

การประยุกต์ใช้วัสดุดูดกลืนเสียงเพื่อลดมลภาวะทางเสียงจาก  
การจราจรใต้สถานีรถไฟฟ้าบีทีเอส

โดย

นายณพล เกียรติก้องมณี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม  
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
พ.ศ. 2553

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

By

Mr. Napol Kieatkongmanee

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Architecture Program  
Department of Architecture  
Faculty of Architecture and Planning  
Thammasat University

2010

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง

วิทยานิพนธ์

ของ

นายณพล เกียรติก้องมณี

เรื่อง

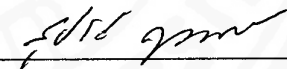
การประยุกต์ใช้วัสดุดูดกลิ่นเสียงเพื่อลดมลภาวะทางเสียงจากการจราจรใต้สถานีรถไฟฟ้าบีทีเอส

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

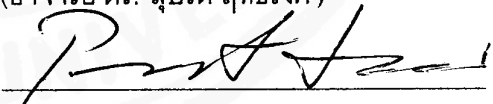
สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 4 มิถุนายน พ.ศ. 2553

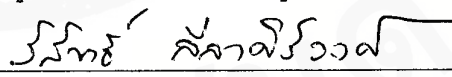
ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
(อาจารย์ ดร. สุปรีย์ ฤทธิรงค์)

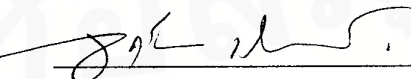
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนุชิต เลิศวัฒนารักษ์)

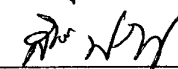
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
(อาจารย์วิวิธธิ ลิลาศิริวงศ์)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
(อาจารย์ ดร. จตุวัฒน์ วิโรตมพันธ์)

คณบดี

  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สันติรักษ์ ประเสริฐสุข)

## บทคัดย่อ

การก่อสร้างรถไฟฟ้าบีทีเอสเพื่อแก้ปัญหาจราจรในกรุงเทพมหานครนั้น ได้ส่งผลเสียต่อทัศนียภาพ และยังทำให้เกิดการสะสมของมลพิษทางอากาศ และเสียงบนท้องถนนบริเวณใต้เส้นทางของสถานีรถไฟฟ้า โดยเฉพาะเรื่องเสียง ที่มีระดับความดังของเสียงมากกว่าปกติอันเป็นผลมาจากข้อจำกัดในการออกแบบทางกายภาพของโครงการ โดยปัญหาด้านมลภาวะทางเสียงที่เกิดขึ้นนี้ ได้ส่งผลเสียต่อสุขภาพจิตของผู้ที่ใช้งาน และอยู่อาศัยในบริเวณนั้นอย่างมาก ในปัจจุบันได้มีการวางแผน และติดตั้งวัสดุดูดกลืนเสียงพร้อมกับสถานีรถไฟฟ้าที่สร้างขึ้นใหม่ การวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อหาแนวทางการประยุกต์ใช้วัสดุดูดกลืนเสียงให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด เพื่อลดมลภาวะทางเสียง โดยการสร้างแบบจำลอง มาตรฐาน 1 : 5 เพื่อทดสอบสภาวะเสียงของสภาพแวดล้อมที่ทำการศึกษา และเลือกใช้ฉนวนดูดกลืนเสียงประเภทพลาสติกเส้นใย และวัสดุปิดผิว ได้แก่ ตะแกรงเหล็กเจาะรู และลวดทรงไก่ในการศึกษาวิจัย

จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่า ปัจจัยทางกายภาพของสถานีรถไฟฟ้าบีทีเอสมีผลต่อระดับเสียงที่เพิ่มขึ้นอย่างผิดปกติจริง โดยช่องทางเดินรถของถนนที่ติดกับเกาะกลาง เกิดความแตกต่างของระดับเสียงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณถนนทั่วไปภายนอก เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากโครงสร้างของสถานีมากที่สุด ในการติดตั้งวัสดุดูดกลืนเสียง ควรเลือกใช้วัสดุปิดผิวที่มีอัตราส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ทั้งหมดที่มีค่ามาก จึงส่งผลให้ฉนวนมีประสิทธิภาพในการดูดกลืนเสียงได้ดี และเนื่องจากมีข้อจำกัดของพื้นที่ในการติดตั้งวัสดุดูดกลืนเสียง การเลือกมุมในการติดตั้งวัสดุฉนวนนับเป็นปัจจัยสำคัญ ตามหลักการสะท้อนเสียงร่วมกับการดูดกลืนเสียงของวัสดุสามารถช่วยลดระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงได้ดีมากขึ้น โดยใช้วัสดุดูดกลืนเสียงชนิดเดิม

สำหรับรูปแบบในการติดตั้งวัสดุดูดกลืนเสียง มุมในการติดตั้งวัสดุดูดกลืนเสียงเท่ากับ 45 องศาจากพื้น ทำให้มีพื้นที่ในการดูดกลืนเสียง และสะท้อนเสียงได้มากที่สุด สามารถลดระดับเสียงได้ดีที่สุด โดยลดระดับเสียงรวมได้เท่ากับ 3.5 เดซิเบลเอ ซึ่งสามารถลดระดับเสียงลงได้ถึงร้อยละ 54.40 เมื่อจำแนกตามช่องทางเดินรถบนถนน จากบริเวณเกาะกลางถึงทางเดินเท้า พบว่า การติดตั้งวัสดุฉนวนนี้สามารถลดระดับเสียงได้ 4.4, 3.7 และ 3.2 เดซิเบลเอ ตามลำดับ เมื่อจำแนกตามความถี่แล้ว ความถี่ 100 ถึง 240 Hz และ 1,600 ถึง 2,000 Hz เป็นความถี่ที่สามารถลดระดับเสียงได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับช่วงความถี่ก่อนติดตั้งวัสดุดูดกลืนเสียงที่มีระดับเสียงเพิ่มขึ้นอย่างผิดปกติมากกว่าความถี่ช่วงอื่น ผลงานวิจัยนี้ สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบรถไฟฟ้าในเขตเมืองที่มีพื้นที่จำกัด โดยคำนึงถึงการป้องกันมลภาวะทางเสียงที่ตามมา

## Abstract

The Bangkok Mass Transit System (BTS) was built to solve the traffic problem in Bangkok. It also causes the negative impact to the landscape and accumulation of air pollution and loud traffic noise under the platform of the BTS skytrain station due to the physical limitation of the project location. The noise pollution has had an impact on the mental health of those who used the facility and lived in the area. The BTS has initiated to mitigate this problem by installing the sound absorbing materials for the new stations. This study aims to provide the guideline for application of sound absorbing materials to reduce the noise pollution. The BTS station was modeled in the scale of 1: 5 to perform the noise simulation for the environment, and determine the installations of sound absorbing materials consisting of the plastic fiber covered with the perforated steel sheet and wire mesh.

The studies showed that the structure of the BTS station causes the increasing noise pollution under the station platform. The inner lane parallel to the traffic island has the highest difference of sound pressure level compared with the nearby road noise due to the effect of the BTS station structure. For the components of sound absorbing materials, it should be covered by the covering material with the high ratio of opening per total area of the openings for yielding the most effective impact for sound absorption. Due to the limitation of the location for installing the sound absorbing materials, the installation angle is very important according to the effect of sound reflection and absorption to reduce the sound pressure level.

The most effective method for installing the sound absorbing materials, should be located below the girders of the BTS station platform with the angle of 45 degree. This can reduce the traffic noise up to 3.5 dBA of the total SPL or approximately 54.40% compared with the nearby traffic noise. From the inner lane to the lane near the side walk, it was found that this installation method can reduce the noise by 4.4, 3.7 and 3.2 dBA accordingly. When considering the frequency range, this method is effective for the noise reduction from 100 to 240 Hz and 1,600 to 2,000 Hz. The results agree well with

the frequency range of increasing noise pollution before installing the sound absorbing materials. 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.



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความช่วยเหลือและการแนะแนวทางจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือและเป็นแรงผลักดันในการทำวิทยานิพนธ์ อาจารย์ วิสิทธิ์ ลีลาศิริวงศ์ ที่คอยให้ความรู้ ความเข้าใจ และให้คำปรึกษาในเรื่องของการสร้างแบบจำลองเสียงและผลการทดลอง ทั้งยังเชื้อเพื่อห้องทดลอง ให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ รวมทั้งจัดหาขนาดคลื่นเสียง อาจารย์ ดร. จตุวัฒน์ วจิตมพันธ์ ที่คอยให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำในเรื่องทฤษฎีของเสียง และคอยให้กำลังใจและเป็นจุดเริ่มต้นของแนวความคิดในงานวิจัย ทั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมืองทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือในช่วงเริ่มต้นของงานวิจัยนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรธณ ผู้เชื้อเพื่อสถานที่ทำการวิจัย และคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง สำหรับเครื่องมือการทดลอง รวมทั้งเจ้าหน้าที่ที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณมณีรัตน์ ศรีสุดดี และครอบครัว ที่คอยส่งเสริม หนุนงานวิจัย และสละเวลามาช่วยเหลืองานวิจัย ในเรื่องของการสร้างแบบจำลองในงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ นายสมเจต เกียรติก้องมณี และนางชุตีรัตน์ เลิศสรรพสุข บิดาและมารดาของผู้วิจัย ที่ให้กำลังใจ กำลังใจ และกำลังทรัพย์แก่ผู้วิจัย นางสาววิชชยา เกียรติก้องมณี พี่สาวของผู้วิจัย ที่คอยสนับสนุน และขอขอบคุณเพื่อน ๆ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ และการผังเมืองทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือ ช่วยเหลืองานวิจัยต่าง ๆ และให้กำลังใจพร้อมทั้งสู้ไปด้วยกัน

ณพล เกียรติก้องมณี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พ.ศ. 2553

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	(1)
กิตติกรรมประกาศ.....	(4)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญภาพประกอบ.....	(10)
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.4 สมมติฐานงานวิจัย.....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....	5
1.6 นิยามศัพท์.....	6
1.7 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	7
2. แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับเสียง.....	9
2.2 คุณสมบัติ และปรากฏการณ์ของเสียง.....	14
2.3 เวลาสะท้อนกลับของเสียง.....	17
2.4 ค่าการดูดกลืนเสียงของอากาศ.....	18
2.5 การคำนวณค่าระดับความดังของเสียงที่หายไปตามระยะทาง.....	19



2.6	มาตรฐาน และกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	20
2.7	สรุปทฤษฎี และงานวิจัยที่ศึกษา.....	21
3.	ระเบียบวิธีวิจัย.....	27
3.1	ประเภทของงานวิจัย.....	27
3.2	แบบแผนงานวิจัย.....	30
3.3	วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	31
3.4	ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง.....	35
3.5	เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	36
3.6	การทดสอบเครื่องมือ.....	37
3.7	สถานที่ทำการทดลอง.....	38
3.8	การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	39
4.	ผลการทดลอง.....	40
4.1	ผลการทดลองส่วนที่ 1 การวัดค่าเสียงในสภาพแวดล้อมจริง กรณีศึกษา สถานีสะพานควาย สยาม และกรุงธนบุรี.....	40
4.2	ผลการทดลองส่วนที่ 2 การวัดค่าระดับเสียงจากแบบจำลอง มาตราส่วน 1 : 5.....	46
4.3	ผลจากการคำนวณรวมความถี่ของระดับความดังเสียงที่วัดได้ในการ ทดลอง.....	67
5.	สรุปการศึกษาวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	73
5.1	สรุปผลจากการศึกษาวิจัย.....	73
5.2	แนวทางการประยุกต์ใช้ในงานสถาปัตยกรรม.....	78
5.3	ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต.....	80

บรรณานุกรม.....	81
-----------------	----

ภาคผนวก

ก. ผลการตรวจวัดระดับความดังเสียงของถนนใต้สถานีรถไฟ และติดตั้ง วัสดุดูดกลืนเสียงแบบต่าง ๆ.....	85
ข. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	96
ค. รายการคำนวณระดับความดังเสียงแบบรวมความถี่.....	101
ประวัติการศึกษา.....	107

ชำนาญ หอสมุด

## สารบัญตาราง

### ตารางที่

2.1	ระดับความดังเสียงในสภาวะแวดล้อมทั่วไป.....	10
2.2	ค่าการดูดกลืนเสียงของอากาศที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 60%.....	19
2.3	ความถี่ที่ใช้ในการวัดเมื่อทอนสเกลโมเดลในการจำลอง.....	23
3.1	ตารางแสดงรายละเอียดของการทดลองส่วนที่ 2.....	35
4.1	สัญลักษณ์ที่ใช้สำหรับการทดลองส่วนที่ 2.....	46
ก.1	ระดับความดังเสียงที่วัดได้บริเวณถนนใต้สถานี.....	85
ก.2	ระดับความดังเสียงที่วัดได้ชองถนนภายนอกทั่วไป.....	86
ก.3	ระดับความดังเสียงที่วัดได้ถนนบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้า เมื่อติดตั้งฉนวน พลาสติกเส้นใยปิดผิวด้วยแผ่นเหล็กเจาะรูทำมุม 0 องศาจากพื้น.....	87
ก.4	ระดับความดังเสียงที่วัดได้ถนนบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้า เมื่อติดตั้งฉนวน พลาสติกเส้นใยปิดผิวด้วยลวด ทำมุม 0 องศาจากพื้น.....	88
ก.5	ระดับความดังเสียงที่วัดได้ถนนบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้า เมื่อติดตั้งฉนวน พลาสติกเส้นใยปิดผิวด้วยลวด ทำมุม 90 องศาจากพื้น.....	89
ก.6	ระดับความดังเสียงที่วัดได้ถนนบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้า เมื่อติดตั้งฉนวน พลาสติกเส้นใยปิดผิวด้วยลวด ทำมุม 45 องศาจากพื้น.....	90
ก.7	ความแตกต่างของระดับเสียงที่วัดได้ทั้ง 3 จุด ระหว่างถนนภายในสถานี กับถนนทั่วไป.....	91
ก.8	ความแตกต่างของระดับเสียงที่วัดได้ทั้ง 3 จุด ระหว่างก่อน และหลังติดตั้ง ฉนวนพลาสติกเส้นใยปิดผิวด้วยแผ่นเหล็กเจาะรู ทำมุม 0 องศาจากพื้น.....	92
ก.9	ความแตกต่างของระดับเสียงที่วัดได้ทั้ง 3 จุด ระหว่างก่อน และหลังติดตั้ง ฉนวนพลาสติกเส้นใยปิดผิวด้วยลวด ทำมุม 0 องศาจากพื้น.....	93
ก.10	ความแตกต่างของระดับเสียงที่วัดได้ทั้ง 3 จุด ระหว่างก่อน และหลังติดตั้ง ฉนวนพลาสติกเส้นใยปิดผิวด้วยลวด ทำมุม 90 องศาจากพื้น.....	94

ก.11	ความแตกต่างของระดับเสียงที่วัดได้ทั้ง 3 จุด ระหว่างก่อน และหลังติดตั้ง ฉนวนพลาสติกเส้นใยปิดผิวด้วยลวด ทำมุม 45 องศาจากพื้น.....	95
ค.1	การคำนวณระดับความดังเสียงรวมของถนนบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้า.....	101
ค.2	การคำนวณระดับความดังเสียงรวมของถนนภายนอกทั่วไป.....	102
ค.3	การคำนวณระดับความดังเสียงรวมของถนนบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้าเมื่อติดตั้ง พลาสติกเส้นใยปิดผิวด้วยแผ่นเหล็กเจาะรู ทำมุม 0 องศาจากพื้น.....	103
ค.4	การคำนวณระดับความดังเสียงรวมของถนนบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้าเมื่อ ติดตั้งฉนวนพลาสติกเส้นใยปิดผิวด้วยลวด ทำมุม 0 องศาจากพื้น.....	104
ค.5	การคำนวณระดับความดังเสียงรวมของถนนบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้าเมื่อ ติดตั้งฉนวนพลาสติกเส้นใยปิดผิวด้วยลวด ทำมุม 90 องศาจากพื้น.....	105
ค.6	การคำนวณระดับความดังเสียงรวมของถนนบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้าเมื่อ ติดตั้งฉนวนพลาสติกเส้นใยปิดผิวด้วยลวด ทำมุม 45 องศาจากพื้น.....	106

สำนักหอสมุด

## สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
1.1	ผู้ที่ใช้งานบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้าทั้งในเวลากลางวัน และกลางคืน.....	2
1.2	แผนภูมิแสดงลำดับเสียงรบกวนภายนอกที่ก่อให้เกิดความรำคาญ.....	2
1.3	การก่อสร้างจริงและติดตั้งวัสดุดูดกลืนเสียงของสถานีบางจาก.....	4
2.1	แผนภูมิแสดงระดับความดังของเสียงในสภาวะแวดล้อมทั่วไป.....	10
2.2	แผนภูมิแสดงระยะความถี่เสียงของกิจกรรมต่าง ๆ.....	12
2.3	แผนภูมิแสดงระดับความดังของเสียงของการจราจรในความถี่ต่าง ๆ.....	12
2.4	ความถี่ที่ใช้ในการทดลอง.....	13
2.5	การสะท้อนของเสียง.....	14
2.6	ลักษณะการแทรกสอดของเสียง.....	16
2.7	มาตรฐานเวลาการสะท้อนกลับของเสียงในการออกแบบห้อง.....	17
2.8	สมการคำนวณระดับความดังของเสียงกับระยะทาง.....	20
2.9	ลักษณะการจำลองเสียงแบบ 2 มิติ.....	22
2.10	ลักษณะการจำลองเสียงแบบ 3 มิติ.....	22
2.11	วัสดุดูดกลืนเสียงที่ใช้ในการติดตั้ง บริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้าบางจาก.....	25
2.12	รายละเอียดวัสดุดูดกลืนเสียงที่ใช้ในแบบจำลอง มาตราส่วน 1 : 5.....	26
3.1	รูปตัดด้านข้างของสถานีรถไฟฟ้ายูบีทีเอส.....	27
3.2	ผังแบบจำลองใต้สถานีรถไฟฟ้ายูบีทีเอส มาตราส่วน 1 : 5 (หน่วย = เมตร).....	29
3.3	รูปตัดด้านข้างของแบบจำลองใต้สถานีรถไฟฟ้ายูบีทีเอส มาตราส่วน 1 : 5 (หน่วย = เมตร).....	29
3.4	รูปตัดด้านข้างแสดงถึงตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียง และรับเสียง ณ จุด A..	32
3.5	รูปตัดด้านข้างแสดงถึงตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียง และรับเสียง ณ จุด B..	33
3.6	รูปตัดด้านข้างแสดงถึงตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียง และรับเสียง ณ จุด C..	33
3.7	ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ และเครื่องมือในการทดลอง.....	34
3.8	แบบจำลองใต้สถานีรถไฟฟ้ายูบีทีเอส มาตราส่วน 1 : 5 ในสถานที่ทำการทดลอง	38
4.1	ถนนบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้ายะพานควาย.....	41
4.2	ถนนบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้ายาม.....	42

4.3	ถนนบริเวณใต้สถานีรถไฟฟากรุงเทพ.....	42
4.4	ระดับความดังเสียงจากจราจรในช่วงเวลา 13.00 น. ถึง 14.00 น.....	43
4.5	ระดับความดังเสียงจากจราจรในช่วงเวลา 18.00 น. ถึง 19.00 น.....	43
4.6	ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ จุด A (ระยะห่าง 6.50 เมตรจากจุดรับเสียง).....	47
4.7	ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ จุด B (ระยะห่าง 4.00 เมตรจากจุดรับเสียง).....	47
4.8	ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ จุด C (ระยะห่าง 1.50 เมตรจากจุดรับเสียง).....	48
4.9	ความแตกต่างของระดับเสียงที่วัดได้ทั้ง 3 จุด ระหว่างถนนภายในสถานี กับถนนทั่วไป.....	48
4.10	การติดตั้งวัสดุดูดกลืนเสียงในแบบจำลอง มาตรฐาน 1 : 5 ตามการทดลองที่ 4.2.2.....	50
4.11	การติดตั้งวัสดุดูดกลืนเสียงในแบบจำลอง มาตรฐาน 1 : 5 ตามการทดลองที่ 4.2.2.....	50
4.12	ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ จุด A (ระยะห่าง 6.50 เมตรจากจุดรับเสียง).....	51
4.13	ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ จุด B (ระยะห่าง 4.00 เมตรจากจุดรับเสียง).....	51
4.14	ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ จุด C (ระยะห่าง 1.50 เมตรจากจุดรับเสียง).....	52
4.15	ความแตกต่างของเสียงที่วัดได้ทั้ง 3 จุด ระหว่างก่อน และหลังติดตั้ง วัสดุดูดกลืนเสียง.....	52
4.16	การติดตั้งวัสดุดูดกลืนเสียงในแบบจำลอง มาตรฐาน 1 : 5 ตามการทดลองที่ 4.2.3.....	54
4.17	การติดตั้งวัสดุดูดกลืนเสียงในแบบจำลอง มาตรฐาน 1 : 5 ตามการทดลองที่ 4.2.3.....	54
4.18	ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ จุด A (ระยะห่าง 6.50 เมตรจากจุดรับเสียง).....	55

4.19	ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ จุด B (ระยะห่าง 4.00 เมตรจากจุดรับเสียง).....	55
4.20	ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ จุด C (ระยะห่าง 1.50 เมตรจากจุดรับเสียง).....	56
4.21	ความแตกต่างของเสียงที่วัดได้ทั้ง 3 จุด ระหว่างก่อน และหลังติดตั้ง วัสดุดูดกลืนเสียง.....	56
4.22	การติดตั้งวัสดุดูดกลืนเสียงในแบบจำลอง มาตรฐาน 1 : 5 ตามการทดลองที่ 4.2.4.....	58
4.23	การติดตั้งวัสดุดูดกลืนเสียงในแบบจำลอง มาตรฐาน 1 : 5 ตามการทดลองที่ 4.2.4.....	58
4.24	ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ จุด A (ระยะห่าง 6.50 เมตรจากจุดรับเสียง).....	59
4.25	ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ จุด B (ระยะห่าง 4.00 เมตรจากจุดรับเสียง).....	59
4.26	ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ จุด C (ระยะห่าง 1.50 เมตรจากจุดรับเสียง).....	60
4.27	ความแตกต่างของเสียงที่วัดได้ทั้ง 3 จุด ระหว่างก่อน และหลังติดตั้ง วัสดุดูดกลืนเสียง.....	60
4.28	การติดตั้งวัสดุดูดกลืนเสียงในแบบจำลอง มาตรฐาน 1 : 5 ตามการทดลองที่ 4.2.5.....	62
4.29	ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ จุด A (ระยะห่าง 6.50 เมตรจากจุดรับเสียง).....	63
4.30	ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ จุด B (ระยะห่าง 4.00 เมตรจากจุดรับเสียง).....	63
4.31	ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ จุด C (ระยะห่าง 1.50 เมตรจากจุดรับเสียง).....	64
4.32	ความแตกต่างของเสียงที่วัดได้ทั้ง 3 จุด ระหว่างก่อน และหลังติดตั้ง วัสดุดูดกลืนเสียง.....	64

4.33	ระดับเสียงรวมจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ จุด A (ระยะห่าง 6.50 เมตรจากจุดรับเสียง).....	67
4.34	ระดับเสียงรวมจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ จุด B (ระยะห่าง 6.50 เมตรจากจุดรับเสียง).....	68
4.35	ระดับเสียงรวมจากแหล่งกำเนิดเสียง ณ จุด C (ระยะห่าง 6.50 เมตรจากจุดรับเสียง).....	70
4.36	ระดับเสียงรวมจากแหล่งกำเนิดเสียงทั้ง 3 จุด.....	71
5.1	ความแตกต่างของระดับเสียงที่วัดได้ทั้ง 3 จุด ระหว่างถนนภายในสถานีกับถนนทั่วไป.....	74
5.2	ความแตกต่างของเสียงที่วัดได้ทั้ง 3 จุด ระหว่างก่อน และหลังติดตั้งวัสดุดูด กลืนเสียงฉนวนพลาสติกเส้นใย ขนาด 2" ปิดผิวด้วยตะแกรงเหล็กเจาะรู.....	75
5.3	ความแตกต่างของเสียงที่วัดได้ทั้ง 3 จุด ระหว่างก่อน และหลังติดตั้งวัสดุดูด กลืนเสียงฉนวนพลาสติกเส้นใย ขนาด 2" ปิดผิวด้วยลวด.....	75
5.4	ความแตกต่างของเสียงที่วัดได้ทั้ง 3 จุด ระหว่างก่อน และหลังติดตั้งวัสดุดูด กลืนเสียงฉนวนพลาสติกเส้นใย ขนาด 2" ปิดผิวด้วยลวด ทำมุม 90 องศา.....	77
5.5	ความแตกต่างของเสียงที่วัดได้ทั้ง 3 จุด ระหว่างก่อน และหลังติดตั้งวัสดุดูด กลืนเสียงฉนวนพลาสติกเส้นใย ขนาด 2" ปิดผิวด้วยลวด ทำมุม 45 องศา.....	77
5.6	เส้นการสะท้อนของเสียงของแหล่งกำเนิดเสียงทั้ง 3 จุด มายังจุดรับเสียง ของการติดตั้งวัสดุดูดกลืนเสียงในมุม 0, 90 และ 45 องศา.....	77
ข.1	คอนกรีตมวลเบา ที่ใช้จำลองส่วนคานของสถานีรถไฟฟ้า.....	96
ข.2	คอนกรีตมวลเบา ที่ใช้จำลองส่วนเสาของสถานีรถไฟฟ้า.....	96
ข.3	ไม้สยาแดง และลวด เพื่อใช้ในการทำวัสดุดูดกลืนเสียง.....	97
ข.4	โครงไม้ เพื่อไว้ใส่ฉนวนดูดกลืนเสียง.....	97
ข.5	วัสดุดูดกลืนเสียง ชนิดฉนวนพลาสติกเส้นใย ปิดผิวด้วยแผ่นเหล็กเจาะรู.....	98
ข.6	วัสดุดูดกลืนเสียง ชนิดฉนวนพลาสติกเส้นใย ปิดผิวด้วยลวด.....	98
ข.7	การติดตั้งวัสดุดูดกลืนเสียงลงในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้า มาตรฐาน 1: 5..	99
ข.8	การติดตั้งวัสดุดูดกลืนเสียงลงในแบบจำลองสถานีรถไฟฟ้า มาตรฐาน 1: 5..	99
ข.9	ลำโพงปล่อยเสียง และเครื่องขยายสัญญาณเสียง PHONICS.....	100



- ข.10 เครื่องวัดระดับความดังของเสียง บีเค เปอร์ซิชั่น รุ่น 732 ไออีซี 651  
และเครื่องวัดอุณหภูมิ และความชื้น เทสโท 410-2..... 100



สำนักหอสมุด