วัสดุเพื่อใช้ทำสิ่งกีดขวางเสียงสำหรับทางด่วนพิเศษ

นาย อดิศักดิ์ นัยนาภากรณ์

006306

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. ๒๕๒๔

i18176422

MATERIALS USED AS A SOUND BARRIER FOR EXPRESSWAY

Mr.Adisak Naiyanapakorn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1981

หัวข้อวิทยานิพนธ์	วัสดุเพื่อใช้ทำสิ่งกีดขวางเสียงสำหรับทางด่วนพิเศษ
โดย	นายอดิศักดิ์ นัยนาภากรณ์
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ อนุกัลย์ อิศรเสนา ณ อยุธยา
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประธาน อารีพล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ศุกรี กัมปนานนท์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ อนุกัลย์ อิศรเสนา ณ อยุธยา)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประธาน อารีพล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	วัสดุเพื่อใช้ทำสิ่งกีดขวางเสียงสำหรับทางด่วนพิเศษ
ชื่อนิสิต	นายอดิศักดิ์ นัยนาภากรณ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ อนุกัลย์ อิศรเสนา ณ อยุธยา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประธาน อารีพล
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา	๒๕๒๗

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาวัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดกลืน และการสูนย์เสียงพลังงานจากการส่งถ่ายเสียงง่ายในการประยุกต์ติดตั้ง สามารถหาและผลิตได้ง่ายในประเทศไทยและมีราคาถูก เพื่อจะนำมาใช้เป็นวัสดุ ป้องกันเสียงซึ่งเกิดจากการจราจรของยวดยานบนทางด่วนพิเศษ เพื่อมิให้เสียงไปรบกวนต่อผู้อยู่อาศัยข้างเคียงตามเส้นทาง

วัสดุที่ถูกคัดเลือกเพื่อนำมาทำการทดลองมี กระเบื้องแผ่นเรียบ แผ่นสังกะสี ไม้เนื้อแข็ง แผ่นเซลโลกรีต ซึ่งมีเนื้อที่หน้าตัดเท่ากัน แต่มีความหนาต่าง ๆ กัน การทดลองคุณสมบัติทางด้านเสียง ได้ทำขึ้นในห้องทดลองโดยใช้ เครื่องมือต่าง ๆ เช่น Standing Wave Apparatus, Sine Generator, Power Amplifier และ Measuring Amplifier เพื่อหาค่า Absorption Coefficient และ Transmission Loss ของวัสดุ ความถี่ที่ใช้เริ่มตั้งแต่ ๓๑๕ Hz จนถึง ๘๐๐๐ Hz ตามตำแหน่งศูนย์กลางความถี่แบบ One-third ทฤษฎีของเสียง ผลงานที่เกี่ยวข้องของกำแพงกันเสียง และแนวทางในการออกแบบกำแพงกันเสียง ได้รวมอยู่ในการวิจัยนี้ด้วย

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง และกฎเกณฑ์ที่เกี่ยวกับคุณสมบัติอื่น ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น ปรากฏว่า กระเบื้องแผ่นเรียบ หนา ๘ มม. และหนา ๖ มม. และแผ่นเซลโลกรีตหนา $\frac{1}{2}$ นิ้ว เหมาะสมที่จะนำประยุกต์ใช้ออกแบบเป็นกำแพงกันเสียง ซึ่งเกิดจากยวดยานที่สัญจรไปมาไม่ให้ไปรบกวนต่อมลภาวะแวดล้อม

Thesis Title	Materials Used As A Sound Barrier For Expressway
Name	Mr. Adisak Naiyanapakorn
Thesis Advisor	Associate Professor Anukalya Israsena
	Assistance Professor Prathan Areebhol
Department	Civil Engineering
Academic Year	1980

ABSTRACT

This research study was attempted to select a suitable material with good acoustic absorption and transmission loss, easy to fabricate, locally produced and cheap, to be employed as a material for screening noise which generated by the traffic moving along the expressway from the adjacent populated area along the route.

Asbestos cement sheet, galvanized steel sheet, hard wood, celocrete cement sheet all with same crossectional area but with various thichness were selected. They were then subjected to acoustic properties tests in the laboratory. Standing wave apparatus, sine generator, power amplifier and measuring amplifier were used to determine the absorption coefficients and transmission loss of the specimens. The frequncies employed in the tests ranging from 315 Hertz to 8000 Hertz with $\frac{1}{3}$ octave interval respectively. Theoretical work dealing with physical properties of sound, literature review of sound barrier and guide line in sound barrier design were also covered.

Backed by the results from the tests together with other criteria previously mentioned revealed that asbestos sheet of 8 m.m., 6 m.m. thickness and celocrete cement sheet $\frac{1}{2}$ inch thickness proved to be the suitable materials to be employed in the design and construction of noise barrier screening to reduce the instrution of traffic noise upon the environment.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอขอบคุณการทางพิเศษแห่งประเทศไทย ที่ได้กรุณาให้ทุนอุดหนุนในการวิจัย และอีกทั้งขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค รองศาสตราจารย์ ศุกรี กัมปนานนท์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประธาน อารีพล ผู้ซึ่งให้แนวความคิดและข้อเสนอแนะ และยังขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ รองศาสตราจารย์ อนุกัลย์ อิศรเสนาฯ ซึ่งให้ทั้งกำลังใจ ข้อคิด ข้อเสนอแนะต่าง ๆ อันจะทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบคุณ คุณศิริ เจือวิจิตรจันทร์ ซึ่งได้ให้คำชี้แนะต่าง ๆ นอกจากนี้ยังขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ อาจารย์ ชนะ ผิวล่อง ผู้ซึ่งได้ปรับปรุง ดัดแปลงเครื่องมือต่าง ๆ อันทำให้การทดลองดำเนินไปได้ด้วยดี และทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
กิติกรรมประกาศ	ซ
สารบัญ	ฌ
รายการอักษรย่อ	ฐ
รายการตารางประกอบ	ฌ
รายการรูปภาพประกอบ	ต
บทที่	
๑ บทนำ	๑
ความเป็นมาของปัญหา	๑
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	๒
ขอบข่ายของการวิจัย	๒
ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย	๓
แนวความคิดที่จะนำมาใช้ในการวิจัย	๓
ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัยนี้	๔
๒ การศึกษาผลงานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ผู้อื่นทำไว้	๕
โครงการก่อสร้างทางพิเศษสำหรับกรุงเทพมหานคร	๕

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

บทที่

ฟิสิกส์ของเสียง ๑๑

การส่งผ่านตลอดชั้นตัวกลาง ๒๒

การป้องกันเสียง ๓๕

การดูดกลืนเสียง ๔๒

การเก็บเสียง ๕๑

การส่งผ่านเสียง ๕๓

การประเมินผลทางด้านเสียงเมื่อมีการจัดตั้งสิ่งกีดขวาง

เสียงข้างถนน ๖๘

รายละเอียดเกี่ยวกับการทำงานของสิ่งกีดขวางเสียง ๗๕

อิทธิพลของลมต่อประสิทธิภาพของสิ่งกีดขวางเสียง..... ๘๕

ผิวถนนและเสียงที่เกิดจากการจราจร ๑๐๕

การเพิ่มประสิทธิภาพในการกีดขวางเสียงของกำแพงกั้นเสียง..... ๑๑๓

๓ วัสดุก่อสร้าง ๑๑๕

การเลือกวัสดุที่จะใช้ในการทดลอง ๑๑๘

ชนิดของวัสดุที่จะใช้ในการทดลอง ๑๑๙

ไม้ ๑๑๙

แผ่นสังกะสี ๑๒๕

กระเบื้องแผ่นเรียบ..... ๑๒๕

แผ่นเซลโลกรีต ๑๒๖

หน้า

บทที่

๔ วิธีดำเนินการทดลอง ๑๒๗

การทดลองตอนที่ 1 คุณสมบัติในการดูดกลืนเสียง ๑๒๗

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ๑๒๗

การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของแผ่นตัวอย่าง... ๑๓๐

การทดลองตอนที่ 2 คุณสมบัติในการกีดขวางเสียง..... ๑๓๔

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ๑๓๔

การคำนวณหาค่าการกีดขวางเสียงของวัสดุ ๑๓๖

๕ การประมาณและเปรียบเทียบราคากำแพงกันเสียง..... ๑๔๒

การออกแบบกำแพงกั้นเสียง ๑๔๒

ราคาวัสดุ ๑๔๕

ราคาผนังกั้นเสียงเมื่อใช้แผ่นสังกะสี..... ๑๔๘

ราคาผนังกั้นเสียงเมื่อใช้กระเบื้องแผ่นเรียบ..... ๑๔๘

ราคาผนังกั้นเสียงเมื่อใช้แผ่นไม้ ๑๔๙

ราคาผนังกั้นเสียงเมื่อใช้แผ่นเซลโลกรีต ๑๕๐

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... ๑๕๑

เอกสารอ้างอิง..... ๑๕๔

ภาคผนวก ๑๕๖

วัสดุอุดยาแนว..... ๑๕๗

เสียงกับการตอบสนองของคนและผลเสียที่ได้รับ..... ๑๕๘

หน้า

เครื่องป้องกันเสียง ๑๖๐

มาตรฐานของเสียง ๑๖๑

ความสัมพันธ์ของระดับเสียงรบกวนกับระยะทางที่หูของคน

ปกติสามารถรับฟัง ๑๖๓

ความดังของเสียงสำหรับสถานที่ต่าง ๆ ที่ควรจะเป็น..... ๑๖๔

ผลเสียเกี่ยวกับการเรียนการสอน..... ๑๖๕

ผลการวัดระดับเสียงดังตามโรงเรียนต่าง ๆ ๑๖๘

ประวัติ..... ๑๗๕

รายการอักษรย่อ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อักษรย่อ	ความหมาย
a	สัมประสิทธิ์การดูดกลืน
A	หน่วยของการดูดกลืน
c	ความแข็งแรงที่เขตของการได้สัดส่วนในการบีบขนานเสี้ยน
C	แรงประลัยในการบีบขนานเสี้ยน
°c	องศาเซลเซียส
cps	รอบต่อวินาที
C′	ความแข็งแรงที่เขตของการได้สัดส่วนในการบีบตั้งฉากเสี้ยน
d	ความหนาแน่น
dB, dB(A)	เดซิเบล, เดซิเบล (เอ)
D	ระยะทางจากกำแพงกั้นเสียงถึงผู้รับฟัง
E	ค่าสัมประสิทธิ์ของการยืดหยุ่น
Ener.	พลังงานที่ต้องใช้ในการทำให้ไม้หัก
f	ความถี่
°F	องศาฟาเรนไฮต์
H	ความสูงสัมพัทธ์ระหว่างแหล่งกำเนิดเสียง ผนังกั้นเสียงและผู้รับฟัง
I	ความเข้ม
I.	ความเข้มอ้างอิง
IL	ระดับความเข้ม
Kg/m^2	กิโลกรัมต่อตารางเมตร
L_{10}, L_{90}	เป็นค่าเฉลี่ยทางเลขคณิตของระดับเสียงที่วัดได้ในแต่ละชั่วโมง ซึ่งค่าที่วัดได้มีระดับเสียงอีก ๑๐ % และ ๙๐ % มากกว่าระดับเสียงนี้ตามลำดับในระหว่างช่วงที่ทำการวัดคือ ๖.๐๐ – ๒๔.๐๐ น.

อักษรย่อ	ความหมาย
log	$\log_{10}$
lb/ft^2	ปอนด์ต่อตารางฟุต
m	เมตร
mm	มิลลิเมตร
Mc	ความจุความชื้น
NR	การลดเสียง
NRC	สัมประสิทธิ์การลดเสียง
p	ความดันเสียง
Po	ความดันอ้างอิง
P,W	กำลังเสียง
Po	กำลังอ้างอิง
PWL	ระดับกำลังเสียง
r	ความเค้นที่ขอบเขตของการได้สัดส่วน
R	ระยะจากแหล่งกำเนิดเสียงถึงผนังกั้นเสียง
R′	แรงประลัยในการดัด
Sp.Gr	ความถ่วงจำเพาะ
SPL	ระดับความดันเสียง
s	พื้นที่ผิว
sTc	ชั้นหรือระดับในการส่งผ่านเสียง
T	สัมประสิทธิ์ของการส่งผ่าน
TL	ความสูญเสียในการส่งผ่าน
t	องศาอุณหภูมิ
T,R	shear ช่วงที่ ๑๕ และ ๑๔ ตารางที่ ๓.๓ หน้า ๑๒๖ เป็นค่าความแข็งแรงสูงสุดต่อการเชือดตามแนวเสี้ยนในแนวเส้นรัศมี (R) และแนวเส้นสัมผัส (T) ตามลำดับ

อักษรย่อ	ความหมาย
T,R	Tention ช่องที่ ๑๖ และ ๑๗ ตารางที่ ๓.๓ หน้า ๑๒๖ เป็นค่าความแข็งแรงสูงสุดในการดึงตั้งฉากเสี้ยนตามแนวรัศมี (R) และสัมพัส (T) ตามลำดับ
T,R	Hardress ช่องที่ ๑๘ และ ๑๙ ตารางที่ ๓.๓ หน้า ๑๒๖ เขียนค่าความแข็งบนด้านรัศมี (R) และสัมผัส (T) ของไม้ตามลำดับ
V,c	ความเร็วของเสียง
λ	ความยาวคลื่น
W	งานที่ทำให้ไม้หักเสียกำลังโดยสิ้นเชิง
กก.	กิโลกรัม
กก./ม^2	กิโลกรัมต่อตารางเมตร
กม.	กิโลเมตร
กม./ชม.	กิโลเมตรต่อชั่วโมง
ชม.	ชั่วโมง
ซม.	เซนติเมตร
มม.	มิลลิเมตร
ลบ.ฟ.	ลูกบาศก์ฟุต

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
๒.๑	แสดงความเร็วของเสียงในอากาศที่อุณหภูมิต่าง ๆ	๑๓
๒.๒	ความดังสัมพันธ์กับชนิดของเสียง	๒๑
๒.๓	ความหนาแน่น ความเร็วของเสียงและลักษณะความขัดของสื่อตัวกลางที่พบได้โดยทั่วไป ที่อุณหภูมิ ๒๐° เซลเซียส ความดันบรรยากาศ	๒๔
๒.๔	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของวัสดุที่ความถี่ต่าง ๆ.....	๔๔
๒.๕	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของวัสดุที่พบได้โดยทั่วไป.....	๔๖
๒.๖	แสดงชนิดของวัสดุชิ้นส่วนสำเร็จรูป.....	๔๘
๒.๗	แสดงค่าการกีดขวางเสียงของวัสดุที่พบบ่อย ๆ ในงานก่อสร้างอาคาร.....	๕๖
๒.๘	การวัดระดับเสียงและประสิทธิผลของกำแพงกั้นเสียงทางทิศตะวันออก.....	๗๖
๒.๙	การวัดระดับเสียง และประสิทธิผลของกำแพงกั้นเสียงทางทิศตะวันตก.....	๗๗
๒.๑๐	การวัดระดับเสียงโดยใช้ช่วงเวลาสั้น ๆ และประสิทธิผลของกำแพงกันเสียงทางทิศตะวันออก.....	๗๘
๒.๑๑	ผลต่างของ $(L_{10} - L_{90})$ dB(A) ตามสภาพการติดตั้งกำแพงกั้นเสียงทางทิศตะวันตก.....	๗๘
๒.๑๒	ตำแหน่งของสถานที่ ๆ ทำการวัดและช่วงเวลาของการวัด.....	๙๐
๒.๑๓	ค่า L_{10} (๑๘ ชม.) dB(A) ก่อนและหลังการติดตั้งกำแพงกันเสียง	๙๑
๒.๑๔	การวัดระดับเสียงและประสิทธิผลของกำแพงกั้นเสียง.....	๙๓

ตารางที่ หน้า

๒.๑๕ ค่าเฉลี่ยของปริมาณการจราจรวันในสัปดาห์ บนถนนสาย M ๔๐ บันทึกที่ Hedgerley ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการวัดในปี ค.ศ. ๑๙๗๕ และ ๑๙๗๖ ..... ๙๖

๒.๑๖ ข้อมูลของลมระหว่างที่ทำการวัดเสียง ก่อนที่จะติดตั้งกำแพงกั้นเสียง ๙๘

๒.๑๗ ข้อมูลของลมระหว่างที่ทำการวัดเสียง หลังจากการติดตั้งกำแพงกันเสียง ๙๙

๒.๑๘ การตรวจสอบคุณสมบัติของผิวถนน ๑๐๙

๓.๑ แสดงบัญชีชื่อไม้ ความทนทาน อายุการใช้งานและราคา ๑๒๒

๓.๒ แสดงบัญชีชื่อไม้ ความทนทาน อายุการใช้งานและราคา ๑๒๓

๓.๓ แสดงกลสมบัติของไม้ที่ใช้ในการทดลอง ๑๒๔

๓.๔ แสดงขนาด ความหนา และราคาของแผ่นสังกะสี..... ๑๒๕

๓.๕ แสดงขนาด ความหนา น้ำหนักและราคาของกระเบื้องแผ่นเรียบ... ๑๒๖

๔.๑ แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนเสียงของวัสดุที่ความถี่ต่างๆ.... ๑๓๒

๔.๒ แสดงค่า TL ของวัสดุที่ความถี่ต่าง ๆ ๑๓๘

๕.๑ แสดงราคาค่าก่อสร้างกำแพงกั้นเสียงของวัสดุประเภทต่าง ๆ ๑๕๑

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
๒.๑	โครงการก่อสร้างทางพิเศษ ระบบทางด่วน.....	๗
๒.๒	แสดงถึงประโยชน์ที่สังคมได้รับ และจำนวนรถยนต์ต่อวันบนทางด่วน.	๑๐
๒.๓	ความเปลี่ยนแปลงของระดับความดันเสียงกับความดันเสียง.....	๑๖
๒.๔	ความเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มเสียงกับความเข้มเสียง.....	๑๙
๒.๕	แสดงคุณสมบัติของสองตัวกลาง.....	๒๕
๒.๖	แสดงคุณสมบัติของสามตัวกลาง.....	๒๙
๒.๗	กฎมวลสารของการตกกระทบ	๓๔
๒.๘	แสดงความแตกต่างระหว่างความดันเสียงกับเวลาของเสียงชนิดต่าง ๆ	๓๕
๒.๙	แสดงค่าที่บวกเพิ่มสำหรับระดับความดันเสียงหรือระดับความเข้มเสียง	๓๙
๒.๑๐	ระดับความดันเสียงสำหรับแหล่งกำเหนิดเสียงต่าง ๆ (วัดภายนอกอาคาร)	๓๙
๒.๑๑	ระดับเสียงวัดเป็น dB (A) ที่สภาพแวดล้อมจากแหล่งกำเหนิดเสียงต่าง ๆ	๔๑
๒.๑๒	แบบพื้นฐานและแสดงถึงประสิทธิภาพของวัสดุดูดกลืนเสียง.....	๔๕
๒.๑๓	กฎมวลสารสำหรับประมาณค่าการกีดขวางเสียงของผนังเดี่ยวเนื้อเดียวกัน ภายใต้พื้นฐานของน้ำหนักพื้นผิวเพียงประการเดียว...	๕๘
๒.๑๔	กราฟในทางทฤษฎีแสดงผลที่เพิ่มขึ้นของการกีดขวางเสียง เมื่อใช้ผนังคู่แทนผนังเดียว โดยยังคงมีน้ำหนักเท่าเดิม.....	๖๐
๒.๑๕	กราฟสำหรับประมาณค่าส่วนเพิ่มของการกีดขวางเสียง เมื่อเปลี่ยนจากผนังเดียวเป็นผนังคู่ที่ระยะห่างต่าง ๆ ของผนังคู่.....	๖๐
๒.๑๖	กราฟสำหรับคำนวณค่าประสิทธิผลของการกีดขวางเสียงของผนังรวม.....	๖๐

หน้า

รูปที่

๒.๑๗ กราฟสำหรับประมาณค่าที่ลดลงของเสียงระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงและผู้รับฟังเนื่องจากผนังสูง H (ระยะต่าง ๆ วัดเป็นฟุต) วิธีการนี้ใช้สำหรับภายนอกอาคารหรือภายในอาคารที่มีการควบคุมการใช้วัสดุดูดกลืนเสียงอย่างดี..... ๖๖

๒.๑๘ แสดงถึงสถานที่ตั้งจุดวัดและแนวของกำแพงกั้นเสียง..... ๗๐

๒.๑๙ วิวของกำแพงกั้นเสียง M_6 ..... ๗๑

๒.๒๐ ภาพแสดงชิ้นส่วนของกำแพงกั้นเสียง M_6..... ๗๓

๒.๒๑ การลดลงของระดับเสียงตามระยะทางที่ห่างจากผิวจราจรที่ตำแหน่งอาคารแถวแรกทางด้านทิศตะวันออก..... ๘๒

๒.๒๒ แสดงสถานที่ตั้งจุดที่ทำการวัดเสียงและแนวของกำแพงกั้นเสียง.... ๘๗

๒.๒๓ แสดงภาพถ่ายของกำแพงกั้นเสียง.....

๒.๒๔ ทิศทางและการกระจายปีเฉลี่ยของลมระหว่างปี ๑๙๖๐ – ๑๙๗๑ ที่ Heathrow ๑๐๒

๒.๒๕ การกระจายทิศทางลมสำหรับปีเฉลี่ย (๑๙๖๐ – ๑๙๗๑) ที่สถานีนอกเขต Heathrow :..... ๑๐๓

๒.๒๖ ระดับความดังของเสียงบนผิวถนนต่าง ๆ ที่ความถี่ต่าง ๆ กัน.... ๑๑๑

๒.๒๗ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Rolling noise กับพื้นที่หน้าตัดร่องขวาง..... ๑๑๒

๔.๑ แบบจำลอง Standing wave Apparatus ๑๒๙

๔.๒ แสดงการใช้เครื่องมือเพื่อหาค่า สปส. การดูดกลืนเสียงของวัสดุ.. ๑๓๑

๔.๓ แสดงค่า สปส. การดูดกลืนเสียงของวัสดุที่ความถี่ต่าง ๆ..... ๑๓๓

๔.๔ แสดงการใช้เครื่องมือเพื่อหาค่า TL ของวัสดุ..... ๑๓๗

๔.๕ แสดงค่าการกีดขวางเสียงของวัสดุที่ความถี่ต่าง ๆ..... ๑๓๙

๔.๖ แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ๑๔๐

๖.๑ แสดงส่วนประกอบของผนังกั้นเสียง ๑๔๔