60.0 | 60.0806 | 53.2 | 53.0 | 53.0 | 53.0 | 53.0 | 53.0407 |

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ Copyright© by Kasetsart University All rights reserved

## กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของกระจกกับความดังที่ความถี่ต่างๆ (แบบที่ 7)

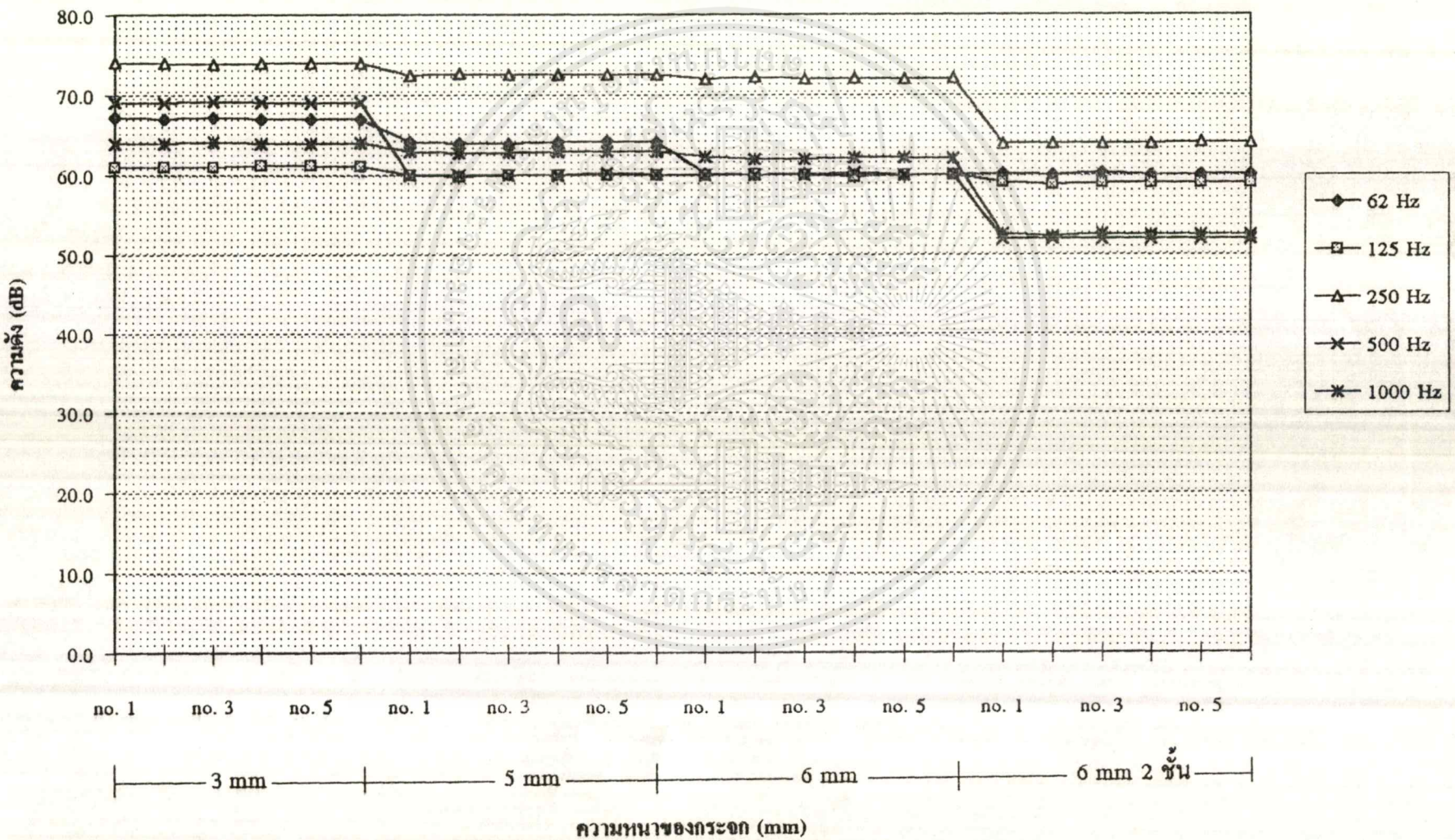


***แผ่นกลาง ขนาดกระจก 1.33' x 2'***

แบบที่ 8 ห้องเปล่าทาสี และความสูงของฝ้า 1.83 ฟุต

| | 3 mm | | | | | | 5 mm | | | | | | 6 mm | | | | | | 6 mm 2ชั้น | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ความถี่ | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average |
| 62 Hz | 67.2 | 67.0 | 67.2 | 67.0 | 67.0 | 67.0811 | 64.2 | 64.0 | 64.0 | 64.2 | 64.3 | 64.1417 | 60.2 | 60.0 | 60.2 | 60.0 | 60.0 | 60.0811 | 60.2 | 60.0 | 60.3 | 60.0 | 60.1 | 60.1216 |
| 125 Hz | 61.0 | 61.0 | 61.0 | 61.2 | 61.2 | 61.0811 | 60.0 | 59.8 | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 59.9607 | 60.0 | 60.1 | 60.0 | 59.8 | 60.0 | 59.9811 | 59.1 | 58.8 | 59.0 | 59.0 | 59.0 | 58.9811 |
| 250 Hz | 74.1 | 74.0 | 73.8 | 74.0 | 74.0 | 73.9811 | 72.4 | 72.6 | 72.5 | 72.5 | 72.5 | 72.5005 | 72.0 | 72.2 | 72.0 | 72.1 | 72.0 | 72.0607 | 64.0 | 64.0 | 64.0 | 64.0 | 64.2 | 64.0407 |
| 500 Hz | 69.1 | 69.0 | 69.2 | 69.1 | 69.0 | 69.0806 | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 60.3 | 60.0617 | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 60.3 | 60.0 | 60.0617 | 52.0 | 52.0 | 52,0 | 52.0 | 52.0 | 52.0000 |
| 1000 Hz | 64.0 | 64.0 | 64.2 | 64.0 | 64.0 | 64.0407 | 63.0 | 62.8 | 62.9 | 63.0 | 63.0 | 62.9407 | 62.3 | 62.0 | 62.0 | 62.2 | 62.2 | 62.1417 | 52.6 | 52.3 | 52.6 | 52.5 | 52.5 | 52.5014 |

## กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของกระจกกับความดังที่ความถี่ต่างๆ (แบบที่ 8)

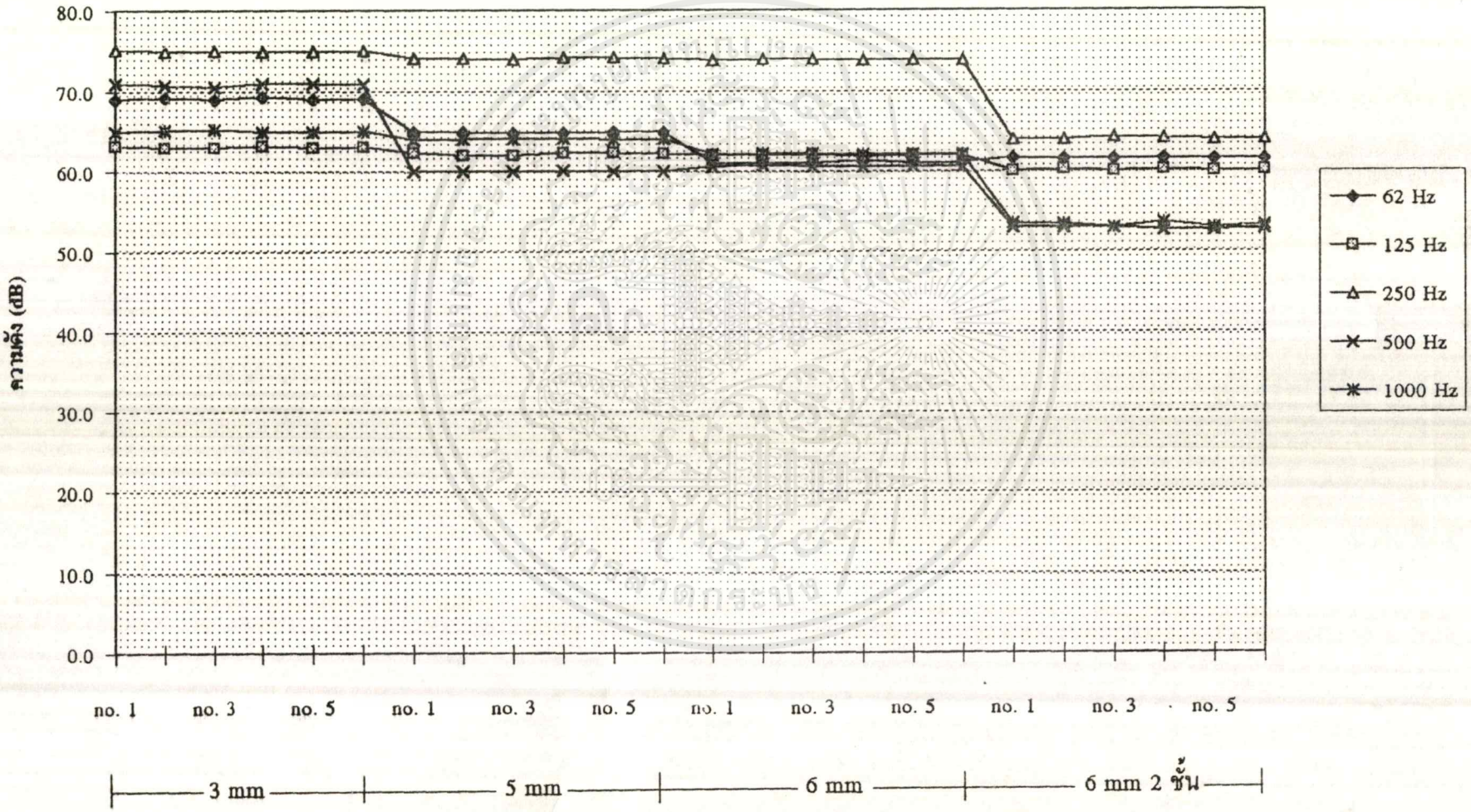


***แผ่นกลาง ขนาดกระจก 1.33' x 2'***

แบบที่ 9 ห้องเปล่าทาสี และความสูงของฝ้า 1.67 ฟุต

| | 3 mm | | | | | | 5 mm | | | | | | 6 mm | | | | | | 6 mm 2ชั้น | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ความถี่ | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average |
| 62 Hz | 69.0 | 69.2 | 69.0 | 69.3 | 69.0 | 69.1019 | 65.0 | 65.0 | 64.8 | 64.8 | 64.9 | 64.9009 | 61.0 | 61.0 | 61.0 | 61.3 | 61.0 | 61.0617 | 61.7 | 61.5 | 61.5 | 61.7 | 61.5 | 61.5811 |
| 125 Hz | 63.2 | 63.0 | 63.0 | 63.2 | 63.0 | 63.0811 | 62.3 | 62.0 | 62.0 | 62.3 | 62.3 | 62.1825 | 62.0 | 62.0 | 62.1 | 61.8 | 62.0 | 61.9811 | 60.0 | 60.2 | 60.0 | 60.2 | 60.0 | 60.0811 |
| 250 Hz | 75.2 | 75.0 | 75.1 | 75.0 | 75.0 | 75.0607 | 74.1 | 74.1 | 74.0 | 74.2 | 74.2 | 74.1206 | 73.8 | 74.0 | 74.0 | 73.8 | 73.8 | 73.8811 | 64.0 | 64.0 | 64.3 | 64.2 | 64.0 | 64.1019 |
| 500 Hz | 71.0 | 70.8 | 70.5 | 71.0 | 71.0 | 70.8644 | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 60.1 | 60.0 | 60.0202 | 60.5 | 60.8 | 60.5 | 60.5 | 60.5 | 60.5617 | 53.0 | 53.0 | 53.0 | 52.6 | 52.6 | 52.8444 |
| 1000 Hz | 65.0 | 65.2 | 65.3 | 65.0 | 65.0 | 65.1019 | 64.0 | 64.1 | 64.1 | 64.2 | 64.0 | 64.0806 | 62.1 | 62.2 | 62.2 | 62.1 | 62.1 | 62.1403 | 53.5 | 53.4 | 53.0 | 53.6 | 53.0 | 53.3073 |

## กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของกระจกกับความดังที่ความถี่ต่างๆ (แบบที่ 9)

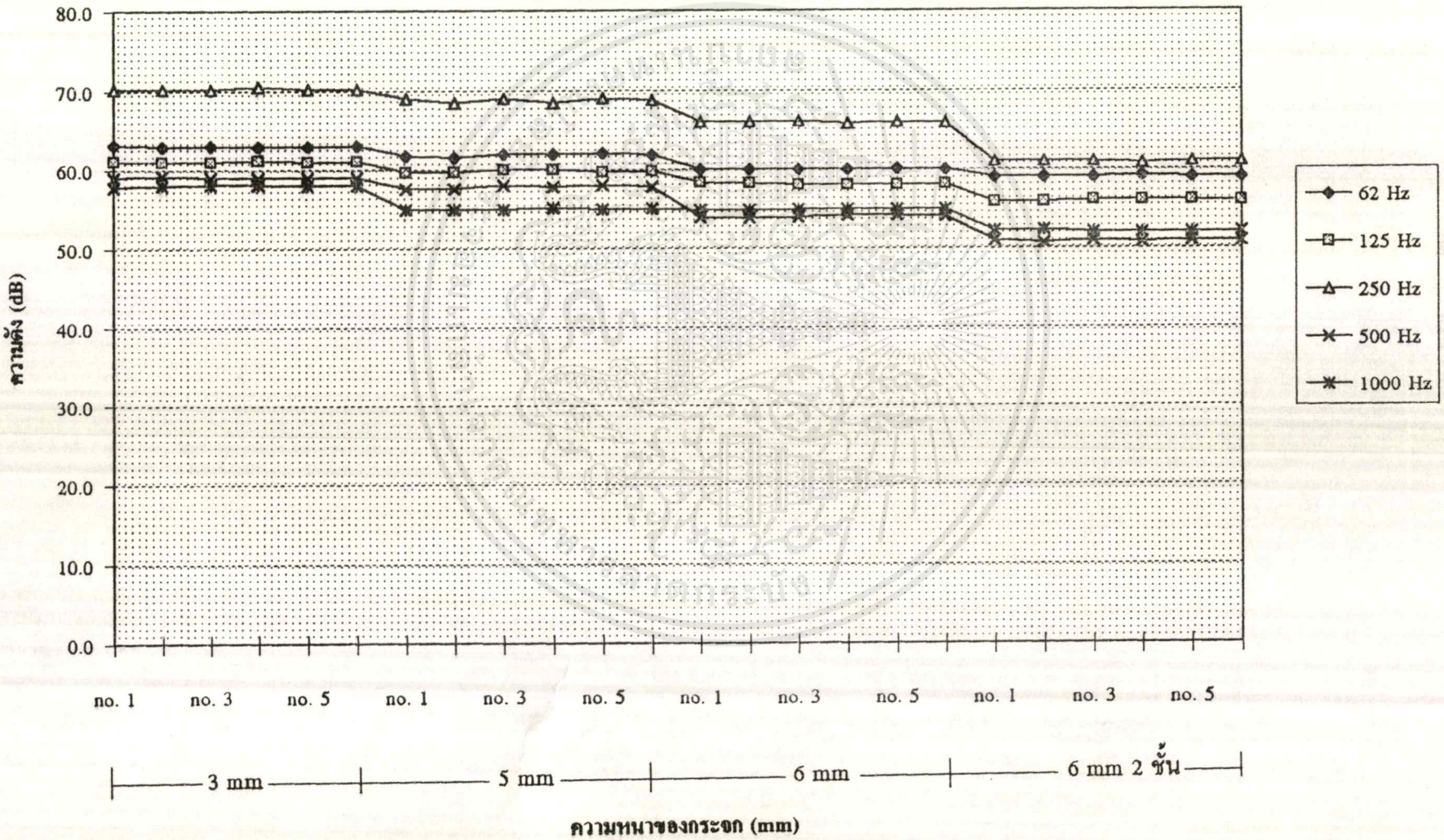


***แผ่นกลาง ขนาดกระจก 1.33' x 2'***

แบบที่ 10 ห้องเปล่าทาสี+ม่าน+พรม และความสูงของฝ้า 2 ฟุต

| | 3 mm | | | | | | 5 mm | | | | | | 6 mm | | | | | | 6 mm 2ชั้น | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ความถี่ | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average |
| 62 Hz | 63.2 | 63.0 | 63.1 | 63.0 | 63.0 | 63.0607 | 61.8 | 61.5 | 62.0 | 62.0 | 62.1 | 61.8852 | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 60.1 | 60.0202 | 59.0 | 59.0 | 59.0 | 59.2 | 59.0 | 59.0407 |
| 125 Hz | 61.1 | 61.0 | 61.0 | 61.2 | 61.0 | 61.0607 | 59.7 | 59.7 | 60.0 | 60.0 | 59.7 | 59.8225 | 58.3 | 58.2 | 58.0 | 58.0 | 58.0 | 58.1019 | 55.8 | 55.8 | 56.0 | 56.0 | 56.0 | 55.9211 |
| 250 Hz | 70.2 | 70.2 | 70.2 | 70.5 | 70.2 | 70.2617 | 69.0 | 68.5 | 69.0 | 68.5 | 69.0 | 68.8069 | 66.0 | 66.0 | 66.1 | 65.8 | 66.0 | 65.9811 | 61.0 | 61.0 | 61.0 | 60.8 | 61.0 | 60.9607 |
| 500 Hz | 59.0 | 59.2 | 59.0 | 59.0 | 59.0 | 59.0407 | 57.6 | 57.6 | 58.0 | 57.8 | 58.0 | 57.8037 | 54.0 | 53.9 | 54.0 | 54.2 | 54.2 | 54.0617 | 51.0 | 50.7 | 51.0 | 50.8 | 51.0 | 50.9018 |
| 1000 Hz | 57.8 | 58.0 | 58.1 | 58.1 | 58.0 | 58.0014 | 55.0 | 55.0 | 55.0 | 55.2 | 55.0 | 55.0407 | 54.8 | 54.8 | 55.0 | 55.0 | 55.0 | 54.9211 | 52.2 | 52.3 | 52.0 | 52.0 | 52.0 | 52.1019 |

## กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของกระจกกับความดังที่ความถี่ต่างๆ (แบบที่ 10)

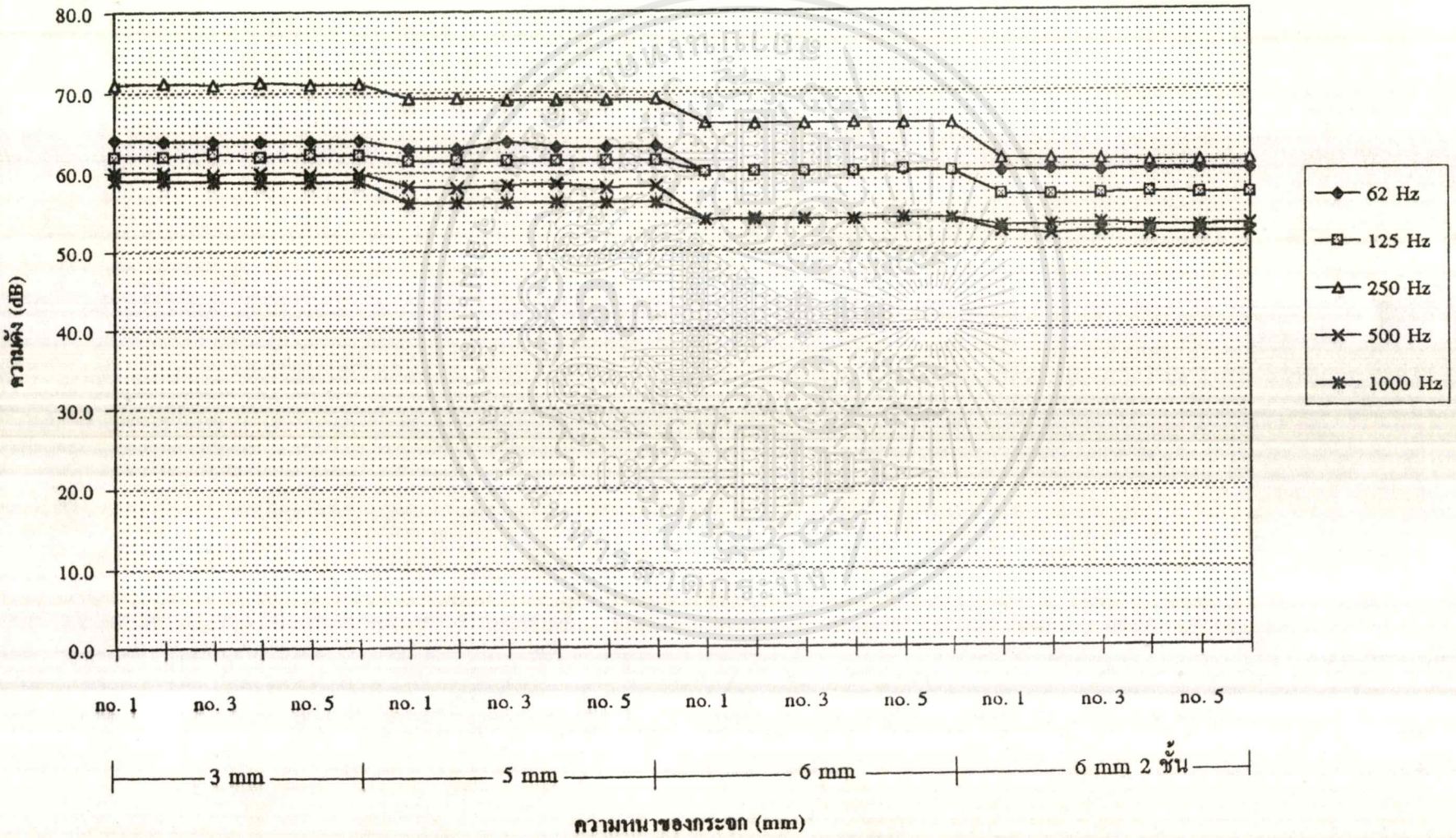


***แผ่นกลาง ขนาดกระจก 1.33' x 2'***

แบบที่ 11 ห้องเปล่าทาสี+ม่าน+พรม และความสูงของฝ้า 1.83 ฟุต

| | 3 mm | | | | | | 5 mm | | | | | | 6 mm | | | | | | 6 mm 2ชั้น | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ความถี่ | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average |
| 62 Hz | 64.2 | 64.0 | 64.0 | 64.0 | 64.0 | 64.0407 | 63.0 | 63.0 | 63.8 | 63.2 | 63.2 | 63.2502 | 60.0 | 60.1 | 60.0 | 60.0 | 60.1 | 60.0403 | 60.0 | 60.2 | 60.0 | 60.2 | 60.2 | 60.1211 |
| 125 Hz | 62.0 | 62.0 | 62.4 | 62.0 | 62.3 | 62.1435 | 61.4 | 61.5 | 61.4 | 61.4 | 61.4 | 61.4202 | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 60.2 | 60.0407 | 57.0 | 56.9 | 57.0 | 57.3 | 57.0 | 57.0421 |
| 250 Hz | 71.0 | 71.2 | 71.0 | 71.3 | 71.0 | 71.1019 | 69.2 | 69.2 | 69.0 | 69.0 | 69.0 | 69.0811 | 66.2 | 66.0 | 66.0 | 66.1 | 66.0 | 66.0607 | 61.5 | 61.5 | 61.4 | 61.2 | 61.2 | 61.3621 |
| 500 Hz | 60.0 | 60.0 | 59.8 | 60.0 | 59.8 | 59.9211 | 58.2 | 58.0 | 58.4 | 58.6 | 58.0 | 58.2463 | 54.0 | 54.2 | 54.1 | 54.0 | 54.2 | 54.1009 | 52.3 | 52.0 | 52.3 | 52.0 | 52.1 | 52.1421 |
| 1000 Hz | 59.0 | 59.0 | 58.9 | 58.8 | 58.8 | 58.9009 | 56.2 | 56.1 | 56.2 | 56.3 | 56.2 | 56.2005 | 54.0 | 54.0 | 54.0 | 54.0 | 54.2 | 54.0407 | 53.1 | 53.2 | 53.4 | 53.0 | 53.0 | 53.1426 |

## กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของกระจกกับความดังที่ความถี่ต่างๆ (แบบที่ 11)

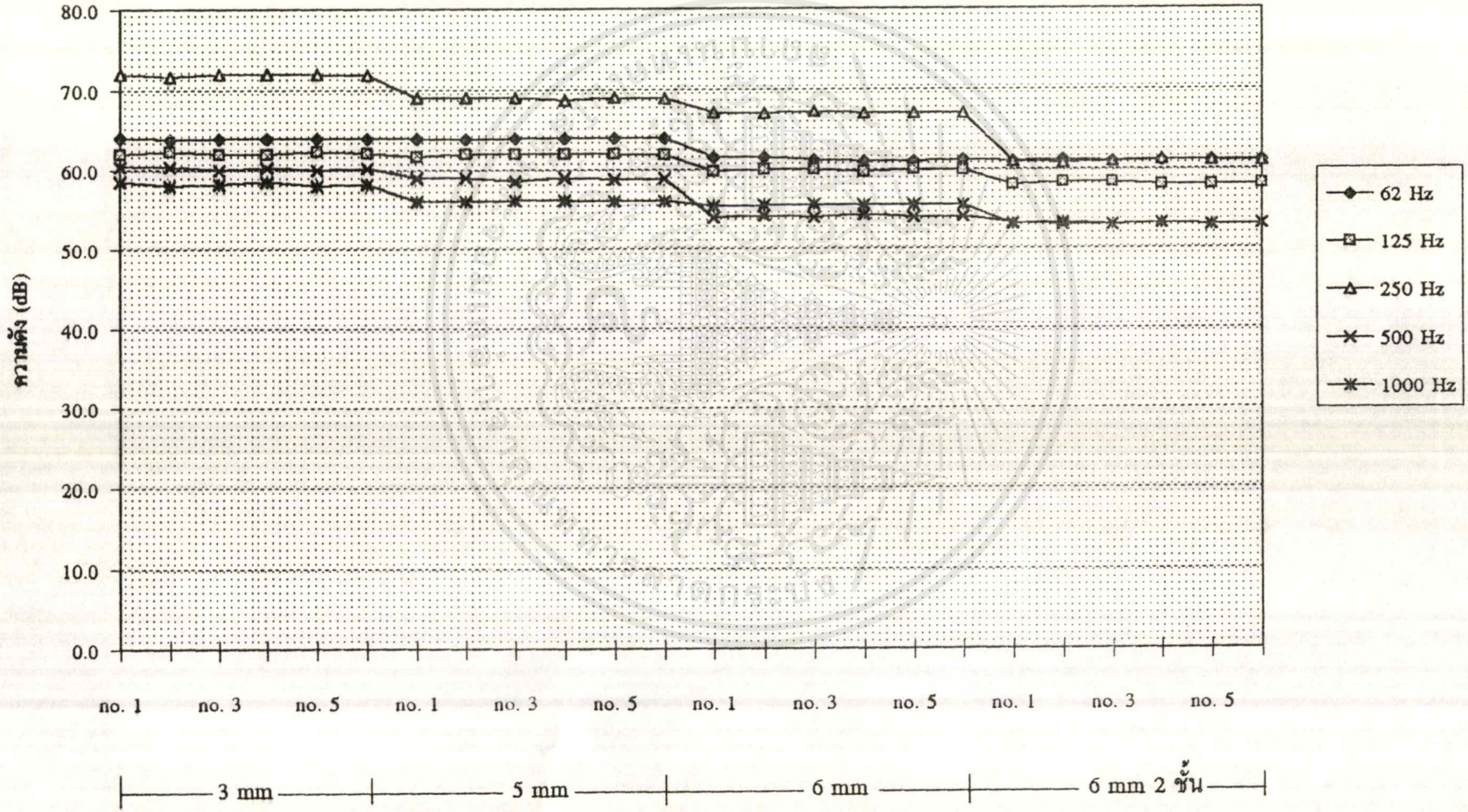


***แผ่นกลาง ขนาดกระจก 1.33' x 2'***

แบบที่ 12 ห้องเปล่าทาสี+ม่าน+พรม และความสูงของฝ้า 1.67 ฟุต

| | 3 mm | | | | | | 5 mm | | | | | | 6 mm | | | | | | 6 mm 2ชั้น | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ความถี่ | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average |
| 62 Hz | 64.1 | 63.8 | 64.0 | 64.0 | 64.0 | 63.9811 | 64.0 | 63.8 | 64.0 | 64.0 | 64.0 | 63.9607 | 61.5 | 61.5 | 61.2 | 61.0 | 61.0 | 61.2458 | 61.0 | 61.2 | 61.0 | 61.1 | 61.1 | 61.0806 |
| 125 Hz | 62.0 | 62.3 | 62.0 | 62.0 | 62.3 | 62.1225 | 61.6 | 62.0 | 62.0 | 62.0 | 62.0 | 61.9229 | 59.8 | 60.0 | 60.0 | 59.7 | 60.0 | 59.9018 | 58.0 | 58.3 | 58.4 | 58.0 | 58.0 | 58.1435 |
| 250 Hz | 72.0 | 71.6 | 72.0 | 72.0 | 72.0 | 71.9229 | 69.0 | 69.0 | 69.0 | 68.7 | 69.0 | 68.9416 | 67.1 | 67.0 | 67.3 | 67.0 | 67.0 | 67.0816 | 61.0 | 60.8 | 61.0 | 61.2 | 61.1 | 61.0220 |
| 500 Hz | 60.4 | 60.4 | 60.0 | 60.3 | 60.0 | 60.2239 | 59.0 | 59.0 | 58.6 | 59.0 | 58.8 | 58.8829 | 54.0 | 54.2 | 54.0 | 54.3 | 54.0 | 54.1019 | 53.2 | 53.0 | 53.0 | 53.2 | 53.0 | 53.0811 |
| 1000 Hz | 58.6 | 58.0 | 58.2 | 58.6 | 58.0 | 58.2885 | 56.0 | 56.0 | 56.1 | 56.1 | 56.0 | 56.0403 | 55.4 | 55.5 | 55.6 | 55.5 | 55.5 | 55.5005 | 53.1 | 53.3 | 53.0 | 53.2 | 53.0 | 53.1216 |

## กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของกระจกกับความดังที่ความถี่ต่างๆ (แบบที่ 12)

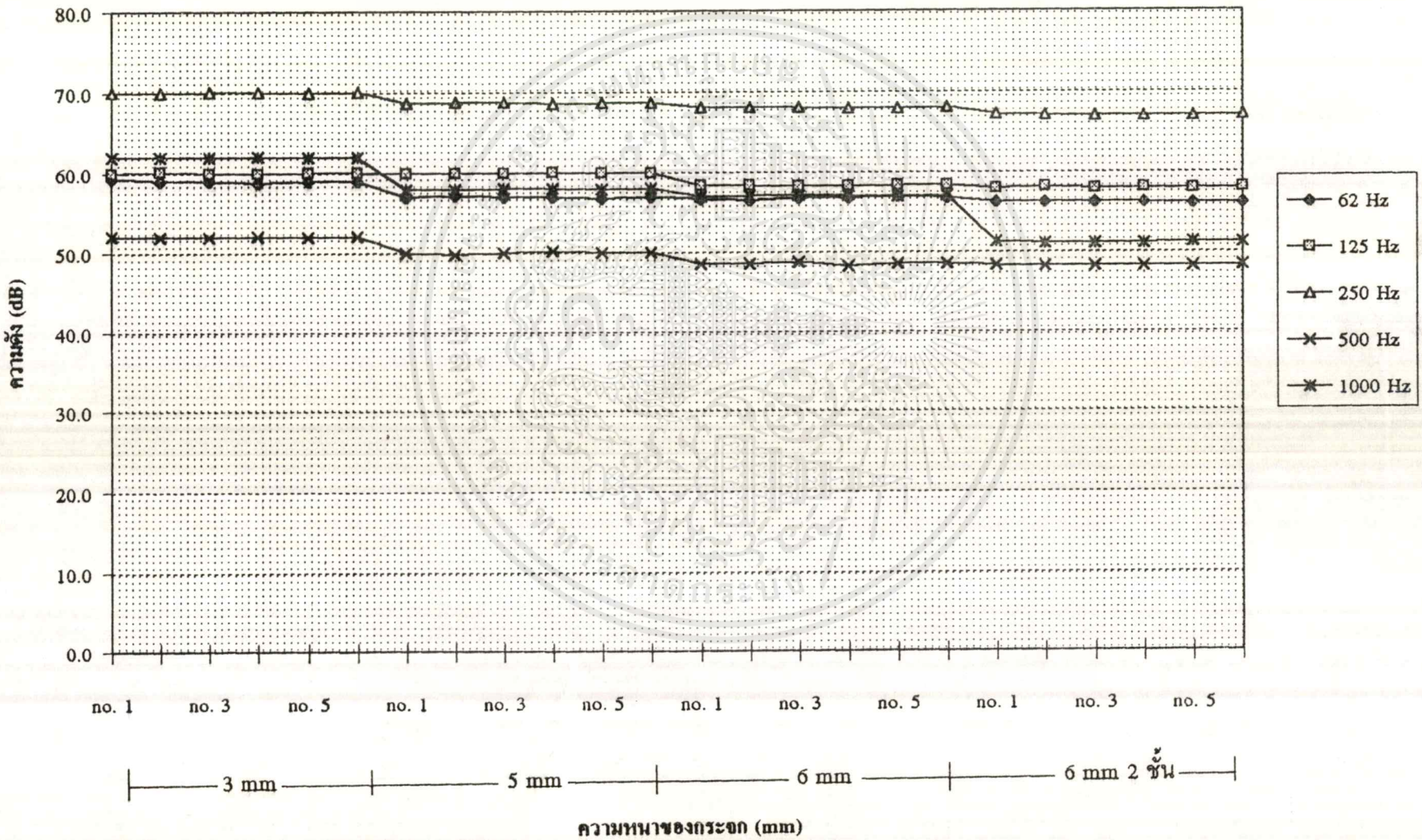


***แผ่นเล็ก ขนาดกระจก 0.67' x 2'***

แบบที่ 13 ห้องเปล่าทาสี และความสูงของฝ้า 2 ฟุต

| | 3 mm | | | | | | 5 mm | | | | | | 6 mm | | | | | | 6 mm 2ชั้น | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ความถี่ | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average |
| 62 Hz | 59.3 | 59.0 | 59.0 | 58.8 | 59.0 | 59.0230 | 57.0 | 57.2 | 57.0 | 57.0 | 56.8 | 57.0018 | 56.7 | 56.5 | 56.8 | 56.8 | 57.0 | 56.7630 | 56.2 | 56.2 | 56.2 | 56.2 | 56.1 | 56.1802 |
| 125 Hz | 60.0 | 60.2 | 60.0 | 60.0 | 60.1 | 60.0607 | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 60.1 | 60.0 | 60.0202 | 58.4 | 58.4 | 58.3 | 58.3 | 58.4 | 58.3603 | 58.0 | 58.2 | 58.0 | 58.1 | 58.0 | 58.0607 |
| 250 Hz | 70.1 | 70.0 | 70.1 | 70.1 | 70.0 | 70.0603 | 68.7 | 68.8 | 68.8 | 68.6 | 68.7 | 68.7206 | 68.1 | 68.1 | 68.1 | 68.0 | 68.0 | 68.0603 | 67.2 | 67.1 | 67.0 | 67.0 | 67.0 | 67.0607 |
| 500 Hz | 52.1 | 52.0 | 52.0 | 52.1 | 52.0 | 52.0403 | 50.0 | 49.8 | 50.0 | 50.2 | 50.0 | 50.0018 | 48.5 | 48.5 | 48.7 | 48.2 | 48.5 | 48.4829 | 48.3 | 48.2 | 48.2 | 48.2 | 48.2 | 48.2202 |
| 1000 Hz | 62.0 | 62.0 | 62.0 | 62.1 | 62.0 | 62.0202 | 58.0 | 58.0 | 58.1 | 58.1 | 58.0 | 58.0403 | 57.0 | 57.1 | 57.1 | 57.1 | 57.0 | 57.0603 | 51.2 | 51.0 | 51.0 | 51.0 | 51.2 | 51.0811 |

## กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของกระจกกับความดังที่ความถี่ต่างๆ (แบบที่ 13)



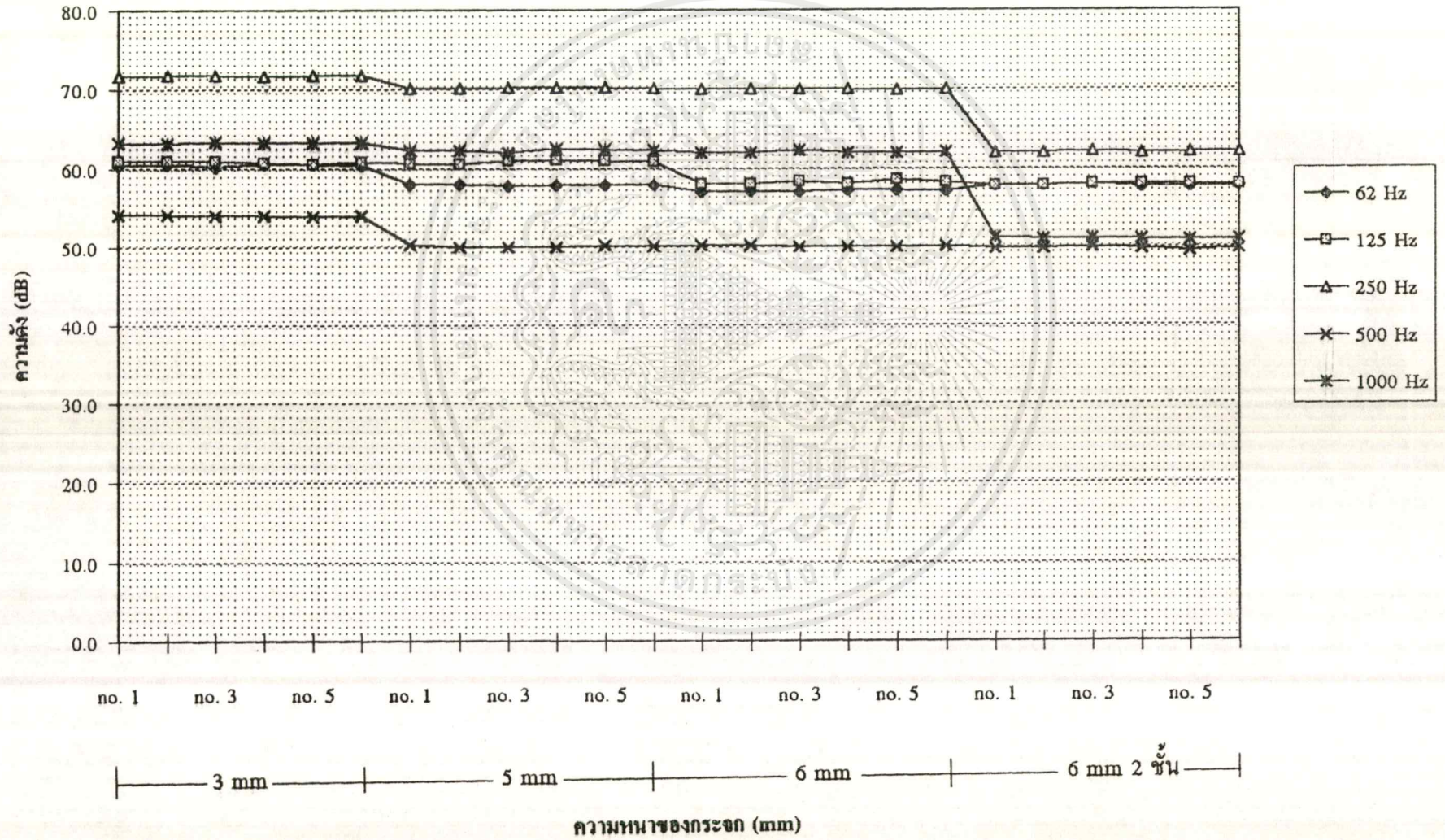
***แผ่นเล็ก ขนาดกระจก 0.67' x 2'***

แบบที่ 14 ห้องเปล่าทาสี และความสูงของฝ้า 1.83 ฟุต

| | 3 mm | | | | | | 5 mm | | | | | | 6 mm | | | | | | 6 mm 2ชั้น | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ความถี่ | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average |
| 62 Hz | 60.4 | 60.5 | 60.2 | 60.5 | 60.5 | 60.4215 | 58.0 | 58.0 | 57.8 | 57.9 | 57.9 | 57.9206 | 57.0 | 57.1 | 57.0 | 57.2 | 57.2 | 57.1009 | 57.8 | 57.8 | 58.0 | 57.7 | 57.7 | 57.8014 |
| 125 Hz | 61.0 | 61.0 | 61.0 | 60.8 | 60.5 | 60.8644 | 60.7 | 60.5 | 61.0 | 61.1 | 61.0 | 60.8657 | 58.0 | 58.0 | 58.4 | 58.0 | 58.6 | 58.2075 | 57.8 | 57.8 | 58.0 | 58.0 | 58.0 | 57.9211 |
| 250 Hz | 71.6 | 71.8 | 71.8 | 71.7 | 71.8 | 71.7407 | 70.1 | 70.1 | 70.2 | 70.2 | 70.2 | 70.1603 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 69.9 | 69.9802 | 62.0 | 62.0 | 62.2 | 62.0 | 62.1 | 62.0607 |
| 500 Hz | 54.2 | 54.2 | 54.1 | 54.1 | 54.0 | 54.1206 | 50.3 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 50.2 | 50.1019 | 50.2 | 50.2 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 50.0811 | 49.8 | 49.8 | 50.0 | 49.8 | 49.5 | 49.7829 |
| 1000 Hz | 63.3 | 63.2 | 63.4 | 63.3 | 63.3 | 63.3005 | 62.3 | 62.3 | 62.0 | 62.5 | 62.4 | 62.3032 | 62.0 | 62.0 | 62.3 | 62.0 | 62.0 | 62.0617 | 51.2 | 51.0 | 51.1 | 51.0 | 50.9 | 51.0412 |

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

## กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของกระจกกับความดังที่ความถี่ต่างๆ (แบบที่ 14)

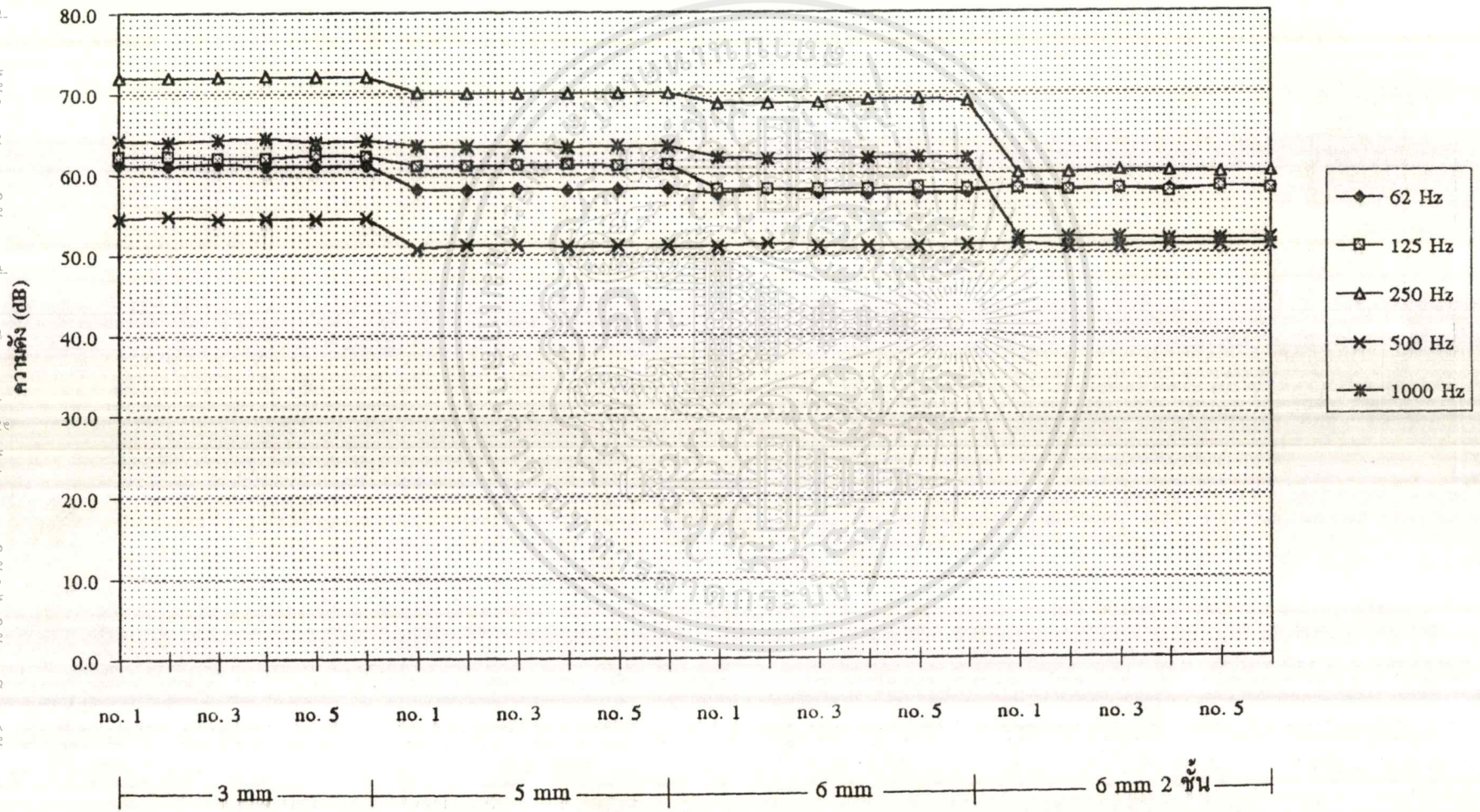


***แผ่นเล็ก ขนาดกระจก 0.67' x 2'***

แบบที่ 15 ห้องเปล่าทาสี และความสูงของฝ้า 1.67 ฟุต

| | 3 mm | | | | | | 5 mm | | | | | | 6 mm | | | | | | 6 mm 2ชั้น | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ความถี่ | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average |
| 62 Hz | 61.2 | 61.0 | 61.3 | 61.0 | 61.0 | 61.1019 | 58.1 | 58.0 | 58.2 | 58.0 | 58.1 | 58.0806 | 57.5 | 58.0 | 57.6 | 57.5 | 57.5 | 57.6244 | 58.3 | 58.0 | 58.0 | 58.0 | 58.1 | 58.0816 |
| 125 Hz | 62.2 | 62.2 | 62.0 | 62.0 | 62.4 | 62.1626 | 61.0 | 61.0 | 61.1 | 61.2 | 61.0 | 61.0607 | 58.0 | 58.0 | 58.0 | 58.0 | 58.2 | 58.0407 | 58.0 | 57.8 | 58.0 | 57.6 | 58.2 | 57.9248 |
| 250 Hz | 72.0 | 72.0 | 72.1 | 72.2 | 72.1 | 72.0806 | 70.1 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0 | 70.0202 | 68.7 | 68.7 | 68.8 | 69.1 | 69.2 | 68.9051 | 60.0 | 60.0 | 60.3 | 60.2 | 60.0 | 60.1019 |
| 500 Hz | 54.5 | 54.8 | 54.5 | 54.6 | 54.5 | 54.5816 | 50.8 | 51.2 | 51.2 | 51.0 | 51.1 | 51.0626 | 51.0 | 51.3 | 51.0 | 51.0 | 51.0 | 51.0617 | 51.2 | 50.8 | 50.9 | 51.1 | 51.0 | 51.0023 |
| 1000 Hz | 64.2 | 64.0 | 64.3 | 64.5 | 64.0 | 64.2042 | 63.5 | 63.4 | 63.5 | 63.3 | 63.5 | 63.4407 | 62.0 | 61.8 | 61.8 | 61.9 | 62.0 | 61.9009 | 52.0 | 52.0 | 52.0 | 51.8 | 51.8 | 51.9211 |

## กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของกระจกกับความดังที่ความถี่ต่างๆ (แบบที่ 15)



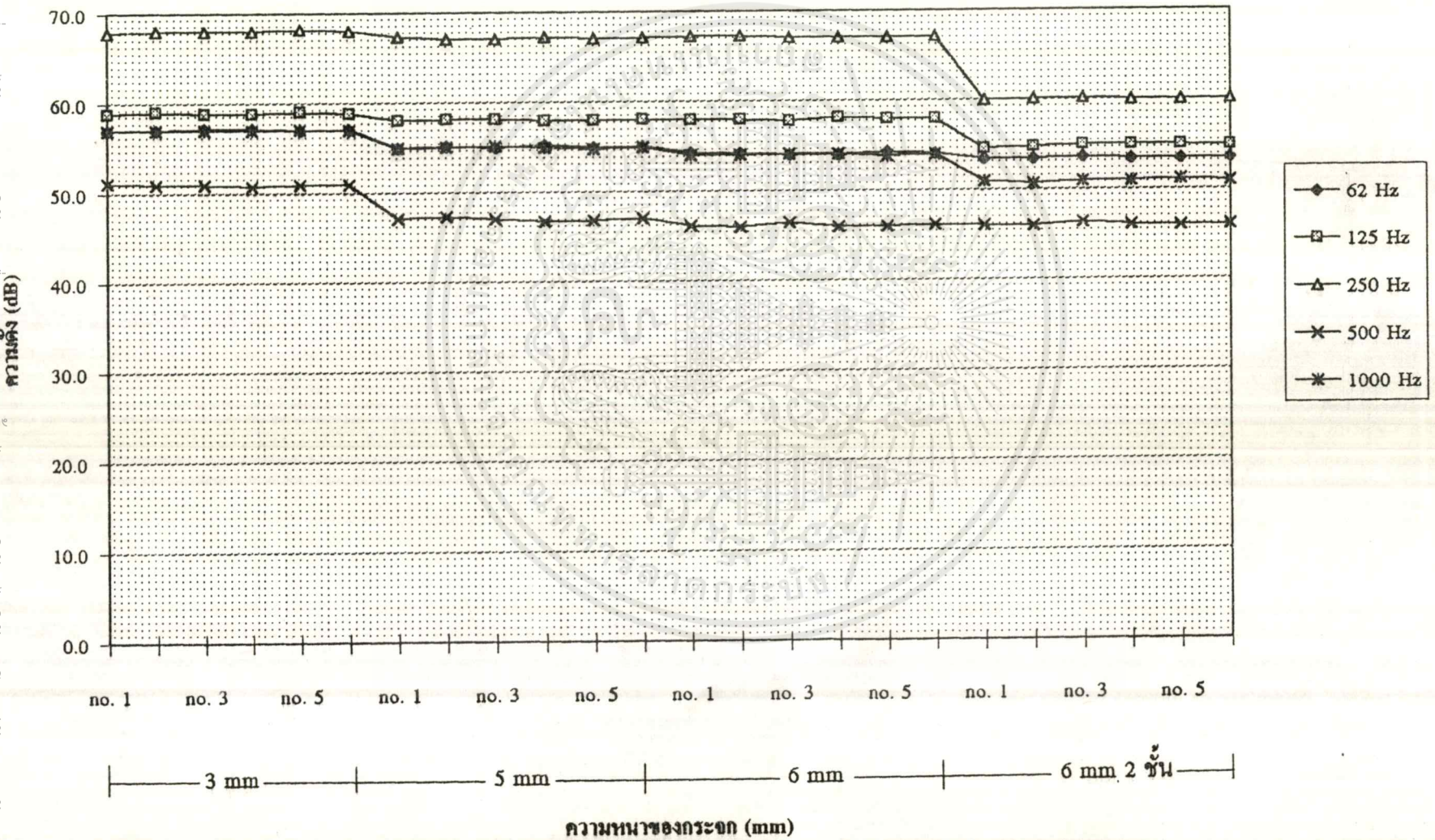

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

***แผ่นเล็ก ขนาดกระจก 0.67' x 2'***

แบบที่ 16 ห้องเปล่าทาสี+ม่าน+พรม และความสูงของฝ้า 2 ฟุต

| | 3 mm | | | | | | 5 mm | | | | | | 6 mm | | | | | | 6 mm 2ชั้น | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ความถี่ | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average |
| 62 Hz | 57.0 | 57.0 | 57.2 | 57.2 | 57.0 | 57.0811 | 55.0 | 55.2 | 55.0 | 55.3 | 55.0 | 55.1019 | 54.3 | 54.2 | 54.0 | 54.0 | 54.3 | 54.1621 | 53.5 | 53.5 | 53.7 | 53.5 | 53.5 | 53.5407 |
| 125 Hz | 58.8 | 59.0 | 58.8 | 58.8 | 59.0 | 58.8811 | 58.1 | 58.2 | 58.2 | 58.0 | 58.0 | 58.1009 | 58.0 | 58.0 | 57.8 | 58.2 | 58.0 | 58.0018 | 54.6 | 54.8 | 55.0 | 55.0 | 55.0 | 54.8829 |
| 250 Hz | 67.8 | 68.0 | 68.0 | 68.0 | 68.2 | 68.0018 | 67.3 | 67.0 | 67.0 | 67.2 | 67.0 | 67.1019 | 67.2 | 67.2 | 67.0 | 67.0 | 67.0 | 67.0811 | 60.0 | 60.1 | 60.2 | 60.0 | 60.0 | 60.0607 |
| 500 Hz | 51.2 | 51.0 | 51.0 | 50.8 | 51.0 | 51.0018 | 47.1 | 47.3 | 47.0 | 46.7 | 46.8 | 46.9853 | 46.2 | 46.0 | 46.4 | 46.0 | 46.0 | 46.1230 | 46.1 | 46.0 | 46.3 | 46.1 | 46.0 | 46.1014 |
| 1000 Hz | 57.0 | 57.0 | 57.0 | 57.0 | 57.1 | 57.0202 | 55.0 | 55.1 | 55.2 | 55.0 | 54.8 | 55.0220 | 54.0 | 54.0 | 54.1 | 54.1 | 53.8 | 54.0014 | 51.0 | 50.7 | 51.0 | 51.0 | 51.2 | 50.9829 |

## กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของกระจกกับความดังที่ความถี่ต่างๆ (แบบที่ 16)

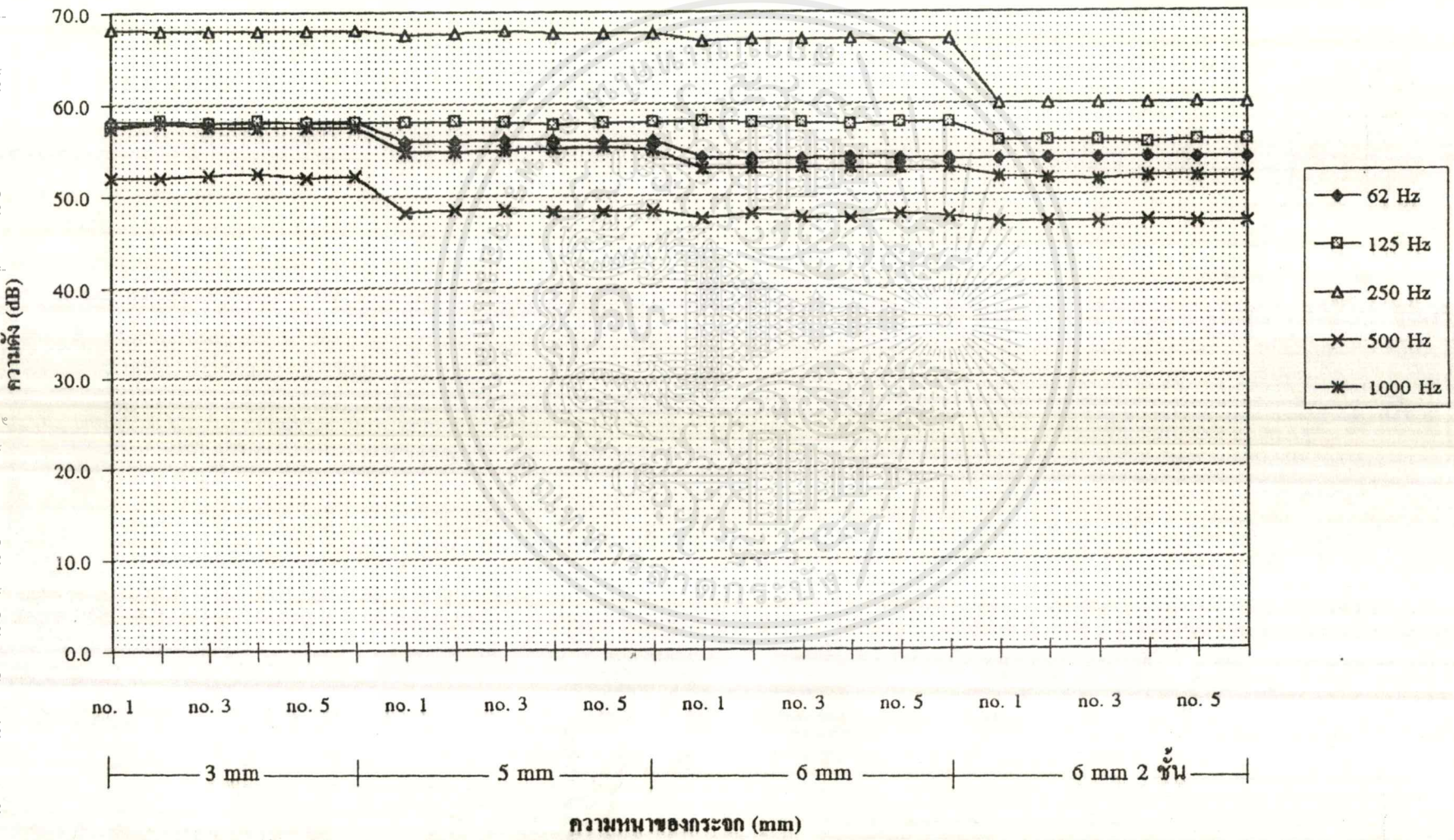


***แผ่นเล็ก ขนาดกระจก 0.67' x 2'***

แบบที่ 17 ห้องเปล่าทาสี+ม่าน+พรม และความสูงของฝ้า 1.83 ฟุต

| | 3 mm | | | | | | 5 mm | | | | | | 6 mm | | | | | | 6 mm 2ชั้น | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ความถี่ | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average |
| 62 Hz | 58.2 | 58.2 | 58.1 | 58.0 | 58.2 | 58.1407 | 56.0 | 56.0 | 56.2 | 56.2 | 56.0 | 56.0811 | 54.2 | 54.0 | 54.0 | 54.2 | 54.0 | 54.0811 | 53.9 | 54.0 | 54.0 | 54.1 | 54.0 | 54.0005 |
| 125 Hz | 57.6 | 58.3 | 58.0 | 58.3 | 58.0 | 58.0476 | 58.1 | 58.2 | 58.1 | 57.8 | 58.0 | 58.0421 | 58.2 | 58.0 | 58.0 | 57.8 | 58.0 | 58.0018 | 56.0 | 56.0 | 56.0 | 55.7 | 56.0 | 55.9416 |
| 250 Hz | 68.2 | 68.0 | 68.0 | 68.0 | 68.0 | 68.0407 | 67.5 | 67.7 | 68.0 | 67.7 | 67.7 | 67.7230 | 66.8 | 67.0 | 67.0 | 67.1 | 67.0 | 66.9811 | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 60.0 | 60.1 | 60.0202 |
| 500 Hz | 52.0 | 52.0 | 52.3 | 52.5 | 52.0 | 52.1649 | 48.2 | 48.5 | 48.5 | 48.3 | 48.3 | 48.3617 | 47.5 | 48.0 | 47.6 | 47.5 | 48.0 | 47.7262 | 47.0 | 47.1 | 47.0 | 47.2 | 47.0 | 47.0607 |
| 1000 Hz | 57.4 | 58.0 | 57.6 | 57.5 | 57.5 | 57.6052 | 54.8 | 54.8 | 55.0 | 55.2 | 55.4 | 55.0463 | 53.0 | 53.0 | 53.1 | 53.1 | 53.0 | 53.0403 | 52.0 | 51.8 | 51.6 | 52.0 | 52.0 | 51.8829 |

## กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของกระจกกับความดังที่ความถี่ต่างๆ (แบบที่ 17)



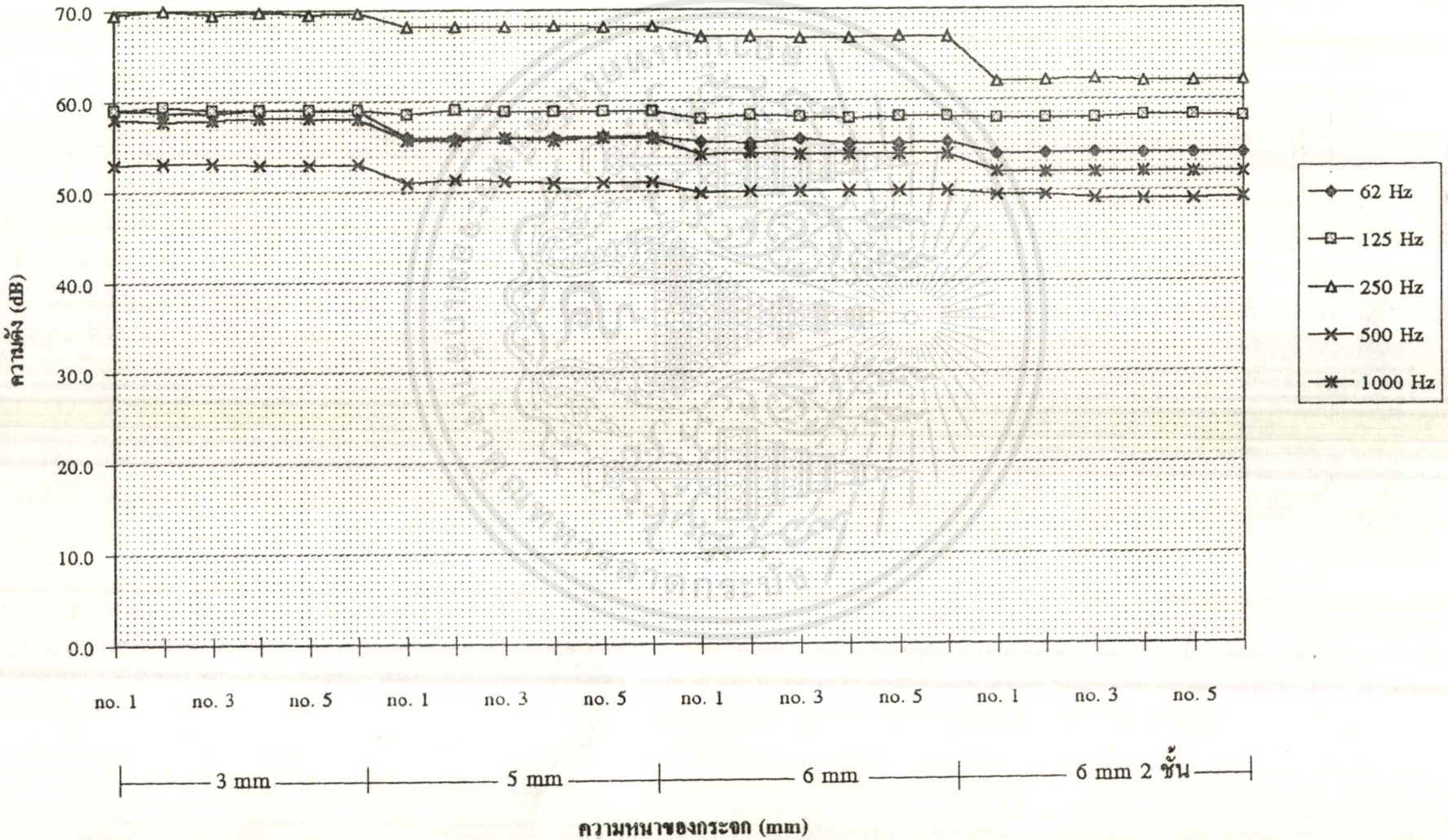

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

***แผ่นเล็ก ขนาดกระจก 0.67' x 2'***

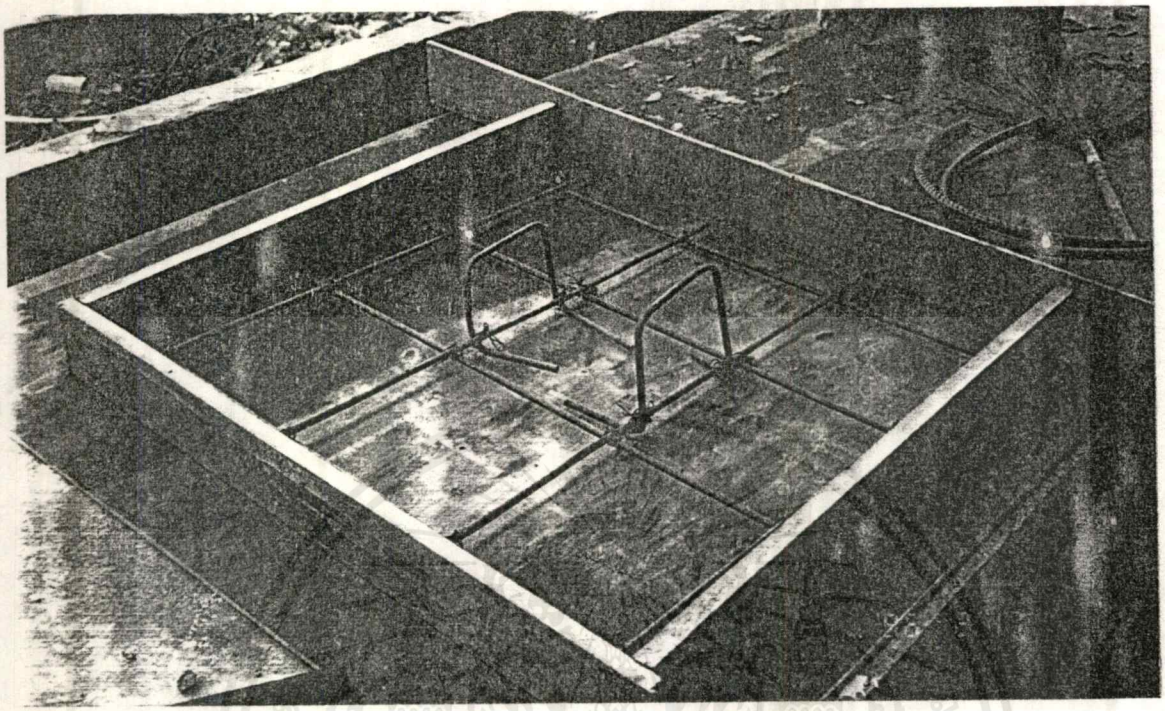
แบบที่ 18 ห้องเปล่าทาสี+ม่าน+พรม และความสูงของฝ้า 1.67 ฟุต

| | 3 mm | | | | | | 5 mm | | | | | | 6 mm | | | | | | 6 mm 2ชั้น | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ความถี่ | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average | no. 1 | no. 2 | no. 3 | no. 4 | no. 5 | Average |
| 62 Hz | 59.0 | 58.8 | 58.7 | 59.0 | 59.0 | 58.9018 | 56.1 | 56.0 | 56.0 | 56.0 | 56.2 | 56.0607 | 55.5 | 55.3 | 55.8 | 55.2 | 55.2 | 55.4061 | 54.0 | 54.1 | 54.2 | 54.1 | 54.1 | 54.1005 |
| 125 Hz | 59.0 | 59.4 | 59.0 | 59.0 | 59.0 | 59.0830 | 58.6 | 59.0 | 58.8 | 58.8 | 58.8 | 58.8018 | 58.0 | 58.4 | 58.2 | 58.0 | 58.2 | 58.1626 | 58.0 | 58.0 | 58.0 | 58.3 | 58.3 | 58.1225 |
| 250 Hz | 69.5 | 70.0 | 69.5 | 69.8 | 69.5 | 69.6649 | 68.2 | 68.2 | 68.2 | 68.3 | 68.1 | 68.2005 | 67.0 | 67.0 | 66.8 | 66.8 | 67.0 | 66.9211 | 62.0 | 62.1 | 62.3 | 62.0 | 62.0 | 62.0816 |
| 500 Hz | 53.0 | 53.2 | 53.2 | 53.0 | 53.0 | 53.0811 | 51.0 | 51.3 | 51.2 | 51.0 | 51.0 | 51.1019 | 49.8 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 49.9607 | 49.5 | 49.5 | 49.1 | 49.0 | 49.0 | 49.2262 |
| 1000 Hz | 58.1 | 57.8 | 58.0 | 58.2 | 58.2 | 58.0626 | 55.8 | 55.7 | 56.0 | 55.7 | 56.0 | 55.8421 | 54.0 | 54.2 | 54.0 | 54.0 | 54.0 | 54.0407 | 52.1 | 52.0 | 52.0 | 52.1 | 52.0 | 52.0403 |

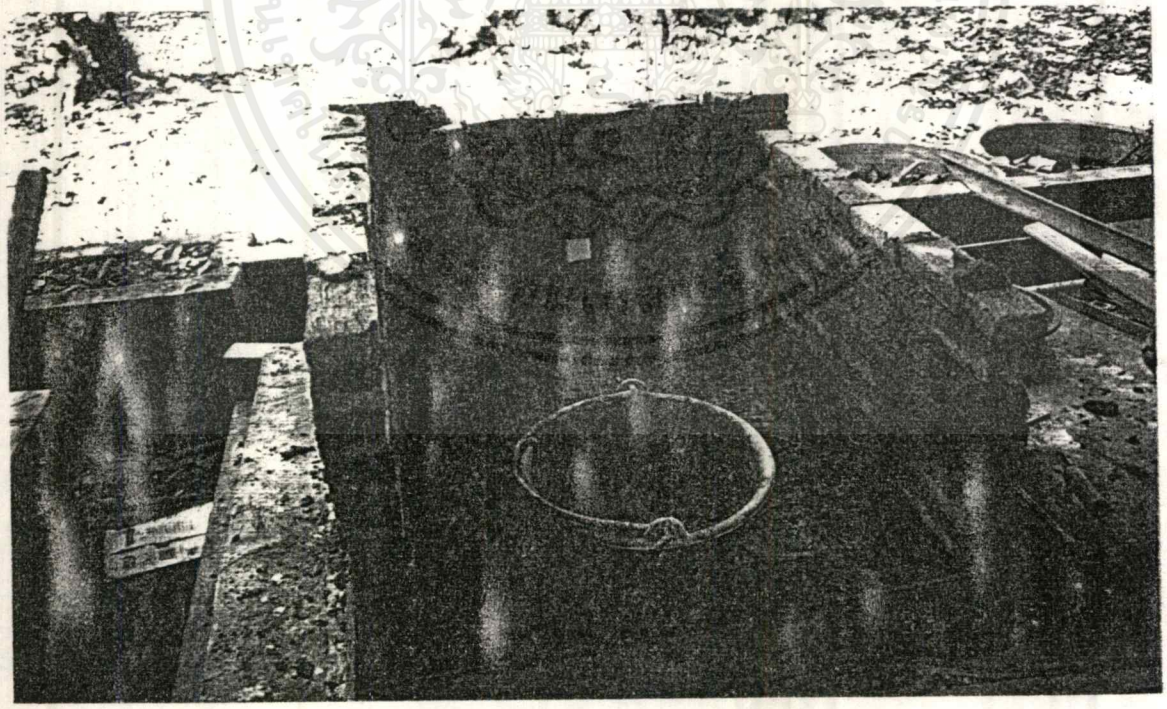
## กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของกระจกกับความดังที่ความถี่ต่างๆ (แบบที่ 18)



## รูปการทดลอง

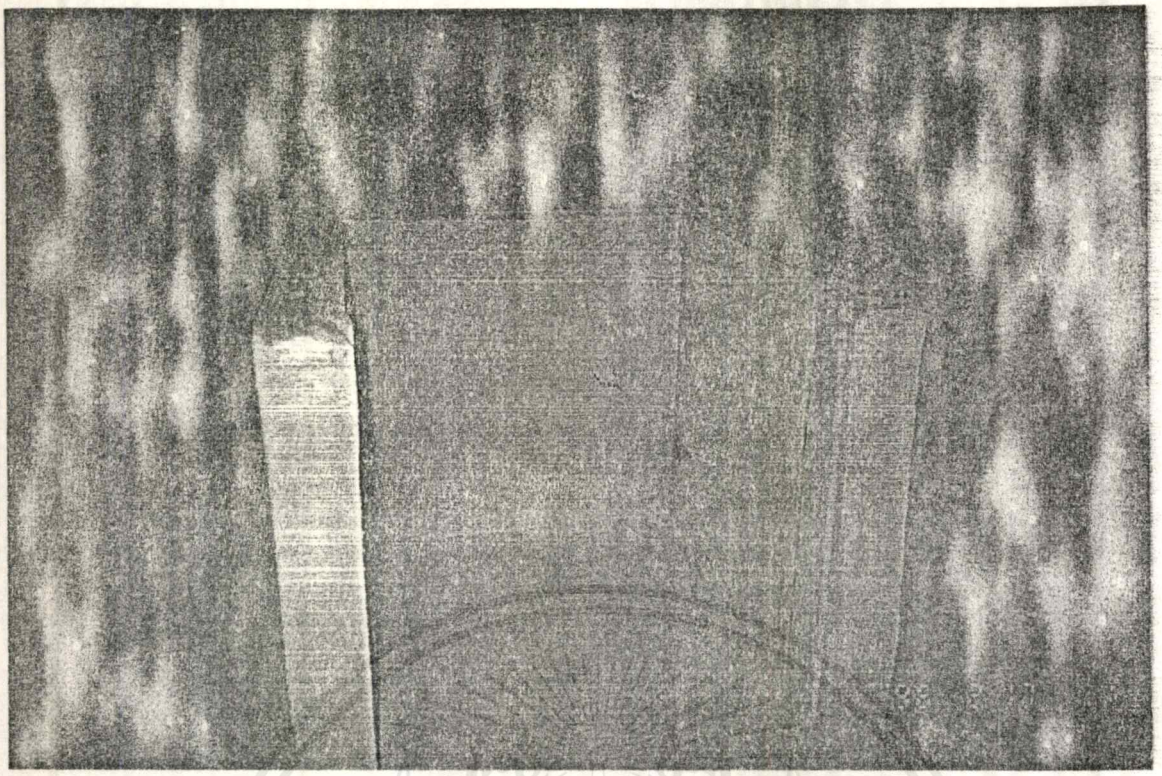


รูป 3.1 แสดงการประกอบแบบและวางเหล็กทำพื้นและฝาด้านบน

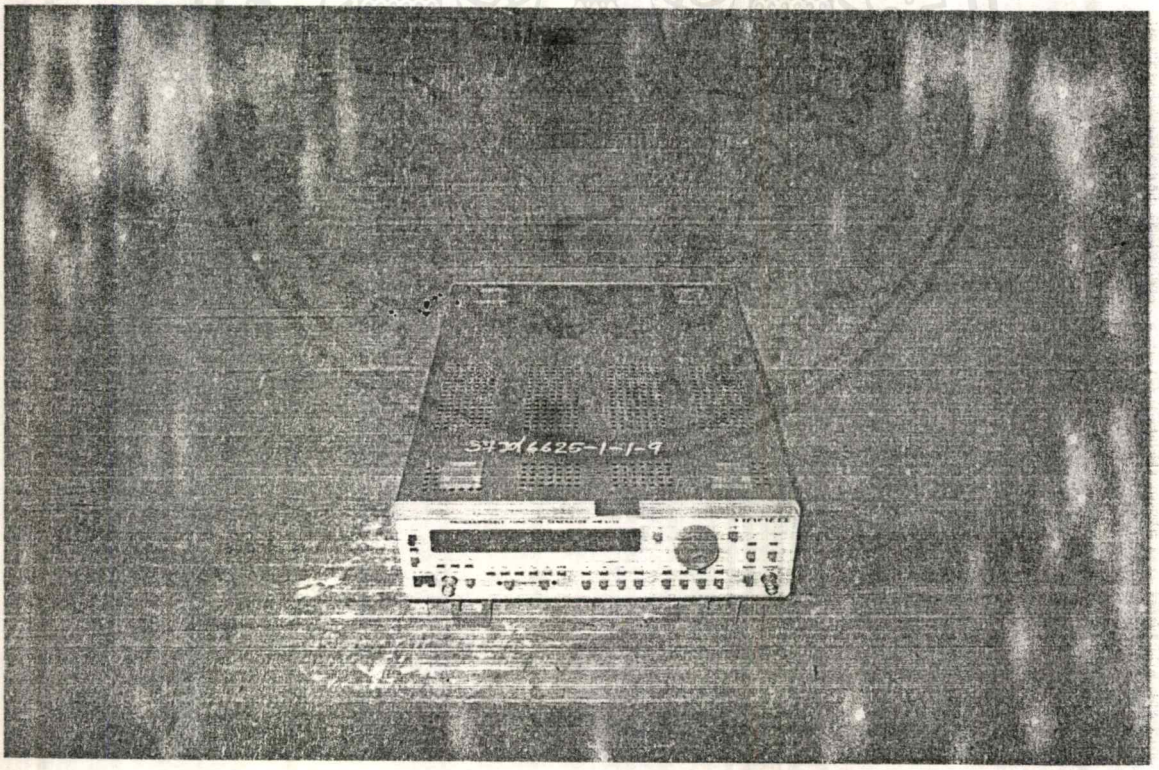


รูป 3.2 แสดงการก่อผนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

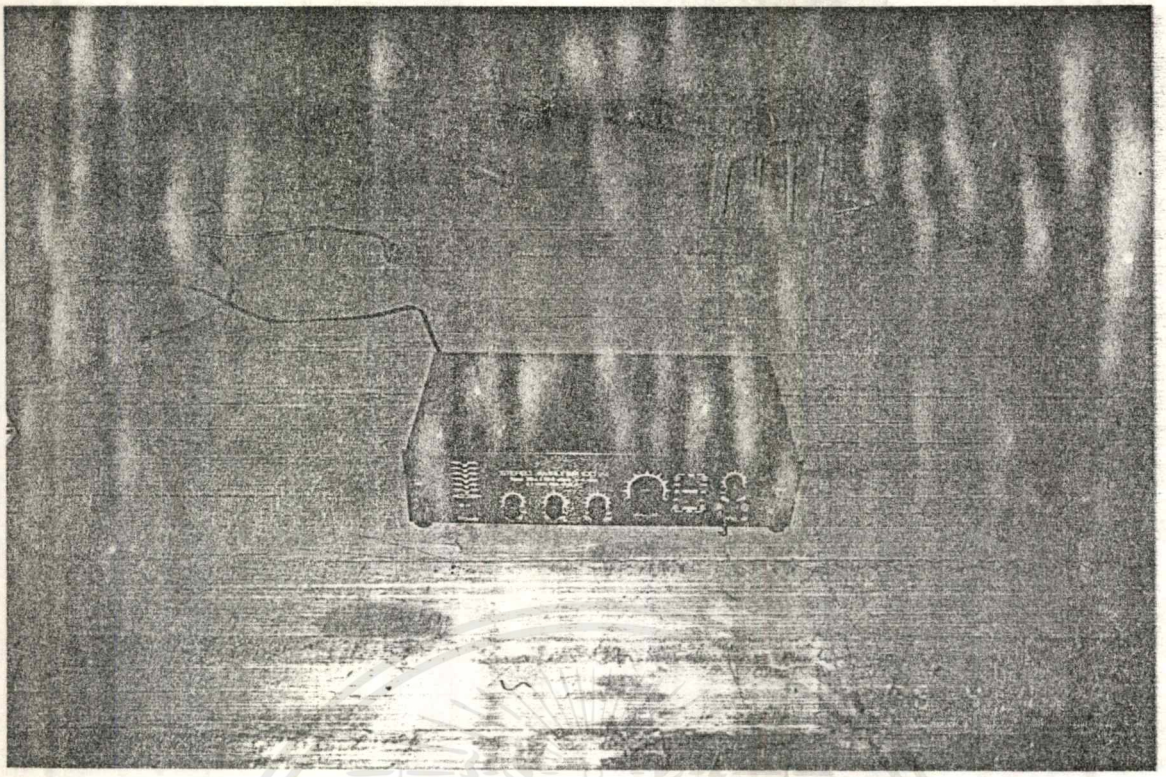


รูป 3.3 แสดงภาพหลังจากฉาบแล้ว

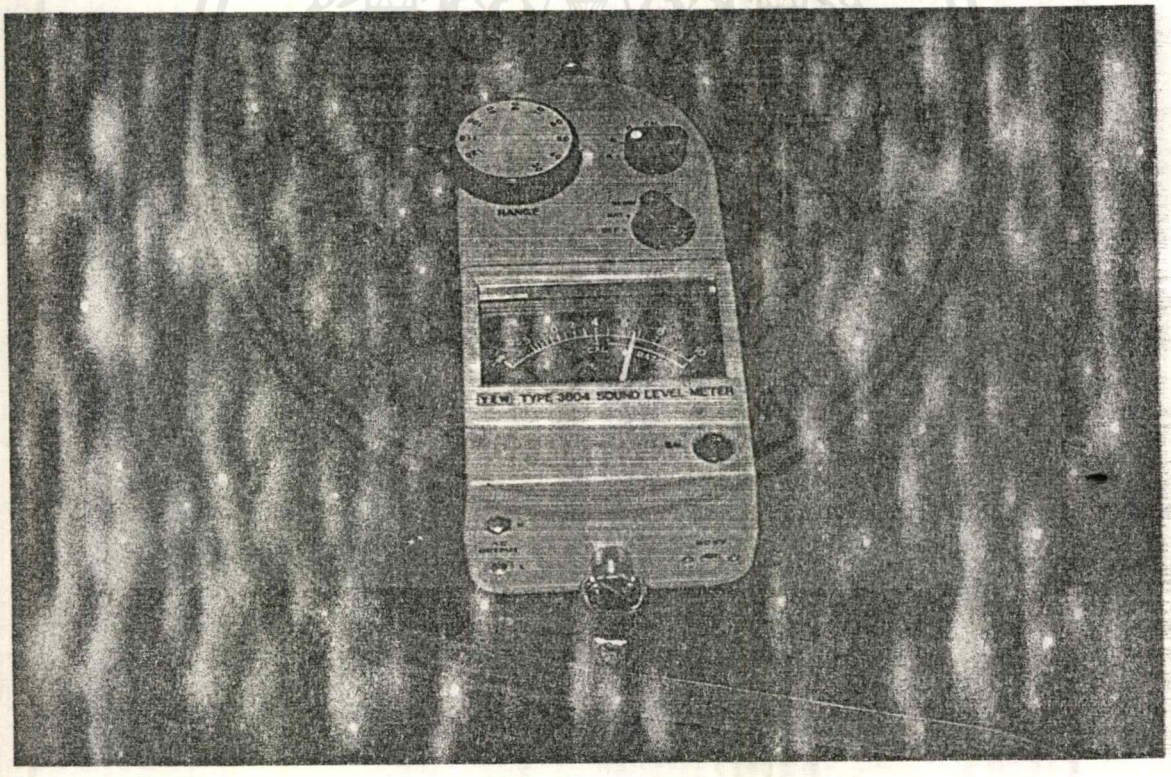


รูป 3.4 Function Generator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

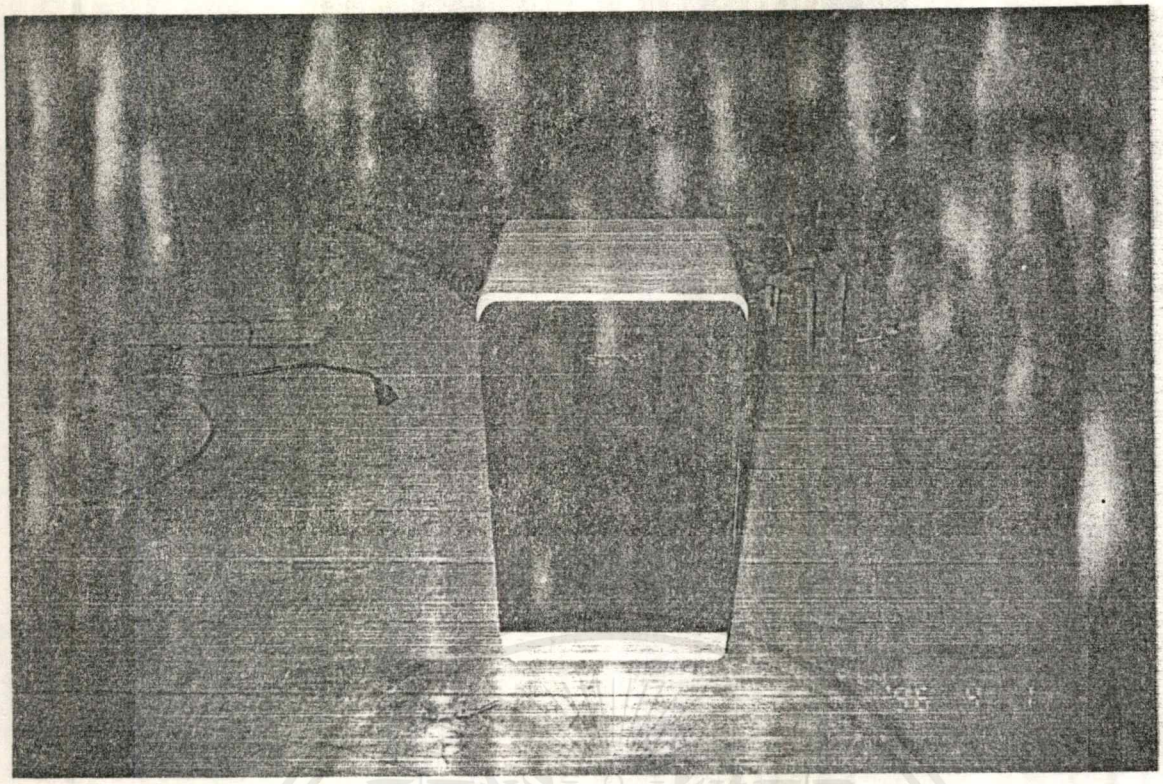


รูป 3.5 แสดง Amplifier

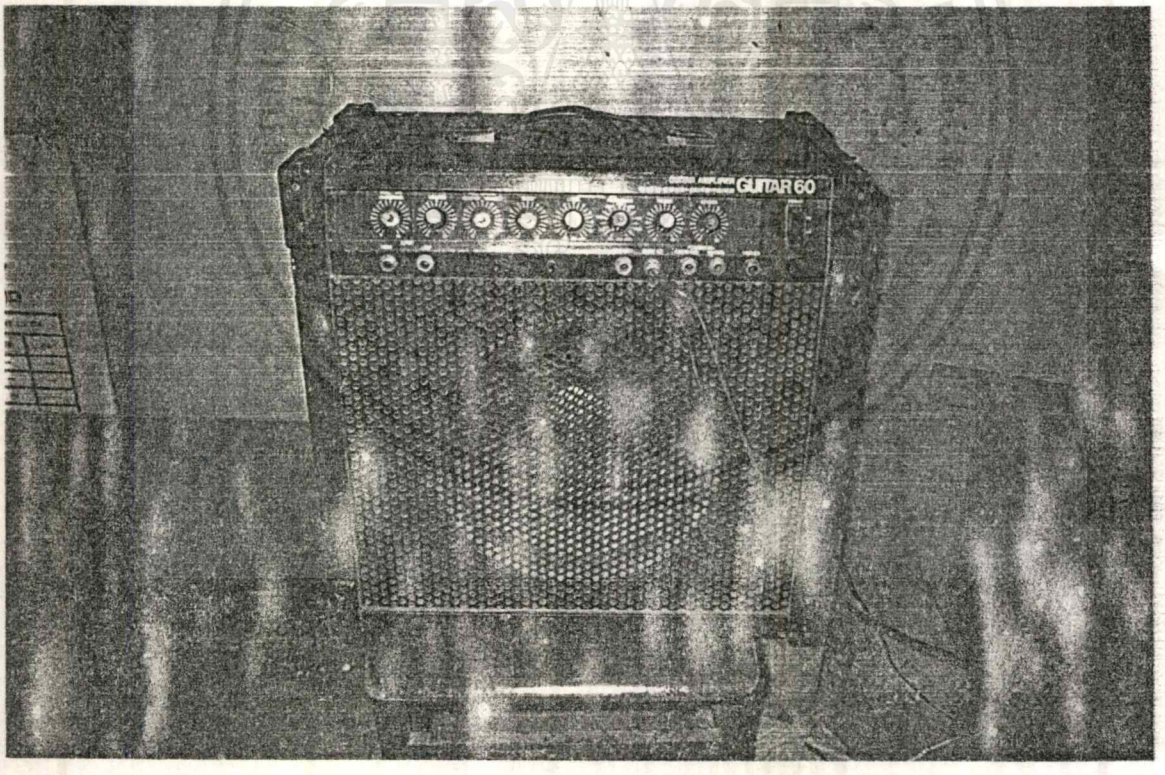



รูป 3.6 Decibel Meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

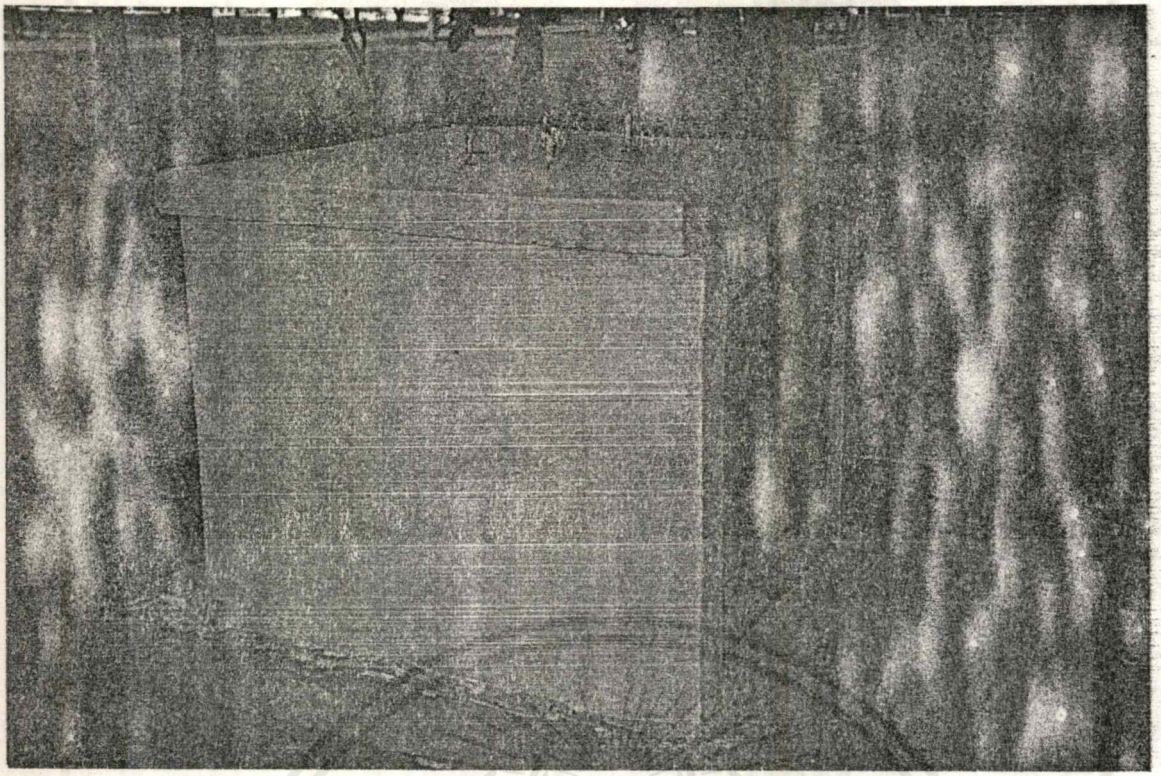


รูป 3.7 ลำโพง

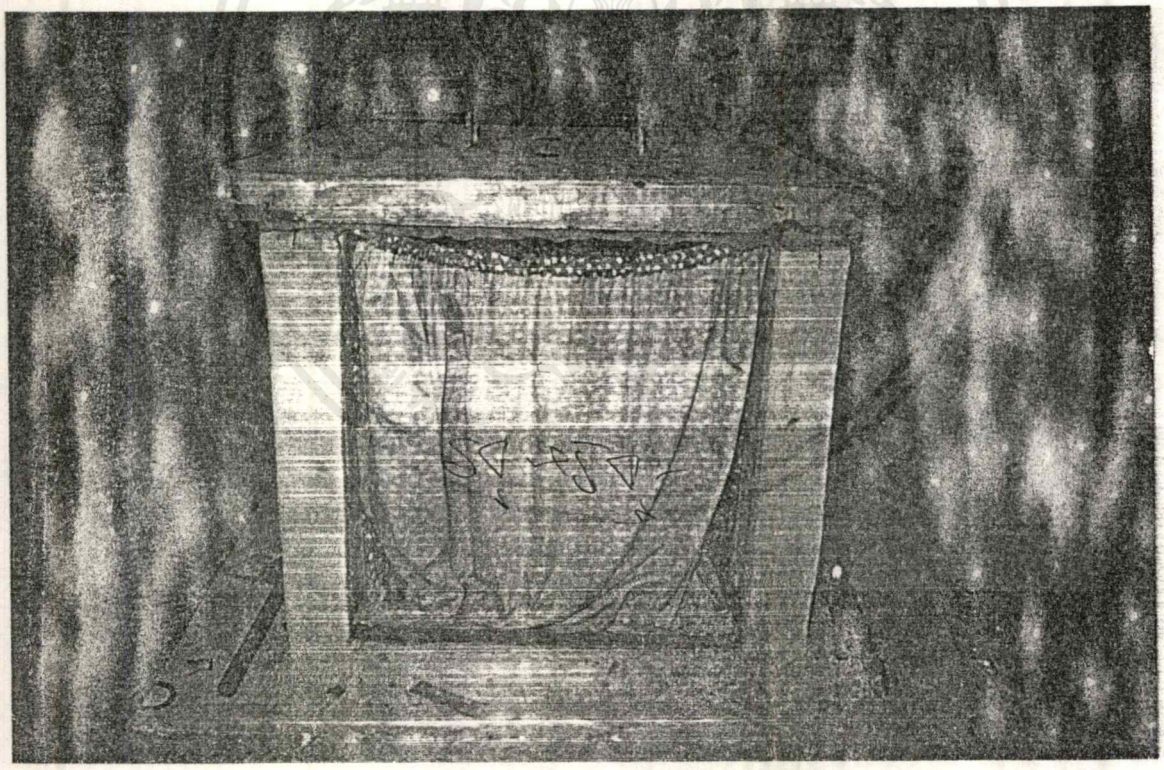



รูป 3.8 ลำโพงพร้อม Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

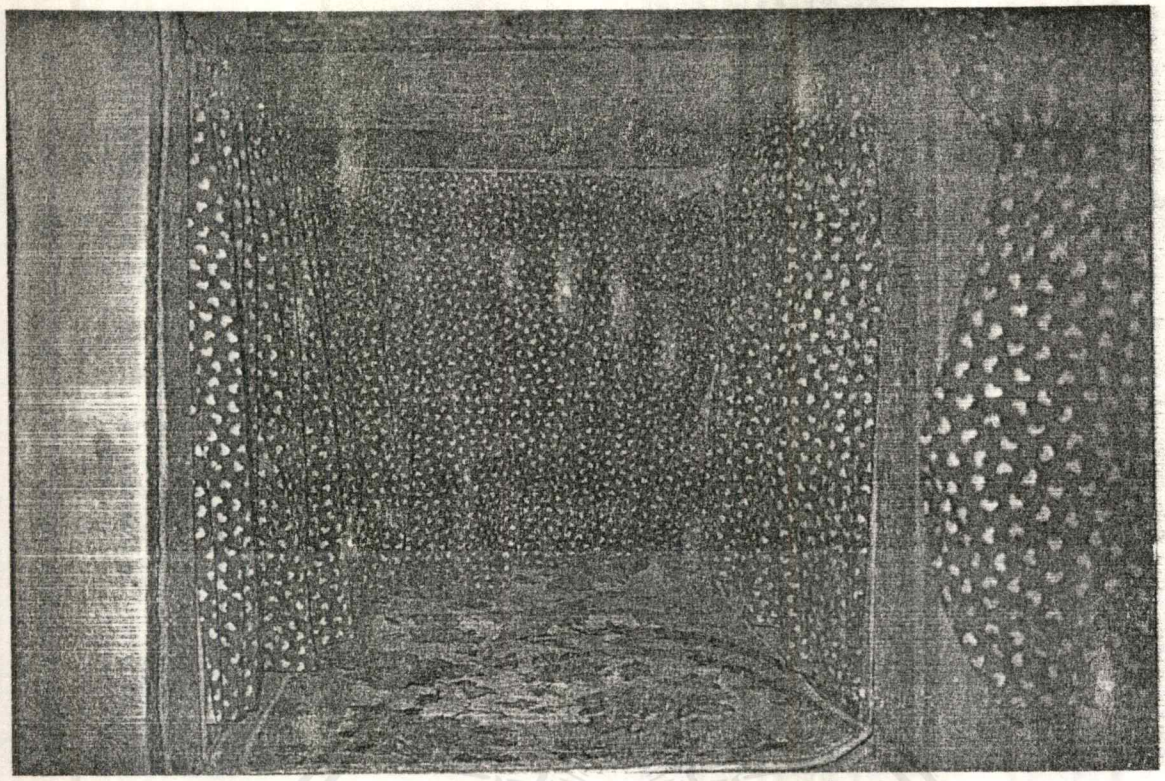


รูป 3.9 แสดงห้องทดลอง

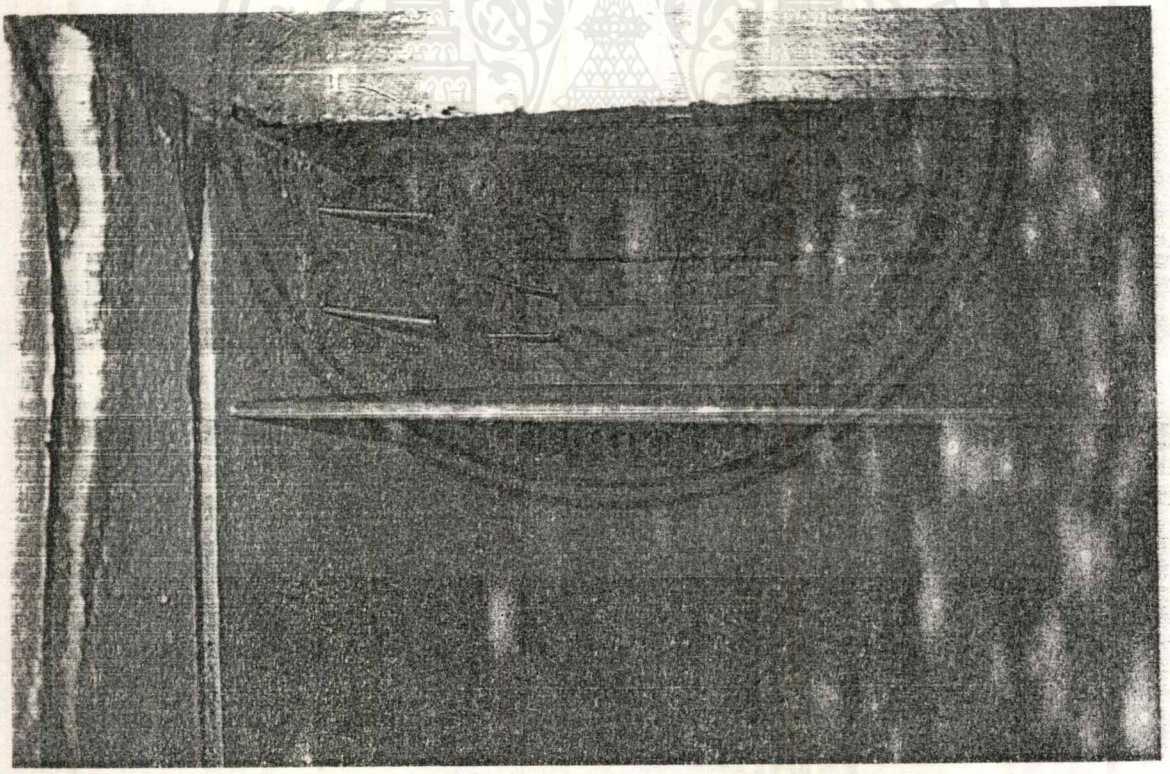


รูป 3.10 แสดงการประกอบผ้าม่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

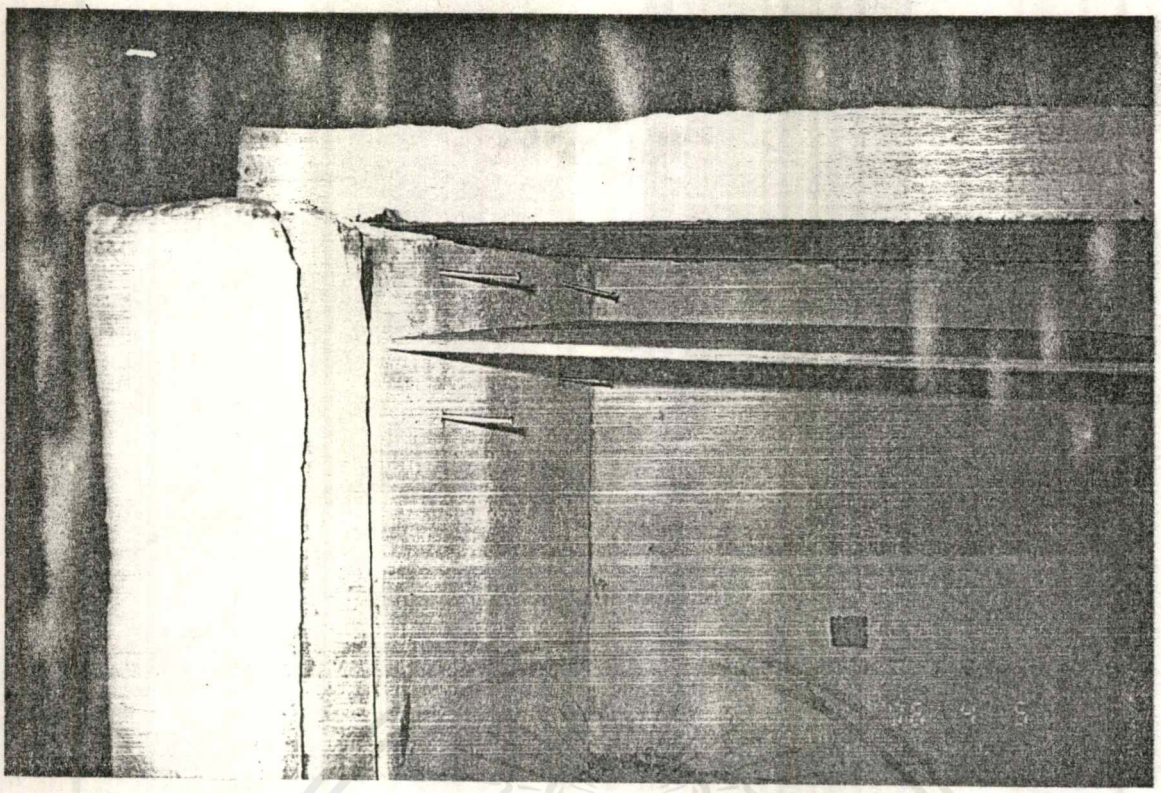


รูป 3.11 รูปแสดงการประกอบผ้าม่านและพรม

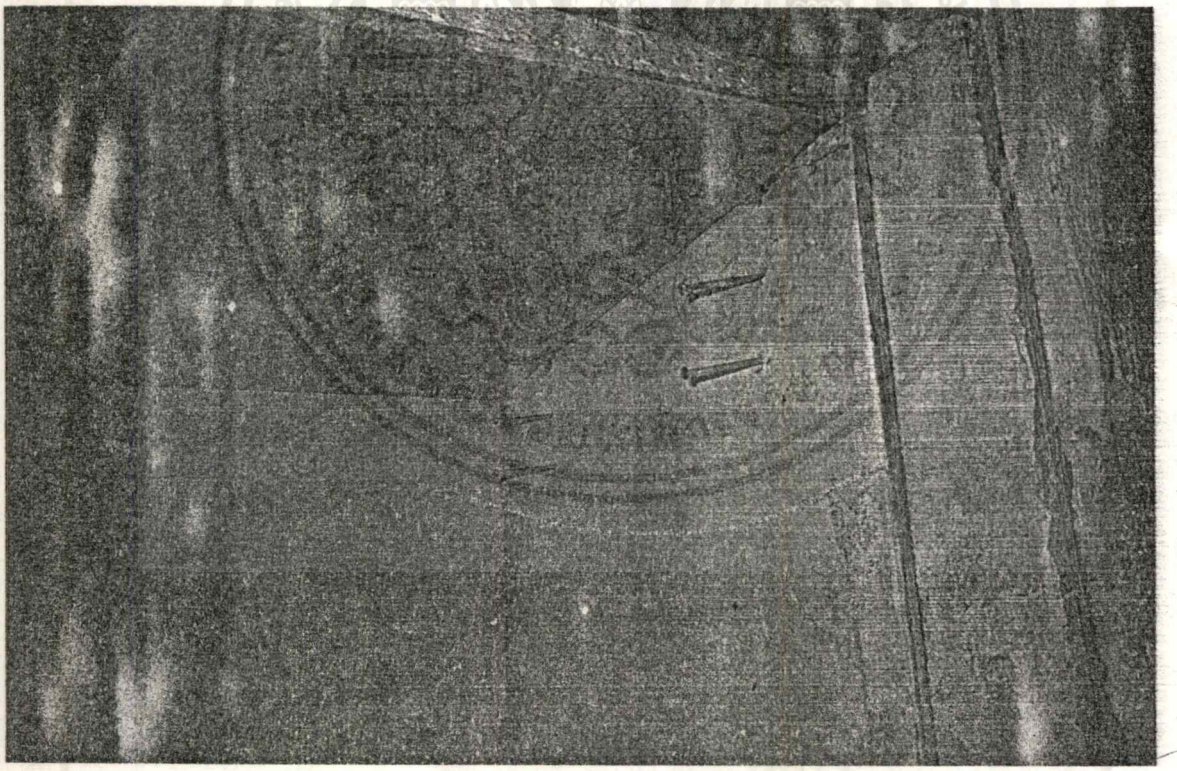


รูป 3.12 แสดงการประกอบฝ้าเพดานระดับล่าง( -10.00 ซม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

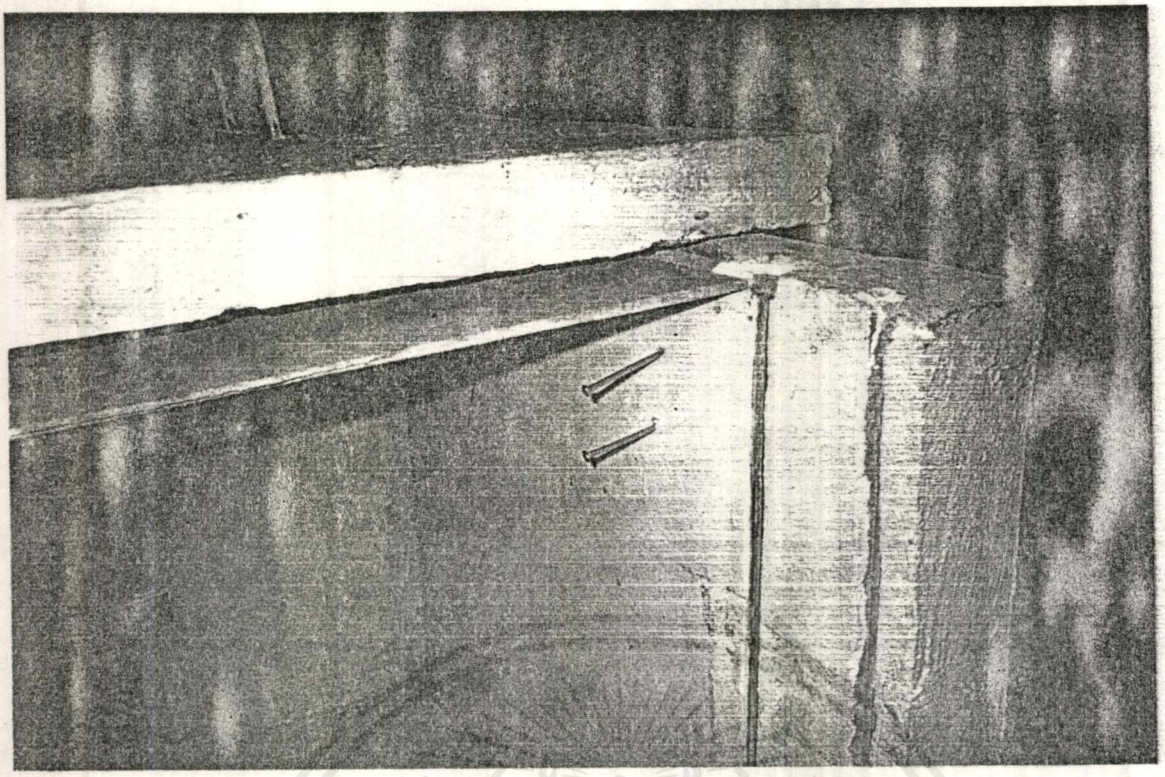


รูป 3.13 แสดงการประกอบฝ้าระดับกลาง (- 5.00 ซม.)

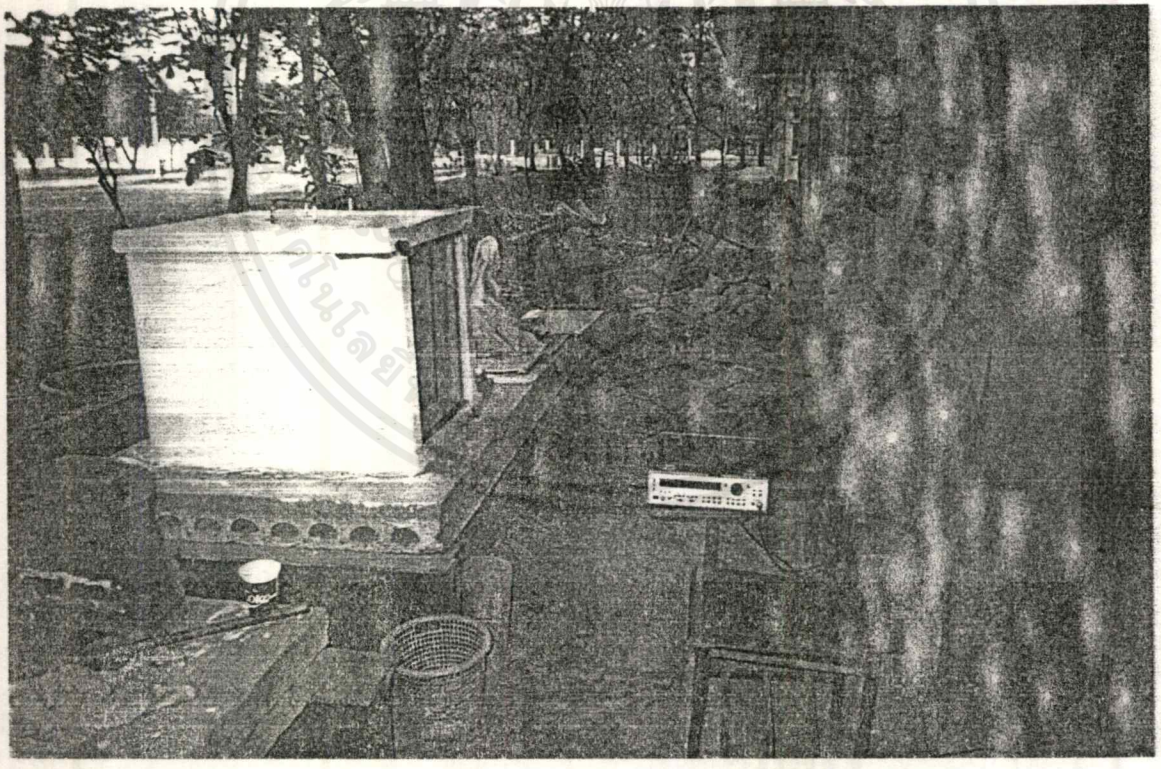


รูป 3.14 แสดงการประกอบฝ้าระดับบน ( +-0.00 ซม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

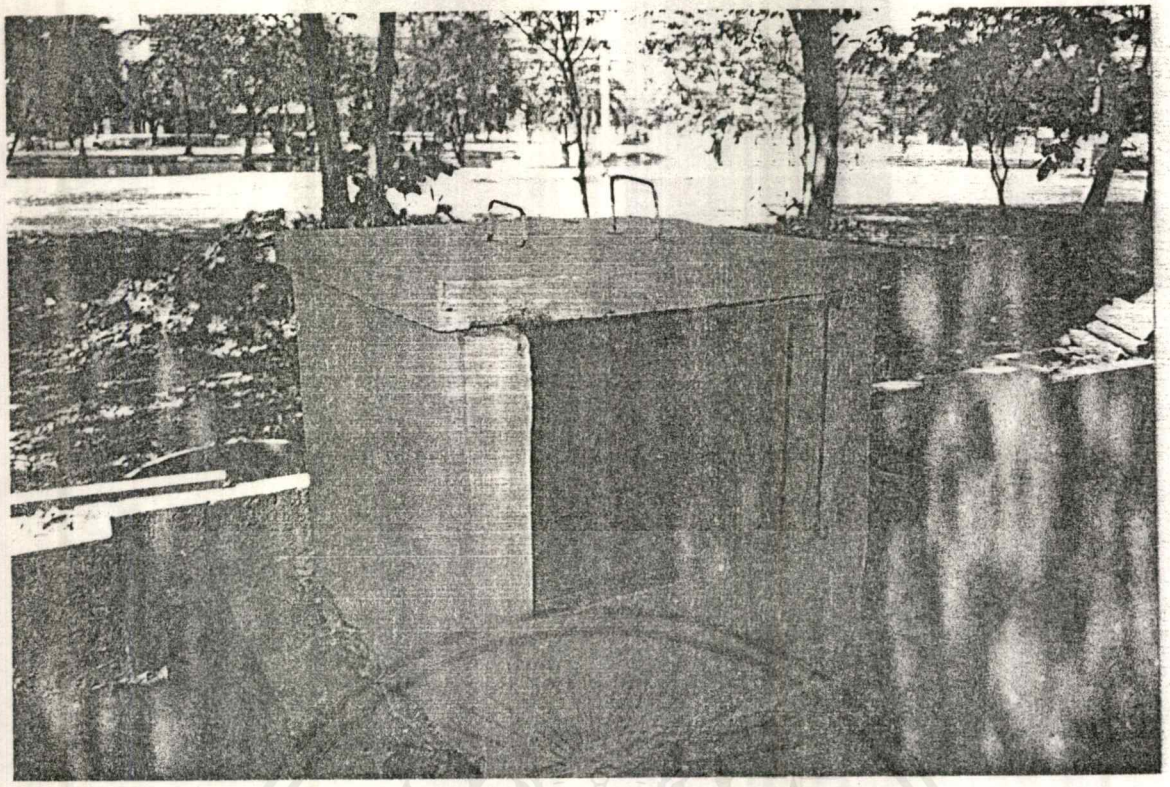


รูป 3.15 แสดงการประกอบฝ้าเพดานระดับบน



รูป3.16 แสดงการต่ออุปกรณ์และการทดลอง

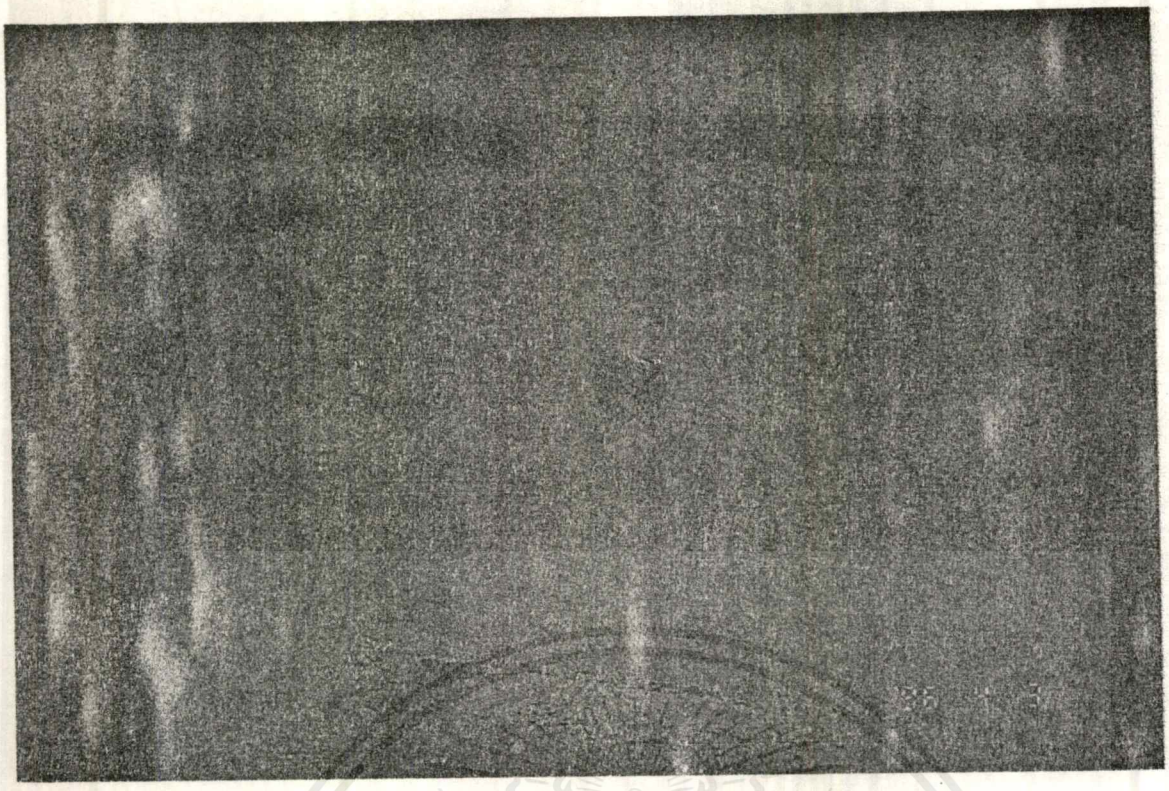
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



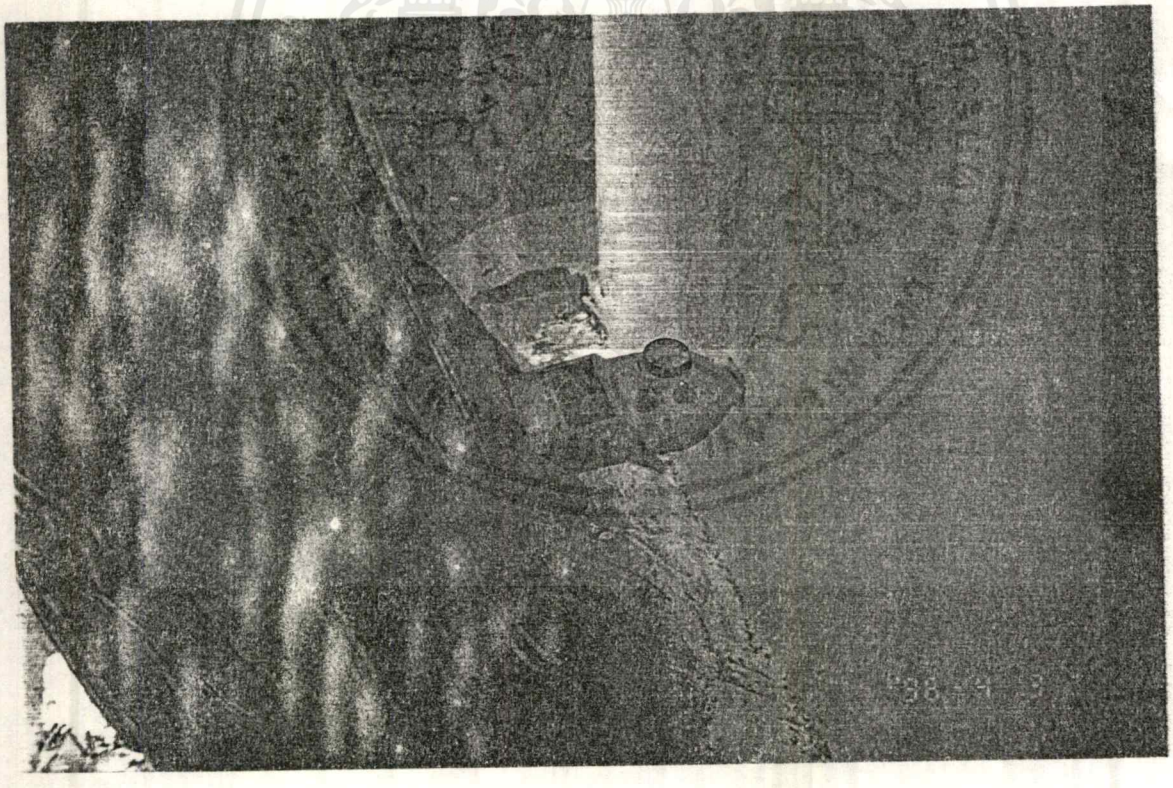
รูป 3.17 แสดงห้องทดลอง

รูป 3.18 แสดงห้องทดลองด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

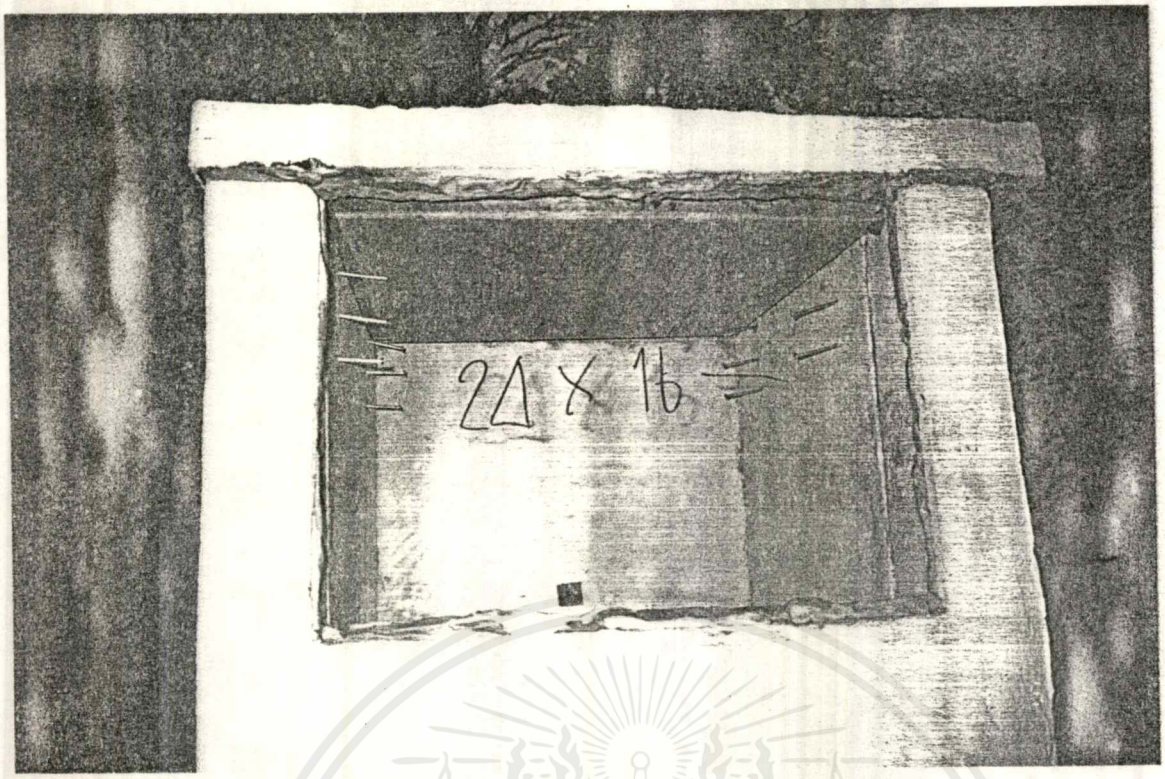


รูป 3.19 แสดงช่องวัดเสียงด้านหลัง

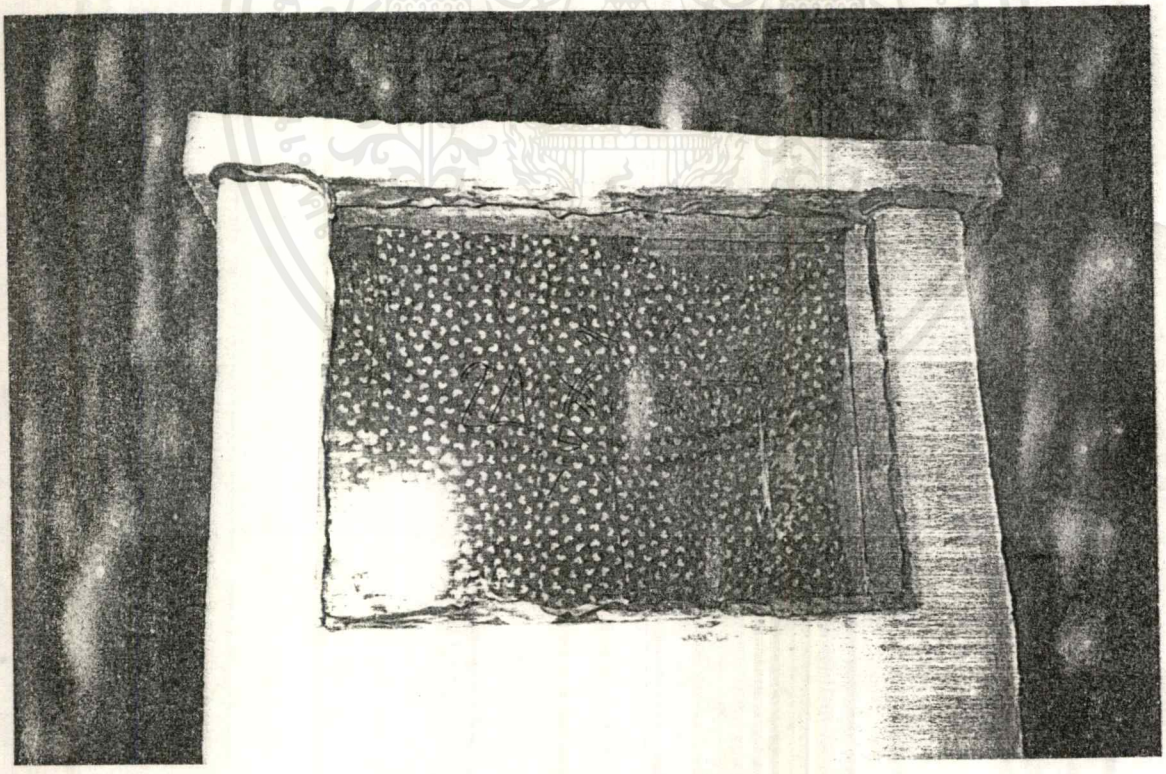


รูป 3.20 แสดงการวัดเสียงภายในห้องทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

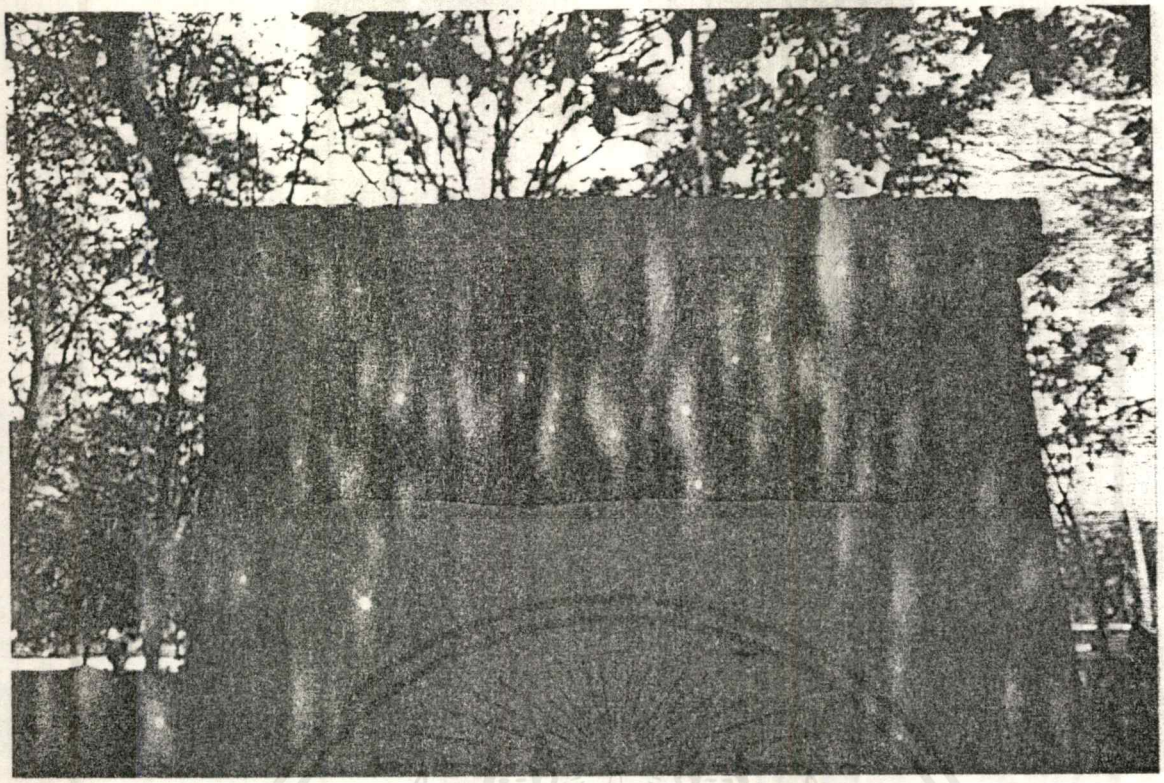



รูป 3.21 แสดงการทดลองที่กระจกขนาด 2ฟุต X 1 1/3ฟุต

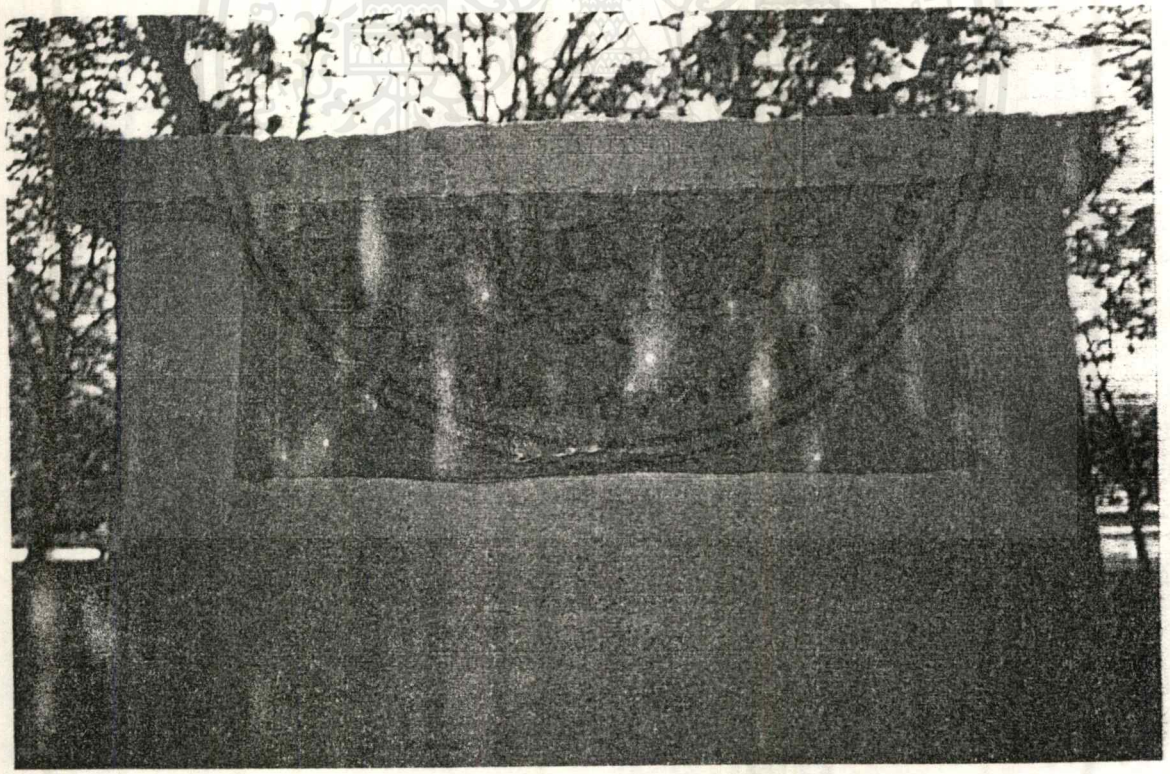


รูป 3.22แสดงการทดลองที่กระจกขนาด 2ฟุต X 1 1/3ฟุต ประกอบผ้าม่านและพรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

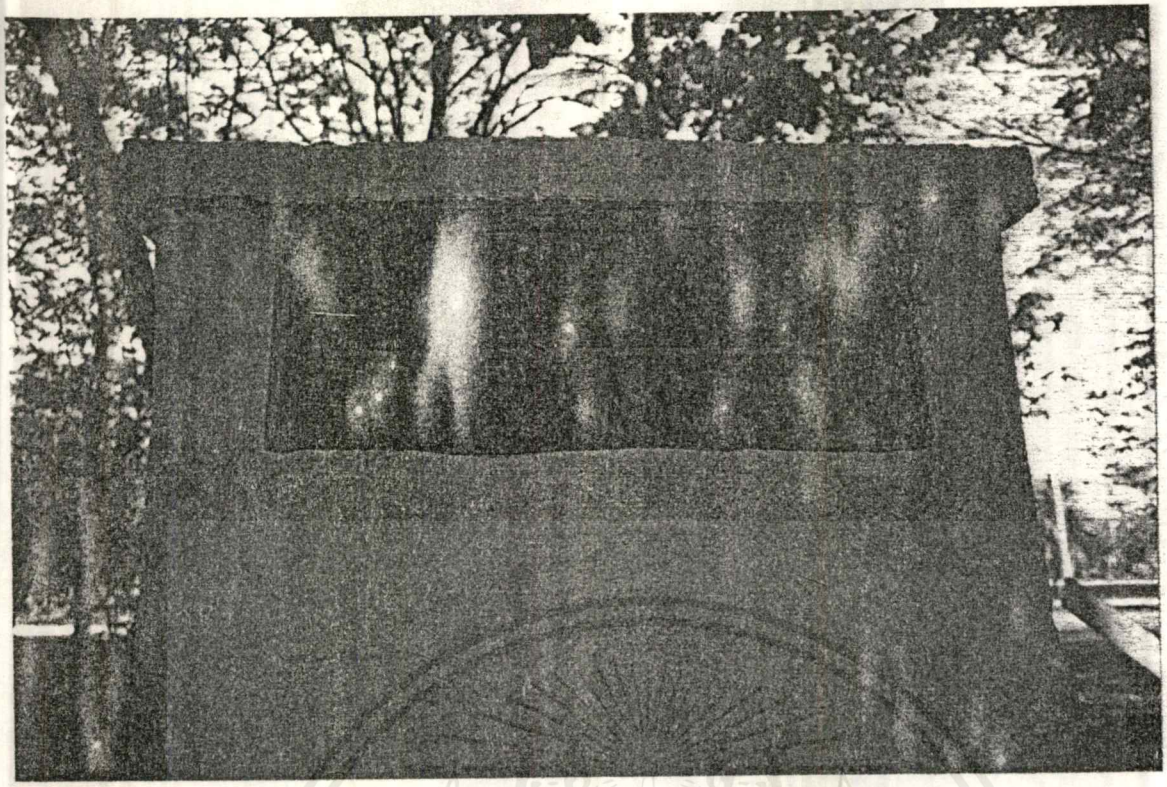


รูป 3.23 รูปแสดงการทดลองที่กระจกขนาด 2ฟุต X 2/3ฟุตที่เพดานระดับสูง

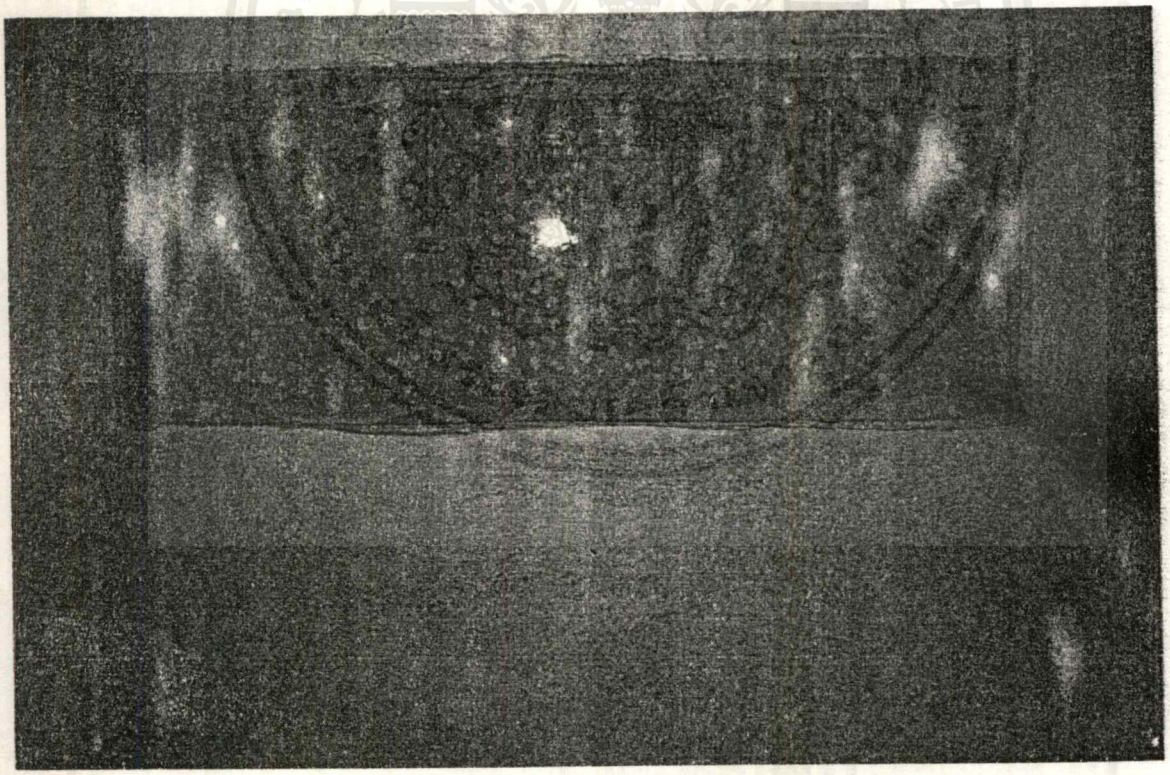


รูป 3.24 รูปแสดงการทดลองที่กระจกขนาด 2ฟุต X 2/3ฟุตที่เพดานระดับกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.25 รูปแสดงการทดลองที่กระจกขนาด 2ฟุต X 2/3ฟุตที่เพดานระดับล่าง



รูป 3.26รูปแสดงการทดลองที่กระจกขนาด 2ฟุต X 2/3ฟุต ประกอบผ้าม่านและพรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม

1.การศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของโครงการท่าอากาศยานสากลกรุงเทพแห่งที่สองต่อสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ของภาควิชาวิศวกรรมโยธา สจล.

2.รำพึง มังคละสวัสดิ์ ,วิศวกรรมระบบเสียง

3.Michael Rettinger , "Acoustic Design and Noise Control"

4.Cyril M. Harris , "Noise Control in Building", Mc Graw Hill , NY 1994

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้