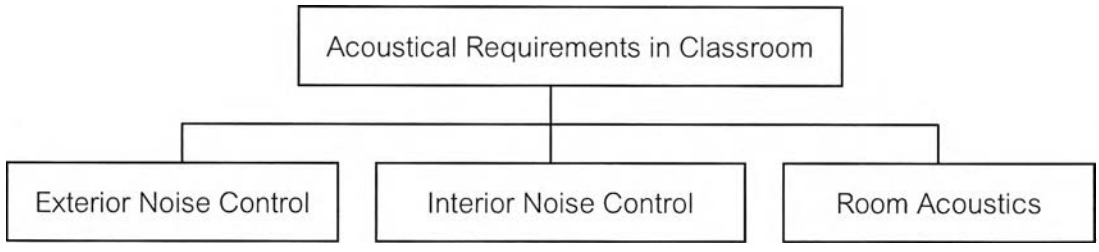
# บทที่ 3

## การหาค่าน้ำหนักและค่าระดับของตัวแปรในการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารและควบคุมเสียงภายในอาคารเรียน

จากทฤษฎีและแนวความคิดในการศึกษาการป้องกันเสียงรบกวนและการควบคุมเสียงภายในอาคารประเภทโรงเรียนระดับประถมศึกษา คือ การกำจัดเสียงดังรบกวนที่ไม่ต้องการออกไป (Noise Control) และควบคุมเสียงภายในที่ต้องการ (Sound Control) ให้เกิดความพึงพอใจกับผู้ใช้อาคาร โดยผู้ใช้อาคารทุกส่วนที่อยู่ภายในห้องได้ยินเสียงอย่างชัดเจนและพึงพอใจมากที่สุดในการรับฟัง

เสียงรบกวน (Noise) หรือเสียงที่ทำความรำคาญเป็นผลต่อจิตใจของผู้ได้ยินโดยระดับที่ทำให้เกิดความรำคาญขึ้นกับความรู้สึกของแต่ละคน ความเคยชินกับระดับเสียงดังและความต้องการของแต่ละกิจกรรม วิธีการป้องกันเสียงรบกวนเริ่มจากศึกษาแหล่งกำเนิดเสียงและระดับของเสียงรบกวนที่เกิดขึ้น รูปแบบการส่งผ่านของเสียงเข้าในอาคาร เสียงรบกวนที่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายนอก ได้แก่ เสียงรบกวนจากถนน โรงงานอุตสหกรรม การก่อสร้างและการประกอบกิจกรรมต่าง ๆในบริเวณที่ตั้งอาคาร ศึกษาระดับเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นภายในอาคารเปรียบเทียบกับความต้องการของเสียงแบคกราวด์จากเกณฑ์เสียง (Noise Criteria) ของห้องเพื่อแยกห้องส่วนที่มีเกณฑ์เสียงสูงออกจากห้องที่มีเกณฑ์เสียงต่ำ เสียงรบกวนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร ได้แก่ เสียงเครื่องจักรกล เสียงจากอุปกรณ์ต่าง ๆ และเสียงจากกลุ่มคน

ระดับเสียง (Sound Level) ที่เกิดขึ้นภายในห้องปิดเป็นความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงและระยะห่างของผู้ใช้อาคาร ดังนั้น การสร้างความพึงพอใจในการรับฟังเสียงภายในห้องเรียน คือ การที่นักเรียนที่นั่งอยู่ภายในห้องเรียนทุกจุดควรได้ยินเสียงที่ครูพูดอย่างชัดเจนและในทางหนึ่งครูก็ต้องได้ยินเสียงพูดของนักเรียนที่นั่งอยู่ภายในห้องเรียนได้อย่างชัดเจน การควบคุมเสียงภายในห้องเรียนมีความสัมพันธ์กับขนาดและรูปทรงของห้อง ค่าการดูดซับเสียงของพื้นผิวภายในห้อง (ผนัง พื้น ฝ้าเพดาน) และReverberant Sound ภายในห้อง ซึ่งความต้องการเสียงภายในห้องเรียนสามารถสรุปได้ ดังนี้




รูปที่ 3.1 แสดงรูปแบบความต้องการการควบคุมเสียงภายในห้องเรียน

## 3.1 เทคนิคการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักและค่าระดับของตัวแปรในการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร

### 3.1.1 หลักการในการออกแบบอาคารเรียนเพื่อป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร

ในการออกแบบอาคารเรียนที่มีศักยภาพในการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอก คืออาคารที่มีระดับเสียงที่เป็นเสียงแบคกราวด์อยู่ในขอบเขตระดับของเกณฑ์เสียง (Noise Criteria) ของอาคารนั้น ความเป็นฉนวนกันเสียงของระบบเปลือกอาคารเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญในการลดระดับเสียงรบกวนก่อนส่งผ่านเข้าภายในอาคาร การออกแบบระบบเปลือกอาคารเพื่อป้องกันเสียงรบกวนควรพิจารณาร่วมกับกลุ่มตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนและอาคารที่รับเสียง ระดับเสียงแบคกราวด์ที่ต้องการ ระดับเสียงที่ลดลงจากการดูดซับเสียงของพื้นผิวภายในอาคารและขั้นสูนเสียการส่งผ่านเสียง (STC) ที่ต่ำสุดขององค์ประกอบของผนัง (ประตู หน้าต่างหรือช่องแสง) อย่างไรก็ตามค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของระบบเปลือกอาคารที่ต่ำสุด STC เท่ากับ 45[11]

สำหรับค่าสูญเสียการส่งผ่านเสียง (Sound transmission loss, TL) ของระบบเปลือกอาคารในส่วนของผนังผสม (Composite wall) ที่ศึกษาร่วมกันระหว่างค่าสูญเสียการส่งผ่านเสียงของผนัง ค่าสูญเสียการส่งผ่านเสียงขององค์ประกอบ (ประตู หน้าต่างหรือช่องแสง) และสัดส่วนขององค์ประกอบ ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานของ Southern Building Code Congress International, SBCCI ที่ใช้ในการออกแบบผนังผสม มีดังนี้

---

[11] Southern Building Code Congress International, SBCCIเป็นเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในสหรัฐอเมริกา ที่มาของข้อมูล Cavanaugh.J Willaim and Wilkes, Architectural Acoustics Principles and Practice (New York: John Wiley & Sons, 1998), p. 120-121.

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าสูญเสียการส่งผ่านเสียงต่ำสุด ($TL_{min}$) ของผนังผสม

| สัดส่วนขององค์ประกอบ (%) | ระดับเสียงต่ำสุดที่ลดลง (เดซิเบล) | $TL_{min}$ ของผนังหรือหลังคา (เดซิเบล) | $TL_{min}$ ขององค์ประกอบ (เดซิเบล) |
|---|---|---|---|
| 1-25 | 25 | 39 | 28 |
| | 30 | 45 | 37 |
| | 35 | 50 | 42 |
| 26-70 | 25 | 45 | 37 |
| | 30 | 50 | 41 |
| | 35 | 55 | 45 |

ที่มา: Cavanaugh.J Willaim and Wilkes. Architectural Acoustics Principles and Practice (New York: John Wiley & Sons, 1998), p. 119.

วิธีการศึกษาการป้องกันเสียงรบกวนที่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายในและสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารเรียนของประเทศอังกฤษ ขั้นตอนแรก เริ่มจากการศึกษากิจกรรมของนักเรียนเพื่อแบ่งเขต โดยแบ่งออกเป็น 5 เขต ได้แก่

เขตที่ 1 กลุ่มห้องที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียงดังมาก เช่น Workshop ห้องครัว โรงอาหาร อาคารเล่นกีฬาหรือโรงพลศึกษาและสระว่ายน้ำกลางแจ้ง

เขตที่ 2 กลุ่มห้องที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียงดังแต่บางครั้งต้องการความสงบ เช่น ห้องโถง ห้องปาฐกถา ห้องเล่นดนตรี

เขตที่ 3 กลุ่มห้องที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียงดังระดับปานกลาง เช่น ห้องเรียนทั่วไป (General Classroom) ห้องฝึกฝน (Practical room) ห้องทดลองและสำนักงาน

เขตที่ 4 กลุ่มห้องที่มีความสงบ เช่น ห้องสมุดและห้องเรียน (Study room)

เขตที่ 5 กลุ่มห้องที่มีความเป็นส่วนตัว เช่น ห้องพยาบาลและห้องพักครู

ขั้นตอนต่อมาได้กำหนดเกณฑ์ที่เป็นมาตรฐานของประเทศอังกฤษ (The British Standard Code of Practice) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบโดยกำหนดค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงต่ำสุด (Transmission Loss, $TL_{min}$) ของผนังระหว่างเขตของกิจกรรมต่าง ๆ [12] ที่ประกอบด้วย

- ผนังระหว่างห้องที่อยู่เขตเดียวกันในเขตที่ 1 $TL_{min}$ ควรมากกว่า 25 เดซิเบล
- ผนังระหว่างห้องที่อยู่เขตที่ 3 และเขตที่ 4 $TL_{min}$ ควรมากกว่า 35 เดซิเบล

---

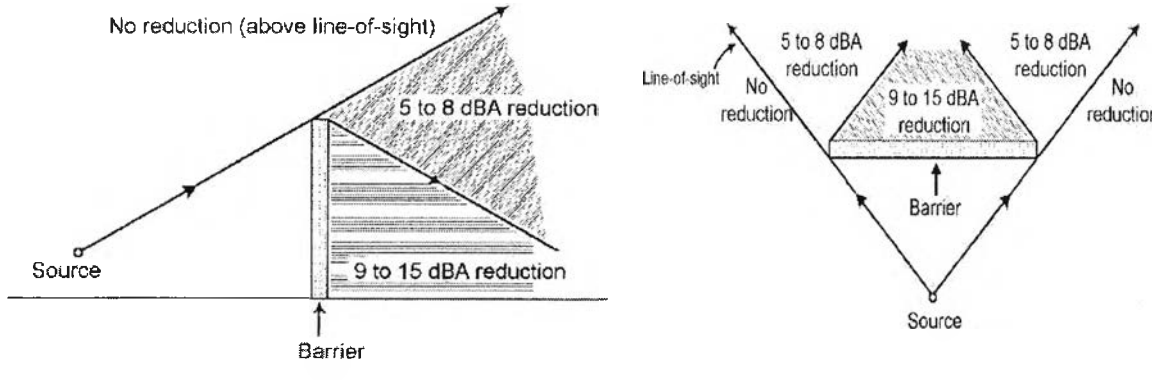
[12] SRL. Sound Research Laboratories Limited. Practical Building Acoustics (New York: John Wiley & Sons, 1976), p. 213-214.

- ผนังระหว่างห้องที่อยู่เขตที่ 2 และเขตที่ 5 $TL_{min}$ ควรมากกว่า 45 เดซิเบล

สำหรับผนังระหว่างห้องที่ไม่อยู่ในเขตเดียวกันและผนังภายนอก (Exterior wall) ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงต่ำสุด $TL_{min}$ ควรมากกว่า 45 เดซิเบล

จากการศึกษาเปรียบเทียบเกณฑ์ที่เป็นมาตรฐานของประเทศต่าง ๆเกี่ยวกับค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของระบบเปลือกอาคารในส่วนของผนัง พบว่า ค่าความเป็นฉนวนกันเสียงที่ต่ำสุดของระบบผนัง STC เท่ากับ 45 แต่ในการออกแบบอาคารเรียนระดับประถมศึกษาที่ไม่ใช้ระบบปรับอากาศ จะต้องคำนึงถึงสภาวะน่าสบายทางสภาพแวดล้อมภายในอาคารที่ประกอบด้วย ปริมาณแสงสว่างที่เพียงพอ อุณหภูมิที่เหมาะสม การระบายอากาศและคุณภาพอากาศที่ดีภายในอาคาร ฯลฯ โดยทั่วไประบบผนังอาคารควรประกอบด้วย ประตู หน้าต่างหรือช่องแสง ซึ่งเป็นสายเหตุให้ค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของระบบผนังอาคารลดลง หากพิจารณาผนังผสมจากตาราง 3.1 พบว่าในทางปฏิบัติอาจใช้วัสดุที่มีค่าความเป็นฉนวนกันเสียงสูงเพื่อให้ได้ผนังผสมที่เป็นมาตรฐานในการป้องกันเสียงรบกวน ดังนั้น การกำหนดขอบเขตความสามารถในการลดระดับเสียงรบกวนของระบบเปลือกอาคารในส่วนของผนังในการศึกษาครั้งนี้ จึงใช้เกณฑ์ที่เป็นมาตรฐานต่ำสุด คือค่าความเป็นฉนวนกันเสียง (STC) เท่ากับ 45

เสียงรบกวนที่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารมีความสัมพันธ์กับระยะทางในการส่งผ่านของเสียงก่อนถึงอาคาร ระยะทางดังกล่าวทำให้เกิดการดูดซับและการสะท้อนเสียง เสียงที่ส่งผ่านแผงกั้นเสียง เนินดิน ต้นไม้ที่มีพุ่มใบหนาแน่นเป็นบริเวณกว้างและสนามหญ้า ฯลฯ จากอิทธิพลของสภาพแวดล้อมบริเวณที่ตั้งอาคารต่าง ๆ ที่กล่าวมานั้นสามารถลดระดับเสียงรบกวนได้มากถึง ±15 เดซิเบล (Cowan, James, 2000: 48)

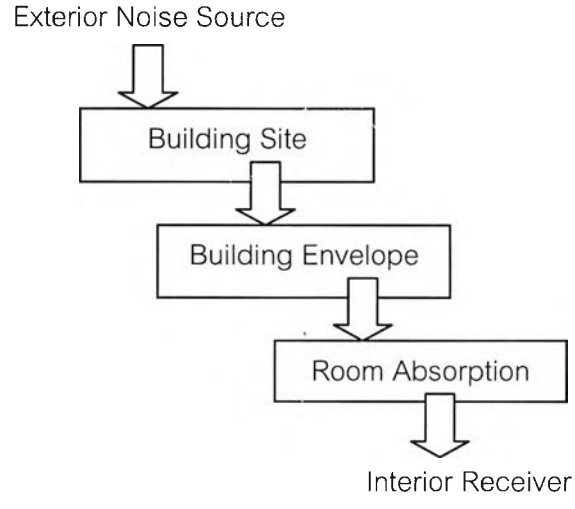



(a) Cross-sectional view (b) top view

รูปที่ 3.2 (a), (b) แสดงขอบเขตและระดับเสียงที่ลดลงจากแผงกั้นเสียง

ที่มา: Cowan, James, Architectural Acoustics Design Guide. (New York: McGraw-Hill, 2000), p. 49.

นอกนี้ยังมีการลดระดับเสียงรบกวนด้วยการแบ่งเขตระหว่างเขตที่ต้องการความสงบและเขตที่มีเสียงดังรบกวน การใช้เขตที่มีค่าเกณฑ์เสียงสูง (Noise Criteria) เพื่อกันเสียงให้เขตที่มีค่าเกณฑ์เสียงต่ำ ซึ่งจะช่วยในการลดระดับเสียงรบกวนลงได้ในระดับหนึ่ง ส่วนระดับเสียงรบกวนที่ส่งผ่านเข้าภายในอาคารจะลดลงด้วยการออกแบบพื้นผิวภายในอาคาร (ผนัง, พื้น, เพดาน) ให้มีคุณสมบัติในการดูดซับเสียง ซึ่งสามารถลดระดับเสียงรบกวนได้มากที่สุด 7 เดซิเบล (Stein, B. and Reynolds, J. S. 1992:1382) จากการจำแนกตัวแปรตามรูปแบบการส่งผ่านของเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกเข้าภายในอาคารมีขั้นตอน ดังนี้



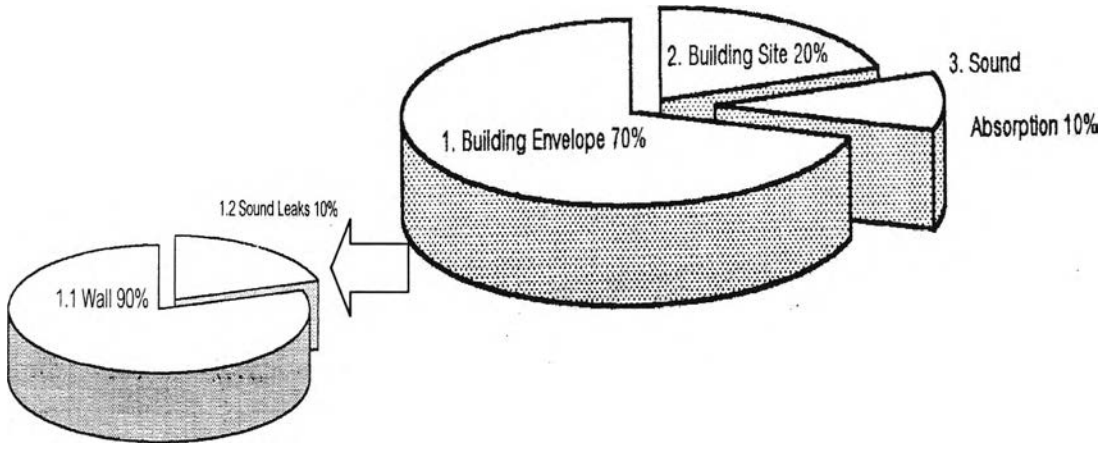

แผนภูมิ 3.1 แสดงกลุ่มตัวแปรและรูปแบบการส่งผ่านของเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารเข้าภายในอาคาร

จากทฤษฎีต่าง ๆ เกี่ยวกับการออกแบบอาคารเรียนเพื่อป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารที่กล่าวมาข้างต้น สามารถจำแนกตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารออกเป็น 3 กลุ่ม ซึ่งแต่ละกลุ่มตัวแปรมีขอบเขตความสามารถในการลดระดับเสียงรบกวน ดังนี้

| ตัวแปร | ขอบเขตความสามารถในการลดระดับเสียงรบกวน |
|---|---|
| กลุ่มตัวแปรเกี่ยวกับระบบเปลือกอาคารในส่วนของผนัง | 45 เดซิเบล |
| กลุ่มตัวแปรเกี่ยวกับองค์ประกอบบริเวณที่ตั้งอาคาร | 15 เดซิเบล |
| กลุ่มตัวแปรส่วนของการดูดซับเสียงของพื้นผิวภายในอาคาร | 7 เดซิเบล |

### 3.1.2 ค่าน้ำหนักของกลุ่มตัวแปรเกี่ยวกับการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร

ในการกำหนดค่าน้ำหนักเพื่อใช้เป็นตัวคูณในการสร้างแบบประเมิน เพื่อให้สามารถใช้เป็นมาตรฐานในการประเมินค่าเสียงสำหรับโรงเรียนระดับประถมศึกษาในอนาคต จึงนำขอบเขตความสามารถในการลดระดับเสียงรบกวนของตัวแปรแต่ละกลุ่มที่ได้จากการวิเคราะห์ตามแนวคิดในการออกแบบอาคารเพื่อป้องกันเสียงรบกวนที่กล่าวมาในข้อ 3.1.1 ที่ประกอบด้วย กลุ่มตัวแปรเกี่ยวกับระบบเปลือกอาคารในส่วนของผนัง (45 เดซิเบล) กลุ่มตัวแปรที่เป็นองค์ประกอบบริเวณที่ตั้งอาคาร (15 เดซิเบล) และกลุ่มตัวแปรเกี่ยวกับการดูดซับเสียงของผิวภายในอาคาร (7 เดซิเบล) โดยกำหนดให้อาคารเรียนที่มีศักยภาพสูงสุดในการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายมีคะแนนเท่ากับ 100 จากนั้นคำนวณหาสัดส่วนความสามารถในการลดระดับเสียงรบกวนของแต่ละกลุ่มตัวแปร ซึ่งตัวกลุ่มตัวแปรที่มีความสำคัญอันดับหนึ่ง ได้แก่ กลุ่มตัวแปรที่เป็นระบบเปลือกอาคารในส่วนของผนังร้อยละ 70 รองมาเป็นกลุ่มตัวแปรเกี่ยวกับองค์ประกอบบริเวณที่ตั้งของอาคารร้อยละ 20 และระดับที่สามเป็นกลุ่มตัวแปรเกี่ยวกับการดูดซับเสียงของพื้นผิวภายในอาคารร้อยละ 10 (70 %: 20 %: 10 %) ตามลำดับ




แผนภูมิ 3.2 แสดงการกำหนดค่าน้ำหนักของกลุ่มตัวแปรที่มีอิทธิพลในการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร

1. **กลุ่มตัวแปรเกี่ยวกับระบบเปลือกอาคาร** หมายถึง ส่วนที่ทำหน้าที่ปกป้องภายในอาคาร ได้แก่ พื้น ผนัง หลังคา ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการป้องกันหรือลดระดับเสียงรบกวนก่อนเข้าถึงภายในห้องหรือภายในอาคาร ความสามารถในการป้องกันเสียงของระบบเปลือกอาคารขึ้นกับคุณสมบัติความเป็นฉนวนกันเสียงของวัสดุก่อสร้างที่ใช้

ถ้าวัสดุที่ใช้มีค่าความเป็นฉนวนกันเสียงสูง ระบบเปลือกอาคารก็จะมีขั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียงมาก (Sound Transmission Class, STC) ขั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียงเป็นค่าที่แสดงระดับการยอมให้เสียงผ่านได้ของระบบเปลือกอาคารชนิดต่าง ๆการศึกษาครั้งนี้จะพิจารณาระบบเปลือกอาคารเฉพาะในส่วนระบบผนัง

1.1 ระบบเปลือกอาคารในส่วนของผนังแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

- ผนังทึบชั้นเดียว (Single Homogeneous Wall) เช่น ผนังไม้,ผนังก่ออิฐ, ผนังคอนกรีตบล็อก ฯลฯ ขั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (STC) ของผนังทึบชั้นเดียวจะขึ้นกับมวลอาจมีค่าถึง 70 ผนังที่มีมวลหนักจะสามารถกันเสียงได้มากกว่าผนังที่มีมวลเบา ค่า STC ของผนังทึบชั้นเดียวจะได้จากการคำนวณหรือจากห้องทดลอง
- ผนังสองชั้นมีช่องว่างอากาศ (Cavity Wall) เมื่อได้ประโยชน์จากระบบผนังทึบแล้วได้มีการศึกษาถึงระบบผนังที่มีช่องว่างอากาศ เช่น กระจกสองชั้น ผนังก่ออิฐสองชั้น ผนังยิบซับหรือไม้อัดสองชั้นที่ประกอบด้วยโครงสร้างไม้-เหล็ก ช่องว่างอากาศภายในมีคุณประโยชน์ในการดูดซับเสียง โดยเสียงรบกวนที่กระทบกับผิวผนังจะสะท้อนกลับไปมาภายในช่องว่างอากาศทำให้ความเข้มสียงที่ส่งผ่านผนังนั้นลดลง โดยทั่วไปผนังที่มีช่องว่างอากาศจะทำให้โครงสร้างอาคารสามารถกันเสียงเพิ่มขึ้นประมาณ 3-6 เดซิเบล (Stein, B; and Reynolds, J. S, 1992: 1387) ·
- ผนังผสม (Composite Wall) หมายถึง ผนัง พื้น ฝ้าเพดาน ที่มีองค์ประกอบเป็นวัสดุสองชนิดขึ้นไป ผนังผสมสร้างด้วยเหตุผลทางด้านการใช้งาน เช่น การระบายอากาศ การดูวิว แสงสว่าง ฯลฯ โดยทั่วไปโครงสร้างผสมจะประกอบด้วย ประตู หน้าต่าง และช่องแสง ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงรวมของผนังคำนวณได้จากค่าสัมประสิทธิ์ค่าความเป็นฉนวนเฉลี่ยของผนัง
  (Sound Transmission Coefficient, $\alpha$) ผนังผสมเป็นสาเหตุทำให้คุณสมบัติความเป็นฉนวนกันเสียงของผนังลดลงเมื่อเทียบกับผนังทึบ
- ผนังกรณีที่เปิดช่องเปิด เช่น เปิดประตู หน้าต่างหรือช่องแสง เพื่อการระบายอากาศหรือเพื่อรับแสงสว่าง ซึ่งเป็นสายเหตุให้เสียงรบกวนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร ถ้าหากพื้นที่ช่องเปิดยิ่งมากยิ่งทำให้ค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของระบบเปลือกอาคารลดลง

1.2 การรั่วซึมของเสียง (Sound Leaks) จากระบบผนัง เป็นตัวแปรหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร เนื่องจากเสียงภายนอกได้รั่วซึมเข้าภายในอาคารทำให้ระดับเสียงภายในเพิ่มขึ้น การรั่วไหลของเสียง

จะเกิดขึ้นเพียงแต่ผนังมีรอยแตกร้าวที่ประมาณ 1/32" เช่น รอยต่อระหว่างวงกบกับประตูหรือหน้าต่างกับผนัง (Miller and Montone, 1978: 55) นอกจากนี้ การรั่วซึมของเสียงผ่านรอยต่อระหว่างโครงสร้างอาคาร เช่น ระหว่างผนังกับพื้น ผนังกับฝ้าเพดาน โดยเฉพาะผนังที่มีมวลน้อยการรั่วซึมของเสียงจะเกิดได้มากกว่าผนังที่มีมวลมาก ดังนั้น ควรมีการขยายจุดต่อต่าง ๆ และหาวิธีป้องกันการรั่วซึมของเสียงด้วยวัสดุที่ประยุกต์จากฉนวน

2. **กลุ่มตัวแปรเกี่ยวกับองค์ประกอบบริเวณที่ตั้งอาคาร** หมายถึง สภาพภูมิประเทศตามธรรมชาติหรือคนสร้างขึ้น เช่น แผงกั้นเสียง เนินดิน ต้นไม้ พืชคลุมดิน ระยะห่างระหว่างอาคารและแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบบริเวณที่ตั้งอาคารที่นำมาพิจารณาในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย
   - แผงกั้นเสียงที่เป็นกำแพงหรือรั้ว การสร้างที่กั้นเสียงมีลักษณะคล้ายกับผนังกันเสียง แต่หลักการทำต่างกัน กล่าวคือ ที่กั้นเสียงจะลดระดับเสียงตรงโดยการทำให้เกิดเป็นเขตที่มีลักษณะคล้ายเงา (Shadow) ซึ่งเขตของเงาคือเขตที่มีระดับเสียงรบกวนต่ำ ความกว้างของเงาหรือเขตที่ทำให้ระดับเสียงรบกวนลดลงจากแผงกั้นเสียงมีระยะทางที่ห่างจากแผงกั้นเสียงประมาณ 50-100 เมตร แผงกั้นเสียงอาจไม่มีประโยชน์เต็มที่กรณีเสียงที่มีความถี่ต่ำและในสถานที่มีการสะท้อนเสียงเพราะเสียงสามารถสะท้อนเข้าสู่บริเวณเงาได้ ดังนั้น แผงกั้นเสียงจึ่งเหมาะสำหรับเสียงที่มีความถี่สูง ตำแหน่งของแผงกั้นเสียงอยู่ใกล้กับจุดกำเนิดเสียงมากเท่าไรก็จะทำให้สามารถกันเสียงได้ผลดีมากยิ่งขึ้น (สุธิระ ประเสริฐสรรพ์ 2525: 96)
   - พื้นที่โล่ง (free field) หมายถึง บริเวณที่ไม่มีสิ่งกีดขวางที่เป็นตัวทำให้เสียงเกิดการสะท้อนในพื้นที่โล่งระดับเสียงรบกวนที่มีระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงยิ่งไกลยิ่งทำให้ระดับความเข้มของเสียงลดลงมากเท่านั้น เนื่องจากความสัมพันธ์แบบผกผัน (Inverse Square law) ของระยะทางที่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง สำหรับแหล่งกำเนิดเสียงแบบเป็นจุด (Point Source) ระดับเสียงจะลดลงถึง 6 เดซิเบล เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจากจุดกำเนิดเสียงเท่าตัว และแหล่งกำเนิดเสียงแบบเป็นเส้น (Line Source) ระดับเสียงจะลดลงถึง 4 เดซิเบล เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจากจุดกำเนิดเสียงเท่าตัว [13]

---

[13] Cavanaugh, William J; and Wilkes, Joseph A, Architectural Acoustics: Principles and Practice (New York: John Wiley & Sons, 1998), p. 17.

3. **กลุ่มตัวแปรจากการดูดซับเสียงของพื้นผิวภายในอาคาร** หมายถึง วัสดุที่เป็นพื้นผิวภายในของห้อง (ผ้าเพดาน ผนัง พื้น) ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงรบกวนและความเป็นฉนวนกันเสียงไปพร้อม ๆ กัน พื้นผิวภายในของห้องจะทำหน้าที่ดูดซับเสียงรบกวนที่ส่งผ่านเข้ามา ระดับเสียงจะลดลงมากหรือน้อยขึ้นกับค่าการดูดซับเสียงของวัสดุที่เป็นองค์ประกอบของผิวห้อง โดยทั่วไปพื้นผิวภายในห้องจะมีค่าดูดซับเสียงเฉลี่ยประมาณ (–1) เดซิเบล ถึง (+7) เดซิเบล [14]

### 3.1.3 การกำหนดค่าระดับในการประเมินค่าการป้องกันเสียงดังรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร

**1. เทคนิคการประเมินค่าระบบเปลือกอาคาร**

**1.1 เทคนิคการประเมินค่าระบบเปลือกอาคารในส่วนของผนัง**

**ก. ผนังทึบชั้นเดียว** (Single Homogeneous Wall)

การอธิบายถึงศักยภาพในการป้องกันเสียงรบกวน หรือคุณสมบัติค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของระบบผนัง ซึ่งปริมาณที่ใช้วัดความสามารถป้องกันเสียงของระบบผนัง เรียกว่า ขั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (Sound Transmission Class, STC) ในการศึกษาค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของระบบเปลือกอาคารในส่วนของผนังครั้งนี้ ใช้ข้อมูล STC สำหรับโครงสร้างอาคารทั่วไปที่ปรับปรุงใหม่จากห้องทดลองของ Cedar Knolls, Geiger and Hamme, Riverbank, etc จากหนังสืออ้างอิงของ Egan, M. David.

**ข. ผนังสองชั้นที่มีช่องว่างอากาศ** (Cavity Wall)

ช่องว่างอากาศที่มีผลต่อการป้องกันเสียงรบกวนควรมีระยะห่างมากกว่า 1 ½" การหาค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (TL) และขั้นสูญเสียการส่งผ่านเสียง (STC) รวมของผนังที่มีช่องว่างอากาศจะเริ่มจากการคำนวณค่า TL และ STC ในกรณีเป็นผนังทึบ แล้วมาค่า TL และ STC ที่ได้บวกกับค่า TL และ STC ของช่องว่างอากาศ การพัฒนาผนังที่มีช่องว่างอากาศให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยการเพิ่มฉนวนกันเสียงเข้าในช่องว่างอากาศจะทำให้ผนังมีความสามารถกันเสียงเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 3- 5 เดซิเบล ค่า TL และ STC ของช่องว่างอากาศขึ้นกับระยะของช่องว่างอากาศและความถี่ ดังนี้

---

[14] Stein, B. and Reynolds, J. S, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings. Eight Edition (New York: John Wiley & Sons, 1992), p. 1382.

| ช่องว่างอากาศ | ค่าที่เพิ่มขึ้นจาก TL (dB) | | | | | | STC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1,000 Hz | 2,000 Hz | 4,000 Hz | Improve |
| 1 ½" | 0 | 1 | 2 | 5 | 9 | 12 | 3 |
| 3" | 1 | 2 | 7 | 10 | 14 | 15 | 6 |
| 6" | 5 | 7 | 11 | 15 | 19 | 20 | 8 |

ที่มา: Egan, M. David. Concepts in Architectural Acoustics (New York: McGraw-Hill, 1972), p. 77.

**วิธีการคำนวณค่า TL และSTC ของผนังสองชั้นที่มีช่องว่างอากาศ**

| ชนิดของผนัง | lb/ft$^2$ | คลื่นความถี่ (Hz) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2,000 | 4,000 | STC |
| - ผนังก่ออิฐ 9" ฉาบปูน2ข้าง 1/2" | 100 | 41 | 43 | 49 | 55 | 57 | 60 | 52 |
| - ช่องว่างอากาศ 1 ½" | | 0 | 1 | 2 | 5 | 9 | 12 | 3 |
| - ผนังก่ออิฐ 4 1/2" | | | | | | | | |
| + ช่องว่างอากาศ 1 ½" | | | | | | | | |
| + ผนังก่ออิฐ 4 1/2" ฉาบปูน2ข้าง 1/2" | 100 | 41 | 44 | 51 | 60 | 66 | 72 | 55 |

| ชนิดของผนัง | lb/ft$^2$ | คลื่นความถี่ (Hz) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2,000 | 4,000 | STC |
| - ผนังก่ออิฐ 9" ฉาบปูน2ข้าง 1/2" | 100 | 41 | 43 | 49 | 55 | 57 | 60 | 52 |
| - ช่องว่างอากาศ 6" | | 5 | 7 | 11 | 15 | 19 | 20 | 8 |
| - ผนังก่ออิฐ 4 1/2" | | | | | | | | |
| +ช่องว่างอากาศ 6" | | | | | | | | |
| + ผนังก่ออิฐ 4 1/2" ฉาบปูน2ข้าง 1/2" | 100 | 46 | 50 | 60 | 70 | 76 | 80 | 60 |

ในกรณีประเมินค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของผนังทึบชั้นเดียวและผนังสองชั้น สำหรับอาคารประเภทโรงเรียนระดับประถมศึกษา ใช้วิธีการรวบรวมผนังทึบประเภทต่าง ๆ ที่ใช้ในการก่อสร้างโรงเรียนนำมาคำนวณหาค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของผนัง โดยนำค่าขั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (Sound Transmission Class, STC) จากการคำนวณมาเรียงลำดับจากน้อยที่สุดไปจนถึงมากที่สุดเพื่อนำมาแบ่งช่วงคะแนนออกเป็น 5 อันดับ ตั้งแต่ค่าระดับ 1 ถึงค่าระดับ 5 ในการกำหนดช่วงของ STC สำหรับการให้ค่าระดับ โดยการศึกษาค่าขั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของผนังกับสภาพการได้ยินดังนี้

ตารางที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าขั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (STC) และสภาพการได้ยิน

| ขั้นการสูญเสียการส่งผ่าน STC | สภาพการได้ยิน | ประเภท (Description) | การนำมาใช้ งาน (Application) |
|---|---|---|---|
| 25 | - เสียงธรรมดาเมื่อส่งผ่านผนังสามารถเข้าใจได้ดีและชัดเจน | ไม่ดี | -ผนังกั้นระหว่างพื้นที่ |
| 30 | - เสียงดังสามารถได้ยินดี<br>- เสียงธรรมดาสามารถได้ยินแต่ยากจะเข้าใจ | ปานกลาง | -ผนังกั้นห้องที่เป็นห้องไม่ต้องใช้สมาธิ |
| 35 | - เสียงดังสามารถได้ยินแต่ยากที่จะเข้าใจ<br>- เสียงธรรมดาสามารถได้ยินเบา ๆ | ดี | -ห้องชุดสำนักงานที่ติดกับสถานที่ข่อนข้างเงียบ |
| 42-45 | - เสียงดังได้ยินเบา ๆ แต่ไม่เข้าใจ<br>- เสียงธรรมดาไม่ได้ยิน | ดีมาก | -สำหรับคั่นระหว่างเขตที่มีเสียงดังกับเขตที่สงบ<br>-ผนังร่วมระหว่างอพาร์ตเมนต์ (apartment) |
| 46-50 | - เสียงที่ดังมาก เช่น เสียงเพลง เสียงเครื่องเล่นดนตรี หรือเสียง radioที่ดังสามารถได้ยินเบา ๆ หรือไม่ได้ยิน | ดีที่สุด | -ห้องเล่นดนตรี, ห้องฝึกฝน, ห้องทำงานเกี่ยวกับเสียง, ห้องนอนที่ติดกับพื้นที่ที่มีเสียงดัง |

ที่มา: Stein, B. and Reynolds, J. S, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings. Eight Edition (New York: John Wiley & Sons, 1992), P. 1400.

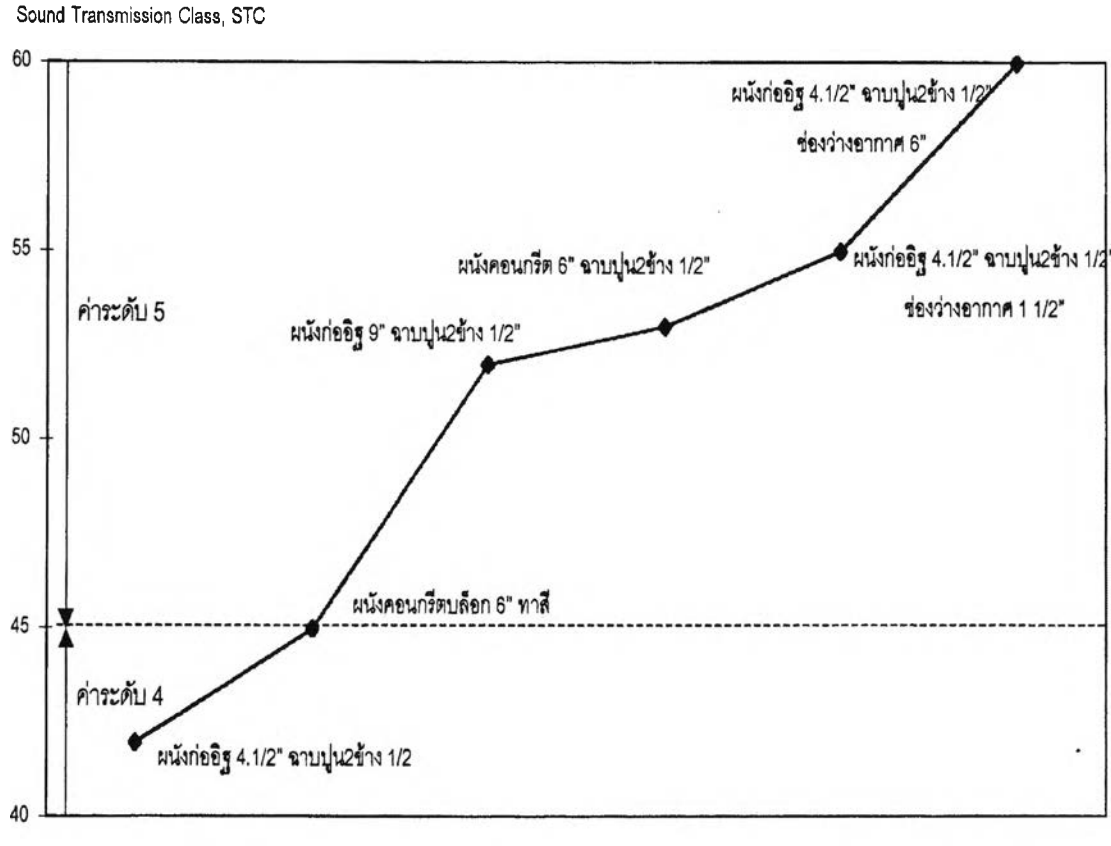
จากการวิเคราะห์เกี่ยวกับขั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (STC) และสภาพการได้ยินเสียงจากตารางข้างต้น สามารถแบ่งช่วงระดับคะแนนออกเป็น 5 ระดับ มีดังนี้

| | |
|---|---|
| STC น้อยกว่า 25 | ค่าระดับ 1 |
| STC ตั้งแต่ 25 แต่น้อยกว่า 30 | ค่าระดับ 2 |
| STC ตั้งแต่ 30 แต่น้อยกว่า 35 | ค่าระดับ 3 |
| STC ตั้งแต่ 35 แต่น้อยกว่า 45 | ค่าระดับ 4 |
| STC ตั้งแต่ 45 ขึ้นไป | ค่าระดับ 5 |

ตารางที่ 3.3 ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (TL) และขั้นการสูญเสียส่งผ่านเสียง (STC) ของผนังแต่ละชนิดที่เลือกมาเป็นตัวอย่าง

| ระบบเปลือกอาคารในส่วนของผนัง | lb/ft$^2$ | Transmission Loss, TL | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1000 Hz | 2000Hz | 4000Hz | STC |
| **ผนังภายนอก** | | | | | | | | |
| -ผนังก่ออิฐ 4 1/2" ฉาบปูน2ข้าง 1/2" | 55 | 34 | 34 | 41 | 50 | 56 | 58 | 42 |
| -ผนังคอนกรีตบล็อก 6" ทาสี | 34 | 37 | 36 | 42 | 49 | 55 | 58 | 45 |
| -ผนังก่ออิฐ 9" ฉาบปูน2ข้าง 1/2" | 100 | 41 | 43 | 49 | 55 | 57 | 60 | 52 |
| -ผนังคอนกรีต 6" ฉาบปูน2ข้าง 1/2" | 80 | 39 | 42 | 50 | 58 | 64 | 67 | 53 |
| -ผนังก่ออิฐ 4 1/2" + ช่องว่างอากาศ 1 ½" + ผนังก่ออิฐ 4 1/2" ฉาบปูน2ข้าง 1/2" | 100 | 41 | 44 | 51 | 60 | 66 | 72 | 55 |
| -ผนังก่ออิฐ 4 1/2" + ช่องว่างอากาศ 6" + ผนังก่ออิฐ 4 1/2" ฉาบปูน2ข้าง 1/2" | 100 | 49 | 50 | 60 | 70 | 76 | 80 | 60 |

ที่มา: Egan, M. David. Concepts in Architectural Acoustics (New York: McGraw-Hill. 1972). p. 73-75.




แผนภูมิ 3.3 แสดงค่าการขั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (STC) ของผนังทึบและผนังสองชั้นแต่ละชนิดและค่าระดับที่ได้

**ค. ผนังผสม** (Composite Wall)

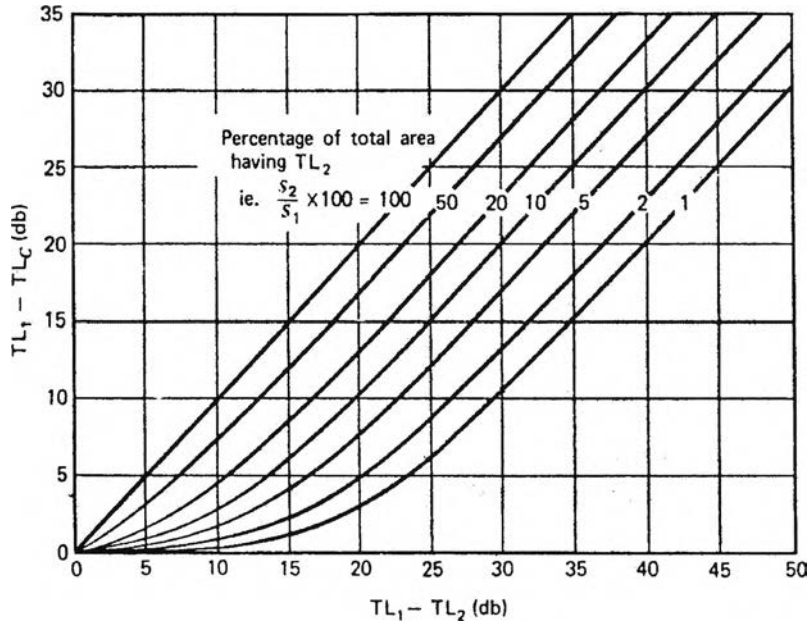
ค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของผนังที่มีองค์ประกอบ เช่น ประตู หน้าต่าง มีความสัมพันธ์กับสัดส่วนและค่าความเป็นฉนวนกันเสียงขององค์ประกอบ ถ้าสัดส่วนขององค์ประกอบมีมากและมีค่าความเป็นฉนวนกันเสียงต่ำก็จะทำให้ค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของผนังลดลง ในการหาค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของผนังผสมที่มีสององค์ประกอบของอาคารเรียน โดยการรวบรวมประเภทของห้องเรียน และประเภทของวัสดุที่เป็นองค์ประกอบที่ใช้ก่อสร้างอาคารเรียนทั่วไป คำนวณค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงในแต่ละคลื่นเสียงในแผนภูมิ 3.4 และขั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียงในแผนภูมิ 3.5 ตามลำดับ

**วิธีการคำนวณค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของผนังผสม** ($TL_c$)

จากการศึกษาสัดส่วนขององค์ประกอบของเปลือกอาคารเรียนในส่วนของผนัง ที่เป็นห้องเรียนมาตรฐานของกระทรวงศึกษาธิการ พบว่า องค์ประกอบที่เป็นช่องเปิด (ประตู, หน้าต่าง และช่องแสง) ควรมีต่ำสุด 20 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่พื้นของห้องเรียน และห้องเรียนที่มีนักเรียนมากกว่า 35 คน ควรมีประตู 2 บาน ดังนั้น เพื่อสะดวกในการศึกษา จึงกำหนดให้ห้องเรียนที่ทำการศึกษามีองค์ประกอบที่เป็นประตูไม้ 2 บาน มีพื้นที่ประมาณ 4 ตารางเมตร และหน้าต่างหรือช่องแสงที่เป็นกระจกใสมีสัดส่วนอยู่ระหว่าง 25-75 เปอร์เซ็นต์ ของผนังด้านที่มีหน้าต่างหรือช่องแสงนั้น โดยแยกการคำนวณตามสัดส่วนที่ 25, 50, 75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

วิธีการหาค่าสูญเสียงการส่งผ่านเสียงของผนังผสม ($TL_c$) โดยเริ่มจากการคำนวณค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของผนังหลัก ($TL_1$) ซึ่งเป็นผนังที่เป็นระบบโครงสร้างของอาคารและ ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงขององค์ประกอบ ($TL_2$) ซึ่งได้แก่ ประตู หน้าต่างและช่องแสง จากนั้นหาค่าสูญเสียงการส่งผ่านเสียงของผนังผสม ($TL_c$) จากแผนภูมิ 3.4

ในกรณีผนังผสมประกอบด้วย ประตู หน้าต่างและช่องแสง ทำด้วยวัสดุแตกต่างกัน การหาค่าการสูญเสียงการส่งผ่านเสียงของผนังผสม ($TL_c$) ให้เลือกเอาค่าสูญเสียการส่งผ่านเสียง ($TL_2$) ขององค์ประกอบที่มีพื้นที่มากที่สุดมาพิจารณา แต่การหาค่าสัดส่วนขององค์ประกอบของผนังเปรียบเทียบกับผนังหลักให้ใช้พื้นที่ขององค์ประกอบทั้งหมดของผนังนั้น




แผนภูมิ 3.4 แสดงกราฟการหาค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของผนังผสม ($TL_C$)

ที่มา: Stein, B. and Reynolds, J. S, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings Eight Edition (New York: John Wiley & Sons, 1992),P. 1392.

**รายละเอียดการคำนวณค่าสูญเสียการส่งผ่านเสียงของผนังผสมแต่ละชนิด**

- ผนังก่ออิฐ 4 1/2" ฉาบปูน2ข้าง 1/2" มีองค์ประกอบเป็น 1/4" กระจกใสชั้นเดียว

| Transmission Loss | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1000 Hz | 2,000Hz | 4,000Hz | STC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $TL_1$ | 34 | 34 | 41 | 50 | 56 | 58 | 42 |
| $TL_2$ | 25 | 28 | 30 | 34 | 24 | 35 | 29 |
| $TL_1$- $TL_2$ | 9 | 6 | 11 | 16 | 32 | 23 | - |
| $TL_C$ 25% | 29.5 | 31.5 | 35 | 39 | 30 | 41 | - |
| $TL_C$ 50% | 27.5 | 30 | 33 | 37 | 27 | 39 | - |
| $TL_C$ 75% | 26 | 28 | 31 | 36 | 25 | 36 | - |

- ผนังก่ออิฐ 4 1/2" ฉาบปูน2ข้าง 1/2" มีองค์ประกอบเป็นหน้าต่างบานเกล็ด

| Transmission Loss | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1000 Hz | 2,000Hz | 4,000Hz | STC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $TL_1$ | 34 | 34 | 41 | 50 | 56 | 58 | 42 |
| $TL_2$ | 10 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 | 12 |
| $TL_1$- $TL_2$ | 24 | 22 | 29 | 38 | 44 | 47 | - |
| $TL_C$ 25% | 16 | 18 | 17 | 16 | 18 | 16 | - |
| $TL_C$ 50% | 13 | 15 | 15 | 13 | 14 | 13 | - |
| $TL_C$ 75% | 11 | 13 | 14 | 12 | 12 | 11 | - |

- ผนังก่ออิฐ 4 1/2" ฉาบปูน2ข้าง 1/2" มีองค์ประกอบเป็น 1 $\frac{3}{4}$" ประตูไม้เนื้อแข็งและมีแผ่นยางอุดที่ช่องรอยต่อ

| Transmission Loss | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1000 Hz | 2,000Hz | 4,000Hz | STC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $TL_1$ | 34 | 34 | 41 | 50 | 56 | 58 | 42 |
| $TL_2$ | 29 | 31 | 31 | 31 | 39 | 43 | 34 |
| $TL_1$- $TL_2$ | 5 | 3 | 10 | 19 | 17 | 15 | - |
| $TL_C$ 25% | 32 | 32.5 | 36 | 36.5 | 45 | 49 | - |
| $TL_C$ 50% | 30.5 | 32 | 33.5 | 34 | 42.5 | 46 | - |
| $TL_C$ 75% | 29.5 | 30.5 | 32 | 32.5 | 41 | 44 | - |

- ผนังคอนกรีตบล็อก 6" ทาสี มีองค์ประกอบเป็น 1/4" กระจกใสชั้นเดียว

| Transmission Loss | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1000 Hz | 2,000Hz | 4,000Hz | STC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $TL_1$ | 37 | 36 | 42 | 49 | 55 | 58 | 45 |
| $TL_2$ | 25 | 28 | 30 | 34 | 24 | 35 | 29 |
| $TL_1$- $TL_2$ | 12 | 8 | 12 | 15 | 31 | 23 | - |
| $TL_C$ 25% | 30 | 32 | 35 | 40 | 30 | 41 | - |
| $TL_C$ 50% | 28 | 30 | 32 | 37 | 27 | 39 | - |
| $TL_C$ 75% | 26 | 29 | 31 | 35 | 25 | 36 | - |

- ผนังคอนกรีตบล็อก 6" ทาสี มีองค์ประกอบเป็น 1 ¾" ประตูไม้เนื้อแข็งและมีแผ่นยางอุดที่ช่องรอยต่อ

| Transmission Loss | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1000 Hz | 2,000Hz | 4,000Hz | STC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $TL_1$ | 37 | 36 | 42 | 49 | 55 | 58 | 45 |
| $TL_2$ | 29 | 31 | 31 | 31 | 39 | 43 | 34 |
| $TL_1$- $TL_2$ | 8 | 5 | 11 | 18 | 16 | 15 | - |
| $TL_C$ 25% | 33 | 34 | 36 | 36.5 | 45 | 49 | - |
| $TL_C$ 50% | 31 | 32.5 | 34 | 34 | 42 | 46 | - |
| $TL_C$ 75% | 30 | 31.5 | 32 | 32 | 40.5 | 44 | - |

- ผนังคอนกรีต 6" ฉาบปูน2ข้าง 1/2" มีองค์ประกอบเป็น 1/4" กระจกใสชั้นเดียว

| Transmission Loss | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1000 Hz | 2,000Hz | 4,000Hz | STC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $TL_1$ | 39 | 42 | 50 | 58 | 64 | 67 | 53 |
| $TL_2$ | 25 | 28 | 30 | 34 | 24 | 35 | 29 |
| $TL_1$- $TL_2$ | 14 | 14 | 20 | 24 | 40 | 32 | - |
| $TL_C$ 25% | 30.5 | 33.5 | 36 | 41 | 30 | 41 | - |
| $TL_C$ 50% | 27.5 | 30.5 | 33 | 37 | 26 | 38 | - |
| $TL_C$ 75% | 26 | 29 | 31.5 | 35 | 23 | 36 | - |

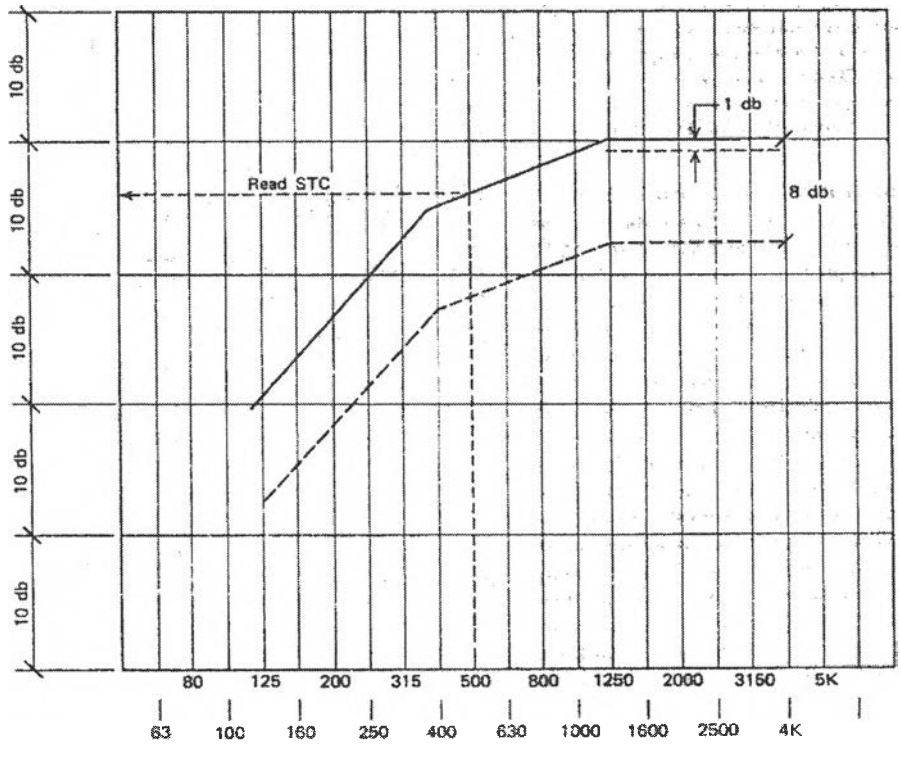
- ผนังคอนกรีต 6" ฉาบปูน2ข้าง 1/2" มีองค์ประกอบเป็น 1 ¾" ประตูไม้เนื้อแข็งและมีแผ่นยางอุดที่ช่องรอยต่อ

| Transmission Loss | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1000 Hz | 2,000Hz | 4,000Hz | STC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $TL_1$ | 39 | 42 | 50 | 58 | 64 | 67 | 53 |
| $TL_2$ | 29 | 31 | 31 | 31 | 39 | 43 | 34 |
| $TL_1$- $TL_2$ | 10 | 11 | 19 | 27 | 25 | 24 | - |
| $TL_C$ 25% | 34 | 36 | 36.5 | 37 | 45 | 50 | - |
| $TL_C$ 50% | 31.5 | 34 | 34 | 35 | 42 | 46 | - |
| $TL_C$ 75% | 30 | 32 | 32.5 | 33 | 40 | 44 | - |

## วิธีการคำนวณค่าขั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของผนังผสม

การหาค่าขั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของผนังผสม ($STC_c$) โดยนำค่าสูญเสียการส่งผ่านเสียงของผนังผสม ($TL_c$) ที่ได้จากข้างต้นนำมาพลอตในแผ่นใสเพื่อเทียบกับแผนภูมิ 3.5 โดยมีเงื่อนไขดังนี้

1. ให้ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของผนังผสมที่นำมาพลอตมีค่าน้อยกว่าเส้น STC (ในแผนภูมิ 3.5) ได้ไม่เกิน 8 เดซิเบล (ห้ามเกินเส้นประในแผนภูมิ 3.5)
2. ผลรวมของค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของผนังผสมน้อยกว่าเส้น STC ของทุก ๆ 1/3 ออกเทบแบนท์จะต้องไม่เกิน 32 เดซิเบล เมื่อได้ครบตามเงื่อนไขทั้งสองแล้วค่า $STC_c$ ของผนัง ก็คือตัวเลขบนแกนของค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงที่ตรงกับเส้น STC ที่ความถี่ 500 HZ ผนังที่มีค่า $STC_c$ มากจะสามารถกันเสียงได้มาก




แผนภูมิ 3.5 กราฟแสดงการหาค่าขั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (STC) ของผนังชนิดต่าง ๆ

ที่มา: Egan, M. David. Concepts in Architectural Acoustics (New York: McGraw-Hill, 1972), p. 70.

ตารางที่ 3.4 ค่าระดับและค่าขั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของผนังผสมแต่ละชนิดที่มีสัดส่วนขององค์ประกอบแตกต่างกัน

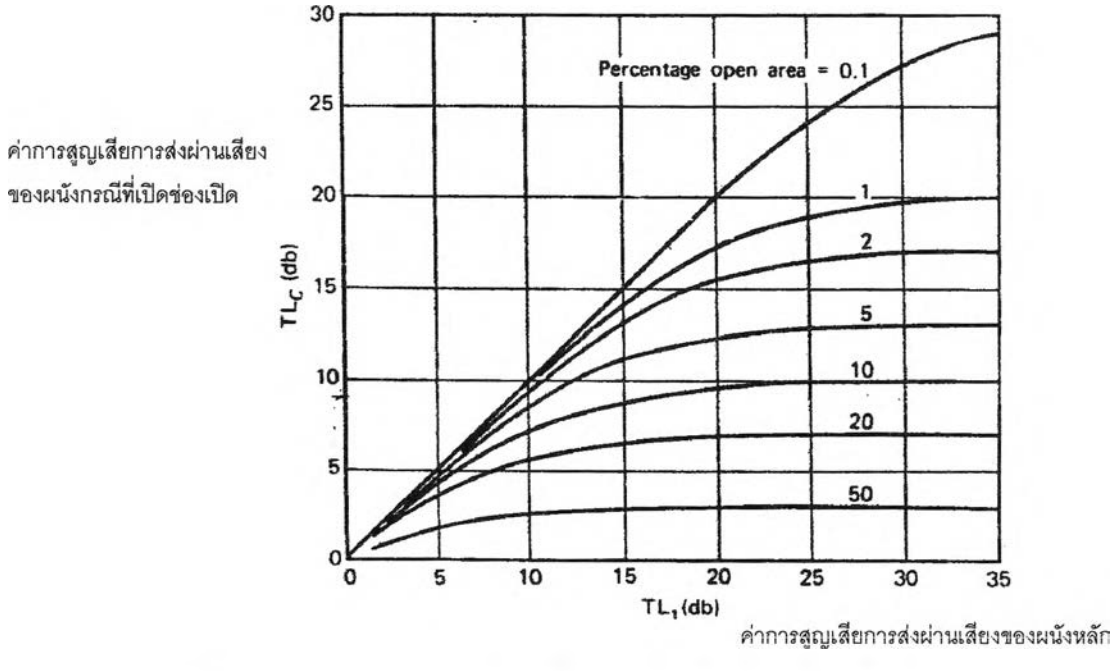
| ชนิดผนังผสม | สัดส่วนขององค์ประกอบ | $STC_c$ | ค่าระดับ |
|---|---|---|---|
| - ผนังก่ออิฐ 4 1/2" ฉาบปูน2ข้าง 1/2" | 25% | 33 | 3 |
| + 1/4" กระจกใสชั้นเดียว | 50% | 31 | 3 |
| | 75% | 29 | 2 |
| - ผนังก่ออิฐ 4 1/2" ฉาบปูน2ข้าง 1/2" | 25% | 18 | 1 |
| + หน้าต่างบานเกล็ด | 50% | 14 | 1 |
| | 75% | 12 | 1 |
| - ผนังก่ออิฐ 4 1/2" ฉาบปูน2ข้าง 1/2" | 25% | 40 | 4 |
| + 1 ¾" ประตูไม้เนื้อแข็งและมีแผ่นยางอุดช่องรอยต่อ[C] | 50% | 38 | 4 |
| | 75% | 36 | 4 |
| - ผนังคอนกรีตบล็อก 6" ทาสี | 25% | 34 | 3 |
| + 1/4" กระจกใสชั้นเดียว | 50% | 31 | 3 |
| | 75% | 29 | 2 |
| - ผนังคอนกรีตบล็อก 6" ทาสี | 25% | 19 | 1 |
| + หน้าต่างบานเกล็ด | 50% | 15 | 1 |
| | 75% | 13 | 1 |
| - ผนังคอนกรีตบล็อก 6" ทาสี | 25% | 39 | 4 |
| + 1 ¾" ประตูไม้เนื้อแข็งและมีแผ่นยางอุดช่องรอยต่อ[C] | 50% | 37 | 4 |
| | 75% | 35 | 4 |
| - ผนังคอนกรีต 6" ฉาบปูน2ข้าง 1/2" | 25% | 34 | 3 |
| + 1/4" กระจกใสชั้นเดียว | 50% | 30 | 3 |
| | 75% | 27 | 2 |
| - ผนังคอนกรีต 6" ฉาบปูน2ข้าง 1/2" | 25% | 41 | 4 |
| + 1 ¾" ประตูไม้เนื้อแข็งและมีแผ่นยางอุดช่องรอยต่อ[C] | 50% | 38 | 4 |
| | 75% | 35 | 4 |

[C] ขั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (STC) ของประตูไม้เนื้อแข็งที่ไม่มีแผ่นยางอุดช่องรอยต่อจะลดลง 5

**ฆ. ผนังกรณีเปิดช่องเปิด** หมายถึง กรณีห้องเรียนเปิดประตู หน้าต่างหรือช่องแสงจะเปรียบเสมือนการนำเอาเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกเข้ามาภายในอาคาร เนื่องจากพื้นที่ช่องเปิดมีค่าความเป็นฉนวนกันเสียงเท่ากับ 0 เดซิเบล การหาค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของผนังในกรณีเปิดประตู หน้าต่างหรือช่องแสง โดยการศึกษามีค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของผนังทึบที่เป็นผนังหลัก โดยทั่วไป $TL_1$ อยู่ระหว่าง 25-60 เดซิเบล

จากแผนภูมิ 3.6 พบว่า หากผนังหลักหากมีสัดส่วนช่องเปิดเพียงร้อยละ 0.1 ของพื้นที่ของผนังก็จะทำให้ผนังมีค่าความเป็นฉนวนกันเสียง ($TL_c$) ได้มากที่สุด 29 เดซิเบล และผนังมีพื้นที่ของช่องเปิดที่มีสัดส่วนร้อยละ 1 จะทำให้ค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของผนังนั้นมีค่าเท่ากับ 20 เดซิเบล

ดังนั้น เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลสัดส่วนของช่องเปิดร้อยละ 25-75 ของพื้นที่ของผนังด้านที่มีประตู หน้าต่างหรือช่องแสง ที่ได้กำหนดไว้ในการคำนวณกรณีผนังผสม (ในข้อ ค) จะมีค่าความเป็นฉนวนของผนัง $TL_c$ เท่ากับ 2-6 เดซิเบล เท่านั้น ผลของ $TL_c$ที่ได้แสดงว่า ถ้าอาคารเรียนเปิดประตู หน้าต่างหรือช่องแสงเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งก็จะทำให้ค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของผนังลดลง และค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของผนังนั้นจะมีค่าน้อยกว่า 25 เดซิเบล เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าขั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียงจะจัดอยู่ในระดับ 1




แผนภูมิ 3.6 แสดงกราฟการหาค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของผนังกรณีมีเปิดช่องเปิด ($TL_c$)

ที่มา: Stein, B. and Reynolds, J. S, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings. Eight Edition (New York: John Wiley & Sons, 1992), P. 1392.

อย่างไรก็ตามการศึกษาการประเมินค่าผนังกรณีผนังมีช่องเปิด ใช้การพิจารณาค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง ($TL_c$) แทนค่าขั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียง (STC) เนื่องจากค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียง ($TL_c$) ที่ได้จากแผนภูมิ 3.6 มีค่าต่ำมากทำให้ไม่สามารถหาค่าขั้นการสูญเสียการส่งผ่านเสียงจากแผนภูมิ 3.5 ได้

### 1.2 เทคนิคการประเมินค่าการรั่วซึมของเสียง (Sound Leaks)

ในการพิจารณาถึงศักภาพในการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกของอาคารเรียน โดยการคำนึงถึงการควบคุมการรั่วซึมของเสียงเข้าภายในอาคารจะใช้การจำแนกหมวดหมู่ขององค์ประกอบของผนัง ได้แก่ ประตู หน้าต่างและช่องแสง เพื่อกำหนดอัตราการรั่วซึมของเสียงและค่าระดับที่ได้ มีดังนี้

| องค์ประกอบของผนัง | ค่าระดับ |
|---|---|
| - ประตู-หน้าต่างบานเกล็ดปรับมุม | 1 |
| - ประตู-หน้าต่างบานเปิดชนิดวงกบและกรอบบานไม้<br>- ประตู-หน้าต่างบานเลื่อนชนิดวงกบและกรอบไม้<br>- ประตู-หน้าต่างบานเฟี้ยมชนิดวงกบและกรอบไม้ | 2 |
| - ประตู-หน้าต่างบานเปิดชนิดวงกบและกรอบอลูมิเนียม<br>- ประตู-หน้าต่างบานเลื่อนชนิดวงกบและกรอบอลูมิเนียม<br>- ประตู-หน้าต่างบานเฟี้ยมชนิดวงกบและกรอบอลูมิเนียม | 3 |
| - ผนังผสมกระจกที่มีวงกบไม้ หรืออลูมิเนียม (ไม่ได้Seal) | 4 |
| - ผนังผสมกระจกที่มีวงกบไม้ หรืออลูมิเนียม (Seal) | 5 |

## 2. เทคนิคการประเมินค่าในส่วนขององค์ประกอบบริเวณที่ตั้งอาคาร

การศึกษาขอบเขตของเสียงรบกวนที่ต้องการในบริเวณที่ตั้งอาคาร (External Noise Limits) เพื่อสร้างให้เกิดเสียงที่พึงพอใจภายในอาคาร จากเกณฑ์มาตรฐานของประเทศอังกฤษ (British Standard 4142: 1967) ซึ่งกำหนดขอบเขตของเสียงรบกวนของสพภาพแวดล้อมบริเวณที่ตั้งอาคารเท่ากับค่าระดับความดันเสียงที่เป็นเกณฑ์เสียง (Noise Criteria, NC) ของอาคารบวกเพิ่มประมาณ 5-10 เดซิเบล เกณฑ์นี้เหมาะสำหรับเป็นเกณฑ์ในการออกแบบเขตอยู่อาศัย เขตอาคารทางการค้า โรงแรม โรงพยาบาล ฯลฯ

(SRL. Sound Research Laboratories Limited, 1976: 39)

SPL (Outdoor) = NC (dBA) + 7 (approx) ---------- (20)

สำหรับระดับเสียงรบกวนของสภาพแวดล้อมบริเวณโดยรอบอาคารเรียนระดับประถมศึกษา ซึ่งมีระดับเสียงที่เป็นเกณฑ์เสียงเฉลี่ย (Noise Criteria, NC) ของอาคารเรียนเท่า 45 เดซิเบล (เอ) ดังนั้น ระดับเสียงรบกวนที่เหมาะสำหรับสภาพแวดล้อมบริเวณโดยรอบอาคารเรียน คือ

SPL (บริเวณที่ตั้งอาคารเรียน) = 45 + 7 = 52 เดซิเบล (เอ)

การพิจารณาเพื่อให้ค่าระดับสำหรับเสียงรบกวนในบริเวณที่ตั้งอาคาร โดยแบ่งออกเป็น 5 อันดับ ระดับเสียงรบกวนของสภาพแวดล้อมที่เหมาะกับบริเวณที่ตั้งอาคารเรียนมากที่สุด คือ ระดับเสียงรบกวนที่มีค่าไม่เกิน 52 เดซิเบล (เอ) จะได้ค่าระดับ 5 และระดับเสียงรบกวนของสภาพแวดล้อมที่มีค่ามากขึ้นก็จะได้ค่าระดับ 4,3,2,1 ตามลำดับ ซึ่งการศึกษาเพื่อแบ่งค่าระดับขึ้นกับสภาพการได้ยินแตกต่างกัน ดังนี้

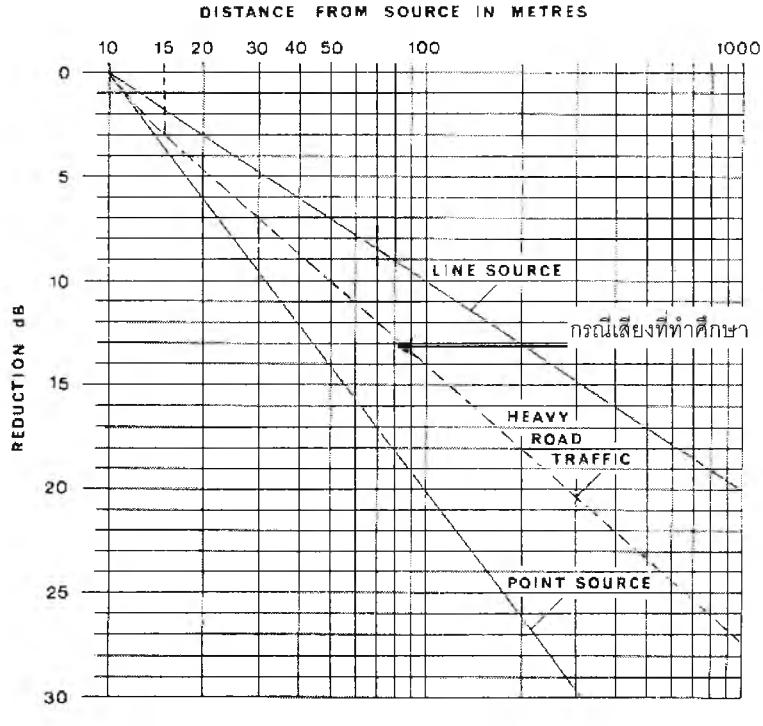
| สภาพการได้ยิน | ระดับเสียงรบกวน | ค่าระดับ |
|---|---|---|
| เสียงดังมากที่สุด | ตั้งแต่ 80 เดซิเบล (เอ) ขึ้นไป | 1 |
| เสียงดังมาก | ตั้งแต่ 70 แต่น้อยกว่า 80 เดซิเบล (เอ) | 2 |
| เสียงดัง | ตั้งแต่ 60 แต่น้อยกว่า 70 เดซิเบล (เอ) | 3 |
| เสียงดังระดับปานกลาง | ตั้งแต่ 52 แต่น้อยกว่า 60 เดซิเบล (เอ) | 4 |
| ระดับเสียงที่พอเหมาะ | น้อยกว่า 52 เดซิเบล (เอ) | 5 |

จากข้อมูลระดับเสียงรบกวนที่ได้จากการรวบรวมผลการตรวจวัดระดับเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมในเขตกรุงเทพมหานครของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมควบคุมมลพิษ สำนักงานอนามัยกรุงเทพมหานครและกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยผลการตรวจวัดตามสถานที่ตั้งริมถนนในเขตกรุงเทพมหานครปี 2540 พบว่า ระดับเสียงรบกวนเสียงเฉลี่ย 24 ชม. ประมาณ 70.1-83.5 เดซิเบล (เอ) (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2541: ผ1-3)

จากผลการศึกษาระดับเสียงริมเส้นทางจราจรในข้างต้น การศึกษาเพื่อหาค่าระดับเสียงรบกวนที่ลดลงตามระยะทางที่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง เพื่อให้ค่าระดับในการประเมินค่าเสียงสำหรับอาคารเรียนที่ตั้งอยู่ริมถนน จึงกำหนดค่าระดับเสียงรบกวนจากถนนออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่

ถนนที่มีระดับเสียงรบกวน 70 เดซิเบล (เอ) ถนนที่มีระดับเสียงรบกวน 80 เดซิเบล (เอ) และถนนที่มีเสียงรบกวน 90 เดซิเบล (เอ)

**ก. การลดระดับเสียงรบกวนด้วยระยะทาง** กรณีบริเวณที่ตั้งอาคารเป็นที่โล่ง (Free field) ในกรณีศึกษาเป็นเสียงรบกวนจากถนนที่เกิดจากรถยนต์ ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดเสียงแบบเส้น (Line source of sound) แต่ถนนที่นำมาศึกษาเป็นถนนที่มีการสัญจรคับคั่งในระดับปานกลางถึงระดับสูง จากทฤษฎีความสัมพันธ์แบบผกผัน (Inverse Square Law) ความเข้มเสียงที่ส่งผ่านอากาศจะลดระดับลงเรื่อย ๆเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นทุก ๆ ระยะสองเท่าห่างจากต้นกำเนิดเสียงความเข้มของเสียงจะลดลง ¼ เท่า หรือเท่ากับ 6 เดซิเบล แต่ในกรณีถนนที่มีการสัญจรคับคั่งระดับเสียงจะลดลง 4 เดซิเบล อย่างไรก็ตามเกณฑ์นี้จะใช้ได้หลังระยะทางที่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง 15 เมตร เท่านั้น (Moore, John Edwin, 1978: 87)




แผนภูมิ 3.7 กราฟคำนวณระดับเสียงที่ลดลงจากระยะทางที่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงแต่ละชนิด

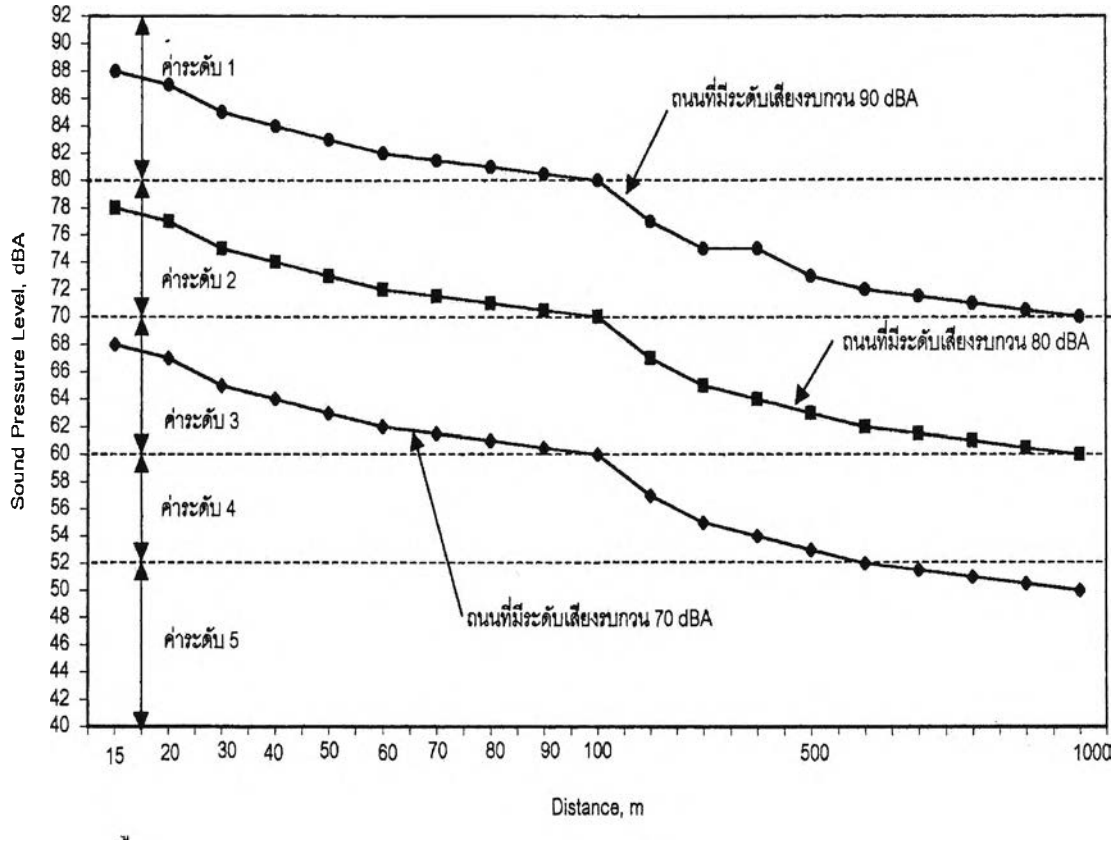
ที่มา: Moore, John Edwin, Design for Good Acoustics and Noise Control (London: the Macmillan Press, 1978), p. 87.

**การคำนวณระดับเสียงรบกวนที่ลดลงจากระยะทางที่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง**

การศึกษาระดับเสียงรบกวนที่ลดลงจากระยะทางเพื่อเป็นตัวอย่างในการประเมิน โดยคำนวณจากแผนภูมิ 3.7 การกำหนดข้อมูลเบื้องต้นที่ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดเสียงรบกวนเป็นเสียงจากถนนซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดเสียงแบบเส้น (Line source of sound) และแบ่งระดับเสียงรบกวนออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ถนนที่มีระดับเสียงรบกวน 90, 80, 70 เดซิเบล (เอ) ตามลำดับ การคำนวณดับเสียงที่ลดลงเริ่มจากระยะต่ำสุด 15 ถึง 1,000 เมตร ดังแสดงในตารางตอนต่อไปนี้

ตารางที่ 3.5 ตัวอย่างการหาค่าระดับเสียงที่ลดลงจากระยะทางที่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง

| ระยะทางที่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง (เมตร) | ระดับเสียงที่ลดลง (เดซิเบล ) | แหล่งกำเนิดเสียง 70 เดซิเบล (เอ) | แหล่งกำเนิดเสียง 80 เดซิเบล (เอ) | แหล่งกำเนิดเสียง 90 เดซิเบล (เอ) |
|---|---|---|---|---|
| 15 | 2 | 68 | 78 | 88 |
| 20 | 3 | 67 | 77 | 87 |
| 30 | 5 | 65 | 75 | 85 |
| 40 | 6 | 64 | 74 | 84 |
| 50 | 7 | 63 | 73 | 83 |
| 60 | 8 | 62 | 72 | 82 |
| 70 | 8.5 | 61.5 | 71.5 | 81.5 |
| 80 | 9 | 61 | 71 | 81 |
| 90 | 9.5 | 60.5 | 70.5 | 80.5 |
| 100 | 10 | 60 | 70 | 80 |
| 200 | 13 | 57 | 67 | 77 |
| 300 | 15 | 55 | 65 | 75 |
| 400 | 16 | 54 | 64 | 75 |
| 500 | 17 | 53 | 63 | 73 |
| 600 | 18 | 52 | 62 | 72 |
| 700 | 18.5 | 51.5 | 61.5 | 71.5 |
| 800 | 19 | 51 | 61 | 71 |
| 900 | 19.5 | 50.5 | 60.5 | 70.5 |
| 1000 | 20 | 50 | 60 | 70 |




**ข. องค์ประกอบบริเวณที่ตั้งอาคาร** กรณีที่ตั้งอาคารมีแผงกั้นเสียง (Acoustic Barrier) ระดับเสียงรบกวนที่ลดลงจากแผงกั้นเสียง คือ ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของแผงกั้นเสียง ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนกับแผงกั้นเสียงและระยะห่างของแผงกั้นเสียงกับอาคารที่รับเสียง ซึ่งระดับเสียงที่ลดลงสามารถคำนวณจากสมการ ดังนี้

$$A = 10\log (H^2/R) + 10\log F - 17 \quad \text{---------- (21)}$$

เมื่อ A = ระดับความดันเสียงที่ลดลงเนื่องจากแผงกันเสียง, dB

H = ความสูงของแผงกั้นเสียงจากเส้นระดับของแหล่งกำเนิดเสียงและที่รับเสียง, ft

R = ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงและแผงกันเสียง, ft

F = ความถี่เสียง, Hz

---

[15] Egan, M. David, Concepts in Architectural Acoustics (New York: McGraw-Hill, 1972), p. 185.

**การคำนวณค่าระดับเสียงรบกวนที่ลดลงจากแผงกั้นเสียง**

จากการสำรวจอาคารเรียนในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่า อาคารเรียนที่มีมีปัญหาเกี่ยวกับเสียงรบกวน ส่วนมากเป็นอาคารเรียนที่ตั้งอยู่ริมเส้นทางจารจรที่มีการสัญจรคับคั่ง ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้ จึงเลือกถนนที่มีการสัญจรคับคั่งระดับปานกลางถึงระดับสูงมาเป็นตัวอย่างในการประเมิน ซึ่งเป็นถนนที่มีความกว้างประมาณ 32-48 ฟุต และมีทางเดิน 7 ฟุต ซึ่งระยะห่าง (R) ที่ใกล้สุดระหว่างแผงกั้นเสียงกับแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนเท่ากับ ½ ความกว้างของถนนบวกกับความกว้างของทางเดินและแหล่งกำเนิดเสียงมีระดับสูงจากถนน 1 ฟุต ในส่วนของแผงกั้นเสียงโดยทั่วไปมีความสูง 8 -10 ฟุต รายละเอียดในการคำนวณ มีดังนี้

| | | | ระดับเสียงรบกวนของแหล่งกำเนิดเสียง | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ระยะทาง R (ft) | ความสูง H (ft) | ระดับเสียงที่ลดลง (dB) | 70 dBA | 80 dBA | 90 dBA |
| | 7 | 8 | 62 | 72 | 82 |
| 23 | 8 | 9 | 61 | 71 | 81 |
| | 9 | 10 | 60 | 70 | 80 |
| 31 | 7 | 6 | 64 | 74 | 84 |
| | 8 | 8 | 62 | 72 | 82 |
| | 9 | 9 | 61 | 71 | 81 |

**3. เทคนิคการประเมินค่าในส่วนของการดูดซับเสียงของพื้นผิวภายในห้อง**

ระดับเสียงรบกวนที่ลดลงระหว่างห้องที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียงและห้องที่รับเสียงหรือความแตกต่างระหว่างระดับเสียงรบกวนภายนอกและภายในห้อง คือ ผลบวกระหว่างค่าสูญเสียการส่งผ่านเสียง (ผนัง,พื้น,หลังคา) และค่าดูดซับเสียงของผิวภายในห้องที่รับเสียง ซึ่งแสดงในสมการ ดังนี้ [16]

[16] Ibid; p. 65.

$$NR = TL + 10 \log A / S \quad \text{---------- (22)}$$

เมื่อ NR = ระดับเสียงที่ลดลง, dB

TL = การสูญเสียงการส่งผ่านเสียง (ผนัง,พื้น,หลังคา), dB

A = ค่าดูดซับเสียงรวมของห้องที่รับเสียง, sabines, $ft^2$ ($m^2$)

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

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

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

S = พื้นที่ของผนังที่รับเสียง, $ft^2$ ($m^2$)

จากสมการข้างต้น หากพิจารณาในส่วนของการดูดซับเสียงของพื้นผิวภายในของห้อง (10 log A / S) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ช่วยลดระดับเสียงรบกวนที่ผ่านเข้าภายในห้อง ความสามารถดูดซับเสียงของพื้นผิวภายในห้องเปรียบเสมือนการเพิ่มค่าสูญเสียงกานส่งผ่านเสียง (TL) ให้ระบบเปลือกอาคาร (Stein, B. and Reynolds, J. S. 1992: 1382)

- สำหรับห้องรับเสียงที่มีการดูดซับเสียงต่ำ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเฉลี่ยของห้องมีค่า $\bar{\alpha} < 0.2$ ระดับเสียงรบกวนที่ลดลงจะเท่ากับค่าการสูญเสียงการส่งผ่านเสียงของผนังที่รับเสียงบวกกับ -1 เดซิเบล (NR = TL–1)
- สำหรับห้องรับเสียงที่มีการดูดซับเสียงปานกลาง ระดับเสียงรบกวนที่ลดลงจะเท่ากับค่าการสูญเสียงการส่งผ่านเสียงของผนังที่รับเสียงบวกกับ 4 เดซิเบล (NR = TL+4)
- สำหรับห้องรับเสียงที่มีการดูดซับเสียงสูง ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเฉลี่ยของห้อง $\bar{\alpha} > 0.4$ ระดับเสียงรบกวนที่ลดลงจะเท่ากับค่าการสูญเสียงการส่งผ่านเสียงของผนังที่รับเสียงบวกกับ 7 เดซิเบล (NR =TL+7)

เมื่อพิจารณาผลของระดับเสียงที่ลดลงจากการดูดซับเสียงของพื้นผิวภายในของห้อง พบว่า ค่าระดับเสียงที่ลดลงอยู่ระหว่าง (–1) ถึง (+ 7) เดซิเบล ดังนั้น การพิจารณาเพื่อกำหนดค่าระดับที่ใช้ในการประเมิน โดยแบ่งเป็น 5 ช่วงค่าระดับ ซึ่งห้องรับเสียงที่มีพื้นผิวภายในของห้องมีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงมากที่สุดจะได้ค่าระดับ 5 และห้องรับเสียงที่มีพื้นผิวภายในของห้องมีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงต่ำลดลงก็จะได้ค่าระดับ 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ ดังนี้

| | | |
|---|---|---|
| - ระดับความดันเสียงที่ลดลงน้อยกว่า | 0 เดซิเบล (เอ) | ค่าระดับ 1 |
| - ระดับความดันเสียงที่ลดลงตั้งแต่ | 0 แต่น้อยกว่า 2 เดซิเบล (เอ) | ค่าระดับ 2 |
| - ระดับความดันเสียงที่ลดลงตั้งแต่ | 2 แต่น้อยกว่า 4 เดซิเบล (เอ) | ค่าระดับ 3 |
| - ระดับความดันเสียงที่ลดลงตั้งแต่ | 4 แต่น้อยกว่า 6 เดซิเบล (เอ) | ค่าระดับ 4 |
| - ระดับความดันเสียงที่ลดลงตั้งแต่ | 6 เดซิเบล (เอ) ขึ้นไป | ค่าระดับ 5 |

**การคำนวณค่าดูดซับเสียงรวมของผิวภายในห้องเรียน**

การศึกษาค่าการดูดซับเสียงของผิวภายในของห้องเรียน ใช้การรวบรวมอาคารเรียนระดับประถมศึกษาทั่วไปโดยแยกประเภทห้องตามขนาดและชนิดของวัสดุที่เป็นพื้นผิวภายในของห้องเรียน ซึ่งห้องเรียนที่เลือกมาเป็นตัวอย่างจะมีขนาดตั้งแต่ (สูง, กว้าง, ยาว) 3X6X8 เมตร ถึง 3X9X10 เมตร และมีผนังห้องเป็นผนังผสมที่ประกอบมีประตู 2 บาน พื้นที่ประมาณ 4 ตารางเมตร และมีประตูหน้าต่างหรือช่องแสงประมาณร้อยละ 20 ของพื้นที่ห้อง[17] วัสดุผิวภายในห้องเรียนทั่วไปสามารถแยกเป็น 4 ประเภท คือ

---

[17] กระทรวงศึกษาธิการ ว่าด้วยการกำหนดมาตรฐานโรงเรียนระดับประถมศึกษาของเอกชน พ.ศ. 2531 กรุงเทพฯ: กระทรวงศึกษาธิการ.

ตารางที่ 3.6 แสดงค่าดูดซับเสียงของวัสดุที่เป็นพื้นผิวภายในของห้องเรียนแต่ละประเภท

| | Surface | Absorption Coefficients, $\alpha$ (Frequency 1000 Hz) |
|---|---|---|
| $A_1$ | Ceiling: Plywood, 3/8-in thick | 0.09 |
| | Wall: Brick, unglazed and painted | 0.02 |
| | Floor: Cork, rubber on concrete | 0.03 |
| $A_2$ | Ceiling: Gypsum board, ½-in thick | 0.04 |
| | Wall: Brick, unglazed and painted | 0.02 |
| | Floor: Cork, rubber on concrete | 0.03 |
| $A_3$ | Ceiling: Plywood, 3/8-in thick | 0.09 |
| | Wall: Concrete block, painted | 0.07 |
| | Floor: Cork, rubber on concrete | 0.03 |
| $A_4$ | Ceiling: Gypsum board, ½-in thick [c] | 0.04 |
| | Wall: Concrete block, painted | 0.07 |
| | Floor: Cork, rubber on concrete | 0.03 |
| Window | Glass typical window | 0.12 |
| Door | Wood, ¼-in, paneling with air space behind [c] | 0.08 |
| Student | Students, informally dressed seated in tablet-armchairs [c] | 0.84 |

[c] ที่มา: Egan, M. David. Concepts in Architectural Acoustics (New York: McGraw-Hill, 1972),p. 32-34.

วิธีการคำนวณค่าดูดซับเสียงรวมของพื้นผิวภายในห้องเรียนกรณีห้องเรียนประเภท $A_1$ และขนาดของห้องเท่ากับ (สูง, กว้าง, ยาว) 3X6X8 เมตร จุนักเรียนได้ 35 คน ค่าดูดซับเสียงรวมผิวภายในห้องหาได้จากสูตร

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

| Area of Surface, $m^2$ | Absorption Coefficients, $\alpha$ (Frequency 1000 Hz) | $A = S \times \alpha$ (Sabines, $m^2$) |
|---|---|---|
| $S_1$ Ceiling: Plywood, 3/8-in thick = 48 | $\alpha_1 = 0.09$ | 4.32 |
| $S_2$ Wall: Brick, unglazed and painted = 70.4 | $\alpha_2 = 0.02$ | 1.40 |
| $S_3$ Floor: Cork, rubber on concrete = 48 | $\alpha_3 = 0.03$ | 1.44 |
| $S_4$ Window: Glass typical window = 9.60 | $\alpha_4 = 0.12$ | 1.15 |
| $S_5$ Door: Wood, ¼-in, paneling with air space behind = 4.00 | $\alpha_5 = 0.08$ | 0.32 |
| $S_6$ Students, informally dressed seated in tablet-armchairs = 35 | $\alpha_6 = 0.84$ | 29.40 |
| | Total | 38.00 |

ตารางที่ 3.7 การหาค่าการดูดซับเสียงรวมของพื้นผิวภายในห้องเรียนประเภทต่าง ๆ

| ขนาดของห้องเรียน (สูง, กว้าง, ยาว), m | พื้น ($m^2$) | เพดาน ($m^2$) | ผนังทึบ ($m^2$) | กระจก20% พื้นที่ห้อง | ประตู ($m^2$) | จำนวน นักเรียน | Absorption Units (Sabines, $m^2$) $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3X6X8 | 48 | 48 | 70.4 | 9.6 | 4 | 35 | 38 | 36 | 42 | 39 |
| 3X6X9 | 53 | 53 | 75.2 | 10.8 | 4 | 35 | 39 | 36 | 43 | 40 |
| 3X6X10 | 60 | 60 | 80 | 12 | 4 | 35 | 40 | 37 | 44 | 41 |
| 3X7X7 | 49 | 49 | 70.2 | 9.8 | 4 | 35 | 38 | 36 | 42 | 39 |
| 3X7X8 | 56 | 56 | 74.8 | 11.2 | 4 | 35 | 39 | 36 | 43 | 40 |
| 3X7X9 | 63 | 63 | 79.4 | 12.6 | 4 | 35 | 40 | 37 | 44 | 41 |
| 3X7X10 | 70 | 70 | 84 | 14 | 4 | 35 | 41 | 38 | 46 | 42 |
| 3X8X8 | 64 | 64 | 79.2 | 12.8 | 4 | 35 | 40 | 37 | 44 | 41 |
| 3X8X9 | 72 | 72 | 83.6 | 14.4 | 4 | 40 | 46 | 42 | 50 | 47 |
| 3X8X10 | 80 | 80 | 88 | 16 | 4 | 40 | 47 | 43 | 52 | 48 |
| 3X9X9 | 81 | 81 | 87.8 | 16.2 | 4 | 45 | 52 | 47 | 56 | 52 |
| 3X9X10 | 90 | 90 | 92 | 18 | 4 | 45 | 53 | 48 | 58 | 53 |

จากสมการ 22 การหาค่าระดับเสียงที่ลดลงจากการดูดซับเสียงของพื้นผิวภายในห้อง คือ ความสัมพันธ์แบบ Logarithmic ระหว่างผนังที่รับเสียงและค่าดูดซับเสียงรวมของพื้นผิวภายในห้องที่รับเสียง (10 log A/S) ดังนั้น การคำนวณค่าระดับเสียงรบกวนที่ลดลงจากการดูดซับเสียงของพื้นผิวภายในห้องเรียนที่รับเสียง โดยใช้ข้อมูลการดูดซับเสียงของพื้นผิวภายในห้องเรียนประเภทต่าง ๆ จากตารางที่ 3.6 และกำหนดให้ผนังที่รับเสียงเป็นผนังด้านยาวของห้องเรียนการคำนวณมีดังตอนต่อไปนี้

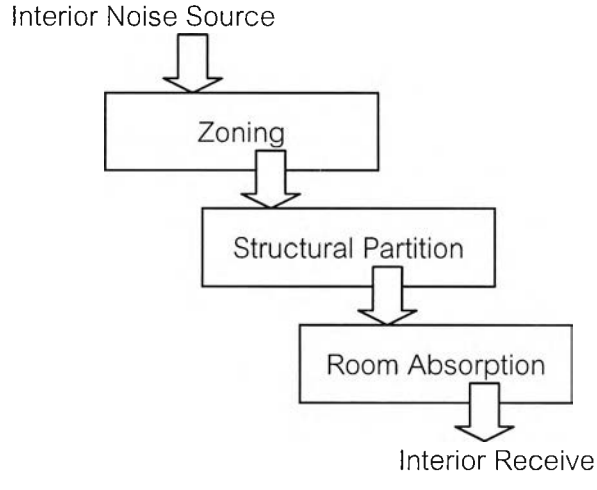
ตารางที่ 3.8 แสดงค่าระดับเสียงรบกวนที่ลดลงจากค่าดูดซับเสียงของพื้นผิวภายในห้องที่รับเสียง

| ขนาดของห้องเรียน (สูง, กว้าง, ยาว), m | ประเภทห้อง | ค่าดูดซับเสียงของห้อง, (Sabines, $m^2$) | พื้นที่ผนังที่รับเสียง, $m^2$ | ระดับความดันเสียงที่ลดลง, dBA | ค่าระดับ |
|---|---|---|---|---|---|
| 3X6X8 | $A_1$ | 38 | 24 | 1.99 | 2 |
| | $A_2$ | 36 | | 1.76 | 2 |
| | $A_3$ | 42 | | 2.43 | 3 |
| | $A_4$ | 39 | | 2.10 | 3 |
| 3X6X9 | $A_1$ | 39 | 27 | 1.59 | 2 |
| | $A_2$ | 36 | | 1.24 | 2 |
| | $A_3$ | 43 | | 2.02 | 3 |
| | $A_4$ | 40 | | 1.70 | 2 |
| 3X6X10 | $A_1$ | 40 | 30 | 1.24 | 2 |
| | $A_2$ | 37 | | 0.91 | 2 |
| | $A_3$ | 44 | | 1.66 | 2 |
| | $A_4$ | 41 | | 1.35 | 2 |
| 3X7X7 | $A_1$ | 38 | 21 | 2.57 | 3 |
| | $A_2$ | 36 | | 2.34 | 3 |
| | $A_3$ | 42 | | 3.01 | 3 |
| | $A_4$ | 39 | | 2.68 | 3 |
| 3X7X8 | $A_1$ | 39 | 24 | 2.10 | 3 |
| | $A_2$ | 36 | | 1.76 | 2 |
| | $A_3$ | 43 | | 2.53 | 3 |
| | $A_4$ | 40 | | 2.21 | 3 |
| 3X7X9 | $A_1$ | 40 | 27 | 1.70 | 2 |
| | $A_2$ | 37 | | 1.36 | 2 |
| | $A_3$ | 44 | | 2.12 | 3 |
| | $A_4$ | 41 | | 1.81 | 2 |
| 3X7X10 | $A_1$ | 41 | 30 | 1.35 | 2 |
| | $A_2$ | 38 | | 1.02 | 2 |
| | $A_3$ | 46 | | 1.85 | 2 |
| | $A_4$ | 42 | | 1.46 | 2 |

| ขนาดของห้องเรียน (สูง, กว้าง, ยาว), m | ประเภทห้อง | ค่าดูดซับเสียงของห้อง, (Sabines, $m^2$) | พื้นที่ผนังที่รับเสียง, $m^2$ | ระดับความดันเสียงที่ลดลง, dBA | ค่าระดับ |
|---|---|---|---|---|---|
| 3X8X8 | $A_1$ | 40 | 24 | 2.21 | 3 |
| | $A_2$ | 37 | | 1.87 | 2 |
| | $A_3$ | 44 | | 2.63 | 3 |
| | $A_4$ | 41 | | 2.32 | 3 |
| 3X8X9 | $A_1$ | 46 | 27 | 2.31 | 3 |
| | $A_2$ | 42 | | 1.91 | 2 |
| | $A_3$ | 50 | | 2.67 | 3 |
| | $A_4$ | 47 | | 2.40 | 3 |
| 3X8X10 | $A_1$ | 47 | 30 | 1.94 | 2 |
| | $A_2$ | 43 | | 1.56 | 2 |
| | $A_3$ | 52 | | 2.38 | 3 |
| | $A_4$ | 48 | | 2.04 | 3 |
| 3X9X9 | $A_1$ | 52 | 27 | 2.84 | 3 |
| | $A_2$ | 47 | | 2.40 | 3 |
| | $A_3$ | 56 | | 3.16 | 3 |
| | $A_4$ | 52 | | 2.84 | 3 |
| 3X9X10 | $A_1$ | 53 | 30 | 2.47 | 3 |
| | $A_2$ | 48 | | 2.04 | 3 |
| | $A_3$ | 58 | | 2.86 | 3 |
| | $A_4$ | 53 | | 2.47 | 3 |

## 3.2 การวิเคราะห์ค่าน้ำหนักในการประเมินค่าการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายในอาคาร

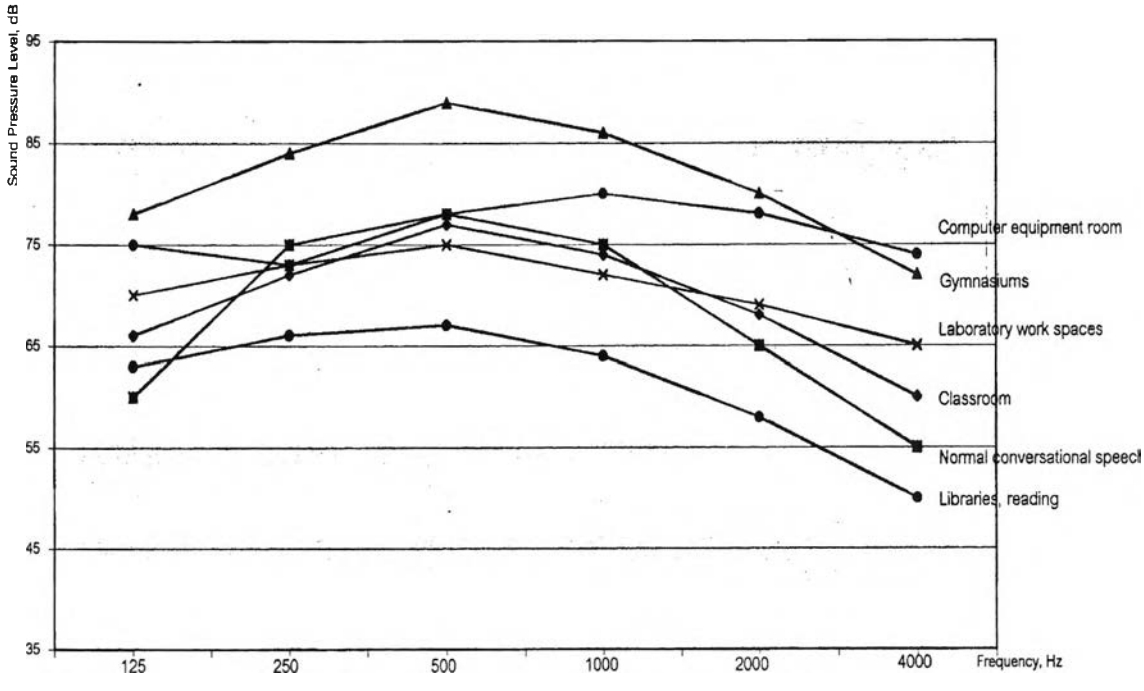
การออกแบบอาคารนอกจากการศึกษาการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารแล้ว ควรศึกษาการป้องกันเสียงรบกวนที่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายในอาคารด้วย โดยทั่วไปเสียงรบกวนที่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายในอาคารจะเป็นเสียงจากการสนทนา เสียงของคนเดิน เสียงจากอุปกรณ์ เครื่องจักรกล ฯลฯ ซึ่งวิธีการป้องกันหรือลดระดับเสียงรบกวนในเบื้องต้นควรศึกษาระดับเกณฑ์เสียงที่ต้องการของแต่ละห้องเพื่อแบ่งเขตที่ต้องการความสงบและเขตที่มีเสียงรบกวน การควบคุมเสียงรบกวนด้วยค่าความเป็นฉนวนกันเสียงของระบบโครงสร้างของอาคารและการลดระดับเสียงด้วยการดูดซับเสียงของพื้นผิวภายในห้องที่รับเสียง (Sound Research Laboratories Limited, 1976: 105-108) ซึ่งขั้นตอนหลักในการป้องกันเสียงรบกวนที่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายในอาคาร มีดังนี้




แผนภูมิ 3.9 แสดงกลุ่มตัวแปรและขั้นตอนการป้องกันเสียงรบกวนที่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายในอาคาร

สำหรับอาคารเรียนเสียงรบกวนที่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายในอาคาร ได้แก่ เสียงจากอุปกรณ์ เสียงของนักเรียนที่มีกิจกรรมแตกต่างกัน จากผลการตรวจวัดค่าระดับเสียงรบกวนแต่ละประเภท พบว่า ระดับเสียงรบกวนอยู่ระหว่าง 50 ถึง 89 เดซิเบล (แผนภูมิ 3.10) เกณฑ์เสียงสำหรับห้องเรียนมีค่าเฉลี่ย 45 เดซิเบล ดังนั้น ความต้องการในการลดระดับเสียงรบกวนประมาณ 5-44 เดซิเบล ซึ่งการออกแบบอาคารเรียนเพื่อป้องกันเสียงรบกวนโดยใช้การพิจารณาการแบ่งเขตที่ต้องการความสงบออกจากเขตที่มีเสียงรบกวน การลดระดับเสียงรบกวนด้วยค่าความเป็นฉนวนของผนังกั้นห้องและการเลือกใช้วัสดุที่มีค่าดูดซับเสียงภายในห้องที่รับเสียง จะช่วยลดระดับความเข้มเสียงได้ในระดับหนึ่ง

ดังนั้น การศึกษาในการสร้างแบบประเมินค่าการป้องกันเสียงรบกวนจากสภาพแวดล้อม ในครั้งนี้ จะศึกษาเฉพาะเสียงรบกวนที่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารเรียนเท่านั้น




แผนภูมิ 3.10 แสดงระดับเสียงรบกวนที่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายในอาคารเรียน

ที่มา: Egan, M. David. Concepts in Architectural Acoustics (New York: McGraw-Hill, 1972), p. 21-22.

## 3.3 เทคนิคการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักและค่าระดับของตัวแปรในการประเมินค่าการควบคุมเสียงภายในอาคาร

### 3.3.1 ค่าน้ำหนักของกลุ่มตัวแปรเกี่ยวกับการควบคุมเสียงภายในอาคาร

การออกแบบอาคารที่มีศักยภาพในการควบคุมเสียงภายใน คือการที่ผู้ใช้อาคารทุกที่ได้รับฟังเสียงที่ชัดเจนเท่า ๆ กัน ซึ่งตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการรับฟังเสียงของผู้ใช้อาคาร ได้แก่ ระดับความดันเสียง (Sound Pressure Level, SPL) ค่าระดับความดันเสียง ณ ที่หนึ่ง ๆ ภายในห้องปิดเท่ากับผลบวกระหว่างค่าของเสียงตรง (Direct Sound) และReverberant Sound จากพื้นผิวภายในห้องนั้น (Sound Research Laboratories Limited, 1976: 15)

จากข้อกำหนดในการศึกษาครั้งนี้ กำหนดให้ระดับกำลังเสียงเฉลี่ยของครูผู้สอนเท่ากับ 65 เดซิเบล (เอ) และห้องเรียนกรณีศึกษาเป็นห้องเรียนที่เป็นมาตรฐานของกระทรวงศึกษาธิการ ซึ่งมีปริมาตรตั้งแต่ 144 ถึง 270 ลูกบาศก์เมตร และระยะห่างที่ไกลที่สุดระหว่างครูผู้สอนถึงนักเรียนคนที่นั่งหลังห้องประมาณ 7-9 เมตร

จากกำหนดในข้างต้นจะนำมาศึกษาระดับความดันเสียงในส่วนของเสียงตรง (Direct Sound Pressure Level) ซึ่งระดับความดันของเสียงตรงภายในห้องปิดจะลดระดับลงตามระยะทางที่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงตามกฎของความผกผัน (Inverse square law) จากโมโนแกรม 2 (รูปที่ 3.4) จะได้ค่าระดับความดันของเสียงตรงที่เกิดขึ้นภายในห้องตามระยะทางที่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง ดังนี้

| ระดับกำลังเสียงของครูผู้สอน | 65 เดซิเบล (เอ) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง, เมตร | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| ระดับเสียงที่ลดลงจากระยะห่าง,เดซิเบล(เอ) | -12 | -17 | -21 | -23 | -25 | -26 | -28 | -29 | -30 |
| ระดับเสียงตรงภายในห้องเรียน, เดซิเบล (เอ) | 53 | 48 | 44 | 42 | 40 | 39 | 37 | 36 | 35 |
| เปรียบเทียบกับเกณฑ์เสียงเฉลี่ยของ ห้องเรียน 45 เดซิเบล (เอ) | 8 | 3 | -1 | -3 | -5 | -6 | -8 | -9 | -10 |

จากผลการคำนวณค่าระดับความดันของเสียงตรงภายในห้องเรียนและนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์เสียงของห้องเรียนที่มีระดับความดันเสียงเฉลี่ย 45 เดซิเบล (เอ) ในข้างต้น พบว่าระยะทางที่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงครูผู้สอนตั้งแต่ 3 ถึง 9 เมตร มีค่าระดับเสียงตรงต่ำกว่าค่าของเกณฑ์เสียง ซึ่งระดับความดันเสียงตรงที่ต่ำที่สุดที่ระยะทาง 9 เมตร มีระดับความดันเสียงตรง

เท่ากับ 35 เดซิเบล (เอ) [18] ดังนั้น เพื่อให้อาคารมีศักยภาพในการควบคุมเสียงภายในควรมีการศึกษาเกี่ยวกับ Reverberant Sound ภายในห้องเพื่อช่วยเพิ่มระดับความดันเสียงตรง

การศึกษาในส่วนของ Reverberant Sound Pressure Level, RSPL ซึ่งค่า Reverberant Sound ณ ที่หนึ่ง ๆ ภายในห้องปิด มีค่าเท่ากับระดับความดันเสียงของแหล่งกำเนิดเสียงบวกกับระดับเสียงที่ลดลงจากการดูดซับเสียงของพื้นผิวภายในห้องและปริมาตรของห้องนั้น การศึกษาระดับเสียงที่ลดลงจากโมโนแกรม 1 และ3 (รูปที่ 3.3) มีดังนี้

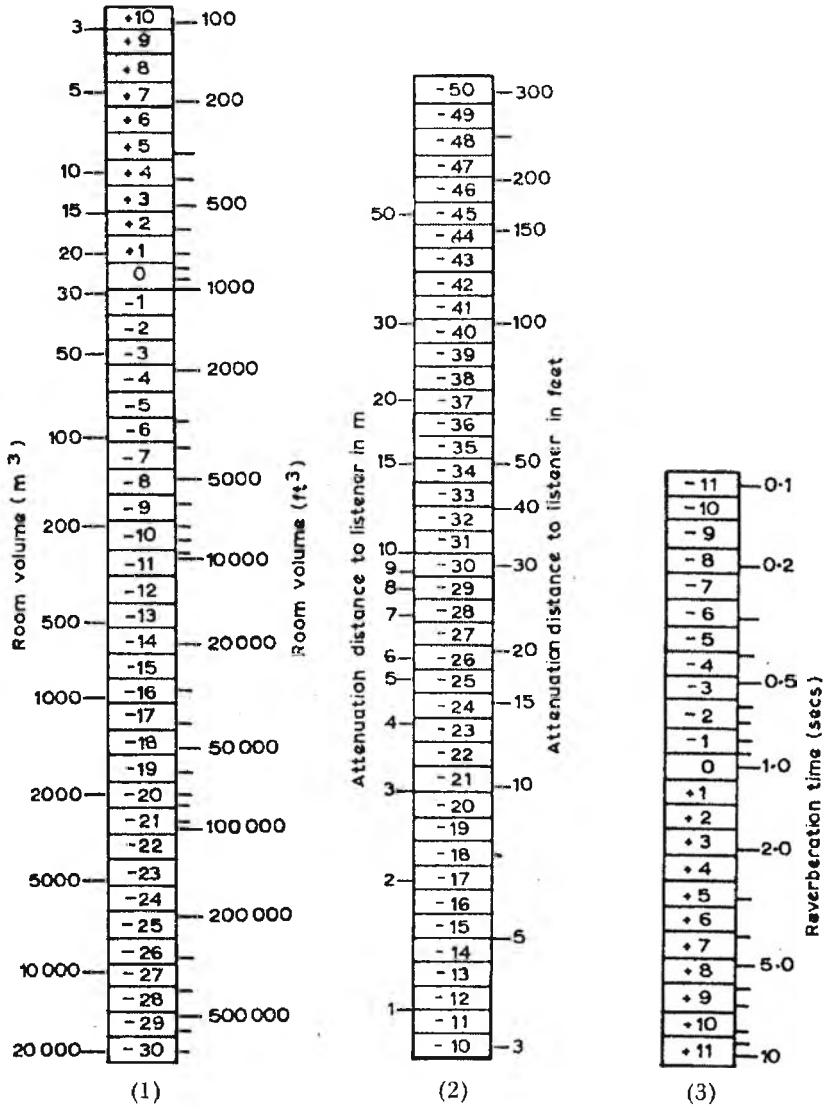
| | |
|---|---|
| ระดับกำลังเสียงของครูผู้สอน | 65 เดซิเบล (เอ) |
| ปริมาตร 144 $m^3$ (โนโมแกรม1.) | -8 เดซิเบล (เอ) |
| Reverberation Time 0.60-0.80 sec (โนโมแกรม3.) | -2 เดซิเบล (เอ) |
| Reverberant Sound Pressure Level, RSPL | 55 เดซิเบล (เอ) |

| | |
|---|---|
| ระดับกำลังเสียงของครูผู้สอน | 65 เดซิเบล (เอ) |
| ปริมาตร 270 $m^3$ (โนโมแกรม1.) | -11 เดซิเบล (เอ) |
| Reverberation Time 0.60-0.80 sec (โนโมแกรม3.) | -2 เดซิเบล (เอ) |
| Reverberant Sound Pressure Level, RSPL | 52 เดซิเบล (เอ) |

เมื่อได้ค่าระดับความดันของเสียงตรงและ Reverberant Sound Pressure Level, RSPL ของห้องเรียน จึงนำมาคำนวณหาค่าระดับความดันเสียงรวมของห้องเรียน โดยใช้วิธีบวกเดซิเบลของสองเสียง เริ่มจากการคำนวณหาค่าความแตกต่างระหว่างสองเสียง จากนั้นนำค่าความแตกต่างที่ได้เปรียบเทียบกับค่าที่แสดงในรูปที่ 3.4 เพื่อหาค่าระดับเสียงมาบวกเพิ่ม เมื่อได้ระดับเสียงที่มาบวกเพิ่มจะนำมาบวกกับระดับเสียงที่มีค่ามากที่สุด รายละเอียดการคำนวณ มีดังนี้

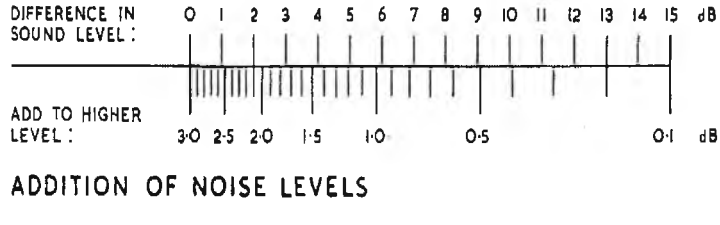
| ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง, m | RSPL, dBA | SPL ของเสียงตรง, dBA | ความแตกต่างของสองเสียง, dBA | ระดับเสียงบวกเพิ่ม | SPLของห้องเรียน, dBA |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 55 | 37 | 18 | 0.00 | 55 |
| 9 | 52 | 35 | 17 | 0.00 | 52 |

[18] เสียงที่มีศักยภาพในการรับฟังควรมีระดับความดันเสียงมากกว่าระดับความดันเสียงที่เป็นเสียงแบคกราวด์ของห้องนั้นประมาณ 15-20 เดซิเบล (เอ)




รูปที่ 3.3 แสดงโมโนแกรมประมาณค่าระดับความดันเสียงภายในห้องปิด

ที่มา: SRL. Sound Research Laboratories Limited. Practical Building Acoustics (New York: John Wiley & Sons, 1976), p. 31.



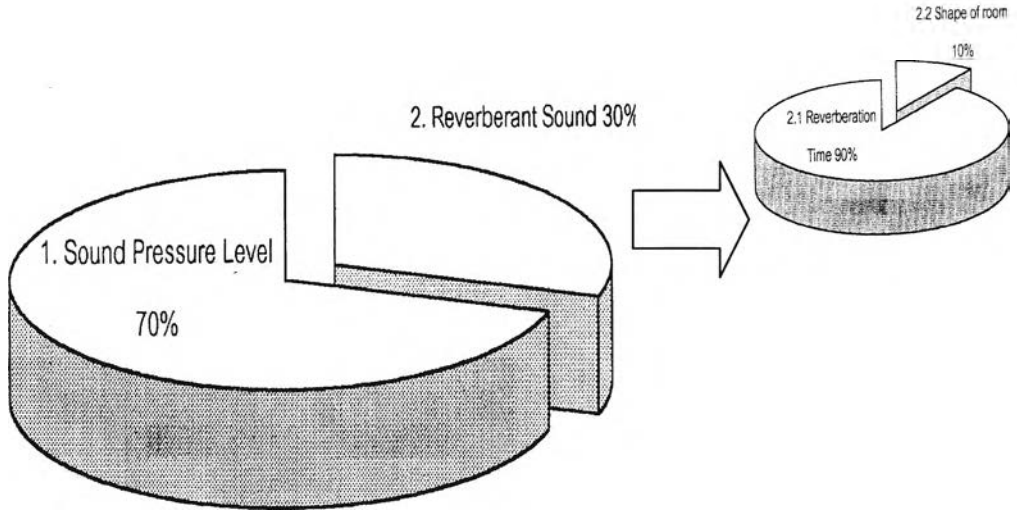

รูปที่ 3.4 แสดงการบวกเสียงจาก 2 แหล่งกำเนิดเสียง

ที่มา: Moore, John Edwin. Design for Good Acoustics and Noise Control (London: the Macmillan Press, 1978), p. 109.

การศึกษาหาสัดส่วนของ Reverberant Sound ภายในห้องเรียน โดยกำหนดให้ระดับความดันเสียงรวมของห้องเรียนที่ทำการศึกษา (52-55 เดซิเบล (เอ)) มีน้ำหนักเท่ากับ 100 จากนั้นนำมาลบกับสัดส่วนร้อยละของระดับความดันของเสียงตรงจะได้สัดส่วนของ Reverberant Sound ร้อยละ 33 รายละเอียดการคำนวณมีดังนี้

| SPL รวมภายในห้อง | SPL เสียงตรง | RSPL | สัดส่วนของ Reverberant Sound |
|---|---|---|---|
| 55 | 37 | 18 | 33 % |
| 52 | 35 | 17 | 33 % |

ในการศึกษาเพื่อหาค่าน้ำหนักของตัวแปรที่ใช้เป็นตัวคูณในการประเมินค่าการควบคุมเสียงภายในอาคารเรียนครั้งนี้ ใช้ข้อมูลสัดส่วนของตัวแปรเกี่ยวกับ Reverberant Sound ที่ได้วิเคราะห์ในข้างต้น เพื่อสะดวกในการศึกษาจึงกำหนดค่าน้ำหนักของตัวแปร ที่ประกอบด้วย ตัวแปรเกี่ยวกับระดับความดันเสียงของห้องร้อยละ 70 และกลุ่มตัวแปรเกี่ยวกับ Reverberant Sound ภายในห้องร้อยละ 30




แผนภูมิ 3.11 แสดงการกำหนดค่าน้ำหนักของกลุ่มตัวแปรที่มีอิทธิพลในการควบคุมเสียงภายในอาคาร

1. **ระดับความดันของเสียง** หมายถึง ค่าที่ใช้ประเมินการได้ยินของหูคน สำหรับระดับความดันเสียงของห้องเรียนที่นำมาประเมิน จะกำหนดเอาระดับความดันเสียงที่นักเรียนคนสุดท้ายที่นั่งหลังห้องเรียนของห้องที่ประเมิน ระดับความดันเสียงภายในห้องสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของระดับกำลังเสียงที่เกิดขึ้น โดยระดับความดันเสียงที่จุดหนึ่งที่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง คือผลบวกของเสียงตรงและReverberant Sound

2. Reverberant Sound

2.1 Reverberation Time, (RT) หมายถึง เวลาที่ใช้สำหรับให้พลังงานหนาแน่นหรือระดับความดันเสียงของสนามเสียงลดลง 60 dB ต่ำกว่าระดับเสียงคงตัว (Steady-state level) ซึ่ง RT ที่เหมาะสมของห้องขึ้นกับปริมาตรห้องและลักษณะการใช้สอย RT สามารถคำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรห้องและการดูดซับเสียงรวมของพื้นผิวภายในห้องนั้น

2.2 รูปร่างและขนาดของห้อง หมายถึง ลักษณะของผังและปริมาตรของห้องที่มีผลต่อทิศทางและการกระจายของเสียงตรงและค่า Reverberant Sound รูปร่างห้องที่ดีในการควบคุมเสียงภายใน คือ การหลีกเลี่ยงผนังที่ขนานกันซึ่งเป็นที่ทำให้เกิดการสะท้อนเสียงกลับไปมาและสัดส่วนของห้องที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่า RT ที่เหมาะสม

### 3.3.2 การกำหนดค่าระดับในการประเมินค่าการควบคุมเสียงภายในอาคาร

**1. เทคนิคการประเมินค่าระดับความดันของเสียงภายในห้อง**

การประมาณค่าระดับความดันเสียงในห้องปิดที่เกิดขึ้นที่จุดใด ๆ ภายในห้อง มีความสัมพันธ์กับระดับกำลังเสียงที่เกิดขึ้น ระยะทางและระดับการดูดซับเสียงของพื้นผิวภายในอาคาร การหาค่าระดับความดันเสียงมีสมการ ดังนี้ [19]

$$SPL = PWL + 10\log (Q/4\pi r^2 + 4/R) \quad \text{----------(23)}$$

เมื่อ SPL = ระดับความดันเสียงภายในห้องปิด, dB

PWL = ระดับกำลังเสียง, dB

Q = Directivity factor

r = ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงและผู้ฟัง, m (ft)

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

---

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

$$R = S\bar{\alpha} / (1-\bar{\alpha}) = A / (1-\bar{\alpha}) \text{ ----------(24)}$$

เมื่อ $\bar{\alpha} = A / S$

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

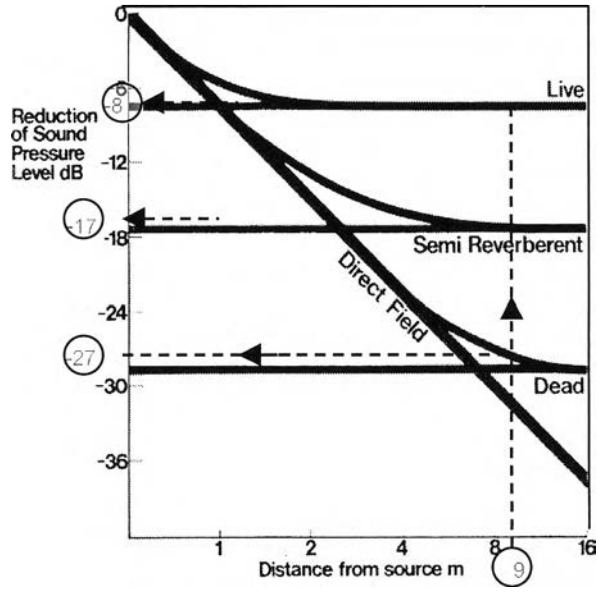
$\bar{\alpha}$ = ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงภายในห้อง

A = ค่าดูดซับเสียงของพื้นผิวห้อง (Sabines, $m^2$)

การศึกษาเกี่ยวกับการสะท้อนเสียงและการดูดซับเสียงของพื้นผิว (Surface) ภายในห้อง พบว่า ห้องที่มีสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเฉลี่ยของพื้นผิวภายในห้อง ($\bar{\alpha}$) เท่ากับ 0.20 คือ ห้องที่มีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงต่ำแต่มีการสะท้อนเสียงสูงปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า Sound Live ส่วนห้องที่มีสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเฉลี่ยของพื้นผิวภายในห้อง ($\bar{\alpha}$) เท่ากับ 0.40 คือ ห้องที่มีการดูดซับเสียงสูงแต่ไม่มีการสะท้อนเสียง เรียกว่า Sound Dead

(Stein, B. and Reynolds, J. S, 1992: 1341)

จากผลการวิเคราะห์เกี่ยวกับการดูดซับเสียงและการสะท้อนเสียงของห้องปิดในข้างต้น สามารถแบ่งห้องเรียนออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ Sound live room, Semi reverberation room และSound dead room จากนั้นนำค่าระดับกำลังเสียงเฉลี่ยของครูผู้สอนที่ได้กำหนดไว้ 65 เดซิเบล (เอ) มาคำนวณหาขอบเขตระดับความดันเสียงที่เกิดขึ้นในห้องเรียนทั้ง 3 ประเภท โดยใช้แผนภูมิ 3.12 เพื่อหาค่าระดับความเข้มเสียงที่ลดลงจากระยะทางและการดูดซับเสียงของพื้นผิวภายในห้อง




แผนภูมิ 3.12 แสดงระดับความดันเสียงในกรณีการดูดซับเสียงของผิวภายในห้องแตกต่างกัน

ที่มา: SRL. Sound Research Laboratories Limited. Practical Building Acoustics (New York: John Wiley & Sons, 1976), p. 27.

| สถานการณ์ของห้องเรียน | SPL ที่ระยะห่าง 9 เมตร จากครูผู้สอน, เดซิเบล เอ) |
|---|---|
| Sound live | 65 – 8 = 57 |
| Semi reverberation | 65 –17 = 48 |
| Sound dead | 65 –27 = 38 |

จากผลการคำนวณข้างต้น ระดับความดันเสียงที่นักเรียนคนที่นั่งไกลที่สุดได้ยินอยู่ระหว่าง 38-57 เดซิเบล (เอ) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเสียงแบคกราวด์ของห้องเรียนที่มีค่าเกณฑ์เสียงเฉลี่ย SPL เท่ากับ 45 เดซิเบล (เอ) พบว่า ในกรณีของ Sound dead room ห้องเรียนมี SPL น้อยกว่า SPL เฉลี่ยของเกณฑ์เสียง อย่างไรก็ตามค่าเกณฑ์เสียงที่นำมาพิจารณาครั้งนี้เป็นเพียงเกณฑ์เสียงเฉลี่ย ซึ่งขอบเขต SPL ของเกณฑ์เสียงของห้องเรียนอยู่ระหว่าง 38-47 เดซิเบล (เอ)

เพื่อเป็นมาตรฐานในการประเมิน จึงใช้ทฤษฎีความแตกต่างเกี่ยวกับเข้มเสียงและผลต่อการได้ยินของหูคนเพื่อเป็นเกณฑ์ในการแบ่งค่าระดับ ซึ่งระดับความเข้มเสียงที่ต่างกันมีผลต่อการได้ยินของหูคนดังนี้

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

ที่มา: Egan, M. David. Concepts in Architectural Acoustics (New York: McGraw-Hill, 1972), p. 14.

จากค่าความเข้มเสียงที่แตกต่างกันและผลต่อการได้ยินของหูคน นำมาเปรียบเทียบกับ SPL เฉลี่ยของเกณฑ์เสียง หากระดับความดันเสียงที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่า SPL เฉลี่ยของเกณฑ์เสียงจะได้ค่าระดับ 1 ถ้าระดับความดันเสียงที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่า SPL เฉลี่ยของเกณฑ์เสียงก็จะได้ค่าระดับ 2, 3, 4 และ5 ตามลำดับ หมายความว่า ระดับความดันเสียงที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกับ SPL เฉลี่ยของเกณฑ์เสียงยิ่งมากก็จะค่าระดับมากขึ้นตามลำดับ ดังนี้

| | |
|---|---|
| ระดับความดันเสียงน้อยกว่า 45 เดซิเบล (เอ) | ค่าระดับ 1 |
| ระดับความดันเสียงตั้งแต่ 45 แต่น้อยกว่า 50 เดซิเบล (เอ) | ค่าระดับ 2 |
| ระดับความดันเสียงตั้งแต่ 50 แต่น้อยกว่า 55 เดซิเบล (เอ) | ค่าระดับ 3 |
| ระดับความดันเสียงตั้งแต่ 55 แต่น้อยกว่า 60 เดซิเบล (เอ) | ค่าระดับ 4 |
| ระดับความดันเสียงตั้งแต่ 60 แต่น้อยกว่า 65 เดซิเบล (เอ) | ค่าระดับ 5 |

เพื่อเป็นตัวอย่างในการประเมินค่าในส่วนของระดับความดันเสียง จึงนำเอาข้อมูลห้องเรียนที่แบ่งประเภทห้องตามขนาดและชนิดของวัสดุของพื้นผิวภายในที่ได้รวบรวมไว้แล้วในตัวอย่างของการประเมินค่าการดูดซับเสียงของพื้นผิวภายในห้อง ข้อ 3.1.3 จากนั้นนำมาคำนวณค่า SPL ที่นักเรียนคนที่นั่งไกลที่สุดของห้องเรียน ซึ่งระยะของนักเรียนคนที่นั่งไกลสุดจากครูผู้สอนของแต่ละห้องขึ้นกับลักษณะการเรียนการสอน แต่ในการเรียน-การสอนแบบทั่วไประยะของนักเรียนคนที่นักไกลสุดจากครูผู้สอน เท่ากับ ความยาวห้องเรียนลบออก 1 เมตร

การคำนวณ SPL ของห้องเรียนจากระดับกำลังเสียงเฉลี่ยของครูผู้สอน PWL เท่ากับ 65 เดซิเบล (เอ) และมีตำแหน่งตรงกลางผนังด้านใดด้านหนึ่งจะได้ Directivity factor ($Q_2 = 2$)

จากสมการ (23) จะได้ $SPL = 65 + 10 \log (1/2\pi r^2 + 4/R)$ ----------(25)

คำนวณค่า Room constant จากสมการ (24) $R = S\bar{\alpha} / (1-\bar{\alpha}) = A / (1-\bar{\alpha})$

ตารางที่ 3.9 แสดงค่า Room constant

| ขนาดของห้องเรียน (สูง, กว้าง, ยาว), m | | ค่าดูดซับเสียงของผิวห้อง, (Sabines, $m^2$) [d] | พื้นที่ทั้งหมดของพื้นผิวห้อง, $m^2$ | สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเฉลี่ยของห้อง ($\bar{\alpha}$) | Room constant, $m^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 3X6X8 | $A_1$ | 38 | 180 | 0.211 | 48.16 |
| | $A_2$ | 36 | " | 0.200 | 45.00 |
| | $A_3$ | 42 | " | 0.233 | 54.75 |
| | $A_4$ | 39 | " | 0.216 | 49.74 |
| 3X6X9 | $A_1$ | 39 | 198 | 0.196 | 48.50 |
| | $A_2$ | 36 | " | 0.181 | 43.95 |
| | $A_3$ | 43 | " | 0.217 | 54.91 |
| | $A_4$ | 40 | " | 0.202 | 50.12 |
| 3X6X10 | $A_1$ | 40 | 216 | 0.185 | 49.07 |
| | $A_2$ | 37 | " | 0.171 | 44.63 |
| | $A_3$ | 44 | " | 0.203 | 55.20 |
| | $A_4$ | 41 | " | 0.189 | 50.55 |
| 3X7X7 | $A_1$ | 38 | 182 | 0.208 | 47.97 |
| | $A_2$ | 36 | " | 0.197 | 44.83 |
| | $A_3$ | 42 | " | 0.230 | 54.54 |
| | $A_4$ | 39 | " | 0.214 | 49.61 |

[d] ที่มา: การหาค่าการดูดซับเสียงรวมผิวภายในห้องเรียนประเภทต่าง ๆข้อมูลจากตารางที่ 37, หน้า 82.

| ขนาดห้องเรียน (สูง, กว้าง, ยาว), m | | ค่าดูดซับเสียงของผิวห้อง, (Sabines, $m^2$) | พื้นที่ทั้งหมดของพื้นผิวห้อง, $m^2$ | ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเฉลี่ยของห้อง ($\bar{\alpha}$) | Room constant, $m^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 3X7X8 | $A_1$ | 39 | 202 | 0.193 | 48.32 |
| | $A_2$ | 36 | " | 0.178 | 43.79 |
| | $A_3$ | 43 | " | 0.212 | 54.56 |
| | $A_4$ | 40 | " | 0.198 | 49.87 |
| 3X7X9 | $A_1$ | 40 | 222 | 0.180 | 48.78 |
| | $A_2$ | 37 | " | 0.166 | 44.36 |
| | $A_3$ | 44 | " | 0.198 | 54.86 |
| | $A_4$ | 41 | " | 0.184 | 50.24 |
| 3X7X10 | $A_1$ | 41 | 242 | 0.169 | 49.33 |
| | $A_2$ | 38 | " | 0.157 | 45.07 |
| | $A_3$ | 46 | " | 0.190 | 56.79 |
| | $A_4$ | 42 | " | 0.173 | 50.78 |
| 3X8X8 | $A_1$ | 40 | 224 | 0.178 | 48.66 |
| | $A_2$ | 37 | " | 0.165 | 44.31 |
| | $A_3$ | 44 | " | 0.196 | 54.72 |
| | $A_4$ | 41 | " | 0.183 | 50.18 |
| 3X8X9 | $A_1$ | 46 | 246 | 0.186 | 56.51 |
| | $A_2$ | 42 | " | 0.170 | 50.60 |
| | $A_3$ | 50 | " | 0.203 | 62.73 |
| | $A_4$ | 47 | " | 0.191 | 58.09 |
| 3X8X10 | $A_1$ | 47 | 268 | 0.175 | 56.96 |
| | $A_2$ | 43 | " | 0.160 | 51.19 |
| | $A_3$ | 52 | " | 0.194 | 64.51 |
| | $A_4$ | 48 | " | 0.179 | 58.46 |
| 3X9X9 | $A_1$ | 52 | 270 | 0.192 | 64.35 |
| | $A_2$ | 47 | " | 0.174 | 56.90 |
| | $A_3$ | 56 | " | 0.207 | 70.61 |
| | $A_4$ | 52 | " | 0.192 | 64.35 |
| 3X9X10 | $A_1$ | 53 | 294 | 0.180 | 64.63 |
| | $A_2$ | 48 | " | 0.163 | 57.34 |
| | $A_3$ | 58 | " | 0.197 | 72.22 |
| | $A_4$ | 53 | " | 0.180 | 64.63 |

ตารางที่ 3.10 แสดงค่าระดับและระดับความดันเสียงที่นักเรียนคนที่นั่งไกลที่สุดของห้องได้ยิน

| ขนาดของห้องเรียน (สูง, กว้าง, ยาว), m | | Room constant, $m^2$ | ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงและผู้ฟัง, m | ระดับความดันเสียงภายในห้อง, dBA | ค่าระดับ |
|---|---|---|---|---|---|
| 3X6X8 | $A_1$ | 48.16 | 7 | 54 | 3 |
| | $A_2$ | 45.00 | " | 55 | 4 |
| | $A_3$ | 54.75 | " | 54 | 3 |
| | $A_4$ | 49.74 | " | 54 | 3 |
| 3X6X9 | $A_1$ | 48.50 | 8 | 54 | 3 |
| | $A_2$ | 43.95 | " | 55 | 4 |
| | $A_3$ | 54.91 | " | 54 | 3 |
| | $A_4$ | 50.12 | " | 54 | 3 |
| 3X6X10 | $A_1$ | 49.07 | 9 | 54 | 3 |
| | $A_2$ | 44.63 | " | 55 | 4 |
| | $A_3$ | 55.20 | " | 54 | 3 |
| | $A_4$ | 50.55 | " | 54 | 3 |
| 3X7X7 | $A_1$ | 47.97 | 6 | 54 | 3 |
| | $A_2$ | 44.83 | " | 55 | 4 |
| | $A_3$ | 54.54 | " | 54 | 3 |
| | $A_4$ | 49.61 | " | 54 | 3 |
| 3X7X8 | $A_1$ | 48.32 | 7 | 54 | 3 |
| | $A_2$ | 43.79 | " | 55 | 4 |
| | $A_3$ | 54.56 | " | 54 | 3 |
| | $A_4$ | 49.87 | " | 54 | 3 |
| 3X7X9 | $A_1$ | 48.78 | 8 | 54 | 3 |
| | $A_2$ | 44.36 | " | 55 | 4 |
| | $A_3$ | 54.86 | " | 54 | 3 |
| | $A_4$ | 50.24 | " | 54 | 3 |
| 3X7X10 | $A_1$ | 49.33 | 9 | 54 | 3 |
| | $A_2$ | 45.07 | " | 54 | 3 |
| | $A_3$ | 56.79 | " | 54 | 3 |
| | $A_4$ | 50.78 | " | 54 | 3 |

| ขนาดของห้องเรียน (สูง, กว้าง, ยาว), m | | Room constant, $m^2$ | ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงและผู้ฟัง, m | ระดับความดันเสียงภายในห้อง, dBA | ค่าระดับ |
|---|---|---|---|---|---|
| 3X8X8 | $A_1$ | 48.66 | 7 | 54 | 3 |
| | $A_2$ | 44.31 | " | 55 | 4 |
| | $A_3$ | 54.72 | " | 54 | 3 |
| | $A_4$ | 50.18 | " | 54 | 3 |
| 3X8X9 | $A_1$ | 56.51 | 8 | 54 | 3 |
| | $A_2$ | 50.60 | " | 54 | 3 |
| | $A_3$ | 62.73 | " | 53 | 3 |
| | $A_4$ | 58.09 | " | 54 | 3 |
| 3X8X10 | $A_1$ | 56.96 | 9 | 54 | 3 |
| | $A_2$ | 51.19 | " | 54 | 3 |
| | $A_3$ | 64.51 | " | 53 | 3 |
| | $A_4$ | 58.46 | " | 53 | 3 |
| 3X9X9 | $A_1$ | 64.35 | 8 | 53 | 3 |
| | $A_2$ | 56.90 | " | 54 | 3 |
| | $A_3$ | 70.61 | " | 53 | 3 |
| | $A_4$ | 64.35 | " | 53 | 3 |
| 3X9X10 | $A_1$ | 64.63 | 9 | 53 | 3 |
| | $A_2$ | 57.34 | " | 54 | 3 |
| | $A_3$ | 72.22 | " | 53 | 3 |
| | $A_4$ | 64.63 | " | 53 | 3 |

## 2. เทคนิคการประเมินค่า Reverberant Sound ภายในห้อง

### 2.1 เทคนิคการประเมินค่าในส่วนของ Reverberation Time, (RT)

Reverberation Time, RT คือ เสียงที่ได้ยินอยู่ในช่วงเวลาใดหนึ่งเมื่อเสียงตรงสิ้นสุดลง ซึ่ง RT แปรผันตามปริมาตรห้องและความสามารถในการดูดซับเสียงของพื้นผิวภายในห้อง หากพื้นผิวภายในห้องมีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงได้ดี RT จะมีช่วงสั้น การหาค่า RT ตามวิธีของซาบิน (Sabine) มีดังนี้[20]

$$RT = 0.161\ V / A \quad \text{(In metric Units)} \quad \text{---------- (26)}$$

เมื่อ RT = Reverberation Time (RT), Second

V = ปริมาตรของห้อง, $m^3$

A = ค่าการดูดซับเสียงรวมของห้อง, (Sabines, $m^2$)

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

$S_{1,2,3,\ldots\ldots\ldots,n}$ = พื้นที่ผิวของห้อง, $m^2$

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

ในการประเมินค่าเกี่ยวกับ Reverberation Time ภายในห้องเรียน ใช้วิธีศึกษา RT ที่เหมาะสมสำหรับห้องเรียน ในคลื่นเสียงปานกลางระหว่าง 500Hz–1000Hz ที่ศึกษาโดย Russell Johnson (Courtesy of Russell Johnson and Bolt Beranek and Newman, Inc) พบว่า RT ที่เหมาะสมสำหรับห้องเรียน อยู่ระหว่าง 0.50-0.90 วินาที (รูปที่ 3.4) ดังนั้น การประเมินค่าโดยการแบ่งช่วงค่า RT ออกเป็น 5 ระดับ โดยกำหนดให้ค่า RT ที่ตรงกับ RT ที่เหมาะสมของ Russell Johnson มากที่สุดได้คะแนน 5 และค่า RT ที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้นจากช่วง RT ที่เหมาะสมนั้นก็ได้คะแนนลดลงตามลำดับ

---

[20] Cavanaugh, William J; and Wilkes, Joseph A, Architectural Acoustics: Principles and Practice (New York: John Wiley & Sons, 1998), p. 21.

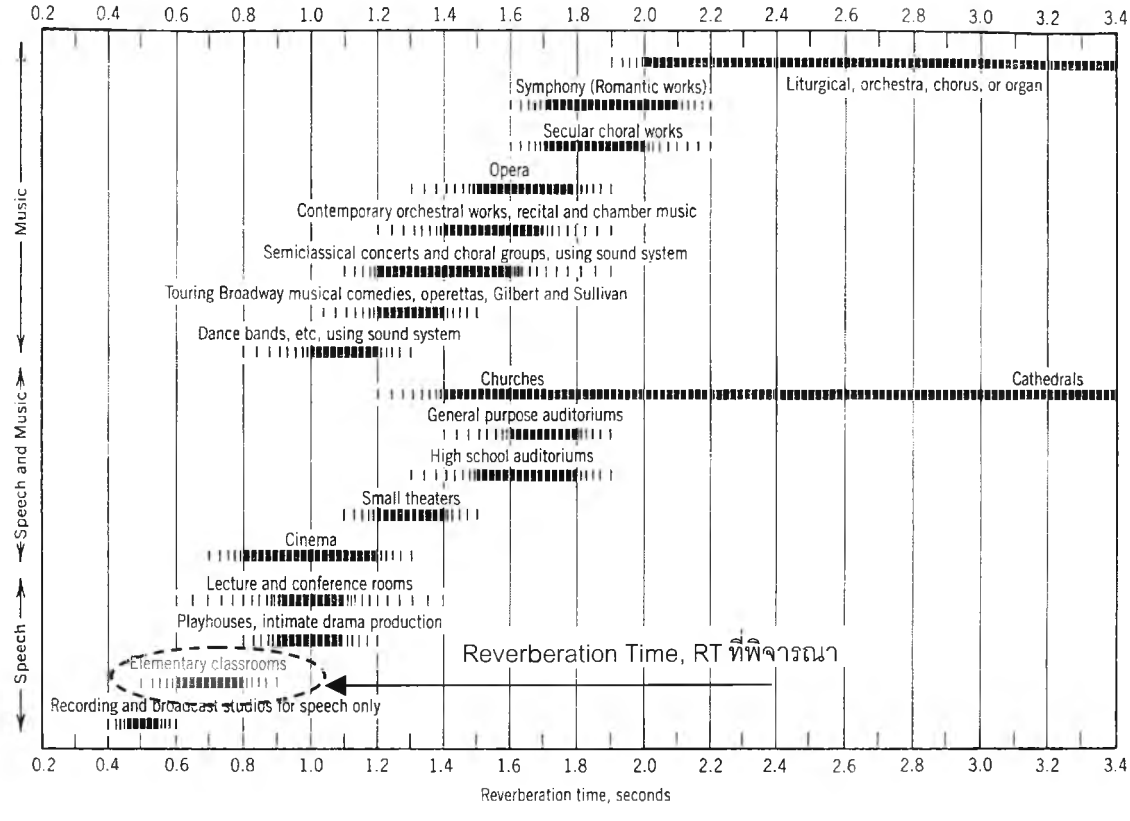
RT น้อยกว่า 0.45 วินาที และ RT ตั้งแต่ 0.95 วินาที ขึ้นไป ค่าระดับ 1

RT ตั้งแต่ 0.45 แต่น้อยกว่า 0.50 และ RT ตั้งแต่ 0.90 แต่น้อยกว่า 0.95 วินาที ค่าระดับ 2

RT ตั้งแต่ 0.50 แต่น้อยกว่า 0.55 และ RT ตั้งแต่ 0.85 แต่น้อยกว่า 0.90 วินาที ค่าระดับ 3

RT ตั้งแต่ 0.55 แต่น้อยกว่า 0.60 และ RT ตั้งแต่ 0.80 แต่น้อยกว่า 0.85 วินาที ค่าระดับ 4

RT ตั้งแต่ 0.60 แต่น้อยกว่า 0.80 วินาที ค่าระดับ 5




รูปที่ 3.5 แสดงค่า Reverberation Time ที่เหมาะสม (คลื่นความถี่ 500/1000HZ) สำหรับกิจกรรมต่าง ๆ

ที่มา: Cavanaugh, William J; and Wilkes, Joseph A. Architectural Acoustics: Principles and Practice (New York: John Wiley & Sons, 1998), p. 156.

การประเมินค่าการควบคุมเสียงภายในห้องเรียนในส่วนของ Reverberation Time, RT โดยใช้ข้อมูลห้องเรียนที่แบ่งประเภทห้องตามขนาดและชนิดของวัสดุของพื้นผิวภายในที่ได้รวบรวมไว้แล้วในตัวอย่างของการประเมินค่าในส่วนของการดูดซับเสียงของพื้นผิวภายในห้อง ข้อ 3.1.3 จากนั้นคำนวณหาค่า RT โดยใช้สมการของซาบิน ซึ่งมีรายละเอียดในการคำนวณ RT ของห้องเรียนที่เลือกมาเป็นตัวอย่างมีในตอนต่อไปนี้

วิธีการคำนวณค่า RT เริ่มจากการคำนวณเพื่อหาปริมาตรห้องและค่าการดูดซับเสียงรวมของพื้นผิวภายในห้องเรียนกรณีศึกษา ตัวอย่างการคำนวณห้องเรียนประเภท $A_1$ ที่มีขนาด (สูง, กว้าง, ยาว) 3X6X8 เมตร จุนักเรียนได้ 35 คน ค่าดูดซับเสียงรวมผิวภายในห้องหาได้จากสูตร

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

| Area of Surface, $m^2$ | Absorption Coefficients, $\alpha$ (Frequency 1000 Hz) | $A = S \times \alpha$ (Sabines, $m^2$) |
|---|---|---|
| $S_1$ Ceiling: Plywood, 3/8-in thick = 48 | $\alpha_1 = 0.09$ | 4.32 |
| $S_2$ Wall: Brick, unglazed and painted = 70.4 | $\alpha_2 = 0.02$ | 1.40 |
| $S_3$ Floor: Cork, rubber on concrete = 48 | $\alpha_3 = 0.03$ | 1.44 |
| $S_4$ Window: Glass typical window = 9.60 | $\alpha_4 = 0.12$ | 1.15 |
| $S_5$ Door: Wood, ¼-in, paneling with air space behind = 4.00 | $\alpha_5 = 0.08$ | 0.32 |
| $S_6$ Students, informally dressed seated in tablet-armchairs= 35 | $\alpha_6 = 0.84$ | 29.40 |
| | Total | 38.00 |

$$RT = 0.161\ V / A$$

$$RT = 0.161 \times (3 \times 6 \times 8) / 38.00$$

$$RT = 0.61\ Sec$$

ตารางที่ 3.11 แสดงค่าระดับและค่า Reverberation Time ของห้องเรียนประเภทต่าง ๆ

| ปริมาตรห้องเรียน, $m^3$ | ประเภทของห้องเรียน [e] | ค่าดูดซับเสียงของพื้นผิวห้อง, (Sabines, $m^2$) [f] | Reverberation Time, (RT, Sec) | ค่าระดับ |
|---|---|---|---|---|
| 3X6X8= 144 | $A_1$ | 38 | 0.61 | 5 |
| | $A_2$ | 36 | 0.64 | 5 |
| | $A_3$ | 42 | 0.55 | 4 |
| | $A_4$ | 39 | 0.59 | 4 |
| 3X6X9= 162 | $A_1$ | 39 | 0.66 | 5 |
| | $A_2$ | 36 | 0.72 | 5 |
| | $A_3$ | 43 | 0.60 | 5 |
| | $A_4$ | 40 | 0.65 | 5 |
| 3X6X10= 180 | $A_1$ | 40 | 0.72 | 5 |
| | $A_2$ | 37 | 0.78 | 5 |
| | $A_3$ | 44 | 0.65 | 5 |
| | $A_4$ | 41 | 0.70 | 5 |
| 3X7X7= 147 | $A_1$ | 38 | 0.62 | 5 |
| | $A_2$ | 36 | 0.65 | 5 |
| | $A_3$ | 42 | 0.56 | 4 |
| | $A_4$ | 39 | 0.60 | 5 |
| 3X7X8= 168 | $A_1$ | 39 | 0.69 | 5 |
| | $A_2$ | 36 | 0.75 | 5 |
| | $A_3$ | 43 | 0.62 | 5 |
| | $A_4$ | 40 | 0.67 | 5 |
| 3X7X9= 189 | $A_1$ | 40 | 0.76 | 5 |
| | $A_2$ | 37 | 0.82 | 4 |
| | $A_3$ | 44 | 0.69 | 5 |
| | $A_4$ | 41 | 0.74 | 5 |

[e] ที่มา: ข้อมูลจากตารางที่ 3.6 แสดงค่าดูดซับเสียงของวัสดุที่เป็นพื้นผิวภายในของห้องเรียนแต่ละประเภท, หน้า 81.

[f] ที่มา: ข้อมูลจากตารางที่ 3.7 การหาค่าการดูดซับเสียงรวมพื้นผิวภายในห้องเรียนประเภทต่าง ๆ, หน้า82.

| ปริมาตรห้องเรียน $m^3$ | ประเภทของห้อง | ค่าดูดซับเสียงของพื้นผิวห้อง, (Sabines, $m^2$) | Reverberation Time, (RT, Sec) | ค่าระดับ |
|---|---|---|---|---|
| 3X7X10= 210 | $A_1$ | 41 | 0.82 | 4 |
| | $A_2$ | 38 | 0.88 | 3 |
| | $A_3$ | 46 | 0.73 | 5 |
| | $A_4$ | 42 | 0.80 | 4 |
| 3X8X8= 192 | $A_1$ | 40 | 0.77 | 5 |
| | $A_2$ | 37 | 0.83 | 4 |
| | $A_3$ | 44 | 0.70 | 5 |
| | $A_4$ | 41 | 0.75 | 5 |
| 3X8X9= 216 | $A_1$ | 46 | 0.75 | 5 |
| | $A_2$ | 42 | 0.82 | 4 |
| | $A_3$ | 50 | 0.69 | 5 |
| | $A_4$ | 47 | 0.73 | 5 |
| 3X8X10= 240 | $A_1$ | 47 | 0.71 | 5 |
| | $A_2$ | 43 | 0.78 | 5 |
| | $A_3$ | 52 | 0.65 | 5 |
| | $A_4$ | 48 | 0.70 | 5 |
| 3X9X9= 243 | $A_1$ | 52 | 0.75 | 5 |
| | $A_2$ | 47 | 0.83 | 4 |
| | $A_3$ | 56 | 0.69 | 5 |
| | $A_4$ | 52 | 0.75 | 5 |
| 3X9X10= 270 | $A_1$ | 53 | 0.82 | 4 |
| | $A_2$ | 48 | 0.90 | 2 |
| | $A_3$ | 58 | 0.74 | 5 |
| | $A_4$ | 53 | 0.82 | 4 |

**2.2 เทคนิคการประเมินค่าในส่วนรูปร่างของห้อง**

รูปร่างของห้องที่ดีสำหรับการออกแบบเสียงภายใน คือ การทำให้ผนังไม่ขนานกันเพื่อกันการสะท้อนเสียง รูปร่างห้องที่เหมาะสมควรเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoid) ที่มี 2 ด้านขนานกัน รูปพัด หรือรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular) ในการออกแบบเพื่อหลีกเลี่ยงการขานกันของพื้นและฝ้าเพดาน ซึ่งเป็นสิ่งทำลายการได้ยินเสียงที่ดี โดยการทำที่นั่งฟังเป็นขั้นบันไดหรือการออกแบบเพดานเป็นส่วน ๆ ย่อยจะช่วยในการกระจ่ายเสียงที่สม่ำเสมอ รูปร่างที่ควรหลีกเลี่ยง คือ รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square) รูปวงกลม (circular) และวงรี (oval shape) เพราะพื้นที่โค้งกว้าง (large curved area) จะเป็นเขตรวมเสียงเป็นจุดและสัดส่วนของห้องที่เหมาะสมที่สุด (สูง,กว้าง,ยาว) คือ 1 : 1.5 : 2 หรือ 1 : 1.5 : 2 (ปรีชญา รังสิรักษ์, 2541:81-86)

ในการพิจารณาถึงศักยภาพการสะท้อนเสียงของพื้นผิวภายในห้อง จึงใช้รูปร่างของผังพื้นที่เป็นส่วนที่กำหนดรูปรงของห้องมากำหนดช่วงคะแนนเป็น 5 ระดับ ดังนี้

| รูปร่างของผังพื้นของห้องเรียน | ค่าระดับ |
|---|---|
| - รูปวงกลม (circular) | 1 |
| - รูปวงรี (oval shape) | 2 |
| - รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (square) | 3 |
| - รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular) | 4 |
| - รูปสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoid) และรูปพัด | 5 |

หมายเหตุ เนื่องจากขอบเขตการศึกษาครั้งนี้ ศึกษาเฉพาะห้องเรียนที่มีผังพื้นที่เป็นรูปสี่เหลี่ยม-จัตุรัสและรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเท่านั้น ดังนั้น ในการประเมินค่าตัวแปรเกี่ยวกับรูปร่างของห้องที่พิจารณาจะมีค่าระดับ 3 และ 4 เท่านั้น