บทที่ 2

ผลงานวิจัยและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกันเสียงของผนังคอนกรีตบล็อกชนิดมีช่องลมระบายอากาศ ที่มีความแตกต่างกันในด้านรูปทรงภายในช่องลม ได้แก่ ขนาดของช่องลม ความหนาบังใบกันเสียง และช่องว่างภายในบล็อก เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบคอนกรีตบล็อกชนิดดังกล่าวให้มีประสิทธิภาพในการกันเสียงเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกชนิดมีช่องลมระบายอากาศที่ใช้อยู่ตามท้องตลาด จึงได้มีการศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยชิ้นนี้ ได้แก่

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นที่เกี่ยวกับเสียง

2.1.1 นิยามและความหมาย

เสียง หมายถึง รูปแบบพลังงานกล (mechanical energy) รูปแบบหนึ่งที่มีการถ่ายทอดพลังงานจากแหล่งกำเนิดมายังผู้รับเสียงด้วยการสั่นของอนุภาค หรือเนื้อวัสดุของวัตถุที่เป็นตัวกลางในการส่งผ่านเสียง และพลังงานที่ถ่ายทอดนั้นอยู่ในรูปแบบของคลื่นตามยาว โดยทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงจะมีทิศเดียวกับทิศของการสั่นตัวของอนุภาคตัวกลาง ที่มีโมเลกุลของอากาศเคลื่อนที่เกิดลักษณะการอัดและขยายของคลื่นตามยาว เมื่อคลื่นอัดและขยายเคลื่อนที่มาถึงหูของคนจะทำให้คนที่ได้รับคลื่นนั้นมีความรู้สึกในการรับรู้เป็นเสียงขึ้น

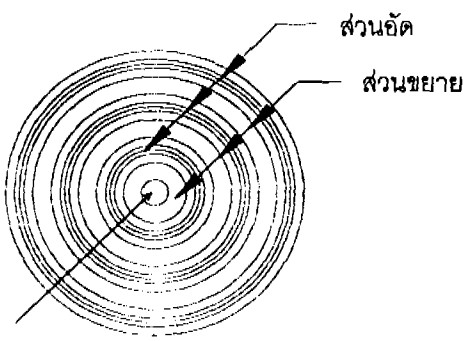
2.1.2 ลักษณะการแผ่กระจายของคลื่นสียง

การแผ่กระจายของคลื่นเสียงมี 2 รูปแบบ คือ คลื่นทรงกลม (spherical wave) และคลื่นระนาบ (plane wave) คลื่นทรงกลมเกิดจากแหล่งกำเนิดที่มีลักษณะเป็นจุด และอยู่ใกล้บริเวณที่สังเกต หน้าคลื่นที่แผ่ออกไปรอบ ๆ มีลักษณะเป็นทรงกลม (Chermisinoff and Chermisnoff, 1977) ดังภาพที่ 2.1 ส่วนคลื่นระนาบเกิดจากแหล่งกำเนิดที่อยู่ห่างจากบริเวณที่สังเกตเป็นระยะทางไกลมาก ๆ หรือเกิดจากการสั่นตัวของแผ่นระนาบขนาดใหญ่ โดยมีหน้าคลื่นตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น ดังภาพที่ 2.2

Olishifski (1975) กล่าวว่า คลื่นทรงกลมเกิดจากแหล่งกำเนิดที่มีลักษณะเป็นทรงกลมที่มีการสั่นตัวเป็นจังหวะ โดยจุดตรวจวัดจะตั้งอยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดนั้น บริเวณใกล้เคียงจุดตรวจวัดต้องไม่มีวัตถุซึ่งสามารถสะท้อนคลื่น สำหรับคลื่นระนาบเกิดจากแหล่งกำเนิดที่มีขนาดใหญ่และจุดตรวจวัดอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดเป็นระยะทางไกลมาก และไม่มีวัตถุที่สามารถสะท้อนคลื่นกั้นระหว่างแหล่งกำเนิดกับบริเวณจุดตรวจวัด ดังนั้น ลักษณะการแผ่กระจายของคลื่นเสียงที่เกิดจากลำโพงกำเนิดเสียงในงานวิจัยนี้ จึงมีลักษณะเป็นคลื่นทรงกลม ที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงที่มีลักษณะเป็นจุด (นิรันดร์ วิทิตอนันต์, 2535)

ภาพที่ 2.1

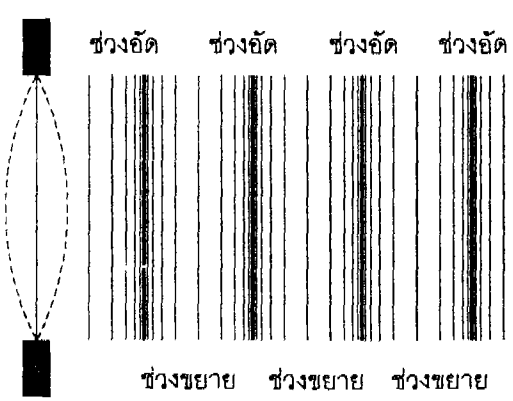
การแผ่กระจายของคลื่นทรงกลมที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงแบบจุด



ที่มา: Olishifski, 1975.

ภาพที่ 2.2

การแผ่กระจายของคลื่นแบบระนาบในอากาศ



ที่มา: Olishifski, 1975.

2.1.3 ระดับความดังเสียง

ระดับความดังเสียงที่หูมนุษย์สามารถรับฟังได้นั้น จะมีช่วงความกว้างมาก คือ ตั้งแต่ระดับค่อยสุดที่สามารถได้ยินได้ หรือระดับความดังอ้างอิง ถึงสิบล้านเท่าของระดับความดังอ้างอิง จึงไม่นิยมใช้มาตราวัดเชิงเลขคณิตได้ ประกอบกับลักษณะการตอบสนองต่อเสียงของหูมนุษย์เป็นแบบลอการิทึม (logarithm) ไม่ใช่แบบเชิงเลขคณิต จึงเหมาะสมกว่าที่จะบอกปริมาณเสียงเป็นอัตราส่วนเชิงลอการิทึม โดยใช้หน่วยเดซิเบล (decibel, dB)

ค่าระดับความดังเสียงดังกล่าวสามารถได้จากการวัดจริงโดยเครื่องมือวัดเสียง และสามารถหาค่าได้จากการคำนวณจากความดันอากาศ (sound pressure level; SPL) โดยใช้สมการดังนี้

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

เมื่อ SPL คือ ระดับความดังเสียงจากความดันอากาศ (dB)

P คือ ความดันอากาศ ณ ตำแหน่งใด ๆ ที่ต้องการวัด ($N\ m^{-2}$)

P_0 คือ ความดันอากาศ ณ ตำแหน่งนั้น เมื่อคลื่นเสียงที่เบาที่สุดเคลื่อนที่ผ่านมา

เมื่อระดับความดังเสียงเปลี่ยนไปมีผลต่อความรู้สึกในการได้ยินของหูมนุษย์ ดังนี้

ตารางที่ 2.1
ผลของการเปลี่ยนระดับความดังเสียง

การเปลี่ยนระดับความดังเสียง (dB (A))	ผลต่อการได้ยิน
1	แทบจะไม่แตกต่าง
3	เริ่มมีความแตกต่าง
5	แตกต่างได้แน่ชัด
10	ดังเป็นสองเท่า
20	ดังมากหรือเงียบมาก

ที่มา: Egan, 1972.

2.1.4 ระดับความดังเสียงที่เป็นพิษ

สำหรับมาตรฐานระดับความดังเสียงซึ่งกำหนดไว้สำหรับย่านที่พักอาศัย และสถานศึกษา คือ ระดับความดังเสียงไม่ควรเกิน 55 เดซิเบล ทั้งนี้ ระดับความดังเสียงที่เป็นอันตราย คือ ระดับความดังเสียงที่เกินกว่า 85 เดซิเบล ซึ่งก่อให้เกิดอันตรายต่อประสาทหูของผู้รับฟังเสียง ดังนั้น โรงงานอุตสาหกรรมใดที่มีระดับความดังเกินกว่า 90 เดซิเบล จัดว่าอันตรายต้องมีมาตรการป้องกัน (สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2531, น. 24) และระดับเสียงที่เป็นพิษ คือ เสียงที่มีระดับความดังเกินมาตรฐานที่องค์การอนามัยโลกได้กำหนดไว้ คือ 85 เดซิเบล ซึ่งอาจทำให้เกิดอันตรายต่อหูของมนุษย์ เพราะโดยปกติเสียงที่มนุษย์จะรับฟังได้โดยไม่มีอันตรายควรเป็น 120 เดซิเบล และถ้าได้ยินติดต่อกันนาน 1 ชั่วโมง ให้ฟังได้ไม่เกิน 85 เดซิเบล (เกษม จันทร์แก้ว, 2530)

2.1.5 1/3 ออกเทปแบนด์ (1/3 Octave Band)

โดยปกติหูมนุษย์สามารถรับฟังเสียงในช่วงความถี่ 20 – 20,000 Hz ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่กว้างมาก การที่จะวัดระดับความดังเสียงเพื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพในทุกความถี่จึงมีความยากเกินความจำเป็น ดังนั้น ในการทดสอบประสิทธิภาพด้านกันเสียงสำหรับงานวิจัย จะทำการวัดค่าระดับความดังเสียงแบ่งเป็นช่วง ๆ โดยแบ่งช่วงความถี่แต่ละช่วงที่มีความถี่ต่ำสุด ความถี่ศูนย์กลาง และความถี่สูงสุดของช่วงความถี่นั้น ๆ โดยมีหลักการกำหนดความถี่แบบ 1/3 ออกเทปแบนด์ดังนี้

$$fu = \sqrt[3]{2}\ (fl)$$

เมื่อ fu คือ ความถี่เสียงที่สูงกว่าถัดขึ้นไป

fl คือ ความถี่เสียงที่ต่ำกว่าถัดลงมา

ความถี่แบบ 1/3 ออกแทปแบนด์ที่ใช้สำหรับทดสอบประสิทธิภาพเรื่องเสียงสำหรับการทดสอบในห้องทดลองมีดังนี้ 100 125 160 200 250 315 400 500 630 800 1,000 1,250 1,600 2,000 2,500 3,150 4,000 5,000 6,300 8,000 และ 10,000 Hz

2.1.6 สมบัติและปรากฏการณ์ของเสียง

1. การสะท้อนของเสียง

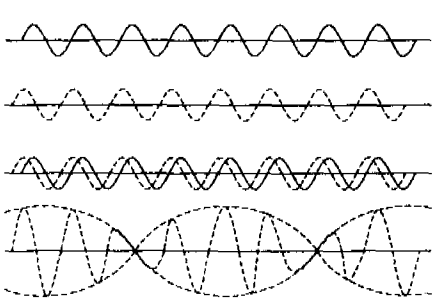
เมื่อคลื่นเสียงแผ่กระจายจากแหล่งกำเนิดมากระทบกับสิ่งกีดขวาง หรือบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติอย่างรวดเร็วของตัวกลางนั้น จะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การสะท้อน ขึ้นที่ผิวของตัวกลาง หรือสิ่งกีดขวางที่คลื่นเสียงกระทบ เหมือนลูกบอลที่ตกกระทบกำแพง แล้วสะท้อนกลับออกมาโดยมีมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน (Merken, 1989)

2. การแทรกสอดของเสียง

เมื่อคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดตั้งแต่ 2 แหล่งขึ้นไปเกิดขึ้นพร้อมกัน และคลื่นที่มาถึงตำแหน่งเดียวกัน คลื่นเสียงนั้น จะรวมกันเป็นคลื่นเสียงเดียว ซึ่งเรียกการรวมนี้ว่า การแทรกสอด (Merken, 1989) ซึ่งเป็นไปตามหลักการรวมกันได้ของคลื่น ทั้งนี้ ถ้าคลื่นเสียงตั้งแต่ 2 แหล่งขึ้นไปที่มีความถี่ต่างกันเล็กน้อยมาแทรกสอดกัน บางขณะที่คลื่นเสียงเหล่านั้นแทรกสอดกันแบบเสริม ทำให้เกิดการสั่นตัวของตัวกลางมากขึ้น จึงได้ยินเสียงดังมากว่าปกติ และบางขณะคลื่นเสียงเหล่านั้นมีการแทรกสอดกันแบบหักล้างทำให้การสั่นตัวของตัวกลางน้อยลง จึงได้ยินเสียงค่อยจนบางครั้งไม่ได้ยินเสียงเลย ดังนั้น เมื่อคลื่นเสียงเหล่านี้เกิดการแทรกสอดและรวมกัน จะมีผลทำให้ผู้สังเกตได้ยินเสียงเดียวแต่จะดัง และค่อยเป็นจังหวะ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า บีตส์ โดยความถี่ของบีตส์ที่ผู้สังเกตได้ยินจะเท่ากับ ผลต่างของความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียงทั้งสอง (Giancoli,1980, p. 805; Bueche,1988, p. 839) ทั้งนี้ ขณะที่เกิดเสียงดังแอมพลิจูดของคลื่นรวมจะสูงสุด และขณะที่เกิดเสียงค่อยแอมพลิจูดของคลื่นรวมจะต่ำสุดเป็นเช่นนี้สลับกันไปตลอดเวลา ดังภาพที่ 2.3

ภาพที่ 2.3

การเกิดการแทรกสอดของคลื่น



ที่มา: Marion and Hornyak, 1985.

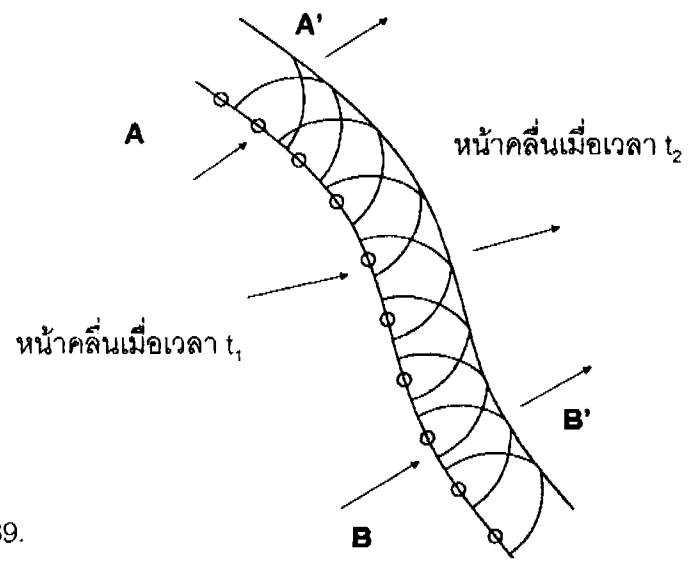
3. การเลี้ยวเบนของเสียง

การเลี้ยวเบนของเสียงเกิดจากการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของเสียง เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนมาตกกระทบสิ่งกีดขวาง เช่น กรณีการเลี้ยวเบนของเสียงที่มุมตึก ทำให้สามารถได้ยินเสียงของคนที่คุยกันอยู่อีกด้านหนึ่งของตึกโดยไม่ต้องเห็นตัวคนพูด เป็นต้น การเปลี่ยนทิศทางโดยการเลี้ยวเบนของคลื่นนี้ไม่ใช่การสะท้อน หรือการหักเหของเสียง เพราะปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นในตัวกลางเดียวกัน จากผลการเลี้ยวเบนของเสียงนี้ ทำให้ไม่สามารถสร้างมุม หรือบริเวณที่อับเสียงได้อย่างสมบูรณ์ เพราะกำแพงกั้นเสียง หรืออุปกรณ์ที่เป็นสิ่งกีดขวางใด ๆ ถ้าหากมีช่องเปิด หรือขอบเปิดไปสู่อีกด้านหนึ่งจะทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของเสียงขึ้นบริเวณช่องเปิด หรือขอบเขตเปิดนั้น ๆ ได้เช่นกัน สามารถอธิบายโดยหลักการของฮอยเกนส์ (Hugen's Principle) เกี่ยวกับการแผ่กระจายของคลื่นเสียง ซึ่งกล่าวว่า แต่ละจุดบนหน้าคลื่น คือ แหล่งกำเนิดของคลื่นใหม่ ดังภาพที่ 2.4 ดังนั้น ถ้าหากมีคลื่นตกกระทบสิ่งกีดขวางที่มีช่องเปิดเล็ก ๆ แล้ว คลื่นที่ออกไปอีกด้านหนึ่งจะมีลักษณะเป็นคลื่นทรงกลม ดังภาพที่ 2.5

การเลี้ยวเบนของเสียงจะเกิดขึ้นมาก หรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของเสียงและขนาดของสิ่งกีดขวาง โดยถ้าความยาวคลื่นของเสียง และขนาดของสิ่งกีดขวางต่างกันมากจะมีผลทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของคลื่นได้มาก กล่าวได้ว่า หากเสียงตกกระทบสิ่งกีดขวางใด และคลื่นเสียงนั้นมีขนาดความยาวคลื่นมากกว่าขนาดของวัตถุ หรือสิ่งกีดขวางที่ตกกระทบแล้ว จะทำให้เกิดการโค้งงอของเสียงรอบวัตถุ หรือสิ่งกีดขวางนั้น ๆ

ภาพที่ 2.4

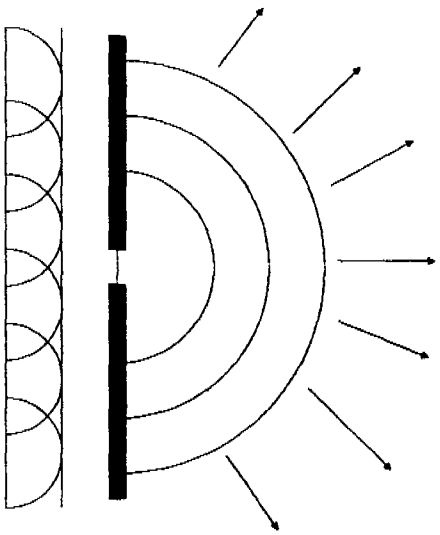
การเกิดหน้าคลื่นใหม่ตามหลักของฮอยเกนส์



ที่มา: Merken, 1989.

ภาพที่ 2.5

การเลี้ยวเบนของเสียงเมื่อผ่านช่องแคบตามหลักของฮอยเกนส์



ที่มา: Merken, 1989.

4. การกำทอน

ปรากฏการณ์การกำทอนของเสียง หมายถึง ปรากฏการณ์ที่วัตถุ หรือสิ่งใดสิ่งหนึ่งเกิดการสั่นตัว เมื่อได้รับการกระตุ้นโดยคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่ธรรมชาติ (natural frequency) ของวัตถุหรือสิ่งของนั้น ทั้งนี้ ถ้าคลื่นความถี่ทั้งสองตรงกันจะทำให้เกิดการสั่นตัวอย่างรุนแรงของวัตถุ กล่าวคือ แอมพลิจูดการสั่นตัวกว้างขึ้น อีกกรณีหนึ่งเกิดจากการกำทอนของคลื่นเสียงตกกระทบ และเกิดการสะท้อนของคลื่นเสียง ซึ่งมีความถี่เท่ากับคลื่นเสียงที่ตกกระทบ มีเฟสตรงกันจะทำให้เกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันของคลื่นเสียง ส่งผลให้ระดับความดังเสียงสูงขึ้นกว่าปกติ

5. การดูดกลืนและส่งผ่านเสียง

เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบกำแพง หรือวัตถุใด ๆ นอกจากจะเกิดการสะท้อนของคลื่นแล้วยังเกิดการส่งผ่านของคลื่นเสียงทะลุวัตถุนั้น ๆ ด้วยพลังงานที่ลดลง ซึ่งการลดลงของพลังงานที่ส่งผ่านนี้เกิดขึ้นเนื่องจาก คลื่นเสียงที่ตกกระทบได้ทำให้ผิวหน้าของวัตถุนั้นเกิดการสั่นตัว โดยพลังงานจากการสั่นตัวนี้ได้ถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน เนื่องจากคุณสมบัติเกี่ยวกับแรงเสียดทานของวัตถุ ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นกับวัตถุที่มีรูพรุน หรือที่มีช่อง เป็นต้น และสามารถเปลี่ยนเส้นทางเดินของเสียงขณะที่อยู่ในตัวกลางนั้นได้

- การดูดกลืนเสียง หมายถึง การเปลี่ยนแปลงผลรวมของพลังงานเสียงที่ลดน้อยลง เมื่อผ่านวัตถุ หรือตัวกลางใด ๆ โดยวัตถุที่สามารถดูดกลืนคลื่นเสียงได้ดีจะเป็นวัตถุจำพวกเส้นใย (Fibrous) และวัตถุพรุน (porous) กล่าวคือ เมื่อเสียงกระทบวัตถุใด ๆ เสียงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนและส่งผ่านเข้าไปในวัตถุนั้น ทั้งนี้ จะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ และคุณลักษณะของวัตถุนั้นเป็นสำคัญ ในส่วนของพลังงานที่ลดลงนั้นได้ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปอื่น เช่น พลังงานความร้อน เป็นต้น

- การส่งผ่านเสียง หมายถึง เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบวัตถุกั้นเสียง เช่น กำแพงหรือวัตถุนั้นจะเกิดการสั่นตัว ซึ่งการสั่นตัวในลักษณะนี้เป็นสาเหตุให้อากาศที่อยู่ใกล้เคียงวัตถุดังกล่าวมีการสั่นตัวตามไปด้วยทั้งสองด้านของวัตถุ ส่งผลให้วัตถุที่คลื่นเสียงตกกระทบนั้น เปลี่ยนเป็นแหล่งกำเนิดเสียงอันใหม่ ซึ่งสนามเสียงใหม่อันเกิดจากวัตถุนี้จะมีพลังงานน้อยกว่าพลังงานเสียงตกกระทบ เนื่องจากพลังงานของคลื่นเสียงที่ตกกระทบวัตถุกั้นเสียงนี้ส่วนหนึ่งถูกใช้ไปสำหรับการทำให้วัตถุนั้นเกิดการสั่นตัว โดยลักษณะของวัตถุกั้นเสียงนั้นสามารถบอกได้ด้วยค่าการสูญเสียขณะส่งผ่าน (transmission loss; TL) ซึ่งค่านี้เป็นสมบัติเฉพาะของวัตถุ (Thumann and Miller, 1986)

2.1.7 <u>การควบคุมและแก้ไขปัญหาเสียงรบกวน</u>

หลักการพื้นฐานในการควบคุมเพื่อลดปัญหาเสียงรบกวนนั้นสามารถดำเนินการได้ โดยการควบคุมกับองค์ประกอบส่วนใดส่วนหนึ่ง หรือทั้ง 3 ส่วนของปัญหาเสียงรบกวน ดังนี้

1. <u>การควบคุมเสียงที่แหล่งกำเนิดเสียง</u>

ตัวอย่างการควบคุมเสียงที่แหล่งกำเนิด ทำการเปลี่ยนแปลงเครื่องจักรบางส่วน หรือการเลือกใช้เครื่องจักรขนาดที่เหมาะสม หรือใช้ระบบป้องกันเสียงก่อนออกจากแหล่งกำเนิดด้วยวัสดุดูดกลืนเสียง หรือสะท้อนเสียง และการควบคุมเสียงเพื่อลดระดับความดังเสียงจากการคมนาคม ซึ่งเสียงมักเกิดจากท่อไอเสีย ยางที่สัมผัสกับถนน หม้อน้ำ พัดลมเครื่องยนต์ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับคุณภาพของถนน ผิวการจราจร เส้นทางการจราจร และจำนวนยานพาหนะ การควบคุมแหล่งกำเนิดเสียงจากการคมนาคมนั้น

2. การควบคุมเสียงที่ตัวกลางของเสียง หรือเส้นทางเดินของเสียง

การใช้วัตถุกั้นระหว่างแหล่งกำเนิดกับผู้รับเสียง เป็นแนวทางหนึ่งในการควบคุมเสียงรบกวนที่มีประสิทธิภาพ เช่น การสร้างกำแพงกั้นเสียง นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาถึงการครอบปิดแหล่งกำเนิดเสียง โดยประสิทธิภาพของการลดเสียงขึ้นอยู่กับ พื้นที่ผิว และน้ำหนักของวัตถุกั้นเสียง ส่วนคุณสมบัติการดูดกลืนเสียงขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของวัตถุแต่ละชนิดจะแตกต่างกันแม้ชนิดเดียวกันก็อาจต่างกัน ทั้งนี้ วัตถุที่มีจำนวนรูพรุนมาก ๆ และคดเคี้ยวมากจะสามารถดูดกลืนเสียงได้เป็นอย่างดี (Chermisinoff, 1977, p. 361)

3. การควบคุมเสียงที่ตัวผู้รับฟังเสียง

วิธีการควบคุมเสียงรบกวนนั้นมีด้วยกันหลายวิธี ซึ่งวิธีการต่าง ๆ ก็มีความสามารถในการลดระดับเสียงได้แตกต่างกันออกไป หากแต่ว่าหลังจากที่ได้มีการเข้าควบคุมปัญหาเสียงรบกวนโดยวิธีการต่าง ๆ ทั้งการควบคุมที่แหล่งกำเนิดเสียง หรือเส้นทางเดินของเสียง แต่ระดับความรุนแรงยังไม่ลดลงมาถึงระดับที่ยอมรับได้ ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องใช้วิธีในการเข้าควบคุมที่ตัวผู้รับฟังเสียง เช่น ใช้เครื่องป้องกันเสียงส่วนบุคคล การควบคุมปริมาณเสียงที่ได้รับ และใช้กฎหมายควบคุม เป็นต้น

2.1.8 ความสามารถในการลดระดับความดังเสียงของวัตถุกั้นเสียง

โดยปกติคลื่นเสียงตกกระทบวัตถุกั้นเสียงใด ๆ เช่น ผนังหรือกำแพงจะเกิดปรากฏการณ์ของเสียงขึ้น 3 ประการ โดยพลังงานของคลื่นเสียงบางส่วนถูกส่งผ่านวัตถุไปอีกด้านหนึ่ง พลังงานบางส่วนถูกดูดกลืนโดยวัตถุนั้น และส่วนที่เหลือจะสะท้อนกลับเข้าสู่ตัวกลางเดิม ดังภาพที่ 2.6 จากกฎทรงพลังงานสามารถแสดงปรากฏการณ์ข้างต้นด้วยสมการ ดังนี้

$$Ei = Er + Ea + Et$$

เมื่อ Ei คือ พลังงานเสียงที่ตกกระทบวัตถุ

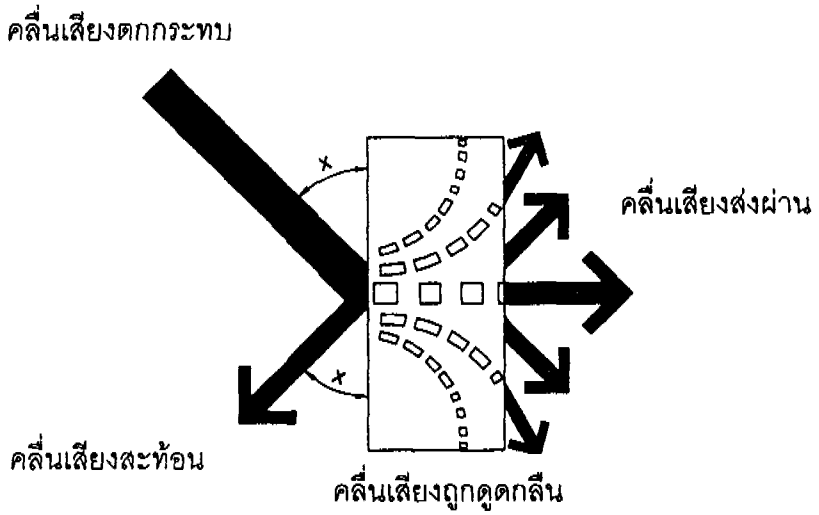
Er คือ พลังงานเสียงที่สะท้อนออกจากวัตถุ

Ea คือ พลังงานเสียงที่ถูกดูดกลืนในวัตถุ

Et คือ พลังงานเสียงที่ส่งผ่านไปยังอีกด้านหนึ่งของวัตถุ

ภาพที่ 2.6

การสะท้อน ดูดกลืน และส่งผ่านเสียงในวัสดุ



ที่มา: Webb, 1986.

พลังงานของคลื่นเสียงที่ถูกดูดกลืน หรือพลังงานของคลื่นเสียงที่ลดลงเมื่อผ่านไปยังอีกด้านหนึ่งของวัตถุนั้น จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานในรูปอื่นซึ่งส่วนใหญ่ถูกเปลี่ยนกลายเป็นพลังงานความร้อน จากแนวความคิดเกี่ยวกับการตกกระทบของคลื่นเสียงบนวัตถุใด ๆ ดังกล่าวข้างต้น สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุม และป้องกันเสียงรบกวนได้ โดยการนำวัตถุที่มีคุณสมบัติในการดูดกลืน หรือสะท้อนคลื่นเสียงได้เป็นอย่างดีมาวางกั้นระหว่างแหล่งกำเนิดเสียง และผู้ฟังเสียง ซึ่งสามารถติดตั้งได้หลายรูปแบบ คือ ปิดล้อมแหล่งกำเนิดเสียง ปิดล้อมผู้รับฟังเสียง และกั้นระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงกับผู้รับฟังเสียง ทั้งนี้ สำหรับระดับความดังเสียงที่ลดลง จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะการติดตั้งกำแพงกั้นเสียง อย่างไรก็ตามคุณสมบัติเชิงกายภาพของวัตถุกั้นเสียงจะเป็นตัวกำหนดถึงความสามารถในการลดระดับความดังเสียงของวัตถุนั้น ๆ ด้วย (Thumann and Miller, 1986) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. <u>การลดระดับความดังเสียงของวัตถุ</u>

การลดระดับความดังเสียงโดยใช้หลักการเกี่ยวกับการดูดกลืนคลื่นเสียงของวัตถุ กล่าวได้ว่า เมื่อเสียงกระทบวัตถุใด ๆ เสียงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืน และเปลี่ยนไปเป็นพลังงานกลในรูปแบบอื่น โดยปกติเป็นพลังงานความร้อนซึ่งจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ และคุณลักษณะของ

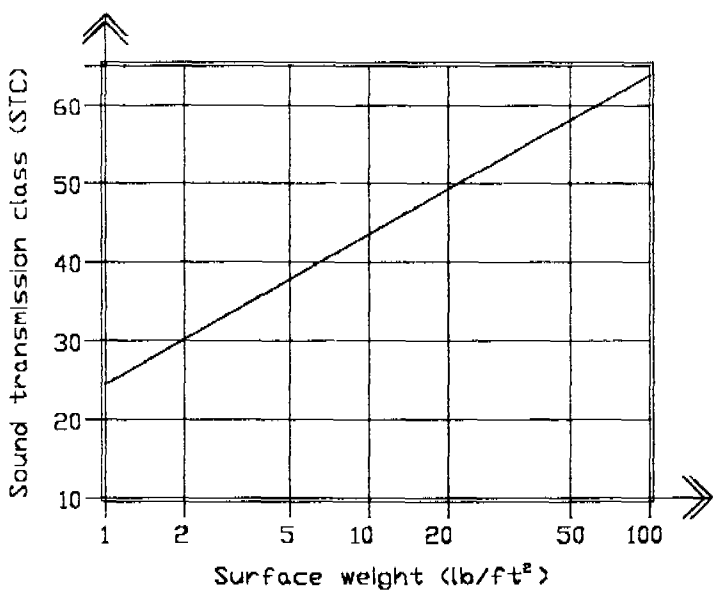
วัตถุนั้น โดยเฉพาะวัตถุที่มีรูพรุน หรือมีช่องอากาศภายในสามารถดูดกลืนเสียงได้ดี ซึ่งเมื่อมีเสียงตกกระทบผิววัตถุ พลังงานส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนไปโดยผิวของวัตถุ หน่วยของการดูดกลืนเสียงมีหน่วยเป็นซาบินส์ (sabins) มีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างพื้นที่ผิวของวัตถุกับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของวัตถุนั้น สำหรับการอธิบายถึงคุณสมบัติเกี่ยวกับการดูดกลืนคลื่นเสียงของวัตถุสามารถอธิบายได้ด้วยสัมประสิทธิ์การดูดกลืน (absorption coefficients) ของวัตถุ โดยสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง คือ อัตราส่วนพลังงานที่ถูกดูดกลืนต่อพลังงานที่ตกกระทบวัตถุนั้น อย่างไรก็ตามสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของวัตถุยังขึ้นกับความถี่เสียง และมุมที่คลื่นเสียงนั้นตกกระทบด้วย

2. <u>การลดระดับความดังเสียงตามกฎมวลสารของวัสดุ (mass law)</u>

เมื่อมวลสารของวัสดุเพิ่มขึ้น โดยที่ความหนาแน่นของเนื้อวัสดุยังคงที่ จะมีผลต่อประสิทธิภาพการลดระดับพลังงานเสียงเพิ่มมากขึ้น กล่าวคือ เมื่อวัสดุมีความหนาของเนื้อวัสดุมากขึ้นจะช่วยลดการส่งผ่านของพลังงานเสียงได้ดีมากขึ้น แสดงผลเป็นค่าสูญเสียขณะส่งผ่านของวัสดุในแต่ละช่วงความถี่และค่าสูญเสียขณะส่งผ่านของวัสดุในช่วงความถี่มาตรฐาน (sound transmission class; STC) ดังภาพที่ 2.7

ภาพที่ 2.7

ค่าสูญเสียการส่งผ่านเมื่อมวลสารของวัสดุเพิ่มขึ้น

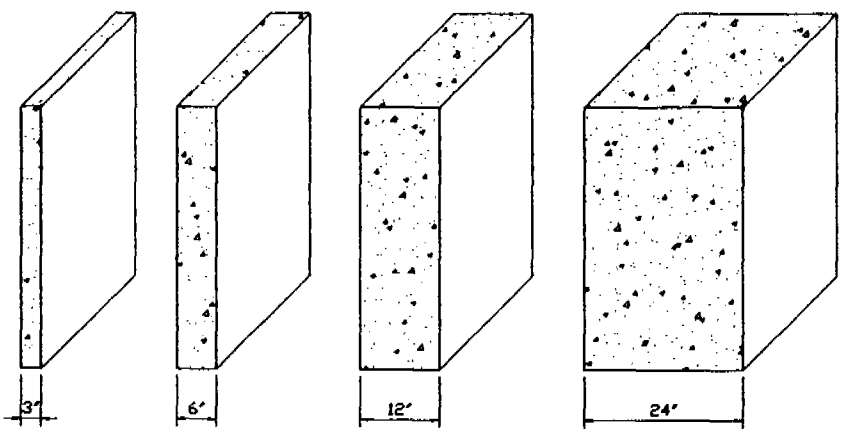


ที่มา: Egan, 1972.

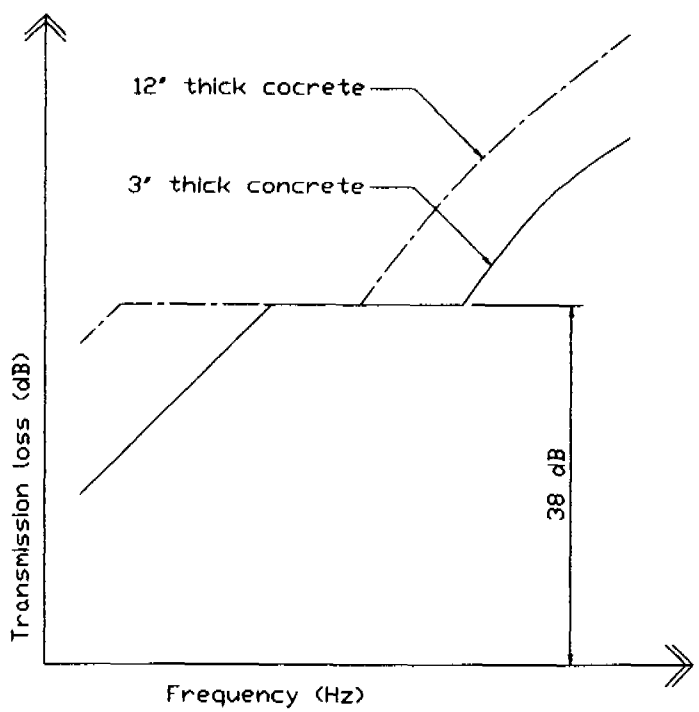
ตัวอย่าง เมื่อผนังคอนกรีตมีความหนาเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า จะส่งผลต่อการเพิ่มค่าการสูญเสียขณะส่งผ่านของวัสดุประมาณ 5 เดซิเบล เมื่อผนังหนา 1 นิ้ว น้ำหนักเพิ่ม 12 ปอนด์/ ตารางฟุต ดังภาพที่ 2.8

ภาพที่ 2.8

เปรียบเทียบค่าสูญเสียการส่งผ่านเมื่อผนังหนาเพิ่มขึ้น



weight (lb/ft^2)	36	72	144	288
STC	42	46	51	58



ที่มา: Egan, 1972.

2.1.9 <u>การใช้ช่องว่างภายในบล็อก</u>

การใช้ช่องว่างภายในบล็อกหรือโพรงอากาศภายในบล็อกคอนกรีตที่ออกแบบขึ้นตามหลักการแทรกสอดของเฮล์มโฮลทซ์ ช่วยในการลดระดับพลังงานเสียง ซึ่งอาศัยหลักการเดียวกันกับการใช้แผ่นสะท้อนเสียง โดยให้เสียงเกิดการแทรกสอดแบบหักล้างกันภายในโพงอากาศ มีความเหมาะสมกับการใช้ลดพลังงานเสียงในช่วงความถี่ต่ำในช่วงที่แคบตามการออกแบบช่องว่าง หรือโพรงอากาศภายในบล็อกคอนกรีตคำนวณได้จากสูตรพื้นฐานการกำทอนของเสียงในโพรง ตามสมการของเฮล์มโฮลทซ์ ดังนี้

$$f = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\frac{S}{VL}}$$

เมื่อ c คือ ความเร็วของเสียงในอากาศที่อุณหภูมินั้น ๆ คำนวณจาก

$c = 331 + 0.6t$

โดยที่ t เป็นอุณหภูมิในขณะนั้นคิดในหน่วยเซลเซียส

S คือ พื้นที่หน้าตัดของทางเข้าโพรง

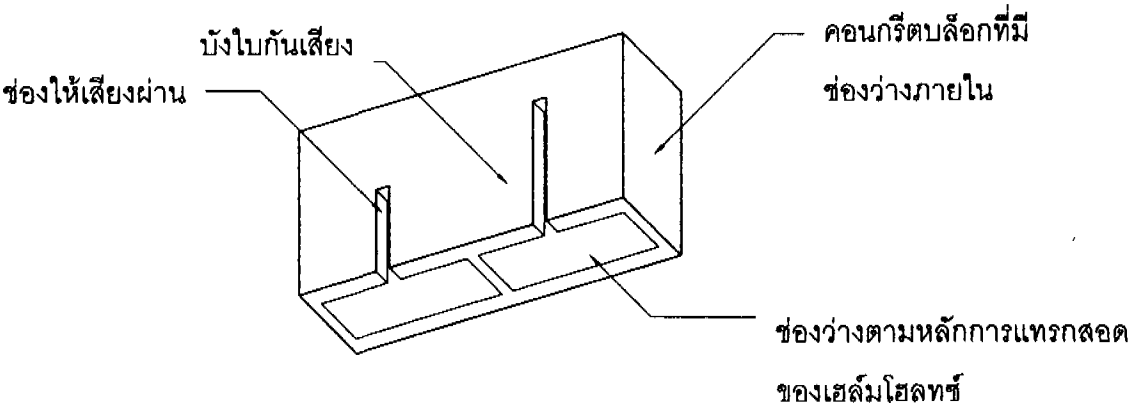
V คือ ปริมาตรของโพรง

L คือ ความยาวของท่อทางเข้าสู่โพรง

แบบบล็อกคอนกรีดในปัจจุบันที่อาศัยหลักการดังกล่าวมีลักษณะเป็นผนังทึบตันดังภาพที่ 2.9 ซึ่งออกแบบสำหรับดูดซับพลังงานเสียงภายในห้อง โดยในการวิจัยนี้ได้อาศัยหลักการดังกล่าวออกแบบช่องว่างภายในบล็อก เพื่อช่วยลดพลังงานเสียงที่เดินทางผ่านช่องลมระบายอากาศของคอนกรีตบล็อกในช่วงความถี่ที่ได้คำนวณปริมาตรของช่องว่าง ดังภาพที่ 2.10

ภาพที่ 2.9

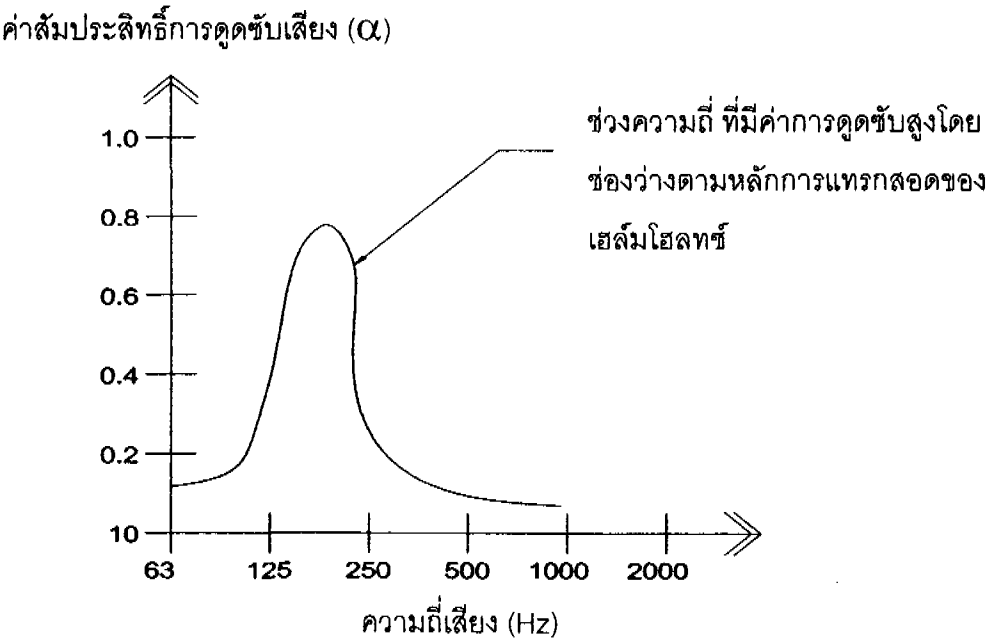
ลักษณะของคอนกรีตบล็อกที่มีช่องว่างภายในบล็อกตามหลักการแทรกสอดของเฮล์มโฮลทซ์



ที่มา: Egan, 1972.

ภาพที่ 2.10

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงด้วยช่องว่างภายในบล็อกตามหลักการแทรกสอดของเฮล์มโฮลทซ์



ที่มา: Egan, 1972.

2.1.10 ดัชนีระบุสมรรถนะในการลดระดับความดังเสียง

ในการวิจัยทดสอบเรื่องเสียงในห้องปฏิบัติการทางเสียงที่ได้มาตรฐานนั้น สามารถตรวจวัดระดับเสียง และนำมาคำนวณเพื่อให้ได้ค่าที่ชี้บ่งประสิทธิภาพทางด้านเสียงของแต่ละวัสดุ ได้แก่ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านเสียง ค่าสูญเสียขณะส่งผ่านเสียง สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียง และการลดระดับความดังเสียงที่ถูกต้องและสามารถนำไปใช้อ้างอิงกับวัสดุอื่นที่ผ่านการทดสอบได้ แต่ในทางปฏิบัติของงานวิจัยชิ้นนี้ มีความเหมาะสมในการวัดระดับความดังเสียงเมื่อไม่มีสิ่งกีดขวาง และระดับความดังเสียงเมื่อมีสิ่งกีดขวาง เพื่อคำนวณค่าการลดระดับความดังเสียง ซึ่งเพียงพอต่อการนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกันเสียงของคอนกรีตบล็อกชนิดมีช่องลมระบายอากาศในงานวิจัยนี้

การลดระดับความดังเสียง คือ ความแตกต่างของระดับความดังเสียงก่อนผ่านวัตถุกั้นเสียง กับหลังผ่านวัตถุกั้นเสียง ซึ่งสามารถคำนวณค่าได้จากสมการ ดังนี้

$$NR = SPL1 - SPL2$$

โดย	NR	คือ ระดับความดังเสียงที่ลดลง	(dB(A))
	SPL1	คือ ระดับความดังเสียงเมื่อไม่มีสิ่งกีดขวาง	(dB(A))
	SPL2	คือ ระดับความดังเสียงเมื่อมีสิ่งกีดขวาง	(dB(A))

2.2 คอนกรีตบล็อกชนิดมีช่องลมระบายอากาศ

2.2.1 มาตรฐานคอนกรีตบล็อก

คอนกรีตบล็อกที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีการแบ่งตามมาตรฐาน ASTM C90 C129 C55 และ C145 ได้เป็น 2 ชนิด คือ เกรดเอ็น (N) กำลังต้านทานสูง ป้องกันการระเหยน้ำสูง และเกรดเอส (S) กำลังต้านทานปานกลาง ป้องกันการระเหยน้ำปานกลาง ส่วนความหนาแน่นแบ่งตามมาตรฐาน ASTM แยกเป็น 3 ช่วงดังนี้

หน่วยน้ำหนักปกติ	: มากกว่า 2,000	กิโลกรัม/ ลูกบาศก์เมตร
หน่วยน้ำหนักปานกลาง	: 1,680 – 2,000	กิโลกรัม/ ลูกบาศก์เมตร
หน่วยน้ำหนักเบา	: น้อยกว่า 1,680	กิโลกรัม/ ลูกบาศก์เมตร

ผลิตภัณฑ์ของคอนกรีตบล็อกจะแบ่งเป็นแบบกลวงและแบบตัน สังเกตจากพื้นที่หน้าตัดแนวราบว่ามากกว่า หรือน้อยกว่า 75 เปอร์เซนต์ โดยถ้ามากกว่า 75 เปอร์เซนต์ จะเรียกว่าคอนกรีตบล็อกตัน แต่ถ้าน้อยกว่า 75 เปอร์เซนต์ จะเรียกว่าคอนกรีตบล็อกกลวง (มัณฑนา รังสิโยภาส, 2543) สำหรับงานวิจัยนี้ คอนกรีตบล็อกชนิดมีช่องลมระบายอากาศจัดเป็นคอนกรีตบล็อกกลวง เนื่องจากมีพื้นที่หน้าตัดแนวราบน้อยกว่า 75 เปอร์เซ็นต์

2.2.2 <u>เปรียบเทียบการระบายอากาศคอนกรีตบล็อกทึบตัน และคอนกรีตบล็อกช่องลม</u>

ในการก่อสร้างปัจจุบัน นิยมใช้คอนกรีตบล็อกอยู่ 2 รูปแบบ คือ คอนกรีตบล็อกแบบทึบตัน และคอนกรีตบล็อกแบบช่องลม ซึ่งในแต่ละแบบมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน กล่าวคือ คอนกรีตบล็อกแบบตันจะช่วยป้องกันการมองลอดจากภายนอก ป้องกันฝน แมลง และเสียงภายนอกได้ดี แต่ไม่สามารถให้อากาศหมุนเวียนผ่านภายในอาคารได้ ส่วนคอนกรีตบล็อกช่องลมจะช่วยให้อากาศหมุนเวียนระหว่างภายใน และภายนอกอาคารได้

จากการเปรียบเทียบความสามารถในการระบายอากาศของแบบคอนกรีตบล็อกช่องลม กับคอนกรีตบล็อกทึบตัน ในอาคารจำลองขนาด 2 ลูกบาศก์เมตร ที่มีหน้าต่างบานเกล็ดติดกระจกใสขนาด 0.37 ตารางเมตร เปิดทางด้านเหนือเหมือนกัน พบว่า อาคารจำลองที่ใช้คอนกรีตบล็อกช่องลมมีอุณหภูมิต่ำกว่าอาคารจำลองที่ใช้คอนกรีตบล็อกทึบตัน 2 – 3 องศาเซลเซียส (มัณฑนา รังสิโยภาส, 2543)

2.2.3 <u>คอนกรีตมวลเบา Q-con</u>

คอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุก่อผนังที่มีน้ำหนักเบา โดยมีฟองอากาศขนาดเล็กกระจายสม่ำเสมอในเนื้อคอนกรีตก้อนตันซึ่งไม่มีรูกลวงภายใน และทำให้แข็งด้วยกระบวนการอบไอน้ำ ใช้งานโดยวิธีก่อกับปูนก่อหรือปูนกาวบาง 2 - 3 มิลลิเมตร และสามารถตัดเป็นชิ้นได้ด้วยเลื่อยคอนกรีต มีชื่อทางการว่า ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ – อบไอน้ำ (Autoclaved Aerated Concrete; ACC) ขนาดมาตรฐานกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร และมีความหนาตั้งแต่ 7.5 10 12.5 15 20 และ 25 เซนติเมตร มีคุณสมบัติที่สำคัญ ดังนี้

1. ความหนาแน่นแห้ง (dry density) ไม่เกิน 500 กิโลกรัม/ ลูกบาศก์เมตร

2. ค่ากำลังรับแรงอัด (compressive strength; fc') ไม่น้อยกว่า 30 กิโลกรัม/ ตารางเซนติเมตร

3. ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity; E) ไม่น้อยกว่า 15,000 กิโลกรัม/ ตารางเซนติเมตร

4. อัตราการทนไฟ (fire rating) ตามมาตรฐาน BS 476 ไม่ต่ำกว่า 4 ชั่วโมง ที่ความหนา 7.5 เซนติเมตร

5. อัตราการดูดกลืนน้ำ (water absorbtion) ไม่เกิน 31 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร

6. ค่าการนำความร้อน (thermal conductivity) ไม่เกิน 0.10 วัตต์/ เมตร - เคลวิน

2.3 การตรวจวัดการส่งผ่านเสียง

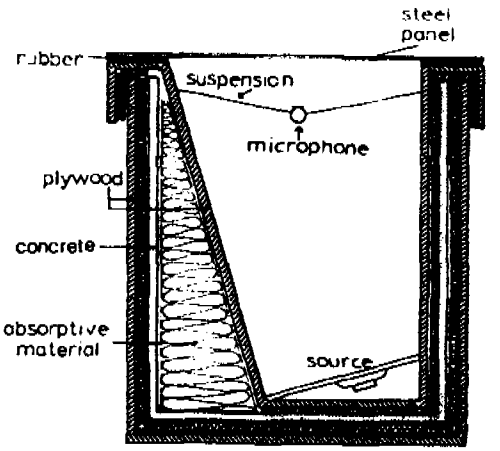
การตรวจวัดระดับความสามารถในการส่งผ่านเสียงของวัสดุผนังตามหลักมาตรฐาน ISO 140 – 1 และ 140 - 3 นั้น มีข้อจำกัดทางด้านทุนในเรื่องห้องทดสอบ และเครื่องมือในการทดสอบเสียง ดังนั้น การตรวจวัดการส่งผ่านเสียงในงานวิจัยนี้เป็นการจำลองเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าความสามารถในการป้องกันเสียงของคอนกรีตบล็อกชนิดมีช่องลมระบายอากาศแต่ละรูปแบบ เพื่อนำมาศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผนัง จึงได้ทำการออกแบบวิธีการตรวจวัดการส่งผ่านเสียงดังกล่าว โดยนำหลักการของ G. Papanikolaou และ A. Trochides แห่ง School of Engineering, University of Thessaloniki ประเทศกรีซในปี ค.ศ. 1984 มีหลักการดังนี้

ห้องที่ใช้ในการตรวจสอบค่าสูญเสียการส่งผ่านเสียงมีปริมาตร 118.00 ลูกบาศก์เมตร กล่องกำเนิดเสียงมีปริมาตรประมาณ 1.00 ลูกบาศก์เมตร ใช้วัสดุไม้อัดหนา 18 มิลลิเมตร 2 ชั้น มีคอนกรีตหนา 4 เซนติเมตร และวัสดุซับเสียงอยู่ระหว่างกลางระหว่างไม้อัด และรูปแบบผนังกล่องกำเนิดเสียงออกแบบให้เอียงไม่สมมาตรกัน ดังภาพที่ 2.11 เพื่อลดการเกิดคลื่นนิ่ง ซึ่งเป็นสาเหตุของการกำทอน ส่วนวัสดุที่จะทดสอบวางไว้ที่ปากกล่อง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากทดลองด้วยวิธีดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกับผลการคำนวณตามหลักการทางวิศวกรรมวัสดุ สรุปได้ว่า วิธีดังกล่าวเหมาะสมเป็นอย่างยิ่งในการพัฒนาวิจัยวัสดุทางด้านเสียงสำหรับวิศวกร และสถาปนิก

ดังนั้น ในการวิจัยทดสอบประสิทธิภาพการกันเสียงของผนังคอนกรีตบล็อกชนิดมีช่องลมระบายอากาศในครั้งนี้ จึงนำหลักการวิธีการทดสอบมาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับวิธีวิจัย

ภาพที่ 2.11

กล่องกำเนิดเสียงที่ใช้สำหรับการทดสอบค่าสูญเสียการส่งผ่าน



ที่มา: Papanikolacu and Trochides, 1985.

ข้อกำหนดในการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดระดับความดังเสียงควรตั้งสูงจากพื้นห้องทดลองไม่น้อยกว่า 1.2 เมตร ดังนั้น การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดเสียงสำหรับการทดสอบผนังคอนกรีตบล็อกชนิดมีช่องลมระบายอากาศ ซึ่งข้อคำนึงของผนังดังกล่าวคือ มีช่องหรือรูที่ให้เสียงเลี้ยวเบนผ่านมาได้โดยตรง จึงไม่สามารถวัด ณ ตำแหน่งผนังได้เหมือนผนังทึบตันทั่วไป จึงใช้ข้อกำหนดดังกล่าวเป็นแนวทางในการติดตั้งเครื่องตรวจวัด โดยวางห่างจากผนัง 1.20 เมตร เป็นอย่างน้อย ดังจะกล่าวต่อไปในขั้นตอนวิธีการวิจัย

จากการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับเสียง เช่น การเลี้ยวเบน การแทรกสอด และพฤติกรรมของเสียงเมื่อกระทบกับวัตถุ เป็นต้น และปัจจัยที่ส่งผลต่อการลดระดับความดังของเสียง เช่น คุณสมบัติของวัตถุ กฎมวลสารของวัตถุ การใช้ช่องว่างภายในบล็อกตามหลักการของเฮล์มโฮลทซ์ เป็นต้น จากทฤษฎีและหลักการดังกล่าว ได้นำมากำหนดตัวแปรในการศึกษาวิจัย ซึ่งสันนิษฐานว่าจะส่งผลต่อการเพิ่ม – ลดระดับความดังของเสียงในวัสดุมวลเบาชนิดมีช่องลมระบายอากาศ ในลักษณะทางกายภาพของช่องลมระบายอากาศ ได้แก่ ขนาดช่องลมระบายอากาศที่แตกต่างกัน ความหนาบังใบกันเสียงที่แตกต่างกัน และการใช้ช่องว่างภายในบล็อก ตามหลักการของเฮล์มโฮลทซ์ในการลดระดับความดังเสียง