การศึกษาและประเมินวิธีการมาสกิ้งเพื่อเพิ่มความเป็นส่วนบุคคลในพื้นที่เปิด

โดย
นายวงศกร จิรวรพิทักษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการออกแบบและศิลปะเสียง แผน ก แบบ ก 2
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การศึกษาและประเมินวิธีการมาสกิ้งเพื่อเพิ่มความเป็นส่วนบุคคลในพื้นที่เปิด

โดย
นายวงศกร จิรวรพิทักษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการออกแบบและศิลปะเสียง แผน ก แบบ ก 2
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

AN INVESTIGATION AND EVALUATION OF SOUND MASKING FOR INCREASING PRIVACY IN OPEN-PLAN SPACE

By

MR. Wongsakorn JIRAWORAPITAK

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Science (ACOUSTIC DESIGN AND SONIC ARTS)

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2019

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ	การศึกษาและประเมินวิธีการมาสกิ้งเพื่อเพิ่มความเป็นส่วนบุคคลในพื้นที่เปิด
โดย	วงศกร จิรวรพิทักษ์
สาขาวิชา	การออกแบบและศิลปะเสียง แผน ก แบบ ก 2
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูเกียรติ สอดศรี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.อภิรดี เกษมศุข)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูเกียรติ สอดศรี)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เขมพัฒน์ ตันติวัฒนกูล)

60905301 : การออกแบบและศิลปะเสียง แผน ก แบบ ก 2
คำสำคัญ : การตรวจสอบและประเมิน, เสียงมาสกิ้ง, เสียงรบกวน, พื้นที่แบบเปิด, การออกแบบเสียง

นาย วงศกร จิรวรพิทักษ์: การศึกษาและประเมินวิธีการมาสกิ้งเพื่อเพิ่มความเป็นส่วนบุคคลในพื้นที่เปิด อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูเกียรติ สอดศรี

งานวิจัยนี้เป็นศึกษา และประเมินประสิทธิภาพของเสียงมาสกิ้งสำหรับเพิ่มความเป็นส่วนตัวในการสนทนาของที่ทำงานในพื้นที่สำนักงานแบบเปิดที่ติดกับพื้นที่ห้องประชุม โดยข้อแนะนำทั่วไป เสียงที่ใช้มาสกิ้ง (Masking) ต้องเป็นเสียงที่มีแถบความถี่กว้าง (Broad band) เป็นเสียงรบกวนแบบสุ่มสีชมพู (Pink noise) และมีระดับความดันเสียงมากกว่าเสียงสนทนาที่รบกวนประมาณ 7-10 dB เพื่อให้ได้ความเป็นส่วนตัว ความดังนี้อาจจะดังเกินไปจนทำให้เสียงมาสกิ้งกลายเป็นเสียงรบกวน ปัญหาดังกล่าวอาจใช้ฉากกั้นสำนักงานร่วมกับการมาสกิ้งเสียงสามารถเพิ่มความเป็นส่วนตัวได้ อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาอย่างเป็นระบบเกี่ยวกับระดับความสูงของฉากกั้นสำนักงานว่าส่งผลต่อระดับความเป็นส่วนตัวอย่างไร นอกจากนั้น เสียงแบบ Pink noise ที่ใช้สำหรับการมาสกิ้งอาจไม่เป็นที่พึงพอใจของบางคนที่เมื่อได้ยินแล้วอาจฟังแล้วรู้สึกว่าเป็นเสียงรบกวน ในการศึกษานี้ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบผลกระทบจากระดับความสูงฉากกั้นต่อระดับความเป็นส่วนตัวในพื้นที่โต๊ะทำงานที่อยู่ติดกับโต๊ะประชุมและติดตั้งลำโพงใต้เพดานเพื่อสร้างเสียงมาสกิ้งไปกลบทับเสียงสนทนารบกวน ผลการทดลองพบว่าในพื้นที่ที่มีความก้องสูง ฉากกั้นที่มีความสูงไม่ได้ช่วยป้องกันเสียงที่รบกวนจากภายนอก แต่ทั้งนี้ระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นของฉากกั้นนั้นส่งผลให้ระดับความเป็นส่วนตัวในการสนทนานั้นเพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับการมาสกิ้งเสียง โดยฉากกั้นช่วยสะท้อนและเพิ่มระดับเสียงมาส์กิ้งที่เปิดไว้ในพื้นที่ทำงาน

การทดลองส่วนอื่นได้กระทำเพื่อตรวจสอบระดับความสัมพันธ์ในการตรวจวัดของดัชนี Sound transmission index (STI) ในตัวชี้วัดเชิงปริมาณ และผลการประเมินความเป็นส่วนตัวด้วยการฟังของบุคคลจริงส่วนต่อมาได้ทำการออกแบบเสียงมาสกิ้งแบบต่าง ๆ เป็นทางเลือกเพื่อทดแทนเสียง Pink nose สำหรับเป็นเสียง Masker ในการมาสกิ้งเสียง เสียงทางเลือกถูกออกแบบไว้สำหรับการทดลอง 11 เสียง โดยอาสาสมัคร 31 คนเข้าร่วมทดสอบฟังเสียงในการทดลองครั้งนี้ ผลการทดลองพบว่าในการตรวจวัดความเป็นส่วนตัวในการสนทนา ระหว่างค่าดัชนี STI กับการประเมินผลจากบุคคลจริงมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน ผลค่า Correlation ระหว่างทั้งสองอยู่ที่ 0.938 ในความเชื่อมั่นที่ 99.95% เพราะฉะนั้นดัชนี STI สามารถนำไปใช้ตรวจวัดระดับความเป็นส่วนตัวในการสนทนาของพื้นที่ได้ และในส่วนการออกแบบเสียงตัวเลือก สำหรับใช้เป็นเสียงกลบในระบบมาสกิ้ง ทุกเสียงที่ออกแบบส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพในการมาสกิ้งเสียงเทียบเท่าเสียง Pink noise และผลการประเมินความพึงพอใจ มีสองเสียงที่ผู้ทดสอบมีความพึงพอใจมากกว่าเสียงอื่น ๆ ที่ออกแบบ เสียงแรกคือเสียงที่ผสมระหว่างเสียงน้ำไหล กับเสียงน้ำกระทบชายหาด และอีกเสียงคือเสียงเพลง

60905301 : Major (ACOUSTIC DESIGN AND SONIC ARTS)
Keyword : INVESTIGATE AND EVALUATION, MASKING NOISE, NOISE, OPEN SPACE, SOUND DESIGN

MR. WONGSAKORN JIRAWORAPITAK : AN INVESTIGATION AND EVALUATION OF SOUND MASKING FOR INCREASING PRIVACY IN OPEN-PLAN SPACE THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR CHUKIET SODSRI, Ph.D.

This study presents an evaluation of sound masking for increasing speech privacy of a workstation in an open-plan office where the workstation was next to a meeting area. General recommendation, that an appropriate broadband masker sounds such as a pink noise with sound pressure level of 7-10 dB higher than the speech level must be used for achieving speech privacy, may not be suitable since the masker itself can be too loud and becomes unwanted. Partial-height sound barriers can be used with sound masking to gain better acoustic privacy. However, there exists curiosity if the barriers, such as removable partitions with high height or low height yield different privacy. Furthermore, the pink noise used as a masker, might not be favorable to some people since it may still sound like a noise to them. In the study, experiments were performed to compare effects of the sound barrier heights on the speech privacy in a workstation where sound masking was employed. Results showed that in high reverberant environment, high height partitions did not necessarily yield better prevention of the intruding sounds. However, the high height partitions indeed influenced better speech privacy when used with the sound masking, since it helps to reflect and naturally amplify the broadband masker's sound in the workstation.

Other experiments also were conducted to validate how well the Sound transmission index (STI) measure was correlated to subjective evaluation of speech privacy by human beings, to test if other types of the masker sounds were as effective as, or more favorable in the sound masking than the pink noise. Eleven alternative types of the masker sounds were designed to be used in the experiment. Thirty-one volunteers were invited to participate in the experiments. Results revealed that the STI was well correlated with the subjective evaluation of speech privacy. The correlation between them was about 0.938 with 99.95% confidence. Hence the STI can be used as a measure of speech privacy. For experiment of using the designed masker sound in sound masking, most of the designed sounds were as effective sound maskers as the pink noise. In addition two of them, one imitating natural babble water and beach sounds and another embedding a type of music, were more favorable.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีจาการช่วยเหลือของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูเกียรติ สอดศรีอาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งท่านได้อบรมสั่งสอน และให้ความช่วยเหลือ แนะนำวิธีแก้ปัญหาต่าง ๆ ในระหว่างทำวิจัย ผู้วิจัยรู้สึก ซาบซึ้ง และขอบคุณในความกรุณาท่านอาจารย์ อย่างสูงไว ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณอาจารย์ รองศาสตราจารย์ ดร. อภิรดี เกษมศุข ประธานกรรมการ ที่กรุณาให้การแนะนำการทำวิจัย วิธีคิดการวางแผนรวมถึงการสอนองค์ความรู้เพื่อต่อยอดในการทำวิจัยและ อาจารย์ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เขมพัฒน์ ตันติวัฒนกูล กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

ขอขอบคุณ มิตรสหาย หลากหลายสาขาอาชีพ ที่สละเวลาทำงานอันมีค่าให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณครอบครัว จิรวรพิทักษ์ ที่เป็นกำลังใจ รวมทั้งช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยครั้งนี้

วงศกร จิรวรพิทักษ์

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 12

1.1 ความสำคัญ และความเป็นมา 12

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 13

1.3 ขอบเขตการวิจัย 13

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย 13

1.5 ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย 13

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ 14

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 14

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 15

2.1 การรับรู้เสียงของมนุษย์ 15

2.2 การมาสกิ้งเสียง (Sound masking) 16

2.3 การตรวจวัดประสิทธิภาพการกำบังเสียง 16

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ Sound masking 18

2.5 Binaural Beats 19

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ Binaural beats 20

2.7 การพัฒนาแนวคิดในการออกแบบเสียง Masker 21

บทที่ 3 การประเมินความเป็นส่วนบุคคลในพื้นที่สำนักงานแบบเปิดโดยใช้การมาสกิ้งเสียงร่วมกับการใช้ฉากกั้นสำนักงาน 22

3.1 การออกแบบการทดลอง 22

3.2 ขั้นตอนการทดลอง 25

3.3 การวิเคราะห์ และผลการตรวจวัด 28

3.4 สรุปผลการทดลอง 31

บทที่ 4 การศึกษาประสิทธิภาพของ STI ในการชี้วัดความเป็นส่วนตัว และการออกแบบเสียง Masker สำหรับใช้เป็นทางเลือกในระบบ Sound masking 33

4.1 การออกแบบการทดลอง 33

4.2 ขั้นตอนการทดลอง 34

4.3 ผู้เข้าร่วมทดสอบ และการทำแบบสอบถาม 39

4.4 ผลการทดสอบจากการตอบแบบสอบถาม และการวิเคราะห์ 40

4.5 การทดสอบประสิทธิภาพของเสียง Masker ที่ได้ออกแบบขึ้นมาใหม่ในการ Masking 43

4.6 สรุปผลการทดลอง 45

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม 46

5.1 สรุปผลการวิจัย 46

5.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม 47

รายการอ้างอิง 49

ภาคผนวก 52

ภาคผนวก ก **การตรวจวัดคุณภาพ** Masking **ด้วย** Articulation Index **และ** Speech Transmission Index 53

ภาคผนวก ก 1 แผนผังห้องทอลอง จำลองพื้นที่สำนักงาน แบบ open plan office 54

ภาคผนวก ก 2 รูปภาพห้องทดลองที่ติดตั้ง ฉากกั้นสำนักงานขนาด 2 เมตรและติดตั้งลำโพงสำหรับ masking ด้านบน 54

ภาคผนวก ก 3 ตารางลงข้อมูลการทดสอบหาค่า AI 55
ภาคผนวก ก 4 ตรวจวัดค่า dBSPL สำหรับการทดสอบหาค่า AI ในห้อง semi anechoic chamber ของมหาวิทยาลัยศิลปากร 55
ภาคผนวก ข แบบทดสอบการฟังที่ออกแบบ และบันทึกจากการจำลองระบบ masking. 56
ภาคผนวก ข 1 เสียง Pink noise - 5 dB per oct 57
ภาคผนวก ข 2 Masking noise with eq shape and tremolo 57
ภาคผนวก ข 3 Beach and Water sound 58
ภาคผนวก ข 4 Alison song by slowdive 58
ภาคผนวก ข 5 Masking noise + Isochronic sine wave 125 Hz 59
ภาคผนวก ข 6 Masking noise + Isochronic sine wave 185 Hz 59
ภาคผนวก ข 7 Masking noise + Isochronic sine wave 250 Hz 60
ภาคผนวก ข 8 Masking noise + Isochronic sine wave 440 Hz 60
ภาคผนวก ข 9 Masking noise + Monaural beats Beta wave sine wave 125 Hz 61
ภาคผนวก ข 10 Masking noise + Monaural beats Beta wave sine wave 185 Hz 61
ภาคผนวก ข 11 Pink noise -5dB/oct + Monaural beats sine wave 231.5+250 Hz 62
ภาคผนวก ข 12 Pink noise -5dB/oct + Monaural beats sine wave 421.5+440 Hz 62
ภาคผนวก ข 13 ตัวอย่างสำเนาแบบสอบถาม 63
ภาคผนวก ข 14 ตัวอย่างสำเนาแบบสอบถาม 2 64
ภาคผนวก ข 15 ตัวอย่างสำเนา 3 65
ภาคผนวก ข 16 ตัวอย่างสำเนา 4 66
ภาคผนวก ค ผลงานทางวิชาการ 67
ประวัติผู้เขียน 78

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4 ระดับความดังเสียง SPL ในระยะความถี่ที่ 1/3 octave ของทุกรูปแบบการติดตั้งฉากกั้น พร้อมกับการวิเคราะห์โอกาสเกิดการเลี้ยวเบนของเสียง [20] 29

ตารางที่ 5 ผลตรวจวัดค่า AI ในพื้นที่ทำงานที่กรณีการใช้ระดับความสูงฉากกั้นกับแบบไม่มีฉากกั้น โดยที่ระบบปรับอากาศนั้นเปิดอยู่ 30

ตารางที่ 6 ผลการตรวจวัดค่า STI ของทุกรูปแบบการติดตั้งฉากกั้น และใช้ pink noise ในระดับความดัง 60 เดซิเบลแทนเสียงรบกวน 31

ตารางที่ 7 ระดับ STI และรายละเอียดเสียงทดสอบที่จากการบันทึกเสียงที่เกิดในพื้นที่โต๊ะทำงาน เมื่อกลบทับเสียงสนทนาด้วยเสียง Masker 36

ตารางที่ 8 กลุ่มเสียง Masker มาตรฐานและ เสียง Masker ที่ออกแบบขึ้นใหม่รวมทั้งหมด 12 เสียง สำหรับใช้ในการ Masking 38

ตารางที่ 10 ระดับความพอใจ Set เสียงชุดที่ 1 (ไฟล์เสียง Masker) 42

ตารางที่ 11 ระดับความพอใจ Set เสียงชุดที่ 2 ไฟล์เสียง Masking กับเสียงสนทนารบกวนที่ถูกกดทับด้วยเสียง Masker ในบริเวณโต๊ะทำงาน 43

ตารางที่ 12 ระดับ STI ของเสียงในบริเวณโต๊ะทำงานเมื่อใช้เสียง Masker มาตรฐานและออกแบบใหม่ 44

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 แผนผังมุมสูงและด้านข้างของพื้นที่สำนักงานแบบ Open plan ซึ่งแสดงส่วนพื้นที่โต๊ะทำงาน โต๊ะประชุมตำแหน่งติดตั้ง partition และอุปกรณ์การทดลอง 24

ภาพที่ 2 (ก) การวัดเสียงด้วย SPL meter และบันทึกเสียงด้วยไมโครโฟนในพื้นที่ใต้โต๊ะทำงาน โดยมีลำโพงเพื่อปล่อยเสียง Masker ติดตั้งอยู่ด้านบนจุดตรวจวัด (ข) ลำโพง Active ติดตั้งหันหน้าเข้าหาบริเวณพื้นที่ทำงานเพื่อจำลองการเกิดเสียงสนทนาที่รบกวนมาจากบริเวณห้องประชุม 25

ภาพที่ 3 Diagram แสดงขั้นตอนการตรวจวัดค่า ประสิทธิภาพระบบ Masking โดยใช้ Articulation Index ตามมาตรฐาน ASTM E1130-08 เปรียบเทียบกับขั้นตอนที่ใช้ในการทดลองจริง 26

ภาพที่ 4 (a) การเปลี่ยนลำโพงปล่อยเสียงสนทนาจาก JBL ที่ขยายย่านโทนเสียงต่ำมากเกินไป เป็น Mirage ลำโพงแบบ passive ขนาดดอก 4 นิ้ว (b) อุปกรณ์สำหรับการทดสอบทั้งหมด Notebook เครื่องซ้ายปล่อยเสียงทดสอบทั้งเสียงสนทนาและเสียง Masker และ Notebook เครื่องขวาปล่อยสัญญาณ Pink noise สำหรับตรวจวัดค่า STI ผ่าน โปรแกรม EASERA 35

ภาพที่ 5 ภาพแผนภูมิแบบกระจาย แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า STI และผลการทดสอบฟังเสียง 41

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญ และความเป็นมา

ปัจจุบันพื้นที่ส่วนใหญ่ในกรุงเทพฯ มีจำนวนประชากรอยู่มาก พื้นที่ใช้สอยจึงมีจำกัด บริษัทที่เปิดใหม่ ส่วนใหญ่จึงนิยมเช่าพื้นที่อาคารสำนักงานทั้งอาคารหรือเพียงบางชั้นเท่านั้น ลักษณะการออกแบบสำนักงานจึงนิยมให้เป็นแบบมีพื้นที่เชื่อมต่อไม่มีผนังกั้น (Open–plan) เนื่องด้วยไม่มีการกั้นห้องแบบถาวร ทำให้พื้นที่ลักษณะนี้จะเกิดเสียงรบกวนระหว่างผู้ใช้พื้นที่ได้ง่าย ความเป็นส่วนตัวจึงน้อยลงเช่นกัน การใช้เพียงฉากกั้นชั่วคราวไม่สามารถป้องกันการรบกวนจากเสียงได้เต็มประสิทธิภาพ หรือการทำผนังกั้นเสียงเต็มระบบทำให้เสียพื้นที่สอยรวมถึงใช้เวลาและงบประมาณค่อนข้างสูง การใช้เทคนิคการกำบังเสียง (Sound masking) จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมกับปัญหาดังกล่าวและช่วยเสริมสร้างความเป็นส่วนตัวได้มากขึ้น

การกำบังเสียงได้ถูกศึกษา และใช้สำหรับปรับปรุงความเป็นส่วนตัว และควบคุมเสียงรบกวนในพื้นที่เปิดใช้ร่วม โดยใช้วิธีการปล่อยเสียงที่ดังกว่าเสียงรบกวนภายนอกไปยังพื้นที่เป้าหมายเพื่อทำให้ประสิทธิภาพในการรับรู้เสียงของผู้อยู่ในพื้นที่เป้าหมายลดลง ทำให้ผู้ที่อยู่ในพื้นที่ไม่รู้สึกว่ามีเสียงรบกวนจากภายนอก ส่งผลให้มีความเป็นส่วนตัวมากขึ้น โดยทั่วไปเสียงที่ใช้สำหรับการกำบังเสียงนั้นนิยมใช้เสียงรบกวนแบบสุ่ม Random noise เช่น Pink noise หรือ White noise ที่มีการปรับความถี่ให้เหมาะสม โดยจะมีเสียงคล้ายกับเสียงในระบบเครื่องปรับอากาศ เสียงชายหาด หรือเสียงฝนเบาๆ พื้นที่เปิดที่อาจจะต้องใช้งานวิธีการกำบังเสียงเพื่อเพิ่มความเป็นส่วนตัว เช่น ห้องสมุด โรงพยาบาล และสำนักงาน [1]

จากตัวอย่างพื้นที่ จะเห็นว่าพื้นที่ที่ยกตัวอย่างส่วนใหญ่นั้นเป็นพื้นที่ ที่มีระดับการใช้เสียงโดยรวมไม่ดังมาก เมื่อใช้เสียง Mask ที่ ระดับความดังเสียง Mask โดยรวมจะไม่ดังมากเกินไป แต่ในบางพื้นที่อย่างเช่น พื้นที่สำนักงานแบบเปิด (Open-plan office) เสียงแวดล้อมที่เกิดจากการทำงาน การสนทนา และอุปกรณ์เครื่องใช้ภายในอาจสูงถึง 50 - 60 dBA ถ้าใช้เสียง Masker ไปกลบพื้นที่ดังกล่าวเสียงตัว Mask นั้นอาจดังมากเกินไปอาจจะกลายเป็นเสียงรบกวนผู้ที่อยู่ในพื้นที่เสียเอง ส่วนต่อมาคือตัวเสียงที่ใช้กำบังนั้นเป็น โดยปกติจะเป็นเสียง Pink noise ที่ปรับย่านความถี่เสียง ซึ่งสำหรับบางคนเสียง Pink noise อาจไม่เป็นที่พึงพอใจส่งผลให้เสียงที่ใช้นั้นอาจรบกวนสมาธิในการทำงานได้

จากปัญหาดังกล่าวนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจตรวจสอบ และวัดผลการใช้งานระบบ Masking ในพื้นที่สำนักงานแบบ Open space โดยจำลองพื้นที่สำนักงานพร้อมติดตั้งระบบ Masking และวัดประสิทธิภาพการสร้างความเป็นส่วนบุคคลด้วยการใช้ฉากกั้นร่วมกับการมาสกิ้งเสียง รวมทั้งออกแบบ

เสียง Masker ในแบบต่าง ๆ ที่อาจใช้แทนเสียง Masker แบบเดิมและสร้างความพึงพอใจได้มากกว่าการใช้ Pink noise ได้ ผลการศึกษาที่ได้จะสามารถใช้เป็นแนวทางการออกแบบระบบ พื้นที่ และเสียงที่ใช้กำบังที่เหมาะสมต่อบริบทการใช้งานพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1. เพื่อศึกษา ตรวจสอบยืนยัน และพัฒนาองค์ความรู้ และหลักการสำหรับการออกแบบอะคูสติก เพื่อสร้างความเป็นส่วนตัว โดยอาศัยหลักการกำบังเสียง

1.2.2. เพื่อพัฒนาการออกแบบเสียงสำหรับการ Masking เสียงที่เหมาะสมกับพื้นที่สำนักงานและบริบทการใช้พื้นที่สำนักงานแบบเปิด (Open–plan office) ในปัจจุบัน

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1. ศึกษา และตรวจวัดประสิทธิภาพของระบบกำบังเสียง เมื่อใช้อุปกรณ์ลดทอนเสียงที่เหมาะสมในห้องจำลองพื้นที่สำนักงานแบบเปิด

1.3.2. ศึกษา และออกแบบเสียงในแบบต่าง ๆ ทั้งในรูปแบบเสียง และองค์ประกอบความถี่ที่มีประสิทธิภาพเทียบเท่าหรือดีกว่าการเสียงรบกวนแบบสุ่มสำหรับการ Masking

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.4.1. ตรวจเอกสารการเกี่ยวกับการกำบังเสียงการออกแบบระบบ การตรวจวัดประสิทธิภาพของระบบกำบังเสียง สำรวจพื้นที่สำหรับการจำลองพื้นที่ และติดตั้งระบบทดสอบเสียง

1.4.2. ออกแบบพื้นที่จำลองสำนักงาน และระบบทดสอบเสียง Masking ขั้นตอนการออกแบบ เริ่มด้วยการสำรวจ พร้อมเก็บข้อมูลในเรื่องสถานที่ วิเคราะห์ข้อมูล สร้างแบบร่างและ นำแบบร่างไปสอบถามผู้เชี่ยวชาญ ปรับแบบร่าง และสร้างระบบทดสอบ

1.4.3. วางแผนงาน และดำเนินการตรวจวัดประสิทธิภาพในการ Masking ในพื้นที่ทดลองออกแบบระบบทำแบบสอบถามเกี่ยวกับความเป็นส่วนตัว และการได้ยินเสียงของกลุ่มเป้าหมาย

1.4.4. ดำเนินการทดสอบ ให้กลุ่มผู้ทดลองทำแบบทดสอบ พร้อมทำแบบสอบถาม

1.4.5. วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง รวมทั้งเขียนรายงานและบทความสำหรับเผยแพร่

1.5 ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

รวม 1 ปี 3 เดือน

เริ่มงานวิจัย เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2561

เสนองานวิจัย เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2562

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.6.1 Sound Transmission Index (STI) คือวิธีการคำนวนทางอะคูสติกและการสื่อสารหาความชัดเจนในเสียงสนทนา โดยมองเสียง และพื้นที่ตัวกลางเป็นช่องทางที่มีปัจจัยอื่นมาทำให้ตัวเสียงพูดเปลี่ยนไป

1.6.2 Articulation Index (AI) คือการคำนวณทางอะคูสติกเพื่อเพื่อหาระดับความชัดเจนของเสียงสนทนา โดยนำค่าระดับที่แนะนำ มาเปรียบเทียบกับระดับความดันเสียงแวดล้อมที่ตรวจวัดเพื่อระบุระดับความชัดเจนของการสนทนา

1.6.2 Masker sound ใช้เรียกเสียงที่สร้างมาเพื่อสำหรับมา masking หรือ บดบังเสียงอื่น

1.6.3 Maskee sound เสียงที่ถูกเสียง masking หรือเสียงเป้าหมายในการ masking บดบังเสียง ไม่ให้ไปรบกวนผู้ที่อยู่ในพื้นที่

1.6.4 ห้องสำนักงานแบบ Open plan เป็นพื้นที่ที่มีการเชื่อมต่อทั้งพื้นที่โดยไม่มีการแบ่งโดยผนัง ตัวอย่างเช่น Co – working space ร้านกาแฟ เป็นต้น

1.6.5 Sound Pressure Level (SPL) คือหน่วยระดับความดังของความดันเสียงในอากาศเป็นหน่วยวัดมาตรฐานที่ใช้วัดระดับเสียงเพื่อแทนระดับความดังที่จะได้ยินมีหน่วยเป็น เดซิเบล dBSPL

1.6.6 dBA คือ deciBel at A – weighting คือเดซิเบลค่าถ่วงน้ำหนักความถี่แบบ A ซึ่งปรับระดับการวัดความถี่ของเครื่องวัดเสียง Sound level meter โดยลดย่านความถี่ต่ำเพื่อจำลองให้เครื่องตรวจวัดใกล้เคียงการรับรู้เสียงของมนุษย์ ซึ่งในเครื่องตรวจวัดจะมี dBA dBC ที่ Weight จำลองการได้ยินเสียงดังมากขึ้นของมนุษย์ และ Unweight ที่ไม่มีการถ่วงน้ำหนักความถี่

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1.ได้วิธีการออกแบบระบบควบคุมเสียงรบกวนด้วยวิธีการกำบังเสียงให้ตรงกับเสียงรบกวนเป้าหมายใน พื้นที่ต่าง ๆ มีความเข้าใจในลักษณะ เอกลักษณ์ ให้เหมาะสมกับบริบทของพื้นที่

1.7.2. เผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับประเทศ หรือการจดสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร อย่างน้อย 1 ผลงาน

1.7.3. เป็นการกระตุ้นและส่งเสริมให้มีการพัฒนาการออกแบบ และองค์ความรู้ใหม่ในประเทศให้เท่าทันกับนานาประเทศ

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัย พัฒนาและประยุกต์การมาสกิ้งเสียง (Sound masking) มีมาอย่างต่อเนื่อง การประยุกต์ เพื่อให้สามารถปรับใช้หรือแก้ไขข้อจำกัดในการใช้งานระบบ Masking โดยส่วนใหญ่จะเน้นในการตรวจวัด และจำลองพื้นที่ทำงานที่ มีระดับเสียงที่ค่อนข้างเงียบ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินประสิทธิภาพของเสียงที่จะใช้ในการมาสกิ้ง (Masking) นอกเหนือจากแทนเสียงรบกวนแบบสุ่ม (Random noise) เช่น การใช้ Pink noise และ White noise มีการใช้เสียงในการมาสกิ้งชนิดอื่นมีอยู่เป็นจำนวนมาก ในบทนี้เป็นการเสนอทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 การรับรู้เสียงของมนุษย์

การรับรู้เสียงของมนุษย์นั้นมีข้อจำกัดการได้ยินของย่านความถี่เหมือนสิ่งมีชีวิตในโลกทั่วไป ซึ่งของมนุษย์นั้นอยู่ที่ 20 ถึง 20,000 เฮิรตซ์ โดยประมาณ นอกจากกลุ่มความถี่ดังกล่าวนั้นระดับความดังเสียงที่มนุษย์ได้ยินนั้น ก็มีผลต่อการได้ยินย่านความถี่ด้วยเช่นกัน เมื่อมีเสียงมีระดับเบามนุษย์จะได้ยินเสียงย่านกลางได้มากกว่าเสียงย่านต่ำ และสูง และเมื่อระดับเสียงนั้นสูงขึ้น ระดับการได้ยินเสียงความถี่ต่ำและสูง จะมีความใกล้เคียงเสียงกลางขึ้น ตามลำดับ [6]

กลุ่มย่านความถี่เสียงการสนทนา (Speech Frequency) นั้นมีกลุ่มความถี่เฉพาะที่อิงจากการรับรู้เสียงของมนุษย์ด้วยกันจะมีกลุ่มความถี่แคบกว่า ย่านเสียงดนตรี เริ่มตั้งแต่ ประมาณต่ำกว่า 100 เฮิรตซ์ ถึง ประมาณ 9,000 เฮิรตซ์ ขึ้นอยู่กับเนื้อเสียงแต่ละบุคคลแตกต่างกันไป โดยส่วนสำคัญของเสียงพูดจะมีช่วงประมาณ 200 – 5,000 เฮิรตซ์ ช่วงที่เสียงพูดที่พลังมากที่สุดอยู่ในช่วง ต่ำกว่า 1,000 เฮิรตซ์ โดยกลุ่มที่มากที่สุดอยู่ช่วงระหว่าง 200 – 600 เฮิรตซ์ซึ่งเป็นกลุ่มเสียงสระ (Speech Vowel) และในส่วนเสียงพยัญชนะ (Speech Consonants) จะเป็นกลุ่มความถี่สูง โดยกลุ่มสำคัญอยู่ในช่วงประมาณ 2,000 – 4,000 เฮิรตซ์ [19] ซึ่งมีผลต่อการรับรู้เสียงของมนุษย์มากเช่นกันเนื่องจากเป็นเพราะลักษณะช่องหูส่วนกลางของมนุษย์ตามธรรมชาติ จะขยายช่วงคลื่นเสียง ดังกล่าวเพิ่มมากขึ้น มนุษย์จึงสามารถรับรู้เสียงย่านดังกล่าวได้ดี ระดับความดันเฉลี่ยของเสียงนั้นขึ้นอยู่กับการออกเสียงเบาดังโดยประมาณ 45 -70 เดซิเบล ซึ่งระดับความดันเสียงสนทนาห่าง 1 เมตร จะอยู่ที่ประมาณ 60 เดซิเบล [7] จากการรับรู้เสียงของมนุษย์นั้นจะเห็นได้ว่า เมื่อเสียงรบกวนโดยรวมมีระดับความดังที่มากขึ้น การใช้ระดับเสียง Masking จำเป็นต้องปรับ และออกแบบเสียงให้เหมาะสมกับผู้ที่อยู่ในพื้นที่ที่เป็นมนุษย์เช่นกัน

2.2 การมาสกิ้งเสียง (Sound masking)

Sound masking เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดเมื่อมีเสียงสองเสียงขึ้นไปเกิดขึ้นในช่วงเวลาเดียวกัน มนุษย์จะสามารถรับรู้เสียงที่มีความดังมากกว่า โดยทั่วไปปรากฏการณ์ masking แบ่งได้สองแบบ คือ แบบเกิดขึ้นพร้อมกัน (Simultaneous masking) และแบบเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน (Non – simultaneous masking) โดยแบบพร้อมกันนั้นเป็น เป็นการ Mask ที่มีสองเสียงเกิดขึ้นพร้อมกัน หรือ คลื่นเสียงทั้งคู่นั้น เคลื่อนที่ไปด้วยกันในพื้นที่เดียวกันโดยเราจะได้ยินเสียงที่มีความดังมากกว่า โดยทั่วไปการเกิดการ Masking เสียงนั้นจะต้องมีความดันเสียงมากกว่าเสียงเป้าหมายที่ 7-10 เดซิเบล โดยประมาณ [7] จะเห็นได้ว่าต้องใช้ความดันเสียงค่อนข้างมาก โดยมาตรฐานการใช้ระบบการกำบังเสียงที่แนะนำนั้นควรใช้ร่วมกับการออกแบบพื้นที่และใช้วัสดุที่สามารถกั้นเสียงได้อย่างเช่น ตู้เก็บของ หรือ partition กั้นห้องแบบชั่วคราว หรือระบบเพดานกันเสียงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำบังเสียงของระบบที่ออกแบบได้ดียิ่งขึ้น [3]

แบบที่สอง การกำบังแบบเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน (Non – simultaneous masking) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดการกำบังกัน โดยที่ทั้งสองเสียงนั้นเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน แบ่งเป็นสองประเภทคือการกำบังแบบย้อนกลับ (Backward – masking) และ การกำบังแบบข้างหน้า (Forward – masking) โดยการกำบังแบบแบบย้อนกลับ (Backward – masking) นั้น คือการที่เสียงที่โดนกำบัง (Maskee) นั้นเกิดเสียงก่อน เสียงที่ใช้กำบัง (Masking) โดยเสียงที่ใช้กำบังนั้น (Masking) ต้องเกิดเสียงหลังจากเสียงที่โดนกำบัง (Maskee) ได้สิ้นสุดลงไม่เกิด 0.01 วินาที กลับกัน แบบข้างหน้า (Forward – masking) ภายในเวลาไม่เกิน 0.03 มิลลิวินาทีหลังจากเสียงกำบัง (Masking) สิ้นสุดลงเสียงที่เกิดขึ้นภายในระยะเวลาดังกล่าวนั้นยังสามารถถูกกำบังได้ [7] กำบังเสียงในพื้นที่จริงนิยมใช้วิธีแบบเกิดพร้อมกันเป็นหลัก โดยสร้างเสียงรบกวนแบบช่วงความถี่กว้าง Broadband noise เช่น Pink noise หรือ White noise ที่ผ่านการใช้ตัวกรองความถี่ (Filter) ซึ่งเสียงจะมีคล้ายกลับเสียงระบบปรับอากาศในอาคาร กับเสียงฝนเบา

2.3 การตรวจวัดประสิทธิภาพการกำบังเสียง

ในการตรวจวัดระบบการกำบังเสียงนั้นมีหลากหลายวิธี โดยในงานวิจัยนี้ ได้เลือกใช้สองวิธี คือ Articulation Index กับ Speech Transmission Index หรือ STI ซึ่งทั้งสองวิธีนี้เป็นการตรวจวัดคุณภาพระบบการกำบังเสียง โดยเฉพาะ

2.3.1 Articulation Index หรือ (AI) เป็นการตรวจวัดระดับคุณภาพสัญญาณ [5] คิดค้นวิธีการตรวจวัดโดยการเปรียบเทียบ อัตราส่วนสัญญาณกับเสียงรบกวน(Signal-to-noise ratio) ช่วงความถี่เสียง (Frequency range) ที่ตรวจอยู่ในช่วง 200 เฮิรตซ์ถึง 5,000 เฮิรตซ์ในระยะ 1/3 แถบความถี่

ออกเทฟโดยนำอัตราส่วนดังเกล่ามาคำนวนกับ ค่าน้ำหนักแนะนำ (Weighting factor) ดังที่แสดงในสูตรคำนวน (1) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้ค่าแนะนำตามมาตรฐานการวัดคุณภาพการกำบังเสียง ASTM E1130-08 [3] โดยค่า AI นั้นจะอยู่ในระหว่าง 0 ที่หมายถึงไม่มีความชัดเจนในการสื่อสารถึง 1 มีความชัดเจนในประโยคสื่อสารมาก โดยในการตรวจวัดเสียง masking นั้น ควรได้ค่าใกล้ 0 ซึ่งหมายถึงเสียง masking นั้นลดความชัดเจนในการสื่อสารของเสียงพูดภายนอกที่เข้ามารบกวนได้

$$AI = \sum_{i=1}^{15} W_i R_i \quad (1)$$

ตารางที่ 1 ค่า Articulation Index เปรียบเทียบระดับความเป็นส่วนตัว [3]

ระดับความเป็นส่วนตัว	ระดับดีมาก	ระดับปกติ	ระดับค่อนข้างแย่	ไม่มีความเป็นส่วนตัว
ค่า AI	0.00 – 0.05	0.05 – 0.20	0.20 – 0.30	0.60 - 0.75

2.3.2 (Speech Transmission Index) หรือ STI ซึ่งเป็นการวัดค่าความชัดเจนของในการได้ยินเสียงพูด (Speech intelligibility) ในพื้นที่ตรวจวัดโดยมีแนวคิดในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของสัญญาณเสียงจากจุดกำเนิดไปถึงจุดตรวจวัด โดยมองพื้นที่ที่เสียงเดินทางผ่านมานั้น เป็นช่องทาง (Channel) ที่เสียงโดนลดทอนจากทุกตัวกลางเช่น เสียงรบกวนพื้นหลัง (Background noise) ความก้อง (Reverberations) และค่าความผิดเพี้ยน (Distortion) ของเสียงทดลองเมื่อเดินทางผ่านตัวกลาง เดินทางไปที่จุดตรวจวัด กลุ่มความถี่เสียงในการตรวจวัด STI ตรวจวัดในช่วง 125 เฮิรตซ์ ถึง 8,000 เฮิรตซ์ ในระยะแถบคลื่นออกเทฟโดยมีการใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนมอดูเลชั่น (Modulation transfer function) โดยฟังเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดขนาดความเข้มข้นของค่ามอดูเลชัน (Modulation) ของทั้ง 7 แถบคลื่นออกเทฟ ช่วงการตรวจวัดค่า MTF นั้นจะใช้ค่าความถี่มอดูเลชันระหว่าง 0.63 เฮิรตซ์ ถึง 12.5 เฮิรตซ์ ในระยะห่าง 1/3 แถบความถี่ออกเทฟรวม 14 ความถี่ ซึ่งค่าเหล่านี้เปลี่ยนแปลงตามตัวกลางในห้องที่ตรวจวัดด้วยเช่นกัน [4] ในการคำนวณค่า STI นั้นจะคำนวณจากการรวมกลุ่มความถี่เสียงพูด กับค่าความเข้มข้นของการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณ ระหว่างสัญญาณต้นทาง กับ สัญญาณที่เคลื่อนที่ผ่านตัวกลางไปยังจุดตรวจวัด โดยค่า STI จะอยู่ระหว่าง 0 – 1 โดยระดับความชัดเจนของเสียงพูด (Speech Intelligibility) ที่ดีนั้นค่า STI จะต้องเข้าใกล้เลข 1 และระดับแย่เมื่อค่าเข้าใกล้ 0 ในกรณีของการตรวจวัดประสิทธิภาพของการกำบังเสียง (Masking) จากค่า STI นั้นจะตรวจวัดผลในทางตรงกันข้าม หมายถึงยิ่งความชัดเจนในเสียงพูดน้อยเท่าไหร่ หมายความว่าประสิทธิภาพในการกำบังเสียงของระบบที่ติดตั้งในพื้นที่ทำได้ดียิ่งขึ้น ส่งผลให้ความเป็นส่วนตัวมากขึ้นเช่นกัน ดังเช่นตารางที่ 1 ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความสัมพันธ์ระหว่างค่า STI กับระดับความชัดเจนของเสียงพูด (Speech

intelligibility) และระดับความเป็นส่วนตัว (Privacy rate) สำหรับระบบการกำบังเสียง (Sound masking)

ตารางที่ 2 ค่าความชัดเจน และความเป็นส่วนตัว ของการวัดผลแบบ STI [4]

ระดับความเป็นภาษา	แย่มาก	ค่อนข้างแย่	ปกติ	ดี	ดีมาก
ระดับความเป็นส่วนตัว	ดีมาก	ดี	ปกติ	ค่อนข้างแย่	แย่มาก
ค่า STI	< 0.30	0.30 - 0.45	0.45 - 0.60	0.60 - 0.75	>0.75

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ Sound masking

Johannes Carlsson (2014) ได้ศึกษาในเรื่องการออกแบบเสียง Masking ที่เหมาะสมในการใช้งานในพื้นที่สำนักงานแบบ Open plan [8] การออกแบบการทดลองจะเป็นการติดตั้งลำโพงไว้ที่ด้านหน้าของโต๊ะทำงานมี Partition แบบติดตั้งบนโต๊ะ กั้นระหว่างผู้ทดสอบ โดยจะเป็นการนั่งทดสอบสองคนพร้อมกัน การวัดผลจะใช้การตรวจวัดระยะที่เสียงเป้าหมายจะเข้ามารบกวนเมื่อเปิดระบบ Mask การตรวจวัดด้วยวิธี Serial recall task เพื่อตรวจวัดระดับการรับรู้ของผู้เข้าทดสอบ และ ค่า STI โดยเสียงที่ออกแบบมีทั้งหมด 5 แบบรวม Pink noise ที่ Filter แล้วกับ ไม่มีเสียง Masking เปิดอยู่ ต่อมาเป็นเสียงคลื่นน้ำ เสียงลมในป่า และเสียงคนพูดคุยกัน ผลการทดลองพบว่าเสียง คลื่นน้ำนั้นได้รับความพึงพอใจมากที่สุด ส่วน Recall task นั้นเป็นเสียงกลุ่มคนพูดคุยนั้นได้คะแนนดีที่สุด

Yusuke Hioka Jen W. Tang และ Jacky Wan (2016) ได้วิจัยเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพเสียงMasking แบบใช้เสียงย้อนกลับ Reverse Sound ซึ่งเป็นการนำเสียงเสียงสนทนานั้นให้เครื่องเสียงหรือโปรแกรมอ่านไฟล์เสียงจากช่วงท้ายของไฟล์เสียงย้อนกลับไปช่วงต้นเสียง โดยใช้ Artificial reverberation [9] ซึ่งการใช้เสียงเล่นย้อนกลับนั้นมีประสิทธิภาพการ Masking เสียงดีมากแต่ไม่สามารถนำไปใช้จริงเพราะมีความรบกวน (Annoying rate) สูงเช่นกัน โดยการศึกษานี้ได้ใช้ Reverb ที่เก็บค่า Impulse response จากห้องที่ทดลอง โดยมีระดับความเข้มข้น (Intensity) ของ Reverb ระดับต่าง ๆ วิธีการวัดผลนั้นในงานวิจัยนี้ใช้ประโยคสั้นๆ สำหรับทดสอบความการจับใจความเสียงเรียกว่า Harvard sentence ซึ่งการวิจัยนี้ใช้วิธีตรวจวัดการเข้าใจเนื้อหา โดยการฟังประโยคพร้อมเสียง Mask ซึ่งลำโพงทั้งคู่ถูกติดในทิศทางเดียวกัน โดยลำโพง Masking จะอยู่ด้านหน้าใกล้ผู้ทดสอบมากกว่า และ ลำโพงปล่อยเสียงทดสอบจะอยู่ด้านหลัง เมื่อได้ยินผู้ทดสอบจะกรอกประโยคคำตอบการตรวจวัดการรบกวนของเสียง โดยใช้วิธีทดสอบการจำระยะสั้น (Short term memory) โดยใช้การพูดสุ่มเสียงตัวเลข 9 ตัวต่อเนื่องเป็นเวลา 15 วินาที และผู้ทดสอบต้องตอบให้ถูกภายใน 30 วินาที นอกจากนี้ยังมีแบบสอบถามความน่ารำคาญของเสียง Mask ในแต่ละแบบโดยให้คะแนน

ในช่วง 0 -100 คะแนน ผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มเสียง Artificial reverberation นั้นลดการรบกวน (Distraction) และความน่ารำคาญของเสียง Masking แบบเสียงเล่นย้อนกลับ (Reverse) แต่ลดประสิทธิภาพในการ Masking ตามความเข้มข้นของ Reverb ชี้ให้เห็นว่าความก้องของห้องนั้นมีผลต่อระบบการ Masking เสียงซึ่งสอดคล้องกับหลักการคำนวน STI ที่มีค่าความก้องของห้องในการคำนวณผล

Tobias Renz Philip Leistner และ Andreas Liebl (2018) ได้ศึกษาเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานใช้เสียง Masking แบบคนพูดคุย (Babble Masking Sound) [15] โดยได้ออกแบบเสียงบรรยากาศคนพูดคนไว้หลายจำนวน และระดับ SNR ต่าง ๆ วัดผลและเปรียบเทียบกับเสียง Masking แบบ เสียง Noise และเสียงน้ำไหลธรรมชาติ เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการทำงานภายในเสียง Masking แบบต่าง ๆ และตรวจวัดด้วยวิธี Serial recall performance เป็นการจำเลขระยะสั้น ซึ่งจะปล่อยเสียง Mask เพื่อทดสอบว่าผู้เข้าทดสอบได้ยินเสียงตัวเลขขนาดไหน ผลการศึกษาพบว่า ทั้งสามเสียงนั้นให้ผลการประเมินการทำงานไม่ต่างกัน แต่เสียงกลุ่มคนพูดนั้น มีความน่ารำคาญ หรือถูกรบกวนมากกว่าเสียงแบบอื่น ๆ

2.5 Binaural Beats

สมองนั้นมีการสั่งการประมวลผลข้อมูลจากการได้ยิน ไปยังสมองเป็นคลื่นไฟฟ้าโดยมีจังหวะการส่งข้อมูลไปยังสมองเพื่อสั่งการให้ร่ายกายนั้นได้กระทำตามสั่ง โดยพบว่าคลื่นสมองนั้นมีจังหวะการสั่งการเป็นรูปแบบ Pattern ที่ชัดเจน จากการค้นพบนี้ทำให้ การสร้างเสียง Beat ที่มีจังหวะความเร็วเดียวกับการสั่งการของสมอง เสียงที่เป็น pattern นั้นก็จะส่งผลต่อการทำงานของสมองและสภาวะทางอารมณ์ได้ด้วยเช่นกัน ดังแสดงไว้ที่ตารางที่ 3 [12] ทั้งนี้วิธีการทำ Binaural beats แบ่งออกเป็นสามแบบ แบบแรก เรียกว่า Binaural beats เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมต้องใช้ หูฟังในการทำเท่านั้นโดยทำการสร้างสัญญาณ Sine wave ที่มีความถี่ต่างกันตามความเร็วบีทที่ต้องการและปล่อยเสียงทั้งสองเสียงแยกกันซ้ายขาว เสียงที่ได้ยินจะวิ่งสลับไปมาระหว่างหู แบบที่สองเรียกว่า monaural beats ซึ่งเป็นการผสมเสียง sine wave สองเสียงใน software ให้รวมกันออกมาเป็นไฟล์เสียงเดียวกันสิ่งที่เกิดจะเป็น beat sound พร้อมกันทั้งสองข้าง [12] แบบที่สามเรียกว่า Isochronic เป็นการใช้เทคนิคการสลับระหว่างมีเสียงกับไม่มีเสียงคล้ายการทำงานของ effect tremolo modulation ตามจังหวะ beat เทคนิคทั้งสองหลังแบบนี้สามารถใช้ในกรณีที่ไม่มีหูฟังหรือไม่สามารถปล่อยเสียงแบบ stereo [10] การใช้เทคนิคนี้เริ่มได้รับความนิยมมากขึ้นในการรักษาผู้ป่วยทางสมอง หรือทางอารมณ์ซึ่งเกิดจากอาการผิดปกติทางสมองทั้งโรคสมาธิสั้น โรคนอนไม่หลับหรือเพิ่มกระตือรือร้นในการกิจกรรม เพิ่มสมาธิ หรือการทำงานต่าง ๆ

ตารางที่ 3 ความถี่ beat ที่ส่งผลต่อสภาวะทางสมอง และร่างกาย [13]

ความถี่	Wave	ส่งผลต่อ
มากกว่า 40 Hz	Gamma	สมาธิขั้นสูง, การรับรู้, การแก้ปัญหา
13 -39 Hz	Beta	การทำกิจกรรม, ลดความกังวล, ความกระตือรือร้น, สมาธิ
7- 13 Hz	Alfa	ผ่อนคลาย, สภาวะสมองก่อนตื่นและหลับ
4-7 Hz	Theta	การฝัน, การอยู่ในสมาธิ, หลับขั้น REM
ต่ำกว่า 4 Hz	Delta	สภาวะหลับลึกโดยไม่ฝัน, ไม่รู้สึกตัว

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ Binaural beats

Jon A. Frederick, M.S., Joel F. Lubar, Ph.D., Howard W. Rasey, Ph.D., Sheryl A. Brim, Ph.D. และ Jared Blackburn, B.A.(1999) ได้ทำการวิจัย และศึกษา Brain beats ที่บรรเทาอาการโรคสมาธิสั้น [10] โดยจำลองรูปแบบ Beat ทั้งภาพและเสียง โดยสร้างเสียง Isochronics beats โดยใช้ คลื่น Sine wave ที่ 185 เฮิรตซ์ และใช้วิธี Photoscopic โดยติดตั้งหลอดไฟเล็ก ๆ 8 ดวง ข้างละ 4 ดวงโดยกระพริบไฟสีแดงในแว่น เป็นจังหวะ (Beats) โดยช่วงเสียง Beats ที่เลือกนั้นจะอยู่ในช่วง Beta beats ซึ่งอยู่ในช่วงระหว่าง 13 ถึง 21 เฮิรตซ์เป็นช่วงที่กระตุ้นสมาธิ โดยผู้ทดลองได้แบ่งช่วง Beats ดังกล่าวเป็นหลายๆ ชุดเพื่อหาช่วงความถี่ Beats ที่ดีที่สุด การทดสอบได้ทดสอบกับกลุ่มนักศึกษาวิทยาลัย โดยแบ่งการทดลองวัดคลื่นสมองเป็นสี่แบบ 1) ฟังแบบจำลองเสียง Beats พร้อมกับเปิดตา 2) ฟังแบบจำลองเสียง Beats และปิดตา 3) ดูแบบจำลองภาพ Beats และเปิดตา 4) ดูแบบจำลองภาพและเสียง Beats พร้อมกับปิดตาไปด้วย ผลจากการทดลองพบกว่า ผลของการฟังและดู Brain Beats นั้นได้ผลลัพธ์ในการจดจ่อ และสมาธิที่เพิ่มขึ้น โดยช่วงที่ได้ผลดีที่สุดเป็นช่วง Beats 18.5 เฮิรตซ์

Leila Chaieb, Elke Caroline Wilpert, Thomas P. Reber and Juergen Fell (2015) ได้รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวกับกับสภาวะอารมณ์ และการสั่งการสมอง ที่เกิดจากการทดลองด้าน Binaural beats ซึ่งมีทั้งส่วนการทดลองเรื่องความจำโดยการให้นักเรียนฟัง ย่านความถี่ช่วง Beta และการเพิ่มความคิดสร้างสรรค์ ด้วยการทดลอง ใช้ความถี่ Beat ช่วง Alpha (10Hz) และ Gamma (40 Hz) และวัดผลในการกระพริบตาในช่วงใช้ความคิด พร้อมกับวัดระดับโดปามีน (Dopamine) ในสมอง ในระหว่างคิดโจทย์ในการคิดงาน Creative ที่โดดเด่นและแปลกใหม่ รวมไปถึงการเสริมสร้างความมีสมาธิในการทำงานโดยใช้ช่วงความถี่ Theta (16 Hz) และ Gamma (24 Hz) ผลปรากฏว่ามีทั้งส่วนเสียสมาธิเมื่อได้ยินเสียง Pink noise กับตรงกันข้ามที่รู้สึกดีที่ได้ฟังเสียง Noise

Leila Chaieb, Elke Caroline Wilpert, Thomas P. Reber and Juergen Fell (2015) ได้รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวกับกับสภาวะอารมณ์ และการสั่งการสมอง ที่เกิดจากการทดลองด้าน Binaural beats ซึ่งมีทั้งส่วนการทดลองเรื่องความจำโดยการให้นักเรียนฟัง ย่านความถี่ช่วง Beta และการเพิ่มความคิดสร้างสรรค์ ด้วยการทดลอง ใช้ความถี่ Beat ช่วง Alpha (10Hz) และ Gamma (40 Hz) และวัดผลในการกระพริบตาในช่วงใช้ความคิด พร้อมกับวัดระดับโดปามีน (Dopamine) ในสมองในระหว่างคิดโจทย์ในการคิดงาน Creative ที่โดดเด่นและแปลกใหม่ รวมไปถึงการเสริมสร้างความมีสมาธิในการทำงานโดยใช้ช่วงความถี่ Theta (16 Hz) และ Gamma (24 Hz) ผลปรากฏว่ามีทั้งส่วนเสียสมาธิเมื่อได้ยินเสียง Pink noise กับตรงกันข้ามที่รู้สึกดีที่ได้ฟังเสียง Noise

2.7 การพัฒนาแนวคิดในการออกแบบเสียง Masker

จากบทความวิจัยและทฤษฎีที่ได้สืบค้นพบว่า ประเภทเสียงที่ใช้สำหรับการ Masking เสียงที่มีความสามารถกลบทับได้ดีและช่วยให้มีสมาธิมากขึ้นเป็นกลุ่มเสียงคนพูดคุย กับเสียงที่เล่นย้อนกลับ ทั้งนี้สองเสียงดังกล่าวจะได้รับความพึงพอใจจากผู้ประเมินน้อย กลับกันเป็นกลุ่มเสียงธรรมชาติที่ได้รับความพึงพอใจมาก และมีประสิทธิภาพในการ Masking ใกล้เคียงกับเสียง Random Noise ในส่วนการใช้เสียงที่มีจังหวะสม่ำเสมอในระดับความเร็วต่าง ๆ ส่งผลต่อการสั่งการของสมอง นำไปสู่การปรับเปลี่ยนสภาวะทางอารมณ์ของผู้ได้ยินทั้งการมีสมาธิ ผ่อนคลาย หรือ การหลับ จากข้อมูลเหล่านี้นำไปสู่การออกแบบเสียง Masker แบบ Random noise ที่ผสมกับเสียง Beat ที่อาจช่วยเพิ่มในเรื่องสมาธิในการทำงานที่อาจนำไปสู่ประสิทธิความเป็นส่วนตัวที่ดีกว่าเดิม หรือการออกแบบเสียงธรรมชาติให้มีมีคุณสมบัติใกล้เคียงเสียง Masker มาตรฐาน สำหรับการ Masking เสียงได้เทียบเท่าเสียง Masker มาตรฐานโดยได้รับความพึงพอใจจากผู้อยู่ใยพื้นที่ด้วย

บทที่ 3
การประเมินความเป็นส่วนบุคคลในพื้นที่สำนักงานแบบเปิดโดยใช้การมาสกิ้งเสียงร่วมกับการใช้ฉากกั้นสำนักงาน

การทดลองนี้เป็นการตรวจสอบการใช้งานระบบ Sound masking ในพื้นที่จำลองห้องสำนักงานแบบ Open plan ที่มีระดับความดังเสียงสนทนาในพื้นที่ค่อนข้างสูง หรือประมาณ 60 dBSPL ซึ่งโดยทั่วไปเมื่อต้องการใช้การมาสกิ้ง เพื่อการกลบเสียงสนาทนาต้องใช้เสียงของตัวกลบทับ (Masker) ที่ระดับความดังประมาณ 65-70 dBหรือดังกว่าเสียงสนทนา 5-7 dB[7] เป็นอย่างน้อย ซึ่งความดังระดับนี้อาจทำให้ เสียง Masking กลายเป็น Noise เสียเอง ด้วยความคิดว่าวิธีที่จะใช้ เสียง Masker ในพื้นที่ดังกล่าวได้โดยไม่จำเป็นต้องมีระดับความดังมากกว่าเสียงสนทนาถึง 5-7 dB ต้องใช้ฉากกั้นแบบถอดประกอบได้ (Removeable Partition) อย่างไรก็ตามความสูง Partition มีผลต่อการสร้างความเป็นส่วนตัวของพื้นที่ทดลองหรือไม่อย่างไรผู้วิจัยจึงได้ทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการสร้างความเป็นส่วนตัวโดยใช้ Sound masking ร่วมกับการใช้ Partition 3 ลักษณะ 1) ไม่มี Partition 2) มี Partitionสูง 1.4 เมตร 3) มี Partitionสูง 2 เมตร และใช้ดัชนี Articulation Index (AI) และ Speech transmission Index (STI) เป็นตัวบ่งชี้ในการประเมินค่าความเป็นส่วนตัว

3.1 การออกแบบการทดลอง

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1.1 คอมพิวเตอร์ โน้ตบุ๊ค MacBook Pro รุ่น 13 นิ้วปี 2015 ใช้กับโปรแกรม LogicPro X เพื่อทำการสร้าง และควบคุมการปล่อยสัญญาณเสียง Masker และ ประโยคทดสอบ

3.1.1.2 คอมพิวเตอร์ โน้ตบุ๊ค IBM Thinkpad R52 ใช้สำหรับตรวจวัด STI ผ่านโปรแกรม EASERA

3.1.1.3 ลำโพง ยี่ห้อ Mirage รุ่น AVS-200 ลำโพงแบบ Passive ขนาดดอก 4 นิ้ว สำหรับติดตั้งด้านบนพื้นที่ตรวจวัด เพื่อปล่อยเสียง Mask

3.1.1.4 ลำโพง ยี่ห้อ JBL รุ่น EON 315 ลำโพงแบบ Active สำหรับปล่อยเสียงสนทนารบกวนจากพื้นที่ห้องประชุม

3.1.1.5 แอมป์ขยายเสียง Crown XLS กำลัง 1,500 วัตต์ สำหรับขยายกำลังให้ลำโพงแขวนที่ปล่อยเสียง Masker

3.1.1.6 เครื่องตรวจวัดระดับความดังเสียง Class 1 ยี่ห้อ RION รุ่น NL-52 สำหรับวัดค่าระดับความดังเสียงหน่วย SPL ของเสียงรบกวน และเสียง Masker

3.1.1.7 ไมโครโฟน คอนเดนเซอร์ ยี่ห้อ SE รุ่น sE1a สำหรับตรวจวัดค่า STI และบันทึกเสียง Masking

3.1.1.8 Audio interface ยี่ห้อ Focusrite รุ่น Scarlet 2i2 สำหรับแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็น อนาล็อค จาก MacBook ไปที่ลำโพงปล่อยเสียงรบกวน และ ลำโพงปล่อยเสียง masker และรับสัญญาณเสียงจาก ไมโครโฟน SE ที่ติดตั้งในพื้นที่โต๊ะทำงานบันทึกเข้ามายัง MacBook

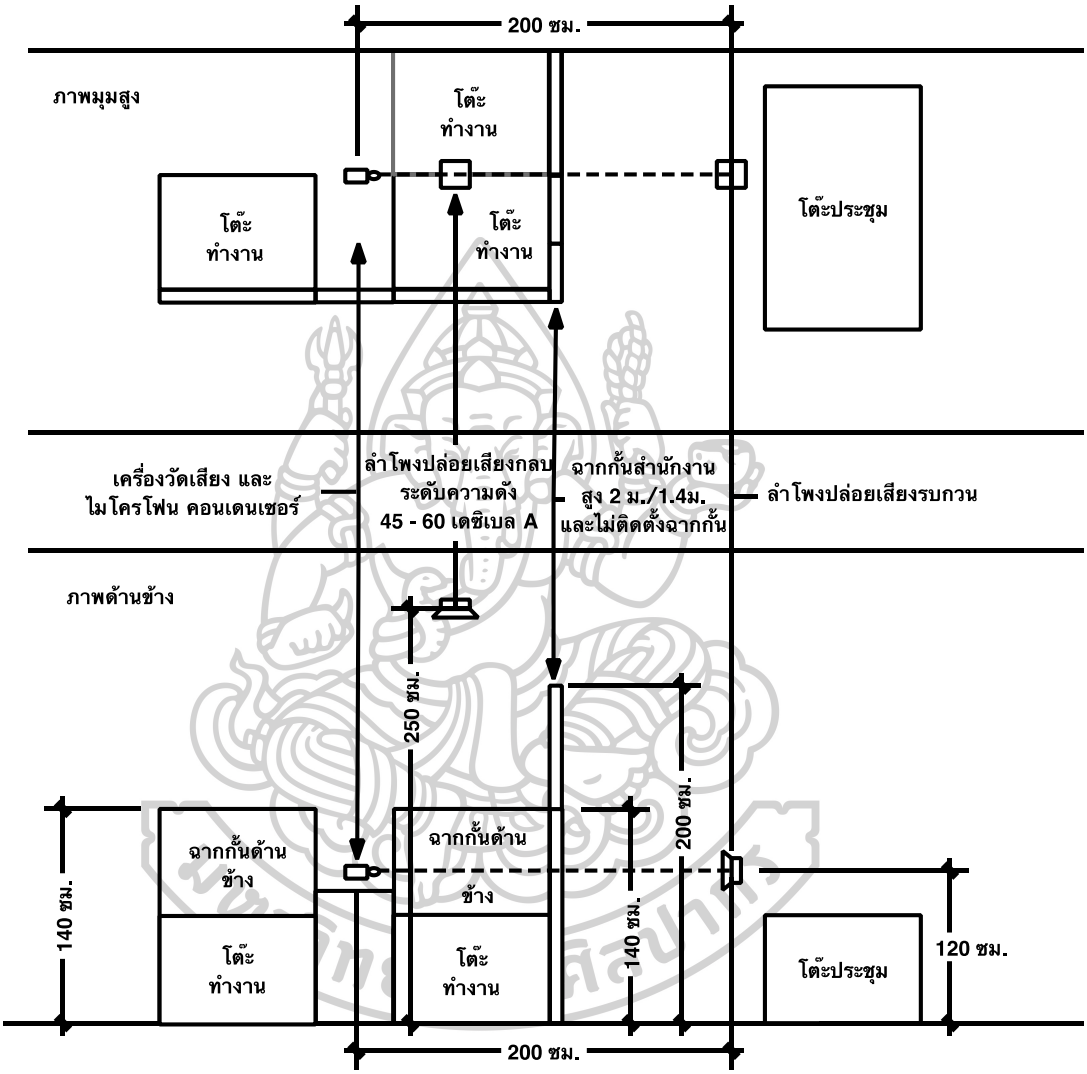
3.1.1.9 Audio Interface ยี่ห้อ MIDI plus รุ่น Studio 2 สำหรับใช้สำหรับแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็น อนาล็อค จาก โน้ตบุ๊ค IBM ไปที่ลำโพงในพื้นที่ห้องประชุม รับข้อมูลจากไมโครโฟน SE เพื่อคำนวณค่า STI

3.1.1.10 โปรแกรม MATLAB สำหรับสร้าง ออกแบบปรับรูปแบบเสียง Pink noise เพื่อให้เหมาะสมสำหรับการ Masking

3.1.1.11 โปแกรม Logic pro X สำหรับควบคุมการปล่อยเสียง ปรับแต่งเสียงสนทนาและ mask ให้ได้ระดับความดังที่เหมาะสม

3.1.2 พื้นที่สำนักงานแบบ Open plan ที่ใช้ในการศึกษาและการติดตั้งอุปกรณ์

ในการทดลองนี้ในได้ใช้พื้นที่ห้องแลบงานวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร ปรับให้เป็นห้องสำนักงานแบบ Open plan ขนาดพื้นที่ห้องมีความกว้าง 4.5 เมตร ยาว 11.8 เมตร และเพดานสูง 3.5 เมตร โดยเพดานและผนังทุกด้านไม่มีการปิดทับด้วยวัสดุดูดซับเสียง ค่าความก้อง (RT60) ของห้องซึ่งได้จากการตรวจวัดรวม 9 จุดกระจายทั่วพื้นที่มีค่า RT 60 เท่ากับ 1.1 วินาที โดยในการจำลองนี้มีพื้นที่หลักในการศึกษา 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นพื้นที่โต๊ะทำงานที่มีการกลบทับเสียง มีการติดตั้ง Sound level meter เพื่อตรวจวัดระดับเสียง (SPL, Sound pressure level) ในรูปแบบ A - weighting 1/3 octave เพื่อใช้ในการคำนวณค่า AI และติดตั้งไมโครโฟน Condenser เพื่อตรวจวัดค่า STI ผ่านโปรแกรม EASERA และใช้บันทึกเสียงที่เกิดขึ้นในตำแหน่งนั่งที่โต๊ะทำงาน และด้านบนของบริเวณพื้นที่ทำงานมีลำโพงติดตั้งที่ระดับ 2.5 เมตรเพื่อปล่อยเสียง Masker ส่วนที่สองเป็นพื้นที่กำเนิดเสียงรบกวน จำลองเป็นพื้นที่สำหรับการประชุมและมีการใช้เสียงพูดคุย ในพื้นที่ส่วนการประชุมนั้นจะติดตั้งลำโพงแบบ Active หันหน้าไปทางพื้นที่นั่ง โดยทั้งตัววัดเสียงและลำโพงปล่อยเสียงสนทนารบกวน จะอยู่ในระดับความสูงที่ 1.2 เมตรเท่ากัน ระยะห่างระหว่างจุดปล่อยเสียงและจุดตรวจวัดจะห่างกัน 2 เมตร ซึ่งระหว่างสองพื้นที่นั้นจะถูกกั้นโดย ฉากกั้นสำนักงานดังแสดงในภาพที่ 2 ฉากกั้นสำนักงานที่ใช้นั้นจะเป็นฉากกั้นมาตรฐานโดยส่วนด้านฐานของฉากกั้นจะเป็นวัสดุเป็นไม้หุ้มบุด้วยผ้า และส่วนด้านบนวัสดุเป็นกระจกใส ซึ่งการทดลองครั้งนี้จะมีการเปลี่ยนเงื่อนไขของฉากกั้นไว้ที่ระดับความสูง 2 ระดับ 1.4 เมตร และ 2 เมตรซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานของฉากกั้นสำนักงาน และนำฉากกั้นออก รวม 3 ระดับความสูงของฉากกั้น



ภาพที่ 1 แผนผังมุมสูงและด้านข้างของพื้นที่สำนักงานแบบ Open plan ซึ่งแสดงส่วนพื้นที่โต๊ะทำงาน โต๊ะประชุมตำแหน่งติดตั้ง partition และอุปกรณ์การทดลอง

(ก)

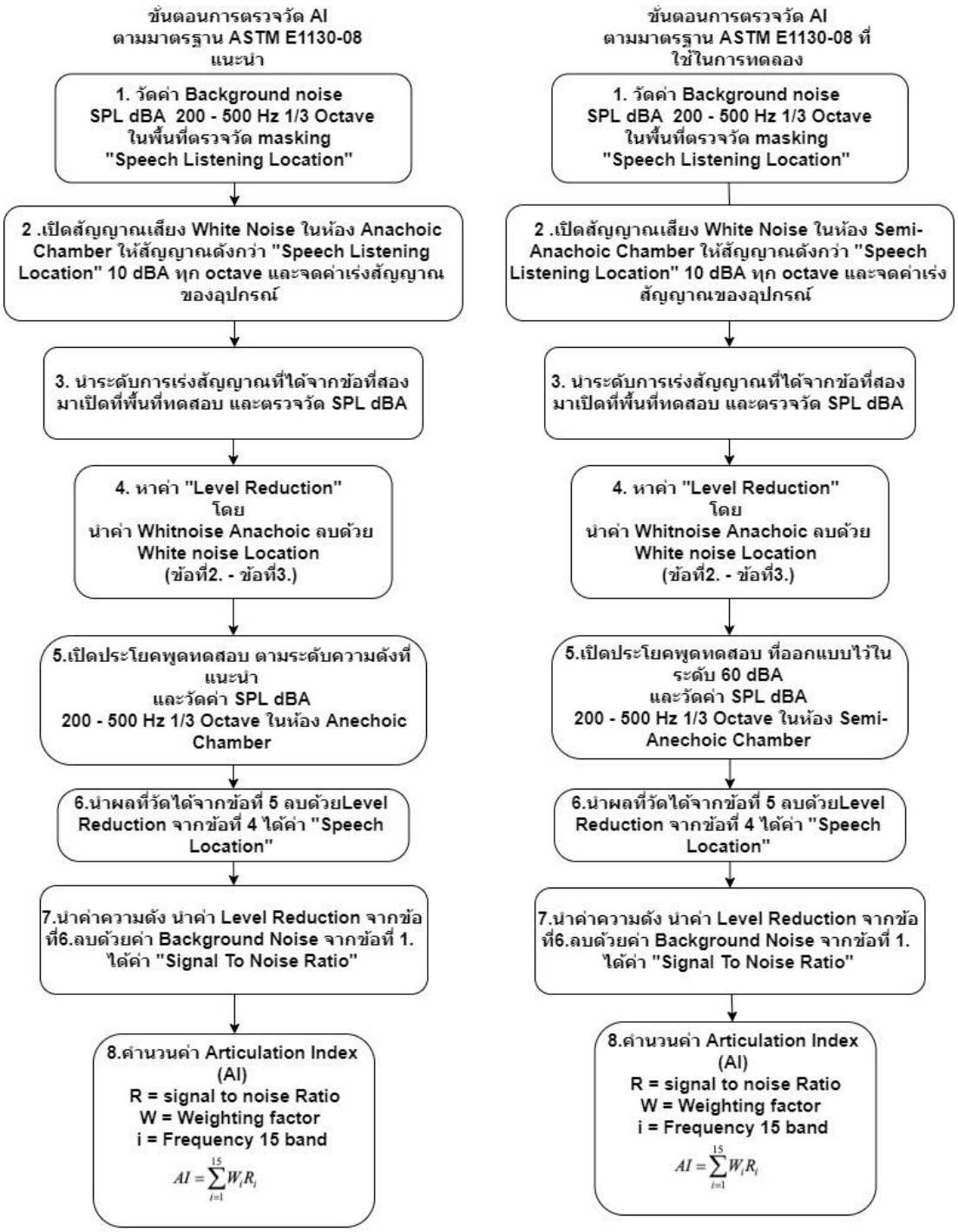
(ข)

ภาพที่ 2 (ก) การวัดเสียงด้วย SPL meter และบันทึกเสียงด้วยไมโครโฟนในพื้นที่ใต้โต๊ะทำงาน โดยมีลำโพงเพื่อปล่อยเสียง Masker ติดตั้งอยู่ด้านบนจุดตรวจวัด (ข) ลำโพง Active ติดตั้งหันหน้าเข้าหาบริเวณพื้นที่ทำงานเพื่อจำลองการเกิดเสียงสนทนาที่รบกวนมาจากบริเวณห้องประชุม

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองนี้แบ่งเป็นสองส่วนหลัก โดยส่วนแรกนั้นจะทำการพิสูจน์ว่าระดับความสูงของฉากกั้นสำนักงานชั่วคราวที่มากขึ้นนั้นสามารถป้องกันเสียงที่ไม่ต้องการได้ดียิ่งขึ้นเช่นกัน ในการทดลองนี้จะทำการเปิดเครื่องปรับอากาศ และทำการตรวจวัดโดยใช้การเปิดเสียง White noise จากลำโพง Active ในส่วนห้องประชุมที่เป็นส่วนสร้างเสียงรบกวนไปยังส่วนพื้นที่ทำงานที่ใช้เป็นจุดตรวจวัดโดยจะใช้เครื่องวัดเสียง Class 1 ตรวจวัดความละเอียด 1/3 octave ในหน่วย dBA

ส่วนที่สอง เป็นการทดลองเพื่อพิสูจน์ในเรื่องระบบ Masking ระดับความสูงที่สูงขึ้นของฉากกั้นในพื้นที่สามารถเพิ่มระดับความเป็นส่วนตัวในการสนทนาได้ดีขึ้นด้วยเช่นกัน ในการทดลองนี้ได้ทำการปล่อยเสียงสนทนามาจากลำโพงฝั่งห้องประชุม เสียงสนทนาในการทดลองนี้แบ่งเป็นสามเสียง เสียงพูดภาษาไทยทั้งชาย หญิง และเสียงสนทนาผู้หญิงในภาษาอังกฤษ เป็นเสียงสนทนาที่เข้ามารบกวนพื้นที่ทำงานที่เป็นจุดตรวจวัดโดย ปล่อยเสียง Masking เป็นเสียง Pink noise ที่ปรับระดับลดความดังจากความถี่ต่ำไปสูง ที่ -5dB ต่อ Octave จากลำโพงที่ติดตั้งอยู่ด้านบน โดยจุดที่ตรวจวัดนั้นจะใช้ เครื่องวัดเสียง Class 1 ตรวจวัดระดับความดังเสียงความละเอียด 1/3 octave และใช้ ค่า Weighting ASTM E1130-08 แนะนำเพื่อนำไปคำนวณการวัดค่า AI ตามสูตรคำนวณ (1) โดยขั้นตอนตามคำแนะนำ ของ ASTM E1130-08 สำหรับการตรวจวัดประสิทธิภาพของระบบ Masking มีขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 3



ภาพที่ 3 Diagram แสดงขั้นตอนการตรวจวัดค่า ประสิทธิภาพระบบ Masking โดยใช้ Articulation Index ตามมาตรฐาน ASTM E1130-08 เปรียบเทียบกับขั้นตอนที่ใช้ในการทดลองจริง

ในการตรวจวัดประสิทธิภาพระบบ Masking นั้นมีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้

1) ทำการวัดระดับความดันเสียงบรรยากาศในพื้นที่จุดตรวจวัดในหน่วย ระดับความดันเสียง SPL dBA ในช่วงกลุ่มความถี่ 200 ถึง 500 เฮิรตซ์ ช่วงระยะความถี่ 1/3 octave วัดโดยรวมการเปิดเสียงสนทนาจำลองในระดับความดังต่าง ๆ รวมถึงกรณีการติดตั้งฉากกั้นสำนักงาน

2) ทำการวัดระดับความดังเสียง White noise ในห้อง Anechoic chamber โดยให้เครื่องวัดเสียงห่างจากตัวลำโพงปล่อยเสียง White noise 1 เมตร ตรวจวัดช่วงกลุ่มความถี่ 200 ถึง 500 เฮิรตซ์ ช่วงระยะความถี่ 1/3 octave โดยให้ระดับความดังทุก Octave band มีความดังเสียงบรรยากาศในพื้นที่ที่จุดตรวจวัด 10 dB เป็นอย่างน้อย จดค่าพารามิเตอร์ที่ปรับในระดับเสียงดังกล่าว

3) นำสัญญาณเสียง White noise ที่ปรับระดับความดังในห้อง Anechoic chamber แล้วมาเปิดในพื้นที่ตรวจวัด และตรวจวัดระดับความดังเสียง

4) คำนวณหาค่า "Level Reduction" โดยนำค่าความดัง 200 ถึง 500 เฮิรตซ์ ช่วงระยะความถี่ 1/3 octave ของเสียง White noise ในห้อง Anechoic chamber มาลบกับ เสียง White noise ที่เปิดในห้องตรวจวัด (นำค่าความดังเสียงจากขั้นตอนที่ (2) ลบค่าความดังเสียงที่ได้จากขั้นตอนที่ (3))

5) ทำการตรวจวัดค่าระดับความดังของเสียงพูดทดสอบ ในห้อง Anechoic chamber ในระยะเดียวกันกับการตรวจวัดความดัง White noise

6) ทำการคำนวณ speech listener location โดยนำค่าความดังเสียงสนทนาทดสอบ โดยอัดเสียงประโยคทดสอบไว้สามแบบ 1) เสียงผู้หญิงพูดภาษาไทย 2) เสียงผู้ชายพูดภาษาไทย 3) เสียงผู้หญิงพูดภาษาอังกฤษ นำมาลบด้วยระดับความดังค่า "Level Reduction" (นำค่าความดังเสียงจากขั้นตอนที่ (5) ลบด้วยค่าความดังเสียงที่ได้จากขั้นตอนที่ (4))

7) หาค่า “Signal to Noise Ratio”โดยนำเสียงระดับเสียง“speech listener location” ลบกับค่าระดับความดังเสียงบรรยากาศในพื้นที่ (นำค่าความดังเสียงจากขั้นตอนที่ (6) ลบด้วยค่าความดังเสียงของขั้นตอนที่ (1))

8) คำนวณค่า Articulation Index จากสมการที่ (1) $AI = \sum_{i=1}^{15} W_i R_i$ โดยที่ W_i คือค่าน้ำหนักที่แนะนำตามมาตรฐาน และ R_i คือค่า Signal to Noise Ratio ที่ได้จากการคำนวณขั้นตอนที่ (7)

ส่วนของการตรวจวัดค่า STI นั้นจะใช้โปรแกรม EASERA ตรวจวัดโดยใช้ ไมโครโฟนคอนเดนเซอร์ วางในจุดเดียวกับเครื่องวัดความดังเสียง โดย STI มาตรฐานแนะนำการตรวจวัด STI นั้นมีการวัดสองแบบเป็นการวัดโดยตรง Direct method โดยปล่อยสัญญาณ Modulation จำนวน 14 ความถี่ ต่อหนึ่ง Octave ซึ่งการวัดใช้กลุ่มความถี่ 7 Bandทั้งหมดรวม 98 เสียงในการตรวจวัด แบบที่สองคือแบบไม่วัดโดยตรง Indirect method เป็นการวัดโดยใช้สัญญาณ Impulse response ปล่อย

จากลำโพงมายังไมโครโฟนตรวจวัด และยังสามารถใช้เสียง Random noise แบบ White noise และ Pink noise ตรวจวัดได้โดยการทดลองนี้เลือกใช้ Pink noise ที่ระดับความดันที่ 60 dBA สำหรับการตรวจวัด STI [22]

3.3 การวิเคราะห์ และผลการตรวจวัด

ผลการตรวจวัดในส่วนแรก ค่าระดับความดันเสียง (SPL) ในช่วงความถี่เสียงที่ 160 ถึง 8,000 เฮิรตซ์ ความละเอียด 1/3 octave ในระดับความสูงฉากกั้นต่าง ๆ และไม่มีฉากกั้นที่แสดงผลในตารางที่ 4 นั้นจะเห็นได้ว่ามีระดับความดังที่แตกต่างกันแค่บางช่วงความถี่หมายถึงเกิดการกันเสียงจึงทำให้ระดับความดังเบาลง แต่จากตารางจะเห็นได้ว่าช่วงความถี่สูงขึ้นไปเท่านั้นมีการลดทอนระดับความดัง ต่างกับความถี่ต่ำ จากผลวัดนี้สามารถอธิบายโดยใช้ทฤษฎีคุณสมบัติในการเลี้ยวเบนของเสียง (Sound diffraction) โดยเสียงที่มีองค์ประกอบความถี่ต่ำมากนั้นจะมีโอกาสเลี้ยวเบนได้มากกว่าเสียงความถี่สูง เพราะเสียงความถี่ต่ำมีความยาวคลื่น Wavelength (λ) ที่ยาวกว่าความถี่สูง โดยสามารถคำนวณหาความยาวคลื่นได้จากความถี่ตามความสัมพันธ์นี้ $\lambda = c/f$ โดย c คือค่าความเร็วเสียง มีความเร็วเสียงอยู่ที่ 347.1 เมตรต่อวินาทีเป็นความเร็วเสียงในห้องทดลองที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส และ f เป็นค่าความถี่เสียงหน่วยเฮิรตซ์ โดยการเลี้ยวเบนของเสียงจะเกิดขึ้นมาค่าความยาวคลื่นเสียงนั้นยาวกว่าสิ่งกีดขวาง ซึ่งการทดลองนี้ความสูงของจุดรับเสียงคือ 1.2 เมตรในความสูงฉากกั้นนั้นสูง 1.4 เมตร โอกาศที่เสียงจะสามารถเลี้ยวเบนไปเจอจุดตรวจวัดนั้นต้องมีความยาวคลื่นมากกว่า 0.2 เมตร และ 0.8 เมตร [20] สำหรับฉากกั้นเสียงสูง 2 เมตร จากการวัดค่า SPL 1/3 octave band ในฉากกั้นทั้ง 3 รูปแบบในตารางที่ 3 ผลตรวจวัดของฉากความสูง 1.4 เมตรนั้นค่าความดัง SPL ในช่วงความถี่ 2000 เฮิรตซ์ลงมามีค่าใกล้เคียงกับค่า SPL แบบไม่มีฉากกั้นแต่ในช่วงความถี่ 2000 เฮิรตซ์ ขึ้นไปนั้น ค่า SPL เปรียบเทียบกับแบบไม่มีฉากกั้นนั้น ค่า SPL ในฉากกั้น 1.4 เมตรจะมีค่าน้อยกว่า 3 เดซิเบลลงไป และเช่นเดียวในความสูง 2 เมตรนั้นค่าความดัง SPL ในช่วงความถี่ 500 เฮิรตซ์มีระดับความดังไม่ต่างกับกรณีไม่มีฉากกั้น โดยความถี่ที่สูงกว่า 500 เฮิรตซ์นั้นค่าความดังจะน้อยกว่า 3 เดซิเบลลงไป และเมื่อเทียบระดับ SPL รวม (Overall all SPL) ไม่แยกความถี่ฉากกั้นความสูงทั้งสองระดับนั้นมีระดับความดังใกล้เคียงกันที่ 68.7 dBA ของความสูง 1.4 กับ 69.3 dBA ของความสูง 2 เมตร ซึ่งทั้งสองระดับความสูงนั้นมีความดังน้อยกว่า 5 เดซิเบลเมื่อเทียบกับค่าความดัง 74.9 เดซิเบลแบบไม่มีฉากกั้น

ตารางที่ 1 ระดับความดังเสียง SPL ในระยะความถี่ที่ 1/3 octave ของทุกรูปแบบการติดตั้งฉากกั้น พร้อมกับการวิเคราะห์โอกาสเกิดการเลี้ยวเบนของเสียง [20]

กลุ่มความถี่เสียงช่วงระยะความถี่ 1/3 octave [Hz]	ความยาวคลื่น [เมตร], ในอุณหภูมิ 26°C	ค่าความดังเสียงในอากาศ [dBA]			การเกิดการเลี้ยวเบนของเสียง	
		ไม่มีฉากกั้น	ฉากกั้นสูง 1.4 เมตร	ฉากกั้นสูง 2.0 เมตร	ฉากกั้นสูง 1.4 เมตร	ฉากกั้นสูง 2.0 เมตร
160	2.169	46.7	44.6	47.2	เลี้ยวเบน	เลี้ยวเบน
200	1.736	49.8	48.7	47.9	เลี้ยวเบน	เลี้ยวเบน
250	1.388	51.6	49.5	51.6	เลี้ยวเบน	เลี้ยวเบน
315	1.102	52.6	51.3	55.5	เลี้ยวเบน	เลี้ยวเบน
400	0.868	57.8	55.2	61.2	เลี้ยวเบน	เลี้ยวเบน
500	0.694**	58.5	55.9	62.8	เลี้ยวเบน	ไม่เลี้ยวเบน
630	0.551**	58.6	57.8	61.8	เลี้ยวเบน	ไม่เลี้ยวเบน
800	0.434**	59.2	56.7	62.5	เลี้ยวเบน	ไม่เลี้ยวเบน
1000	0.347**	60.5	58.2	65.4	เลี้ยวเบน	ไม่เลี้ยวเบน
1250	0.278**	60.9	58.8	66.0	เลี้ยวเบน	ไม่เลี้ยวเบน
1600	0.217**	62.5	60.0	68.8	เลี้ยวเบน	ไม่เลี้ยวเบน
2000	0.174***	67.2	63.3	72.5	ไม่เลี้ยวเบน	ไม่เลี้ยวเบน
2500	0.139***	69.9	64.8	74.1	ไม่เลี้ยวเบน	ไม่เลี้ยวเบน
3150	0.110***	67.0	63.0	71.2	ไม่เลี้ยวเบน	ไม่เลี้ยวเบน
4000	0.087***	63.9	61.3	70.1	ไม่เลี้ยวเบน	ไม่เลี้ยวเบน
5000	0.069***	65.0	61.2	70.9	ไม่เลี้ยวเบน	ไม่เลี้ยวเบน
6300	0.055***	64.2	60.7	71.5	ไม่เลี้ยวเบน	ไม่เลี้ยวเบน
8000	0.043***	61.8	58.5	70.4	ไม่เลี้ยวเบน	ไม่เลี้ยวเบน
Total	-	74.9	68.7	69.3	-	-

* กลุ่มความถี่ที่มีความยาวคลื่นที่ต่ำกว่า 0.2 เมตรจึงไม่เกิดการเลี้ยวเบนในความสูง 1.4 เมตร

**กลุ่มความถี่ที่มีความยาวคลื่นที่ต่ำกว่า 0.8 เมตรจึงไม่เกิดการเลี้ยวเบนในความสูง 2.0 เมตร

ผลการตรวจสอบส่วนของการวัดประสิทธิภาพการ Masking เสียงโดยใช้หน่วยวัดมาตรฐานสองตัวคือ AI Articulation Index และ STI ใส่วนแรกผลค่า AI นั้นจะแสดงผลให้เห็นว่าการมีฉากกั้นนั้นช่วยให้ค่า AI นั้นได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นอยู่ในระดับดีมากที่ค่าไม่เกิน 0.05 ในกรณีที่เสียงพูดอยู่ในระดับ

ความดัง 60 dBA โดยใช้ระดับความสูงฉากกั้นที่ 1.4 เมตร ควบคู่กับเสียง Masking ที่ระดับความดัง 50 dBA ค่า AI ที่ตรวจวัดได้อยู่ที่ 0.047 ในการ Masking เสียงผู้หญิงพูดภาษาอังกฤษ 0.069 ซึ่งอยู่ในระดับปกติ สำหรับเสียงพูดผู้ชายในภาษาไทย และ 0.045 สำหรับเสียงผู้หญิงภาษาไทย โดยกรณีการใช้ฉากกั้นที่สูงขึ้นไป หรือเพิ่มระดับความดังเสียง Masking ค่า AI จะได้ผลที่ดีขึ้นตามลำดับ ในทางตรงกันข้ามในส่วนกรณีที่ไม่ติดตั้งฉากกั้นและไม่เปิดเสียง Masking นั้น ค่า AI อยู่ในช่วงประมาณ 0.2 หรือค่าระดับความเป็นส่วนตัวปกติ ในทุกเสียงพูดซึ่งผลที่ได้กับสถานการณ์จริงในห้องทดลองนั้นระดับเสียงพูดสนทนานั้นค่อนข้างชัดเจนไม่สอดคล้องกับผลค่า AI ดังกล่าว

ตารางที่ 2 ผลตรวจวัดค่า AI ในพื้นที่ทำงานที่กรณีการใช้ระดับความสูงฉากกั้นกับแบบไม่มีฉากกั้น โดยที่ระบบปรับอากาศนั้นเปิดอยู่

ความสูงฉากกั้น	ประเภทของเสียงพูดในระดับความดัง 60 dBA	ผลการตรวจวัด AI ในกรณีเสียง Masking แบบต่าง ๆ ตั้งแต่ไม่มีเสียง ระดับความดัง 45, 50, 55, และ 60 dBA				
		ไม่มีเสียง	45 dBA	50 dBA	55 dBA	60 dBA
2.0 เมตร	ผู้หญิงภาษาไทย	0.115	0.087	0.024	0.009	0.003
	ผู้ชายภาษาไทย	0.110	0.084	0.048	0.024	0.008
	ผู้หญิงภาษาอังกฤษ	0.108	0.081	0.029	0.004	0.000
1.4 เมตร	ผู้หญิงภาษาไทย	0.142	0.102	0.045	0.004	0.002
	ผู้ชายภาษาไทย	0.138	0.102	0.069	0.037	0.011
	ผู้หญิงภาษาอังกฤษ	0.132	0.093	0.047	0.013	0.004
ไม่มีฉากกั้น	ผู้หญิงภาษาไทย	0.223	0.257	0.150	0.022	0.008
	ผู้ชายภาษาไทย	0.214	0.248	0.140	0.019	0.020
	ผู้หญิงภาษาอังกฤษ	0.213	0.247	0.141	0.003	0.008

ผลการวัดค่า STI นั้นการมีฉากกั้นทั้งสองระดับนั้นให้ผลค่าความเป็นส่วนตัวดีกว่า แบบไม่มีฉากกั้น จากที่แสดงผลในตารางที่ 6 ซึ่งทำให้การ Masking ไม่จำเป็นต้องใช้ระดับความดังเสียงที่ดังมากกว่ากว่าเสียงรบกวน 7-10 dB โดยจากการทดลองเสียงรบกวนที่ระดับ 60 dBA นั้นใช้เสียง Masking ที่ 50 dBA เมื่อติดตั้งฉากกั้นที่ระดับความสูง 2 เมตร โดยค่า STI อยู่ที่ 0.445 ซึ่งอยู่ในระดับความเป็นส่วนตัวดี หรือ ระดับพอใช้ที่ 0.489 เมื่อใช้ฉากกั้น 1.4 เมตร และในทางตรงกันข้ามเมื่อไม่ติดตั้งฉากกั้นนั้นในระดับความดัง Masking เดียวกันค่า STI อยู่ที่ 0.687 ในกรณีเปิดเครื่องปรับอากาศ และ 0.725 เมื่อปิดเครื่องปรับอากาศ ซึ่งทั้งสองค่านั้นความเป็นส่วนตัวอยู่ในระดับแย่ทั้งคู่

ตารางที่ 3 ผลการตรวจวัดค่า STI ของทุกรูปแบบการติดตั้งฉากกั้น และใช้ pink noise ในระดับความดัง 60 เดซิเบลแทนเสียงรบกวน

เครื่องปรับอากาศ	ความสูงฉากกั้น	ผลการตรวจวัด STI ในกรณีเสียง Masking แบบต่าง ๆ ตั้งแต่ไม่มีเสียง ระดับความดัง 45, 50, 55, และ 60 dBA				
		ไม่มีเสียง	45 dBA	50 dBA	55 dBA	60 dBA
เปิด	2.0 เมตร	0.487	0.461	0.445	0.345	0.213
	1.4 เมตร	0.498	0.490	0.480	0.368	0.257
	ไม่มีฉากกั้น	0.708	0.716	0.687	0.635	0.534
ปิด	2.0 เมตร	0.552	0.513	0.448	0.344	0.202
	1.4 เมตร	0.583	0.533	0.464	0.370	0.238
	ไม่มีฉากกั้น	0.785	0.768	0.725	0.669	0.551

3.4 สรุปผลการทดลอง

การทดสอบความสามารถในประสิทธิภาพการใช้งานฉากกั้นสำนักงานทั้งในด้านการป้องกันเสียง และ ด้านการเสริมประสิทธิภาพเสียง Masking นั้นส่วนแรกในประสิทธิภาพในการป้องกันเสียงรบกวนนั้นพบว่า ฉากกั้นทั้งสองระดับความสูงนั้นประสิทธิภาพในการป้องกันเสียงรบกวนนั้นไม่แตกต่างกันมากระหว่าง ความสูง 1.4 เมตรกับ 2 เมตร และเมื่อเปรียบเทียบกับเสียงเมื่อตอนไม่ติดตั้งนั้นในฉากกั้นสามารถกันเสียงได้เพียง 5 เดซิเบลเท่านั้น และเมื่อเปรียบเทียบความสูงฉากกั้นระหว่าง 1.4 กับ 2 เมตร ระดับความดังประมาณ 1 เดซิเบล ดังนั้นการเพิ่มความสูงฉากกั้นสำนักงานในห้องทดสอบนั้นไม่ได้ช่วยในเรื่องป้องกันเสียงรบกวน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ติดตั้งฉากกั้น ฉากกั้นสามารถกันเสียงได้ดีกว่าเล็กน้อย

ในส่วนต่อมาผลค่า AI และ STI นั้นถูกวัดเพื่อหาความเป็นส่วนตัวในพื้นที่ เมื่อนำมาเปรียบเทียบผลของเสียง Masking ความดังช่วง 50 เดซิเบลที่กลบทับเสียงรบกวนที่มีระดับความดัง 60 เดซิเบล นั้นมีความแตกต่างโดย AI นั้นจะให้ผล ความเป็นส่วนตัวระดับดีเยี่ยมและ STI อยู่ในระดับดีเท่านั้น จากผลข้างต้นทำให้เห็นว่าค่า STI ที่ตรวจวัดความเป็นส่วนตัวนั้นผลที่ได้มีค่าการเปลี่ยนแปลงที่ดีและสมเหตุสมผลกว่า ค่า AI ที่ผลแสดงความเป็นส่วนตัวยังปกติแม้จะไม่ติดตั้งฉากกั้นและไม่เปิดเสียง Masking ซึ่ง STI นั้นผลจะอยู่ในระดับไม่มีความเป็นส่วนตัวเลย ส่วนต่อมาในขั้นตอนการตรวจวัดนั้น AI มีข้อจำกัดและเงื่อนไขการตรวจวัดมากกว่า STI โดย การวัด AI ตาม

มาตรฐาน ASTM E1130-08 นั้นจำเป็นต้องใช้ห้อง Anechoic chamber มีการวัดค่ากลับไปมาระหว่างห้อง Anechoic chamber กับห้องที่ตรวจวัด และมีปัจจัยในส่วนประโยคคำพูดที่มีองค์ประกอบเรื่องเสียงในเรื่องความถี่ และน้ำเสียงหนักเบาที่หลากหลาย เมื่อเทียบกับการใช้ Pink noise ในการวัดแบบ STI เพราะฉะนั้น เมื่อเปรียบเทียบ ระหว่าง AI และ STI ในการตรวจวัดประสิทธิภาพความเป็นส่วนตัวเมื่อใช้ระบบ Masking นั้นการใช้งาน STI มีความเหมาะสมมากกว่าทั้งด้านกระบวนการตรวจวัด และความเที่ยงตรงของค่าที่ตรวจวัดได้

ค่า AI และ STI ที่ตรวจวัดประสิทธิภาพในการ Masking นั้นผลลัพธ์ที่ได้ไปในทิศทางเดียวกันคือ ค่าความเป็นส่วนตัวเพิ่มขึ้นเมื่อติดตั้งฉากกั้นสำนักงาน ในพื้นที่ที่ติดตั้งระบบ Masking เสียงในสำนักงานแบบ Open plan ที่ไม่ได้ทำระบบกันเสียงสะท้อน ฉากกั้นในระดับความสูง 2 เมตร นั้นให้ความเป็นส่วนตัวในการสนทนาได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับฉากกั้นความสูง 1.4 เมตร หรือไม่ติดตั้งฉากกั้น ในการใช้เสียง Masker กลบทับเสียงรบกวนโดยทั่วไปควรมีระดับความดังมากกว่า 7- 10 เดซิเบล จากการทดสอบในพื้นที่ที่ออกแบบ โดยมีเสียงสนทนาในระดับความดัง 60 เดซิเบล เพื่อได้ผลความเป็นส่วนตัวในระดับดีนั้น สามารถใช้ฉากกั้นความสูง 2 เมตร ร่วมกับเสียง Masking ในระดับความดังเพียง 50 เดซิเบล ซึ่งมีระดับความดังเบากว่าเสียงรบกวนถึง 10 เดซิเบลทั้งนี้ ประสิทธิภาพในการใช้งานระบบ Masking อาจเพิ่มขึ้นได้อีกด้วยการปรับปรุงพื้นผิวของผนังห้องเพื่อให้อะคูสติกของห้องมีความเหมาะสมซึ่งเป็นส่วนที่ต้องศึกษาต่อไป

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 4
การศึกษาประสิทธิภาพของ STI ในการชี้วัดความเป็นส่วนตัว และการออกแบบเสียง Masker สำหรับใช้เป็นทางเลือกในระบบ Sound masking

การศึกษาในนี้แบ่งออกเป็นสองส่วนส่วนแรกเป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพของดัชนี Speech transmission index (STI) ในการบ่งชี้การตรวจความเป็นส่วนตัว โดยได้ทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า STI กับผลประเมินความเป็นส่วนตัวด้วยการฟังของผู้เข้าร่วมทดลองที่เหมาะสมในจำนวน 31 คน [23] ความเป็นส่วนตัวที่บริเวณโต๊ะทำงานในที่ นี้หมายถึง การที่เสียงสนทนาจากบริเวณโต๊ะประชุมไม่สามารถรบกวนพื้นที่ทำงานที่โต๊ะทำงานได้ หรือการที่ผู้นั่งทำงานไม่สามารถได้ยินคำพูดในการสนทนาได้อย่างเข้าใจชัดเจน ซึ่งจะมีการวิเคราะห์ทางสถิติของการทดลองที่ได้

การทดลองส่วนที่สองเป็นการออกแบบเสียง Masker ให้มีประสิทธิภาพในการ Masking เสียงใกล้เคียงหรือดีกว่าเสียง Masker ชนิด Pink noise ที่แนะนำเป็นมาตรฐานสำหรับการมาสกิ้งเสียง รวมทั้งประเมินความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมทดสอบฟังเสียงที่ออกแบบขึ้นเปรียบเทียบกับการใช้ Pink noise เป็นเสียง Masker มาตรฐานการใช้เสียง Masking noise หรือเพิ่มคุณสมบัติด้านอื่นโดยที่ยังคงคุณสมบัติการ Masking

4.1 การออกแบบการทดลอง

อุปกรณ์การทดลองเป็นชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพฉากกั้นเสียงร่วมกับการวัด AI และ STI โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1.1 คอมพิวเตอร์ โน้ตบุ๊ก MacBook Pro รุ่น 13 นิ้วปี 2015 ใช้กับโปรแกรม Logic Pro X เพื่อทำการสร้าง และควบคุมการปล่อยสัญญาณ Masking และ ประโยคทดสอบ

4.1.1.2 คอมพิวเตอร์ โน้ตบุ๊ก Lenovo IdeaPad 720S-13ARR ใช้สำหรับตรวจวัด STI ผ่านโปรแกรม EASERA

4.1.1.3 ลำโพง ยี่ห้อ Mirage ลำโพงแบบ Passive ขนาดดอก 4 นิ้ว สำหรับติดตั้งใต้เพดานด้านบนพื้นที่ตรวจวัด เพื่อปล่อยเสียง Masker

4.1.1.4 ลำโพง ยี่ห้อ JBL EON 315 ลำโพงแบบ Active สำหรับปล่อย Pink noise สำหรับการตรวจวัด STI และ ลำโพง ยี่ห้อ Mirage ในการเสียงสนทนารบกวนจากพื้นที่ห้องประชุม

4.1.1.5 แอมป์ขยายเสียง Crown XLS กำลัง 1500 วัตต์ สำหรับขยายกำลังให้ลำโพงแขวนที่ปล่อยเสียง Masker

4.1.1.6 เครื่องตรวจวัดระดับความดังเสียง Class 1 ยี่ห้อ RION รุ่น NL-52 สำหรับวัดค่าระดับความดังเสียงหน่วย SPL ของเสียงสนทนารบกวน และเสียง Masker

4.1.1.7 ไมโครโฟนคอนเดนเซอร์ ยี่ห้อ SE รุ่น sE1a สำหรับตรวจวัดค่า STI และบันทึกเสียงที่เกิดขึ้นในตำแหน่งนั่งที่โต๊ะทำงาน

4.1.1.8 Audio Interface ยี่ห้อ Focusrite รุ่น Scarlet 2i2 สำหรับแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็น แอนะล็อก จาก MacBook ไปที่ลำโพงตำแหน่งห้องประชุมเพื่อปล่อยเสียงรบกวน และลำโพงใต้เพดานเพื่อปล่อยเสียง Masker รวมทั้งรับสัญญาณจากไมโครโฟน SE เข้ามาบันทึกใน MacBook

4.1.1.9 Audio Interface ยี่ห้อ MIDI plus รุ่น Studio 2 สำหรับใช้แปลงสัญญาณดิจิทัลจากโน้ตบุ๊คเป็นแอนะล็อกไปที่ลำโพงในพื้นที่ห้องประชุม และรับข้อมูลจากไมโครโฟน SE ที่ตำแหน่งโต๊ะทำงานเพื่อคำนวณค่า STI

4.1.1.10 หูฟังของ Apple รุ่น Earpod สำหรับให้ผู้เข้าทดสอบทดลองฟังเสียงที่บันทึกตอนตรวจวัด STI ในห้องทดลองเพื่อตอบแบบสอบถาม

4.1.1.11 โปรแกรม MATLAB สำหรับสร้าง ออกแบบปรับรูปแบบเสียง pink noise เพื่อให้เหมาะสมสำหรับการ Masking

4.1.1.12 โปแกรม Logic Pro X สำหรับควบคุมการปล่อยเสียง ปรับแต่งเสียงสนทนาและ Mask ให้ได้ระดับความดังที่เหมาะสม

4.2 ขั้นตอนการทดลอง

4.2.1 การจำลองพื้นที่สำนักงานแบบ Open plan และการติดตั้งอุปกรณ์

พื้นที่สำหรับการศึกษานี้เป็นห้องเดียวกันกับห้องที่ใช้ในการทดลองส่วนแรก พื้นที่ห้องปฏิบัติงานวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร ปรับให้เป็นสำนักงานแบบ Open plan พื้นที่ถูกแบ่งเป็นสองส่วนหลักคือพื้นที่ส่วนการประชุมเป็นจุดปล่อยเสียงสนทนารบกวน และพื้นที่โต๊ะทำงานที่มีการติดตั้งลำโพงใต้เพดานปล่อยเสียง Masker โดยมีฉากกั้นสำนักงานสูง 2 เมตรกั้นกลางระหว่างสองพื้นที่โดยการทดลองครั้งนี้ได้เปลี่ยนตัวลำโพงสำหรับสร้างเสียงสนทนาเป็นลำโพงยี่ห้อ Mirage ลำโพงแบบ Passive ขนาดดอก 4 นิ้ว เป็นลำโพงตัวเดียวกันที่ใช้ติดตั้งด้านบนเพื่อสร้างเสียง Masker ดังรูปที่ 4 สาเหตุที่ต้องเปลี่ยนลำโพงจาก JBL EON 315 มาเป็นลำโพง Mirage นั้นเนื่องจากว่า ลำโพง

JBL เป็นลำโพงชนิดที่มีกำลังขยายในตัว และมีกำลังขยายย่านความถี่ต่ำที่มากรวมทั้งมีซับวูฟเฟอร์ขนาดใหญ่ [24] ทำให้เสียงสนทนาถูกขยายย่านโทนต่ำมากทำให้เสียงพูดไม่ค่อยสมจริง จึงเปลี่ยนใช้ลำโพง Mirage ที่มีความ Flat มากกว่า [25]

(a) (b)

ภาพที่ 4 (a) การเปลี่ยนลำโพงปล่อยเสียงสนทนาจาก JBL ที่ขยายย่านโทนเสียงต่ำมากเกินไป เป็น Mirage ลำโพงแบบ passive ขนาดดอก 4 นิ้ว (b) อุปกรณ์สำหรับการทดสอบทั้งหมด Notebook เครื่องซ้ายปล่อยเสียงทดสอบทั้งเสียงสนทนาและเสียง Masker และ Notebook เครื่องขวาปล่อยสัญญาณ Pink noise สำหรับตรวจวัดค่า STI ผ่าน โปรแกรม EASERA

4.2.2 การสร้างเสียงทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพการบ่งชี้ความเป็นส่วนตัวของ STI

การศึกษาส่วนนี้เป็นไปเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของ STI ในการชี้วัดความเป็นส่วนตัวของผู้ปฏิบัติงานที่โต๊ะทำงานหรือระดับของการที่ผู้ปฏิบัติงานที่โต๊ะทำงานไม่ถูกรบกวนหรือได้ยินเสียงสนทนาที่มาจากพื้นที่การประชุม ในการทดลองได้ทำการสร้างเสียงทดสอบซึ่งเป็นเสียงสนทนารบกวนที่เข้ามาในบริเวณโต๊ะทำงาน และถูกกลบทับด้วยเสียง Masker หลายแบบเพื่อให้มีค่า STI หลายระดับ ผู้วิจัยได้สร้างเสียงจำนวนทั้งหมด 11 เสียง และมีค่า STI กระจายอยู่ระหว่าง 0 – 1 ดังแสดงในตารางที่ 7 โดยเสียงทดสอบเหล่านี้ถูกสร้างนำไปทดลองให้ผู้เข้าร่วมการทดสอบฟัง และประเมินระดับของการได้ยินพูดอย่างชัดเจนหรือจับใจความได้ต่อไป

ตารางที่ 4 ระดับ STI และรายละเอียดเสียงทดสอบที่จากการบันทึกเสียงที่เกิดในพื้นที่โต๊ะทำงาน เมื่อกลบทับเสียงสนทนาด้วยเสียง Masker

No.	ระดับ STI	ระดับความเป็นส่วนตัว	เสียงทดสอบที่ได้จากการบันทึกบริเวณที่นั่งโต๊ะทำงานภายใต้เงื่อนไขของการ Masking แบบต่าง ๆ
1	0.751	แย่มาก	เสียงสนทนารบกวน 60 dB + A.C. off + ไม่เปิดเสียง Masker ไม่มี partition
2	0.700	แย่มาก	เสียงสนทนารบกวน 60 dB + A.C. off + ไม่เปิดเสียง Masker มี partition 2 เมตร
3	0.670	แย่	เสียงสนทนารบกวน 55 dB + A.C. off + ไม่เปิดเสียง Masker มี partition 2 เมตร
4	0.600	แย่	เสียงสนทนารบกวน 50 dB + A.C. off + ไม่เปิดเสียง Masker มี partition 2 เมตร
5	0.551	ปกติ	เสียงสนทนารบกวน 60 dB + A.C. off + Pink noise masker 45 dB
6	0.490	ปกติ	เสียงสนทนารบกวน 60 dB + A.C. on + Pink noise masker 45 dB
7	0.395	ดี	เสียงสนทนารบกวน 60 dB + A.C. on + Pink noise masker + Isochronic sine wave 125 H 50 dB
8	0.377	ดี	เสียงสนทนารบกวน 60 dB Pink noise 50 dB + A.C. on
9	0.337	ดี	เสียงสนทนารบกวน 60 dB Pink noise + Isochronic 18.5 Hz beats sinewave 125Hz 55dB + A.C. on
10	0.290	ดีมาก	เสียงสนทนารบกวน 60 dB Pink noise 57 dB + A.C. on
11	0.251	ดีมาก	Pink noise 60 dB + A.C. on

4.2.3 การออกแบบเสียง Masker

การดำเนินการส่วนนี้ เป็นการออกแบบเสียง Masker ชนิดอื่น ๆ สำหรับใช้เป็นทางเลือกในการทำ Sound Masking เพิ่มเติมนอกเหนือจากการใช้ Pink noise แล้วทำการทดลองวัดประสิทธิภาพในการมาสกิ้ง และประเมินความพึงพอใจโดยอาสาสมัครที่เข้าร่วมทดสอบจำนวน 31 คน เสียงที่ได้ออกแบบขึ้นมาใหม่ แบ่งออกเป็น 5 กลุ่มได้แก่ เสียงปรับแต่ง เสียงธรรมชาติ เสียงเพลง เสียง Isochrosonic beats ความถี่ Beats ช่วง Beta wave ที่ 18.5 เฮิรตซ์ และเสียง monaural beats ความถี่ Beats ช่วง Beta wave ที่ 18.5 เฮิรตซ์ รวมทั้งหมด 11 เสียงดังแสดงในตารางที่ 8 โดยเสียง No. 1 เป็นเสียง Masker มาตรฐานชนิด Pink noise แบบมีความชัน -5dB/octave และเสียง No.2 – 12 เป็นเสียง Masker ที่สร้างขึ้นมาใหม่ รายละเอียดมีดังนี้

1) เสียง Masker มาตรฐาน โดยใช้เสียง Pink noise ที่ปรับอัตราระดับความดังจาก ลดความดังในความถี่สูงทีละ 3 เดซิเบล ต่อ 1 Octave เป็น 5 เดซิเบลต่อ 1 octave ตั้งแต่ ช่วง 150 เฮิรตซ์ [8] ซึ่งทำให้โทนเสียงสูงของนั้นเบากว่าเสียง Pink noise ปกติ

2) เสียง Masking noise เดิมที่ทำการปรับโทนเสียงโดยใช้ Passive eq ประเภท Low pass filter เริ่มกรองย่าน ตั้งแต่ 7,000 เฮิรตซ์ขึ้น โดยมีอัตราการลดความดัง 24 เดซิเบลต่อ Octave พร้อมทั้งเพิ่ม Effect tremolo เป็น Sound processing ประเภท modulation เพื่อให้มีเสียงสลับระหว่างเบาและดังด้วยอัตราความเร็ว 18.5 เฮิรตซ์ ซึ่งเป็นอัตรา Brian Beats ที่แนะนำสำหรับการทำเทคนิค Binaural Beats โดยช่วงความเร็วดังกล่าวนั้นอยู่ในช่วง Beta คือ 13 – 21 เฮิรตซ์ ซึ่งเป็นช่วงที่เสริมสร้างการมีสมาธิ กระตุ้นให้กระตือรือร้นยิ่งขึ้น โดยเลือกใช้ความเร็วที่ 18.5 เฮิรตซ์เป็นค่าที่ทดสอบทั้งการดูภาพกระพริบ และเสียง beats แล้วได้ผลดีที่สุดในช่วง Beta [10]

3) เสียงชายหาดรวมกับเสียงน้ำไหล เป็นการเลือกเสียงธรรมชาติตามแนวคิดลักษณะของเสียง Random noise masker กับรูปแบบการใช้ Beats โดยเสียงชายหาดที่มีเสียงน้ำกระทบฝั่งที่มีแถบความถี่กว้าง คล้ายคลึงกับลักษณะเสียง Random noise เพิ่มเติมด้วยเสียงน้ำไหลที่ทำให้เสียงมีน้ำหนักดังเบาคล้ายใส่ เสียงมอดูเลชั่นเพิ่มน้ำหนักดังเบาเพื่อให้มี ลักษณะของเสียง Beats ของเสียงและน้ำเสียงที่ฟังสบายหูใช้ร่วมกับเสียงชายหาดเพื่อลดการลดกวนของเสียงชายหาด โดยเสียงบริเวณชายหาด และน้ำไหลนั้นนำมาจากเว็ปไซต์ออนไลน์ (http://freesound.org) [17] [18].

4) เสียงเพลง Alison ของวง Slowdive [26] เป็นดนตรีแนว Shoegaze ซึ่งเป็นแนวดนตรีที่มีในยุคช่วง ปลาย80’s ถึงต้น 90’ ที่มาของชื่อเกิดจากผู้สื่อข่าวนิตยสารดนตรี NME นั้นได้ไปชมการแสดงของวงดนตรีแนวนี้ โดยสังเกตจากการที่มือกีต้าร์นั้นไม่เงยหน้าขึ้นมามองแต่ กลุ่ม Effect กีต้าร์ชุดใหญ่ เลยเรียกว่า Shoegaze [11] โดยแนวดนตรีนี้เสียงกีต้าร์จะใช้ Effect distortion ที่แตกละเอียดมาก เน้นเปลี่ยนเสียงกีต้าร์ให้กลายเป็นบรรยากาศ ใช้ร่วมกับ Reverb delay modulation หลาย ๆ ประเภทจนเสียง ใกล้เคียง Random noise จึงเลือกมาทดสอบเพราะมีการออกแบบเสียงใกล้เคียง noise แทรกในจังหวะดนตรี

5) Isochrosonic beats ความถี่ beats ที่ 18.5 เฮิรตซ์ Isochronic เป็นการใช้เสียง sine wave tone การสลับระหว่างมี กับ ไม่มีเสียง เป็นจังหวะ beats [10] เฮิรตซ์ โดยเสียง Sinewave ที่ใช้แบ่งออกเป็นสี่ช่วงความถี่ 125 185 250 และ 440 เฮิรตซ์รวมทั้งหมด 4 เสียงซึ่งเป็นย่านความถี่ในช่วงสนทนา โดยความถี่สูงที่สุด 440 เฮิรตซ์นั้นเป็นช่วงความถี่เสียง sine wave สำหรับ beat นั้นมียังคงมีประสิทธิภาพสำหรับการใช้ Brain beats [14]

6) กลุ่มเสียง monaural beats ความถี่ beats ที่ 18.5 เฮิรตซ์ monaural beats เป็นการทำเสียงสลับโดยการผสมเสียง Sinewave สองเสียงที่มีความถี่ห่างกันและปล่อยเสียงออกมาพร้อมกัน

ที่มีความเร็ว beats ตามกำหนด แบ่งออกเป็นสี่คู่ 1.) 106.5 Hz กับ 125 Hz 2.)166.5 Hz กับ 185 Hz 3.) 231.5 Hz กับ 250 Hz และ 4.) 421.5Hz กับ 440 Hz [12]

โดยทั้งกลุ่ม Isochronic และ Monaural นั้นใช้ กลุ่มความถี่ Beats ที่ 18.5 Hz ซึ่งอยู่ในช่วง Beta beats จุดประสงค์เพื่อเสริมสร้างความมีสมาธิ การตื่นตัว ความระแวดระวัง [13] เสริมสร้างความตั้งใจในการทำงาน โดยการสร้างเสียง Beats ร่วมกับ เสียง Pink noise ซึ่งมีส่วนช่วยเสริมสร้างการรับรู้เสียง Beat ได้ดียิ่งขึ้น [12] การดีไซน์ผสมเสียงระหว่าง Pink noise กับ เสียง Beats นั้นจะมีความดังต่างกันโดยวัดความดังจากเครื่องวัดระดับความดังเสียง วัดจากพื้นที่ทดลองในพื้นที่ทดสอบ ระดับความดังปรับจากคอมพิวเตอร์ โดยปรับให้โดย Pink noise ดัง 55 เดซิเบล และเสียง Beats ที่ 53 เดซิเบลตามลำดับ

ตารางที่ 5 กลุ่มเสียง Masker มาตรฐานและ เสียง Masker ที่ออกแบบขึ้นใหม่รวมทั้งหมด 12 เสียง สำหรับใช้ในการ Masking

กลุ่มเสียง	No.	เสียง masker
เสียง masker	1	Pink noise with -5dB/oct slope
เสียงปรับแต่ง	2	Pink noise with -5dB/oct slope + Lowpass filter cutoff frequency at 7000 Hz + tremolo 18.5 Hz
เสียงธรรมชาติ	3	Beach and Water sound
เสียงเพลง	4	เสียงเพลง Alison ของวง Slowdive
Isochronic beats - 18.5 Hz Beta wave	5	Pink noise with -5dB/oct slope + Isochronic sine wave 125 Hz
	6	Pink noise with -5dB/oct slope + Isochronic sine wave 185 Hz
	7	Pink noise with -5dB/oct slope + Isochronic sine wave 250 Hz
	8	Pink noise with -5dB/oct slope + Isochronic sine wave 440 Hz
Monaural beats - 18.5 Hz Beta wave	9	Pink noise with -5dB/oct slope + Monaural beats sine wave 106.5+125 Hz
	10	Pink noise with -5dB/oct slope + Monaural beats sine wave 166.5+185 Hz
	11	Pink noise with -5dB/oct slope + Monaural beats sine wave 231.5+250 Hz
	12	Pink noise with -5dB/oct slope + Monaural beats sine wave 421.5+440 Hz

4.3 ผู้เข้าร่วมทดสอบ และการทำแบบสอบถาม

4.3.1 ผู้เข้าร่วมทดสอบ

ผู้เข้าร่วมทดสอบมีทั้งหมด 31 คนแบ่งเป็นเพศหญิง 8 คน และเพศชาย 23 คน (ค่ามัธยฐานของอายุผู้เขาทดสอบ = 23, ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอายุผู้เข้าทดสอบ = 5.052) ทุกคนเป็นคนสัญชาติไทยส่วนใหญ่เป็นนักศึกษาจำนวน 18 คน และส่วนที่เหลือเป็นพนักงานเอกชนจำนวน 13 คน

4.3.2 การทำแบบสอบถาม

แบบสอบถามในการทดสอบแบ่งเป็น 2 ส่วนโดยแต่ละส่วนมีคำถามดังนี้

ส่วนที่ 1 เป็นการทดสอบโดยให้ผู้เข้าร่วมการทดลองฟังเสียงทดสอบที่ได้บันทึกผ่าน Headphone ไว้จำนวน 11 เสียง แต่ละเสียงมีค่า STI แตกต่างกันแล้วประเมินระดับความชัดเจนของการได้ยินคำพูดว่าได้ยินชัดเจนระดับใด โดยเลือกตอบ 5 ระดับจาก 1-5 โดยระดับ 1 หมายถึงชัดเจนน้อยที่สุดหรือไม่ได้ยินคำพูด ระดับ 2 หมายถึงชัดเจนน้อย ระดับ 3 หมายถึงชัดเจนปานกลาง ระดับ 4 หมายถึงชัดเจนมาก ระดับ 5 หมายถึงชัดเจนมากที่สุด ผลการประเมินที่ได้จากผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด 31 คนจะนำไปวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์กับดัชนี STI ต่อไป

ส่วนที่ 2 เป็นการสอบถามความพึงพอใจต่อเสียงที่ออกแบบมาใหม่ โดยให้ผู้เข้าร่วมการทดลองฟังเสียงทดสอบที่ได้ออกแบบเพื่อเป็นเสียง Masker สำหรับใช้ทดแทนเสียง Masker มาตรฐาน จำนวน 11 เสียงรวมกับเสียง Pink noise มาตรฐาน รวมเป็น 12 เสียง และแบ่งรูปแบบเสียงเป็นสองชุดเสียง ชุดที่ 1 เป็นชุดไฟล์เสียง Masker โดยตรง ชุดที่ 2 เป็นชุดไฟล์เสียง Masker ที่มีการ Masking กับเสียงสนทนารบกวนที่บริเวณโต๊ะทำงานโดยให้ค่า STI อยู่ระดับประมาณ 0.43 – 0.45 อยู่ในระดับเหมาะสมตามคำแนะมาตรฐาน [3] รวมเสียงทั้งหมดจำนวน 22 เสียง แล้วให้ผู้ประเมินตอบระดับความพึงพอใจของเสียงที่ได้ยินว่าพึงพอใจในระดับใด โดยเลือกตอบ 5 ระดับ ระดับจาก 1-5 โดยระดับ 1 หมายถึงพึงพอใจน้อยที่สุดหรือไม่พึงพอใจเลย ระดับ 2 หมายถึงพึงพอใจน้อย ระดับ 3 หมายถึงพึงพอใจปานกลาง ระดับ 4 หมายถึงพึงพอใจมาก ระดับ 5 หมายพึงพอใจมากที่สุด และนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์หาระดับความพึงพอใจต่อไป

4.4 ผลการทดสอบจากการตอบแบบสอบถาม และการวิเคราะห์

4.4.1 ระดับความสัมพันธ์ของ STI กับการทดสอบฟังจริง

จากผลการนำเสียง สนทนาในห้องทดลอง ที่เปิดระบบ Masking โดยควบคุมค่า STI นั้นได้ผลประเมินแสดงในตารางที่ 9 โดยนำค่า STI และ ผลแบบทดสอบการฟังมาเปรียบเทียบกันโดยใช้วิธีการหาค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) โดยตั้งสมมุติฐานดังนี้ H_0 r = 0 ซึ่งเป็นสมมุติฐานว่า STI ไม่มีความสัมพันธ์กัน H_0 r > 0 เป็นสมมุติฐานว่า STI มีความสัมพันธ์ทางบวกกับค่าเฉลี่ยของระดับความชัดเจนในการได้ยินคำพูดของผู้เข้าร่วมประเมิน

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยคะแนนที่ได้จากการตอบแบบสอบถามของผู้ร่วมทดสอบจำนวน 31 คนในการประเมินระดับความชัดเจนในการได้ยินคำพูดของเสียงทดสอบจำนวน 11 ไฟล์เสียง

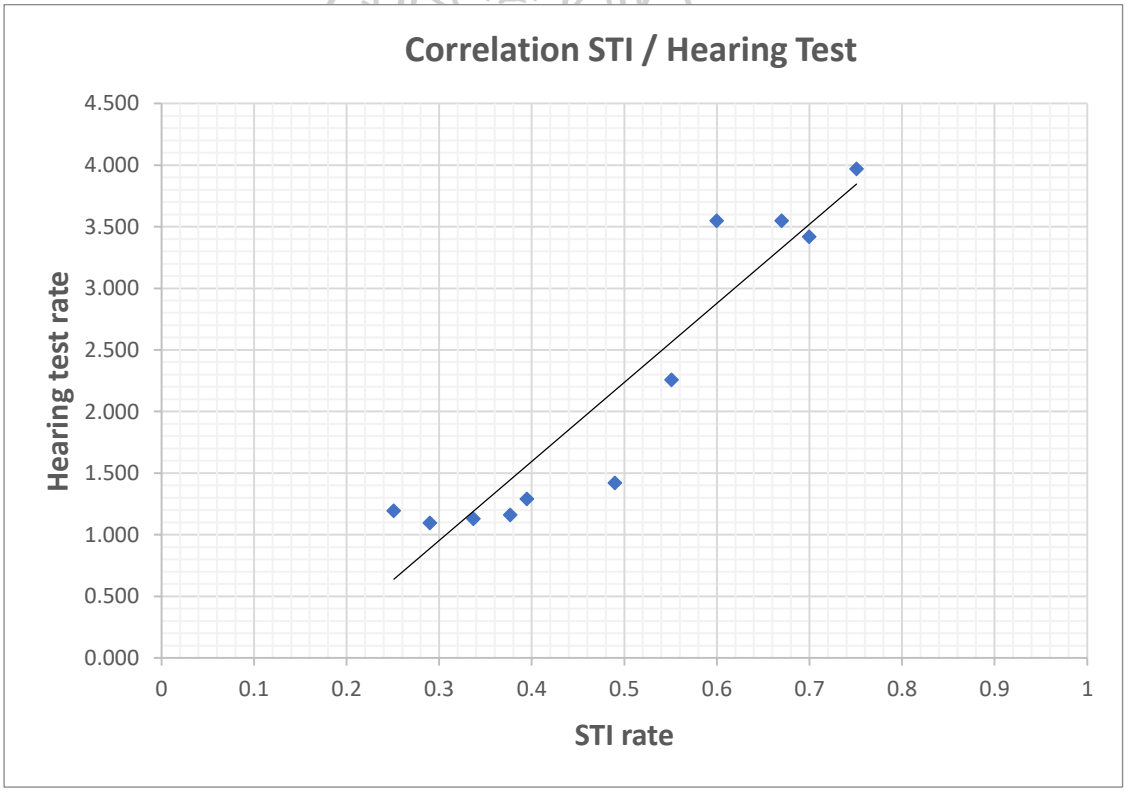
เสียง mask	ค่า STI	ระดับความชัดเจนในการได้ยินคำพูด
1	0.751	3.968
2	0.700	3.419
3	0.670	3.548
4	0.600	3.548
5	0.551	2.258
6	0.490	1.419
7	0.395	1.290
8	0.377	1.161
9	0.337	1.129
10	0.290	1.097
11	0.251	1.194

จากตารางคำนวณค่า Correlation ระหว่างค่า STI และระดับความชัดเจนในการได้ยินคำพูดโดยใช้ Excel คำสั่ง Correl ได้ค่า r = 0.938 ซึ่งหมายถึงค่า STI และ ผลการประเมินความชัดเจนด้วยบุคคลฟังมีความสัมพันธ์แบบตามกัน ค่าที่ได้นั้นสูงมาก หมายความว่าข้อมูลทั้งสองระดับมีความสัมพันธ์กันสูง หลังจากได้ค่า r แล้วนำไปคำนวณหาค่า t เพื่อนำไปสู่การคำนวณหา พารามิเตอร์ t สำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย t – distribution [20][23] ตามสมการที่ (2)

$$t = r\sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \qquad t = 0.938\sqrt{\frac{11-2}{1-0.938^2}} \qquad t = 8.1180 \qquad (2)$$

นำค่า t ที่ได้เทียบกับค่าวิกกฤตที่ได้จากตาราง t-distribution ที่ α = 0.0005 แบบ One tail เพราะเป็นค่าทั้งสองส่วนเป็นค่าบวกไม่มีค่าลบ, df = n -2 = 11-2 =9 พบว่า $t_{วิกฤต}$ = 4.781 จึงเห็นว่า $t_{คำนวณ} > t_{วิกฤต}$ จึงปฏิเสธ สมมุติฐาน H_0 และยอมรับสมมุติฐาน H_1 แสดงว่า ค่า STI ที่ตรวจวัดเสียงระบบ Masking ในพื้นที่ทดลองนั้นมีความสัมพันธ์ทางบวกกับแบบทดสอบการได้ยินจริงจากการฟังเสียงที่บันทึกมาจากห้องทดลอง ที่ค่า Confidence level ที่ 99.95 % จากการคำนวณสหสัมพันธ์ สามารถนำข้อมูลมาแสดงทิศทางความสัมพันธ์ บนแผนภาพกระจายดังแสดงในรูปที่ 5

ภาพที่ 5 ภาพแผนถูมิแบบกระจาย แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า STI และผลการทดสอบฟังเสียง



4.4.2 ความพึงพอใจ ของเสียง Masking

ผลจากการทำแบบทดสอบในด้านความพึงพอใจจากผู้เข้าทดสอบ 31 คนพบว่าเสียงที่ได้ความพึงพอใจในกลุ่มไฟล์เสียง Masker โดยตรงเป็นเสียง Masker ที่ 3 ซึ่งเป็นเสียงธรรมชาติที่ผสมระหว่างเสียงชายหาดกับเสียงน้ำไหลได้ค่าเฉลี่ย 3.68 ในระดับความพึงพอใจมาก และเสียง Masker ที่ 4 เสียงเพลง Alison ของวง Slowdive ในค่าเฉลี่ยที่ 3.42 ในระดับปานกลาง เป็น

เสียงเพลง ซึ่งโดยปกติคนฟังจะรู้สึกพอใจกับเสียงเพลงและเสียงธรรมชาติ ในด้านผลความพึงพอใจน้อยที่สุดเป็นเสียง Masker ที่ 8 เป็นเสียง Pink noise with -5dB/oct slope + Isochronic sine wave 440 Hz ได้คะแนนที่ 1.97 ในระดับน้อย ดังแสดงในตารางที่ 10 ส่วนผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มเสียง Masking หรือเสียงสนทนารบกวนขณะถูก Masking จริงที่บริเวณโต๊ะทำงาน แสดงในตารางที่ 11 คะแนนความพอใจโดยรวมน้อยกว่าเมื่อเทียบกับชุดไฟล์เสียง Masker ซึ่งเสียงที่ได้รับความพอใจมากที่สุดนั้น ยังเป็นเสียงเพลงและเสียงธรรมชาติ โดยทั้งสองเสียงอยู่ในระดับปานกลาง และเสียงเพลงที่ได้คะแนนความพึงพอใจมากที่สุดที่ 2.61 เสียงธรรมชาตินั้นอยู่ที่ 2.58 ตามลำดับ เสียง Masking ที่เกิดจากการใช้เสียง Masker แบบมาตรฐานเป็นเสียงที่ได้รับความพึงพอใจน้อยที่สุดด้วยคะแนน 1.52

ตารางที่ 6 ระดับความพอใจ Set เสียงชุดที่ 1 (ไฟล์เสียง Masker)

No.	เสียง	คะแนน	Total
1	Pink noise with -5dB/oct slope	2.55	ปานกลาง
2	Pink noise with -5dB/oct slope + Lowpass filter cutoff frequency at 7000 Hz + tremolo 18.5 Hz	2.55	ปานกลาง
3	Beach and Water sound	3.68	มาก
4	เสียงเพลง Alison ของวง Slowdive	3.42	ปานกลาง
5	Pink noise with -5dB/oct slope + Isochronic sine wave 125 Hz	2.45	น้อย
6	Pink noise with -5dB/oct slope + Isochronic sine wave 185 Hz	2.06	น้อย
7	Pink noise with -5dB/oct slope + Isochronic sine wave 250 Hz	2.03	น้อย
8	Pink noise with -5dB/oct slope + Isochronic sine wave 440 Hz	1.97	น้อย
9	Pink noise with -5dB/oct slope + Monaural beats sine wave 106.5+125 Hz	2.55	ปานกลาง
10	Pink noise with -5dB/oct slope + Monaural beats sine wave 166.5+185 Hz	2.16	น้อย
11	Pink noise with -5dB/oct slope + Monaural beats sine wave 231.5+250 Hz	2.32	น้อย
12	Pink noise with -5dB/oct slope + Monaural beats sine wave 421.5+440 Hz	2.10	น้อย

ตารางที่ 7 ระดับความพอใจ Set เสียงชุดที่ 2 ไฟล์เสียง Masking กับเสียงสนทนารบกวนที่ถูกกดทับด้วยเสียง Masker ในบริเวณโต๊ะทำงาน

No.	เสียง	คะแนน	Total
1	Pink noise with -5dB/oct slope	1.52	น้อย
2	Pink noise with -5dB/oct slope + Lowpass filter cutoff frequency at 7000 Hz + tremolo 18.5 Hz	2.45	น้อย
3	Beach and Water sound	2.58	ปานกลาง
4	เสียงเพลง Alison ของวง Slowdive	2.61	ปานกลาง
5	Pink noise with -5dB/oct slope + Isochronic sine wave 125 Hz	2.39	น้อย
6	Pink noise with -5dB/oct slope + Isochronic sine wave 185 Hz	2.00	น้อย
7	Pink noise with -5dB/oct slope + Isochronic sine wave 250 Hz	2.16	น้อย
8	Pink noise with -5dB/oct slope + Isochronic sine wave 440 Hz	2.42	น้อย
9	Pink noise with -5dB/oct slope + Monaural beats sine wave 106.5+125 Hz	2.10	น้อย
10	Pink noise with -5dB/oct slope + Monaural beats sine wave 166.5+185 Hz	2.32	น้อย
11	Pink noise with -5dB/oct slope + Monaural beats sine wave 231.5+250 Hz	1.84	น้อย
12	Pink noise with -5dB/oct slope + Monaural beats sine wave 421.5+440 Hz	2.52	ปานกลาง

4.5 การทดสอบประสิทธิภาพของเสียง Masker ที่ได้ออกแบบขึ้นมาใหม่ในการ Masking

การทดสอบได้ประเมินประสิทธิภาพในการมาสกิ่งเพื่อสร้างความเป็นส่วนบุคคลของเสียง Masker ที่ได้ออกแบบเป็นทางเลือกจำนวน 11 เสียงและเสียง Masker มาตรฐานชนิด Pink noise รวม 12 เสียง โดยปล่อยเสียง Masker จากลำโพงติดตั้งเพดานด้านบน โดยมีเสียงสนทนารบกวนจากพื้นที่ประชุมที่ระดับความดัง 65 dBA และติดตั้งฉากกั้นที่ระดับความสูง 2 เมตร เปิดระบบปรับอากาศในห้อง แล้วทำการตรวจวัดค่า STI ดังแสดงในตารางที่ 12 เพื่อนำค่า STI ที่ได้ไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการ Masking ของเสียงที่ออกแบบว่าดีกว่าหรือเทียบเท่าเสียง Masker มาตรฐานหรือไม่

ตารางที่ 8 ระดับ STI ของเสียงในบริเวณโต๊ะทำงานเมื่อใช้เสียง Masker มาตรฐานและออกแบบใหม่

No.	เสียง Masker	ค่า STI ในระดับความดังเสียง Masker ต่าง ๆ		
		45 dBA	50 dBA	55 dBA
1	Pink noise with -5dB/oct slope	0.49	0.442	0.377
2	Pink noise with -5dB/oct slope + Lowpass filter cutoff frequency at 7000 Hz + tremolo 18.5 Hz	0.494	0.448	0.388
3	Beach and Water sound	0.497	0.431	0.416
4	เสียงเพลง Alison ของวง Slowdive	0.503	0.452	0.427
5	Pink noise with -5dB/oct slope + Isochronic sine wave 125 Hz	0.486	0.395	0.337
6	Pink noise with -5dB/oct slope + Isochronic sine wave 185 Hz	0.493	0.422	0.318
7	Pink noise with -5dB/oct slope + Isochronic sine wave 250 Hz	0.493	0.434	0.332
8	Pink noise with -5dB/oct slope + Isochronic sine wave 440 Hz	0.495	0.439	0.381
9	Pink noise with -5dB/oct slope + Monaural beats sine wave 106.5+125 Hz	0.481	0.429	0.320
10	Pink noise with -5dB/oct slope + Monaural beats sine wave 166.5+185 Hz	0.488	0.432	0.343
11	Pink noise with -5dB/oct slope + Monaural beats sine wave 231.5+250 Hz	0.484	0.433	0.36
12	Pink noise with -5dB/oct slope + Monaural beats sine wave 421.5+440 Hz	0.504	0.449	0.369

จากตารางที่ 12 เห็นว่าการใช้ระดับเสียง Masker ที่ 55 dBA ร่วมกับการติดตั้ง Partition สูง 2 เมตรในพื้นที่ทดลอง ทุกเสียง Masker นั้นสามารถกลบทับเสียงสนทนารบกวนได้โดยในค่า STI ในช่วง 0.3 – 0.4 อยู่ในระดับดีมาก และเกือบทุกเสียง Masker ในระดับความดัง 50 dBA สามารถ

กลบทับเสียงสนทนารบกวนระดับความดัง 65 dBA ซึ่งเบากว่าถึง 15 เดซิเบลได้ในระดับมาตรฐานที่ค่า STI 0.450

โดยทุกเสียง Maker ให้ค่า STI อยู่ที่ช่วงประมาณ 0.39 – 0.45 โดยเสียงที่ทำได้ดีที่สุดคือเสียง Pink noise with -5dB/oct slope + Isochronic sine wave 125 Hz ที่ 0.395 และในทางตรงกันข้ามเสียงเพลง Alison ของวง Slowdive ให้ผล STI เท่ากับ 0.452

4.6 สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองส่วนแรกเป็นการสร้างเสียงทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพการบ่งชี้ความเป็นส่วนตัวของดัชนี STI โดยการใช้วิธีการหาความสัมพันธ์กับการทดสอบฟังเสียงสนทนาในห้องทดลองที่เปิดระบบ Masking โดยควบคุมค่า STI นั้น ผลเป็นไปตามสมมุติฐาน และค่า STI กับ ผลการทดสอบฟังไปในทิศทางบวก และมีความสัมพันธ์ r = 0.938 โดยได้ค่าความเชื่อมั่นที่ 99.95% แสดงให้เห็นว่า การวัด STI นั้นสามารถใช้แทนการทดสอบประสิทธิภาพระบบ Masking ด้วยคนจริงได้ ส่วนของการทดสอบเสียงที่ออกแบบเป็นทางเลือก ผลการตอบแบบสอบถามได้แสดงว่า ทุกเสียงที่ออกแบบมาใหม่ สามารถกลบทับได้เทียบเท่าหรือมากกว่าเสียง Masker มาตรฐาน โดยทุกเสียงมีค่า STI ต่ำกว่า 0.45 กับ พาร์ทิชั่นสูง 2 เมตร ในพื้นที่โต๊ะทำงานที่เปิดเครื่องปรับอากาศ กลบทับเสียงสนทนารบกวนความดัง 65 dBSPL ซึ่งเสียงบางชนิดสามารถให้ค่า STI ได้ดีกว่าเสียงมาตรฐาน อย่างไรก็ตามในผลประเมินความพึงพอใจมีแค่ 2 เสียงได้แก่เสียงธรรมชาติและเสียงเพลงที่สร้างขึ้นมาใหม่ที่ได้ระดับความพึงพอใจมากเมื่อฟังเฉพาะเสียง Masker และระดับความพึงพอใจปานกลางเมื่อฟัง เสียงที่เกิดจากการมาสกิ้งซึ่งมีการทับซ้อนกันระหว่างเสียง Masker และเสียงสนทนารบกวนที่โต๊ะทำงาน ทั้งนี้เสียงเพลงได้รับความพึงพอใจที่ดีแต่มีค่า STI น้อยกว่าค่ามาตรฐานเพียงเล็กน้อยอาจต้องเพิ่มระดับความดังเสียงเพลง เพื่อให้เสียงเพลงสามารถ Masking เพื่อสร้างความเป็นส่วนตัวได้ตามมาตรฐาน

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวัดประสิทธิภาพการมาสกิ้ง :

การศึกษาการวัดประสิทธิภาพการ Masking เพื่อสร้างความเป็นส่วนตัวในพื้นที่สำนักงานแบบ Open plan ได้ใช้การวัดค่า AI และ STI เป็นตัวบ่งชี้เชิงปริมาณตามที่ข้อแนะนำในมาตรฐาน ASTM พบว่า AI และ STI ให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน อย่างไรก็ตามจากการทดลองศึกษาพบว่า STI ให้ค่าดัชนีผลลัพธ์ที่มีสอดคล้องกับการประเมินด้วยการรับรู้จริงมากกว่า AI และ STI ยังมีขั้นตอนการตรวจวัดที่สะดวกและใช้งานจริงได้มากกว่า โดยผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี STI กับการประเมินด้วยการรับรู้โดยใช้อาสาสมัครและวิเคราะห์เชิงสถิติถัดไป

ประสิทธิภาพ STI ในการบ่งชี้ความเป็นส่วนบุคคล :

เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของตัวชี้วัด STI สำหรับใช้เป็นค่าในการวัดระดับความเป็นส่วนบุคคลในพื้นที่เปิด ผู้วิจัยได้สร้างสัญญาณเสียงทดสอบซึ่งเป็นเสียงสนนารบกวนและถูกกลบทับด้วยเสียง Masker หลายแบบ ในสภาพแวดล้อมจริงที่บันทึกด้วยไมโครโฟนในตำแหน่งบริเวณโต๊ะปฏิบัติงานที่ต้องการสร้างความเป็นส่วนตัว โดยมีสัญญาณทดสอบทั้งหมดจำนวน 11 ไฟล์เสียงซึ่งมี STI แตกต่างกัน โดยค่า STI กระจายอยู่ระหว่าง 0 – 1 การทดสอบกระทำโดยอาสาสมัครเป็นตอบแบบสอบถามเพื่อประเมินระดับความชัดเจนในการได้ยินคำพูดสนทนาซึ่งเป็นเสียงรบกวนเข้ามาที่พื้นที่ปฏิบัติงาน จากคำตอบของผู้ประเมินทั้งหมดจำนวน 31 คนที่ได้ เมื่อนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติแล้ว พบว่ามีการประเมินความเป็นส่วนตัวด้วยคนฟังมีความสอดคล้องกับ STI โดยการวัดค่า correlation ได้ค่าถึง 0.938 และค่า t ที่ 8.1180 โดยค่าความเชื่อมั่นนั้นอยู่ที่ 99.95% ในนัยสำคัญที่ α = 0.0005 จึงสรุปได้ว่า ค่า STI เป็นการวัดเสียงแบบ objective ที่มีความน่าเชื่อถือเพียงพอในการวัดความประสิทธิภาพการ Masking แทนการตรวจวัดแบบ Subjective โดยใช้คนจริงตรวจวัด

การเพิ่มประสิทธิภาพความเป็นส่วนบุคคลในพื้นที่เปิดด้วยการมาสกิ้ง ร่วมกับการใช้ฉากกั้น

การใช้ระบบ Masking เพื่อสร้างความเป็นส่วนตัวในพื้นที่เปิดซึ่งมีระดับความดังเสียงของเสียงสนทนารบกวนประมาณ 60 – 65 dBA โดยที่เสียง Masker ไม่กลายเป็นส่วนที่เพิ่มเติมเสียงรบกวนเสียเอง สามารถใช้ฉากกั้นมาติดตั้งระหว่างพื้นที่ทำงานกับพื้นที่สร้างเสียงรบกวน ผลการทดลองพบว่าสำหรับพื้นที่เปิดที่ซึ่งไม่ได้มีการปรับปรุงสภาพด้านอะคูสติกของห้อง ฉากกั้นช่วยเสริม

ประสิทธิภาพในการ Masking เสียงมากขึ้นกว่าไม่ติดตั้งฉากกั้น เสียง Masker ที่มีระดับความดันเสียงน้อยกว่าเสียงสนทนารบกวนสามารถกลบทับเสียงรบกวนลงได้ โดยผลลัพธ์ที่ดีที่สุดสำหรับการทดลองนี้คือ ใช้ฉากกั้นสูง 2 เมตรควบคู่กับเสียง Masker ในระดับความดันเสียงน้อยเพียง 50 dBA ซึ่งเบากว่าเสียงรบกวนที่ต้องการกลบถึง 10 dBA ก็สามารถสร้างความเป็นส่วนตัวได้โดยได้ค่า STI ที่ 0.445 ซึ่งอยู่ในระดับความเป็นส่วนตัวที่ดีมาก

การออกแบบเสียง Masker เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับใช้ในการ Masking :

ผู้วิจัยได้การออกแบบเสียง Masker สำหรับใช้ในการ Masking นอกเหนือจากเสียงใช้เสียง Pink noise เป็นเสียง Masker มาตรฐาน โดยได้มีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการ Masking เสียง ผู้วิจัยได้ออกแบบโดยใช้การดัดแปลงเสียง Pink noise มาตรฐาน การเลียนเสียงธรรมชาติ การรวมเสียงเพลงในเสียง Masker การสร้างเสียง Brain beats ผลการทดลองวัดประสิทธิภาพในการมาสกิ้งพบว่า ทุกเสียงได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าเสียงมาตรฐานที่เป็น Pink noise เกือบทั้งหมด สรุปได้ว่าการใช้เสียงที่ออกแบบ สามารถใช้งานได้เทียบเท่าหรือดีกว่า เสียง Pink noise ในส่วนการวัด STI ทั้งนี้ในส่วนการทดสอบความพึงพอใจของเสียงที่ออกแบบโดนคนฟังจริงนั้น จะเห็นได้ว่า เสียงที่ได้รับการรบกวนน้อยควบคู่ความพอใจที่ดีที่สุดโดยเสียงที่ผู้ทดสอบชอบที่สุดนั้นเป็นเสียงดนตรี กับเสียงธรรมชาติ และแง่การรบกวนนั้น เสียง beat ทั้งหลายนั้นมีความรบกวนมากกว่า เสียงอื่น โดยเสียง Beats ที่ใช้ โทนเสียงต่ำจะได้รับความพึงพอใจมากกว่า โทนเสียงสูง โดยสรุปการใช้เสียงธรรมชาตินอกจากเสียง ฝนตกที่มีองค์ประกอบความถี่คล้ายกับ pink noise แล้วยังสามารถใช้เสียงชายหาดหรือเสียงน้ำไหลได้ นอกจากประสิทธิภาพในการใช้งาน Masking นั้นการใช้ STI เพียงอย่างเดียวอาจสร้างประสิทธิภาพการ Masking ได้ แต่ในลักษณะของรูปแบบเสียง น้ำหนัก เนื้อเสียง ความถี่ อาจไม่เหมาะสมกับคนที่อยู่ในพื้นที่ได้ ตัวเสียงทางเลือกที่สร้างมาอาจเป็นเสียงรบกวนแทนได้เช่นกัน

5.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

ในการวิจัยครั้งนี้ยังมีข้อจำกัดในการทดลองอยู่หลายอย่าง ในระบบ Masking ในด้านการตรวจวัดพื้นที่โดยการใช้ STI นั้นเหมาะสมดีอยู่แล้วในการคาดการณ์คุณภาพการสื่อสารในพื้นที่ ซึ่งสามารถปรับใช้กับการออกแบบระบบ Masking ได้ดียิ่งขึ้นทั้งนี้ในส่วนของการออกแบบเสียงทางเลือกอื่น ๆ นั้นข้อจำกัดในเรื่องระยะเวลาในการฟังนั้นเป็นส่วนสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพของระบบ Masking ในการวิจัยครั้งนี้ใช้เสียงระยะสั้นในการทดสอบเพื่อป้องกันการจับได้ของเนื้อหาบทสนทนา ซึ่งในแง่การใช้งานจริงนั้น เนื้อหาการสนทนาจะมีความหลากหลายมากกว่านี้ ทั้งความยาวในเนื้อหาย การลากเสียง และยังขึ้นอยู่กับช่วงเวลาในแต่ละวันด้วยทั้งนี้ต้องอาศัยการเก็บข้อมูลในเชิง

ระยะยาว ซึ่งจะต่อยอดการทดลองในอนาคตในประเด็นการฟังเสียง Masking ในระยะยาวส่งผลต่อความอ่อนล้าในการทำงานตลอดวันหรือไม่ ซึ่งจะทำให้เสียงออกแบบให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างออกไปได้

ในส่วนของการทดลองกับคนจริง การให้ฟังหูฟังเพื่อควบคุมปัจจัยให้อยู่ในสภาวะห้องเดียวกัน เพราะเสียงแวดล้อมในห้องทดลองสามารถเปลี่ยนแปลงได้จากระบบปรับอากาศที่มีการเร่งเครื่องทำความเย็นทำใหมีเสียงที่ดังขึ้น ทั้งนี้ข้อจำกัดในการฟังเสียงจากหูฟัง ในด้านมิติความกว้างในเมื่อได้ยินเสียง อาจไม่สมจริงเท่าการอยู่ในพื้นที่ห้องสำนักงานจำลอง ความรู้สึกของคนที่มาทดลองก็จะไม่ได้สภาวะการนั่งอยู่ในพื้นที่ทำงานจริง การวิจัยครั้งนี้นำไปสู่การวิจัยกับสำนักงานจริง เมื่อวิธีทดลองนั้นเป็นพื้นที่จริง และคนจริง การวัดผลนอกจากการทำแบบทดสอบก็จะขายไปถึงสภาวะทางคลื่นสมอง แบบสอบถามทางด้านอารมณ์ จำนวนงานที่ทำสำเร็จก็เป็นข้อมูลยืนยันประสิทธิภาพของระบบ Masking ในพื้นที่จริงได้เช่นกัน ในการให้ผู้ทดสอบฟังเสียงทดสอบเพื่อบอกระดับความชัดเจนในการฟังเสียงนั้นควรสร้างเสียงในระดับแย่ที่สุด และดีที่สุดให้ผู้ทดสอบฟังก่อนเริ่มทอสอบจริงจะได้ความแม่นยำของผลการทดสอบที่มากขึ้น

การตรวจวัดด้วย STI ตามที่ Standard [22] ได้แนะนำนั้นมีวิธีการตรวจวัดหลายแบบและมีประเภทแยกย่อยของ STI เพิ่มเติม อย่างเช่น STIPA ที่ใช้สำหรับตรวจวัดประสิทธิภาพของระบบ P.A. System หรือ STImale STIfemale ที่ใช้แยกระดับของดัชนี STI ตามเพศ ซึ่งนำไปสู่การศึกษาเพิ่มเติมในการตรวจวัดความเป็นส่วนตัวที่อาจได้ค่าดัชนีที่แม่นยำเหมาะสมกับพื้นที่ตรวจวัด หรือพื้นที่ทดลอง

ในส่วนการติดตั้งลำโพงสำหรับการปล่อยเสียงสนทนารบกวนนั้น โดยการตรวจวัดควรใช้ลำโพงแบบ omni แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดของอุปกรณ์ จึงเลือกให้ทิศทางลำโพงหันไปยังพื้นที่โต๊ะทำงานโดยตรงเพื่อจำลองสถานการณ์ในกรณีที่แย่สุดที่เสียงสนทนารบกวนเคลื่อนที่ไปยังจุดโต๊ะทำงาน อย่างไรก็ตามในจากข้อจำกัดนี้นำไปสู่การศึกษาผลกระทบจากเสียงที่ไม่ได้เดินทางมาโดยตรง Reverberation sound เปรียบเทียบข้อแตกต่างกับเสียงที่เป็น Direct Sound ที่เกิดในพื้นที่เปิดใช้ร่วมที่มีการใช้เสียงมาสกิ้งในพื้นที่

รายการอ้างอิง

1. Andreas Xyrichis, J.W., *Noise pollution in hospitals.* British Medical Journal, 2018. **363**: p. 1-2.
2. Taylor, A., *A technical guide to achieving effective speech privacy in open-plan offices and other environments*. 2016. 56.
3. *ASTM. 2008. ASTM E1130-08 Standard Test Method for Objective Measurement of Speech Privacy in Open Plan Spaces Using Articulation Index*. 2008, American Society for Testing and Materials. p. 1-6.
4. Steeneken Herman, H.T., *Past, present and future of the Speech Transmission Index*. 2002, TNO Human Factors, PO Box 23, 3769 ZG Soesterberg, The Netherlands

   © 2002: TNO Human Factors. 140.
5. Norman R. French, J.C.S., *Factors governing the intelligibility of speech sounds.* The Journal of the Acoustical Society of America, 1947. **19**: p. 90-119.
6. Self, D., *Audio Engineering Explained for Professional Audio*. 1st ed. 2010, Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK 30 Corporate Drive, Suite 400, Burlington, MA 01803, USA: Focal Press. 639.
7. David Howard, D.H., *Acoustics and Psychoacoustics*. 4th ed. Deceiving the ear. 2009, Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK

30 Corporate Drive, Suite 400, Burlington, MA 01803, USA: Elsevier Ltd. 488.

8. Carlsson, J., *Evaluation of masking sounds in an existing open-plan office*, in *Civil and Environmental Engineering*. 2014, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY: SE-41296 Goteborg Sweden. p. 17.
9. Yusuke Hioka, J.W.T., Jacky Wan, *Effect of adding artificial reverberation to speech-like masking sound.* Applied Acoustics 2016. **114**: p. 171-178.
10. Jon A. Frederick, J.F.L., *Effects of 18.5 Hz Auditory and Visual Stimulationon EEG Amplitude at the Vertex.* Journal of Neurotherapy, 1999. **Fall/Winter 1999** p. 23-28.
11. Long, P., *The sound of in-between : Exploring liminality in popular music composition*, in *School of Humanities and Communication Arts*. 2014, University of Western Sydney. p. 43.
12. Leila Chaieb, E.C.W., Thomas P. Reber and Juergen Fell, *Auditory beat stimulation and its effects on cognition and mood states.* 2015.
13. Marcelo Herrera Martínez, R.A.J.n., Oscar Acosta Agudelo, Shymmy García Bustos. *Relaxation state induction through binaural acoustic stimuli*. in *2018 ICAI workshop (ICAIW)*. 2018. IEEE.
14. D.W.F. Schwarz, P.T., *Human auditory steady state responses to binaural and monaural beats.* Clinical Neurophysiology, 2004. **116**: p. 659-668.
15. Tobias Renza, P.L., b, Andreas Liebl, *Auditory distraction by speech: Can a babble masker restore working memory performance and subjective perception to baseline?* Applied Acoustics, 2018. **137**: p. 151-160.
16. *ASTM. 1998. ASTM E1374-93 standard Guide for Open Office Acoustics and Applicable ASTM Standards*. 1998: Pennsylvania. p. 1-6.
17. uagadugu, *Windy Beach Waves Accessfrom https://freesound.org/people/uagadugu/sounds/199283/*. 2013.
18. Micstand433, *Babbling Brook 99.flac Accessfrom https://freesound.org/people/Micstand433/sounds/264583/*. 2015.
19. F.Alton Everest, K.C.P., *Master Handbook of Acoustics*. Speech frequency and

duration. 2009, New York: Mc Graw Hill Companies.

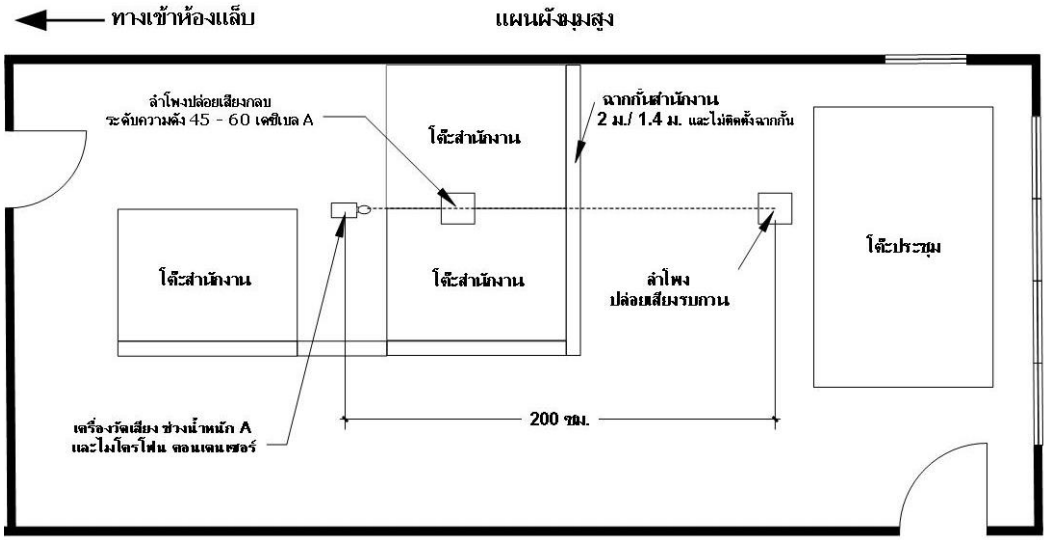
20. Smith, M.T., *Audio engineer's reference book*. The physics of sound waves. 1999: Focal Press.
21. Ryan, T.P., *Modern engineering statistics*. Correlation. 2007: John Wiley & Sons, Inc. 245,567.
22. Institution, T.B.S., *BS EN 60268-16:2011*, in *Sound system equipment – part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission*. 2011, BSI Standard Publication: Southampton. p. 25-57.
23. Sodsri, C. *A Similarity Measure of Musical Notes Based on Psychoacoustics of Loudness and Pitch Perception*. in *5th Int. Conf. on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST)*. 2019. Luang Prabang, Laos.
24. Harman International Industries, I. *EON 315 specification*. Available from: https://www.jblpro.com/www/products/vintage/vintage-portable/eon300-series/eon315#Specs.
25. Klipsch LLC. *Mirage AVS-200 Owner's Manual*.; Available from: https://www.manualslib.com/download/400801/Mirage-Avs-200.html.
26. Slowdive, *Alison Accessfrom https://music.apple.com/th/album/souvlaki/399211729*. 1994.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การตรวจวัดคุณภาพ Masking ด้วย Articulation Index และ Speech Transmission Index

ภาคผนวก ก 1 แผนผังห้องทอลอง จำลองพื้นที่สำนักงาน แบบ **open plan office**



ภาคผนวก ก 2 รูปภาพห้องทดลองที่ติดตั้ง ฉากกั้นสำนักงานขนาด 2 เมตรและติดตั้งลำโพงสำหรับ **masking** ด้านบน

ภาคผนวก ก 3 ตารางลงข้อมูลการทดสอบหาค่า **AI**

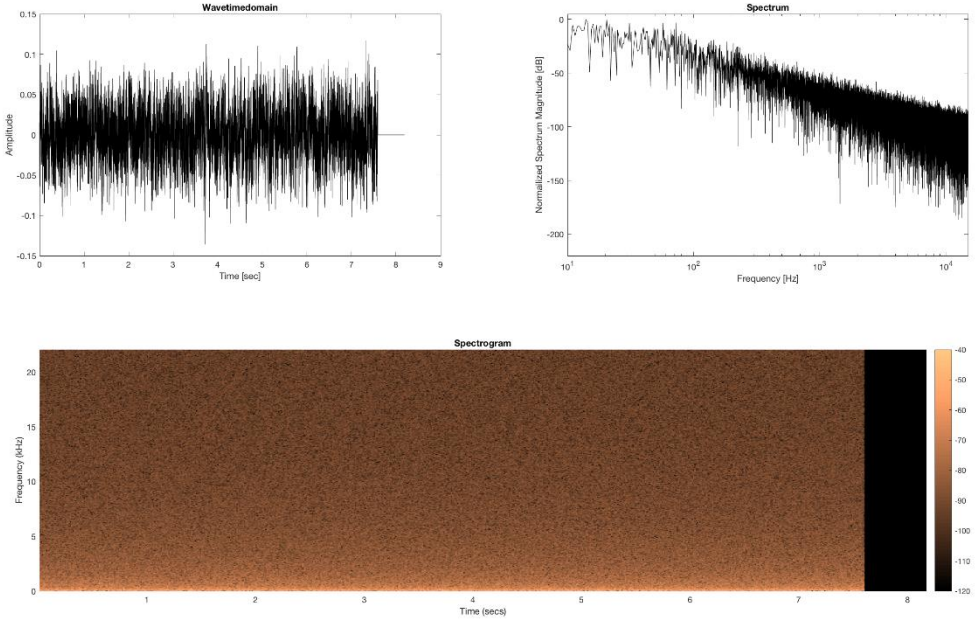
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Speech Frequency Range (Hz)	White noise 10dB Louder the BK 1m distance Sound in Anechoic Chamber	White noise 10dB Sound in Office plan	Level Reduction (B-C)	Test Speech Sound in Anechoic Chamber	Test Speech Listen Location (E-D)	Listener Location mean ambient	Signal-to-noise ratio (dB) (F-G)	Weighting factor	AI contribution (HxI)
200	46.9	45.2	1.7	38.5	36.8	36.6	0.20	0.0004	0.0001
250	51.8	45.3	6.5	45	38.5	39.1	0.00	0.0010	0.0000
315	55	47.1	7.9	42.1	34.2	38	0.00	0.0010	0.0000
400	57.3	52.5	4.8	48.4	43.6	41.7	1.90	0.0014	0.0027
500	57.7	52.8	4.9	53.9	49.0	41	8.00	0.0014	0.0112
630	58.8	54.2	4.6	49.1	44.5	42.1	2.40	0.0020	0.0048
800	61.2	53.9	7.3	50.4	43.1	42.4	0.70	0.0020	0.0014
1000	63.1	55.6	7.5	48.6	41.1	42.6	0.00	0.0024	0.0000
1250	62.9	55.3	7.6	52.4	44.8	42.6	2.20	0.0030	0.0066
1600	67.6	56.9	10.7	49.3	38.6	43.7	0.00	0.0037	0.0000
2000	70	61.7	8.3	47.2	38.9	40.6	0.00	0.0038	0.0000
2500	72.7	64.5	8.2	48.5	40.3	39.5	0.80	0.0034	0.0027
3150	71.3	61.8	9.5	43.3	33.8	39.2	0.00	0.0034	0.0000
4000	68.5	59	9.5	40.1	30.6	37.3	0.00	0.0024	0.0000
5000	71.6	59.9	11.7	42	30.3	35.2	0.00	0.0020	0.0000
A-Weighted							(<0=0,>30=30)	AI (Total):	0.0295
								PI = (1 - AI)X 100%	97.1%

ภาคผนวก ก 4 ตรวจวัดค่า **dBSPL** สำหรับการทดสอบหาค่า **AI** ในห้อง **semi anechoic chamber** ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

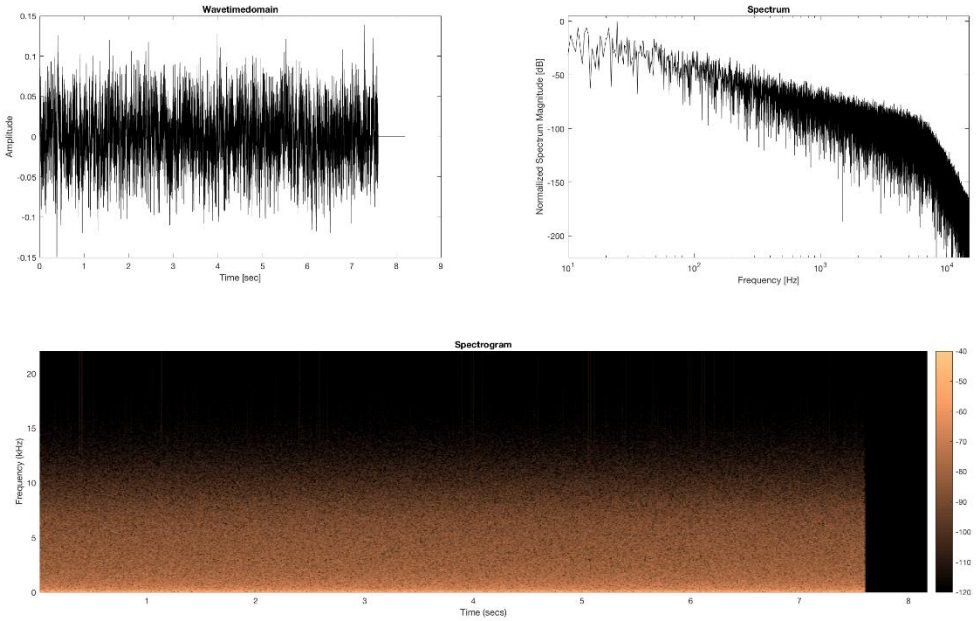
ภาคผนวก ข

แบบทดสอบการฟังที่ออกแบบ และบันทึกจากการจำลองระบบ masking

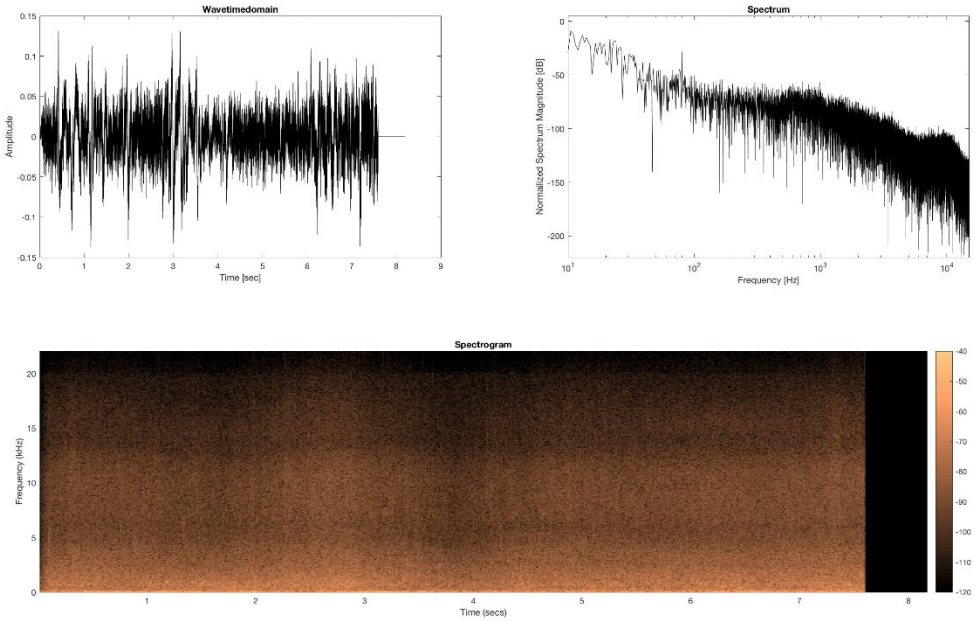
ภาคผนวก ข **1** เสียง **Pink noise -** 5 **dB per oct**



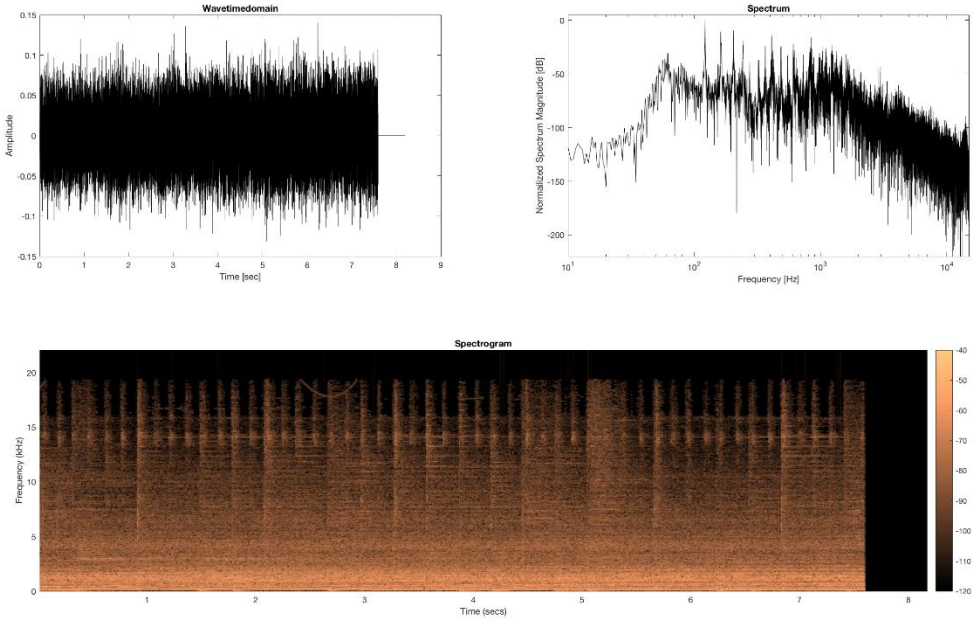
ภาคผนวก ข **2 Masking noise with eq shape and tremolo**



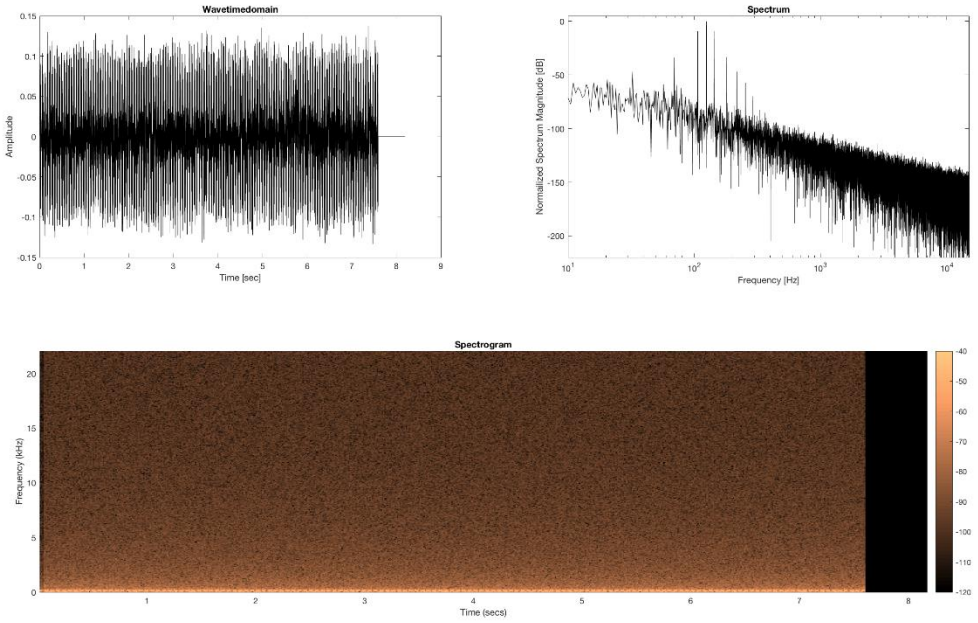
ภาคผนวก ข 3 Beach and Water sound



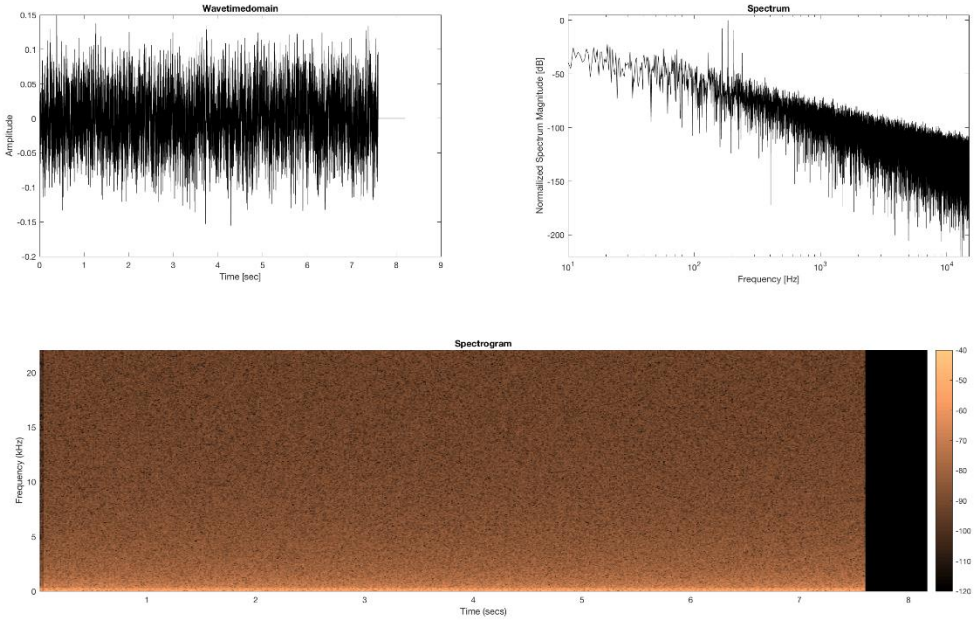
ภาคผนวก ข 4 Alison song by slowdive



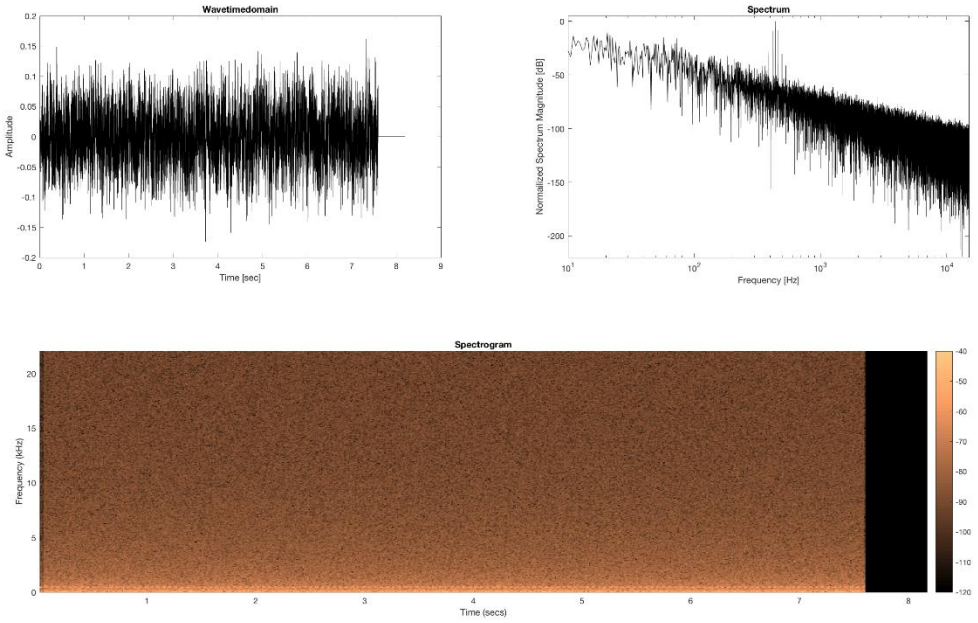
ภาคผนวก ข 5 Masking noise + Isochronic sine wave 125 Hz



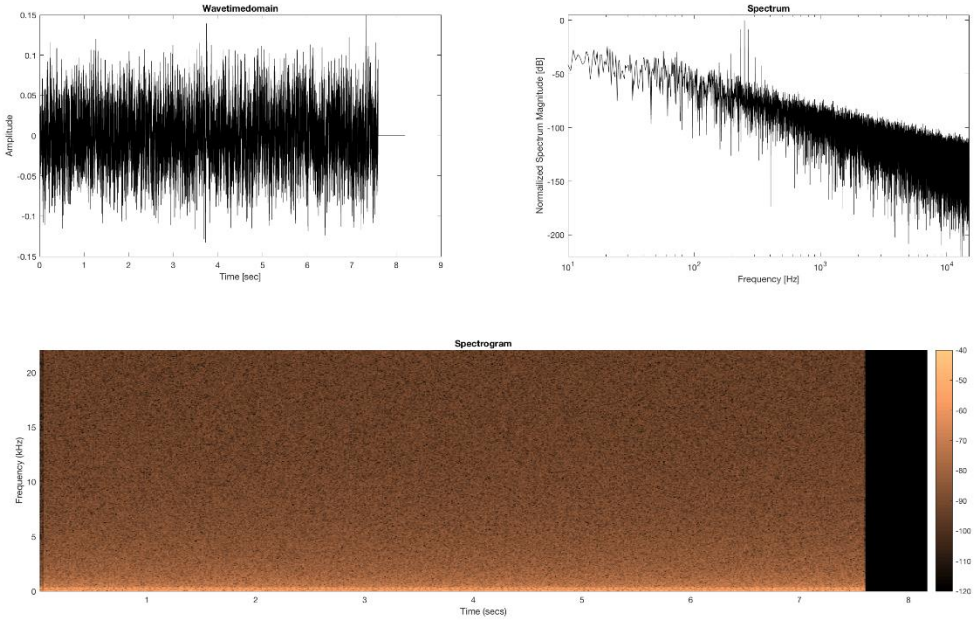
ภาคผนวก ข 6 Masking noise + Isochronic sine wave 185 Hz



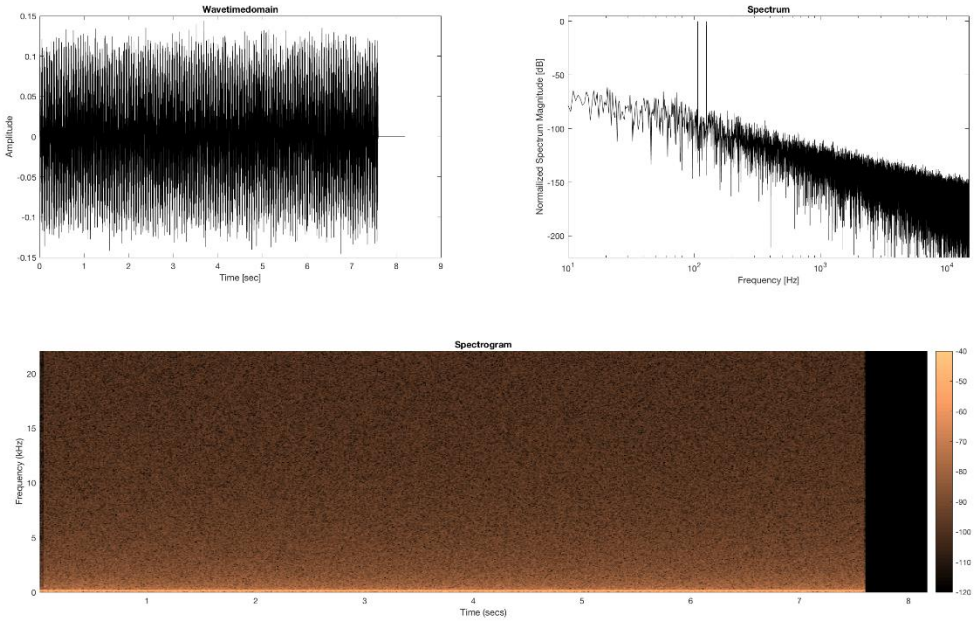
ภาคผนวก ข 7 Masking noise + Isochronic sine wave 250 Hz



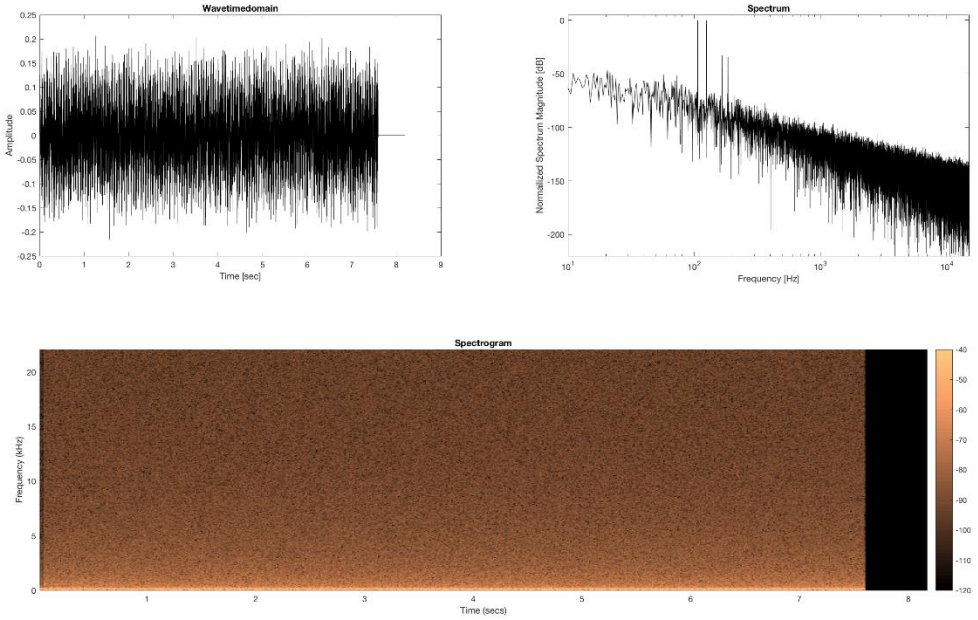
ภาคผนวก ข 8 Masking noise + Isochronic sine wave 440 Hz



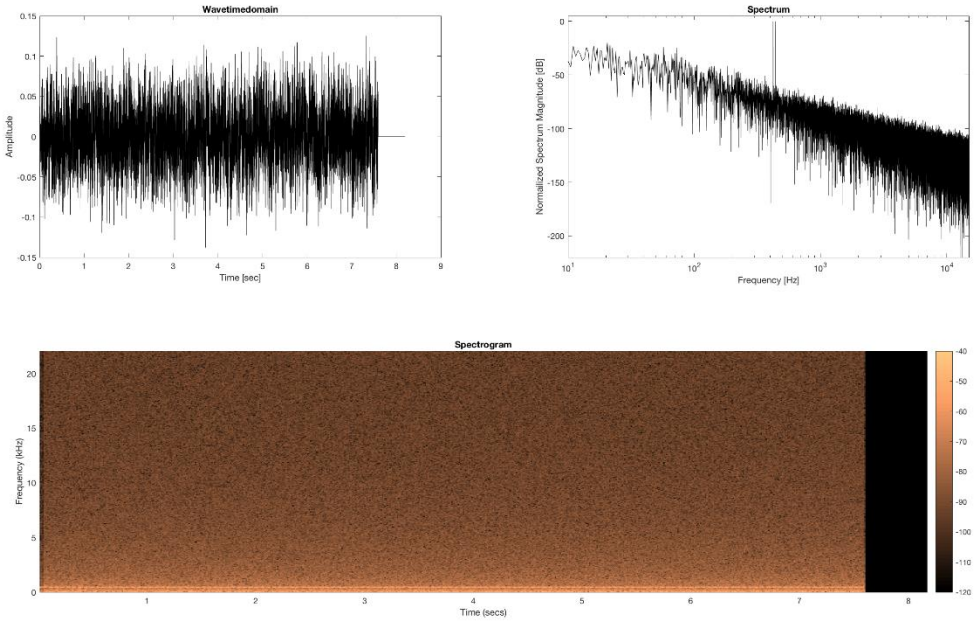
ภาคผนวก ข 9 Masking noise + Monaural beats Beta wave sine wave 125 Hz



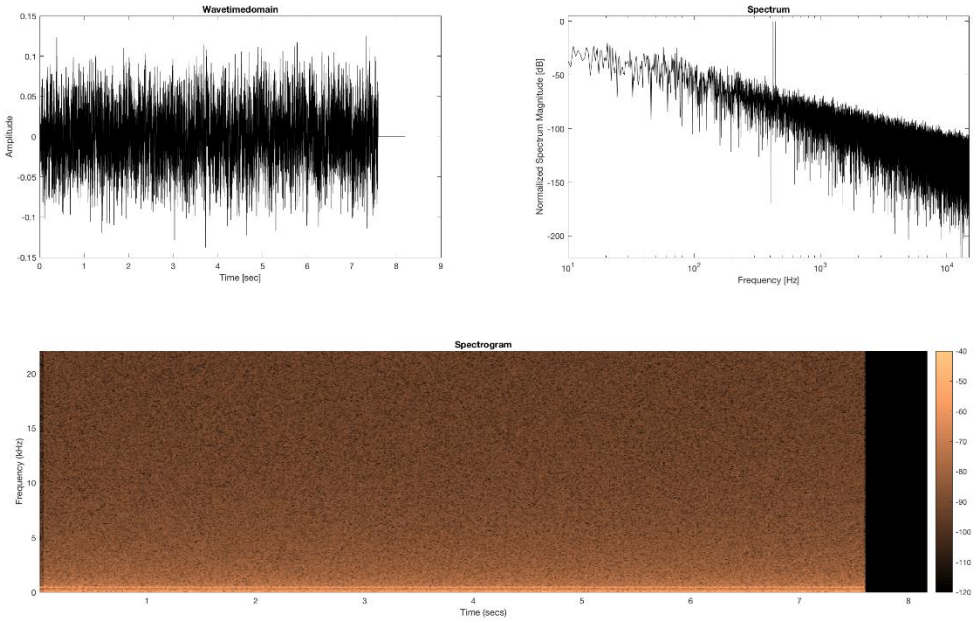
ภาคผนวก ข 10 Masking noise + Monaural beats Beta wave sine wave 185 Hz



ภาคผนวก ข 11 Pink noise -5dB/oct + Monaural beats sine wave 231.5+250 Hz



ภาคผนวก ข 12 Pink noise -5dB/oct + Monaural beats sine wave 421.5+440 Hz



ภาคผนวก ข 13 ตัวอย่างสำเนาแบบสอบถาม

แบบทดสอบการฟังเสียงจำลองในระบบ Masking

เป็นแบบทดสอบเก็บข้อมูลการฟังเสียงที่จำลองการใช้ระบบ masking เพื่อตรวจวัดความแม่นยำของระบบตรวจวัดระบบ Sound Masking

1. **ชื่อ - นามสกุล**

2. **เพศ**
   ทำเครื่องหมายเพียงหนึ่งช่อง
   - ชาย
   - หญิง

3. **อายุ**

4. **อาชีพ**

มหาวิทยาลัยศิลปา

ภาคผนวก ข 14 ตัวอย่างสำเนาแบบสอบถาม 2

แบบทดสอบการฟังเนื้อหาเสียงในระบบ masking

เสียงที่ได้ยินในแบบบทดสอบเป็นประโยคพูด ฟังแล้วตอบแบบสอบถามให้ครบถ้วนทุกข้อ

5. *ทำเครื่องหมายแถวละหนึ่งช่องเท่านั้น*

	ไม่ได้เลย	ได้น้อย	ปานกลาง	มาก	มากที่สุด
สามารถได้ยินคำพูดเสียงที่ 1 ชัดเจนในระดับใด	◯	◯	◯	◯	◯
สามารถได้ยินคำพูดเสียงที่ 2 ชัดเจนในระดับใด	◯	◯	◯	◯	◯
สามารถได้ยินคำพูดเสียงที่ 3 ชัดเจนในระดับใด	◯	◯	◯	◯	◯
สามารถได้ยินคำพูดเสียงที่ 4 ชัดเจนในระดับใด	◯	◯	◯	◯	◯
สามารถได้ยินคำพูดเสียงที่ 5 ชัดเจนในระดับใด	◯	◯	◯	◯	◯
สามารถได้ยินคำพูดเสียงที่ 6 ชัดเจนในระดับใด	◯	◯	◯	◯	◯
สามารถได้ยินคำพูดเสียงที่ 7 ชัดเจนในระดับใด	◯	◯	◯	◯	◯
สามารถได้ยินคำพูดเสียงที่ 8 ชัดเจนในระดับใด	◯	◯	◯	◯	◯
สามารถได้ยินคำพูดเสียงที่ 9 ชัดเจนในระดับใด	◯	◯	◯	◯	◯
สามารถได้ยินคำพูดเสียงที่ 10 ชัดเจนในระดับใด	◯	◯	◯	◯	◯
สามารถได้ยินคำพูดเสียงที่ 11 ชัดเจนในระดับใด	◯	◯	◯	◯	◯

ภาคผนวก ข 15 ตัวอย่างสำเนา 3

แบบสอบถามประสิทธิภาพ ของเสียง masking ชุดเสียงที่ 1

6. **แบบสอบถามประสิทธิภาพ ของเสียง masking**

เสียงที่ได้ฟังนั้นไพเราะ ฟังแล้วรู้สึกดี ชอบ หรือฟังแล้วรู้สึกไม่ชอบ ในระดับใด
ทำเครื่องหมายแถวละหนึ่งช่องเท่านั้น

	น้อยที่สุด	น้อย	ปกติ	มาก	มากที่สุด
ระดับความพอใจเสียงที่ 1	◯	◯	◯	◯	◯
ระดับความพอใจเสียงที่ 2	◯	◯	◯	◯	◯
ระดับความพอใจเสียงที่ 3	◯	◯	◯	◯	◯
ระดับความพอใจเสียงที่ 4	◯	◯	◯	◯	◯
ระดับความพอใจเสียงที่ 5	◯	◯	◯	◯	◯
ระดับความพอใจเสียงที่ 6	◯	◯	◯	◯	◯
ระดับความพอใจเสียงที่ 7	◯	◯	◯	◯	◯
ระดับความพอใจเสียงที่ 8	◯	◯	◯	◯	◯
ระดับความพอใจเสียงที่ 9	◯	◯	◯	◯	◯
ระดับความพอใจเสียงที่ 10	◯	◯	◯	◯	◯
ระดับความพอใจเสียงที่ 11	◯	◯	◯	◯	◯
ระดับความพอใจเสียงที่ 12	◯	◯	◯	◯	◯

วิทยาลัยศิล

ภาคผนวก ข 16 ตัวอย่างสำเนา 4

แบบสอบถามประสิทธิภาพ ของเสียง masking ชุดเสียงที่ 2

7. **แบบสอบถามประสิทธิภาพ ของเสียง masking**

เสียงที่ได้ฟังนั้นไพเราะ ฟังแล้วรู้สึกดี ชอบ หรือฟังแล้วรู้สึกไม่ชอบ ในระดับใด
ทำเครื่องหมายแถวละหนึ่งช่องเท่านั้น

	น้อยที่สุด	น้อย	ปกติ	มาก	มากที่สุด
ระดับความพอใจเสียงที่ 1	◯	◯	◯	◯	◯
ระดับความพอใจเสียงที่ 2	◯	◯	◯	◯	◯
ระดับความพอใจเสียงที่ 3	◯	◯	◯	◯	◯
ระดับความพอใจเสียงที่ 4	◯	◯	◯	◯	◯
ระดับความพอใจเสียงที่ 5	◯	◯	◯	◯	◯
ระดับความพอใจเสียงที่ 6	◯	◯	◯	◯	◯
ระดับความพอใจเสียงที่ 7	◯	◯	◯	◯	◯
ระดับความพอใจเสียงที่ 8	◯	◯	◯	◯	◯
ระดับความพอใจเสียงที่ 9	◯	◯	◯	◯	◯
ระดับความพอใจเสียงที่ 10	◯	◯	◯	◯	◯
ระดับความพอใจเสียงที่ 11	◯	◯	◯	◯	◯
ระดับความพอใจเสียงที่ 12	◯	◯	◯	◯	◯

ภาคผนวก ค

ผลงานทางวิชาการ

Privacy Evaluation in Open-Plan Office Using Sound Masking and Removable Partitions

Wongsakorn Jiraworapitak[1] and Chukiet Sodsri[1,2]

Abstract

This study presents an evaluation of sound masking for increasing speech privacy in open-plan office where a workstation was next to a meeting area. General recommendation, that an appropriate broadband masker sounds with sound pressure level of 7-10 dB higher than the speech level must be used for achieving speech privacy, may not be suitable since the masker itself can be too loud and becomes unwanted. Partial-height sound barriers can be used with sound masking to gain better acoustic privacy. However, there exists curiosity if the barriers, such as removable partitions with high height or low height yield different privacy. In this work, experiments were performed to compare effects of the sound barrier heights on the speech privacy in a workstation where sound masking was employed. Results showed that in high reverberant environment, high height partitions did not necessarily yield better prevention of the intruding sounds. However, the high height partitions indeed influenced better speech privacy when used with the sound masking, since it helps to reflect and naturally amplify the broadband masker sound in the workstation.

Keyword: Speech privacy rating, Open-plan office, Articulation Index, Speech transmission index

I. Introduction

An open plan is an area that was usually of a floor utilized as large and open space. It normally minimizes uses of permanent walls for creating small rooms or private offices. The open plan office is now a trend for new startups, since it allows new entrepreneurs to quickly start their businesses with economical cost for infrastructures. However, one of problems in sharing the open plan office is privacy. A conversation in a workstation or meeting area can be heard by persons who are working in next workstations. Persons who make the conversation may losses their privacy, while the persons who are working may be disturbed by noise of the conversation and lose their concentration on works.

Sound masking has been studied and used for maintaining privacy and handling excessive noise in open areas such as libraries, open offices, and hospitals (Taylor 2016; Xyrichis et. al. 2018). For securing privacy, it is normally recommended that the sound masker level should be 7-10 dB higher than level of the sounds to be masked (Howard 2009). However, the masker itself is sometimes a noise source, especially when the masker level is high. Removable partitions have been used in some open-space offices for quick constructing private workstations, but it is not fully known if they can truly prevent the intrusive noise and influence good privacy in the workstations.

[1]Multidisciplinary program in Acoustic Design and Sonic Arts, Graduate School, Silpakorn University, Talingchun, Bangkok 10170, Thailand.

[2]Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand.

This work presents an experimental study of effects of using removable partitions and sound masking for creating privacy in a workstation. The experiments were done in an open-space office where a workstation is located 2 m away from a meeting area. Pink noises with different sound pressure levels were generated via an over-head loudspeaker above the workstation for masking intruding conversation speeches of the meeting. Three difference workstation scenarios, without partitions, with partitions of 1.4-meter and 2.0-meter heights, were tested. Articulation index (AI) and sound transmission index (STI) were used as measures for the privacy. The study results would hint proper uses of partitions in cooperation with the sound masking for obtaining a better privacy.

II. Sound Masking

Sound masking is phenomenon that occurs when two or more sound happens at the same time. Human can perceive the louder sound and cannot hear or recognize the quieter sound (David M. Howard, 2009, p.263). The sound masking has been applied to reduce the perception of unwanted sounds by generating a steady and broadband noise as a sound masker into a target area. According to ASTM standard E1374, it is recommended that the appropriate broadband sound masker with combination of partial height barriers, and sound absorbing ceiling and wall can be used to achieve a level of privacy. A successful open-space office is a result of careful coordination between these components (ASTM E1374, 1998). However, the selection and interaction of the components must be understood.

III. Privacy Measures

The privacy can be influenced by many varieties of factors such as space proportion, distance, ambient sound, room acoustic and speech characteristics. For speech privacy rating, there are several measures, such as articulation index (AI), privacy index (PI), and speech transmission index (STI), that can be used. All these measures are for the measurement of speech intelligibility which is inversely related to the speech privacy.

A) Articulation Index

Articulation Index (AI) was introduced 7 decades ago by French and Steinberg (French and Steinberg, 1947; Mueller and Killion, 1990). It is an expression of weighted summation of signal-to-noise ratio in 1/3 octave frequency band from 200 Hz to 5000 Hz as in equation (1), where W_i is weighting factor for band i and R_i is signal-to-noise ratio for band i. AI for speech privacy can be obtained by measuring R_i and using W_i as recommended in ASTM E1130-08 standard (ASTM, 2008). Values of AIs range between 0 and 1. The values close to 1 represent situation where high speech intelligibility exists but it is of low privacy. In contrast, the values close to 0 indicate poor

speech intelligibility but very good privacy. Table 1 displays relation between AI values and level of privacy as suggested in the ASTM E1130-08. Since AI is inversely proportional to speech privacy, the ASTM E1130-08 recommends a so-called privacy index (PI) defined from AI values and expressed in percent as in equation (2). PI values of 95% or more imply that confidential speech privacy is obtained and the PI values between 80 and 95% are corresponding to normal privacy normal speech.

$$AI = \sum_{i=1}^{15} W_i R_i \quad (1)$$

$$PI = (1 - AI) \times 100\% \quad (2)$$

Table 1 Articulation Index and level of privacy

Level of privacy	Excellent privacy	Normal privacy	unacceptable	No privacy
AI Value	0.00 – 0.05	0.05 – 0.20	0.20 – 0.30	0.60 - 0.75

Source: after suggestion in ASTM E1130-08 standard, 2008, p. 6

B) Sound Transmission Index (STI)

Sound transmission index (STI) was first introduced by Houtgast and Stteneken in 1971 as a measure for physical measurement of speech intelligibility of communication systems (Houtgast and Sttenneken, 1971). It originates from a concept that the speech transmitted via any mean of communication channels is degraded and only limited transfer information is perceived at a receiver. The degradation may due to non-linear distortions, background noise level, reverberations in the communication channels and results in a decrease of the received speech content (Steeneken and Houtgast, 2002). In contrast to subjective evaluation by listening to actual speeches, the STI is a quantitative approach that needs a special synthetic amplitude-modulated signal for measurement and calculation scheme making use of the physical properties of the transmission channel. The modulation frequencies are from 0.63 Hz to 12.5 Hz with separation of 1//3 steps, yielding 14 frequency bands and carrier frequencies of the modulated signal are center frequencies of octave bands from 125 Hz to 8 kHz (Steeneken and Houtgast 2002). The calculation of STI is done based on a weighted frequency-band summation of levels of intensity fluctuation between signals before and after transmissions. Values of STI vary from 0 to 1 corresponding to speech intelligibility from bad to excellent, respectively (Steeneken and Houtgast 2002). Table 2 displays the STI values and quality of the speech intelligibility.

Table 2 Intelligibility and privacy rating of speech transmission Index (STI) for sound masking qualities

Level of intelligibility	Bad	Poor	Fair	Good	Excellent
Level of privacy	Excellent	Good	Fair	Poor	Bad
STI Value	< 0.30	0.30 - 0.45	0.45 - 0.60	0.60 - 0.75	>0.75

Source: after Steenneken and Houtgast, 2002, p. 120.

IV. Experiments

A) Materials and Equipment

Macbook Pro-13 laptop with logic pro x software for generating sound maskers and speech sounds

IMB Thinkpad R52 laptop with an installed licensed EASERA software for measuring STI index

4 inch Mirage loudspeaker for emitting masker sound, installed at ceiling above the workstation

Crown XLS 1500 amplifier for amplifying sound signal power to the masker loudspeaker

JBL EON 315 Active speaker for emitting speech sounds

RION NL- 52 class 1 sound level meter level for measuring sound pressure level (SPL)

SE condenser microphone

Focusrite scarlet 2i2 sound interface for converting digital to analog signals from the Macbook laptop to the active loudspeaker and analog to digital signals from the SE condenser microphone to the Macbook laptop

MATLAB with a research license for creating and designing sound shape of pink noises, used as sound maskers

Microsoft Excel for SPL data collection

B) Open-plan office layout and equipment setup

A part of our research laboratory was rearranged and used as an open-plan office for the experiment as displayed in figure 1. The open space was made of rigid walls and cement ceiling with the space size of 3.5-meter height, 4.5-meter width, and 11.8-meter length. The open-plan office was consisted of a workstation located next to a meeting table. For creating privacy in the workstation, a 4-inch loudspeaker was hanged on the ceiling above the workstation, at height of 2.5 m from the cement floor for emitting the masker sounds. Location of working chair in the workstation was 2 m away from speech sources. For the experiment, a self-powered loudspeaker was used as a source of distractive speech sound. Condenser microphones for measuring STI and recording the sound in the

workstation and a sound meter level for measuring sound level in dB(A) were placed at the location of the working chair. Three different scenarios of the partitions, 1.4-meter and 2.0-meter height partitions and no partition, were tested by placing them at the middle between the meeting table and the workstation.

C) Experiment procedures

Two experiments were performed. First was to verify if the taller partition would yield better protection of intrusive sound than that using the shorter partition. In this experiment, the air-conditioner in the office was turned on. Three different partition conditions, no partition, 1.4-meter height partition, and 2-meter height partition were tested. Broadband white noise was generated and fed to the self-powered loudspeaker located at distractive sound source location. A class 1 sound level meter was used to measure sound pressure level (SPL) in 1/3 octave bands and dBA units. Table 3 displays the results of sound pressure level at 1.2-meter height from the floor at the working chair location in the workstation.

Second experiment was to justify if the higher height partition influences better speech privacy in the workstation while sound masking was being utilized. In this experiment, pink noises were used as masker sounds and three different workstation conditions of no partition, 1.4-meter and 2-meter height partitions were tested. Three different speech sounds, female and male voices of Thai speaking and female voice of English speaking were fed to the self-powered loudspeaker to emit distractive speeches that were needed to be masked in the workstation area. The RION Class 1 sound level meter was used to measure sound pressure levels at the chair location with 1.2-meter height from the floor. The values of signal-to-noise ratios R_i were obtained based on suggested procedures in ASTM E1130-08 standard. Then AI and PI values were calculated using the equation (1) and (2), respectively. STI was also measured by placing a condenser microphone at the chair location and 1.2-meter height, and using the EASERA software. Figure 2 shows equipment and setup during the experimentation. Results of AI and STI measurements are displayed in table 4.

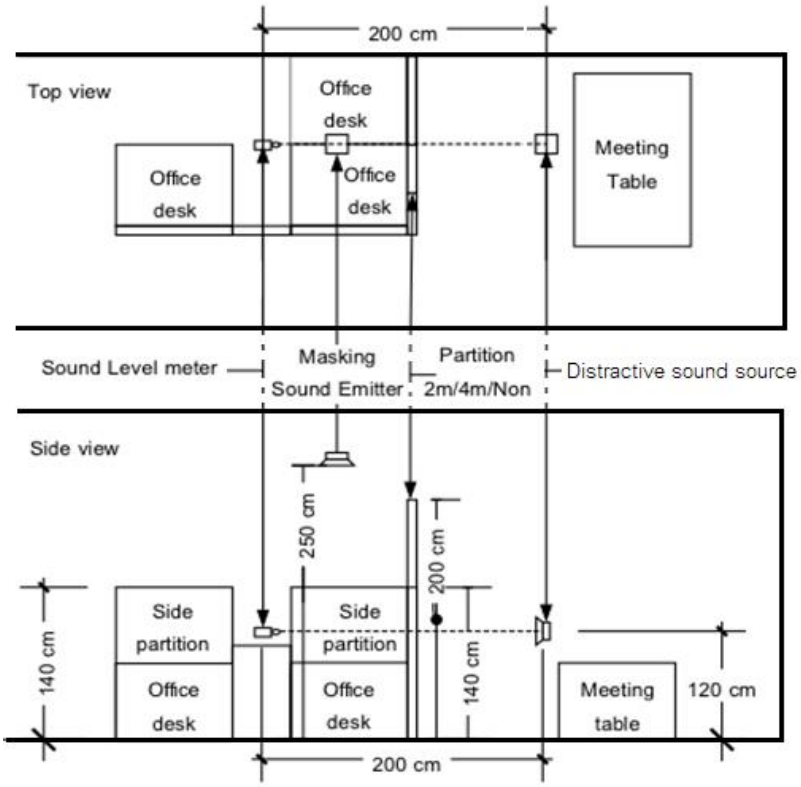


Figure 1 Top view and side view of open-plan office layout and equipment setup

(a)

(b)

Figure 2 (a) Setups of a condenser microphone, a sound pressure level meter and masker loudspeaker at the workstation for measuring AI and STI values while utilizing sound masking and (b) self-powered loudspeaker placed in meeting area at the distractive sound source location during experimentation.

V. Results and Analysis

Results of measured SPLs for all 1/3 octave bands between 160 Hz and 8000 Hz for cases of using no partition, 1.4-meter and 2.0-meter height partitions are displayed in table 3. Corresponding wavelengths (λ) of each centered frequency were also calculated from the relation $\lambda = c / f$, where c is sound speed in which at temperature of 26 ºC equal to 347.1 meter/second, and f is frequency in Hz. Theoretically, diffraction occurs when sound wavelength is longer than the dimension of obstacles. For the case of no partition in our experiment, all frequency components of the sounds could travel into the workstation. Hence, SPL values for all 1/3 octave bands were high, between 42.2 dBA to 61.8 dBA. For the case of using 1.4-meter height partition, sound frequency components of wavelengths higher than 0.2 m would be able to diffract. Diffraction occurrence was analyzed and indicated as in table 3. Similarly, for the case of using partition of 2-meter height, the sound frequency components of wavelengths lower than 0.8 m would not be diffracted, but reflected. These are very persistent to the obtained SPL results. As seen in the table that, for partition of 1.4 height, SPL values in the 1/3 octave below 2000 Hz are approximately the same as that for the case of no partition use, but at the octave equal to or higher than 2000 Hz, the SPL values are of more than 3-dB differences. In a similar way, for the use of 2-meter height partitions, SPL values in the octave below 500 Hz are approximately the same as case of no partition use, but the SPL values in the octave equal to or higher than 500 Hz, the SPL values are of higher than 3-dB differences. Both partitions of 1.4-meter and 2-meter height yielded much lower total SPL values, more than 5 dBA lower, compared to that when no partition. However overall sound pressure levels between using partitions of 1.4-meter and 2-meter heights are approximately the same.

Table 3 Measured SPL in 1/3 octave frequency bands at workstation for three different type of partition uses and analyzed results of sound diffraction occurrence.

Centered frequency in 1/3 octave band [Hz]	Wavelength [m], at temperature of 26 ºC	Sound pressure levels at workstation [dBA]			Sound diffraction occurrence	
		No partition	1.4-meter height partition	2.0-meter height partition	1.4-meter height partition	2.0-meter height partition
160	2.169	46.7	44.6	47.2	Yes	Yes
200	1.736	49.8	48.7	47.9	Yes	Yes
250	1.388	51.6	49.5	51.6	Yes	Yes
315	1.102	52.6	51.3	55.5	Yes	Yes
400	0.868	57.8	55.2	61.2	Yes	Yes

500	0.694**	58.5	55.9	62.8	Yes	No
630	0.551**	58.6	57.8	61.8	Yes	No
800	0.434**	59.2	56.7	62.5	Yes	No
1000	0.347**	60.5	58.2	65.4	Yes	No
1250	0.278**	60.9	58.8	66.0	Yes	No
1600	0.217**	62.5	60.0	68.8	Yes	No
2000	0.174*,**	67.2	63.3	72.5	No	No
2500	0.139*,**	69.9	64.8	74.1	No	No
3150	0.110*,**	67.0	63.0	71.2	No	No
4000	0.087*,**	63.9	61.3	70.1	No	No
5000	0.069*,**	65.0	61.2	70.9	No	No
6300	0.055*,**	64.2	60.7	71.5	No	No
8000	0.043*,**	61.8	58.5	70.4	No	No
Total	-	74.9	68.7	69.3	-	-

Remark *wavelength less than 0.2 meters would not diffract around the 1.4-meter height partition

**wavelength less than 0.8 meters would not diffract around the 2-meter height partition

The results of AI and STI measurements for speech privacy testing are shown in tables 4 and 5. Both AI and STI were in fair agreement of privacy rating. However, when the sound masker emitted 60 dBA or 50 dBA of masking level to mask the 60 dBA intrusive sound, the STI yielded the rating as good privacy, while the AI provided the privacy rating as excellent. The STI indices were more dynamic and reasonable in privacy rating, compared to that of the AI indices which were less dynamic. Our results that the STI was more acceptable, is consistent with the statement in Mueller and Killion (1990) and the STI had been used as our primary measure for considering the effect of partition heights on speech privacy in the workstation.

From STI privacy rating in table 2 and test results of effect of partition heights on speech privacy in table 5 and figure 3, both1.4 and 2-meter height partitions yield better privacy rating, compared with that of no partition use. The uses of partitions benefit the sound masking that the masker level is not needed to be 7-10 dB higher than the disturbance. In fact the result shows that for masking the 60 dBA SPL distractive speeches, when removable partitions of 2.0-meter or 1.4-meter heights were employed, only sound masker of 50 dBA SPL was needed to achieve the STI values of 0.445 (good privacy) or 0.489

Table 4 Measured AI values in workstation for three partition heights and three different types of intrusive speeches while air-conditioner was turned on.

Partition height	Types of speech sounds at 60-dBA sound levels	Measured AI values when no masking and masked with different sound levels of 45, 50, 55 and 60 dBA				
		No masking	45 dBA	50 dBA	55 dBA	60 dBA
2.0 m	Thai female	0.115	0.087	0.024	0.009	0.003
	Thai male	0.110	0.084	0.048	0.024	0.008
	English female	0.108	0.081	0.029	0.004	0.000
1.4 m	Thai female	0.142	0.102	0.045	0.004	0.002
	Thai male	0.138	0.102	0.069	0.037	0.011
	English female	0.132	0.093	0.047	0.013	0.004
No partition	Thai female	0.223	0.257	0.150	0.022	0.008
	Thai male	0.214	0.248	0.140	0.019	0.020
	English female	0.213	0.247	0.141	0.003	0.008

Table 5 Measured STI values in workstation for three partition heights and using pink noises as an intrusive sound at level of 60 dBA.

Air conditioner status	Partition height	Measured STI values, when no masking and masked with different sound levels of 45, 50, 55 and 60 dBA				
		No masking	45 dBA	50 dBA	55 dBA	60 dBA
On	2.0 m	0.487	0.461	0.445	0.345	0.213
	1.4 m	0.498	0.490	0.480	0.368	0.257
	No partition	0.708	0.716	0.687	0.635	0.534
Off	2.0 m	0.552	0.513	0.448	0.344	0.202
	1.4 m	0.583	0.533	0.464	0.370	0.238
	No partition	0.785	0.768	0.725	0.669	0.551

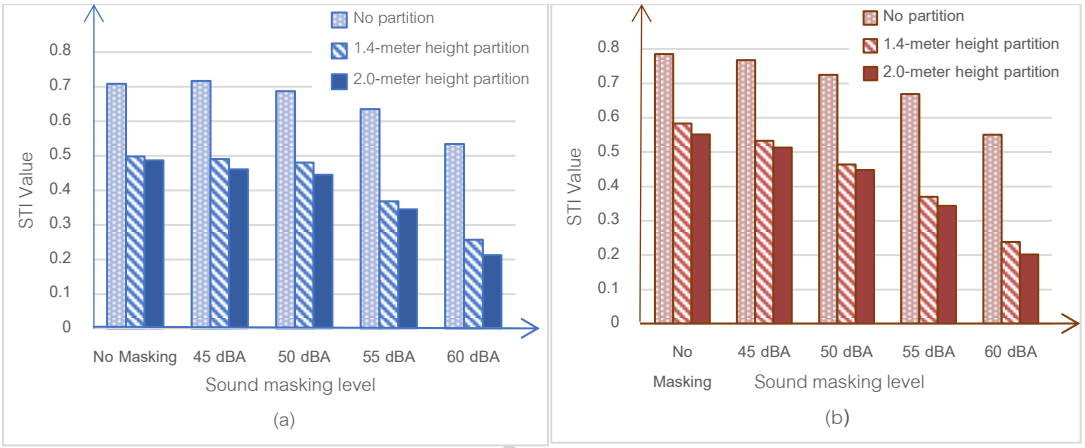


Figure 3 Measured STI values in the workstation when different sound masking levels were used to mask an intrusive sound of 60 dBA SPL for cases that air-conditioner was (a) turned on and (b) turned off.

(fair privacy) respectively. Instead, if no partition was used and the disturbance sound was at 60 dBA SPL, the masker sound of 50 dBA SPL could only yield STI of 0.687 for the air conditioner status as on and STI of 0.725 for the air conditioner status as off, in which both ratings were as bad privacy in the workstation. For the case of no partition, although the 60 dBA SPL of masker levels was utilized to mask the 60 dBA distractive sound in the workstation, good privacy could not be obtained.

VI. Conclusion

In this study, experiments were performed to justify how partitions with different heights can prevent intrusive and unwanted sounds or influence speech privacy in a workstation where sound masking approach is employed. Experiment results revealed that, in high reverberant environment of open-plan office, removable partitions of 1.4-meter and 2-meter heights yielded no difference of ability in preventing intrusive sounds. However, both partitions of 1.4-meter or 2-meter heights influenced an improvement of overall sound pressure levels in the workstation to be at least 5dBA lower, compared with that of no partition case. For testing effects of partitions of different heights on speech privacy in the workstation where sound masking was used, the results of AI and STI measurement showed that the 2-meter height partition provided a better condition for achieving good speech privacy, compared with that of 1.4-meter height partition or no partition uses. To successfully masking a distractive speech, masker sound level may not necessarily be 7-10 dBA higher than the disturbance. In fact, our results displayed that for masking the 60 dBA speech and achieving good privacy rating, a sound masker emitting a pink noise of 50dB SPL was needed when the removable 2-meter height partition was employed. Better privacy rating could be obtained, if sound absorbing materials were properly integrated to improve acoustical condition of the open plan.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	Wongsakorn Jiraworapitak
วัน เดือน ปี เกิด	26 May 1990
สถานที่เกิด	Thailand
วุฒิการศึกษา	BA.Broadcasting Bangkok University
	Diploma in audio engineering SAE Institute Thailand
ที่อยู่ปัจจุบัน	134/20 Ideo mobi sathon Banglamphulang klongsan 10600