วารสารมหาวิทยาลัยบูรพา
ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 มกราคม เมษายน 2539

การหาสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของวัตถุ
Determination of the Sound Absorption Coefficients of Materials

อาจารย์นิรันดร์ วิทิตอนันต์
ภาควิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

1. บทนำ

มลพิษทางเสียงเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมสำคัญปัญหาหนึ่งที่มีผลกระทบต่อผู้เกี่ยวข้องทั้งทางตรงและทางอ้อมในช่วงเวลาที่ผ่านมาพบว่าผลกระทบของมลพิษทางเสียงที่มีต่อสังคมไทยนั้นได้ขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มิได้เป็นเพียงสิ่งรบกวนซึ่งทำให้เกิดความรำคาญเท่านั้นแต่ยังก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยและทรัพย์สินของผู้เกี่ยวข้องด้วย สิ่งหนึ่งที่กระตุ้นให้สังคมมีการตื่นตัวต่อผลกระทบของมลพิษทางเสียงคือการเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างมากมายของแหล่งกำเนิดเสียงในชุมชน รวมทั้งการขยายตัวของแหล่งกำเนิดเสียงออกไปสู่ชุมชนในชนบทซึ่งเดิมมีแต่ความเงียบสงบ จึงมีความจำเป็นต้องหาแนวทางในการจัดการ ตลอดจนการวางมาตรการทางกฎหมายเพื่อควบคุมมลพิษทางเสียงในชุมชนเหล่านั้นด้วย

แนวทางในการควบคุมเพื่อลดระดับความรุนแรงของปัญหามลพิษทางเสียงนี้สามารถทำได้หลายวิธีคือ (1) การควบคุมที่แหล่งกำเนิดเสียง (2) การควบคุมที่เส้นทางเดินของเสียง และ (3) การควบคุมที่ตัวผู้รับฟังเสียง ทั้งนี้การควบคุมที่ดีที่สุดคือการควบคุมที่แหล่งกำเนิดเสียงโดยการลดระดับเสียงที่ออกจากแหล่งกำเนิดให้น้อยลง แต่ถ้าหากไม่สามารถทำได้อาจใช้วิธีการควบคุมที่เส้นทางเดินของเสียงซึ่งทำได้โดยการใช้วัตถุที่มีสมบัติในการดูดกลืนคลื่นเสียงได้ดีหรือวัตถุที่มีสมบัติในการส่งผ่านคลื่นเสียงได้ไม่ดี มาวางกั้นระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนกับบริเวณที่ต้องการความสงบ แต่สุดท้ายแล้วถ้าหากปัญหาดังกล่าวยังไม่สามารถกำจัดให้หมดหรือลดลงได้จะต้องใช้วิธีสุดท้ายคือการควบคุมที่ตัวผู้รับฟังเสียงทำได้โดยการใช้ที่ครอบหูหรือที่เสียบหู

บทความนี้จะได้อธิบายเกี่ยวกับวัตถุดูดกลืนเสียง กลไกการดูดกลืนคลื่นเสียงของวัตถุ ตลอดจนวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของวัตถุด้วยวิธีใช้คลื่นนิ่งในท่อ (standing wave tube method)

2. วัตถุดูดกลืนเสียง

ในทางปฏิบัติแล้วในการควบคุมปัญหามลพิษทางเสียงด้วย การควบคุมที่แหล่งกำเนิดเสียงและการควบคุมที่ตัวผู้รับฟังเสียงนั้นมักจะทำได้ค่อนข้างยาก อีกทั้งยังต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเป็นจำนวนมาก ดังนั้นปัญหามลพิษทางเสียงที่เกิดขึ้นแล้วส่วนใหญ่มักจะพยายามทำโดยการควบคุมที่เส้นทางเดินของเสียง โดยเฉพาะปัญหามลพิษทางเสียงในอาคารบ้านเรือนหรือสถานประกอบการต่าง ๆ เกี่ยวกับการควบคุมมลพิษทางเสียงที่เส้นทางเดินเสียงนี้ สามารถทำได้โดยการใช้กำแพงกั้นเสียงช่วยซึ่งทำได้ในหลายรูปแบบดังนี้คือ (1) ปิดล้อมแหล่งกำเนิดเสียง (2) ปิดล้อมผู้รับฟังเสียงและ (3) กั้นระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงและผู้รับฟังเสียง โดยระดับเสียงที่ลดลงหลังการติดตั้งจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะของการติดตั้งกำแพงกั้นเสียงนั้น ๆ อย่างไรก็ตามคุณสมบัติเชิงกายภาพของวัตถุกั้นเสียงนั้นจะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการลดระดับเสียงของวัตถุนั้น ๆ ด้วย

วัตถุที่มีเหมาะสำหรับใช้ในการควบคุมเสียงควรเป็นวัตถุที่มีคุณสมบัติในการดูดกลืนเสียงได้เป็นอย่างดี ซึ่งวัตถุที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงดังกล่าวประเภทหนึ่งคือ "วัตถุพรุน (porous materials)" เช่น ซีโลเทกซ์ (celotex) ผลิตจากผงชานอ้อยและอัดให้ยึดติดกันด้วยสารเคมี แอคูสติกบอร์ (acoustic board) ผลิตจากไม้ซึ่งนำมาสับเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำเข้าอัดให้ติดกันด้วยกาวภายใต้เครื่องอัดแรงสูง แล้วนำไปเซาะร่องเป็นแนวยาวตลอดความยาวของแผ่นใช้สำหรับบุฝาผนังห้องที่ต้องการเก็บเสียง เซลโลกรีตหรือใยไม้อัด (cellocrete) ผลิตจากไม้ชิ้นเล็ก ๆ ผสมคลุกเคล้ากับซีเมนต์แล้วอัดเข้าด้วยกันให้เป็นแผ่น

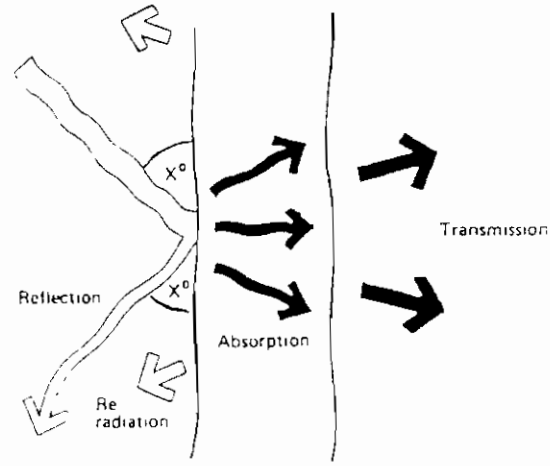
ความสามารถในการลดระดับเสียงโดยการดูดกลืนคลื่นเสียงของวัตถุใดๆสามารถบอกได้ด้วยค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนคลื่นเสียงซึ่งเป็นค่าที่ ที่ขึ้นกับพลังงานเสียงที่ตกกระทบกับพลังงานเสียงที่ถูกดูดกลืนของวัตถุนั้น ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อคลื่นเสียงตกกระทบผิวของวัตถุที่มีความสามารถในการดูดกลืนคลื่นเสียงจะมีพลังงานส่วนหนึ่งที่สะท้อนออกไปและอีกส่วนหนึ่งถูกดูดกลืนโดยวัตถุนั้น อาจกล่าวโดยสรุปได้ว่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของวัตถุ หมายถึง "อัตราส่วนของพลังงานเสียงที่ถูกดูดกลืนต่อพลังงานเสียงที่ตกกระทบของวัตถุนั้น ๆ" ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$\alpha = \frac{W_a}{W_i} \qquad .....(1)$$

โดย α = สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง

W_a = กำลังเสียงที่ถูกดูดกลืนโดยวัตถุ (W)

W_i กำลังเสียงที่ตกกระทบบนวัตถุ (W)



ภาพที่ 1 ปรากฏการณ์สะท้อน ดูดกลืน และส่งผ่านคลื่นเสียงของวัตถุ

3. กลไกการดูดกลืนคลื่นเสียงของวัตถุ

เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบวัตถุใด ๆ เช่น ผนังหรือกำแพง จะเกิดปรากฏการณ์สำคัญที่เกี่ยวเนื่องกัน 3 ประการ คือ (1) พลังงานของคลื่นเสียงบางส่วนสะท้อนออกจากผนังของวัตถุที่คลื่นเสียงนั้นตกกระทบกลับเข้าสู่ตัวกลางเดิม (2) พลังงานของคลื่นเสียงบางส่วนถูกดูดกลืนโดยวัตถุที่เสียงนั้นตกกระทบ และ (3) พลังงานของคลื่นเสียงบางส่วนถูกส่งทะลุผ่านไปยังอีกด้านหนึ่งของวัตถุที่คลื่นเสียงนั้นตกกระทบ (ภาพที่ 1) ซึ่งปรากฏการณ์ที่เกิดนี้สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$Ei = Er + Ea + Et \quad .....(2)$$

โดย Ei = พลังงานเสียงที่ตกกระทบวัตถุ (W)

Er = พลังงานเสียงที่สะท้อนออกจากวัตถุ (W)

Ea = พลังงานเสียงที่ถูกดูดกลืนในวัตถุ (W)

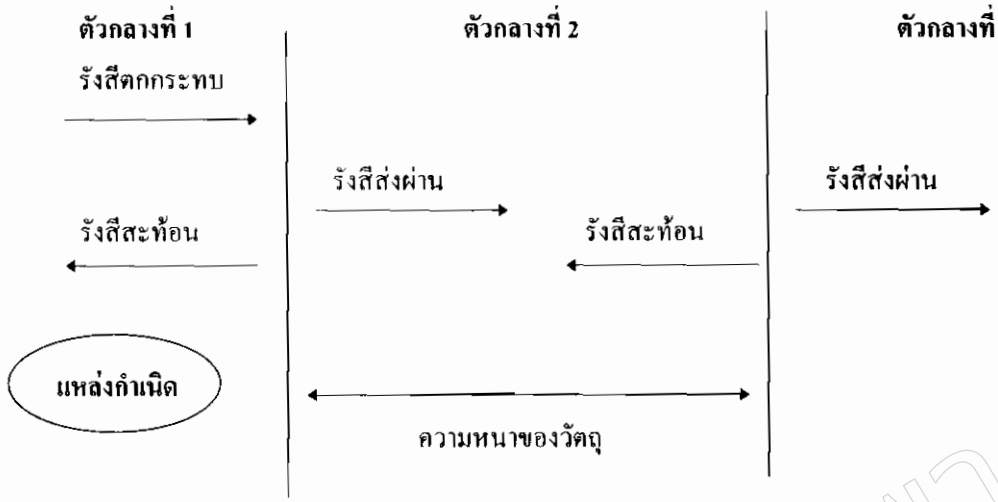
Et = พลังงานเสียงที่ผ่านไปอีกด้านของวัตถุ (W)

พลังงานของคลื่นเสียงที่ถูกดูดกลืนหรือพลังงานของคลื่นเสียงที่ลดลงเมื่อผ่านไปยัง อีกด้านหนึ่งของวัตถุนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานในรูปอื่น ซึ่งบางส่วนถูกใช้ไปเพื่อทำให้ผิวของวัตถุที่เสียงตกกระทบเกิดการสั่นตัว และบางส่วนถูกเปลี่ยนกลายเป็นพลังงานความร้อน

ทั้งนี้หากพิจารณาในรายละเอียดเกี่ยวกับกลไกการดูดกลืนและส่งผ่านคลื่นเสียงสามารถอธิบายได้ว่าในกรณีปกติถ้าหากมีคลื่นระนาบ เคลื่อนที่ผ่านตัวกลางแตกต่างกัน 3 ชนิด (ภาพที่ 2) โดยสมมติให้แหล่งกำเนิดเสียงมีลักษณะคงที่ และตั้งอยู่ในตัวกลางที่ 1 (จากภาพที่ 2 แนวรังสีของคลื่นตกกระทบจะเคลื่อนที่จากซ้ายไปขวา) เมื่อคลื่นระนาบแผ่กระจายจากแหล่งกำเนิดมาถึงขอบของรอยต่อของตัวกลางที่ 1 และ 2 แล้วจะเกิดการสะท้อนของแนวรังสีกลับไปยังตัวกลางที่ 1 และส่งผ่านแนวรังสีของคลื่นบางส่วนไปยังตัวกลางที่ 2 และเมื่อคลื่นที่ผ่านมายังตัวกลางที่ 2 เคลื่อนที่ต่อไปจนถึงขอบของรอยต่อของตัวกลางที่ 2 และ 3 แล้วจะเกิดคลื่นสะท้อนกลับมายังตัวกลางที่ 2 และส่งผ่านไปยังตัวกลางที่ 3 เช่นเดียวกัน ทั้งนี้ขบวนการสะท้อนและส่งผ่านที่เกิดขึ้น ณ รอยต่อของตัวกลางนี้จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องสำหรับแหล่งกำเนิดเสียงที่มีลักษณะคงที่ โดยความเข้มเสียงของคลื่นที่สะท้อนกลับมายังตัวกลางที่ 1 และที่ส่งผ่านไปยังตัวกลางที่ 3 ขึ้นอยู่กับ ความหนาแน่นของตัวกลาง ความเร็วในการแผ่กระจายของ คลื่นในแต่ละตัวกลาง และความหนาของตัวกลางที่ 2

การดูดกลืนเสียงหมายถึงการเปลี่ยนแปลงผลรวมของพลังงานเสียงที่ลดน้อยลงเมื่อผ่านตัวกลางใด ๆ หรืออาจกล่าวได้ว่าการดูดกลืนเสียง คือ ความสามารถของวัตถุในการดูดกลืนพลังงานเสียงโดยเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน สำหรับวัตถุที่สามารถดูดกลืนคลื่นเสียงได้ดีจะเป็นวัตถุจำพวกเส้นใย (fibrous) และ วัตถุพรุน (porous) หรืออธิบายได้ว่าเมื่อเสียงกระทบวัตถุใดๆ เสียงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนและส่งผ่านเข้า ไปในวัตถุนั้น ทั้งนี้จะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและคุณลักษณะของวัตถุนั้นเป็นสำคัญ คลื่นเสียง ที่ผ่านเข้าไปในวัตถุที่เสียงนั้นตกกระทบจะมีพลังงานลดลงเนื่องจากพลังงานส่วนหนึ่งจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานรูปอื่น เช่น พลังงานความร้อน

สำหรับกลไกการดูดกลืนคลื่นเสียงของวัตถุอธิบายได้ดังนี้ เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบวัตถุแล้ว นอกจากจะเกิดการสะท้อนของคลื่นแล้ว ยังเกิดการส่งผ่านของคลื่นเสียงผ่านเข้าไปในวัตถุนั้น ๆ ด้วยพลังงานที่ลดลง ซึ่งการลดลงของพลังงานที่ส่งผ่านนี้เกิดขึ้นเนื่องจากคลื่นเสียงที่ตกกระทบได้ทำให้ผิวหน้าของวัตถุนั้นเกิดการสั่นตัวโดย พลังงานจากการสั่นตัวนี้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน เนื่องจากคุณสมบัติเกี่ยวกับแรงเสียด ทานของวัตถุ ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นกับวัตถุที่มีรูพรุน ช่อง ฯลฯ ซึ่งมีความสามารถเปลี่ยนเส้น ทางเดินของเสียงขณะที่อยู่ในตัวกลางนั้นได้

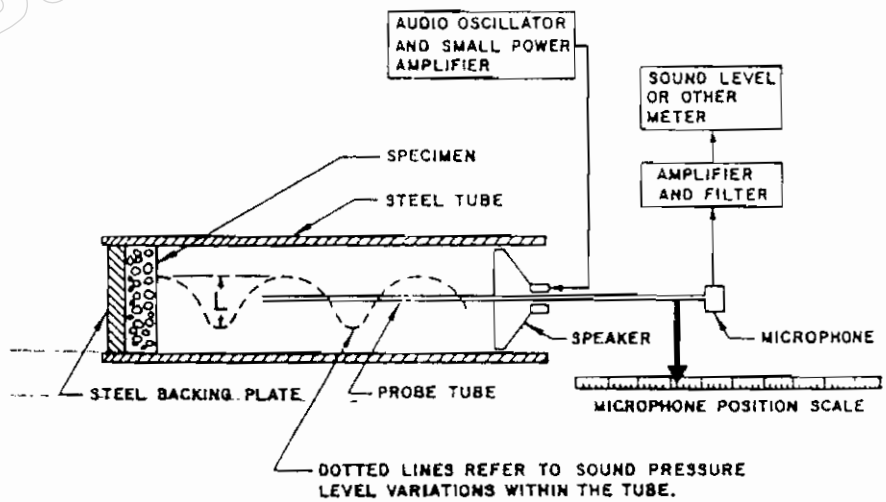


ภาพที่ 2 กลไกการดูดกลืนและส่งผ่านคลื่นเสียงในตัวกลางต่างชนิด

4. การหาค่าการดูดกลืนเสียงด้วยวิธีใช้คลื่นนิ่งในท่อ (standing wave tube method)

การหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนคลื่นเสียงด้วยวิธีนี้เป็นวิธีมาตรฐานในการทดสอบวัตถุ ของ American Society for Testing and Materials ที่ ASTM C384-58 ซึ่งจัดชุดทดสอบตามภาพที่ 3 โดยตัวอย่างของวัตถุที่จะศึกษาจะถูกวางไว้ที่ปลายท่อที่มีผนังหนาแข็ง โดยมีแผ่นเหล็กหนาแข็งรองรับและยึดแน่นติดกับตัวท่อ เพื่อป้องกันการดูดกลืนเสียงของเครื่องมือเอง ที่ปลายท่ออีกข้างหนึ่งมีลำโพงติดตั้งไว้ตามแกนของท่อ

สัญญาณเสียงที่ความถี่กลาง octave จากเครื่องกำเนิดสัญญาณจะส่งเข้าลำโพง ซึ่งจะแพร่คลื่นระนาบไปตามท่อไปตกกระทบบนตัวอย่างวัตถุ บางส่วนของคลื่นระนาบจะถูกสะท้อนกลับมาตามท่อเข้าหาลำโพง ในการนี้จะเกิดปรากฏการณ์แทรกสอดเป็นคลื่นนิ่งภายในท่อ ความดันของเสียงภายในท่อจะถูกวัดด้วยไมโครโฟน ที่เคลื่อนที่ไปมาได้ตามแกนของเครื่องมือ โดยที่ไมโครโฟนนี้จะมีท่อโพรบอ่านได้จากสเกลที่ฐานของเครื่องมือ จากการวัดอัตราส่วนระหว่างความดันเสียงสูงสุดต่อต่ำสุดภายในท่อ และ สามารถคำนวณหาสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของตัวอย่างวัตถุได้



ภาพที่ 3 การจัดอุปกรณ์ในการหาสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง

ถ้าให้ความดันเสียงตกกระทบ P_i ของคลื่นระนาบอาจเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$P_i = A \cos 2\pi ft \quad .....(3)$$

โดย A = อัมปริจูดของความดันเสียง

f = ความถี่

t = เวลา

คลื่นสะท้อน ณ ที่จุดเดียวกันนั้นในท่อจะมีความดันเป็น P_r

$$P_r = B \cos 2\pi f(t - \frac{2d}{c}) \quad .....(4)$$

โดย B = อัมปริจูดของคลื่นสะท้อน

d = ระยะที่จุดนั้นห่างจากผิวของวัตถุ

c = ความเร็วของคลื่นเสียง

ความดันลัพธ์ P ณ จุดห่างจากวัตถุตัวอย่าง d หาได้จาก

$$P = Pi + Pr \quad .....(5)$$

$$= A \cos 2\pi ft + B \cos 2\pi f(t - \frac{2d}{c}) \quad .....(6)$$

ความดันเสียงสูงสุดเกิดขึ้นเมื่อ

$$d = \frac{\lambda}{2} \quad .....(7)$$

และ

$$P_{max} = (A + B) \cos 2\pi ft \quad .....(8)$$

ความดันต่ำสุดเกิดขึ้นเมื่อ

$$d = \frac{\lambda}{4} \quad .....(9)$$

และ

$$P_{min} = (A - B) \cos 2\pi ft \quad .....(10)$$

ทั้งนี้อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (standing wave ratio) มีค่าเท่ากับ

$$n = \frac{P_{max}}{P_{min}} \quad .....(11)$$

$$= \frac{(A + B)\cos 2\pi ft}{(A - B)\cos 2\pi ft}$$

$$= \frac{(A + B)}{(A - B)} \quad .....(12)$$

แต่สัมประสิทธิ์การสะท้อน (refection coefficient) มีค่าเท่ากับ

$$r = \frac{B}{A} \quad .....(13)$$

$$r = \frac{(n - 1)}{(n + 1)} \quad .....(14)$$

ดังนั้นสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงซึ่งเป็นอัตราส่วนของพลังงานเสียงที่ถูกดูดกลืนโดยวัตถุต่อพลังงานเสียงที่ตกกระทบมีค่าเท่ากับ

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

$$\alpha = 1 - (\frac{n - 1}{n + 1})^2$$

$$\alpha = \frac{4n}{(n + 1)^2} \quad .....(15)$$

ดังนั้นถ้าเราวัดค่า n ได้ เราก็จะสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนคลื่นเสียงได้จากสมการที่ (15) โดยตรง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนคลื่นเสียงที่หาได้โดยวิธีนี้ มีข้อจำกัดที่ว่าคลื่นเสียงตกกระทบบนวัตถุในทิศทางตั้งฉากเท่านั้น ซึ่งโดยแท้จริงแล้วในการใช้งานของวัตถุดูดกลืนคลื่นเสียงนั้น คลื่นเสียงจะตกกระทบวัตถุเป็นมุมต่าง ๆ กันมากมาย ซึ่งเมื่อคำนึงถึงข้อจำกัดนี้ค่าที่วัดโดยวิธีใช้คลื่นยืนนิ่งในท่อจะต่ำกว่าค่าที่ควรจะเป็นอยู่บ้าง ยิ่งกว่านั้น ขนาด และวิธีการติดตั้งตัวอย่างวัตถุที่ใช้ในวิธีนี้ก็ยังแตกต่างกับสภาวะการใช้งานจริงอยู่มาก ทั้งนี้อันที่จริงแล้วค่าการดูดกลืนคลื่นเสียงของวัตถุใด ๆ นั้นจะขึ้นอยู่กับขนิด ตำแหน่งและการกระจายของวัตถุในห้อง.

ตารางที่ 1 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง ของตัวอย่างสิ่งก่อสร้างและตบแต่ง

Material	Frequency (Hz)					
	125	250	500	1,000	2,000	4,000
Carpets						
Ozonite	0 05	0.13	0 20	0.42	0.48	0 48
Heavy, on concrete	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.65
Heavy on 40 oz hairfelt or foam rubber	0.08	0 24	0.57	0 69	0.71	0.73
Heavy, with impermeable latexbacking on 40 oz hairfelt or foam rubber	0 08	0.27	0.39	0.34	0.48	0 63
Concrete						
Poured/unpainted	0 36	0 44	0.31	0.29	0 39	0.25
Poured/painted	0 10	0 05	0.06	0.07	0.09	0.08
Blocks/unpainted	0 36	0.44	0.31	0.29	0 39	0 25
Blocks/painted	0 10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08
Cotton						
Fabric, 14 oz/yd2 draped to half area	0 07	0.31	0 49	0.81	0.66	0.54
Fabric, draped to 7/8 area	0.03	0 12	0.15	0.27	0.37	0.42
Gysum wall board						
1/2 in gypsum wall board on 2X4 stds at 16 in on center	0 29	0.10	0.05	0.04	0 07	0 09
5/8 in. gypsum wall board on 2X4 stds at 16 in. on center	0 20	0 08	0.05	0.05	0.05	0.05

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

บรรณานุกรม

นิรันดร์ วิทิตอนันต์. 2535 สมถรรนะในการลดระดับความดังเสียงของวัตถุพรุน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

Beranek, L.L. 1949. Acoustic Measurements John Wiley & Sons,New York 914 p

Cocker, M J 1975. Noise and Noise Control CRC Press, Ohio 299 p.

Harris, C M 1979 Handbook of Noise Control. 2nd ed McGraw-Hill, Rain-Bridge, Taiwan

Kinsler, L.E , D.P Lewis and R C Bryant, J D 1978.Noise Controlin the Workplace Aspen System Corporation, Germantown,Maryland 360 p

Siekman, W and J W Sullivan 1976 Accustic absorption and transmission-loss materials, pp. 146-206 In L L Faulkner (ed) Handbook of Industrial Noise Control Industrial Press, Inc., New York.

Thumann, A and R M Miller 1986 Fundamental of Noise Control Engineering. Fairmont Press, Inc., Georgia 287 p.

Walker, A.W. 974 Acoustic materials for absorption, pp.41-49 in S.A. Petrusewicz and D.K. Longmore (eds) Noise and Vibration Control for Industrialists Elek Science, London.

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University