บทที่ ๒

การศึกษาผลงานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ผู้อื่นทำไว้

(Literature review)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงการก่อสร้างทางพิเศษสำหรับกรุงเทพมหานคร [๑]

การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (เรียกชื่อย่อว่า กทพ.) เป็นรัฐวิสาหกิจ ซึ่งจัดตั้งขึ้นตามประกาศของคณะปฏิวัติ ฉบับที่ ๒๘๐ ลงวันที่ ๒๗ พฤศจิกายน พ.ศ. ๒๕๑๕ โดยมีวัตถุประสงค์จะสร้าง จัดให้มี และดำเนินการต่าง ๆ เกี่ยวกับทางพิเศษ เพื่ออำนวยความสะดวก และรวดเร็วแก่จราจร และการขนส่งเป็นพิเศษ ช่วยขจัดปัญหาอุปสรรคในส่วนที่เกี่ยวกับเส้นทางคมนาคม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณกรุงเทพมหานคร

กทพ. ได้อนุมัติในหลักการสำหรับโครงการก่อสร้างทางพิเศษ จากคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ ๕ มีนาคม ๒๕๑๗ และวันที่ ๑๓ กรกฎาคม ๒๕๒๐ ไว้เป็นระบบคือ

ระบบทางด่วน

ทางด่วนมีลักษณะเหมือนถนน ซึ่งจัดสร้างให้เป็นทางวิ่งสำหรับยวดยานวิ่งคนละทาง แต่มีการควบคุมการเข้าหรือออก หมายความว่า อนุญาตให้ยวดยานเข้าหรือออกจากทางด่วนได้ เฉพาะจุดที่ทำทางเข้า หรือออกไว้เท่านั้น บริเวณที่ทางด่วนตัดกับถนนเดิม จะทำการก่อสร้างเป็นทางคนละระดับ เพื่อป้องกันไม่ให้ยวดยานมีโอกาสชนกัน ด้านข้างของทางด่วนจะมีรั้วกั้นสองข้างทาง เพื่อป้องกันคนหรือสัตว์ เข้าไปกีดขวางการจราจรโดยเด็ดขาด ดังนั้น ทางด่วนจึงเป็นถนนชนิดที่รถยนต์ส่วนตัว รถยนต์โดยสาร และรถยนต์บรรทุกสามารถวิ่งไปสู่จุดหมายปลายทางได้ด้วยความรวดเร็วและปลอดภัย

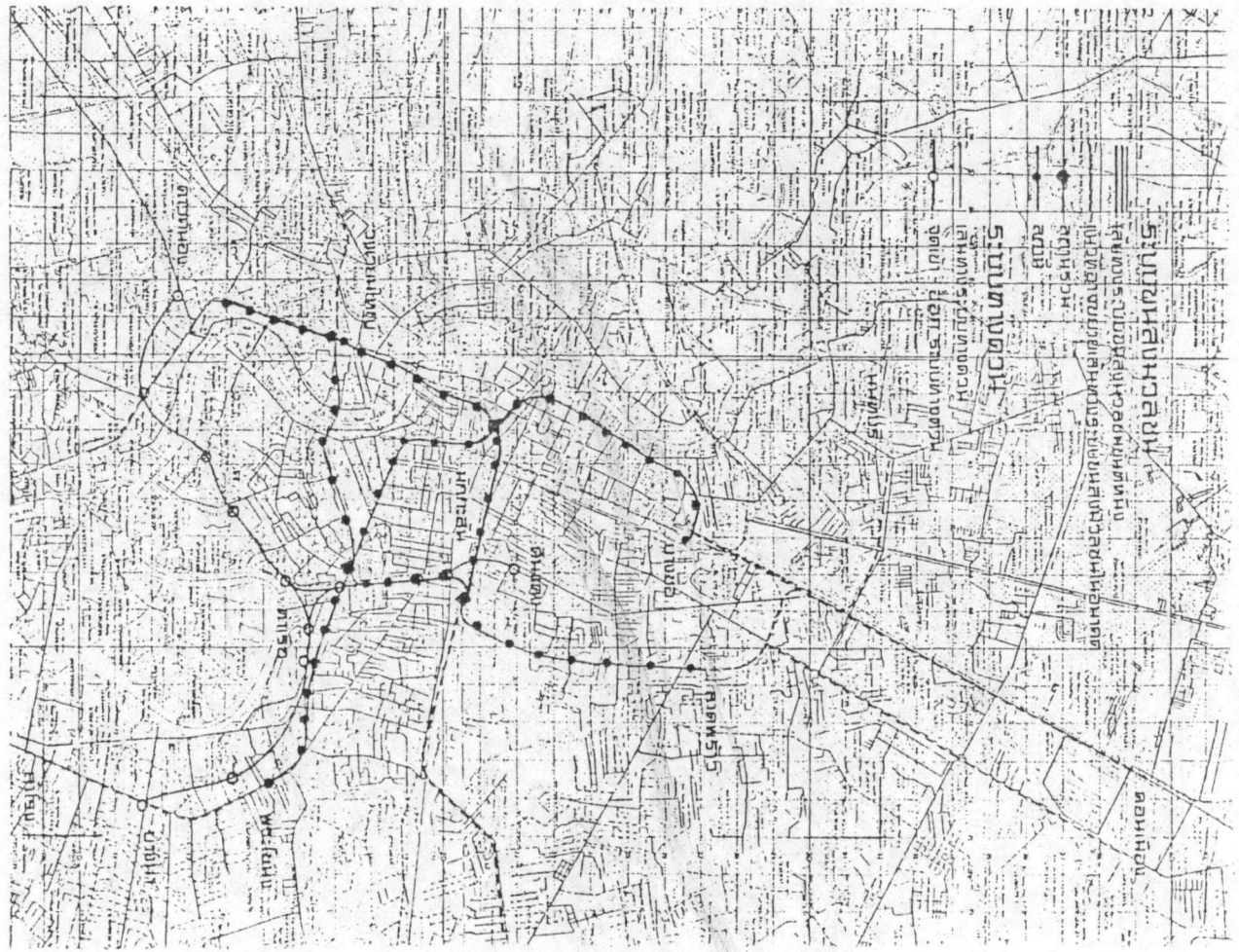
ระบบทางด่วนหมายถึงการเชื่อมทางด่วนหลายสายเข้าด้วยกันเป็นระบบ เพื่อให้มีประโยชน์ในการใช้สอยร่วมกัน ซึ่งการทำเช่นนี้สามารถอำนวยความสะดวกแก่ยวดยานเพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณ กว่าประโยชน์จากทางด่วนเฉพาะสายใดสายหนึ่ง

ระบบทางด่วนชั้นที่ ๑ ประกอบด้วยทางด่วน ๓ สาย มีความยาวทั้งสิ้น ๒๗.๑ กิโลเมตร ได้แก่

๑. สายดินแดง–ท่าเรือ ระยะทาง ๘.๔ กิโลเมตร
๒. สายบางนา–ท่าเรือ ระยะทาง ๗.๔ กิโลเมตร
๓. สายดาวคะนอง–ท่าเรือ ระยะทาง ๑๐.๓ กิโลเมตร

เพื่อเชื่อมโยงทางหลวงแผ่นดินสายดินแดง–ดอนเมือง สายธนบุรี–ปากท่อ และสายบางนา–ตราด เข้าด้วยกัน ยวดยานต่าง ๆ สามารถใช้ทางด่วนทั้ง ๓ สายติดต่อไปยังภาคเหนือ ภาคตะวันออก และภาคใต้โดยตรง และรวดเร็ว ปลอดภัยไม่ต้องเข้ามาแออัดยัดเยียดอยู่ในเมืองดังปัจจุบัน

รูปที่ 2.1 โครงการก่อสร้างทางพิเศษ
ระบบทางด่วนและระบบขนส่งมวลชนขั้นที่ 1 พ.ศ.2521 - 2527



มาตรฐานสำหรับทางด่วนพิเศษ

ลักษณะของทางด่วนพิเศษ Expressway

ลักษณะถนน	ทางด่วนพิเศษ
หน้าที่และลักษณะการออกแบบ	ควบคุมการเข้าออก มีลักษณะเป็นทางต่างระดับตัดกัน ไม่อนุญาตให้จอดรถข้างทางวิ่ง
ความกว้าง	เขตทางกว้าง ๑๕๐ – ๒๕๐ ฟุต
	ผิวจราจรกว้าง ๑๒ ฟุตต่อเลน
	ไหล่ถนนกว้าง ๘ – ๑๐ ฟุต
	เกาะกลางถนนกว้าง ๘ – ๓๐ ฟุต
ความชันสูงสุด	๓ เปอร์เซนต์
ความเร็ว	๕๐ ไมล์ต่อชั่วโมง

ประโยชน์ที่จะได้รับเนื่องจากการก่อสร้างระบบทางด่วน

ระบบทางด่วนจะเชื่อมทางหลวงแผ่นดินสายประธาน ๓ สาย ซึ่งติดต่อไปยังภาคเหนือ ภาคตะวันออก และภาคใต้ มีความยาวทั้งสิ้น ๒๗.๑ กิโลเมตร มี ๖ ช่องจราจร มีเกาะกลาง และมีการควบคุมการเข้าออก ซึ่งจะเปิดให้เข้าออกเฉพาะที่แยกดินแดง ถนนเพชรบุรี ถนนสุขุมวิท ถนนพระราม ๔ ถนนเกษมราษฎร์ ทางเข้าท่าเรือแห่งใหม่ สุขุมวิทซอย ๖๒ สี่แยกบางนา ถนนนางลิ้นจี่ ถนนเลียบแม่น้ำ ถนนสุขสวัสดิ์และที่ทางหลวงสายธนบุรี–ปากท่อ

ระบบทางด่วนจะช่วยให้

๑. ประหยัดพลังงานน้ำมัน

๒. ประหยัดเวลาในการเดินทาง

๓. ประหยัดเงินค่าบำรุงรักษารถ

๔. ลดปริมาณยวดยานบนถนนทั่วไปในกรุงเทพมหานคร เนื่องจากรถซึ่งเดินทางระหว่างต่างจังหวัด หันมาใช้ทางด่วนไม่จำเป็นต้องเข้าเมือง

๕. ลดปริมาณยวดยานในบริเวณถนนที่ใกล้เคียงทางด่วน เนื่องจากใช้ระบบทางด่วนจะเดินทางได้รวดเร็วกว่า

๖. ประหยัดค่าขนส่งสินค้าจากท่าเรือกรุงเทพฯ ไปยังต่างจังหวัด

๗. ลดอุบัติเหตุ

รูปที่ 2.2 แสดงถึงประโยชน์ที่สังคมได้รับ และจำนวนรถยนต์ที่ขับบนทางด่วน

ฟิสิกส์ของเสียง[๒]

เสียง

เสียงเป็นพลังงานรูปหนึ่ง ซึ่งเปลี่ยนแปลงมาจากพลังงานรูปอื่น และสามารถเปลี่ยนไปเป็นพลังงานรูปอื่นได้ด้วย กับทั้งทำให้โสตประสาทของคนปกติ เกิดความรู้สึกในการได้ยินเสียงไม่มีตัวตน ไม่ต้องการที่อยู่ ไม่มีมวล ดังนั้น จึงอาจเชื่อได้ว่า เสียงไม่เป็นสสาร เสียงเกิดขึ้นได้จากการสั่นของวัตถุ ไม่ว่าจะเป็นสสารใด ๆ แม้แต่อากาศเมื่อทำให้เกิดการสั่นอย่างรวดเร็วพอเหมาะก็จะทำให้เกิดเสียงได้

มีสมบัติประการหนึ่งที่จะเห็นได้ง่ายจากการเคาะวัตถุ เช่นแผ่นไม้ให้สั่นก็คือถ้าวัตถุได้รับแรงมาก ย่อมทำให้ช่วงกว้างของการสั่น (Amplitude) มีความกว้างมากขึ้น และทำให้พลังงานเกิดมากขึ้นได้ เสียงก็จะดังมากขึ้น ผลการสั่นของวัตถุทำให้อากาศเกิดการอัดและขยาย เป็นคลื่นตามจังหวะของการสั่นของวัตถุนั้น

ลักษณะของการสั่นแบ่งออกเป็น

๑. การสั่นตามขวาง (Transverse Vibration)

คลื่นขวาง คือคลื่นที่เมื่อเคลื่อนไปในตัวกลางใด อนุภาคของตัวกลางนั้นสั่นในแนวตั้งฉาก กับแนวทางของการเคลื่อนที่ของคลื่น เช่นคลื่นแสง คลื่นความร้อน คลื่นวิทยุ

๒. การสั่นตามยาว (Longitudinal Vibration)

คลื่นตามยาว คือคลื่นที่เมื่อเคลื่อนไปในตัวกลางใด อนุภาคของตัวกลางนั้นจะสั่นในแนวเดียวกับแนวทางที่คลื่นเคลื่อนที่ไป เช่นคลื่นเสียง

ลักษณะการสั่นซึ่งทำให้เกิดคลื่น พอจะให้นิยามของคำว่าคลื่น (wave) ได้ว่า

คลื่น (wave) คือสถานะหนึ่งของการรบกวนซึ่งเคลื่อนไปในตัวกลางด้วยความเร็วจำกัด เมื่อการรบกวนเคลื่อนไปในตัวกลางถึงไหนก็ตาม ตัวกลางก็จะปรากฏเป็นคลื่น ณ ที่นั้น

การเคลื่อนที่ชนิดคลื่นและคลื่นเสียง (Wave motion and sound wave)

การเคลื่อนที่ชนิดคลื่นนั้น เป็นการเคลื่อนที่ที่มีจังหวะสม่ำเสมอ เป็นลักษณะเฉพาะที่เรียกว่าการเคลื่อนที่ชนิด Simple Harmonic เนื่องจากคลื่นเสียง (Sound wave) ที่เราจะได้ศึกษานี้มีการเคลื่อนที่แบบ Simple Harmonic Motion

ลักษณะของการเคลื่อนที่ชนิดคลื่นประกอบด้วย

๑. การแกว่งครบ ๑ รอบ (One complete vibration)
๒. ช่วงกว้างของการสั่น (Amplitude)
๓. คาบของการสั่น (Period)
๔. ความถี่ (Frequency)

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว ความยาวคลื่น และความถี่ของคลื่น

ความเร็ว (Velocity) ของคลื่น คือระยะทางที่คลื่น ๆ หนึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้ใน ๑ วินาที มีหน่วยเป็นระยะทางต่อหน่วยเวลา

ความเร็วของเสียงมีผลต่อผู้ฟังอย่างมาก โดยปกติแล้ว ความเร็วของเสียงจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศ และความดันของอากาศ ความเร็วของเสียงที่ถูกต้องคือ ๓๓๑.๔ เมตรต่อวินาที ที่ ๐° c

ความเร็วของเสียงในอากาศที่มีลักษณะอย่างเดียวกันจะมีค่าคงที่เสมอเมื่อความดันคงที่ แต่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจะสามารถหาความเร็วของเสียงได้จาก

$V = 20.06 \sqrt{273 + C}$ เมตรต่อวินาที

$= 72.2 \sqrt{273 + C}$ กิโลเมตรต่อชั่วโมง

$= 49 \sqrt{459.4 + F}$ ฟุตต่อวินาที

$= 33.4 \sqrt{459.4 + F}$ ไมล์ต่อชั่วโมง

หรือ $V = V_o \sqrt{1 + \frac{t}{273}}$

โดย V_o^t = ความเร็วของเสียงในอากาศที่ 0°c

V_t = ความเร็วของเสียงในอากาศที่ t °c

V = ความเร็วของเสียงในอากาศ

C = องศา เซล เซียส

F = องศาฟา เรนไฮต์

ค่าความเร็วของเสียงที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ ๑

ตารางที่ ๒.๑ ตารางแสดงความเร็วของเสียงในอากาศที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (องศา เซล เซียส)	ความเร็ว (เมตรต่อวินาที)	อุณหภูมิ (องศาฟา เรนไฮต์)	ความเร็ว (ฟุตต่อวินาที)
− ๖๐	๒๙๒.๗	− ๘๐	๙๕๔
− ๕๐	๒๙๙.๕	− ๗๐	๙๖๖
− ๔๐	๓๐๖.๒	− ๖๐	๙๗๘
− ๓๐	๓๑๓.๒	− ๕๐	๙๙๑
− ๒๕	๓๑๖.๒	− ๔๐	๑๐๐๓
− ๒๐	๓๑๙.๓	− ๓๐	๑๐๑๕
− ๑๕	๓๒๒.๓	− ๒๐	๑๐๒๖
− ๑๐	๓๒๕.๔	− ๑๐	๑๐๓๘
− ๕	๓๒๘.๔	๐	๑๐๔๙
๐	๓๓๑.๔	๑๐	๑๐๖๑
๕	๓๓๔.๔	๒๐	๑๐๗๓
๑๐	๓๓๗.๔	๓๐	๑๐๘๕

อุณหภูมิ (องศา เซล เซียส)	ความเร็ว (เมตรต่อวินาที)	อุณหภูมิ (องศาฟา เรนไฮต์)	ความเร็ว (ฟุตต่อวินาที)
๑๕	๓๔๐.๕	๔๐	๑๐๔๖
๒๐	๓๔๓.๕	๕๐	๑๑๐๗
๒๕	๓๔๖.๖	๖๐	๑๑๑๘
๓๐	๓๔๙.๗	๗๐	๑๑๒๘
๔๐	๓๕๔.๘	๘๐	๑๑๓๙
๕๐	๓๖๐.๔	๙๐	๑๑๔๙
๖๐	๓๖๕.๘	๑๐๐	๑๑๕๙
๗๐	๓๗๑.๒	๑๑๐	๑๑๖๙
๘๐	๓๗๖.๘	๑๒๐	๑๑๗๙

ความยาวของคลื่น (Wave length)

ความยาวคลื่น ๑ ลูก ประกอบด้วยหลังคลื่นกับท้องคลื่น (หรือลูกอัดกับลูกขยาย) หรือระยะทางระหว่างจุดสองจุด ซึ่งอยู่ในเฟสเดียวกันบนคลื่นที่อยู่ติดกัน มีหน่วยเป็นหน่วยความยาวหรือระยะทางต่อคลื่น

ความถี่ของคลื่น (Frequency of waves)

ความถี่ของคลื่น คือจำนวนคลื่นที่วิ่งผ่านจุดคงที่จุดหนึ่งในเวลา ๑ วินาที มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที

ความเร็ว ความยาวของคลื่น และความถี่ของคลื่นเสียงจะมีความสัมพันธ์กันดังนี้คือ

$$V = f \times \lambda$$

โดย V = ความเร็วของเสียงในอากาศ

f = ความถี่ของคลื่นเสียง

λ = ความยาวของคลื่น

ความดันเสียง (Sound pressure) คือแรงดันที่ทำให้อนุภาคของตัวกลางเคลื่อนที่ไปมาในขณะที่เกิดเสียง

ค่าความดัน (Pressure) ต่ำที่สุดที่คนสามารถรับฟังได้เท่ากับ ๐.๐๐๐๒ ไมโครบาร์ที่ความถี่ ๑๐๐๐ เฮิทส์

ค่าความดันสูงที่สุดที่คนปกติสามารถรับฟังได้เท่ากับ ๑ บรรยากาศ (Atmosphere) หรือ ๑๐๖ ไมโครบาร์

โดยที่เราใช้ค่าความดันต่ำที่สุด ซึ่งเท่ากับ ๐.๐๐๐๒ ไมโครบาร์ เป็นความดันอ้างอิง (Reference pressure) และสำหรับการวัดความดันเสียง เรานิยมใช้ในรูปแบบของระดับความดันเสียง (Sound pressure level, SPL)

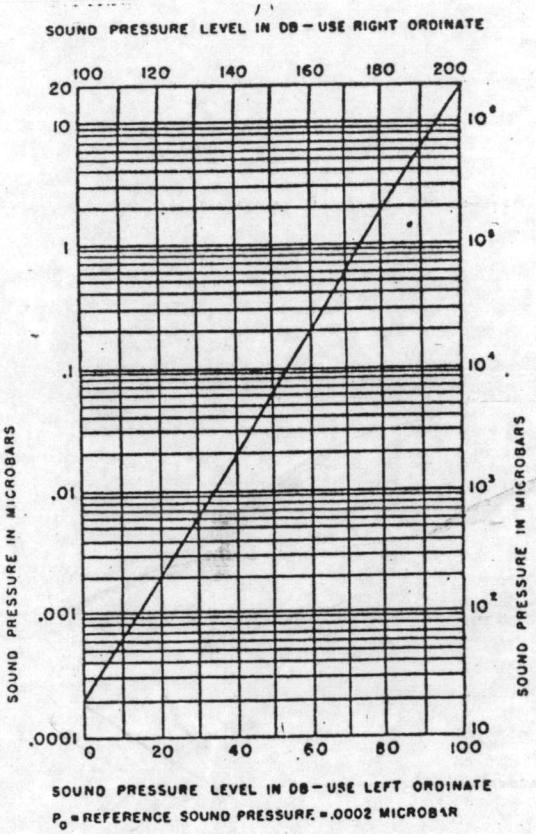
จาก $SPL = 20 \log \frac{p}{p_o}$

โดย SPL = ระดับความดันเสียง

p_o = ความดันอ้างอิง = ๐.๐๐๐๒ ไมโครบาร์

เพื่อความสะดวกจึงใช้รูปที่ ๓ ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของระดับความดันเสียงกับความดันเสียง

006306



รูปที่ 2.3 ความเปลี่ยนแปลงของระดับความดังเสียง กับความดังเสียง

<u>ความเข้มของคลื่นเสียง</u> (Intensity of sound wave) ณ จุดใด ๆ คือ ปริมาณของพลังงานของคลื่นเสียงที่ตกตั้งฉากบนพื้นที่ ๑ ตารางเซนติเมตร ณ จุดนั้นใน เวลา ๑ วินาที

ความเข้มมีหน่วยเป็น วัตต์ ต่อตารางเซนติเมตร

ให้ Io เป็นความเข้มของเสียงที่เบาที่สุดที่หูสามารถเริ่มได้ยินได้

$$Io = \frac{Po^2}{dc}$$

d = ความหนาแน่นของอากาศ = ๐.๐๐๑๑๘ กรัมต่อลูกบาศก์ซม.

c = ความเร็วของเสียง = ๓๔๔๕๐ ซม.ต่อวินาที

Po = ความดันอ้างอิง = ๐.๐๐๐๒ ไมโครบาร์

$$\therefore Io = \frac{(0.0002)^2}{41}$$

$$= 10^{-9} \quad \text{ergs/sec/cm}^2$$

$$= 10^{-16} \quad \text{watt/cm}^2$$

$$= 10^{-12} \quad \text{watt/m}^2$$

ค่า Io ขึ้นกับค่าความหนาแน่นของอากาศ (density of air) ความเร็วเสียง (Sound velocity) ซึ่งทั้งสองค่านี้ขึ้นกับอุณหภูมิ และความดัน แต่สำหรับงานทางด้าน architectural acoustics จะมีผลกระทบน้อยและในการกล่าวถึงความเข้มของเสียง เรานิยมพูดกันในรูปแบบของระดับความเข้ม (Intensity level) ซึ่งมีหน่วยเป็น (decibel) โดยใช้ Io เป็นความเข้มอ้างอิง (Reference Intensity)

<u>ระดับความเข้ม</u> (Intensity Level)

$$IL = 10 \log \frac{I}{Io}$$

$$= 10 \log \frac{P^2/dc}{Po^2/d_o c_o}$$

$$= 20 \log \frac{P}{0.0002}$$

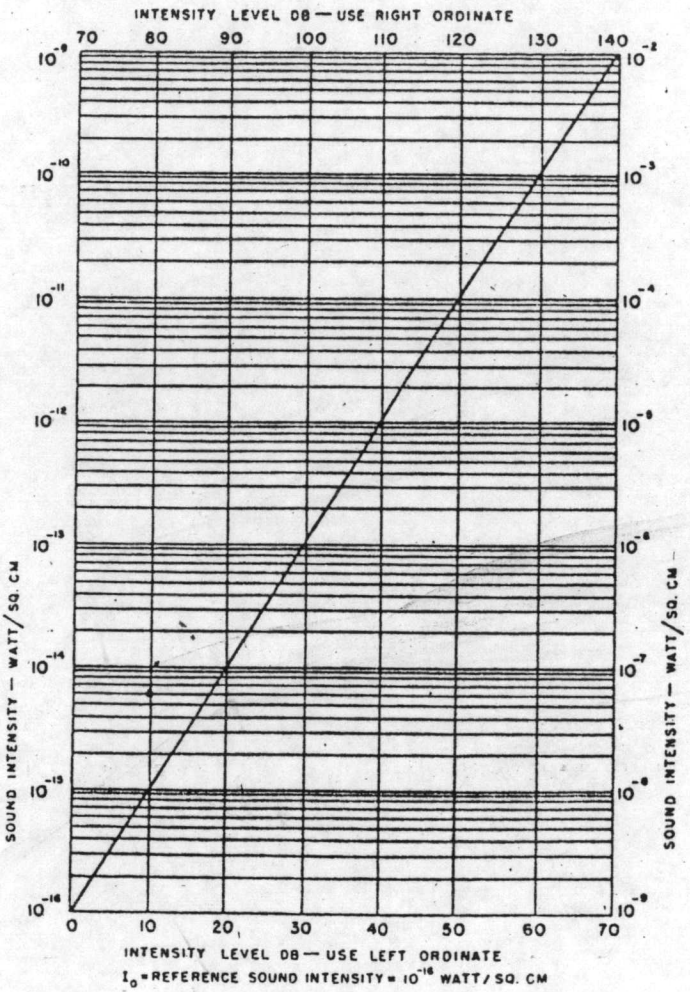
= SPL (Sound pressure level)

ดังแสดงในรูปที่ ๔

<u>พลังงานเสียง</u> (Sound Power)

เป็นพลังงานที่ได้จากแหล่งกำเนิดของเสียงในช่องความถี่ทั้งหมด หรือในช่วงความถี่ที่เราจะทำการศึกษา ซึ่งโดยปกติแล้ว เราจะวัดปริมาณนี้เป็น วัตต์ (Watts)

พลังงานของเสียงที่ต่ำที่สุดที่หูคนปกติธรรมดาจะได้ยินได้ เป็นพลังงานอ้างอิง (reference power) ซึ่งมีค่าเป็น $๑๐^{-๑๒}$ วัตต์



รูปที่ 2.4 ความเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มเสียง
กับความเข้มเสียง

<u>ความดังของเสียง</u> (Loudness) คือความรู้สึกที่เกิดขึ้นจากการที่พลังงานเสียง ซึ่งมีความเข้มต่าง ๆ กันตกกระทบเยื่อหูของเรา

จากนิยามจะเห็นว่า ความดังของเสียงขึ้นอยู่กับความเข้มของพลังงานเสียง ถ้าเราเพิ่มความเข้มของเสียงในขณะที่ผู้รับฟังยังคงอยู่ห่างจากต้นกำหนดเสียงในระยะทางเท่าเดิม จะมีความรู้สึกว่าเสียงดังมากขึ้น ถ้าความเข้มของพลังงานเสียงน้อยลง เสียงก็จะเบาลง

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของเสียงและความดังไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงต่อกัน แต่สัมพันธ์กันในรูปของมาตราส่วนลอการิทึม

การวัดความดังของเสียง เราวัดเป็นระดับความเข้ม (Intensity level,IL) ของเสียง โดยเอาความเข้มของเสียงที่เบาที่สุด ซึ่งหูมนุษย์เริ่มได้ยิน (Threshold of hearing) ซึ่งมีระดับความเข้มเท่ากับ 10^{-16} วัตต์/ซม.^{2} เป็นมาตรฐาน แล้วหาความเข้มของเสียงที่ได้ยินนั้นอยู่ในระดับใด

จากที่ได้กล่าวมาแล้ว การคำนวณหาระดับความเข้มของเสียงต่าง ๆ เราใช้สูตร

$$IL = 10 \log \frac{I}{10}$$

เมื่อ IL = ระดับความเข้มของเสียง มีหน่วยเป็นเดซิเบล (decibel, dB)

Io = 10^{-16} วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

จากผลของการใช้สูตรที่กล่าวแล้ว หาระดับความเข้มของเสียงต่าง ๆ ในหน่วยเดซิเบล เราได้ตารางที่ ๒ ดังนี้

ตาราง ๒.๒ ตารางความดังสัมพันธ์กับชนิดของเสียง

ชนิดของเสียง	ระดับความเข้ม (เดซิเบล)
เสียงที่เบาที่สุดที่หูมนุษย์เริ่มได้ยิน	๐
เสียงกระซิบเบา ๆ	๑๐ – ๒๐
เสียงในสถานที่ทำงานที่มีเสียงเบา ๆ	๒๐ – ๔๐
เสียงรถยนต์ที่เครื่องยนต์ทำงานเรียบ	๔๐ – ๕๐
การพูดคุยอย่างธรรมดา	๖๐
การจราจรในถนนที่คับคั่ง	๗๐ – ๘๐
รถไฟที่กำลังแล่น	๘๐ – ๑๐๐
ฟ้าร้อง	๑๑๐
เสียงดังที่ที่มนุษย์ทนฟังได้	๑๒๐

ขอบข่ายของการได้ยิน (Limit of Audibility)

ถ้าเราฟังเสียงจากที่เกิดเสียง ซึ่งให้เสียงที่เริ่มต้นด้วยระดับความเข้ม (ความดัง) ต่ำมาก เราจะไม่ได้ยินเสียงเลย แต่ถ้าเพิ่มความเข้มมากขึ้นต่อไปอีก เราก็จะได้ยินเสียงดังมากขึ้น จนในที่สุดความรู้สึกในการได้ยินมากจนเรารู้สึกปวดหู เช่นนี้เรียกว่า Feel เสียงนั้น จุดต่ำที่สุดของความเข้ม ทำให้เราเริ่มได้ยินเรียกว่า Threshold of Audibility และจุดสูงสุดที่เราเริ่มรู้สึกปวดหู เรียกว่า Threshold of Feeling ขีดจำกัดทั้งสองนี้ เปลี่ยนแปลงได้แล้วแต่บุคคลและความถี่ของเสียง

ความถี่ของเสียงที่ต่ำที่สุดที่คนธรรมดารู้สึกได้ยินเสียงได้ คือประมาณ ๒๐ Hz และความถี่ของเสียงที่สูงที่สุด ที่คนธรรมดารู้สึกได้ยินเสียงได้ คือประมาณ ๒๐,๐๐๐ Hz ขีดจำกัดนี้จะเปลี่ยนแปลงตามวัย ความถี่ต่าง ๆ ที่หูคนได้ยินเป็นเสียงได้ เรียกว่า Audio frequency เสียงที่ความถี่เกินขีดที่หูคนธรรมดาจะได้ยินได้ เรียกว่า Ultrasonic ส่วนเสียงที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่ที่หูมนุษย์จะได้ยิน เป็นเสียงได้ (คือ ๒๐ cps) เรียกว่าเสียง infrasonic

<u>การส่งผ่านตลอดชั้นตัวกลาง</u> (Transmission Through Layered Media) [๓]

<u>ลักษณะความขัดและความขัดจำเพาะทางด้านเสียง</u>

(Characteristic Impedance and Specific Acoustic Impedence)

เกี่ยวกับคุณสมบัติทางด้านเสียง ค่า ความขัด (Impedance) เป็นค่าที่มีประโยชน์ ซึ่งมีผู้กำหนดค่าความขัดในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งในแต่ละรูปแบบก็มีความเหมาะสมแตกต่างกันออกไป

ในหัวข้อนี้เราจะศึกษาถึงคลื่นหนึ่งมิติ (One-dimensional waves) ตกกระทบบนพื้นที่ผิวที่ราบเรียบ (flat surfaces) ซึ่งจะสมมุติให้ลักษณะผิวเป็นแบบขอบเขตไม่สิ้นสุด (infinite extent) ซึ่งจะทำให้ค่าพื้นที่ผิว (Surface area) ไม่มีความสำคัญนัก และรูปแบบของความขัดที่เหมาะสมที่เรานิยมใช้ คือความขัดจำเพาะทางด้านเสียง (Specific acoustic impedance) ซึ่งให้คำนิยามของความขัดจำเพาะทางด้านเสียงได้ดังนี้

$$\text{ความขัดจำเพาะทางด้านเสียง ; } Z = \frac{\text{ความดัน}}{\text{ความเร็วของอนุภาค}} = \frac{P}{M} \quad \cdots (๒.๑)$$

โดยปกติคลื่น (waves) ที่เคลื่อนที่ไปในตัวกลาง มันจะเคลื่อนที่กระจายออกทุกทิศทาง ค่าความดัน (pressure) และความเร็วของอนุภาค (Particle Velocity) ในสมการที่ ๒.๑ จะแทนค่า คลื่นซึ่งมีส่วนสัมพันธ์กับตำแหน่งของมัน ซึ่งตำแหน่งต่าง ๆ จะกำหนดโดยเงื่อนไขของขอบเขต (boundary conditions) ตัวอย่างของเงื่อนไขของขอบเขต เช่นความเร็วของอนุภาคที่ตกกระทบตั้งฉากกับผนังเกร็ง (Rigid wall) จะเป็นศูนย์ซึ่งถ้าพูดในรูปแบบของความขัดจำเพาะทางด้านเสียงก็คือ ส่วนประกอบของคลื่นที่ตกกระทบตั้งฉากกับผนังที่ไม่สิ้นสุด

ในกรณีเฉพาะของคลื่นหนึ่งมิติ (A single one-dimensional wave) เคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่มีขอบเขตไม่สิ้นสุด ค่าความดัน และความเร็วของอนุภาค ในสมการ ๒.๑ จะประกอบด้วยรูปแบบเฉพาะ ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$Z_o = \frac{p}{u} = \pm d_o c \quad \text{.....} \quad (๒.๒)$$

เครื่องหมาย + แสดงถึงคลื่นเคลื่อนที่ในทิศทางบวก X

เครื่องหมาย - แสดงถึงคลื่นเคลื่อนที่ในทิศทางลบ X

ค่าคงที่ขึ้นกับคุณสมบัติของตัวกลาง

Z_o เรียกว่า (Characteristic impedance)

c ความเร็วของอนุภาค (Velocity of particle)

d_o ความหนาแน่นของตัวกลาง (Density of medium)

k เลขคลื่น (Wave number)

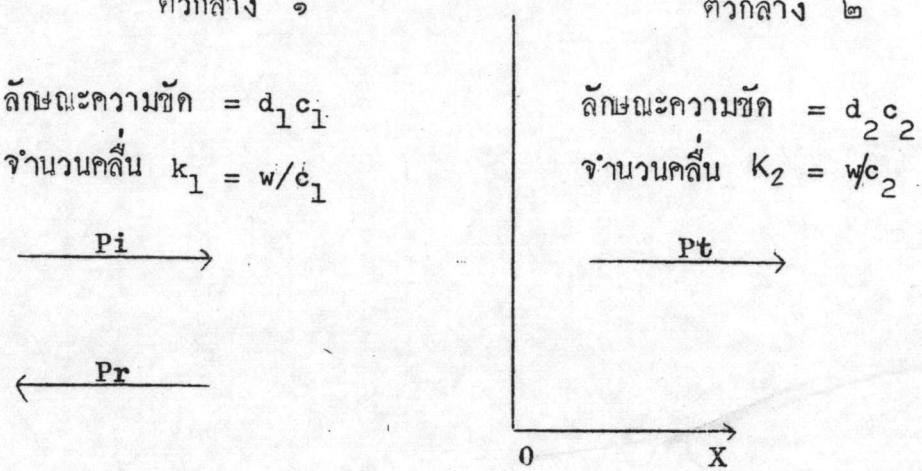
สำหรับค่า d_o, c และค่า Z_o จะดูได้จากตารางที่ ๒.๓

ตารางที่ ๒.๓ ความหนาแน่น ความเร็วของเสียง และลักษณะความขัดของสื่อตัวกลาง ที่พบได้โดยทั่วไปที่อุณหภูมิ ๒๐° เซลเซียส ความดัน ๑ บรรยากาศ

ตัวกลาง	ความหนาแน่น กก. $ม^{-๓}$ d_0		ความเร็วเสียง $ม.วิ^{-๑}$ c		ลักษณะความขัด $กก.ม^{-๒}วิ.^{-๑}$ d_0c	
		แผ่น	เส้น	แผ่น	เส้น	
อากาศ	๑.๒๑		๓๔๓		๔๑๕	
กาซคาร์บอนไดออกไซด์	๑.๘๔		๒๖๗		๔๘๑	
กาซไฮโดรเจน	๐.๐๘๔		๑๓๓๐		๑๑๒	
กาซไนโตเจน	๑.๑๗		๓๔๔		๔๐๔	
กาซออกซิเจน	๑.๓๓		๓๒๖		๔๓๔	
น้ำบริสุทธิ์	๙๙๘		๑๔๘๓		๑.๔๘ X $๑๐^{๖}$	
น้ำทะเล	๑๐๒๕		๑๕๒๒		๑.๕๖ X $๑๐^{๖}$	
อลูมิเนียม	๒๗๐๐	๖๓๗๐	๕๑๐๐	๑๗.๒ X$๑๐^{๖}$	๑๓.๘ X$๑๐^{๖}$	
ทองเหลือง	๘๔๐๐	๔๓๗๐	๓๔๕๐	๓๖.๗X $๑๐^{๖}$	๒๙.๐X$๑๐^{๖}$	
กระจกที่ไม่ผสมตะกั่ว	๒๕๐๐	๕๖๖๐	๕๓๔๐	๑๔.๑X $๑๐^{๖}$	๑๓.๔X$๑๐^{๖}$	
ยางแข็ง	๑๑๐๐	๒๔๐๐	๑๔๕๐	๒.๖๔X$๑๐^{๖}$	๑.๕๙X$๑๐^{๖}$	
เหล็กรีด	๗๘๐๐	๕๙๖๐	๕๒๐๐	๔๖.๔X $๑๐^{๖}$	๔๐.๕X$๑๐^{๖}$	

การตกกระทบตั้งฉากผ่านตัวกลางสองชั้น

(Normal Incidence Transmission Through Two Layers)



รูปที่ ๒.๕ แสดงคุณสมบัติของสองตัวกลาง

สมมุติ คลื่นเสียงตกกระทบตั้งฉากกับขอบเขตซึ่งมีตัวกลางอยู่ ๒ ชนิด ขณะที่เสียงตกกระทบ ตัวกลางที่หนึ่ง คลื่นเสียงบางส่วนจะสะท้อน และบางส่วนจะถูกส่งผ่าน ซึ่งคลื่นเหล่านี้สามารถแทนในรูปแบบของ exponential form ดังต่อไปนี้

$$Pi = A_1 c^{j(wt-k_1x)} \qquad \text{..... (๒.๓)}$$

$$Pr = B_1 c^{j(wt+k_1x)} \qquad \text{..... (๒.๔)}$$

$$Pt = A_2 c^{j(wt-k_2x)} \qquad \text{..... (๒.๕)}$$

A_1, B_1 and A_2 เป็นค่าคงที่

ถ้าเราพิจารณาแต่ละคลื่นโดยลำพัง เราสามารถหาค่าความเร็วของอนุภาคได้ โดยหาค่าความดันด้วยลักษณะความขัดที่เหมาะสมดังต่อไปนี้

$$U_i = \frac{Pi}{d_1 c_1} \qquad \cdots\cdots (๒.๖)$$

$$U_r = \frac{Pr}{d_1 c_1} \qquad \cdots\cdots (๒.๗)$$

$$U_t = \frac{Pt}{d_2 c_2} \qquad \cdots\cdots (๒.๘)$$

จากขอบเขตของเงื่อนไข จะสามารถใช้เงื่อนไขได้ ๒ เงื่อนไข

๑. ความต่อเนื่องของความดัน (Continuity of pressure)

$$(Pi + Pr)_{x=0} = (P_t)_{x=0}$$

จะได้ $A_1 + B_1 = A_2 \qquad \cdots\cdots (๒.๙)$

๒. ความต่อเนื่องของความเร็วของอนุภาค (Continuity or particle velocity)

$$(U_i + U_r)_{x=0} = (U_t)_{x=0}$$

จะได้ $\frac{A_1 - B_1}{d_1 c_1} = \frac{A_2}{d_2 c_2} \qquad \cdots\cdots (๒.๑๐)$

ค่า A_2 จาก (๒.๙) และ (๒.๑๐) จะขจัดออกไปเพื่อทำคลื่นสะท้อน (Reflected wave) ให้อยู่ในรูปแบบของคลื่นตกกระทบ (incident wave)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จะได้ $$\frac{B_1}{A_1} = \frac{d_2c_2 - d_1c_1}{d_2c_2 + d_1c_1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (๒.๑๑)$$

หรือขจัด B_1 ออกไป เพื่อหาค่าคลื่นที่ถูกส่งผ่าน

จะได้ $$\frac{A_2}{A_1} = \frac{2d_2c_2}{d_2c_2 + d_1c_1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (๒.๑๒)$$

ถ้าเรารวมขอบเขตเงื่อนที่ ๑ และ ๒ เข้าด้วยกันเป็นเงื่อนไขเดียว เราจะได้ค่าความขัดจำเพาะทางด้านเสียง (Specific acoustic impedance) ที่ต่อเนื่องกันที่ขอบเขตและมีค่าเป็น Z_s

ดังนั้น $$\left(\frac{P_i + P_r}{U_1 + U_r}\right)_{x=0} = Z_s = \left(\frac{P_t}{U_t}\right)_{x=0}$$

จะได้ $$\frac{A_1 + B_1}{A_1 - B_1} d_1c_1 = Z_s = d_2c_2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (๒.๑๓)$$

สมการ (๒.๑๓) สามารถจัดให้อยู่ในรูปแบบของ

$$\frac{B_1}{A_1} = \frac{Z_s - d_1c_1}{Z_s + d_1c_1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (๒.๑๔)$$

จากสมการ (๒.๑๑) และ (๒.๑๒) เราสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สะท้อน และสัมประสิทธิ์ของการส่งผ่านได้

$$a_r = \frac{I_r}{I_i} = \frac{|B_1|^2/2d_1c_1}{|A_1|^2/2d_1c_1} = \left|\frac{B_1}{A_1}\right|^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (๒.๑๕)$$

$$a_t = \frac{I_t}{I_i} = \frac{|A_2|^2/2d_2c_2}{|A_1|^2/2d_1c_1} = \frac{2d_1c_1}{d_2c_2} \left|\frac{A_2}{A_1}\right|^2$$

$$= \frac{4d_1c_1d_2c_2}{(d_2c_2+d_1c_1)^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (๒.๑๖)$$

จากสมการ (๒.๑๖) เราจะชี้ให้เห็นถึงตัวอย่างในการเกิดเสียงเมื่อตัวกลางหนึ่งเป็นอากาศ อีกตัวกลางหนึ่งเป็นน้ำ โดยการพิจารณาเมื่อการส่งผ่านของคลื่นเสียง จากอากาศไปน้ำ ดังนั้น d_1c_1 = ๔๑๕ กก.ม.$^{-๒}$ว.$^{-๑}$

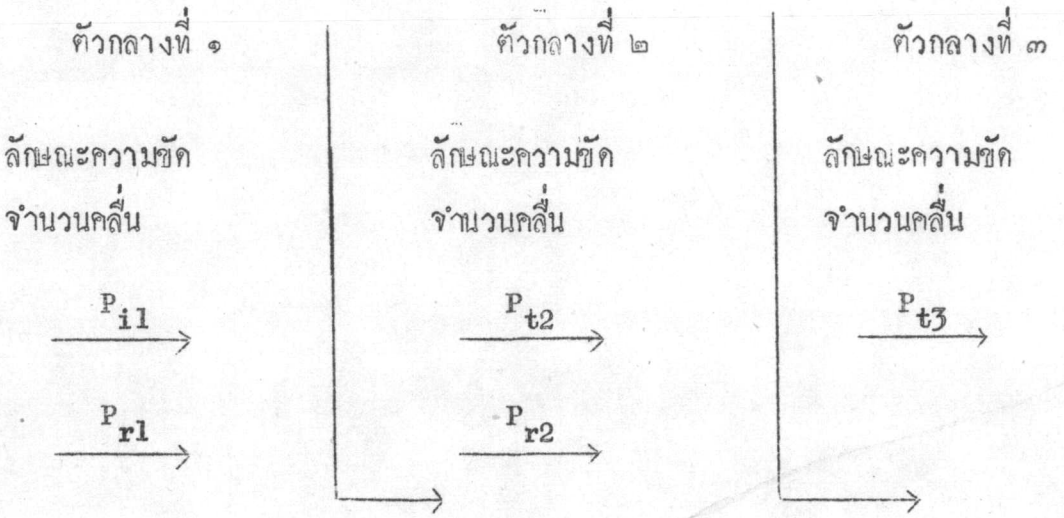
และ d_2c_2 = ๑,๔๘๐,๐๐๐ กก.ม.$^{-๒}$ว.$^{-๑}$ ซึ่งค่า d_2c_2 นั้นมีค่ามาก เมื่อเทียบกับค่า d_1c_1 จากสมการ (๒.๑๖) จะได้ว่า

$$a_t \simeq \frac{4d_1c_1}{d_2c_2} = 1.12 \times 10^{-3}$$

จะเห็นได้ว่า เพียง ๐.๑๑๒ % ของพลังงานที่ตกกระทบที่ถูกส่งผ่านไปในน้ำ ถ้าในกรณีกลับกัน คือการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงจากน้ำไปสู่อากาศ ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (transmission coefficient) ซึ่งค่า d_1c_1 จะเป็นของน้ำ d_2c_2 จะเป็นของอากาศ

ค่าความดันที่สะท้อนจะมีขนาดเท่ากับความดันที่ตกกระทบ แต่มีทิศทางตรงกันข้าม จึงหักล้างกันหมด ค่าขนาดความดันในการส่งผ่านมีค่าน้อย เมื่อเทียบกับความดันที่ตกกระทบ กรณีเช่นนี้จะเกิดขึ้นเมื่อคลื่นพยายามจะผ่านจากตัวกลางที่มีความสามารถในการขัดสูงไปสู่ตัวกลางที่มีความสามารถในการขัดต่ำ

การตกกระทบตั้งฉากผ่านตัวกลาง ๓ ชั้น



รูปที่ ๒.๖ แสดงคุณสมบัติของสามตัวกลาง

เมื่อ wave ตกกระทบขอบเขตที่ ๑ จะมีคลื่นบางส่วนสะท้อน (reflected) และคลื่นบางส่วนส่งผ่านไปขอบเขตที่ ๒ เมื่อคลื่นส่วนที่ถูกส่งผ่านตกกระทบขอบเขตที่ ๒ จะทำให้คลื่นบางส่วนสะท้อนและบางส่วนส่งผ่านต่อไป ซึ่งค่าความดันและความเร็วของคลื่นทั้ง ๕ นี้มีค่าดังต่อไปนี้

$$Pi = A_1 e^{j(wt-klx)}, \quad Uil = \frac{Pil}{dlcl} \qquad \text{..... (๒.๒๖)}$$

$$Prl = Ble^{j(wt+klx)}, \quad Url = \frac{Prl}{dlcl} \qquad \text{..... (๒.๒๗)}$$

$$Pt2 = A2e^{j(wt-k2x)}, \quad Ut2 = \frac{Pt2}{d2c2} \qquad \text{..... (๒.๒๘)}$$

$$Pr2 = B_2 e^{j(wt+k_2x)}, \quad Ur_2 = \frac{Pr2}{d2c2} \qquad \text{..... (๒.๒๙)}$$

$$Pt_3 = A_3 e^{j\{wt-k3(x-1)\}}, \quad Ut_3 = \frac{Pt_3}{d3c3} \qquad \text{..... (๒.๓๐)}$$

จากขอบเขตของเงื่อนไข

ที่ $X = 0$

๑. ความต่อเนื่องของความดัน (Continuity of presure)

$$(Pi1 + Pr1)\ x = 0 = (Pt2 + Pr2)\ x = 0$$

จะได้ $A_1 + B_1 = A_2 + B_2$ ..... (๒.๓๑)

๒. ความต่อเนื่องของความเร็วของอนุภาค (Continuity of particle velocity)

$$(Ui_1 + Ur_1)\ x = 0 = (Ut_2 + Ur_2)\ x = 0$$

$$\frac{A_1 - B_1}{d_1 c_1} = \frac{A_2 - B_2}{d_2 c_2} \quad \text{..... (๒.๓๒)}$$

ที่ $X = L$

๓. ความต่อเนื่องของความดัน (Continuity of Pressure)

$$(P_{t2} + P_{r2})\ x = 1 = (P_{t3})\ x = 1$$

จะได้ $A_2 e^{-jk2l} + B_2 e^{jk2l} = A_3$ ..... (๒.๓๓)

๔. ความต่อเนื่องของความเร็วอนุภาค (Continuity of particle velocity)

$$(U_{t2} + U_{r2})\ x = 1 = (U_{t3})\ x = 1$$

$$\frac{A_2 c^{-jk2l} - Bc^{jk2l}}{d_2 c_2} = \frac{A_3}{d_3 c_3} \quad \text{.....(๒.๓๔)}$$

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากสมการ (๔.๓๑ ถึง ๔.๓๔) เราสามารถหาค่าสะท้อน หรือค่าส่งผ่านของคลื่นในรูปของคลื่นที่ตกกระทบ แต่ในกรณีของระบบสามตัวกลาง นิยมหาค่าคลื่นที่ส่งผ่านตัวกลางที่สาม ดังนั้นจึงหาค่า A_3/A_1B_1 ได้จากสมการ (๔.๓๑) และ (๔.๓๒)

$$A_1 = \frac{A_2+B_2}{2} + \frac{d_1c_1}{d_2c_2} \cdot \frac{A_2-B_2}{2} \qquad (๒.๓๕)$$

ค่า A_2 และ B_2 หาได้จากสมการ (๔.๓๓) และ (๔.๓๔)

$$A_2 = \frac{A_3}{2}\left(1 + \frac{d_2c_2}{d_3c_3}\right) e^{jk_2L} \qquad (๒.๓๖)$$

$$B_2 = \frac{A_3}{2}\left(1 - \frac{d_2c_2}{d_3c_3}\right) e^{-jk_2L} \qquad (๒.๓๗)$$

แทนค่า A_2 และ B_2 จาก (๒.๓๖), (๒.๓๗) ลงในสมการ (๒.๓๕)

$$\frac{A_1}{A_3} = \tfrac{1}{2}\left(1+\frac{d_1c_1}{d_3c_3}\right)\cos k_2L + j\tfrac{1}{2}\left(\frac{d_2c_2}{d_3c_3} + \frac{d_1c_1}{d_2c_2}\right)\sin k_2L \qquad (๒.๓๘)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ของการส่งผ่านจะหาได้โดย

$$a_t = \frac{A_3^{\,2}/2d_3c_3}{A_1^{\,2}/2d_1c_1}$$

$$= \frac{d_1c_1}{d_3c_3} \cdot \frac{1}{\tfrac{1}{4}\left(1+\frac{d_1c_1}{d_3c_3}\right)^2 \cos^2 k_2L + \tfrac{1}{4}\left(\frac{d_2c_2}{d_3c_3} + \frac{d_1c_1}{d_2c_2}\right)\sin^2 k_2L} \qquad (๒.๓๙)$$

<u>กรณีเฉพาะของการส่งผ่านเสียง ผ่านผนัง</u>

กรณีนี้ เป็นกรณีที่เกิดขึ้นได้ง่าย เช่นการส่งเสียงภายในห้องที่มีผนังกั้น หรือวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุกันเสียง ที่จะใช้กับระบบทางด่วนพิเศษที่ตัดผ่านกลางใจเมือง กรุงเทพมหานคร ซึ่งค่าตัวกลางที่ ๑ และตัวกลางที่ ๓ เป็นอากาศ

แทนค่า $d_3c_3 = d_1c_1$ ลงในสมการ (๒.๓๙)

จะได้ $$a_t = \frac{1}{\cos^2 k_2L + \frac{1}{4}(d_2c_2/d_1c_1 + d_1c_1/d_2c_2)^2 \sin^2 k_2L}$$

ปกติแล้วตัวกลางที่ ๒ เป็นพวกของแข็ง (Solid) และมักจะมีค่า $d_2c_2 \gg d_1c_1$

ดังนั้น $$a_t = \frac{1}{\cos^2 k_2L + \frac{1}{4}(d_2c_2/d_1c_1)^2 \sin^2 k^2L}$$

ยกเว้นในกรณีที่เป็น High frequency, k_2L มีค่าน้อย และ

$$\sin k_2L \simeq k_2L = WL/c_2; \quad \cos k_2L \simeq 1$$

ดังนั้น $$a_t \simeq \frac{1}{1 + \frac{1}{4}(d_2c_2/d_1c_1)^2(WL/c_2)^2} \qquad (๒.๔๔)$$

ให้ M ($= d_2L$) เป็นค่า mass/Unit area ของผนัง

ในทางปฏิบัติ เรามักนิยมใช้ค่าฉนวนกันเสียงของผนังหรือกำแพงในรูปของ logarithmic (decibel)

เช่น Sound reduction $= 10 \log_{10} (1/a_t)$ dB

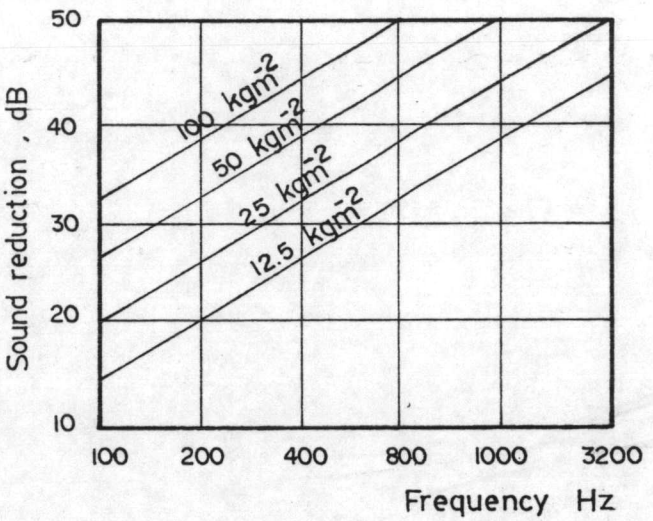
$$= 10 \log_{10} \left[1 + \left(\frac{WM}{2d_1 c_1} \right)^2 \right] \text{ dB} \qquad (๒.๔๕)$$

สมการ (๔.๔๕) ใช้ในกรณีคลื่นเสียงตกกระทบตั้งฉาก (Normal incidence sound wave) และสำหรับฉนวนกันเสียง (Insulation) มันขึ้นอยู่กับน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ของผนัง ซึ่งเรานิยมเรียกว่า กฎมวลสารของการกระทบตั้งฉาก (The normal incidence mass law)

ในทางปฏิบัติ คลื่นที่ตกกระทบผนังมิได้ตกกระทบตั้งฉากเพียงอย่างเดียว มุมตกกระทบมีต่าง ๆ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Transmission coefficient) เพิ่มขึ้น เมื่อมุมตกกระทบที่กระทำต่อผนังเบี่ยงเบนไปจากแนวตั้งฉาก แต่สำหรับในทางสนามจริง ๆ ค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของผนัง สำหรับทุก ๆ มุมตกกระทบ (All angle of incidence) มีค่าดังนี้

$$SR_{(Field)} = 10 \log_{10} \left[1 + \left(\frac{WM}{2d_1 c_1} \right)^2 \right] - 5 \text{ dB} \qquad (๒.๔๖)$$

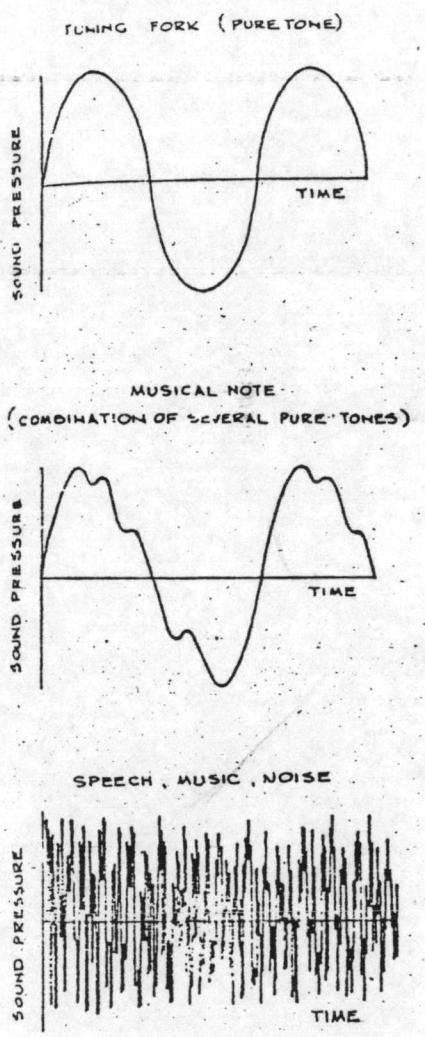
ค่าการลดเสียง (Sound Reduction, SR) จากสมการ (๒.๔๖) มีส่วนสัมพันธ์กับค่าความถี่ f or w และค่ามวลสารต่อหน่วยพื้นที่ (mass/Unit area) ซึ่งจะดูได้จาก รูปที่ ๒.๗ ดังนั้น ถ้าผนังเป็นไปตามกฎมวลสาร ค่าของความเป็นฉนวนกันเสียงจะเพิ่มขึ้น ๖ dB เมื่อความถี่เพิ่มเป็น ๒ เท่า หรือค่ามวลสารต่อหน่วยพื้นที่เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าอย่างใดอย่างหนึ่ง



รูปที่ 2.7 กฎมวลล่ารของการตกกระทบ

การป้องกันเสียง ๔

ในตอนต้นที่ได้กล่าวถึงคำว่า ความดันเสียง (Sound pressure) คือ แรงดันที่ทำให้อนุภาคของตัวกลางเคลื่อนที่ไปมาในขณะที่เกิดเสียงนั้น โดยปกติแล้วในการใช้เครื่องมือวัดค่าต่าง ๆ ทางด้านเสียง เรานิยมวัดค่าความดันเสียงมากมากกว่า เพราะเป็นการง่าย เมื่อเทียบกับวัดค่าอื่นดังแสดงในรูปที่ ๑ ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงของความดันเสียงกับเวลา เมื่อมีลักษณะของเสียงต่าง ๆ กัน เช่นเสียงจากการเคาะส้อมเสียง (Tuning Fork) เสียงจากดนตรี เสียงจากการพูดสุนทรพจน์ หรือเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นจากสิ่งรบกวน เป็นต้น



รูปที่ 2.8 แสดงความแตกระหว่างความดันเสียงกับเวลาของเสียงชนิดต่างๆ

i 18176422

สำหรับเสียงที่เกิดจากเครื่องดนตรี จากสุนทรพจน์โดยเฉพาะอย่างยิ่งเสียงรบกวนที่เราเรียกว่า Noise เช่น เสียงที่เกิดขณะที่รถบรรทุกวิ่ง เสียงเหล่านั้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ ซึ่งเราได้กล่าวมาแล้วว่า ความถี่ที่หูของคนปกติธรรมดาจะได้ยินอยู่ระหว่างความถี่ ๒๐ cps ถึง ๒๐,๐๐๐ cps และช่วงความถี่ที่มีผลอย่างมากต่อหูผู้ฟัง คือที่ความถี่เกิน ๑,๐๐๐ cps ขึ้นไป เราจึงนิยมวัดเสียงที่ช่วงความถี่ดังกล่าว คือโดยแบ่งตาม Octave band ซึ่งปัญหาทางเสียงบางปัญหาจำเป็นต้องแบ่งช่วงความถี่ในการทดลองให้ถี่ยิ่งขึ้น โดยแบ่งเป็น ๑/๒ Octave band หรือ ๑/๓ Octave band

ตัวอย่างแสดงการแบ่งช่วงความถี่เป็น Octave band และ One - third Octave band

Octave Band Center Frequency, Unit, (HZ)

63	125	250	500
1000	2000	4000	8000

One-Third Octave Band Center Frequency, Unit,(HZ)

160	315	630	1250	2500
200	400	800	1600	3150
250	500	1000	2000	4000

ในการศึกษาเรื่องเสียง ในตอนต่อไปเราจำเป็นต้องเข้าใจถึงปริมาณที่จะกล่าวต่อไปนี้ ซึ่งเป็นตัวแทนของปริมาณเสียง หรือเป็นตัวชี้ให้เห็นถึงคุณภาพของวัตถุ อันจะทำให้เราทราบว่า เสียงนั้น ๆ มีปริมาณมากน้อยเพียงใด

Decibels (dB)

เป็นอัตราส่วนของจำนวนสองจำนวน ซึ่งอยู่ในรูปแบบของ Logarithmic Scale ฉะนั้น Decibels (dB) จึงไม่มีหน่วย และจะเป็นตัวแทนแสดงสถานะของความดังว่า เสียงที่เกิดขึ้นนั้น มีความดังมากน้อยเพียงไร สำหรับค่า Sound Power Sound Intensity และ Sound Pressure เราก็สามารถกล่าวในรูปแบบของ Decibels ได้ ดังตัวอย่างที่แสดงข้างล่างนี้

Number of Decibels = 10 log(ratio of the two quantities)

M(Sound Power) = $10 \log \frac{W_1}{W_2}$ decibels

M(Sound Intensity) = $10 \log (I_1 / I_2)$ decibels

M(Sound Pressure) = $10 \log (P_1^2 / P_2^2)$ decibels

สิ่งที่น่าสังเกตเนื่องจาก decibles มีรูปแบบของ logarithmic มาเกี่ยวข้อง ฉะนั้น 50 dB + 50 dB $\neq$ 100 dB เพราะเป็นค่า SPL, IL

= 53 dB

ซึ่งจะดูได้จากรูปที่ ๒.๔

ระดับกำลังเสียง (Sound Power Level, PWL)

สามารถกล่าวในรูปแบบของ decibels โดยใช้ค่ากำลังอ้างอิง (Reference Power) เท่ากับ $๑๐^{-๑๒}$ วัตต์

ดังนั้น $PWL = 10 \log(W/10^{-12})$ decibels

ระดับความเข้มเสียง (Sound Intensity Level, IL)

เมื่อกล่าวในรูปแบบของ decibels โดยใช้ค่าความเข้มอ้างอิง (Reference Intensity) เท่ากับ $๑๐^{-๑๖}$ วัตต์ ต่อตารางเซนติเมตร ค่า IL เมื่ออยู่ในรูปแบบของ decibels จะมีความสัมพันธ์ดังนี้

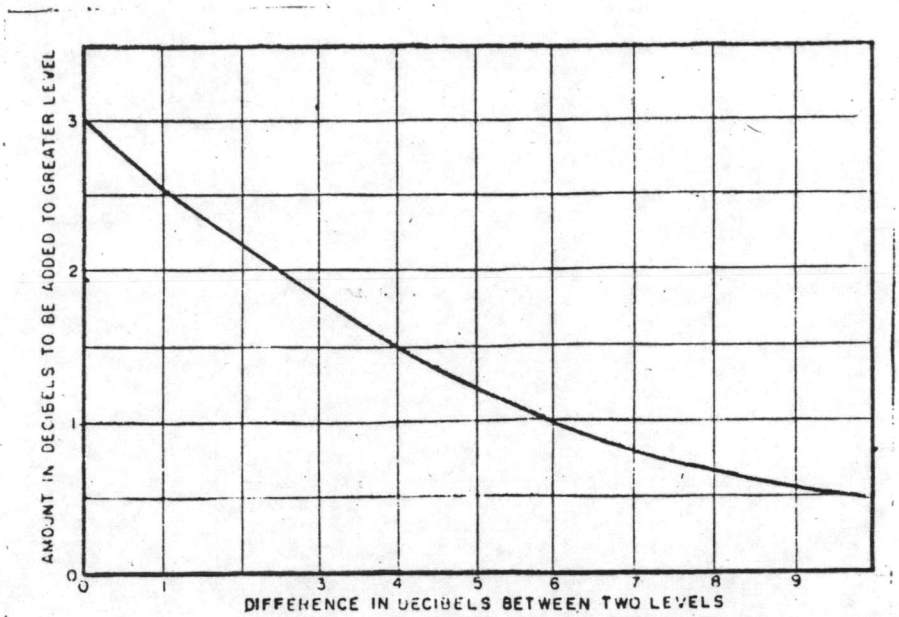
$$IL = 10 \log (I/10^{-16}) \quad \text{decibels}$$

ระดับความดันเสียง (Sound Pressure Level, SPL)

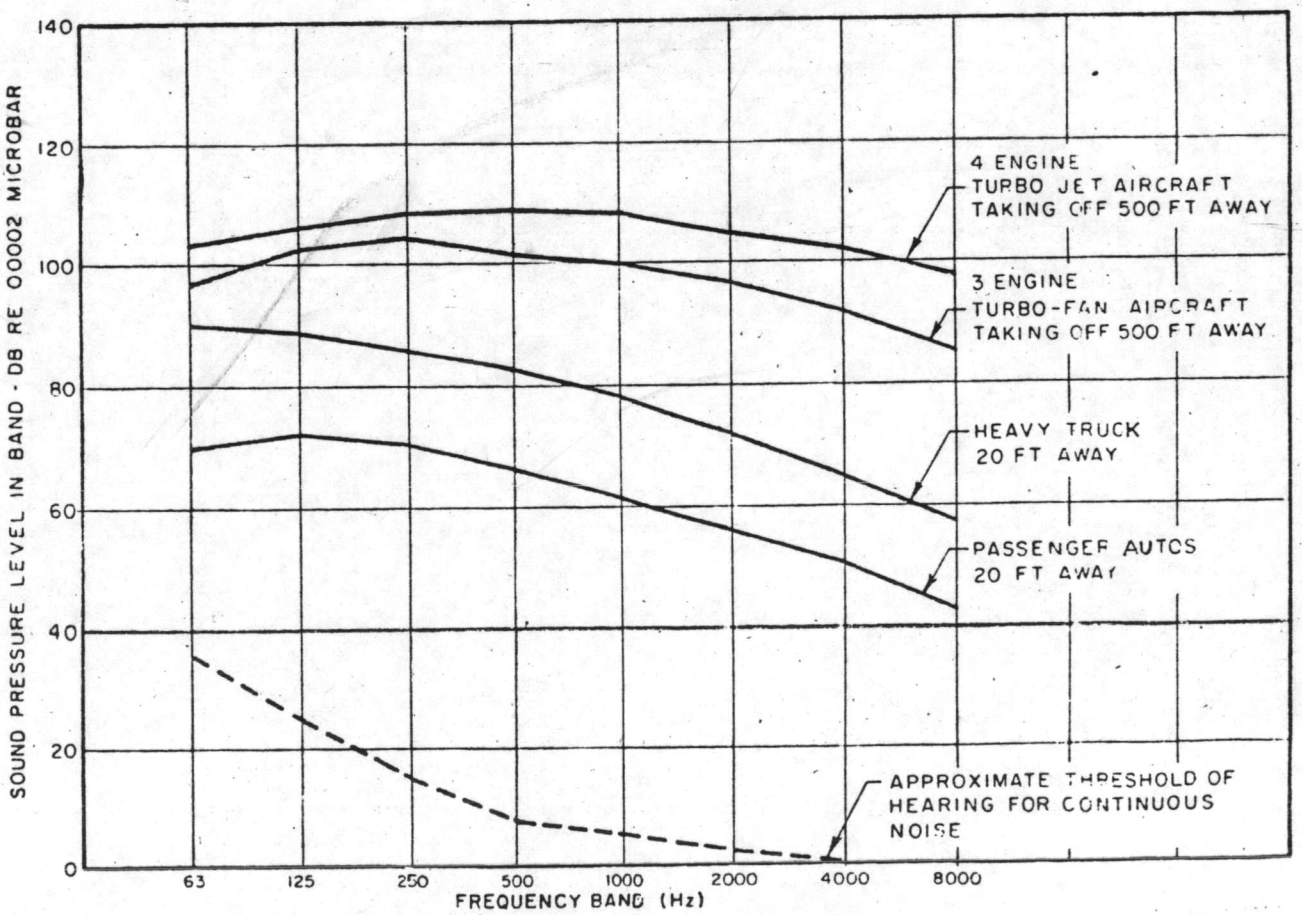
เมื่ออยู่ในรูปแบบของ decibels ก็คล้ายกับ PWL และ IL โดยใช้ความดันอ้างอิง (Reference Pressure) เท่ากับ ๐.๐๐๐๒ ไมโครบาร์ จะได้

$$SPL = 10 \log P^2/ (0.0002)^2 \quad \text{decibels}$$

ตัวอย่างแสดงค่า SPL จากแหล่งกำเนิดเสียง (Noise Source) ที่ความถี่ต่าง ๆ เมื่อใช้ค่าความดันอ้างอิง (๐.๐๐๐๒ ไมโครบาร์) จะดูได้จากรูปที่ ๒.๑๐



รูปที่ 2.9 รูปแสดงค่าที่บวกเพิ่ม สำหรับระดับความดันเสียง หรือระดับความเข้มเสียง



รูปที่ 2.10 ระดับความดันเสียงสำหรับแหล่งกำเหนิดเสียงต่าง ๆ (วัดภายนอกอาคาร)

ในการวัดระดับเสียง เราใช้ Standard Sound-Level meter ซึ่งสามารถอ่านค่าออกมาเป็นตัวเลขจำนวน decibels ซึ่งจะทำให้เราทราบว่าระดับความดังของเสียงมีค่าเท่าไร ที่ระยะจากแหล่งกำเหนิดเสียงนั้น ๆ ดังแสดงในรูปที่ ๒.๑๑ ซึ่งจะทำให้ทราบค่าระดับความดังของเสียงจากแหล่งกำเหนิดเสียง ที่สภาพแวดล้อมต่าง ๆ

<u>การลดเสียง</u> (Noise Reduction,NR)

การลดเสียง คือผลต่างของ decibels ในรูปแบบของ ระดับความเข้มเสียงหรือระดับความดันเสียงในแนวที่เสียงเคลื่อนที่ผ่านไป หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือระดับความดังที่ลดลง เมื่อเสียงเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดกั้นเสียง (Acoustical Treatment)

ซึ่ง $NR = IL_1 - TL_2$ dB

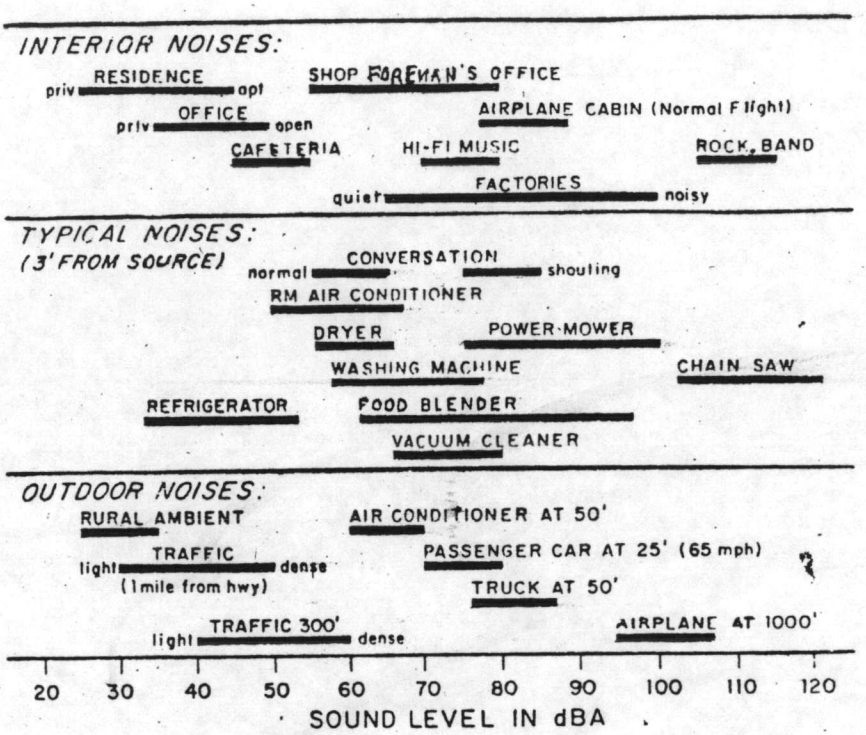
หรือ $NR = SPL_1 - SPL_2$

<u>เสียงภายใต้ภาวะอิสระ</u> (Sound Under Free Field Condition)

เมื่อเสียงแพร่กระจายออกจากแหล่งกำเหนิดเสียง และรอบ ๆ แหล่งกำเหนิดเสียงไม่มีผิวสะท้อน เราเรียกว่า Free Field Condition และจากกฎกำลังสองผกผัน (Inverse Square Law) ค่าความเข้มของเสียงจะลดลงเหลือเพียง ๑/๔ เท่า เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเป็น ๒ เท่า

Inverse Square Law; $I_1/I_2 = d_1^2/d_2^2$

เมื่อ $d_2 = 2d_1$ จะได้ $I_2 = I_1/4$



รูปที่ 2.11 ระดับเสียงวัดเป็น dB(A) ที่สภาพแวดล้อมจากแหล่งกำเหนิดเสียงต่าง ๆ

การดูดกลืนเสียง (Sound Absorption)

วัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดกลืนเสียงจะสามารถดูดกลืนเสียงได้ เมื่อพลังงานเสียงตกกระทบวัสดุนั้น ๆ ซึ่งประโยชน์ของพวก Absorbing material สามารถ

๑. ลดระดับเสียง

๒. ทำให้ช่วงเวลาของการสะท้อนช้าหรือเร็วขึ้นได้

๓. ป้องกันไม่ให้เกิดเสียง Echo หรือขจัดเสียงสะท้อนที่ไม่ต้องการ

สำหรับจุดประสงค์ในการศึกษานี้ ต้องการเลือกวัสดุที่สามารถลดระดับเสียงได้ดี และเป็นวัสดุที่ประหยัด เพื่อนำไปใช้เป็นสิ่งกีดขวางเสียง (Barrier) บนทางด่วนพิเศษ

วัสดุที่มีลักษณะเป็นรูพรุน (Porous material) หรือมีช่องอากาศภายในจะสามารถดูดกลืน (Absorb) เสียงได้ดี ซึ่งจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ "วัสดุที่ใช้ในการทดลอง"

สิ่งที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นตัวชี้ให้เห็นถึงคุณสมบัติในการดูดกลืนเสียงของวัสดุคือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืน (Absorption Coefficient)

Absorption Coefficient (a) เป็นพลังงานเสียงส่วนหนึ่ง ซึ่งถูกดูดซึมโดยผิววัสดุ เมื่อมีพลังงานเสียงมาตกกระทบผิววัสดุนั้น ๆ

หน่วยการดูดกลืน (Absorption Units, A) มีหน่วยเป็น Sabins ซึ่งมีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างพื้นที่ผิว (Surface area) ของวัสดุกับค่า a ของวัสดุนั้น ๆ

สัมประสิทธิ์การลดเสียง (Noise Reduction Coefficient, NRC) สำหรับวัตถุที่เป็นวัสดุดูดกลืนเสียง (Sound Absorbing Material) นั้น ค่า NRC จะเป็นค่าเฉลี่ยทางเลขคณิตของค่า a ที่ความถี่เป็น ๑๒๕, ๒๕๐, ๕๐๐, ๑๐๐๐, ๒๐๐๐ และ ๔๐๐๐ เฮิรส์ (six test of frequency)

โดยปกติค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน (Sound Absorption Coefficient, a) ของวัสดุจะเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ ดังนั้น การวัดค่า a จึงนิยมวัดที่ความถี่ต่าง ๆ ตาม Octave band center of Frequency คือที่ ๑๒๕, ๒๕๐, ๕๐๐, ๑๐๐๐, ๒๐๐๐ และที่ ๔๐๐๐ เฮิรส์ ค่า a ของวัสดุต่าง ๆ จะดูได้จากตารางที่ ๒.๔ ซึ่งได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะแตกต่างกับค่าที่ได้จริงในสนามประมาณ ๕ – ๑๐ % ตารางที่ ๒.๔ นี้ จัดทำโดย The Acoustical and Insulating Material Association ค่า a โดยทั่วไปของวัสดุจะอยู่ระหว่าง ๐ ถึง ๑

จากรูปที่ ๒.๑๒ และตารางที่ ๒.๕ แสดงให้เห็นถึงค่า a ของวัสดุประเภทต่าง ๆ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่

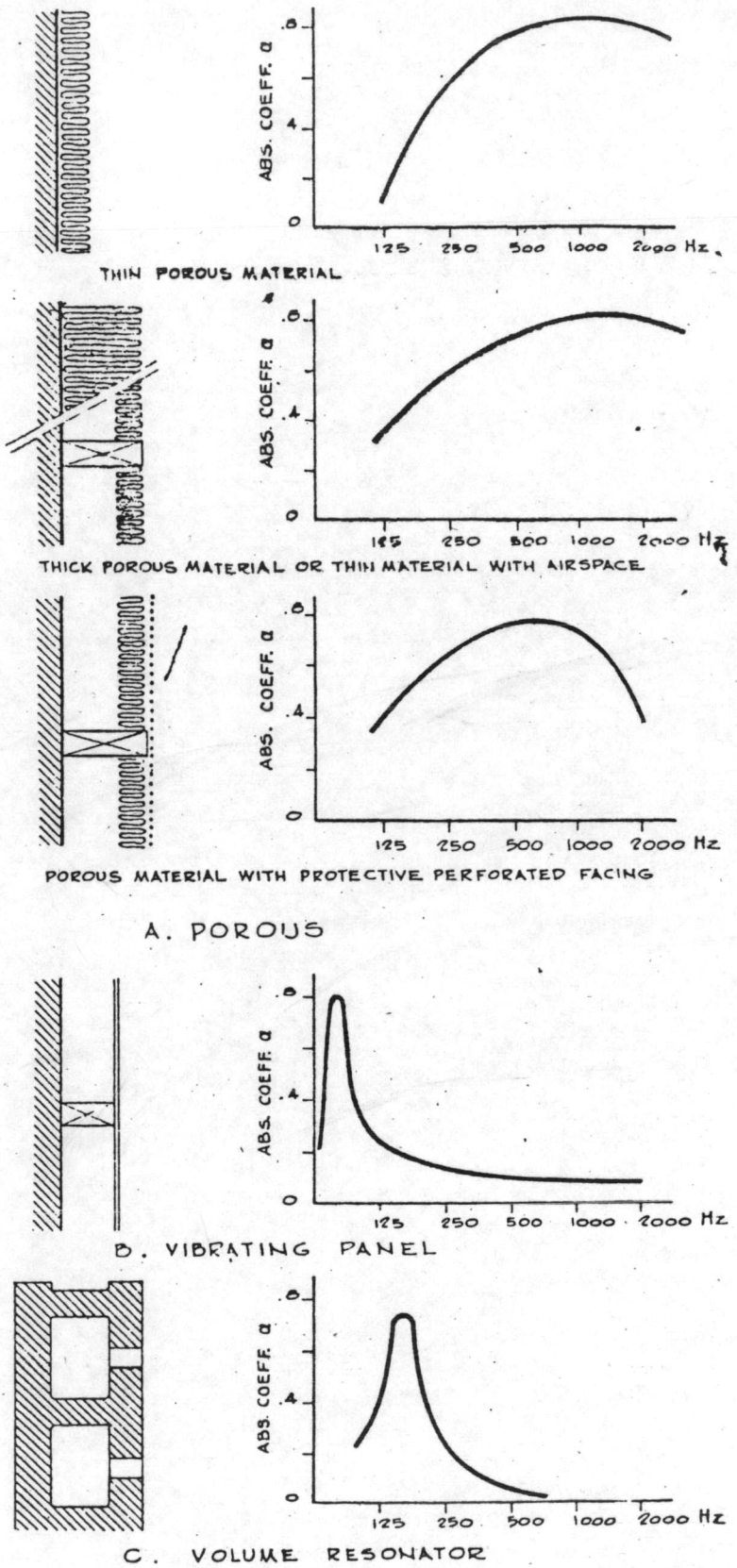
<u>กลไกพื้นฐานในการดูดกลืนเสียง</u> (The Basic Mechanism of Sound Absorption)

วัสดุที่มีลักษณะพรุน (Porous material) จะมีคุณสมบัติในการดูดกลืนเสียง ส่วนวัสดุที่มีผิวแข็งมันเรียบ จะมีคุณสมบัติในการดูดกลืนเสียงน้อย ซึ่งคิดเป็นพลังงานตกกระทบที่ถูกดูดซึมไปไม่ถึง ๕ % ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพวกวัสดุที่ผิวแข็งมันเรียบจะเป็นพวก Reflecting Materials เช่นอิฐ คอนกรีตผิวเรียบ แก้ว (กระจกหน้าต่าง) เป็นต้น

วัสดุที่มีผิวพรุน (Porous materials) เมื่อพลังงานเสียงตกกระทบผิว จะทำให้พลังงานที่ตกกระทบบางส่วนเปลี่ยนไป เป็นพลังงานความร้อน (พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าน้อย ซึ่งไม่อาจรับความรู้สึกด้วยมือได้)

ตารางที่ ๒.๔ แสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของวัสดุที่ความถี่ต่าง ๆ

Material	Coefficient					
	125	250	500	1000	2000	4000
Brick, unglazed	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07
Brick, unglazed, painted	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
Carpet, heavy, on concrete	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.65
Same, on 40-Oz hairfel or foam rubber	0.08	0.24	0.57	0.69	0.71	0.73
Same, with impermeable latex backing on 40 Oz hairfel or foam rubber	0.08	0.27	0.39	0.34	0.48	0.63
concrete block, coarse	0.36	0.44	0.31	0.29	0.39	0.25
Concrete block, painted Fabrics	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08
Light velour, 10 Oz per sq yd, hung straight, in contact with wall	0.03	0.04	0.11	0.17	0.24	0.35
Medium velour, 1402 per sq yd, draped to half area	0.07	0.31	0.49	0.75	0.70	0.60
Heavy velour, 180z per sq yd, draped to half area	0.14	0.35	0.55	0.72	0.70	0.65
Floor						
Concrete or terrazzo	0.01	0.01	0.015	0.02	0.02	0.02
Linolcum, asphalt, rubber or cork tile on concrete	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
Glass						
Large panes of heavy plate glass	-	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
Ordinary window glass	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04
Gypsum board, $1\frac{1}{2}$ m. nailed to 2 X 4′, 16 m.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
Openings						
Stage, depending on furnishing			0.25-0.75			
Deep balcony, uphoistered seats			0.50-1.00			
Grilles, ventilating			0.15-0.50			
Plywood panelling, $\frac{3}{8}$ in thick	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11
Water surface, as swimming poll	0.008	0.008	0.013	0.015	0.020	0.025



รูปที่ 2.12 แบบพื้นฐาน และแสดงถึงประสิทธิภาพของวัสดุดูดกลืนเสียง

ตารางที่ ๒.๕ แสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของวัสดุที่พบได้โดยทั่วไป

	Frequency in Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
Brick, unpainted	.03	.03	.03	.04	.05	.07
Concrete, unpainted	.01	.01	.02	.02	.02	.03
Tiled floor, solid backing	.02	.03	.03	.03	.03	.02
Parquet floor	.04	.04	.07	.06	.06	.07
Wood joist floor	.15	.11	.10	.07	.06	.07
Plate glass window	.18	.06	.04	.03	.02	.02
Normal glass window	.35	.25	.18	.12	.07	.04
Plasterboard, 12.5 mm on timber frame	.29	.10	.05	.04	.07	.09
Plastered brick	.01	.01	.02	.03	.04	.05
Acoustic plaster, 25 mm.	.25	.45	.78	.92	.89	.87
Fibreboard, 12.5 mm on solid backing	.05	.10	.15	.25	.30	.30
Mineral, glass wool, 25 mm solid backing	.15	.35	.70	.85	.90	.90
Same faced with 5 % perforated hardboard	.10	.35	.85	.85	.35	.15
Carpet on good underlay	.08	.24	.57	.69	.71	.73
Curtains, heavy draped	.07	.31	.49	.75	.70	.60
Water surface	.01	.01	.01	.01	.02	.02
Audience, m^2 per person	.18	.40	.46	.46	.51	.46
Hard seats, unoccupied, m^2 per seat	.07	.10	.15	.17	.18	.20
Upholstered seats, unoccupied, m^2 per seat.	.12	.20	.28	.30	.32	.37

การเลือกวัสดุที่เกี่ยวข้องกับเสียง (Acoustical Materials)

การเลือกวัสดุเพื่อใช้ประโยชน์ในการดูดกลืนเสียง ควรเลือกให้สอดคล้องกับจุดประสงค์ของการใช้งานที่ต้องการ โดยคำนึงถึงสถานที่ ราคาของวัสดุและสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสถาบัน AIMA (The Acoustical and Insulating Materials Association) ได้จัดวัสดุพวก Acoustical Materials เป็น ๔ ประเภท

๑. วัสดุชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Frefabricated Materials) ซึ่งจะดูได้จากตารางที่ ๒.๖ ซึ่งหมายรวมถึงผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยสถาบัน AIMA สำหรับวัสดุประเภทนี้จะผลิตสำเร็จรูปจากโรงงาน การวัดค่า a ที่ความถี่ต่าง ๆ ของวัสดุประเภทนี้ สิ่งที่ต้องการคำนึงถึง คือ

๑.๑ ความหนาของวัสดุที่ใช้

๑.๒ ลักษณะการติดตั้งของวัสดุ ซึ่งการติดตั้งในลักษณะต่าง ๆ กัน จะให้ผลลัพธ์ค่า a ต่างกัน

๒. ผลิตภัณฑ์ประยุกต์พวกพลาสติก (Plastic Applied Moterials) วัสดุประเภทนี้นิยมใช้กับผิววัสดุที่มีลักษณะแข็ง เช่นผนังที่มีรอยแตกงา หรือร้าว ซึ่งเราสามารถใช้วัสดุพวกพลาสติกนี้ฉาบเคลือบผนังที่แตกร้าว เพื่อให้คุณสมบัติทางด้านเสียงของผนังดีขึ้น เนื่องจากเสียงไม่สามารถสอดแทรกไปตามรอยร้าวได้อีก ปกติการฉาบจะฉาบหนาประมาณ ๑ นิ้ว วัสดุพวกพลาสติกมีชนิดแบบที่ใช้ทา หรือแบบ spray gun โดยผสมตัวประสานกับน้ำ

ตารางที่ ๒.๖ การจัดแบ่งวัสดุทางด้านเสียง

โดย Courtesy Acoustical and Insulating Materials Association

Regularly perforated cellulose fiber tile

Random perforated cellulose fiber

Textured, finely perforated, fissured, or Simulated fissured cellulose tile

Cellulose fiber lay-in panels

Perforated mineral fiber tile

Fissured mineral fiber tile

Textured, finely perforated, or smooth mineral fiber tile

Mineral fiber lay-in panels

Ferforoted metal pans with mineral fiber pads

Perforated metal lay-in panels with mineral fiber pads rated as part of fire resistive assemblies

Mineral fiber tile rated as part of fire resistive assemblies

Perforated asbestos cement board panels with mineral fiber pads

Special acoustical panels and systems

Sound absorbent ductlining

๓. งานพิเศษที่ต้องการความประณีต (Special job Assembled Composite)

วัสดุประเภทนี้จะคำนึงถึงปัญหาทั้งทางด้านการป้องกันเสียง (Acoustical treatment)และความสวยงามควบคู่กันไป เช่นการก่อผนังโดยให้มีช่องว่างของอากาศอยู่ด้านหลัง จะช่วยทำให้ผนังที่ก่อดังกล่าวสามารถดูดกลืนเสียงได้มากขึ้นที่ช่วงความถี่ต่ำ ๆ

๔. บัฟเฟิลแขวน (Suspended **buffles or space absorbers)**

วัสดุประเภทนี้ก็เป็นพวก วัสดุดูดกลืนเสียง (**Absorbing** Unit) ซึ่งประกอบด้วยวัสดุผิวพรุน (porous materials) อาจจะประกอบเป็นรูปของ flat-**buffles** cones, prisms หรือรูปอื่น ลักษณะที่เหมาะสมกับการใช้งาน เช่นซอนห่อต่าง ๆ และมีประโยชน์ทางด้านการป้องกันเสียงด้วย

จากที่กล่าวมาในหัวข้อ Selecting Acoustical Materials ซึ่งแบ่งวัสดุทางด้านเสียงเป็น ๔ ประเภท ตามลักษณะของการใช้งาน ซึ่งการศึกษาที่จะกล่าวถึงต่อไปเกี่ยวกับการเลือกวัสดุ เพื่อใช้ในการทดลอง เพื่อเปรียบเทียบค่า a ให้ได้วัสดุที่มีค่า a ดี และราคาถูกเหมาะสมที่จะใช้เป็นสิ่งกีดขวางเสียงบนทางด่วนพิเศษ

การลดเสียงภายในห้อง (Room Noise Reduction)

สำหรับการหาค่า NR ของห้อง เมื่อเราทราบค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน (Absorption Coefficient) และพื้นที่ผิว (Surface area) ของวัสดุต่าง ๆ เราสามารถหาค่า NR ในรูปแบบของ Absorption Units ได้

โดย NR (in decibels) = 10 log A_2/A_1

เมื่อ A_1 = ค่า Absorption Units เมื่อมีเพียงบางส่วนหรือไม่มีวัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดกลืนเสียง

A_2 = ค่าผลรวมของ Absorption Units ของวัสดุที่อยู่ภายในห้อง

ซึ่งโดยปกติแล้ว เมื่อใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดกลืนเสียง เพื่อทำการป้องกันเสียง (Acoustical Treatment) จะสามารถช่วยลดระดับเสียงภายในห้องได้ประมาณ ๕ — ๑๐ dB

ตัวอย่าง การหาค่า NR ของห้อง

จงหาค่าระดับเสียงที่ลดลงเมื่อใช้ acoustictile ซึ่งมีค่า Sound Absorption Coefficient เท่ากับ ๐.๘๐ ที่ความถี่ ๕๐๐ HZ ติดที่เพดานของห้องที่ทำด้วยคอนกรีต โดยตามขนาดของพื้นเป็น ๑๕ X ๒๐ สูง ๒๐ ฟุต

กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของผิวคอนกรีต ๐.๐๓ ที่ความถี่ ๕๐

หาค่า A_1/ พื้นคอนกรีต = ๓๐๐ X ๐.๐๓ = ๙

เพดานคอนกรีต = ๓๐๐ X ๐.๐๓ = ๙

ผนังคอนกรีต ๗๐๐ X ๐.๐๓ = ๒๑

$\therefore A_1$ = ๓๙ Sabins

หาค่า A_2 / พื้นคอนกรีต = ๓๐๐ X ๐.๐๓ = ๙

ผิวเพดานคอนกรีต = ๓๐๐ X ๐.๘๐ = ๒๔๐

ผนังคอนกรีต = ๗๐๐ X ๐.๐๓ = ๒๑

$\therefore A_2$ = ๒๗๐ Sabins

ดังนั้น $NR = 10 \log A_2 / A_1$

$= 10 \log 270/39$

$\therefore NR = 9$ dB

ค่า NR = 9 dB หมายถึง ถ้าเดิมมีระดับความดังภายในห้อง ๕๐ dB หลังจากทำการป้องกันเสียง (Acoustical treatment) ที่เพดานแล้ว ระดับเสียงที่ได้จะมีค่า ๔๑ dB ที่ความถี่ ๕๐๐ HZ

อนึ่ง ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน (Absorption Coefficient,a) จะเปลี่ยนไปตามความถี่ดังที่ได้เคยกล่าวมาแล้ว ดังนั้น ในการหาค่า NR จึงจำเป็นต้องกระทำที่ค่าความถี่ต่าง ๆ เช่นเดียวกับค่า a

การเก็บเสียง (Sound Isolation)

การควบคุมการส่งผ่าน (Transmission) ของเสียงที่ไม่ต้องการให้เข้าไปในสถานที่ใด ๆ ในอาคาร เป็นสิ่งจำเป็นที่ผู้ออกแบบจะต้องสนใจ เพื่อให้สอดคล้องกับสถานะภาพ (Sastisfactory acoustic environment) เสียงที่ไม่ต้องการอาจเป็นเสียงของเครื่องยนต์ เสียงจากเครื่องบินจากภายนอกอาคาร หรือเสียงที่เกิดขึ้นรอบ ๆ อาคาร เช่นเสียงสนทนาของห้องข้างเคียง เสียงดนตรีจากอาคารเช่าพักอาศัย (Apartment) ใกล้เคียง หรือเสียงที่กระทบ (Impact) โดยตรง เช่นเสียงจากการเดินของผู้ที่อยู่อาคารชั้นบน เสียงฝนที่ตกกระทบบนหลังคาบ้านที่มีโครงหลังคาที่มีน้ำหนักเบา หรือเสียงจากเครื่องมือ เครื่องจักรที่สั่นสะเทือน ซึ่งปัญหาเหล่านี้สามารถจัดเป็นหมู่ภายใต้ Category of Sound Isolation เป็นที่น่าสังเกตว่า ขีดจำกัด (Criterion) ในการออกแบบสำหรับเสียงที่เกิดจากแหล่งกำเหนิดเสียงต่างกันจะมีข้อพึงพิจารณาต่างกันออกไป ซึ่งจะขึ้นกับระยะทางและชนิดของแหล่งกำเนิดเสียง

สำหรับปัญหาของการเก็บเสียง (Sound Isolation) จะซับซ้อนเพราะต้องคำนึงถึงศักดาของแหล่งกำเนิดเสียง และระดับเสียงที่ตกกระทบ ซึ่งผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงปัญหาความต้องการเก็บเสียง และลักษณะทางกายภาพของสิ่งกีดขวางเสียง (Phycical Characteristic of barriers) เพื่อที่จะควบคุมเสียงในสถานที่ที่ต้องการจาก air-borner และ structure borne sound

วิธีการของการเก็บเสียง (Sound Isolation) มีแนวโน้มที่จะลดระดับเสียงได้มากกว่าวิธีการของการดูดกลืนเสียง (Sound Absorption) ซึ่งการป้องกันเสียงจะทำได้โดยใช้ผนังที่มีคุณสมบัติมีน้ำหนักเนื้อแน่น และพื้นผิวต่อเนื่อง (Continuous and massive impervious barriers) กั้นขวางทางเดินของเสียง ซึ่งถ้าปัญหาเกี่ยวกับ structure borne อาจจำเป็นต้องใช้ความไม่ต่อเนื่องหรือผนังที่มีช่องว่างระหว่างกลาง

การใช้งานของ Sound absorbing materials และ Sound-isolating materials จุดประสงค์ต่างกันไป เช่นเราไม่หวังให้ผนังคอนกรีตหนา ๘ " (๒๐ ซม) สามารถดูดกลืนเสียงได้มากในทำนองเดียวกันวัสดุที่มีรูพรุนมากจะเป็นวัสดุที่กีดขวางเสียงที่ดีได้ ซึ่งวัสดุทั้ง ๒ ประเภทนี้มักจะทำให้เกิดความสับสนและไม่สามารถแยกแยะให้เห็นได้อย่างชัดเจนได้

<u>กรณีอย่างง่ายในการส่งผ่านเสียงจากห้องหนึ่งไปยังอีกห้องหนึ่ง</u>

การอธิบายลักษณะการส่งผ่านเสียงอาจทำได้โดยพิจารณาห้องสองห้อง ซึ่งมีวัสดุกั้นกลางห้องทางซ้ายมือเรียกว่า ห้องกำเหนิดเสียง (Source Room) ซึ่งเป็นต้นกำเหนิดของแหล่งเสียงโดยส่งเสียงให้ระดับความดังโดยสม่ำเสมอ ส่วนห้องทางขวามือเรียกว่าห้องรับเสียง (Recieving Room)

ระดับของเสียงที่จะส่งผ่านวัสดุที่กั้นขวางเพื่อไปยังห้องรับเสียง จะขึ้นอยู่กับ

๑. ความสามารถในการลดเสียง (Transmission Loss) ของผนังที่กั้นขวาง

๒. พื้นที่ของผนัง

๓. ปริมาณวัสดุที่ดูดกลืนเสียงในห้องรับเสียง

๔. ในสภาวะแวดล้อมตามปกติ (Background sound)

เมื่อเสียงเคลื่อนที่จากห้องกำเหนิดเสียงผ่านวัสดุที่กั้นขวางเพื่อไปยังห้องรับเสียงระดับเสียงที่ลดลงจะเป็นค่า NR

ซึ่งค่า $NR = SPL_1 - SPL_2$

$= TL - 10 \log \frac{S}{A_2}$

โดย S = พื้นผิวของผนังที่กั้นขวาง

A_2 = หน่วยการดูดกลืนรวมของห้องรับเสียง

TL = การกีดขวางเสียง (Transmission Loss)

สำหรับค่า $10 \log \frac{S}{A_2}$ เป็นค่าแก้ไข (Correction) ของค่าวัสดุดูดกลืนกับค่าพื้นที่ของวัสดุที่กั้นขวาง ซึ่งโดยปกติแล้วจะมีค่าประมาณ ± ๕ dB

<u>บทบาทของสิ่งกีดขวางเสียงในการป้องกันเสียง</u>

กรณีของ Masking จะเกิดขึ้นต่อเมื่อสภาพวะแวดล้อมเสียง (Background Sound) ที่มีอยู่มีระดับความดังมากกว่าหรือเท่ากับ เสียงที่ส่งผ่าน (Transmitted Sound)

Masking Sound เช่นเสียงลม เสียงที่เกิดจากขณะที่แอร์คอนดิชั่นทำงาน เสียงที่เกิดจากอาคารใกล้เคียง ซึ่งเสียงเหล่านี้เรา เรียกรวมกันว่าสภาวะแวดล้อมเสียง (Background noise)

สำหรับสภาวะแวดล้อมเสียงนี้ บางครั้งอาจมีผลต่อการป้องกันเสียงได้ ถ้า Background Noise $\geq$ Transmitted Sound ขณะที่เสียงตกกระทบวัสดุที่ใช้เป็นสิ่งกีดขวางเสียง และค่า Background Noise ในสำนักงานจะ เปลี่ยนแปลงประมาณ ๑๕ – ๒๐ dB

โดยปกติแล้ว วัสดุที่ใช้ทำเป็นกำแพงกั้นเสียงควรจะให้ระดับ เสียงที่ผ่านกำแพงกั้นเสียงไปได้มีค่าต่ำกว่า Background noise เพื่อจะได้ไม่รบกวนผู้อยู่อาศัยภายนอก

<u>การส่งผ่านเสียง</u> (Sound Transmission)

การส่งผ่าน (Transmission) หมายถึงการส่งผ่านของเสียง เมื่อมีสิ่งกีดขวางเสียงมากั้นขวาง

สัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Transmission Coefficient) เป็นส่วนหนึ่งของพลังงานที่ผ่านไปได้ ซึ่งเรากำหนดให้

$$T = W_2 / W_1$$

โดย W_2 พลังงานเป็นวัตต์ที่เสียงผ่านสิ่งกีดขวางเสียง

W_1 พลังงานเป็นวัตต์ที่เสียงตกกระทบสิ่งกีดขวางเสียง

การกีดขวางเสียง (Transmission Loss)

สำหรับค่า TL ของสิ่งกีดขวางเสียง เรากำหนดให้

$$TL = 10 \log 1/T \text{ decibels}$$

ในการพิจารณาถึงการเลือกวัสดุเพื่อทำเป็นกำแพงกั้นเสียง ค่า TL จะมีผลมากในการที่เราจะตัดสินใจในการเลือกวัสดุ

เมื่อ $T = W_2 / W_1$ น้อย

จาก $TL = 10 \log 1/T$ จะได้ TL มาก

นั่นคือ W_2 น้อย จะได้ค่า TL มาก

สรุป TL มีค่ามาก ๆ นั่นคือพลังงานเสียงส่วนที่ผ่านกำแพงกั้นเสียงไปได้จะน้อย

เมื่อเราทดลองเปรียบเทียบค่า TL ของวัสดุต่าง ๆ ได้แล้ว แนวโน้มในการเลือกวัสดุเพื่อไปทำเป็นกำแพงกั้นเสียงบนทางด่วนพิเศษควรจะเลือกวัสดุที่มีค่า TL สูง ๆ ซึ่งต้องคำนึงถึงราคาทั้งค่าวัสดุ ค่าแรงในการติดตั้ง และเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย ซึ่งสามารถผลิตได้โดยคนไทย

จาก $TL = 10 \log 1/T$

$T = W_2 / W_1$

กรณีไม่มีกำแพงกั้นเสียง $W_2 = W_1$

$T = 1$

ค่า $TL = 10 \log 1/1$

ดังนั้น $TL = 0$ dB

ซึ่งค่า TL อาจมีค่าตั้งแต่ ๐ ถึง ๗๐ dB (ในกรณีของการก่อสร้างขนาดหนัก)

ค่าของ TL มีองค์ประกอบหลายประการที่เกี่ยวข้อง ซึ่งองค์ประกอบต่าง ๆ มีดังนี้

๑. ขนาดของชิ้นส่วนที่ใช้ในการทดลอง

๒. แง่มุมในการติดตั้ง

๓. น้ำหนักและความต้านทานในการเสียรูปของวัสดุ

๔. องค์ประกอบอื่น ๆ เช่นลม

ค่าของ TL ของวัสดุจะเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ของเสียงที่ตกกระทบ ซึ่งการทดลองในห้องปฏิบัติการ เราจะทำการวัดค่า TL ของวัสดุตามความถี่ต่าง ๆ เป็น Center Octave bond ซึ่งจะได้กล่าวถึงในขั้นตอนของการทดลองต่อไป ค่า TL นี้ต่างประเทศได้ทำการทดลองและแสดงให้เห็นได้จากตารางที่ ๒.๗ ซึ่งเป็นค่า TL ของวัสดุต่าง ๆ ที่ค่าความถี่ต่าง ๆ กันที่ตั้งแต่ ๑๒๕ ถึง ๔๐๐๐ เฮิรส์

ตารางที่ ๒.๗ แสดงค่าการกีดขวางเสียงของวัสดุก่อสร้าง (ค่าที่ได้นี้ได้จากการวัดในสนาม)

Building Construction Walls	Transmission Loss(dB)						
	125	250	500	1000	2000	4000	STC
$2\frac{1}{2}$-in laminated plaster board and coreboard demountable partition (9 psf)	29	29	30	32	37	38	34
4in hollow core gypsumblack, $\frac{5}{8}$ in sand aggregate plaster both sides (25 psf)	30	31	33	39	42	46	38
2 in solid gypsum sand-aggregate plaster (18psf)	31	32	33	38	45	53	36
4 in pumic block,unpainted(16 psf)	18	19	26	32	35	40	38
6 in hollow concrete block, painted (28 psf)	30	33	36	41	46	51	41
$4\frac{1}{2}$ in solid brick,plastered both sides (45 psf)	34	35	40	51	57	60	46
7 in stone-aggregate concrete 90(psf)	44	47	52	58	66	70	55
2 X 4 wood studs, $\frac{1}{2}$in sand-aggregate plaster on $\frac{5}{8}$ in gypsum lath both sides (16 psf)	27	25	31	44	34	50	34
$3\frac{1}{2}$ in sheet metal stud, $\frac{1}{2}$ in gypsum board both sides, $2\frac{1}{2}$ in insulation in airspace (16 psf)	27	36	48	56	50	46	46
$2\frac{1}{2}$ wire studs, $\frac{1}{2}$ in sand-agregate plaster on $\frac{5}{8}$ in gypsum lath on $\frac{1}{2}$ in resilient metal,clips both side (12 psf)	30	37	43	48	43	60	45
2 X 4 studs, 16 in on center, $\frac{5}{8}$ in gypsum board both sides, with 24 in on center, resilient metal furring channel on side only, $2\frac{1}{2}$ in insulation in airspace, resilient caulked periphural joint (6 psf)	30	41	55	58	50	56	51
4 in hollow concrete block wall (24 psf) painted, with $\frac{1}{2}$ in gypsum board on resilient furring channels on 1 X 2 strapping side only, with 1 in insulation in airspace	27	44	57	64	61	55	51

การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากห้องปฏิบัติการและค่าที่ได้จากสนามของค่ากีดขวางเสียง

ผลการทดลองจากห้องปฏิบัติการ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ในสนามนั้น โดยปกติค่าที่ได้จากห้องปฏิบัติการจะสูงกว่าค่าที่วัดได้จริงในสนาม และถ้าขนาดที่เราใช้มีขนาดเล็ก ค่า TL จะสูงกว่า เมื่อเทียบกับของจริง

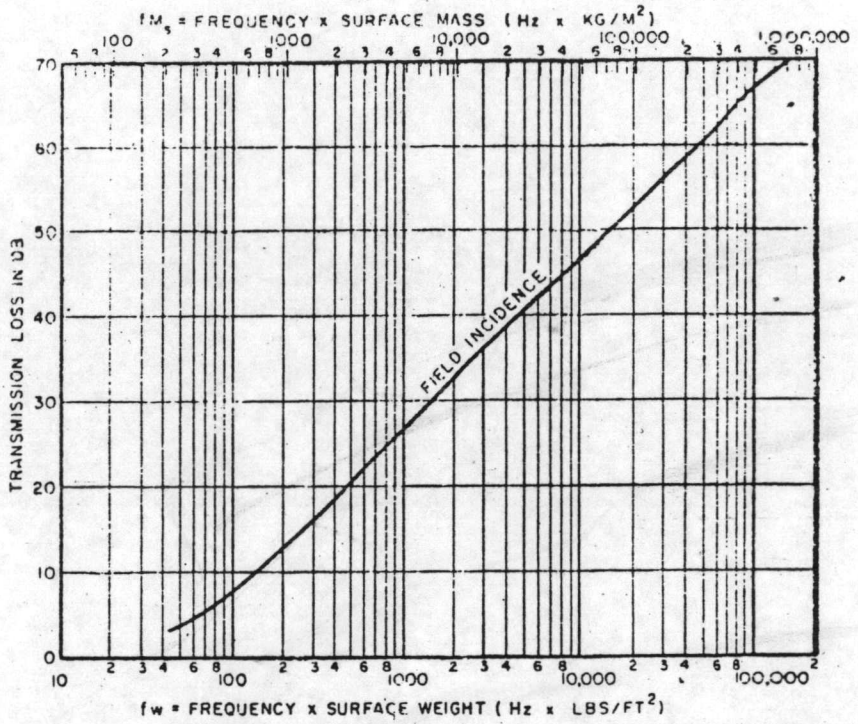
วิธีการที่ใช้ในการหาค่าการกีดขวางเสียงของวัสดุ [๖]

ผนังเนื้อเดียว (Single Homogeneous Walls) ในการหาค่า TL หลักการที่ใช้นี้เรียกว่า "Mass Law" ซึ่งเราจะใช้มวลสารของแผ่นเป็นเกณฑ์ จากรูปที่ ๒.๑๓

แกนราบ แสดงถึงความถี่ X น้ำหนักพื้นผิว

แกนดิ่ง แสดงถึงค่า TL

เมื่อเราทราบค่าน้ำหนักพื้นผิวของวัสดุที่ใช้ทำเป็นกำแพงกั้นเสียง ดังนั้นสามารถหาค่ากีดขวางเสียงของกำแพงกั้นเสียงดังกล่าวได้ ที่ค่าความถี่ต่าง ๆ



รูปที่ 2.13 กราฟมวลสารสำหรับประมาณค่า การกีดขวางเสียงของผนังเดี่ยว เนื้อเดียวกัน ภายใต้พื้นฐานของน้ำหนักพื้นผิวเพียงประการเดียว

ผนังคู่ (Double Walls)

สำหรับผนังคู่ โดยปกติจะปรับปรุงค่า TLของวัสดุที่ใช้เป็นกำแพงกั้นเสียงให้สูงยิ่งขึ้น ดังแสดงในรูปที่ ๒.๑๔ ซึ่งแบ่งผนังเดี่ยว (Single Wall) ออกเป็นผนังคู่ (ซึ่งยังคงมีน้ำหนักเท่าเดิม)

ในรูปที่ ๒.๑๔ จะแสดงให้เห็นถึงบางครั้งค่า TL ของผนังคู่จะมีค่าต่ำกว่าค่า TL ของผนังเดี่ยว ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากชั้นแต่ละบางเกินไป และช่องอากาศระหว่างชั้นน้อย ซึ่งถ้าเราเพิ่มขนาดความหนาของชั้นให้สูงขึ้น ค่า TL ของผนังคู่โดยปกติจะสูงกว่าค่า TL ของผนังเดี่ยว แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าเป็นกรณีที่ทราบความถี่แน่นอน ควรจะใช้ผนังกั้นเสียงแบบผนังเดี่ยวจะดีกว่า

วิธีการโดยประมาณในการหาค่าปรับปรุงของ TL ของกำแพงกั้นเสียงชนิดผนังคู่ จะดูได้จาก รูปที่ ๒.๑๕

แกนราบแสดงถึงค่าความถี่เป็นเฮิทส์

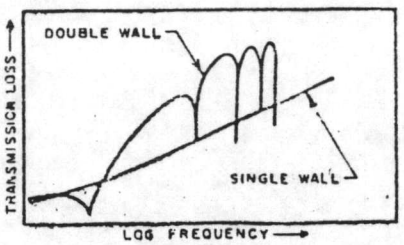
แกนดิ่งแสดงถึงค่าปรับปรุงค่า TL เป็น dB

ตัวอย่าง ในการคำนวณหาค่าปรับปรุงของ TL ของผนังคู่ กรณีผนังเดี่ยวคอนกรีตหนา ๘ นิ้ว ความหนาแน่นผนังคอนกรีต ๑๕๐ ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต

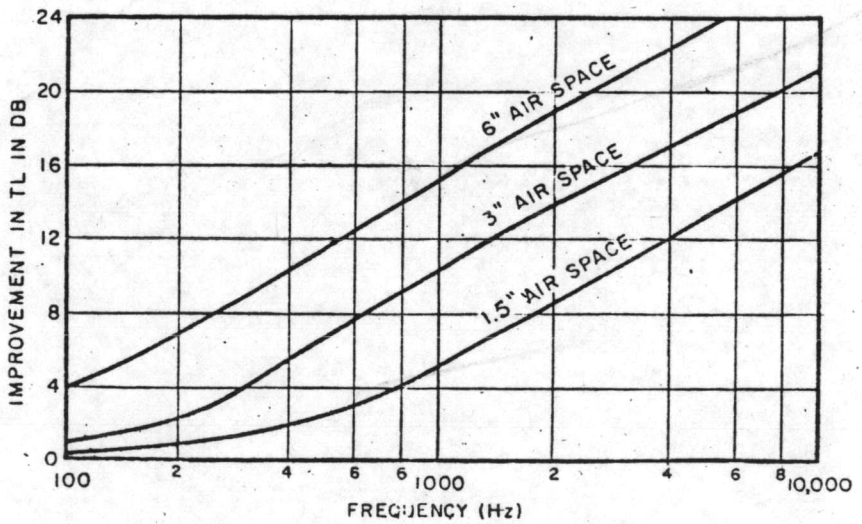
กรณีผนังคู่หนาแต่ละชั้น ๔ นิ้ว

ช่องว่างระหว่างชั้น ๓ นิ้ว

หาค่า TL ของผนังคู่และค่าปรับปรุงของ TL เมื่อเป็นผนังกั้นเสียงแบบผนังคู่



รูปที่ 2.14 กราฟในทางทฤษฎี แสดงผลที่เพิ่มขึ้นของการกีดขวางเสียง เมื่อใช้ผนังคู่แทนผนังเดี่ยว โดยยังมีน้ำหนักเท่าเดิม



รูปที่ 2.15 กราฟสำหรับประมาณค่า ส่วนเพิ่มของการกีดขวางเสียง เมื่อเปลี่ยนจากผนังเดี่ยวเป็นผนังคู่ที่ระยะห่างต่างๆของผนังคู่

กรณีผนังเดี่ยว (Homogeneous)

ความหนาแน่น = ๑๕๐ ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต

น้ำหนักผิว = $\frac{๑๕๐}{๑๒}$ X ๘

= ๑๐๐ ปอนด์ต่อตารางฟุตต่อความหนา ๘ นิ้ว

ความถี่ = ๕๐๐ เฮิทส์

wf = ๕๐,๐๐๐

จากรูปที่ ๒.๑๓ ได้ TL = ๖๐ dB

กรณีผนังคู่

ช่องว่าง ๓ นิ้ว

ความถี่ ๕๐๐ เฮิรส์

จากรูป ๒.๑๕ จะได้ค่าปรับปรุงของค่า เป็น ๖

ผนังคู่ให้ค่า TL = ๖๐ + ๖ = ๖๖ dB

นั่นคือ เมื่อแบ่งผนังเดี่ยวออกเป็นผนังคู่ (โดยน้ำหนักของผนังยังคงเดิม) และใช้ช่องว่างระหว่างชั้นเท่ากับ ๓ นิ้ว ผนังจะสามารถกีดขวางเสียงได้เพิ่มขึ้นอีก ๖

ผนังรวม (Composite Barriers)

เป็นผนังที่มีส่วนประกอบหลายส่วน เช่น ผนังอิฐ หรือคอนกรีตที่มีประตูหน้าต่างบนผนัง ซึ่งปกติค่า TL ของประตู หน้าต่างจะน้อยกว่า TL ของผนัง ผลที่ตามมาจะทำให้ค่า TL ของผนังรวมลดลง

การหาค่า TL ของผนังรวมจะทำให้โดยใช้วิธีการของรูปที่ ๒.๑๖

จากรูปที่ ๒.๑๖

แกนดิ่ง จะแสดงค่า TL (ผนัง) - TL (ประตู, หน้าต่าง) ซึ่งอยู่ในรูปของ

แกนราบ จะแสดงค่า decibels ที่จะนำไปลบจาก dB ของผนัง

เพื่อจะหาค่า effective ของผนังรวม

เส้นกราฟในรูปที่ ๒.๑๖ จะแสดงถึงอัตราส่วนของพื้นที่คิดเป็นเปอร์เซนต์

เช่นประตูต่อผนังทั้งหมด

ตัวอย่าง ในการคำนวณหาค่า TL ของผนังรวม

ผนังรวม	ผนัง + ประตู	= ๑๐๐ ตารางฟุต
สมมติให้	TL ของผนัง	= ๔๐ dB
ประตู		= ๒๐ ตารางฟุต
TL	(ประตู)	= ๑๕ dB
%	พื้นที่ของประตูต่อผนัง	= ๒๐ %
TL	(ผนัง) -TL (ประตู)	= ๔๐ − ๑๕ dB
		= ๒๕ dB

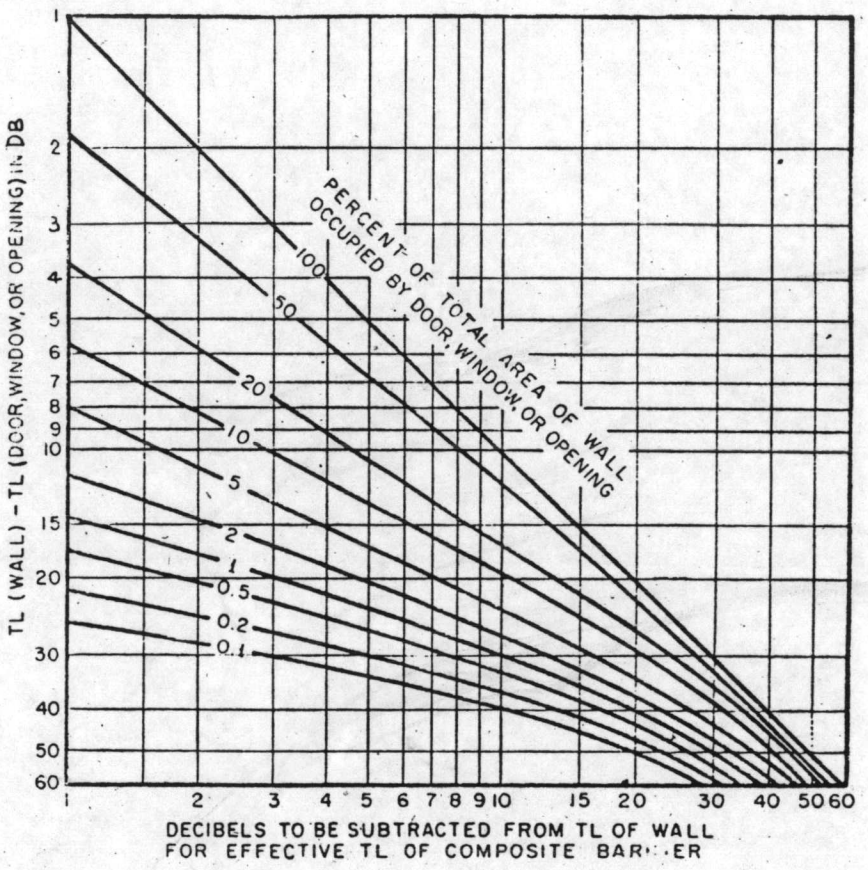
จากแกนดิ่งลากเส้นในแนวราบที่ระดับ ๒๕ พบเส้นกราฟ ๒๐ % แล้วลากเส้น

ในแนวดิ่งพบแกนราบที่ ๑๘ dB

∴ ค่า TL ของผนังรวม = ๔๐ − ๑๘ = ๒๒ dB

อนึ่งถ้าเราต้องการให้ค่า TL ของผนังรวมสูงขึ้น เราจะต้องเลือกประตู

หน้าต่างให้มีค่า TL สูงขึ้น ซึ่งจะมีผลให้ค่า TL ของผนังรวมสูงตามไปด้วย



รูปที่ 2.16 กราฟสำหรับคำนวณค่า ประสิทธิผลของการกีดขวางเสียงของผนังรวม

ผลของช่องเปิดและช่องว่างต่าง ๆ

สำหรับช่องว่างหรือช่องเปิดต่าง ๆ ซึ่งมีค่า TL เป็นศูนย์ การเจาะช่องบนผนังกั้นเสียงหรือรอยร้าวบนผนังกั้นเสียงจะมีผลทำให้ค่า TL ของผนังกั้นเสียงลดลง เนื่องจากเสียงลอดออกไปตามช่อง หรือผ่านไปตามรอยร้าวได้

ถ้าต้องการให้วัสดุที่ใช้เป็นผนังกั้นเสียง ให้ค่า TL สูง จึงจำเป็นต้องป้องกันไม่ให้มีช่องว่าง หรือรอยร้าวต่าง ๆ เกิดขึ้น บนวัสดุที่ใช้เป็นผนังกั้นเสียง ไม่ว่าบนผิวของผนังกั้นเสียงเอง หรือตามรอยต่อ (Joint) ต่าง ๆ ทั้งตามแนวดิ่งหรือแนวราบก็ตาม ดังนั้น สิ่งจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่งในการก่อสร้างผนังกั้นเสียงบนระบบทางด่วนจึงควรมีข้อกำหนดที่ว่า จำเป็นต้องไม่มีรอยแตกร้าว เกิดขึ้นบนวัสดุที่ใช้เป็นผนังกั้นเสียงรอยต่อต่าง ๆ จะต้องสนิท ซึ่งในบางกรณีอาจทำได้โดยนำวัสดุที่เหมาะสมมายารอยต่อให้สนิทแน่นก็ได้

การเล็ดรอดของเสียง

เป็นการเล็ดรอดของเสียงผ่านผนังกั้นเสียง ระหว่างที่มีอยู่ที่นอกเหนือไปจากช่องว่างหรือรอยต่อต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งกรณีนี้จะทำให้ค่า TL ของผนังกั้นเสียงลดลง เนื่องจากเสียงรอดหรือข้ามไปยังผนังตรงข้าม ตามช่องว่างที่มีอยู่ ซึ่งความสูงของผนังกั้นเสียงจะต้องสูงเพียงพอ เพื่อให้ปัญหานี้ลดน้อยลง ซึ่งจะได้กล่าวถึงในตอนต่อไป ของเรื่องผนังที่มีความสูงเพียงบางส่วน

เสียงกระทบ

จะเกิดขึ้นเมื่อเกิดการกระทบระหว่างวัตถุ เช่นเสียงที่เกิดจากล้อรถกระทบบนผิวถนนที่ยกระดับ ซึ่งผู้ที่อยู่ใต้ถนนยกระดับนั้นจะได้ยินเสียงนี้ได้ หรือขณะที่ขับรถบนถนนพบสันเตี้ย ๆ (จุดประสงค์เพื่อให้ชลอความเร็วของรถให้ต่ำลง) จะเกิดเสียงขึ้นเมื่อล้อกระทบกับสันเตี้ยนั้น ๆ

<u>ผนังที่กั้นขวางสูง เพียงบางส่วน</u> (Partial Height Barriers)

ในบางกรณีที่เราใช้ผนัง เป็นสิ่งกีดขวาง เสียง (Barrier) ซึ่งส่วนบนสุดของผนังกั้นเสียง เป็นช่องว่างจะ เรียกว่า (Partial Height Barriers) ซึ่งเราได้เคยกล่าวมาแล้วว่าส่วนที่เป็นช่องว่างนั้นมีค่า Transmission Loss เป็น 0 dB ซึ่งจะทำให้ค่า Transmission Loss ของผนังกั้นเสียง เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นค่า Transmission Loss ซึ่งมีส่วนสัมพันธ์กับช่องว่างนั้นจะอยู่ในรูปประสิทธิผลในการกีดขวาง เสียง (Effective Transmission Loss)

ในการหาค่าการลดเสียง เมื่อมี Partial height battier มากั้นขวางระหว่างแหล่งกำเนิดเสียง (เช่น เสียงที่เกิดขึ้นจากยวดยาน) กับผู้รับฟัง (ซึ่งได้แก่หูของผู้รับฟังที่อยู่อีกด้านหนึ่งของผนังกั้นเสียง) องค์ประกอบต่าง ๆ ที่สำคัญและเกี่ยวข้องกับค่า Effective transmission loss ได้แก่

๑. ระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงถึงผนังกั้นเสียง

๒. ความสูงของผนังกั้นเสียงที่สัมพันธ์กันระหว่างความสูงของแหล่งกำเนิดเสียง และระดับความสูงของผู้รับฟัง

๓. ระยะทางระหว่างผนังกั้นเสียงถึงหูของผู้รับฟัง

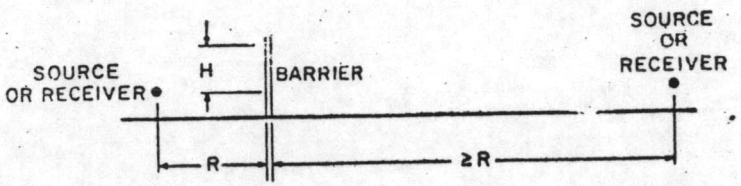
จากสมการการหาค่าของ TL โดยประมาณ

$$NR = \frac{2}{\lambda}\left\{R\left(\sqrt{1+\frac{H^2}{R^2-1}}\right) + D\left(\sqrt{1+\frac{H^2}{D^2-1}}\right)\right\}$$

ถ้า $D \gg R \gg H$

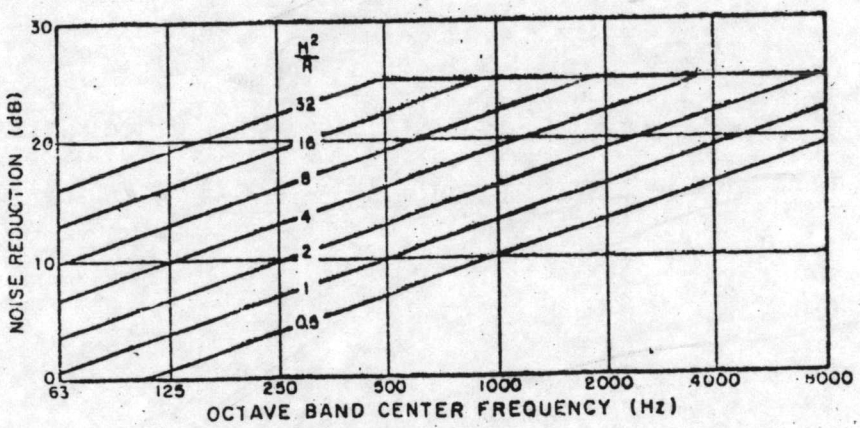
จะได้ $NR = \frac{H^2}{\lambda R}$

ซึ่ง λ ที่ค่าความถี่นี้แน่นอนของ เสียงชนิดหนึ่ง ๆ จะคงที่ $\frac{H^2}{R}$ เป็นตัวเปลี่ยนแปลง ซึ่งเราจะทราบค่าของ NR ได้ เมื่อทราบค่า H และ R และคำนวณค่า NR จากรูปที่ ๒.๑๗



APPROXIMATE ATTENUATION DUE TO BARRIER

$$NR = 10 \log_{10} \frac{H^2}{R} + 10 \log f - 17 \text{ dB}$$



รูปที่ 2.17 กราฟสำหรับประมาณค่าที่ลดลงของเสียงระหว่างแหล่งกำเหนิดเสียง และผู้รับฟัง เนื่องจากผนังสูง H. (ระยะต่าง ๆ วัดเป็นฟุต) วิธีการนี้ใช้สำหรับภายนอกอาคาร หรือ ภายในอาคารที่มีการควบคุมการใช้วัสดุดูดกลืนเสียงอย่างดี

สำหรับค่าประมาณของ NR ซึ่งอยู่ในรูปแบบของความถี่ (f) จะมีความสัมพันธ์ ดังนี้

$$NR = 10 \log \frac{H^2}{R} + 10 \log f - 17 \text{ dB}$$

ดังแสดงในรูปที่ ๒.๑๗

สำหรับความถี่ที่มีส่วนสัมพันธ์กับการรับฟังนั้น โดยปกติเราจะใช้ค่าความถี่ที่ **Octave band Center frequency** คือที่ค่า ๖๓, ๑๒๕, ๒๕๐, ๕๐๐, ๑๐๐๐ ๒๐๐๐, ๔๐๐๐, และ ๘๐๐๐ เฮิร์ส ตามลำดับ ซึ่งค่าความถี่นี้ ถ้าเราต้องการให้การวัดละเอียดขึ้น อาจใช้ค่าความถี่โดยการแบ่งเป็น One-third Ocbve band Center frequency

ตัวอย่างการแสดงการหาค่า NR ของผนังกั้น (Partial height)

ต้องการหาค่า NR ของผนังกั้นซึ่งสูง ๑๕ ฟุต ระยะจากแนวศูนย์กลางถนนถึงผนังกั้น ๒๕ ฟุต และระยะจากผนังกั้นถึงหูของผู้รับฟัง ๑๐๐ ฟุต กำหนดให้ความสูงของแหล่งกำเนิดเสียง ซึ่งอยู่ในระดับเดียวกับผู้รับฟังเป็น ๕ ฟุต

จากข้อมูลที่มีอยู่ R = ๒๕ ฟุต

H = ๑๐๐ ฟุต

$\frac{H^2}{R}$ = ๔ ฟุต

จากรูปที่ ๒.๑๗ จะได้ค่า NR ที่ความถี่ต่าง ๆ ดังนี้

ความถี่ (เฮิร์ส)	NR (dB)
๖๓	๗
๑๒๕	๑๐
๒๕๐	๑๓
๕๐๐	๑๖
๑๐๐๐	๑๙
๒๐๐๐	๒๒
๔๐๐๐	๒๕
๘๐๐๐	๒๕

ซึ่งได้กล่าวมาแล้ว สำหรับบ้านเรือนที่ตั้งอยู่บริเวณใกล้ถนน จะมีเสียงรบกวนอันเนื่องมาจากการจราจรของรถบนถนน เพื่อแก้ไขปัญหานี้ จึงจำเป็นต้องใช้วัสดุจัดทำเป็นผนังกั้นเสียง เพื่อให้เสียงที่ตกกระทบถึงหูผู้รับฟังที่อยู่อาศัย บริเวณใกล้เคียงดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ ซึ่งเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป

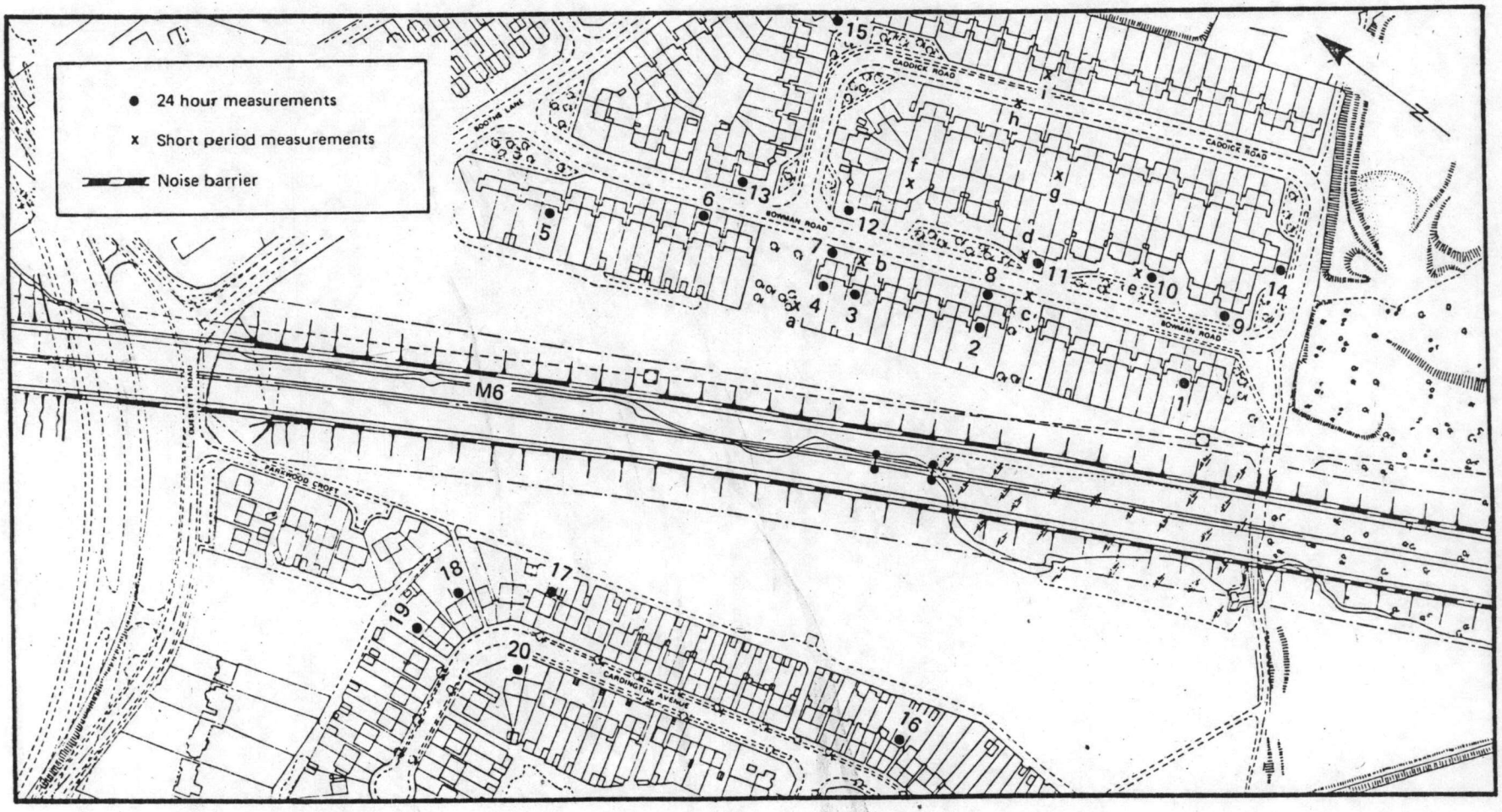
<u>การประเมินผลทางด้านเสียง เมื่อมีการจัดตั้งสิ่งกีดขวางเสียง (Barrier) ข้างถนน</u> [๗]

เมื่อเกิดเสียงรบกวนจากยวดยานที่วิ่งไปมาบนท้องถนนต่อผู้อาศัยบริเวณสองข้างทางที่ถนนตัดผ่าน ได้กล่าวมาแล้วว่าวิธีการประการหนึ่งในการลดระดับเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นให้น้อยลงคือ การจัดตั้งสิ่งกีดขวางเสียง เพื่อใช้เป็นกำบังกั้นเสียงมิให้เสียงรบกวนไปถึงบ้านเรือนในบริเวณที่อยู่ใกล้ถนน เมื่อจะทำการจัดสร้างสิ่งกีดขวางเสียงข้างถนนดังกล่าวแล้ว ควรจะทำการวัดระดับความดังของเสียงที่เกิดขึ้นทั้งก่อนที่จะทำการติดตั้งและหลังติดตั้งสิ่งกีดขวางเสียง

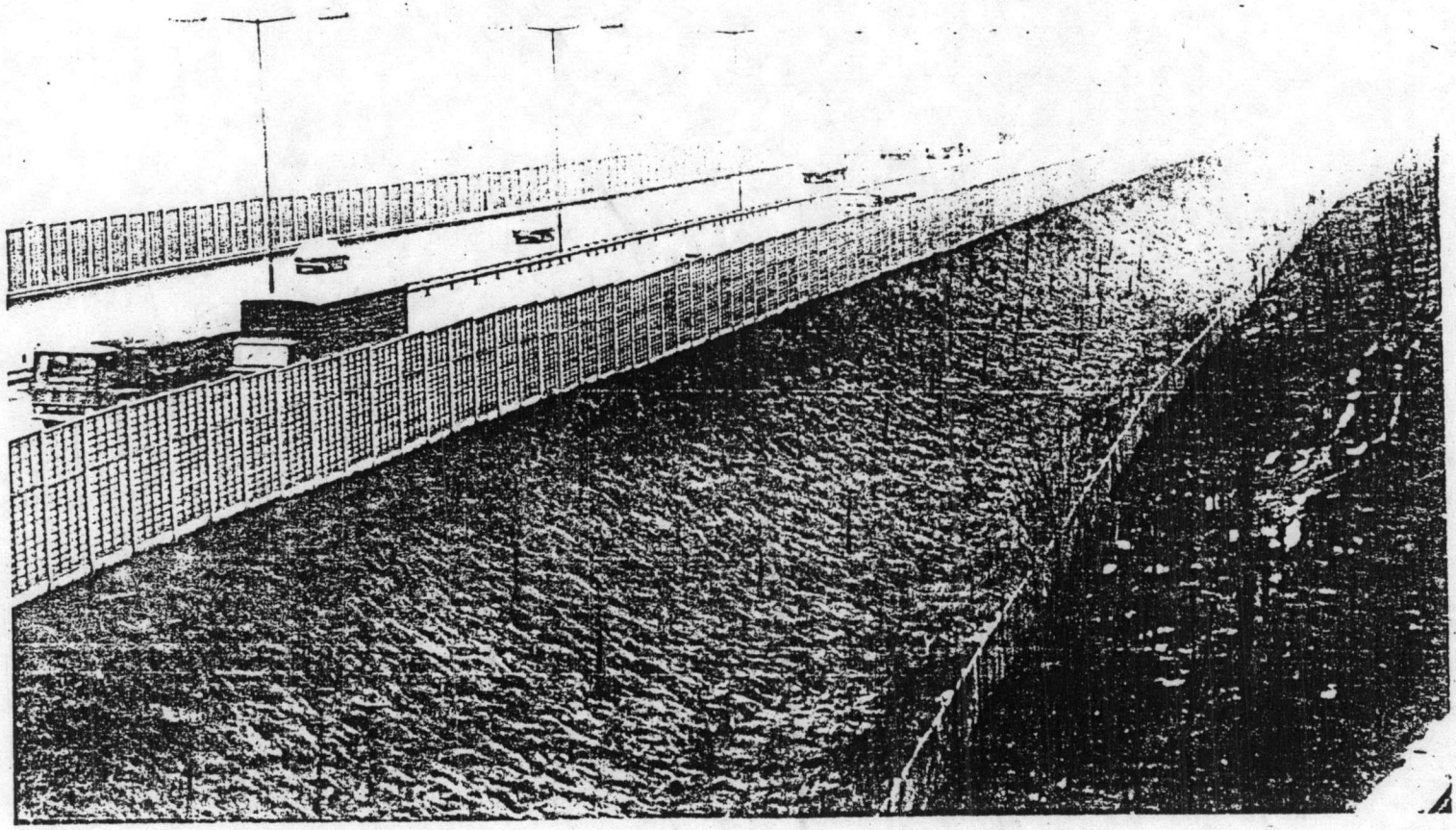
การประเมินผลทางด้านเสียงได้จัดทำขึ้นด้านหลังของสิ่งกีดขวางเสียงที่จัดสร้างขึ้นข้างถนน M_6 ในเขต Perry Barr ในเมือง Birmingham ซึ่งถนนสายนี้ได้ตัดผ่านระหว่างที่อยู่อาศัย ซึ่งเป็นแบบบ้านพักสองชั้น ผลที่ได้จากการวัดระดับความดังของเสียง จะทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของสิ่งกีดขวางเสียง และผลของการสะท้อนของเสียงเมื่อเสียงตกกระทบสิ่งกีดขวางเสียงต่อจุดที่ทำการวัด

<u>รายละเอียดเกี่ยวกับสถานที่และการก่อสร้างสิ่งกีดขวางเสียง</u>

ภาพที่ ๒.๑๘ แสดงถึงบริเวณที่จัดสร้างที่กั้นเสียง (Barrier) ขึ้นเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน ภาพที่ ๒.๑๙ เป็นภาพที่แสดงถึงสิ่งกีดขวางเสียงที่สร้างขึ้นข้างถนน M_6 ซึ่งเป็นถนนชนิดทางด่วนพิเศษ (Expressway) ถนนดังกล่าวที่มีความลาดชัน (Grade) โดยประมาณ ๒.๒ % และผิวจราจรยกสูง ๔ เมตรจากพื้นดิน ข้อมูลทางด้านการจราจรบนถนนสายนี้ พอสรุปได้ว่า ในวันธรรมดาคือวันจันทร์ถึงวันศุกร์ มีปริมาณการจราจรประมาณ ๕๐,๐๐๐ คันต่อวัน ในจำพวกนี้มีรถขนาดหนัก (Heavy veehicle) ประมาณร้อยละ ๔๐ ถนนดังกล่าวตัดผ่านบ้านเรือนที่อยู่อาศัยต่าง ๆ ซึ่งส่วนมากจะเป็นบ้านพักอาศัยแบบ ๒ ชั้น



รูปที่ 2.18 แสดงถึงสถานที่ตั้งจุดวัด และแนวของกำแพงกั้นเสียง



Neg no 688/74

รูปที่ 2.19 วิวของกำแพงกั้นเสียง Mo

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วัสดุที่ใช้เป็นสิ่งกีดขวางเสียง

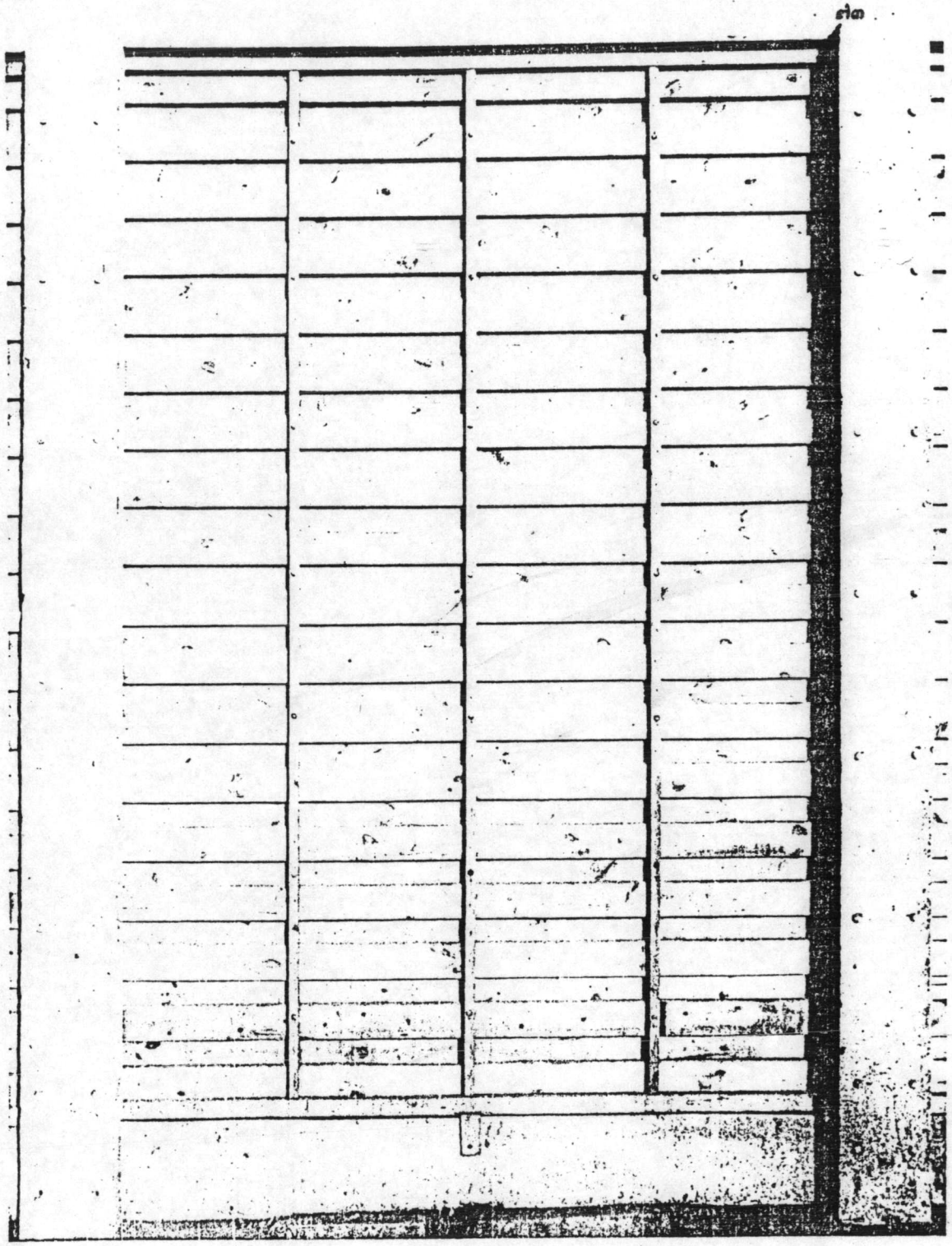
วัสดุที่ใช้เป็นสิ่งกีดขวางเสียงได้ประดิษฐ์จากแผ่นไม้ ซึ่งมีน้ำหนักผิว ๑๐ กิโลกรัมต่อตารางเมตร วัสดุดังกล่าวนี้ให้ค่า Tramsmission Loss เพียงพอที่จะทำให้ระดับเสียงเมื่อผ่านสิ่งกีดขวางเสียงไปแล้ว มีระดับเสียงต่ำไม่รบกวนผู้อยู่อาศัยบริเวณสองข้างทาง ส่วนประกอบของสิ่งกีดขวางเสียงจัดทำขึ้นโดยใช้แผ่นไม้ตียึดต่อเนื่องกันตามแนวนอน โดยทิ้งช่วง ๆ ละ ๒ เมตร แล้วตรึงยึดติดกับเสาคอนกรีตในระหว่างช่วงแผ่นกระดานของไม้แต่ละแผ่นจะถูกยึดไว้ด้วยไม้หลักทางแนวตั้ง สิ่งที่ต้องระวังในการติดตั้งกำแพงกั้นเสียงโดยวิธีนี้คือ จะต้องใช้วัสดุอุดตามรอยต่อต่าง ๆ ที่อาจมีขึ้น เพื่อป้องกันมิให้เสียงเล็ดรอดตามรอยต่อต่าง ๆ ได้ ภาพถ่ายของสิ่งกีดขวางเสียงที่สมบูรณ์แบบได้แสดงไว้ในภาพที่ ๒.๒๐

แนวที่ติดตั้งสิ่งกีดขวางเสียงอย่างสมบูรณ์แบบได้แสดงไว้ในภาพที่ ๒.๑๙ สิ่งกีดขวางเสียงดังกล่าวได้ติดตั้งเป็นสามตอนด้วยกัน

ตอนที่ ๑ ติดตั้งสิ่งกีดขวางเสียงยาว ๖๐๐ เมตร สูง ๓ เมตร ในแนวข้างถนนทางทิศตะวันออกถึงถนน Queslett

ตอนที่ ๒ ติดตั้งสิ่งกีดขวางเสียงยาว ๙๐๐ เมตร สูง ๒ เมตร ในแนวข้างถนนทางทิศตะวันตก ความยาวไปสิ้นสุดลงที่กำแพงสะพาน

ตอนที่ ๓ ได้เพิ่มความสูงของสิ่งกีดขวางเสียงข้างถนนในแนวทิศตะวันตก จากความสูงเดิม ๒ เมตร เป็นสูง ๓ เมตร



รูปที่ 2.20 ภาพแสดงชิ้นส่วนของกำแพงกั้นเสียง M6

รายละเอียดเกี่ยวกับการวัด

จุดที่ตั้งสำหรับทำการวัดระดับเสียงสองข้างถนน M_6 ได้แสดงไว้ในภาพแสดงที่ ๒.๑๘ จุดดังกล่าวได้ทำการคัดเลือกขึ้นมา เพื่อจะหาผลของการสกัดกั้นเสียงของสิ่งกีดขวางเสียงที่ตั้งอยู่ด้านหน้าของอาคารบ้านเรือน จุดต่าง ๆ มีทั้งที่อยู่ด้านหน้าและด้านหลังของอาคารบ้านเรือน เครื่องรับไมโครโฟนต่าง ๆ ที่ได้จัดวางไว้บนจุดที่ทำการวัดหมายเลข ๑ ถึง ๒๐ นั้น แต่ละเครื่องมีความสูงจากพื้นดิน ๓ เมตร ซึ่งเกือบจะเป็นระดับเดียวกันกับห้องนอนของชั้นล่างของบ้านพัก และห่างจากหน้าบ้าน ๑ เมตร ได้ทำการบันทึกระดับความดังของเสียงอย่างต่อเนื่อง ณ จุดต่าง ๆ ดังกล่าว เป็นเวลา ๒๔ ชั่วโมง เพื่อจะหาค่า L_{10} (๑๘ ชม) และ L_{90} (๑๘ ชม) ในแต่ละจุด ส่วนจุดที่ทำการวัดหมายเลข a - i ได้ทำการวัดระดับความดังของเสียงโดยใช้ระดับความสูงของเครื่องรับไมโครโฟน ๑.๕ เมตร ซึ่งการบันทึกระดับความดังของเสียงใช้เวลาช่วงสั้นสั้นเพียง ๑๐ นาที เพื่อหาค่า L_{10}

ในการเก็บข้อมูลได้ทำการวัดเสียงเป็นขั้นตอนดังนี้คือ

จุดต่าง ๆ ทางทิศตะวันออกของถนนได้ทำการวัดระดับความดังของเสียงโดย

๑. ไม่มีสิ่งกีดขวางเสียงเลย

๒. ใช้สิ่งกีดขวางเสียงสูง ๓ เมตร ซึ่งจัดตั้งขึ้นทางทิศตะวันออก

๓. ใช้สิ่งกีดขวางเสียงสูง ๓ เมตร จัดตั้งขึ้นทั้งสองข้างทาง

ส่วนจุดต่าง ๆ ที่ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของถนนนั้น ได้มีการวัดระดับเสียงโดย

๑. จัดตั้งสิ่งกีดขวางเสียงสูง ๓ เมตร ทางทิศตะวันออก

๒. จัดตั้งสิ่งกีดขวางเสียงสูง ๒ เมตร ทางทิศตะวันตก

๓. เพิ่มความสูงของสิ่งกีดขวางเสียงทางทิศตะวันตกจากสูง ๒ เมตร เป็นสูง ๓ เมตร

รายละเอียดเกี่ยวกับการทำงานของสิ่งกีดขวางเสียง

สำหรับจุดที่ตั้งที่อยู่ทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตกของถนน ผลการวัดได้แสดงไว้ในตารางที่ ๒.๘, ๒.๙ และ ๒.๑๐ ผลของการวัดที่ได้ให้ไว้ในตารางที่ ๒.๘ และ ๒.๙ แสดงให้เห็นว่า การจัดตั้งสิ่งกีดขวางเสียงสูง ๓ เมตร จะทำให้ค่า L_{10} (๑๘ ชม.) ลดลงได้อย่างมากมายในจุดทุกจุดที่ได้ทำการวัด ตัวอย่างเช่น จะเห็นได้ว่าการลดลงของค่า L_{10} ตามแนวด้านหน้าของบ้านเรือนทางทิศตะวันตกมีช่วงระหว่าง ๗ ถึง ๙ dB (A) โดยประมาณ (ที่จุด ๑๖ และ ๑๗) ส่วนจุดวัดที่ ๑๘ และ ๑๙ ผลของสิ่งกีดขวางเสียงทำให้ค่า L_{10} ลดลงระหว่าง ๔ ถึง ๗ dB(A) โดยประมาณ ทางด้านทิศตะวันออก การลดลงโดยเฉลี่ยของค่า L_{10} (๑๘ ชม.) ตามแนวด้านหน้าของบ้านเรือนแถวที่หนึ่งและแถวที่สอง ซึ่งหันหน้าเข้าหาถนน (คือจุดวัดที่ ๑ – ๕ และ ๘ – ๑๓ ตามลำดับ) นั้น มีค่า ๖.๒ dB (A) และ ๕.๗ dB (A) ตามลำดับ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าสิ่งกีดขวางเสียงมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำในแนวด้านหน้าของอาคารบ้านเรือนแถวที่สอง นอกจากนี้ ทางด้านทิศตะวันออก เมื่อแนวอาคารห่างจากถนนเพิ่มขึ้น สิ่งกีดขวางเสียงทำให้ระดับความดังของบ้านที่อยู่ไกลออกไปลดลงในอัตราน้อยมาก และการลดลงของ L_{10} ที่จุดหมายเลข ๑๕ ซึ่งตั้งอยู่ห่างถนนประมาณ ๑๘๐ เมตร มีค่าคล้ายคลึงกันกับการลดลงของค่า L_{10} ตามแนวด้านหน้าของบ้านแถวที่ ๑ ซึ่งมีระยะห่างจากถนนประมาณ ๕๐ – ๗๐ เมตร สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากทางด้านทิศตะวันออก เมื่อยังไม่มีการติดตั้งสิ่งกีดขวางเสียง ระดับความดังของจุดที่ทำการวัดในแนวอาคารแถวที่ ๒ (คือจุด ๙, ๑๐, ๑๑, ๑๒ และ ๑๓) มีระดับความดังใกล้เคียงกัน เพราะอาคารแถวที่ ๑ เป็นกำบังให้กับแถวที่ ๒ สำหรับจุดที่ ๑๔ (ระดับความดัง ๖๔.๙ dB (A) ซึ่งสูงกว่าระดับความดังในแนวอาคารแถวที่ ๒ เนื่องจากไม่มีอาคารอื่นเป็นสิ่งกำบัง เมื่อทำการติดตั้งสิ่งกีดขวางเสียง (Noise Barrier) แล้ว ณ จุดที่ ๑๕ (ซึ่งมีระยะห่างจากแนวถนนประมาณ ๑๘๐ เมตร) มีระดับความดังน้อยกว่าระดับความดังที่จุด ๑, ๒,

ตารางที่ ๒.๔ ระดับเสียงที่วัดได้และประสิทธิผลของกำแพงกั้นเสียงทางทิศตะวันออก

Position	L_{10}(18 hour) dB(A) with		Improvement Over	L_{90}(18 hour) dB(A) with		Improvement Over
	No Barrier	3m East Side Barrier	No Barrier	No Barrier	3m East Side Barrier	No Barrier
1	73.8	67.7	6.1(5.8)*	66.4	61.2	5.2(4.1)
2	73.0	67.7	5.3(6.9)	65.9	61.5	4.4(6.3)
3	72.4	65.0	7.4(6.7)	65.5	59.4	6.1(5.1)
4	72.0	66.0	6.0	65.3	59.5	5.8
5	71.7	65.5	6.2	65.1	60.2	4.9
6	62.2	58.2	4.0	55.7	53.2	2.5
7	68.0	62.0	6.0	60.3	56.0	4.3
8	63.1	57.8	5.3	56.8	52.3	4.5
9	72.1	65.8	6.3	64.5	58.8	5.7
10	65.8	61.1	4.7(4.9)	59.2	55.5	3.7(3.4)
11	68.0	62.1	5.9(6.2)	60.4	56.1	4.3(4.8)
12	67.0	62.0	5.0	60.1	56.0	4.1
13	68.2	61.7	6.5	61.3	55.6	5.7
14	69.9	63.6	6.3	62.8	57.2	5.6
15	65.6	58.7	6.9	59.0	53.1	5.9

*ตัวเลขในวงเล็บเป็นประสิทธิภาพในการกีดกั้นเสียง เมื่อติดตั้งกำแพงกั้นเสียงสองข้างทางถนน

ตารางที่ ๒.๙ การวัดระดับเสียงและประสิทธิผลของกำแพงกั้นเสียงทางทิศตะวันตก

Position	L_{10}(18-hour)dB(A)with			Improvement over No Barrier of		L_{90}(18-hour)dB(A)with			Improvement over No Barrier of	
	No Barrier	2m West Side Barrier	3m West Side Barrier	2m Barrier	3m Barrier	No Barrier	2m West Side Barrier	3m West Side Barrier	2m Barrier	3m Barrier
16	70.8(70.3)*	67.0	63.3	3.8(3.3)	7.5(7.0)	64.4(64.2)	62.2	57.5	2.2(2.0)	6.9(6.7)
17	73.3(72.6)	69.6	63.7	3.7(3.0)	9.6(8.9)	66.8(65.7)	65.4	57.4	1.4(0.3)	9.4(8.3)
18	71.7	67.6	65.1	4.1	6.6	63.1	62.7	59.5	0.4	3.6
19	68.7	65.4	64.9	3.3	3.8	60.4	60.3	59.8	0.1	0.6
20	65.6	64.2	62.1	1.4	3.5	59.8	59.7	56.8	0.1	3.0

* ตัวเลขในวงเล็บเป็นการประมาณระดับเสียงหรือการลดระดับเสียงภายใต้ภาวะไม่มีกำแพงกั้นเสียงข้างใดข้างหนึ่งของถนน

ตารางที่ ๒.๑๐ การวัดระดับเสียงโดยใช้ช่วงเวลาสั้น ๆ และประสิทธิผลของกำแพงกั้นเสียงทางทิศตะวันออก

Position	*L_{10} dB(A) with		Improvement Over No Barrier dB(A)
	No Barrier	3m East Side Barrier	
a	71.5	66.0	5.5
b	63.5	63.0	0.5
c	69.5	64.0	5.5
d	69.5	64.0	5.5
e	69.5	63.0	6.5
f	63.5	62.0	1.5
g	66.0	61.5	4.5
h	61.5	60.0	1.5
i	63.5	60.0	3.5

* ค่าของ L_{10} ขณะที่ปริมาณการจราจร ๔๐๐๐ คัน/ชม. ความเร็วเฉลี่ย ๑๐๓ กม./ชม. และมีปริมาณรถขนาดหนักอยู่ ๓๒ เปอร์เซนต์

ตารางที่ ๒.๑๑ ผลต่างของ $(L_{10}-L_{90})$dB(A) ตามสภาพการติดตั้งกำแพงกั้นเสียงทางทิศตะวันตก

Position	$(L_{10}-L_{90})$ dB(A) with the 3 metre East Side Barrier and		
	No West Side Barrier	2m West Side Barrier	3m West Side Barrier
16	6.4	4.8	5.8
17	6.5	4.2	6.3
18	8.6	4.9	5.6
19	8.3	5.1	5.1
20	5.8	4.5	5.3

๓, ๔ และ ๕ เพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องมาจาก จุดที่ ๑๕ ไม่มีอาคารอื่นเป็นสิ่งกำบังเสียง และการกีดขวางเสียงช่วยให้ระดับความดังของเสียงของจุดที่ทำการวัดในแนวอาคารแถวที่ ๒ ลดลงไปเพียงเล็กน้อย เช่นจุดที่ ๑๑ เท่ากับ ๖๒.๑ dB(A) จุดที่ ๑๒ เท่ากับ ๖๒.๐ dB(A) ก็สืบเนื่องมาจากอาคารแถวที่ ๑ ทำหน้าที่เป็นตัวกำบังให้อาคารแถวที่ ๒ เช่นกัน

นอกจากนี้จะเห็นได้จากภาพแสดงที่ ๒.๑๘ ว่ามีช่องว่างสำคัญสองแห่งในแนวของอาคารก่อสร้างในแถวแรก ดังนั้น การกีดขวางเสียงจราจรที่มาจากถนนโดยอาคารแถวแรกจะได้ผลน้อยลง เนื่องจากช่องว่างสองแห่งดังกล่าว สิ่งเหล่านี้เป็นผลให้อาคารแถวหลัง ๆ ของอาคารแถวที่ ๑ และแถวที่ ๒ ได้รับการรบกวนจากเสียงเนื่องจากการจราจรค่อนข้างสูง ในระยะที่ยังไม่มีการติดตั้งสิ่งกีดขวางเสียง และหลังจากได้มีการติดตั้งสิ่งกีดขวางเสียง จะสังเกตได้ว่าระดับเสียงรบกวนจากการจราจรบนถนนได้ลดลงไปอย่างมาก

ผลการวัดระดับเสียงด้านหลังของสิ่งกีดขวางเสียงที่ได้จัดสร้างขึ้นทางทิศตะวันตกของถนนตามตารางที่ ๒.๔ แสดงว่าการจัดสร้างสิ่งกีดขวางเสียงสูง ๒ เมตร เป็นผลให้ค่า L_{10} ลดลงไปประมาณ ๓ ถึง ๔ dB (A) ตามแนวด้านหน้าของอาคารบ้านเรือน (จุดวัดที่ ๑๖ ถึง ๑๙) และค่า L_{10} ลดลงไปประมาณ ๔ ถึง ๙ dB (A) เมื่อติดตั้งสิ่งกีดขวางเสียงสูง ๓ เมตร อย่างไรก็ตามจะสังเกตเห็นว่าขณะที่กำลังทำการวัดเสียงทางด้านหลังของสิ่งกีดขวางเสียงสูง ๒ เมตร ทางทิศตะวันตกของถนนอยู่นั้น มีเสียงจากการก่อสร้างดังขึ้นเป็นเวลานาน ซึ่งอาจมีผลให้การบันทึกค่า L_{10} เพิ่มมากกว่าเป็นจริง เพราะเหตุนี้ทำให้เข้าใจว่า สิ่งกีดขวางเสียงที่มีความสูง ๒ เมตรมีประสิทธิภาพลดลง

สุดท้ายจะเห็นได้ว่า เครื่องกีดกั้นแบบคู่ (dual barrier) สูง ๓ เมตร มีผลทำให้ค่าของ L_{10} (๑๘ ชม.) ลดลง ณ จุดทำการวัดทุกจุด และค่าของ L_{10} ที่วัดได้ในแต่ละจุดไม่เกิน ๖๘ dB (A) (ซึ่งเป็นระดับวิกฤต ซึ่งสมควรหาทางแก้ไข

เพื่อให้ระดับความดังไม่เกินระดับนี้) ซึ่งก่อนที่จะมีการติดตั้งสิ่งกีดขวางเสียงระดับความดังของเสียงจากการจราจรเกินระดับเสียงวิกฤต ๑๒ จุด จากในจำนวนที่ทำการวัด ๒๐ จุด

ผลต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการสะท้อนเสียง

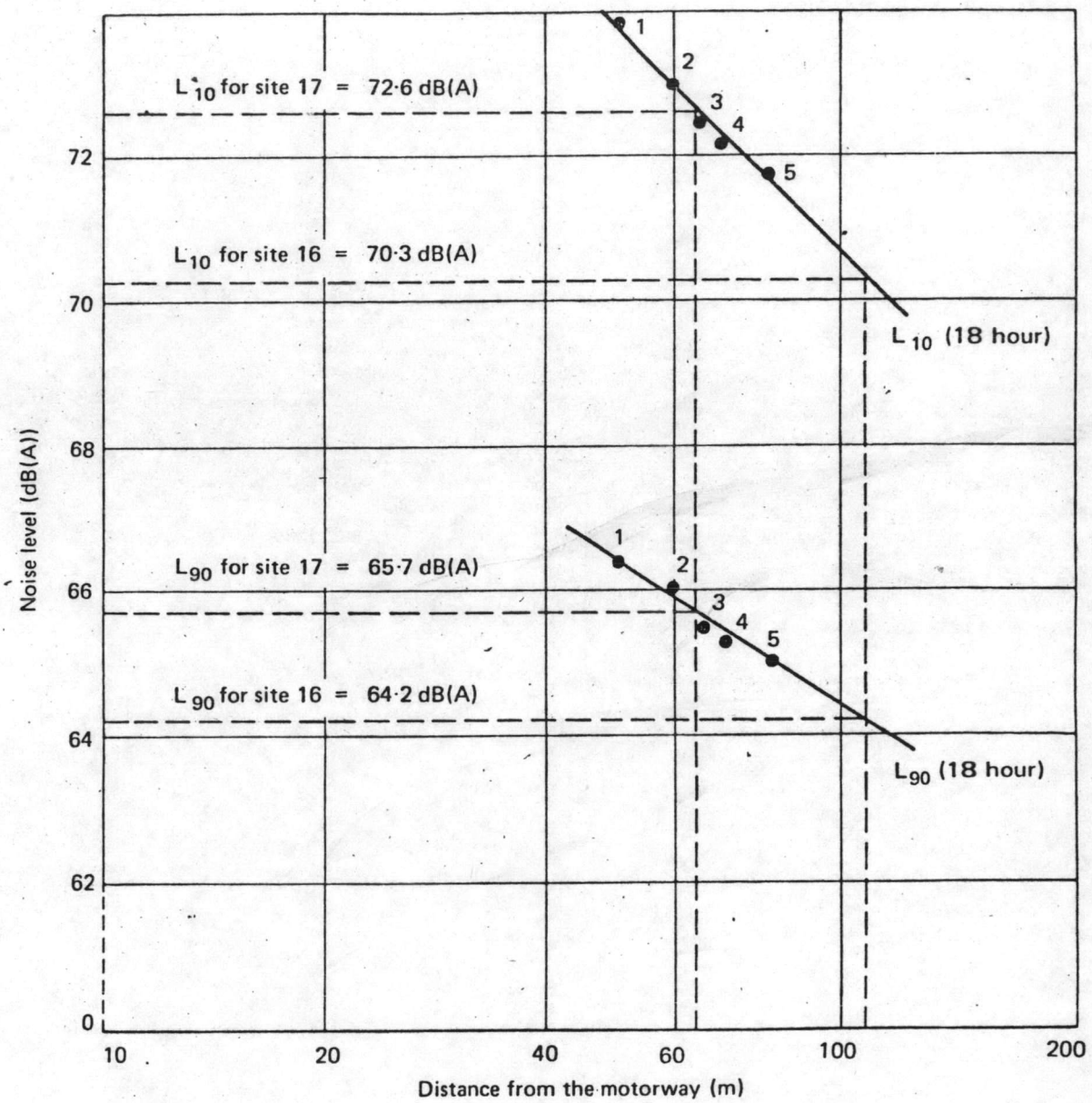
ดังที่ได้ปรากฏมาแล้วว่า เสียงที่สะท้อนจากสิ่งกีดขวางเสียง ในกรณีที่เป็นเครื่องกีดกั้นเดี่ยวสามารถทำให้เสียงจากการจราจรฟากตรงกันข้ามถนนที่ไม่มีสิ่งกีดขวางเพิ่มขึ้น และในกรณีของสิ่งกีดขวางแบบคู่ (คือติดตั้งทั้งสองข้างทาง) จะมีผลให้ประสิทธิภาพของสิ่งกีดขวางต่ำลง เนื่องจากเสียงจราจรบนถนนจะสะท้อนไปมาระหว่างผนังกั้นขวาง ผลของการวัดที่ได้ทำขึ้นข้างถนน M_6 นี้ เป็นโอกาสให้สามารถวิเคราะห์ ผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้งสองกรณีดังที่กล่าวมาแล้ว

ผลสะท้อนของเสียงที่เกิดจากเครื่องกีดกั้นเดี่ยว

ได้มีการทำการบันทึกค่าของ L_{10} และ L_{90} ที่จุดวัดหมายเลข ๑๖ ถึงหมายเลข ๒๐ ทางด้านทิศตะวันตกของถนนหลังจากได้ก่อสร้างเครื่องกีดกั้นสูง ๓ เมตร ทางด้านทิศตะวันออกของถนน ดังนั้น จะเป็นไปได้ว่าระดับเสียงที่ได้ทำการบันทึก ณ จุดต่าง ๆ ดังกล่าวได้เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเสียงจราจรที่สะท้อนมาจากเครื่องกีดกั้นเสียงทางทิศตะวันออกของถนน น่าเสียดายที่ไม่มีการวัดระดับเสียงในจุดทำการวัดดังกล่าวก่อนที่จะมีการสร้างเครื่องกีดกั้นเสียงทางด้านตะวันออก และโดยเหตุนี้ จึงไม่สามารถคำนวณหาค่าโดยตรงเกี่ยวกับเสียงสะท้อนได้ อย่างไรก็ตาม ได้มีการวัดระดับเสียงในสภาพที่ไม่มีสิ่งกีดขวางเสียงทางด้านตะวันออกของถนน และเนื่องจากสภาพของเขตที่ตั้งของจุดวัดต่าง ๆ ของแนวอาคารบ้านเรือนแถวแรกมีลักษณะเหมือนกันทั้งสองข้างถนน อาจถือได้ว่า เสียงที่เกิดขึ้นจากการจราจรของรถบนถนนจะลดน้อยลงในลักษณะเหมือนกันแล้วค่าของ L_{10} และ L_{90} ที่วัดได้ตามแนวแถวแรกของอาคารทางด้านตะวันออกของถนน สามารถใช้เป็นหลักฐาน

สำหรับการประมาณระดับเสียงในแนวอาคารแถวแรก (ด้านหน้า) ของอาคารด้านทิศตะวันตกของถนน

ภาพแสดงที่ ๒.๒๑ แสดงว่าทั้งค่าของ L_{10} และ L_{90} ลดลงไปตามระยะที่เพิ่มขึ้นของอาคารบ้านเรือนจากแนวถนนได้เป็นอย่างไร สำหรับด้านหน้าของอาคารแถวแรกทางทิศตะวันออก เมื่อไม่มีการติดตั้งสิ่งกีดขวางเสียง จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟที่ได้จากข้อมูลที่จดได้ เส้นกราฟนี้ได้ถูกนำไปใช้หาค่า L_{10} และ L_{90} ของจุดวัดหมายเลข ๑๖ และ ๑๗ (ซึ่งอยู่ทางทิศตะวันตกของถนน) โดยการเทียบส่วนของระยะทางกับระดับความดังที่วัดได้ ค่าของ L_{10}, L_{90} ที่หาโดยวิธีนี้ได้แสดงไว้ ณ ตารางที่ ๒.๙ (ตัวเลขที่อยู่ในวงเล็บ) ในจุดวัดทั้งสองแห่ง ค่าของ L_{10} และ L_{90} ที่ได้ประมาณขึ้นนั้น ใกล้ค่าที่วัดจริง แต่จะน้อยกว่าเล็กน้อย โดยเฉลี่ยความแตกต่างระหว่างที่ประมาณจากวิธีที่กล่าวข้างต้นกับค่าที่ได้จากการวัด จะมีค่าประมาณ ๐.๖ dB (A) และ ๐.๗ dB (A) สำหรับค่า L_{10} และ L_{90} ตามลำดับ ความแตกต่างดังกล่าวที่เกิดขึ้นนี้ (อาจเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยในการวัดหรือจากผลเล็กน้อยของเสียงจราจรที่สะท้อนกับมาจากเครื่องกีดกั้นสูง ๓ เมตร) ได้มีการสรุปว่าในสภาพของการปฏิบัติจริง การสะท้อนของเสียงจากการจราจรที่เกิดขึ้นออกมาจากเครื่องกีดกั้นเดี่ยว จะมีผลกับบ้านเรือนที่ตั้งอยู่ตรงกันข้ามของถนนจะอยู่ในระดับไม่เกิน ๑ dB (A)



รูปที่ 2.21 การลดลงของระดับเสียงตามระยะทางที่ห่างจาก ผิวจราจร ที่ตำแหน่งอาคารแถวแรกทางด้านทิศตะวันออก

ผลสะท้อนของเสียงที่เกิดจากเครื่องกีดกั้นคู่

เพื่อเป็นการพิสูจน์ว่าการติดตั้งสิ่งกีดขวางเสียงอีกข้างของถนนจะมีผลทำให้ประสิทธิภาคของสิ่งกีดขวางเสียงด้านตรงข้ามลดลงหรือไม่นั้น จึงได้มีการวัดค่า L_{10} และ L_{90} ที่ห้าตำแหน่งตามจุดวัดทางด้านทิศตะวันออก หลังจากได้ติดตั้งสิ่งกีดขวางเสียงสูง ๓ เมตร ทั้งทางด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกของถนนแล้ว ค่าของ L_{10} และ L_{90} ที่ได้จากการวัดในสภาพที่ไม่มีสิ่งกีดขวางเสียงสองข้างถนน ความแตกต่างของค่า L_{10} และ L_{90} ในสภาพทั้งสองได้แสดงไว้ในวงเล็บของตารางที่ ๒.๘ ข้าง ๆ กับค่าที่ลดลงของ L_{10} และ L_{90} ซึ่งได้มาจากการวัดโดยติดตั้งสิ่งกีดขวางเสียงสูง ๓ เมตรทางด้านตะวันออกด้านเดียว ดังนี้จึงเป็นที่ประจักษ์ว่าการลดลงของค่า L_{10} และ L_{90} ทั้งกรณีมีสิ่งกีดขวางเสียงสูง ๓ เมตร ทางด้านตะวันออกเพียงด้านเดียว และกรณีมีสิ่งกีดของเสียงติดตั้งทั้งสองด้าน ค่าของตัวเลขทั้งสองแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยไม่ถึง ๑ dB(A) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าไม่มีการเสื่อมลงในประสิทธิภาพของสิ่งกีดขวางเสียงทางด้านทิศตะวันออก เนื่องจากการติดตั้งสิ่งกีดขวางเสียงทางด้านทิศตะวันตก และผลของเสียงสะท้อนระหว่างสิ่งกีดขวางเสียงทั้งสองด้านของถนนทำให้ระดับเสียงที่วัดได้ตามจุดต่าง ๆ สองข้างถนนเพิ่มขึ้นน้อยมาก (ผลของเสียงสะท้อนที่เพิ่มขึ้นไม่ถึง ๑ dB (A)

ความผันแปรของการจราจร

ผลการวัดค่า L_{10} และ L_{90} ที่จุดวัดทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตกของถนนภายใต้การใช้สิ่งกีดขวางเสียงตามขั้นตอนต่าง ๆ กัน ค่าของ L_{10} ที่ลดลงจะมากกว่าค่า L_{90} ในตารางที่ ๒.๑๑ แสดงถึงค่าความผันแปรของการจราจรในรูปแบบของ $L_{10} - L_{90}$ ได้ให้ไว้ ๕ ตำแหน่งสำหรับจุดวัดทางด้านทิศตะวันตก จะเห็นได้ว่าค่า $L_{10} - L_{90}$ ของกรณีที่ไม่มีสิ่งกีดขวางเสียงทางด้านทิศตะวันตกเลย (มีเพียงด้านตะวันออกสูง ๓ เมตร อย่างเดียว) จะมากกว่ากรณีที่ใช้สิ่งกีดขวางเสียง

ทางด้านทิศตะวันตกสูง ๒ เมตร โดยเฉลี่ย ๓ dB (A) ในทำนองเดียวกัน ค่าที่มากกว่าโดยเฉลี่ยเมื่อใช้สิ่งกีดขวางเสียงสูง ๓ เมตร ทางด้านตะวันตกของถนนจะเท่ากับ ๑.๕ dB (A) ซึ่งการใช้สิ่งกีดขวางเสียงข้างถนนจะช่วยลดผันแปรของเสียงจราจรที่เกิดขึ้นได้

ผลสรุปของการประเมินผลครั้งนี้พอจะกล่าวได้ว่า การติดตั้งสิ่งกีดขวางเสียงข้างถนนได้ลดระดับของเสียงในทุกตำแหน่งที่มีการวัด ลักษณะของการทำงานของเครื่องกีดกั้นเสียง อาจจะมีความสำคัญเมื่อจะหาความสัมพันธ์ระหว่างการโต้ตอบของมนุษย์ที่มีต่อเสียงจราจร ขนาดของการลดลงของระดับเสียงอยู่ในช่วง ๕ ถึง ๙ dB(A) (L_{10} ๑๘ ชม.) ซึ่งวัดได้ตามแนวด้านหน้าของอาคารบ้านเรือนแถวแรก และระดับเสียงที่วัดได้เมื่อใช้สิ่งกีดขวางเสียงสูง ๓ เมตร สองข้างถนนจะไม่เกิน ๖๘ ซึ่งก่อนที่จะมีการติดตั้งสิ่งกีดขวางเสียง มี ๖๐ % ของตำแหน่งที่ทำการวัด มีระดับเกิน ๖๘ dB(A) และได้มีการตรวจสอบความเป็นไปได้ของการสะท้อนที่เกิดขึ้น จากสิ่งกีดขวางเสียงแบบเดี่ยว ที่จะมีผลต่ออาคารบ้านเรือนด้านหน้าของฝากตรงข้าม ระดับความดังที่เพิ่มขึ้นจะไม่เกิน (dB (A) ในทำนองเดียวกัน ผลสะท้อนที่เกิดขึ้นจากสิ่งกีดขวางเสียงแบบคู่ก็มีผลน้อยมาก (ไม่เกิน ๑ dB (A)

อิทธิพลของลมต่อประสิทธิภาพของสิ่งกีดขวางเสียง [๘]

จากผลของการศึกษาเรื่องประสิทธิภาพของสิ่งกีดขวางบนถนน M_6 ปรากฏว่าสภาพดินฟ้าอากาศโดยเฉพาะอย่างยิ่งลม มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของสิ่งกีดขวางเสียง อิทธิพลดังกล่าวยังมิได้มีการศึกษาอย่างละเอียด แต่ในการสร้างสิ่งกีดขวางเสียงก็ได้มีการคำนึงถึงผลกระทบของลมด้วย ในปี ค.ศ. ๑๙๗๖ ได้มีการสร้างสิ่งกีดขวางเสียงข้างถนน M_{40} เนื่องมาจากการร้องทุกข์ของผู้อยู่อาศัยบริเวณข้างเคียงถนนนี้ ในการติดตั้งที่กั้นเสียงดังกล่าว ได้มีการทำการทดลองเพื่อหาผลกระทบอันเนื่องมาจากลม และในการทำการศึกษานี้ ได้มีการวัดระดับเสียงทั้งในระยะใกล้และไกลจากถนน ทั้งได้มีการวัดการเปลี่ยนแปลงในทิศทางและความเร็วของลมประกอบอีกด้วย

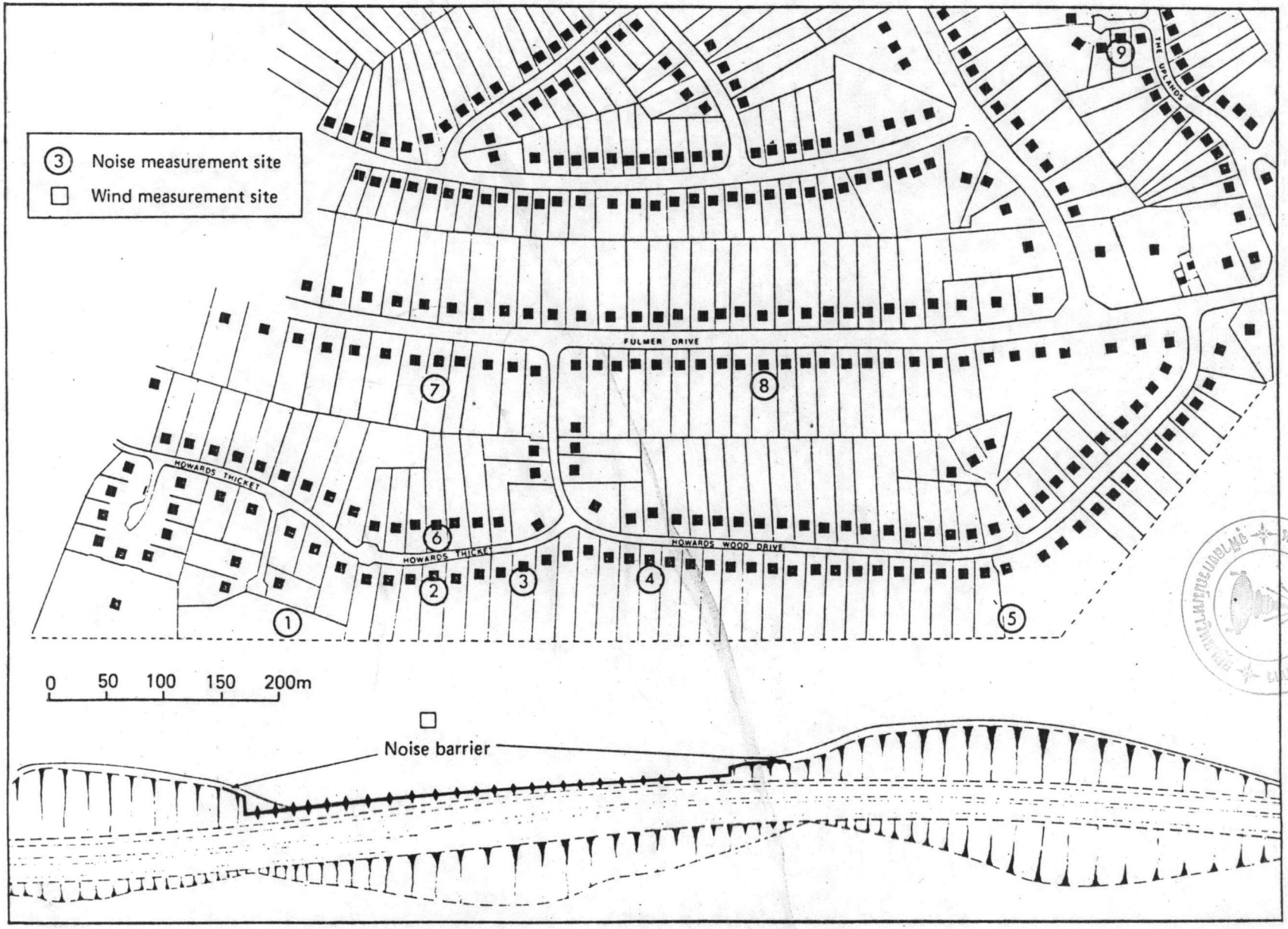
รายละเอียดเกี่ยวกับสถานที่และการก่อสร้างสิ่งกีดขวางเสียง

ถนนสาย M_{40} ตัดผ่านจากทิศตะวันออกไปทางทิศตะวันตก และเชื่อมกับถนนสาย A_{40} ที่เมือง Oxford และ Denham ถนน M_{40} อ้อมผ่านนอกเมือง Gerrads Cross และถนนสายนี้ผ่านย่านที่พักอาศัย ซึ่งมีช่วงยาวประมาณ ๑๕๐ เมตร ภาพที่ ๒.๒๒ แสดงเกี่ยวกับแผนผังของตำแหน่งของอาคารบ้านเรือน และตำแหน่งที่ตั้งของสิ่งกีดขวาง ในระหว่างที่ทำการทดลองนั้น มียวดยานที่ถนนสายนี้ประมาณ ๒๖,๐๐๐ คันต่อวัน สัดส่วนของรถขนาดหนัก (Heavy Vehicles) ซึ่งมีน้ำหนักมากกว่า ๑.๕๓ ตัน มีอยู่ประมาณ ๑๕ เปอร์เซนต์

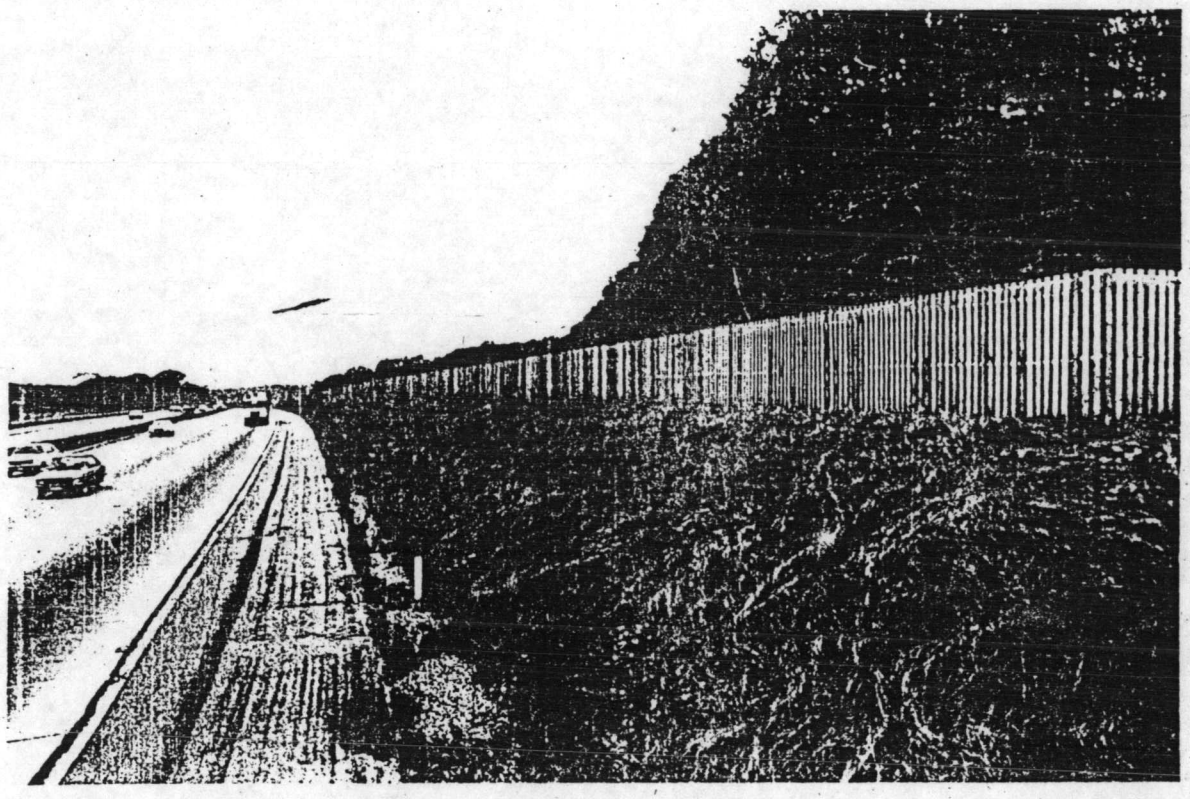
จากฐานของข้างทางถนนพื้นดินค่อย ๆ สูงขึ้นไปทางทิศตะวันออกเฉียง-เหนือ โดยมีความลาดชันประมาณ ๔ % ซึ่งทำให้ระดับของอาคารบ้านเรือน

ค่อย ๆ สูงขึ้นเหนือผิวถนน นอกจากบ้านพักชั้นเดียวในย่าน Fullmer Drive อาคารต่าง ๆ ในบริเวณของสิ่งกีดขวางเสียงเป็นบ้านสูงสองชั้น

ได้สร้างสิ่งกีดขวางเสียงด้วยเขื่อนมูลดินบดอัดแน่น สูง ๓ เมตร โดยให้ริมเขื่อนสองข้างมีความลาดชัน ๒ : ๑ แล้วสร้างผนังที่ทำด้วยแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป (Precast Concrete Panels) สูง ๒ เมตร ต่อเติมอีกชั้นหนึ่งบนเขื่อนมูลดิน ซึ่งจะได้ความสูงรวม ๕ เมตร จากผิวจราจรได้สร้างผนังนี้โดยใช้แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป สอดเข้าไประหว่างเสาคอนกรีตที่ปักไว้ห่างกัน ๒ เมตร แผ่นคอนกรีตดังกล่าวได้มีการอุดรูไว้ตามริมขอบทุกด้านด้วยวัสดุกันน้ำซึ่งยืดหยุ่นได้ (Water Proof Flexible Sealer) และตีเคร่าไม้ปิดด้วยไม้ระแนงบนผิวของสิ่งกีดขวางเสียง เพื่อความสวยงาม ภาพที่ ๒.๒๓ แสดงเกี่ยวกับเครื่องกีดกั้นเสียง ซึ่งมองจากถนน



รูปที่ 2.22 แสดงสถานที่ตั้งจุดที่ทำการวัดเสียง และแนวของกำแพงกั้นเสียง



Neg. No. R1302/14A/77

รูปที่ 2.23 แสดงภาพถ่ายของกำแพงกั้นเสียง

ผลการวัดเสียง

ผลของการวัดเสียงได้ให้ไว้พร้อมกับข้อมูลที่ได้เกี่ยวกับลมและปริมาณของการจราจรของยวดยานระหว่างเวลาที่ทำการวัดเสียง

เสียงที่เกิดจากการจราจร

การวัดเสียงที่เกิดจากการจราจรนั้น ได้ทำขึ้นระหว่างวันที่ ๑๒ – ๒๒ สิงหาคม ค.ศ. ๑๙๗๕ ณ สถานที่ ๙ แห่งย่านชุมชนบริเวณอาคารบ้านพักอาศัย ก่อนที่จะมีการก่อสร้างสิ่งกีดขวางเสียง และได้ทำการวัดอีกครั้งหนึ่งในระหว่างวันที่ ๑๓ กรกฎาคม ถึง วันที่ ๖ สิงหาคม ค.ศ. ๑๙๗๖ หลังจากที่ได้ทำการก่อสร้าง ติดตั้งสิ่งกีดขวางเสียงเสร็จสิ้นลงแล้ว สถานที่ทำการวัดเสียงได้คัดเลือกขึ้นมา เพื่อที่จะประเมินผลของประสิทธิภาพของสิ่งกีดขวางเสียง เพื่อการลดระดับความดังของค่า L_{10} (๑๙ ชั่วโมง) ตามแนวด้านหน้าของแถวแรกของอาคารบ้านเรือนที่พักอาศัยที่หันหน้าเข้าหาถนน และประสิทธิภาพของสิ่งกีดขวางเสียง เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจากแนวอาคารแถวที่หนึ่งถึงแถวที่สาม ภาพที่ ๒.๒๒ แสดงตำแหน่งที่ตั้งโดยประมาณของสถานที่ทำการวัด และตารางที่ ๒.๑๒ แสดงที่อยู่ของสถานที่ตั้งพร้อมกับวันและเวลาที่ทำการวัด

ในสถานที่ตั้งแต่ละแห่งได้ติดตั้งเครื่องรับไมโครโฟนห่าง ๑ เมตร จากด้านหน้าของอาคารบ้านเรือน ซึ่งเป็นบริเวณที่มีโอกาสสัมผัสเสียงได้มากที่สุด และตำแหน่งของเครื่องรับไมโครโฟนอยู่สูงจากพื้นดิน ๓ เมตร ได้ทำการวัดเสียงต่อเนื่องกันเป็นเวลา ๒๔ ชั่วโมง ได้มีการหาค่า L_{10} รายชั่วโมง เพื่อทำการหาค่า L_{10} (๑๙ ชั่วโมง) ตารางที่ ๒.๑๓ แสดงค่าของ L_{10} (๑๙ ชั่วโมง) ซึ่งได้จากสถานที่ที่ทำการวัดตำแหน่งที่ ๑ ถึง ๙ ทั้งกรณีก่อนและหลังทำการติดตั้งสิ่งกีดขวางเสียงข้างถนน ตารางที่ ๒.๑๔ แสดงค่าเฉลี่ยของ L_{10} ที่ได้จากการวัดของแต่ละแห่งพร้อมกับค่าที่เปลี่ยนแปลงไปของ L_{10} เมื่อมีการติดตั้งสิ่งกีดขวางเสียง

ตารางที่ ๒.๑๒ ตำแหน่งของสถานที่ ๆ ทำการวัดและช่วงเวลาของการวัด

Site Number	Address	Time Period 1975	Time Period 1976
1	31 Howards Thicket	18-20 August	13-14 July 27-28 July
2	15 Howards Thicket	12-14 August 18-20 August	13-14 July 20-22 July 27-29 July 2-6 August
3	5 Howards Thicket	19-20 August	19-20 July 27-29 July
4	71 Howards Wood Drive	12-14 August	27-29 July
5	35 Howards Wood Drive	21-22 August	21-22 July 26-30 July
6	10 Howards Thicket	12-14 August	20-22 July 26-30 July
7	84 Fulmer Drive	12-14 August 19-21 August	20-22 July 26-29 July 2-5 August
8	56 Fulmer Drive	12-13 August 15-17 August	20-21 July 28-29 July 2-5 August
9	23 The Uplands	13-15 August	20-22 July 28-29 July 3-6 August

ตารางที่ ๒.๑๓ ค่า L_{10} (๑๘ ชม.) เดซิเบล (เอ) ก่อนและหลังการติดตั้งกำแพงกั้นเสียง

Location	No Barrier (1975) L_{10} (18-hour) dB(A)	Time Period	With Barrier (1976) L_{10} (18-hour) dB(A)	Time period
1	61(61)	18-19 August	60 (57)	13-14 July
	61(62)	19-20 August	54 (55)	27-28 July
2	60(61)	12-13 August	60 (56)	13-14 July
	60(61)	13-14 August	53 (55)	20-21 July
	60(61)	18-19 August	53 (54)	21-22 July
	61(61)	19-20 August	55 (56)	27-28 July
			53 (55)	28-29 July
			51 -	2-3 August
			53 -	3-4 August
			54 (54)	4-5 August
			53	5-6 August
3	58(58)	19-20 August	54 (54)	19-20 August
			53 (54)	27-28 July
			51 (53)	28-29 July
4	55(55)	12-13 August	52 (54)	27-28 July
	55(55)	13-14 August	53 (52)	28-29 July
5	56(56)	21-22 August	55 (57)	21-22 July
			56 (57)	26-27 July
			56 (58)	27-28 July
			56 (54)	29-30 July
6	53(53)	12-13 August	51 (53)	20-21 July
	53(53)	13-14 August	52 (53)	21-22 July
			54 (52)	26-27 July
			50 (49)	28-29 July
			55 (53)	29-30 July

Location	No Barrier (1975) L_{10} (18-hour) dB(A)	Time Period	With Barrier (1976) L_{10} (18-hour) dB(A)	Time Period
7	50(49)	12-13 August	49(52)	20-21 July
	49(48)	13-14 August	50(51)	21-22 July
	59(53)	19-20 August	49(50)	26-27 July
	54(53)	20-21 August	49(52)	27-28 July
			52(51)	28-29 July
			53 -	2-3 August
			49 -	3-4 August
			51(52)	4-5 August
8	51(50)	12-13 August	48(51)	20-21 July
	56(51)	15-16 August	52(51)	28-29 July
	54(50)	16-17 August	54 -	2-3 August
			50 -	3-4 August
			52(53)	4-5 August
9	52(52)	13-14 August	50(52)	20-21 July
	50(50)	14-15 August	53(53)	21-22 July
			53(52)	28-29 July
			50 -	3-4 August
			51(52)	4-5 August
			53 -	5-6 August

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บ สัมพันธ์กับค่าทิศทางลม ๑ กม./ชม. และ ๑๘ ชม. ของการจราจรมีปริมาณ ๒๖,๐๐๐ คัน

ตารางที่ ๒.๑๔ การวัดระดับเสียงและประสิทธิผลของกำแพงกั้นเสียง

Location	L_{10}(18 hour) dB(A) no barrier	With barrier	Difference from no barrier condition dB (A)
1	61 (62)	57 (56)	4 (6)
2	61 (61)	55 (55)	6 (6)
3	58 (58)	53 (54)	5 (4)
4	55 (55)	53 (53)	2 (2)
5	56 (56)	56 (57)	0 (-1)
6	53 (53)	52 (52)	1 (1)
7	53 (51)	50 (51)	3 (0)
8	54 (50)	51 (52)	3 (-2)
9	51 (51)	52 (52)	- 1 (- 1)

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บสัมพันธ์กับทิศทางลม ๑ กม./ชม. และ ๑๘ ชม. ของการจราจรมียวดยาน ๒๖,๐๐๐ คัน

ดังนั้น เมื่อพิจารณาถึงค่าที่วัดได้โดยตรงเพียงอย่างเดียวแล้ว จะเห็นได้ว่าก่อนที่มีการติดตั้งสิ่งกีดขวางเสียง ตามแนวแถวแรกของอาคารบ้านเรือนที่พักอาศัยค่าของ L_{10} จะมีค่า ๖๑ dB (A) โดยประมาณ ทางด้านปลายของทิศตะวันตกของแนวอาคารบ้านเรือนคือ ในตำแหน่งที่ ๑ และ ๕๖ dB (A) โดยประมาณ ทางปลายด้านทิศตะวันออก คือในจุดที่ตั้งที่ ๕ ดังนั้น จะเห็นได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงในค่า L_{10} ตามแนวแถวแรกของอาคารบ้านเรือนการเปลี่ยนแปลงในค่าของ L_{10} นี้ ไม่สามารถจะให้เหตุผลได้ จากมูลฐานของการเปลี่ยนแปลงของระยะทางดังที่เห็นได้จากภาพที่ ๒.๒๒ สาเหตุของความแตกต่างในค่า L_{10} ของตำแหน่งที่ ๔ และ ๕ ที่ต่างจากตำแหน่งที่ ๑, ๒ และ ๓ นั้นสืบเนื่องมาจาก แนวถนนที่ผ่านตำแหน่งที่ ๔ และ ๕ อยู่ในช่วง cut ทำให้พื้นดินที่อยู่ระหว่างแนวถนนกับแนวของตำแหน่งที่ ๔ และ ๕ มีระดับสูง ซึ่งจะช่วยกีดขวางเสียงได้อย่างดี ทำให้ระดับความดังที่ตำแหน่งทั้งสองนี้ต่ำกว่าที่ตำแหน่ง ๑, ๒ และ ๓ และจะเห็นได้จากตารางที่ ๒.๑๔ ว่าสิ่งกีดขวางเสียงที่ทำการติดตั้งข้างถนนทำให้ค่าของ L_{10} ในตำแหน่งที่ ๑, ๒ และ ๓ ลดลงโดยเฉลี่ยประมาณ ๕ dB (A) แต่ ณ ที่ตั้งหมายเลข ๔ และ ๕ ค่าของ L_{10} ที่วัดได้ลดลง 2dB (A) และ 0 dB (A) ตามลำดับ ดังได้กล่าวมาแล้วว่าถนนที่ผ่านในช่วงตำแหน่งทั้ง ๒ นี้อยู่ในช่วง cut ของดิน จึงทำให้พื้นดินระหว่างถนนกับแนวของตำแหน่งทั้งสองมีระดับสูง ซึ่งจะช่วยในการกีดขวางเสียงได้อย่างดี ขณะที่ไม่มีสิ่งกีดขวางเสียงข้างถนนระดับความดังที่ตำแหน่งทั้งสองก็ต่ำกว่าตำแหน่งอื่นในแนวแถวแรกของอาคาร ซึ่งการก่อสร้างและติดตั้งช่องกีดขวางเสียงข้างถนน จะมีผลต่อตำแหน่งที่ ๔ เพียงเล็กน้อย แต่จะไม่มีผลต่อตำแหน่งที่ ๕ เลย

ความเปลี่ยนแปลงในค่า L_{10} ด้วยระยะทางจากแนวถนนจะเห็นได้โดยการตรวจสอบผลวัดที่ได้จากสถานที่ตั้งตำแหน่งที่ ๖, ๗, ๘ และ ๙ ก่อนที่จะมีการก่อสร้างเครื่องกีดกั้นค่าของ L_{10} ที่วัดได้จากสถานที่ตำแหน่งที่ ๖ บนแถวที่ ๒ โดยเฉลี่ยแล้วมี ๘ dB (A) ต่ำกว่าค่าของ L_{10} ที่วัดได้จากตำแหน่งที่ ๒ ซึ่งอยู่บนแนวอาคารแถวแรก และค่าของ L_{10} ที่ได้จากสถานที่ตั้งหมายเลข ๗ และ ๘

ซึ่งตั้งอยู่แถวที่ ๓ ของอาคารบ้านเรือนนั้นมี ๘ dB (A) และ ๗ dB (A) ต่ำกว่าตำแหน่งที่ ๒ ตามลำดับ ค่าของ L_{10} ที่ได้จากการวัดตำแหน่งที่ ๙ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ห่างที่สุดจากแนวถนนโดยเฉลี่ย ๑๐ dB (A) ต่ำกว่าค่าที่ได้จากสถานที่ตำแหน่งที่ ๒

จากตารางที่ ๒.๑๔ จะเห็นได้ว่า หลังจากได้ทำการก่อสร้าง และติดตั้งสิ่งกีดขวางเสียงแล้ว ค่า L_{10} ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมาก ณ สถานที่ตั้งตำแหน่งที่ ๖ ซึ่งตำแหน่งนี้มีแนวของอาคารแถวแรกเป็นเกาะกำบังอยู่ สำหรับสถานที่ตั้งตำแหน่งที่ ๗ และ ๘ ได้ปรากฏว่าสิ่งกีดขวางเสียงทำให้ค่า L_{10} ลดลงโดยเฉลี่ย ๓ dB(A) แต่ในตำแหน่งที่ ๙ นั้น ไม่มีผลแต่ประการใด

ปริมาณของการจราจร (Traffic Volume)

ได้มีการวัดปริมาณการจราจรในระหว่างวันที่ ๑๑ – ๑๒ สิงหาคม ค.ศ. ๑๙๗๕ และ วันที่ ๑๓ กรกฎาคม ถึง ๖ สิงหาคม ค.ศ. ๑๙๗๖ โดยใช้ Loop detector ติดตั้งที่ Hedgerley ตารางที่ ๒.๑๕ แสดงค่าของปริมาณการจราจร (Traffic Volume) วันต่อวันค่อนข้างคงที่ในระหว่างระยะเวลาที่ทำการวัดทั้งสองครั้ง แต่ค่าของปริมาณการจราจรโดยเฉลี่ยสำหรับ ๑๘ ชม. และ ๒๔ ชม. ในช่วงเวลาที่ทำการวัดใน ค.ศ. ๑๙๗๖ สูงกว่าระยะเวลาเดียวกันใน ค.ศ. ๑๙๗๕

ตารางที่ ๒.๑๕ ค่าเฉลี่ยของปริมาณการจราจรวันในสัปดาห์บนถนนสาย M_{40} บันทึกที่ Hedgerley ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการวัดในปี ๑๙๗๕ และ ๑๙๗๖

Time period hour beginning	1975		1976	
	Average weekday flow	Standard deviation	Average weekday flow	Standard deviation
00	241	40	365	64
01	115	18	157	27
02	60	11	77	11
03	56	11	52	10
04	64	11	64	10
05	206	42	177	29
06	629	70	581	135
07	2296	175	2196	601
08	2511	97	3059	730
09	1658	52	2017	254
10	1508	63	1632	67
11	1404	71	1468	45
12	1212	81	1302	56
13	1176	90	1234	76
14	1317	153	1318	83
15	1412	141	1488	155
16	1802	228	1745	217
17	2610	92	2524	358
18	2105	168	2483	489
19	1339	284	1681	352
20	897	252	1129	257
21	592	150	770	118
22	531	59	638	59
23	396	81	623	253
18h TOTAL (0600-2400)	25,478	630	27,888	1,307
24h TOTAL	26,208	633	28,780	1,310

ลม (Wind)

ในเรื่องทิศทางและความเร็วของลม ได้มีการวัดก่อนการติดตั้งสิ่งกีดขวางเสียง โดยใช้เครื่องตรวจทิศทางลม (Wind Vane) ติดตั้งไว้ในระดับความสูง ๓ เมตร จากระดับพื้นดิน ช่วงระยะเวลาที่ทำการตรวจสอบแบ่งออกเป็นสองช่วงคือ เช้าและเย็น ระยะเวลาที่ใช้วัดประมาณ ๒๐ นาที และค่าที่ได้นำมาหาค่าเฉลี่ย ส่วนความเร็วของลมนั้นได้ทำการวัดในระดับ ๒ เมตร จากพื้นดินทุก ๆ ๑๐ นาที และทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ยต่อไป ข้อมูลต่าง ๆที่ได้ๆ มีการตรวจสอบกับข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ตั้งอยู่ที่เมือง Garston และ Heathrow ซึ่งตั้งอยู่ใกล้ ๆ จากการตรวจสอบปรากฏว่าข้อมูลที่ได้ตรงกับของสถานีอุตุนิยมวิทยาทั้งสองที่ผิดไปก็คืออัตราความเร็วของลมทั้งนี้ เนื่องจากระดับของ เครื่องมือของสถานีทั้งสองอยู่ในระดับสูงกว่า

ตารางที่ ๒.๑๖ และ ๒.๑๗ แสดงผลของข้อมูลลม ซึ่งได้จากเครื่องวัดของสำนักงานอุตุนิยมวิทยา สำหรับระยะเวลาที่มีการวัดเสียงก่อนและหลังที่มีการก่อสร้างและติดตั้งสิ่งกีดกั้นขวาง เสียงตามลำดับ ค่าดังกล่าว เป็นค่า เฉลี่ยทาง เลขคณิตของค่าแต่ละชั่วโมง ดังตารางที่ ๒.๑๖ จะเห็นได้ว่าทิศลมส่วนใหญ่ เป็นบวก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าลมโดยทั่วไปมีทิศพัดจากถนนไปยังอาคารบ้านเรือน ส่วนในตารางที่ ๒.๑๗ จะเห็นได้ว่าลมส่วนใหญ่จะ เป็นลบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าลมโดยทั่วไปจะพัดจากอาคารบ้านเรือนไปยังถนน เพื่อที่จะกำหนดว่าสภาพของลมที่ได้จากถนนสาย M_{40} ในระหว่างที่ทำการวัดเสียงนั้น เป็นตัวแทนของสภาพลมที่พัดตลอดทั้งปีหรือไม จึงมีการเปรียบเทียบกับข้อมูลซึ่งได้มาจากกรมอุตุนิยมวิทยาที่ตั้งอยู่ที่ Heathrow ดังที่แสดงในภาพที่ ๒.๒๔ ซึ่ง เป็นข้อมูลปีเฉลี่ยระหว่างระยะเวลาปี ๑๙๖๐ – ๑๙๗๑ และในภาพที่ ๒.๒๕ ชี้ให้เห็นว่าค่ามัธยฐานของลมสำหรับปีเฉลี่ยมีค่า เป็น $+$ ๑ กม./ชม. โดยประมาณ และ ๙๐ % ของลมจะอยู่ในช่วง $\pm$ ๑๕ กม./ชม. โดยประมาณ

ตารางที่ ๒.๑๖ ข้อมูลของลมระหว่างที่ทำการวัดเสียงก่อนที่จะติดตั้งกำแพงกั้นเสียง

Date	Time period*	Vector wind (km/h)
12 th August	am	+ 4
	pm	+ 6
13 th August	am	+ 3
	pm	+ 8
14 th August	am	+ 3
	pm	+ 1
15 th August	am	+ 2
	pm	+ 16
16 th August	am	+ 10
	pm	+ 9
17 th August	am	-
	pm	-
18 th August	am	- 3
	pm	+ 6
19 th August	am	+ 8
	pm	+ 15
20 th August	am	+ 18
	pm	+ 11
21 st August	am	+ 4
	pm	- 3

หมายเหตุ am เริ่มจาก ๒๔.๐๐ น. ถึง ๑๒.๐๐ น.
pm เริ่มจาก ๑๒.๐๐ น. ถึง ๒๔.๐๐ น.

ตารางที่ ๒.๑๗ ข้อมูลของลมระหว่างที่ทำการวัดเสียงหลังจากติดตั้งกำแพงกั้นเสียง

Date	Time period*	Vector wind (km/h)
13th July	am	+ 13
	pm	+ 19
14th July	am	+ 12
	pm	+ 14
19th July	am	+ 17
	pm	+ 12
20th July	am	0
	pm	- 9
21st July	am	- 11
	pm	- 11
22nd July	am	- 3
	pm	- 1
23rd July	am	0
	pm	- 4
26th July	am	- 6
	pm	- 7
27th July	am	- 5
	pm	- 5
28th July	am	- 9
	pm	- 12
29th July	am	+ 2
	pm	+ 11
30th July	am	+ 2
	pm	- 4
2nd August	am	- 1
	pm	- 2
3rd August	am	0
	pm	- 4
4th August	am	- 5
	pm	- 5

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๒.๑๗ (ต่อ)

Date	Time period*	Vector wind (km/h)
5th August	am	- 3
	pm	- 1
6th August	am	- 6
	pm	- 2

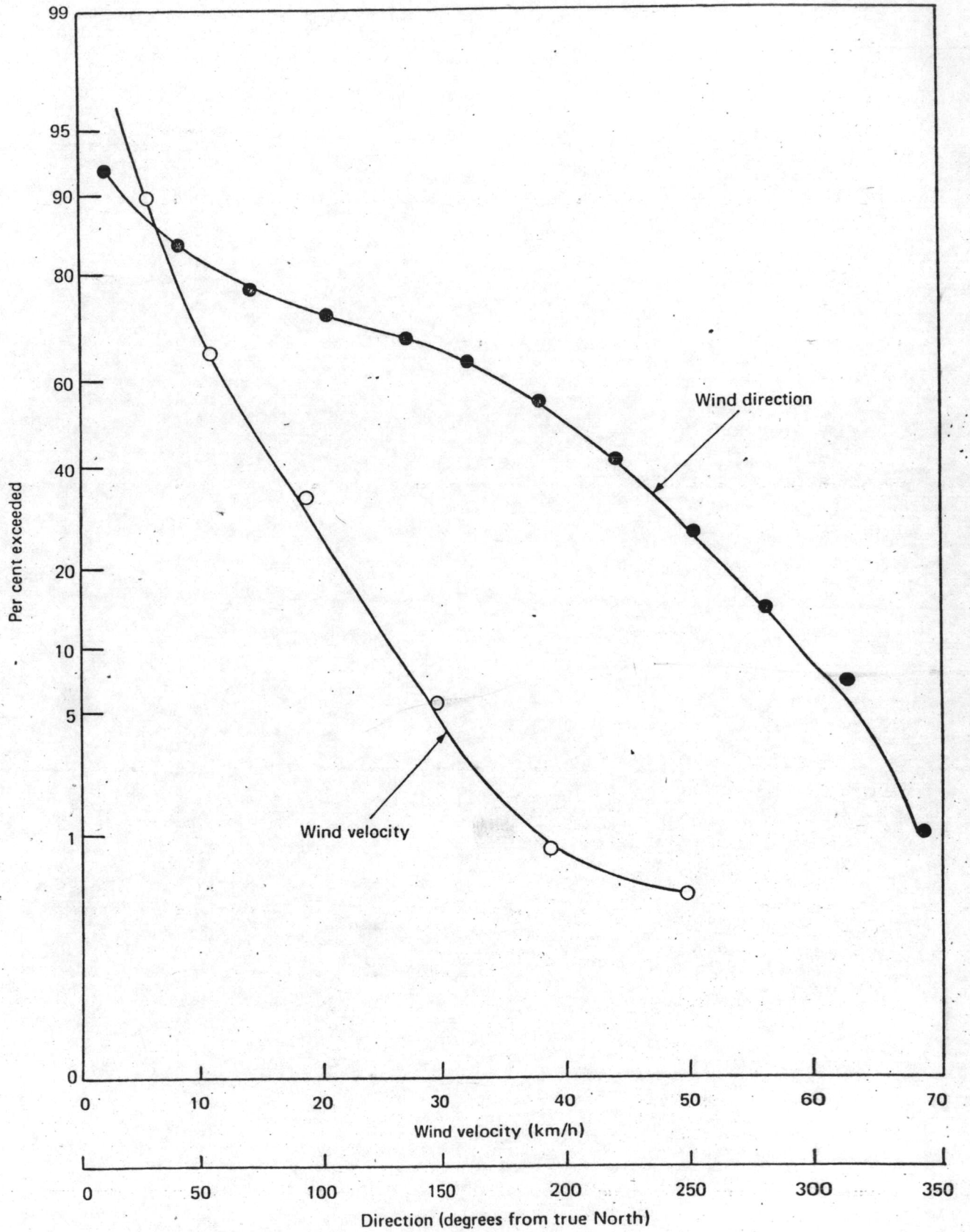
หมายเหตุ am จาก ๒๔.๐๐ น. ถึง ๑๒.๐๐ น.

pm จาก ๑๒.๐๐ น. ถึง ๒๔.๐๐ น.

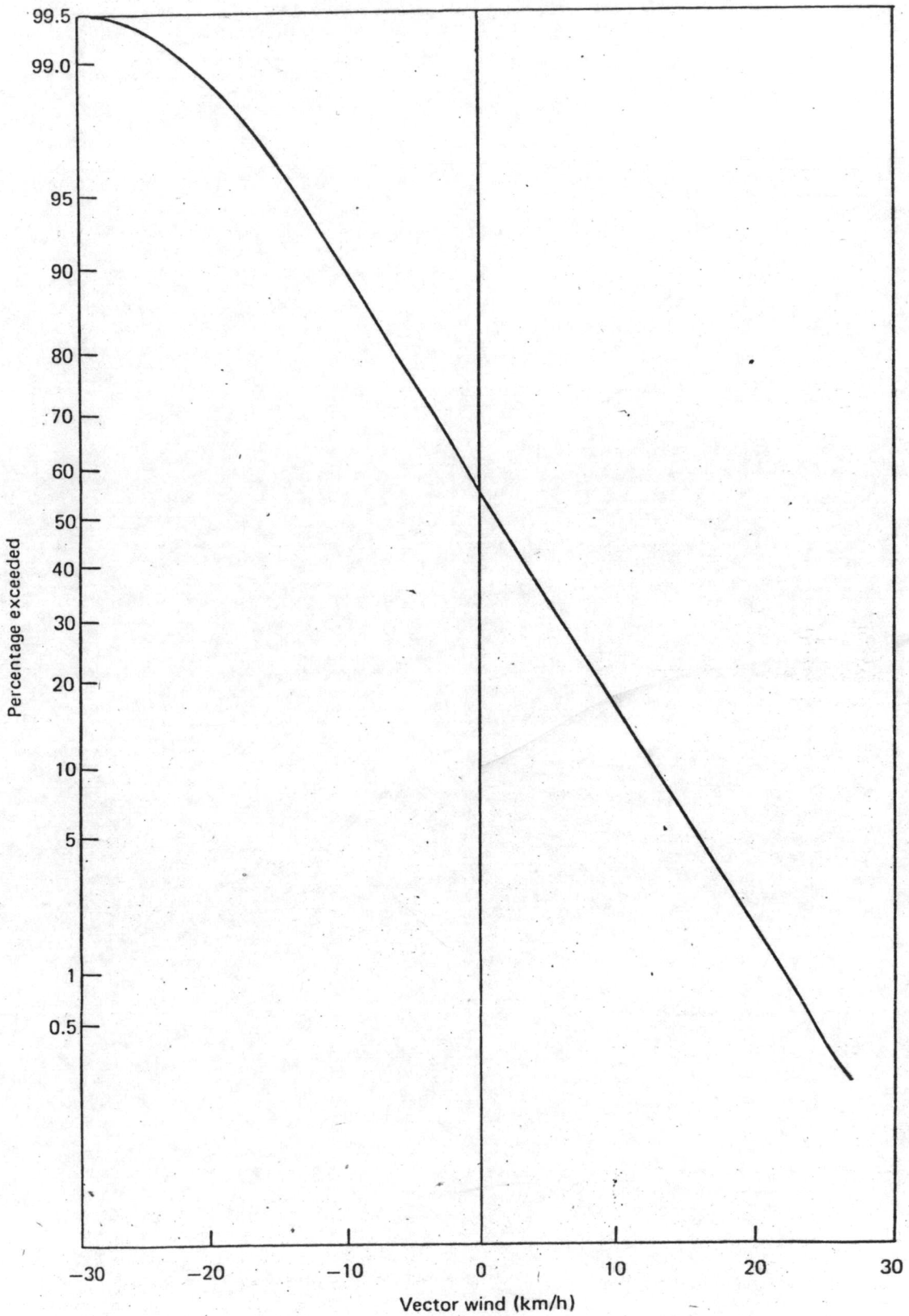
โดยการเปรียบเทียบการกระจายเฉลี่ยประจำปีของลม กับการกระจายที่ได้มาจากในระหว่างที่ทำการวัดเสียง จะเห็นได้ว่าสำหรับระยะเวลาการวัดก่อนที่จะมีการก่อสร้าง และติดตั้งสิ่งกีดขวางเสียง ขอบเขตของลมที่ได้สังเกตโดยประมาณ จะคลุมถึง ๖๐ % ของขอบเขตของลมที่ได้พบในตลอดปี

ผลของทิศทางและความเร็วของลมที่มีต่อการแพร่กระจายของเสียง

ค่าของ L_{10} (๑๘ ชั่วโมง) ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญนั้น ได้มาจากสถานที่วัดต่าง ๆ ในระหว่างที่ทำการวัด สิ่งนี้เห็นได้ชัดเป็นพิเศษที่สถานที่ตั้งที่ ๗ ในแถวที่ ๓ ของแนวอาคารบ้านเรือน ก่อนที่จะมีการติดตั้งสิ่งกีดขวางเสียงข้างถนน ค่า L_{10} (๑๘ ชั่วโมง) พบว่ามีความผันแปรในช่วง ๑๐ dB(A) ในขณะที่ค่าของ L_{10} (๑๘ ชั่วโมง) ที่ได้จากแหล่งอื่น ๆ ใกล้ถนนไม่ได้แสดงความเปลี่ยนแปลงมากมายแต่ประการใด สาเหตุของผลดังกล่าวเป็นไปได้ว่ามาจากการเปลี่ยนแปลงในทิศทางกับความเร็วของลมในระหว่างทำการวัดตัวอย่างเช่นนี้จะเห็นได้จากตารางที่ ๒.๑๖ ว่า ในระหว่างระยะเวลาที่ระดับเสียงอยู่ในขีดต่ำสุดที่สถานที่ตั้งที่ ๗ ความเร็วของลมมีทิศทางเป็นบวกและน้อย และในระหว่างเวลาที่ระดับเสียงเพิ่มขึ้น ความเร็วของลมยังมีทิศทางเดิม แต่ความเร็วสูงขึ้น



รูปที่ 2.24 ทิศทางและการกระจายปีเฉลี่ยของลมระหว่างปี 1960 – 1971 ที่ Heathrow



รูปที่ 2.25 การกระจายทิศทางลมสำหรับปี เฉลี่ย (1960 – 1971) ที่สถานีนอกเขต Heathrow

สรุปผลการทำงานของสิ่งกีดขวางเสียง

ผลที่ได้นั้น แสดงว่าสิ่งกีดขวางเสียงที่ติดตั้งตามข้างทางถนน M_{40} ให้ผลในการลดระดับเสียงตามแนวด้านหน้าของบ้านเรือนแถวแรกในระยะความห่าง ซึ่งมีช่วงประมาณ ๑๕๐ ถึง ๒๐๐ เมตรจากถนน อย่างไรก็ตามเครื่องกีดกั้นดังกล่าวไม่ได้ลดระดับเสียงในบางตำแหน่งของบ้านเรือนแถวหน้า ซึ่งมีที่ดินเป็นสิ่งกำบังอยู่แล้ว ค่าลดลงโดยเฉลี่ยของ L_{10} ที่แนวอาคารแถวแรกมีค่าประมาณ ๕ dB(A) และขอบเขตของค่า L_{10} (๑๘ ชั่วโมง) ที่ได้จากทำการศึกษานั้นอยู่ระหว่าง ๕๗ dB (A) ในสถานที่ ๆ มีเสียงดังที่สุดและประมาณ ๕๑ dB (A) ในแหล่งที่มีเสียงน้อยที่สุด ซึ่งก่อนที่จะมีการติดตั้งสิ่งกีดขวางเสียงค่า L_{10} (๑๘ ชั่วโมง) มีค่าประมาณ ๖๑ dB(A) และ ๕๑ dB(A) ในบริเวณดังที่สุดและเบาที่สุดตามลำดับ

สำหรับทั้งสถานการณ์ที่มีสิ่งกีดขวางเสียงหรือไม่มีสิ่งกีดขวางเสียงก็ตาม ลมสามารถเพิ่มหรือลดระดับความดังของเสียงได้มาก เมื่อระยะทางการแผ่กระจายของเสียงมากกว่า ๑๕๐ เมตร ลมสามารถลดประสิทธิภาพของเครื่องกีดกั้นเสียงหรือสิ่งกีดขวางเสียงอื่น ๆ ได้ และแม้การลดเช่นนี้ไม่สามารถคาดคะเนได้โดยทั่วไป โดยปกติประสิทธิภาพของเครื่องกีดกั้นจะลดลงประมาณ ๓ dB (A) เมื่อลมซึ่งมีค่าเป็นบวกและความเร็วประมาณ ๑๐ กิโลเมตรต่อชั่วโมงพัดผ่าน และการลดลงในประสิทธิภาพในการกีดขวางเสียงอาจนำไปสู่ขอบเขตของระดับเสียง L_{10} ที่กว้างกว่า ในที่ ๆ มีสิ่งกีดขวางเสียง เมื่อเทียบกับสถานที่ไม่มีสิ่งกีดขวางเสียงติดตั้งอยู่ เมื่อระยะทางห่างจากถนนเท่ากัน

ผิวถนนและเสียงที่เกิดจากการจราจร

นักขับขี่รถในปัจจุบันหวังที่จะให้ผิวทุกชนิดของถนนให้ความปลอดภัยและสะดวกสบายตลอดเวลาที่ทำการขับขี่ การที่จะให้บรรลุผลทั้งสองประการนี้ จำเป็นจะต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ เช่นความราบเรียบของผิวถนน ทัศนวิสัยในการมอง แรงเสียดทานในการสัมผัสระหว่างล้อของยวดยานกับผิวถนน เสียงรบกวนและความอึกทึกของเสียงจากการจราจรของยวดยานบนถนน

คุณสมบัติทางด้านการเสียดทานและเสียงที่เกิดขึ้นจากผิวถนนคอนกรีตและผิวแอสฟัลท์ แรงเสียดทานระหว่างยางรถของยวดยานกับผิวถนน ซึ่งตามปกติเรียกว่าความต้านทานต่อการลื่นไถลนั้น ควรจะประเมินเมื่อผิวถนนยังอยู่ในลักษณะเปียก การประเมินในสภาพเพราะความเสี่ยงที่จะลื่นไถลบนถนนที่เปียกนั้น มีมากกว่าถนนที่แห้งถึงเท่าตัว ในทางกลับกันอาจประเมินความต้านทานต่อการลื่นไถลเมื่อผิวถนนอยู่ในสภาพที่แห้ง เพราะโดยปกติสามในสี่ของช่วงเวลาสภาพของถนนอยู่ในสภาพที่แห้งเมื่อยวดยานมีความเร็วต่ำ ความต้านทานต่อการลื่นไถลจะขึ้นอยู่กับลักษณะของ Surface Texture คือความละเอียดและความหมายของวัสดุที่ใช้ทำผิวถนน ผิวถนนที่หยาบ จะช่วยให้ค่าความต้านทานต่อการลื่นไถลสูงกว่าถนนที่มีผิวละเอียดเรียบ เมื่อยวดยานมีความเร็วสูงขึ้น และอยู่ในสภาพที่ถนนเปียก น้ำจะหล่อลื่นผิวสัมผัสระหว่างยางรถกับผิวถนน ทำให้สูญเสียประสิทธิภาพในการเกาะถนนของยางรถ เพื่อที่จะรักษาความต้านทานต่อการลื่นไถลในสภาพเช่นนี้ ดอกยางของยวดยานจะต้องอยู่ในสภาพที่ดี เพื่อกระจายน้ำที่อยู่ระหว่างผิวสัมผัส แต่เมื่อความเร็วของยวดยานสูงขึ้นอีก ดอกยางเพียงอย่างเดียวจะไม่เพียงพอที่จะให้น้ำที่ผิวสัมผัสกระจายออก และจำเป็นต้องมีช่องระบายน้ำเพิ่มเติมอีกบนผิวถนน ซึ่งอาจทำได้โดยการเพิ่มความหยาบให้กับผิวถนน แต่ความหยาบดังกล่าวจะทำให้ยางของยวดยานสึกหรอเร็ว ซึ่งยวดยานอาจสูญเสียการทรงตัวได้ การเพิ่มความหยาบให้กับผิวถนนแอสฟัลท์ ทำได้โดยการปรับปรุงส่วนผสมของเม็ดหินให้มีขนาดโตขึ้น เมื่อบดอัดหินแล้วราดยางโดยให้ผิวบนเม็ดหินโผล่เล็กน้อย ส่วนถนนคอนกรีตจะเพิ่มความหยาบของผิวได้โดยการขัดหยาบตามขวาง ซึ่งความต้านทานต่อการลื่นไถลอาจพอเพียงจริงในตอนแรกเมื่อสร้างถนน ขณะที่ปริมาณการจราจรไม่สูงนัก แต่ความหยาบของผิวถนนจะลดลงไปตามกาลเวลาและเมื่อปริมาณการจราจรสูงขึ้น ดังนั้น ความพยายามที่จะสร้างเนื้อผิวถนนให้มีความต้านทานต่อการลื่นไถลทนทานนานกว่า โดยการสร้างผิวถนน

คอนกรีต ซึ่งทำเป็นร่องขวางบนถนนสาย M_1 ในปี ค.ศ. ๑๙๖๕ และในปี ค.ศ. ๑๙๖๙ ได้มีผลให้เกิดเสียงเดียว เนื่องจากการเว้นระยะร่องบนถนนเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ กรรมวิธีในการทำร่องได้พัฒนาต่อมาโดยการเว้นระยะแบบสุ่มบนถนนสาย M_{40} และคิดว่าวิธีนี้จะแก้ปัญหาของเสียงที่เกิดขึ้นจากยางล้อรถสัมผัสร่องได้ แต่ผลที่ตามมาคือการร้องทุกข์ของชาวบ้านบริเวณสองข้างถนน การร้องทุกข์นั้น เจาะจงถึงเสียงที่เกิดขึ้นจากยางของยวดยานผ่านร่องบนถนน ดังนั้น TRRL จึงได้ทำการตรวจสอบว่าจะเป็นไปตามคำร้องทุกข์หรือไม่ ผลการวัดเสียงบนถนนสายนี้ปรากฏว่า ถนนคอนกรีตที่ทำเป็นร่อง ๆ จะมีระดับเสียงดัง ๑ ถึง ๘ dB (A) สูงกว่าเมื่อแล่นผ่านสะพาน ซึ่งวัสดุผิวทางที่เป็นแอสฟัลท์ และค่า L_{10} บนถนนคอนกรีตสายนี้ มากกว่า ๔ dB (A) เมื่อเทียบกับถนนแอสฟัลท์

ผลของวัสดุผิวที่มีต่อความต้านทานต่อการลื่นไถล

เมื่อยวดยานมีความเร็วต่ำสำหรับถนนที่ราดยางมะตอย ความต้านทานต่อการลื่นไถลจะขึ้นอยู่กับ Surface texture ซึ่งก็คือความละเอียดและหยาบของวัสดุผิว ซึ่งจะต้านทานต่อการขัดถู และความหนาแน่นของปริมาณการจราจร ซึ่งจะขัดถูให้วัสดุมีผิวเรียบ ในทำนองเดียวกันเมื่อยวดยานวิ่งบนถนนคอนกรีตด้วยความเร็วต่ำ ความต้านทานต่อการลื่นไถลก็จะขึ้นกับความหยาบของผิวถนน ความต้านทานต่อการขัดถู ความแข็งของวัสดุผิวและความหนาแน่นของปริมาณการจราจร

เสียงจากยวดยาน

กลไกต่าง ๆ ในการกำเนิดเสียงของยวดยานนั้นได้แก่ Vehicle noise คือเสียงที่เกิดจากตัวเครื่องยนต์เอง การสันดาปโดยเฉพาะเสียงจากท่อไอเสียและใบพัด เสียงที่เกิดจากการส่งถ่ายกำลังของเครื่องยนต์ เสียงที่เกิดขึ้นเมื่อยวดยานวิ่งปะทะกับอากาศ ส่วนเสียงที่เกิดจากยางรถยนต์ เมื่อสัมผัสกับผิวถนนและเสียงที่เกิดจากการสั่นคลอนของตัวรถเมื่อรถแล่นไปเรียกว่า Rolling noise ในการศึกษา

เสียงที่เกิดจากการจราจรนั้น ได้แยกความแตกต่างระหว่างยวดยานขนาดเบา ซึ่งมีน้ำหนักน้อยกว่าหรือเท่ากับ ๑.๕ ตัน กับยวดยานขนาดหนัก ซึ่งเกินขีดน้ำหนักนี้

จากการเปรียบเทียบระหว่าง Vehicle noise กับ Rolling noise จะได้ว่า เมื่อรถขนาดเบาขับเคลื่อนที่ด้วยเกียร์สูง เสียงที่เกิดขึ้นนั้น ส่วนใหญ่จะมาจาก Rolling noise และ Rolling noise จะทำให้ยวดยานขนาดหนักที่แล่นไปมีเสียงดังเพิ่มขึ้น ผลที่เกิดตามมาก็คือ Rolling noise จำกัดความเป็นไปได้ในการจะพัฒนายวดยานที่วิ่งเงียบกว่า สำหรับยวดยานที่แล่นด้วยความเร็วปกติ คือระหว่าง ๕๐ ถึง ๑๒๐ กิโลเมตรต่อชั่วโมง ส่วนสำคัญในการเกิด Rolling noise ได้แก่ ยางล้อรถของยวดยาน ผิวถนนและลักษณะในการสัมผัสของผิวทั้งสอง ลวดลายของดอกยางล้อรถก็เป็นส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิด Rolling noise ด้วย และได้มีการพิสูจน์ให้เห็นแล้วว่าดอกยางที่มีลักษณะเป็นลายขวางสม่ำเสมอจะทำให้ Rolling noise เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และทำให้เกิดเสียงรบกวนบนถนนที่ราบเรียบสูงพอสมควร ในประเทศอังกฤษ ยางรถที่มีลักษณะของดอกยางเป็นลายขวางสม่ำเสมอ หรือเกิดความจำเป็นจะไม่ค่อยนิยมใช้วิ่งบนถนนปกติ

<u>มนุษย์กับเสียงรบกวนจากการจราจร</u>

ในประเทศอังกฤษได้ให้คำจำกัดความของคำว่า noise คือเสียงซึ่งผู้คนไม่ปรารถนาการตอบสนองต่อเสียงที่ได้รับของคนแต่ละคนแตกต่างกันไป ระดับเสียงที่ความถี่ ๑๐๐๐ ถึง ๔๐๐๐ Hz มีผลต่อหูผู้ฟังโดยทั่วไป และความถี่ที่ต่ำหรือสูงไปจะทำให้ประสิทธิภาพของหูผู้รับฟังต่ำลง การรบกวนจากเสียงของการจราจรจะขึ้นอยู่กับระดับความดังของเสียงจากยวดยานและจำนวนยวดยานในการจราจร นอกจากนั้นควรจะคำนึงถึงภาวะแวดล้อมทางเสียงโดยรอบ ๆ บริเวณที่ศึกษาด้วย ในการวัดเสียงเหล่านี้ วิธีวัดโดยทั่ว ๆ ไปแล้ว จะวัดในรูปแบบของ $L_{๑๘}$ (๑๘ ชั่วโมง)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เสียงจากการจราจรของยวดยานบนท้องถนน

ได้มีการทำการศึกษาและเก็บข้อมูลของ เสีย ซึ่งเนื่องมาจากการจราจรบนท้องถนนหลายสายในประ เทศอังกฤษ ที่ตั้งของสถานที่ที่ทำการวัดเสียงบนถนนต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ ๒.๑๘ ได้ทำการวัดเสียงจากผิวถนน ซึ่งอยู่ในสภาพแห้งและมีลมพัดเบาบาง โดยมีการจัดวาง เครื่องรับไมโครโฟนวัด เสียงที่จุดวัดแต่ละแห่งให้ห่าง เป็นระยะ ๗.๕ เมตร จากศูนย์กลางของช่องจราจรและทำการบันทึก **Peak noise** ของยวดยานที่วิ่งอยู่บนถนนประมาณ ๑๐๐ คัน โดยกำหนดให้ตำแหน่งของ เครื่องรับไมโครโฟนอยู่สูงกว่าผิวถนน ๑.๒ เมตร ยวดยานที่แล่นผ่าน เครื่องรับไมโครโฟนไปนั้นมีการกำหนดหมายเลขให้ทุก ๆ คัน และได้คำนวณความเร็วของยวดยานโดยวัดเวลาที่ยวดยานแล่นผ่านระหว่างลำแสง **Infra-red** ซึ่งได้ติดตั้งไว้ห่างกันตามระยะที่กำหนด ยวดยานทุกคันจะถูกจำแนกออกไปว่า เป็นยวดยานขนาดเบา คือรถยนต์ส่วนบุคคลทุกคัน และรถตู้ที่มีน้ำหนักไม่ถึง ๑.๕ ตัน หรือจัดให้อยู่ในประ เภทยวดยานขนาดหนัก คือยวดยานใด ๆ ที่มีน้ำหนัก เกิน ๑.๕ ตัน ส่วนความสัมพันธ์ระหว่าง เสียงของยวดยานกับลักษณะของผิวถนนจะดูได้จากตารางที่ ๒.๑๘ ซึ่งจะ เห็นได้ว่าถนนคอนกรีตที่ขัดผิวหยาบธรรมดา (**Brushed Concrete**) กับถนนแอสฟัลท์ (**Rolled Asphalt**) หรือพวก **Surface dressing** ระดับ เสียงของยวดยานที่วิ่งด้วยความ เร็ว เท่ากันมีค่าใกล้ เคียงกันมาก ซึ่งพอจะกล่าวได้ว่าสำหรับผิวถนนคอนกรีตและผิวแอสฟัลท์ระดับ เสียงของยวดยานที่วิ่งบนถนนทั้งสองแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ และโดยปกติแล้วระดับ เสียงของยวดยานขนาดหนักที่วัดได้จะสูงกว่ายวดยานขนาดเบาบนถนนประ เภท เดียวกัน และจากการตรวจสอบระดับ เสียงของยวดยานที่ความถี่ต่าง ๆ บนถนนสี่ประ เภท ซึ่งจะดูได้จากรูป ๒.๒๖ จะ เห็นได้ว่า นอกจากระดับ เสียงบางจุดในช่วงความถี่ต่ำ ๆ ของถนนผิวแอสฟัลท์แล้ว ระดับ เสียงที่จุดความถี่อื่น ๆ มีค่าใกล้ เคียงกันมาก ดังนั้นผู้ฟังโดยทั่วไปจะไม่สามารถสัง เกตการ เปลี่ยนแปลงของลักษณะของ เสียงระหว่างผิวดังกล่าวได้ เลย เมื่อระดับความดังที่วัดได้มีค่าใกล้ เคียงกัน สำหรับถนนคอนกรีตที่ทำร่อง

ตารางที่ ๒.๑๘

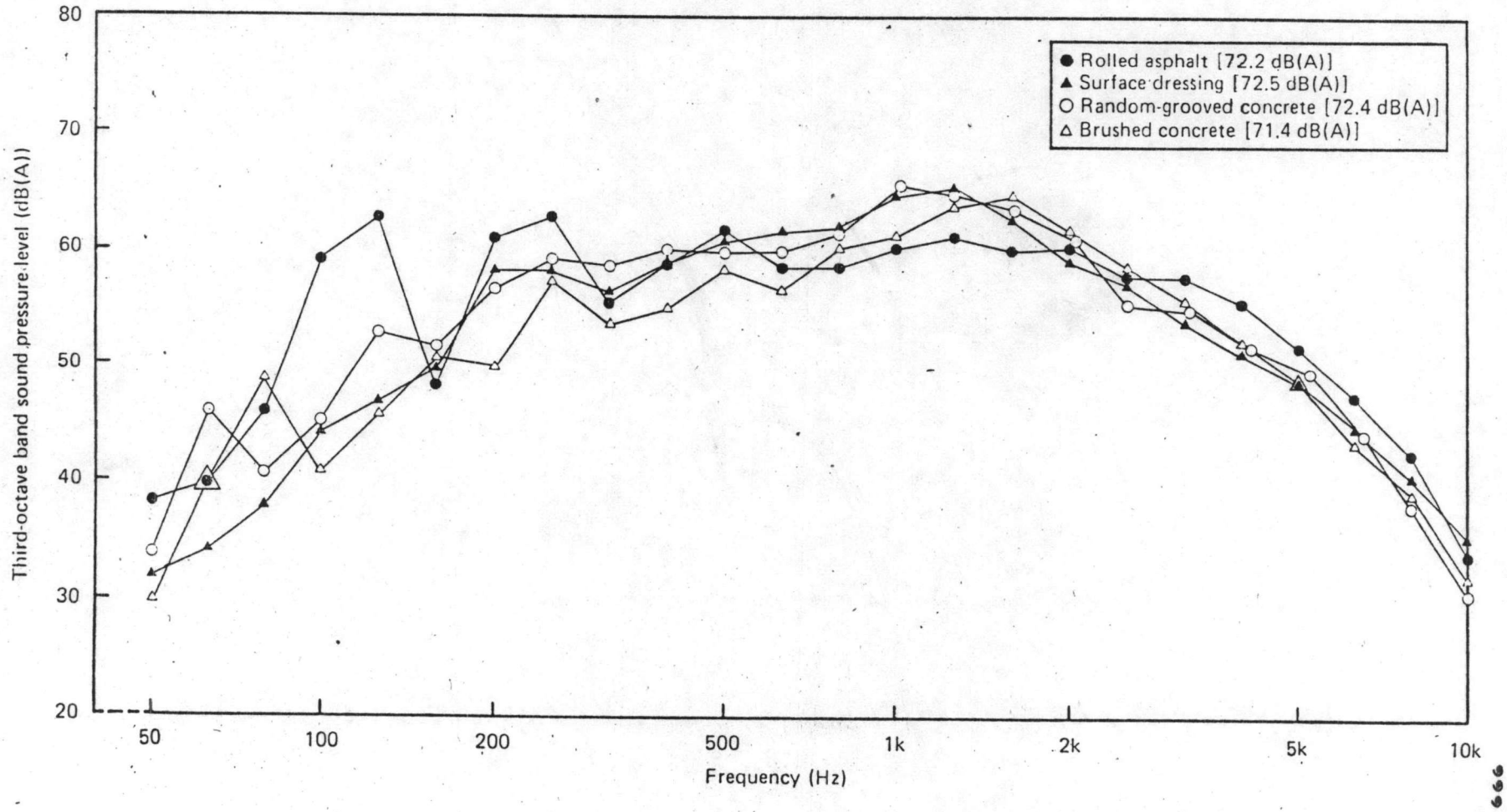
การตรวจสอบคุณสมบัติของผิวถนน

Type of surface	Location (Section No.)			Peak noise level of average vehicle at 7.5 m and 70 km/h (dB(A))	
				Light vehicles	Heavy vehicles
Plastic grooved concrete	A45	Bury St Edmunds	(2)	81.5	86.2
	A449	Raglan	(1)	82.9	88.1
	A329(M)	Reading	(4)	81.9	88.6
	M20	Ditton	(2)	82.7	88.6
	A45	Bury St Edmunds	(3)	80.8	86.9
	A45	Bury St Edmunds	(4)	78.9	84.1
Sawan grooved concrete	A329(M)	Reading	(2)	81.5	87.4
	A329(M)	Reading	(3)	80.1	88.5
Flailed grooved concrete	M1	Watford	(4)	80.5	89.1
Brushed concrete	M20	Ditton	(3)	81.2	87.7
	A405	Chorley Wood		79.1	85.2
	M20	Ditton	(1)	81.3	89.0
	A12	Brentwood	(2)	75.1	84.5
	A12	Brentwood	(7)	76.2	84.0
	A20	Swanley		77.2	85.4
	A12	Brentwood	(8)	75.4	84.2
	A12	Brentwood	(4)	74.9	82.7
Rolled asphalt	M40	High Wycombe	(10)	79.6	86.1
	M40	High Wycombe	(5)	78.5	85.5
	A1	Buckden	(12R)	76.0	84.3
	M40	High Wycombe	(13)	79.4	86.8
	A30	Blackbushe	(40)	77.2	85.6
	A1	Buckden	(11)	76.6	86.2
	A30	Blackbushe	(25)	76.6	83.9
Surface dressing	M40	High Wycombe +	(28)F	78.0	- -
	M40	High Wycombe +	(28)S	77.5	84.5
	A1	Buckden	(13)	78.1	85.0
	A20	Swanley	(19)	77.6	85.9
	M40	High Wycombe	(18)	78.0	85.6
	A30	Blackbushe	(1)	75.8	84.3
Dense bituminous macadam	A1	Buckden	(7)	75.0	84.9
	A1	Buckden	(8)	75.2	83.9
Open textured macadam	M40	High Wycombe	(30)	77.8	83.0
	A30	Blackbushe	(58)	76.3	83.5

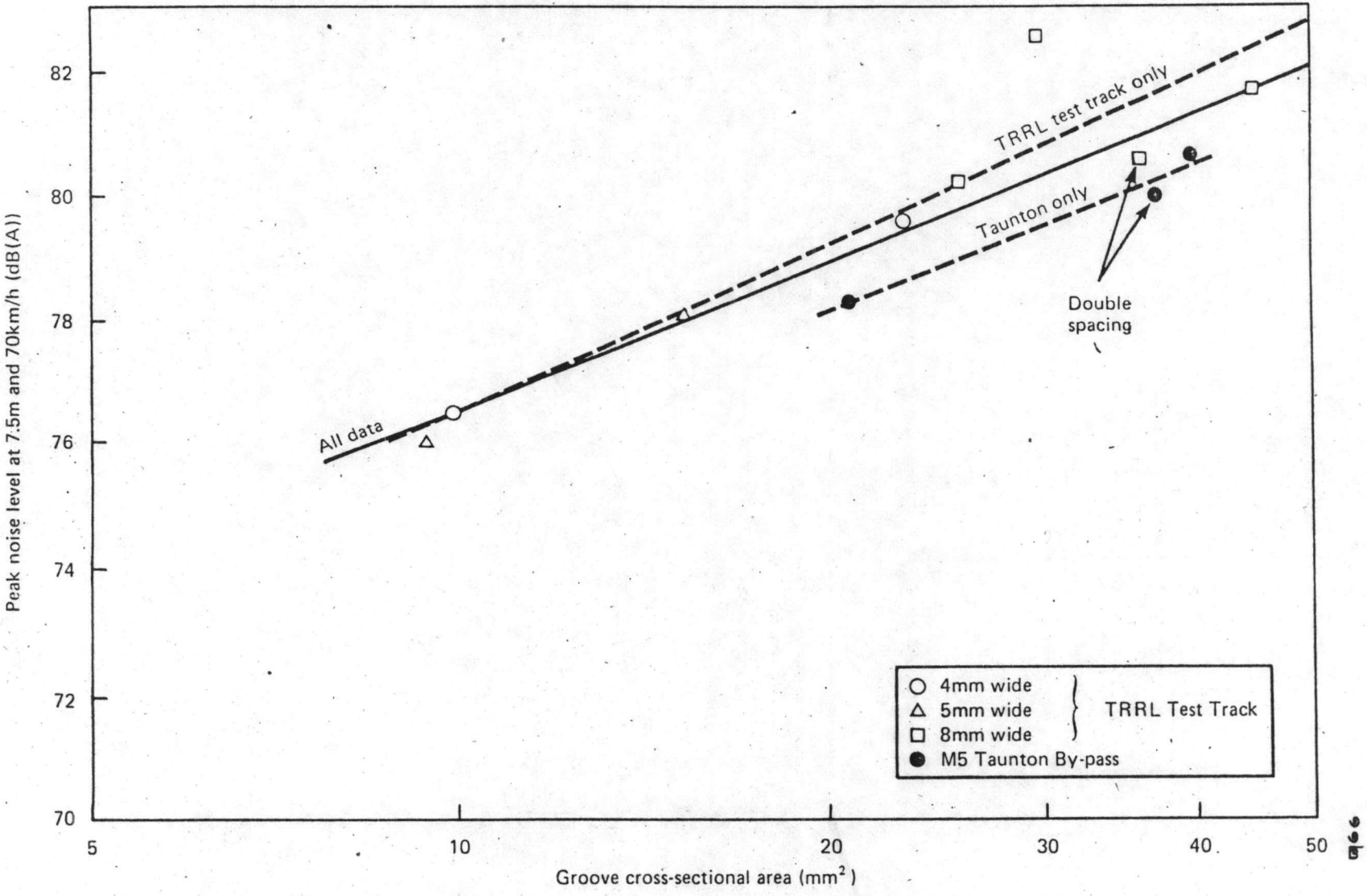
* Extrapolated values.

\+ M40 High Wycombe (28)F offside lane

ตามขวาง จะให้ระดับเสียงของยวดยานสูงกว่าเล็กน้อย โดยเฉลี่ยเมื่อเทียบกับถนนคอนกรีตขัดหยาบธรรมดาหรือถนนราดยางมะตอย ซึ่งจะดูได้จากรูปที่ ๒.๒๗ และระดับความดังบนถนนคอนกรีตที่ทำร่องตามขวาง ผลของเสียงจะขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดของร่องขวางมากกว่าจะขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างร่องขวาง ซึ่งจะดูได้จากรูปที่ ๒.๒๗ ซึ่งขนาดของร่องขวางมีขนาด ๔ มม. ๕ มม. และ ๘ มม. ระยะห่างระหว่างร่องขวางโดยเฉลี่ย ๓๗ มม. ซึ่งกรณี double spacing จะเป็น ๗๖ มม. โดยประมาณ และระดับเสียงจะดังเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่หน้าตัดของร่องขวางมีขนาดเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.26 ระดับความดังของเสียงบนผิวถนนต่างๆที่ความถี่ต่างๆกัน



รูปที่ 2.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Rolling noise กับพื้นที่หน้าตัดร่องขวาง

การเพิ่มประสิทธิภาพในการกีดขวางเสียงของกำแพงกั้นเสียง

โดยปกติแล้วในการใช้ผนังกั้นห้องในอาคารบ้านเรือน จะมีผลทางด้านเสียงต่อผู้อยู่อาศัย การที่ประสิทธิภาพในการกีดขวางเสียงของผนังที่ใช้มีประสิทธิภาพไม่ดีพอ อาจสืบเนื่องมาจากสาเหตุหลายประการ เช่นการติดตั้งผนังโดยไม่มีความระมัดระวังอย่างเพียงพอ ซึ่งผู้อาศัยมิได้คำนึงถึงปัญหาทางด้านเสียงมากมายนัก หรือการใช้ผนังที่มีความสูงเพียงบางส่วนเพื่อทำการกั้นแบ่งพื้นที่ให้แยกออกจากกัน จะด้วยเหตุเพื่อความประหยัด หรือจากสาเหตุอื่น ๆ ใดก็ตาม หรือจากการใช้วัสดุที่ไม่เหมาะสมในการใช้ทำเป็นผนังกั้นห้อง จากสาเหตุต่าง ๆ ที่กล่าวมานี้ ทำให้ประสิทธิภาพในการกีดขวางเสียงของผนังไม่ดีพอ

ด้วยสาเหตุหลายประการที่กล่าวมา เราอาจทำการปรับปรุงผนังดังกล่าวให้มีประสิทธิภาพในการกีดขวางเสียงให้ดียิ่งขึ้น เช่นเดิมมีผนังกั้นห้องที่ทำมาจากการใช้ไม้ขนาด ๒ นิ้ว คูณ ๔ นิ้ว ตีเป็นเคร่าให้จุดศูนย์กลางของไม้เคร่าห่างกัน ๑๖ นิ้ว แล้วใช้แผ่นยิบซั่มบอร์ด (ขนาดมาตรฐานกว้าง ๔ ฟุต ยาว ๘ ฟุต) ขนาดของความหนาครึ่งนิ้ว ตีปิดทั้งสองข้างของเคร่าไม้ โดยใช้สกรูขนาด ๑.๒๕ นิ้ว ระยะของสกรูแต่ละตัวห่างกัน ๔๐ ซม. ผนังกั้นห้องดังกล่าวสามารถกีดขวางเสียงโดยให้ค่า STC ประมาณ ๓๒ – ๓๗ ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ยอมรับ ซึ่งค่าที่ยอมรับสำหรับในการใช้ผนังกั้นห้องภายในบ้านพักอาศัย ผนังที่ใช้จะต้องกีดขวางเสียงได้ โดยให้ค่า STC มากกว่าหรือเท่ากับ ๔๕ ซึ่งจะกล่าวได้ว่าผนังยิบซั่มบอร์ด หนาหนึ่งนิ้วตีปิดบนเคร่าไม้ขนาด ๒ นิ้ว คูณ ๔ นิ้ว มีประสิทธิภาพในการกีดขวางเสียงไม่ดีพอ วิธีการปรับปรุงผนังให้มีประสิทธิภาพในการกีดขวางเสียงได้ดีขึ้นนั้น อาจทำได้โดยการใส่วัสดุที่เป็นฉนวน (Insulation) เช่น Fiber Glass ในช่องว่างระหว่างเคร่าไม้กับแผ่นยิบซั่มบอร์ดแล้วใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดกลืนเสียงตีปิดอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งการที่ใส่วัสดุที่เป็นฉนวนลงในช่องว่างระหว่างเคร่าไม้กับแผ่นยิบซั่มบอร์ด จะต้องรื้อผนังออกด้านหนึ่งซึ่งจะมีปัญหาของการตกแต่งตามมา ซึ่งวิธีนี้ไม่เป็นที่นิยม จึงใช้ผนังเสริมทางด้านนอกแทน

ผนังเสริมจะทำขึ้นโดยใช้ไม้เคร่าขนาด ๒ นิ้ว คูณ ๒ นิ้ว ตีเป็นเคร่า ในกรณีที่ต้องการความแข็งแรงเพิ่มขึ้น อาจใช้ไม้เคร่าขนาด ๒ นิ้ว คูณ ๓ นิ้วแทนก็ได้ แล้วนำไปวางให้ชิดผนัง ให้ขอบริมนอกของเคร่าไม้ห่างผนังยิบซั่มบอร์ด ซึ่งเป็นผนังเดิม ๓.๕ นิ้ว แล้วนำฉนวน (ไพเบอร์กลาส) ใส่ลงในช่องว่างระหว่างเคร่าไม้ นำแผ่นยิบซั่มบอร์ดหนา ๕/๘ นิ้ว ตีปิดยึดด้วยสกรูขนาด ๑.๕ นิ้ว โดยเว้นระยะห่างของสกรูประมาณ ๔๐ ซม. จากจุดศูนย์กลางถึงจุดศูนย์กลางของสกรูถัดไป ในบางกรณีเราอาจใช้ผนังที่มีผิวแข็ง หนา ๑/๔ นิ้ว ตีปิดโดยใช้ผนังนี้แทนแผ่นยิบซั่มบอร์ด และเพื่อป้องกันการรั่วไหลของเสียงตามขอบผนัง เราจะอุดขอบผนังด้วยวัสดุอุดยาแนว (Caulking) เสร็จแล้วตีคิ้วโดยรอบตามขอบผนัง โดยใช้ไม้ขนาด ๒.๕ นิ้ว หนาครึ่งนิ้ว ซึ่งพอจะสรุปได้ว่า ผนังเสริมที่สร้างขึ้นแล้วนำไปติดตั้งรวมกับผนังเดิม สามารถกีดขวางเสียง โดยให้ค่า STC ประมาณ ๔๕ ถึง ๕๐ ซึ่งมากกว่ามาตรฐานซึ่งเป็นที่ยอมรับ การใช้ผนังเสริมช่วย เป็นวิธีการอย่างหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพในการกีดขวางเสียงของผนัง ซึ่งการปรับปรุงผนังเพื่อให้กีดขวางเสียงได้ดีขึ้นนั้นแล้วแต่เทคนิคและความรอบคอบ ซึ่งบางวิธีอาจไม่ประหยัด แต่บางวิธีจะประหยัดและให้ผลลัพธ์ที่ดี