บทที่ 2

ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

2.1 รูปทรงและขนาดของห้องเรียน

รูปทรงของห้องเรียนที่ดีควรเอื้อประโยชน์ต่อการใช้สอยและก่อให้เกิดสภาวะน่าสบายทางสภาพแวดล้อมภายในมากที่สุด โดยทั่วไปห้องเรียนระดับประถมศึกษาจะมีผังพื้นเป็นรูปสี่-เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า ฯลฯ ส่วนขนาดของห้องเรียนตามระเบียบกระทรวงศึกษาธิการ ว่าด้วยการกำหนดมาตรฐานของโรงเรียนประถมศึกษา พ.ศ. 2518 ห้องเรียนที่เป็นห้องเรียนวิทยาศาสตร์ต้องไม่ต่ำกว่า 6.00 × 8.00 เมตร และมีจำนวนนักเรียนเฉลี่ย 35 คน ถ้าห้องเรียนมีพื้นที่มากกว่า 48 ตารางเมตร ให้บรรจุนักเรียนเพิ่มขึ้นจาก 35 คน โดยถือเกณฑ์ 1 ตารางเมตรต่อนักเรียน 1 คน แต่ทั้งนี้จำนวนนักเรียนไม่ควรเกิน 45 คน ความสูงของห้องเรียนจากพื้นถึงพื้นไม่น้อยกว่า 3.50 เมตร และความสูงจากพื้นถึงระดับใต้ฝ้าเพดานเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 3.00 เมตร และต้องไม่มีส่วนยื่นใด ๆ ต่ำกว่า 2.80 เมตร ในส่วนของระบบโครงสร้างอาคารหลังคาควรมีฉนวนเพื่อป้องกันความร้อนจากแสงแดดโดยตรง และช่องเปิดให้เพียงพอเพื่อการระบายอากาศร้อนใต้หลังคา สำหรับการวางผังอาคารเรียนไม่ว่ากรณีใด ๆ ต้องมีระยะห่างไม่น้อยกว่า 3.00 เมตร เนื้อที่บริเวณที่ทำการก่อสร้างอาคารรวมทุกอาคารจะต้องไม่เกินครึ่งหนึ่งของเนื้อที่บริเวณทั้งหมดเพื่อใช้เป็นที่พักผ่อนและสนามหญ้า

จากการศึกษาพบว่า การจัดกลุ่มห้องเรียนอาจจัดได้หลายลักษณะ ซึ่งแต่ลักษณะมีข้อดี-ข้อเสียแตกต่างกัน ดังนั้น รูปแบบการจัดห้องเรียนจึงเป็นการพิจารณาและตัดสินใจของสถาปนิกเพื่อให้ได้รูปแบบอาคารเรียนที่มีสภาพแวดล้อมที่ดี เช่น การระบายอากาศ แสงสว่างธรรมชาติ ป้องกันเสียงรบกวน และการประหยัดโครงสร้าง การจัดกลุ่มห้องเรียนโดยทั่วไปมี 4 ประเภท[3] คือ

---

[3] De Chiana, Joseph, Time -Saver Standards for Building Types (New York: McGraw-Hill, 1983), P. 172-174.

- การจัดห้องเรียนเรียงติดต่อกันตามทางเดินหน้าห้องเรียน (Single Loaded Corridor) ซึ่งทางเดินยาวติดต่อกันไปตลอดช่วงความยาวของอาคาร
- การจัดห้องเรียนเรียงติดต่อกันสองข้างของทางเดินเดียวกัน (Double Loaded Corridor)
- การจัดกลุ่มห้องเรียนล้อมรอบตัวจ่าย (Inner Vestibule) หรือห้องโถงเล็ก ๆ โดยอาจจัดเป็นกลุ่ม ๆ ละ 2-3 ห้องต่อหนึ่งโถง (Vestibule) เป็นหนึ่งหน่วย
- การจัดกลุ่มห้องเรียนแบบ Outer Vestibule โดยให้ Vestibule เป็นตัวจ่าย เช่นเดียวกันกับ Inner Vestibule แต่ไม่ได้ล้อมรอบเพียงอยู่ด้านใดด้านหนึ่งของ Vestibule

นอกจากนี้การจัดกลุ่มห้องเรียนยังมีรายละเอียดต่าง ๆ ที่ผู้ออกแบบต้องเพิ่มเข้าเพื่อประโยชน์ด้านการใช้สอย เช่น ห้องทดลองวิทยาศาสตร์ ห้องเรียนพิมพ์ดีด ห้องดนตรี ห้องปฏิบัติการอื่น ๆ ดังนั้น สถาปนิกควรพิจารณาเกี่ยวกับการแยกเขตเฉพาะห้องที่มีเสียงดัง ห้องต้องการแสงสว่าง การระบายอากาศ และรายละเอียดต่าง ๆ เพื่อป้องกันการรบกวนระหว่างห้อง

2.2 ความต้องการสภาพแวดล้อมของกิจกรรมต่าง ๆ ในโรงเรียนระดับประถมศึกษา

โรงเรียนระดับประถมศึกษาเป็นเขตที่มีกิจกรรมตลอดทั้งวัน ทั้งบริเวณภายในอาคารและบริเวณโดยรอบอาคาร สถานที่ของกิจกรรมขึ้นกับความเหมาะสมทางสภาพแวดล้อมของกิจกรรมนั้น ๆ ซึ่งแต่ละกลุ่มกิจกรรมมีความต้องการสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น กลุ่มวิชาที่เป็นบรรยายและกลุ่มวิชากึ่งบรรยาย มีความต้องการสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในระดับหนึ่ง ส่วนกลุ่มวิชาที่เป็นการปฏิบัติมีความต้องการความเหมาะสมทางสภาพแวดล้อมในระดับที่รองจากกลุ่มวิชาที่เป็นบรรยายและกึ่งบรรยาย

ดังนั้น ในกรณีโรงเรียนที่ไม่ใช้เครื่องปรับอากาศ กิจกรรมที่เป็นกลุ่มวิชาบรรยายและกึ่งบรรยาย เช่น ภาษาอังกฤษ ภาษาไทย คณิตศาสตร์ ฯลฯ จะถูกจัดอยู่ภายในอาคารเรียนที่เป็นเขตควบคุมด้วยระบบธรรมชาติ (Passive zone) และกึ่งควบคุมสภาพแวดล้อม (Semi-Passive zone) ส่วนกิจกรรมกลุ่มวิชาที่เป็นการปฏิบัติ เช่น พลศึกษา ลูกเสือเนตรนารี จะจัดในเขตบริเวณโดยรอบอาคารที่เป็นเขตธรรมชาติที่ไม่มีการควบคุม (Natural zone) ซึ่งรายละเอียดของวิชาเรียนและความต้องการความเหมาะสมทางสภาพแวดล้อมของกิจกรรมต่าง ๆ ภายในโรงเรียน มีดังนี้

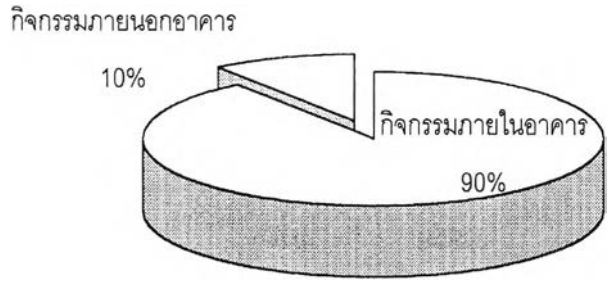
ตาราง 2.1 แสดงความต้องการทางด้านสภาพแวดล้อมของกิจกรรมต่าง ๆ ภายในโรงเรียน

วิชาเรียน	SEMI-PASSIVE T= 22-28 ^{0}c	PASSIVE T= 20-32 ^{0}c	NATURAL	ระดับความส่องสว่าง (Lux) [a]	ระดับเกณฑ์เสียงของห้อง (dBA) [b]
-คณิตศาสตร์	●			300 - 500	38-47
-ภาษาไทย	●			300 - 500	38-47
-ภาษาอังกฤษ	●			300 - 500	38-47
-จริยศึกษา	●			300 - 500	38-47
-การงานพื้นฐานอาชีพ	●	●		200 - 500	47-56
-สร้างเสริมลักษณะนิสัย	●	●		200 - 500	47-56
-สร้างเสริมประสบการณ์ชีวิต	●	●		200 - 500	47-56
-ดนตรี		●		150 - 300	47-56
-ศิลปะ		●		150 - 300	47-56
-นาฏศิลป์		●		150 - 300	47-56
-พลศึกษา		●	●	-	52-61
-ลูกเสือ-เนตรนารี		●	●	-	52-61

● ลักษณะการเรียนการสอนและระดับสภาพแวดล้อมที่ต้องการภายในห้องเรียน

[a] ที่มา: ประชัย เปี่ยมสมบูรณ์ และคณะ, มหาวิทยาลัยชินวัตร: ปรัชญาและแนวคิดสู่มิติใหม่ทางการศึกษา (กรุงเทพฯ: รักษ์การพิมพ์, 2543), หน้า 34-35.

[b] ที่มา: Cavanaugh. J Willaim and Wilkes, Architectural Acoustics Principles and Practice (New York: John Wiley & Sons, Inc, 1998), p. 38.



แผนภูมิ 2.1 แสดงสัดส่วนของกิจกรรมที่เกิดขึนระหว่างภายในอาคารและภายนอกอาคารเรียนระดับประถมศึกษา

จากตารางข้างต้นสามารถสรุปเป็นสัดส่วนของกิจกรรมที่เป็นกลุ่มวิชาที่ควรอยู่ภายในอาคารเรียนซึ่งเป็นเขตควบคุมด้วยระบบธรรมชาติและกึ่งควบคุมสภาพแวดล้อมมีประมาณร้อยละ 90 และกลุ่มวิชาที่ควรอยู่ภายนอกอาคารซึ่งเป็นเขตธรรมชาติร้อยละ 10 ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้จึงทำการศึกษาวิธีสร้างแบบประเมินค่าเสียงในอาคารเรียนซึ่งเป็นเขตที่มีกิจกรรมมากที่สุด

2.3 แนวความคิดในการออกแบบอาคารเรียนเพื่อป้องกันเสียงรบกวน

เสียงรบกวนจากแวดล้อมเป็นปัญหาที่มีความสำคัญเท่ากับปัญหาอื่น ๆ แต่ส่วนมากสถาปนิก หรือผู้ออกแบบอาคารมักให้ความสำคัญในเรื่องแสงสว่างภายใน อุณหภูมิและการระบายอากาศมากกว่า เนื่องจากการศึกษาเรื่องเสียงมีขั้นตอนสับสน เครื่องมือมีราคาแพงและการส่งผ่านเสียงไร้ทิศทาง ในการออกแบบและปลูกสร้างอาคารเรียนเพื่อป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกควรทำการศึกษาบริเวณที่ตั้งอาคารและตำแหน่งที่ตั้งอาคาร สำรวจแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนบริเวณโดยรอบและศึกษาเสียงรบกวนที่จะเกิดจากตัวอาคาร นอกนั้นควรศึกษาค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของระบบโครงสร้างอาคาร การกำหนดห้องที่ต้องการควบคุมเสียงเป็นพิเศษและการจัดการระบบเสียงภายในอาคารเป็นต้น

การเลือกที่ตั้งของอาคารเรียนส่วนมากเจ้าของโครงการหรือสถาปนิกจะให้ความสำคัญในการตอบสนองความต้องการด้านการให้บริการต่างๆ เช่น ให้ความสะดวกด้านการสัญจร ใกล้กับสถานที่บริการด้านการศึกษา และสนามกีฬา ฯลฯ ซึ่งความต้องการดังกล่าวเป็นที่มาของการเกิดเสียงรบกวน ดังนั้น ควรมีการสำรวจระดับเสียงบริเวณที่ตั้งอาคารของโรงเรียนถึงว่าจะตั้งอยู่ในเขตที่สงบก็ตาม

กรณีมีพื้นที่อาคารมีบริเวณกว้าง การวางตำแหน่งของอาคารควรไกลจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนมากที่สุด ถ้าระยะห่างระหว่างอาคารและแหล่งกำเนิดเสียงยิ่งมากจะสามารถลดระดับเสียงรบกวนลงก่อนเข้าถึงอาคาร หากกรณีที่มีข้อจำกัดเรื่องบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง การเพิ่มค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของโครงสร้างอาคาร โดยคำนวณจากข้อมูลระดับเสียงรบกวนที่ได้ทำการสำรวจล่วงหน้า ซึ่งสามารถคาดการค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของโครงสร้างในแต่อาคารได้หรือห้องที่ต้องการควบคุมเสียงเป็นพิเศษได้

นอกนั้นการออกแบบควรศึกษาเสียงที่เกิดภายในอาคารและหาวิธีการแบ่งเขตที่มีเสียงรบกวนออกจากเขตที่ต้องการความสงบเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการใช้ระบบโครงสร้างที่มีค่าความเป็นฉนวนกันเสียง สำหรับห้องเรียนหรืออาคารเรียนที่ต้องการควบคุมเสียงเป็นพิเศษ เช่น ห้องบรรยาย ห้องเรียนภาษาต่างประเทศ ห้องพิมพ์งาน โรงอาหารฯลฯ ซึ่งเป็นห้องที่ต้องการเสียงเป็นพิเศษหรือมีเสียงดังมากกว่าห้องอื่น ๆ ควรมีการศึกษาถึงรายละเอียดเกี่ยวกับวัสดุที่เป็นระบบเปลือกอาคาร ปริมาตรห้อง อุปกรณ์ภายในห้องและศึกษาวิธีการป้องกันเสียงอื่น ๆ ประกอบด้วย

2.4 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเสียง

2.4.1 เสียงและคลื่นเสียง

เสียงจะเกิดควบคู่ไปกับการสั่นของอนุภาคของวัสดุ พลังงานจะถ่ายทอดต่อกันไปในอนุภาคที่กำลังสั่นสะเทือนเหล่านั้นทำให้พลังเสียงเดินทางผ่านตัวกลางนั้นในลักษณะคลื่นตำแหน่งที่มีการเคลื่อนที่ของอนุภาคจะเกิดความดันอัด (Compression) และความดันคลาย (rarefaction) ติดตามกันเป็นลูกโซ่กระจายไปตลอดตัวกลาง การศึกษาเรื่องเสียงก็คือการศึกษาคลื่นอัดและคลื่นคลายซึ่งเป็นคลื่นตามยาว (longitudinal waves) คลื่นตามยาว คือ คลื่นที่เกิดขึ้นในลักษณะที่การสั่นสะเทือนของอนุภาคมีทิศทางเดียวกันกับการเคลื่อนที่ของคลื่น

คลื่นอัดและคื่นคลายของเสียงสามารถเดินผ่านตัวกลางได้ก็เพราะตัวกลางนั้นมีความยืดหยุ่น (Elasticity) และมวล หรือความเฉื่อย (inertia) ดังนั้น การเคลื่อนที่ของเสียงในตัวกลางจึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของตัวกลาง ความเร็วของเสียงเป็นฟังก์ชันของคุณสมบัติของตัวกลาง ลักษณะของคลื่นเสียงสามารถอธิบายได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่น ความถี่และความเร็วของเสียง ดังนี้

$$\lambda = C / f \quad \text{---------- (1)}$$

เมื่อ λ = ความยาวคลื่น (Wavelength), m

C = ความเร็วเสียง (Velocity), m/s, ft/s

f = ความถี่เสียง (frequency) cps, Hz

ความเร็วเสียงเป็นค่าคงที่สำหรับตัวกลางที่ทราบความหนาแน่น แต่สำหรับค่าความหนาแน่นของอากาศจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ดังมีรายละเอียดของตัวกลางต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าความเร็วของเสียงในตัวกลางต่าง ๆ

ตัวกลาง	ความเร็วเสียง	
	เมตร / วินาที	ฟุต / วินาที
อากาศ (อุณหภูมิ 20 ^{0}c) [4]	344	1,130
น้ำ	1,410	4,625
ไม้	3,300	10,825
อิฐ	3,600	11,800
คอนกรีต	3,700	12,100
เหล็ก	4,900	16,000
แก้ว	5,000	16,400
อะลูมิเนียม	5,800	19,000

ที่มา: Stein, B. and Reynolds, J. S, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings, Eight Edition (New York: John Wiley & Sons, 1992), P. 1327.

2.4.2 **กำลังเสียงและระดับกำลังเสียง** (Power and sound power level)

ปริมาณพื้นฐานอีกอันหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับแหล่งกำเนิดเสียง คือ กำลังเสียง แหล่งกำเนิดจะแผ่กระจายกำลังออกในรูปของเสียง กำลังเสียงของแหล่งกำเนิด คือ กำลังทั้งหมดที่ออกจากแหล่งนั้นที่สามารถวัดได้และมีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt, W) กำลังเสียงจะมีความแตกต่างกันขึ้นกับต้นกำเนิดเสียง เช่น

[4] กรณีทั่วไปความเร็วของเสียงในอากาศเท่ากับ 350 เมตร/ วินาที จะมีค่าความผิดประมาณ 3 %

เครื่องบินไอพ่น (Jet Airliner)	มีกำลังเสียง 10000 (10^4) Watt
พัดลมแบบมีแกน 50 Kw	มีกำลังเสียง 0.1 Watt
การสนทนา (Conversation Speak)	มีกำลังเสียง 0.00001 Watt

การศึกษาระดับกำลังเสียง (Sound power level, PWL) คือ ค่า logarithmic ของอัตราส่วนของกำลังเสียงปริมาณหนึ่งและของอัตราส่วนที่เป็นปริมาณอ้างอิง (reference quantity) ระดับกำลังเสียงใช้หน่วยที่เป็นเศษหนึ่งส่วนสิบของเบล ที่เรียกว่า เดซิเบล (decibel, dB)

$$PWL = 20 \log W/W_0 \text{ ---------- (2)}$$

เมื่อ PWL = ระดับกำลังเสียง (Sound power level), dB

W = กำลังเสียงปริมาณหนึ่ง, Watt

W_0 = ปริมาณอ้างอิง คือ ค่ากำลังของเสียงต่ำสุดของการได้ยินเท่ากับ 10^{-12} Watt

2.4.3 **ความเข้มเสียงและระดับความเข้มเสียง** (Intensity and Intensity Level)

ความเข้มเสียง (Intensity, I) คือ พลังงานที่เสียงเคลื่อนที่ 1 ตารางพื้นที่ที่ตั้งฉากรับเสียงใน 1 หน่วยเวลา ความเข้มเสียงมีหน่วยเป็น W/m^2 เสียงที่ออกจากต้นกำเนิดเสียงใด ๆ ก็ตามจะกระจายออกไปรอบ ๆ ต้นกำเนิดนั้น เป็นวงกลม ความเข้มของเสียงจะลดลงเรื่อย ๆ แปรผันตามความยาวของรัศมีของคลื่นวงกลม ดังนั้น ความเข้มของเสียงที่จุดหนึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังของเสียงจากต้นกำเนิด

$$I = P/4\pi d^2 \text{ ---------- (3)}$$

เมื่อ I = ความเข้มเสียง, W/m^2

P = กำลังเสียงจากต้นกำเนิดเสียง, W

d = รัศมีของวงกลมคลื่น, m

$4\pi d^2$ = พื้นที่ผิวของวงกลมคลื่น, m^2

ในห้องปิดค่าคงที่ของกำลังเสียง ณ จุดกำเนิดเสียงที่เป็นพื้นที่ว่าง ขึ้นอยู่กับระยะห่างจากพื้นผิวเพราะระยะทางเป็นตัวกำหนดผลกระทบ ของค่าการสะท้อนของพื้นผิว ซึ่งความเข้มของเสียงที่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงที่ระยะหนึ่ง ๆ ขึ้นอยู่กับกำลังเสียงของแหล่งกำเนิด ทิศทาง ระยะทาง การดูดกลื่นและการสะท้อนกลับของเสียง

$$I = P/A \quad \text{---------- (4)}$$

เมื่อ I = ความเข้มเสียง, W/m^2

P = กำลังเสียงจากต้นกำเนิดเสียง, W

A = พื้นที่ของพื้นผิว (surface) เช่น ผนัง พื้น ฝ้าเพดาน, m^2

ระดับความเข้มเสียง (Intensity level) นิยามได้จาก

$$IL = 10 \log I / I_0 \quad \text{---------- (5)}$$

เมื่อ IL = ระดับความเข้มเสียง (intensity level), dB

I = ความเข้มเสียง, W/m^2

I_0 = ปริมาณความเข้มอ้างอิงคือค่าความเข้มของเสียงต่ำสุดของการได้ยินเท่ากับ 10^{-16} W/m^2

2.4.4 **ระดับความดันเสียง** (Sound Pressure Level, SPL)

ระดับความดันเสียงใช้ในการประเมินการได้ยินของหูคน ซึ่งมีระดับความเข้มเสียงเปลี่ยนตามคลื่นเสียง ระดับความเข้มเสียงที่เปลี่ยนมีผลต่อการได้ยินของหูคนดังนี้

การเปลี่ยนระดับความดันเสียง, เดซิเบล (เอ)	ผลต่อการได้ยิน
1	แทบจะสังเกตไม่ได้
3	เริ่มสังเกตได้
5	สังเกตได้แน่ชัด
10	ดังเป็นสองเท่า
18	ดังมากหรือเงียบมาก

ระดับความดันเสียงที่จุดใด ๆ คือ ความแตกต่างระหว่างความดันเสียง ณ. จุดนั้นเมื่อมีเสียง และระดับความดันเสียง ณ. จุดเดียวกันเมื่อไม่มีเสียง ระดับความดันเสียงแปรผันตามค่า Logarithmic ของอัตราส่วนกำลังสองของความดันหนึ่งและอัตราส่วนของความดันอ้างอิง

$$SPL = 10 \log (P/ P_o)^2 = 20 \log P/ P_o \text{ ---------- (6)}$$

เมื่อ SPL = ระดับความดันเสียง, dB

P = ระดับความดันเสียงที่ต้องการวัด, Pa, μbar

P_o = ความดันเสียงอ้างอิงมีค่าเท่ากับ 20 μPa (ไมโครปาสกาล) ซึ่งเป็นความดันเสียงที่ค่อยที่สุดที่ความถี่ 1000 Hz ที่หูคนปกติเริ่มได้ยิน

ระดับความเข้มเสียงและระดับความดันเสียงจะตอบสนองการได้ยินเริ่มจาก 0 เดซิเบล เหมือนกันระดับความเข้มเสียงและระดับความดันเสียงมีสมการที่วัดผลเป็นคุณค่าเดซิเบล แต่การวัดขนาดและหน่วยพื้นฐานของทั้งสองแตกต่างกัน เช่น 70 เดซิเบล ในสมการของความเข้มเสียงเป็น 10^{-9} w/cm และในสมการของความดันเสียงเป็น 0.063 Pa อย่างไรก็ตามค่าที่แสดง 70 เดซิเบล คือค่าที่เป็นระดับเสียงที่ใกล้เคียงกับค่าเสียงจริงมากที่สุด ดังนั้น การเลือกในการวัดค่าเป็นระดับความเข้มเสียงหรือระดับความดันเสียงขึ้นกับสภาพแวดล้อมที่ต้องการวัด

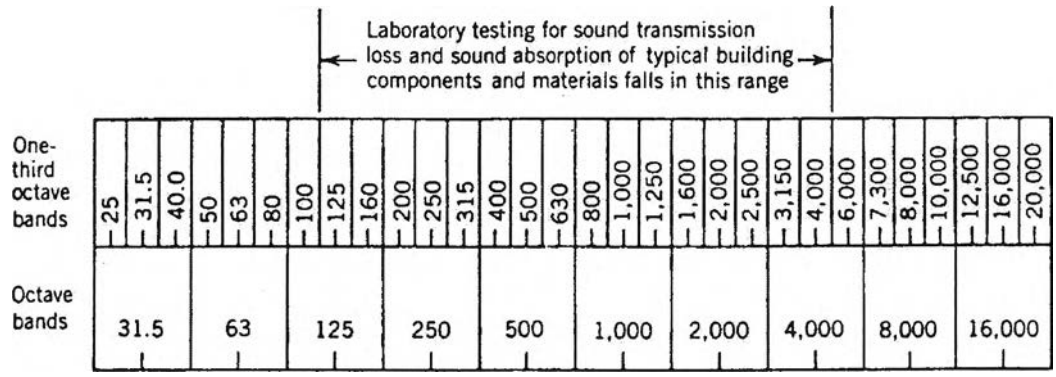
ตารางที่ 2.3 แสดงระดับความดันเสียงของแหล่งกำเสียงต่าง ๆ

Sound Pressure Level, SPL (dbA)	*Typical Sound*	*Subjective Impression*
150		(Short exposure can cause hearing loss)
140	Jet plane takeoff	
130	Artillery fire, riveting, machine gun	(Threshold of pain)
120	Siren at 100 ft, jet plane (passenger ramp), thunder, sonic boom	Deafening
110	Woodworking shop, hard-rock band, accelerating motorcycle	Sound can be felt (Threshold of discomfort)
100	Subway (steel wheels), loud street noise, power lawnmower, outboard motor	Very loud, conversation difficult; ear protection required for sustained occupancy
90	Noisy factory, truck unmuffled, train whistle, machine shop, kitchen blender, pneumatic jackhammer	
80	Printing press, subway (rubber wheels), noisy office, supermarket, average factory	(Intolerable for phone use)
70	Average street noise, quiet typewriter, freight train at 100 ft, average radio, department store	Loud, noisy; voice must be raised to be understood
60	Noisy home, hotel lobby, average office, restaurant, normal conversation	Usual background; normal conversation easily understood
50	General office, hospital, quiet radio, average home, bank, quiet street	
40	Private office, quiet home	Noticeably quiet
30	Quiet conversation, broadcast studio	
20	Empty auditorium, whisper	Very quiet
10	Rustling leaves, soundproof room, human breathing	
0 db		Intolerably quiet Threshold of audibility

ที่มา: Stein, B. and Reynolds, J. S, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings. Eight Edition (New York: John Wiley & Sons, 1992), P. 1340,

2.4.5 **ออกเทบแบนด์** (Octave Band)

หูของคนเราสามารถรับฟังเสียงได้ในช่วงความถี่ 20 – 20,000 Hz ซึ่งเป็นช่วงที่กว้างมาก ทำให้การวัดเสียงทุก ๆ ความถี่ทำได้ยาก ดังนั้นในทางปฏิบัติเราจะวัดเสียงเป็นช่วงความถี่ โดยแบ่งแถบความถี่ออกเป็นช่วง ๆ ที่มีความถี่ต่ำสุด ความถี่สูงสุดของแถบ และมีความถี่ศูนย์กลางที่ 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, 16000 Hz ในวิชาเกี่ยวกับเสียงเรียกแถบความถี่ว่า ออกเทบแบนด์ การแบ่งเป็นออกเทบแบนด์ตามช่วงความถี่มีดังนี้



รูปที่ 2.1 แสดงการแบ่งเป็นออกเทบแบนด์ตามช่วงความถี่

ที่มา: Cavanaugh, William J; and Wilkes, Joseph A, Architectural Acoustics: Principles and Practice (New York: John Wiley & Sons, 1998), p. 7.

ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารและการควบคุมเสียงภายในห้องเรียน โดยใช้ข้อมูลค่าความเป็นฉนวนกันเสียงและค่าดูดซับเสียงของวัสดุที่ได้จากห้องทดลองที่มีข้อมูลอยู่ระหว่างคลื่นความถี่ 125 ถึง 4000Hz ดังนั้น การศึกษาเสียงจะมีขอบเขตอยู่ระหว่างคลื่นความถี่ 125 ถึง 4000Hz เท่านั้น

2.4.6 **มาตราเดซิเบล** (The decibel scale)

หูของคนเราสามารถรับเสียงที่มีความดันเสียงสิบล้านเท่ามากกว่าความดันเสียงค่อยที่สุดที่ได้ยินได้ โดยไม่เป็นอันตรายต่อประสาทหู การวัดเสียงโดยใช้มาตราเชิงเส้นธรรมดาย่อมไม่สะดวกสำหรับพิสัยที่กว้าง ยิ่งกว่านั้นหูคนยังสามารถตอบสนองต่อเสียงแบบลอการิทึม (Logarithmic) ไม่ใช่แบบเชิงเส้น จึ่งเป็นการเหมาะสมที่จะบอกปริมาณเสียงเป็นอัตราส่วนเชิงลอการิทึม ของค่าที่วัดได้ เทียมกับค่าอ้างอิง ซึ่งจะลดจำนวนที่เกี่ยวข้องลงให้สะดวกในการคำนวณและผลลัพธ์ที่ได้ เรียกว่า เบล (The Bel) เบล หมายถึง ลอการิทึมฐานสิบของอัตราส่วนของกำลังหรือพลังงานสองค่าด้วยกัน แต่ในทางปฏิบัติหน่วยเบลค่อยข้างใหญ่ โดยทั่วไปนิยมใช้หน่วยที่เป็นเศษหนึ่งส่วนสิบของเบล เรียกว่า เดซิเบล (Decibel)

2.5 **ระดับเสียงเวจท์** (Weighted sound level)

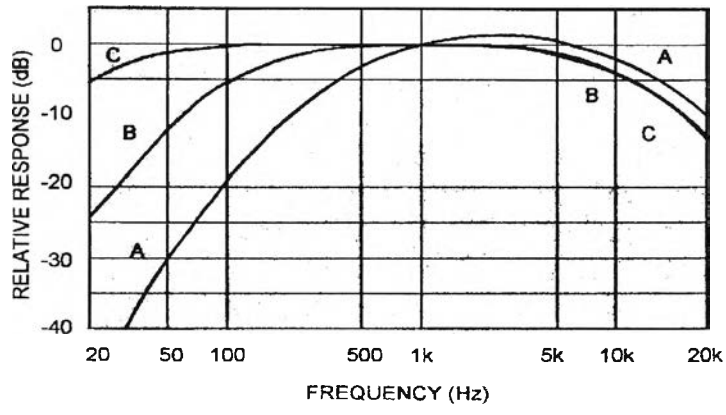
ระดับเสียงเวจท์ คือ ระดับเสียงที่ได้จากการวัดไมโครโฟนแล้วผ่านที่กรองเวจท์ (Weighting network) ซึ่งจะได้ระดับเสียงเวจท์ในหลายรูปแบบ เช่น A-weighted (dBA), B-weighted (dBB), C-weighted (dBC) และ D-weighted (dBD) การที่มีหลายเวจท์ก็เพราะว่าความรู้สึกบางอย่างของคน เช่น ภาวะรำคาญไม่ได้แปรแบบ linear กับความดังเมื่อเทียบกับความถี่ต่างกัน A-weighted เป็นการกรองเสียงที่ให้ผลโดยตรงกับความรู้สึกของคน Scale A มีคุณลักษณะการตอบสนองในการวัดเสียงได้เร็วกว่า Scale B, CและD และใกล้เคียงกับคุณลักษณะการตอบสนองในการได้ยินของหูมนุษย์มากกว่า Scale B, C และD

A-weighted เป็นการกรองเสียงเพื่อให้ผลตรงกับความรู้สึกของคน Scale A จะมีคุณลักษณะการตอบสนองในการวัดเสียงได้เลวกว่า Scale B และ C แต่จะใกล้เคียงกับคุณลักษณะการตอบสนองในการได้ยินของหูมนุษย์มากกว่า Scale B และ C

B-weighted มีเหตุผลการกรองเช่นเดียวกันกับ A-weighted แต่ใช้กับเสียงความเข้มปานกลาง ปัจจุบันไม่ค่อยใช้ การวัดด้วย Scale B จะตอบสนองได้ดีในความถี่ระหว่าง 400 Hz - 3,000 Hz

C-weighted ไม่มีการกรองมากนัก การวัดจะใกล้เคียงกับความเป็นจริง จะใช้วัดเสียงของกลุ่มความถี่ต่ำเนื่องจาก A-weighted จะถูกกรองมากเกินไป

D-weighted ใช้วัดเสียงจากอากาศยาน

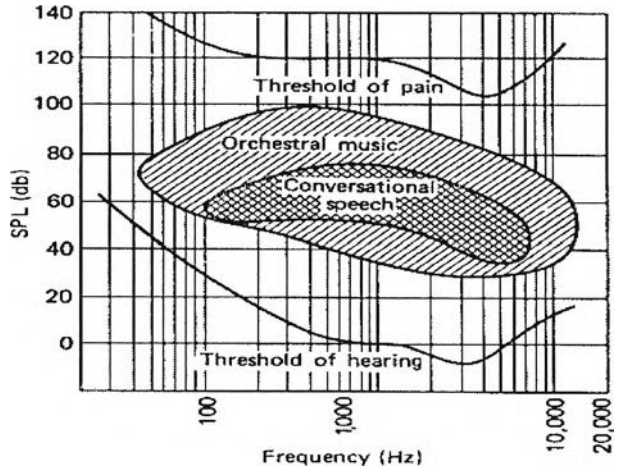


รูปที่ 2.2 แสดงค่าระดับเสียงต่าง ๆ ที่ถูกเวจท์

ที่มา: Cowan, James. Architectural Acoustics Design Guide (New York: McGraw-Hill, 2000), p. 20.

2.6 **ความสามารถในการได้ยินเสียงของคน**

ความรู้สึกถึงความดังของเสียง หมายถึง ปริมาณเสียงที่ประสาทรับฟังของเรารับได้ ความดังเป็นฟังก์ชั่นของความเข้ม ความถี่ ความกว้างของแถบคลื่นเสียงและระยะเวลาของการรับฟังเสียง ความสามารถในการได้ยินเสียงของแต่ละคนไม่เท่ากันขึ้นกับอายุ สุขภาพของผู้ฟัง โดยทั่วไปขอบเขตการได้ยินเสียงของหูคนจะตอบสนองได้ในช่วงความถี่ 20–16,00 Hz หรืออาจขึ้นถึง 20,000 Hz ในคลื่นความถี่ต่ำหูจะตอบสนองเป็นเส้นตรง การรับฟังเสียงพูดปกติที่ระดับความดันเสียงระหว่าง 45-85 เดซิเบล และความสามารถได้ยินเสียงที่เป็นมาตรฐานต่ำสุดที่ความเข้มเสียง 10^{-12} W/m^2 สูงสุดที่ 1 W/m^2



รูปที่ 2.3 แสดงขอบเขตการได้ยินเสียงของมนุษย์

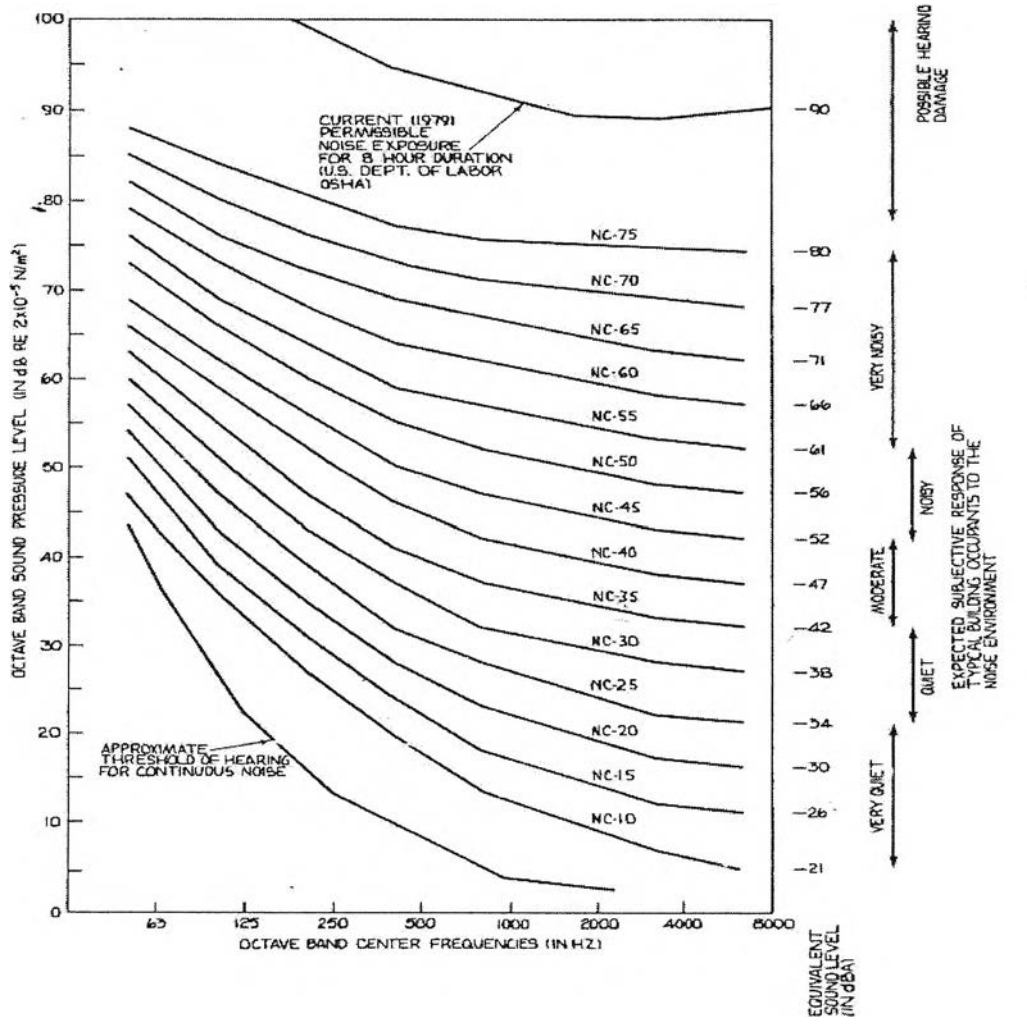
ที่มา: Stein, B. and Reynolds, J. S, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings. Eight Edition (New York: John Wiley & Sons, 1992), P. 1337.

2.7 **เกณฑ์เสียงและเกณฑ์เสียงที่พอใจ** (Noise Criteria and Preferred Noise criteria)

ระดับเสียงของสภาพแวดล้อม (Ambient sound level) ในพื้นที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อระดับเสียงของพื้นที่นั้น และเป็นตัวบอกถึงความพึงพอใจหรือไม่พอใจของกลุ่มคนในพื้นที่ เสียงของสภาพแวดล้อมเป็นตัวกำบังหรือเป็นตัวกั้นการส่งผ่านของเสียงไปถึงพื้นที่ ที่อยู่ติดกันหรือพื้นที่ที่อยู่ใกล้กัน ความต้องการระดับเสียงจากสภาพแวดล้อมของแต่ละอาคารแตกต่างกันขึ้นกับพื้นที่และความสำคัญของกิจกรรม เกณฑ์เสียงเป็นที่ยอมรับและใช้กันมากในการประเมินปัญหาที่เกิดจากเสียงและใช้เป็นเป้าหมายในการออกแบบเพื่อให้ได้เสียงแบคกราวด์ตามที่ต้องการและเป็นที่พอใจเป็นเกณฑ์เสียงมีพื้นฐานขึ้นกับระดับเสียงรบกวนเสียงพูด ซึ่งแสดงเป็นลักษณะเส้น

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

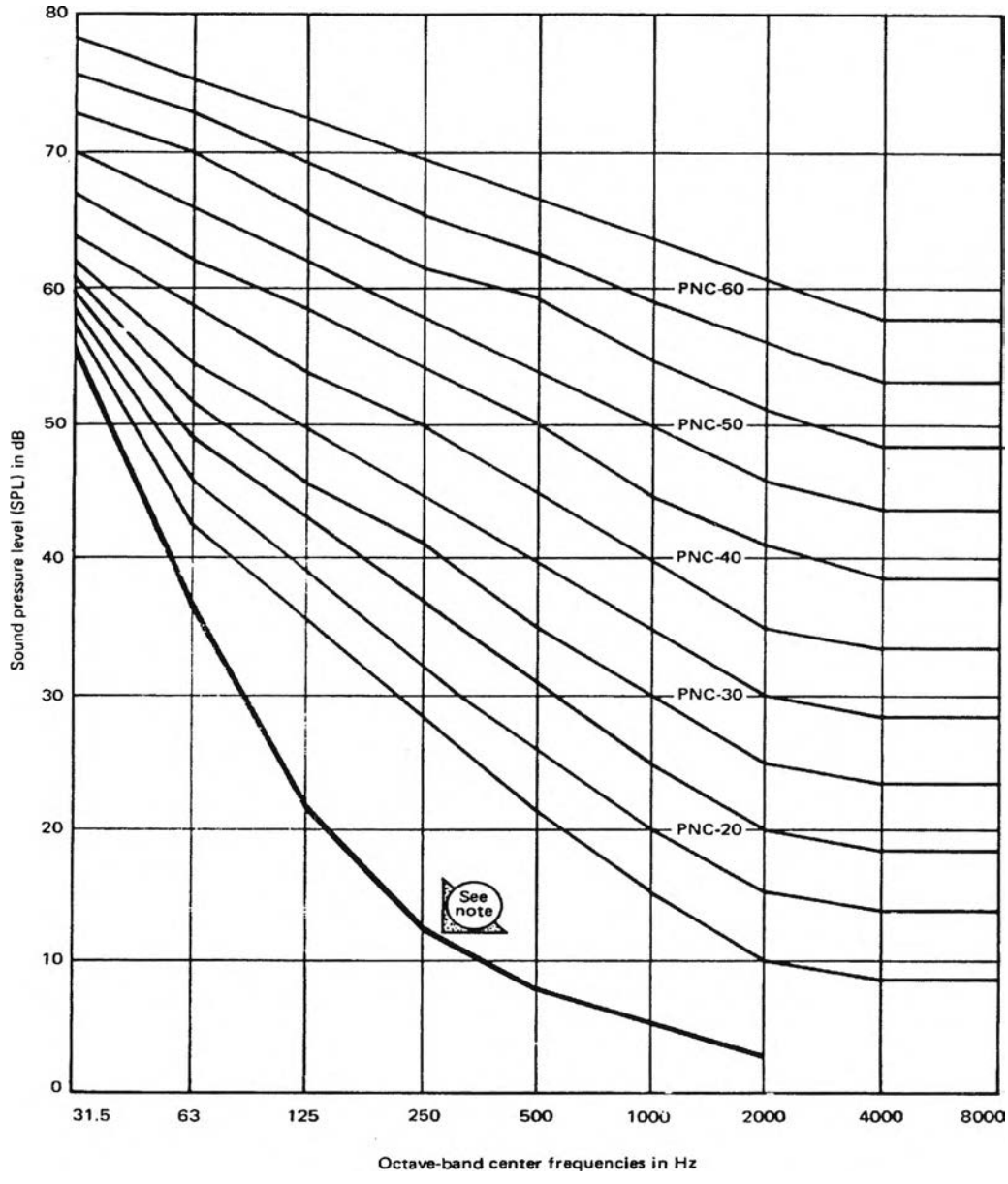
วิธีการหาเกณฑ์เสียงโดยการลากเส้นความสัมพันธ์ระหว่างระดับความดังกับความถี่จะได้ค่าเกณฑ์เสียง (Noise Criteria, NC) ที่อยู่ ณ ตำแหน่งสูงสุดของเส้น



แผนภูมิ 2.2 กราฟทางวิศวกรรมที่แสดงเกณฑ์เสียง (Noise Criteria, NC)

ที่มา: Cavanaugh. J Willaim and Wilkes. Architectural Acoustics Principles and Practice (New York: John Wiley & Sons, Inc, 1998), p. 37.

บางกรณีการใช้เกณฑ์เสียงพบว่ามีปัญหา เช่น ถ้าสร้างแบคกราวด์ให้ตรงกับลักษณะเกณฑ์เสียงจะได้เสียงที่ไม่น่าพอใจจึ่งได้มีการดัดแปลงค่าเกณฑ์เสียงในปี 2518 แล้วเรียกเกณฑ์เสียงที่พอใจ (Preferred Noise criteria, PNC) โดยมีวิธีใช้เช่นเดียวกับเกณฑ์เสียง (Noise Criteria, NC) ค่าเกณฑ์เสียง และเกณฑ์เสียงที่พอใจที่กำหนดสำหรับเสียงแบคกราวด์ของห้องต่าง ๆ



แผนภูมิ 2.3 กราฟแสดงเกณฑ์เสียงที่พอใจ (Preferred Noise criteria, PNC)

ที่มา: Egan, M. David. Concepts in Architectural Acoustics (New York: McGraw-Hill, 1972), p. 192.

ตารางที่ 2.4 แสดงค่า Noise Criteria (NC), Preferred Noise criteria (PNC) และSound Level (SPL) สำหรับเสียงแบคกราวด์ของห้องต่าง ๆ

ประเภทห้องหรือกิจกรรมที่เกิดภายในห้อง	NC Curve	PNC Curve	Sound Level, dBA
ห้องแสดงคอนเสริต์, โอเปร่า, แสดงเดี่ยวเครื่องดนตรี (สำหรับฟังเสียงดนตรีแผ่วเบาได้)	10-20	10-20	มากสุด 30
สตูดิโอสำหรับกระจายเสียงและบันทึกเสียง (โดยใช้ไมโครโฟนรับเสียงที่ระยะไกล)	15-20	10-20	มากสุด 30
ห้องประชุมใหญ่, โรงละครขนาดใหญ่และโบสถ์ (สำหรับการฟังอย่างชัดเจน)	20-25	น้อยกว่า 20	มากสุด 38
ห้องประชุม, โรงละครและโบสถ์ขนาดเล็ก, ห้องซ้อมดนตรี และห้องสัมมนาขนาดใหญ่ (สำหรับการฟังที่ดี) สำนักงานธุรกิจและห้องประชุมขนาด 50 คนที่ไม่มีเครื่องขยายเสียง	25-30	น้อยกว่า 35	มากสุด 38
ห้องหรืออาคารนอน,โรงพยาบาล, ที่พักอาศัย, โรงแรม (สำหรับการนอนหลับพักผ่อน)	25-35	25-40	34-42
สำนักงานส่วนตัว, กึ่งส่วนตัว, ห้องประชุมเล็ก, ห้องเรียน, ห้องสมุด (สำหรับการได้ยินอย่างดี)	30-35	30-40	38-47
ห้องนั่งเล่นและห้องลักษณะเดียวกันในที่พักอาศัย (สำหรับการสนทนา, ฟังวิทยุโทรทัศน์)	35-45	30-40	38-47
สำนักงานใหญ่, แผนกต้อนรับ, ร้านขายของ, ภัตตาคาร (สำหรับการได้ยินปานกลาง)	35-50	35-45	42-52
เฉลียงสำหรับแขก, สถานที่ปฏิบัติการทดลอง, ห้องเขียนแบบและวิศวกร,ห้องเลขานุการ (สำหรับการได้ยินระดับพอใช้ได้)	40-45	40-50	47-56
ห้องซ่อมงานเบา ๆ, ที่ทำงานและห้องคอมพิวเตอร์, ห้องครัว (สำหรับการได้ยินระดับพอใช้ได้ปานกลาง)	45-60	45-55	52-61
โรงซ่อม,อู่รถยนต์, ห้องควบคุมโรงจักกำลัง (สำหรับการได้ยินคำพูดและติดต่อโทรศัพท์ได้)		50-60	52-65
ในสำนักงานที่มีการติดต่อสื่อสารไม่ควรเกิน		60	65-75
โรงงานที่ไม่ต้องมีการติดต่อสื่อสารแต่ต้องไม่เป็นอัตรายต่อประสาทรับฟัง		60-70	65-75

ที่มา: Cavanaugh. J Willaim and Wilkes, Architectural Acoustics Principles and Practice (New York: John Wiley & Sons, 1998), p. 38.

จากวัตถุประสงค์หลักของการศึกษา คือ การศึกษาเพื่อหาแนวทางสร้างแบบประเมินค่าเสียงในอาคารเรียนระดับประถมศึกษาและจากข้อมูลระดับเสียงแบคกราวด์ของห้องเรียนในตารางข้างต้นซึ่งมีค่าระดับความดันเสียงอยู่ระหว่าง 38-47 เดซิเบล (เอ) ดังนั้น ในการศึกษาระดับความต้องการของเกณฑ์เสียงในห้องเรียน จึงกำหนดค่าระดับความดันเสียงเฉลี่ยที่เป็นแบคกราวด์ของห้องเรียนเท่ากับ 45 เดซิเบล (เอ)

ตารางที่ 2.5 ผลเสียของเสียงแบคกราวด์อันไม่พึงประสงค์ต่อการติดต่อสื่อสารด้วยคำพูด

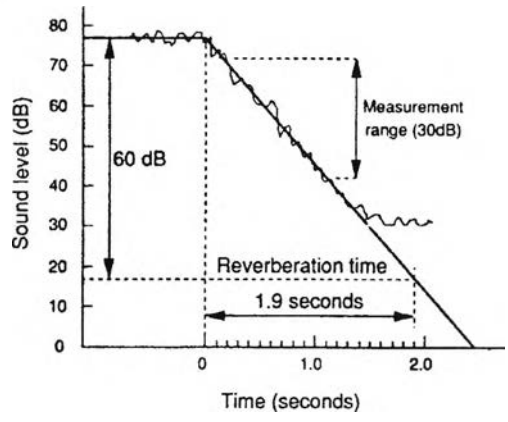
ระดับเสียงแบคกราวด์อันไม่พึงประสงค์, เดซิเบล (เอ)	ผลต่อการติดต่อสื่อสารด้วยคำพูดระหว่างกัน
30 - 40	ไม่รบกวนการพูดโต้ตอบกันด้วยระดับเสียงธรรมดาที่ระยะ 6 ถึง 30 ฟุต การติดต่อทางโทรศัพท์รู้เรื่องกันดี
40 - 45	การพูดจาโต้ตอบกันด้วยระดับเสียงธรรมดารู้เรื่องดีภายในระยะระหว่าง 3-6 ฟุต แต่ถ้าเพิ่มระดับความดังของเสียงพูดขึ้นตื่มอีกก็จะติดต่อกันได้ในระยะระหว่าง 6 ถึง 12 ฟุต การติดต่อทางโทรศัพท์อาจยังรู้เรื่องกันดี หรือเริ่มจะมีปัญหา
50 - 60	การพูดติดต่อกันด้วยระดับเสียงธรรมดาจะทำได้เฉพาะในระยะระหว่าง 1-2 ฟุต แต่ถ้าเพิ่มระดับเสียงที่ใช้ติดต่อให้ดังขึ้นอีกก็จะยืดระยะห่างออกไปเป็น 3-6 ฟุต การติดต่อทางโทรศัพท์เริ่มจะไม่ค่อยรู้เรื่องดี
60 - 70	การพูดจากันด้วยเสียงที่ดังกว่าปกติจะได้ยินชัดเจนดีในระยะ 1-2 ฟุต แต่ถ้าระยะเพิ่มเป็น 3-5 ฟุต การติดต่อเริ่มจะไม่ชัดเจน
70 - 80	การพูดจากันด้วยเสียงที่ดังกว่าปกติในระยะ 1-2 ฟุต เริ่มจะยากลำบาก ถ้าหากว่าเป็นเสียงตะโกนจะเริ่มได้ยินไม่ชัดเจน ถ้าระยะเพิ่มมากขึ้น 3-6 ฟุต การติดต่อกันทางโทรศัพท์เข้าใจกันยากยิ่ง
80 - 85	ถึงแม้จะใช้เสียงตะโกนก็สามารถติดต่อสื่อสารกันได้อย่างไม่ชัดเจนดีนักในระยะห่างเพียง 1-2 ฟุต การติดต่อสารทางโทรศัพท์ก็จะไม่สามารถรู้เรื่องกันได้เลย

ที่มา: สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม.การศึกษาปัญหาเสียงรบกวนในกรุงเทพมหานคร (กรุงเทพ ฯ: กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม, สิงหาคม 2529), หน้า 28.

2.8 ปรากฏการณ์ของเสียงภายในห้องปิด

พฤติกรรมของเสียงภายในห้องที่เป็นห้องปิด เสียงที่เกิดขึ้นภายในห้องแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ เสียงตรง (Direct sound) และเสียงสะท้อน (Indirect sound) [5]
เสียงตรง หมายถึง เสียงที่ออกจากแหล่งกำเนิดเสียงโดยตรง ระดับของเสียงตรงจะขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดเสียงและระยะทาง ส่วนเสียงสะท้อน หมายถึง เสียงที่สะท้อนออกจากพื้นผิว ระดับของเสียงสะท้อนจะขึ้นกับคุณลักษณะการสะท้อนเสียงของพื้นผิว เช่น ผนัง พื้น ฝ้าเพดาน

เสียงสะท้อนที่เกิดขึ้นภายในห้องปิดจะมีช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ซาบิน (Wallace Clement Sabine) ได้ให้คำจำกัดความของ Reverberation Time, RT คือเป็นเวลาที่ใช้สำหรับให้พลังงานหนาแน่นหรือระดับความดันเสียงของสนามเสียงลดลง 60 dB ต่ำกว่าระดับเสียงคงตัว (Steady-state level) Reverberation Time เป็นตัวกำหนดค่าความเหมาะสมของ Reverberant Sound ภายในห้องซึ่งมีสมการดังนี้



รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับความดันเสียงและReverberation Time
ที่มา: Barron. Michael. Auditorium Acoustics and Architectural Design (London: E&FN Spon, 1993), P. 27.

[5] ปรีชญา รังสิรักษ์. การควบคุมเสียงภายในอาคาร (กรุงเทพฯ: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541), หน้า 16.

$$RT = 0.05 \times V/A \qquad \text{(In English Units) ---------- (7)}$$

$$RT = 0.161 \times V/A \qquad \text{(In metric Units) ---------- (8)}$$

เมื่อ RT = Reverberation Time, RT (Second, S)

V = ปริมาตรของห้อง (ft^3, m^3)

A = ค่าการดูดซับเสียงทั้งหมดของห้อง (Sabines ft^2, Sabines m^2)

$A = S_1\alpha_1 + S_2\alpha_2 + S_3\alpha_3 \ldots\ldots\ldots\ldots + S_n\alpha_n$

$S_{1,2,3,\ldots\ldots\ldots\ldots,n}$ = พื้นผิวของห้องที่ดูดซับเสียง (ft^2,m^2)

$\alpha_{1,2,3,\ldots\ldots\ldots\ldots,n}$ = สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

สำหรับสมการ In English Units จะใช้หน่วยเป็นเมตรและสมการ In metric Units ใช้หน่วยเป็นฟุต

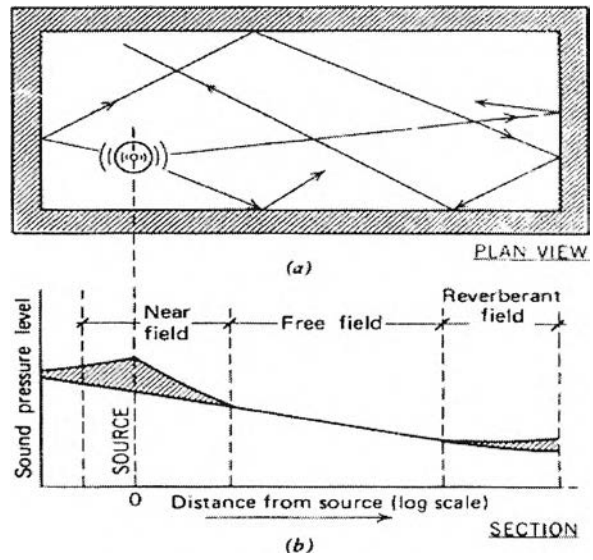
Reverberation Time ที่แตกต่างกันขึ้นกับชนิดของห้องหรือประเภทของอาคาร ในกรณีที่ช่วงเวลาระหว่างเสียงตรงและเสียงสะท้อนต่างกันมากจะได้ยินเสียงเอโก (Echo) ซึ่งอาจเกิดขึ้นในห้องที่มีปริมาตรใหญ่ เช่น ห้องประชุม ปาฐกถา ห้องเล่นดนตรี ฯลฯ

2.9 ระดับความดันเสียงภายในห้องปิด

จากทฤษฎีเกี่ยวกับเสียง ความหนาแน่นของอากาศภายในห้องเป็นฟังก์ชั่นของระยะทาง ทำให้เราสามารถหาความสัมพันธ์ของระดับความดันเสียงและระดับกำลังเสียงภายในห้องได้ สนามเสียงภายในห้องปิด คือ พลังเสียงที่เกิดจากการสะท้อน-การดูดซับเสียง ดังนั้น เสียง ณ. จุดหนึ่งภายในห้อง คือ ผลรวมของพลังเสียงโดยตรงและพลังเสียงสะท้อนจากผิวและสิ่งบดบังต่าง ๆ ภายในห้อง ถ้าการสะท้อนของเสียงภายในห้องสูงจะทำให้เสียงกระจายไร้ทิศทาง การกระจายของเสียงภายในห้องปิดแบ่งออกเป็น 3 เขต คือ

- Near field คือ บริเวณที่ใกล้กับแหล่งกำเนิดเสียง สนามเสียงบริเวณนี้มีความถี่ต่ำที่สุด แต่มีค่าระดับความดันเสียงสูง
- Free field คือ เขตระหว่างกลางของ Near field และReverberant field การคำนวณระดับความดันเสียงจะคล้ายกับการคำนวณเสียงในที่โล่ง ความเข้มเสียงจะเปลี่ยนแปลงตามระยะทางตามความสัมพันธ์แบบ inverse square law ซึ่งระยะห่างทุก ๆ สองเท่าจากต้นกำเนิดเสียงระดับความเข้มเสียงจะลดลง 6 เดซิเบล

- Reverberant field คือ สนามเสียงที่เกิดจากการสะท้อนของพื้นผิวและองค์ประกอบภายในห้อง ทิศทางการสะท้อนและค่าระดับความดันเสียงจะสัมพันธ์กับเขต Free field



รูปที่ 2.5 แสดงสนามเสียงภายในห้องปิดเมื่อห้องมีแหล่งกำเนิดเสียง

ที่มา: Stein, B. and Reynolds, J. S, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings. Eight Edition (New York: John Wiley & Sons, 1992), P. 1343.

การได้ยินเสียงภายในห้องปิด คือ ระดับความดันเสียงที่เกิดขึ้นต้องมากกว่าระดับความดันของเกณฑ์เสียง (Background Sound pressure level of noise criteria) เพื่อสะดวกในการศึกษาการออกแบบห้องควรกำหนดเขตที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียงและเขตของผู้ฟังให้ชัดเจน ระดับกำลังเสียงที่เกิดขึ้นจะมีพลังเสียงที่แตกต่างกันตามประเภทของแหล่งกำเนิดเสียงและสามารถคำนวณระดับความดันเสียงจากความสัมพันธ์กับระดับกำลังเสียง ดังนี้ [6]

$$SPL = PWL + 10\log(Q/4\pi r^2 + 4/R) \quad \text{(In metric Units)} \text{ ---------- (9)}$$

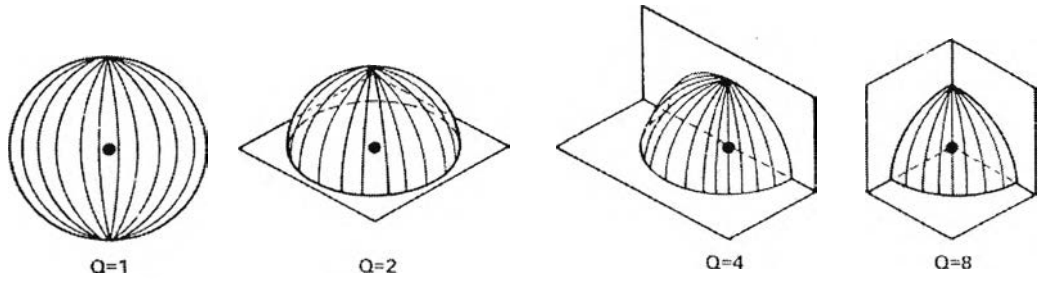
เมื่อ SPL = ระดับความดันเสียงภายในห้องปิด, dB

PWL = ระดับกำลังเสียง, dB

Q = Directivity factor

---

[6] Stein, B. and Reynolds, J. S, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings. Eight Edition (New York: John Wiley & Sons, 1992), P. 1343.



รูปที่ 2.6 แสดงตำแหน่งของเสียงที่เกิดขึ้นภายในห้องปิดและค่าของ Q

ที่มา: Stein, B. and Reynolds, J. S, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings. Eight Edition (New York: John Wiley & Sons, 1992), P. 1344.

การประมาณค่า Q ตามตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียง

- แหล่งกำเนิดเสียงตรงกลางพื้นห้อง $Q_1 = 1$
- แหล่งกำเนิดเสียงตรงกลางผนังด้านใดด้านหนึ่ง $Q_2 = 2$
- แหล่งกำเนิดเสียงอยู่ในแนวชนของผนัง 2 ผนัง และตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างพื้นกับเพดาน $Q_3 = 4$
- แหล่งกำเนิดเสียงมุมใดมุมหนึ่ง (ตำแหน่งที่พื้นผิว 3พื้นผิวของห้องพบกัน) $Q_4 = 8$

r = ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงและผู้ฟัง , m (ft)

R = Room constant, m^2 (ft^2)

$R = S\bar{\alpha}/(1-\bar{\alpha})$

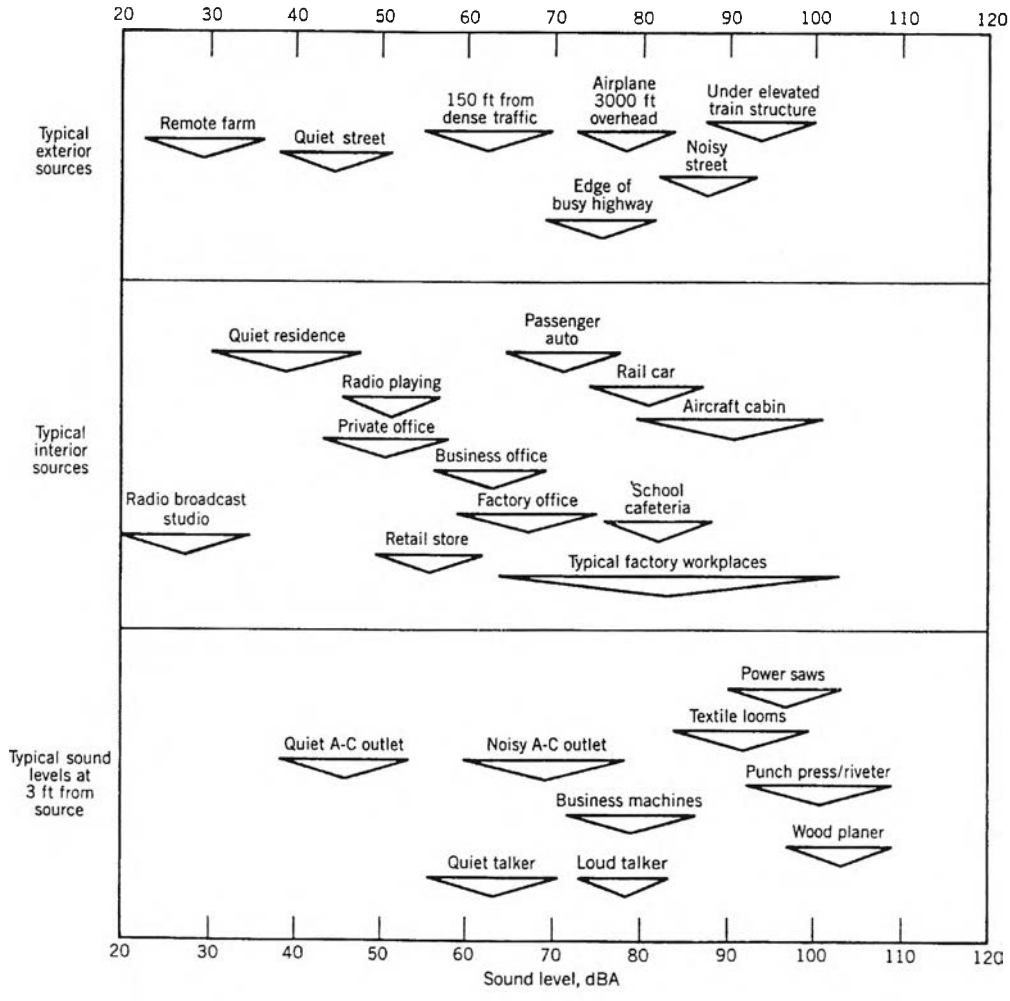
S = พื้นที่ทั้งหมดของพื้นผิว, m^2 (ft^2)

$\bar{\alpha}$ = ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงภายในห้อง

2.10 แหล่งกำเนิดของเสียงรบกวน

ปัจจุบันแหล่งกำเนิดเสียงนับวันยิ่งมีมากยิ่งขึ้นเรื่อย ๆ และมีแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนมากมาย โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดเสียงดังที่ส่งผลต่ออาคารและการดำเนินกิจกรรมภายในอาคารสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แหล่งกำเนิดเสียงที่เกิดจากภายนอกอาคาร เช่น การจารจร การขนส่ง โรงงาน อุตสาหกรรม เครื่องบิน เครื่องเสียง การล้อมแซม การก่อสร้าง เป็นต้น แหล่งกำเนิดเสียงที่เกิดจากภายในอาคาร เช่น กลุ่มคน อุปกรณ์ เครื่องจักรกล ฯลฯ

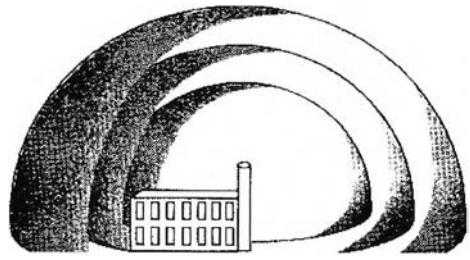
(Doelle, Leslie L, 1972: 140)



รูปที่ 2.7 แสดงแหล่งกำเนิด ค่าระดับความดันเสียงจากภายนอกและภายในอาคาร

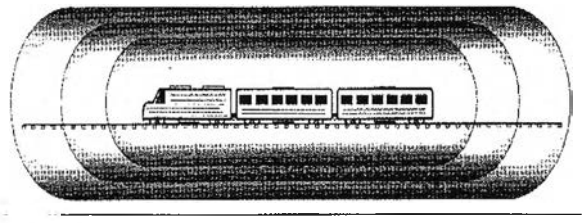
ที่มา: Cavanaugh.J Willaim and Wilkes. Architectural Acoustics Principles and Practice (New York: John Wiley & Sons, 1998), p. 13.

โดยทั่วไปการแผ่กระจายของเสียงขึ้นกับชนิดของแหล่งกำเนิดเสียง เช่น แหล่งกำเนิดเสียงแบบเป็นจุด (Point Source) พลังเสียงจะกระจายออกเท่ากันทุกทิศทางคล้ายรูปวงกรมที่มีจุดศูนย์กลางเป็นแหล่งกำเนิดเสียง (รูปที่ 2.8) ถ้าแหล่งกำเนิดเสียงแบบเป็นเส้น (Line Source) พลังเสียงจะกระจายออกจากแหล่งกำเนิดเสียงคล้ายรูปทรงกระบอก (Cylinder) หรือครึ่งของรูปทรงกระบอกเมื่อแหล่งกำเนิดเสียงติดระดับหน้าดิน (รูปที่ 2.9) เสียงรบกวนภายนอกอาคารหากมีระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงมากกว่า 200-300 ฟุต จะได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมทำให้เกิดการดูดซับเสียง-การสะท้อนเสียง ซึ่งองค์ประกอบต่าง ๆ ของสภาพแวดล้อมจะสามารถทำให้ระดับเสียงรบกวนมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงถึง 20 เดซิเบล ถ้าระยะทางห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงมีมากกว่า 1,000 ฟุต



รูปที่ 2.8 แสดงการกระจายของเสียงที่ที่มีแหล่งกำเนิดเสียงแบบเป็นจุด (Point Source)

ที่มา: Cowan, James. Architectural Acoustics Design Guide (New York: McGraw-Hill, 2000), p. 18.



รูปที่ 2.9 แสดงการกระจายของเสียงที่มีแหล่งกำเนิดเสียงแบบเป็นเส้น (Line Source)

ที่มา: Cowan, James, Architectural Acoustics Design Guide (New York: McGraw-Hill, 2000), p. 19.

จากการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม เกี่ยวกับระดับเสียงรบกวนเขตกรุงเทพมหานคร โดยการตรวจวัดระดับเสียงในชุมชนริมเส้นทางจราจรรวม 16 ชุมชน พบว่า แหล่งกำเนิดเสียงที่สร้างรบกวนมากที่สุด คือ แหล่งกำเนิดเสียงจากการจราจรที่มีระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง มีระดับเสียงประมาณ 57.5-81.0 เดซิเบล (เอ) ซึ่งเป็นระดับเสียงรบกวนที่เกินระดับมาตรฐานของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติได้กำหนดไว้ต้องไม่เกิน 70 เดซิเบล (เอ)

(กรมควบคุมมลพิษกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม, 2541: 3-39)

ตารางที่ 2.6 แสดงผลการตรวจวัดระดับเสียงรบกวนของชุมชนริมเส้นทางจราจร

จุดตรวจวัด	ระดับเสียง, เดซิเบล (เอ)					
	วันทำงาน			วันหยุด		
	Leq 24	Ldn	Lmax	Leq 24	Ldn	Lmax
ถนนสุขุมวิท						
1. บริเวณบ้านคลองเสาธง	72.9	78.1	94.4	73.3	78.2	94.8
2. บริเวณกรมอุตุนิยมวิทยาบางนา	74.8	81.5	101.0	74.3	80.9	103.8
3. บริเวณแยกทองหล่อ	75.0	80.6	101.4	74.7	79.9	101.2
4. บริเวณนิคมอุตสาหกรรมบางปู	78.5	83.2	109.9	78.1	82.3	97.4
ถนนพหลโยธิน						
5. บริเวณบ้านคลองหนึ่ง	78.9	85.9	101.5	78.8	85.8	103.2
6. บริเวณการทางพิเศษแห่งประเทศไทย	75.9	81.7	105.7	76.4	82.3	109.7
7. บริเวณสะพานควาย	79.0	84.9	102.1	78.9	84.6	118.9
8. บริเวณนิคมอุตสาหกรรมนวนคร	74.6	80.1	101.3	74.2	80.3	101.3
ถนนรามอินทรา-สุวินทวงศ์						
9. บริเวณสถานอนามัยลำผักชี	72.6	79.4	100.1	73.1	79.4	111.1
10. บริเวณโรงพยาบาลนพรัตน์ฯ	72.8	79.1	96.1	72.6	78.8	95.1
11. บริเวณ กม.8	78.8	86.0	100.4	78.7	85.8	102.2
12. บริเวณนิคมอุตสาหกรรมบางชัน	76.0	82.1	101.3	74.8	80.0	103.0
ถนนเพชรเกษม						
13. บริเวณแขวงการทางธนบุรี	62.1	68.1	-	-	-	-
ถนนลาดพร้าว						
14. บริเวณซอยจักกริช 1	64.2	70.7	-	-	-	-
เยาวราช	81.0	85.6	-	-	-	-
บางบัวทอง	57.5	61.9	-	-	-	-

Leq 24 = ระดับเสียงต่อเนื่อง 24 ชั่วโมงที่มีพลังเสียงเฉลี่ยเทียบเท่า (Equivalent Energy Average Sound Level)

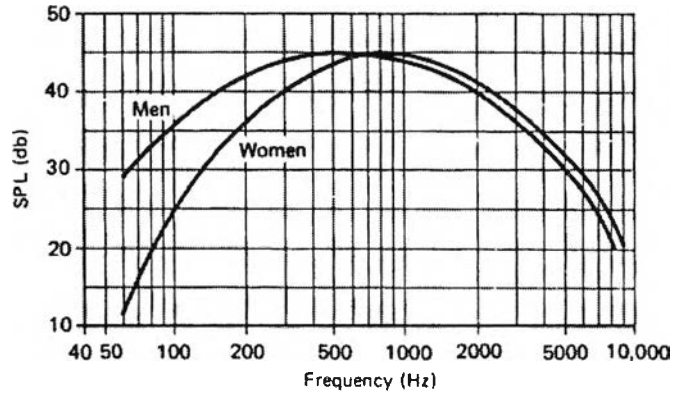
Ldn = ระดับเสียงเฉลี่ยกลางวัน-กลางคืน (Day-Night Average Sound Level)

Lmax = ระดับเสียงสูงสุด (Maximum Sound Level)

ที่มา: กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมมลพิษ. โครงการศึกษาผลกระทบมลพิษทางเสียงและความสั่นสะเทือนต่อสุขภาพ (กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ, 2541), หน้า 3-44.

2.10.1 **เสียงพูด** (Speech)

เสียงพูดที่ทำให้หูคนปกติได้ยินอย่างชัดเจนอยู่ช่วง 30-300 ms พลังเสียงของหญิงและชายมีช่วงสูงสุดในความถี่ที่แตกต่างกัน หญิงมีจุดศูนย์กลางของพลังเสียงสูงสุดประมาณ 900 Hz ชายประมาณ 500 Hz ความดันเสียงเฉลี่ยของเสียงพูดที่ระยะ 3-4 ฟุต อยู่ช่วง 40-50 เดซิเบล ในระยะเดียวกันเสียงที่เบาประมาณ 30 เดซิเบล และเสียงดังประมาณ 65 เดซิเบล บางกรณีมีเสียงพูดที่เบาที่สุดถึง 10 เดซิเบล และเสียงพูดดังที่สุดถึง 80 เดซิเบล ซึ่งเกิดขึ้นในกรณีเสียงแหลม (Sharp) การได้ยินเสียงพูดได้ชัดเจนที่สุดคือ ด้านหน้าของผู้พูด ส่วนด้านข้างพลังเสียงจะลดลง 5 เดซิเบล และด้านหลังพลังเสียงจะลดลง 10 เดซิเบล เมื่อเทียบกับพลังเสียงที่วัดได้จากด้านหน้าของคนพูด (M. David, 1972: 105)



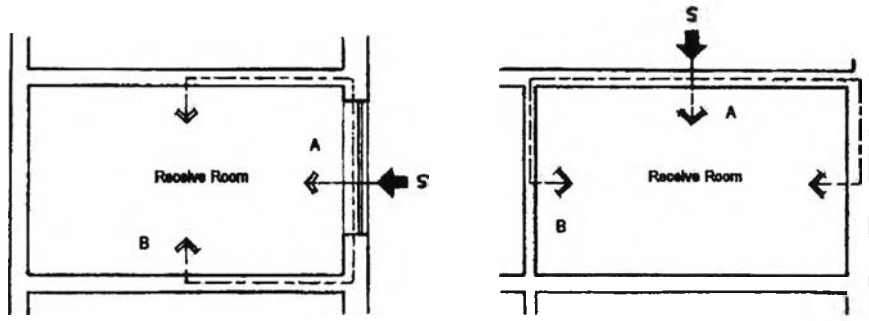
รูปที่ 2.10 แสดงระดับความดันของเสียงชายและหญิงในแต่ละคลื่นความถี่
ที่มา: Stein, B. and Reynolds, J. S, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings. Eight Edition (New York: John Wiley & Sons, 1992), P. 1346.

การศึกษาเสียงของครูสอนภายในห้องเรียนที่ไม่ใช้เครื่องกระจายเสียง ซึ่งแต่ละคนมีระดับกำลังเสียงที่แตกต่างกัน ดังนั้น เพื่อสะดวกในการศึกษาจึงกำหนดให้เสียงของครูสอนภายในห้องเรียนมีระดับกำลังเสียงเท่ากันที่ระดับกำลังเสียงเฉลี่ย 65 เดซิเบล (เอ)

2.11 การส่งผ่านเสียงเข้าภายในห้องหรือภายในอาคาร

เสียงที่ส่งเข้าไปในห้องหรือในอาคารสามารถแบ่งเป็น 2 รูปแบบ [7] คือ

1. เสียงที่ลอดผ่านท่อระบายอากาศ หน้าต่างหรือประตู ที่เปิดทิ้งไว้เป็นเสียงที่มีอากาศเป็นตัวกลาง เรียกว่า airborne sound
2. เสียงที่กระทบกับผนังหรือผิวพื้นที่แข็ง (Solid body) จะทำให้พลังเสียงบางส่วนที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของอากาศจะแทรกผ่านพื้น ผนังนั้นไปผนังอีกด้านหนึ่ง เรียกว่า การส่งผ่านแบบตรง (Direct transmission) และพลังเสียงบางส่วนจะแผ่กระจายไปภายในผนังแล้วทะลุไปยังอากาศที่อยู่อีกด้านหนึ่ง เรียกว่า การส่งแบบทางอ้อม (Indirect transmission) ทั้งสองรูปแบบการส่งผ่านเสียงนี้เรียกว่า Structure borne sound แต่ในทางปฏิบัติการส่งผ่านเสียงแบบตรงถือว่าเป็นการส่งผ่านที่มีอากาศเป็นตัวกลาง (airborne sound) (ปรีชญา รังสิรักษ์, 254: 19)



A = Direct transmission, B = Indirect transmission

รูปที่ 2.11 แสดงการส่งผ่านเสียงแบบตรงและแบบทางอ้อม

ที่มา: Moore. John Edwin. Design for Good Acoustics and Noise Control (London: the Macmillan Press,1978), p. 65.

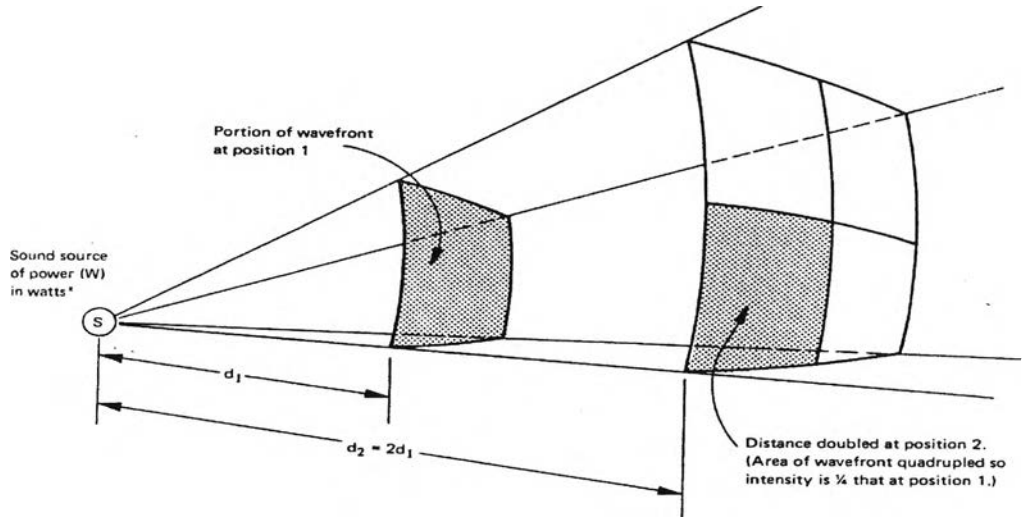
---

[7] Doelle, Leslie L. Environmental Acoustics. (New York: McGraw-Hill, 1972) p,144-146.

2.12 การควบคุมเสียงรบกวนจากภายนอกอาคาร

2.12.1 การลดระดับเสียงด้วยองค์ประกอบบริเวณที่ตั้งอาคาร

1. **การลดระดับเสียงด้วยระยะทาง** กรณีที่ตั้งอาคารเป็นที่โล่งเมื่อมีเสียงเกิดขึ้น คลื่นเสียงจะเคลื่อนที่ออกไปทุกทิศทางโดยรอบของแหล่งกำเนิดเสียง ระดับความเข้มของเสียง (Intensity Level, I_2) ที่จุดหนึ่ง ๆ ที่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงในระยะ d_2 คือ ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มของเสียง (Intensity Level, I_1)ที่มีระยะห่าง d_1 จากแหล่งกำเนิดเสียง ซึ่งระดับความเข้มของเสียง (I_2) จะลดลงมากหรือน้อยขึ้นกับระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น เรียกว่า ความสัมพันธ์แบบผกผัน (Inverse Square Law) (M. David, 1972: 25)



รูปที่ 2.12 แสดงความสัมพันธ์แบบผกผัน (Inverse Square Law)

ที่มา: Egan, M. David. Concepts in Architectural Acoustics (New York: McGraw-Hill, 1972). p. 7.

$$I = W/4\pi d^2 \quad \text{---------- (10)}$$

เมื่อ I = ความเข็มเสียง, watt/cm^2

W = กำลังเสียง, watt

d = ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงและจุดที่วัดความเข็มเสียง, ft

Position 1: $I_1 = W/ 4\pi d_1^2$ และ Position 2: $I_2 = W/ 4\pi d_2^2$

ถ้า $I_1 = I_2$

$$I_1 / I_2 = (d_2 / d_1)^2 \quad \text{---------- (11)}$$

เมื่อ I_1 = ความเข้มของเสียง (watt/cm^2) ที่ระยะ d_1

I_2 = ความเข้มของเสียง (watt/cm^2) ที่ระยะ d_2

d_1 , d_2 = ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง, (ft ,m)

$$IL = 10 \log I / I_0 \quad \text{---------- (12)}$$

เมื่อ IL = ระดับความเข้มของเสียง, dB

I = ความเข้มของเสียง, watt/cm^2

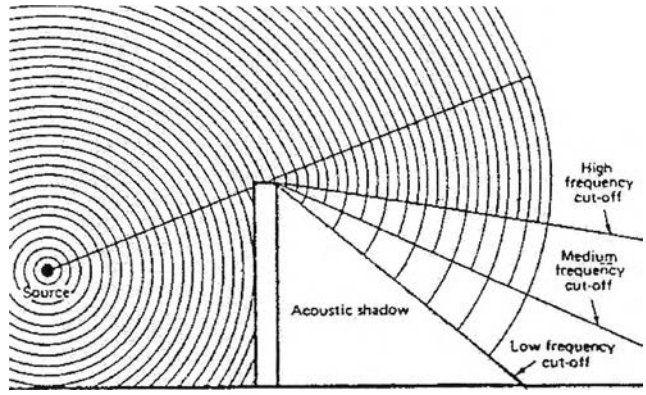
I_0 = ระดับความเข้มต่ำสุดที่คนเราสามารถได้ยินมีค่าเท่า 10^{-16} watt /cm^2

จากสมการแสดงให้เห็นว่า ระดับความเข้มของเสียงในพื้นที่โล่งมีความสัมพันธ์แบบผกผัน (Inverse Square Law) ที่แปรผันตามระยะทาง หมายความว่า ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงยิ่งไกลยิ่งทำให้ระดับความเข้มของเสียงลดลงมากเท่านั้น

2. **แผงกั้นเสียง** (Acoustic Barrier) ในกรณีอาคารที่อยู่ติดกับแหล่งกำเนิดเสียง เช่น โรงงาน ถนนใหญ่ที่มีการสัญจรคับคั่ง สนามบิน ฯลฯ ในด้านการออกแบบสถาปนิกควรพิจารณาการวางอาคาร ให้ไกลจากแหล่งกำเนิดเสียงมากที่สุดเท่าที่จะมากได้ หากกรณีบริเวณที่ตั้งอาคารมีพื้นที่แคบควรศึกษาใช้แผงกั้นเสียงที่เป็นรั้วหรือเนินดิน โดยเลือกรูปแบบแผงกั้นเสียงที่เหมาะกับภูมิประเทศบริเวณนั้น ๆ เพื่อช่วยลดความเข้มของเสียงก่อนเข้าถึงอาคาร

แผงกั้นเสียงมีลักษณะคล้ายผนังอาคารแต่หลักการทำงานต่างกัน กล่าวคือ แผงกั้นเสียงจะลดเสียงตรงโดยการเปลี่ยนตัวประกอบทิศทางเพื่อทำให้ความเข้มเสียงลดลงในทิศทางที่ต้องการ แผงกั้นเสียงเหมาะสำหรับกันเสียงรบกวนที่มีความถี่สูงมากกว่าเสียงรบกวนที่มีความถี่ต่ำ โดยทั่วไปแผงกั้นเสียงจะมีผลต่อการลดระดับเสียงที่ระยะห่างประมาณ 200-300 ฟุต ออกแบบแผงกั้นเสียงควรศึกษารูปแบบทีเหมาะสมกับสถานที่ตั้ง เช่น แผงกั้นเสียงรบกวนจากถนนที่มีการสัญจรหนาแน่นควรออกแบบให้ผู้ขับขี่ยวดยานเกิดมุมมองที่หลากหลายเพื่อช่วยลดความเครียด

I20197524



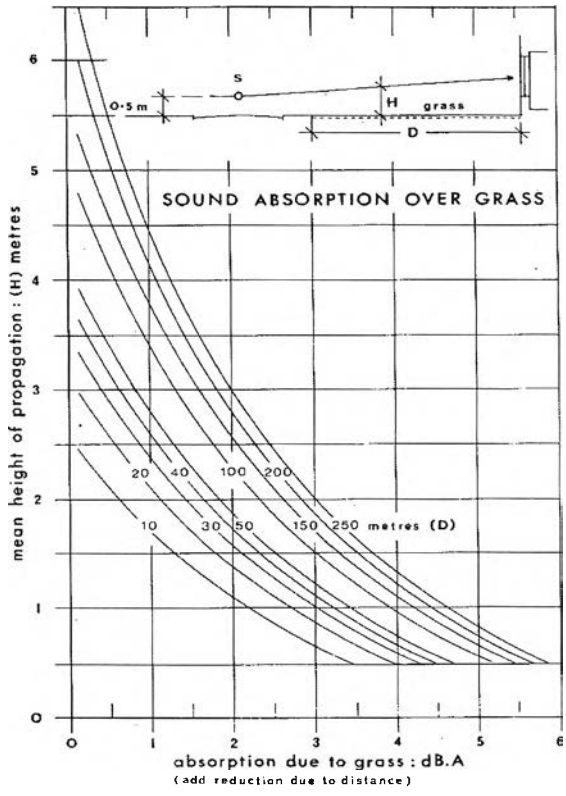
รูปที่ 2.13 แสดงที่กั้นเสียงและการหักมุมของเสียงที่ความถี่ต่าง ๆ

ที่มา: สุธิระ ประเสริฐสรรพ์, การควบคุมเสียงแวดล้อม (กรุงเทพฯ: ภาควิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยขลานคลินทร์, 2525), หน้า 96.

แผงกั้นเสียงจากธรรมชาติ เช่น การพูนดินให้สูงเพื่อเป็นตัวกันเสียง การปรับระดับให้มีความแตกต่างกันระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงกับอาคารที่รับเสียง การใช้ต้นไม้เพื่อกันเสียง ซึ่งพื้นที่ของต้นไม้ที่มีความกว้างประมาณ 100 ฟุต และมีความหนาแน่นของพุ่มใบจะสามารถลดระดับเสียงเฉลี่ยได้ 6-7 เดซิเบล สำหรับช่วงความถี่ต่ำสามารถลดได้ 3-4 เดซิเบล และสำหรับช่วงความถี่สูงลดได้ 10-12 เดซิเบล (Stein and Reynolds, 1992: 1421)

จากการศึกษาในการป้องกันเสียงภายนอกโดยการออกแบบแผงกั้นเสียงแบบต่าง ๆ พบว่า การวางตำแหน่งแผงกั้นเสียงให้อยู่ใกล้จุดกำเนิดเสียงให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ จะให้ผลในการกันเสียงได้ดีที่สุด ในกรณีแผงกั้นเสียงอยู่ใกล้กับอาคารที่รับเสียงจะให้ผลดีรองลงมา แต่ในกรณีแผงกั้นเสียงอยู่กึ่งกลางระหว่างต้นกำเนิดเสียงกับอาคารที่รับเสียงจะให้ผลที่เลวที่สุด ดังนั้น การใช้แผงกั้นเสียงไม่ใช่วิธีที่ดีที่สุดในการป้องกันเสียงรบกวน แต่ก็สามารถช่วยลดระดับเสียงรบกวนได้ในระดับหนึ่ง

นอกนั้น การให้เสียงส่งผ่านพื้นผิวที่มีคุณสมบัติในการดูดซับเสียง เช่น หญ้า พืชคลุมดิน จะช่วยให้ระดับเสียงรบกวนลดลงเรื่อย ๆ ตามระยะทางที่คลื่นเสียงผ่าน ตรงกันข้ามถ้าพื้นผิวทำด้วยวัสดุที่แข็ง ซึ่งคุณสมบัติในการสะท้อนเสียง คลื่นเสียงที่ส่งผ่านก็จะมีการสะท้อนและไม่มีผลต่อการลดระดับเสียงด้วย

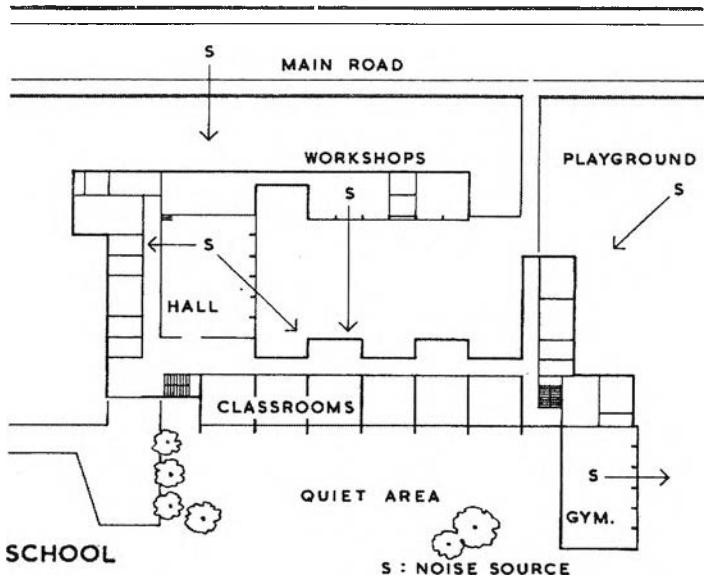


แผนภูมิ 2.4 แสดงระดับเสียงที่ลดลงจากการดูดซับเสียงของหญ้าหรือพืชคลุมดิน

ที่มา: Moore. John Edwin. Design for Good Acoustics and Noise Control (London: the Macmillan Press,1978), p. 117.

3. **การวางผังอาคาร** การลดระดับเสียงรบกวนด้วยการสร้างตัวกำบังโดยการวางผังอาคาร ซึ่งการวางผังอาคารหนึ่ง ๆ ขึ้นกับหลายปัจจัย สำหรับการให้ความสำคัญเกี่ยวกับการป้องกันเสียงจะขึ้นกับชนิดของอาคาร ซึ่งจะต้องให้ความสำคัญมากในกรณีอาคารนั้นเป็นอาคารเรียนที่อยู่ชิดกับถนน ดังนั้น ในการพิจารณาการออกแบบผังอาคารโดยการแบ่งเป็นเขตที่ต้องการความเงียบ เช่น ห้องเรียน ห้องสมุด ฯลฯ ออกจากเขตที่มีเสียงรบกวน โดยการวางพื้นที่ห้องที่ไม่ต้องการความเงียบเช่น ห้องน้ำ ห้องเก็บของ ห้องปฏิบัติการ ฯลฯ ไว้ในส่วนหนึ่งเพื่อเป็นตัวคั่นระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงดังกับเขตที่ต้องการความความเงียบจะสามารถกันเสียงรบกวนได้ในระดับหนึ่ง (ปรีชญา รังสิรักษ์, 2541: 44)

การพิจารณาการวางผังอาคารในส่วนของผนังอาคารที่มีช่องเปิด เช่น ประตู หน้าต่างไว้ข้างที่ไม่มีแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน เนื่องจากระบบเปลือกอาคารที่มีช่องเปิดจะเป็นตัวที่เสียงผ่านเข้าได้ และกรณีที่มีแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนอยู่ระหว่างกลางของสองอาคาร ควรหลีกเลี่ยงการวางอาคารขนานกันเพราะจะทำให้เกิดมีการสะท้อนเสียงเข้าในอาคาร



รูปที่ 2.14 แสดงตัวอย่างการออกแบบอาคารเรียนที่มีการแบ่งเขตที่สงบและเขตที่มีเสียงรบกวน

ที่มา: Moore, John Edwin. Design for Good Acoustics and Noise Control (London: the Macmillan Press,1978), p. 95.

2.12.2 การลดระดับเสียงรบกวนโดยค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของโครงสร้างอาคาร

ค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของโครงสร้างที่วัดเป็นปริมาณ เรียกว่า ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (Sound transmission loss, TL) ซึ่งหมายถึง จำนวนเดซิเบลของพลังงานเสียงที่สูญเสียไปเมื่อมีการส่งผ่านโครงสร้าง การคำนวณค่าการสูญเสียงการส่งผ่านเสียงที่เป็นมาตรฐานของ The American Society for Testing and Materials (ASTM) E90-70T จาก "Laboratory Measurement of Airborne Sound Transmission Loss of Building Partitions" และ ISO Recommendation R140, "Field and Laboratory Measurement of Airborne and Impact Sound Transmission" [8] 1960 มีดังนี้

[8] Egan, M. David. Concepts in Architectural Acoustics (New York: McGraw-Hill, 1972), p. 68.

$$TL = 10 \log (W_1 / W_2) = 10 \log 1/\lambda \quad \text{---------- (13)}$$

เมื่อ TL = ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของโครงสร้าง (ผนัง,พื้น,ฝ้าเพดาน), dB

W_1 = กำลังเสียงที่ที่ตกกระทบผนัง, watt

W_2 = กำสังเสียงที่ส่งผ่านผนัง, watt

λ = สัมประสิทธิ์ค่าความเป็นฉนวนเฉลี่ยของวัสดุที่ได้จากห้องทดลอง

$\lambda = 1/ \text{antilog}_{10} (TL/10)$

การส่งผ่านของเสียงเข้าในอาคารโดยการสั่นสะเทือนของโครงสร้างจะลดได้ถ้าใช้โครงสร้างที่มีความหนาแน่นสูงเพื่อทำให้เสียงสะท้อนออก ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของโครงสร้างแปรตามความถี่ของผนัง

- ช่วงความถี่ต่ำ ค่าการสูญเสียการส่งผ่านของโครงสร้างจะขึ้นอยู่กับความแข็ง (Stiffness) ของโครงสร้าง หมายความว่า ในช่วงความถี่ต่ำโครงสร้างอาคารที่แข็งจะทำให้ค่าการสูญเสียการส่งผ่านสูง ไป แต่ถ้าเสียงมีความถี่เท่ากับความถี่ธรรมชาติของผนังเสียงจะส่งผ่านไปได้มาก เรียกว่าปรากฏการณ์ริโซแนนท์ (resonant)
- ช่วงความถี่ปานกลาง ค่าการสูญเสียการส่งผ่านของโครงสร้างจะถูกควบคุมด้วยกฎของมวล (Mass law) โครงสร้างอาคารที่มีมวลหนักจะให้ประโยชน์ในการป้องกันเสียงดีกว่ามวลเบา หากน้ำหนักของโครงสร้างหรือความถี่เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าค่าการสูญเสียการส่งผ่านของโครงสร้างจะเพิ่มขึ้น 6 เดซิเบล สมการตามกฎของมวล คือ

$$TL = 20 \log M + 20 \log f - 43 \quad (M \text{ มวลต่อพื้นที่ } Kg/m^2)^{9} \text{ ---------- (14)}$$

$$TL = 20 \log M + 12 \log f - 29 \quad (M \text{ มวลต่อพื้นที่ } lb/ft^2) \text{ ---------- (15)}$$

เมื่อ TL = ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของโครงสร้าง (ผนัง,พื้น,ฝ้าเพดาน), dB

f = ความถี่ของเสียง, Hz

สำหรับเสียงที่ตกกระทบเป็นมุมฉากกับผนัง และเสียงที่ตกกระทบผนังแบบกระจัดกระจาย TL จะต่ำกว่าปกติ 5 เดซิเบล

---

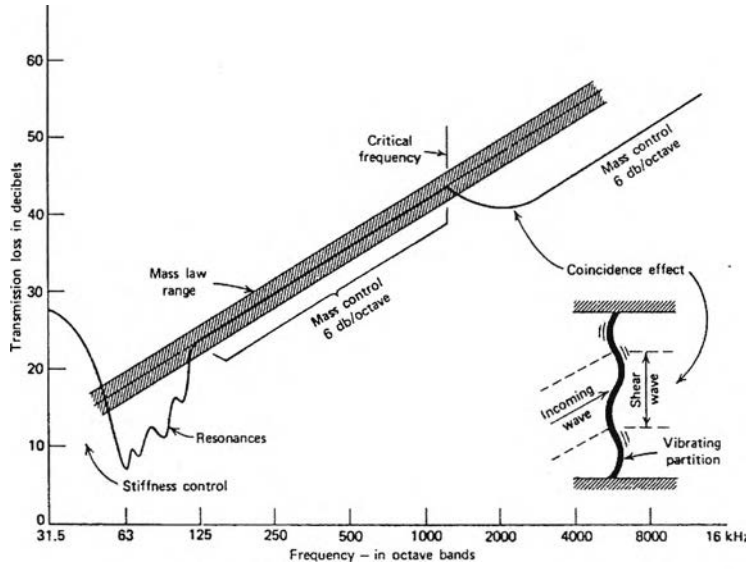
[9] America Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineering. ASHRAE Systems and Equipment Handbook. 3 Edition ((n.p), 1993), p. 7.7.

จากการผลการทดลองด้วยการคำนวณทางเรขาคณิตสำหรับช่วงความถี่ (125-2000 Hz) ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$TL = 14.5 \log M + 14.5 \log f - 26 \quad (M \text{ มวลต่อพื้นที่ } Kg/m^2)^{10} \quad \text{---------- (16)}$$

$$TL = 14.5 \log M + 14.5 \log f - 16 \quad (M \text{ มวลต่อพื้นที่ } lb/ft^2) \quad \text{---------- (17)}$$

- ช่วงความถี่สูง ค่าการสูญเสียการส่งผ่านของโครงสร้างจะลดลง เนื่องจากผลของการพ้องตรงกัน (coincidence) โดยเฉพาะที่ความถี่วิกฤติ (Critical frequency, f_c) เมื่อเสียงตกกระทบผนังที่ค่อนข้างเบาและมีแดมปิ้งต่ำจะทำให้ผนังนั้นสั่นสะเทือน และทำให้เสียงส่งผ่านได้มากขึ้น



รูปที่ 2.15 ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของโครงสร้างแปรตามความถี่

ที่มา: Miller, Richard K. and Montone, Wayne V. Handbook Acoustical Enclosures and Barriers (The United States of America: The Fairmont Press, 1978), p. 46.

การศึกษาในครั้งนี้ กำหนดให้เสียงที่ตกกระทบโครงสร้างมีกำลังเสียงที่คงที่และตกกระทบแบบไม่กระจัดกระจาย การคำนวณค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของโครงสร้างที่เป็นอาคารปิดและมีโครงสร้างเป็นผนังตันทึบชั้นเดียว (Single Homogeneous Wall) จะใช้ข้อมูลที่เป็นมาตรฐานจากห้องทดลองจากหนังสือ Egan, M. David.

---

[10] Rettinger, Michael. Acoustic Design and Noise Control (New York: Chemical Publishing, 1973), P. 130.

สำหรับโครงสร้างผสม (Composite Construction) หมายถึง โครงสร้างอาคารที่มีองค์ประกอบ เช่น ประตู, หน้าต่างหรือช่องแสง ฯลฯ ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของโครงสร้างผสมมีสมการดังนี้

$$TL = 10 \log \sum S / \sum \lambda S \qquad \text{(M. David, 1972: 184)} \text{ ---------- (18)}$$

เมื่อ $S_1, S_2, S_3, \ldots\ldots, S_n$ = พื้นที่ของแต่ละพื้นผิวของห้อง, Ft^2, m^2

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \ldots\ldots, \lambda_n$ = สัมประสิทธิ์ค่าความเป็นฉนวนของวัสดุแต่ละพื้นผิว

2.12.3 การดูดซับเสียงของวัสดุและการพิจารณาการเลือกใช้วัสดุในการออกแบบอาคารเพื่อป้องกันเสียงรบกวนจากภายนอกอาคาร

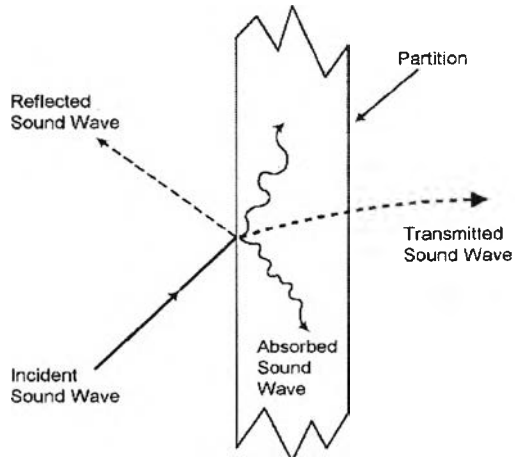
เมื่อคลื่นเสียงไปกระทบกับพื้นผิวจะเกิดปรากฏการณ์ คือ ส่วนหนึ่งของเสียงจะสะท้อนออก (Reflect) ส่วนหนึ่งจะแทรกผ่านผนังไปยังอากาศที่อยู่นอกผนัง (transmit) อีกส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนเข้าไปในผนัง (absorb) ถ้าเสียงทั้งหมดจากต้นกำเนิดเสียง มีความเข้มเสียง I = 1 จะได้

$$r + \alpha + t = 1 \text{ ---------- (19)}$$

เมื่อ r = เสียงสะท้อน (reflected)

α = เสียงที่ถูกดูดกลืนเข้าไปในผนัง (Absorbed)

t = เสียงที่แทรกผ่านเข้าไปยังอากาศที่อยู่นอกผนัง (transmitted)



รูปที่ 2.16 แสดงปรากฏการณ์ของเสียงที่กระทบกับผนัง

ที่มา: Cowan, James. Architectural Acoustics Design Guide (New York: McGraw-Hill, 2000), p. 24.

พลังงานที่ถูกดูดซับสามารถอธิบายได้ในรูปของสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Sound Absorption Coefficient, α) ที่ได้จากห้องทดลองหรือวัสดุที่เป็นพื้นผิวของห้อง ค่าดูดซับเสียงเป็นค่าที่บอกถึงคุณภาพของวัสดุที่มีช่วง จาก 0 ถึง 1 ถ้าผนังไม่ดูดกลืนเสียงซึ่งหาได้ยากในธรรมชาติ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงจะเท่ากับ 0 ถ้าผนังดูดกลืนเสียงไปทั้งหมด เช่น ช่องเปิด จะเท่ากับ 1

ตารางที่ 2.7 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุก่อสร้างต่าง ๆ

	Absorption Coefficients						
General Building Materials and Furnishings	*125 Hz*	*250 Hz*	*500 Hz*	*1000 Hz*	*2000 Hz*	*4000 Hz*	*NRC*
Air, sabins per 1000 ft³ at 50% rh				0.9	2.3	7.2	—
Brick, unglazed	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.005
Brick, unglazed, painted	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.00
Carpet, heavy, on concrete	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.65	0.29
Carpet, heavy, on 40-oz hairfelt or foam rubber	0.08	0.24	0.57	0.69	0.71	0.73	0.55
Concrete block, coarse	0.36	0.44	0.31	0.29	0.39	0.25	0.35
Concrete block, painted	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08	0.05
Fabrics							
Light velour, 10 oz/yd², hung straight, in contact with wall	0.03	0.04	0.11	0.17	0.24	0.35	0.15
Medium velour, 14 oz/yd², draped to half area	0.07	0.31	0.49	0.75	0.70	0.60	0.55
Heavy velour, 18 oz/yd², draped to half area	0.14	0.35	0.55	0.72	0.70	0.65	0.60
Floors							
Concrete or terrazzo	0.01	0.01	0.015	0.02	0.02	0.02	0.00
Linoleum, asphalt, rubber, or cork tile on concrete	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.05
Wood	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07	0.10
Glass							
Large panes of heavy plate glass	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.05
Ordinary window glass	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04	0.15
Gypsum board, ½ in. nailed to 2 × 4's 16 in. o.c.	0.10	0.08	0.05	0.03	0.03	0.03	0.05
Marble or glazed tile	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00
Openings							
Stage, depending on furnishings			0.25–0.75				
Deep balcony, upholstered seats			0.50–1.00				
Grilles, ventilating			0.15–0.50				
Plaster, gypsum or lime, smooth finish on tile or brick	0.013	0.015	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05
Plaster, gypsum or lime, on lath	0.14	0.10	0.06	0.05	0.04	0.03	0.05
Plywood paneling, ⅜ in. thick	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11	0.15
Rough wood as tongue and groove cedar	0.24	0.19	0.14	0.08	0.13	0.10	0.14
Water surface, as in a swimming pool	0.008	0.008	0.013	0.015	0.020	0.025	0.00
Absorption of Seats and Audience[d]	*125 Hz*	*250 Hz*	*500 Hz*	*1000 Hz*	*2000 Hz*	*4000 Hz*	*NRC*[c]
Audience, in upholstered seats, per ft² of floor area	0.60	0.74	0.88	0.96	0.93	0.85	—
Unoccupied cloth upholstered seats, per ft² of floor area	0.49	0.66	0.80	0.88	0.82	0.70	—
Wooden pews, occupied, per ft² of floor area	0.57	0.61	0.75	0.86	0.91	0.86	—
Students in tablet-arm chairs, per ft² of floor area	0.30	0.42	0.50	0.85	0.85	0.84	—

ที่มา: Stein, B. and Reynolds, J. S, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings Eight Edition (New York: John Wiley & Sons, 1992), P. 1340.

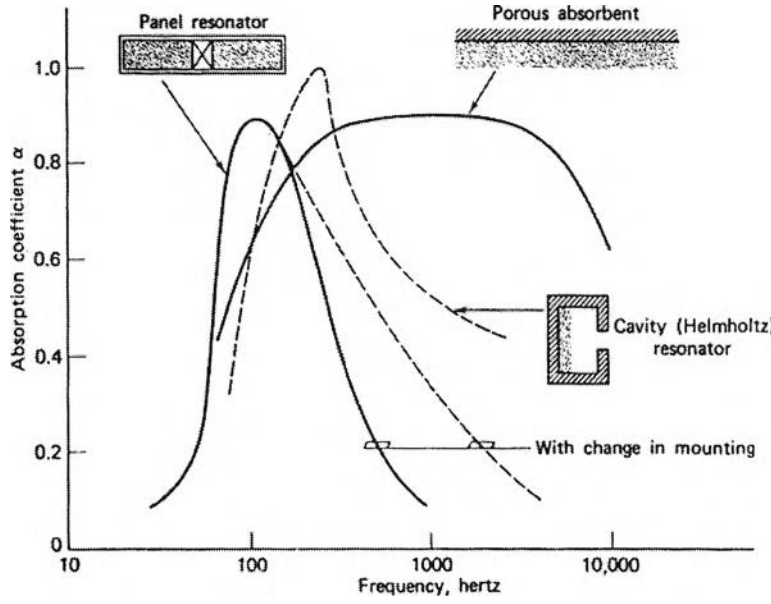
การพิจารณาการเลือกใช้วัสดุในการออกแบบอาคารเพื่อป้องกันเสียงรบกวนจากภายนอกอาคาร

วัสดุสร้างจะมีคุณสมบัติในการดูดซึมเสียงอยู่ในช่วง 0.01-0.99 แต่ค่าความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุจะแปรผันตามความถี่ของเสียง วัสดุที่มีค่าดูดซับเสียง $\alpha < 0.2$ จะสามารถสะท้อนเสียงได้ เสียงที่สะท้อนออกจากผนังจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันออกไปตามลักษณะรูปร่างของผนัง ถ้าผนังเป็นผนังที่แข็งและราบรื่น (Solid smooth) มุมตกกระทบจะเท่ากับมุมสะท้อน

สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง, α	ผลที่ได้
0.05 - 0.10	การดูดซับเสียงต่ำ
0.10 - 0.20	การดูดซับเสียงปานกลาง
0.20 $\leq$	การดูดซับเสียงสูง

การแบ่งประเภทของวัสดุตามคุณสมบัติในการดูดซับเสียงของวัสดุมี 3 ประเภท ซึ่งวัสดุแต่ละประเภทนั้นจะมีคู่มือการใช้และการบำรุงรักษาที่แตกต่างกันเพื่อรับประกันความสามารถในการดูดซับเสียง และการเลือกแผ่นดูดซับเสียงต้องให้เหาะสมกับความถี่ของเสียง สำหรับผนังห้องควรใช้วัสดุที่มีค่าดูดซับเสียงต่ำสุด 20 เปอร์เซ็นต์ เพื่อการควบคุมเสียงดังรบกวนและค่าการสะท้อนเสียงในห้อง

- Panel resonator คือ แผ่นดูดซับเสียงที่ทำจากเยื่อแผ่น (membrane) เหมาะสำหรับเสียงที่มีความถี่ต่ำ สามารถปรับให้ตรงกับช่วงความถี่ได้แต่สามารถดูดซับเสียงในความถี่ช่วงแคบ
- Porous absorbent คือ แผ่นดูดซัมที่โปร่งเบาเป็นรู่เหมือนฟองน้ำเหมาะสำหรับเสียงที่มีความถี่สูง
- Cavity (Helmholtz) resonator คือ แผ่นดูดซับเสียงที่ปรุเป็นรู เป็นส่วนประกอบของตัวดูดซัมเสียง Panel resonator และดูดซัมเสียง porous absorbent คือ แผ่นดูดซับเสียงที่ปรุเป็นรูเหมาะสำหรับความถี่ปานกลางและสามารถปรับขนาดรูปร่าง ระยะห่างระหว่างแผ่นทั้งสองนั้น เพื่อให้เหมาะสมกับความถี่ของเสียงได้



แผนภูมิ 2.5 กราฟแสดงค่าดูดซับเสียงของ Panel resonator, porous absorbent และ Cavity resonator

ที่มา: Stein, B. and Reynolds, J. S, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings. Eight Edition (New York: John Wiley & Sons, 1992), P. 1375.

2.13 วิธีการรวบรวมข้อมูล

2.13.1 ความหมายและความสำคัญของการวัด

งานวิจัยเป็นงานที่ต้องอาศัยข้อมูลควบคู่ไปกับแนวความคิดในการวิจัย ขั้นตอนสำคัญของการวิจัยจึงอยู่ที่การเชื่อมโยงข้อมูลกับแนวความคิดที่ใช้ทำวิจัยเข้าด้วยกัน ขั้นตอนนั้นคือ การวัดหรือการรวบรวมข้อมูล (บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์, 2535:181)

การวัดหรือการรวบรวมข้อมูลเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนแนวความคิด หรือตัวแปรที่ต้องการศึกษาตามที่ระบุไว้ในแนวความคิดให้เป็นข้อมูล โดยทั่วไปมักจะหมายถึงการกำหนดค่าเป็นสัญลักษณ์หรือตัวเลขให้กับสิ่งที่ต้องการวัดตามกฎเกณฑ์อย่างใดอย่างหนึ่งซึ่งเป็นที่ยอมรับเชิงเหตุผลได้ สัญลักษณ์หรือตัวเลขที่กำหนดให้นั้นจะมีคุณสมบัติประจำ 3 ประการเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างพร้อม ๆ กันก็ได้ ได้แก่ คุณสมบัติของความเหมือนกัน คุณสมบัติของการเรียงลำดับและคุณสมบัติของความเป็นบวก

2.13.2 ระดับการวัด (Level of Measurement)

เนื่องข้อมูลเป็นสัญลักษณ์หรือตัวเลขที่บอกลักษณะ อาการ หรือปริมาณของตัวแปรที่ต้องการศึกษา สามารถที่จะได้ผลหยาบละเอียดแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่ใช้และลักษณะของตัวแปร เครื่องมือการวัดอาจใช้เป็นเกณฑ์ในการแบ่งระดับได้เป็น 4 ระดับ ได้แก่

1. **การวัดระดับแบ่งกลุ่ม** (Nominal Measurement)

เป็นการวัดตัวแปรแบบง่าย ๆ เพียงแบ่งตัวแปรเป็นกลุ่ม หรือแบ่งเป็นประเภทเท่านั้น ถ้าหน่วยวิเคราะห์ใดมีคุณสมบัติเหมือนกันก็จัดไว้ในกลุ่มเดียวกันหรือประเภทเดียวกัน ถ้าคุณสมบัติแตกต่างกันก็จัดไว้คนละกลุ่ม เช่น เพศเป็นตัวแปรที่แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ชายกับหญิง ทำนองเดียวกันสถานภาพสมรสแบ่งเป็น โสด แต่งงานและหม้าย หย่า แยก

การวัดระดับนี้มีความสำคัญที่ต้องการแบ่งกลุ่ม หรือแบ่งประเภท อย่างน้อยจะต้องแบ่งเป็น 2 กลุ่ม หรือจะแบ่งเป็นหลายกลุ่มก็ได้ แต่กลุ่มที่แบ่งนั้นจะต้องแยกกันอย่างเด็ดขาดและจะต้องครอบคลุมข้อมูลทั้งหมดที่มี กล่าวคือ ข้อมูลแต่ละตัวจะต้องจัดเข้าไปอยู่ในกลุ่มหนึ่งได้และจะต้องจัดได้เพียงกลุ่มเดียวเท่านั้น จะจัดให้อยู่ได้พร้อมกันของกลุ่มไม่ได้

การวัดระดับแบ่งกลุ่มมีคุณสมบัติที่สำคัญ ดังนี้

- สมาชิกในกลุ่มเดียวกันมีความเท่าเทียมกัน มีคุณสมบัติและค่าเหมือนกัน
- ตัวเลขหรือสัญลักษณ์ที่กำหนดเป็นกลุ่มมีลักษณะเพียงบอกชื่อเท่านั้น ไม่มีความหมายเชิงปริมาณ จึงนำไปบวก ลบ คูณ หาร กันไม่ได้

- ตัวเลขหรือสัญลักษณ์ที่กำหนดให้แทนกลุ่มใดแล้วจะต้องแทนกลุ่มนั้นตลอดไป จะเอาไปแทนกลุ่มอื่น หรือประเภทอื่นไม่ได้
- มีคุณสมบัติเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ และเป็นข้อมูลไม่ต่อเนื่อง (discrete data)

2. **การวัดระดับอันดับ** (Ordinal Measurement)

เป็นการวัดที่แบ่งแยกเป็นกลุ่ม เป็นประเภทแล้วแต่ละกลุ่มที่แบ่งจะต้องมีความเกี่ยวข้องกันด้วย โดยมีความเกี่ยวข้องกันและจะต้องสามารถบอกได้ถึงระดับความเกี่ยวข้องว่ากลุ่มใดมากกว่ากลุ่มใด เช่น แบ่งชายออกเป็นชายอ้วนกับชายผอม แบ่งนักเรียนออกเป็นนักเรียนเก่งมาก ปานกลางและอ่อน การวัดในลักษณะนี้มีลักษณะเหมือนกับการประเมินค่า เช่น ประเมินเป็นสูง ปานกลาง ต่ำ เห็นด้วยอย่างยิ่ง เห็นด้วย ไม่แน่ใจ ไม่เห็นด้วย ไม่เห็นด้วยเป็นอย่างยิ่ง เป็นต้น กลุ่มที่แบ่งเหล่านี้เพียงบอกได้ว่า กลุ่มใดมากกว่าหรือน้อยกว่ากลุ่มใดเท่านั้น ไม่สามารถบอกได้ว่ามากกว่ากัน หรือน้อยหว่ากันเท่าใด

การวัดระดับอันดับมีคุณสมบัติที่สำคัญ ดังนี้

- การจัดกลุ่มหรือจัดประเภทเพื่อเรียงอันดับจะต้องใช้เกณฑ์ใดเกณฑ์หนึ่งเป็นหลัก จะใช้หลายเกณฑ์พร้อม ๆ กันไม่ได้
- แต่ละกลุ่มที่แบ่งใช้เปรียบเทียบกันได้ แต่เปรียบเทียบกันได้เฉพาะว่า กลุ่มใดมากหรือน้อยกว่ากลุ่มใดเท่านั้น ไม่สามารถบอกว่ามากกว่าหรือน้อยกว่ากันเท่าไร
- ข้อมูลที่วัดได้ไม่สามารถนำไปบวก ลบ คูณ หารกันได้
- ข้อมูลที่วัดได้อาจเป็นข้อมูลที่ต่อเนื่องและข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่อง โดยปกติถ้านำไปคำนวณทางสถิติมักจะสมมติว่าเป็นข้อมูลต่อเนื่อง

3. **การวัดระดับช่วง** (Interval Measurement)

การวัดระดับนี้มีคุณสมบัติของการวัดระดับอันดับอย่างครบถ้วนและเพิ่มคุณสมบัติอีกหนึ่งอย่าง คือ แต่ละกลุ่มที่แบ่งนั้นมีความห่างเท่ากันสามารถบอกได้ว่า มากกว่าหรือน้อยกว่าเท่าใด เช่น การวัดอุณหภูมิ ปี พ.ศ. หรือปี ค.ศ. การวัดระดับนี้ขาดจุดเริ่มต้นที่สูญแท้ (absolute) เช่น วัดอุณหภูมิเราจะไม่ทราบว่าอุณหภูมิ 0 เริ่มตรงไหน ซึ่งกำหนดว่า 0 องศาเซลเซียสเป็นเพียงสูญสมมติเท่านั้น

การวัดระดับช่วงมีคุณสมบัติที่สำคัญ ดังนี้

- กลุ่มหรือประเภทที่แบ่งนั้นจะห่างกันเป็นช่วง ๆ และแต่ละช่วงจะมีค่าความห่างเท่ากัน จุดเริ่มต้นของสิ่งที่วัดนั้นไม่มีจุดเริ่มต้นที่เป็นสูญแท้ ที่เห็นเป็นสูญนั้นเป็นเพียงสูญที่สมมติขึ้นเพื่อเปรียบเทียบเท่านั้น

- อาจกำหนดตัวเลขแทนกลุ่มหรือสิ่งที่วัดได้ และความแตกต่างระหว่างตัวเลขจะแทนความแตกต่างของกลุ่มหรือสิ่งที่วัดได้นั้น
- ชุดของตัวเลขแต่ละชุดสามารถนำไปเปรียบเทียบกับชุดของตัวเลขชุดอื่นได้ โดยอาศัยความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (เทียบบัญญัติไตรยางค์) ระหว่างชุดของตัวเลขทั้งสองนั้น
- ข้อมูลที่วัดได้มีลักษณะเชิงปริมาณสามารถนำไปบวก ลบ คูณ หารกันได้

4. **การวัดระดับอัตราส่วน** (Ratio Measurement)

การวัดระดับนี้เป็นการวัดเชิงปริมาณอย่างแท้จริง แต่ละกลุ่มมีช่วงห่างเท่ากัน เช่น น้ำหนัก ส่านสูง ความยาว เป็นต้น การวัดระดับนี้เป็นการวัดที่ใช้ทางฟิสิกส์ทั่วไปนั้นเอง คุณสมบัติของการวัดระดับต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วนั้นจะเห็นว่า การวัดระดับแบ่งกลุ่มเป็นระดับต่ำสุด การวัดระดับอันดับสูงขึ้นโดยรวมคุณสมบัติของการวัดระดับแบ่งกลุ่มเข้าไว้ด้วยและการวัดระดับอัตราส่วนเป็นการวัดระดับสูงสุดจะรวมคุณสมบัติของการวัดทุกระดับเข้าไว้ด้วยกัน จากหลักการนี้ การวัดระดับที่สูงกว่าสามารถเปลี่ยนเป็นระดับที่ต่ำกว่าได้ แต่ระดับที่ต่ำกว่าจะเปลี่ยนเป็นระดับที่สูงกว่าไม่ได้

2.13.3 แบบของเครื่องมือที่ใช้ในการวัด

1. **ดัชนี** (Index) เป็นการกำหนดค่าของตัวแปรที่สร้างขึ้นจากคำถามหลาย ๆ คำถาม โดยพิจารณาจากคะแนนรวมของคำตอบทั้งหมดที่มาสร้างเป็นตัวแปรนั้น คำถามที่นำมาใช้ประกอบกันเพื่อนำมาวัดตัวแปรนี้ ไม่จำเป็นต้องจัดเรียงลำดับข้อคำถามจากง่ายไปยากหรือจากยากไปง่าย การได้คะแนนจากการตอบคำถามข้อใดข้อหนึ่งจะไม่มีผลต่อการตอบคำถามข้ออื่น ตัวอย่างเช่น ในการวัดความรู้เกี่ยวกับเนื้อหาวิชานี้ ประกอบด้วยคำถาม 20 ข้อ ถ้าตอบถูกได้ 1 คะแนน ถ้าตอบผิดได้ 0 คะแนน จากนั้นจึงรวมคะแนนที่นักศึกษาตอบถูกมาเป็นค่าดัชนีสำหรับวัดความรู้ของเนื้อหาวิชานี้ นักศึกษาบางคนอาจตอบคำถามบางข้อไม่ได้ แต่ไม่ได้หมายความว่าเขาจะไม่มีความรู้ในข้อต่อ ๆ ไป

2. **มาตรวัด** (Scale) เป็นการกำหนดค่าของตัวแปรที่สร้างขึ้นจากคำถามหลาย ๆคำถาม โดยพิจารณาจากคะแนนรวมของคำตอบทั้งหมด คำถามต่าง ๆ เหล่านั้น จะต้องเรียงลำดับความรุนแรงของข้อความในคำถาม (Internal Intensity Order) นั่นคือ แต่ละคำถามจะถูกจัดเรียงตามลำดับที่แน่นอน หรือถูกจัดเรียงลำดับตามนิยามซึ่งจะมีผลต่อความแตกต่างของค่าของตัวแปร ตัวอย่างเช่น ถ้าเราต้องการวัดระดับความเกี่ยวข้องทางการเมือง การตั้งคำถามอาจเริ่มต้นจากคำถามที่ไม่แสดงพฤติกรรมอะไรที่เกี่ยวข้องกับทางการเมืองเลย เช่น ไม่เคยฟังหรือติดตามข่าว

สารทางการเมือง และไม่เคยไปใช้สิทธิออกเสียงเลือกตั้ง จนกระทั้งถึงคำถามที่แสดงว่าคน ๆ นั้นเกี่ยวข้องพัวพันกับวงการทางการเมืองมาก เช่น ใช้เวลาทั้งหมดทุ่มเท่ให้กับการเมือง การสร้างคำถามในลักษณะเช่นนี้ถือว่าเป็น การสร้างมาตรวัดที่อยู่ระหว่างขั้วปลายสุด 2 ขั้ว คือ ในเนื้อหาของข้อความในคำถามที่มีความรุนแรงน้อยที่สุดไปจนถึงมีความรุนแรงมากที่สุด

การกำหนดค่าดัชนีและมาตรวัดมีลักษณะที่เหมือนกันอยู่ 2 ประการ คือ เป็นการวัดตัวแปรที่ประกอบด้วยคำถามหลาย ๆ คำถาม และค่าทั้ง 2 นี้ จะบ่งบอกถึงระดับของคะแนนที่สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ค่าทางสถิติต่อไปได้ แต่ลักษณะที่แตกต่างกันของการกำหนดค่าดัชนีและมาตรวัด คือ การกำหนดค่าดัชนีจะสร้างจากคำถามหลาย ๆ คำถามที่ไม่ได้เรียงลำดับคำถามตามความรุนแรงของเนื้อหาในคำถาม แต่การกำหนดค่ามาตรวัดนั้นสร้างจากคำถามหลาย ๆ คำถามที่มีการจัดเรียงลำดับคำถามตามความรุนแรงของเนื้อหาในคำถาม

ก. **มาตราวัดแบบเทอร์สโตน** (Thurstone Scale)

มาตราวัดแบบเทอร์สโตนเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า มาตราเทอร์สโตน แบบช่วงประหนึ่งเท่ากัน (Thrustone 's method of equal-appearing interval scale) เป็นเครื่องมือที่สร้างขึ้นวัดทัศนคติของบุคคลต่อเรื่องใดเรื่องหนึ่ง มาตราวัดนี้จะประกอบด้วยข้อความชุดหนึ่งมีตั้งแต่ 10–15 ข้อ แต่ละข้อจะมีคะแนนกำกับเป็นค่าคะแนนของทัศนคติของข้อที่กานั้น ๆ

สำหรับวิธีการได้คะแนนแต่ละข้อที่ต่างกันนั้น มีขั้นตอนต่อไปนี้

1. เขียนข้อความ (item) ในเรื่องที่จะศึกษาจำนวนมากประมาณ 100–150 ข้อความ ข้อความดังกล่าวจะต้องมีเนื้อหาในระดับต่าง ๆ ทั้งหมดในแง่ดีมาก ดีทั่วไป กลาง ๆ หรือไม่ดีเลย การเขียนข้อความควรที่จะเขียนเรียงลำดับและเขียนลงในแผ่นกระดาษเล็ก ๆ
2. ผู้ตัดสิน (judge) ที่จะมาตัดสินข้อความ ควรที่จะให้เท่ากับจำนวนข้อความเพราะฉะนั้นจึงต้องทำข้อความมีจำนวนชุดเท่ากับผู้ตัดสิน เพื่อที่จะตัดสินในเวลาพร้อมกันและเลือกข้อความที่ต้องการและเหมาะสม
3. ผู้ตัดสินจะจัดกลุ่มข้อความทั้งหมดออกเป็น 11 กลุ่ม ตั้งแต่กลุ่มที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 และ11โดยแต่ละกลุ่มมีความหมายของกลุ่มที่ 1 จากเป็นสิ่งที่ไม่ดีที่สุดจนถึงกลุ่มที่ 11มีความหมายเป็นสิ่งที่ดีที่สุด อนึ่งผู้ตัดสินข้อความดังกล่าวต้องไม่ใช้ความรู้สึกของตนเองเป็นเกณฑ์ในการวัดกลุ่มต่าง ๆ
4. หาค่ามัธยฐานของคะแนนของข้อความต่าง ๆ ทุกข้อความ (M) และหาค่าเบี่ยงเบนคาอไทล์ (Quartile Deviation) ของคะแนนของข้อต่าง ๆ ทุกข้อความ (Q)
5. เลือกข้อความที่ดีที่สุดมาจำนวนหนึ่ง โดยมีวิธีการเลือก ดังนี้

- เรียงค่ามัธยฐานของแต่ละข้อความจากมากไปน้อยและดูว่าข้อความนั้นมาจากกลุ่มช่วงคะแนนใด
- ข้อความใดที่มีค่ามัธยฐานเท่ากัน ให้เรียงข้อความที่มีค่าเบี่ยงเบนควาร์ไทล์จากน้อยไปมาก
- เลือกข้อความที่มีช่วงคะแนน ตั้งแต่ 1 จนถึง 11 ไว้อย่างน้อยช่วงละ 2 ข้อความ(ดังนั้นข้อความที่เลือกทั้งหมดอย่างน้อยควรมี 22 ข้อความ) โดยเลือกเอาเฉพาะข้อความที่มีค่าเบี่ยงเบนคาวร์ไทล์ต่ำ ๆ เทอร์สโตนแนะนำว่า ค่าเบี่ยงเบนคาวร์ไทล์ของข้อความที่เลือกควรต่ำกว่า 1.67 ข้อความที่มีค่าเบี่ยงเบนคาวร์ไทล์ต่ำ แสดงว่า ความคิดเห็นของกรรมการที่มีต่อข้อความนั้นสอดคล้องกัน

6. นำข้อความที่คัดเลือกแล้วทั้งหมดมาคละกันไป แล้วนำมารวมเป็นแบบสอบถามที่ใช้วัดทัศนคติที่มีต่อเรื่องนั้น โดยให้มีทางเลือกเพียง 2 ทางเลือก คือ เห็นด้วยกับไม่เห็นด้วยกับข้อความนั้น
7. นำแบบสอบถามที่สร้างขึ้นนั้น ไปให้ผู้ตอบที่เราต้องการทราบว่าเขามีทัศนคติต่อเรื่องนั้นอย่างไร โดยให้ผู้ตอบเลือกข้อความที่เห็นด้วยออกมาเพียง 2-3 ข้อความ (จะให้เลือกข้อความที่เห็นด้วยกี่ข้อความนั้นขึ้นอยู่กับว่าในขั้นตอนที่ 5 นั้นกรรมการได้เลือกข้อความในแต่ละช่วงคะแนนไว้กี่ข้อความ เช่น ถ้าเลือกไว้ช่วงคะแนนละ 2 ข้อความก็ให้เลือกข้อความที่เห็นด้วยออกมา 2 ข้อความ หรือถ้าเลือกไว้ช่วงคะแนนละ 3 ข้อความก็ให้เลือกข้อความที่เห็นด้วยออกมา 3 ข้อความ)
8. การตีความหมายว่าบุคคลนี้มีทัศนคติอย่างไรต่อเรื่องนั้น ดูจากค่ากลางของค่ามัธยฐานของข้อความที่เลือกไว้ในข้อที่ 7 ว่าเท่ากับเท่าไร โดยมีเกณฑ์ในการตีความหมายดังนี้

ค่ามัธยฐานอยู่ในช่วง	1.00 - 3.00 แสดงว่ามีทัศนคติที่ไม่ดีอย่างยิ่ง
	3.01 - 5.00 แสดงว่ามีทัศนคติที่ไม่ดี
	5.01 - 7.00 แสดงว่ามีทัศนคติเป็นกลาง
	7.01 - 9.00 แสดงว่ามีทัศนคติที่ดี
	9.01 - 11.00 แสดงว่ามีทัศนคติที่ดีอย่างยิ่ง

ข้อดีและข้อเสียในการใช้มาตราวัดแบบเทอร์สโตน

มาตราวัดแบบเธอร์สโตนเป็นมาตราวัดที่ต้องมีเครื่องมือที่สร้างค่อนข้างยาก เสียเวลาและกำลังคน นอกจากนี้การวัดแบบนี้เป็นการบังคับให้ผู้ตอบตอบว่าใช่หรือไม่ใช่เท่านั้นเครื่องมือวัดชนิดนี้เหมาะสำหรับวัดทัศนคติที่ไม่แบบซับซ้อน นอกจากนี้ค่าคะแนนที่ได้เกิดจากการแบ่งกลุ่ม

ผู้ตัดสิน ถ้าหากผู้ตัดสินมีอคติลำเอียง โดยเอาความรู้สึกมาเกี่ยวข้องแล้ว คะแนนที่ได้มาก็ไม่สามารถวัดทัศนคติได้ มาตราวัดแบบเทอร์สโตนที่สร้างขึ้นนั้นสร้างอย่างประณีตหลายชั้นสามารถที่จะวัดตัวแปรอย่างที่ไม่ซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพพอสมควร

ข. **มาตราวัดแบบลิเคิร์ท** (Likert Scale)

เป็นมาตราวัดที่นิยมใช้ทั่วไป เพราะสร้างขึ้นได้ง่าย โดยเป็นข้อความที่ผู้ตอบมีระดับความคิดเห็นต่าง ๆ ได้แก่ เห็นด้วยทุกประการ เห็นด้วยเป็น ส่วนใหญ่ เห็นด้วยกลาง ๆ ไม่เห็นด้วยเป็นส่วนใหญ่ และไม่เห็นด้วยโดยสิ้นเชิง เป็นต้น ระดับความคิดเห็นอาจจะมีระดับความคิดเห็นน้อยกว่าที่กล่าวมาก็ได้ เช่น เห็นด้วยเฉย ๆ ไม่เห็นด้วย ซึ่งเหมาะสำหรับผู้ตอบที่มีระดับการศึกษาต่ำ ไม่สามารถที่จะแยกระดับความคิดเห็นอย่างละเอียดได้

วิธีสร้างมาตราวัดลิเคิร์ทควรที่จะปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. เขียนข้อความเกี่ยวกับเรื่องที่จะวัดให้มีจำนวนมาก ซึ่งสามารถครอบคลุมตามแนวความคิดในเรื่องที่จะวัดนั้น ข้อความที่เขียนทั้งหมดเป็นข้อความที่สามารถมองในเชิงบวก (Positive) และเชิงลบ (Negative)
2. แต่ละข้อความจะมีระดับความคิดเห็น มีระดับของการเห็นด้วย ตั้งแต่เห็นด้วยทุกประการ เห็นด้วยเป็นส่วนใหญ่ เห็นด้วยกลาง ๆ ไม่เห็นด้วยเป็นส่วนใหญ่ และไม่เห็นด้วยโดยสิ้นเชิง การกำหนดคะแนนแต่ละข้อตามความหมาย กล่าวคือ จะให้คะแนนข้อความที่เป็นแง่ดีในระดับความคิดเห็นที่ได้เป็นคะแนนมากที่สุด รองลงไปเป็นคะแนนน้อยลงไปตามระดับ ความคิดเห็นที่ไม่เห็นด้วย เป็นการแปลความหมายตรงตามที่ให้คะแนน ดังนี้

ตัวอย่างการกำหนดข้อความเพื่อให้ค่าคะแนนสำหรับการประเมินผล

ข้อความเชิงบวก		ข้อความเชิงลบ	
คะแนน	ข้อความ	คะแนน	ข้อความ
5	เห็นด้วยทุกประการ	1	เห็นด้วยทุกประการ
4	เห็นด้วยเป็นส่วนใหญ่	2	เห็นด้วยเป็นส่วนใหญ่
3	เห็นด้วยกลาง ๆ	3	เห็นด้วยกลาง ๆ
2	ไม่เห็นด้วยเป็นส่วนใหญ่	4	ไม่เห็นด้วยเป็นส่วนใหญ่
1	ไม่เห็นด้วยโดยสิ้นเชิง	5	ไม่เห็นด้วยโดยสิ้นเชิง

3. การแปลความหมายของคะแนนที่ให้มากไปหาน้อย กับข้อความที่มองในเชิงบวกหมายความว่า ผู้ใดที่คะแนนมากย่อมเป็นคนที่มีทัศนคติที่ดีและผู้ใดที่ได้คะแนนน้อยเป็นคนที่มีทัศนคติที่ไม่ดี แต่ถ้าแปลความหมายของคะแนนที่ให้น้อยไปหามากกับข้อความที่มองในเชิงลบจะหมายความว่า ผู้ใดที่มีคะแนนน้อยย่อมเป็นคนที่มีทัศนคติที่ดีและผู้ใดได้คะแนนมากเป็นคนที่มีทัศนคติที่ไม่ดี
4. เมื่อสร้างมาตราวัดแบบลิเคิร์ทเสร็จแล้ว จะต้องนำไปทดสอบความเที่ยงตรงและความเชื่อถือได้
5. นำข้อความไปสัมภาษณ์หรือให้ผู้ตอบแสดงความคิดเห็นในข้อความทั้งหมด และเลือกข้อความที่มีประสิทธิภาพมาวิเคราะห์ข้อมูล ส่วนข้อความที่ไม่ประสิทธิภาพให้ตัดทิ้งไปโดยวิธีการของการกำหนดอำนาจของสัมประสิทธิ์ความแตกต่าง (Discriminatory power) ดังต่อไปนี้
    ก. รวมคะแนนทั้งหมดของข้อความทุกข้อสำหรับผู้ตอบแต่ละคน แล้วเลือกกลุ่มตัวอย่างมา 2 กลุ่ม คือ เลือกกลุ่มที่มีคะแนนสูงมาประมาณ 25% และเลือกกลุ่มที่มีคะแนนต่ำมาประมาณ 25% โดยประมาณ
    ข. คำนวณหาคะแนนแต่ละข้อความโดยเฉลี่ยจากกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มกล่าวคือให้รวมคะแนนข้อความแต่ละข้อของผู้ตอบทั้งหมด หารด้วยจำนวนผู้ตอบ ย่อมจะได้คะแนนเฉลี่ยของกลุ่มที่มีคะแนนสูงกับคะแนนเฉลี่ยของกลุ่มที่มีคะแนนต่ำ
    ค. เปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยของกลุ่มที่มีคะแนนสูงและคะแนนต่ำในแต่ละข้อความ ผลต่างที่ได้รับคือ สัมประสิทธิ์ความแตกต่างสูงแสดงว่าเป็นข้อความที่ประสิทธิภาพ ส่วนค่าประสิทธิ์ภาพความแตกต่างต่ำ แสดงว่าเป็นข้อความที่ไม่มีประสิทธิภาพ ก็ตัดข้อความนั้นทิ้งไป ไม่นำมาวิเคราะห์ข้อมูล
6. การตีความหมายว่า มีทัศนคติอย่างไรต่อเรื่องนั้น พิจารณาจากคะแนนรวมของทุกข้อ ถ้าได้คะแนนมากก็แสดงว่ามีทัศนคติที่ดี ถ้าได้คะแนนน้อยแสดงว่ามีทัศนคติที่ไม่ดีหรืออาจตีความจากการวัดทัศนคติโดยเฉลี่ย ซึ่งหาได้จากการหารคะแนนรวมทุกข้อด้วยจำนวนข้อความในการแปลความหมายคะแนนเฉลี่ยที่ได้จากการวัดทัศนคติ ผู้วิจัยอาจตั้งเกณฑ์ขึ้นมาเอง เช่น

ถ้าคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.00 – 1.80 ไม่เห็นด้วยโดยสิ้นเชิง
1.81 – 2.60 ไม่เห็นด้วยเป็นส่วนใหญ่
2.61 – 3.40 เห็นด้วยกลาง ๆ
3.41 – 4.20 เห็นด้วยเป็นส่วนใหญ่
4.21 – 5.00 เห็นด้วยทุกประการ

ค. **มาตราวัดแบบความแตกต่างทางภาษา** (semantic differential scale)

การวัดทัศนคติโดยใช้มาตราวัดแบบความแตกต่างทางภาษานี้ ได้ใช้ความหมายของภาษาเพื่อแปลความหมายออกมาเป็นทัศนคติ Osgood, Suci และTannenbaum ได้มีความเชื่อว่าแนวความคิดต่าง ๆ มีความหมาย และความหมายของแนวความคิดจะประกอบด้วยลักษณะที่สำคัญจึงมีหลายมิติและได้ทำการศึกษามาตราวัดดังกล่าวเพื่อหาองค์ประกอบในการใช้ วิธีการวัดความแตกต่างทางภาษาซึ่งมีอยู่ 3 องค์ประกอบ ดังนี้

1. องค์ประกอบทางด้านการประเมิน (evaluative factor) เป็นองค์ประกอบที่เป็นการแสดงออกทางด้านคุณค่า คุณภาพที่ใช้อธิบาย ได้แก่ ดี-ชั่ว, จริง-เท็จ และฉลาด-โง่ เป็นต้น
2. องค์ประกอบทางด้านศักยภาพ (potential factor) เป็นองค์ประกอบที่แสดงออกถึงกำลังหรืออำนาจ คุณศัพท์ที่ใช้อธิบาย ได้แก่ แข็งแรง-อ่อนแอ, หนัก-เบา และใหญ่-เล็ก เป็นต้น
3. องค์ประกอบทางด้านกิจกรรม (activity factor) เป็นองค์ประกอบที่แสดงออกถึงลักษณะของกิจกรรม คุณศัพท์ที่ใช้อธิบาย ได้แก่ เร็ว-ช้า และว่องไว-เฉื่อยชา เป็นต้น

ลักษณะของมาตราวัดความแตกต่างทางภาษาที่นำมาเป็นตัวอย่าง มีดังนี้

ก. แบบการวัด 5 คำตอบ

การให้บริการประชาชนของพยาบาลศรีนครินทร์

เป็นกันเอง | 2 1 0 1 2 | ห่างเหิน

ข. แบบการวัด 7 คำตอบ

ท่านเข้าใจว่าพยาบาลที่ดีควรมีลักษณะอย่างไร

มนุษย์สัมพันธ์ดี | 3 2 1 0 1 2 3 | มนุษย์สัมพันธ์ไม่ดี

ค. แบบการวัดโดยใช้มาตราเป็นภาษา

คุณแม่ของท่านมีลักษณะอย่างไร

สะอาด | | | | | | | | ไม่มีระเบียบ

มาก ปานกลาง น้อย ไม่ใช่ทั้งสองอย่าง น้อย ปานกลาง มาก

วิธีการสร้างมาตราวัดความแตกต่างทางภาษา มีขั้นตอนและวิธีการ ดังนี้

- ข้อความที่เขียนขึ้นมาเพื่อเป็นมาตราวัด ควรเป็นข้อความที่คนทั่วไปเข้าใจและรู้จัก นอกจากนี้ควรมีความหมายกว้างๆที่สามารถครอบคลุมทางด้านภาษาทั้งทางบวกและทางลบ
- การเลือกคุณศัพท์ที่มาใช้กับข้อความ ควรเป็นคุณศัพท์คู่ที่เหมาะสมกับข้อความนั้น ๆ
- นำข้อความไปทดสอบเพื่อตัดข้อความที่ไม่ต้องการทิ้ง โดยใช้วิธีการวัดมาตราแบบลิเคิร์ท และหาค่า t ซึ่งข้อความที่จะมีค่ามากกว่า 2 เพื่อแสดงถึงข้อความมีลักษณะที่แสดงระดับความคิดทางบวกและทางลบ

สรุป

ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการพิจารณาตัวแปรแต่ละประเภทแล้วแบ่งออกเป็นกลุ่ม เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรแต่ละกลุ่มในการกำหนดค่าน้ำหนัก เพื่อใช้เป็นตัวคูณในการประเมินค่าการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกและการควบคุมเสียงภายในอาคาร ดังนั้น วิธีการศึกษาเกี่ยวกับการวัดค่าระดับตัวแปรและการแบ่งช่วงคะแนน จะใช้วิธีการวัดแบบระดับอันดับ (Ordinal Measurement) และมาตราวัดแบบลิเคิร์ท (Likert Scale)