

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สมรรถนะทางเสียงของผนังแบบมีช่องอากาศ

Acoustic Performance of Paneling with Air gap



นายันทศักดิ์
นายสรารุช

โษะมิน
สว่างศรี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

ศ.ร.

๙/4/๕๐

๑๖๕๐

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 95164

วัน,เดือน,ปี..... 21 พ.ค. 2552

b. 1203682x
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมรรถนะทางเสียงของผนังแบบมีช่องอากาศ
Acoustic Performance of Paneling with Air gap



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **สมรรถนะทางเสียงของผนังแบบมีช่องอากาศ**

Acoustic Performance of Paneling with Air gap

ผู้จัดทำ

1. นายนันทศักดิ์ โฉะมิน รหัสประจำตัว 48015377
2. นายสรารุช สว่างศรี รหัสประจำตัว 48015401



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. มิ่ง โลกิจแสงทอง)



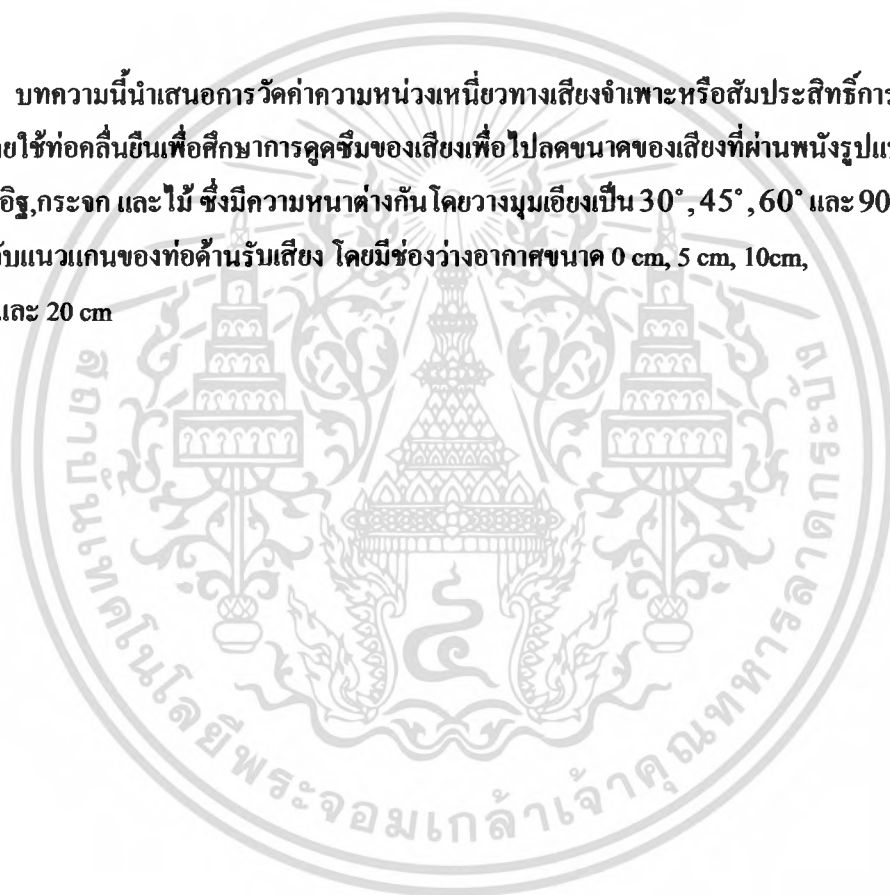
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมรรถนะทางเสียงของผนังแบบมีช่องอากาศ

นาย นันทศักดิ์ โഴ๊ะมิน	48015377
นาย สราวุธ สว่างศรี	48015401
ผศ. มิ่ง โลกิจแสงทอง	อาจารย์ที่ปรึกษา ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวัดค่าความหน่วงเหนี่ยวทางเสียงจำเพาะหรือสัมประสิทธิ์การดูดซับของเสียงโดยใช้ท่อคลื่นยืนเพื่อศึกษาการดูดซับของเสียงเพื่อไปลดขนาดของเสียงที่ผ่านผนังรูปแบบต่างๆ โดยใช้แผ่นอิฐ, กระจก และ ไม้ ซึ่งมีความหนาต่างกัน โดยวางมุมเอียงเป็น 30° , 45° , 60° และ 90° กับระนาบขนานกับแนวแกนของท่อด้านรับเสียง โดยมีช่องว่างอากาศขนาด 0 cm, 5 cm, 10cm, 15 cm และ 20 cm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Acoustic Performance of Paneling with Air gap

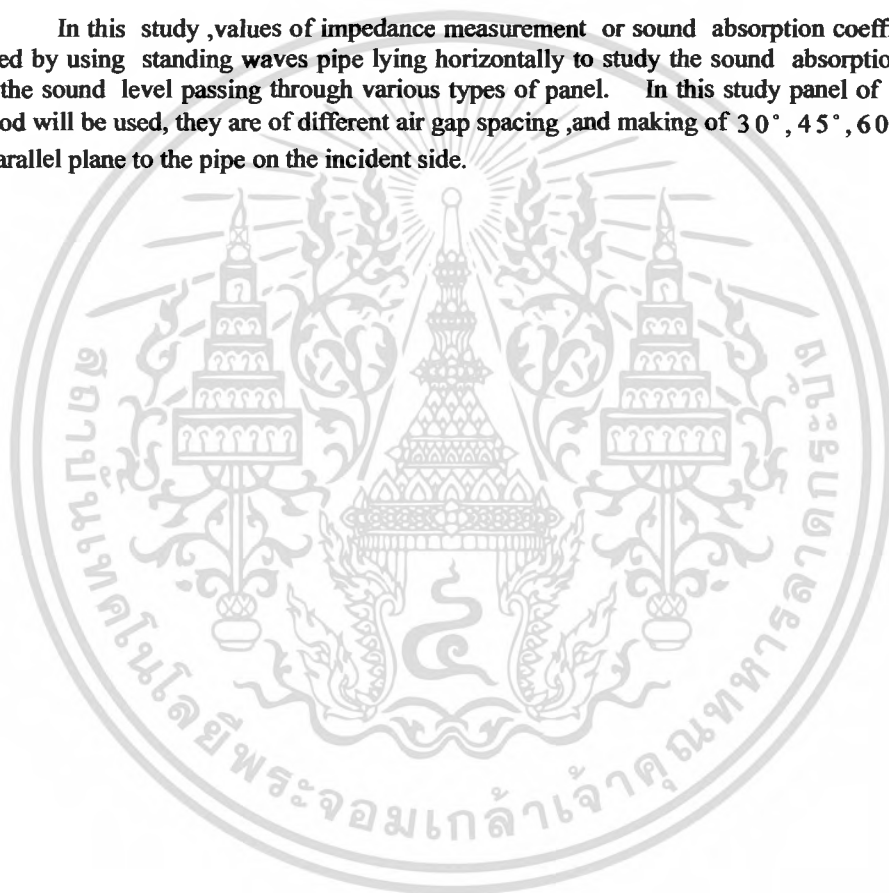
Natasak Somin 48015377

Sarawut Sawangsri 48015401

Asist. Prof. Ming Lokitsangtong Advisor

Abstract

In this study, values of impedance measurement or sound absorption coefficient will be presented by using standing waves pipe lying horizontally to study the sound absorption in order to reduce the sound level passing through various types of panel. In this study panel of brick, glass and wood will be used, they are of different air gap spacing, and making of 30° , 45° , 60° and 90° with parallel plane to the pipe on the incident side.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง สมรรถนะทางเสียงของผนังแบบมีช่องอากาศไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลายๆฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกคือ ผศ.มิ่ง โลกิจแสงทอง อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ และ ผศ.พงษ์ศักดิ์ คำมูล ที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ปริญญาานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ด้วยดี ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือมาโดยตลอด ซึ่งต้องขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ และบุคลากรของภาควิชาเครื่องกล ที่ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด ขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่ให้คำแนะนำ ติ-ชม ความช่วยเหลือ และกำลังใจให้ผู้จัดทำมาโดยตลอด และท้ายที่สุดนี้ ขอขอบคุณบิดา มารดา ที่สนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นันทศักดิ์ โฉะมิน
สราวุธ สว่างศรี

สารบัญตาราง

หน้าที่

ตารางที่ 3.1	ความเร็วเสียงในแก๊ส, ของเหลวและของแข็ง	11
ตารางที่ 3.2	ความเร็วเสียงในค้ำกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน	12
ตารางที่ 3.3	ระดับความดังเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ	17
ตารางที่ 3.4	กำลังและระดับกำลังของแหล่งกำเนิดเสียงประเภทต่าง ๆ	19
ตารางที่ 5.1	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐที่หนา 1, 2, 3 cm มุม 90 องศา ไม่มีช่องว่างอากาศ	48
ตารางที่ 5.2	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ ที่หนา 1, 2, 3 cm มุม 60 องศา ไม่มีช่องว่างอากาศ	48
ตารางที่ 5.3	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ ที่หนา 1, 2, 3 cm มุม 45 องศา ไม่มีช่องว่างอากาศ	48
ตารางที่ 5.4	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ ที่หนา 1, 2, 3 cm มุม 30 องศา ไม่มีช่องว่างอากาศ	49
ตารางที่ 5.5	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ ที่หนา 1, 2, 3 cm มุม 90 องศา ช่องว่างอากาศ 5 cm	49
ตารางที่ 5.6	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ ที่หนา 1, 2, 3 cm มุม 60 องศา ช่องว่างอากาศ 5 cm	49
ตารางที่ 5.7	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ ที่หนา 1, 2, 3 cm มุม 45 องศา ช่องว่างอากาศ 5 cm	50
ตารางที่ 5.8	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ ที่หนา 1, 2, 3 cm มุม 30 องศา ช่องว่างอากาศ 5 cm	50
ตารางที่ 5.9	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐที่หนา 1, 2, 3 cm มุม 90 องศา ช่องว่างอากาศ 10 cm	50
ตารางที่ 5.10	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ ที่หนา 1, 2, 3 cm มุม 60 องศา ช่องว่างอากาศ 10 cm	51
ตารางที่ 5.11	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐที่หนา 1, 2, 3 cm มุม 45 องศา ช่องว่างอากาศ 10 cm	51
ตารางที่ 5.12	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐที่หนา 1, 2, 3 cm มุม 30 องศา ช่องว่างอากาศ 10 cm	51
ตารางที่ 5.13	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ ที่หนา 1, 2, 3 cm มุม 90 องศา ช่องว่างอากาศ 15 cm	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้าที่

ตารางที่ 5.14	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ ที่หนา 1 ,2 ,3 cm มุม 60 องศา ช่องว่างอากาศ 15 cm	52
ตารางที่ 5.15	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ ที่หนา 1 ,2 ,3 cm มุม 45 องศา ช่องว่างอากาศ15 cm	52
ตารางที่ 5.16	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ ที่หนา1,2,3 cm มุม30องศา ช่องว่างอากาศ 15 cm	53
ตารางที่ 5.17	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ ที่หนา 1 ,2 , 3 cm มุม 90องศาช่องว่างอากาศ 20cm	53
ตารางที่ 5.18	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐที่หนา 1 ,2 ,3 cm มุม 60 องศา ช่องว่างอากาศ 20 cm	53
ตารางที่ 5.19	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐที่หนา 1 , 2 ,3 cm มุม 45 องศา ช่องว่างอากาศ 20 cm	54
ตารางที่ 5.20	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐที่หนา1,2,3 cm มุม30องศา ช่องว่างอากาศ 20 cm	54
ตารางที่ 5.21	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจก ที่หนา 1 ,2 ,3 cm มุม 90 องศา ไม่มีช่องว่างอากาศ	55
ตารางที่ 5.22	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่หนา 1 ,2 ,3 cm มุม 60 องศา ไม่มีช่องว่างอากาศ	55
ตารางที่ 5.23	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่หนา 1 ,2 ,3 cm มุม 45 องศา ไม่มีช่องว่างอากาศ	55
ตารางที่ 5.24	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่หนา 1 ,2 ,3 cm มุม 30 องศา ไม่มีช่องว่างอากาศ	56
ตารางที่ 5.25	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจก ที่หนา 1 ,2 ,3 cm มุม 90 องศาช่องว่างอากาศ 5 cm	56
ตารางที่ 5.26	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจก ที่หนา 1 ,2 ,3 cm มุม 60 องศา ช่องว่างอากาศ 5 cm	56
ตารางที่ 5.27	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจก ที่หนา 1 ,2 ,3cm มุม 45 องศา ช่องว่างอากาศ 5 cm	57
ตารางที่ 5.28	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจก ที่หนา 1 ,2 ,3 cm มุม30 องศาช่องว่างอากาศ 5 cm	57
ตารางที่ 5.29	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจก ที่หนา 1 ,2 ,3 cm มุม 90 องศา ช่องว่างอากาศ 10 cm	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้าที่

ตารางที่ 5.30	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจก ที่หนา 1,2,3cm มุม 60 องศา ช่องว่างอากาศ 10 cm	58
ตารางที่ 5.31	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจก ที่หนา 1,2,3cm มุม 45 องศา ช่องว่างอากาศ 10 cm	58
ตารางที่ 5.32	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจก ที่หนา 1,2,3cm มุม 30 องศา ช่องว่างอากาศ 10 cm	58
ตารางที่ 5.33	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจก ที่หนา 1,2,3 cm มุม 90 องศา ช่องว่างอากาศ 15 cm	59
ตารางที่ 5.34	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจก ที่หนา 1,2,3cm มุม 60 องศา ช่องว่างอากาศ 15 cm	59
ตารางที่ 5.35	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจก ที่หนา 1,2,3cm มุม 45 องศา ช่องว่างอากาศ 15 cm	59
ตารางที่ 5.36	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจก ที่หนา 1,2,3cm มุม 30 องศา ช่องว่างอากาศ 15 cm	60
ตารางที่ 5.38	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจก ที่หนา 1,2,3cm มุม 90 องศา ช่องว่างอากาศ 20 cm	60
ตารางที่ 5.39	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจก ที่หนา 1,2,3cm มุม 60 องศา ช่องว่างอากาศ 20 cm	60
ตารางที่ 5.40	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจก ที่หนา 1,2,3cm มุม 45 องศา ช่องว่างอากาศ 20 cm	61
ตารางที่ 5.41	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่หนา 1,2,3cm มุม 30 องศา ช่องว่างอากาศ 20 cm	61
ตารางที่ 5.42	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1,2,3cm มุม 90 องศา ไม่มีช่องว่างอากาศ	62
ตารางที่ 5.43	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่หนา 1,2,3 cm มุม 60 องศา ไม่มีช่องว่างอากาศ	62
ตารางที่ 5.44	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1,2,3 cm มุม 45 องศา ไม่มีช่องว่างอากาศ	62
ตารางที่ 5.45	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1,2,3 cm มุม 30 องศา ไม่มีช่องว่างอากาศ	63
ตารางที่ 5.46	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1,2,3 cm มุม 90 องศา ช่องว่างอากาศ 5 cm	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้าที่

ตารางที่ 5.47	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1 ,2 ,3 cm มุม 60 องศา ช่องว่างอากาศ 5 cm	63
ตารางที่ 5.48	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1 ,2 ,3 cm มุม 45 องศา ช่องว่างอากาศ 5 cm	64
ตารางที่ 5.49	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1 ,2 ,3 cm มุม 30 องศา ช่องว่างอากาศ 5 cm	64
ตารางที่ 5.50	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1 ,2 ,3 cm มุม 90 องศา ช่องว่างอากาศ 10cm	64
ตารางที่ 5.51	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1,2,3 cm มุม 60 องศา ช่องว่างอากาศ 10 cm	65
ตารางที่ 5.52	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1 ,2 ,3 cm มุม 45 องศา ช่องว่างอากาศ 10 cm	65
ตารางที่ 5.53	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1,2,3 cm มุม 30 องศา ช่องว่างอากาศ10 cm	65
ตารางที่ 5.54	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1 , 2 ,3 cm มุม 90 องศา ช่องว่างอากาศ 15 cm	66
ตารางที่ 5.55	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1 ,2 ,3 cm มุม 60 องศา ช่องว่างอากาศ 15 cm	66
ตารางที่ 5.56	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1 ,2 ,3 cm มุม 45 องศา ช่องว่างอากาศ 15 cm	66
ตารางที่ 5.57	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1 ,2 ,3 cm มุม 30 องศา ช่องว่างอากาศ 15 cm	67
ตารางที่ 5.58	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1 ,2 ,3 cm มุม 90 องศา ช่องว่างอากาศ 20 cm	67
ตารางที่ 5.59	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่หนา 1 ,2 ,3 cm มุม 60 องศา ช่องว่างอากาศ 20 cm	67
ตารางที่ 5.60	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1 ,2 ,3 cm มุม 45 องศา ช่องว่างอากาศ20 cm	68
ตารางที่ 5.61	แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1 ,2 ,3 cm มุม 30 องศา ช่องว่างอากาศ 20 cm	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้าที่

รูปที่ 3.1 การเกิดคลื่น ส่วนอัดและขยายของคลื่น	7
รูปที่ 3.2 แสดงกลไกการส่งผ่านคลื่นตามยาวในท่อ	8
รูปที่ 3.3 การแผ่กระจายของคลื่นทรงกลม	10
รูปที่ 3.4 การแผ่กระจายของคลื่นระนาบในอากาศ	10
รูปที่ 3.5 การแผ่กระจายพลังงานของคลื่นเสียงในลักษณะทรงกลม	15
รูปที่ 3.6 ความเข้มของพลังงานเสียงต่อหน่วยพื้นที่ ที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิด	15
รูปที่ 3.7 ระดับความถี่และความดังเสียงที่มนุษย์สามารถได้ยิน ในช่วงต่าง ๆ	17
รูปที่ 3.8 แนวการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงเวลากลางวันและกลางคืน	21
รูปที่ 3.9 การเกิดบีตส์	21
รูปที่ 3.10 การเกิดหน้าคลื่นใหม่ตามหลักของฮอยเกนส์	22
รูปที่ 3.11 การเลี้ยวเบนของเสียงเมื่อผ่านช่องแคบ ตามหลักของฮอยเกนส์	23
รูปที่ 3.12 ลักษณะการดูดซึมเสียงของวัสดุดูดซึมเสียงแต่ละชนิด	25
รูปที่ 3.13 การดูดซึมเสียงของวัสดุดูดซึมเสียงแต่ละชนิดตามความถี่	25
รูปที่ 3.14 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของใยแก้ว ที่ความหนาต่าง ๆ	27
รูปที่ 3.15 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของใยแก้วที่ความกว้างของช่องว่างขนาดต่าง ๆ	27
รูปที่ 3.16 สัมประสิทธิ์การดูดซึมของใยแก้ว ที่ความหนาแน่นต่าง ๆ	27
รูปที่ 3.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงกับน้ำหนักความแข็ง และความสามารถในการเปลี่ยนแปลงพลังงานกลไปเป็นพลังงานความร้อนของเนมเบรน	28
รูปที่ 3.18 รูปลักษณะของเรโซเนเตอร์ปริซึมที่ขบกับสปริง	29
รูปที่ 3.19 รูปลักษณะทั่วไปของคอนกรีตบล็อกที่เป็นเรโซเนเตอร์	30
รูปที่ 3.20 แสดงกลไกการดูดซึมและส่งผ่านคลื่นเสียงในตัวกลางต่างชนิดกัน	31
รูปที่ 3.21 ลักษณะทั่วไปของท่ออิมพีแดนซ์	32
รูปที่ 3.22 ลักษณะของคลื่นเสียงที่เกิดขึ้นภายในท่ออิมพีแดนซ์	32
รูปที่ 3.23 ปรัชญาการณั้สะท้อน การดูดซึม และ ส่งผ่านเสียงของวัตถุ	34
รูปที่ 3.24 การดูดกลืนเสียงของคอนกรีตบล็อก	36
รูปที่ 4.1 ไมโครโฟนและตัวขับพลาย	39
รูปที่ 4.2 เครื่องบันทึกสัญญาณ (FFT Analyzer)	39
รูปที่ 4.3 เครื่องกำเนิดเสียงที่สามารถปรับความถี่สูง – ต่ำได้	40
รูปที่ 4.4 ลำโพงกระจายเสียง	40
รูปที่ 4.5 ตัวเลื่อนไมโครโฟน	41
รูปที่ 4.6 แผ่นเหล็กสะท้อนเสียง	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 4.7 รูปท่อนทำมุมต่างๆ	42
รูปที่ 4.8 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง อิฐ หน้า 1cm, 2cm , และ 3 cm	42
รูปที่ 4.9 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง กระจก หน้า 1cm, 2cm , และ 3 cm	43
รูปที่ 4.10 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง ไม้ หน้า 1cm, 2cm , และ 3 cm	43
รูปที่ 4.11 ชุดการทดลองจริง	44
รูปที่ 4.12 ชุดการทดลอง	44
รูปที่ 5.1 ลักษณะการวางวัสดุและมุมของชิ้นงาน	69
รูปที่ 5.2 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของอิฐที่ $\theta = 90^\circ$ $t = 1,2,3$ cm $a = 0$ cm	69
รูปที่ 5.3 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของอิฐที่ $\theta = 60^\circ$ $t = 1,2,3$ cm $a = 0$ cm	70
รูปที่ 5.4 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของอิฐที่ $\theta = 45^\circ$ $t = 1,2,3$ cm $a = 0$ cm	70
รูปที่ 5.5 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของอิฐที่ $\theta = 30^\circ$ $t = 1,2,3$ cm $a = 0$ cm	70
รูปที่ 5.6 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของอิฐที่ $\theta = 90^\circ$ $t = 1,2,3$ cm $a = 5$ cm	72
รูปที่ 5.7 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของอิฐที่ $\theta = 60^\circ$ $t = 1,2,3$ cm $a = 5$ cm	72
รูปที่ 5.8 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของอิฐที่ $\theta = 45^\circ$ $t = 1,2,3$ cm $a = 5$ cm	72
รูปที่ 5.9 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของอิฐที่ $\theta = 30^\circ$ $t = 1,2,3$ cm $a = 5$ cm	73
รูปที่ 5.10 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของอิฐที่ $\theta = 90^\circ$ $t = 1,2,3$ cm $a = 10$ cm	74
รูปที่ 5.11 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของอิฐที่ $\theta = 60^\circ$ $t = 1,2,3$ cm $a = 10$ cm	74
รูปที่ 5.12 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของอิฐที่ $\theta = 45^\circ$ $t = 1,2,3$ cm $a = 10$ cm	74
รูปที่ 5.13 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของอิฐที่ $\theta = 30^\circ$ $t = 1,2,3$ cm $a = 10$ cm	75
รูปที่ 5.14 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของอิฐที่ $\theta = 90^\circ$ $t = 1,2,3$ cm $a = 15$ cm	76
รูปที่ 5.15 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของอิฐที่ $\theta = 60^\circ$ $t = 1,2,3$ cm $a = 15$ cm	76
รูปที่ 5.16 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของอิฐที่ $\theta = 45^\circ$ $t = 1,2,3$ cm $a = 15$ cm	76
รูปที่ 5.17 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของอิฐที่ $\theta = 30^\circ$ $t = 1,2,3$ cm $a = 15$ cm	77
รูปที่ 5.18 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของอิฐที่ $\theta = 90^\circ$ $t = 1,2,3$ cm $a = 20$ cm	78
รูปที่ 5.19 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของอิฐที่ $\theta = 60^\circ$ $t = 1,2,3$ cm $a = 20$ cm	78
รูปที่ 5.20 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของอิฐที่ $\theta = 45^\circ$ $t = 1,2,3$ cm $a = 20$ cm	78
รูปที่ 5.21 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของอิฐที่ $\theta = 30^\circ$ $t = 1,2,3$ cm $a = 20$ cm	79
รูปที่ 5.22 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของอิฐที่ $\theta = 90^\circ$ $t = 1$ cm $a = 5,10,15,20$ cm	80
รูปที่ 5.23 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของอิฐที่ $\theta = 90^\circ$ $t = 2$ cm $a = 5,10,15,20$ cm	80

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 5.24	สัณฐานการคูดซิมเสียงของอิฐที่	$\theta = 90^\circ$	$t = 3$ cm	$a = 5, 10, 15, 20$ cm	81
รูปที่ 5.25	สัณฐานการคูดซิมเสียงของอิฐที่	$\theta = 60^\circ$	$t = 1$ cm	$a = 5, 10, 15, 20$ cm	82
รูปที่ 5.26	สัณฐานการคูดซิมเสียงของอิฐที่	$\theta = 60^\circ$	$t = 2$ cm	$a = 5, 10, 15, 20$ cm	82
รูปที่ 5.27	สัณฐานการคูดซิมเสียงของอิฐที่	$\theta = 60^\circ$	$t = 3$ cm	$a = 5, 10, 15, 20$ cm	82
รูปที่ 5.28	สัณฐานการคูดซิมเสียงของอิฐที่	$\theta = 45^\circ$	$t = 1$ cm	$a = 5, 10, 15, 20$ cm	84
รูปที่ 5.29	สัณฐานการคูดซิมเสียงของอิฐที่	$\theta = 45^\circ$	$t = 2$ cm	$a = 5, 10, 15, 20$ cm	84
รูปที่ 5.30	สัณฐานการคูดซิมเสียงของอิฐที่	$\theta = 45^\circ$	$t = 3$ cm	$a = 5, 10, 15, 20$ cm	84
รูปที่ 5.31	สัณฐานการคูดซิมเสียงของอิฐที่	$\theta = 30^\circ$	$t = 1$ cm	$a = 5, 10, 15, 20$ cm	86
รูปที่ 5.32	สัณฐานการคูดซิมเสียงของอิฐที่	$\theta = 30^\circ$	$t = 2$ cm	$a = 5, 10, 15, 20$ cm	86
รูปที่ 5.33	สัณฐานการคูดซิมเสียงของอิฐที่	$\theta = 30^\circ$	$t = 3$ cm	$a = 5, 10, 15, 20$ cm	86
รูปที่ 5.34	สัณฐานการคูดซิมเสียงของอิฐ	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$	ที่ $t = 1$ cm	$a = 0$ cm	88
รูปที่ 5.35	สัณฐานการคูดซิมเสียงของอิฐ	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$	ที่ $t = 2$ cm	$a = 0$ cm	88
รูปที่ 5.36	สัณฐานการคูดซิมเสียงของอิฐ	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$	ที่ $t = 3$ cm	$a = 0$ cm	89
รูปที่ 5.37	สัณฐานการคูดซิมเสียงของอิฐ	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$	ที่ $t = 1$ cm	$a = 5$ cm	90
รูปที่ 5.38	สัณฐานการคูดซิมเสียงของอิฐ	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$	ที่ $t = 2$ cm	$a = 5$ cm	90
รูปที่ 5.39	สัณฐานการคูดซิมเสียงของอิฐ	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$	ที่ $t = 3$ cm	$a = 5$ cm	90
รูปที่ 5.40	สัณฐานการคูดซิมเสียงของอิฐ	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$	ที่ $t = 1$ cm	$a = 10$ cm	92
รูปที่ 5.41	สัณฐานการคูดซิมเสียงของอิฐ	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$	ที่ $t = 2$ cm	$a = 10$ cm	92
รูปที่ 5.42	สัณฐานการคูดซิมเสียงของอิฐ	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$	ที่ $t = 3$ cm	$a = 10$ cm	92
รูปที่ 5.43	สัณฐานการคูดซิมเสียงของอิฐ	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$	ที่ $t = 1$ cm	$a = 15$ cm	94
รูปที่ 5.44	สัณฐานการคูดซิมเสียงของอิฐ	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$	ที่ $t = 2$ cm	$a = 15$ cm	94
รูปที่ 5.45	สัณฐานการคูดซิมเสียงของอิฐ	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$	ที่ $t = 3$ cm	$a = 15$ cm	94
รูปที่ 5.46	สัณฐานการคูดซิมเสียงของอิฐ	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$	ที่ $t = 1$ cm	$a = 20$ cm	96
รูปที่ 5.47	สัณฐานการคูดซิมเสียงของอิฐ	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$	ที่ $t = 2$ cm	$a = 20$ cm	96
รูปที่ 5.48	สัณฐานการคูดซิมเสียงของอิฐ	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$	ที่ $t = 3$ cm	$a = 20$ cm	96
รูปที่ 5.49	สัณฐานการคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 90^\circ$	$t = 1, 2, 3$ cm	$a = 0$ cm	98
รูปที่ 5.50	สัณฐานการคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 60^\circ$	$t = 1, 2, 3$ cm	$a = 0$ cm	98
รูปที่ 5.51	สัณฐานการคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 45^\circ$	$t = 1, 2, 3$ cm	$a = 0$ cm	99
รูปที่ 5.52	สัณฐานการคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 30^\circ$	$t = 1, 2, 3$ cm	$a = 0$ cm	99
รูปที่ 5.53	สัณฐานการคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 90^\circ$	$t = 1, 2, 3$ cm	$a = 5$ cm	100
รูปที่ 5.54	สัณฐานการคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 60^\circ$	$t = 1, 2, 3$ cm	$a = 5$ cm	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 5.55 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 45^\circ$	$t = 1,2,3 \text{ cm}$	$a = 5 \text{ cm}$	100
รูปที่ 5.56 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 30^\circ$	$t = 1,2,3 \text{ cm}$	$a = 5 \text{ cm}$	101
รูปที่ 5.57 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 90^\circ$	$t = 1,2,3 \text{ cm}$	$a = 10 \text{ cm}$	102
รูปที่ 5.58 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 60^\circ$	$t = 1,2,3 \text{ cm}$	$a = 10 \text{ cm}$	102
รูปที่ 5.59 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 45^\circ$	$t = 1,2,3 \text{ cm}$	$a = 10 \text{ cm}$	102
รูปที่ 5.60 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 30^\circ$	$t = 1,2,3 \text{ cm}$	$a = 10 \text{ cm}$	103
รูปที่ 5.61 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 90^\circ$	$t = 1,2,3 \text{ cm}$	$a = 15 \text{ cm}$	104
รูปที่ 5.62 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 60^\circ$	$t = 1,2,3 \text{ cm}$	$a = 15 \text{ cm}$	104
รูปที่ 5.63 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 45^\circ$	$t = 1,2,3 \text{ cm}$	$a = 15 \text{ cm}$	104
รูปที่ 5.64 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 30^\circ$	$t = 1,2,3 \text{ cm}$	$a = 15 \text{ cm}$	105
รูปที่ 5.65 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 90^\circ$	$t = 1,2,3 \text{ cm}$	$a = 20 \text{ cm}$	106
รูปที่ 5.66 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 60^\circ$	$t = 1,2,3 \text{ cm}$	$a = 20 \text{ cm}$	106
รูปที่ 5.67 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 45^\circ$	$t = 1,2,3 \text{ cm}$	$a = 20 \text{ cm}$	106
รูปที่ 5.68 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 30^\circ$	$t = 1,2,3 \text{ cm}$	$a = 20 \text{ cm}$	107
รูปที่ 5.69 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 90^\circ$	$t = 1 \text{ cm}$	$a = 5,10,15,20 \text{ cm}$	108
รูปที่ 5.70 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 90^\circ$	$t = 2 \text{ cm}$	$a = 5,10,15,20 \text{ cm}$	108
รูปที่ 5.71 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 90^\circ$	$t = 3 \text{ cm}$	$a = 5,10,15,20 \text{ cm}$	109
รูปที่ 5.72 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 60^\circ$	$t = 1 \text{ cm}$	$a = 5,10,15,20 \text{ cm}$	110
รูปที่ 5.73 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 60^\circ$	$t = 2 \text{ cm}$	$a = 5,10,15,20 \text{ cm}$	110
รูปที่ 5.74 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 60^\circ$	$t = 3 \text{ cm}$	$a = 5,10,15,20 \text{ cm}$	110
รูปที่ 5.75 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 45^\circ$	$t = 1 \text{ cm}$	$a = 5,10,15,20 \text{ cm}$	112
รูปที่ 5.76 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 45^\circ$	$t = 2 \text{ cm}$	$a = 5,10,15,20 \text{ cm}$	112
รูปที่ 5.77 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 45^\circ$	$t = 3 \text{ cm}$	$a = 5,10,15,20 \text{ cm}$	112
รูปที่ 5.78 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 30^\circ$	$t = 1 \text{ cm}$	$a = 5,10,15,20 \text{ cm}$	114
รูปที่ 5.79 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 30^\circ$	$t = 2 \text{ cm}$	$a = 5,10,15,20 \text{ cm}$	114
รูปที่ 5.80 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของกระจกที่	$\theta = 30^\circ$	$t = 3 \text{ cm}$	$a = 5,10,15,20 \text{ cm}$	114
รูปที่ 5.81 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของกระจก	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$			116
ที่	$t = 1 \text{ cm}$	$a = 0 \text{ cm}$		
รูปที่ 5.82 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของกระจก	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$			116
ที่	$t = 2 \text{ cm}$	$a = 0 \text{ cm}$		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 5.83 สัมประสิทธิ์การคูดซึ่มเสียงของกระจก	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$	
ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 0 \text{ cm}$		117
รูปที่ 5.84 สัมประสิทธิ์การคูดซึ่มเสียงของกระจก	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$	
ที่ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 5 \text{ cm}$		118
รูปที่ 5.85 สัมประสิทธิ์การคูดซึ่มเสียงของกระจก	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$	
ที่ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 5 \text{ cm}$		118
รูปที่ 5.86 สัมประสิทธิ์การคูดซึ่มเสียงของกระจก	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$	
ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 5 \text{ cm}$		118
รูปที่ 5.87 สัมประสิทธิ์การคูดซึ่มเสียงของกระจก	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$	
ที่ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 10 \text{ cm}$		120
รูปที่ 5.88 สัมประสิทธิ์การคูดซึ่มเสียงของกระจก	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$	
ที่ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 10 \text{ cm}$		120
รูปที่ 5.89 สัมประสิทธิ์การคูดซึ่มเสียงของกระจก	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$	
ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 10 \text{ cm}$		120
รูปที่ 5.90 สัมประสิทธิ์การคูดซึ่มเสียงของกระจก	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$	
ที่ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 15 \text{ cm}$		122
รูปที่ 5.91 สัมประสิทธิ์การคูดซึ่มเสียงของกระจก	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$	
ที่ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 15 \text{ cm}$		122
รูปที่ 5.92 สัมประสิทธิ์การคูดซึ่มเสียงของกระจก	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$	
ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 15 \text{ cm}$		122
รูปที่ 5.93 สัมประสิทธิ์การคูดซึ่มเสียงของกระจก	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$	
ที่ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$		124
รูปที่ 5.94 สัมประสิทธิ์การคูดซึ่มเสียงของกระจก	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$	
ที่ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$		124
รูปที่ 5.95 สัมประสิทธิ์การคูดซึ่มเสียงของกระจก	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$	
ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$		124
รูปที่ 5.96 สัมประสิทธิ์การคูดซึ่มเสียงของไม้ที่	$\theta = 90^\circ$ $t = 1, 2, 3 \text{ cm}$ $a = 0 \text{ cm}$	126
รูปที่ 5.97 สัมประสิทธิ์การคูดซึ่มเสียงของไม้ที่	$\theta = 60^\circ$ $t = 1, 2, 3 \text{ cm}$ $a = 0 \text{ cm}$	126
รูปที่ 5.98 สัมประสิทธิ์การคูดซึ่มเสียงของไม้ที่	$\theta = 45^\circ$ $t = 1, 2, 3 \text{ cm}$ $a = 0 \text{ cm}$	127
รูปที่ 5.99 สัมประสิทธิ์การคูดซึ่มเสียงของไม้ที่	$\theta = 30^\circ$ $t = 1, 2, 3 \text{ cm}$ $a = 0 \text{ cm}$	127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 5.100	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่	$\theta = 90^\circ$	$t = 1,2,3$ cm	$a = 5$ cm	128
รูปที่ 5.101	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่	$\theta = 60^\circ$	$t = 1,2,3$ cm	$a = 5$ cm	128
รูปที่ 5.102	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่	$\theta = 45^\circ$	$t = 1,2,3$ cm	$a = 5$ cm	128
รูปที่ 5.103	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่	$\theta = 30^\circ$	$t = 1,2,3$ cm	$a = 5$ cm	129
รูปที่ 5.104	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่	$\theta = 90^\circ$	$t = 1,2,3$ cm	$a = 10$ cm	130
รูปที่ 5.105	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่	$\theta = 60^\circ$	$t = 1,2,3$ cm	$a = 10$ cm	130
รูปที่ 5.106	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่	$\theta = 45^\circ$	$t = 1,2,3$ cm	$a = 10$ cm	130
รูปที่ 5.107	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่	$\theta = 30^\circ$	$t = 1,2,3$ cm	$a = 10$ cm	131
รูปที่ 5.108	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่	$\theta = 90^\circ$	$t = 1,2,3$ cm	$a = 15$ cm	132
รูปที่ 5.109	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่	$\theta = 60^\circ$	$t = 1,2,3$ cm	$a = 15$ cm	132
รูปที่ 5.110	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่	$\theta = 45^\circ$	$t = 1,2,3$ cm	$a = 15$ cm	132
รูปที่ 5.111	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่	$\theta = 30^\circ$	$t = 1,2,3$ cm	$a = 15$ cm	133
รูปที่ 5.112	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่	$\theta = 90^\circ$	$t = 1,2,3$ cm	$a = 20$ cm	134
รูปที่ 5.113	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่	$\theta = 60^\circ$	$t = 1,2,3$ cm	$a = 20$ cm	134
รูปที่ 5.114	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่	$\theta = 45^\circ$	$t = 1,2,3$ cm	$a = 20$ cm	134
รูปที่ 5.115	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่	$\theta = 30^\circ$	$t = 1,2,3$ cm	$a = 20$ cm	135
รูปที่ 5.116	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่	$\theta = 90^\circ$	$t = 1$ cm	$a = 5,10,15,20$ cm	136
รูปที่ 5.117	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่	$\theta = 90^\circ$	$t = 2$ cm	$a = 5,10,15,20$ cm	136
รูปที่ 5.118	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่	$\theta = 90^\circ$	$t = 3$ cm	$a = 5,10,15,20$ cm	137
รูปที่ 5.119	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่	$\theta = 60^\circ$	$t = 1$ cm	$a = 5,10,15,20$ cm	138
รูปที่ 5.120	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่	$\theta = 60^\circ$	$t = 2$ cm	$a = 5,10,15,20$ cm	138
รูปที่ 5.121	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่	$\theta = 60^\circ$	$t = 3$ cm	$a = 5,10,15,20$ cm	138
รูปที่ 5.122	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่	$\theta = 45^\circ$	$t = 1$ cm	$a = 5,10,15,20$ cm	140
รูปที่ 5.123	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่	$\theta = 45^\circ$	$t = 2$ cm	$a = 5,10,15,20$ cm	140
รูปที่ 5.124	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่	$\theta = 45^\circ$	$t = 3$ cm	$a = 5,10,15,20$ cm	140
รูปที่ 5.125	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่	$\theta = 30^\circ$	$t = 1$ cm	$a = 5,10,15,20$ cm	142
รูปที่ 5.126	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่	$\theta = 30^\circ$	$t = 2$ cm	$a = 5,10,15,20$ cm	142
รูปที่ 5.127	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่	$\theta = 30^\circ$	$t = 3$ cm	$a = 5,10,15,20$ cm	142
รูปที่ 5.128	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่	$t = 1$ cm	$a = 0$ cm	144
รูปที่ 5.129	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่	$t = 2$ cm	$a = 0$ cm	144
รูปที่ 5.130	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้	$\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่	$t = 3$ cm	$a = 0$ cm	145

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 5.193 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของวัสดุต่างๆ	$\theta = 90^\circ$	ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$	187
รูปที่ 5.194 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของวัสดุต่างๆ	$\theta = 60^\circ$	ที่ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$	188
รูปที่ 5.195 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของวัสดุต่างๆ	$\theta = 60^\circ$	ที่ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$	188
รูปที่ 5.196 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของวัสดุต่างๆ	$\theta = 60^\circ$	ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$	188
รูปที่ 5.197 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของวัสดุต่างๆ	$\theta = 45^\circ$	ที่ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$	190
รูปที่ 5.198 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของวัสดุต่างๆ	$\theta = 45^\circ$	ที่ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$	190
รูปที่ 5.199 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของวัสดุต่างๆ	$\theta = 45^\circ$	ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$	190
รูปที่ 5.200 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของวัสดุต่างๆ	$\theta = 30^\circ$	ที่ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$	192
รูปที่ 5.201 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของวัสดุต่างๆ	$\theta = 30^\circ$	ที่ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$	192
รูปที่ 5.202 สัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงของวัสดุต่างๆ	$\theta = 30^\circ$	ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$	192

บทที่ 1

บทนำ (Introduction)

1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเรื่องเสียง

เสียง เป็นพลังงานรูปหนึ่งเกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุและทำให้ตัวกลางซึ่งปกติ คือ อากาศ การสั่นสะเทือนของอากาศทำให้เกิดความดันเป็นคลื่นส่งต่อไปจากแหล่งกำเนิดเมื่อคลื่นเสียงตกกระทบหู เราจะได้ยินเสียง

เสียงแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

- ก. เสียงอึกทึก(Noise)หมายถึงเสียงที่คนเราไม่ต้องการ ไม่ปรารถนาหรือเป็นเสียงที่ไม่มีความไพเราะ นุ่มนวล ฟังแล้วกระด้างหู เสียงอึกทึกนี้มีผลกระทบกระเทือนทางด้านจิตใจ และด้านอื่นๆ ไปอาจทำให้สุขภาพอนามัยเสื่อมและทำให้หูหนวกได้
- ข. เสียงสออารมณ์(sound) หมายถึง เสียงที่ฟังแล้วทำให้เกิดมีความสุขใจมีความสุขสามารถปฏิบัติงานได้ดียิ่งขึ้น

1.1.1 ลักษณะของเสียงอึกทึก(Noise Nuisance)

เสียงอึกทึกมีอยู่ด้วยกัน 5 แบบ คือ

- ก. เสียงทุ้มที่ขึ้นนานๆติดต่อกัน เช่น เสียงจากเครื่องยนต์ เสียงจากเครื่องทอผ้า
- ข. เสียงแหลมเล็กที่เล็กที่เกิดขึ้นนานๆ เช่น เสียงของเลื่อยวงเดือน
- ค. เสียงที่เกิดจากการกระทบในเวลาสั้นๆ เช่น เสียงที่เกิดจากฆ้องทุบเสียงเคาะดังเหล็ก เป็นต้น
- ง. เสียงที่เกิดจากการกระทบที่ดังมากเป็นจังหวะหรือเป็นครั้งคราว เช่น เสียงเครื่องเจาะถนน
- จ. เสียงที่เกิดขึ้นเป็นพักๆ เช่น เสียงของการจราจร เสียงเครื่องบิน เป็นต้น

1.1.2 หน่วยที่ใช้วัดระดับเสียง

การวัดระดับเสียงมีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB) ใช้วัดระดับความดังของเสียง โดยเทียบกับระดับมาตรฐาน เสียงที่เป็นระดับเสียงมาตรฐานในระดับหูของคนปกติจะมีค่าระหว่าง 0-120 เดซิเบล ถือเป็นช่วงของระดับเสียงจากค่าต่ำสุดที่คนได้ยินขึ้นไปจนถึงระดับเสียงที่ทำให้เกิดความเจ็บปวดในหูได้ ความดังของเสียงขึ้นอยู่กับผู้ได้ยินว่ารู้สึกดังเกินกว่าที่เราจะฟังได้หรือไม่ ส่วนมากแล้วช่วงที่จะทนต่อเสียงได้สูงสุดเท่ากับ 3.5-4 กิโลไซเคิล (Kilocycles)

เสียงที่เกิดขึ้นอาจพิจารณาลักษณะของเสียงได้ 3 ประการ คือ

1. Pitch คือความถี่ของเสียง วัดเป็น Cycle per second (cps) หรือคิดเป็นหน่วย เรียกว่า Hertz (Hz)เสียงที่มีความถี่มากจะเป็นเสียงสูง ส่วนเสียงที่มีความถี่น้อยจะเป็นเสียงต่ำ หรือ เสียงทุ้ม คือเสียงที่มีความถี่ต่ำ ตั้งแต่ 0-16 Hz และเสียงแหลม คือเสียงที่มีความถี่สูง ตั้งแต่ 20,000 Hz ขึ้นไป
2. Intensity หมายถึง ความดังของเสียง (pressure of sound) มีหน่วยเป็น decibel (dB)
3. Quality หมายถึง คุณสมบัติของเสียง เช่น เสียงบางชนิดอาจดังเกินไรรบกวนประสาท เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.3 หูและการได้ยิน

หูแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. หูส่วนนอก
2. หูส่วนกลาง
3. หูส่วนใน

เมื่อคนเราได้ยินเสียง คลื่นเสียงจะผ่านเข้ามาในช่องหู กระแทบเยื่อแก้วหู เยื่อแก้วหูมีหน้าที่ปรับหรือกรองเสียงและลดระดับเสียงให้ปลอดภัย แล้วจึงปล่อยเสียงผ่านเข้าไปในหูส่วนกลาง การเปลี่ยนแปลงเนื่องเนื่องจากความดังเสียงจะทำให้เยื่อแก้วหูเกิดการสั่นสะเทือนและเคลื่อนไหว การเคลื่อนไหวของเยื่อแก้วหูจะถูกส่งผ่านไปยังหูส่วนกลาง โดยผ่านกระดูกชั้นเล็กๆ 3 ชั้น กระดูกชั้นแรกคือ กระดูกฆ้อง ซึ่งติดกับเยื่อแก้วหู กระชั้นที่ 2 คือ กระดูกทั่ง ซึ่งอยู่ระหว่างกระดูกฆ้อง และกระดูกโกลนเต็มไปด้วยตัวของเหลวที่เคลื่อนไหวได้ เนื่องจากการสั่นสะเทือนของปลายกระดูกโกลน การเคลื่อนไหวของของเหลวภายในหูส่วนในจะกระตุ้นเซลล์เล็กๆ ที่มีขน (Hair cells) ของคลอเคลียซึ่งอยู่ประมาณ 20,000 เซลล์ ทำหน้าที่เปลี่ยนการสั่นสะเทือนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า และส่งต่อไปยังปลายประสาทของเซลล์ขน เพื่อส่งต่อไปตามเส้นประสาทของการได้ยิน ไปสู่ประสาทส่วนกลางในสมอง และทำให้เกิดการได้ยินและแปลออกมาให้เข้าใจ

ถ้าหูรับเสียงดังมากจนเกินไป นอกจากจะทำให้เยื่อแก้วหูขาดได้แล้ว ยังทำให้เกิดความผิดปกติหรือความพิการ และไม่ได้ยินเกิดขึ้น ถึงแม้ว่าการแพทย์จะเจริญก้าวหน้าถึงกับมีการผ่าตัดเปลี่ยนแปลงแก้วหูใหม่ แต่การกระทำต้องเสียค่าใช้จ่ายมากและถ้าความพิการนี้ เกิดขึ้นกับปลายประสาทที่เกี่ยวกับการได้ยินแล้ว ไม่มีทางที่จะรักษาให้หาย ซึ่งเป็นสิ่งที่ทุกคนควรคำนึงให้มากในขณะนี้ ตามปกติเสียงที่ดังเกิน 75 dB คือเสียงที่หลีกเลี่ยงหรือป้องกันเพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อระบบประสาทหู เสียงดังระดับ 130 dB จะทำให้เกิดอาการปวดหูได้

เสียงในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป จะดังประมาณ 70-90 dB แต่ในโรงงานบางประเภท เช่น โรงงานผลิตและแปรรูปโลหะ โรงเลื่อยโรงทอผ้า จะมีระดับเสียงสูงกว่าโรงงานปกติโดยอยู่ที่ระดับ 90-100 dB โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในโรงงานทอผ้า ที่ใช้กระสวยอัตโนมัติจึงมีเสียงดังมากอาจทำให้แก้วหูแตกได้

1.2 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันประเทศกำลังพัฒนาในทุก ๆ ด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนภาคอุตสาหกรรม ซึ่งมีการพัฒนาด้านเทคโนโลยีใหม่ ๆ ขึ้นมาอย่างมากมาย ในการพัฒนานี้นอกจากจะมีผลให้มีการขยายตัวทางเศรษฐกิจและสังคมแล้ว ยังก่อให้เกิดปัญหาทางสังคมมากมายทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น ปัญหาน้ำเน่าเสีย อากาศเสีย ซึ่งเป็นผลกระทบทางตรง นอกจากนั้นยังก่อให้เกิดผลกระทบทางอ้อม เช่น การเพิ่มจำนวนของยานพาหนะ และ จำนวนประชากรภายในเมือง ซึ่งสาเหตุของปัญหาเหล่านี้ มาจากการขาดการวางแผนและการควบคุมเพื่อรองรับการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งมลภาวะทางเสียงเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญประการหนึ่ง ที่เป็นผลสืบเนื่องจากการพัฒนาประเทศ ซึ่งส่งผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า เปรียบเทียบเท่านั้น ไม่ใช่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระทบต่อผู้เกี่ยวข้องทั้งทางตรงและทางอ้อม ผลในช่วงเวลาที่ผ่านมามีพบว่าผลกระทบของมลภาวะทางเสียงที่มีต่อสังคมไทยนั้น ได้ขยายตัวและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในลักษณะที่ก่อให้เกิดความรำคาญและอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอีกด้วย สิ่งที่เห็นได้ชัดคือ สนามบินที่อยู่ใกล้สถานศึกษาซึ่งมีผลของเสียงดังอาจจะทำให้เกิดผลกระทบต่อการศึกษาของนักศึกษา หรือจะเป็นปัญหายานยนต์คือเสียงดังจากห้องเครื่องยนต์ ซึ่งการศึกษาความสามารถของวัสดุดูดซับเสียงอาจมีส่วนช่วยแก้ปัญหาโดยตรงค่านี ปัจจุบันจึงได้มีการคิดค้นเทคโนโลยีในการลดความดังของเสียง อย่างเช่น การนำเอาใยแก้วมาพันรอบคอท่อไอเสียเพื่อลดความดังที่เกิดจากท่อไอเสีย หรือจะเป็นการนำเอาวัสดุดูดซับเสียงมาภายในอุปกรณ์เครื่องทำความเย็นเพื่อลดเสียงที่เกิดจากการทำงานของตัวเครื่อง

แนวทางในการควบคุมเพื่อลดระดับความรุนแรงของปัญหามลภาวะทางเสียงนี้สามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น การควบคุมที่แหล่งกำเนิดเสียง การควบคุมที่ทางผ่านของเสียง และการควบคุมที่ตัวผู้รับเสียงซึ่งโดยหลักการแล้วการควบคุมที่ดีที่สุดคือการควบคุมที่แหล่งกำเนิดเสียง ถ้าหากไม่สามารถทำได้ อาจใช้วิธีการควบคุมที่เส้นทางเดินเสียง โดยใช้วัสดุที่มีสมบัติในการดูดกลืนคลื่นเสียงได้ดี หรือมีคุณสมบัติในการจำกัดการส่งผ่านคลื่นเสียง ได้ค้ำมาวางกัน ระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงกับบริเวณที่ต้องการความเงียบสงบ การพัฒนาคุณสมบัติของวัสดุคลื่นเสียงที่ดีแนวทางหนึ่งคือ การศึกษาประสิทธิภาพในการลดระดับเสียงของวัสดุชนิดต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพัฒนาเป็นวัสดุดูดกลืนเสียงที่ดีต่อไปในอนาคต

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.3.1 สร้างชุดการทดลอง

1.3.2 วิเคราะห์หาสมรรถนะทางเสียงของผนังแบบมีช่องอากาศ

1.4 ขอบเขตการทดลอง

1.4.1 ทดสอบในภาวะปกติ

1.4.2 เครื่องกำเนิดสัญญาณเริ่มต้นที่ 125 Hz

1.4.3 Diameter และความถี่จะได้จาก สมการ $f < 0.586 c/d$, $d < 0.586 \lambda$ (สำหรับท่อกลม)

$f < 0.500 c/d$, $d < 0.500 \lambda$ (สำหรับท่อเหลี่ยม)

1.4.4 ความยาวของท่อคำนวณได้จากสมการ $3\lambda/4 < l-d$ โดยที่ λ คือ ความยาวคลื่น (m), l คือ ความยาวท่อ (m), d คือ diameter ของท่อ

1.5 วิธีการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.1 การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเรื่องต่าง ๆ ดังนี้

- หาข้อมูลเกี่ยวกับเรื่องวัสดุคูลซิมเสียงและชุดทดลองตามมาตรฐาน ASTM C384-90a จากการวิจัยภายในประเทศและต่างประเทศในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งหนังสือและอินเทอร์เน็ต
- ทำการศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับเรื่องเสียง
- ทำการศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุที่มีรูปทรง

1.5.2 เตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดลอง

- คิดตั้งชุดอุปกรณ์การทดลอง

- ตั้งค่าอุปกรณ์การทดลอง

1.5.3 ทำการทดลองโดยเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ทดลองและทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.5.4 ทำการสรุปผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การออกแบบท่อคลื่นยืน

ท่อแบบคลื่นยืนประกอบด้วยท่อทำจากพลาสติกแข็งหนา 5 มม. ภาคตัดขวางภายในเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 40 มม.× 40 มม. ความยาวรวมของท่อ 2250 มม. มาตรฐาน ASTM C384-90a ได้กำหนดความถี่ขีดบนและขีดล่างดังสมการ

(1) และ (2) ตามลำดับดังนี้

$$f < 0.55C/d \quad (1)$$

$$3c/4f < l - d \quad (2)$$

โดย

d คือ ขนาดที่ใหญ่กว่าของภาคตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าของท่อ (เมตร)

c คือ ความเร็วของเสียง (340 เมตรต่อวินาที)

l คือ ความยาวท่อ (เมตร)

เพราะฉะนั้นในที่นี้ความถี่ขีดบน และขีดล่างของท่อคลื่นยืนที่ออกแบบไว้เป็น 4250 Hz (>4000 Hz) และ 115 Hz (< 125 Hz)

ตามลำดับ เสียงถูกส่งเข้าไปในท่อทางเฉียงที่ปลายข้างหนึ่ง ส่วนปลายอีกด้านหนึ่ง จะวางขึ้นทดสอบไว้ โดยมีแผ่นเหล็กหนาติดตั้งอยู่ด้านหลังสัญญาณของคลื่นยืนภายในท่อสามารถจับได้จากท่อตรวจวัด (probe tube) ซึ่งมีไมโครโฟนอยู่ภายในท่อ

บทที่ 3

ทฤษฎีบทการวิเคราะห์และคำนวณ

3.1 ธรรมชาติและการเกิดเสียง

เสียงเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่ง เพราะเสียงไม่ใช่สสารและไม่มีตัวตน แต่เสียงสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปอื่น ๆ หรือพลังงานอื่น ๆ สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานเสียงได้ เสียงเป็นคลื่นชนิดหนึ่งเพราะเสียงสามารถแสดงสมบัติของคลื่นคือ การสะท้อน การหักเห การแทรกสอด และการเลี้ยวเบน ได้อย่างสมบูรณ์

เสียงเกิดจากการสั่นสะเทือนของแหล่งกำเนิดแล้วถ่ายทอดพลังงานของการสั่นสะเทือนนั้น ได้แก่ อนุภาคของตัวกลาง ดังนั้นเสียงจึงเป็นคลื่นที่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่เพราะการถ่ายทอดพลังงานของคลื่นเสียงต้องอาศัยการสั่นของตัวกลางเป็นตัวส่งผ่านพลังงาน และเนื่องจากอนุภาคตัวกลางที่คลื่นเสียงเป็นคลื่นตามยาว

สำหรับแหล่งกำเนิดคลื่นเสียงอาจแบ่งตามลักษณะของวัตถุต้นกำเนิดเป็น 3 ประเภทคือ

- 1) เกิดจากการสั่นของสายหรือแท่ง เช่น ส้อมเสียง เครื่องดนตรีประเภทเครื่องสายต่าง ๆ
- 2) เกิดจากการสั่นของผิว เช่น ระฆัง ฉาบ ฉิ่ง กลอง
- 3) เกิดจากการสั่นของลำอากาศ เช่น เครื่องดนตรีประเภทเครื่องเป่าต่าง ๆ

3.1.1 กลไกการเกิดเสียง

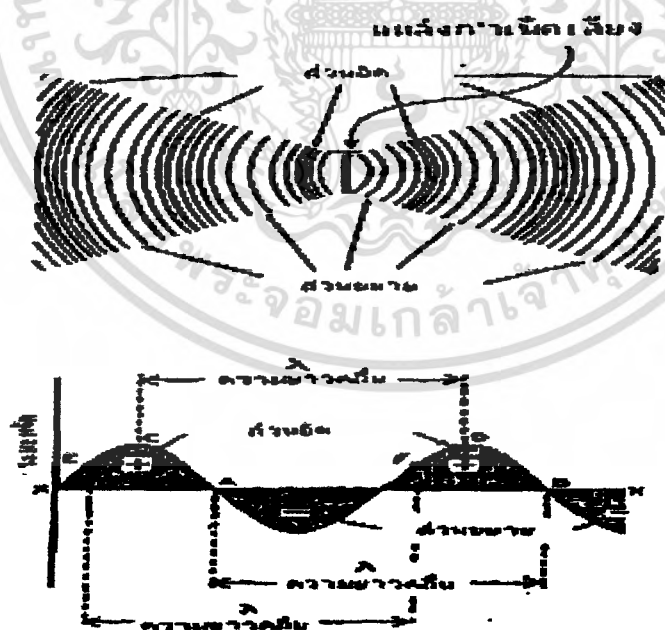
เราสามารถพิจารณากลไกการเกิดคลื่นเสียงจากตัวอย่างการเกิดคลื่นตามยาวในท่อดังนี้ คือ ในกรณีคลื่นเสียงการสั่นของวัตถุต้นกำเนิดเสียงในตัวกลางจะทำให้โมเลกุลของอากาศเกิดการอัดและขยายแผ่กระจาย ออกรอบแหล่งกำเนิดในลักษณะของคลื่นตามยาว เมื่อคลื่นนี้เคลื่อนที่มาถึงหูของคนจะทำให้คนที่ได้รับคลื่นนั้นรับรู้เป็นเสียงขึ้น (จากรูปที่ 3.1) จะพบว่าคลื่นเสียงในอากาศเกิดขึ้นจากการอัดและการขยายของอากาศ เมื่อคลื่นเสียงเดินทางผ่านตัวกลาง (อากาศ) จะทำให้เกิดตำแหน่งที่อนุภาคอากาศอัดตัวและขยายตัวสลับกันไปตลอดแนวทางการเคลื่อนที่ โดยตำแหน่งเหล่านี้จะมีการเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งไปตลอด ในแนวทางการเคลื่อนที่ของคลื่น เมื่อมองในด้านความดันที่จุดๆ หนึ่งจะมีค่าความดันมากกว่าปกติเท่ากับปกติและน้อยกว่าปกติสลับกันไป ในกรณีที่วัตถุต้นในสุญญากาศผู้ฟังจะไม่ได้ยินเสียงเพราะไม่มีตัวกลางในการถ่ายทอดพลังงานเสียงที่เกิดขึ้นจากการสั่นของวัตถุที่เป็นแหล่งกำเนิดมาถึงผู้ฟัง

พิจารณาอากาศภายในท่อยาวซึ่งปลายด้านหนึ่งมีลูกสูบ (รูปที่ 3.2) ถ้าหากให้ลูกสูบนี้อเคลื่อนที่ไปด้านหลังในระยะเวลาสั้น ๆ จะทำให้โมเลกุลของอากาศที่อยู่ใกล้ด้านหน้าของลูกสูบนี้อเคลื่อนที่ตามไปด้วย ซึ่งอาจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

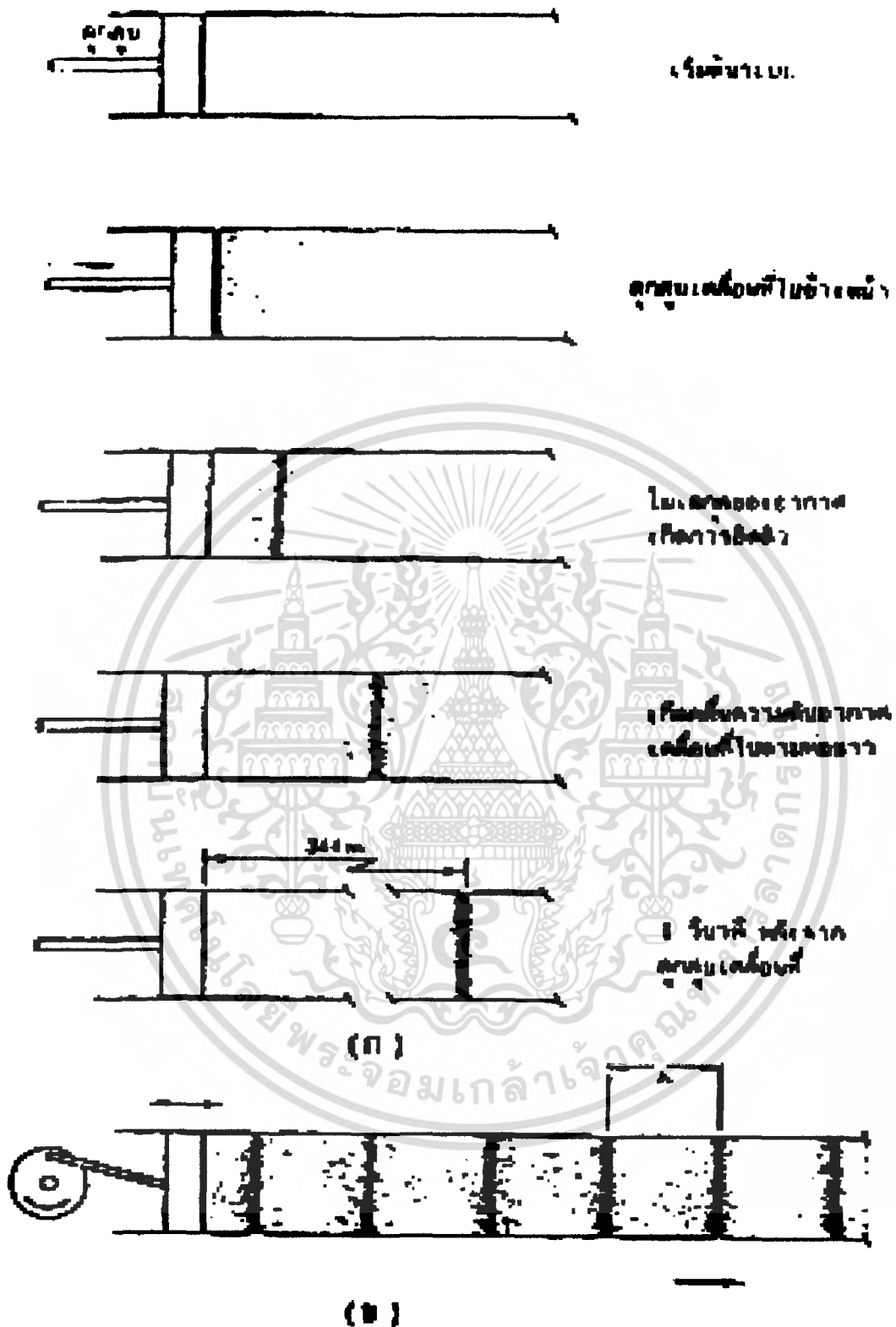
ขยายตัวทางด้านหลังหรือออกด้านข้างเพราะติดลูกสูบและผนังของท่อ ดังนั้นอากาศจะขยายตัวและเคลื่อนที่ไปเฉพาะด้านหน้าของลูกสูบเท่านั้น อากาศที่ถูกอัดและขยายตัวนี้จะมีลักษณะเป็นขั้นๆ ซึ่งจะอัดส่วนของอากาศที่อยู่ถัดออกไปเรื่อยๆ ถ้าหากให้เกิดการทำงานลักษณะซ้ำๆ กันก็จะเกิดการอัดตัวของอากาศต่อไป ซึ่งเป็นการก่อให้เกิดคลื่นของความดันที่มีค่าเป็นบวกส่งไปตามทางยาวทั้งนี้หากให้ลูกสูบมีการเคลื่อนที่ในทิศทางตรงข้ามกับตอนแรกจะส่งผลให้ความดันอากาศที่มีค่าเป็นบวกในช่วงแรกเริ่มลดลงและหากให้ลูกสูบเคลื่อนที่ผ่านจุดกึ่งกลางความดันอากาศก็มีค่าเป็นลบ และด้วยกระบวนการย้อนกลับนี้ก็จะก่อให้เกิดคลื่นความดันที่มีค่าเป็นลบ เคลื่อนที่ตามหลังคลื่นความดันที่มีค่าเป็นบวกไปตามความยาวของท่อนั้น ซึ่งคลื่นความดันเหล่านี้ก็คือคลื่นเสียงนั่นเอง

หากพิจารณาตามความหมายแล้ว “ เสียง ” จะเกิดขึ้นได้ต้องมีองค์ประกอบอย่างน้อย 3 ส่วน ได้แก่ แหล่งกำเนิดเสียง ตัวกลางและผู้รับเสียง ดังนั้นการเกิดเสียงจึงอธิบายได้ดังนี้ เมื่อวัตถุต้นกำเนิดมีการสั่นตัวจะส่งพลังงานออกไปในรูปของคลื่นซึ่งเป็นคลื่นยาว ทำให้โมเลกุลของอากาศที่อยู่ใกล้เคียงวัตถุต้นกำเนิดมีการเคลื่อนที่กลับไป-มา เป็นจังหวะเดียวกันกับการสั่นของวัตถุต้นกำเนิดส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันบริเวณที่คลื่นเสียงนั้นเคลื่อนที่ผ่าน โดยทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงจะมีทิศเดียวกับทิศของการสั่นตัวของอนุภาคตัวกลางดังนั้นเมื่อให้วัตถุมีการสั่นในตัวกลางใด ๆ จะทำให้อนุภาคของตัวกลางที่อยู่ข้างเคียงกับวัตถุนั้นๆ เกิดการสั่นตามไปด้วยจากการสั่นในลักษณะนี้จะมีการถ่ายทอดพลังงานจากอนุภาคหนึ่งไปสู่อุภาคอื่นต่อจนกระทั่งพลังงานซึ่งทำให้วัตถุแหล่งกำเนิดหมดลง พลังงานในอนุภาคของตัวกลางจึงหยุดสั่น



รูปที่ 3.1 การเกิดคลื่น ส่วนอัดและขยายของคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงกลไกการส่งผ่านคลื่นตามยาวในท่อ

ก. เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่จังหวะเดียว

ข. ลูกสูบเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแผ่กระจายของคลื่นเสียงสามารถอธิบายได้ด้วยกราฟ ซึ่งแสดงระยะห่างจากจุดสมดุลของวัตถุที่กำลังสั่นตัว โดยระยะห่างของคลื่นเสียงซึ่งเคลื่อนที่นั้นในหนึ่งช่วงเวลาหรือในหนึ่งรอบจะเรียกว่า ความยาวคลื่น สำหรับระยะห่างจากจุดสมดุลของอนุภาคของวัตถุแหล่งกำเนิดในช่วงเวลาเรียกว่า ความเร็วเสียง ส่วนความถี่ของคลื่นเสียง คือ จำนวนรอบของความถี่เสียงในหนึ่งหน่วยเวลา โดยความสัมพันธ์ของความยาวคลื่น ความเร็วและความถี่เสียง สามารถแสดงได้ในรูปคณิตศาสตร์ดังนี้

$$c = \lambda f$$

โดย

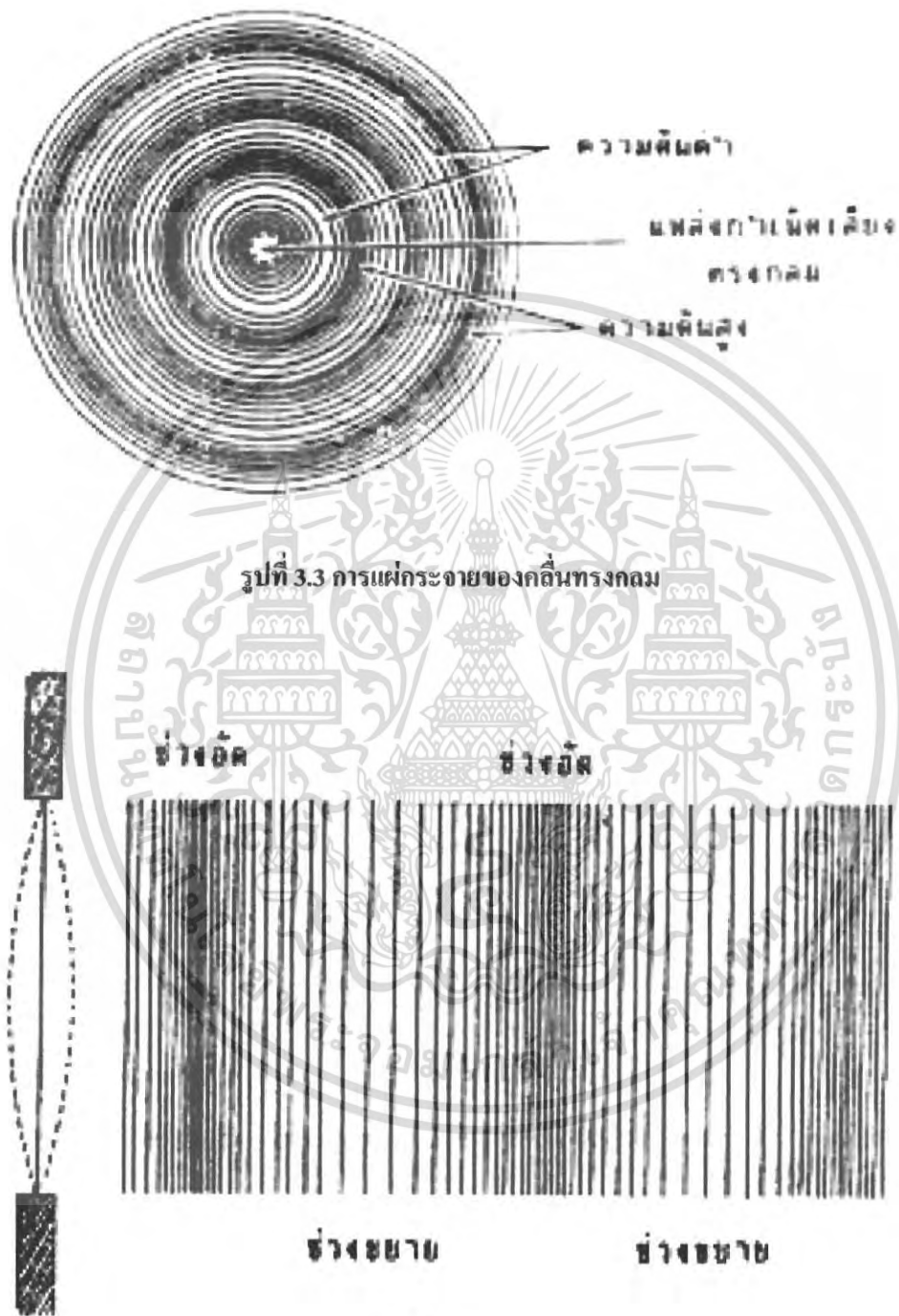
c = ความเร็วเสียง (m s^{-1})

λ = ความยาวเสียง (m)

f = ความถี่เสียง (Hz)

3.1.2 การแผ่กระจายของคลื่นเสียง

คลื่นเสียงเป็นคลื่นชนิดหยุ่นซึ่งเกิดจากการสั่นของวัตถุแล้วมีการแผ่กระจายผ่านตัวกลางมา ในกรณีที่ตัวกลางเป็นอากาศ โมเลกุลของอากาศจะมีการสั่นตัวกลับไป-มาจากตำแหน่งสมดุล ทั้งนี้การแผ่กระจายของคลื่นเสียงอาจเกิดขึ้นได้ใน 2 ลักษณะ คือ คลื่นทรงกลม (spherical wave) และคลื่นระนาบ (plane wave) โดยคลื่นทรงกลมเกิดจากแหล่งกำเนิดที่มีลักษณะเป็นจุดและอยู่ใกล้จุดที่สังเกต (รูปที่ 3.3) หน้าคลื่นที่แผ่ออกไปโดยรอบมีลักษณะเป็นทรงกลม ส่วนคลื่นระนาบเกิดจากแหล่งกำเนิดที่อยู่ห่างจากจุดสังเกตเป็นระยะทางไกลมากหรือเกิดจากการสั่นตัวของแผ่นระนาบขนาดใหญ่ (รูปที่ 3.4) โดยมีหน้าคลื่นตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น สำหรับการแผ่กระจายของคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดจะดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญหลายประการ เช่น กำลังของแหล่งกำเนิดเสียง ตัวกลางในการแผ่กระจาย สิ่งกีดขวางต่าง ๆ โดยระยะที่ห่างจากแหล่งกำเนิด ระดับเสียงจะแตกต่างกันขึ้นกับปัจจัยเหล่านี้ เช่น ระยะทางการดูดซึมของอากาศ หมอก พื้นดินการสะท้อนหรือเลี้ยวเบนรอบสิ่งกีดขวาง การเกิดจุดอับเสียง และการกระเจิงเสียง



รูปที่ 3.4 การแผ่กระจายของคลื่นระนาบในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ความเร็วของเสียง

เสียงมีความเร็วที่จำกัดค่าหนึ่ง โดยความเร็วเสียงนั้นจะแตกต่างกันออกไปสำหรับตัวกลางแต่ละชนิด ความเร็วเสียงเพิ่มขึ้นเมื่อตัวกลางมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเนื่องจากการจัดเรียงตัวของโมเลกุลตัวกลางนั้น จึงสามารถอธิบายได้ว่าอนุภาคของโลหะซึ่งมีการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบและใกล้ชิดกันมากกว่าอนุภาคหรือโมเลกุลของแก๊ส ทำให้โลหะสามารถส่งผ่านพลังงานจากการสั่นสะเทือนไปยังแต่ละโมเลกุลได้อย่างรวดเร็ว และสรุปว่าคลื่นเสียงที่แผ่กระจายออกมาจากแหล่งกำเนิดเดียวกันแต่เคลื่อนที่ผ่านไปในตัวกลางที่ต่างชนิดกันจะมีความเร็วเสียงต่างกันและความหนาแน่นต่างกัน ดังตารางที่ (3.1) และ (3.2)

ตารางที่ 3.1 ความเร็วเสียงในแก๊ส, ของเหลวและของแข็ง

ตัวกลาง	อุณหภูมิ (°C)	(m s ⁻¹)
แก๊ส		
- คาร์บอนไดออกไซด์	0	259
- ออกซิเจน	0	316
อากาศ		
- อากาศ	20	343
ไนโตรเจน		
	0	334
ฮีเลียม		
	0	965
ของเหลว		
- ปรอท	25	1450
- น้ำ	25	1498
- น้ำทะเล	25	1531
ของแข็ง		
- ยาง	-	1800
- ตะกั่ว	-	2100
- ทอง	-	3000
- เหล็ก	-	5000-6000
- แก้ว	-	5000-6000
- แกรนิต	-	6000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงนั้นขึ้นกับการถ่ายทอดพลังงานกล โดยการสั่นตัวของอนุภาคตัวกลางที่สั่นตัวอย่างต่อเนื่องส่งผลให้ความเร็วของเสียงในตัวกลางต่างชนิดกันมีขนาดต่างกัน กล่าวคือ ตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากกว่าความเร็วเสียงจะมีค่าสูง ส่วนตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยความเร็วเสียงจะมีค่าต่ำ ทั้งนี้ถ้าตัวกลางมีอุณหภูมิสูงขึ้นความเร็วเสียงก็จะมีค่าสูงขึ้นด้วย ตารางที่ (3.2)

ตารางที่ 3.2 ความเร็วเสียงในตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน

ตัวกลาง	อุณหภูมิ (°C)	ความหนาแน่น (kg m ⁻³)	ความเร็วเสียง (m s ⁻¹)
อากาศ	-	1.20	344
คาร์บอนไดออกไซด์	0	1.98	259
ไฮโดรเจน	0	0.0899	1284
เอธิลอัลกอฮอล์	-	790	1207
เบนซิน	-	890	1295
น้ำบริสุทธิ์	-	998	1498
อะลูมิเนียม	-	2700	5000
ทองแดง	-	8930	3750
เหล็ก	-	7900	5120
เลือด	37	1056	1570
เนื้อเยื่อ	37	1047	1570

เสียงนั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของความดันในปริมาณเล็กน้อย แล้ว แผ่กระจายผ่านตัวกลางอากาศออกไปด้วยความเร็วค่าหนึ่ง โดยขนาดของการเปลี่ยนแปลงความดันอยู่ในช่วงระหว่าง 2×10^{-5} ถึง 20 Pa โดยความเร็วเสียงในอากาศสามารถแสดงในรูปของสมการคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$C = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

γ = อัตราส่วนของความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ (C_p / C_v)

R = ค่าคงที่ของแก๊ส ($J \text{ kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$)

T = อุณหภูมิของสารสัมบูรณ์ (K)

M = มวลโมเลกุลของอากาศ = 28.8 (kg kmole^{-1})

ดังนั้นสำหรับอากาศที่มีอุณหภูมิ 20 °C และความบรรยากาศมาตรฐานความเร็วเสียงมีค่าประมาณ 344 ms⁻¹ ส่วนความเร็วเสียงในของเหลวและของแข็งจะแตกต่างจากความเร็วเสียงในของเหลวและของแข็งสามารถหาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C = \alpha \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

โดย

ρ	= ความหนาแน่นของของเหลว	(kg m^{-3})
B	= ค่าบัลค์มอดูลัสสำหรับของเหลว	(N m^{-2})
ρ	= ความหนาแน่นของของแข็ง	(kg m^{-3})
Y	= ค่ามอดูลัสยั้งส์สำหรับของเหลว	(N m^{-2})

3.1.4 คุณภาพเสียงและระดับเสียง

คุณภาพของเสียง (Quality) หมายถึง คุณลักษณะเสียงที่หูได้ยิน เช่นมีการบรรเลงเพลงจากวงดนตรีวงหนึ่งทุกชนิด ซึ่งเล่นเพลงเดียวกัน แต่หูสามารถแยกได้ว่าเสียงที่ได้นั้นมาจากเครื่องดนตรีประเภทใด เช่น จากไวโอลินหรือเปียโน เป็นต้น การที่หูสามารถแยกลักษณะของเสียงได้นั้นเพราะคุณภาพของเสียงต่างกัน โดยที่คุณภาพของเสียงจะขึ้นอยู่กับจำนวนและความเข้มของโอเวอร์โทนของเสียงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดนั้น ซึ่งแสดงเด่นออกมาจึงทำให้เครื่องดนตรีเหล่านั้นมีความไพเราะต่างกัน นอกจากนี้คุณภาพของเสียงยังขึ้นกับความเข้มของเสียงด้วย อย่างไรก็ตาม Giancoli ได้กล่าวว่าคุณภาพของเสียงหรือลักษณะพิเศษของเสียงจะขึ้นกับการผสมผสานกันความถี่ที่ปรากฏต่อผู้สังเกต

ระดับเสียง (pitch) หมายถึง ลักษณะความสูงต่ำของเสียง สำหรับเสียงสูง เช่น ข, ฉ, ชู เสียงต่ำ เช่น ค, เสียงสูงกว่า ทั้งนี้ระดับเสียงสามารถ ฉ, ง หรือ โน้ตดนตรี เช่น โค, เร, มี, ฟา, ซอล, ลา, ซี นั้น แสดงระดับเสียงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า โคมี เสียงต่ำ ซี มีกำหนดได้ด้วยความถี่ โดยระดับเสียงจะผันแปรตามความถี่ เสียงสูงหรือเสียงที่มีระดับสูงนั้นมีความถี่สูง ส่วนเสียงต่ำมีความถี่ต่ำนอกจากระดับเสียงยังขึ้นกับปริมาณความเข้มของเสียงด้วยระดับเสียงในช่วงที่มนุษย์สามารถรับฟังได้ คือความถี่ในช่วงประมาณ 20 – 20,000 Hz

3.1.5 ความเข้มของเสียงและความดังเสียง

พลังงานเสียงที่ถูกส่งออกจากแหล่งกำเนิดจะทำให้อนุภาคของตัวกลางเกิดการสั่นตัวในลักษณะของคลื่นตามยาวที่แผ่กระจายออกไป ทั้งนี้ความเข้มของคลื่นเสียงที่ส่งออกไปจากแหล่งกำเนิดเสียงนั้นขึ้นอยู่กับกำลังของแหล่งกำเนิด ซึ่ง Thumman และ Miller (1999) กล่าวว่า กำลังแหล่งกำเนิดเสียงสามารถแสดงได้ในหน่วยวัตต์ในสนามอิสระเสียงจะมีการกระจาย จากแหล่งกำเนิดทุกทิศทางในลักษณะของรูปทรงกลม (รูปที่ 3.5)

อย่างไรก็ตามพื้นที่ผิวของทรงกลมจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะห่าง จากแหล่งกำเนิดที่เพิ่มขึ้นด้วยทำให้ความเข้มเสียงหรือกำลังต่อหน่วยพื้นที่นั้นลดลงด้วย ทั้งนี้เพราะกำลังที่ส่งกระจายเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกไปมีค่าเท่าเดิม แต่พื้นที่ที่ครอบคลุมพลังงานนั้นกลับเพิ่มมากขึ้น ความเข้มที่ส่งออกจากแหล่งกำเนิดสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$I = W/S$$

โดย

I	= ความเข้มเสียง	($W m^{-2}$)
W	= กำลังของแหล่งกำเนิด	(W)
S	= พื้นที่ผิวทรงกลม	(m^{-2})

นอกจากนี้ Webb (1998) ยังได้กล่าวเพิ่มเติมในเรื่องนี้ไว้ว่าพลังงานเสียงต่อหน่วยพื้นที่ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ นั้นจะมีค่าเป็นสัดส่วนผกผันกับค่าของระยะทางจากแหล่งกำเนิดยกกำลังสอง ทั้งนี้ถ้าระยะทางจากแหล่งกำเนิดเสียงเพิ่มขึ้น 2 เท่า ค่าความหนาแน่นของพลังงานเสียงจะลดลง 4 เท่า (รูปที่ 3.6) อาจกล่าวได้โดยสรุปว่าในหน่วยของเดซิเบลว่าทุกครั้งทีระยะทางห่างจากแหล่งกำเนิดเพิ่มขึ้น 2 เท่า ระดับความดังเสียง จะลดลง 6 dB (A) สอดคล้องกับคำอธิบายของ Schmeiset (1997) ที่กล่าวว่า ณ ตำแหน่งที่ห่างออกไปจากแหล่งกำเนิดเสียงเป็นระยะทาง r และแหล่งกำเนิดเสียงมีกำลังเป็น W จะมีความเข้มเสียงเป็น I แสดงได้ดังสมการ

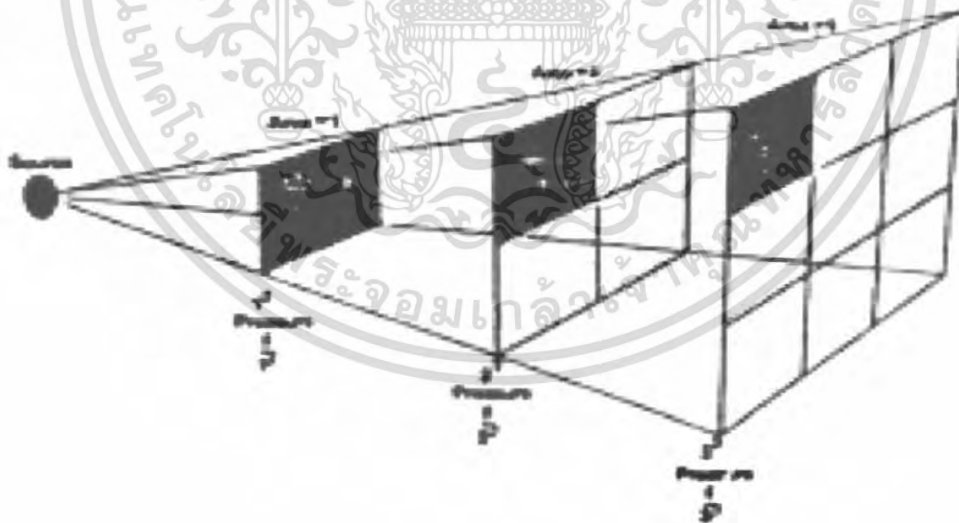
$$I = W / 4\pi r^2$$

โดย

I	= ความเข้มเสียง
W	= กำลังของแหล่งกำเนิด
R	= รัศมีจากแหล่งกำเนิด



รูปที่ 3.5 การแผ่กระจายพลังงานของคลื่นเสียงในลักษณะทรงกลม



รูปที่ 3.6 ความเข้มของพลังงานเสียงต่อหน่วยพื้นที่ ที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม Bueche (1998) ได้ให้ความหมายว่าความเข้มเสียงหมายถึงกำลังของแหล่งกำเนิดเสียงที่ส่งคลื่นเสียงผ่านพื้นที่หนึ่งหน่วยซึ่งรองรับมุมตันที่แหล่งกำเนิด ในทิศทางตั้งฉากกับทิศของการเคลื่อนที่ของคลื่นนั้น มีหน่วยเป็น $W.m^{-2}$ ทำนองเดียวกับที่ Ahford และ Wright กล่าวว่าความเข้มเสียงหมายถึงค่าเฉลี่ยของพลังงานเสียงที่ส่งผ่านพื้นที่ ที่ตั้งได้ฉากทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงในหนึ่งหน่วยเวลา โดยความเข้มของเสียงสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$I = P^2 / \rho c$$

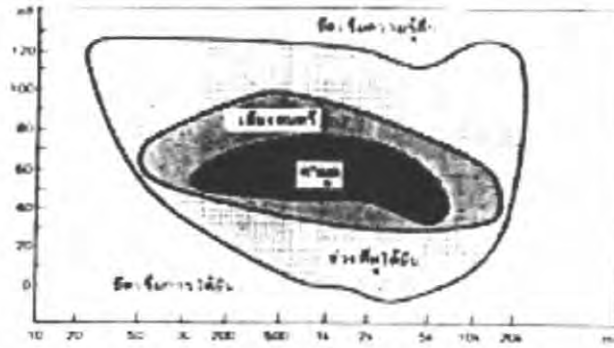
โดย

I	= ความเข้มเสียง	($W m^{-2}$)
P^2	= ความดันเสียงเฉลี่ยกำลังสอง	($N m^{-2}$) ²
ρ	= ความหนาแน่นของอากาศ	($kg m^{-3}$)
c	= ความเร็วของเสียง	(ms^{-1})

ทั้งนี้เสียงที่เบาที่สุดที่มนุษย์สามารถได้ยินนั้นมีความเข้มประมาณ $10^{-12} W m^{-2}$ และเสียงดังที่สุดที่มนุษย์สามารถทนได้นั้นมีความเข้มประมาณ $1 W m^{-2}$ Ahford และ Wright ซึ่ง Marion และ Hornyak กล่าวถึงการรับฟังเสียงของมนุษย์ว่า มนุษย์แต่ละคนจะมีความสามารถตอบสนองต่อเสียงที่มีความถี่ถึงในช่วงประมาณ 15 Hz ไปจนถึง 20,000 Hz อย่างไรก็ตามความสามารถในการตอบสนองต่อสิ่งที่มีความถี่สูงๆ ของแต่ละบุคคลนั้นจะลดลงเมื่อบุคคลนั้นมีอายุมากขึ้น โดยในวัยรุ่นจะสามารถรับฟังเสียงที่มีความถี่ประมาณ 20,000 Hz ได้เมื่อคนเดียวกันนี้มีอายุมากขึ้น เราจะไม่สามารถได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 12,000 Hz หรือ 14,000 Hz

ความดังของเสียง (loudness) หมายถึง ความรู้สึกได้ยินของมนุษย์ว่าดังมากหรือน้อยซึ่งเป็นปริมาณที่ไม่สามารถวัดด้วยเครื่องมือใดๆ โดยตรง ซึ่งความดังจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับลอการิทึมฐาน 10 ของความเข้มเสียง (ตารางที่ 3.3) ความดังจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มแต่ไม่อยู่ในรูปของความสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างง่าย ความรู้สึกดังเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสเกลของลอการิทึมของความเข้มเสียง ทั้งนี้จากการทดลองเกี่ยวกับความรู้สึกของผู้รับฟังเสียงต่อระดับเสียงของ Robinson และ Dadson พบว่าความดังเสียงมีความสัมพันธ์กับความเข้มและความถี่ของเสียง นอกจากนี้ยังได้นำข้อมูลจากการทดลองมาสร้างกราฟระดับความดังเสียงเทียบเท่าสำหรับความถี่บริสุทธิ์ (รูปที่ 3.7) โดยกราฟนี้สร้างขึ้นจากผลการทดสอบการได้ยินเสียงเฉลี่ยของกลุ่มคนจำนวนมาก ทั้งนี้ความดังและความถี่เสียงที่มนุษย์สามารถได้ยินนั้นจะอยู่ในช่วงที่แตกต่างกันออกไป

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 3.7 ระดับความถี่และความดังเสียงที่มนุษย์สามารถได้ยินในช่วงต่าง ๆ

ตารางที่ 3.3 ระดับความดังเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ

แหล่งกำเนิด	ระดับความเข้มเสียง (เดซิเบล)	ผลการรับฟัง
การหายใจปกติ	10	แทบจะไม่ได้ยิน
การกระซิบเบาแผ่ว	30	เจิบมาก
สำนักงานที่เจิบ	50	เจิบ
การพูดคุยธรรมดา	60	ปานกลาง
เครื่องดูดฝุ่น	75	ดัง
โรงงานทั่วไป	80	ดัง
ถนนที่มีการจราจรหนาแน่น	80	ดัง
เครื่องเสียงสเตอริโอในห้อง	90	ฟังบ่อย ๆ การได้ยินจะเสื่อม
เครื่องเจาะถนนแบบอัดลม	90	ฟังบ่อย ๆ การได้ยินจะเสื่อม
เครื่องตัดหญ้า	100	การได้ยินจะเสื่อมลง
ดิสโก้เทค	120	ไม่สบายหู
การแสดงดนตรี Rock ที่ดัง ๆ	120	ไม่สบายหู
ฟ้าผ่าระยะใกล้	130	ไม่สบายหู
เครื่องบินไอพ่นขึ้นระยะใกล้	150	เจ็บปวดในหู, แก้วหูชำรุด
จรวดขนาดใหญ่ในระยะใกล้	180	แก้วหูชำรุดทันที

3.1.6 ระดับความดังเสียง

ความเข้มเสียงที่มนุษย์สามารถได้ยินนั้นจะมีช่วงความกว้างมากคือ ตั้งแต่ $10^{-12} \text{ W m}^{-2}$ ถึง 1 W m^{-2} จึงไม่นิยมกล่าวถึงความเข้มเสียงโดยใช้สเกลแบบเลขคณิตธรรมดา แต่นิยมใช้สเกลลอการิทึมแทนซึ่ง (Cunniff) กล่าวว่าหน่วยที่เหมาะสมสำหรับบอกความเข้มเสียงที่มนุษย์สามารถรับได้ซึ่งมีขนาดกว้างมากก็คือ หน่วยของเดซิเบล โดยใช้อธิบายว่านิยามของค่าในหน่วยเดซิเบลของปริมาณใด ๆ A ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณ A_0 (ค่าอ้างอิง) แสดงได้ดังสมการ

$$db = 10 \log(A / A_0)$$

สำหรับมลพิษทางเสียงนั้นจะใช้หน่วยของเดซิเบลนี้ ในการวัดค่าของระดับความดังของเสียงอันเนื่องมาจากความเข้มเสียง กำลังเสียงและความดันอากาศ โดยความสัมพันธ์ของระดับความดังเนื่องจากเหตุต่าง ๆ นั้น (ตารางที่ 2.4) สามารถแสดงได้ด้วยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในรูปของลอการิทึม (Logarithmic) ซึ่งจะเป็นอัตราส่วนกับปริมาณอ้างอิงต่าง ๆ ดังนี้ ระดับความดังเสียงเนื่องจากความเข้มเสียง (sound intensity level ; IL) คำนวณได้จากสมการ

$$IL = 10 \log(I / I_0)$$

โดย

IL	= ระดับความดังเสียงจากความเข้มเสียง	(dB (A))
I	= ความเข้มเสียงที่พิจารณา	(W m^{-2})
I_0	= ความเข้มเสียงที่อ้างอิง	($10^{-12} \text{ W m}^{-2}$)

ระดับความดังเสียงเนื่องจากกำลังเสียง (sound power level ; PW L) คำนวณจากสมการ

$$PWL = 10 \log (W / W_0)$$

PWL	= ระดับความดังเสียงจากกำลังเสียง	(dB (A))
W	= กำลังเสียงที่พิจารณา	(W)
W_0	= กำลังเสียงอ้างอิง	($10^{-12} \text{ W m}^{-2}$)

ระดับความดังเสียงต่อเนื่องจากความดันเสียงในอากาศ (sound pressure level ; SPL) คำนวณได้จากสมการ

$$SPL = 20 \log(P / P_0)$$

โดย

SPL	= ระดับความดันเสียงจากความดันอากาศ	(dB (A))
P	= ความดันอากาศ ณ ตำแหน่งใด ๆ ที่คลื่นเสียงผ่าน	(N m^{-2})
P_0	= ความดันอากาศ ณ ตำแหน่งนั้น เมื่อคลื่นเสียงที่เบาที่สุดเคลื่อนที่ผ่าน	($10^{-12} \text{ N m}^{-2}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 กำลังและระดับกำลังของแหล่งกำเนิดเสียงประเภทต่าง ๆ

กำลัง (W)	ระดับกำลัง (dB)	แหล่งกำเนิด
100 000 000	200	เสียงจากจรวด
10 000 000		
1 000 000	180	
100 000		
10 000	160	เสียงจากเครื่องบิน โบอิง 747
1 000		
100	140	เสียงจากวงดนตรี
10		
1	120	เสียงเลื่อยไฟฟ้า
0.1		
0.01	100	
0.001		เสียงมอเตอร์ไซด์
0.001	80	
0.0001		เสียงทุคปกติ
0.000 001	60	
0.000 000 1		
0.000 000 01	40	
0.000 000 001		เสียงกระซิบ
0.000 000 000 1	20	
0.000 000 000 01		
0.000 000 000 001	0	

3.2 สมบัติและปรากฏการณ์เสียง

จากความหมายและคำนิยามของเสียงกล่าวไว้ว่าเสียง คือ พลังงานรูปแบบหนึ่งที่ส่งออกจากแหล่งกำเนิดและเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางในรูปของคลื่นตามยาว ดังนั้นเสียงจึงสามารถแสดงสมบัติของคลื่นอันประกอบด้วยสมบัติการสะท้อน การหักเห การแทรกสอดและการเลี้ยวเบน ได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งสมบัติของคลื่นเหล่านี้ยังก่อให้เกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ อีกมากมายดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การสะท้อนของเสียง

เมื่อคลื่นเสียงแผ่กระจายจากแหล่งกำเนิดมากระทบกับสิ่งกีดขวาง หรือ บริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติอย่างรวดเร็วของตัวกลางนั้นจะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การสะท้อน ขึ้นที่ผิวของตัวกลางหรือสิ่งกีดขวางที่คลื่นเสียงตกกระทบ เหมือนลูกบอลที่ตกกระทบกำแพงแล้วสะท้อนกลับออกมา (Merken, 1999) โดย ใค้อธิบายว่าคลื่นเสียงมีคุณสมบัติในการสะท้อนได้ นอกจากกรณีที่วัตถุซึ่งเสียงตกกระทบเป็นวัตถุคู่ชิดเสียงตามที่ได้ผลิตขึ้นให้ เหมาะกับงานหนึ่งๆ โดยเฉพาะ จึงมีการสะท้อนเสียงได้น้อย แม้ว่าผู้สังเกตต้องการรับเสียงตรง แต่ก็อาจมีเสียงสะท้อนปนออกมาบ้าง สำหรับในชีวิตประจำวันนั้น ถ้าเสียงสะท้อนเคลื่อนที่กลับมาถึงผู้สังเกตโดยมีช่วงเวลาห่างจากเสียงตรงน้อยกว่า 0.1 วินาที ผู้สังเกตยังคงได้ยินเสียงตรง และเสียงสะท้อนรวมกันเป็นเพียงเสียงเดียวทำให้แยกไม่ออกกว่าได้ยินเสียงสะท้อนแต่ถ้าเสียงสะท้อนเคลื่อนที่กลับมาถึงผู้สังเกตใช้เวลามากกว่า 0.1 วินาที ผู้ที่สังเกตจะได้ยินเสียงสะท้อนแยกจากเสียงตรงในลักษณะที่ซ้ำกันเรียกว่าเสียงก้อง

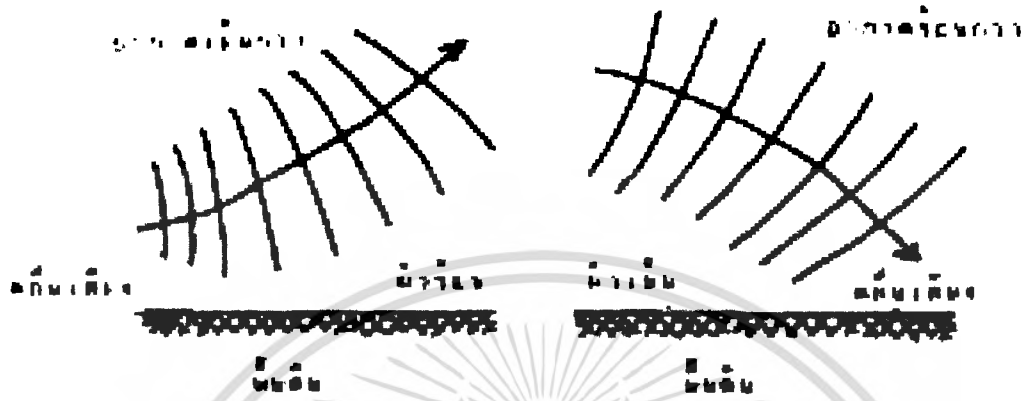
3.2.2 การหักเหของเสียง

เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดผ่านไปยัง บริเวณรอยต่อของตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกันจะเกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ของเสียงซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การหักเห ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาอากาศที่ระดับต่างๆซึ่งปกติแตกต่างกันในเรื่องของอุณหภูมิ ความชื้น ความหนาแน่น อันเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วของเสียง ก็คือการเดินทางช้าลงในตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากกว่าเป็นผลให้แนวทางการเคลื่อนที่และรูปร่างของคลื่นเสียงเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งมีผลต่อการได้ยินคือ ในเวลากลางคืนจะได้ยินเสียงได้ไกลกว่าในเวลากลางวัน ทั้งนี้เนื่องจากในเวลากลางวันอากาศที่บริเวณใกล้พื้นดินจะอุ่น หรือร้อนกว่าอากาศระดับสูงขึ้นไป (อุณหภูมิจะลดลงตามความสูงที่เพิ่มขึ้น) เมื่อตกกลางคืนท้องฟ้าแจ่มใสพื้นโลกคลายความร้อนออกไป ทำให้อากาศบริเวณใกล้พื้นดินเย็นกว่าอากาศในระดับสูง ดังนั้นในเวลากลางวันคลื่นเสียงจึงหักเหขึ้นไปเหนือพื้นดิน แต่เนื่องจากเสียงเดินทางไปใกล้ๆพื้นดินได้เร็วกว่าในเวลากลางคืน ในทางตรงข้ามเวลากลางคืนเสียงเดินทางไต่ลงสู่พื้นดินนอกจากนี้ช่วงเวลากลางคืนมีความเงียบสงบ ช่วยให้หูคนเรามีความไวต่อเสียงค่อยได้และคลื่นเสียงจะเดินทางในอากาศชั้นใต้เร็วกว่าอากาศแห้ง โดยแนวทางการเคลื่อนที่ของเสียงจะคล้ายกับเวลากลางคืน (ดังรูปที่ 3.8)

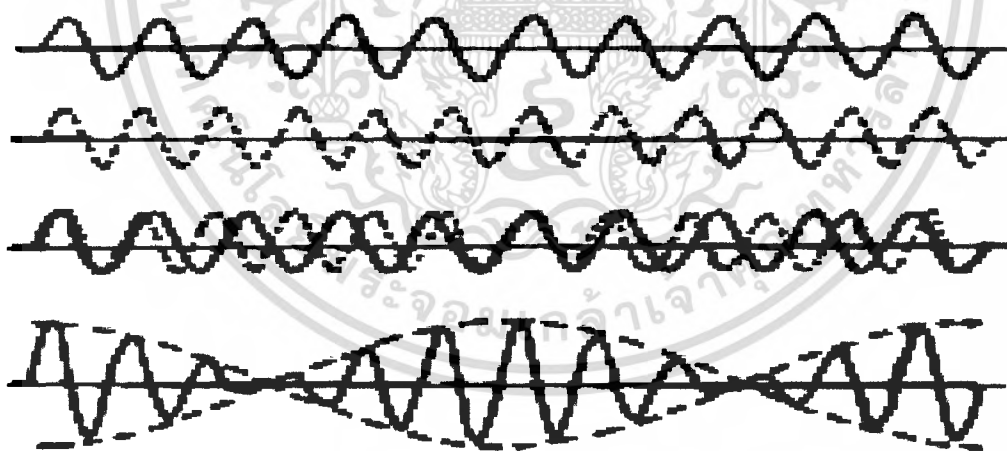
3.2.3 การแทรกสอดของเสียง

เมื่อคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดตั้งแต่ 2 แหล่งขึ้นไป เกิดขึ้นพร้อมกันและเคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งเดียวกัน คลื่นเสียงนั้นจะรวมกันเป็นคลื่นเสียงเดียวซึ่งเรียกการรวมกันว่าการแทรกสอด ซึ่งเป็นไปตามหลักการรวมกันได้ของคลื่น ทั้งนี้ถ้าคลื่นเสียงตั้งแต่ 2 แหล่งขึ้นไปที่มีความถี่ต่างกันเล็กน้อยมาแทรกสอดกัน บางขณะคลื่นเสียงเหล่านั้นแทรกสอดกันแบบเสริมทำให้เกิดการสั่นตัวของตัวกลางมากขึ้นจึงได้ยินเสียงดังมากกว่าปกติ และบางขณะคลื่นเสียงเหล่านั้นมีการแทรกสอดกันแบบหักล้างทำให้การสั่นของตัวกลางน้อยลง จึงได้ยินเสียงค่อยจนบางครั้งไม่ได้ยินเสียงเลย ดังนั้นเมื่อเสียงเหล่านี้เกิดการแทรกสอดและรวมกัน จะมีผลทำให้ผู้สังเกตได้ยินเสียงเดียวแต่จะดังและค่อยเป็นจังหวะและเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า

บีตส์ โดยความถี่ของบีตส์ที่ผู้สังเกตได้ยินจะเท่ากับ ผลต่างของความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียงทั้งสองทั้งนี้ ขณะที่เกิดเสียงค้างแอมพลิจูดของคลื่นรวมจะต่ำสุดเป็นเช่นนี้สลับกันไปตลอดเวลา (ดังรูปที่ 3.9)



รูปที่ 3.8 แนวการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงเวลากลางวันและกลางคืน



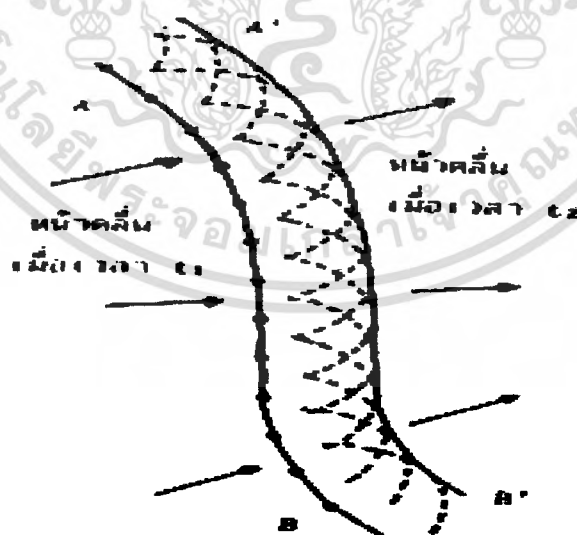
รูปที่ 3.9 การเกิดบีตส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การเลี้ยวเบนของเสียง

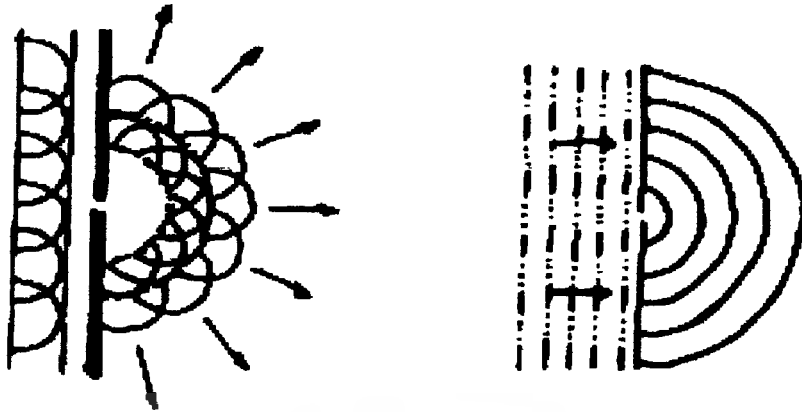
การเลี้ยวเบนของเสียงคือเกิดจากการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของเสียง เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่ มาดกกระทบสิ่งกีดขวาง เช่น กรณีการเลี้ยวเบนของเสียงที่มุมฉาก ทำให้สามารถได้ยินเสียงคนที่คุยกันอยู่ อีกด้านหนึ่งของคอกโดยไม่ต้องเห็นตัวคนพูด เป็นต้น การเปลี่ยนทิศทางโดยการเลี้ยวเบนของคลื่นเสียงนี้ ไม่ใช่การสะท้อน หรือการหักเหของเสียง เพราะปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นในตัวกลางเดียวกัน จากผลการ เลี้ยวเบนของเสียงนี้ทำให้ไม่สามารถสร้างมุมหรือบริเวณที่อับเสียงได้อย่างสมบูรณ์ เพราะกำแพงกันเสียง หรืออุปสรรคที่เป็นสิ่งกีดขวางใด ๆ ถ้าหากมีช่องเปิดหรือขอบเปิดไปสู่อีกด้านหนึ่ง จะทำให้เกิดเลี้ยวเบน ของเสียงขึ้นในบริเวณช่องเปิดหรือขอบเขตนั้น ๆ ได้เช่นกัน ทั้งนี้ปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายโดยหลัก ของฮอยเกนส์ อันเกี่ยวกับการแผ่กระจายของคลื่นเสียง ซึ่งกล่าวว่า “ แต่ละจุดบนหน้าคลื่น คือ แหล่งกำเนิดของคลื่นใหม่ ” (รูปที่ 3.10) ดังนั้นถ้าหากมีคลื่นตกกระทบ สิ่งกีดขวางที่มีช่องเปิดเล็ก ๆ แล้ว เคลื่อนที่ออกไปอีกด้านหนึ่งจะมีลักษณะเป็นคลื่นทรงกลม

ปรากฏการณ์การเลี้ยวเบนของเสียงและขนาดของสิ่งกีดขวาง โดยถ้าความยาวคลื่นของเสียงและ ขนาดของสิ่งกีดขวางต่างกันมากจะมีผลทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของคลื่นได้มาก (รูปที่ 3.11) หากเสียงตก กระทบสิ่งกีดขวางใด และคลื่นเสียงนั้นมีความยาวคลื่นมากกว่าขนาดวัตถุหรือสิ่งกีดขวางที่ตกกระทบ แล้วสิ่งกีดขวางที่ตกกระทบนั้น จะทำให้เกิดการโค้งงอของเสียงรอบวัตถุหรือสิ่งกีดขวางนั้น ๆ และเรียก ปรากฏการณ์นี้ว่า การเลี้ยวเบนของเสียงนั่นเอง



รูปที่ 3.10 การเกิดหน้าคลื่นใหม่ตามหลักของฮอยเกนส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 การเลี้ยวเบนของเสียงเมื่อผ่านช่องแคบ ตามหลักของฮอยเกนส์

3.2.5 ปราบกฎการณ้คอปเปลอร์

อธิบายถึงปราบกฎการณ้คอปเปลอร์ว่า หากแหล่งกำเนิดเสียงและผู้สังเกตมีการเคลื่อนที่สัมพันธ์ต่อกันในตัวกลางที่อยู่นิ่งนั้น ความถี่ของเสียงที่ปรากฏต่อผู้สังเกตจะแตกต่างไปจากความถี่ของคลื่นเสียงที่ส่งออกมาปราบกฎการณ้คอปเปลอร์ เช่น การได้ยินเสียงแตรรถ หรือเสียงหวูดรถไฟขณะวิ่งผ่านผู้สังเกตทำให้ได้ยินเสียงสูงหรือต่ำผิดไปจากปกติ ทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่าปราบกฎการณ้คอปเปลอร์ คือ เหตุการณ์ที่ระดับความถี่เสียงมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดเสียงและผู้สังเกตได้รับจะสูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามหากทั้งคู่เคลื่อนที่ออกจากกันระดับเสียงที่ผู้ส่งจะลดต่ำลง

3.2.6 การกำทอน

ปราบกฎการณ้คอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญของเสียงคือการกำทอน การกำทอนหมายถึง ปราบกฎการณ้ที่วัตถุหรือสิ่งใดสิ่งหนึ่งเกิดการสั่นตัว เมื่อได้รับการกระตุ้น โดยเคลื่อนที่มีความถี่ตรงกับความถี่ธรรมชาติของวัตถุสิ่งนั้น ทั้งนี้ถ้าคลื่นความถี่ทั้งสองตรงกันจะทำให้เกิดการสั่นตัวอย่างแรงของวัตถุขึ้น กล่าวคือแอมพลิจูดการสั่นตัวกว้างขึ้น การกำทอนของคลื่นเสียงตกกระทบและเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันและเกิดเสียงดังขึ้น การเกิดกำทอนของเสียงนี้เป็นหลักการที่นำมาประดิษฐ์เครื่องดนตรีประเภทเครื่องสาย เช่น ซอ กีตาร์ ไวโอลิน โดยมีกล่องเสียงช่วยให้เกิดการกำทอน ซึ่งความดังของเสียงจะมีเสียงดังมากขึ้นและมีความไพเราะมากขึ้นด้วยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของกล่องเสียงนั้น ๆ

3.2.7 เสียงกลบ

ในชีวิตประจำวันมีบางขณะที่กำลังสนทนาอยู่ และเกิดมีเสียงจากสภาพแวดล้อมซึ่งมีระดับเสียงที่ดังกว่าเสียงที่กำลังสนทนา จนไม่สามารถติดต่อดสื่อสารเป็นที่เข้าใจได้ เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่าปรากฏการณ์เสียงกลบ ทั้งนี้ขณะที่กำลังฟังเสียงหนึ่งอยู่ แล้วมีอีกเสียงหนึ่งค่อย ๆ มีความเข้มหรือระดับความดังเสียงมากขึ้น พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปนาน ๆ จะไม่ได้ยินเสียงแรกแต่ได้ยินเสียงที่สองแทนเหตุการณ์นี้เรียกว่า เสียงที่มีความเข้มหรือความดังมากกว่าได้กลบเสียงแรก และจากการทดลองยังพบว่าเสียงที่มีความถี่ต่ำมีความเข้มพอสมควรจะสามารถกลบหรือข่มเสียงสูง ๆ ได้ง่ายกว่าความสามารถในการลดระดับความดังเสียงของวัตถุกันเสียง

3.3 การดูดซึมเสียงและส่งผ่านเสียง

เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบบำเพงหรือวัตถุใด ๆ จะเกิดการสะท้อนและส่งผ่านคลื่นขึ้นซึ่ง เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบบแล้ว นอกจากจะเกิดการสะท้อน ของคลื่นแล้วยังเกิดการส่งผ่านของคลื่นเสียงทะลุวัตถุนั้น ๆ ด้วยพลังงานที่ลดลง ซึ่งการลดลงของพลังงานที่ส่งผ่านนี้เกิดขึ้นเนื่องจาก คลื่นเสียงที่ตกกระทบบได้ทำให้ผิวหน้าของวัตถุนั้นเกิดการสั่นตัว โดยพลังงานจากการสั่นตัวนี้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนเนื่องจากคุณสมบัติเกี่ยวกับแรงเสียดทานของวัตถุ ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นกับวัตถุที่มีรูพรุนช่อง ๆ ซึ่งมีความสามารถเปลี่ยนเส้นทางเดินของเสียงขณะที่อยู่ในตัวกลางนั้นได้

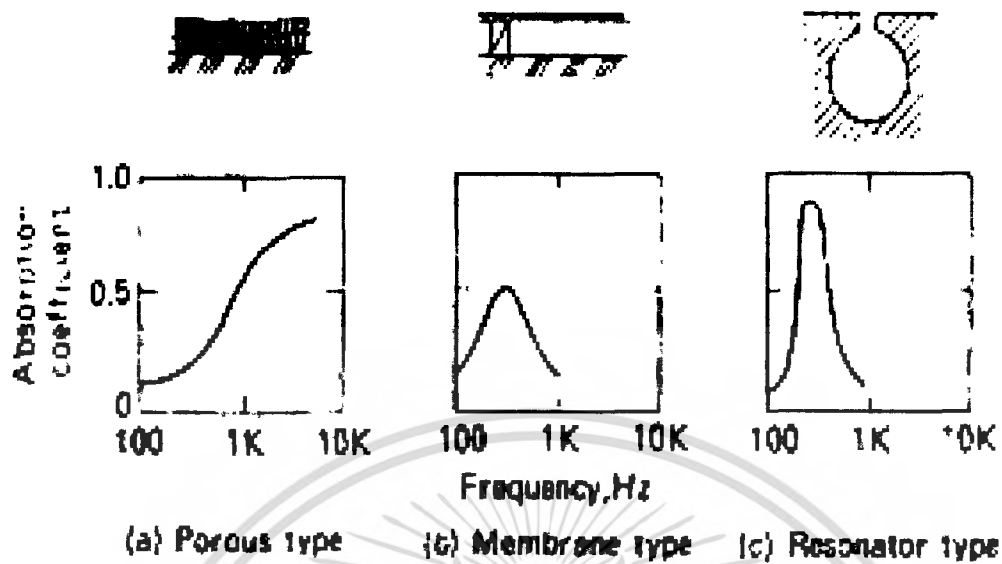
3.3.1 การดูดซึมเสียง

การเปลี่ยนแปลงผลรวมของพลังงานเสียงที่ลดน้อยลงเมื่อผ่านตัวกลางใด ๆ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการดูดซึมเสียงคือ ความสามารถของวัตถุดูดซึมพลังงานเสียง และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน โดยวัตถุที่สามารถดูดซึมคลื่นเสียง ได้ดีจะเป็นวัตถุจำพวกเส้นใย และวัตถุพรุน เมื่อกระทบวัตถุใด ๆ เสียงส่วนหนึ่งจะถูกกลืนและส่งผ่านเข้าไปในวัตถุนั้น ทั้งนี้จะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและคุณลักษณะของวัตถุนั้นเป็นสำคัญ (รูปที่ 2.12) คลื่นเสียงที่ผ่านเข้าไปในวัตถุเสียงนั้นตกกระทบบจะมีพลังงานลดลงเนื่องจากพลังงานส่วนหนึ่งจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานรูปอื่น เช่น พลังงานความร้อน

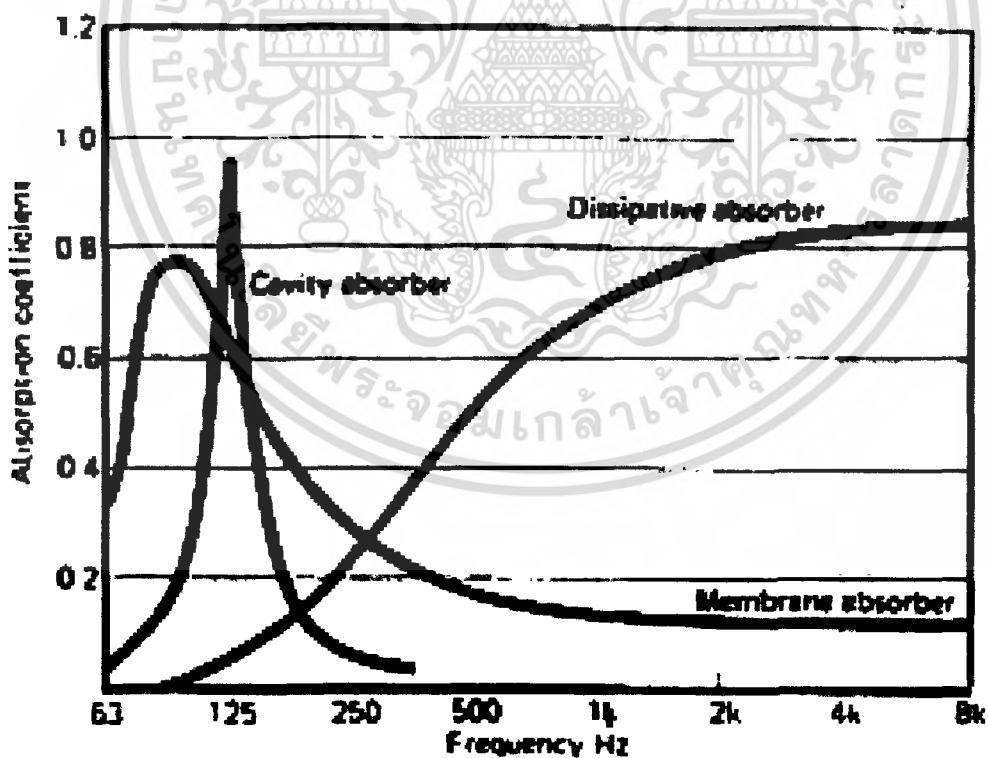
วัสดุดูดซึมเสียงแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1. วัสดุพรุน (Porous or Dissipative Absorber)
2. เมมเบรน (Membrane Absorber)
3. เรโซเนเตอร์ (Resonator or Cavity Absorber)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 ลักษณะการดูดซับเสียงของวัสดุดูดซับเสียงแต่ละชนิด



รูปที่ 3.13 การดูดซับเสียงของวัสดุดูดซับเสียงแต่ละชนิดตามความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การดูดซึมของวัสดุพูน

วัสดุดูดซึมเสียงที่จัดว่าเป็นวัสดุพูน ได้แก่ พรมปูพื้น โยแก้ว โยหิน ผ้า ขนสัตว์ โยมะพร้าว ผ้าสักหลาด และโฟมที่มีลักษณะของเซลล์เป็นเซลล์เปิด (เช่น โพลีนูรีเทน) เป็นต้น วัสดุเหล่านี้จะมีช่องว่างภายใน ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร ซึ่งต่ำกว่าขนาดความยาวคลื่นของเสียงมาก ดังนั้นวัสดุเหล่านี้จึงเป็นตัวกลางที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานภายในได้เป็นอย่างดี

กลไกในการเปลี่ยนแปลงพลังงานวัสดุพูน คือเมื่อพลังงานเสียงตกกระทบบนวัสดุเหล่านี้ โมเลกุลของอากาศจะเกิดการสั่นตัวภายในช่องว่างของวัสดุพูน โดยมีความถี่ของการสั่นเท่ากับความถี่ของเสียงที่ตกกระทบ การสั่นตัวของโมเลกุลของอากาศนี้จะก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการเสียดทาน และความหนืด นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่ รวมทั้งการอัดและการขยายของคลื่นเสียง ในระหว่างการเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างภายในวัสดุพูนเป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียของพลังงานในทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง ปรากฏการณ์ทั้ง 2 ชนิดนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานเป็นจำนวนมากเมื่อเสียงที่ตกกระทบมีความถี่สูง หรืออาจกล่าวได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความถี่ของเสียงมากขึ้น

ที่ความถี่ต่ำจะมีการสูญเสียพลังงานในรูปความร้อน เนื่องจากอากาศในช่องว่างของวัสดุพูนจะถูกอัด และขยายอย่างเป็นจังหวะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นพลังงานความร้อน คลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำจะทำให้ระยะเวลาในการสั่นตัวของโมเลกุลอากาศในแต่ละครั้งยาวนานขึ้น ประกอบกับคุณสมบัติของวัสดุพูน ซึ่งมีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงมากและความสามารถในการนำความร้อนของเส้นใยค่อนข้างสูง จึงทำให้ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนเป็นปัจจัยที่สำคัญของวัสดุพูน เมื่อคลื่นเสียงมีความถี่ต่ำ

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุพูน นอกจากจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ อีกด้วยเช่น ความหนา ความร้อน ความกว้าง ของช่องว่าง (Air Space) และความหนาแน่นของวัสดุพูน

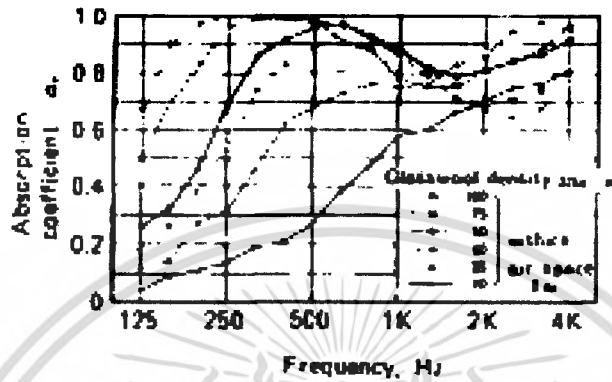
3.3.3 การดูดซึมเสียงของเมมเบรน

เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบบนวัสดุที่เป็นเมมเบรน วัสดุเหล่านี้จะเกิดการสั่นตัวด้วยความถี่เดียวกับความถี่ของเสียงตกกระทบ และเนื่องจากวัสดุเหล่านี้ไม่สามารถยืดหยุ่นได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นจึงมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปเนื่องจากการถ่ายเทพลังงานจากคลื่นเสียง ไปเป็นพลังงานความร้อนให้แก่วัสดุ นั้น ๆ การเปลี่ยนแปลงของพลังงานในรูปแบบนี้เอง ที่ทำให้วัสดุที่เป็นเมมเบรนสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุกั้นเสียงได้เป็นอย่างดี

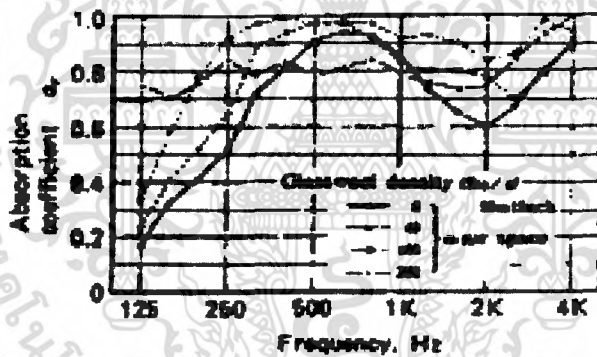
จะเห็นได้ว่า ที่ความถี่ต่ำวัสดุเหล่านี้จะมีประสิทธิภาพในการดูดซึมเสียงดีกว่าความถี่สูง เนื่องจากความถี่ต่ำพลังงานเสียงจะทำให้เมมเบรนเคลื่อนที่เสียงที่ความถี่สูง ในขณะที่คลื่นความถี่สูง มักจะถูกสะท้อนออกจากเมมเบรน โดยมีการสูญเสียพลังงานให้กับเมมเบรนน้อยมาก

วัสดุดูดซึมเสียงที่จัดเป็นเมมเบรน ได้แก่ แผ่นโลหะบาง ไม้อัด พลาสติก กระดาษ เป็นต้น เนื่องจากวัสดุเหล่านี้ จะมีประสิทธิภาพดีในการดูดซึมเสียงที่มีความถี่ต่ำเท่านั้น ดังนั้นจึงมักนิยมนำมาใช้

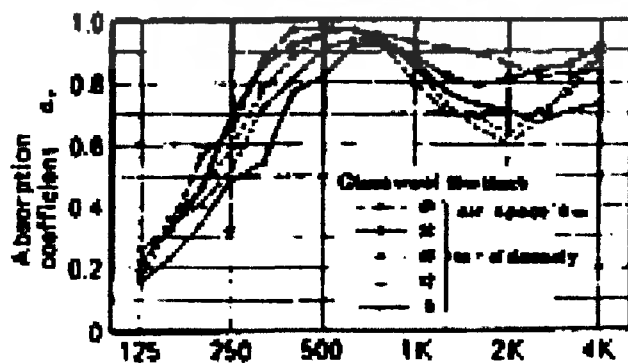
ร่วมกับวัสดุดูดซึมเสียงชนิดอื่น ๆ หรือมักจะนำไปใช้ในการดูดซึมเสียงบางชนิดที่มีความถี่ต่ำ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการนำไปใช้งาน เนื่องจากในทางปฏิบัติจะต้องใช้วัสดุพวกเส้นใยหรือวัสดุพรมที่มีความหนาต่าง ๆ จึงจะสามารถดูดซึมเสียงที่มีความถี่ต่ำ ๆ ได้



รูปที่ 3.14 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของใยแก้ว ที่ความหนาต่าง ๆ



รูปที่ 3.15 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของใยแก้วที่ความกว้างของช่องว่างขนาดต่าง ๆ



รูปที่ 3.16 สัมประสิทธิ์การดูดซึมของใยแก้ว ที่ความหนาแน่นต่าง ๆ

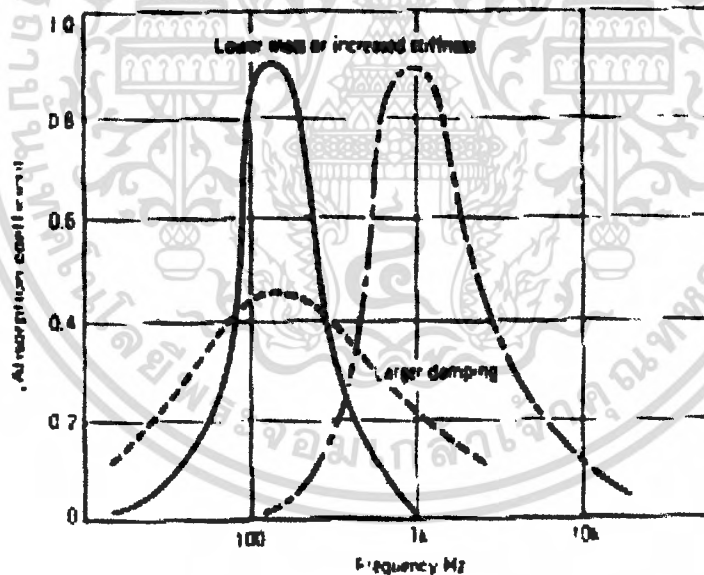
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุคูดซิมเสียงที่เป็นเมมเบรน จะสามารถคูดซิมเสียง ได้สูงสุดที่ความถี่หนึ่ง ซึ่งเรียกว่า ความถี่ของเรโซแนนท์ (Resonant Frequency) ความถี่นั้นจะขึ้นอยู่กับมวล (Mass) และ (Stiffness) ของเมมเบรนและความกว้างของช่องว่างที่อยู่ในเมมเบรน โดยมีความสัมพันธ์กันดังสมการ

$$f_{res} = \frac{60}{\sqrt{md}}$$

เมื่อ f_{res} = ความถี่ที่มีการคูดซิมเสียงสูงสุด
 m = มวลของเมมเบรน (kg / m^2)
 d = ความกว้างของช่องว่าง (m)

นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงสูงสุดของเมมเบรน ยังขึ้นอยู่กับความสามารถในการถ่ายเทพลังงานจากคลื่นเสียง ไปเป็นพลังงานความร้อนของวัสดุอีกด้วย กล่าวคือ ถ้าความสามารถในการถ่ายเทพลังงานจากคลื่นเสียง ไปเป็นพลังงานความร้อนของกรอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างมากขึ้น



รูปที่ 3.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงกับน้ำหนักความแข็ง และความสามารถในการเปลี่ยนแปลงพลังงานกลไปเป็นพลังงานความร้อนของเมมเบรน

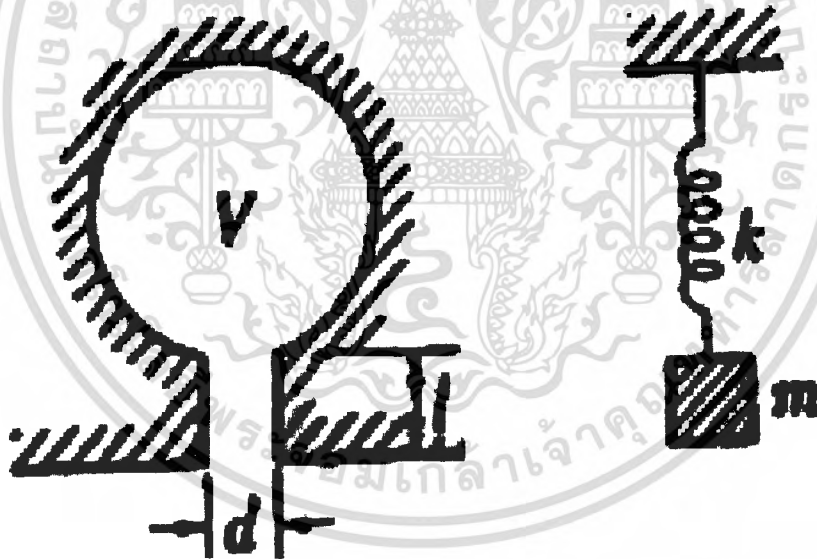
ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงสูงสุดที่ความถี่เรโซแนนท์ของเมมเบรน ทำได้ยากมาก เนื่องจากมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องเป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตามเพื่อความปลอดภัยในการออกแบบอาจกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การคูดซิมเสียงสูงสุดมีค่าไม่เกิน 0.4 สำหรับคูดวัสดุคูดซิมเสียงที่เป็นเมมเบรนซึ่ง

จะนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ในทางปฏิบัติสามารถสร้างวัสดุคูดซิมเสียงที่เกิดจากส่วนประกอบเอกสารนี้เป็นเอกสารพลังงานวิสาสำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของวัสดุพูนและเมมเบรนได้ซึ่งจะทำให้วัสดุที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงสูงครอบคลุมความถี่ในช่วงกว้าง ตัวอย่างของวัสดุนี้ เช่น การกรุไม้เนื้อแข็งบนวัสดุพูนที่มีความหนา 25 – 50 มิลลิเมตร (1 – 2 นิ้ว)

3.3.4 การดูดซึมเสียงของเรโซเนเตอร์ (Resonant Absorber)

วัสดุดูดซึมเสียงที่จัดเป็นเรโซเนเตอร์ หรือมักถูกเรียกว่า “Helmholtz Resonators” เป็นวัสดุที่มีโพรงอากาศอยู่ภายใน ซึ่งโพรงอากาศจะเชื่อมต่อกับบรรยากาศภายนอกโดยผ่านช่องเปิดขนาดเล็ก ถ้าโพรงอากาศมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กมาก เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวของคลื่นเสียงที่ตกกระทบบนช่องเปิด เรโซเนเตอร์ก็จะปรับให้มีความจำเพาะต่อความถี่นั้น ๆ ทำให้การสั่นตัวของปริมาตรอากาศในโพรงอากาศเป็นจังหวะตามการเคลื่อนที่เข้าออกของอากาศผ่านรูเปิดโพรงของอากาศ ซึ่งอากาศที่อยู่ภายในโพรงอากาศนี้จะมีพฤติกรรมคล้ายกับสปริง การเคลื่อนที่ของพลังงานการสั่นสะเทือนนี้มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากอากาศในโพรงอากาศมีลักษณะการเคลื่อนที่เหมือนของไหลที่ไม่มีการบีบอัด (Incompressible) และไม่มีแรงเสียดทาน (Frictionless)



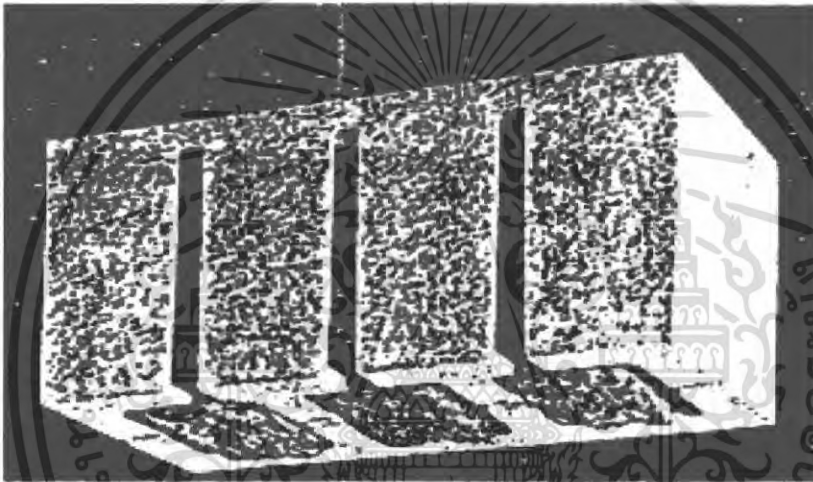
รูปที่ 3.18 รูปลักษณะของเรโซเนเตอร์เปรียบเทียบกับสปริง

ในทางปฏิบัติวัสดุดูดซึมเสียงที่เป็นเรโซเนเตอร์มีข้อจำกัดในการนำไปใช้งานสูง เนื่องจากสามารถดูดซึมเสียงได้ดีในช่วงความถี่ต่ำ และแคบกว่าที่จะนำไปใช้งานได้จริง อย่างไรก็ตามในงานที่ต้องการการดูดซึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียงสูง ในช่วงความถี่ต่ำ ๆ ก็สามารถนำเรโซเนเตอร์ไปใช้งานร่วมกับวัสดุดูดซับเสียงชนิดอื่นได้เป็นอย่างดี

ตัวอย่างของเรโซเนเตอร์ที่ประสบความสำเร็จเป็นอย่างสูง ในการนำไปใช้งานด้านอุตสาหกรรมก่อสร้างคือคอนกรีตบล็อกที่พบเห็นได้ทั่วไปในงานก่อสร้าง ซึ่งออกแบบให้มีช่องว่างที่ด้านหนึ่งเชื่อมต่อกับช่องว่างขนาดใหญ่ที่อยู่ภายใน คือคอนกรีตบล็อกที่ใช้กันในปัจจุบันค่อนข้างจะมีความพรุนสูงและสามารถดูดซับเสียงได้เป็นบางส่วน โดยทั่วไปคอนกรีตบล็อกที่ใช้เป็นเรโซเนเตอร์จะสามารถดูดซับเสียงได้สูงสุดในช่วงความถี่ระหว่าง 100 – 300 Hz และสามารถดูดซับเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 300 Hz ได้บ้างเล็กน้อยและถ้ามีการเติมวัสดุกลืนเสียงชนิดอื่น เช่น โยหิน หรือใยแก้ว ลงไปในช่องว่างภายในคอนกรีตบล็อก ก็จะทำให้มีความสามารถในการดูดซับเสียงที่มีความถี่สูงได้ดีกว่าเดิมอย่างชัดเจน



รูปที่ 3.19 รูปลักษณะทั่วไปของคอนกรีตบล็อกที่เป็นเรโซเนเตอร์

3.3.5 การส่งผ่านเสียง

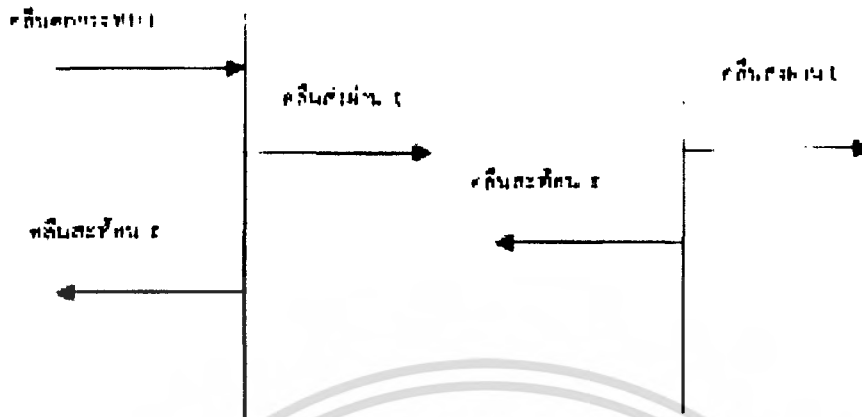
เมื่อเสียงตกกระทบวัตถุกลืนเสียงเช่น กำแพงหรือผนังแล้ว วัตถุนั้นจะเกิดการสั่นตัว ซึ่งการสั่นตัวในลักษณะนี้เป็นสาเหตุให้อากาศที่อยู่ใกล้เสียงวัตถุดังกล่าว มีการสั่นตัวตามไปด้วยทั้งสองด้านของวัตถุ ส่งผลให้วัตถุที่คลื่นเสียงตกกระทบนั้นประพฤติกรรมตัวเหมือนเป็นแหล่งกำเนิดเสียงอันใหม่ ซึ่งสนามเสียงใหม่อันเกิดจากวัตถุนี้จะมีพลังงานน้อยกว่าพลังงานเสียงตอนแรก ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานของคลื่นเสียงที่ตกกระทบวัตถุกั้นเสียงนี้ส่วนหนึ่งจะถูกใช้ไปสำหรับการทำให้วัตถุนั้นเกิดการสั่นตัว โดยลักษณะของวัตถุกั้นเสียงนั้นสามารถบอกได้ด้วยค่าสูญเสียขณะส่งผ่าน (transmission loss; TL) ซึ่งค่านี้เป็นสมบัติเฉพาะของวัตถุ ก็คือ อัตราส่วนของพลังงานที่ตกกระทบต่อพลังงานที่ส่งผ่านวัตถุนั้นเองซึ่งมีหน่วยเป็นเดซิเบล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแปรที่ 1 :

ตัวแปรที่ 2 :

ตัวแปรที่ 3 :



รูปที่ 3.20 แสดงกลไกการดูดซึมและส่งผ่านคลื่นเสียงในตัวกลางต่างชนิดกัน

3.4 การใช้ท่ออิมพีแดนซ์ในการตรวจวัดสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุ

ในการตรวจวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุแข็งต่าง ๆ นั้นสามารถใช้ท่ออิมพีแดนซ์ (Impedance Tube) เป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัดได้ ซึ่งท่ออิมพีแดนซ์นี้ประกอบด้วยท่อทรงกระบอกกลมขนาดเล็กที่ปลายด้านหนึ่งมีแหล่งกำเนิดเสียง และปลายอีกด้านหนึ่งมีตัวอย่างวัสดุที่ต้องการตรวจวัดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียง ภายในท่อจะต้องมีไมโครโฟนที่สามารถเคลื่อนที่ได้ตลอดความยาวของเส้นท่อ เครื่องมือนี้สามารถเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “เครื่องมือตรวจสอบคลื่นนิ่ง” และ “Standing Wave Apparatus” ซึ่งในการวัดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของคลื่นเสียงภายในท่อกลม เนื่องจากท่ออิมพีแดนซ์นี้สามารถใช้วัดได้เฉพาะการแพร่กระจายของคลื่นระนาบเท่านั้น ดังนั้นสำหรับท่อทรงกลม ความถี่ที่ตรวจวัดต้องมีค่าน้อยกว่าค่าที่คำนวณดังสมการ

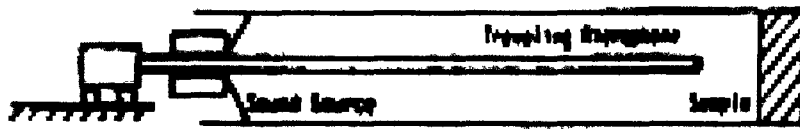
$$f = \frac{198}{D}$$

f = ความถี่ที่ต้องการตรวจวัดมีหน่วยเป็น (Hz)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อมีหน่วยเป็น (m)

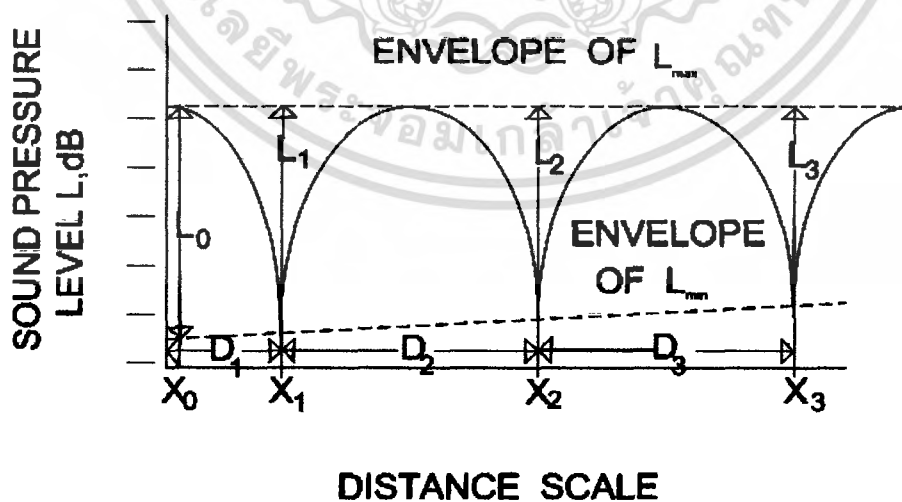
และเนื่องจากท่อมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก จึงทำให้ท่ออิมพีแดนซ์มีข้อจำกัดในการตรวจวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเสียงของตัวอย่างวัสดุดูดซึมเสียงที่มีขนาดเล็ก เมื่อมีการตกกระทบของคลื่นระนาบบนพื้นผิวของตัวอย่างเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 ลักษณะทั่วไปของท่ออิมพีแดนซ์

หลักการในการทำงานของเครื่องมือตรวจสอบคลื่นนิ่งชนิดนี้คือ เมื่อมีคลื่นเสียงแพร่กระจายออกจากแหล่งกำเนิดที่ปลายด้านหนึ่งของท่ออิมพีแดนซ์ ไปตามความยาวของเส้นท่อจนถึงปลายทางอีกด้านหนึ่ง ที่มีแผ่นตัวอย่างวัสดุดูดซับเสียงติดตั้งอยู่ ก็จะทำให้เกิดการตกกระทบและการสะท้อนของคลื่นเสียงขึ้นบนพื้นผิวของตัวอย่าง เมื่อคลื่นทั้งสองชนิดนี้ คือคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนเกิดการแทรกสอดกันขึ้นภายในเส้นท่อ จะทำให้เกิดคลื่นรูปแบบใหม่ขึ้นภายในท่อ คือ คลื่นนิ่ง (Standing Wave) ในกรณีที่คลื่นตกกระทบถูกสะท้อนออกจากผิวของตัวอย่างอย่างสมบูรณ์จึงกลายเป็นคลื่นสะท้อนทั้งหมด แอมพลิจูดของคลื่นทั้งสองชนิดนี้จะมีค่าเท่ากัน ทำให้ในบริเวณที่คลื่นมีการแทรกสอดแบบหักล้างกัน อย่างสมบูรณ์เป็นจุดที่มีระดับความดันต่ำสุดหรือเรียกว่า บัพ (Node) มีค่าความดันเป็นศูนย์และในบริเวณที่คลื่นมีการแทรกสอดแบบเสริมกันอย่างสมบูรณ์ เป็นจุดที่มีระดับความดันสูงสุดหรือเรียกว่า ปฏิบัพ (Antinodes) มีค่าความดันเป็นสองเท่าของคลื่นตกกระทบ ส่วนในกรณีที่พลังงานของคลื่นตกกระทบบางส่วนถูกดูดซับโดยวัสดุตัวอย่าง แอมพลิจูดของคลื่นสะท้อนจะมีค่าน้อยกว่าแอมพลิจูดตกกระทบ ทำให้จุดบัพภายในเส้นท่อมักมีความดันไม่เป็นศูนย์ ค่าแอมพลิจูดของบัพและปฏิบัพภายในเส้นท่อสามารถตรวจวัดได้โดยไมโครโฟนที่อยู่ภายในเส้นท่อที่สามารถเคลื่อนที่ได้ตลอดความยาวท่อ



รูปที่ 3.22 ลักษณะของคลื่นเสียงที่เกิดขึ้นภายในท่ออิมพีแดนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 การหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียง

$$\alpha_n = 1 - \left[\frac{10^{\frac{\Delta L}{20}} - 1}{10^{\frac{\Delta L}{20}} + 1} \right]^2$$

โดยที่

ΔL = ค่าความต่างของความดันของสัญญาณเสียง

α_n = ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียง

3.4.2 การหาค่า Impedance Ratio

สูตรในการหาค่า Impedance Ratio

$$\frac{z}{\rho c} = \frac{r}{\rho c} + \frac{jx}{\rho c} \quad \text{โดยที่} \quad \frac{r}{\rho c} = \frac{1}{M - N \cos \phi}, \quad \frac{x}{\rho c} = \frac{r}{\rho c} \times N \sin \phi$$

$$M = \frac{1}{2} \left[K_0 + \left(\frac{1}{K_0} \right) \right] \quad K_0 = \text{Standing wave ratio}, \quad \Delta L = L_{\max} - L_{\min}$$

$$N = \frac{1}{2} \left[K_0 - \left(\frac{1}{K_0} \right) \right] \quad \frac{z}{\rho c} = \text{Impedance ratio}$$

$$K_0 = 10^{0.05L_0} \quad \frac{r}{\rho c} = \text{Resistance ratio}$$

$$L_0 = L_1 + \frac{1}{2}(L_1 - L_2) \quad \frac{jx}{\rho c} = \text{Reactance ratio}$$

$$D_2 = X_2 - X_1 \quad \phi = 360^\circ \left[\frac{D_1}{D_2} - \frac{1}{2} \right]$$

3.4.3 ความสามารถในการลดระดับเสียงของวัตถุนั้น

เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบวัตถุกั้นเสียงใด ๆ เช่น ฉนวนหรือกำแพงจะเกิดปรากฏการณ์สำคัญ 3 ประการ (รูปที่ 3.23) โดยพลังงานของคลื่นเสียงบางส่วนถูกส่งทะลุผ่านวัตถุไปอีกด้านหนึ่ง พลังงานบางส่วนถูกดูดซับโดยวัตถุนั้น และส่วนที่เหลือจะสะท้อนกลับเข้าสู่ตัวเดิม จากกฎทรงพลังงานสามารถแสดงปรากฏการณ์ข้างต้นด้วยสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

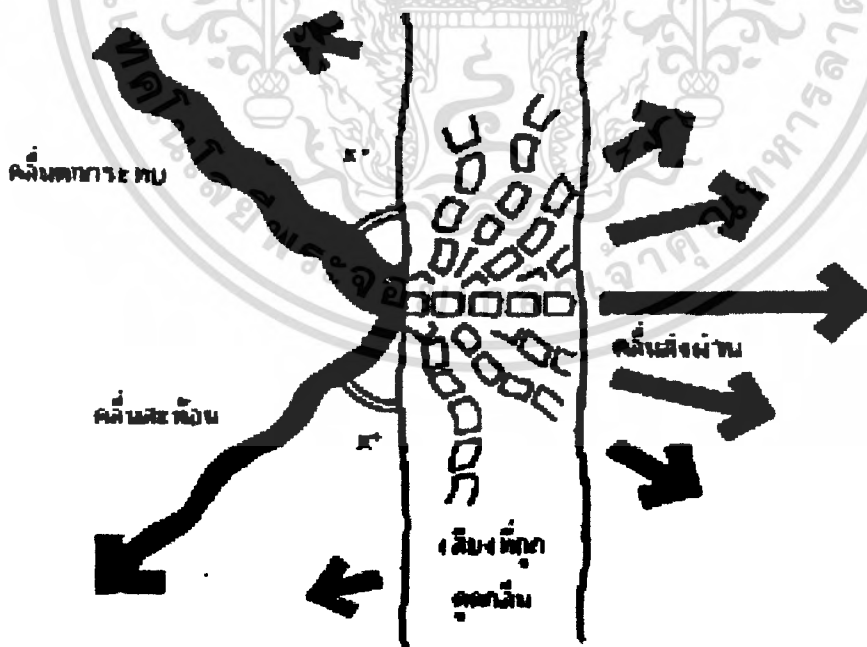
$$E_i = E_r + E_a + E_t$$

- โดย E_i = พลังงานเสียงที่ตกกระทบวัตถุ
 E_r = พลังงานเสียงที่สะท้อนออกจากวัตถุ
 E_a = พลังงานเสียงที่ถูกดูดซับในวัตถุ
 E_t = พลังงานเสียงที่ส่งผ่านไปยังอีกด้านหนึ่งของวัตถุ

พลังงานของคลื่นเสียงที่ถูกดูดซับ หรือพลังงานของคลื่นเสียงที่ตกลงเมื่อผ่านไปยังอีกด้านหนึ่งของวัตถุนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานในรูปอื่น ซึ่งส่วนใหญ่ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน และจากแนวความคิดเกี่ยวกับการตกกระทบของคลื่นเสียงบนวัตถุใด ๆ ดังกล่าวข้างต้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมและป้องกันเสียงรบกวนได้ โดยการนำวัตถุที่มีคุณสมบัติในการดูดซับหรือสะท้อนคลื่นเสียงได้เป็นอย่างดีมาวางกั้นระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงและผู้ฟังเสียง การลดระดับความดังเสียงทำได้โดยใช้กำแพงกันเสียง ซึ่งสามารถติดตั้งได้หลายรูปแบบ คือ

1. ปิดล้อมแหล่งกำเนิดเสียง
2. ปิดล้อมผู้รับฟังเสียง
3. กั้นระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงและผู้รับฟังเสียง

ทั้งนี้ระดับความดังเสียงที่ลดลง จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะการติดตั้งกำแพงกันเสียงอย่างไรก็ตามคุณสมบัติเชิงกายภาพของวัตถุกันเสียง จะเป็นตัวกำหนดถึงความสามารถในการลดระดับความดังเสียงของวัตถุนั้น ๆ ด้วย



รูปที่ 3.23 ปรากฏการณ์สะท้อน การดูดซับ และ ส่งผ่านเสียงของวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 การลดระดับความดังเสียงของวัตถุ

การลดระดับความดังเสียงโดยใช้หลักการเกี่ยวกับการดูดกลืนเสียงของวัตถุนั้น เมื่อเสียงตกกระทบวัตถุใด ๆ เสียงส่วนหนึ่งจะถูกดูดซึมและเปลี่ยนไปเป็นพลังงานกลในรูปแบบอื่นโดยปกติเป็นพลังงานกลในรูปแบบอื่นโดยปกติเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและคุณลักษณะของวัตถุนั้น วัตถุที่มีรูพรุนหรือมีช่องอากาศภายในสามารถดูดซึมเสียงได้ดี โดยเมื่อมีเสียงตกกระทบเสียงที่วัตถุ พลังงานส่วนหนึ่งจะถูกดูดซึมไปโดยผิวของวัตถุหน่วยของการดูดซึมเสียงมีหน่วยเป็นซาบิสน์ มีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างพื้นที่ผิวของวัตถุกับค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมของวัตถุนั้น วัตถุดูดซึมเสียงคือวัตถุที่มีความสามารถอธิบายได้ด้วยสัมประสิทธิ์การดูดซึม (absorption coefficients) ของวัตถุนั้น โดยสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียง คือ อัตราส่วนของพลังงานที่ถูกดูดซึมต่อพลังงานที่ตกกระทบวัตถุนั้น อย่างไรก็ตามสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัตถุนั้นยังขึ้นกับความถี่เสียงและมุมที่คลื่นเสียงนั้นตกกระทบด้วย ความสามารถในการดูดซึมเสียงของวัตถุใด ๆ นั้นมิได้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุชิ้นนั้นเพียงอย่างเดียวแต่ยังขึ้นอยู่กับวิธีในการติดตั้งวัตถุนั้น ๆ ขนาดและรูปร่างของห้องที่จะนำวัตถุสำหรับดูดซึมเสียงนั้นไปติดตั้งด้วยและนอกจากนี้ยังรวมไปถึงตำแหน่งที่ใช้ติดตั้งในห้องและพื้นที่รวมทั้งหมดที่ต้องการใช้ด้วย

การลดระดับความดังเสียงโดยใช้หลักการเกี่ยวกับการส่งผ่านคลื่นเสียงของวัตถุนั้น คือเมื่อคลื่นเสียงตกกระทบกำแพง กำแพงจะเกิดการสั่นตัวขึ้น ซึ่งการสั่นตัวในลักษณะนี้เป็นสาเหตุให้อากาศที่อยู่ใกล้เคียงกำแพงทั้งสองด้านเกิดการสั่นตัวด้วย ส่งผลให้กำแพงทั้งสองด้านเกิดการสั่นตัวด้วย ส่งผลกระทบให้กำแพงนั้นประพฤติตัวเหมือนเป็นแหล่งกำเนิดเสียงใหม่ ซึ่งสนามเสียงใหม่ที่เกิดจากกำแพงนี้จะมีพลังงานน้อยกว่าพลังงานเสียงตอนแรก เนื่องจากพลังงานของเสียงที่ตกกระทบกำแพงส่วนหนึ่งถูกใช้สำหรับการทำให้กำแพงนั้นสั่นตัว ทำนองเดียวกันกับการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการควบคุมเสียงว่าสิ่งหนึ่งที่ต้องกระทำคือการหยุดคลื่นเสียงเพื่อไม่ให้มีการเคลื่อนที่จากแหล่งหนึ่งไปยังอีกแหล่งหนึ่ง ซึ่งสามารถดำเนินการได้โดยนำกำแพงมากันเพื่อแยกแหล่งกำเนิดเสียงออกจากบริเวณที่ต้องการความสงบ ทั้งนี้การส่งผ่านคลื่นเสียงสามารถอธิบายได้ด้วยค่าการสูญเสียขณะส่งผ่าน ค่านี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของกำแพงกันเสียงด้วย

3.4.5 สัมประสิทธิ์การส่งผ่านเสียง (Transmission coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านเสียงหมายถึงอัตราส่วนของกำลังเสียงที่ส่งผ่านวัตถุต่อกำลังเสียงที่ตกกระทบวัตถุนั้นดังสมการ

$$\tau = W_t / W_i$$

โดย

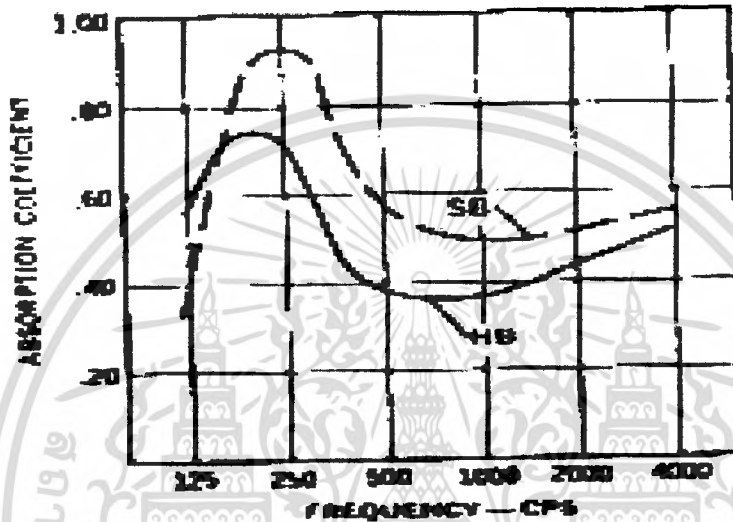
τ = สัมประสิทธิ์การส่งผ่านเสียง

W_t = กำลังเสียงที่ส่งผ่านวัตถุ (W)

W_i = กำลังเสียงที่ตกกระทบวัตถุ (W)

3.4.6 คำนีระบุมรรณะในการลดระดับเสียง

จากแนวคิดต่าง ๆ เกี่ยวกับการดูดซึมเสียงและส่งผ่านคลื่นเสียงของวัสดุนั้นสามารถนำมาประยุกต์เพื่อควบคุมระดับเสียงได้ดี โดยพบว่าถ้าหากต้องการลดระดับความรุนแรงของปัญหามลพิษทางเสียงในบริเวณใด สามารถทำได้โดยนำวัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดซึมเสียงได้ดีหรือวัสดุที่มีคุณสมบัติในการส่งผ่านเสียงได้ดีหรือไม่ดี อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือทั้ง 2 อย่างมาติดตั้งเพื่อทำเป็นวัสดุควบคุมเสียง โดยดัชนีที่ใช้สำหรับบ่งบอกถึงสมรรถนะในการลดระดับเสียงของวัสดุมีด้วยกันหลายค่า (รูปที่ 3.24)



รูปที่ 3.24 การดูดกลืนเสียงของคอนกรีตบล็อก

3.4.7 ค่าสูญเสียขณะส่งผ่านเสียง (Transmission loss; TL)

การควบคุมเสียงคือสิ่งหนึ่งที่ต้องการกระทำ คือการหยุดคลื่นเสียงเพื่อไม่ให้มีการเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดไปยังบริเวณอื่น ซึ่งสามารถทำได้โดยนำกำแพงมาขึ้นเพื่อแยกแหล่งกำเนิดเสียงออกจากบริเวณที่ต้องการความสงบ ทั้งนี้การลดระดับความดังเสียงเนื่องจากการส่งผ่านคลื่นเสียงสามารถอธิบายได้ด้วยค่าสูญเสียขณะส่งผ่าน ซึ่งค่านี้จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของกำแพงกั้นเสียงนั้น ๆ ด้วย โดยค่า TL นี้สามารถหาได้จากสมการ

$$TL = 10 \log (W_t / W_i)$$

โดยที่

TL	= ค่าสูญเสียขณะส่งผ่านเสียง	(dB (A))
W_t	= กำลังเสียงที่ส่งผ่านวัตถุ	(W)
W_i	= กำลังเสียงที่ตกกระทบวัตถุ	(W)

3.4.8 สัมประสิทธิ์การลดระดับความดังเสียง (noise reduction coefficient ; NCE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.8 สัมประสิทธิ์การลดระดับความดังเสียง (noise reduction coefficient ; NCE)

หมายถึง การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุต่างชนิดกัน สามารถระบุได้ด้วยว่า NCE คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ความถี่ 250,500,1000 และ 2000 Hz ดังสมการ

$$NRC = (\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000}) / 4$$

โดยที่

NRC = สัมประสิทธิ์การลดระดับความดังเสียง

α = ความถี่เสียงที่ 250,500,1000,2000 Hz

3.4.9 การลดระดับความดังเสียง (noise reduction ; NR)

การควบคุมปัญหามลพิษทางเสียง สิ่งหนึ่งซึ่งจะต้องดำเนินการ คือการลดระดับเสียงให้ลดลง ความหมายของการลดระดับความดังเสียงของวัสดุกันเสียงดังนี้ คือ ความแตกต่างของระดับความดังเสียงก่อนผ่านวัสดุกันเสียงกับหลังผ่านวัสดุกันเสียง แสดง ได้ดังสมการ

$$NR = SPL_1 - SPL_2$$

โดยที่

NR = ระดับความดังเสียงที่ลดลง (dB (A))

SPL₁ = ระดับความดังเสียงเมื่อไม่มีสิ่งกีดขวาง (dB (A))

SPL₂ = ระดับความดังเสียงเมื่อมีสิ่งกีดขวาง (dB (A))

3.4.10 ระดับเสียงที่เป็นอันตราย

มาตรฐานระดับความดังเสียงซึ่งกำหนดไว้โดย EPA สำหรับย่านที่พักคือ ระดับความดังเสียงที่เกินกว่า 85 dB(A) ซึ่งสามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อประสาทหูของผู้รับฟังเสียงนั้นได้รับ ดังนั้น โรงงานอุตสาหกรรมใดที่มีระดับความดังเสียงเกินกว่า 90 dB(A) จัดว่าอันตรายต้องมีมาตรการป้องกัน ทั้งนี้อาศัยและสถานศึกษา คือ ระดับความดังเสียงไม่ควรเกิน 55 dB(A) ทั้งนี้ระดับความดังเสียงที่เป็นอันตรายระดับเสียงเป็นพิษคือ เสียงที่มีระดับความดังเกินมาตรฐานที่องค์การอนามัยโลก ได้กำหนดไว้คือ 85 dB(A) ซึ่งอาจทำให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ เพราะโดยปกติเสียงที่บุคคลทั่วไปจะได้รับฟังได้โดยไม่มีอันตรายควรเป็น 120 dB(A) และถ้าได้ยินติดต่อกันนาน 1 ชั่วโมง ให้ฟังได้ไม่เกิน 85 dB(A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

อุปกรณ์และการสร้างชุดทดลอง

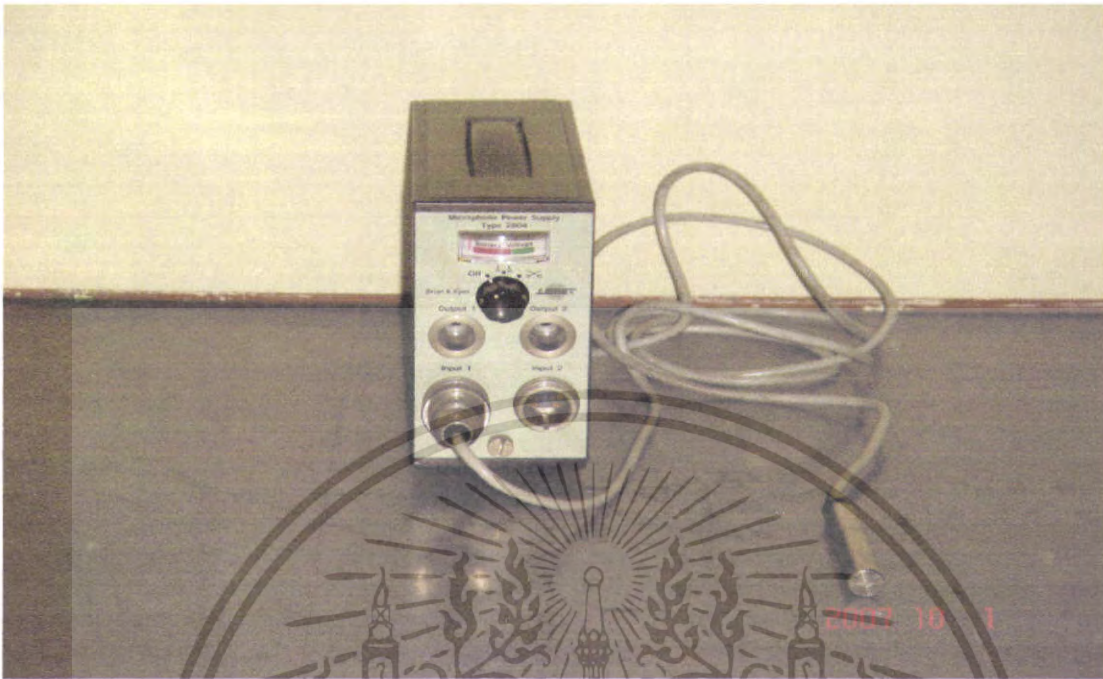
4.1 อุปกรณ์การทดลอง

1. ท่อพลาสติก ยาว 2.25 เมตร กว้าง 0.05 เมตร
2. เครื่องกำเนิดเสียงที่สามารถปรับความถี่สูง – ต่ำ ได้
3. ไมโครโฟน
4. ตัวเลื่อนไมโครโฟน
5. วัสดุที่ใช้ทดลอง คือ กระดาษ, ไม้, อีฐ
6. ลำโพงกระจายเสียง
7. แผ่นเหล็ก
8. ตัวบันทึกค่าสัญญาณ (F F T Analyzer)

4.2 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

1. ต่ออุปกรณ์ในการให้สัญญาณเสียง โดยต่อเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงที่สามารถปรับความถี่ต่าง ๆ ได้ เข้ากับตัวขยายหรือแอมพลิไฟเออร์ และต่อไปยังลำโพง
2. ติดลำโพงให้แนบกับปลายท่อด้านที่แยกจากท่อใหญ่
3. ประกอบไมโครโฟนเข้ากับตัวเลื่อนไมโครโฟน
4. ติดตั้งไมโครโฟนที่แกนกลางของท่อ โดยที่ไมโครโฟนสามารถปรับเลื่อนได้ตามความยาวของท่อ
5. วางแผ่นเหล็กไว้ที่ด้านตรงข้ามกับแหล่งกำเนิดสัญญาณเสียง
6. ต่อสายสัญญาณไมโครโฟนเข้ากับตัวบันทึกค่าสัญญาณ (F F T Analyzer)

อุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 4.1 ไมโครโฟนและตัวขับพลาย



รูปที่ 4.2 เครื่องบันทึกสัญญาณ (FFT Analyzer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

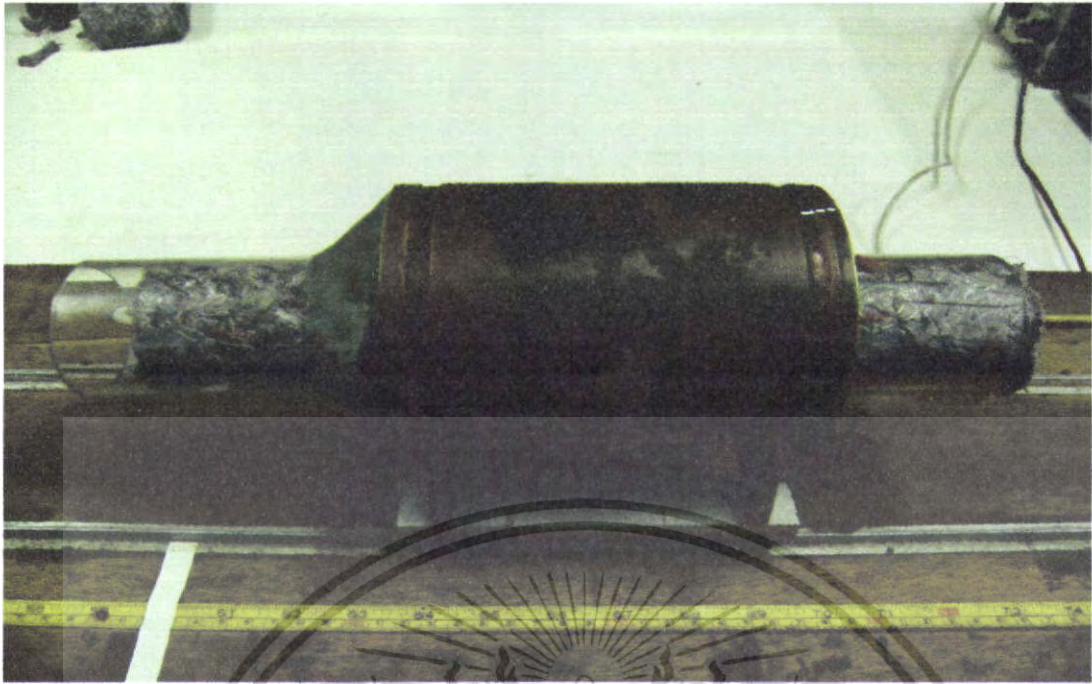


รูปที่4.3 เครื่องกำเนิดเสียงที่สามารถปรับความถี่สูง-ต่ำได้



รูปที่4.4 ลำโพงกระจายเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

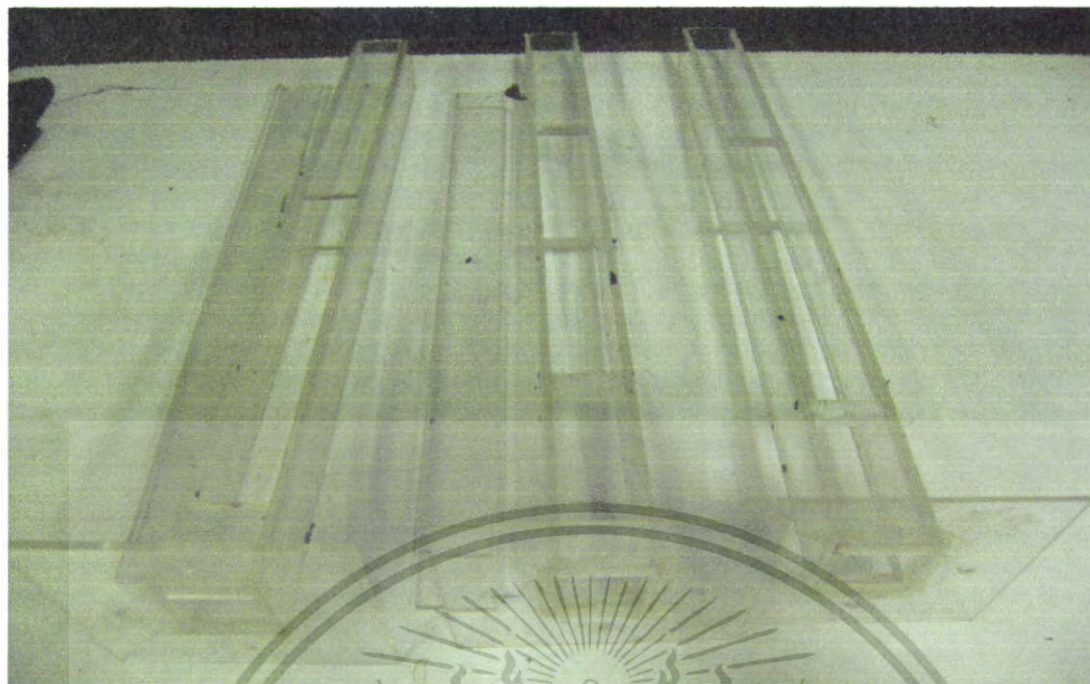


รูปที่ 4.5 ตัวเลื่อนไมโครโฟน



รูปที่ 4.6 แผ่นเหล็กสะท้อนเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

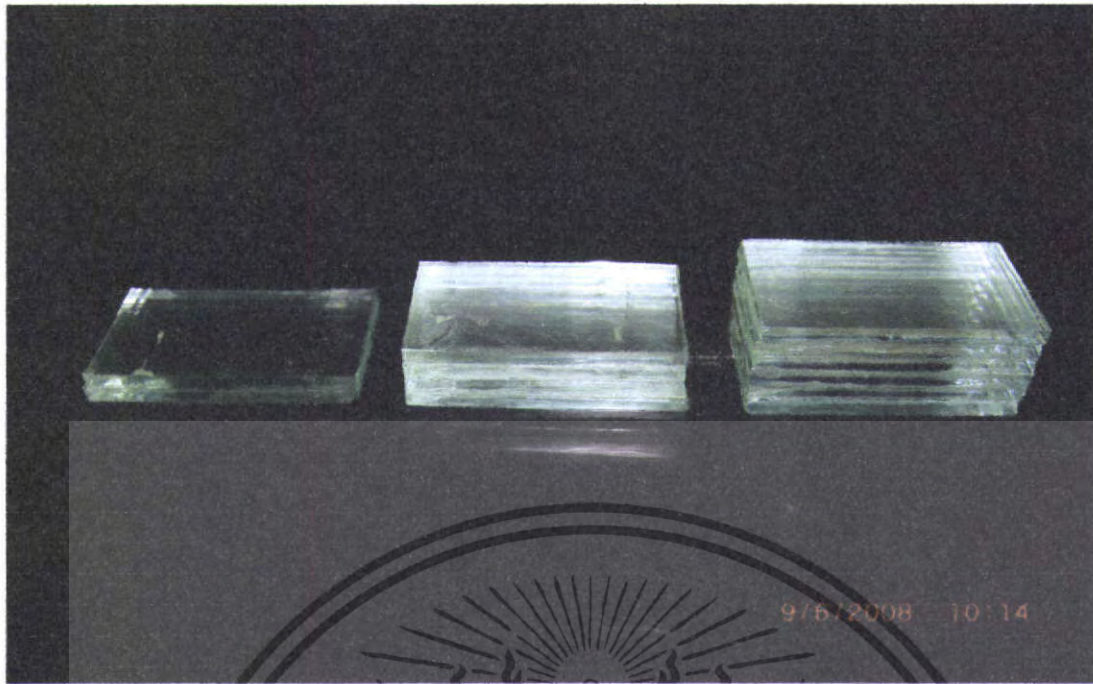


รูปที่ 4.7 รูปท่อทำมอดต่างๆ



รูปที่ 4.8 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง อิฐ หนา 1cm, 2cm , และ 3 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

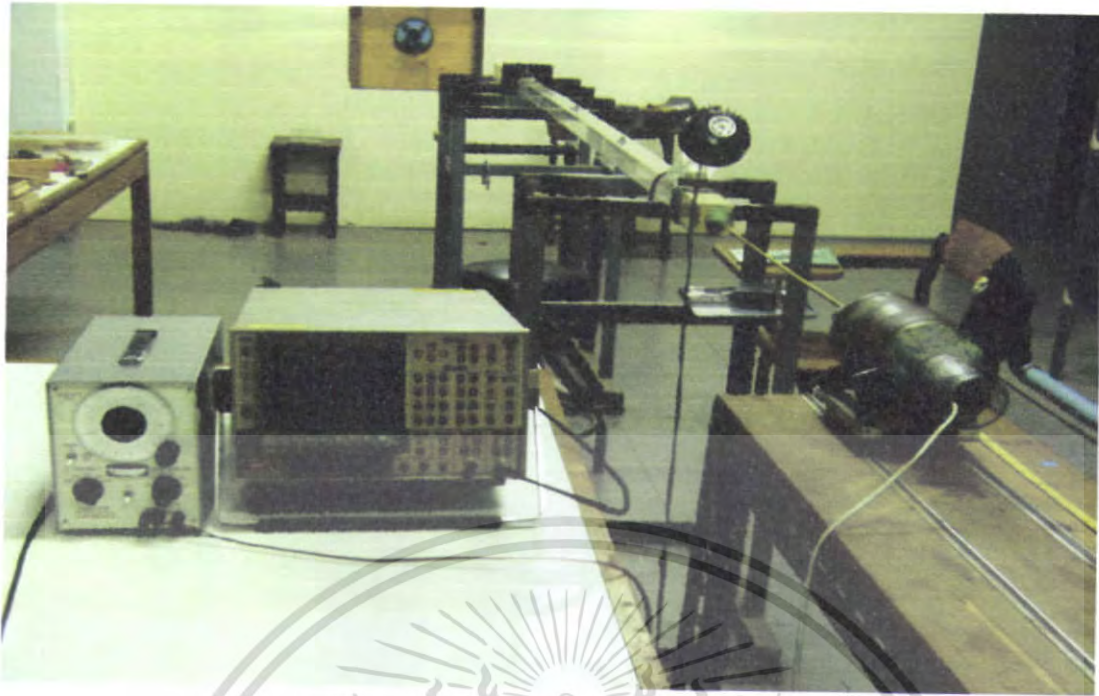


รูปที่4.9 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง กระจก หน้า 1cm, 2cm , และ 3 cm

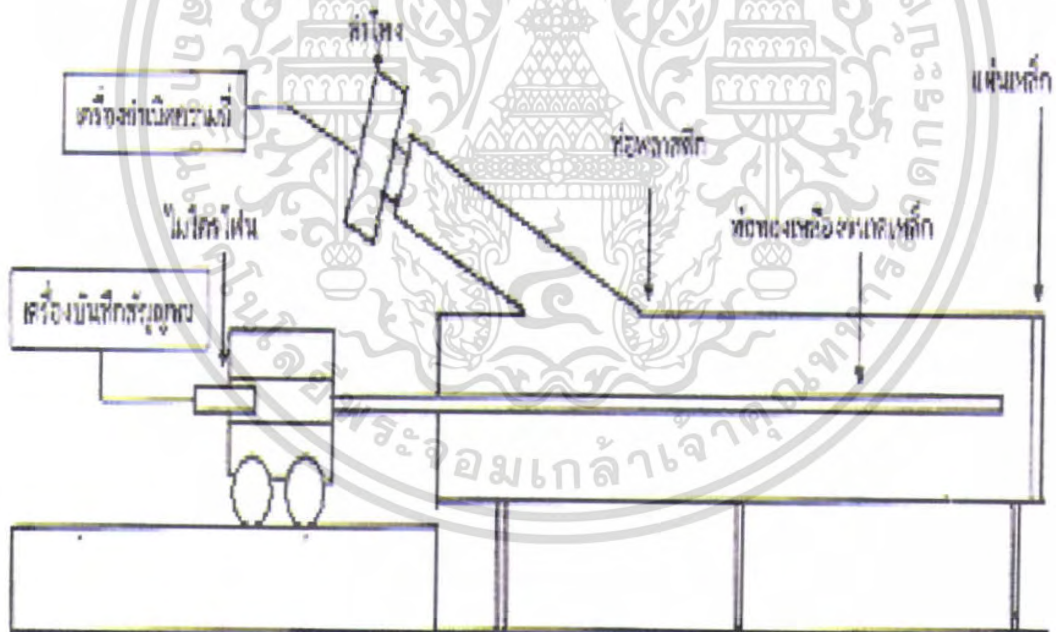


รูปที่4.10 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง ไม้ หน้า 1cm, 2cm , และ 3 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ชุดการทดลองจริง



รูปที่ 4.12 ชุดการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

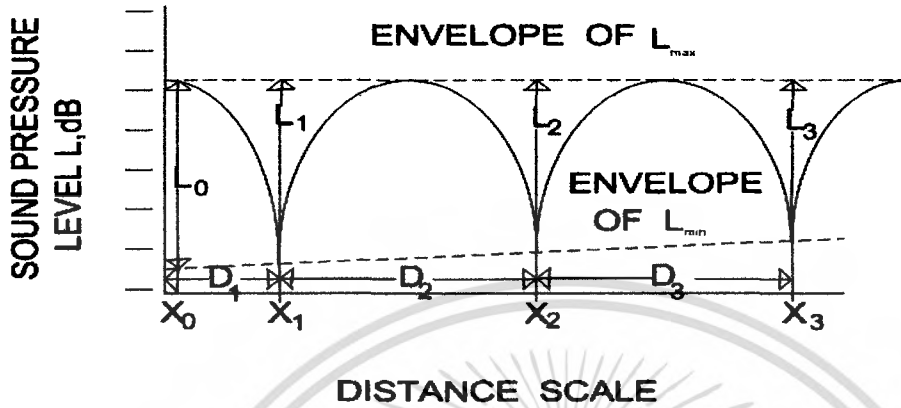
วิธีการทดลอง

- 1.นำวัสดุที่ใช้ทดสอบมาวางไว้ที่ช่องว่างที่ใส่วัสดุและนำเอาที่กั้นมากั้นและวางวัสดุอีกชิ้นมาวางติดกับแผ่นเหล็ก
- 2.สร้างสัญญาณเสียงจากแหล่งกำเนิดโดยเริ่มที่ความถี่ 125 ,250, 500, 100 , 200 และ 4000 Hz ตามลำดับการป้อนเข้าไปยังลำโพงจะส่ง สัญญาณเสียงไปตามท่อ
- 3.ทำการบันทึกค่าความดันเสียง สูงสุดและต่ำสุดที่สะท้อนจากแผ่นเหล็ก มายังไมโครโฟน โดยเลื่อนตำแหน่งของไมโครโฟน ไปยังตำแหน่งต่างๆภายในท่อ
- 4.นำค่าบันทึกได้จากไมโครโฟนมาคำนวณ โดยนำค่ามากที่สุดและค่าที่ต่ำที่สุดคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานและการดูดซึมเสียง
- 5.เปลี่ยนชนิดชิ้นทดสอบ แล้วทำการทดลองเช่นเดิม
- 6.ทำการเปลี่ยนท่อที่มุมต่างๆ และทำการทดลองเช่นเดิม



ทฤษฎีและตัวอย่างการคำนวณ

จากการทดลองพบว่าคลื่นเสียงที่เกิดภายในท่ออิมพีแดนซ์จะมีลักษณะดังภาพข้างล่างนี้



จากภาพที่แสดงจะเห็นได้ว่าระดับความดันเสียงสูงสุด (L_{\max}) จะเท่ากันตลอดส่วนระดับความดันเสียงต่ำสุด (L_{\min}) จะมีค่ามากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อห่างจากผิวซันทดสอบออกไปในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียง (α) นั้นจะใช้ค่าระดับความดันเสียงต่ำสุดสองค่าแรกจากผิวซันทดสอบซึ่งใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\alpha = 1 - R_p^2$$

โดยที่

$$R_p^2 = \left[\frac{10^{\frac{L_0}{20}} - 1}{10^{\frac{L_0}{20}} + 1} \right]^2$$

เมื่อ

$$L_0 = L_1 + \frac{1}{2} [L_1 - L_2]$$

และ

$$L_1 = L_{\max} - L_{\min_1}$$

$$L_2 = L_{\max} - L_{\min_2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง

วัสดุ	ความหนา (cm)	ความถี่ 125Hz			absorption coefficient
		แอมพลิจูด สูงสุด	แอมพลิจูด ต่ำสุดที่ 1	แอมพลิจูด ต่ำสุดที่ 2	
อิฐ	1	87.22	67.26	68.5	0.331

จากตารางจะได้

$$L_{\max} = 87.22$$

$$L_{\min_1} = 67.26$$

$$L_{\min_2} = 68.5$$

เมื่อ

$$L_1 = 87.22 - 67.26 = 19.96$$

$$L_2 = 87.22 - 68.5 = 18.72$$

โดยที่

$$L_0 = 19.96 + \frac{1}{2} [19.96 - 18.72]$$

$$L_0 = 20.58$$

แทนค่าในสมการได้

$$R_p^2 = \frac{\left[\frac{20.58}{10^{20}} - 1 \right]^2}{\left[\frac{20.58}{10^{20}} + 1 \right]^2}$$

$$R_p^2 = 0.6687$$

∴

$$\alpha = 1 - 0.669$$

$$\alpha = 0.331$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าการดูดซึมเสียงของอิฐที่ความหนา 1,2,3cm ที่มุมต่างๆ

ตารางที่ 5.1 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ ที่หนา 1 , 2, 3 cm มุม 90 องศา ไม่มีช่องว่างอากาศ

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.153995	0.181796	0.219937	0.228577	0.299242	0.362821
2	0.171285	0.256752	0.314385	0.318602	0.369027	0.432867
3	0.191681	0.286763	0.360991	0.410172	0.425401	0.604907

ตารางที่ 5.2 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ ที่หนา 1 , 2,3 cm มุม 60 องศา ไม่มีช่องว่างอากาศ

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.142273	0.316337	0.361323	0.439087	0.470982	0.607028
2	0.147596	0.357844	0.427819	0.444025	0.548724	0.624164
3	0.220273	0.364658	0.446507	0.493752	0.603306	0.850129

ตารางที่ 5.3 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ ที่หนา 1 , 2, 3 cm มุม 45 องศา ไม่มีช่องว่างอากาศ

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.313636	0.337957	0.426144	0.441932	0.565583	0.904816
2	0.337166	0.429124	0.435123	0.512533	0.603525	0.92389
3	0.389843	0.433994	0.489314	0.541528	0.67659	0.925787

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ ที่หนา 1 , 2, 3 cm มุม 30 องศา ไม่มีช่องว่างอากาศ

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.243416	0.361988	0.504529	0.567731	0.617122	0.679469
2	0.278768	0.398674	0.560442	0.580238	0.66795	0.770457
3	0.324088	0.445934	0.648237	0.685003	0.713912	0.908483

ตารางที่ 5.5แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ ที่หนา 1,2,3 cm มุม 90 องศา ช่องว่างอากาศ 5 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.079305	0.103719	0.207504	0.442312	0.516454	0.607247
2	0.103719	0.133434	0.247961	0.464499	0.538997	0.649122
3	0.142729	0.197308	0.359498	0.465674	0.588262	0.722471

ตารางที่ 5.6แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ ที่หนา 1 , 2, 3 cm มุม 60 องศา ช่องว่างอากาศ 5 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.165801	0.203497	0.230433	0.444788	0.609438	0.752908
2	0.167025	0.211687	0.388092	0.499025	0.654215	0.789826
3	0.22162	0.36869	0.532483	0.633205	0.680797	0.798537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ ที่หนา 1, 2, 3 cm มุม 45 องศา ช่องว่างอากาศ 5 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.324702	0.341453	0.442312	0.570526	0.602869	0.742965
2	0.328404	0.447464	0.513563	0.604838	0.718085	0.962006
3	0.355539	0.457874	0.584138	0.665734	0.758069	0.989044

ตารางที่ 5.8 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ ที่หนา 1, 2, 3 cm มุม 30 องศา ช่องว่างอากาศ 5 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.27122	0.329956	0.466458	0.487705	0.613607	0.691197
2	0.386522	0.454775	0.541528	0.698268	0.714791	0.772156
3	0.463717	0.470587	0.662411	0.712153	0.741881	0.953518

ตารางที่ 5.9 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐที่หนา 1, 2, 3 cm มุม 90 องศา ช่องว่างอากาศ 10 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.142881	0.197003	0.251447	0.432867	0.567946	0.585873
2	0.170211	0.249823	0.307845	0.459622	0.570311	0.613827
3	0.188139	0.2551	0.422993	0.528926	0.673267	0.685667

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.10 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของอิฐ ที่หนา 1,2,3 cm มุม 60 องศา ช่องว่างอากาศ 10 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.155551	0.18639	0.403678	0.55681	0.646909	0.72488
2	0.166762	0.214735	0.539419	0.611193	0.686995	0.751184
3	0.29295	0.359167	0.694513	0.726411	0.762355	0.810818

ตารางที่ 5.11 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของอิฐที่หนา 1,2,3 cm มุม 45 องศา ช่องว่างอากาศ 10 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.170211	0.228231	0.303009	0.406375	0.428378	0.671495
2	0.183507	0.247342	0.34707	0.505961	0.613827	0.701358
3	0.230782	0.307845	0.432867	0.570311	0.72006	0.992581

ตารางที่ 5.12 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของอิฐที่หนา 1,2,3 cm มุม 30 องศา ช่องว่างอากาศ 10 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.264101	0.339067	0.37021	0.440603	0.584788	0.72663
2	0.285649	0.448614	0.548936	0.649122	0.709072	0.806338
3	0.344654	0.499025	0.57786	0.651558	0.821893	0.891963

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.13 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ ที่หนา 1,2,3 cm มุม 90 องศา ช่องว่างอากาศ 15 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.152372	0.173997	0.259954	0.282881	0.427633	0.65953
2	0.183125	0.217821	0.284678	0.411624	0.651115	0.703343
3	0.187457	0.251697	0.40296	0.530808	0.674153	0.733617

ตารางที่ 5.14 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ ที่หนา 1,2,3 cm มุม 60 องศา ช่องว่างอากาศ 15 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.145337	0.214954	0.332451	0.476521	0.54195	0.646909
2	0.196698	0.217932	0.359995	0.534581	0.640274	0.652
3	0.198226	0.281367	0.37839	0.586959	0.649565	0.654879

ตารางที่ 5.15 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐที่หนา 1,2,3 cm มุม 45 องศา ช่องว่างอากาศ 15 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.175093	0.203602	0.335274	0.493752	0.662189	0.800803
2	0.294798	0.331982	0.353899	0.658866	0.795643	0.920783
3	0.317997	0.347877	0.450341	0.778713	0.833364	0.979167

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.16 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐที่หนา 1,2,3 cm มุม 30 องศา ช่องว่างอากาศ 15 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.25739	0.307108	0.426888	0.59283	0.600683	0.729689
2	0.26371	0.351938	0.583921	0.646688	0.741013	0.778081
3	0.381318	0.551272	0.683454	0.755921	0.787112	0.839401

ตารางที่ 5.17 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ ที่หนา 1,2, 3 cm มุม 90 องศา ช่องว่างอากาศ 20cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.101536	0.118278	0.392478	0.415818	0.481896	0.663518
2	0.334722	0.378326	0.809652	0.829752	0.877764	0.959086
3	0.751558	0.796567	0.988936	0.991343	0.995762	0.999564

ตารางที่ 5.18 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐที่หนา 1,2,3 cm มุม 60 องศา ช่องว่างอากาศ 20 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.15921	0.2422	0.354226	0.407819	0.532274	0.560655
2	0.166499	0.269227	0.411261	0.490925	0.575484	0.608561
3	0.311399	0.450341	0.487102	0.567946	0.60112	0.614266

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.19 แสดงสัมประสิทธิ์การคูณเสียงของอิฐที่หนา 1,2,3 cm มุม 45 องศา ช่องว่างอากาศ 20 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.210931	0.311994	0.371904	0.447847	0.664183	0.840562
2	0.313487	0.384608	0.538997	0.652	0.868308	0.884615
3	0.348201	0.456129	0.565369	0.653329	0.886512	0.962006

ตารางที่ 5.20 แสดงสัมประสิทธิ์การคูณเสียงของอิฐที่หนา 1,2,3 cm มุม 30 องศา ช่องว่างอากาศ 20 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.330267	0.382528	0.444788	0.577211	0.684782	0.73427
2	0.37925	0.424103	0.472758	0.642706	0.735795	0.753124
3	0.390018	0.447847	0.541106	0.693187	0.756136	0.856525

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่ความหนา 1,2,3cm ที่มุมต่างๆ

ตารางที่ 5.21 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่หนา 1,2,3 cm มุม 90 องศา ไม่มีช่องว่างอากาศ

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.394065	0.335274	0.29953	0.167465	0.154076	0.110294
2	0.351286	0.268037	0.222635	0.155304	0.139046	0.09121
3	0.310656	0.243294	0.180193	0.148067	0.104172	0.088934

+

ตารางที่ 5.22 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่หนา 1,2,3 cm มุม 60 องศา ไม่มีช่องว่างอากาศ

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.616463	0.58262	0.493752	0.439087	0.324548	0.220273
2	0.607028	0.576347	0.444597	0.400278	0.316337	0.135016
3	0.601776	0.554677	0.416734	0.361323	0.275378	0.106756

ตารางที่ 5.23 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่หนา 1,2,3 cm มุม 45 องศา ไม่มีช่องว่างอากาศ

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.96882	0.891626	0.715011	0.527881	0.367174	0.301846
2	0.724442	0.647131	0.544698	0.516247	0.32271	0.245741
3	0.70709	0.571387	0.506986	0.397607	0.218154	0.126799

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.24 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่หนา 1,2,3 cm มุม 30 องศา ไม่มีช่องว่างอากาศ

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.978013	0.72816	0.687216	0.49355	0.42133	0.401171
2	0.865578	0.709292	0.553825	0.430806	0.353408	0.259697
3	0.600683	0.547451	0.493348	0.419856	0.299819	0.240385

ตารางที่ 5.25 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่หนา 1,2,3 cm มุม 90 องศา ช่องว่างอากาศ 5 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.877797	0.608342	0.533112	0.372073	0.22904	0.097194
2	0.619321	0.560228	0.423363	0.278223	0.196597	0.071151
3	0.548724	0.490119	0.291111	0.202142	0.15963	0.020375

ตารางที่ 5.26 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่หนา 1,2,3 cm มุม 60 องศา ช่องว่างอากาศ 5 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.865943	0.67371	0.63718	0.503712	0.185907	0.180851
2	0.827855	0.666842	0.524753	0.437763	0.147675	0.120601
3	0.678804	0.587827	0.478906	0.430619	0.131799	0.094519

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.27 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่หนา 1,2,3 cm มุม 45 องศา ช่องว่างอากาศ 5 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.974464	0.817687	0.742965	0.631881	0.548936	0.449189
2	0.758069	0.602869	0.513563	0.442312	0.341453	0.267509
3	0.535631	0.458068	0.426144	0.381318	0.29809	0.255227

ตารางที่ 5.28 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่หนา 1,2,3 cm มุม 30 องศา ช่องว่างอากาศ 5 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.828842	0.789409	0.741881	0.70202	0.549997	0.38011
2	0.72663	0.703343	0.651558	0.576779	0.422623	0.294228
3	0.688322	0.615364	0.451495	0.346263	0.283571	0.25944

ตารางที่ 5.29 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่หนา 1,2,3 cm มุม 90 องศา ช่องว่างอากาศ 10 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.654879	0.600901	0.49153	0.356032	0.219155	0.185521
2	0.625485	0.541739	0.404216	0.264623	0.162176	0.139641
3	0.579589	0.486701	0.324088	0.202038	0.105715	0.089868

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.30 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจก ที่หนา 1,2,3 cm มุม 60 องศา ช่องว่างอากาศ 10 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.879383	0.657758	0.596971	0.491934	0.265146	0.160137
2	0.704886	0.601776	0.550635	0.421699	0.162604	0.136542
3	0.608561	0.567731	0.482895	0.412534	0.133077	0.125442

ตารางที่ 5.31 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่หนา 1,2,3 cm มุม 45 องศา ช่องว่างอากาศ 10 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.963609	0.820894	0.683232	0.536682	0.356032	0.289984
2	0.681461	0.623503	0.555743	0.390544	0.308582	0.162176
3	0.625485	0.600901	0.536262	0.31936	0.191186	0.139641

ตารางที่ 5.32 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่หนา 1,2,3 cm มุม 30 องศา ช่องว่างอากาศ 10 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.928524	0.760214	0.696059	0.674596	0.397785	0.268565
2	0.761499	0.735142	0.66086	0.391071	0.2743	0.247961
3	0.72269	0.669057	0.58609	0.365161	0.254467	0.183793

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.33 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่หนา 1, 2, 3 ซม มุม 90 องศา ช่องว่างอากาศ 15 ซม

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.807767	0.779556	0.635192	0.34578	0.216053	0.167553
2	0.683675	0.626146	0.339861	0.258285	0.181417	0.117323
3	0.528508	0.387045	0.321031	0.212229	0.119177	0.094467

ตารางที่ 5.34 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่หนา 1, 2, 3 ซม มุม 60 องศา ช่องว่างอากาศ 15 ซม

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.844028	0.672159	0.593266	0.401171	0.27162	0.159715
2	0.746863	0.655322	0.462155	0.326395	0.222522	0.152049
3	0.627249	0.539419	0.449381	0.270555	0.161068	0.129277

ตารางที่ 5.35 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่หนา 1, 2, 3 ซม มุม 45 องศา ช่องว่างอากาศ 15 ซม

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.941542	0.759571	0.674596	0.638285	0.319208	0.205176
2	0.816077	0.743399	0.667285	0.387219	0.293375	0.239301
3	0.722252	0.709072	0.480699	0.321336	0.244148	0.14949

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.36 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่หนา 1,2,3 cm มุม 30 องศา ช่องว่างอากาศ 15 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.765133	0.727067	0.688986	0.555104	0.460401	0.314235
2	0.726192	0.713912	0.613168	0.554251	0.411988	0.238701
3	0.694955	0.557023	0.42633	0.342092	0.258413	0.230666

ตารางที่ 5.38 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่หนา 1,2,3 cm มุม 90 องศา ช่องว่างอากาศ 20 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.750105	0.612948	0.568805	0.351774	0.234418	0.10265
2	0.706729	0.569451	0.497399	0.278496	0.097941	0.084452
3	0.588262	0.417834	0.327476	0.253079	0.078218	0.063346

ตารางที่ 5.39 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่หนา 1,2,3 cm มุม 60 องศา ช่องว่างอากาศ 20 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.692524	0.590436	0.517074	0.38322	0.310953	0.178602
2	0.680764	0.56859	0.442883	0.351938	0.23572	0.141592
3	0.649565	0.576995	0.397252	0.344654	0.189805	0.115747

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.40 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่หนา 1, 2, 3 cm มุม 45 องศา ช่องว่างอากาศ 20 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.98807	0.746214	0.695617	0.469012	0.446316	0.398318
2	0.860984	0.697605	0.57268	0.388792	0.328869	0.267641
3	0.739275	0.674818	0.510269	0.386347	0.24366	0.19498

ตารางที่ 5.41 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่หนา 1, 2, 3 cm มุม 30 องศา ช่องว่างอากาศ 20 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.754631	0.749889	0.675925	0.591959	0.414174	0.363656
2	0.690313	0.666842	0.626367	0.485698	0.389843	0.281093
3	0.642706	0.63475	0.539208	0.427446	0.372583	0.249077

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่ความหนา 1,2,3cm ที่มุมต่างๆ

ตารางที่ 5.42 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่หนา 1,2,3cm มุม 90 องศา ไม่มีช่องว่างอากาศ

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.42133	0.344012	0.283433	0.254594	0.236909	0.17684
2	0.443644	0.369027	0.323935	0.263319	0.238701	0.18581
3	0.523713	0.429684	0.371904	0.27945	0.26384	0.20761

ตารางที่ 5.43 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่หนา 1,2,3 cm มุม 60 องศา ไม่มีช่องว่างอากาศ

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.633867	0.485497	0.459622	0.412352	0.255354	0.123831
2	0.650893	0.616682	0.482295	0.418017	0.272556	0.160983
3	0.723566	0.646467	0.52809	0.460206	0.289703	0.165452

ตารางที่ 5.44 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1,2,3 cm มุม 45 องศา ไม่มีช่องว่างอากาศ

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.816278	0.694955	0.564296	0.393888	0.367174	0.218154
2	0.96882	0.724442	0.573111	0.397607	0.370717	0.282192
3	0.981076	0.735142	0.596317	0.397607	0.387045	0.35439

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.45 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1,2,3 cm มุม 30 องศา ไม่มีช่องว่างอากาศ

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.794814	0.693629	0.578724	0.503508	0.38149	0.365328
2	0.863196	0.72269	0.628792	0.567086	0.458068	0.378734
3	0.911001	0.84326	0.776391	0.730344	0.564725	0.385999

ตารางที่ 5.46 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1,2,3 cm มุม 90 องศา ช่องว่างอากาศ 5 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.567516	0.514182	0.354062	0.227885	0.18189	0.097941
2	0.605933	0.5598	0.418017	0.319967	0.219713	0.145724
3	0.736877	0.572034	0.528508	0.376505	0.244637	0.219713

ตารางที่ 5.47 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1,2,3 cm มุม 60 องศา ช่องว่างอากาศ 5 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.712153	0.629233	0.591524	0.489716	0.239422	0.180569
2	0.86448	0.683675	0.610096	0.532903	0.25472	0.189608
3	0.934418	0.685446	0.674596	0.576779	0.361489	0.227194

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.48 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1,2,3 cm มุม 45 องศา ช่องว่างอากาศ 5 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.722252	0.561297	0.530808	0.464891	0.326549	0.244026
2	0.962544	0.653329	0.549148	0.515214	0.403498	0.315886
3	0.98037	0.81163	0.633646	0.568805	0.530808	0.362655

ตารางที่ 5.49 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1,2,3 cm มุม 30 องศา ช่องว่างอากาศ 5 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.735359	0.671938	0.55553	0.403498	0.392302	0.306226
2	0.799155	0.737971	0.680133	0.542372	0.411442	0.324241
3	0.806134	0.768543	0.735142	0.697384	0.590436	0.361988

ตารางที่ 5.50 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1,2,3 cm มุม 90 องศา ช่องว่างอากาศ 10cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.552335	0.482895	0.265538	0.201623	0.183507	0.101094
2	0.636738	0.513976	0.32794	0.225247	0.187166	0.144181
3	0.695838	0.653772	0.428378	0.312292	0.303009	0.19925

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.51 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1,2,3 cm มุม 60 องศา ช่องว่างอากาศ 10 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.685667	0.594355	0.444216	0.411079	0.197716	0.145415
2	0.703122	0.619101	0.584355	0.412898	0.254467	0.156707
3	0.724661	0.686552	0.597408	0.561511	0.266194	0.198635

ตารางที่ 5.52 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1,2,3 cm มุม 45 องศา ช่องว่างอากาศ 10 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.671495	0.428378	0.406375	0.303009	0.228231	0.183507
2	0.747807	0.552335	0.424289	0.383914	0.32794	0.225247
3	0.774732	0.572034	0.499431	0.406015	0.342891	0.286763

ตารางที่ 5.53 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1,2,3 cm มุม 30 องศา ช่องว่างอากาศ 10 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.800803	0.669944	0.54195	0.423918	0.360659	0.232184
2	0.810006	0.698709	0.574836	0.476918	0.368353	0.355539
3	0.813048	0.783132	0.652	0.598499	0.554464	0.456129

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.54 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1,2,3 cm มุม 90 องศา ช่องว่างอากาศ 15 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.573542	0.425773	0.29097	0.258541	0.160899	0.140014
2	0.614266	0.506371	0.344494	0.2921	0.241836	0.149252
3	0.689207	0.672381	0.546909	0.395654	0.290547	0.191781

ตารางที่ 5.55 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่หนา 1,2,3 cm มุม 60 องศา ช่องว่างอากาศ 15 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.704004	0.614046	0.477116	0.345941	0.233946	0.194577
2	0.762783	0.622402	0.523089	0.406736	0.261244	0.215393
3	0.971331	0.745132	0.537524	0.408542	0.338908	0.219267

ตารางที่ 5.56 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่หนา 1,2,3 cm มุม 45 องศา ช่องว่างอากาศ 15 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.698268	0.645361	0.356197	0.279177	0.296941	0.167289
2	0.952686	0.72269	0.645361	0.354226	0.333547	0.283157
3	0.955858	0.874068	0.654658	0.646246	0.364993	0.307108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.57 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่หนา 1,2,3 cm มุม 30 องศา ช่องว่างอากาศ 15 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.703563	0.672159	0.551272	0.407097	0.395302	0.296512
2	0.755061	0.710393	0.62791	0.533322	0.401707	0.318905
3	0.791908	0.713472	0.67083	0.58197	0.435311	0.400635

ตารางที่ 5.58 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่หนา 1,2,3 cm มุม 90 องศา ช่องว่างอากาศ 20 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.705107	0.515421	0.391071	0.388267	0.261373	0.164411
2	0.674374	0.477911	0.375821	0.290688	0.163807	0.144874
3	0.545333	0.342411	0.320423	0.259311	0.120731	0.063099

ตารางที่ 5.59 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่หนา 1,2,3 cm มุม 60 องศา ช่องว่างอากาศ 20 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.633426	0.534581	0.389317	0.360161	0.232653	0.178789
2	0.638285	0.600464	0.452459	0.402244	0.263319	0.206163
3	0.653329	0.628792	0.591959	0.426144	0.337009	0.217932

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

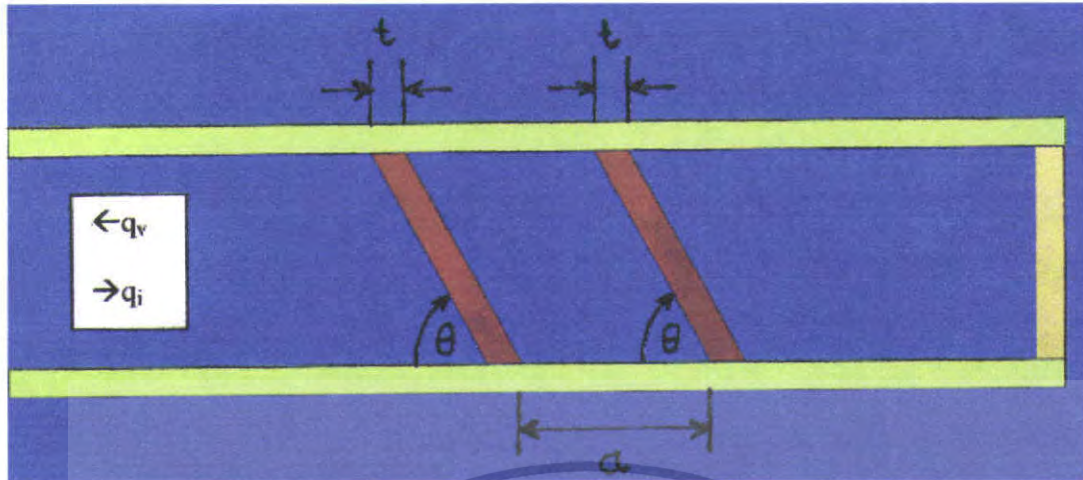
ตารางที่ 5.60 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ ที่หนา 1,2,3 cm มุม 45 องศา ช่องว่างอากาศ 20 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.740361	0.667506	0.388792	0.339543	0.309618	0.26989
2	0.92506	0.693629	0.51873	0.372923	0.345297	0.285233
3	0.976658	0.797711	0.671495	0.581537	0.406015	0.373944

ตารางที่ 5.61 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่หนา 1,2,3 cm มุม 30 องศา ช่องว่างอากาศ 20 cm

ความหนา (cm.)	ความถี่(Hz)					
	ความถี่ 125 Hz	ความถี่ 250 Hz	ความถี่ 500 Hz	ความถี่ 1000 Hz	ความถี่ 2000 Hz	ความถี่ 4000 Hz
1	0.75721	0.64337	0.544486	0.447847	0.39903	0.310507
2	0.775122	0.721594	0.647352	0.52936	0.41765	0.371395
3	0.793362	0.754631	0.675482	0.555317	0.45865	0.404037

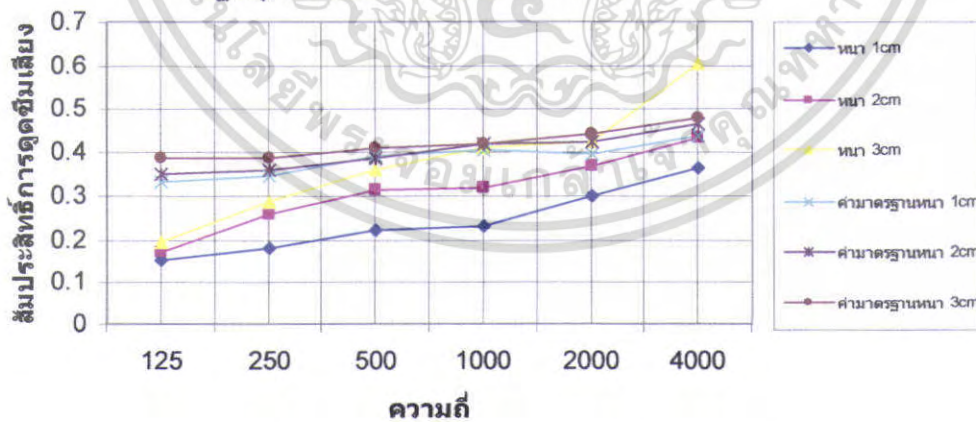
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 ลักษณะการวางวัสดุและมุมของชิ้นงาน

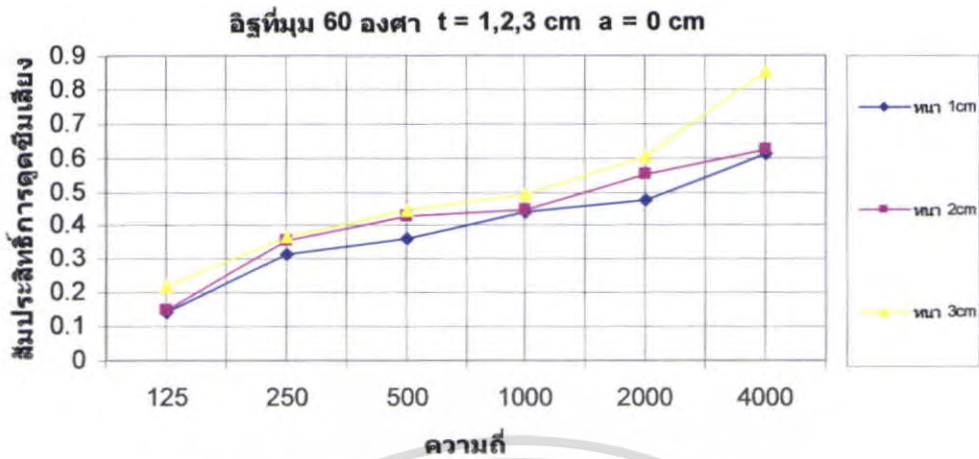
กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐที่มุม 90,60,45,30 องศา ความหนา 1,2,3 cm ช่องว่างอากาศ 0,5,10,15,20 cm

อิฐที่มุม 90 องศา $t = 1,2,3$ cm $a = 0$ cm

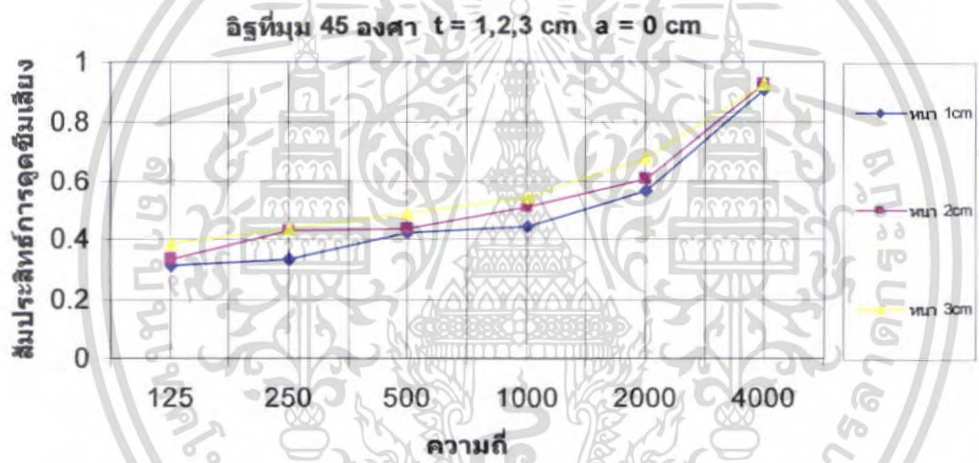


รูปที่ 5.2 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐที่ $\theta = 90^\circ$ $t = 1,2,3$ cm $a = 0$ cm

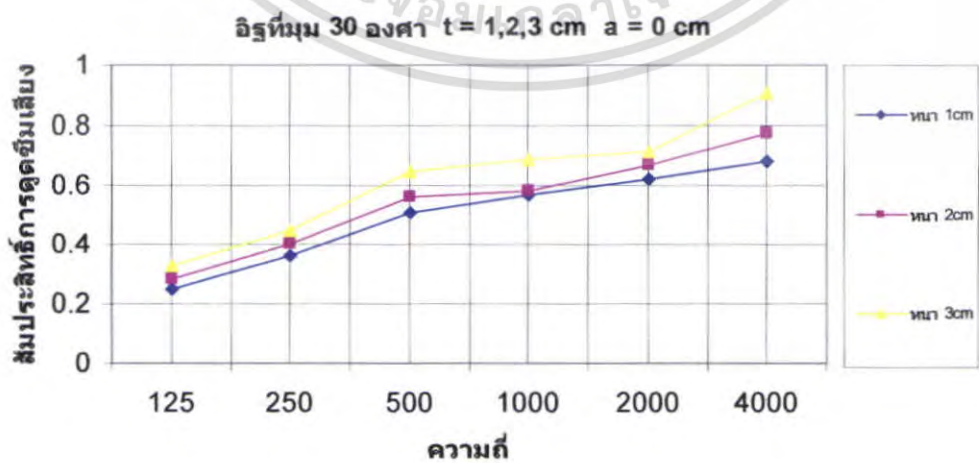
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของฉิรุทึที่ $\theta = 60^\circ$ t = 1,2,3 cm a = 0 cm



รูปที่ 5.4 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของฉิรุทึที่ $\theta = 45^\circ$ t = 1,2,3 cm a = 0 cm



รูปที่ 5.5 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของฉิรุทึที่ $\theta = 30^\circ$ t = 1,2,3 cm a = 0 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

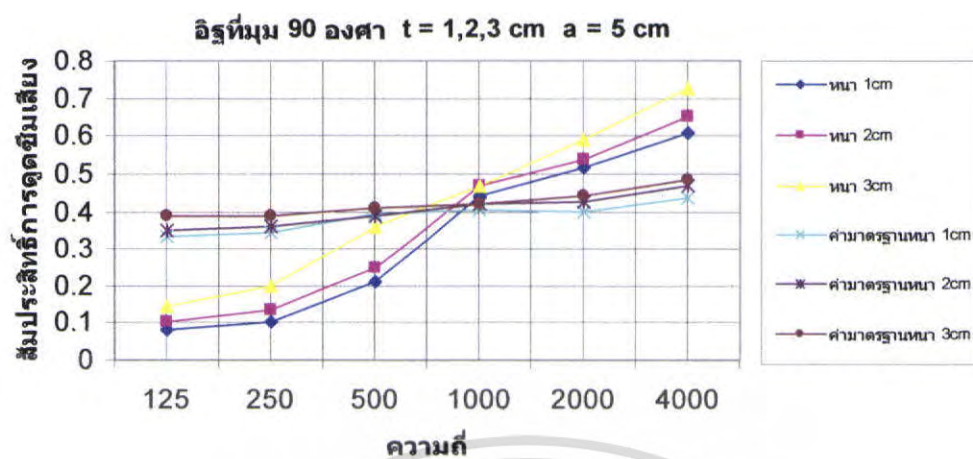
สรุป

จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐที่ความถี่จาก

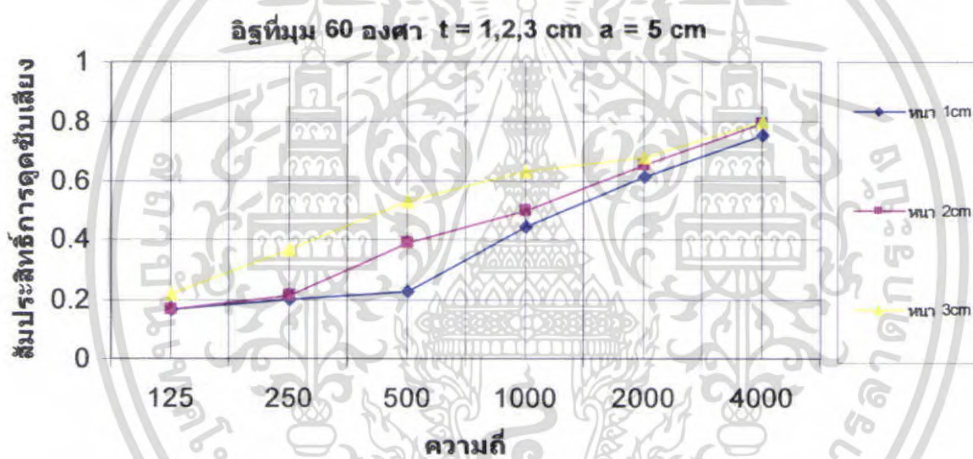
125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz และ 4000Hz โดยเปลี่ยนความหนาของอิฐจาก 1cm, 2cm, 3cm และเปลี่ยนมุมของวัสดุจาก $\theta = 90^\circ$, $\theta = 60^\circ$, $\theta = 45^\circ$, และ $\theta = 30^\circ$ ตามลำดับ โดยมีช่องว่างอากาศ 0cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐที่ดีที่สุดคืออยู่ที่ความหนา 3cm ความถี่ 4000Hz และมุม $\theta = 45^\circ$



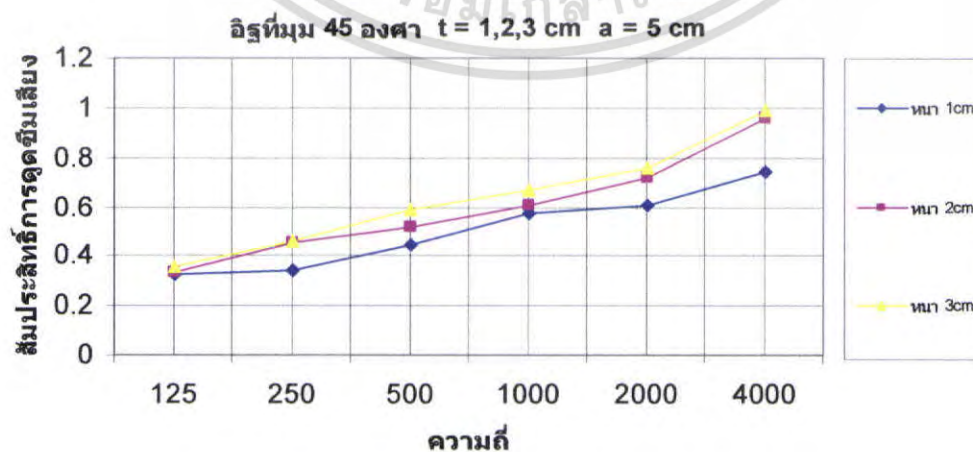
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 สัมประสิทธิ์การดัดขี้นเสียงของอิฐที่ $\theta = 90^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 5 \text{ cm}$

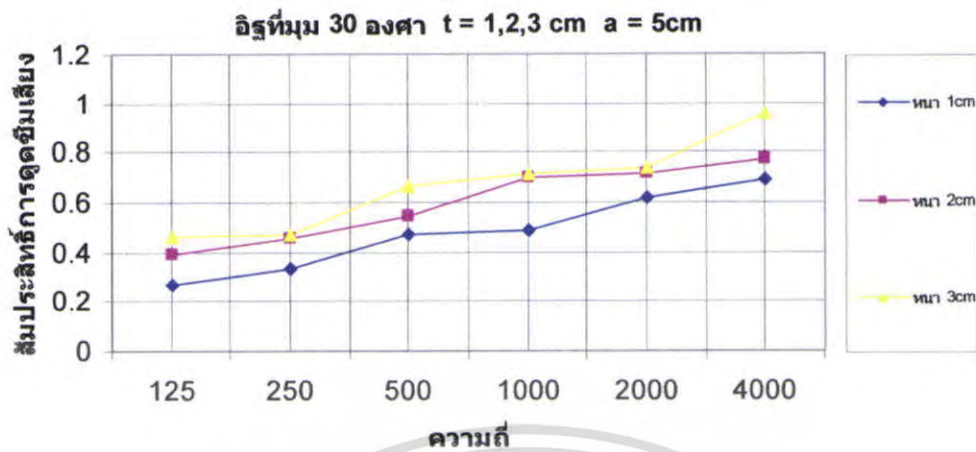


รูปที่ 5.7 สัมประสิทธิ์การดัดขี้นเสียงของอิฐที่ $\theta = 60^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 5 \text{ cm}$



รูปที่ 5.8 สัมประสิทธิ์การดัดขี้นเสียงของอิฐที่ $\theta = 45^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 5 \text{ cm}$

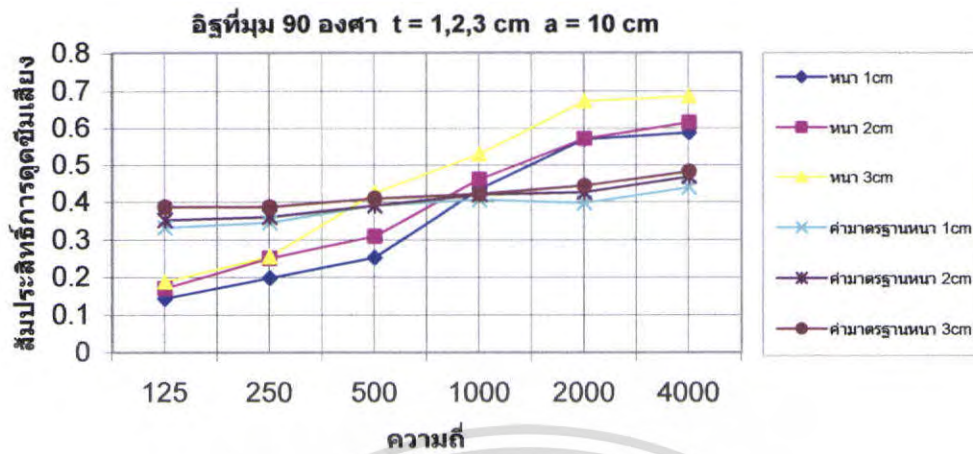
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



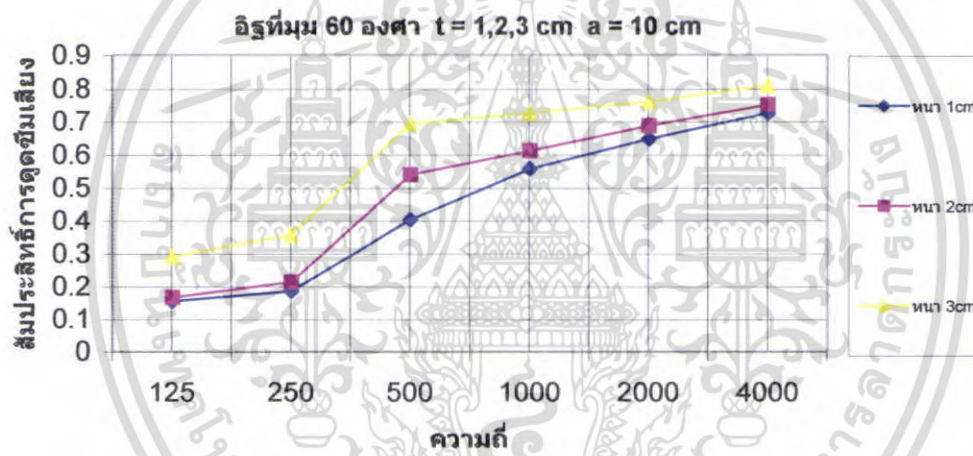
รูปที่ 5.9 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของอิฐที่ $\theta = 30^\circ$ $t = 1,2,3$ cm $a = 5$ cm

สรุป

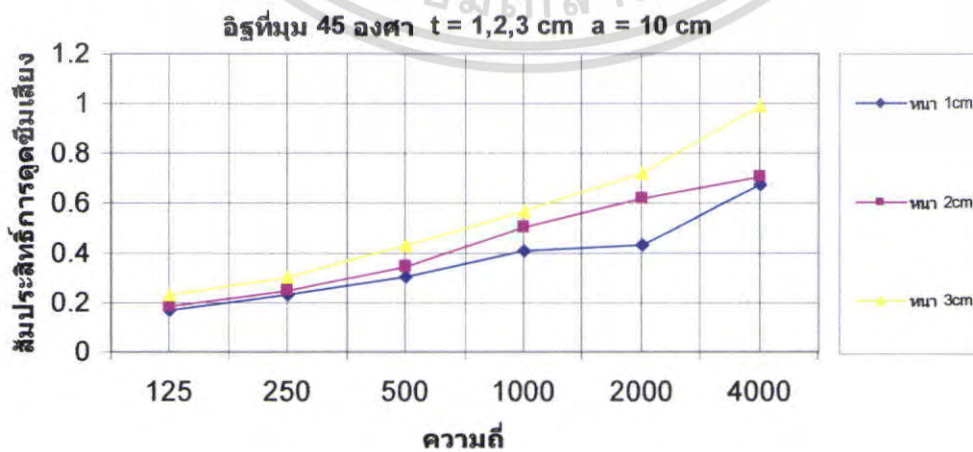
จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของอิฐที่ความถี่จาก 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz และ 4000Hz โดยเปลี่ยนความหนาของอิฐจาก 1cm, 2cm, 3cm และเปลี่ยนมุมของวัสดุจาก $\theta = 90^\circ$, $\theta = 60^\circ$, $\theta = 45^\circ$, และ $\theta = 30^\circ$ ตามลำดับโดยมีช่องว่างอากาศ 5cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของอิฐที่ดีที่สุดอยู่ที่ความหนา 3cm ความถี่ 4000Hz และมุม $\theta = 45^\circ$



รูปที่ 5.10 สัมประสิทธิ์การดัดขี้นมเสียบงของอิฐที่ $\theta = 90^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 10 \text{ cm}$

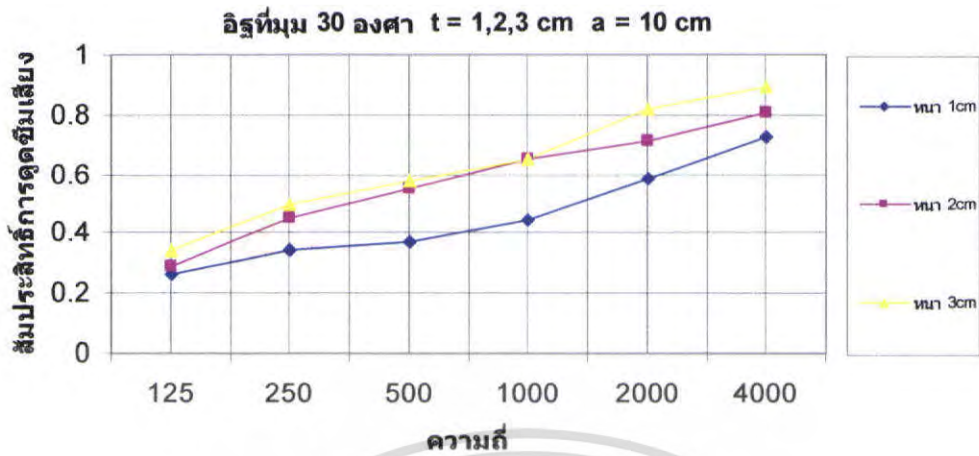


รูปที่ 5.11 สัมประสิทธิ์การดัดขี้นมเสียบงของอิฐที่ $\theta = 60^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 10 \text{ cm}$



รูปที่ 5.12 สัมประสิทธิ์การดัดขี้นมเสียบงของอิฐที่ $\theta = 45^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 10 \text{ cm}$

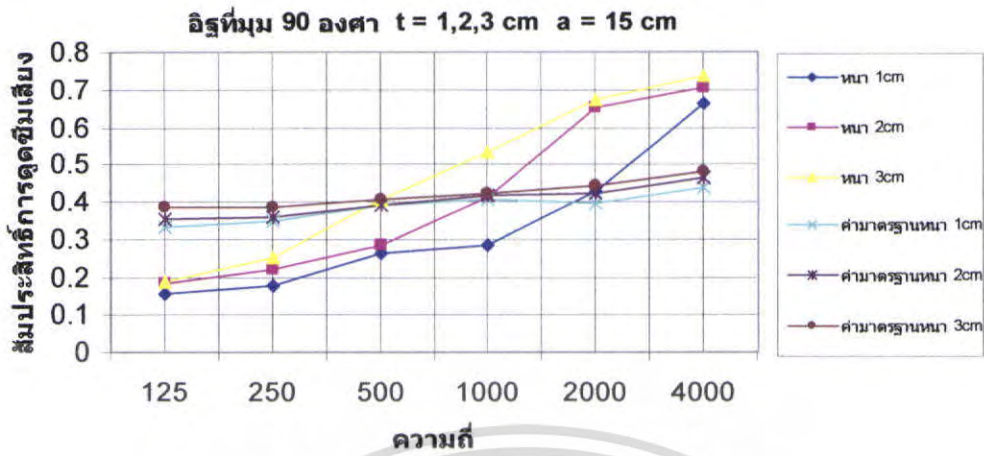
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



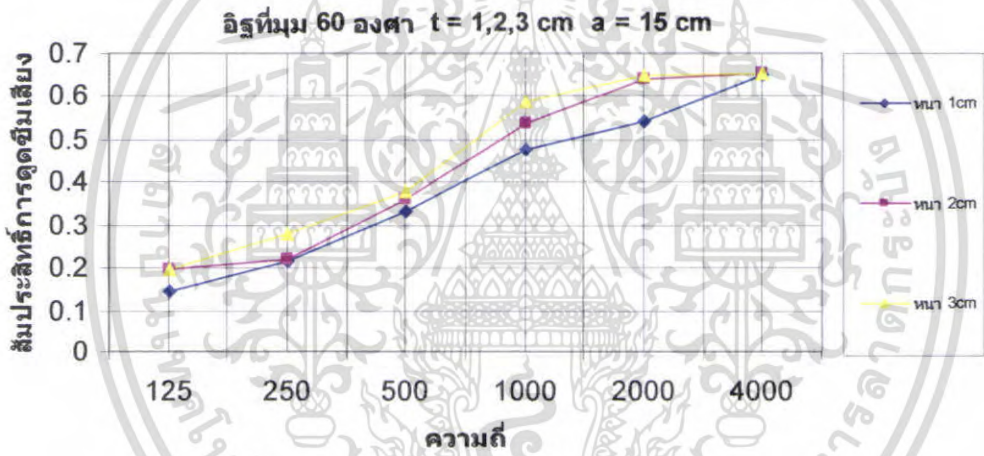
รูปที่ 5.13 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของอิฐที่ $\theta = 30^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 10 \text{ cm}$

สรุป

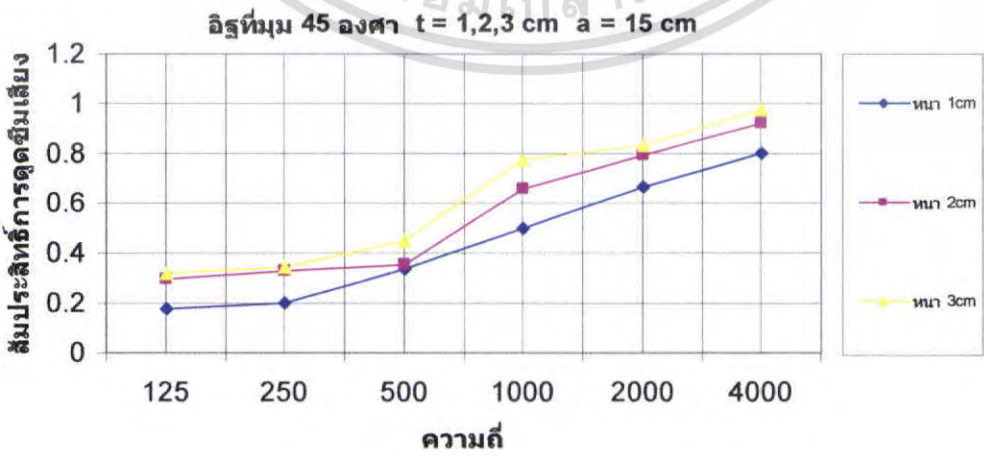
จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของอิฐที่ความถี่จาก 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz และ 4000Hz โดยเปลี่ยนความหนาของอิฐจาก 1cm, 2cm, 3cm และเปลี่ยนมุมของวัสดุจาก $\theta = 90^\circ$, $\theta = 60^\circ$, $\theta = 45^\circ$, และ $\theta = 30^\circ$ ตามลำดับ โดยมีช่องว่างอากาศ 10cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของอิฐที่ดีที่สุดอยู่ที่ความหนา 3cm ความถี่ 4000Hz และมุม $\theta = 45^\circ$



รูปที่ 5.14 สัมประสิทธิ์การดัดขี้มเสถียงของอิฐที่ $\theta = 90^\circ$ t = 1,2,3 cm a = 15 cm

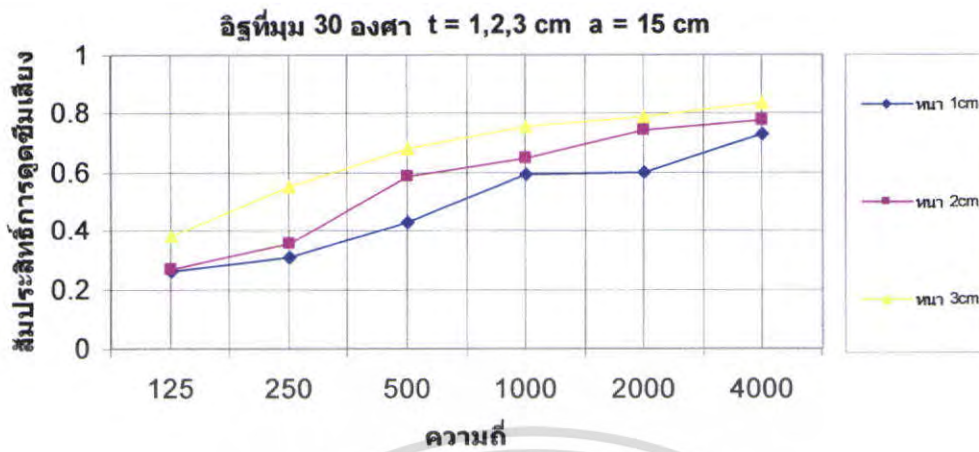


รูปที่ 5.15 สัมประสิทธิ์การดัดขี้มเสถียงของอิฐที่ $\theta = 60^\circ$ t = 1,2,3 cm a = 15 cm



รูปที่ 5.16 สัมประสิทธิ์การดัดขี้มเสถียงของอิฐที่ $\theta = 45^\circ$ t = 1,2,3 cm a = 15 cm

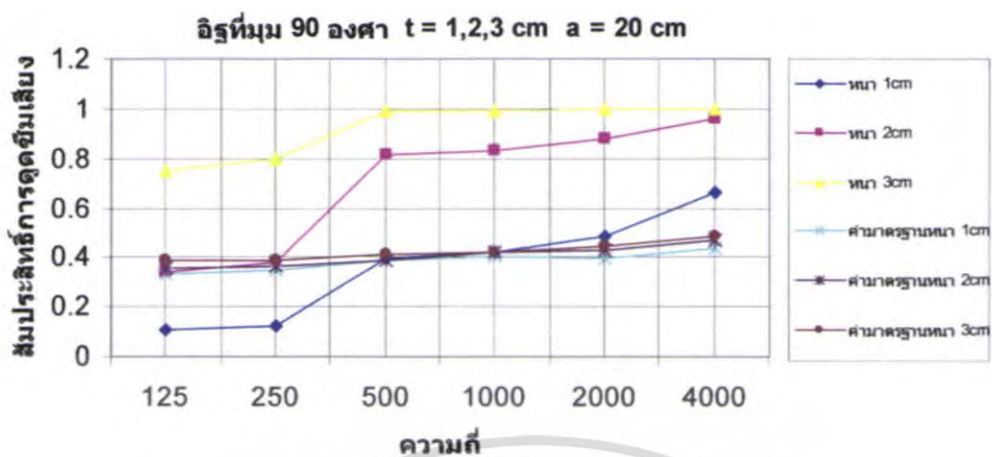
เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไวสำหรับกรใช้งานเพอการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตเห็นาไปไซประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิใหัดัดแปลงเนื้อหา และตองออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



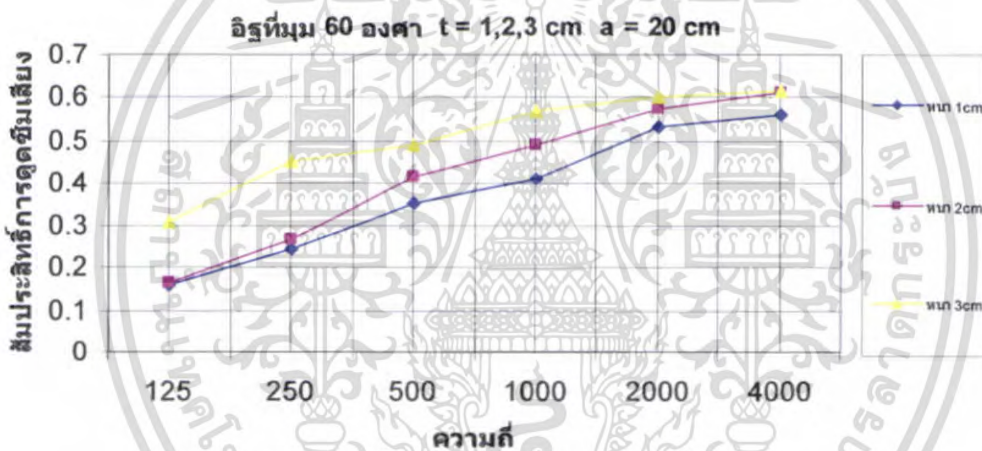
รูปที่ 5.17 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของอิฐที่ $\theta = 30^\circ$ $t = 1, 2, 3$ cm $a = 15$ cm

สรุป

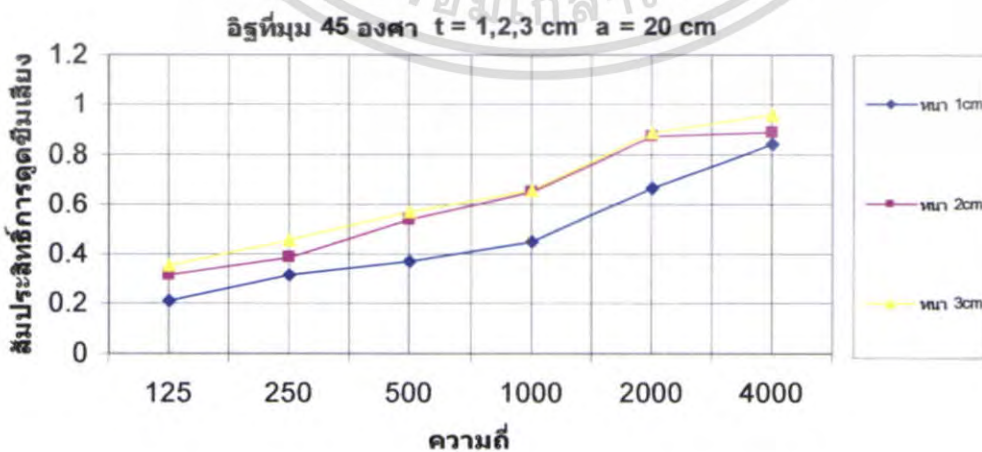
จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของอิฐที่ความถี่จาก 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz และ 4000Hz โดยเปลี่ยนความหนาของอิฐจาก 1cm, 2cm, 3cm และเปลี่ยนมุมของวัสดุจาก $\theta = 90^\circ$, $\theta = 60^\circ$, $\theta = 45^\circ$ และ $\theta = 30^\circ$ ตามลำดับโดยมีช่องว่างอากาศ 15cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของอิฐที่ดีที่สุดอยู่ที่ความหนา 3cm ความถี่ 4000Hz และมุม $\theta = 45^\circ$



รูปที่ 5.18 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐที่ $\theta = 90^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$

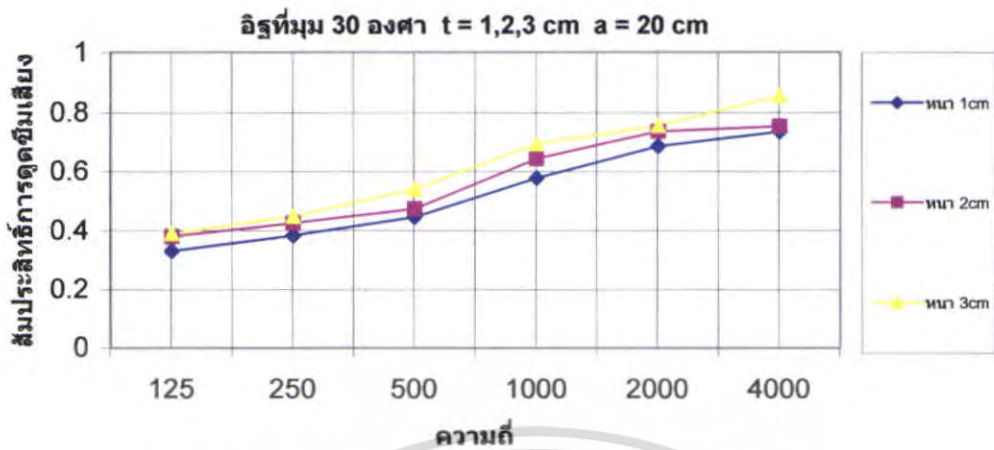


รูปที่ 5.19 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐที่ $\theta = 60^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$



รูปที่ 5.20 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐที่ $\theta = 45^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

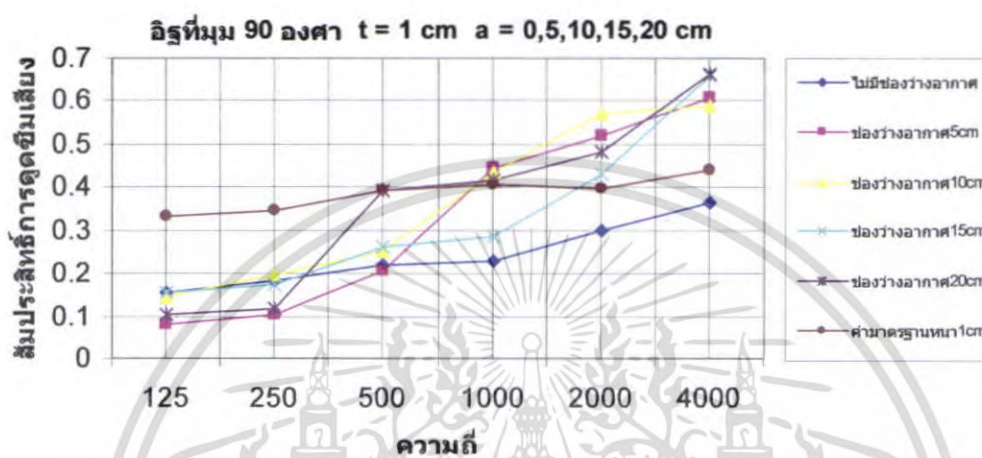


รูปที่ 5.21 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของอิฐที่ $\theta = 30^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$

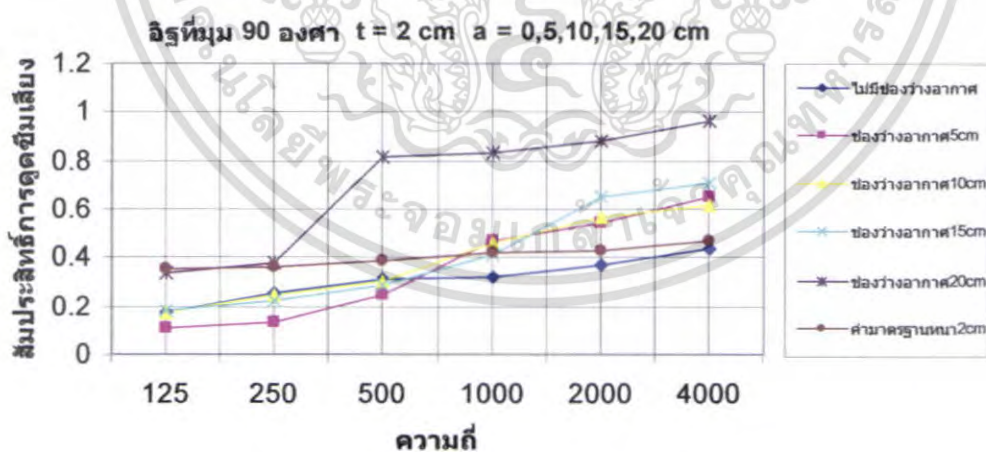
สรุป

จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของอิฐที่ความถี่จาก 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz และ 4000Hz โดยเปลี่ยนความหนาของอิฐจาก 1cm, 2cm, 3cm และเปลี่ยนมุมของวัสดุจาก $\theta = 90^\circ$, $\theta = 60^\circ$, $\theta = 45^\circ$, และ $\theta = 30^\circ$ ตามลำดับ โดยมีช่องว่างอากาศ 20cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของอิฐที่ดีที่สุดอยู่ที่ความหนา 3cm ความถี่ 4000Hz และมุม $\theta = 90^\circ$ และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ต่ำที่สุดในส่วนของอิฐคืออิฐที่ความหนา 3cm ความถี่ 4000Hz มุม $\theta = 90^\circ$ และช่องว่างอากาศ 20cm

กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐที่มุม 90,60,45,30 องศา ความหนา 1,2,3 cm
ช่องว่างอากาศ 0,5,10,15,20 cm

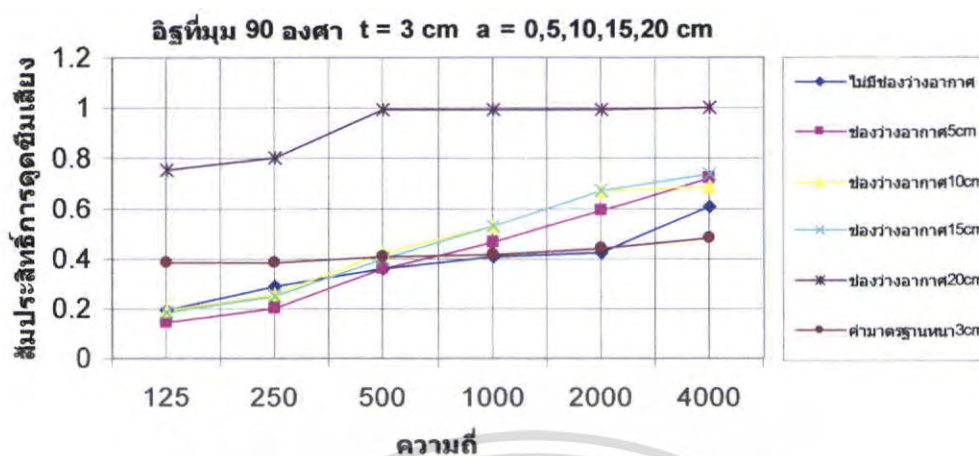


รูปที่ 5.22 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐที่ $\theta = 90^\circ$ $t = 1$ cm $a = 5,10,15,20$ cm



รูปที่ 5.23 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐที่ $\theta = 90^\circ$ $t = 2$ cm $a = 5,10,15,20$ cm

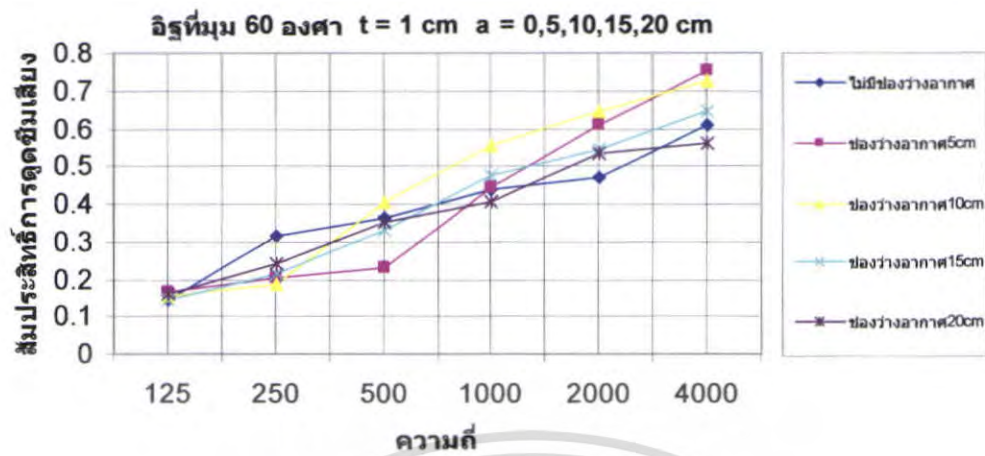
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



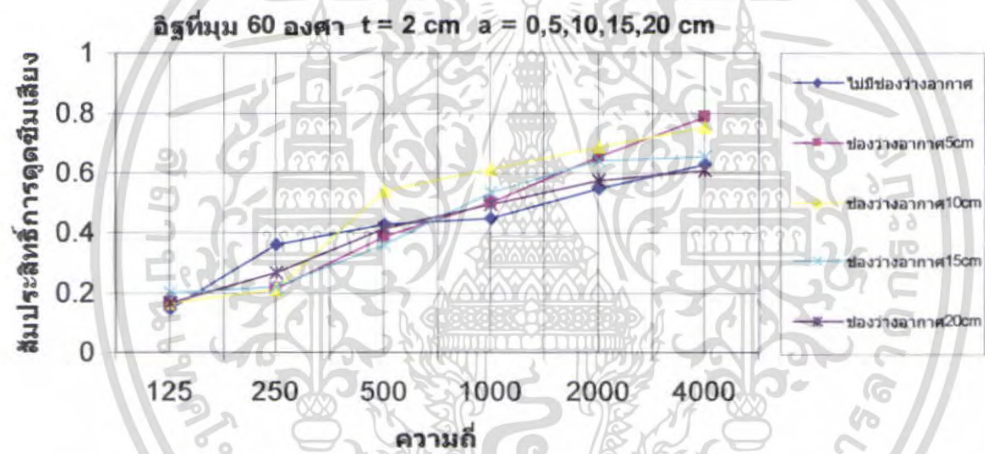
รูปที่ 5.24 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของอิฐที่ $\theta = 90^\circ$ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 5,10,15,20 \text{ cm}$

สรุป

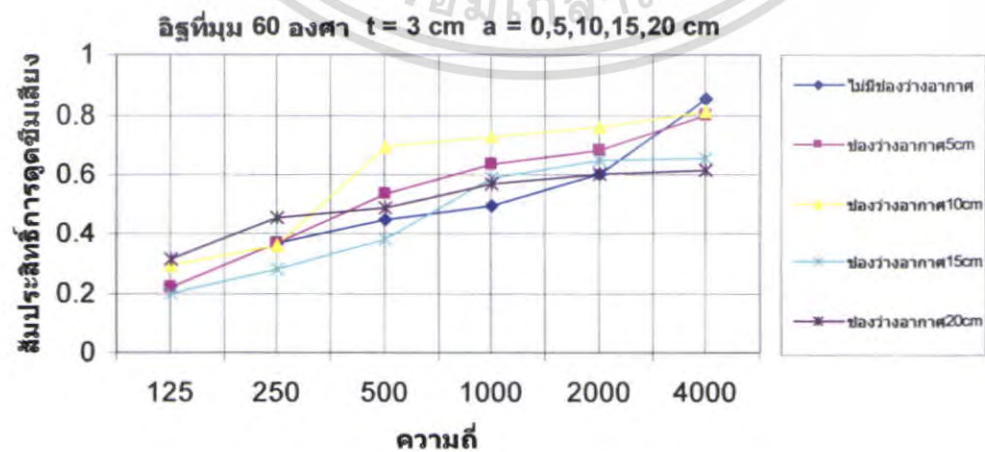
จากกราฟเปรียบเทียบช่องว่างอากาศของอิฐตั้งแต่ 0cm, 5cm, 10cm, 15cm และ 20cm โดยเปลี่ยนความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของอิฐที่ดีที่สุดในช่วงนี้คืออิฐที่มีความหนา 3cm ความถี่ 4000Hz มุม $\theta = 90^\circ$ และช่องว่างอากาศเท่ากับ 20cm



รูปที่ 5.25 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของฉลุที่ $\theta = 60^\circ$ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 5,10,15,20 \text{ cm}$



รูปที่ 5.26 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของฉลุที่ $\theta = 60^\circ$ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 5,10,15,20 \text{ cm}$



รูปที่ 5.27 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของฉลุที่ $\theta = 60^\circ$ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 5,10,15,20 \text{ cm}$

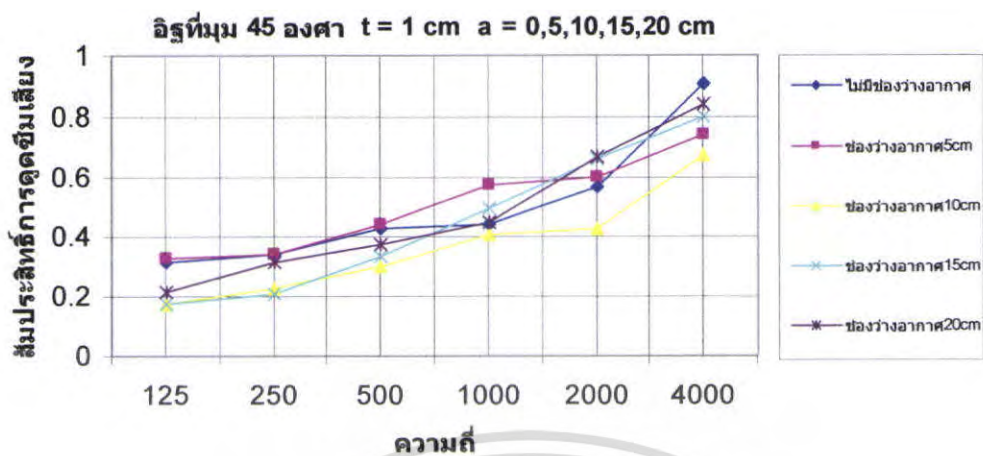
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

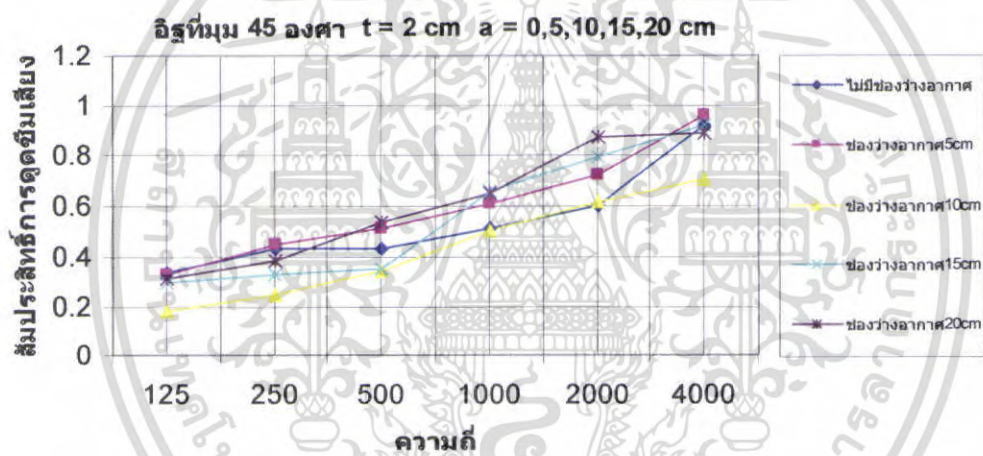
จากกราฟเปรียบเทียบช่องว่างอากาศของอิฐตั้งแต่ 0cm, 5cm, 10cm, 15cm และ 20cm โดยเปลี่ยนความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของอิฐที่ดีที่สุดในช่วงนี้คืออิฐที่มีความหนา 3cm ความถี่ 4000Hz และมุม $\theta = 60^\circ$ และช่องว่างอากาศเท่ากับ 0cm



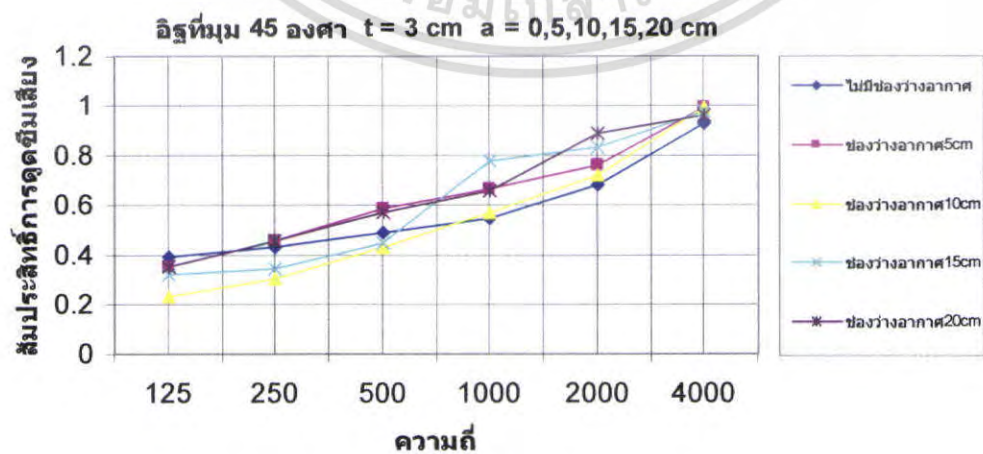
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.28 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของอิฐที่ $\theta = 45^\circ$ t = 1 cm a = 5,10,15,20 cm



รูปที่ 5.29 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของอิฐที่ $\theta = 45^\circ$ t = 2 cm a = 5,10,15,20 cm



รูปที่ 5.30 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของอิฐที่ $\theta = 45^\circ$ t = 3 cm a = 5,10,15,20 cm

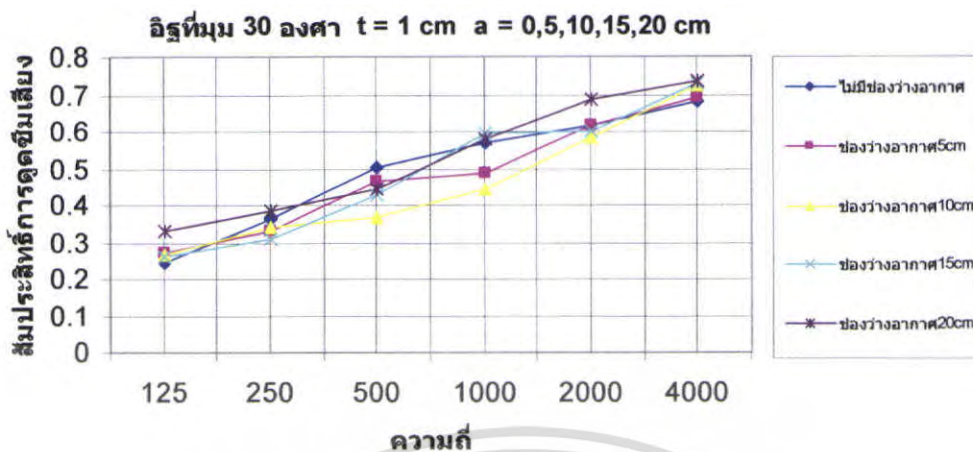
เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวิชาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

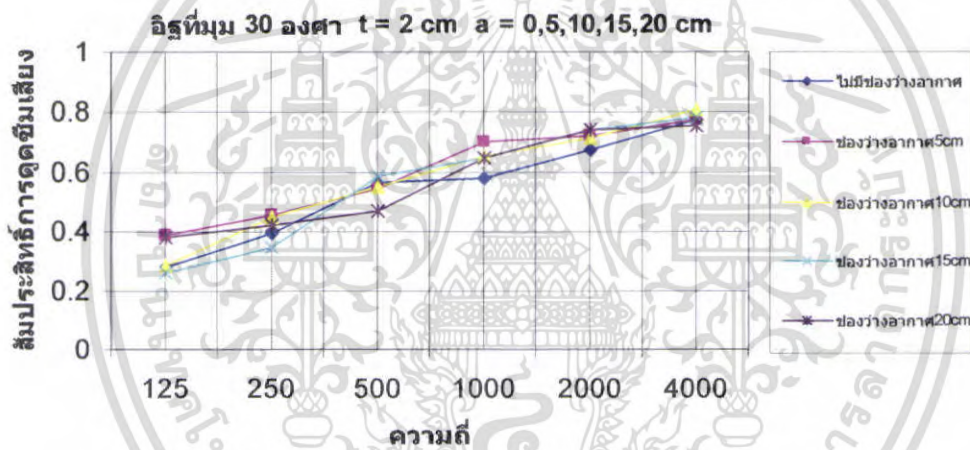
จากกราฟเปรียบเทียบช่องว่างอากาศของอิฐตั้งแต่ 0cm, 5cm, 10cm, 15cm และ 20cm โดยเปลี่ยนความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐที่ดีที่สุดในช่วงนี้คืออิฐที่มีความหนา 3cm ความถี่ 4000Hz และมุม $\theta = 45^\circ$ และช่องว่างอากาศเท่ากับ 10cm



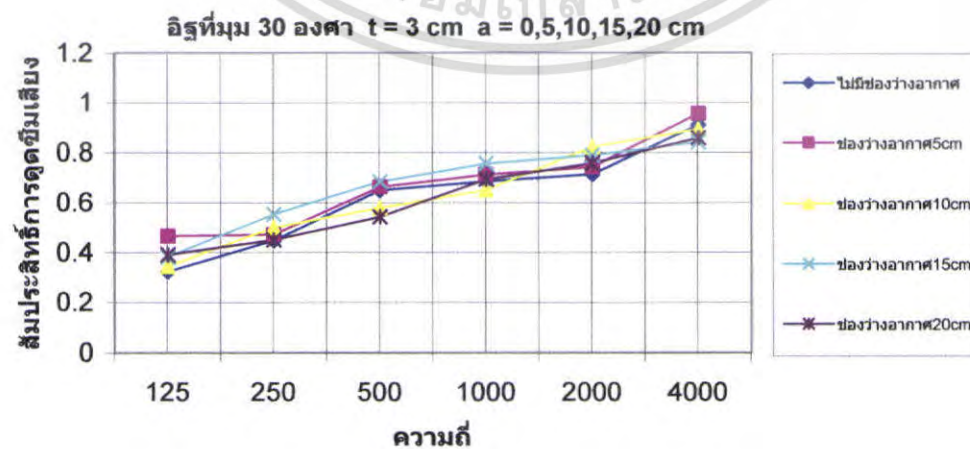
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.31 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐที่ $\theta = 30^\circ$ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 5,10,15,20 \text{ cm}$



รูปที่ 5.32 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐที่ $\theta = 30^\circ$ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 5,10,15,20 \text{ cm}$



รูปที่ 5.33 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐที่ $\theta = 30^\circ$ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 5,10,15,20 \text{ cm}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวิชาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

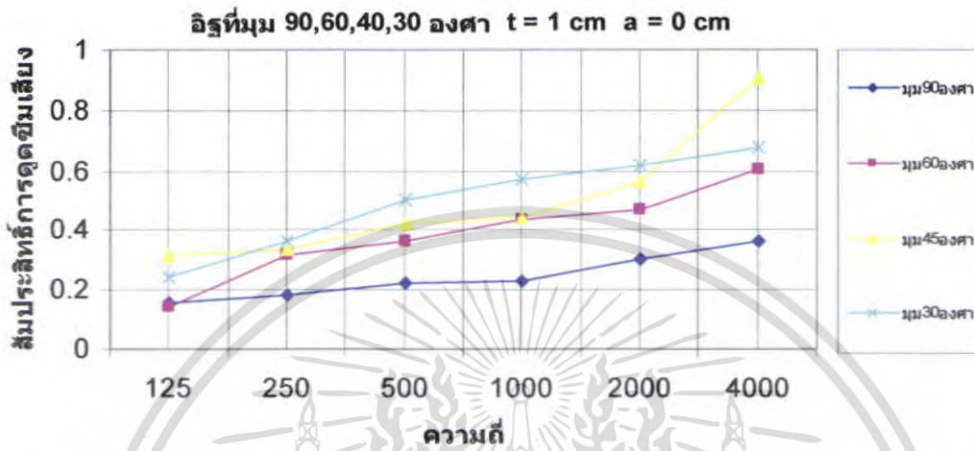
สรุป

จากกราฟเปรียบเทียบช่องว่างอากาศของอิฐตั้งแต่ 0cm, 5cm, 10cm, 15cm และ 20cm โดยเปลี่ยนความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐที่คี่ที่สุดในช่วงนี้คืออิฐที่มีความหนา 3cm ความถี่ 4000Hz และมุม $\theta = 30^\circ$ และช่องว่างอากาศเท่ากับ 5cm

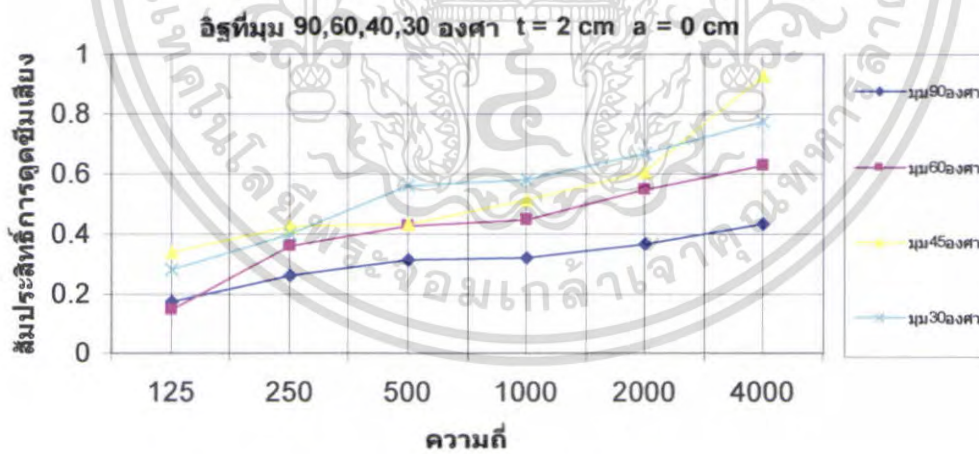


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐที่มุม 90,60,45,30 องศา ความหนา 1,2,3 cm
ช่องว่างอากาศ 0,5,10,15,20 cm

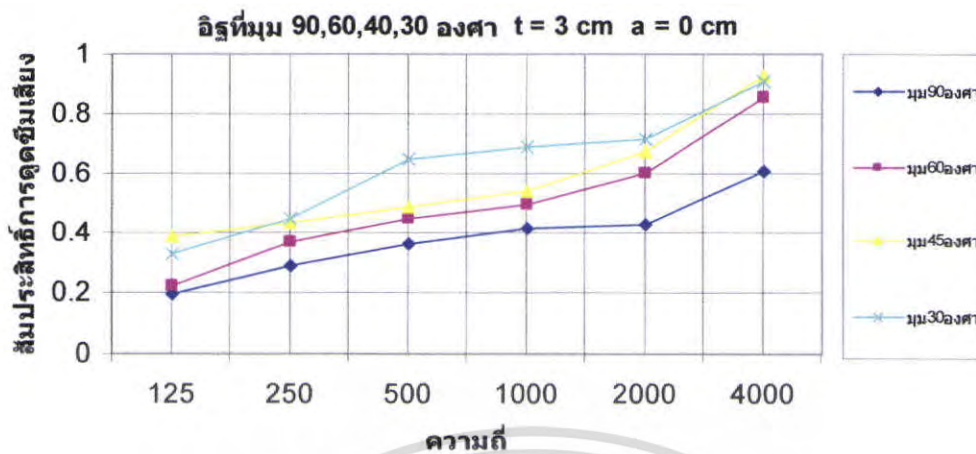


รูปที่ 5.34 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 0 \text{ cm}$



รูปที่ 5.35 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 0 \text{ cm}$

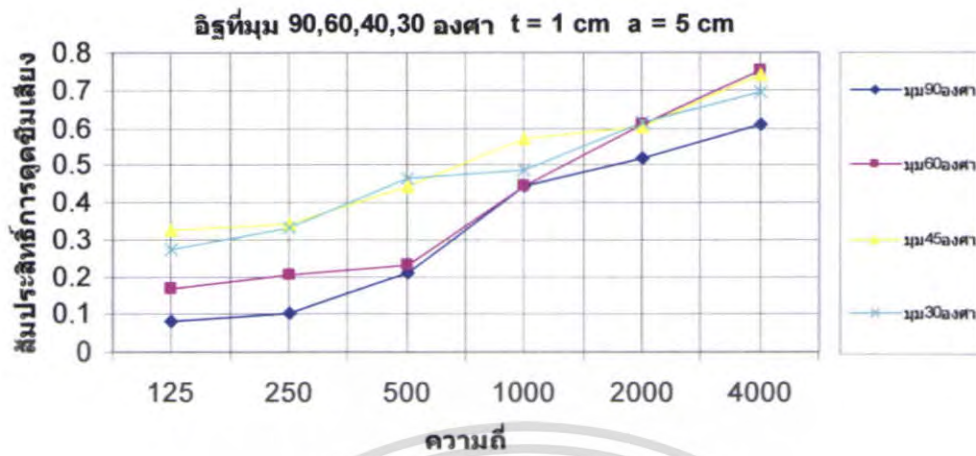
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



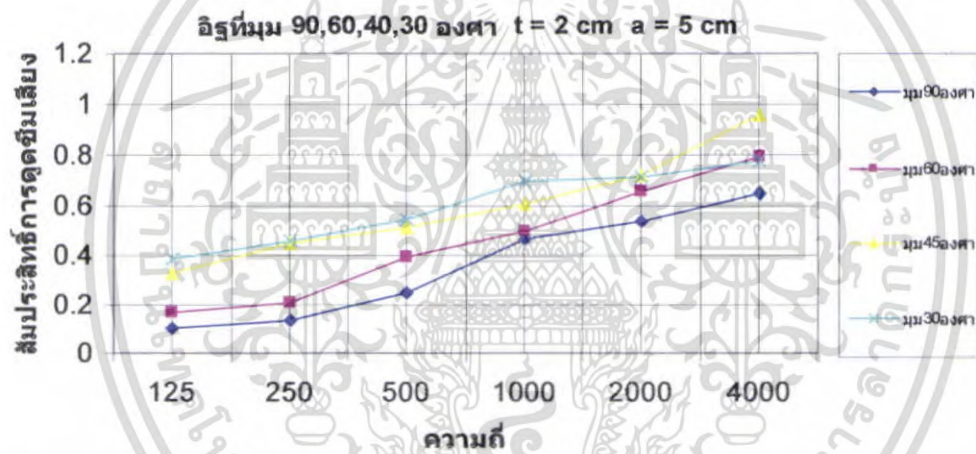
รูปที่ 5.36 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของอิฐ $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 0 \text{ cm}$

สรุป

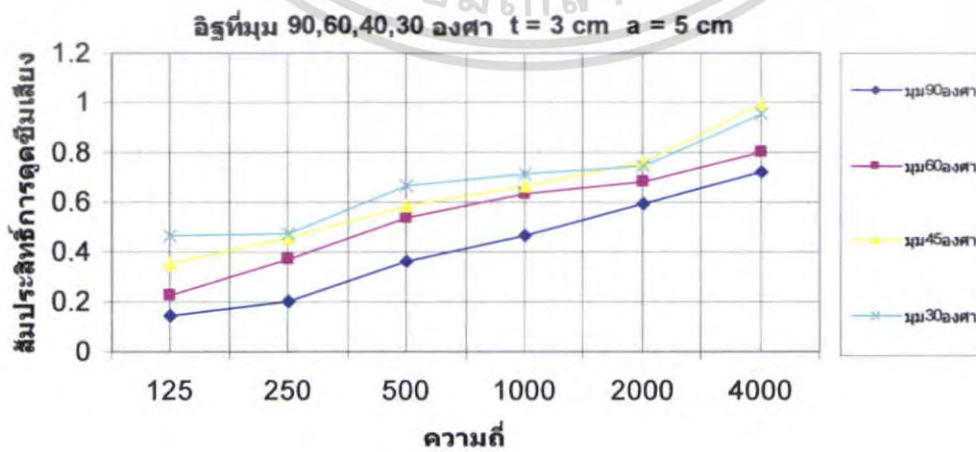
จากกราฟเปรียบเทียบมุมของอิฐตั้งแต่ $\theta = 90^\circ, \theta = 60^\circ, \theta = 45^\circ$ และ $\theta = 30^\circ$ โดยเปลี่ยนความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ โดยที่ช่องว่างอากาศเท่ากับ 0cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของอิฐที่ดีที่สุดในช่วงนี้คืออิฐที่ความหนา 3cm ความถี่ 4000Hz และมุม $\theta = 45^\circ$



รูปที่ 5.37 สัมประสิทธิ์การดัดขี้นเสียงของฉลุ $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 1$ cm $a = 5$ cm



รูปที่ 5.38 สัมประสิทธิ์การดัดขี้นเสียงของฉลุ $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 2$ cm $a = 5$ cm



รูปที่ 5.39 สัมประสิทธิ์การดัดขี้นเสียงของฉลุ $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 3$ cm $a = 5$ cm

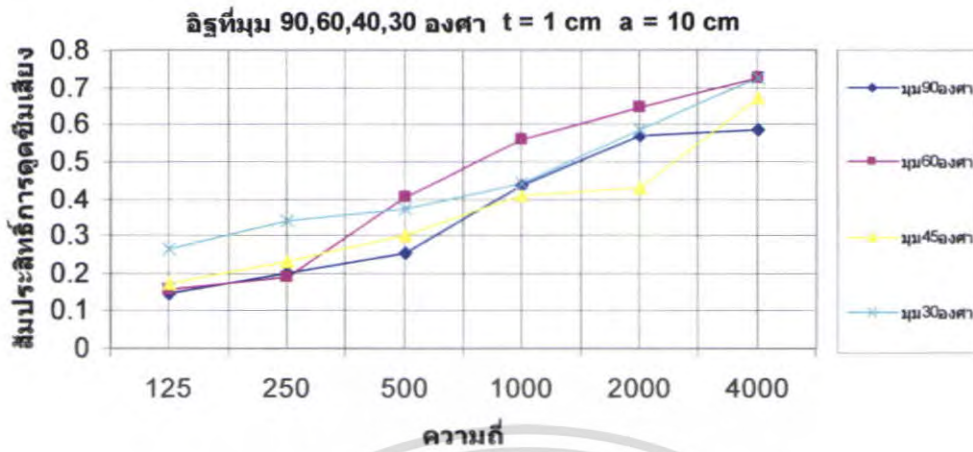
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

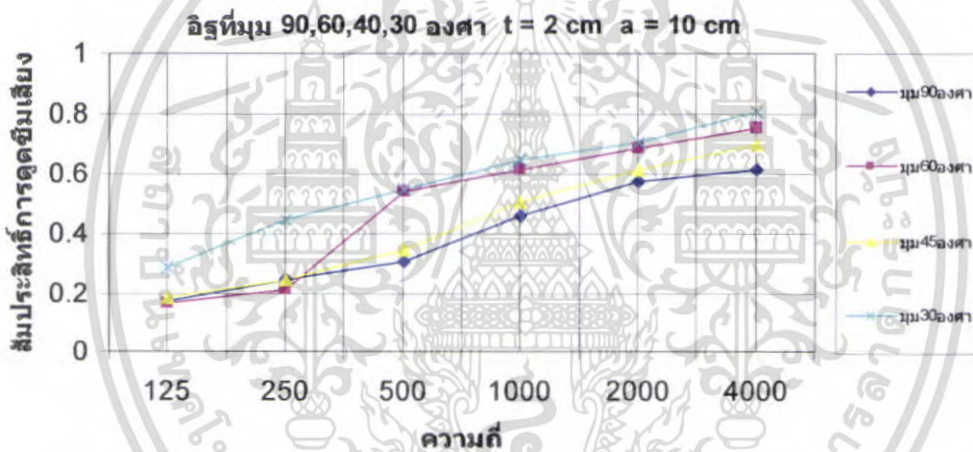
จากกราฟเปรียบเทียบมุมของอิฐตั้งแต่ $\theta = 90^\circ$, $\theta = 60^\circ$, $\theta = 45^\circ$, และ $\theta = 30^\circ$ โดยเปลี่ยนความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ โดยที่ช่องว่างอากาศเท่ากับ 5cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของอิฐที่ดีที่สุดในช่วงนี้คืออิฐที่ความหนา 3cm ความถี่ 4000Hz และมุม $\theta = 45^\circ$



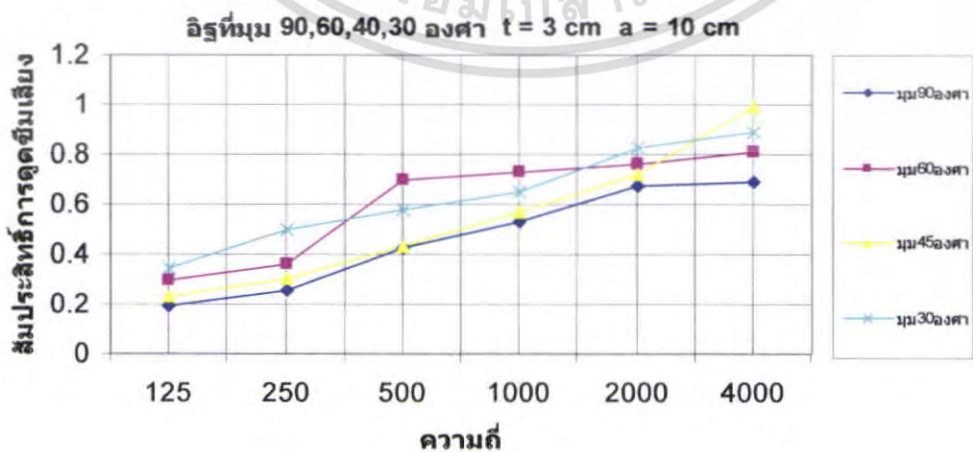
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.40 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 10 \text{ cm}$



รูปที่ 5.41 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 10 \text{ cm}$



รูปที่ 5.42 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 10 \text{ cm}$

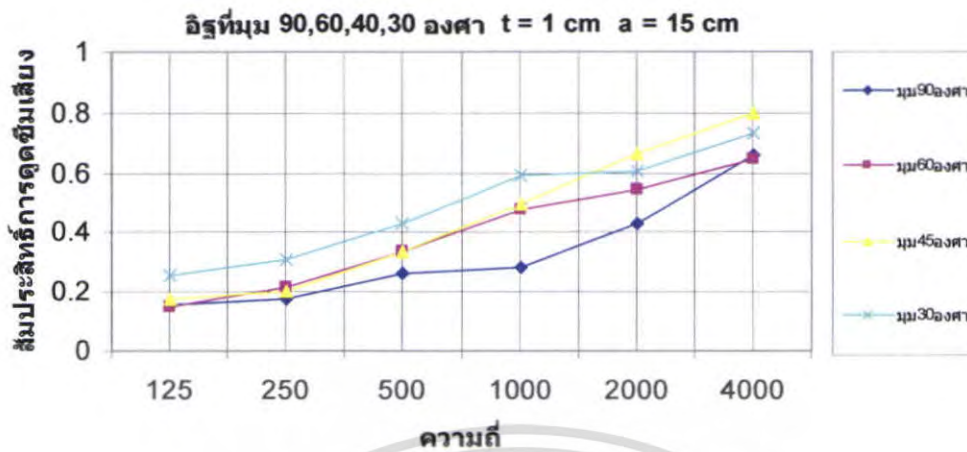
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

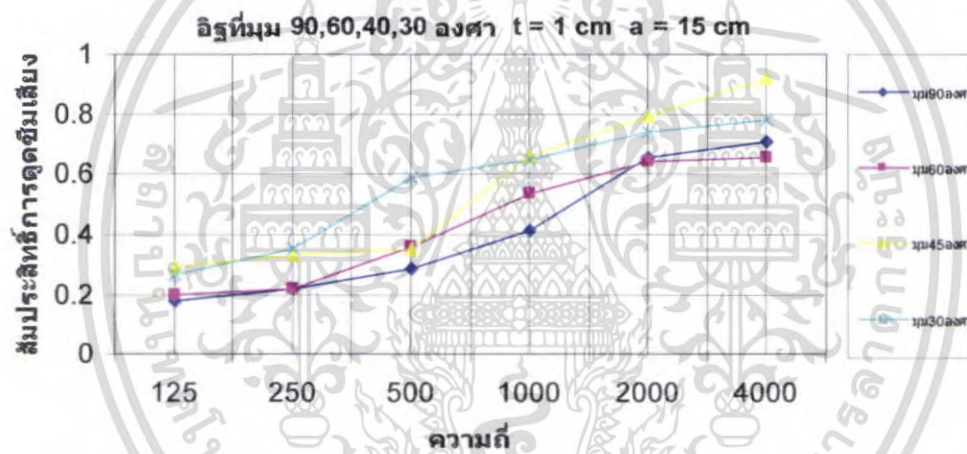
จากกราฟเปรียบเทียบมุมของอิฐตั้งแต่ $\theta = 90^\circ$, $\theta = 60^\circ$, $\theta = 45^\circ$, และ $\theta = 30^\circ$ โดยเปลี่ยนความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ โดยที่ช่องว่างอากาศเท่ากับ 10cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของอิฐที่ดีที่สุดในช่วงนี้คืออิฐที่มีความหนา 3cm ความถี่ 4000Hz และมุม $\theta = 45^\circ$



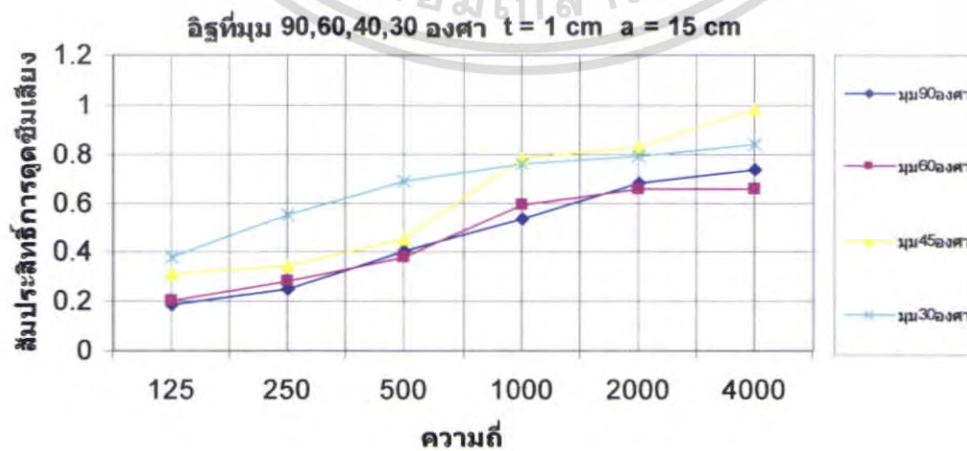
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.43 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ $\theta = 90^{\circ}, 60^{\circ}, 45^{\circ}, 30^{\circ}$ ที่ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 15 \text{ cm}$



รูปที่ 5.44 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ $\theta = 90^{\circ}, 60^{\circ}, 45^{\circ}, 30^{\circ}$ ที่ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 15 \text{ cm}$



รูปที่ 5.45 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐ $\theta = 90^{\circ}, 60^{\circ}, 45^{\circ}, 30^{\circ}$ ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 15 \text{ cm}$

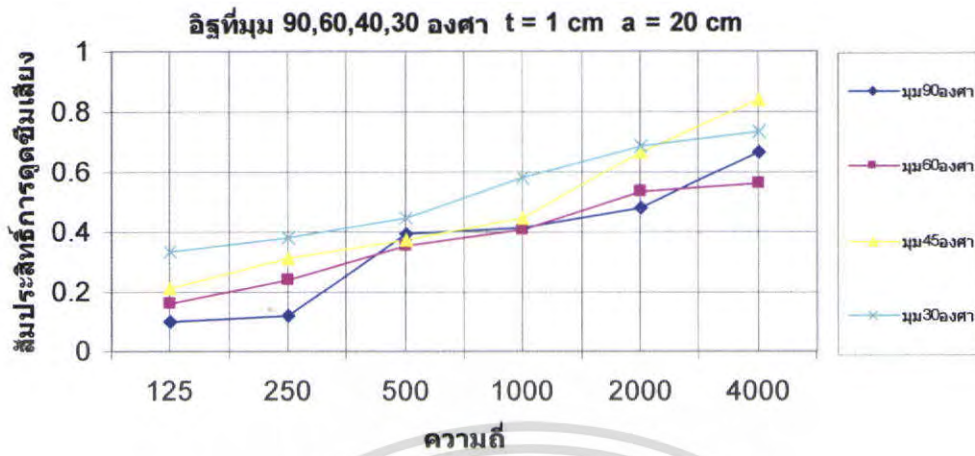
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

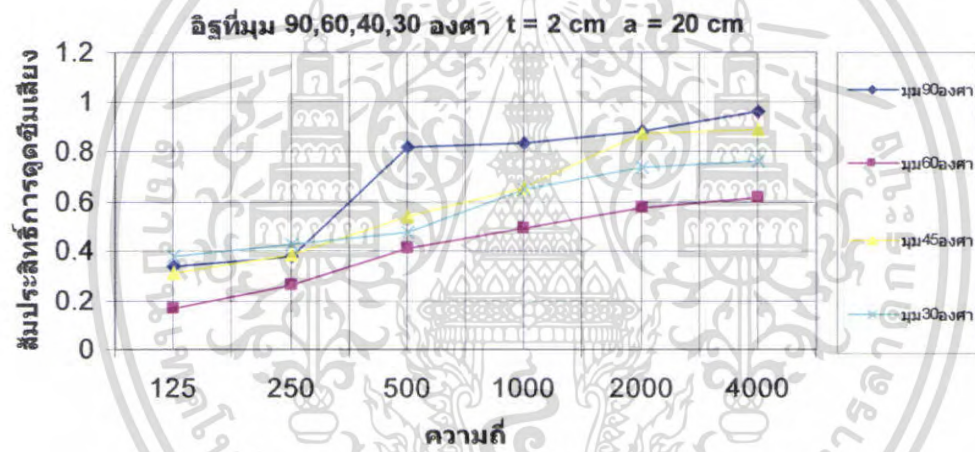
จากกราฟเปรียบเทียบมุมของอิฐตั้งแต่ $\theta = 90^\circ$, $\theta = 60^\circ$, $\theta = 45^\circ$, และ $\theta = 30^\circ$ โดยเปลี่ยนความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ โดยที่ช่องว่างอากาศเท่ากับ 15cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของอิฐที่ดีที่สุดในช่วงนี้คืออิฐที่ความหนา 3cm ความถี่ 4000Hz และมุม $\theta = 45^\circ$



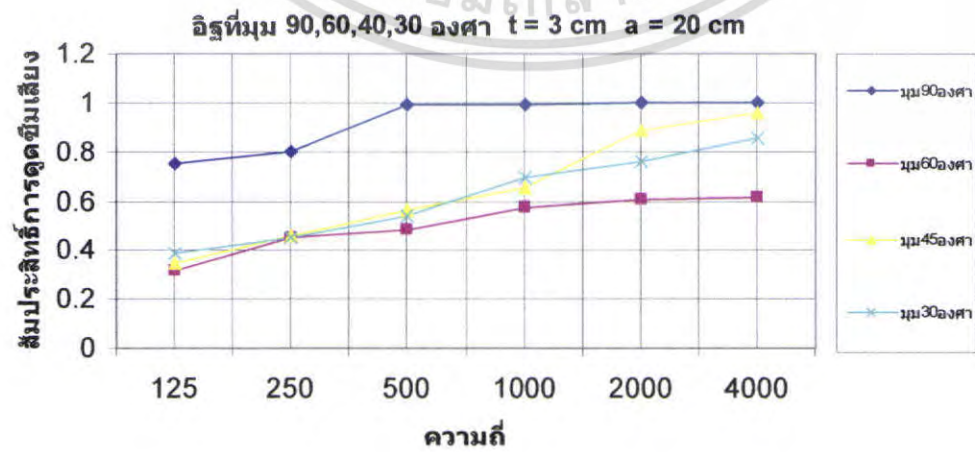
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.46 สัมประสิทธิ์การดูดซึ่มเสียงของอิฐ $\theta = 90^{\circ}, 60^{\circ}, 45^{\circ}, 30^{\circ}$ ที่ $t = 1$ cm $a = 20$ cm



รูปที่ 5.47 สัมประสิทธิ์การดูดซึ่มเสียงของอิฐ $\theta = 90^{\circ}, 60^{\circ}, 45^{\circ}, 30^{\circ}$ ที่ $t = 2$ cm $a = 20$ cm



รูปที่ 5.48 สัมประสิทธิ์การดูดซึ่มเสียงของอิฐ $\theta = 90^{\circ}, 60^{\circ}, 45^{\circ}, 30^{\circ}$ ที่ $t = 3$ cm $a = 20$ cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

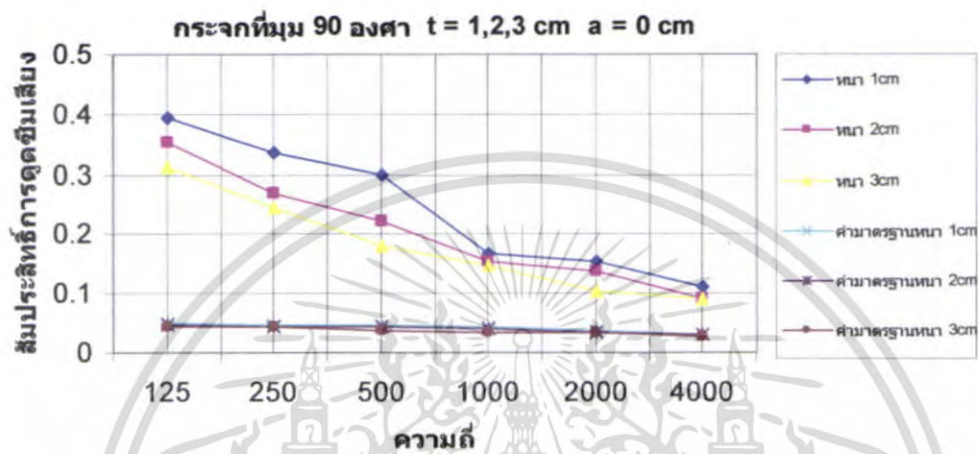
สรุป

จากกราฟเปรียบเทียบมุมของอิฐตั้งแต่ $\theta = 90^\circ$, $\theta = 60^\circ$, $\theta = 45^\circ$, และ $\theta = 30^\circ$ โดยเปลี่ยนความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ โดยที่ช่องว่างอากาศเท่ากับ 15cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของอิฐที่ดีที่สุดในช่วงนี้คืออิฐที่ความหนา 3cm ความถี่ 4000Hz และมุม $\theta = 90^\circ$

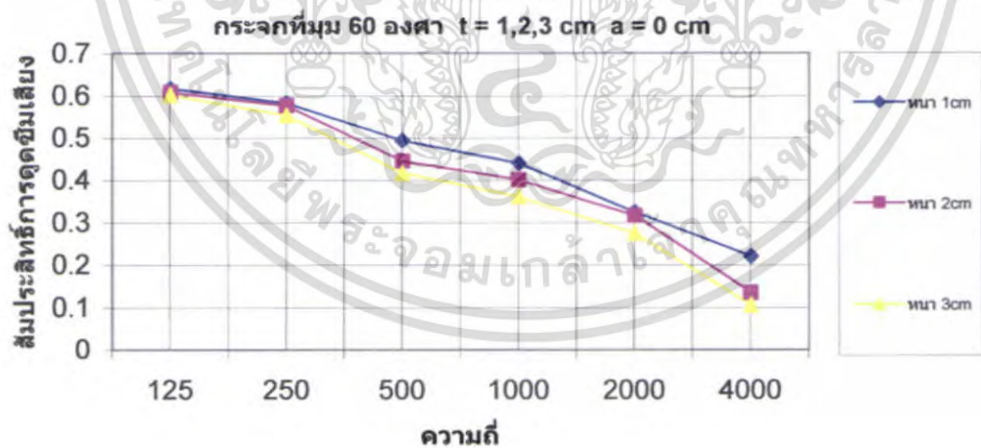


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่มุม 90,60,45,30 องศา ความหนา 1,2,3 cm ช่องว่างอากาศ 0,5,10,15,20 cm

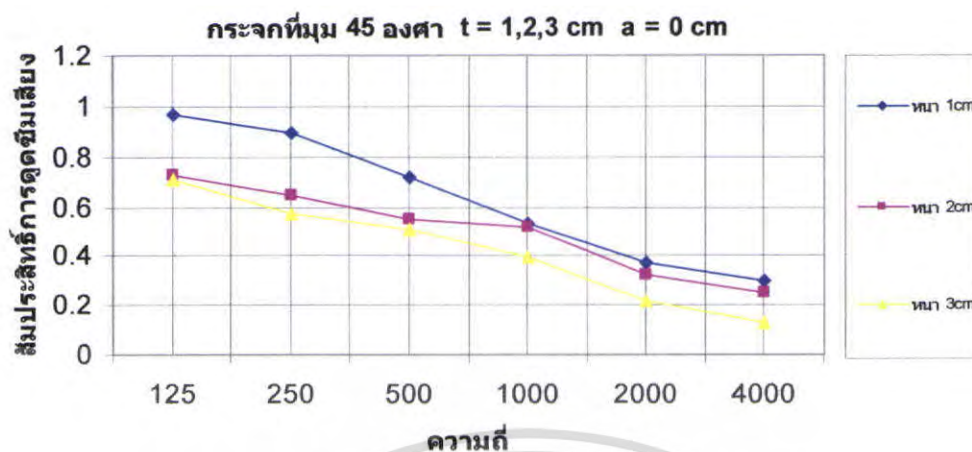


รูปที่ 5.49 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่ $\theta = 90^\circ$ t = 1,2,3 cm a = 0 cm

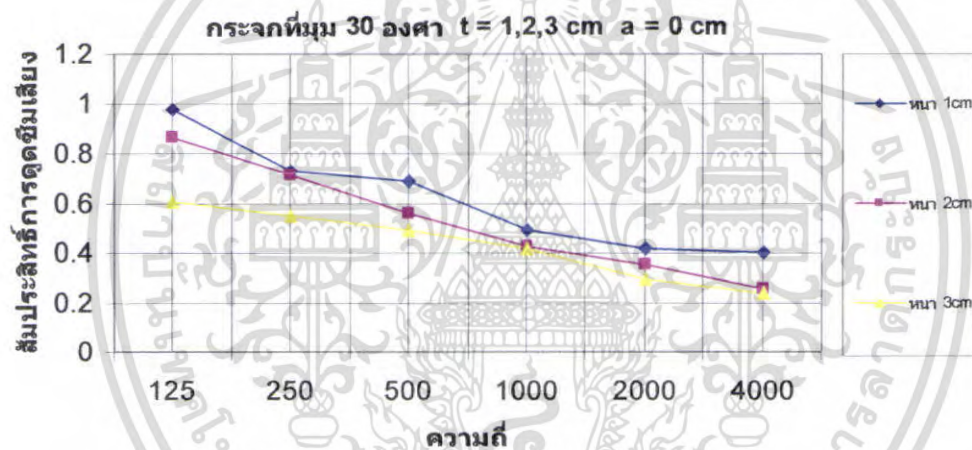


รูปที่ 5.50 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่ $\theta = 60^\circ$ t = 1,2,3 cm a = 0 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.51 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจกที่ $\theta = 45^\circ$ t = 1,2,3 cm a = 0 cm

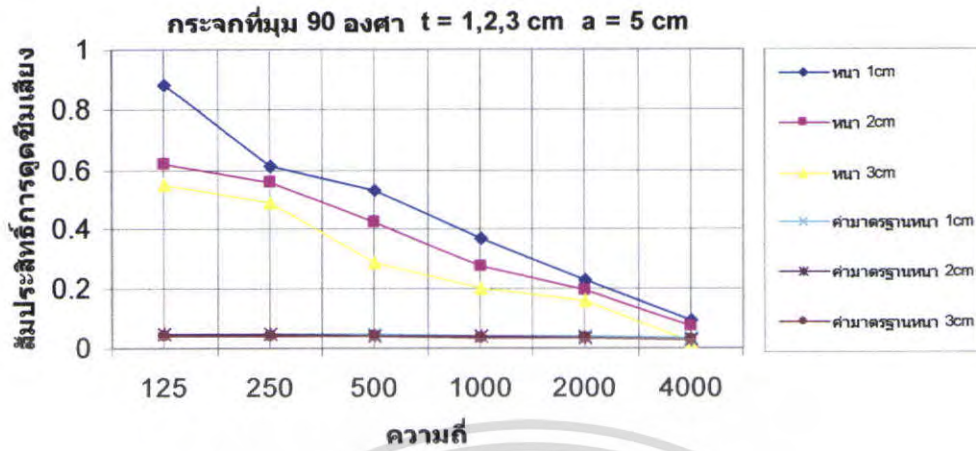


รูปที่ 5.52 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจกที่ $\theta = 30^\circ$ t = 1,2,3 cm a = 0 cm

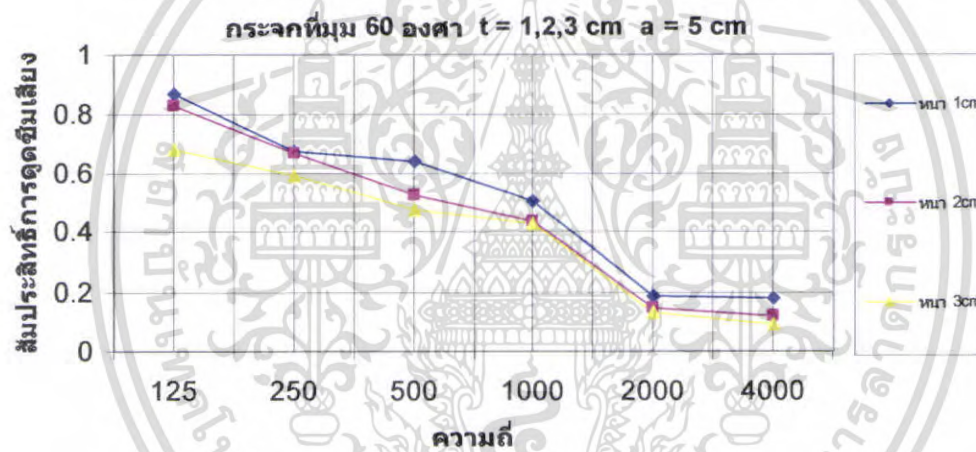
สรุป

จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจกที่ความถี่จาก 125Hz,250Hz,500Hz,1000Hz,2000Hzและ4000Hz โดยเปลี่ยนความหนาของกระจกจาก 1cm,2cm,3cm และ เปลี่ยนมุมของวัสดุจาก $\theta = 90^\circ$, $\theta = 60^\circ$, $\theta = 45^\circ$, และ $\theta = 30^\circ$ ตามลำดับ โดยมีช่องว่างอากาศ 0cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจกที่ดีที่สุดอยู่ที่ความหนา 1cm ความถี่ 125Hz และมุม $\theta = 30^\circ$

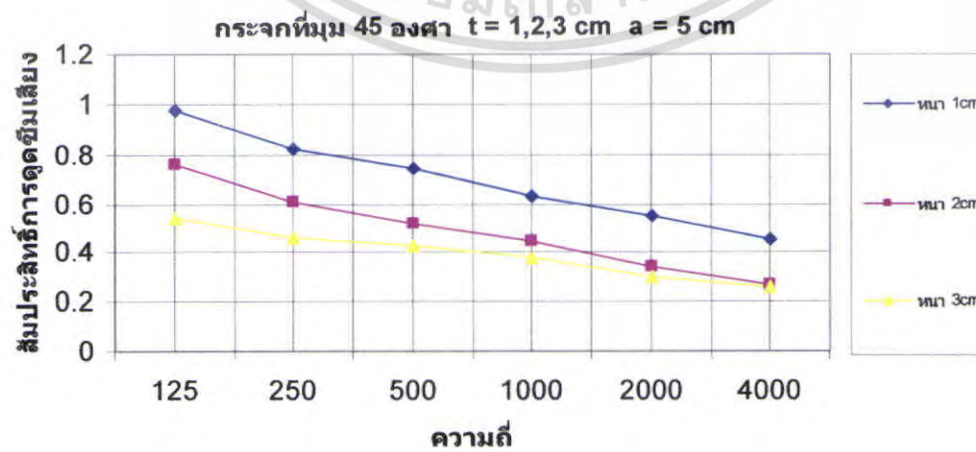
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.53 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระฉากที่ $\theta = 90^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 5 \text{ cm}$

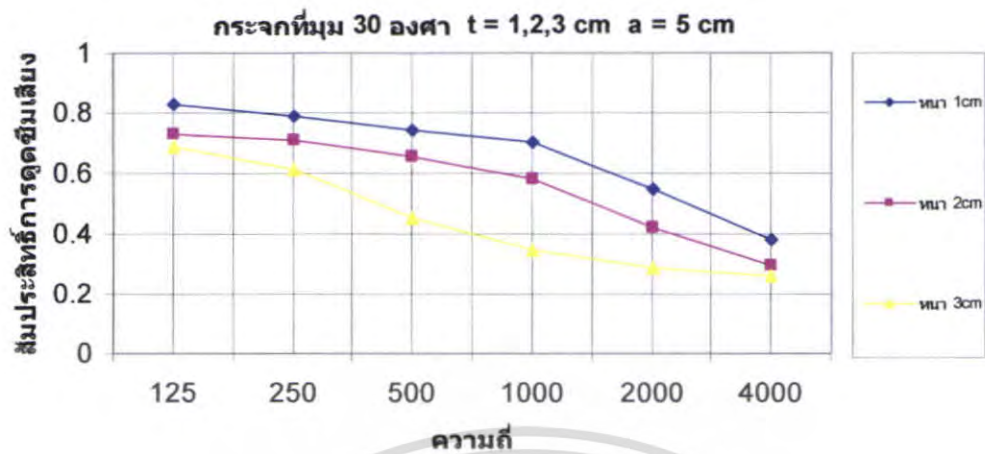


รูปที่ 5.54 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระฉากที่ $\theta = 60^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 5 \text{ cm}$



รูปที่ 5.55 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระฉากที่ $\theta = 45^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 5 \text{ cm}$

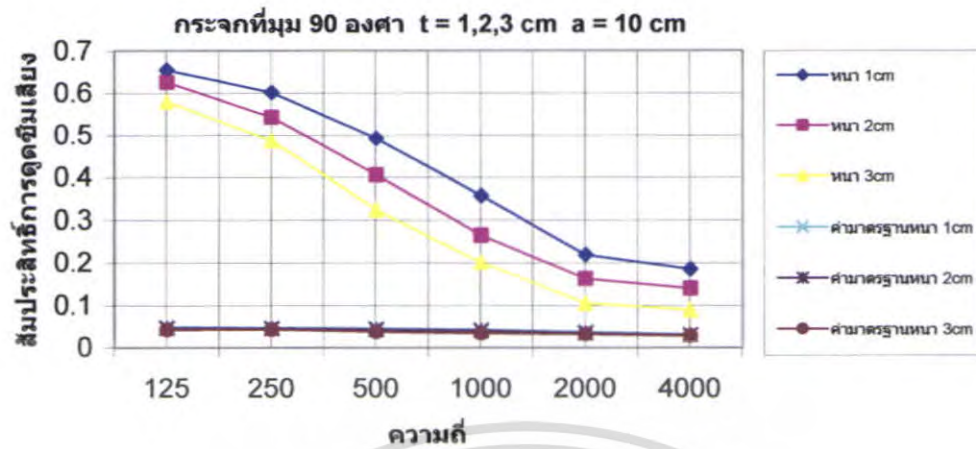
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



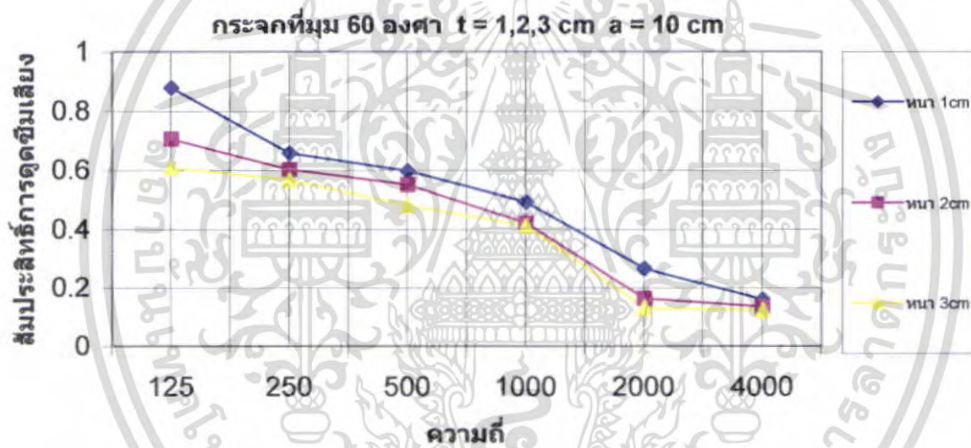
รูปที่ 5.56 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจกที่ $\theta = 30^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 5 \text{ cm}$

สรุป

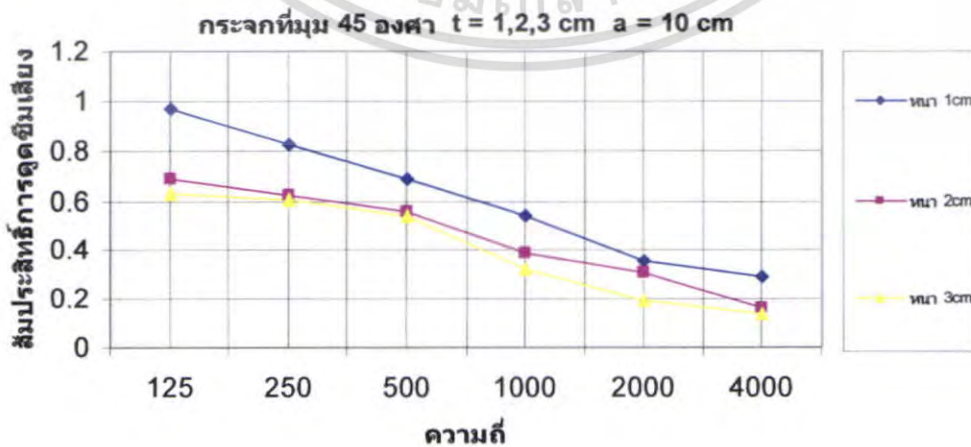
จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจกที่ความถี่จาก 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz และ 4000Hz โดยเปลี่ยนความหนาของกระจกจาก 1cm, 2cm, 3cm และ เปลี่ยนมุมของวัสดุจาก $\theta = 90^\circ$, $\theta = 60^\circ$, $\theta = 45^\circ$, และ $\theta = 30^\circ$ ตามลำดับ โดยมีช่องว่างอากาศ 5cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจกที่ดีที่สุดอยู่ที่ความหนา 1cm ความถี่ 125Hz และมุม $\theta = 45^\circ$



รูปที่ 5.57 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจกที่ $\theta = 90^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 10 \text{ cm}$

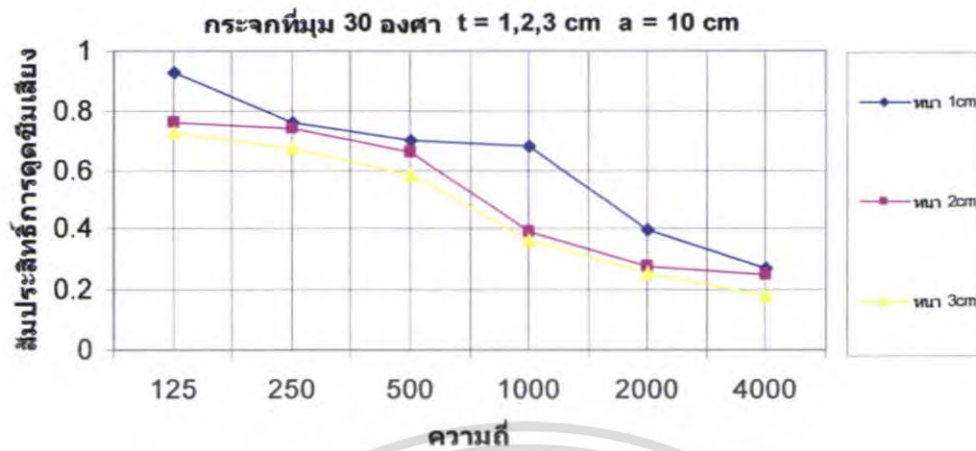


รูปที่ 5.58 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจกที่ $\theta = 60^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 10 \text{ cm}$



รูปที่ 5.59 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจกที่ $\theta = 45^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 10 \text{ cm}$

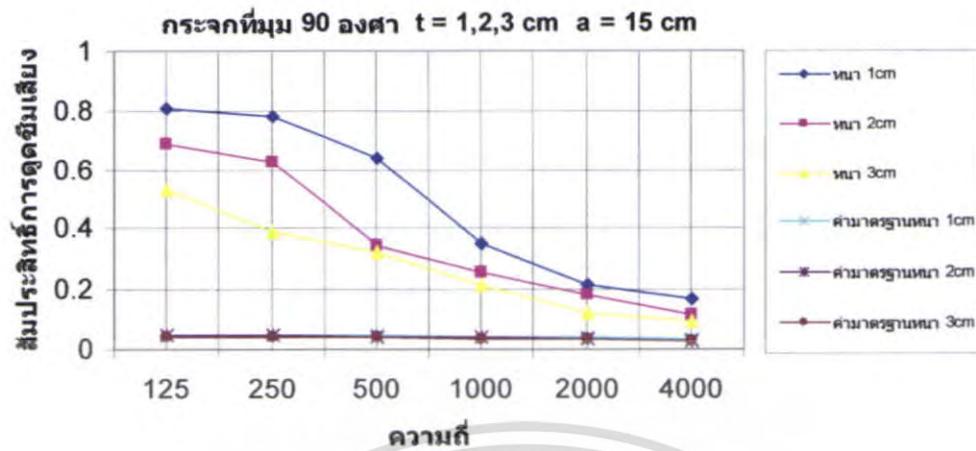
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



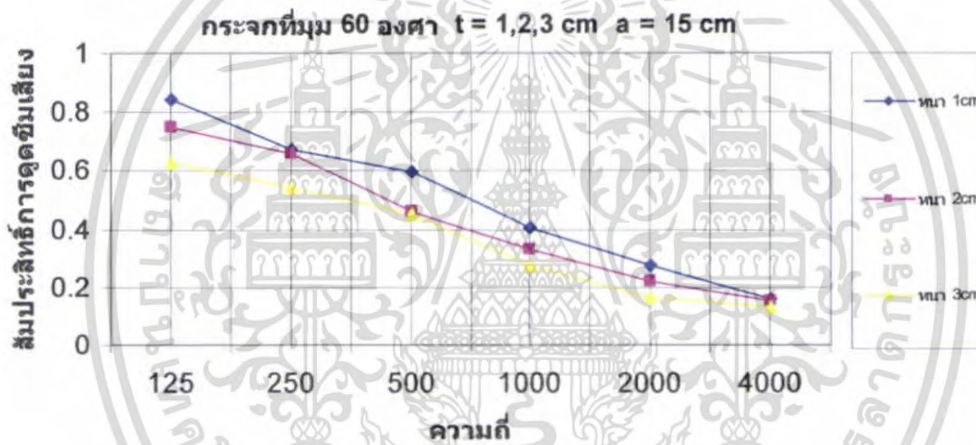
รูปที่ 5.60 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจกที่ $\theta = 30^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 10 \text{ cm}$

สรุป

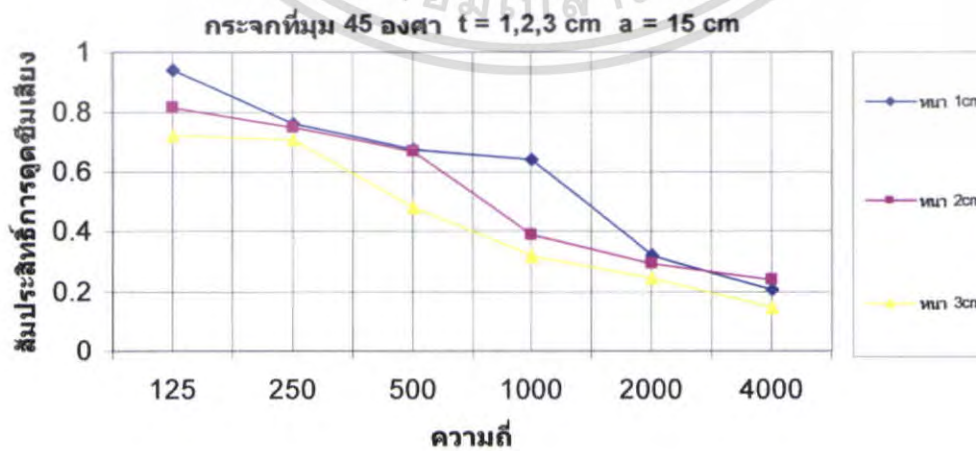
จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจกที่ความถี่จาก 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz และ 4000Hz โดยเปลี่ยนความหนาของกระจกจาก 1cm, 2cm, 3cm และ เปลี่ยนมุมของวัสดุจาก $\theta = 90^\circ$, $\theta = 60^\circ$, $\theta = 45^\circ$, และ $\theta = 30^\circ$ ตามลำดับ โดยมีช่องว่างอากาศ 10cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจกที่ดีที่สุดอยู่ที่ความหนา 1cm ความถี่ 125Hz และมุม $\theta = 45^\circ$



รูปที่ 5.61 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจกที่ $\theta = 90^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 15 \text{ cm}$

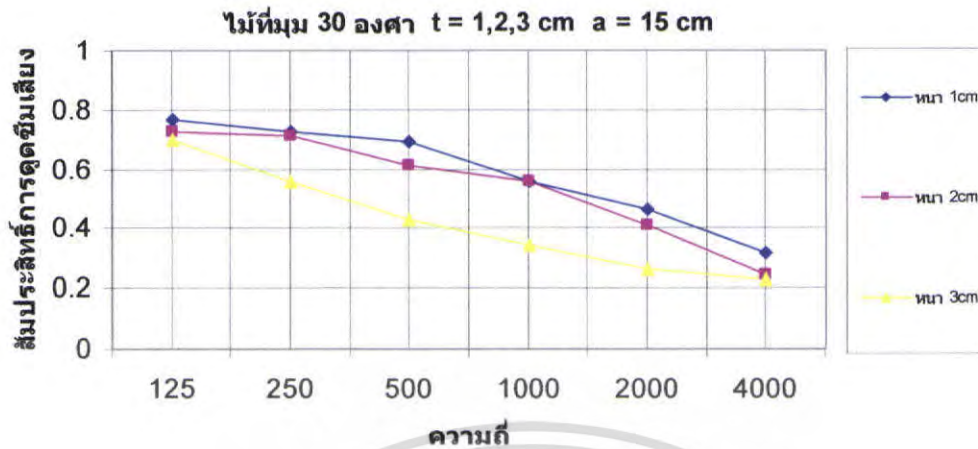


รูปที่ 5.62 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจกที่ $\theta = 60^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 15 \text{ cm}$



รูปที่ 5.63 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจกที่ $\theta = 45^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 15 \text{ cm}$

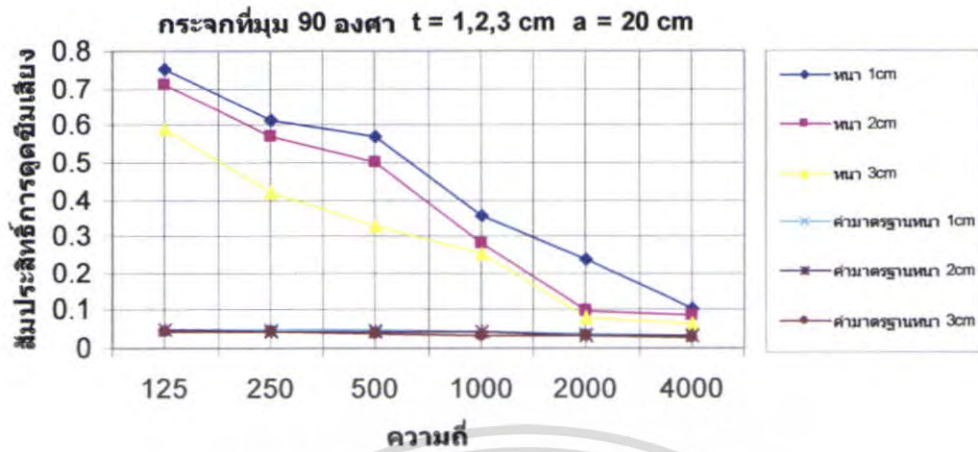
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



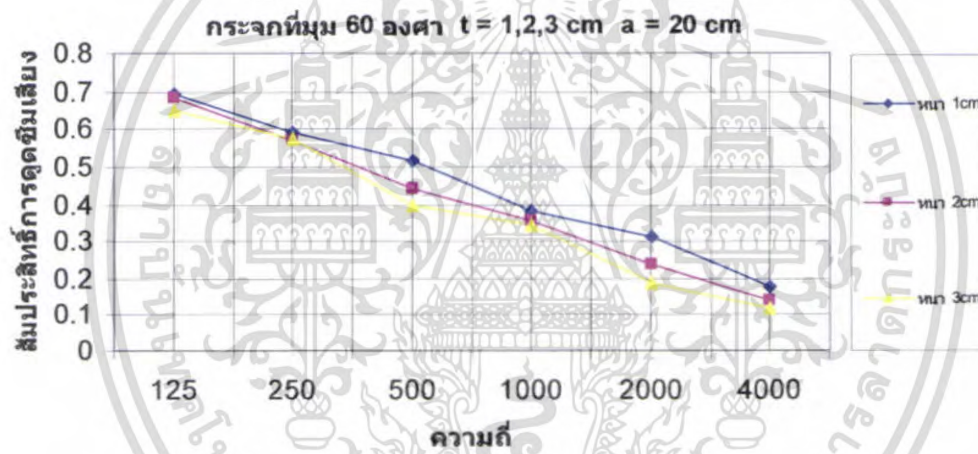
รูปที่ 5.64 สัมประสิทธิ์การดุดซึ่มเสียงของกระงกที่ $\theta = 30^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 15 \text{ cm}$

สรุป

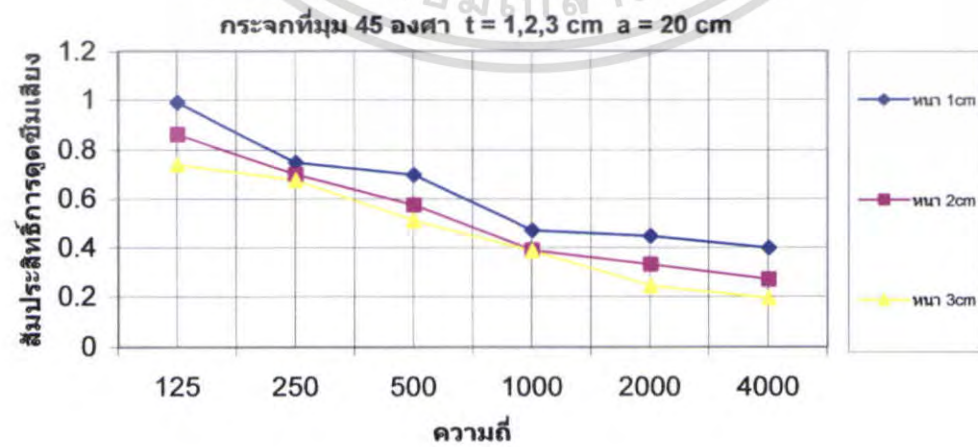
จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การดุดซึ่มเสียงของกระงกที่ความถี่จาก 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz และ 4000Hz โดยเปลี่ยนความหนาของกระงกจาก 1cm, 2cm, 3cm และ เปลี่ยนมุมของวัสดุจาก $\theta = 90^\circ$, $\theta = 60^\circ$, $\theta = 45^\circ$, และ $\theta = 30^\circ$ ตามลำดับ โดยมีช่องว่างอากาศ 15cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดุดซึ่มเสียงของกระงกที่ดีที่สุดอยู่ที่ความหนา 1cm ความถี่ 125Hz และ มุม $\theta = 45^\circ$



รูปที่ 5.65 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจกที่ $\theta = 90^\circ$ t = 1,2,3 cm a = 20 cm

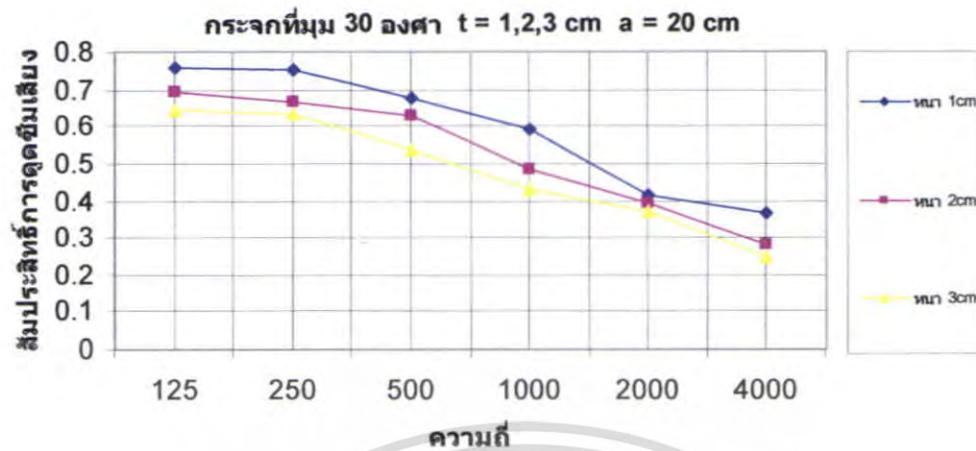


รูปที่ 5.66 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจกที่ $\theta = 60^\circ$ t = 1,2,3 cm a = 20 cm



รูปที่ 5.67 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจกที่ $\theta = 45^\circ$ t = 1,2,3 cm a = 20 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

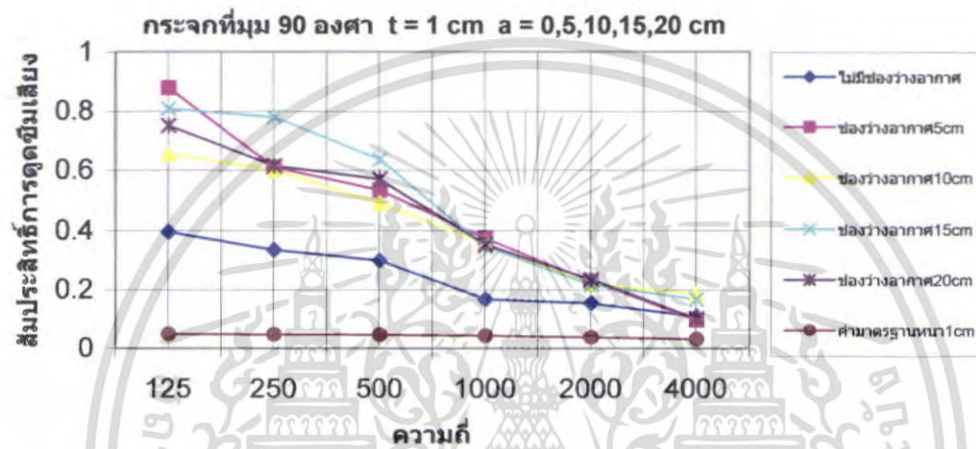


รูปที่ 5.68 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระเจกที่ $\theta = 30^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$

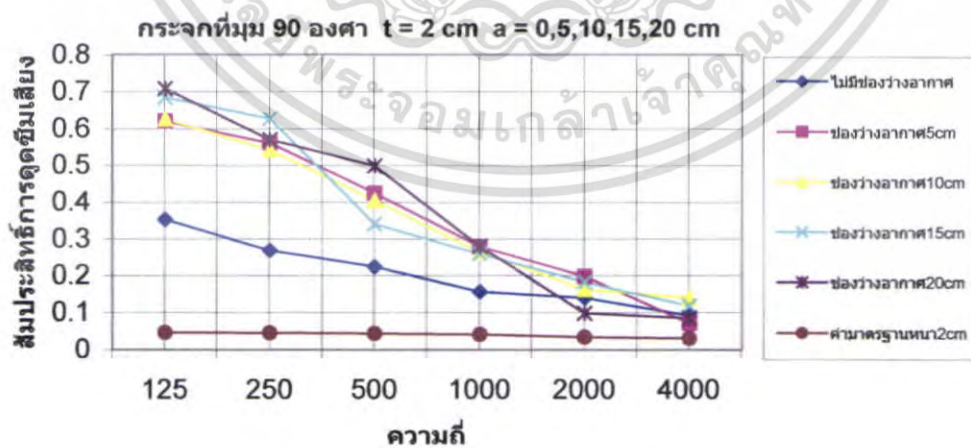
สรุป

จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระเจกที่ความถี่จาก 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz และ 4000Hz โดยเปลี่ยนความหนาของกระเจกจาก 1cm, 2cm, 3cm และ เปลี่ยนมุมของวัสดุจาก $\theta = 90^\circ$, $\theta = 60^\circ$, $\theta = 45^\circ$ และ $\theta = 30^\circ$ ตามลำดับ โดยมีช่องว่างอากาศ 20cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระเจกที่ดีที่สุดอยู่ที่ความหนา 1cm ความถี่ 125Hz และมุม $\theta = 45^\circ$ และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ต่ำที่สุดในส่วนของกระเจกคือกระเจกที่ความหนา 1cm ความถี่ 125Hz มุม $\theta = 45^\circ$ และช่องว่างอากาศ 20cm

กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่มุม 90,60,45,30 องศา ความหนา 1,2,3 cm
ช่องว่างอากาศ 0,5,10,15,20 cm

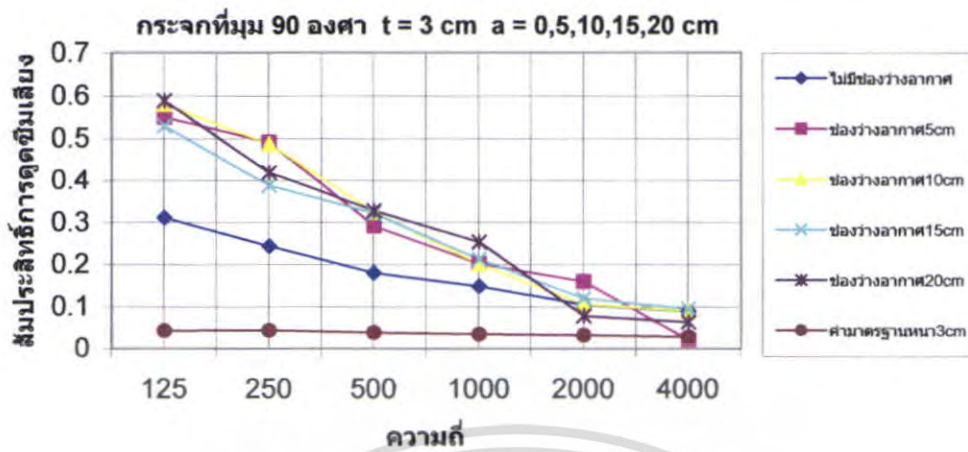


รูปที่ 5.69 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่ $\theta = 90^\circ$ $t = 1$ cm $a = 5,10,15,20$ cm



รูปที่ 5.70 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่ $\theta = 90^\circ$ $t = 2$ cm $a = 5,10,15,20$ cm

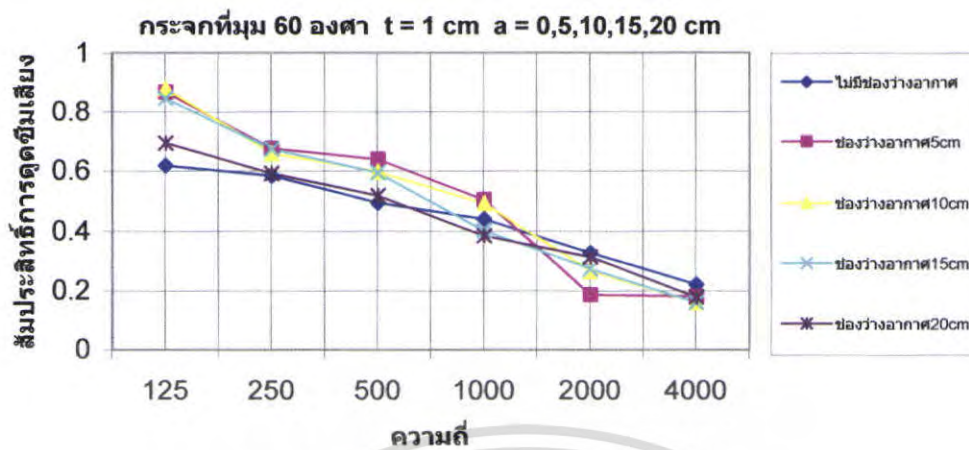
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



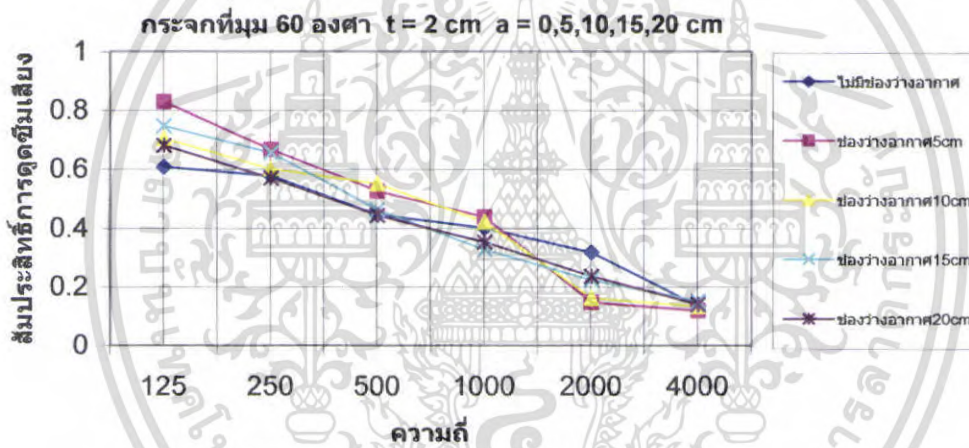
รูปที่ 5.71 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจกที่ $\theta = 90^\circ$ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 5, 10, 15, 20 \text{ cm}$

สรุป

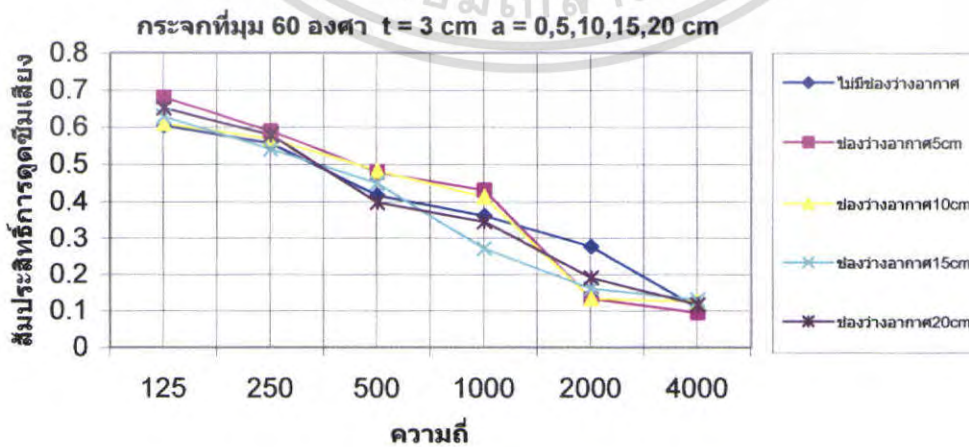
จากกราฟเปรียบเทียบช่องว่างอากาศของกระจกตั้งแต่ 0cm, 5cm, 10cm, 15cm และ 20cm โดยเปลี่ยนความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจกที่ดีที่สุดในช่วงนี้คือกระจกที่ความหนา 1cm ความถี่ 125Hz มุม $\theta = 90^\circ$ และช่องว่างอากาศเท่ากับ 5cm



รูปที่ 5.72 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระเจกที่ $\theta = 60^\circ$ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 5,10,15,20 \text{ cm}$



รูปที่ 5.73 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระเจกที่ $\theta = 60^\circ$ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 5,10,15,20 \text{ cm}$



รูปที่ 5.74 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระเจกที่ $\theta = 60^\circ$ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 5,10,15,20 \text{ cm}$

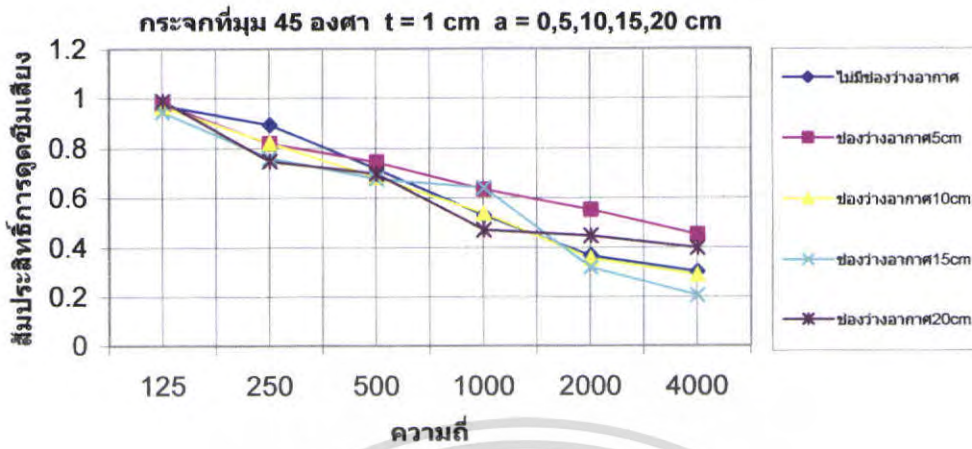
เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสงวนไวส้าหรับการใชงานเพอการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใชประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

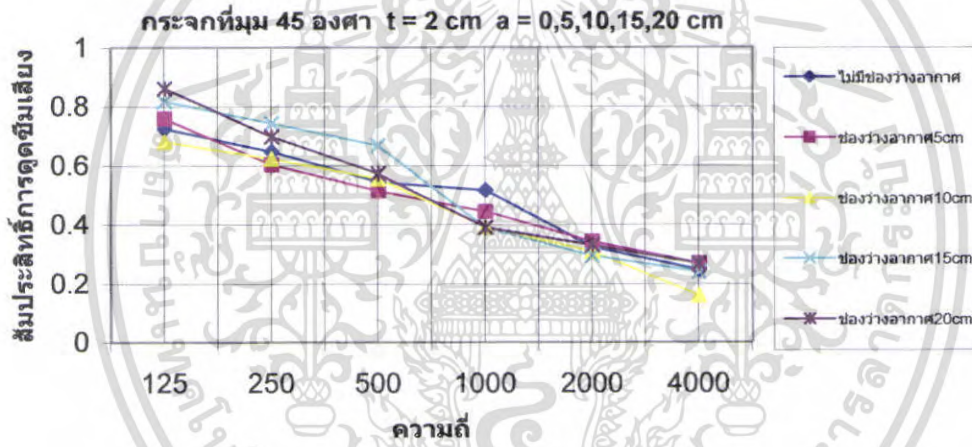
จากกราฟเปรียบเทียบช่องว่างอากาศของกระจกตั้งแต่ 0cm, 5cm, 10cm, 15cm และ 20cm โดยเปลี่ยนความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจกที่ดีที่สุดในช่วงนี้คือกระจกที่ความหนา 1cm ความถี่ 125Hz มุม $\theta = 60^\circ$ และช่องว่างอากาศเท่ากับ 10cm



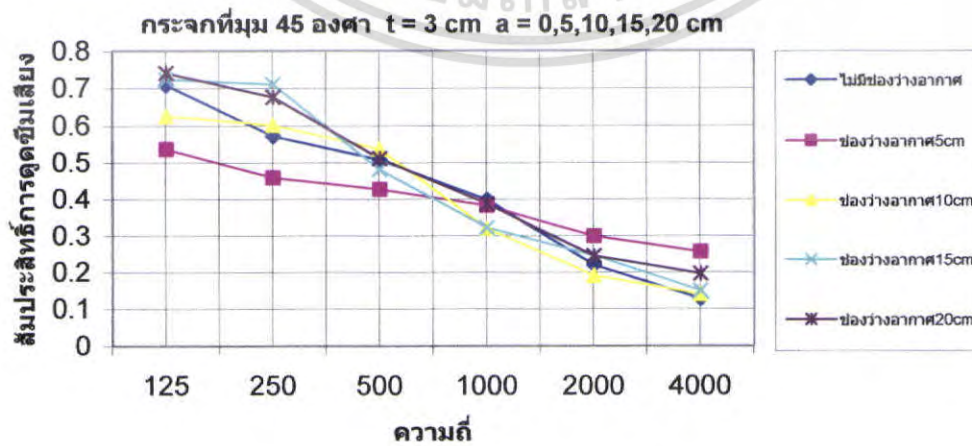
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.75 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระเจกที่ $\theta = 45^\circ$ $t = 1$ cm $a = 5,10,15,20$ cm



รูปที่ 5.76 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระเจกที่ $\theta = 45^\circ$ $t = 2$ cm $a = 5,10,15,20$ cm



รูปที่ 5.77 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระเจกที่ $\theta = 45^\circ$ $t = 3$ cm $a = 5,10,15,20$ cm

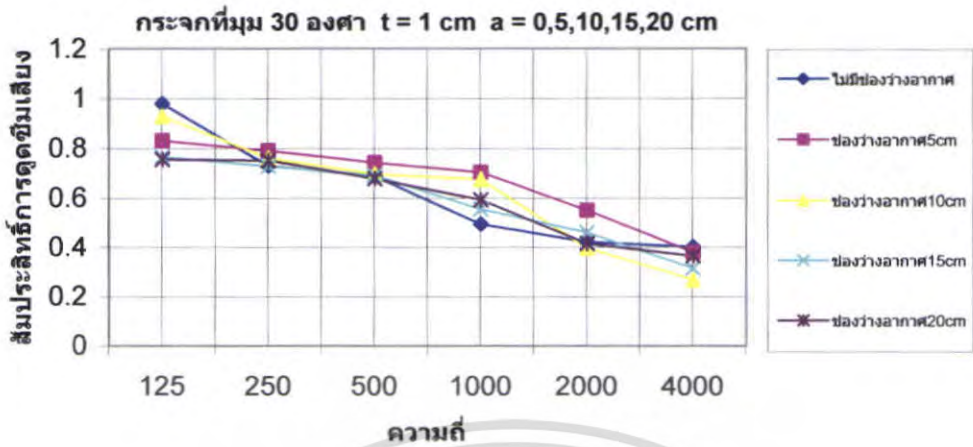
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตเห็นเข้าจะพิจารณาการดำเนินคดีตามกฎหมายที่เกี่ยวข้อง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

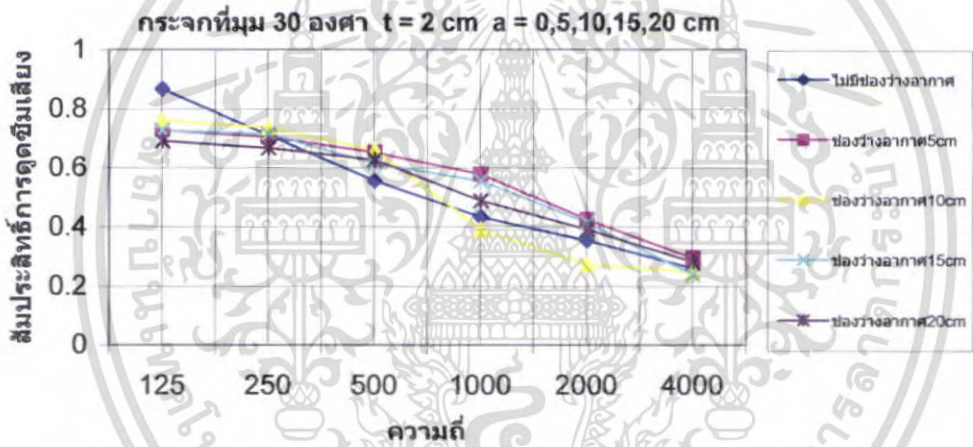
จากกราฟเปรียบเทียบช่องว่างอากาศของกระจกตั้งแต่ 0cm, 5cm, 10cm, 15cm และ 20cm โดยเปลี่ยนความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่ดีที่สุดในช่วงนี้คือกระจกที่ความหนา 1cm ความถี่ 125Hz มุม $\theta = 45^\circ$ และช่องว่างอากาศเท่ากับ 20cm



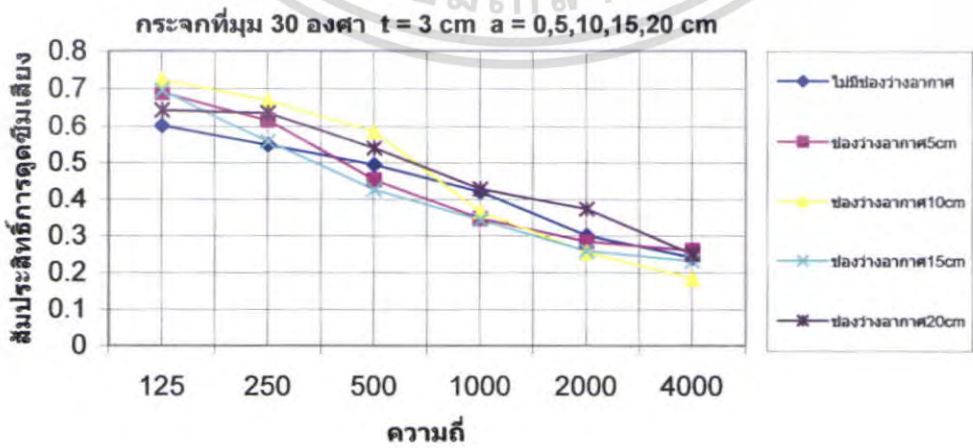
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.78 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระบอกที่ $\theta = 30^\circ$ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 5,10,15,20 \text{ cm}$



รูปที่ 5.79 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระบอกที่ $\theta = 30^\circ$ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 5,10,15,20 \text{ cm}$



รูปที่ 5.80 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระบอกที่ $\theta = 30^\circ$ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 5,10,15,20 \text{ cm}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตเห็นแก่ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

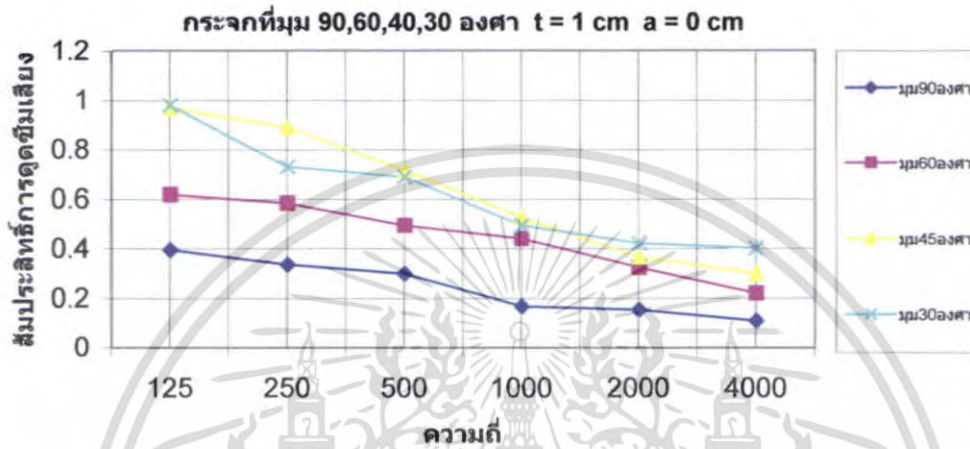
สรุป

จากกราฟเปรียบเทียบช่องว่างอากาศของกระจกตั้งแต่ 0cm, 5cm, 10cm, 15cm และ 20cm โดยเปลี่ยนความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่ดีที่สุดในช่วงนี้คือกระจกที่ความหนา 1cm ความถี่ 125Hz มุม $\theta = 30^\circ$ และช่องว่างอากาศเท่ากับ 0cm

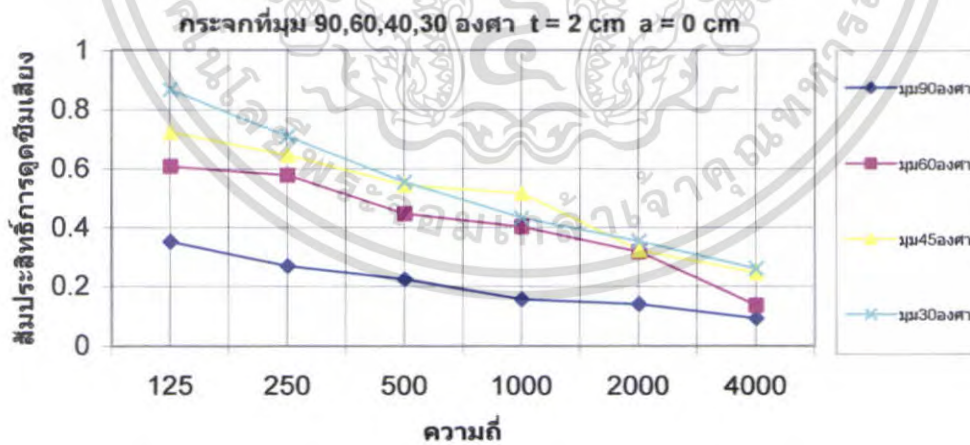


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่มุม 90,60,45,30 องศา ความหนา 1,2,3 cm
ช่องว่างอากาศ 0,5,10,15,20 cm

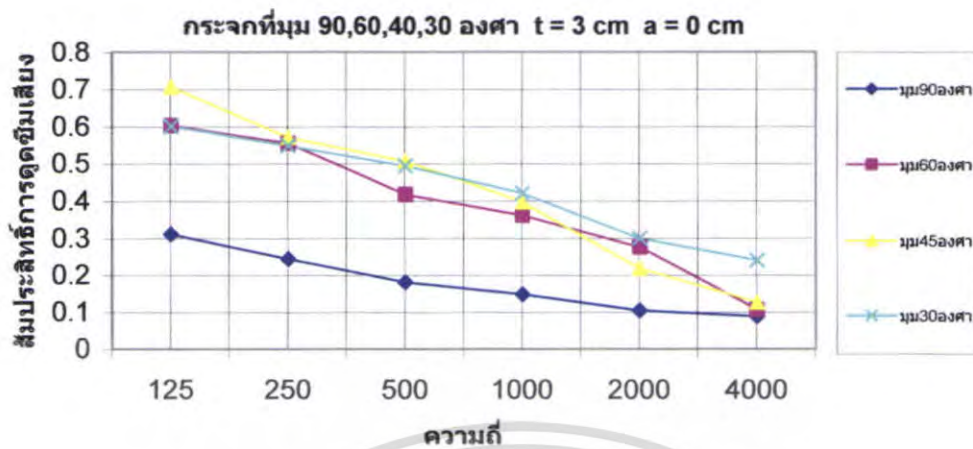


รูปที่ 5.81 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจก $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 0 \text{ cm}$



รูปที่ 5.82 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจก $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 0 \text{ cm}$

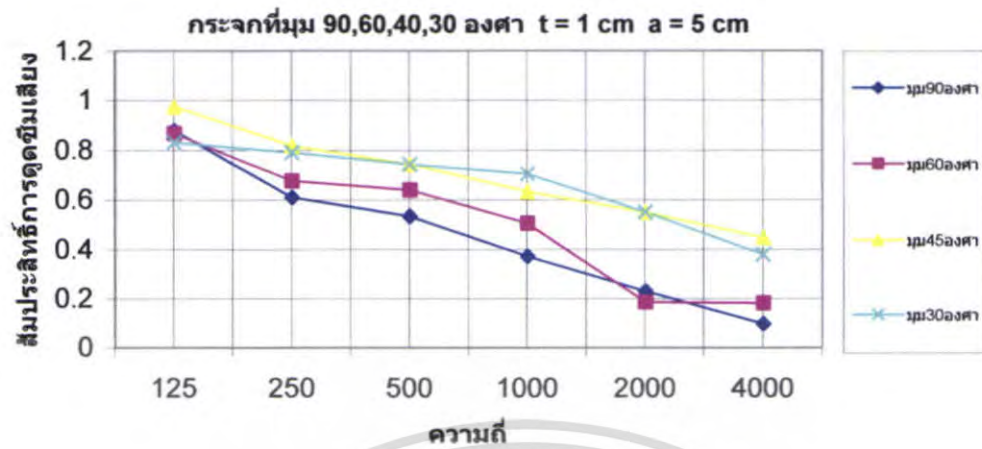
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



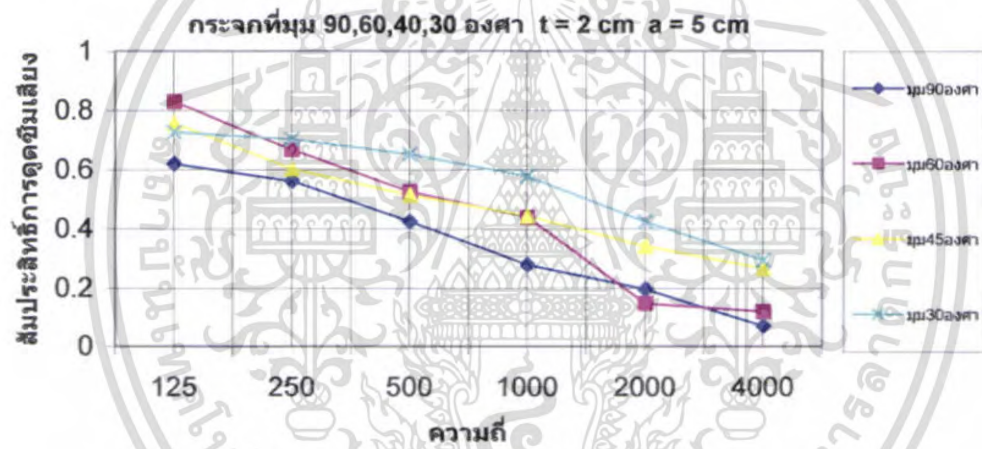
รูปที่ 5.83 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจก $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 0 \text{ cm}$

สรุป

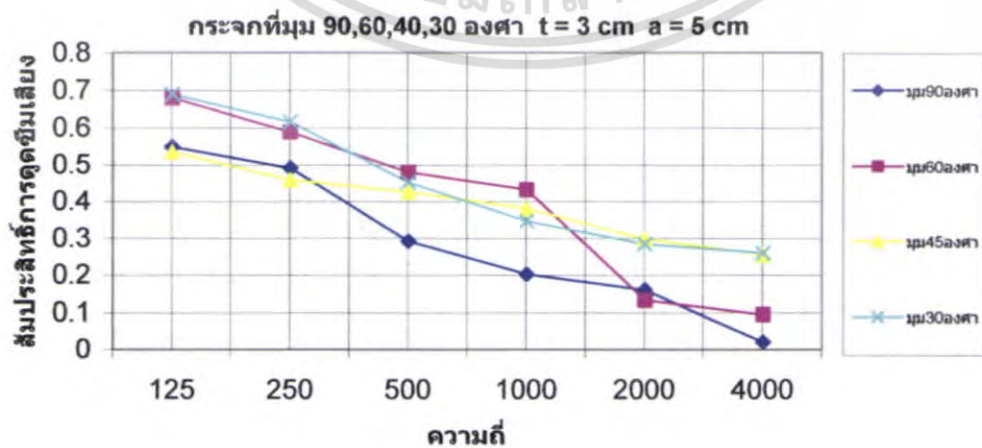
จากกราฟเปรียบเทียบมุมของกระจกตั้งแต่ $\theta = 90^\circ, \theta = 60^\circ, \theta = 45^\circ$, และ $\theta = 30^\circ$ โดยเปลี่ยนความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับโดยที่ช่องว่างอากาศเท่ากับ 0cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจกที่ดีที่สุดในช่วงนี้คือกระจกที่ความหนา 1cm ความถี่ 125Hz และมุม $\theta = 30^\circ$



รูปที่ 5.84 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจก $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 5 \text{ cm}$



รูปที่ 5.85 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจก $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 5 \text{ cm}$



รูปที่ 5.86 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจก $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 5 \text{ cm}$

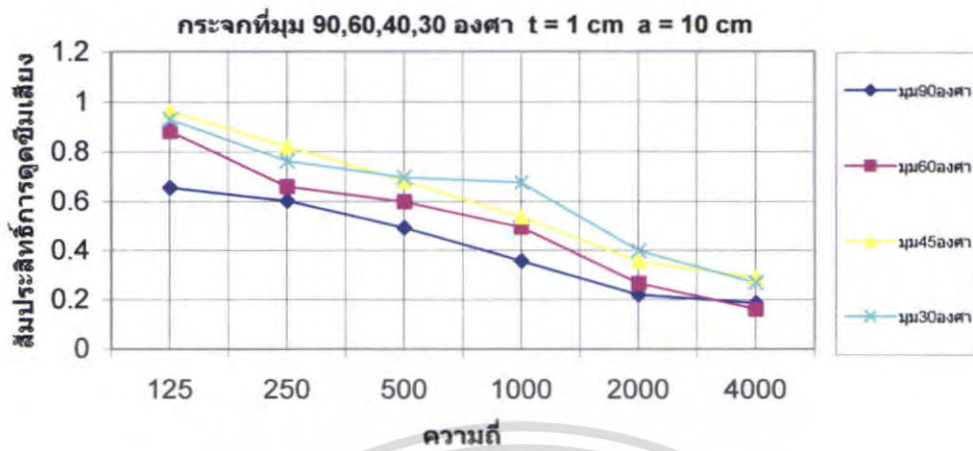
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

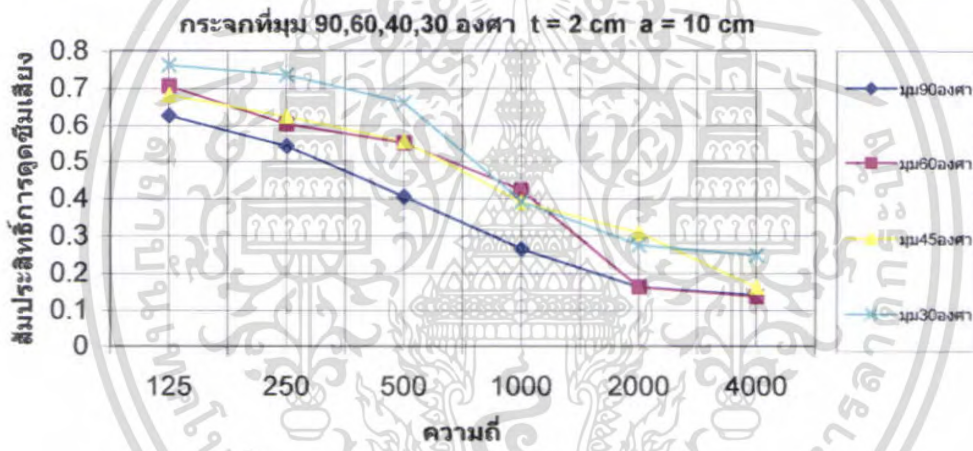
จากกราฟเปรียบเทียบมุมของกระจกตั้งแต่ $\theta = 90^\circ$, $\theta = 60^\circ$, $\theta = 45^\circ$, และ $\theta = 30^\circ$ โดยเปลี่ยนความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ โดยที่ช่องว่างอากาศเท่ากับ 5cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่ดีที่สุดในช่วงนี้คือกระจกที่ความหนา 1cm ความถี่ 125Hz และมุม $\theta = 45^\circ$



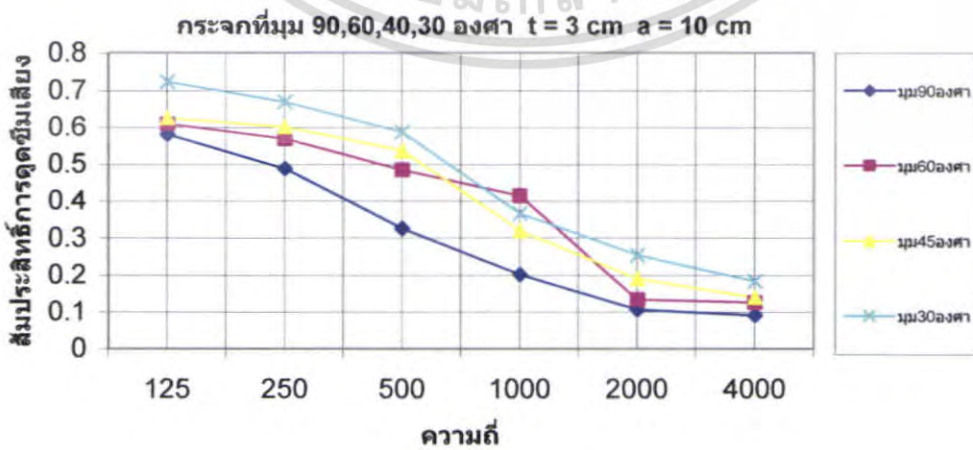
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.87 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจก $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ t = 1 cm a = 10 cm



รูปที่ 5.88 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจก $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ t = 2 cm a = 10 cm



รูปที่ 5.89 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจก $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ t = 3 cm a = 10 cm

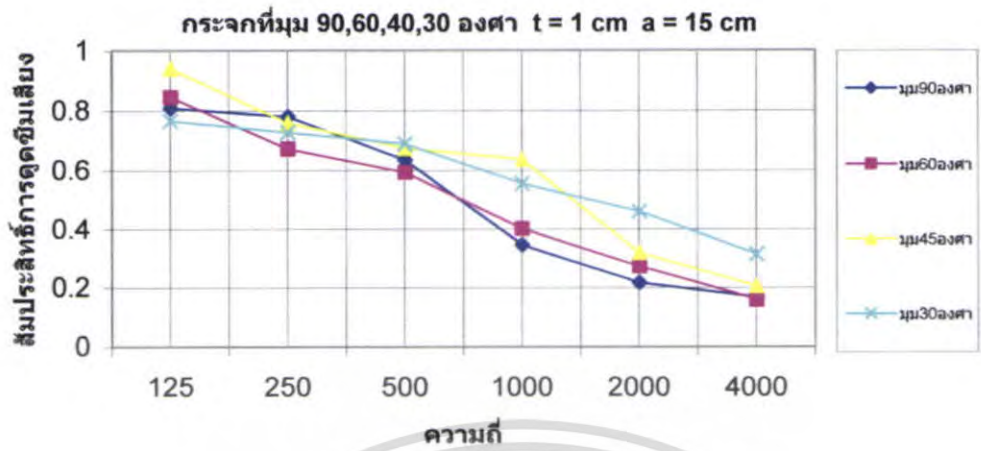
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

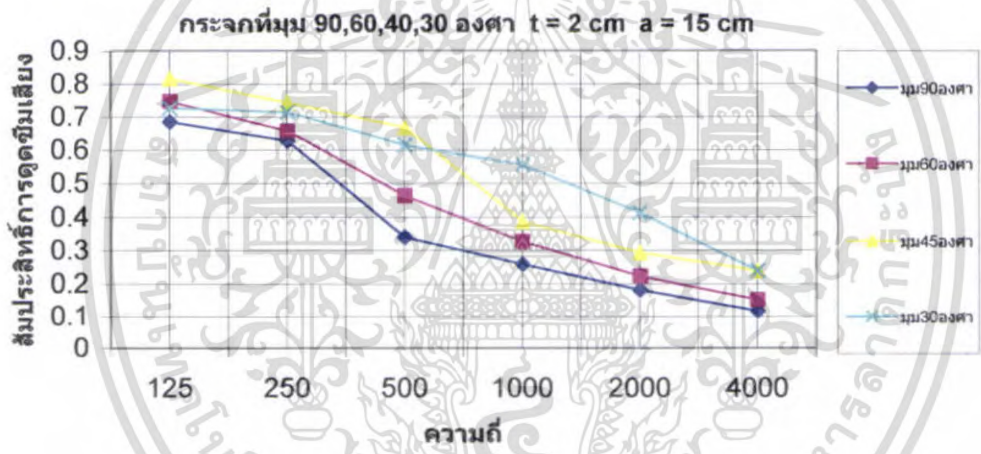
จากกราฟเปรียบเทียบมุมของกระจกตั้งแต่ $\theta = 90^\circ, \theta = 60^\circ, \theta = 45^\circ$, และ $\theta = 30^\circ$ โดยเปลี่ยนความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ โดยที่ช่องว่างอากาศเท่ากับ 10cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่ดีที่สุดในช่วงนี้คือกระจกที่ความหนา 1cm ความถี่ 125Hz และมุม $\theta = 45^\circ$



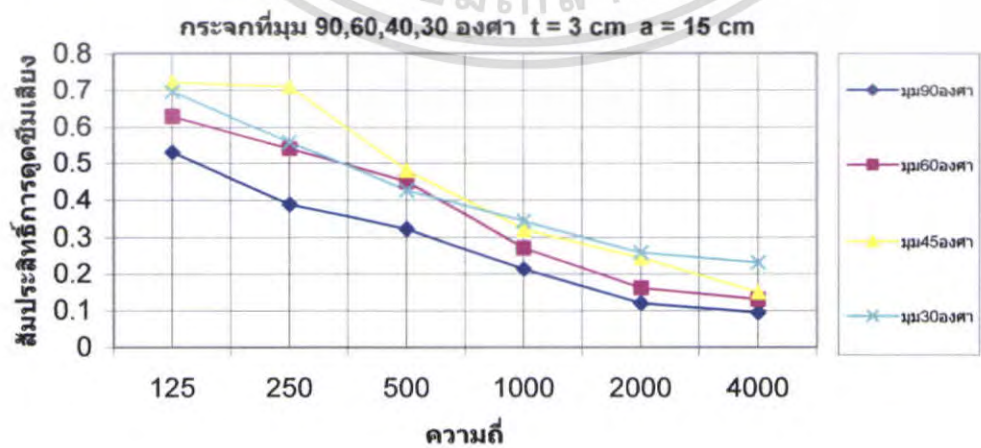
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.90 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจก $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ t = 1 cm a = 15 cm



รูปที่ 5.91 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจก $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ t = 2 cm a = 15 cm



รูปที่ 5.92 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจก $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ t = 3 cm a = 15 cm

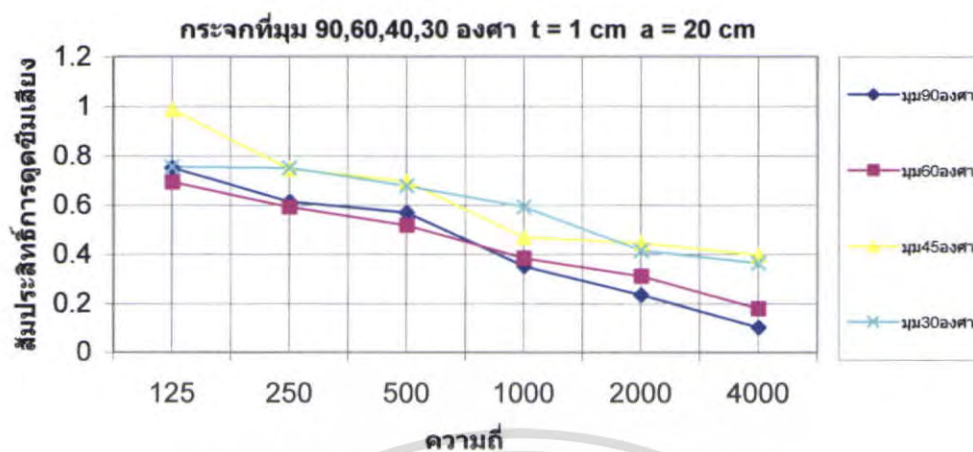
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

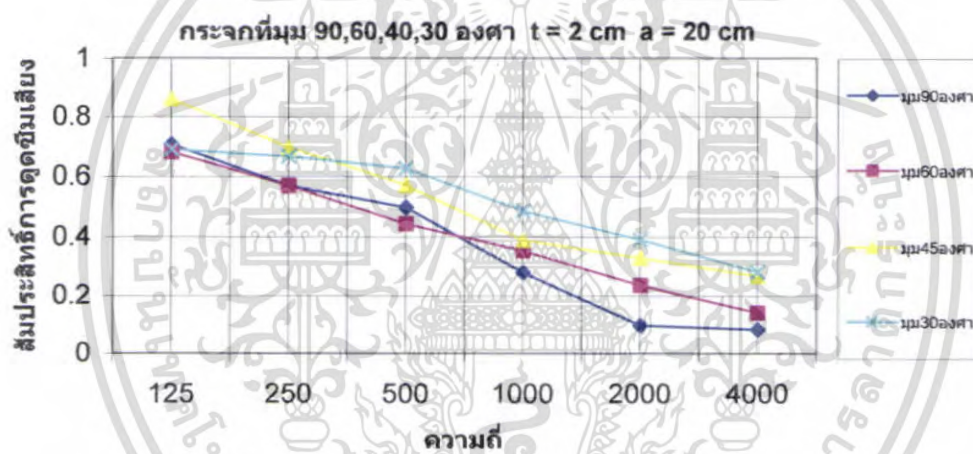
จากกราฟเปรียบเทียบมุมของกระจกตั้งแต่ $\theta = 90^\circ$, $\theta = 60^\circ$, $\theta = 45^\circ$, และ $\theta = 30^\circ$ โดยเปลี่ยนความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ โดยที่ช่องว่างอากาศเท่ากับ 15cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่ดีที่สุดในช่วงนี้คือกระจกที่ความหนา 1cm ความถี่ 125Hz และมุม $\theta = 45^\circ$



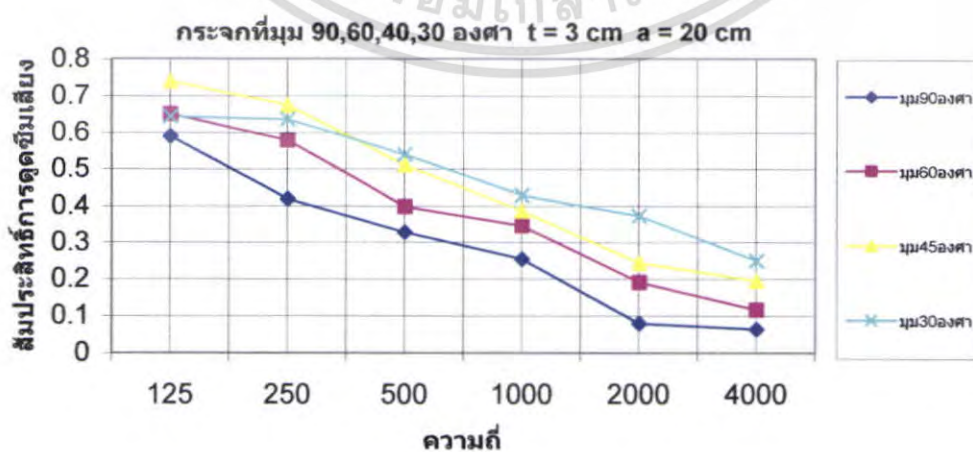
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.93 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจก $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$



รูปที่ 5.94 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจก $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$



รูปที่ 5.95 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระจก $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$
 เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนใจสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

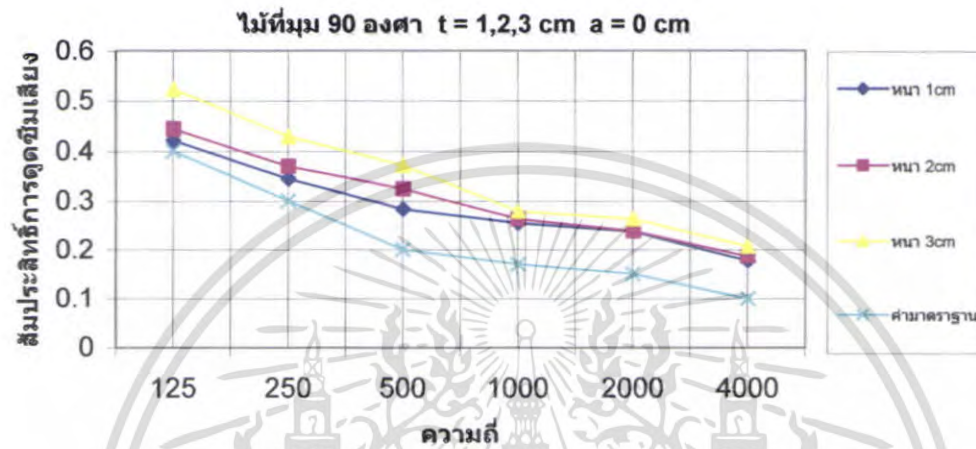
สรุป

จากกราฟเปรียบเทียบมุมของกระจกตั้งแต่ $\theta = 90^\circ$, $\theta = 60^\circ$, $\theta = 45^\circ$, และ $\theta = 30^\circ$ โดยเปลี่ยนความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ โดยที่ช่องว่างอากาศเท่ากับ 15cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่ดีที่สุดในช่วงนี้คือกระจกที่ความหนา 1cm ความถี่ 125Hz และมุม $\theta = 45^\circ$

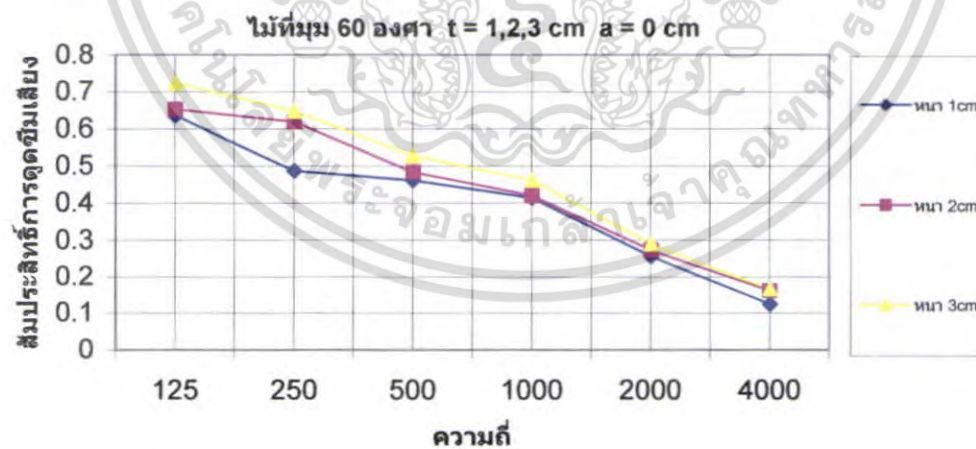


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่มุม 90,60,45,30 องศา ความหนา 1,2,3 cm
ช่องว่างอากาศ 0,5,10,15,20 cm

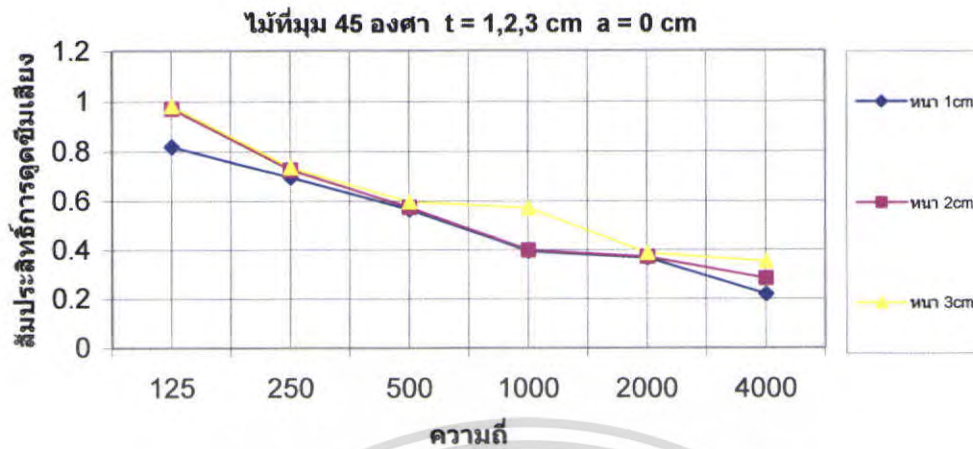


รูปที่ 5.96 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่ $\theta = 90^\circ$ $t = 1,2,3$ cm $a = 0$ cm

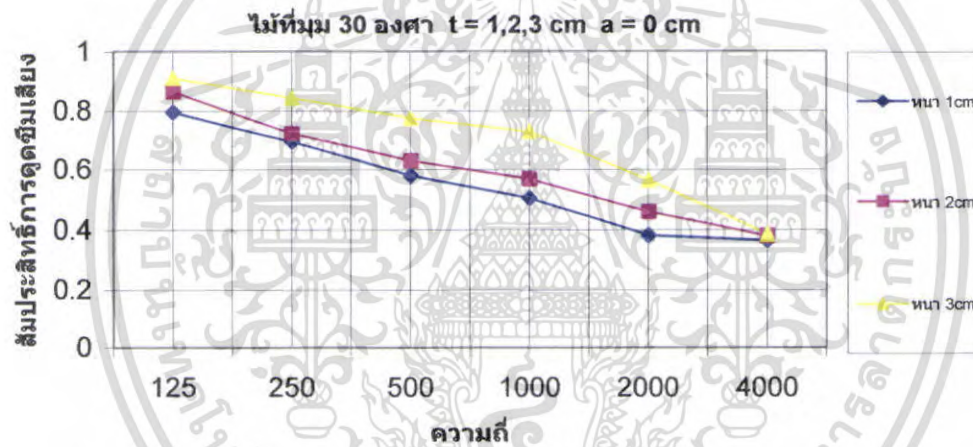


รูปที่ 5.97 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่ $\theta = 60^\circ$ $t = 1,2,3$ cm $a = 0$ cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.98 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของไม้ที่ $\theta = 45^\circ$ $t = 1,2,3$ cm $a = 0$ cm



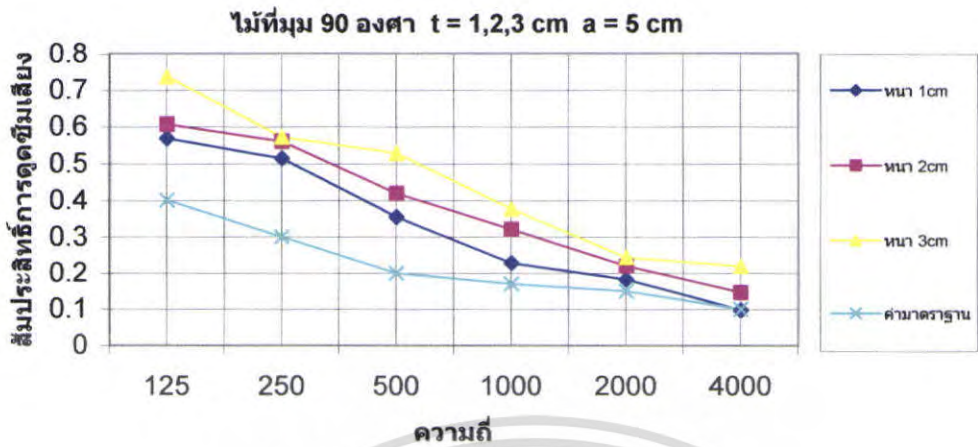
รูปที่ 5.99 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของไม้ที่ $\theta = 30^\circ$ $t = 1,2,3$ cm $a = 0$ cm

สรุป

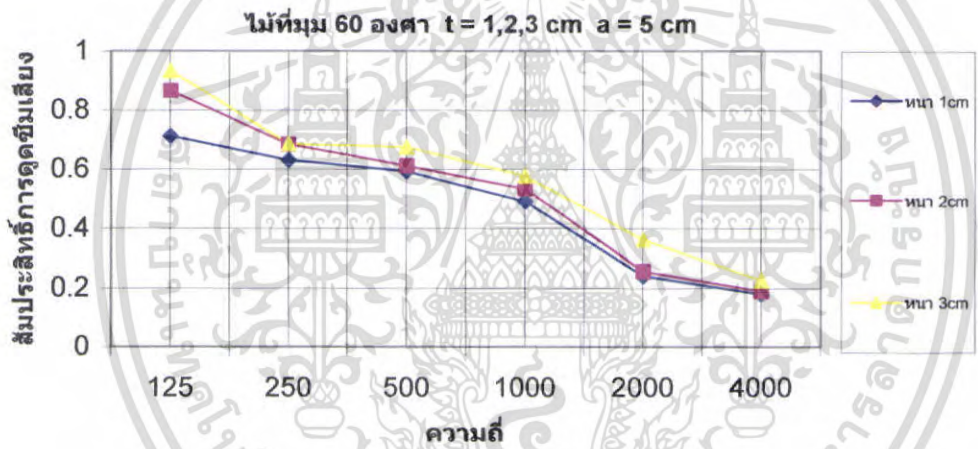
จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของไม้ที่ความถี่จาก

125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz และ 4000Hz โดยเปลี่ยนความหนาของไม้จาก 1cm, 2cm, 3cm และเปลี่ยนมุมของวัสดุจาก $\theta = 90^\circ$, $\theta = 60^\circ$, $\theta = 45^\circ$, และ $\theta = 30^\circ$ ตามลำดับ โดยมีช่องว่างอากาศ 0cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของไม้ที่ดีที่สุดอยู่ที่ความหนา 3cm ความถี่ 125Hz และมุม $\theta = 45^\circ$

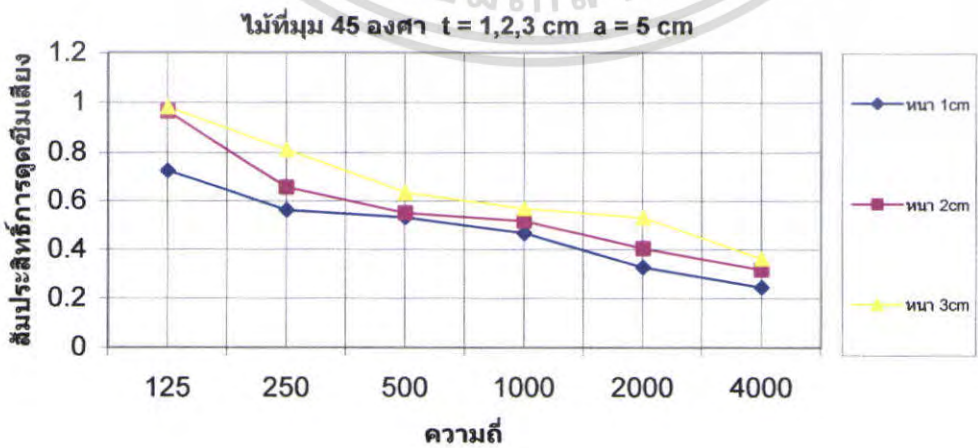
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.100 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของไม้ที่ $\theta = 90^\circ$ t = 1,2,3 cm a = 5 cm

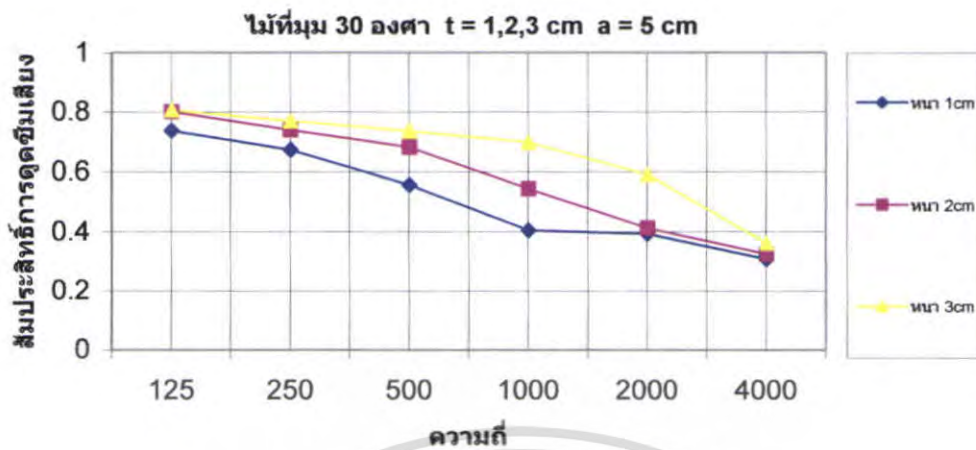


รูปที่ 5.101 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของไม้ที่ $\theta = 60^\circ$ t = 1,2,3 cm a = 5 cm



รูปที่ 5.102 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของไม้ที่ $\theta = 45^\circ$ t = 1,2,3 cm a = 5 cm

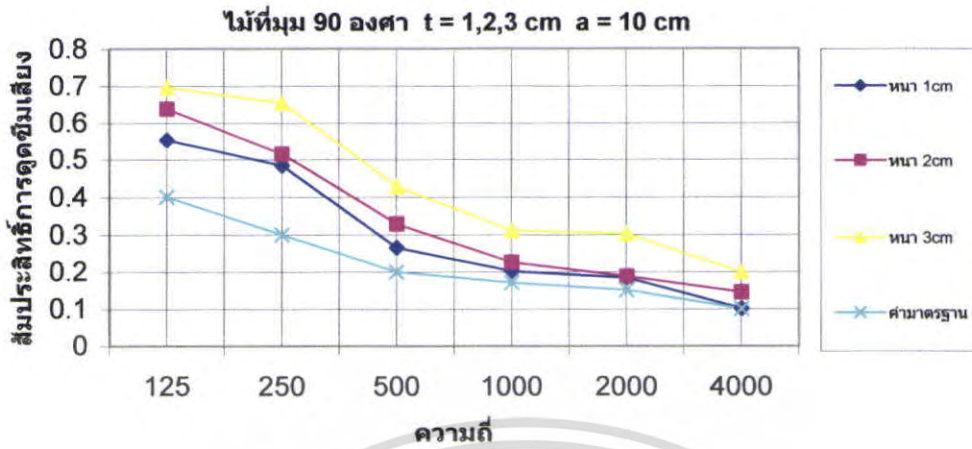
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือที่สงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



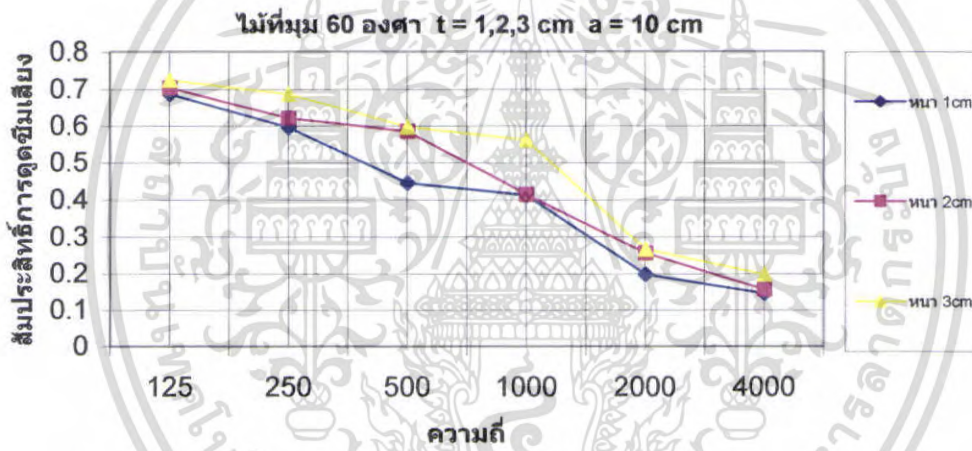
รูปที่ 5.103 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของไม้ที่ $\theta = 30^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 5 \text{ cm}$

สรุป

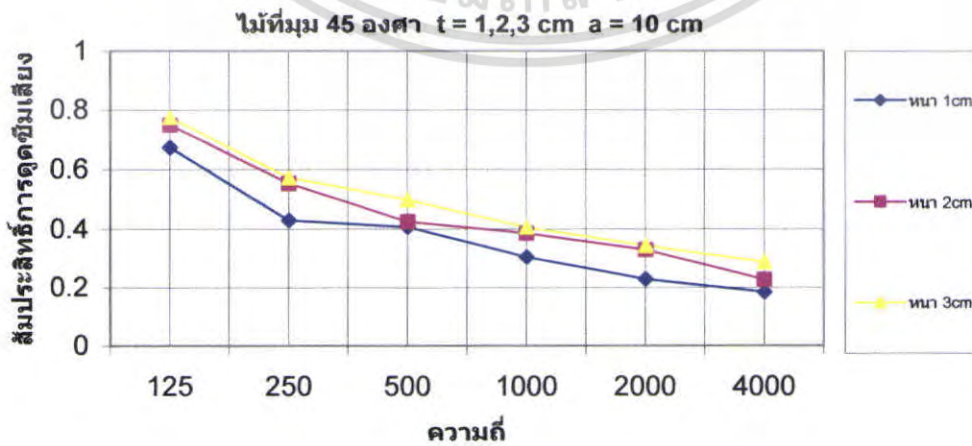
จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของ ไม้ที่ความถี่จาก 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz และ 4000Hz โดยเปลี่ยนความหนาของ ไม้จาก 1cm, 2cm, 3cm และ เปลี่ยนมุมของวัสดุจาก $\theta = 90^\circ$, $\theta = 60^\circ$, $\theta = 45^\circ$, และ $\theta = 30^\circ$ ตามลำดับ โดยมีช่องว่างอากาศ 5cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของ ไม้ที่ดีที่สุดอยู่ที่ความหนา 3cm ความถี่ 125Hz และมุม $\theta = 45^\circ$



รูปที่ 5.104 สัมประสิทธิ์การดัดขี้นมเสียบงของไม้ที่ $\theta = 90^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 10 \text{ cm}$

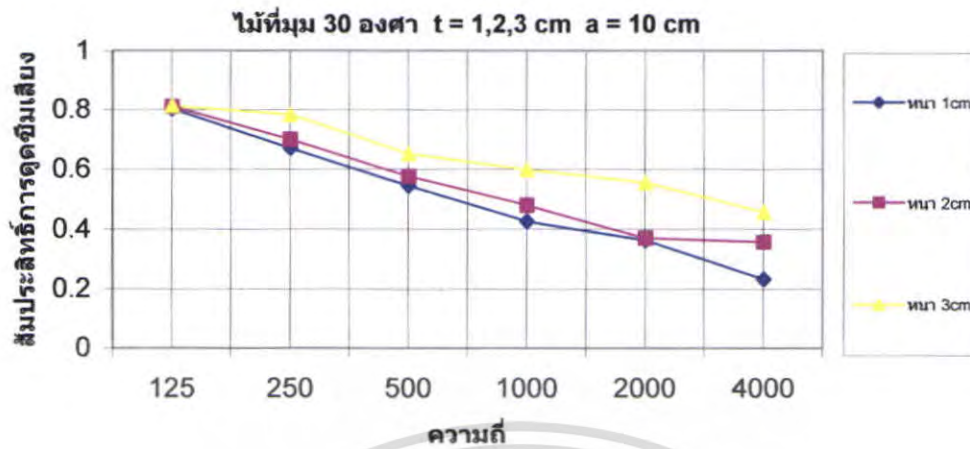


รูปที่ 5.105 สัมประสิทธิ์การดัดขี้นมเสียบงของไม้ที่ $\theta = 60^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 10 \text{ cm}$



รูปที่ 5.106 สัมประสิทธิ์การดัดขี้นมเสียบงของไม้ที่ $\theta = 45^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 10 \text{ cm}$

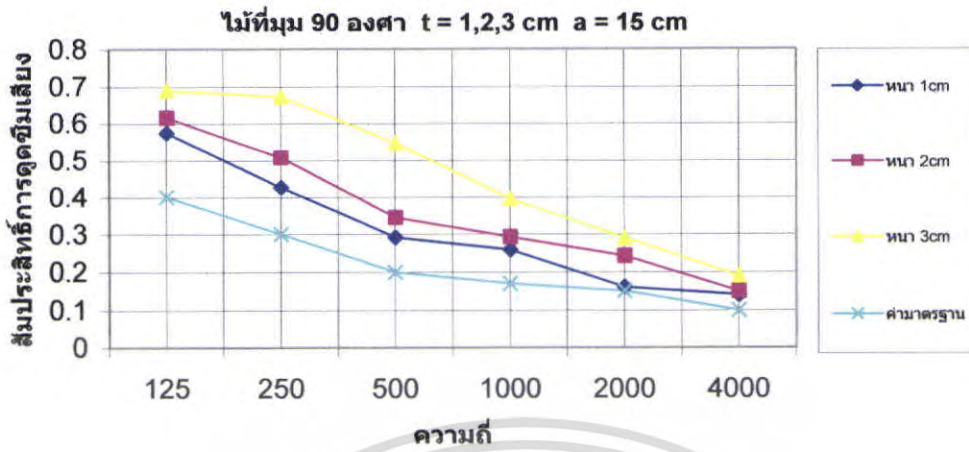
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ญาติเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



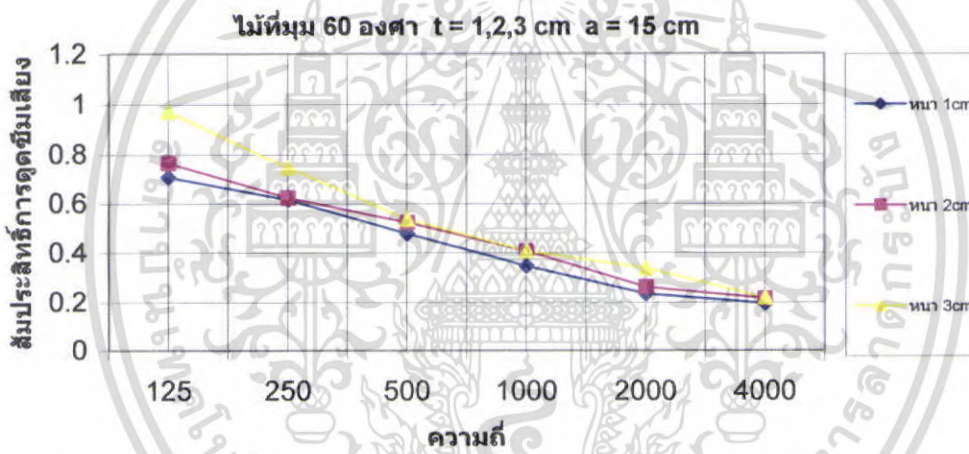
รูปที่ 5.107 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของไม้ที่ $\theta = 30^\circ$ $t = 1,2,3$ cm $a = 10$ cm

สรุป

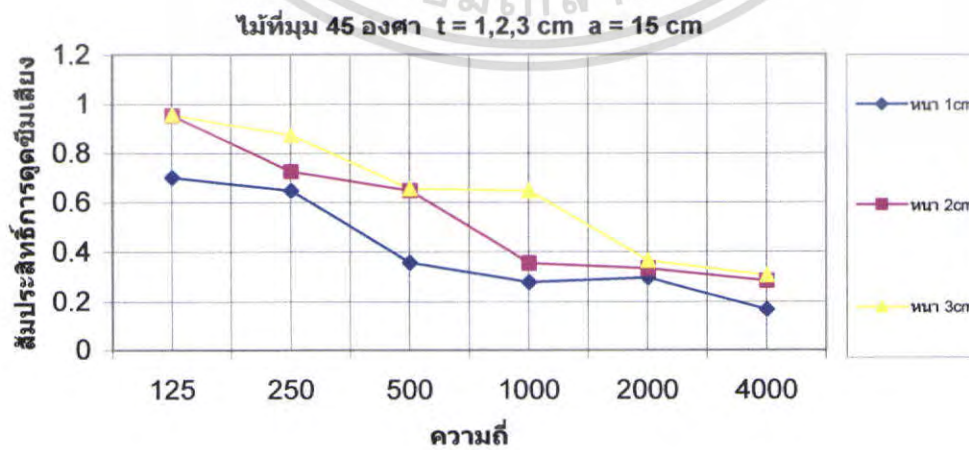
จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของไม้ที่ความถี่จาก 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz และ 4000Hz โดยเปลี่ยนความหนาของไม้จาก 1cm, 2cm, 3cm และเปลี่ยนมุมของวัสดุจาก $\theta = 90^\circ$, $\theta = 60^\circ$, $\theta = 45^\circ$, และ $\theta = 30^\circ$ ตามลำดับ โดยมีช่องว่างอากาศ 10cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของไม้ที่ดีที่สุดอยู่ที่ความหนา 3cm ความถี่ 125Hz และมุม $\theta = 30^\circ$



รูปที่ 5.108 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่ $\theta = 90^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 15 \text{ cm}$

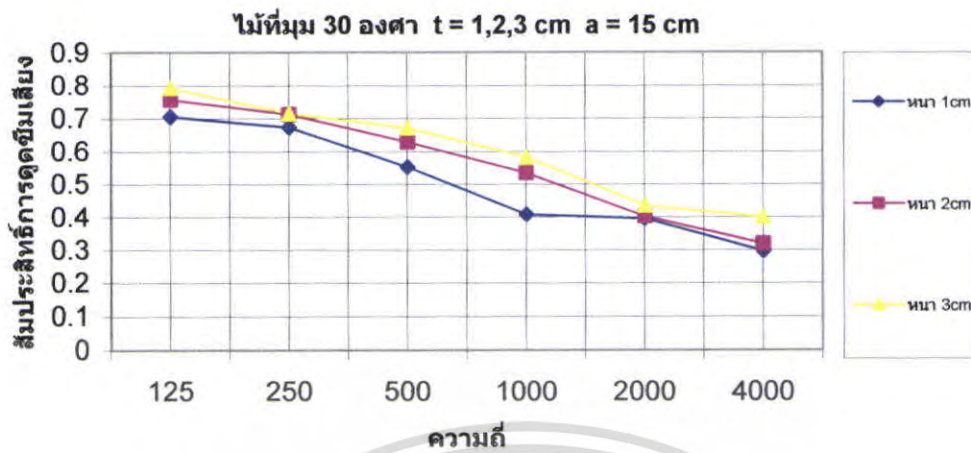


รูปที่ 5.109 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่ $\theta = 60^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 15 \text{ cm}$



รูปที่ 5.110 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่ $\theta = 45^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 15 \text{ cm}$

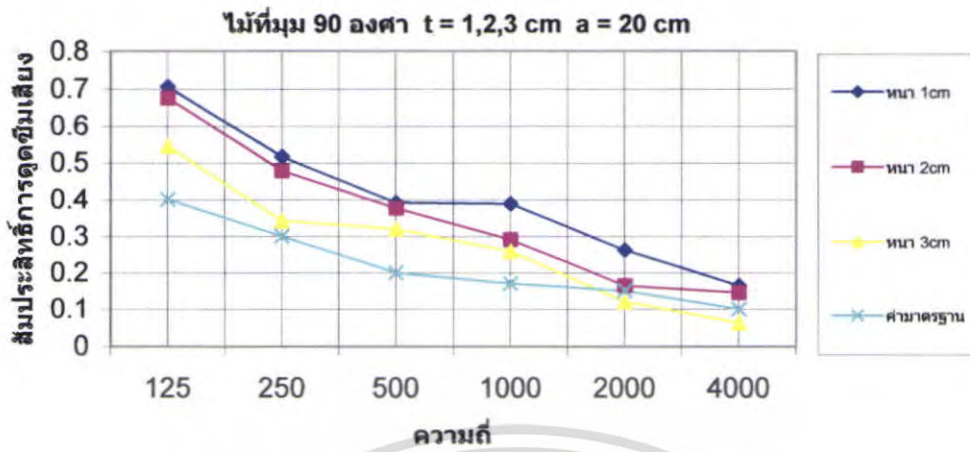
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้สายตาเห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



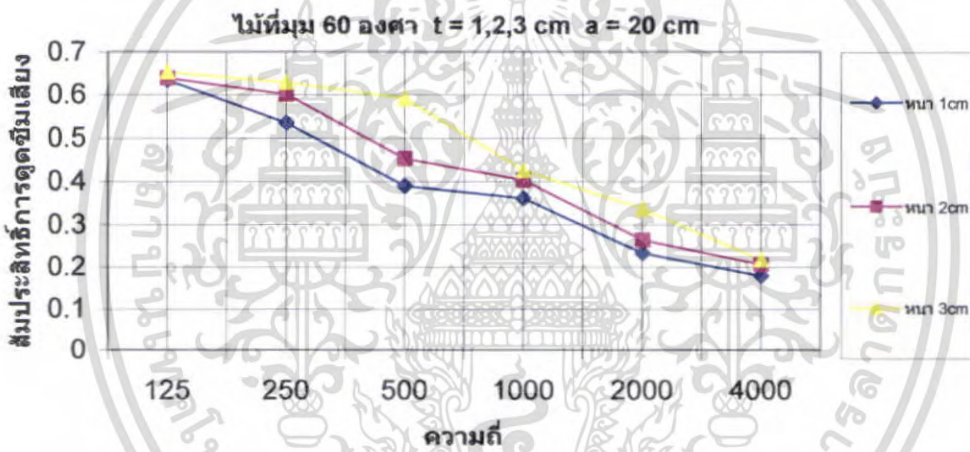
รูปที่ 5.111 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่ $\theta = 30^\circ$ $t = 1,2,3$ cm $a = 15$ cm

สรุป

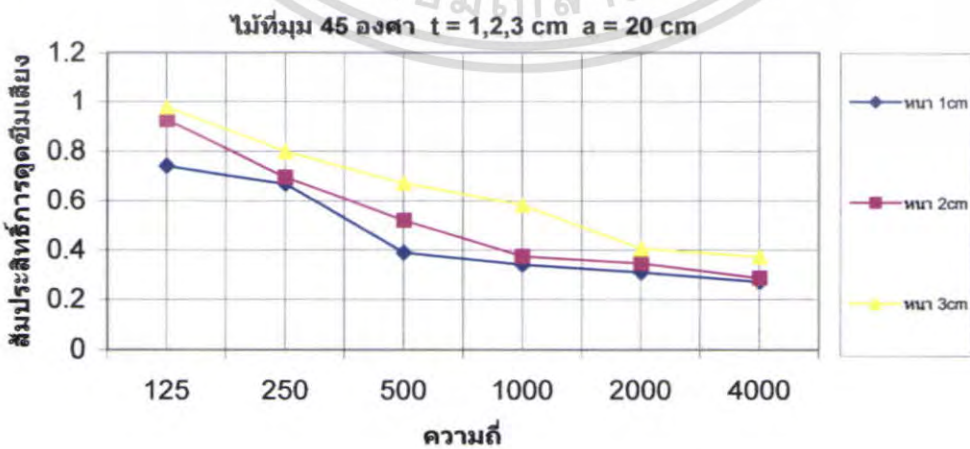
จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่ความถี่จาก 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz และ 4000Hz โดยเปลี่ยนความหนาของไม้จาก 1cm, 2cm, 3cm และเปลี่ยนมุมของวัสดุจาก $\theta = 90^\circ$, $\theta = 60^\circ$, $\theta = 45^\circ$, และ $\theta = 30^\circ$ ตามลำดับโดยมีช่องว่างอากาศ 15cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่ดีที่สุดอยู่ที่ความหนา 3cm ความถี่ 125Hz และมุม $\theta = 60^\circ$



รูปที่ 5.112 สัมประสิทธิ์การดัดขี้นเสียงของไม้ที่ $\theta = 90^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$

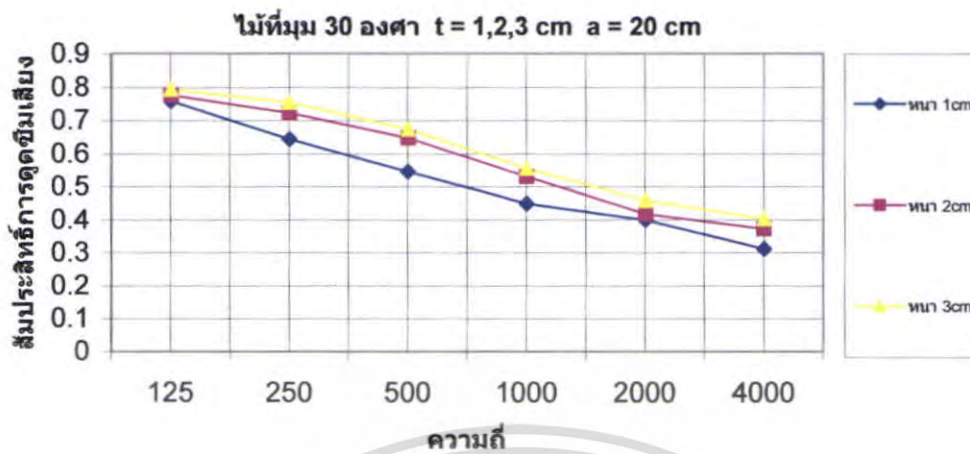


รูปที่ 5.113 สัมประสิทธิ์การดัดขี้นเสียงของไม้ที่ $\theta = 60^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$



รูปที่ 5.114 สัมประสิทธิ์การดัดขี้นเสียงของไม้ที่ $\theta = 45^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

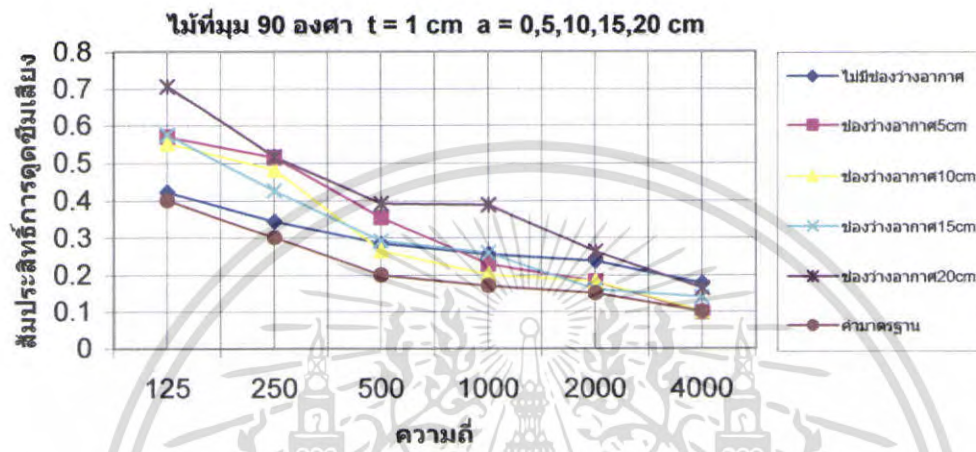


รูปที่ 5.115 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของไม้ที่ $\theta = 30^\circ$ $t = 1,2,3 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$

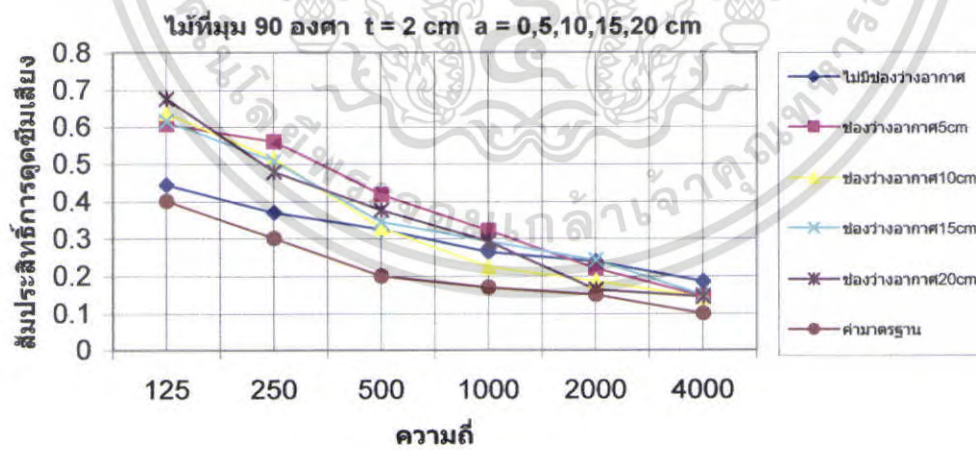
สรุป

จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของไม้ที่ความถี่จาก 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz และ 4000Hz โดยเปลี่ยนความหนาของไม้จาก 1cm, 2cm, 3cm และเปลี่ยนมุมของวัสดุจาก $\theta = 90^\circ$, $\theta = 60^\circ$, $\theta = 45^\circ$, และ $\theta = 30^\circ$ ตามลำดับ โดยมีช่องว่างอากาศ 20cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของไม้ที่ดีที่สุดอยู่ที่ความหนา 3cm ความถี่ 125Hz และมุม $\theta = 45^\circ$ และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ต่ำที่สุดในส่วนของไม้คือไม้ที่ความหนา 3cm ความถี่ 125Hz มุม $\theta = 45^\circ$ และช่องว่างอากาศ 0cm

กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่มุม 90,60,45,30 องศา ความหนา 1,2,3 cm ช่องว่างอากาศ 0,5,10,15,20 cm

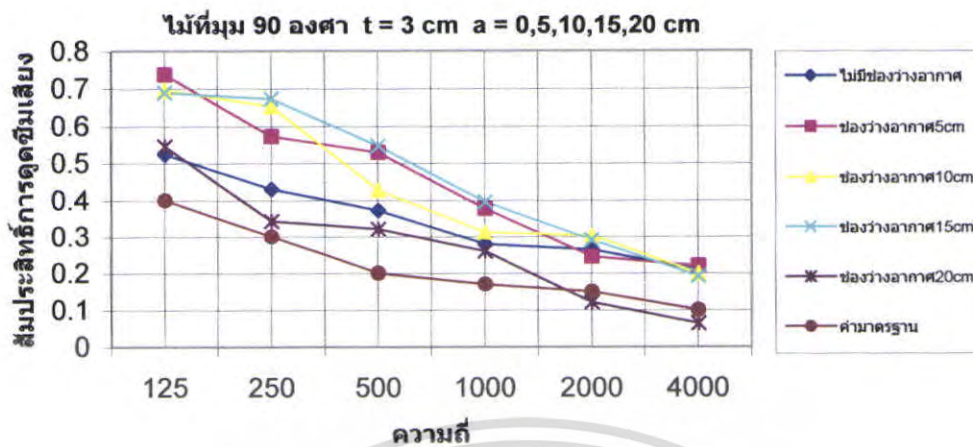


รูปที่ 5.116 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่ $\theta = 90^\circ$ t = 1 cm a = 5,10,15,20 cm



รูปที่ 5.117 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่ $\theta = 90^\circ$ t = 2 cm a = 5,10,15,20 cm

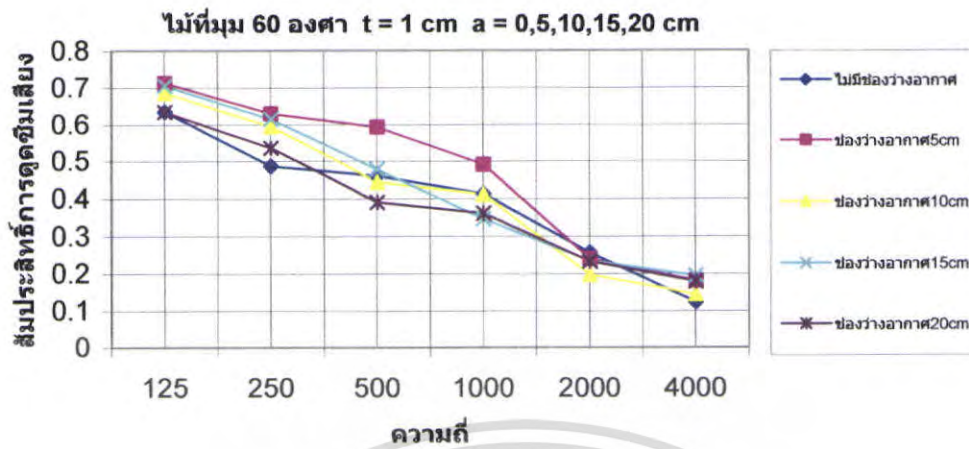
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



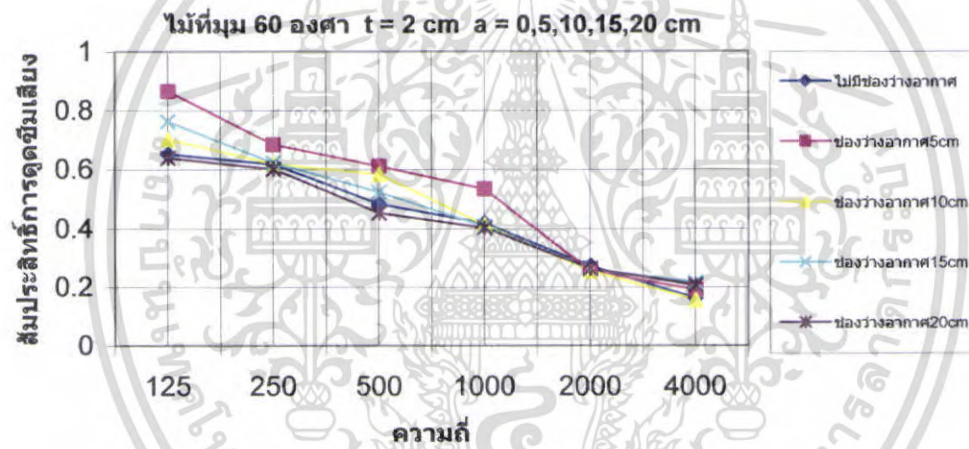
รูปที่ 5.118 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่ $\theta = 90^\circ$ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 5, 10, 15, 20 \text{ cm}$

สรุป

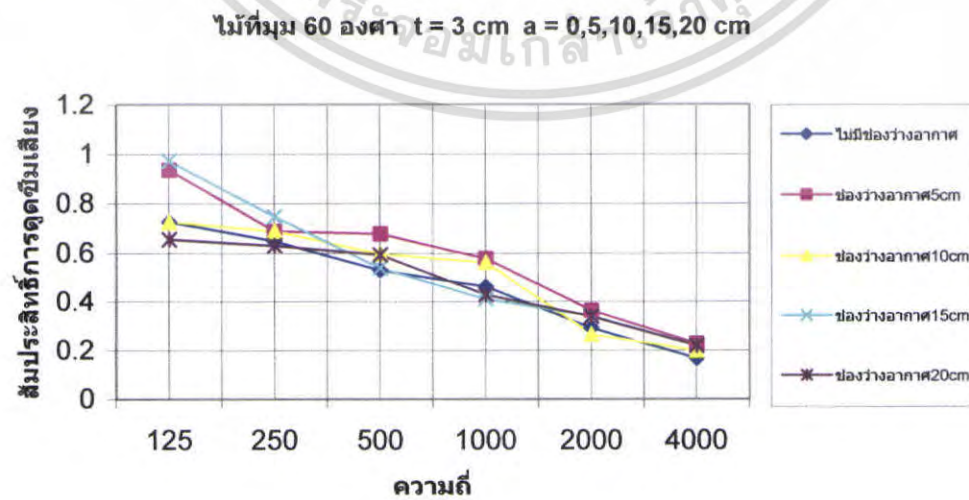
จากกราฟเปรียบเทียบช่องว่างอากาศของไม้ตั้งแต่ 0cm, 5cm, 10cm, 15cm และ 20cm โดยเปลี่ยนความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่ดีที่สุดในช่วงนี้คือไม้ที่มีความหนา 3cm ความถี่ 125Hz มุม $\theta = 90^\circ$ และช่องว่างอากาศเท่ากับ 5cm



รูปที่ 5.119 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของไม้ที่ $\theta = 60^\circ$ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 5,10,15,20 \text{ cm}$



รูปที่ 5.120 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของไม้ที่ $\theta = 60^\circ$ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 5,10,15,20 \text{ cm}$



รูปที่ 5.121 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของไม้ที่ $\theta = 60^\circ$ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 5,10,15,20 \text{ cm}$

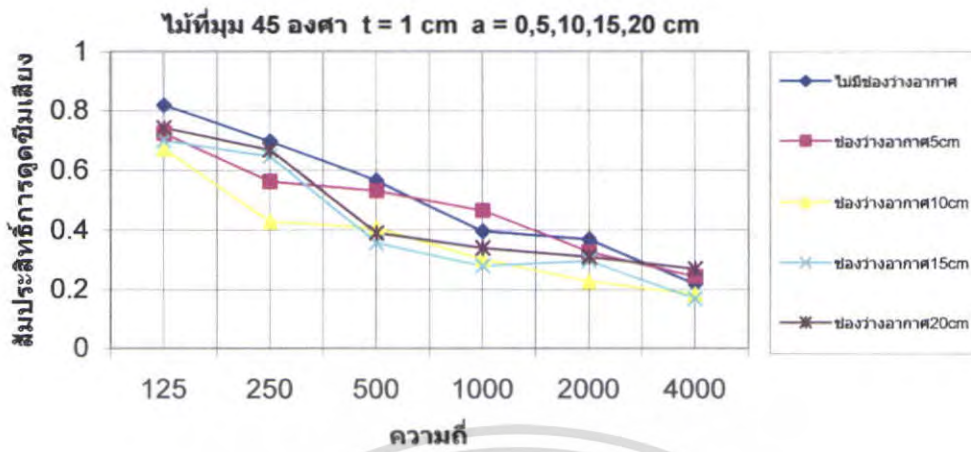
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตเห็นแบบโฆษณาอื่นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

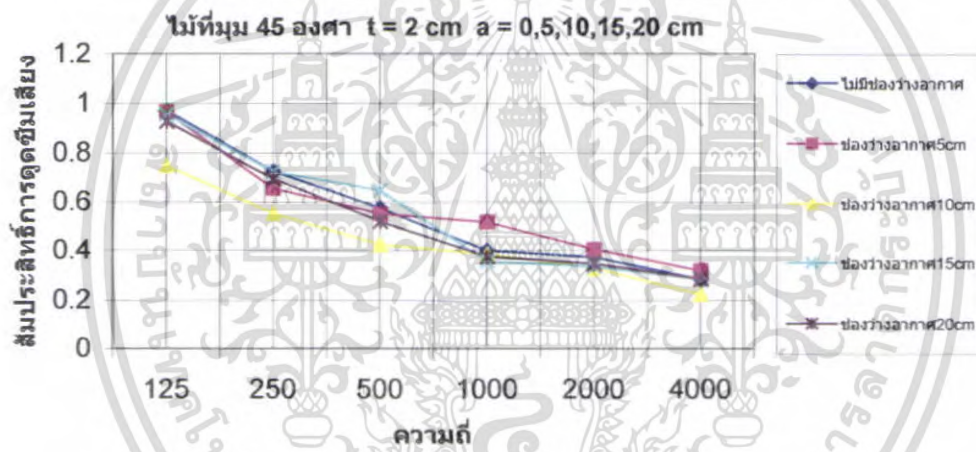
จากกราฟเปรียบเทียบช่องว่างอากาศของไม้ตั้งแต่ 0cm, 5cm, 10cm, 15cm และ 20cm โดยเปลี่ยนความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่ดีที่สุดในช่วงนี้คือไม้ที่มีความหนา 3cm ความถี่ 125Hz มุม $\theta = 60^\circ$ และช่องว่างอากาศเท่ากับ 15cm



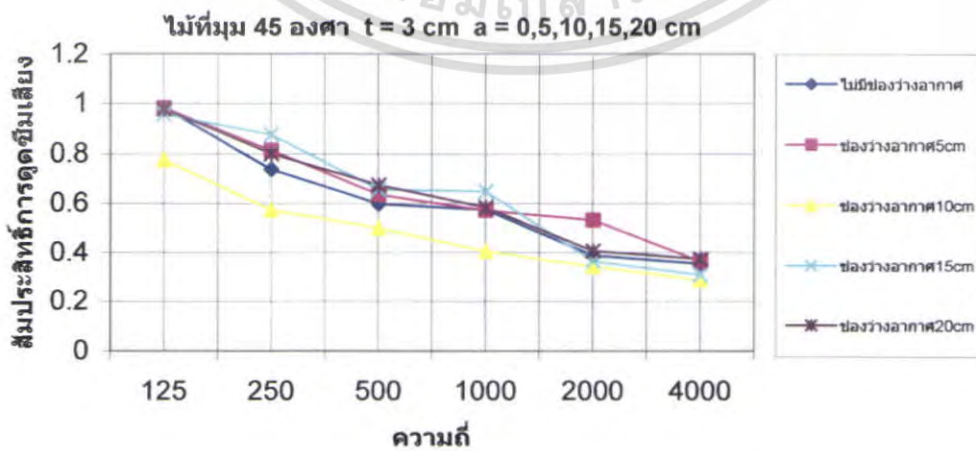
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.122 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของไม้ที่ $\theta = 45^\circ$ $t = 1$ cm $a = 5,10,15,20$ cm



รูปที่ 5.123 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของไม้ที่ $\theta = 45^\circ$ $t = 2$ cm $a = 5,10,15,20$ cm



รูปที่ 5.124 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของไม้ที่ $\theta = 45^\circ$ $t = 3$ cm $a = 5,10,15,20$ cm

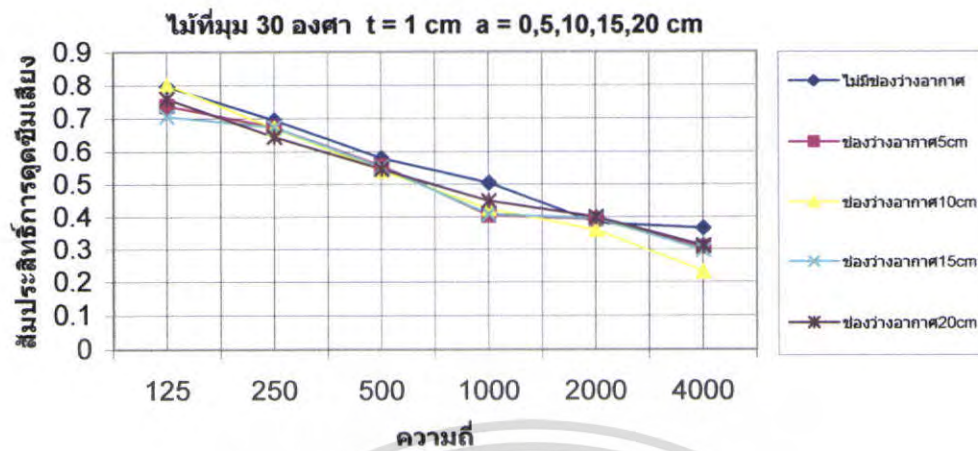
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

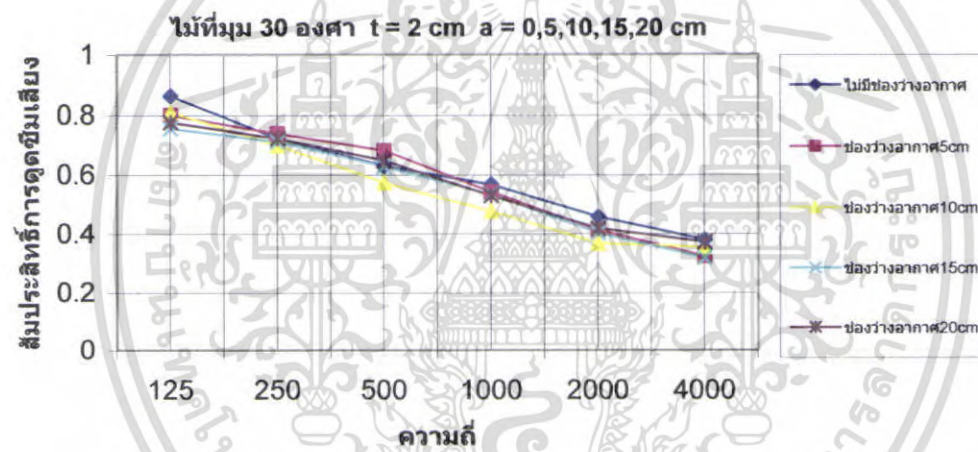
จากกราฟเปรียบเทียบช่องว่างอากาศของไม้ตั้งแต่ 0cm, 5cm, 10cm, 15cm และ 20cm โดยเปลี่ยนความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของไม้ที่ดีที่สุดในช่วงนี้คือไม้ที่มีความหนา 3cm ความถี่ 125Hz มุม $\theta = 45^\circ$ และช่องว่างอากาศเท่ากับ 0cm



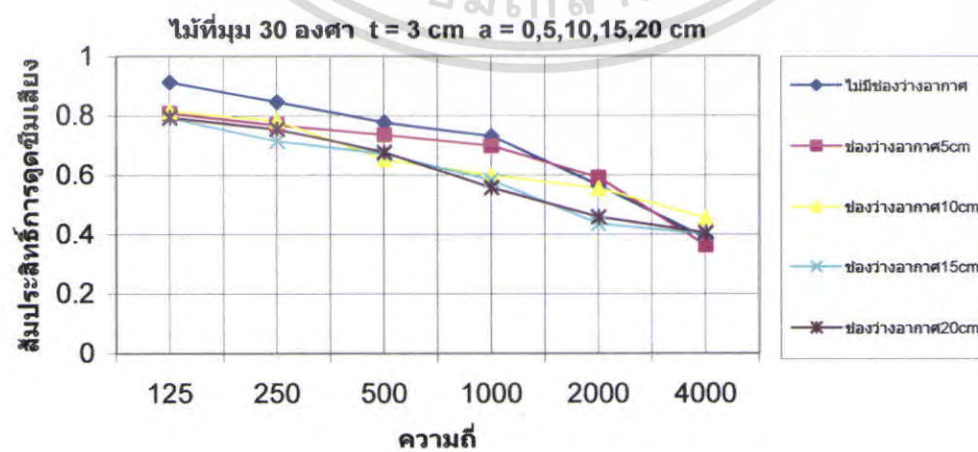
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.125 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของไม้ที่ $\theta = 30^\circ$ $t = 1$ cm $a = 5,10,15,20$ cm



รูปที่ 5.126 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของไม้ที่ $\theta = 30^\circ$ $t = 2$ cm $a = 5,10,15,20$ cm



รูปที่ 5.127 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของไม้ที่ $\theta = 30^\circ$ $t = 3$ cm $a = 5,10,15,20$ cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

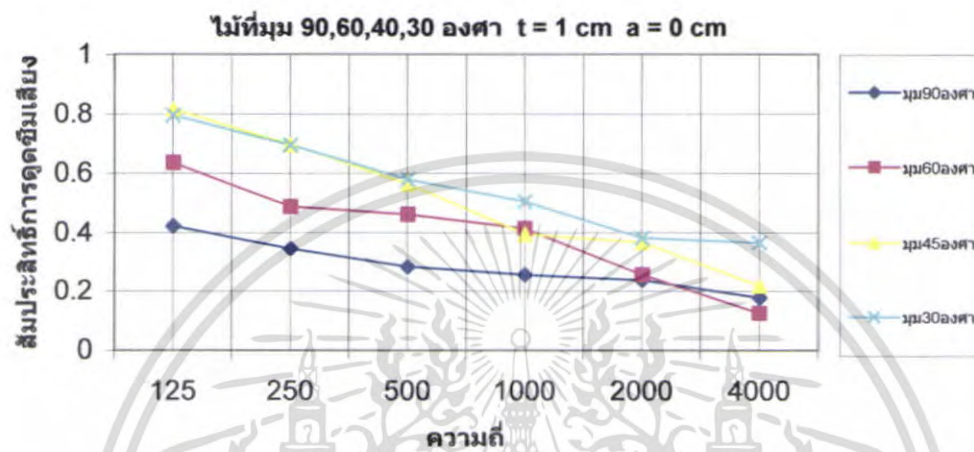
สรุป

จากกราฟเปรียบเทียบช่องว่างอากาศของไม้ตั้งแต่ 0cm, 5cm, 10cm, 15cm และ 20cm โดยเปลี่ยนความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของไม้ที่คิดที่สุดในช่วงนี้คือไม้ที่มีความหนา 3cm ความถี่ 125Hz มุม $\theta = 30^\circ$ และช่องว่างอากาศเท่ากับ 0cm

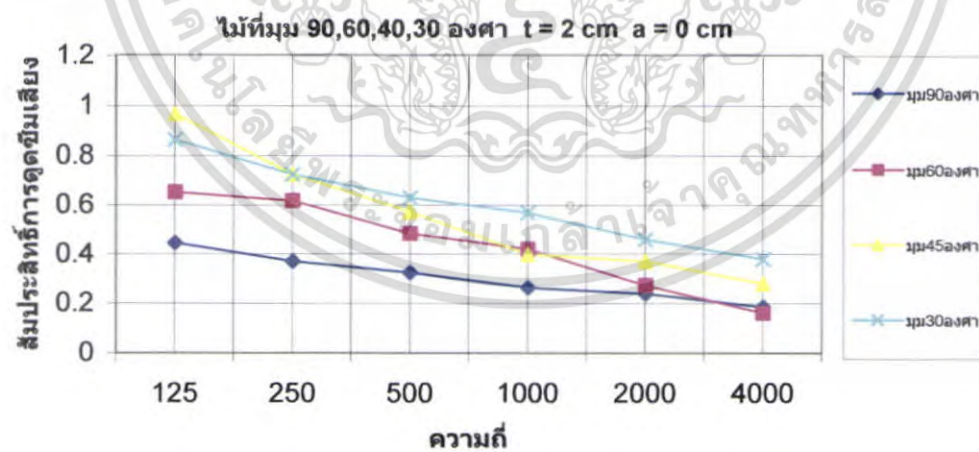


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่มุม 90,60,45,30 องศา ความหนา 1,2,3 cm
ช่องว่างอากาศ 0,5,10,15,20 cm

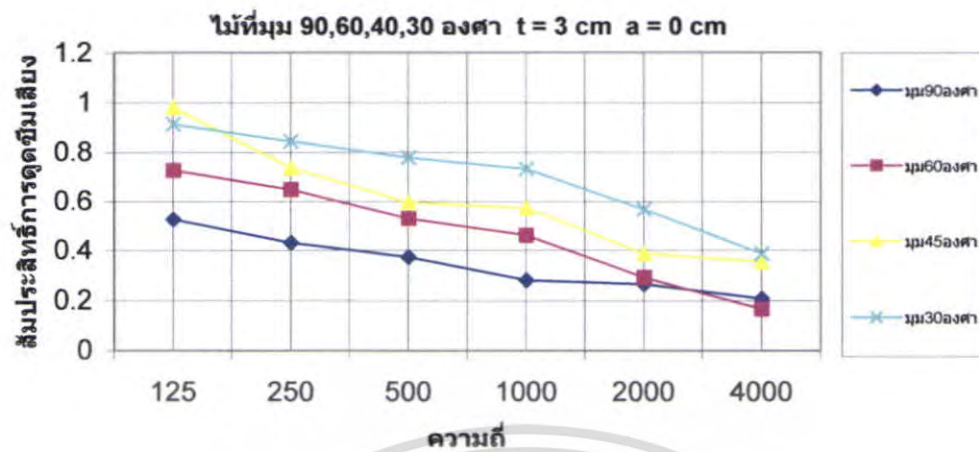


รูปที่ 5.128 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 0 \text{ cm}$



รูปที่ 5.129 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 0 \text{ cm}$

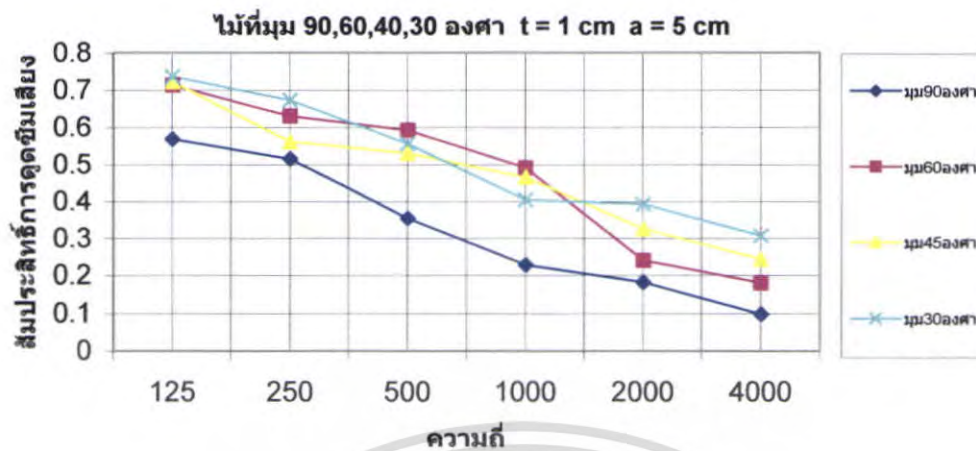
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



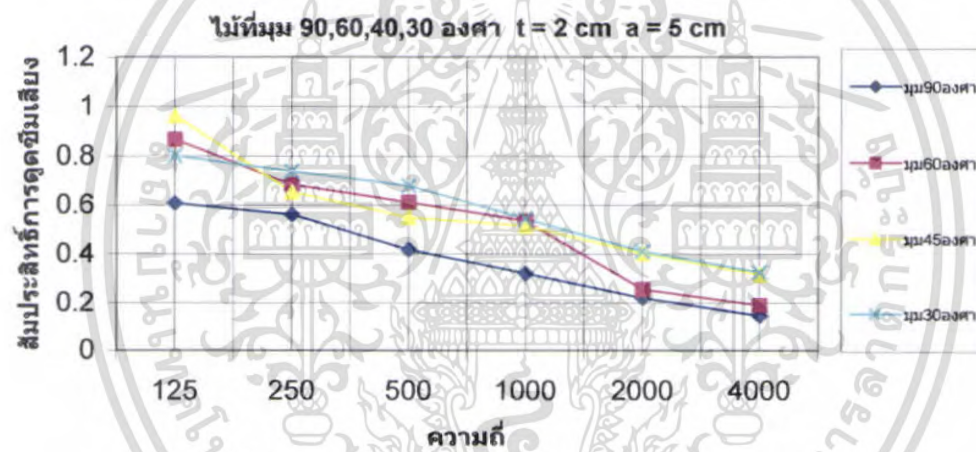
รูปที่ 5.130 สัมประสิทธิ์การดูดซับเชิงเสถียรของไม้ $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 0 \text{ cm}$

สรุป

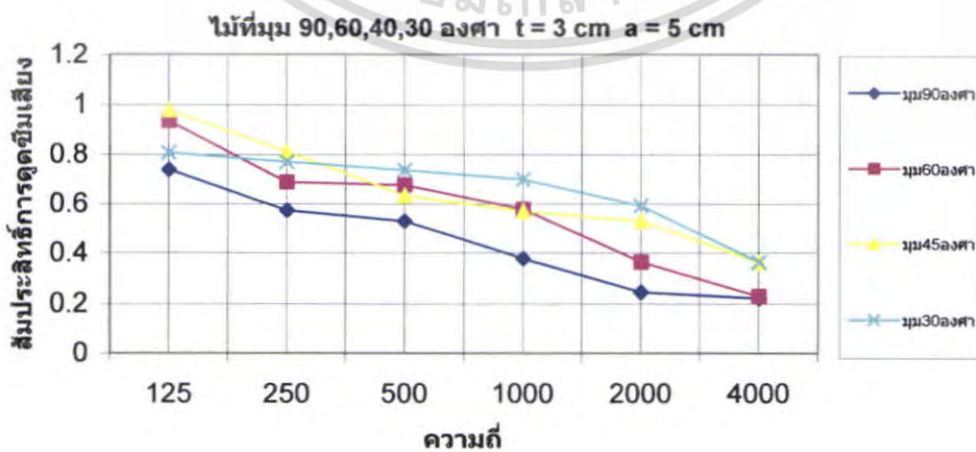
จากกราฟเปรียบเทียบมุมของไม้ตั้งแต่ $\theta = 90^\circ, \theta = 60^\circ, \theta = 45^\circ$, และ $\theta = 30^\circ$ โดยเปลี่ยนความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับโดยที่ช่องว่างอากาศเท่ากับ 0cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเชิงเสถียรของไม้ที่ถี่ที่สุดในช่วงนี้คือไม้ที่มีความหนา 3cm ความถี่ 125Hz และมุม $\theta = 45^\circ$



รูปที่ 5.131 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของไม้ $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 5 \text{ cm}$



รูปที่ 5.132 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของไม้ $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 5 \text{ cm}$



รูปที่ 5.133 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของไม้ $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 5 \text{ cm}$

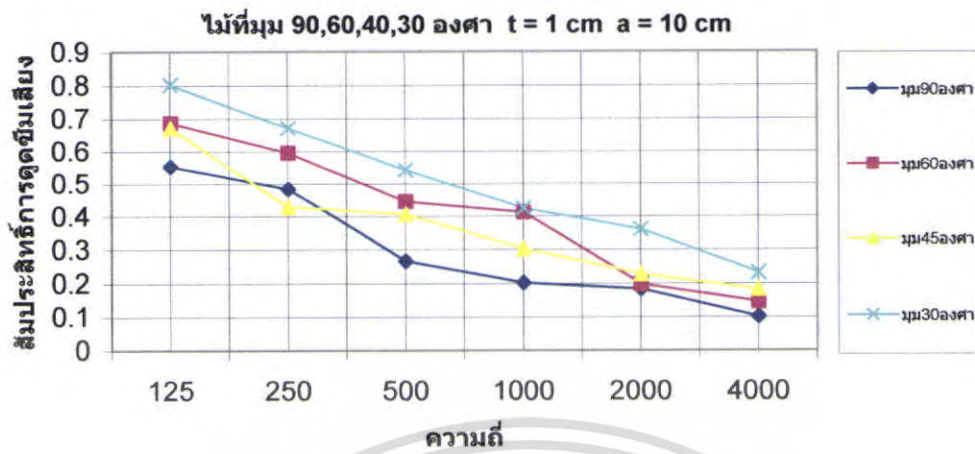
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

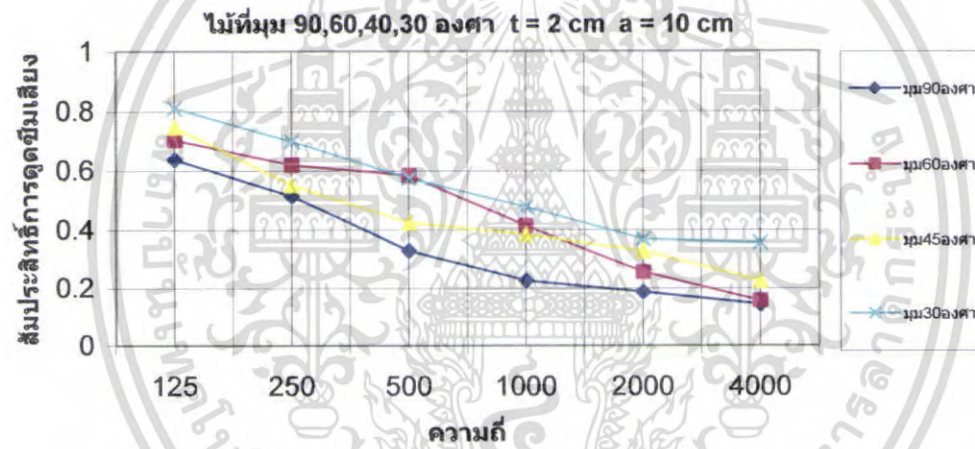
จากกราฟเปรียบเทียบมุมของไม้ตั้งแต่ $\theta = 90^\circ, \theta = 60^\circ, \theta = 45^\circ$, และ $\theta = 30^\circ$ โดยเปลี่ยนความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ โดยที่ช่องว่างอากาศเท่ากับ 5cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่ดีที่สุดในช่วงนี้คือไม้ที่ความหนา 3cm ความถี่ 125Hz และมุม $\theta = 45^\circ$



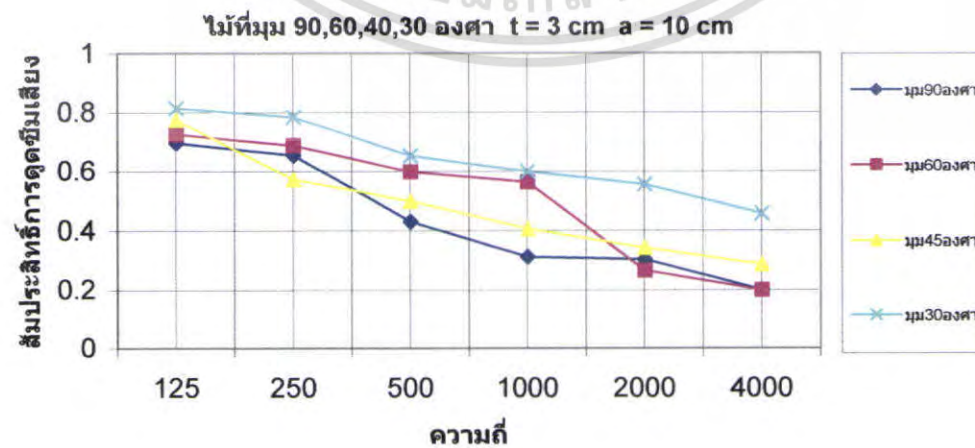
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.134 สัมประสิทธิ์การดัดขึ้นเสียงของไม้ $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 1$ cm $a = 10$ cm



รูปที่ 5.135 สัมประสิทธิ์การดัดขึ้นเสียงของไม้ $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 2$ cm $a = 10$ cm



รูปที่ 5.136 สัมประสิทธิ์การดัดขึ้นเสียงของไม้ $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 3$ cm $a = 10$ cm

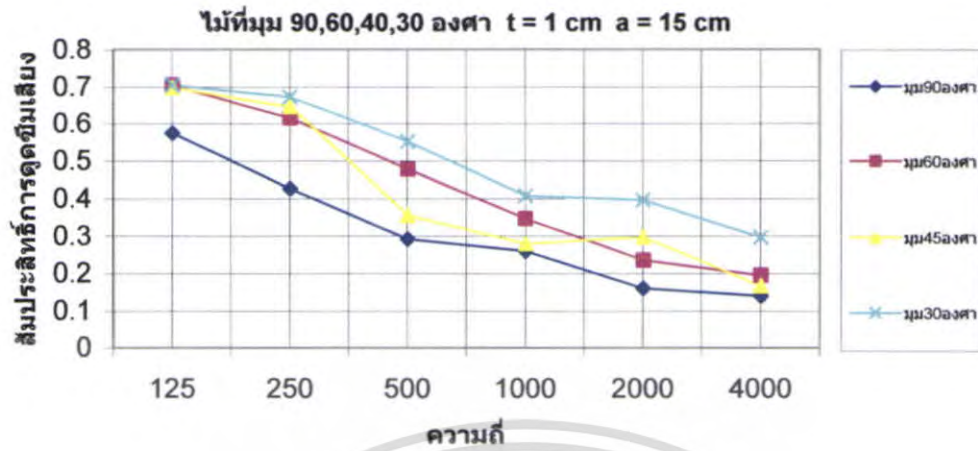
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

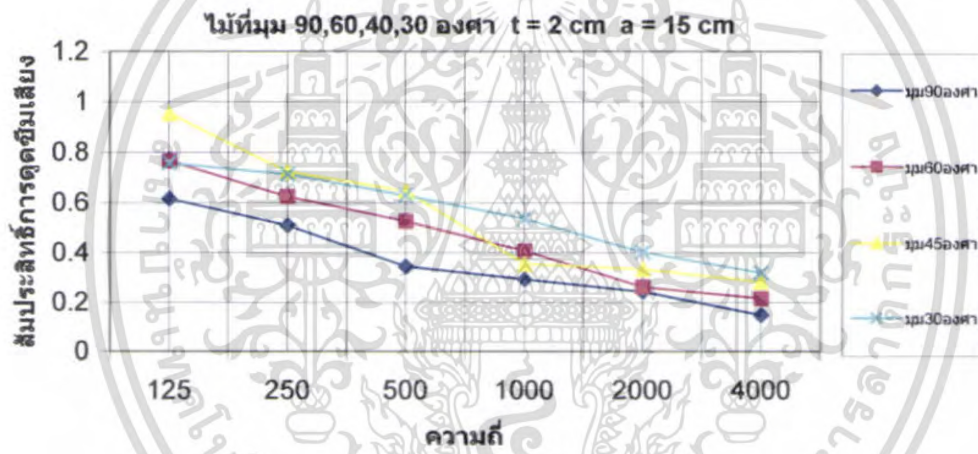
จากกราฟเปรียบเทียบมุมของไม้ตั้งแต่ $\theta = 90^\circ$, $\theta = 60^\circ$, $\theta = 45^\circ$, และ $\theta = 30^\circ$ โดยเปลี่ยนความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ โดยที่ช่องว่างอากาศเท่ากับ 10cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของ ไม้ที่คัทที่สุดในช่วงนี้คือไม้ที่ความหนา 3cm ความถี่ 125Hz และมุม $\theta = 30^\circ$



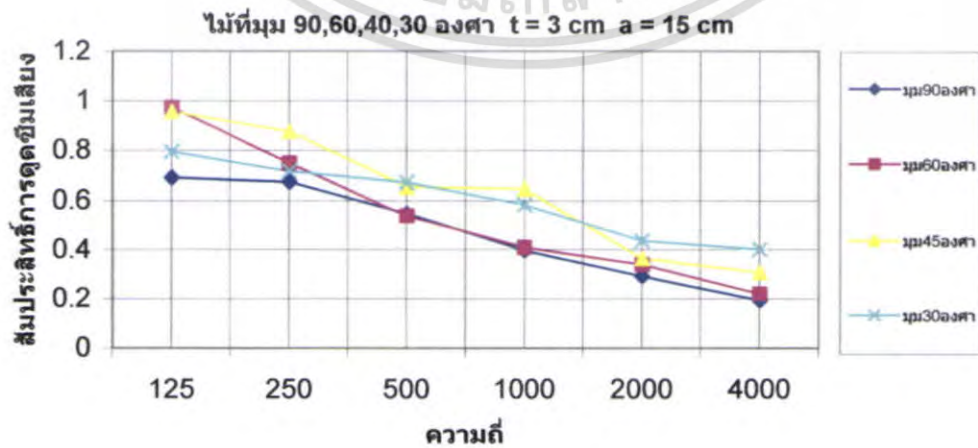
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.137 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเฉลี่ยของไม้ $\theta = 90^{\circ}, 60^{\circ}, 45^{\circ}, 30^{\circ}$ ที่ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 15 \text{ cm}$



รูปที่ 5.138 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเฉลี่ยของไม้ $\theta = 90^{\circ}, 60^{\circ}, 45^{\circ}, 30^{\circ}$ ที่ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 15 \text{ cm}$



รูปที่ 5.139 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเฉลี่ยของไม้ $\theta = 90^{\circ}, 60^{\circ}, 45^{\circ}, 30^{\circ}$ ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 15 \text{ cm}$

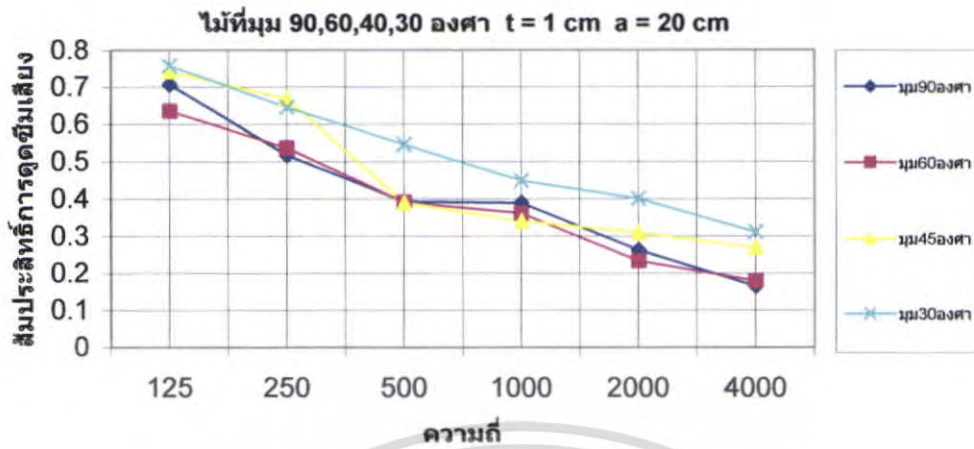
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นาไปไซประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

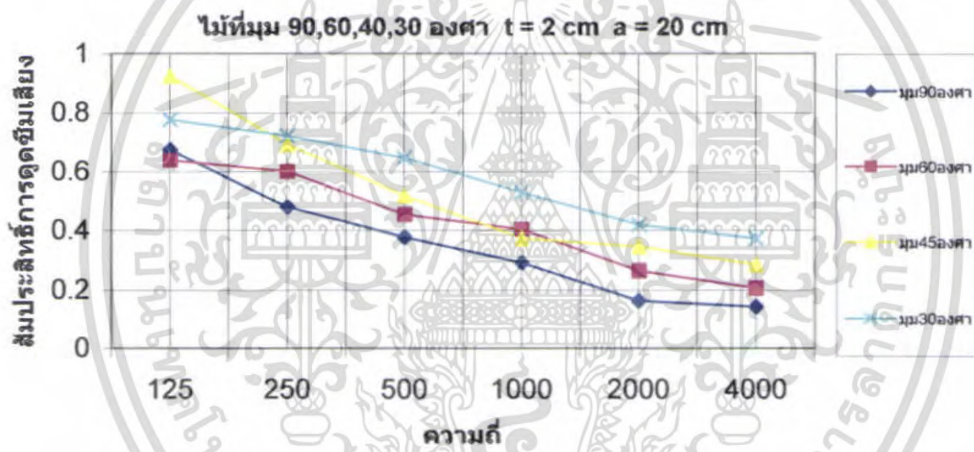
จากกราฟเปรียบเทียบมุมของไม้ตั้งแต่ $\theta = 90^\circ$, $\theta = 60^\circ$, $\theta = 45^\circ$, และ $\theta = 30^\circ$ โดยเปลี่ยนความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ โดยที่ช่องว่างอากาศเท่ากับ 15cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของไม้ที่ดีที่สุดในช่วงนี้คือ ไม้ที่มีความหนา 3cm ความถี่ 125Hz และมุม $\theta = 60^\circ$



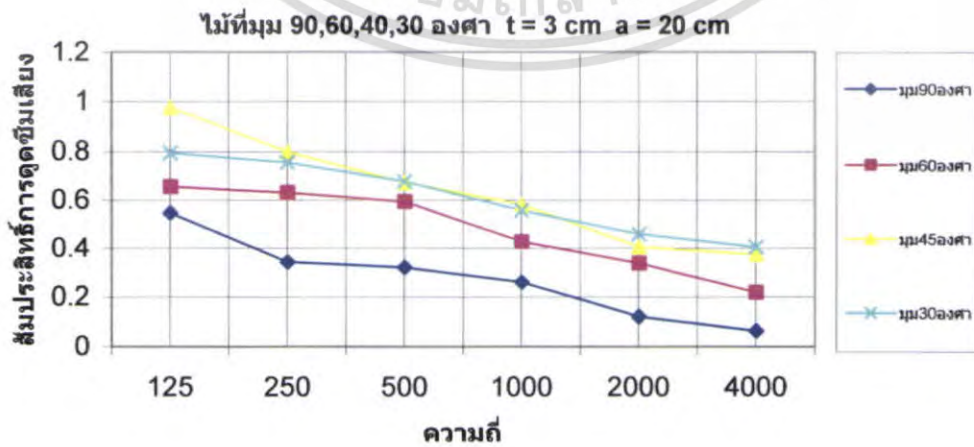
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.140 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$



รูปที่ 5.141 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$



รูปที่ 5.142 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ $\theta = 90^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงานวิชาสำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

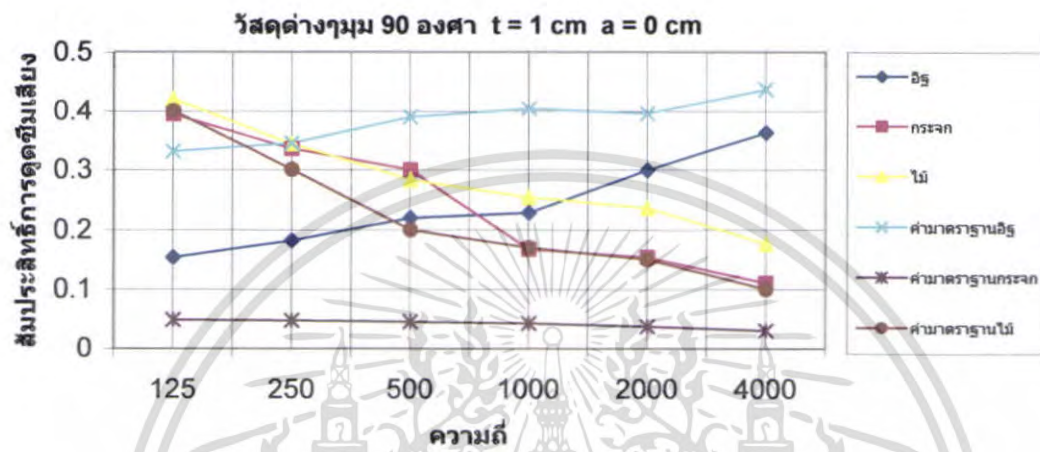
สรุป

จากกราฟเปรียบเทียบมุมของไม้ตั้งแต่ $\theta = 90^\circ$, $\theta = 60^\circ$, $\theta = 45^\circ$, และ $\theta = 30^\circ$ โดยเปลี่ยนความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ โดยที่ช่องว่างอากาศเท่ากับ 20cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของไม้ที่ดีที่สุดในช่วงนี้คือไม้ที่มีความหนา 3cm ความถี่ 125Hz และมุม $\theta = 45^\circ$

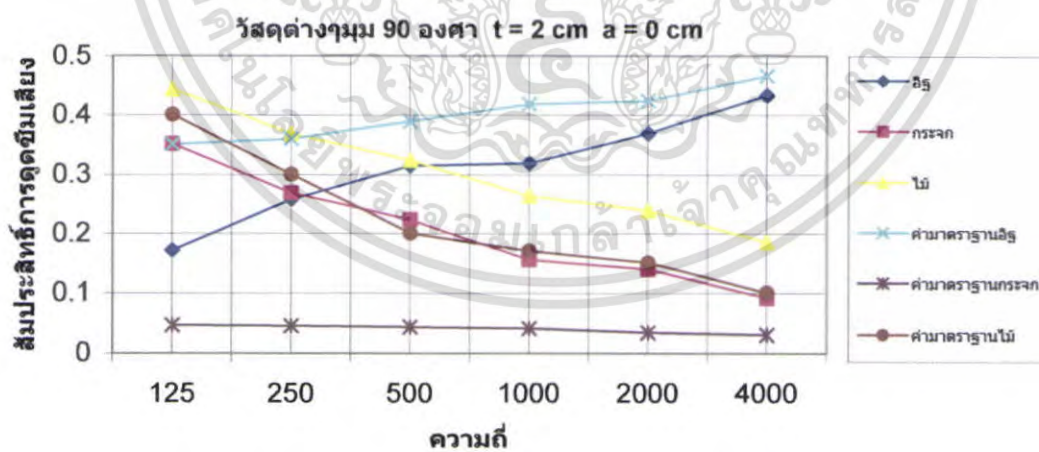


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุต่างๆที่มุม 90,60,45,30 องศา
ความหนา 1,2,3 cm ช่องว่างอากาศ 0 cm

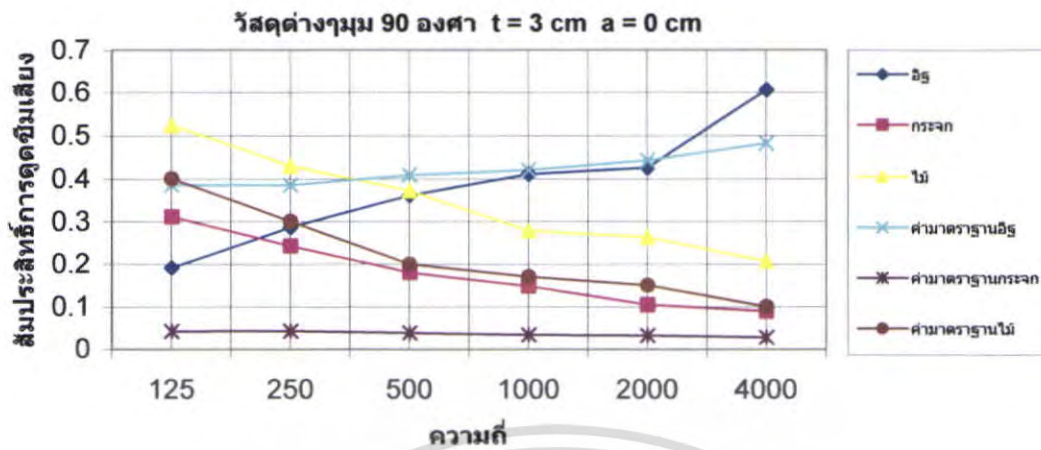


รูปที่ 5.143 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 90^\circ$ ที่ t = 1 cm a = 0 cm



รูปที่ 5.144 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 90^\circ$ ที่ t = 2 cm a = 0 cm

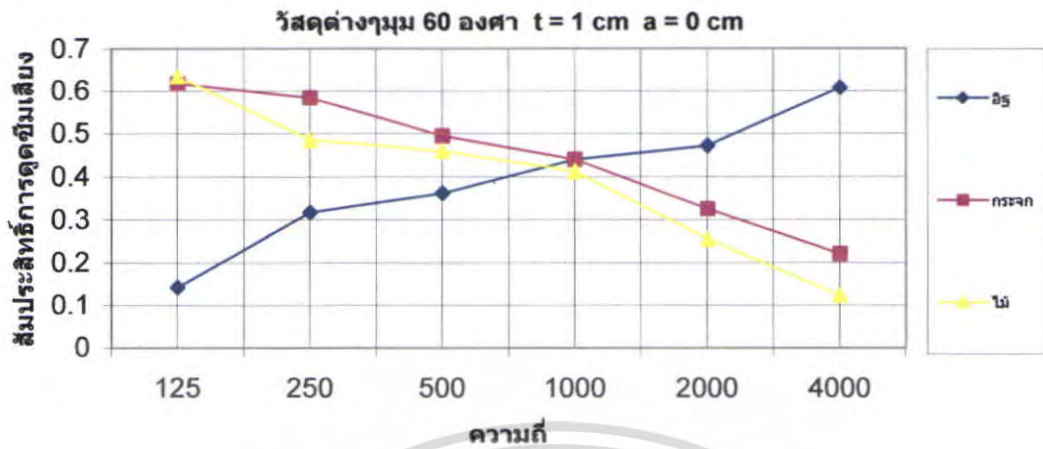
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



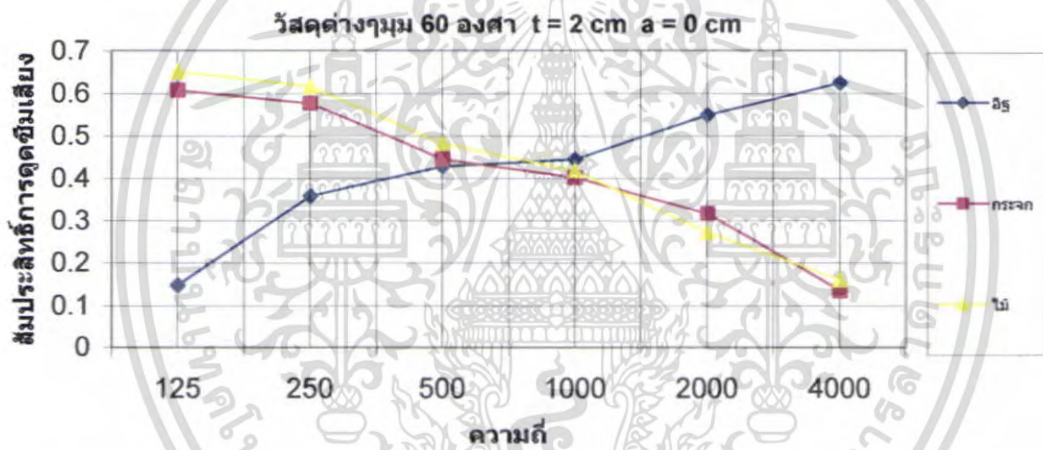
รูปที่ 5.145 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 90^\circ$ ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 0 \text{ cm}$

สรุป

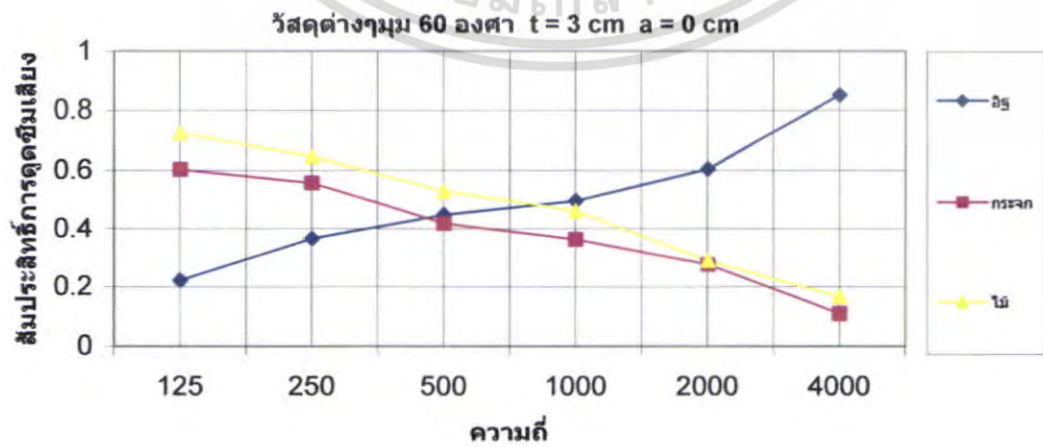
จากกราฟเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ อิฐ, กระดาษ, ไม้ ความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ มุม $\theta = 90^\circ$ ช่องว่างอากาศเท่ากับ 0cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ดีที่สุดของวัสดุทั้ง 3 ชนิดนี้คือ อิฐที่มีความหนา 3cm ความถี่ 4000Hz



รูปที่ 5.146 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 60^\circ$ ที่ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 0 \text{ cm}$



รูปที่ 5. 147 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 60^\circ$ ที่ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 0 \text{ cm}$



รูปที่ 5.148 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 60^\circ$ ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 0 \text{ cm}$

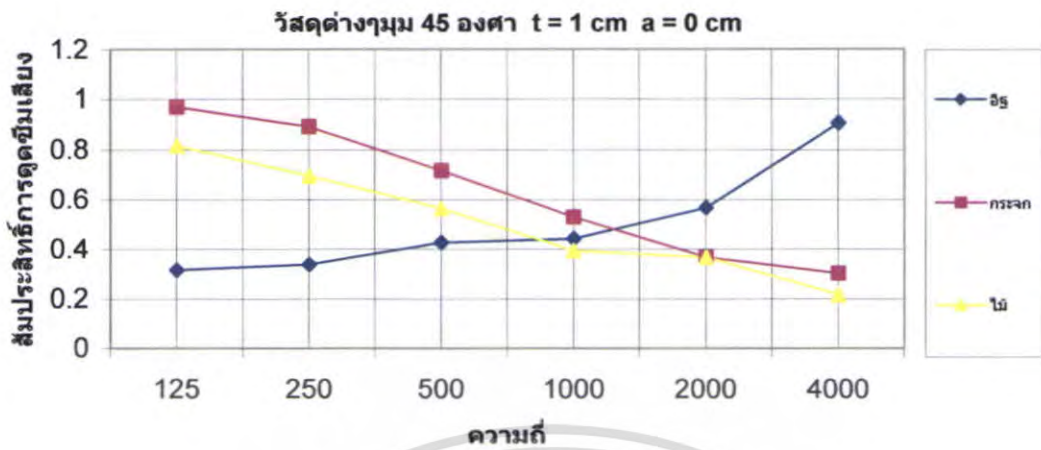
เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

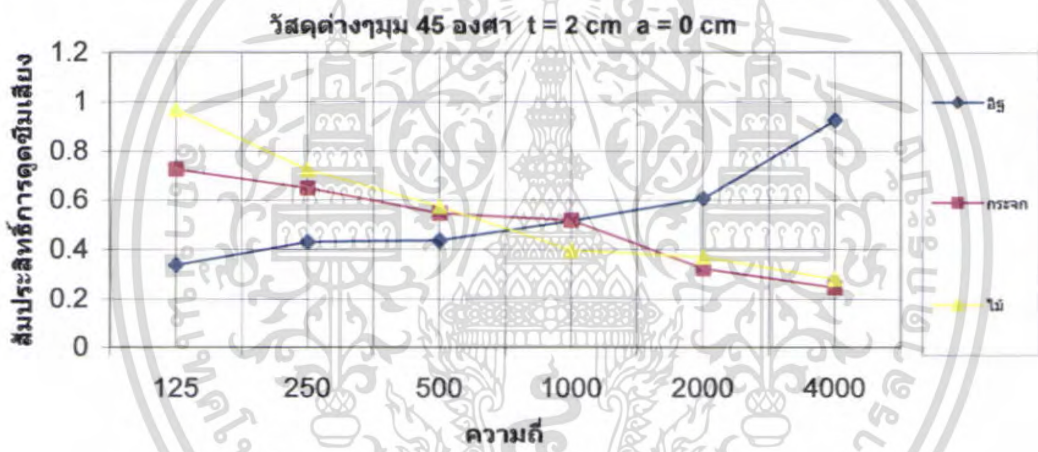
จากกราฟเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ อิฐ, กระจก, ไม้ ความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ มุม $\theta = 60^\circ$ ช่องว่างอากาศเท่ากับ 0cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ดีที่สุดของวัสดุทั้ง 3 ชนิดนี้คือ อิฐที่มีความหนา 3cm ความถี่ 4000Hz



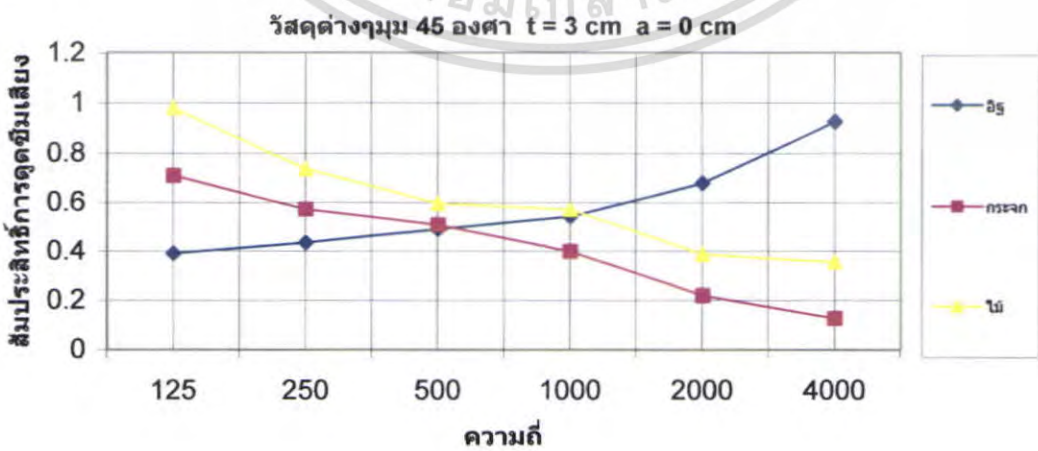
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.149 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 45^\circ$ ที่ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 0 \text{ cm}$



รูปที่ 5.150 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 45^\circ$ ที่ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 0 \text{ cm}$



รูปที่ 5.151 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 45^\circ$ ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 0 \text{ cm}$

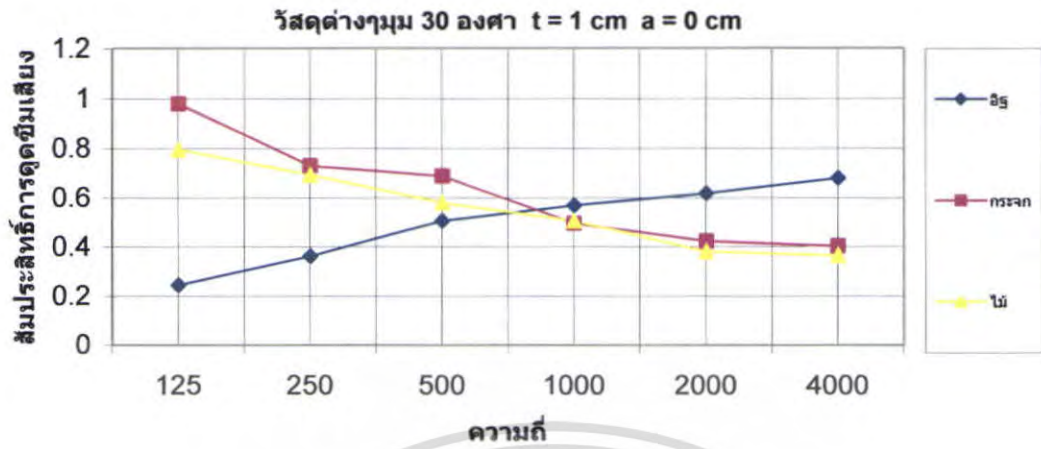
เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

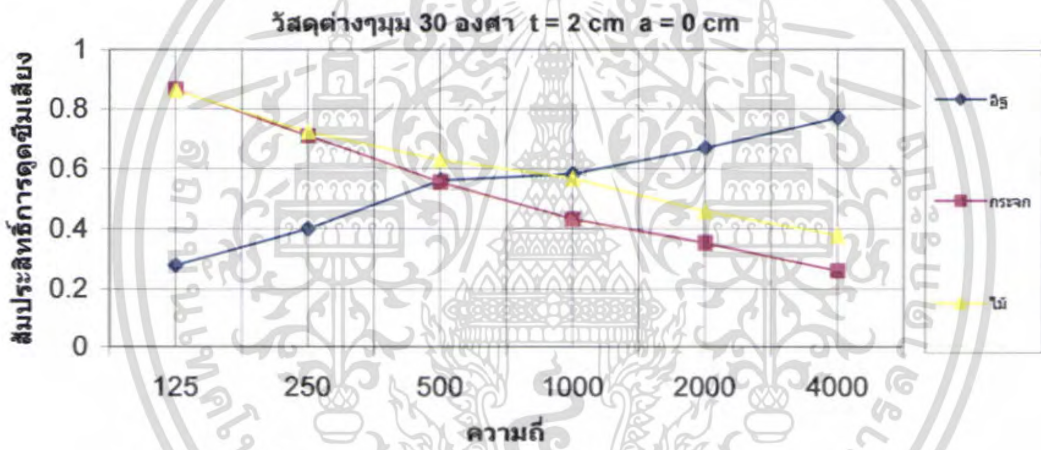
จากกราฟเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ อิฐ, กระจก, ไม้ ความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ มุม $\theta = 45^\circ$ ช่องว่างอากาศเท่ากับ 0cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ดีที่สุดของวัสดุทั้ง 3 ชนิดนี้คือ ไม้ที่มีความหนา 3cm ความถี่ 125Hz



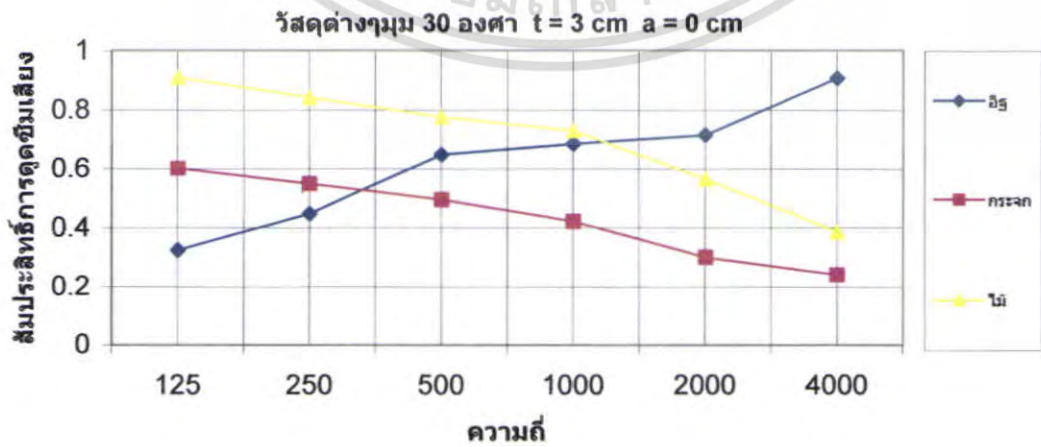
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.152 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 30^\circ$ ที่ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 0 \text{ cm}$



รูปที่ 5.153 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 30^\circ$ ที่ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 0 \text{ cm}$



รูปที่ 5.154 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 30^\circ$ ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 0 \text{ cm}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

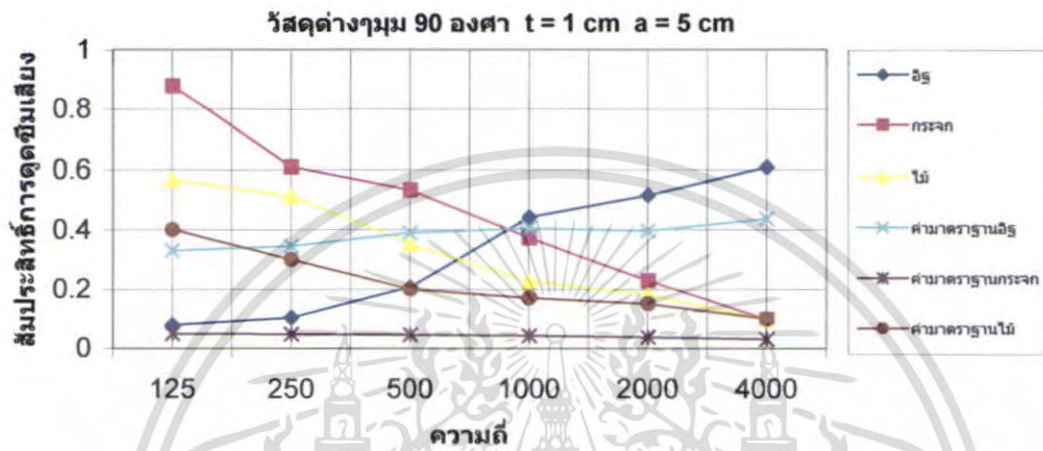
สรุป

จากกราฟเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ อลูมิเนียม, กระจก, ไม้ ความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ มุม $\theta = 45^\circ$ ช่องว่างอากาศเท่ากับ 0cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ดีที่สุดของวัสดุทั้ง 3 ชนิดนี้คือ กระจกที่ความหนา 1cm ความถี่ 125Hz

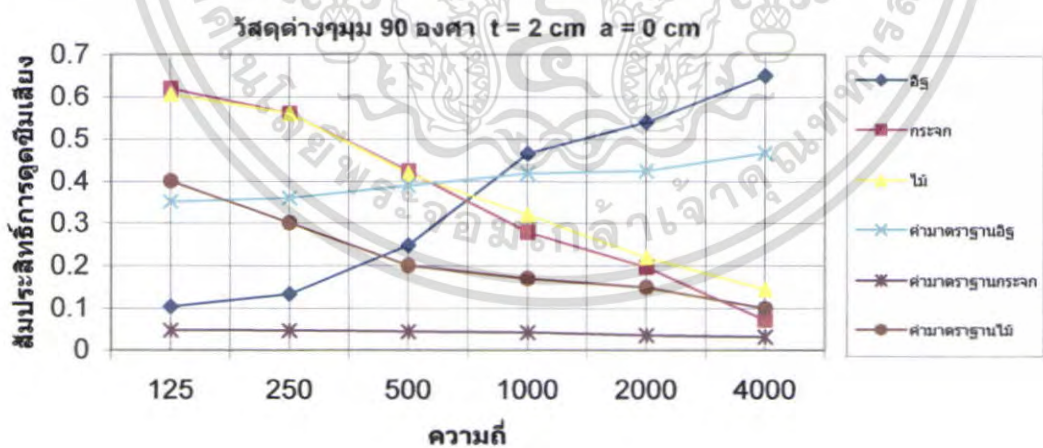


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุต่างๆที่มุม 90,60,45,30 องศา
ความหนา 1,2,3 cm ช่องว่างอากาศ 5 cm

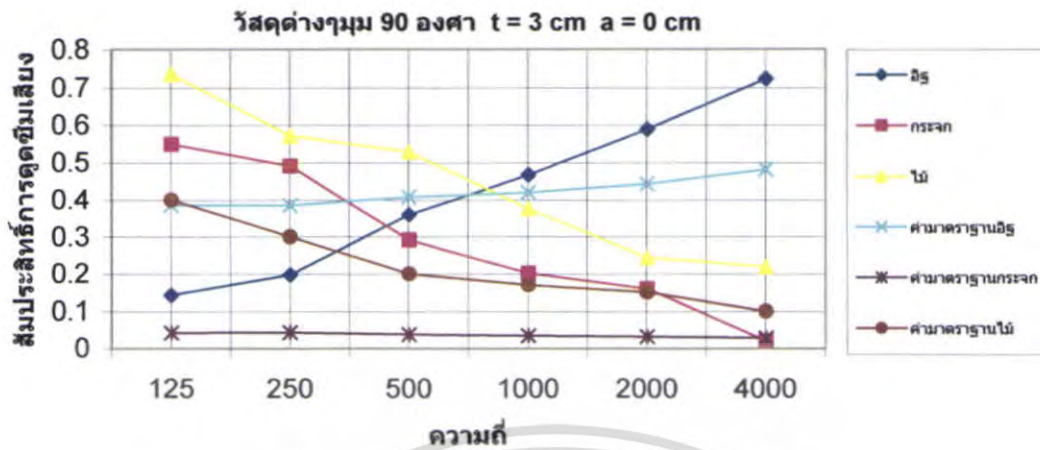


รูปที่ 5.155 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 90^\circ$ ที่ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 5 \text{ cm}$



รูปที่ 5.156 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 90^\circ$ ที่ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 5 \text{ cm}$

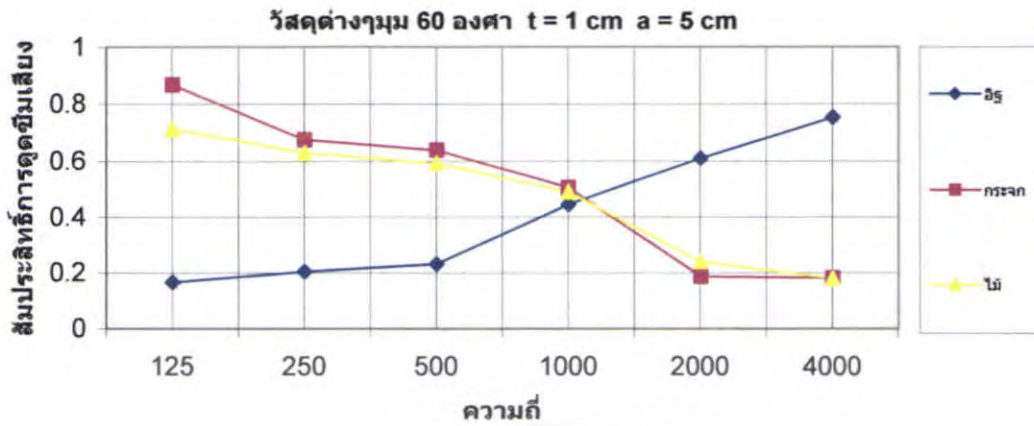
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



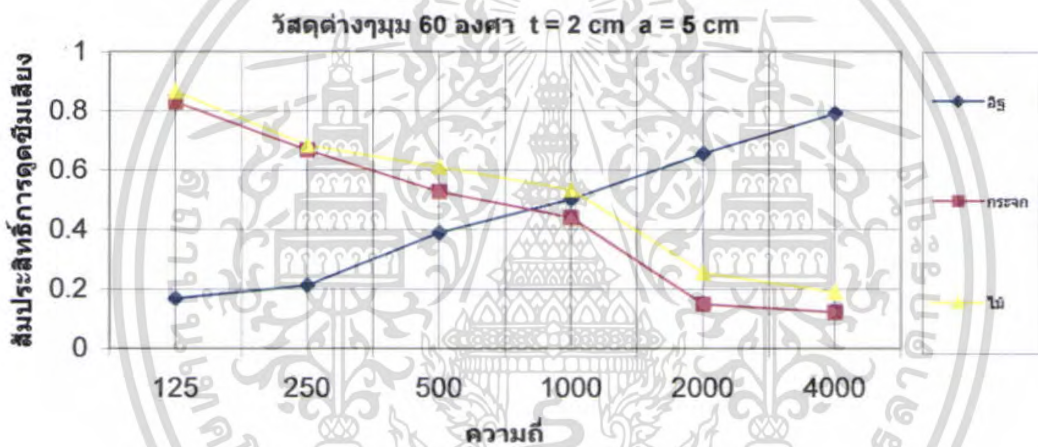
รูปที่ 5.157 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 90^\circ$ ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 5 \text{ cm}$

สรุป

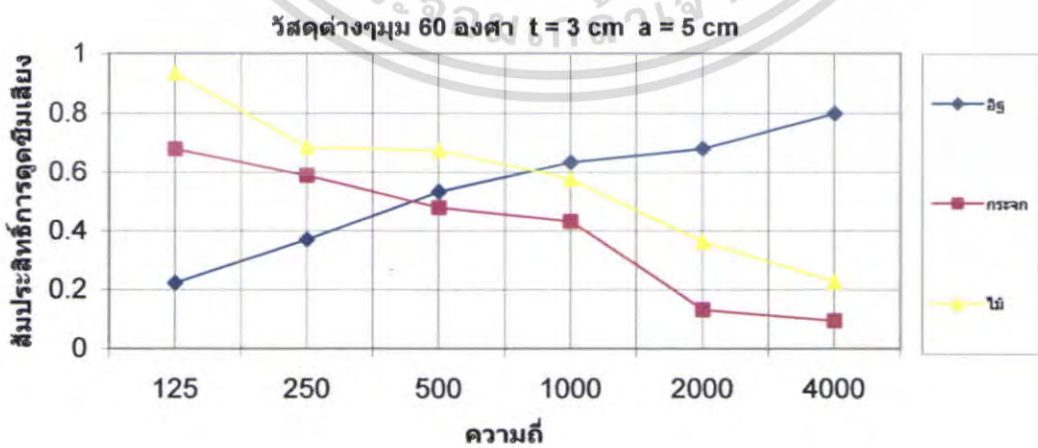
จากกราฟเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ อีฐ, กระจก, ไม้ ความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ มุม $\theta = 90^\circ$ ช่องว่างอากาศเท่ากับ 5cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ดีที่สุดของวัสดุทั้ง 3 ชนิดนี้คือ กระจกที่ความหนา 1cm ความถี่ 125Hz



รูปที่ 5.158 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 60^\circ$ ที่ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 5 \text{ cm}$



รูปที่ 5.159 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 60^\circ$ ที่ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 5 \text{ cm}$



รูปที่ 5.160 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 60^\circ$ ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 5 \text{ cm}$

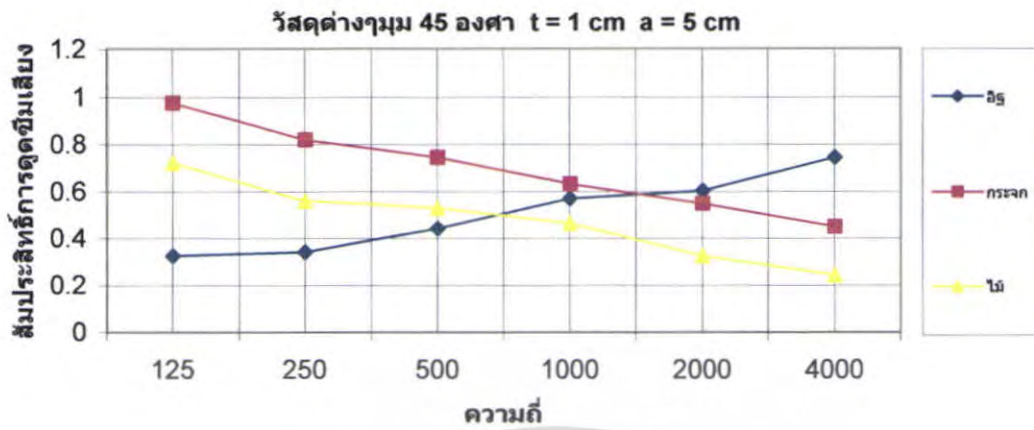
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

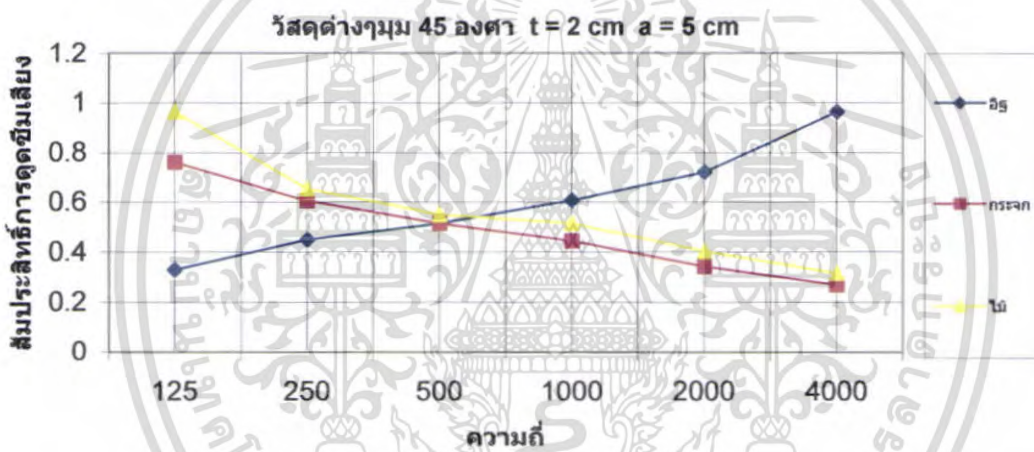
จากกราฟเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ อิฐ, กระจก, ไม้ ความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ มุม $\theta = 60^\circ$ ช่องว่างอากาศเท่ากับ 5cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงที่ดีที่สุดของวัสดุทั้ง 3 ชนิดนี้คือ ไม้ที่ความหนา 3cm ความถี่ 125Hz



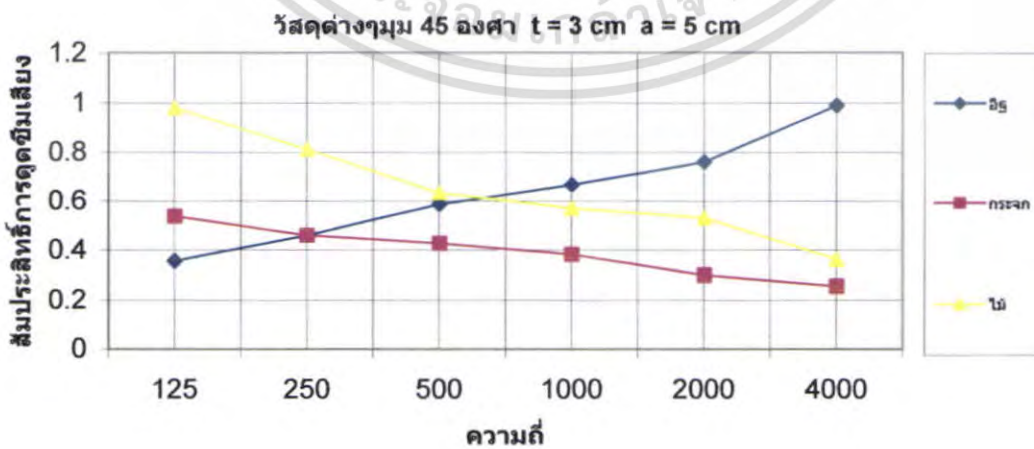
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.161 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 45^\circ$ ที่ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 5 \text{ cm}$



รูปที่ 5.162 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 45^\circ$ ที่ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 5 \text{ cm}$



รูปที่ 5.163 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 45^\circ$ ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 5 \text{ cm}$

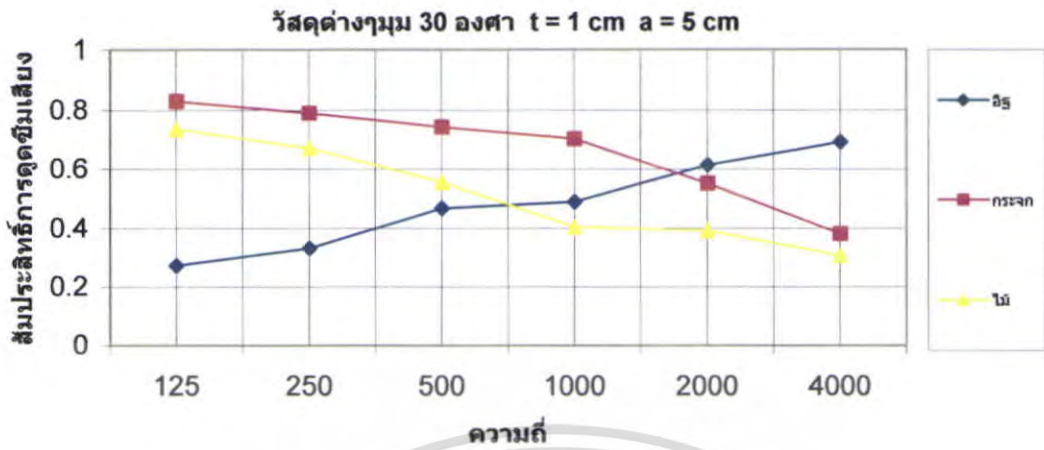
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

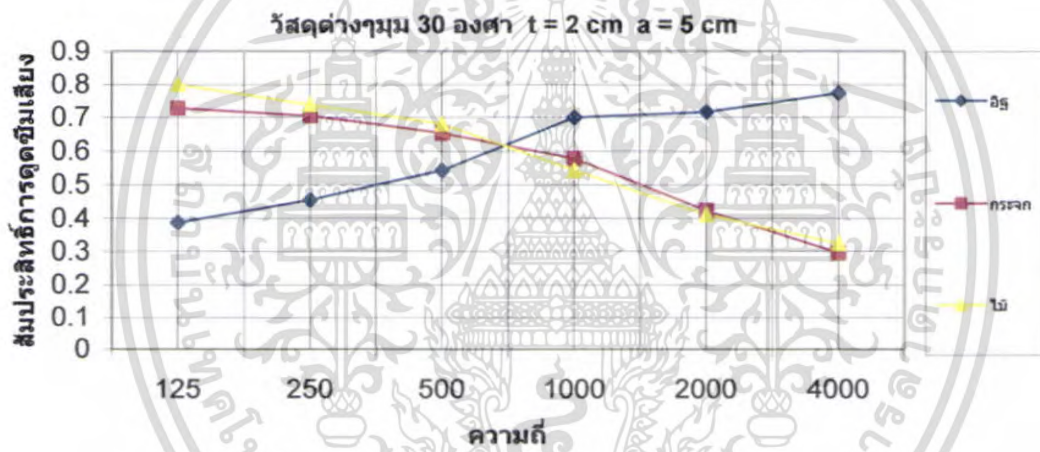
จากกราฟเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ อลูมิเนียม, กระจก, ไม้ ความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ มุม $\theta = 45^\circ$ ช่องว่างอากาศเท่ากับ 5cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ดีที่สุดของวัสดุทั้ง 3 ชนิดนี้คือ อลูมิเนียมที่มีความหนา 3cm ความถี่ 4000Hz



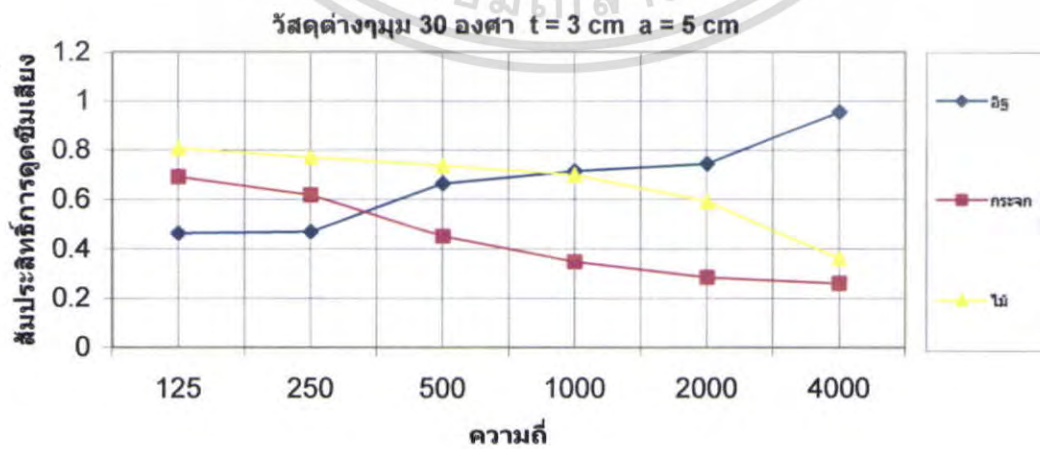
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.164 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 30^\circ$ ที่ t = 1 cm a = 5 cm



รูปที่ 5.165 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 30^\circ$ ที่ t = 2 cm a = 5 cm



รูปที่ 5.166 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 30^\circ$ ที่ t = 3 cm a = 5 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

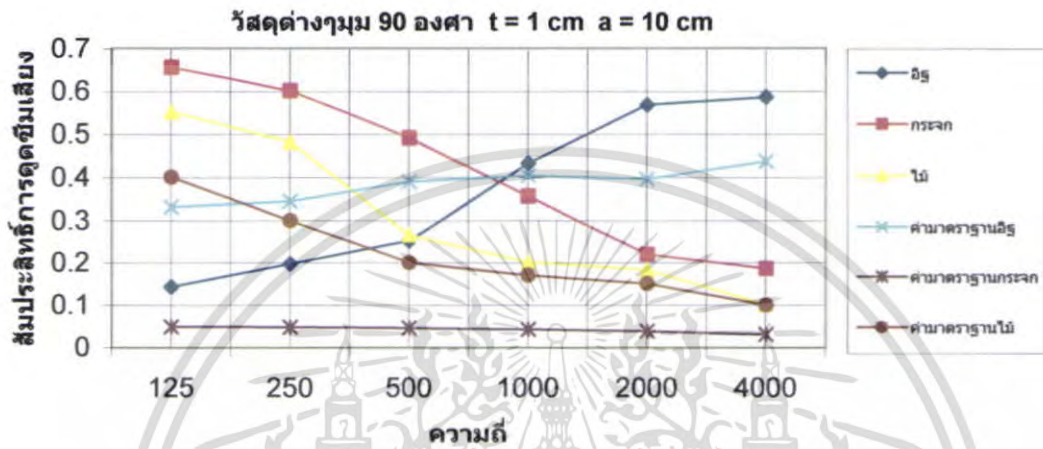
สรุป

จากกราฟเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ อิฐ, กระจก, ไม้ ความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ มุม $\theta = 30^\circ$ ช่องว่างอากาศเท่ากับ 5cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ดีที่สุดของวัสดุทั้ง 3 ชนิดนี้คือ อิฐที่มีความหนา 3cm ความถี่ 4000Hz

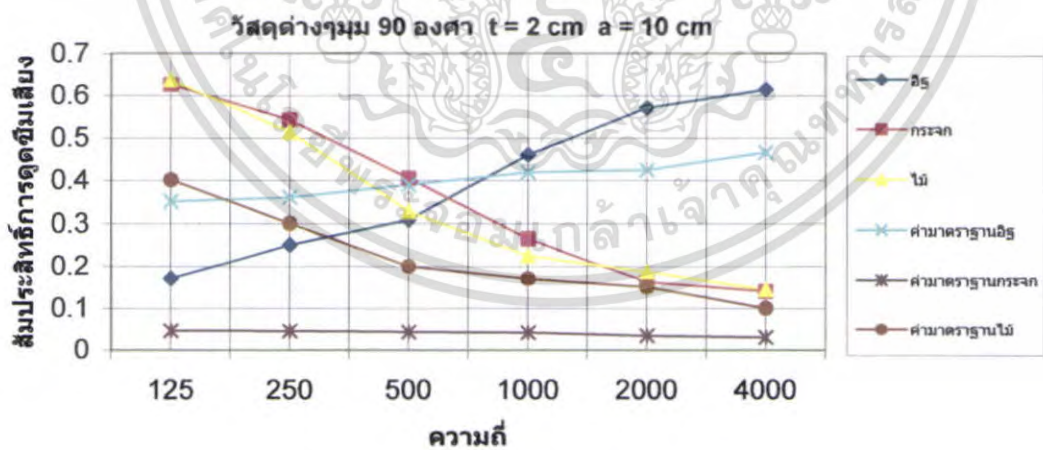


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุต่างๆที่มุม 90,60,45,30 องศา
ความหนา 1,2,3 cm ช่องว่างอากาศ 10 cm

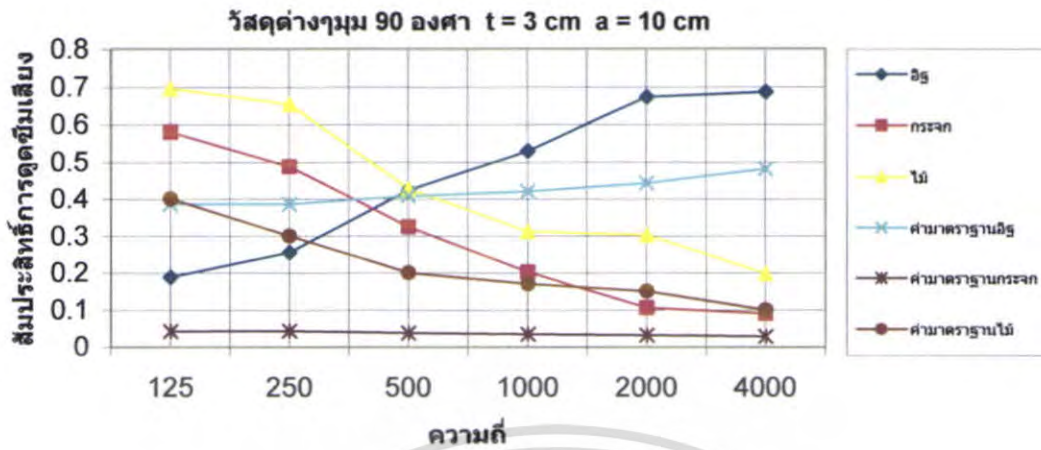


รูปที่ 5.167 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 90^\circ$ ที่ t = 1 cm a = 10 cm



รูปที่ 5.168 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 90^\circ$ ที่ t = 2 cm a = 10 cm

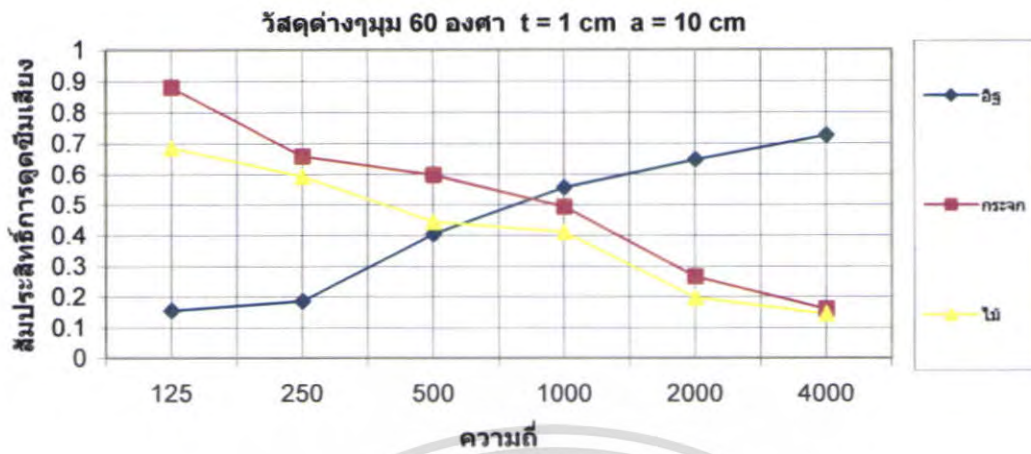
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



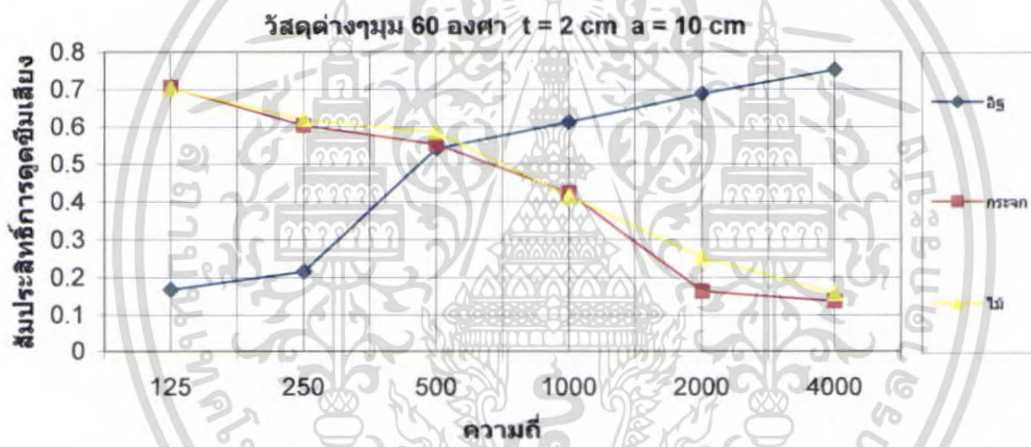
รูปที่ 5.169 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 90^\circ$ ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 10 \text{ cm}$

สรุป

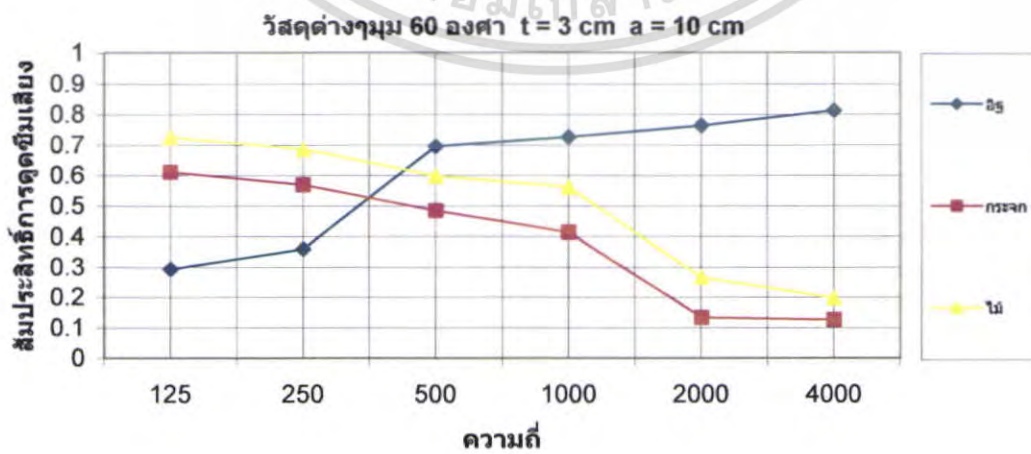
จากกราฟเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ อิฐ, กระดาษ, ไม้ ความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ มุม $\theta = 90^\circ$ ช่องว่างอากาศเท่ากับ 10cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงที่ดีที่สุดของวัสดุทั้ง 3 ชนิดนี้คือ ไม้ที่ความหนา 3cm ความถี่ 125Hz



รูปที่ 5.170 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 60^\circ$ ที่ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 10 \text{ cm}$



รูปที่ 5.171 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 60^\circ$ ที่ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 10 \text{ cm}$



รูปที่ 5.172 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 60^\circ$ ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 10 \text{ cm}$

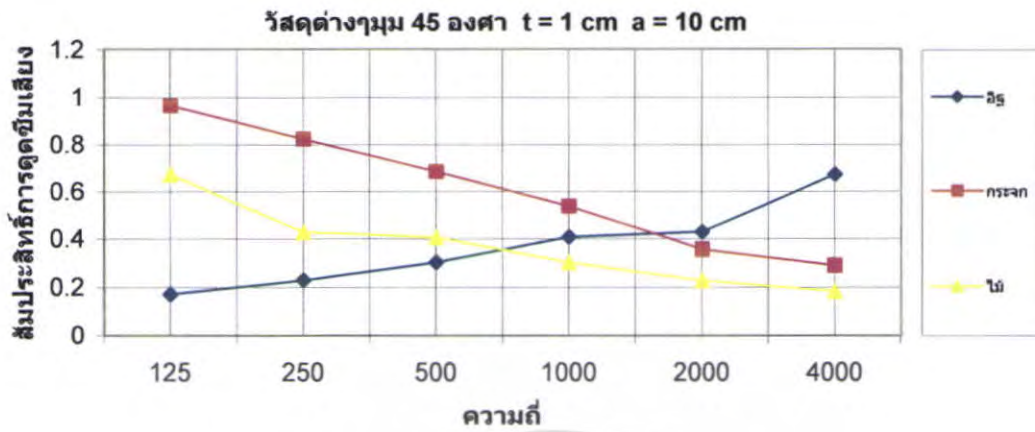
เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

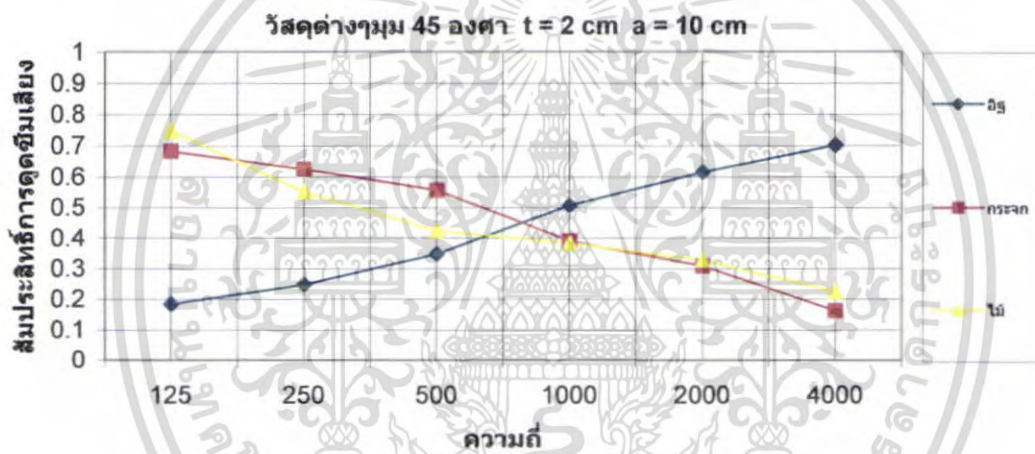
จากกราฟเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ อิฐ, กระจก, ไม้ ความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ มุม $\theta = 60^\circ$ ช่องว่างอากาศเท่ากับ 10cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงที่ดีที่สุดของวัสดุทั้ง 3 ชนิดนี้คือ กระจกที่ความหนา 1cm ความถี่ 125Hz



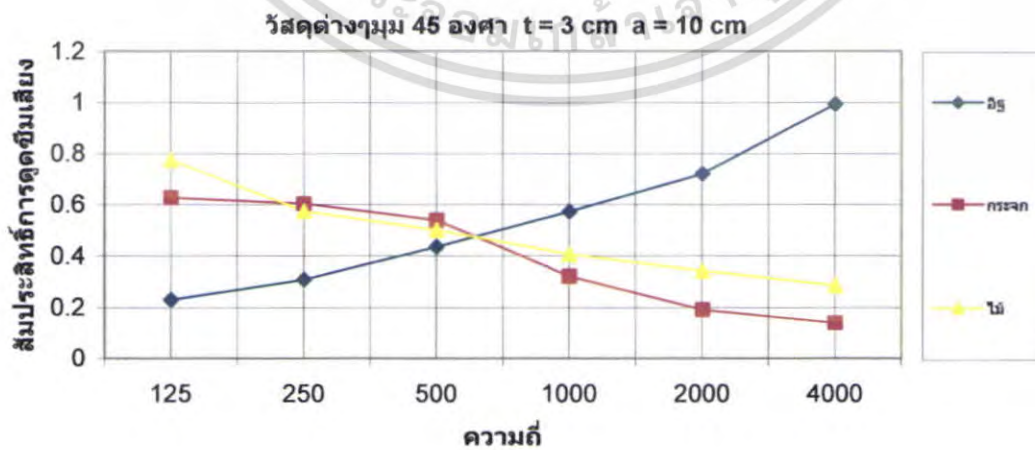
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.173 สัมประสิทธิ์การดัดขี้นเฉียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 45^\circ$ ที่ t = 1 cm a = 10 cm



รูปที่ 5.174 สัมประสิทธิ์การดัดขี้นเฉียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 45^\circ$ ที่ t = 2 cm a = 10 cm



รูปที่ 5.175 สัมประสิทธิ์การดัดขี้นเฉียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 45^\circ$ ที่ t = 3 cm a = 10 cm

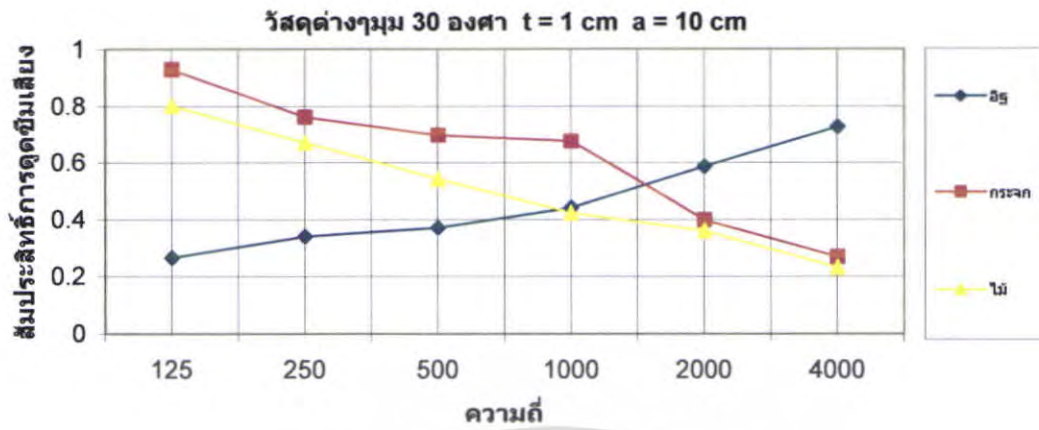
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

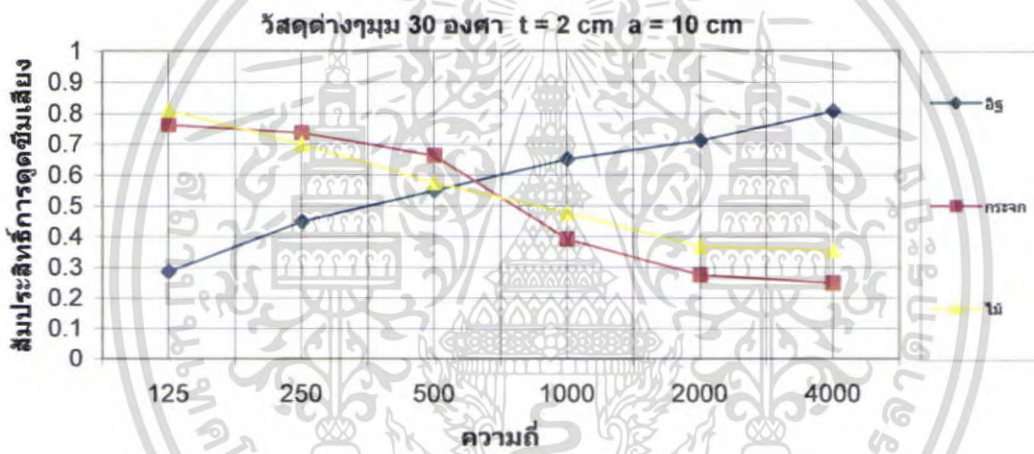
จากกราฟเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ อิฐ, กระจก, ไม้ ความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ มุม $\theta = 45^\circ$ ช่องว่างอากาศเท่ากับ 10cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงที่ดีที่สุดของวัสดุทั้ง 3 ชนิดนี้คือ อิฐที่มีความหนา 3cm ความถี่ 4000Hz



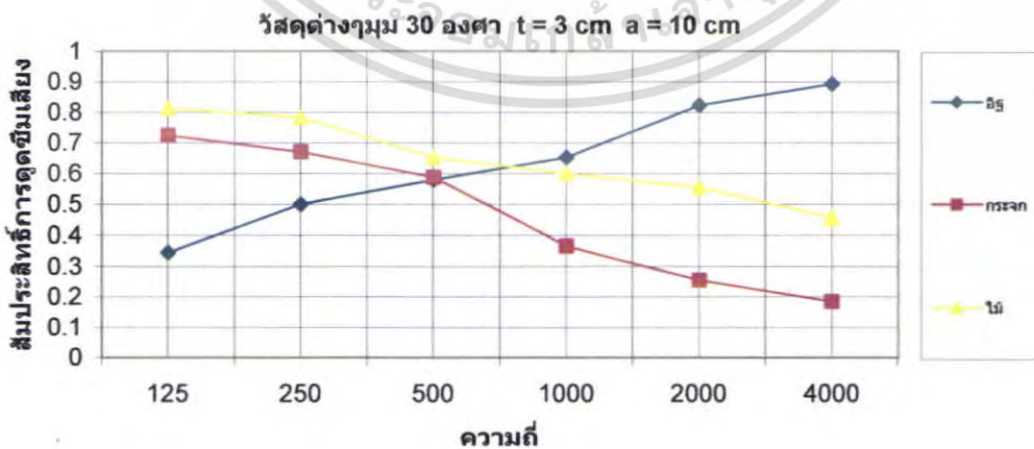
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.176 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 30^\circ$ ที่ t = 1 cm a = 10 cm



รูปที่ 5.177 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 30^\circ$ ที่ t = 2 cm a = 10 cm



รูปที่ 5.178 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 30^\circ$ ที่ t = 3 cm a = 10 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

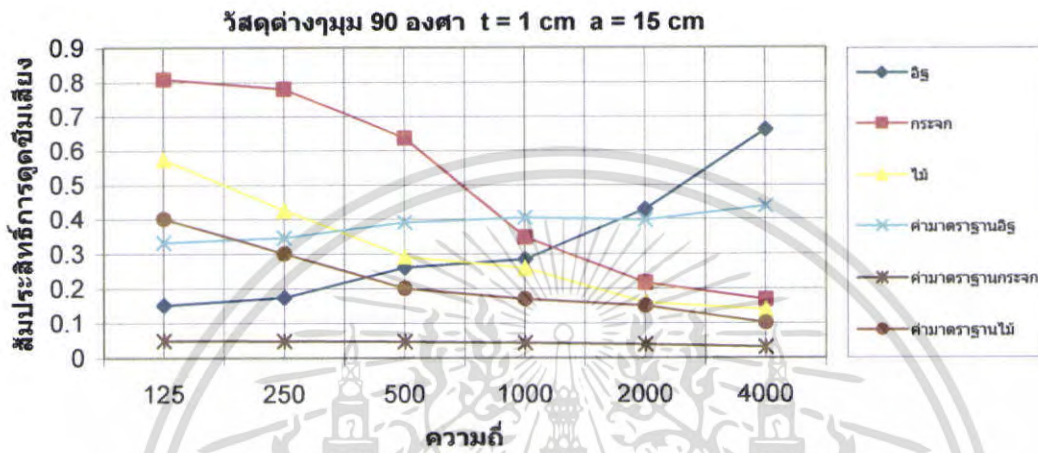
สรุป

จากกราฟเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ อิฐ, กระจก, ไม้ ความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ มุม $\theta = 30^\circ$ ช่องว่างอากาศเท่ากับ 10cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงที่ดีที่สุดของวัสดุทั้ง 3 ชนิดนี้คือ กระจกที่ความหนา 1cm ความถี่ 125Hz

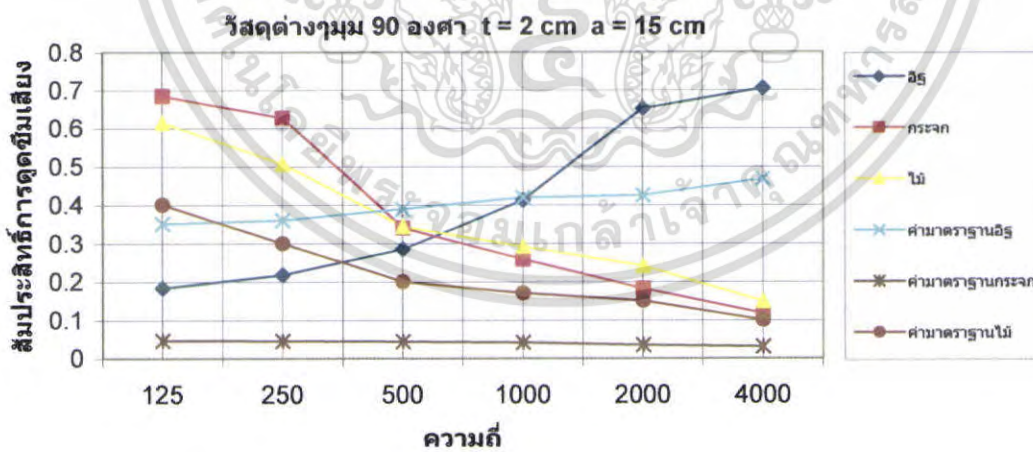


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุต่างๆที่มุม 90,60,45,30 องศา
ความหนา 1,2,3 cm ช่องว่างอากาศ 15 cm

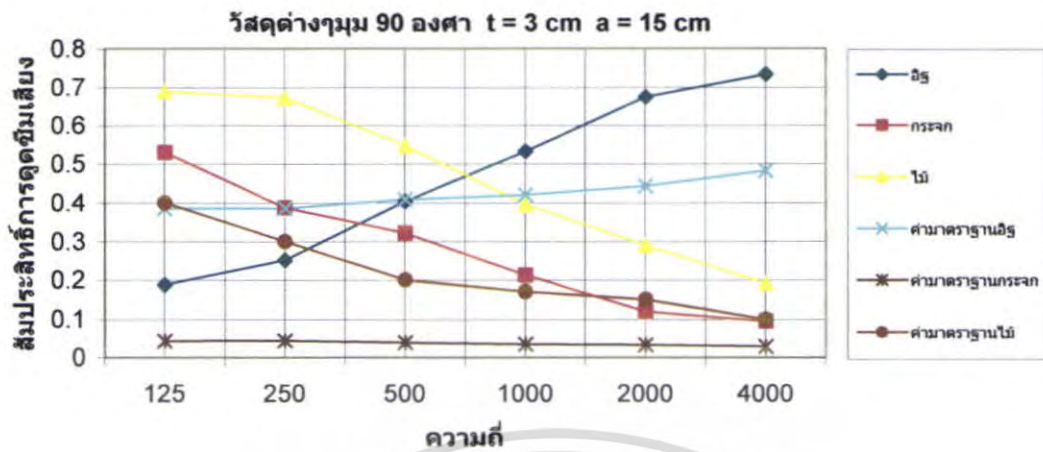


รูปที่ 5.179 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 90^\circ$ ที่ t = 1 cm a = 15 cm



รูปที่ 5.180 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 90^\circ$ ที่ t = 2 cm a = 15 cm

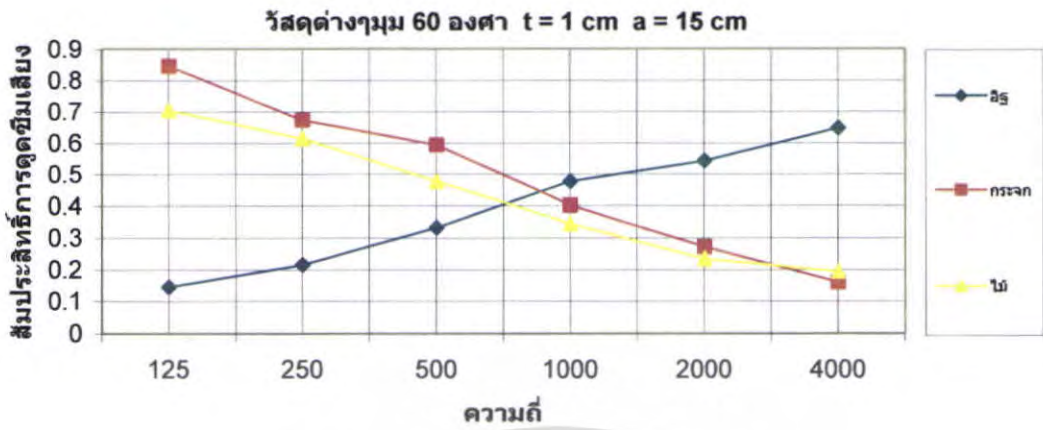
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



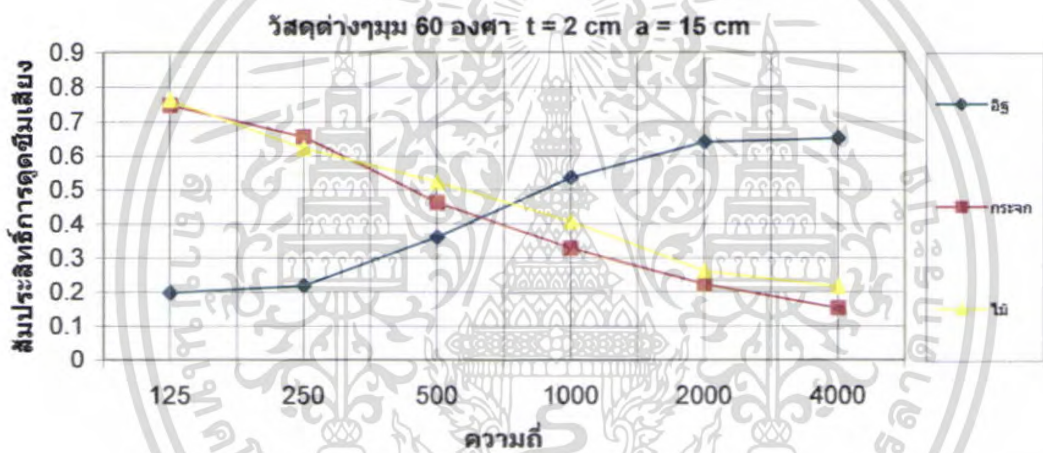
รูปที่ 5.181 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 90^\circ$ ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 15 \text{ cm}$

สรุป

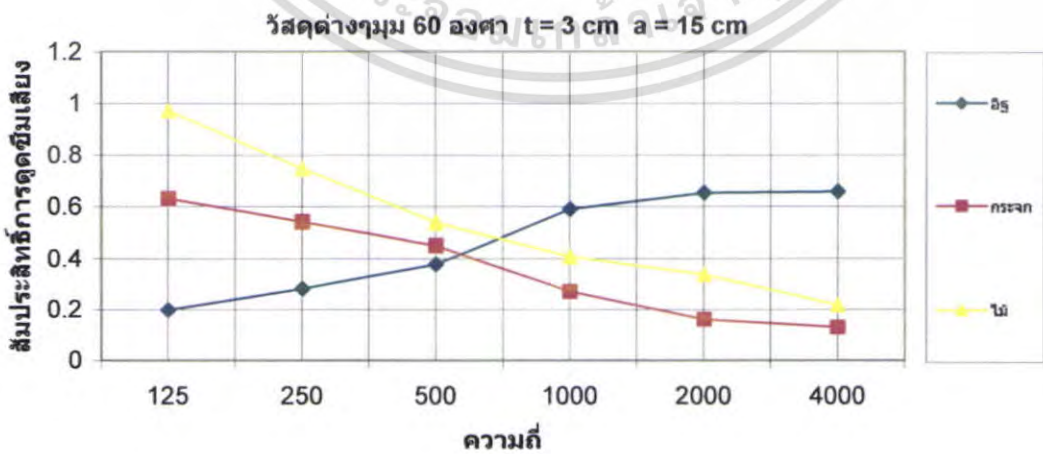
จากกราฟเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ อิฐ, กระจก, ไม้ ความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ มุม $\theta = 90^\circ$ ช่องว่างอากาศเท่ากับ 15cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงที่ดีที่สุดของวัสดุทั้ง 3 ชนิดนี้คือ กระจกที่ความหนา 1cm ความถี่ 125Hz



รูปที่ 5.182 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 60^\circ$ ที่ t = 1 cm a = 15 cm



รูปที่ 5.183 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 60^\circ$ ที่ t = 2 cm a = 15 cm



รูปที่ 5.184 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 60^\circ$ ที่ t = 3 cm a = 15 cm

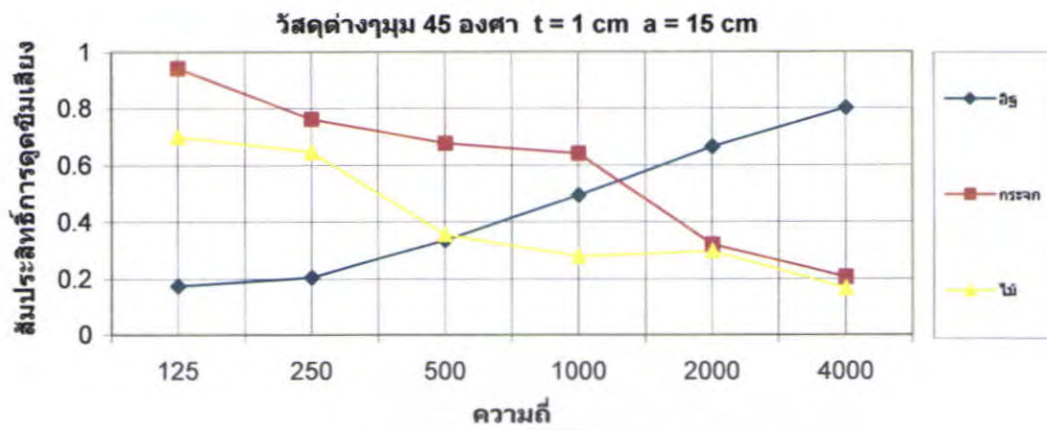
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

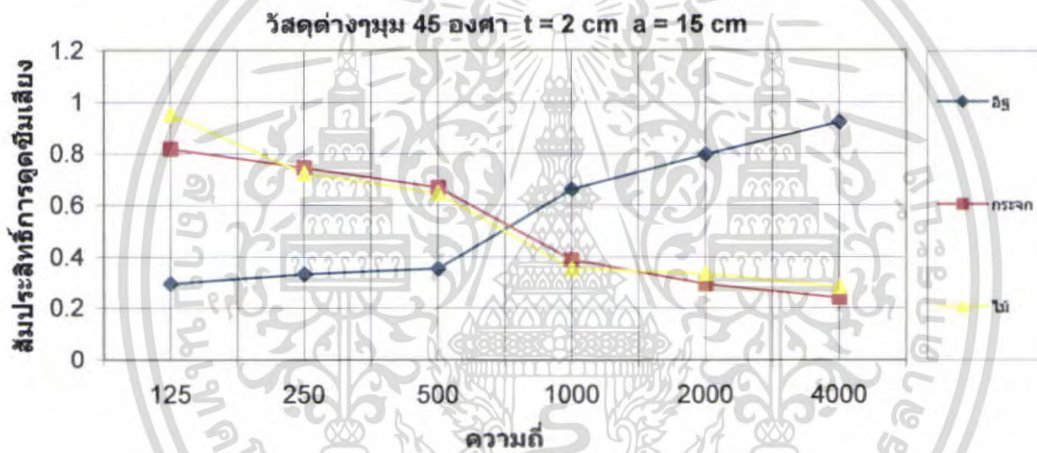
จากกราฟเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ อีฐ, กระจก, ไม้ ความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ มุม $\theta = 60^\circ$ ช่องว่างอากาศเท่ากับ 15cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ดีที่สุดของวัสดุทั้ง 3 ชนิดนี้คือ ไม้ที่ความหนา 3cm ความถี่ 125Hz



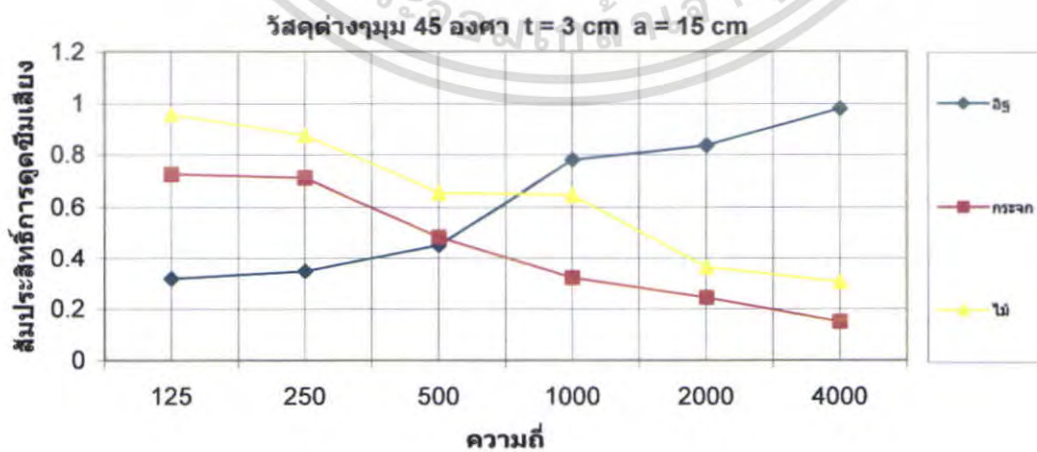
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.185 สัมประสิทธิ์การดัดขีมิเฉียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 45^\circ$ ที่ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 15 \text{ cm}$



รูปที่ 5.186 สัมประสิทธิ์การดัดขีมิเฉียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 45^\circ$ ที่ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 15 \text{ cm}$



รูปที่ 5.187 สัมประสิทธิ์การดัดขีมิเฉียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 45^\circ$ ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 15 \text{ cm}$

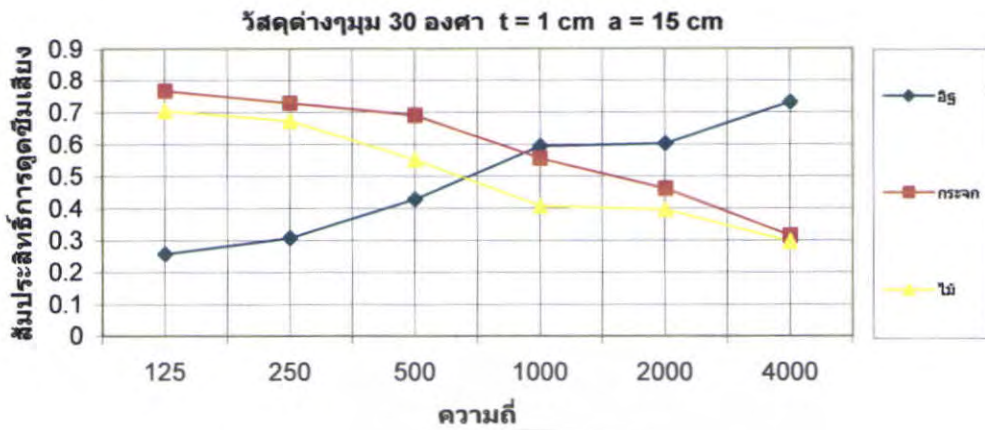
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

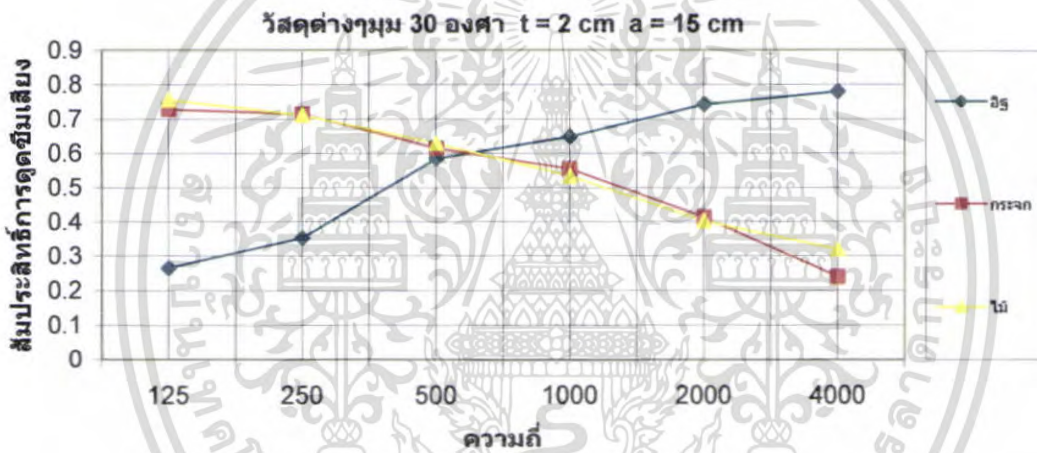
จากกราฟเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ อิฐ, กระจก, ไม้ ความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ มุม $\theta = 45^\circ$ ช่องว่างอากาศเท่ากับ 15cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ดีที่สุดของวัสดุทั้ง 3 ชนิดนี้คือ อิฐที่ความหนา 3cm ความถี่ 4000Hz



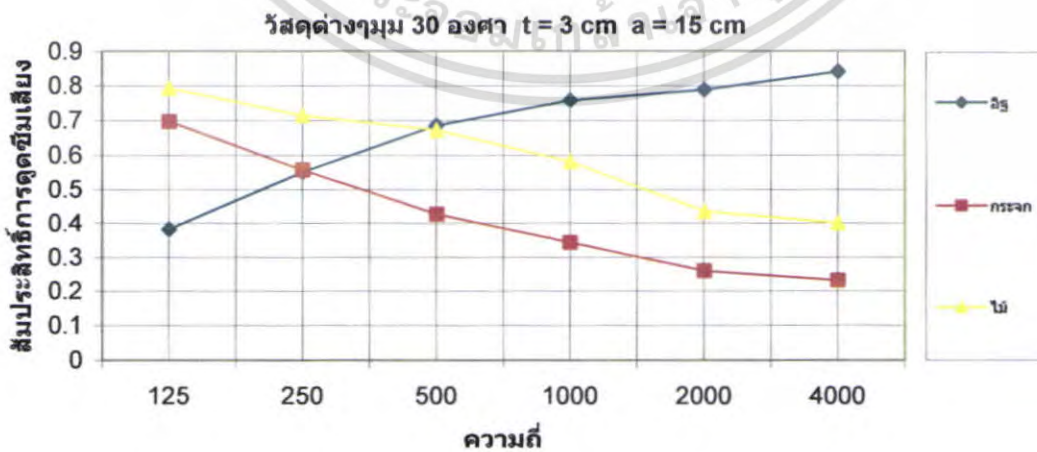
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.188 สัมประสิทธิ์การดัดขี้มเสียดของวัสดุต่างๆ $\theta = 30^\circ$ ที่ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 15 \text{ cm}$



รูปที่ 5.189 สัมประสิทธิ์การดัดขี้มเสียดของวัสดุต่างๆ $\theta = 30^\circ$ ที่ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 15 \text{ cm}$



รูปที่ 5.190 สัมประสิทธิ์การดัดขี้มเสียดของวัสดุต่างๆ $\theta = 30^\circ$ ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 15 \text{ cm}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

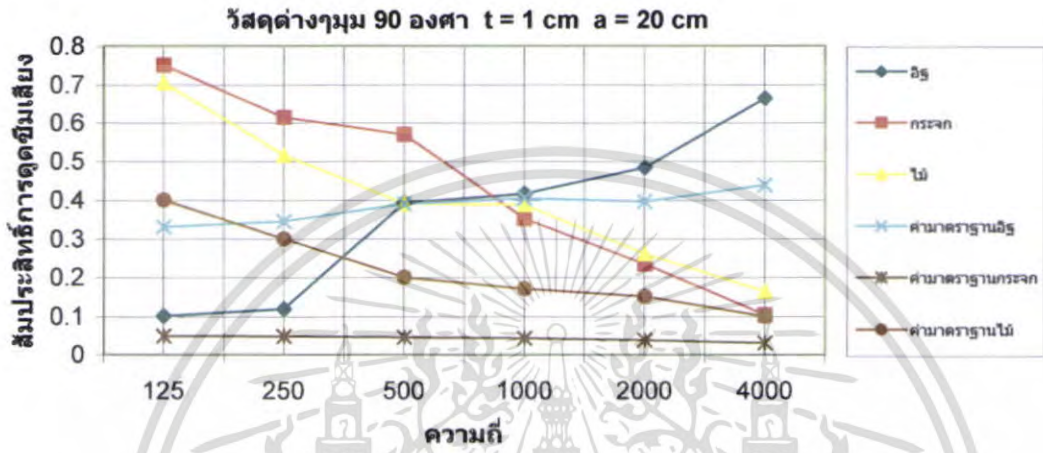
สรุป

จากกราฟเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ อลูมิเนียม, กระจก, ไม้ ความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ มุม $\theta = 30^\circ$ ช่องว่างอากาศเท่ากับ 15cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ดีที่สุดของวัสดุทั้ง 3 ชนิดนี้คือ อลูมิเนียมที่มีความหนา 3cm ความถี่ 4000Hz

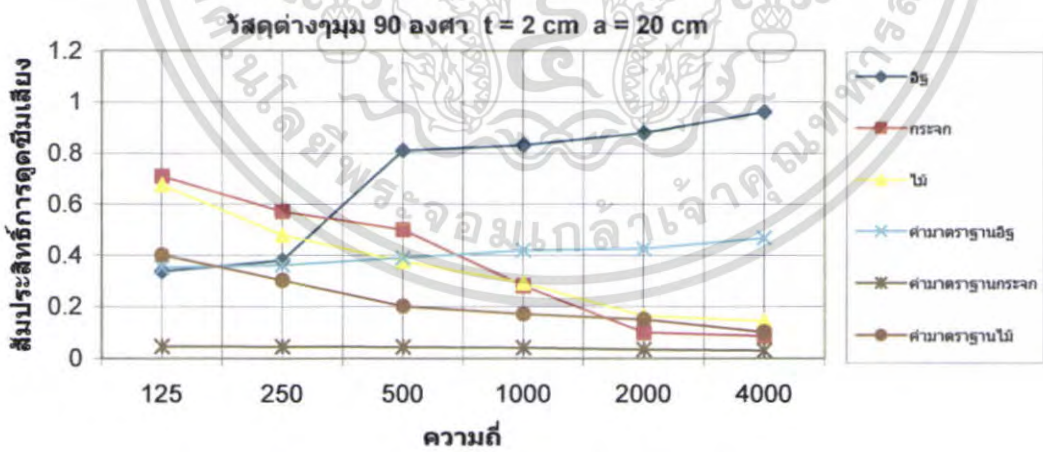


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุต่างๆที่มุม 90,60,45,30 องศา
ความหนา 1,2,3 cm ช่องว่างอากาศ 20 cm

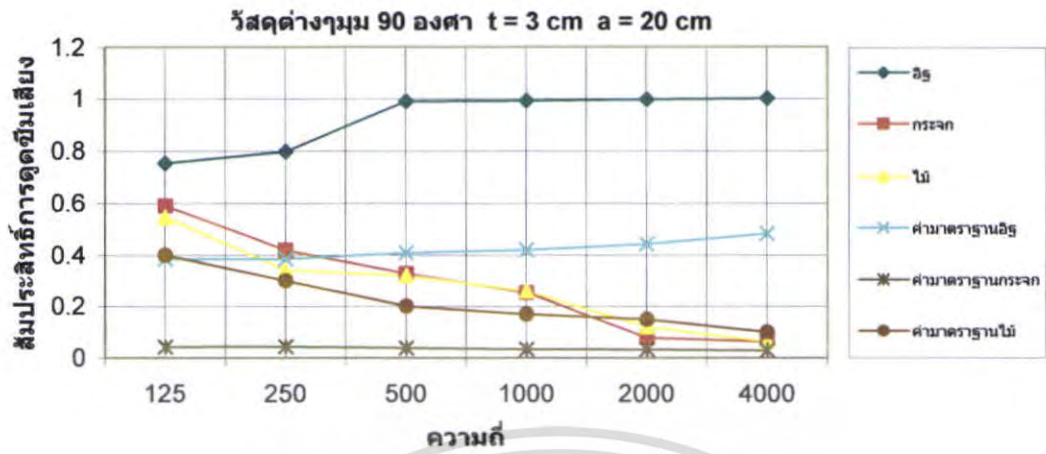


รูปที่ 5.191 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 90^\circ$ ที่ t = 1 cm a = 20 cm



รูปที่ 5.192 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 90^\circ$ ที่ t = 2 cm a = 20 cm

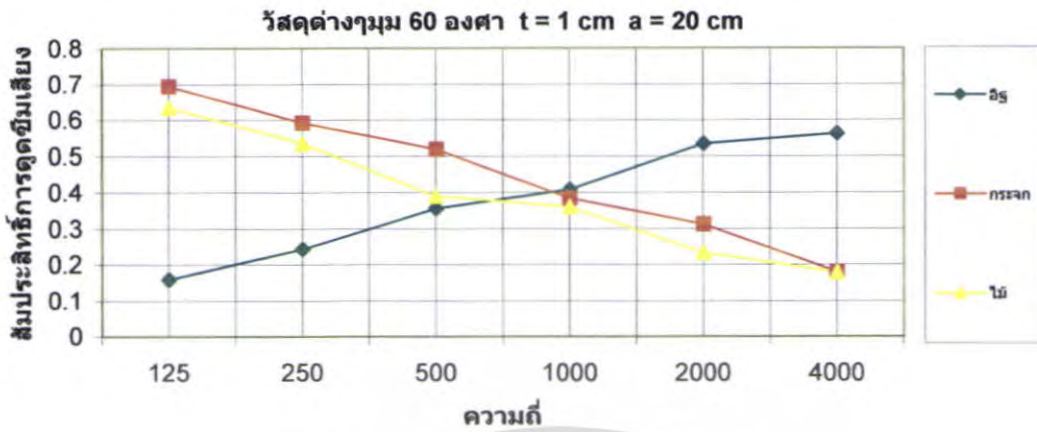
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



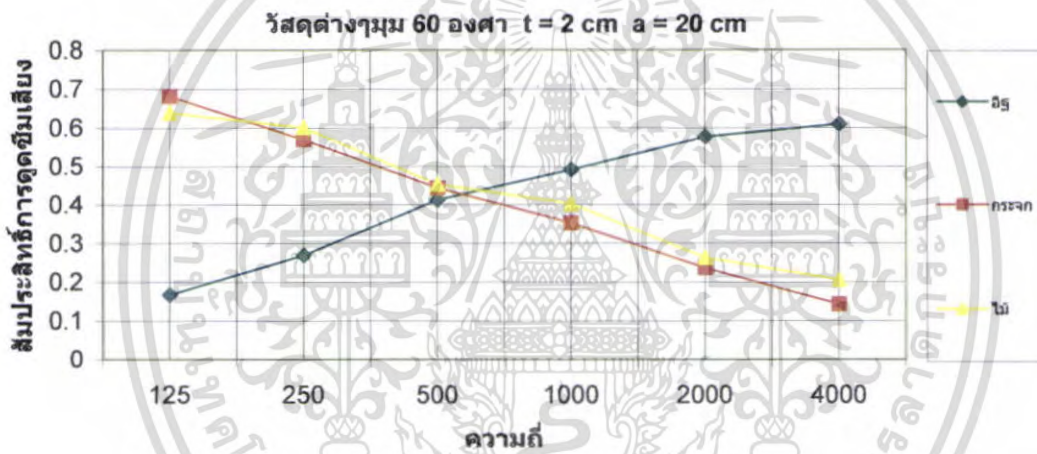
รูปที่ 5.193 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 90^\circ$ ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$

สรุป

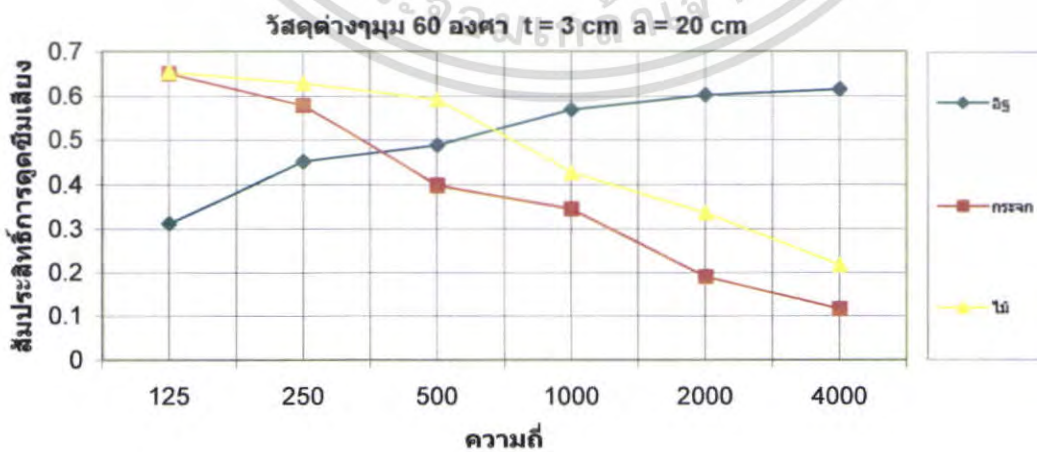
จากกราฟเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ อัญ, กระจก, ไม้ ความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ มุม $\theta = 90^\circ$ ช่องว่างอากาศเท่ากับ 20cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ดีที่สุดของวัสดุทั้ง 3 ชนิดนี้คือ อัญที่มีความหนา 3cm ความถี่ 4000Hz



รูปที่ 5.194 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 60^\circ$ ที่ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$



รูปที่ 5.195 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 60^\circ$ ที่ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$



รูปที่ 5.196 สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 60^\circ$ ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$

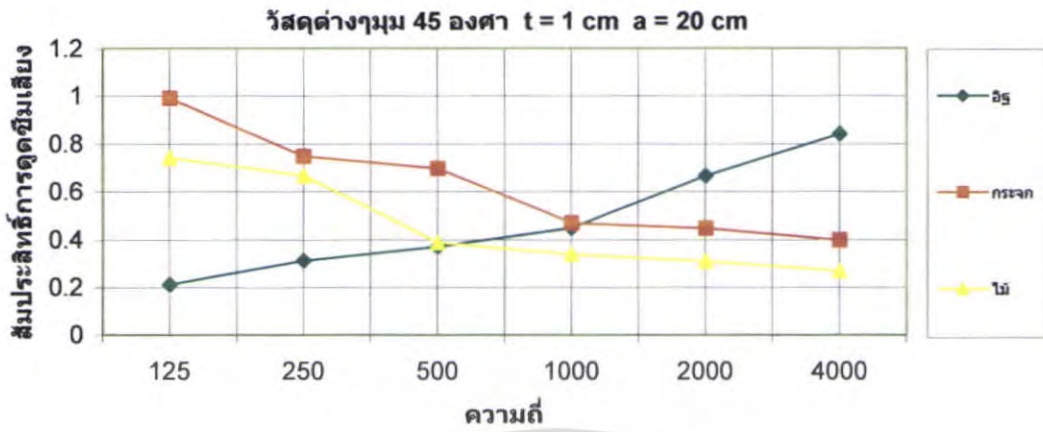
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

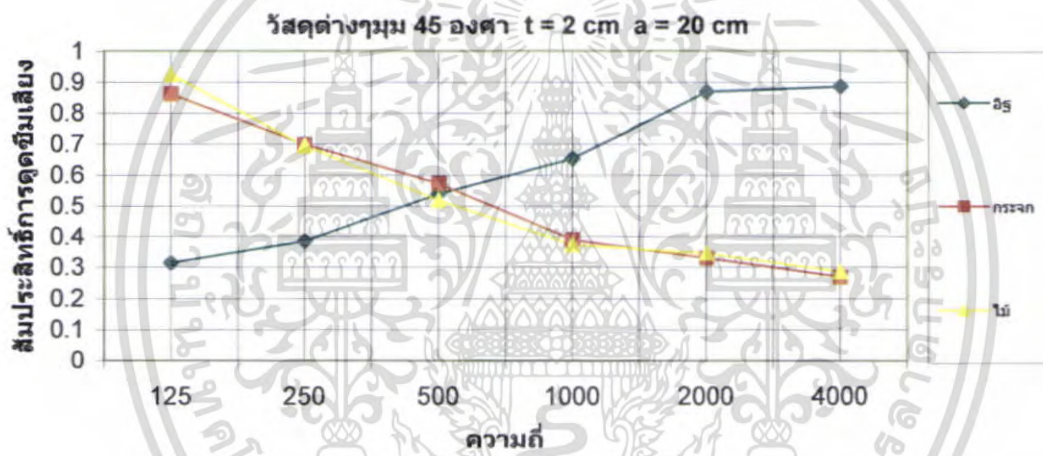
จากกราฟเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ อิฐ, กระจก, ไม้ ความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ มุม $\theta = 60^\circ$ ช่องว่างอากาศเท่ากับ 20cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงที่ดีที่สุดของวัสดุทั้ง 3 ชนิดนี้คือ กระจกที่ความหนา 1cm ความถี่ 125Hz



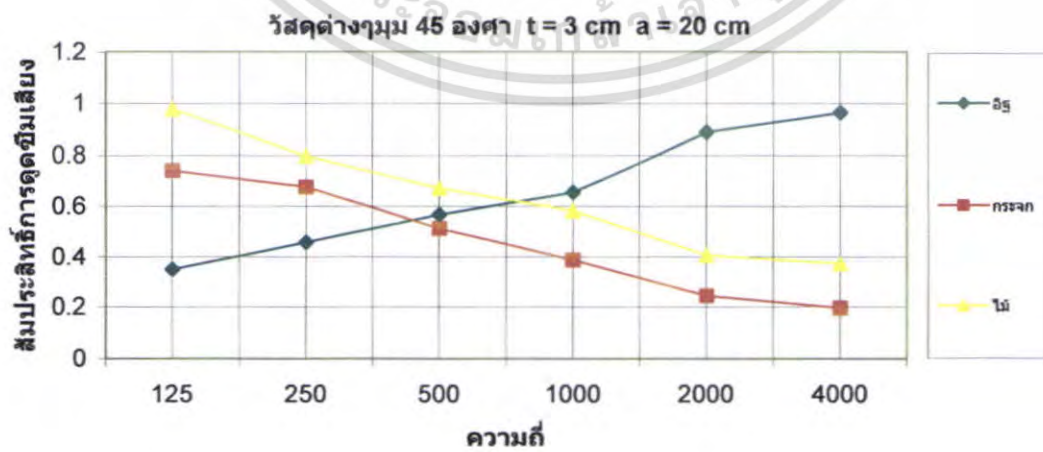
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.197 สัมประสิทธิ์การดัดขี้นเฉียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 45^\circ$ ที่ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$



รูปที่ 5.198 สัมประสิทธิ์การดัดขี้นเฉียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 45^\circ$ ที่ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$



รูปที่ 5.199 สัมประสิทธิ์การดัดขี้นเฉียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 45^\circ$ ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$

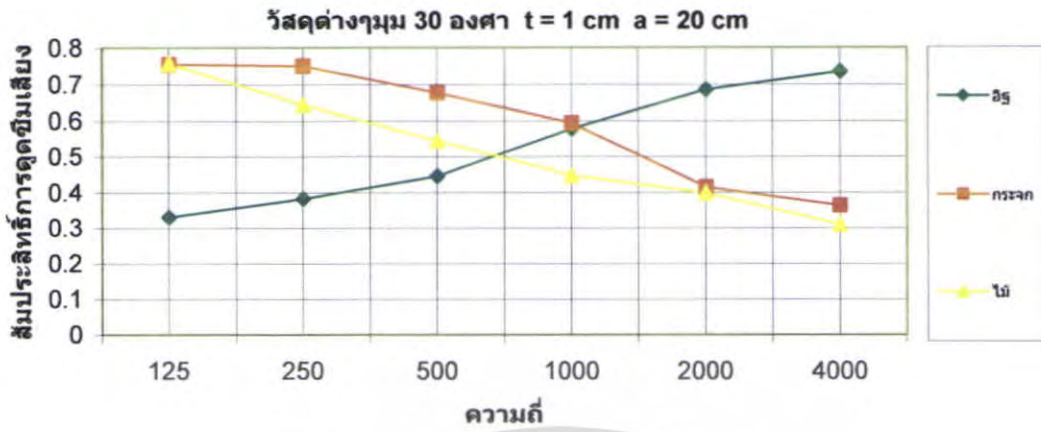
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

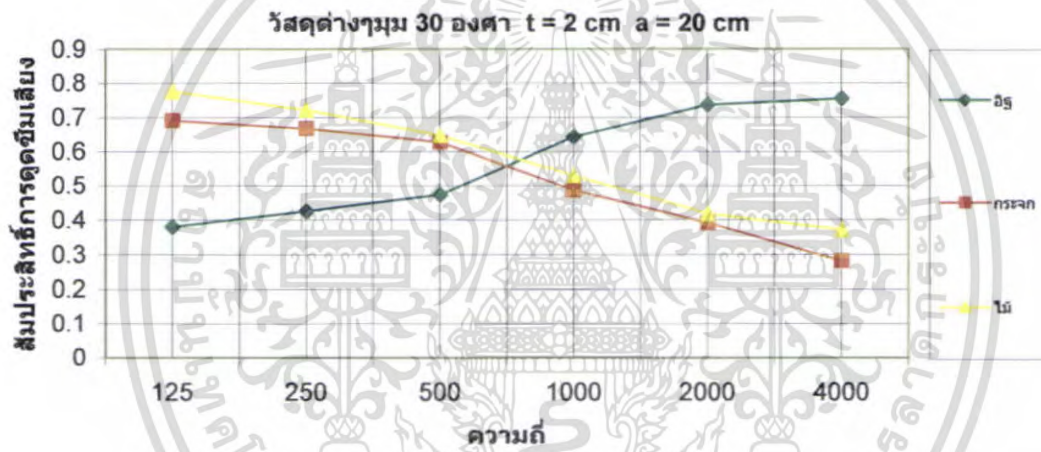
จากกราฟเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ อิฐ, กระจก, ไม้ ความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ มุม $\theta = 45^\circ$ ช่องว่างอากาศเท่ากับ 20cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงที่ดีที่สุดของวัสดุทั้ง 3 ชนิดนี้คือ กระจกที่ความหนา 1cm ความถี่ 125Hz



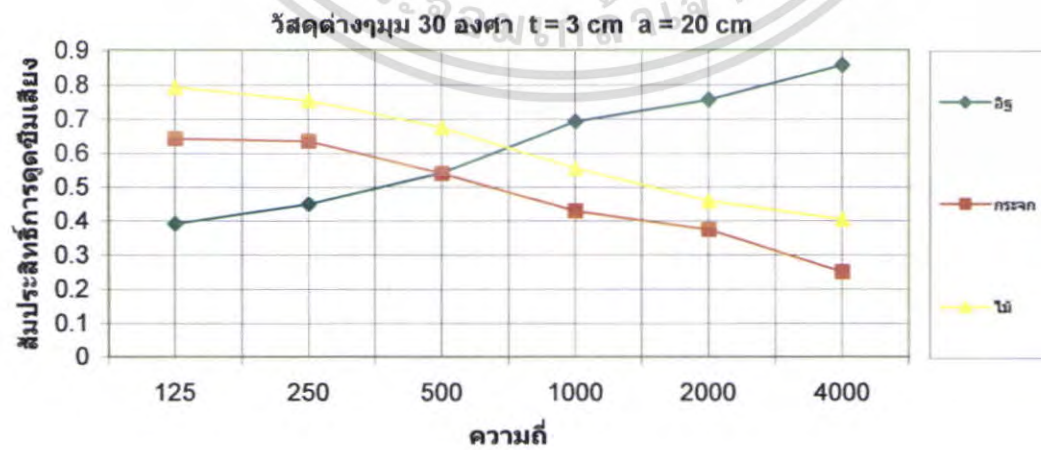
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.200 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 30^\circ$ ที่ $t = 1 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$



รูปที่ 5.201 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 30^\circ$ ที่ $t = 2 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$



รูปที่ 5.202 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ $\theta = 30^\circ$ ที่ $t = 3 \text{ cm}$ $a = 20 \text{ cm}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

จากกราฟเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ อิฐ, กระจก, ไม้ ความหนาของวัสดุจาก 1cm, 2cm, 3cm ตามลำดับ มุม $\theta = 30^\circ$ ช่องว่างอากาศเท่ากับ 20cm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงที่ดีที่สุดของวัสดุทั้ง 3 ชนิดนี้คือ อิฐที่มีความหนา 3cm ความถี่ 4000Hz



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของวัสดุ คือ อิฐ กระจกและ ไม้ ที่ความหนา 1, 2 และ 3cm ตามลำดับ ทำมุมกับวัสดุ คือมุม 90, 60, 45 และ 30 องศาตามลำดับ และมีช่องอากาศ คือ 0, 5, 10, 15 และ 20 cm โดยชุดทดลองออกแบบตามมาตรฐานASTM:C384-90a โดยป้อนความถี่ค่า คือ 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz, และ 4000Hz ตามลำดับ

สรุปได้ว่า

1. จากการเพิ่มความถี่จาก 125Hz เป็น 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz, และ 4000Hz ตามลำดับพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐจะแปรผันตามความถี่และความหนาเนื่องจากอิฐที่ใช้ในการทดลอง มีช่องว่างอากาศภายในจึงทำให้การดูดซึมเสียงคล้ายวัสดุพรุนกล่าวคือเมื่อป้อนความถี่ให้แก่วัสดุ ตามลำดับเมื่อความถี่กระทบกับวัสดุจะทำให้ความถี่ของการสั่นเท่ากับความถี่ของเสียงตกกระทบทำให้เกิดการสั่นตัวของโมเลกุลของอากาศในช่องว่างของวัสดุก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการเสียดทานและความหนืดนอกจากนี้ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่ของเสียงรวมทั้งการอัดและขยายของคลื่นเสียงในช่องว่างภายในของวัสดุจึงทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานเป็นจำนวนมากเมื่อความถี่ของเสียงมีค่าเพิ่มขึ้นส่วนไม้และกระจกสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงจะแปรผกผันกับความถี่เนื่องจากวัสดุทั้งสองชนิดจัดเป็นวัสดุเมมเบรนกล่าวคือวัสดุเหล่านี้จะเกิดการสั่นตัวด้วยความถี่เดียวกับความถี่ของเสียงตกกระทบเนื่องจากวัสดุประเภทนี้ไม่สามารถยึดหยุ่น ได้อย่างสมบูรณ์จึงมีการสูญเสียพลังงานไปบางส่วนเนื่องจากการถ่ายเทพลังงานจากคลื่นเสียงไปเป็นพลังงานความร้อนให้แก่วัสดุและที่ความถี่ต่ำๆวัสดุเหล่านี้จะมีประสิทธิภาพดูดซึมเสียง ได้ดีกว่าความถี่สูงเนื่องจากที่ความถี่ต่ำพลังงานเสียง จะทำให้วัสดุเมมเบรนเคลื่อนที่เสียงที่ความถี่สูงในขณะที่คลื่นความถี่สูงมักจะถูกสะท้อนออกจึงทำให้ที่ความถี่ยิ่งมากพลังงานเสียงก็จะยิ่งสูญเสียน้อยลงจึงทำให้สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงแปรผกผันกับความถี่
2. จากการทดลองพบว่าที่ความถี่เดียวกันเมื่อเปลี่ยนวัสดุทดสอบ ให้มีความหนามากขึ้นจาก 1 cm เป็น 2cm และ 3cm ตามลำดับพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงอิฐจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความหนา และความถี่ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของ ไม้ นั้นจะแปรผกผันกับความถี่แต่ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงจะเพิ่มขึ้นตามความหนาของไม้ส่วนกระจกพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงจะแปรผกผันกับความถี่เหมือนกันกับ ไม้ แต่ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงจะลดลงเมื่อเพิ่มความหนาของกระจกเนื่องจากความหนาแน่นภายในวัสดุมีความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกลดลง
3. จากผลการทดลองที่ผ่านมาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของอิฐที่ดีที่สุดอยู่ที่ความหนา 3cm ความถี่ 4000Hz มุม $\theta = 90^\circ$ ช่องว่างอากาศ 20cm ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของกระจกที่ดีที่สุด

อยู่ที่ความหนา 1cm ความถี่ 125Hz มุม $\theta = 45^\circ$ ช่องว่างอากาศ 20cm และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงของ ไม้ที่ตีที่ที่สุดอยู่ที่ความหนา 3cm ความถี่ 125Hz มุม $\theta = 45^\circ$ ช่องว่างอากาศ 0cm

- ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียง ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ความหนาแน่นของวัสดุ ช่องว่างอากาศภายในวัสดุ , ลักษณะผิวของวัสดุ, ความหนาของวัสดุ และลักษณะการวางวัสดุที่ทำมุมต่างๆกันออกไป
- ค่าความผิดพลาดของการทดลองอาจเกิดจากอุณหภูมิของอากาศที่ไม่เหมาะสม ทำให้มีผลต่อความเร็วเสียงในอากาศและอาจเกิดจากความผิดพลาดของผู้ทดลองเอง

ข้อเสนอแนะ

- ในการวิจัยครั้งต่อไปควรลดค่าความถี่ให้ต่ำกว่า 125 Hz และเพิ่มความถี่ให้สูงกว่า 4000 Hz เพื่อวิจัยว่า ความถี่สูงหรือต่ำเกินไป จะมีผลอย่างไรต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียง
- ในการวิจัยครั้งต่อไปควรวัดช่องว่างอากาศที่ 1cm และทำการเพิ่มขึ้นทีละ 1cm ว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียงช่วงไหนดีที่สุด
- ในการวิจัยครั้งต่อไปควรเพิ่มมุมให้น้อยกว่ามุม 30 องศา และเพิ่มมุมให้สูงกว่ามุม 90 องศา เพื่อวิจัยว่า ความมุมที่สูงหรือต่ำเกินไป จะมีผลอย่างไรต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียง
- ในการวิจัยครั้งต่อไปควรทดลองที่อุณหภูมิต่างๆ ว่าจะมีผลอย่างไรต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียง และรักษาระดับอุณหภูมิภายในช่องว่างอากาศ
- ในการวิจัยครั้งต่อไปควรทดลองวัสดุที่ใช้สามารถนำไปใช้ได้จริง ที่มีขายภายในท้องตลาด เช่น แผ่นยิปซัม ที่ความหนาที่มีในท้องตลาด หรือใช้วัสดุที่ทำหน้าที่ทำการรีไซเคิลนำมาทดลอง เช่น กลองลังกระดาษ โฟม ว่าจะมีผลอย่างไรต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียง และเพื่อลดขยะภายในโลกปัจจุบัน เป็นการช่วยลดสถานะโลกร้อนภายในตัว
- ในการวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาถึงลักษณะและรูปร่างของวัสดุดูดซึมเสียงในลักษณะต่างๆ เช่นการทำเป็นทรงกระบอก ทรงกลม หรือทรงกรวย เพื่อนำไปใช้แขวนภายในห้องที่ต้องการลดเสียงสะท้อนของคลื่นเสียง รวมทั้งควรมีการทดสอบความสามารถในการลดเสียงของวัสดุดูดซึมเสียงรูปร่างต่างๆ เหล่านั้น เพื่อให้วัสดุดูดซึมเสียงเหล่านั้นสามารถนำไปใช้งานได้กว้างมากขึ้น
- ในการวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษา เมื่อนำวัสดุที่ดูดซึมเสียงที่ได้จากการทดลองในครั้งนี้ เมื่อร่วมกับใยแก้ว โฟม และฟองน้ำ มาใส่ลงในช่องว่างอากาศ เพื่อศึกษาว่าจะมีผลอย่างไรกับวัสดุที่ทดสอบ

บรรณานุกรม

- [1] มิ่ง โลกจิแสงทอง, พงษ์ศักดิ์ คำมูล, 2006 Evaluation of Acoustic of Materials using a standing wave tube. การประชุมวิชาการเครือข่ายเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20, 18-20 ตุลาคม 2549 จังหวัดนครราชสีมา
- [2] Theory of sound, Macmilan and Co.,Ltd,London, Vol 2,1896, p.161, paragraph 301.
- [3] Rayleigh,The Theory of Sound, Vol 2,pp.323 ff, paragraph 350.
- [4] Beranek ,L.L. , Acoustic Measurements, pp.72,73
- [5] Maling,G.C.Jr., “ Calculation of the Acoustic Power Radiated by a Monopole in a Reverberation Chamber,” Journal of the Acoustic Society of America, Vol 42, 1967, p 859
- [6] Manual on Presentation of Data and Control Chart Analysis , ASTM STP 15D, ASTM,1976, Part 3
- [7] Northwoob,T.D “Absorption of Diffuse Sound by Strip Rectangular Patch of Absorptive material” Building Research Note . No 44 Nation Research Council,Ottawa,Canada,1964
- [8] ASTM C384-90a,1990.Standard test for impedance and sorption of acoustical materials by impedance tube method. The American Society for Testing and Materials, Vol.04.06.pp,100-110.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก สัญลักษณ์ของตัวแปรในสมการ

สัญลักษณ์

f	ความถี่	c	ความเร็วเสียง
r	รัศมีท่อ	d	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ
P_i	ความดันเสียงรวม	l	ความยาวท่อ
P_i	เหตุการณ์ความกดดัน	L_0	อัตราส่วนคลื่นขึ้น
P_r	ความกดดันสะท้อนกลับ	L_{\max}	ระดับความดันเสียงสูงสุด
θ	ระยะมุมระหว่างเหตุการณ์และคลื่นสะท้อนกลับ	L_{\min}	ระดับความดันเสียงต่ำสุด
Z_S	ความหน่วงเหนี่ยวเสียงจำเพาะที่จุดใดๆ	α_0	สัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียง
Z_N	ความหน่วงเหนี่ยวเสียงจำเพาะที่ผิวจันทดสอบ	n_r	ความเร็วรวมของอนุภาค
X_0	ตำแหน่งของผิวจันทดสอบ	X_2	ตำแหน่งของค่าต่ำสุดตัวที่สอง
X_1	ตำแหน่งของค่าต่ำสุดตัวที่หนึ่ง	ρ	ความหนาแน่นของอากาศ
R_p	แอมพลิจูดของสัมประสิทธิ์การสะท้อนความดัน	ω	ตัวเลขคลื่น
D_1	ระยะจากผิวจันทดสอบถึงค่าต่ำสุดที่ใกล้ที่สุดในคลื่นขึ้น		
D_2	ระยะจากค่าต่ำสุดแรกถึงค่าต่ำสุดที่สองในคลื่นขึ้น		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง 1

F

SOUND ABSORPTION COEFFICIENTS OF COMMON BUILDING MATERIALS, AUDIENCES, SEATS, MUSICIANS, ETC.

Material	Absorption Coefficients (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Brick						
Unpainted	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07
Painted	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
Concrete						
Unpainted	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
Painted	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
Concrete block						
Porous, unpainted	0.36	0.44	0.31	0.29	0.39	0.25
Painted	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08
Floors						
Concrete or terrazzo	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
Resilient tile on concrete	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
Parquet flooring	0.05	0.03	0.06	0.09	0.10	0.20
Varnished wood joist floor	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07
Glass						
Large panes of heavy plate glass	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
Standard window	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04
Gypsum board, 1/2 in., nailed to 2 x 4 in. studs, 16 in. o.c.	0.29	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09
Marble or glazed tile	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
Plasters						
Gypsum or lime, smooth	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
On lath, over airspace or on joists or studs	0.30	0.15	0.10	0.05	0.04	0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง 2

SOUND IN ENCLOSURES

TABLE 10.1. Coefficients of General Building Materials†

Building material	Thick- ness, in.	Coefficients					
		125	250	500	1000	2000	4000
Brick wall, unpainted	18	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05
Brick wall, painted	18	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
Plaster, gypsum, on hollow tile, plain or painted		0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04
Plaster, gypsum, scratch and brown coats on metal lath, on wood studs		0.04	0.04	0.04	0.06	0.06	0.03
Plaster, lime, sand finish on metal lath	3/4	0.04	0.05	0.06	0.06	0.04	0.06
Plaster, on wood wool		0.40	0.30	0.20	0.15	0.10	0.10
Plaster, fibrous	2	0.25	0.30	0.20	0.55	0.10	0.04
Poured concrete, unpainted		0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
Poured concrete, painted		0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
Wood, solid and polished	2	0.1		0.05		0.04	0.04
Wood, paneling, 2 to 4 in. air space behind	3/4-1 1/2	0.30	0.25	0.20	0.17	0.15	0.10
Wood platform with large space beneath		0.4	0.3	0.2	0.17	0.15	0.1
Glass		0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
Floors							
Slate on solid		0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
Wood on solid		0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02
Cork, linoleum, gypsum, or rubber tile on solid	3/4	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.02
Wood block, pitch pine		0.05	0.03	0.06	0.06	0.10	0.22
Carpets							
Wool pile, with underpad	3/4	0.20	0.25	0.35	0.40	0.60	0.75
Wool pile, on concrete	1 1/4	0.00	0.05	0.21	0.26	0.27	0.37
Draperies and fabrics							
Velour, hung straight							
10 oz./yd ²		0.04	0.05	0.11	0.18	0.30	0.35
14 oz./yd ²		0.05	0.07	0.13	0.22	0.32	0.35
18 oz./yd ²		0.05	0.12	0.35	0.48	0.35	0.36
Velour, draped to half area							
14 oz./yd ²		0.07	0.31	0.49	0.75	0.70	0.60
18 oz./yd ²		0.14	0.35	0.55	0.75	0.70	0.60
Seats and people (0.5 in square feet per person or per seat):							
Seats							
Chair: upholstered back, leather seats		2.0	2.5	3.0	3.0	3.0	2.5
Chair: theater, heavily upholstered		3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Orchestra chairs, wood		0.1	0.13	0.2	0.35	0.5	0.6
Cushions for pews, per person	1.5	1.0	1.5	1.7	1.7	1.6	1.4

† Collected and averaged by author from published data. Numerous inconsistencies in the published literature make accurate numbers impossible.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมเสียง 3

วัสดุ	ความหนา (cm)	ความถี่					
		125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
		absorption coefficient	absorption coefficient	absorption coefficient	absorption coefficient	absorption coefficient	absorption coefficient
อิฐ	1	0.331	0.345	0.39	0.404	0.396	0.437
	2	0.351	0.36	0.389	0.418	0.424	0.466
	3	0.385	0.385	0.408	0.42	0.442	0.481

วัสดุ	ความหนา (cm)	ความถี่					
		125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
		absorption coefficient	absorption coefficient	absorption coefficient	absorption coefficient	absorption coefficient	absorption coefficient
กระฉก	1	0.049	0.048	0.046	0.043	0.038	0.031
	2	0.046	0.045	0.043	0.041	0.034	0.03
	3	0.042	0.043	0.038	0.034	0.032	0.028

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้