

การประยุกต์ใช้วัสดุดูดกลืนเสียงเพื่อลดมลภาวะทางเสียงจากการจราจรใต้สถานีรถไฟฟ้าบีทีเอส

Utilization of Sound Absorbing Materials to Mitigate Road Traffic Noise below the Bangkok Mass Transit System (BTS) Skytrain

ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ และ ณพล เกียรติก้องมณี

Pusit Lertwattananaruk and Napol Kieatkongmanee

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12121

โทรศัพท์ : (+662) 986-9605 โทรสาร: (+662) 986-8067 Email: Lertwatt@tu.ac.th

บทคัดย่อ

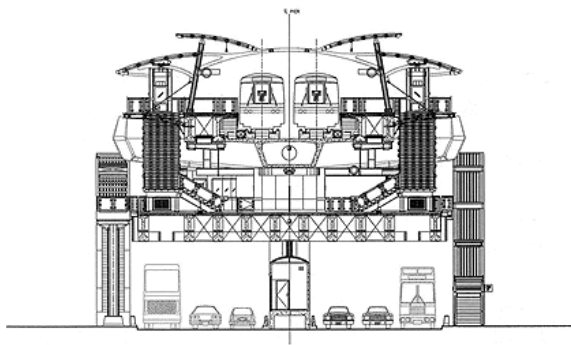
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอถึงการออกแบบและประยุกต์ใช้วัสดุดูดกลืนเสียงเพื่อลดมลภาวะทางเสียงจากการจราจรใต้สถานีรถไฟฟ้าบีทีเอสที่มีระดับความดังของเสียงมากกว่าปกติอันเป็นผลมาจากข้อจำกัดในการออกแบบทางกายภาพของโครงการ โดยปัญหาด้านมลภาวะทางเสียงที่เกิดขึ้นนี้ ได้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพจิตของผู้ที่ใช้งานและอยู่อาศัยในบริเวณนั้น วิธีการดำเนินการวิจัยประกอบด้วยการสร้างแบบจำลองเสียงในสภาพแวดล้อม โดยจำลองตั้งแต่บริเวณพื้นถนนจนถึงใต้คานของสถานีรถไฟฟ้าบีทีเอส โดยทำการเปรียบเทียบระดับความดังของเสียงในบริเวณดังกล่าวกับบริเวณถนนทั่วไปภายนอก และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์รูปทรงทางกายภาพและตำแหน่งที่ติดตั้งวัสดุดูดกลืนเสียง ผลจากการวิจัยนี้สามารถแสดงถึงภาพรวมของมลภาวะทางเสียง และลักษณะทางกายภาพของสถานีรถไฟฟ้าที่ส่งผลกระทบต่อระดับของเสียงที่เพิ่มขึ้นจากปกติ เนื่องจากอิทธิพลของลักษณะทางกายภาพของสถานีทำให้เสียงเกิดการสะท้อนกลับไปกลับมา รูปแบบการติดตั้งวัสดุดูดกลืนเสียงเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด ควรติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งใต้คานของสถานีรถไฟฟ้าในมุมเอียงเท่ากับ 45 องศา ซึ่งสามารถลดระดับเสียงได้ดีที่สุดเท่ากับ 4.3 เดซิเบลเอ เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุดูดกลืนเสียงชนิดเดียวกัน และผลการวิจัยนี้ สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบระบบการป้องกันมลภาวะทางเสียงจากการจราจรบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้าในเขตเมืองที่มีพื้นที่จำกัดได้

Abstract

This article aims to provide the design and application of sound absorbing materials to reduce the noise pollution from traffic under the Bangkok Mass Transit System (BTS) station, where the sound pressure levels (SPL) were louder than normal road traffic noise due to limitations of the project location. This sound pollution has had an impact on the mental health of those who used the facility and lived in the area. The research procedure included a noise simulation model of the environment by modeling the area below the platform of BTS station to the ground for comparing the sound pressure level of the studied area with that of the nearby road traffic noise. The test results show the shapes of sound absorbing materials and the locations for installation. It also shows the existing noise pollution and the physical characteristics of BTS station. The increased noise level below the BTS station platform is caused by the sound reflection in the space below the platform. The most effective method for installing the sound absorbing materials is to install below the beams of BTS station platform in the angle of 45 degree. The method in this study can reduce the sound pressure level by 4.3 dBA. The results can be applied as a guideline for the design of skytrain station in a limited area to mitigate the road traffic noise below the station platform.

1. บทนำ

สถานีรถไฟฟ้าบีทีเอส เป็นสถาปัตยกรรมอย่างหนึ่งที่ ตั้งอยู่ใจกลางเมืองและได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการดำเนิน ชีวิตของผู้อยู่อาศัยในกรุงเทพมหานคร การก่อสร้างรถไฟฟ้า บีทีเอสเพื่อแก้ปัญหาจราจรในกรุงเทพมหานครดังรูปที่ 1 นั้น ได้ส่งผลเสียต่อทัศนียภาพ และเกิดการสะสมของมลพิษทาง อากาศและเสียงซึ่งเกินเกณฑ์มาตรฐานของกรมควบคุม มลพิษและคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ [1]



รูปที่ 1 รูปตัดของสถานีรถไฟฟ้าบีทีเอส

ในช่วงที่ผ่านมา ระดับเสียงจากการจราจรมีแนวโน้ม สูงขึ้น ซึ่งพบว่า เสียงจากการจราจรนั้นส่งผลกระทบต่อ มนุษย์มากที่สุดถึงร้อยละ 73 ซึ่งเป็นระดับที่สามารถส่งผลกระทบต่อ สุขภาพทางกายและทางจิตใจได้ [2] นอกจากนี้ ในอนาคต โครงข่ายระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนในกรุงเทพมหานคร และพื้นที่บริเวณปริมณฑล ยังมีการขยายเส้นทางอยู่อย่าง ต่อเนื่อง [3] ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีการแก้ไข และบรรเทาผลกระทบดังกล่าว

มลภาวะทางเสียงที่เกิดขึ้นจากการจราจรบริเวณใต้สถานี รถไฟฟ้า พบว่า มีระดับเสียงดังมากกว่าบริเวณถนนทั่วไป อันเป็นผลมาจากข้อจำกัดในการออกแบบทางกายภาพของ โครงสร้างรถไฟฟ้าบีทีเอส และการแก้ไขปัญหาหกระดับความดัง เสียงจราจรนั้นสามารถมีได้หลายวิธี เช่น การใช้กำแพง ป้องกันเสียงในบริเวณทางเดินเท้า การใช้กำแพงดิน หรือ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่ติดการใช้พื้นที่มาก และมีความไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในเมือง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึง เลือกวิธีการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงในพื้นที่ใต้คาบของสถานี รถไฟฟ้า

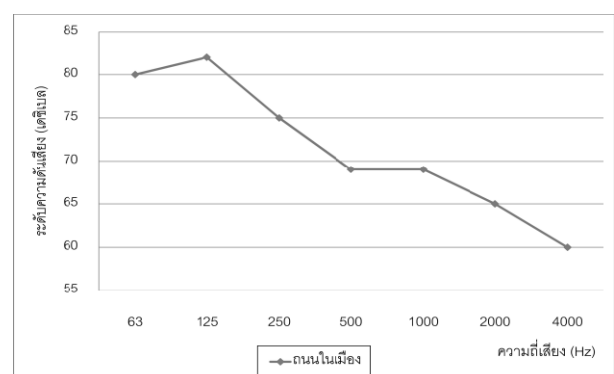
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมของเสียง ในบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้าบีทีเอสซึ่งมีความดังมากกว่า บริเวณถนนนอกสถานี และศึกษาการใช้วัสดุดูดซับเสียงใน การบรรเทาผลกระทบทางเสียง รวมทั้งพิจารณารูปแบบในการ ติดตั้งและตำแหน่งในการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียง และเสนอ แนวทางในการบรรเทาปัญหาผลกระทบทางเสียงในบริเวณ การจราจรใต้สถานีรถไฟฟ้าบีทีเอส

1.1 ระดับความดังของเสียง

ระดับความดังของเสียงหรือระดับของเสียง (Sound Pressure Level, SPL) คือ ความดังของเสียงที่วัดได้จาก เครื่องมือ มีหน่วยเป็น เดซิเบล ซึ่งจะใช้ในการกำหนดความ ดังของเสียงและมาตรฐานของระดับเสียงรบกวนต่างๆ ระดับ ความดังของเสียงในช่วงของการจราจรหนาแน่นในระยะ 8 – 15 เมตรจะอยู่ที่ 74 เดซิเบลเอ [4] ซึ่งมีระดับเสียงอยู่ในช่วง ปานกลาง

1.2 ความถี่ของเสียง

ความถี่ของเสียง เป็นจำนวนคลื่นเสียงที่ผ่านอากาศใน 1 หน่วยเวลา (รอบต่อวินาที) เสียงที่มีความถี่มากจะเป็นเสียง สูง และเสียงที่มีความถี่น้อยจะเป็นเสียงต่ำ มนุษย์ได้ประดิษฐ์ คิดค้นเครื่องมือสำหรับวัดความถี่ของเสียงขึ้นเรียกว่า เฮิรตซ์ (Hz) ใช้วัดความถี่ของเสียงเป็นครั้งต่อวินาที เสียงที่อยู่ใน ระดับปกติที่คนเราจะได้ยินมีความถี่ระหว่าง 20-20,000 Hz และความถี่ที่มนุษย์มีความไวมากที่สุดและดีต่อสุขภาพหูอยู่ ที่ 1000 – 4000 Hz



รูปที่ 2 ระดับความดังของเสียงของการจราจรในความถี่ต่างๆ

รูปที่ 2 แสดงระดับความดังของเสียงของการจราจรที่เกิดขึ้นในแต่ละความถี่ และอยู่ในช่วงของการจราจรที่ติดขัด ซึ่งตรงกับลักษณะของถนนบริเวณใต้สถานีรถไฟไฟฟ้าที่มีการจราจรติดขัดและหนาแน่นไปด้วยรถยนต์ ซึ่งเสียงของรถยนต์ต่างๆ ในความถี่ช่วง 63 – 1000 Hz จะมีระดับเสียงที่สูง โดยการคำนวณรวมความถี่ของระดับเสียง มีสมการดังนี้

$$SPL = 10 \log ((10^{(0.1)SPL_1}) + (10^{(0.1)SPL_2}) + \dots + (10^{(0.1)SPL_n}))$$

SPL คือ ระดับความดังของเสียงรวม (เดซิเบลเอ)

SPL_n คือ ระดับความดังเสียงที่ความถี่ n (เดซิเบล)

1.3 ค่าระดับความดังของเสียงที่ลดลงตามระยะทาง

ระดับความดังของเสียงมีความเกี่ยวข้องกับระยะทาง (Sound Pressure Level and Distance) คือเมื่อมีแหล่งกำเนิดเสียงอยู่ ณ ตำแหน่งเดียวกัน การได้ยินของคนที่อยู่คนละตำแหน่งก็จะไม่เท่ากัน ซึ่งคนที่อยู่ไกลจากแหล่งกำเนิดเสียงมากกว่าจะได้ยินเสียงที่เบาว่าคนที่อยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดเสียง [5] ซึ่งเป็นไปตามสมการ (รูปที่ 3) ดังนี้

$$SPL_1 = SPL_2 + 20\log(R/r) + \text{Atmospheric Absorption}$$

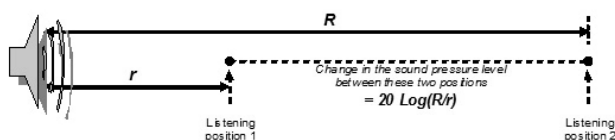
SPL₁ คือ ระดับความดังของเสียง ณ ตำแหน่งที่ 1

SPL₂ คือ ระดับความดังของเสียง ณ ตำแหน่งที่ 2

r คือ ระยะจากแหล่งกำเนิดเสียงถึงตำแหน่งที่ 1

R คือ ระยะจากแหล่งกำเนิดเสียงถึงตำแหน่งที่ 2

Atmospheric absorption คือ ค่าการดูดซับเสียงของอากาศ



รูปที่ 3 สมการคำนวณระดับความดังของเสียงกับระยะทาง

1.4 การสร้างแบบจำลองของสภาพแวดล้อม

การจำลองเสียงของสภาพแวดล้อมภายนอก ซึ่งมีความเป็นไปได้ยาก จึงจำเป็นต้องกำหนดตัวแปรให้ชัดเจน งานวิจัยนี้ ได้กำหนดให้ความเร็วลมไม่มีผลต่อระดับความดัง

ของเสียงที่วัดได้ [6] และไม่มีผลต่อความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปตามสิ่งที่ได้ยิน

การจำลองเสียงสามารถแบ่งออกเป็น 2 ระบบ ได้แก่ ระบบการจำลองเสียง 2 มิติ ซึ่งเป็นการจำลองเส้นทางของเสียงในแนวแกน X และ Y เท่านั้น และระบบการจำลองเสียง 3 มิติ ซึ่งเป็นการจำลองในแนวแกน X, Y และ Z ซึ่งจากงานวิจัยส่วนใหญ่แล้ว แกนเหล่านี้จะเป็นตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียง (source) หรือแหล่งรับเสียง (receiver) ที่วางตามแนวแกน เพื่อใช้ในการกำหนดสภาพแวดล้อมของแหล่งกำเนิดเสียงหรือแหล่งรับเสียง [7]

1.5 การทอนมาตราส่วนในแบบจำลอง (Scale Modeling)

ในการสร้างแบบจำลองเพื่อทดสอบเสียงในสิ่งแวดล้อมภายนอก จำเป็นต้องมีการทอนมาตราส่วนของแบบจำลอง เพื่อประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย เพื่อพิจารณากรณีศึกษาต่างๆ ภายในระยะเวลาที่จำกัด ตัวอย่างการปรับความถี่ของเสียงตามมาตราส่วนของแบบจำลอง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การปรับความถี่ของเสียงตามมาตราส่วน

Model Scale (มาตราส่วน)	Frequency (Hz)	Frequency (Hz)
1 : 1	500	1000
1 : n	500n	1000n

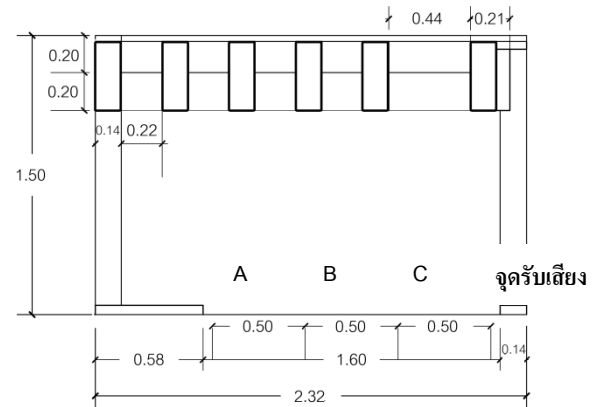
การทอนมาตราส่วนของแบบจำลองใดๆ ความถี่ของเสียงที่ใช้ในการทดลองต้องถูกคูณด้วยมาตราส่วนนั้น เช่น หากต้องการวัดระดับความดังของเสียงจริงในความถี่ 500 Hz ในมาตราส่วน 1:5 การจำลองจะใช้ความถี่ 5 เท่า ของ 500 Hz เท่ากับ 2500 Hz โดยการทอนมาตราส่วนมีข้อจำกัดในเรื่องของขนาดของมาตราส่วนด้วย ในการทอนมาตราส่วน 1:1 ถึง 1:10 นั้น จะไม่มีปัญหาในเรื่องของการต้านทานทางอากาศ แต่ ในมาตราส่วนที่เล็กกว่า 1:10 หากต้องการทอนมาตราส่วน ควรมีการปรับเปลี่ยนวัสดุเนื่องจากต้องคำนึงถึงการต้านทานทางอากาศ [8-10] ดังนั้น การทอนมาตราส่วนโมเดลเพื่อจำลองนั้น 1:1 ถึง 1:10 จะเป็นช่วงที่มีความผิดพลาดน้อย

1.6 การเลือกใช้ประเภทของวัสดุดูดซับเสียง

การเลือกใช้ประเภทวัสดุดูดซับเสียง ขึ้นอยู่กับสถานที่ในการติดตั้ง ในบริเวณขานเมืองที่มีระบบถนนขนาดใหญ่สามารถใช้วัสดุดูดซับเสียงประเภทกำแพงป้องกันเสียงได้ แต่การใช้กำแพงป้องกันเสียงในพื้นที่ที่จำกัดนั้น ส่งผลเสียต่อทัศนียภาพและการมองเห็น อีกทั้งยังทำให้พื้นที่มีการสะสมของมลพิษเพิ่มมากขึ้น จึงจำเป็นที่จะต้องมีการประยุกต์ใช้วัสดุดูดซับเสียงในแบบต่างๆ เช่น การนำวัสดุดูดซับเสียงไปติดบริเวณระเบียงของอาคารแถวที่อยู่ในบริเวณนั้น [11] หรือการเลือกใช้วัสดุดูดซับเสียงแบบแขวนไว้กับคานของโครงสร้าง [12, 13] ซึ่งส่งผลดีทั้งในด้านทัศนียภาพและการบรรเทาผลกระทบทางเสียงที่เกิดขึ้นจากการจราจร

2. วิธีการศึกษา

สำหรับการสร้างแบบจำลองจะจำลองในบริเวณใต้คานของสถานีรถไฟฟ้าบีทีเอส จนถึงพื้นถนนในขนาด 1:5 ด้วยการใช้วัสดุที่เป็นคอนกรีตมวลเบาที่ประกบด้วยปูนกาวและฉาบปูนทับทำให้มีคุณสมบัติในการดูดกลืนและสะท้อนเสียงเช่นเดียวกับวัสดุที่ใช้ก่อสร้างสถานีรถไฟฟ้าบีทีเอส ซึ่งขนาดของแบบจำลองเป็นดังรูปที่ 4



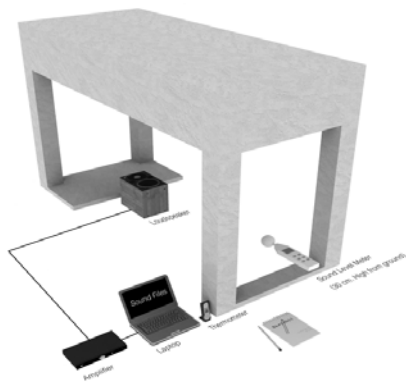
รูปที่ 4 แบบจำลองบริเวณใต้คานของสถานีรถไฟฟ้าบีทีเอส

การทดลองนี้เป็นการทดลองแบบสองมิติ และตั้งจุดกำเนิดเสียง (Source) ไว้สามตำแหน่งเพื่อแสดงถึงตำแหน่งที่รถแล่นผ่านช่องจราจร ซึ่งมีจุดรับเสียง (Receiver) ที่ตำแหน่งเดียวกัน โดยระยะจากแหล่งกำเนิดเสียงถึงจุดรับเสียงห่างกัน 1.30 เมตร 0.80 เมตร และ 0.30 เมตร (ตำแหน่ง A, B และ C ตามลำดับ) เพื่อศึกษาเส้นทางและพฤติกรรมของเสียงตลอดจนผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความดังของเสียงใต้สถานีเพื่อเปรียบเทียบกับบริเวณถนนทั่วไปนอกบริเวณสถานีรถไฟฟ้า

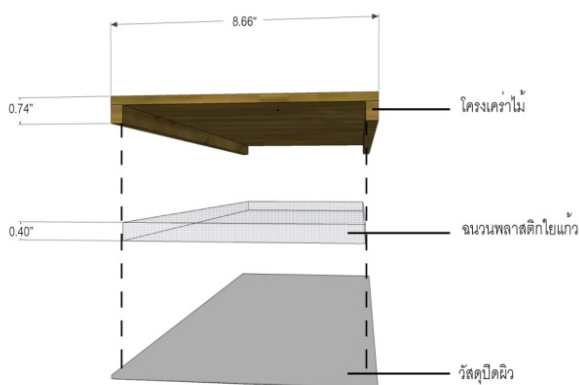
ตารางที่ 2 รายละเอียดการทดลองวัดระดับเสียงจากแบบจำลอง

กรณีศึกษา	รายละเอียดการทดลอง	แหล่งกำเนิดเสียง	ความถี่	จำนวนจุดกลืนเสียง	วัสดุปิดผิว	มุมติดตั้งจำนวน
Si	ระดับเสียงบริเวณถนนใต้สถานีรถไฟฟ้า	90 เดซิเบล	100 ถึง 2,000 Hz	-	-	-
So	ระดับเสียงบริเวณถนนนอกสถานีรถไฟฟ้า	90 เดซิเบล	100 ถึง 2,000 Hz	-	-	-
S1	ระดับเสียงบริเวณถนนใต้สถานีรถไฟฟ้า	90 เดซิเบล	100 ถึง 2,000 Hz	แผ่นพลาสติกเส้นใย (PET)	แผ่นเหล็กเจาะรู	0 องศา
S2	ระดับเสียงบริเวณถนนใต้สถานีรถไฟฟ้า	90 เดซิเบล	100 ถึง 2,000 Hz	แผ่นพลาสติกเส้นใย (PET)	ลวด	0 องศา
S3	ระดับเสียงบริเวณถนนใต้สถานีรถไฟฟ้า	90 เดซิเบล	100 ถึง 2,000 Hz	แผ่นพลาสติกเส้นใย (PET)	ลวด	90 องศา
S4	ระดับเสียงบริเวณถนนใต้สถานีรถไฟฟ้า	90 เดซิเบล	100 ถึง 2,000 Hz	แผ่นพลาสติกเส้นใย (PET)	ลวด	45 องศา

ในการทดลองสำหรับแบบจำลองขนาด 1: 1 จะวัดระดับความดังของเสียงในความถี่ตั้งแต่ 100 – 2,000 Hz สำหรับในงานวิจัยนี้แบบจำลองมีขนาด 1: 5 จึงใช้ความถี่ในการวัดระดับความดังของเสียงเพิ่มขึ้นเป็น 5 เท่า โดยวัดช่วงความถี่ตั้งแต่ 500 – 10,000 Hz



รูปที่ 5 ตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือวัด



รูปที่ 6 วัสดุดูดกลืนเสียงที่ใช้ในแบบจำลอง

พื้นที่บริเวณที่ตั้งแบบจำลองเป็นพื้นที่เปิดโล่งและมีการเว้นระยะที่ไม่มีสิ่งกีดขวางในระยะ 1.5 เมตรรอบด้านเพื่อให้การวัดผลมีความแม่นยำมากที่สุด รูปที่ 5 แสดงแบบจำลองสถานีรถไฟ โดยใช้เครื่องมือในการทดสอบเสียง ได้แก่

1) เครื่องวัดระดับความดังของเสียง มีหน่วยเป็น เดซิเบล เอ จำนวน 1 เครื่อง เพื่อใช้เก็บข้อมูล โดยวัดที่ระดับความสูง 0.30 เมตร และในรัศมี 1.50 เมตรจะไม่มีวัสดุที่มีคุณสมบัติการสะท้อนของเสียงกีดขวางอยู่

2) เครื่องวัดอุณหภูมิ มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส จำนวน 1 เครื่อง เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิของอากาศในเวลาที่ทำการทดลอง

3) เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในประเทศไทยในเวลาที่ทำการทดลอง

4) เครื่องปล่อยสัญญาณเพื่อขยายความดังเสียงของลำโพง

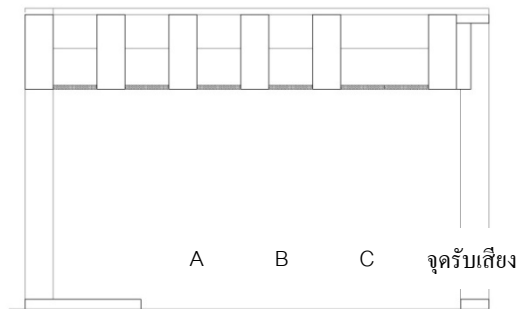
5) ลำโพงที่สามารถปล่อยความถี่ได้ถึง 10,000 Hz โดยปล่อยเสียงออกมาในลักษณะหงายขึ้น ไปให้ตรงกับส่วนใต้คาน เพื่อศึกษาผลกระทบโดยตรงจากคานของสถานีรถไฟ

6) คอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการปล่อยเสียงในความถี่ที่ต้องการ

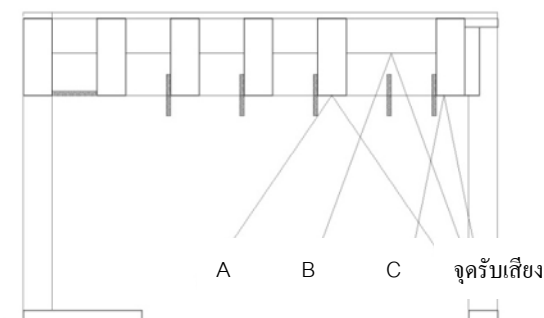
7) วัสดุดูดกลืนเสียง ซึ่งเป็นฉนวนชนิดพลาสติกเส้นใย ปิดผิวด้วยตะแกรงเหล็ก และลวดกรงไก่ ดังในรูปที่ 6

ตารางที่ 2 แสดงรายละเอียดของการทดลองวัดระดับเสียงจากแบบจำลอง โดยมีกรณีศึกษาพื้นฐานแสดงในรูปที่ 4 ได้แก่ การทดลองกรณี Si เป็นการวัดระดับความดังเสียงที่เกิดขึ้นในบริเวณใต้สถานี (โดย Ai Bi และ Ci หมายถึง ระดับเสียงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ ตำแหน่ง A, B และ C ตามลำดับ ดังในรูปที่ 7 ถึง 9) และการทดลองกรณี So ซึ่งเป็นการวัดระดับเสียงบริเวณถนนนอกสถานีรถไฟ (โดย Ao, Bo และ Co หมายถึง ระดับเสียงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ ตำแหน่ง A B และ C ตามลำดับ)

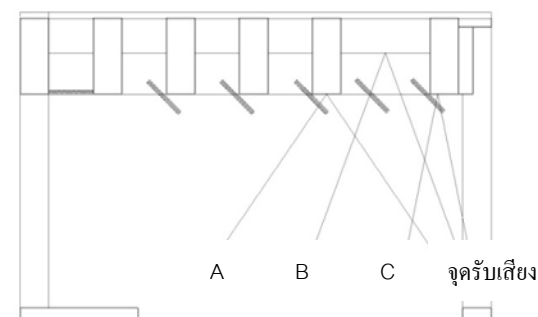
การทดลองกรณี S1 คือ การติดตั้งวัสดุดูดกลืนเสียง โดยทำการจำลองสถานีรถไฟบางจาก ที่ได้มีการติดตั้งวัสดุดูดกลืนเสียงแล้ว ดังในรูปที่ 7 โดยเป็นลักษณะของฉนวนพลาสติกโฟมขนาดความหนา 5 เซนติเมตร และปิดผิวด้วยแผ่นตะแกรงเหล็กมีรู (perforated) โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะเท่ากับ 3 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างรูเจาะเท่ากับ 1 เซนติเมตร ซึ่งมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 10.5 โดยใช้ติดตั้งบริเวณใต้คานของสถานีรถไฟบีทีเอส โดย A1, B1 และ C1 หมายถึง ระดับเสียงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ ตำแหน่ง A, B และ C ตามลำดับ



รูปที่ 7 มุมการติดตั้งฉนวนในการทดลองกรณี S1 และ S2



รูปที่ 8 มุมการติดตั้งฉนวนในการทดลองกรณี S3



รูปที่ 9 มุมการติดตั้งฉนวนในการทดลองกรณี S4

การทดลองกรณี S2 ดังในรูปที่ 7 เป็นการทดลองเพิ่มสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่แผ่นทั้งหมด มากที่สุดเท่าที่โครงสร้างจะรองรับได้ ทั้งนี้เพื่อต้องการใช้ฉนวนใยแก้วที่เลือกใช้นั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยยังติดตั้งไว้ที่จุดเดิมซึ่งขนานกับพื้น (0 องศา) เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงเมื่อปรับในเรื่อวัสดุปิดผิว โดย A2, B2 และ C2 หมายถึง ระดับเสียงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ ตำแหน่ง A, B และ C ตามลำดับ

การทดลองกรณี S3 เป็นการนำวัสดุดูดกลืนเสียงในกรณี M-1 มาประยุกต์ใช้ โดยปรับการติดตั้งวัสดุเป็น 90 องศาเนื่องจากมีแนวคิดในการนำหลักการสะท้อนของเสียงเข้ามาใช้ร่วมกับการดูดกลืนเสียง รูปที่ 8 แสดงถึงการใช้หลักการมุดตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน โดยจะเป็นเส้นเฉพาะแหล่งกำเนิดเสียงกระทบกับได้ฟ้าของสถานีรถไฟฟ้าและไปถึงตัวผู้รับเสียง โดย A3, B3 และ C3 หมายถึง ระดับเสียงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ ตำแหน่ง A, B และ C ตามลำดับ

การทดลองกรณี S4 ดังในรูปที่ 9 มีการปรับมุมของวัสดุดูดกลืนเสียงเป็นมุมเท่ากับ 45 องศา เนื่องจากต้องการให้มีการสะท้อนกลับไปยังถนนมากขึ้น โดยเฉพาะแหล่งกำเนิดเสียงที่อยู่ใกล้กับผู้รับเสียงมากที่สุด โดย A4, B4 และ C4 หมายถึง ระดับเสียงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ ตำแหน่ง A, B และ C ตามลำดับ

3. ผลการศึกษา

3.1 ผลการทดสอบในกรณีศึกษาพื้นฐาน (Si และ So)

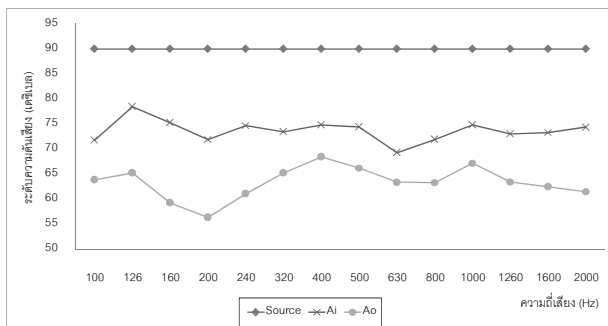
การทดลองวัดระดับความดังของเสียงที่เกิดขึ้นในบริเวณใต้สถานี ที่มีแหล่งกำเนิดเสียงเท่ากัน มีผลการทดสอบดังนี้

การเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นในบริเวณที่มีและไม่มีสถานีรถไฟฟ้าปกคลุม โดยกำหนดระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงและผู้รับเสียงที่เท่ากัน ซึ่งผลของระดับความดังของเสียงเป็นดังนี้

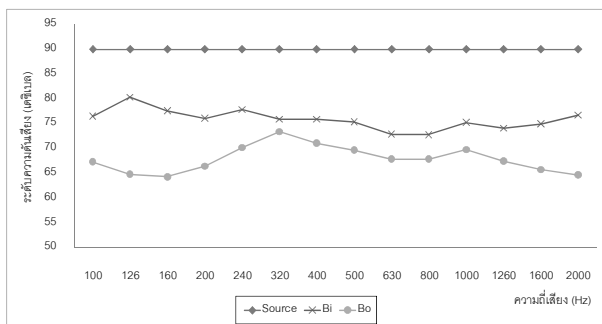
รูปที่ 10 แสดงผลการเปรียบเทียบระดับความดังของเสียงในแต่ละความถี่ระหว่างบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้าและนอกสถานีรถไฟฟ้า ซึ่งมีระยะจากแหล่งกำเนิดเสียงถึงจุดรับเสียงที่เท่ากัน คือ 6.50 เมตร แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของระดับความดังเสียงที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อกำหนดให้ปล่อยความดังของเสียงออกมาเท่ากัน

รูปที่ 11 แสดงผลการเปรียบเทียบระดับความดังของเสียงในแต่ละความถี่ระหว่างบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้าและนอกสถานีรถไฟฟ้า ซึ่งมีระยะจากแหล่งกำเนิดเสียงถึงจุดรับเสียงที่เท่ากัน คือ 4.00 เมตร แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของระดับความดังเสียงที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อกำหนดให้ปล่อยความดังของเสียงออกมาเท่ากัน

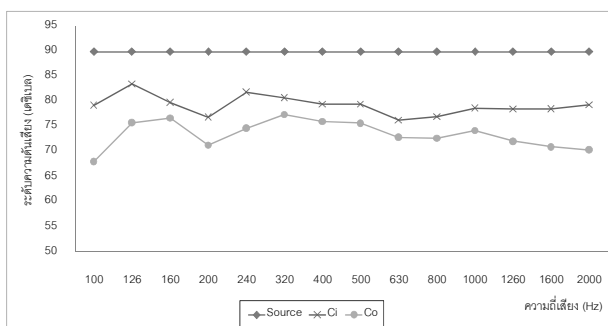
รูปที่ 12 แสดงผลการเปรียบเทียบระดับความดังของเสียงในแต่ละความถี่ระหว่างบริเวณใต้สถานีรถไฟและนอกสถานีรถไฟ ซึ่งมีระยะจากแหล่งกำเนิดเสียงถึงจุดรับเสียงที่เท่ากัน คือ 1.50 เมตร (ซึ่งมีระยะใกล้กับตำแหน่งของจุดรับเสียงมาก) และผลที่ออกมาคือบริเวณใต้สถานีรถไฟมีระดับเสียงที่สูงกว่าบริเวณนอกสถานีรถไฟ



รูปที่ 10 ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ จุด A



รูปที่ 11 ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ จุด B



รูปที่ 12 ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ จุด C



(ก) การทดลองกรณี S1 (มุม 0 องศา)



(ข) การทดลองกรณี S2 (มุม 0 องศา)

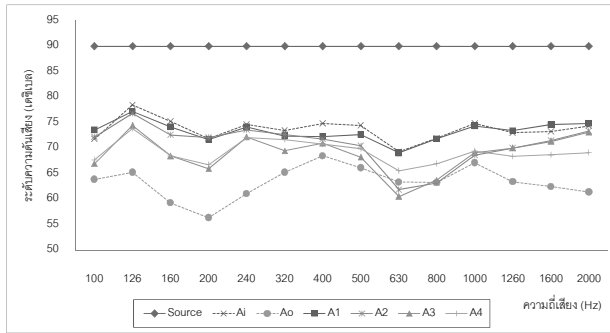


(ค) การทดลองกรณี S3 (มุม 90 องศา)

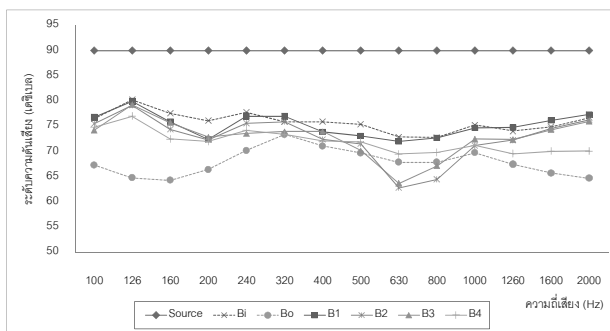


(ง) การทดลองกรณี S4 (มุม 45 องศา)

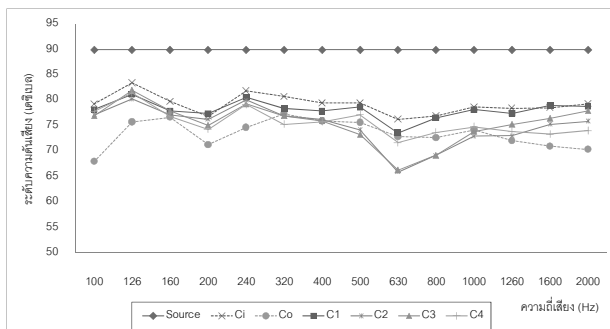
รูปที่ 13 การติดตั้งวัสดุดูดคลื่นเสียงในกรณี S1 S2 S3 และ S4



รูปที่ 14 ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ จุด A (ระยะห่าง 6.50 เมตร)



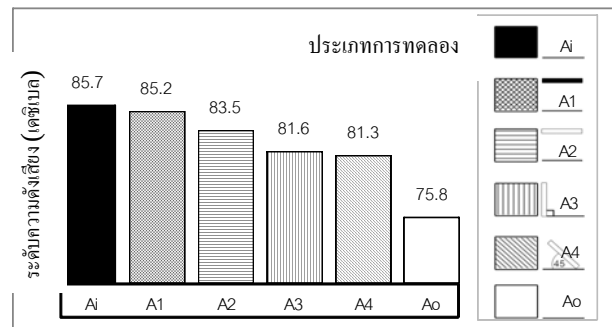
รูปที่ 15 ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ จุด B (ระยะห่าง 4.00 เมตร)



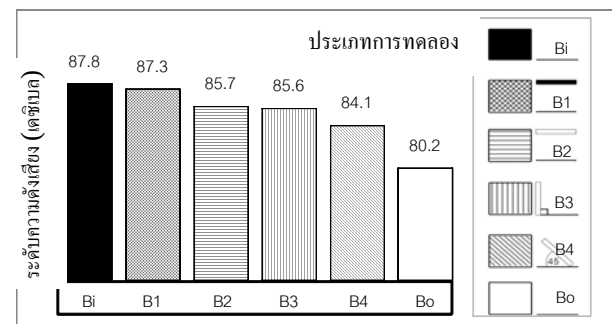
รูปที่ 16 ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ จุด C (ระยะห่าง 1.50 เมตร)

เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบของสถานีรถไฟฟ้ามหานคร โดยการศึกษาได้คำนึงถึงทิศทางในการปล่อยเสียงขึ้นไปยังคานของสถานีโดยตรง และพบว่า เสียงเกิดการสะท้อนกับคานของสถานีและส่งกลับมายังจุดรับเสียง ทำให้ระดับเสียงมีค่าเพิ่มมากขึ้นจากเดิมอย่างชัดเจน และไม่มีควมถี่

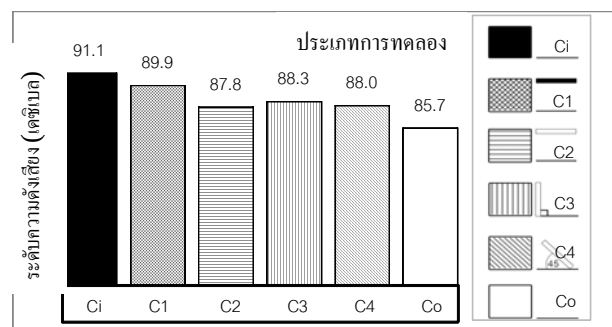
ตำแหน่งใด ที่ระดับเสียงที่จุดรับเสียงหรือทางเดินเท้าบริเวณใต้สถานีมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับระดับเสียงบริเวณถนนทั่วไป โดยเฉพาะในช่วงความถี่ 100 – 400 Hz และ 1,600 – 2,000 Hz ที่มีแนวโน้มของความแตกต่างของระดับเสียงที่เหมือนกัน สำหรับช่วงความถี่ระหว่าง 400 – 1,600 Hz ก็มีความแตกต่างอยู่บ้าง แต่อย่างไรก็ตาม ทั้ง 3 ตำแหน่งบนถนนใต้สถานี มีระดับเสียงที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 5 เดซิเบล



รูปที่ 17 ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ จุด A



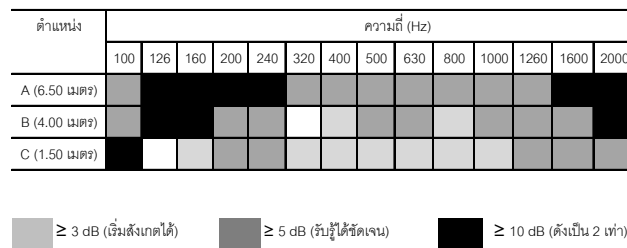
รูปที่ 18 ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ จุด B



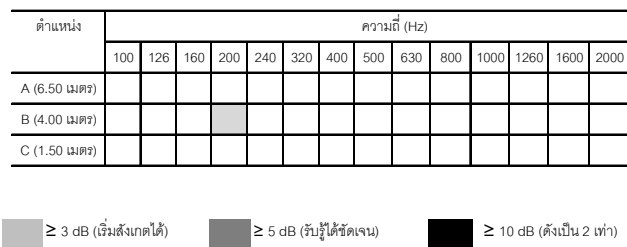
รูปที่ 19 ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ จุด C

4.2 ผลการทดสอบในกรณีติดตั้งวัสดุดูดกลืนเสียง

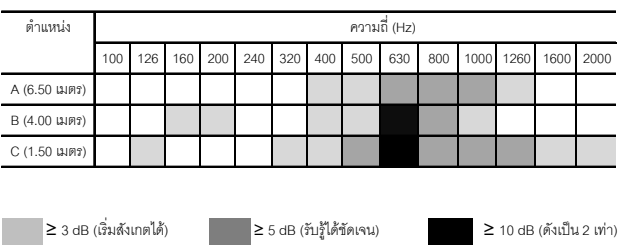
การทดลองในกรณีศึกษา S1, S2, S3 และ S4 เป็นการวัดระดับเสียงหลังจากการติดตั้งและประยุกต์ใช้วัสดุดูดกลืนเสียงชนิดเดียวกันและติดตั้งในรูปแบบที่ต่างกัน ดังในรูปที่ 13 และได้ผลการทดสอบระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ ตำแหน่งต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 14 ถึง 16 และเมื่อคำนวณรวมความถี่ของระดับความดังของเสียงในแต่ละกรณีศึกษา จึงได้ผลการทดสอบระดับเสียง ดังแสดงในรูปที่ 17 ถึง 19



รูปที่ 20 ความแตกต่างของระดับเสียงบริเวณถนนใต้สถานีรถไฟฟ้ามหานครสายสีแดงเข้ม



รูปที่ 21 ความแตกต่างของระดับเสียงที่วัดได้ ก่อนและหลังติดตั้งวัสดุดูดกลืนเสียง ตามการทดลองกรณี S1



รูปที่ 22 ความแตกต่างของระดับเสียงที่วัดได้ ก่อนและหลังติดตั้งวัสดุดูดกลืนเสียง ตามการทดลองกรณี S2

ตำแหน่ง	ความถี่ (Hz)												
	100	126	160	200	240	320	400	500	630	800	1000	1260	1600
A (6.50 เมตร)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
B (4.00 เมตร)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
C (1.50 เมตร)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

≥ 3 dB (เริ่มสังเกตได้)
 ≥ 5 dB (รับรู้ได้ชัดเจน)
 ≥ 10 dB (ดังเป็น 2 เท่า)

รูปที่ 23 ความแตกต่างของระดับเสียงที่วัดได้ ก่อนและหลังติดตั้งวัสดุดูดกลืนเสียง ตามการทดลองกรณี S3

ตำแหน่ง	ความถี่ (Hz)												
	100	126	160	200	240	320	400	500	630	800	1000	1260	1600
A (6.50 เมตร)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
B (4.00 เมตร)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
C (1.50 เมตร)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

≥ 3 dB (เริ่มสังเกตได้)
 ≥ 5 dB (รับรู้ได้ชัดเจน)
 ≥ 10 dB (ดังเป็น 2 เท่า)

รูปที่ 24 ความแตกต่างของระดับเสียงที่วัดได้ ก่อนและหลังติดตั้งวัสดุดูดกลืนเสียง ตามการทดลองกรณี S4

จากการทดลองในกรณีศึกษาพื้นฐานซึ่งไม่ได้ติดตั้งวัสดุดูดกลืนเสียง การเปรียบเทียบระดับเสียงที่เกิดขึ้นในบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้ามหานครสายสีแดงเข้ม (Ai, Bi, Ci) กับบริเวณถนนทั่วไปนอกสถานีรถไฟฟ้ามหานครสายสีแดงเข้ม (Ao, Bo, Co) ความแตกต่างของระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงทั้ง 3 ตำแหน่ง มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ดังรูปที่ 20 ในบางความถี่ มีความแตกต่างมากถึง 16 เดซิเบล ซึ่งเป็นผลมาจากหลักการสะท้อนของเสียงในบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้ามหานครสายสีแดงเข้มซึ่งส่งผลให้มีระดับความดังของเสียงเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณถนนภายนอก อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษานี้สามารถบอกได้ว่า เสียงที่เกิดขึ้นจากการจราจรบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้ามหานครสายสีแดงเข้ม มีระดับความดังของเสียงมากกว่าบริเวณถนนภายนอกที่ไม่มีสถานีมาปกคลุม ทั้งที่มีแหล่งกำเนิดเสียงที่เท่ากัน จึงมีความจำเป็นในการหาวิธีติดตั้งวัสดุดูดกลืนเสียงในบริเวณดังกล่าว เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น

การทดลองในกรณี S1 และ S2 (A1, B1, C1 และ A2, B2, C2 ตามลำดับ) แสดงการเปรียบเทียบวัสดุ 2 ชนิดซึ่งใช้

ปิดผิวของฉนวนดुकกลืนเสียง โดยมีความแตกต่างของสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผิวทั้งหมด จากผลการทดสอบ พบว่า วัสดุปิดผิวที่แตกต่างกันส่งผลต่อความสามารถในการดุกกลืนเสียงของฉนวนชนิดเดียวกัน โดยวัสดุที่มีพื้นที่ช่องเปิดมาก สามารถดุกกลืนเสียงได้ดีกว่าวัสดุที่มีพื้นที่ช่องเปิดต่ำอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในรูปที่ 21 และ 22

การทดลองในกรณี S3 และ S4 (A3, B3, C3 และ A4, B4, C4 ตามลำดับ) ดังรูปที่ 23 และ 24 แสดงให้เห็นถึงการนำคุณสมบัติของเสียงอีกประการหนึ่ง มาใช้ในบริเวณที่มีพื้นที่จำกัดในการติดตั้งวัสดุดุกกลืนเสียง คุณสมบัติในที่นี้คือการสะท้อนของเสียง เพื่อให้เสียงสะท้อนกลับไปที่แหล่งกำเนิดเสียงหรือพื้นถนน และไม่ส่งผลกระทบต่อผู้คนรอบข้าง โดยมีการประยุกต์ใช้ปรับเปลี่ยนองศาของวัสดุดุกกลืนเสียง ผลที่ได้จากการทดลองมีความแตกต่างกัน คือ การทดลอง B2, C2 (0 องศา) และ B3, C3 (90 องศา) มีความใกล้เคียงกัน แต่การทดลอง A3 ในช่วงถนนช่องนอกสุดนั้นสามารถลดเสียงได้มากกว่าการทดลอง A2 เนื่องจากการสะท้อนกลับไปมาก ในความถี่ช่วง 500 ถึง 1,000 Hz นั้นเป็นความถี่ที่ไวที่สุดของมนุษย์ กรณีการติดตั้งวัสดุดุกกลืนเสียงในมุม 90 องศา สามารถลดมลภาวะทางเสียงได้ดีที่สุด แต่ก็ยังไม่สามารถบรรเทาเสียงในช่วงความถี่สูงได้ ส่วนกรณีการติดตั้งวัสดุดุกกลืนเสียงในมุม 45 องศา เพื่อรับแนวการสะท้อนให้มากขึ้น ผลที่ได้คือ สามารถลดระดับความดังของเสียงได้ในทุกความถี่ แต่ในช่วงความถี่ 500 ถึง 1,000 Hz จะลดได้น้อยกว่าแบบ 90 องศา และแบบ 0 องศา

5. สรุปผลการศึกษา

1. ผลการศึกษา แสดงให้เห็นว่า การติดตั้งวัสดุดุกกลืนเสียงได้สถานีรถไฟฟ้ามหานครได้ดำเนินการไปแล้วนั้น ยังไม่สามารถแก้ไขปัญหามลภาวะทางเสียงได้อย่างมีประสิทธิภาพตามที่ต้องการ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาและนำวัสดุดุกกลืนเสียงเดิมมาประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด ทั้งในด้านของชนิดของวัสดุปิดผิว ฉนวนที่ใช้กับสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารสถานี และองศาในการติดตั้งวัสดุ ซึ่งส่งผลต่อการลดมลภาวะทางเสียงทั้งสิ้น

2. ชนิดของวัสดุปิดผิวของฉนวนดุกกลืนเสียง มีผลต่อประสิทธิภาพในการดุกกลืนเสียงในช่วงความถี่ที่มีผลกระทบต่อมนุษย์ โดยอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผิวทั้งหมด แปรผันตรงกับความสามารถในการดุกกลืนเสียง วัสดุปิดผิวที่มีพื้นที่ช่องเปิดมากจะสามารถดุกกลืนเสียงได้ดีกว่าวัสดุที่มีพื้นที่ช่องเปิดมีน้อย

3. มุมในการติดตั้งวัสดุดุกกลืนเสียงบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้ามหานคร มีผลต่อประสิทธิภาพในการกันเสียง โดยมุมการติดตั้งที่ 45 องศาจากพื้น และหันหน้าของวัสดุดุกกลืนเสียงให้รับกับแหล่งกำเนิดเสียง สามารถใช้หลักการสะท้อนเสียงมาช่วยในการดุกกลืนเสียงได้ดีที่สุด โดยสามารถลดระดับเสียงได้ในทุกความถี่ที่ต้องการ และวัสดุดุกกลืนเสียงมีประสิทธิภาพมากที่สุดในช่วงความถี่ 100 ถึง 400 Hz และ 1,600 ถึง 2,000 Hz โดยสังเกตได้จากความแตกต่างของระดับเสียงที่ดุกกลืนได้มีค่าสูงกว่าในช่วงความถี่ 500 ถึง 1,260 Hz และในการเปรียบเทียบเมื่อรวมความถี่ในทุกช่วงแล้ว การติดตั้งวัสดุดุกกลืนเสียงได้สถานีรถไฟฟ้ามหานครสามารถลดระดับเสียงได้เท่ากับ 4.3 เดซิเบลเอ ณ จุด A และ 3.7 เดซิเบลเอ ณ จุด B และ 3.2 เดซิเบลเอ ณ จุด C ซึ่งมากกว่า 3 เดซิเบลเอ ซึ่งเป็นระดับเสียงที่มนุษย์สามารถรับรู้ได้อย่างชัดเจน

4. การออกแบบและตำแหน่งในการติดตั้งวัสดุดุกกลืนเสียง ส่งผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพการป้องกันเสียง และการติดตั้งวัสดุควรหลีกเลี่ยงผลกระทบต่อผู้สัญจรบริเวณสถานีรถไฟฟ้ามหานคร รวมทั้งผลกระทบต่อรถยนต์ที่วิ่งบนถนน โดยควรคำนึงถึงระยะลดของรถจากถนนถึงคานของสถานีตามที่กฎหมายกำหนด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัย และขอขอบคุณอาจารย์วิสิทธิ์ ลีลาสิริวงศ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับคำแนะนำ และการสนับสนุนในการทดสอบเสียง

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมควบคุมมลพิษ และ คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. (2550). กำหนดมาตรฐานระดับเสียงโดยทั่วไป. ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 124. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ.
- [2] Vermeer, W. Passchier. (2003). Relationship between environmental noise and health. *Journal of A vibration Environmental Research* 7(suppl), 35-44.
- [3] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร(สนข.). (2540). โครงการแผนแม่บท การขนส่งมวลชนระบบรางในเขตกรุงเทพมหานคร และพื้นที่ต่อเนื่อง. สืบค้นเมื่อวันที่ 4 มิถุนายน 2553, จาก <http://www.otp.go.th/bmt/evolution.htm/>
- [4] Egan, M. D. (1988). *Architectural Acoustics*. New York: McGraw Hill.
- [5] University of Salford. (2009). Sound pressure level and distance. Retrieved October 13, 2009, from <http://www.acoustics.salford.ac.uk/>
- [6] Defrance, J. & Jean, P. (2003). Integration of the efficiency of noise barrier caps in a 3D ray tracing method. Case of a T-shaped diffracting device. *Applied Acoustics* 64, 765-780.
- [7] Busch, T. A. & Hodgson, M. R. (2001). Improve method for selecting scale factors and model materials for scale modeling of outdoor sound propagation. *Journal of Sound and Vibration*. 243, 173-181.
- [8] Hossam El Dien, H., Woloszyn, P. (2005). The acoustical influence of balcony depth and parapet form : experiments and simulations. *Applied Acoustics* 66, 533-551.
- [9] Watts, G. R., Hothersall D. C., Horoshenkov, K.V.(2000). Measured and predicted acoustic performance of vertically louvered noise barrier. *Applied Acoustics* 62, 1287-1311.
- [10] Hartung, C. F. & Vernersson, T. (2003). A full-scale test rig for railway rolling noise: simulation and measurement of dynamic wheel set-track interaction. *Journal of Sound and Vibration*. 267, 549-563.
- [11] Calixto, Alfredo, Diniz, Fabiano B., & Zannin, Paulo H. T. (2003). The statistical modeling of road traffic noise in an urban setting. *Cities*. 20, 1(February 2003), 23-29.
- [12] Claudio Cianfrini, Corcion Massimo, Fontana Lucia. (2006). Experimental verification of the acoustic performance of diffusive roadside noise barriers. *Applied Acoustics* 68, 1357-1372.
- [13] Eberhard, S. (2009). Calculation method of absorption of sound by the atmosphere. Retrieved November 20, 2009, from <http://www.sengpielaudio.com/calculator-air.htm/>