รายงานการศึกษาวิจัยเพื่อแก้ปัญหา
เรื่องเสียงรบกวนจากสนามยิงปืน

เสนอต่อ

มูลนิธิเครือข่ายพลังงาน-เกษตรสีเขียว

The Foundation of Green Energy and Agriculture Network

โดย

ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธันวาคม 2557

หน่วยงานหลัก

ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีอาคารและสิ่งแวดล้อม (วิจัย)
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท กรุงเทพฯ 10330
โทรศัพท์ 0-2218-4373, 0-2218-4370-1
โทรสาร 0-2218-4373, 0-2218-4372
E-mail: cubest11@gmail.com

หน่วยงานเครือข่ายผู้ช่วยนักวิจัย

1. บริษัท ไมโครไฟเบอร์ จำกัด (ฉนวนดูดซับเสียง)
   เลขที่ 54 หมู่ 12 กิ่งแก้ว 19 ตำบลราชาเทวะ
   อำเภอบางพลี สมุทรปราการ 10540
   โทรศัพท์ 023155500,023124658,027501429
   โทรสาร 023124654-5
   E-mail : insulation@microfiber.co.th

2. บริษัท เมเปิ้ล จำกัด (เก็บข้อมูลเสียง)
   เลขที่ 4 ซอยกรุงเทพ-นนทบุรี 40
   แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กทม 10800
   โทรศัพท์ 029107814,029107816
   โทรสาร 029108564
   E-mail : info@maplesolution.com

3. บริษัท อรรถพล เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด (ปรับปรุงและก่อสร้าง)
4. บริษัท อรรถพลเอ็นเนอร์ยี่ แอนด์ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด
   148/118 ซอยอ่อนนุช 70/1 แยก 2 แขวงประเวศ กทม. 10250
   โทรศัพท์ 02-721-2085
   โทรสาร 02-721-2085
   มือถือ 081-871-5046, 081-269-4763
   E-mail : makin2230@yahoo.co.th

<u>คณะผู้วิจัย</u>

<u>หัวหน้าโครงการ</u>

รองศาสตราจารย์ ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์
ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีอาคารและสิ่งแวดล้อม
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท กรุงเทพฯ 10330
โทรศัพท์ 0-2218-4373, 0-2218-4370-1
โทรสาร 0-2218-4373, 0-2218-4372
E-mail: vorasun1@gmail.com, cubest11@gmail.com

ผู้ช่วยนักวิจัย

นายเดโช สุขเกษม ผู้เชี่ยวชาญด้านวัสดุฉนวนและดูดซับเสียง

นายสราวุธ โสนะมิตร ผู้เชี่ยวชาญด้านออกแบบระบบและคุณภาพเสียง

นายอรรถพล ชูสุวรรณ ผู้เชี่ยวชาญด้านการปรับปรุงอาคารประหยัดพลังงาน

นายภัทรภณ บูรณากาญจน์

นางสุภรินี จีระพันธุ์

1. คำสำคัญ (Keywords) ของการวิจัย

Shooting range, acoustics, เสียงจากสนามยิงปืน

2. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

สนามยิงปืนราชนาวีบางนา ก่อตั้งมาหลายสิบปี ผลจากการพัฒนาของเมืองกรุงเทพมหานคร ปัจจุบันมีชุมชนอาศัยอยู่ในระยะใกล้ ซึ่งแต่เดิม สนามยิงปืนอยู่ห่างจากชุมชน และมีพื้นที่โดยรอบที่ยังไม่มีการพัฒนา จึงไม่ปัญหาจากเสียงรบกวน ดังนั้นการป้องกันและลดเสียงรบกวนจากสนามยิงปืน จึงมีความจำเป็น

การปรับปรุงสนามยิงปืน เพื่อลดความดังของเสียง มีความจำเป็นต้องศึกษาและดำเนินการตามหลักวิชาการ เพื่อสามารถอ้างอิงและพิสูจน์ได้

3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) ศึกษาและเก็บข้อมูลความดัง ค่าการสะท้อนเสียงของสนามยิงปืน และเสียงรบกวนจากกระสุนปืนขนาดต่างๆ ที่อนุญาตให้ใช้ ของสนามยิงปืน ระยะ 25 เมตร
2) คำนวณการลดความดังของเสียง และทดสอบวัสดุดูดซับเสียงที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานจริง พร้อมทั้งเก็บข้อมูล วิเคราะห์ ประเมินผลเบื้องต้น
3) เสนอแนวทางเบื้องต้น เพื่อลดความดังและเสียงสะท้อนที่เกิดขึ้น

4. เป้าหมายของผลผลิต (Output) และตัวชี้วัด

4.1 ข้อมูลเสียง จากกิจกรรมยิงปืน ของสนามยิงปืน

4.2 ผลการคำนวณ และวิเคราะห์ การปรับปรุงกายภาพอาคาร เพื่อลดความดังเสียง สร้าง

4.3 สภาพแวดล้อมให้ได้ตามมาตรฐาน และมีความสบายทางเสียงมากขึ้น

รูปแบบการแก้ปัญหาและพัฒนาระบบกายภาพของสนามยิงปืน ด้านเสียงที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและชุมชน

5. เป้าหมายของผลลัพธ์ (Outcome) และตัวชี้วัด

5.1 สนามยิงปืนต้นแบบ ด้านการปรับปรุงการดูดซับเสียงที่สามารถอยู่กับชุมชนได้

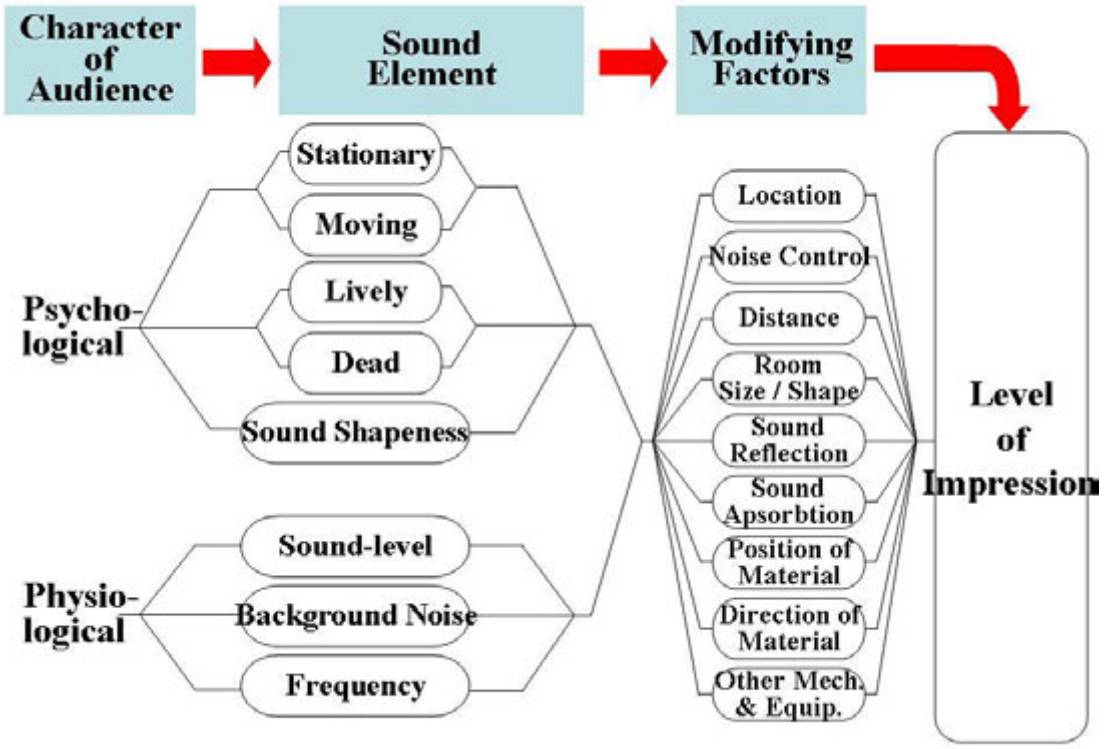
5.2 สนามยิงปืนสามารถลดผลกระทบต่อชุมชนโดยรอบสนามยิงปืน

5.3 ให้ความรู้แก่ประชาชนและผู้ฝึกซ้อมยิงปืนด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

6. ทฤษฎี สมมติฐาน และหรือกรอบแนวความคิดของการวิจัย

ความรู้สึกสบายด้านการได้ยินและการรับรู้

การได้ยินเป็นตัวแปรที่ตอบสนองความต้องการของมนุษย์ทั้งทางจิตภาพ (Psychological) และกายภาพ (Physiological) ประกอบด้วยตัวแปรหลักของการได้ยินที่เป็นองค์ประกอบของเสียงที่ได้ยิน (Sound elements) ผสมผสานกับตัวแปรในการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมด้านเสียง (Modifying factors) ภายในพื้นที่ใช้สอยของอาคาร ทำให้เกิดความสะดวกสบายในการใช้สนามยิงปืนอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย



ภาพที่ 1 แสดงตัวแปรปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้ของประสาทสัมผัสทางการได้ยิน (สุธีวัน โลห์สุวรรณ, 2544)

ปัจจัยด้านเสียงทำให้ผู้เรียนเกิดความรู้สึกได้ทั้งความประทับใจ ความพอใจในสิ่งเร้าที่ดี และความสมบูรณ์ในการสื่อสาร รวมถึงหากขาดการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมที่ดีสภาพแวดล้อมของเสียงก็จะเปลี่ยนจากเสียงที่ต้องการฟัง (Sound) กลายเป็นเสียงรบกวน (Noise) ที่สร้างความรำคาญ เป็นอุปสรรคในการสื่อสาร และทำให้อยู่ในสภาวะที่ยากจะทนได้

ลักษณะกายภาพของเสียงที่เกี่ยวข้องกับการได้ยินของมนุษย์ ประกอบด้วยระดับของเสียง (Sound-level) และความถี่ของเสียง (Frequency) ระดับของเสียง (Sound-level)บอกด้วยค่าระดับความเข้มเสียง (Intensity level, IL) มีหน่วยเป็นเดซิเบล (Decibel, dB) หมายถึงปริมาณระหว่างความเข้มเสียง (Intensity) ของเสียงนั้นกับความเข้มเสียงฐานหรือความเข้มเสียงแรกที่คนรู้สึกได้ยิน (Threshold of hearing) ที่มีค่าเท่ากับ 10^{-16} วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร หรือเท่ากับ 1 dB เนื่องจากเสียงในสภาพแวดล้อมจริงมีความถี่หลายย่าน ดังนั้นในการวัดระดับความดังของเสียงที่ตอบสนองต่อการได้ยินของมนุษย์จะใช้มาตรวัดระดับ เอ (Scale A) ซึ่งมีหน่วยคือเดซิเบลเอ (dBA)

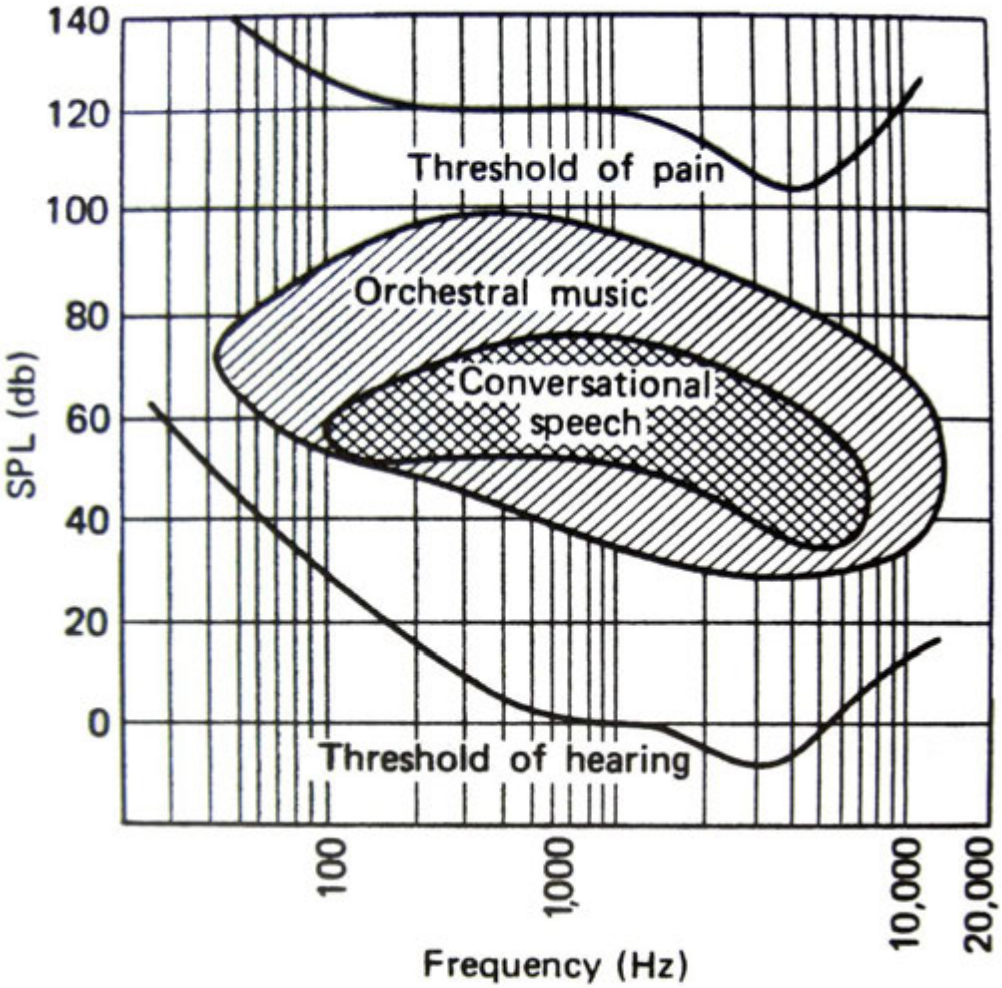
มนุษย์จะรู้สึกถึงความดังจากการรับรู้ในการได้ยินจากความต่างของเสียงที่ต่างกัน ตามตาราง ในห้องเรียนหากค่าระดับของเสียงผู้พูด ที่ตำแหน่งของผู้ฟังมีค่ามากกว่าระดับเสียงพื้นหลัง (Background noise) มากกว่า 6 dBA หมายความว่าผู้ฟังเพียงเริ่มรู้สึกถึงเสียงที่พูด (Just noticeable difference, JND) หากต้องการให้เสียงพูดนั้นได้ยินชัดต้องใช้ความแตกต่างประมาณ 10-20 dBA หมายถึงดังกว่า 2-4 เท่า

ตารางที่ 1 แสดงความแตกต่างของระดับเสียงกับความรู้สึกของมนุษย์ (Flynn, 1988)

ระดับเสียงที่แตกต่าง (เดซิเบล)	ความรู้สึกแตกต่าง	ระดับพลังงานเสียงที่แตกต่าง
1	หน่วยพื้นฐานของการวัดเสียง	1.25
3	ยากที่จะรับรู้ความแตกต่าง	2
6	รับรู้ความแตกต่างได้ (JND)	4
10	รับรู้ความแตกต่างเทียบเท่าความดังเป็น 2 เท่า	10
20	รับรู้ความแตกต่างเทียบเท่าความดังเป็น 4 เท่า	100
30	รับรู้ความแตกต่างเทียบเท่าความดังเป็น 8 เท่า	1000
40	รับรู้ความแตกต่างเทียบเท่าความดังเป็น 16 เท่า	10^4
100	รับรู้ความแตกต่างเทียบเท่าความดังเป็น 1000 เท่า	10^{10}

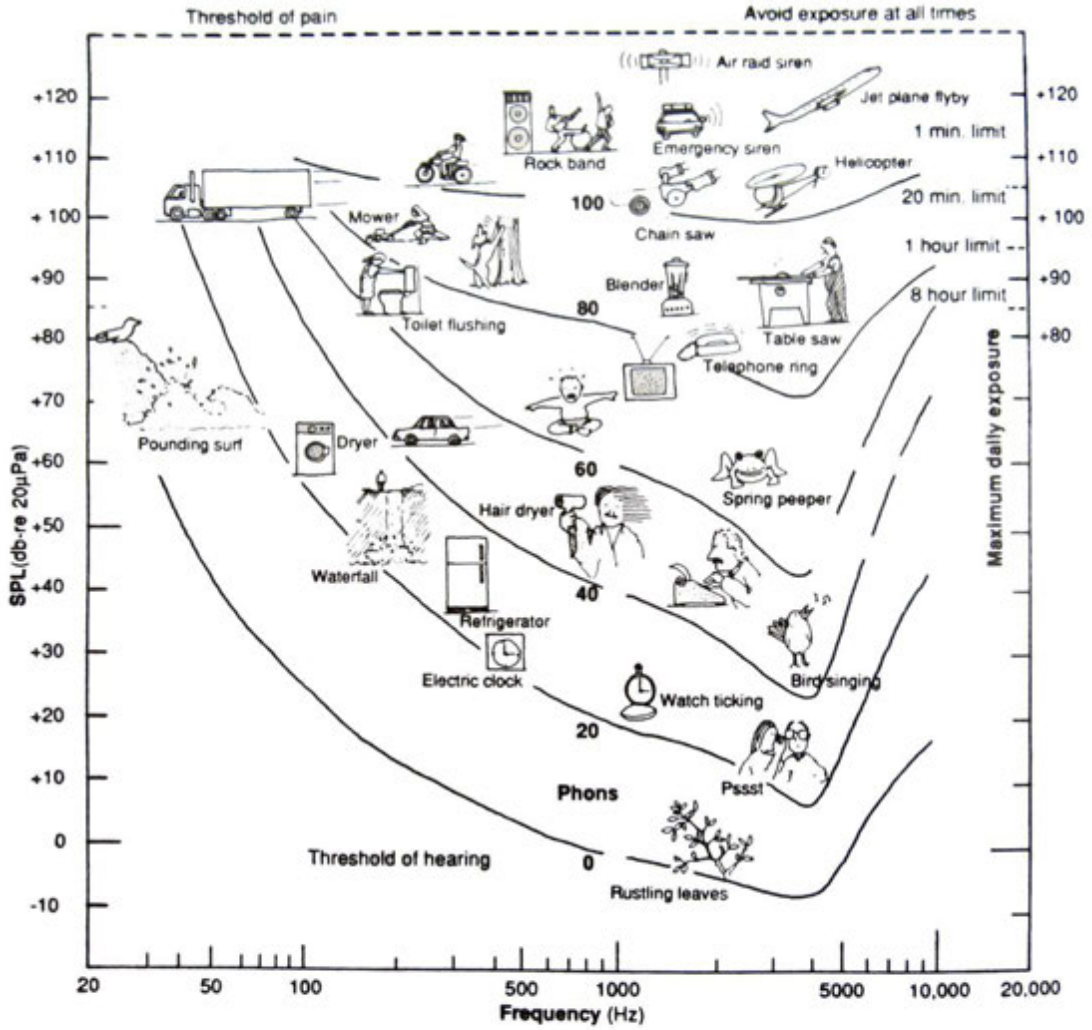
ความถี่ของเสียงที่ต้องพิจารณาในการออกแบบสภาพแวดล้อมด้านเสียง คือความถี่ในย่านที่หูมนุษย์ตอบสนอง คือ 20-20,000 เฮิร์ทซ (Hertz, Hz) ในการออกแบบและคำนวณจะแยกย่านของความถี่ออกเป็น 63Hz

125Hz 250Hz 500Hz 1000Hz 2000Hz และ 4000Hz โดยลักษณะของเสียงที่พูด (Speech sound) มีลักษณะเป็นช่วงตามภาพที่ 2 และลักษณะเสียงในสภาพแวดล้อม ภาพที่ 3



The positions of speech and wide range music in the human ear's aural field are illustrated. Speech is in the nominally linear response area of the ear as is most music . Beyond these frequencies, the ear's action is effectively to attenuate the signal.

ภาพที่ 2 แสดงลักษณะของเสียงที่พูด (Stein and Reynolds, 2000)



Common sound sources plotted at their dominant frequencies and levels as typically heard by the observer. The equal loudness curves (see Section 26.11) show why certain sounds seem louder than others, despite the pressure levels that would indicate the contrary [Reprinted with modification from F. A. White, Quieting: A Practical Guide to Noise Control *(1976).]*

ภาพที่ 3 แสดงลักษณะเสียงในสภาพแวดล้อม (Stein and Reynolds, 2000)

<u>ทฤษฎีความรู้สึกสบายด้านการได้ยินและการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมด้านเสียง</u>

ปัจจัยด้านเสียงทำให้ผู้เรียนเกิดความรู้สึกได้ทั้งความประทับใจ ความพอใจในสิ่งเร้าที่ดี และความสมบูรณ์ในการสื่อสาร รวมถึงหากขาดการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมที่ดีสภาพแวดล้อมของเสียงก็จะเปลี่ยนจากเสียงที่ต้องการฟัง (Sound) กลายเป็นเสียงรบกวน (Noise) ที่สร้างความรำคาญ เป็นอุปสรรคในการสื่อสาร และทำให้อยู่ในสภาวะที่ยากจะทนได้

ในกรณีสนามยิงปืน เสียงปืนยังเป็นเสียงที่เกิดขึ้น โดยมีความดังสูงมาก ทำให้ประสาทและแก้วหู อาจเกิดความเสียหายได้ ในระยะยาวจะทำให้เกิดสภาวะเสื่อม และหูตึงในที่สุด

ความรู้สึกสบายด้านการได้ยิน

ความรู้สึกสบายด้านการได้ยิน (Acoustical comfort) คือความรู้สึกพอใจในสภาพแวดล้อมด้านเสียง สามารถได้ยินเสียงที่ต้องการฟัง และสื่อสารได้อย่างชัดเจน ในระดับเสียงที่พอเหมาะ ไม่ดังมากเกินไปและไม่เงียบเกินไป ตลอดจนสามารถควบคุมเสียงรบกวนให้อยู่ในระดับที่พอเหมาะ ด้วยการป้องกันเสียง การดูดซับและการสะท้อนเสียง

มิติการเคลื่อนไหวของเสียง เกิดจากการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดเสียง คือแหล่งกำเนิดเสียงอยู่นิ่ง (Stationary) และแหล่งกำเนิดเสียงที่เคลื่อนที่ (Moving) ในการออกแบบสภาพแวดล้อมด้านเสียงต้องคำนึงถึงการเคลื่อนที่เพราะเป็นส่วนหนึ่งของการสื่อสารระหว่างผู้พูดและผู้ฟัง ในห้องเรียนรูปแบบบรรยายทั่วไปส่วนมากจะมีแหล่งกำเนิดเสียงค่อนข้างอยู่นิ่ง

ความอึกทึก (Lively) และความนิ่งเงียบ (Dead) ของสภาพแวดล้อมทางเสียงเป็นคุณภาพที่สำคัญอย่างหนึ่งของสภาพแวดล้อมทางเสียงในห้อง (Room acoustics) ที่บอกคุณสมบัติของความก้องกังวาลและบอกถึงระดับความอึกทึกและความนิ่งเงียบภายในห้อง คุณสมบัตินี้ค้นพบวิธีการคำนวณและวิธีการประเมินโดย ซาบิน (Wallance Clement Sabine) ในปี 1895 คุณสมบัตินี้เรียกว่า รีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ (reverberation time, RT) หมายถึงช่วงเวลา เมื่อมีเสียงดังเกิดขึ้นและเสียงนั้นลดลง 60 เดซิเบลในสภาพแวดล้อม จึงมีอีกชื่อย่อว่า RT60 ซึ่งเป็นค่าที่มีความสำคัญมากในการปรับปรุงคุณภาพเสียงของสนามยิงปืน

กรณีภายในห้องที่มีวัสดุดูดซับเสียงมากจะมีค่ารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ต่ำ หมายถึงสภาพแวดล้อมด้านเสียงภายในห้องนั้นนิ่งเงียบ กรณีภายในห้องมีวัสดุสะท้อนเสียงมากจะมีค่า รีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์สูง หมายถึงสภาพแวดล้อมด้านเสียงภายในห้องนั้นอึกทึก รีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ สามารถคำนวณหาได้ด้วยสมการที่ (1)

$$T = 0.049\frac{V}{a}$$	(1)

เมื่อ **T** คือ รีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ (reverberation time, RT60) มีหน่วยเป็น วินาที

V คือ ปริมาตรห้อง มีหน่วยเป็นลูกบาศก์ฟุต (ft^3)

a คือ การดูดซับเสียงรวมของห้อง มีหน่วยเป็นซาบิน (sabins)

(Egan, 1972) หมายเหตุ การคำนวณในการศึกษาวิจัยนี้ จะใช้ค่าคงที่ เท่ากับ 0.161 และหน่วยวัดเป็นมาตราเมตริก

ค่าการดูดซับเสียงรวมเกิดจากผลรวมของค่าการดูดซับของทุกพื้นที่ผิวภายในห้อง ตามสมการที่ 2

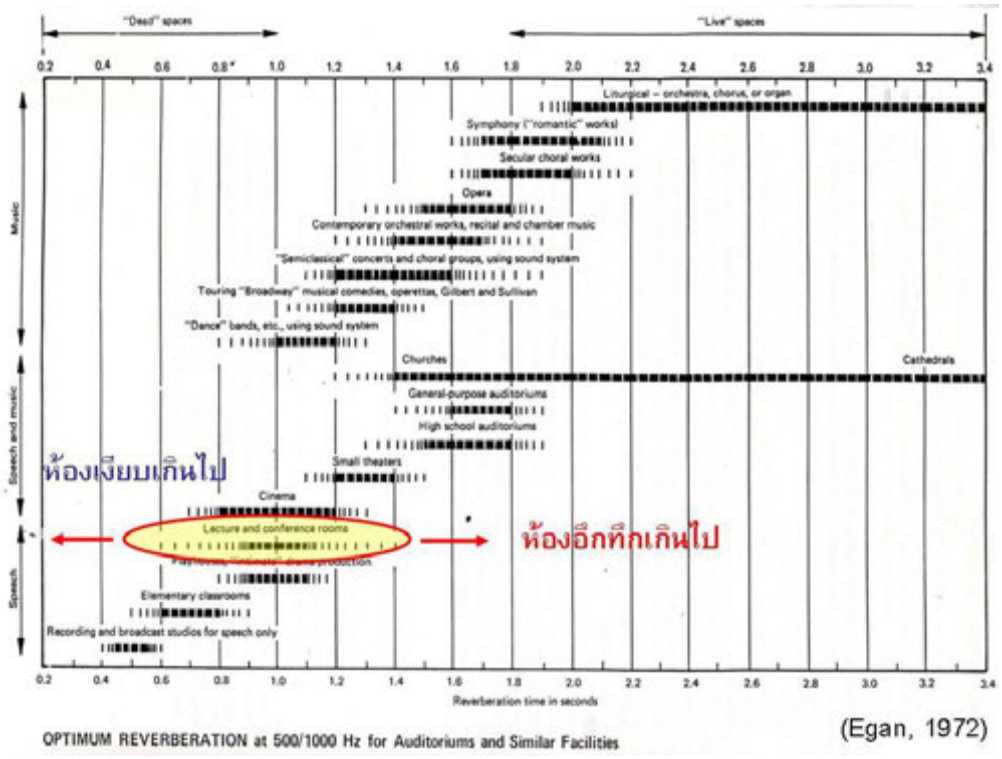
$a = \sum S\alpha$	(2)

เมื่อ **a** คือ การดูดซับเสียงรวมของห้อง มีหน่วยเป็นซาบิน (sabins)

S คือ พื้นที่ผิวในห้อง มีหน่วยเป็นตารางฟุต

α คือ ค่าการดูดซับเสียงของผิววัสดุ (Egan, 1972)

คุณสมบัติของรีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ในแต่ละรูปแบบการใช้งานของห้องมีความต้องการที่แตกต่างกัน กรณีในห้องที่ต้องการความนิ่งเงียบเช่นห้องอัดเสียง ต้องการรีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ที่ต่ำ กรณีห้องที่ต้องการความก้องกังวาลของเสียงเช่นห้องแสดงดนตรี ต้องการรีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ที่สูง ตามภาพที่ 4 ห้องทั่วไป รีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ ประมาณ 0.7-1.2 วินาที



ภาพที่ 4 รีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ที่เหมาะสมแต่ละรูปแบบการใช้งาน ในย่านความถี่ 500 และ 1000 เฮิร์ซ (Egan, 1972)

ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อรีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์ จากสมการที่ 1 พบว่าปริมาตรห้องเป็นตัวแปรที่สำคัญเช่นเดียวกับค่าการดูดซับเสียงภายใน กล่าวคือในห้องที่มีปริมาตรใหญ่จะมีปัญหารีเวอร์เบอร์เรชั่นไทม์มากเกินไปได้ง่ายกว่าห้องที่มีปริมาตรเล็ก ดังนั้นในการออกแบบห้องเรียนขนาดใหญ่จะต้องคำนึงถึงตัวแปรด้านนี้เป็นพิเศษ

คุณภาพความชัดเจนของเสียง (Sound sharpness) เป็นปัจจัยที่สำคัญในการสื่อสาร โดยเฉพาะห้องเรียนที่ต้องการความชัดเจนของการออกเสียงเป็นพิเศษ เช่น ห้องเรียนภาษา ปัญหาที่ทำให้เกิดความไม่ชัดเจนของเสียงได้แก่การเกิดเสียงก้อง (echo) ต่างๆ ในห้อง

ลักษณะกายภาพของเสียงที่เกี่ยวข้องกับการได้ยินของมนุษย์ ประกอบด้วยระดับของเสียง (sound-level) และความถี่ของเสียง (frequency) ระดับของเสียง (sound-level)บอกด้วยค่าระดับความเข้มเสียง (intensity level, IL) มีหน่วยเป็นเดซิเบล (decibel, dB) หมายถึงปริมาณระหว่างความเข้มเสียง (intensity) ของเสียงนั้นกับความเข้มเสียงฐานหรือความเข้มเสียงแรกที่คนรู้สึกได้ยิน (threshold of hearing) ที่มีค่าเท่ากับ 10^{-16} วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร หรือเท่ากับ 1 dB เนื่องจากเสียงในสภาพแวดล้อมจริงมีความถี่หลายย่าน ดังนั้นในการวัดระดับความดังของเสียงที่ตอบสนองต่อการได้ยินของมนุษย์จะใช้มาตรวัดระดับ เอ (scale A) ซึ่งมีหน่วยคือเดซิเบลเอ (dBA)

มนุษย์จะรู้สึกถึงความดังจากการรับรู้ในการได้ยินจากความต่างของเสียงที่ต่างกันตามตาราง ในห้องเรียนหากค่าระดับของเสียงผู้พูดที่ตำแหน่งของผู้ฟังมีค่ามากกว่าระดับเสียงพื้นหลัง (background noise) มากกว่า 6 dBAหมายความว่าผู้ฟังเพียงเริ่มรู้สึกถึงเสียงที่พูด (just noticeable difference, JND) หากต้องการให้เสียงพูดนั้นได้ยินชัดต้องใช้ความแตกต่างประมาณ 10-20 dBA หมายถึงดังกว่า 2-4 เท่า

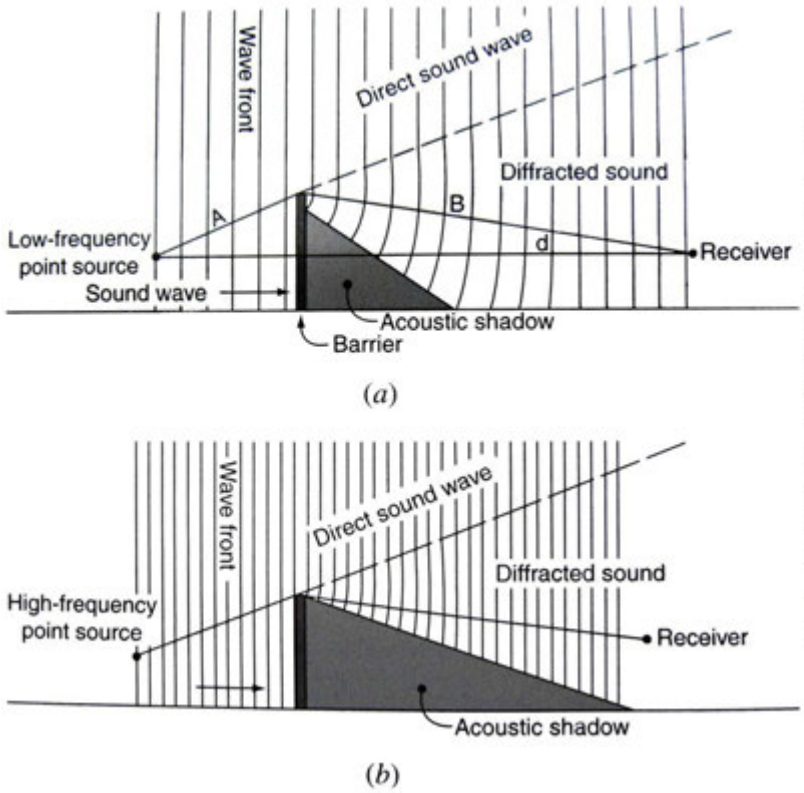
ตารางที่ 2 ระดับความดังและพลังงานเสียงที่หนุษย์รับรู้ (Flynn, 1988)

ระดับเสียงที่แตกต่าง (เดซิเบล)	ความรู้สึกแตกต่าง	ระดับพลังงานเสียงที่แตกต่าง
1	หน่วยพื้นฐานของการวัดเสียง	1.25
3	ยากที่จะรับรู้ความแตกต่าง	2
6*	รับรู้ความแตกต่างได้ (JND)	4
10	รับรู้ความแตกต่างเทียบเท่าความดังเป็น 2 เท่า	10
20	รับรู้ความแตกต่างเทียบเท่าความดังเป็น 4 เท่า	100
30	รับรู้ความแตกต่างเทียบเท่าความดังเป็น 8 เท่า	1000
40	รับรู้ความแตกต่างเทียบเท่าความดังเป็น 16 เท่า	10^4
100	รับรู้ความแตกต่างเทียบเท่าความดังเป็น 1000 เท่า	10^{10}

ความถี่ของเสียงที่ต้องพิจารณาในการออกแบบสภาพแวดล้อมด้านเสียง คือความถี่ในย่านที่หูมนุษย์ตอบสนอง คือ 20-20,000 เฮิร์ทซ (Hertz, Hz) ในการออกแบบและคำนวณจะแยกย่านของความถี่ออกเป็น 63Hz 125Hz 250Hz 500Hz 1000Hz 2000Hz และ 4000Hz โดยลักษณะของเสียงที่พูด (speech sound) มีลักษณะเป็นช่วง ที่ประมาณ 400-600 Hz ส่วนเสียงดังจากปืนมีลักษณะแตกต่างซึ่งต้องมีการเก็บข้อมูลจากสถานที่จริง

ปัจจัยด้านการได้ยินที่ปรุงแต่งโดยสภาพแวดล้อม

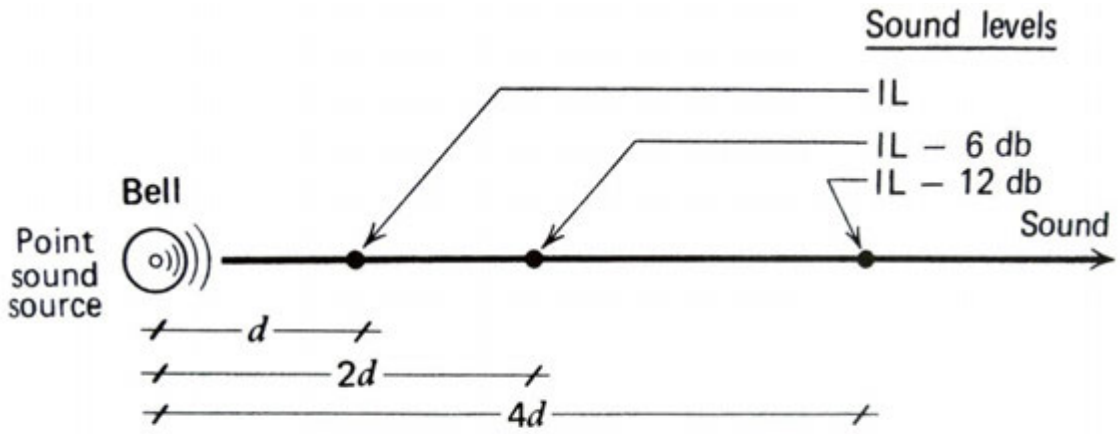
สถานที่ตั้ง (Location) เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากหากอาคารอยู่บนพื้นที่ที่มีแหล่งกำเนิดเสียงที่แตกต่าง อาจเกิดเสียงรบกวน เช่น พื้นที่อยู่อาศัย อยู่ใกล้กับทางสัญจรสาธารณะ พื้นที่บ้านอยู่อาศัยอยู่ใกล้สนามยิงปืน ตามการพัฒนาขยายตัวของเมืองหลวง ซึ่งมีเสียงรบกวนมากหรือน้อย มีเสียงที่พึงประสงค์หรือไม่ ส่งผลต่อการออกแบบ และส่งผลต่อประสิทธิภาพในการใช้อาคารอีกต่อหนึ่งด้วย การป้องกันเสียงรบกวน (Noise control) นั้น มีความสำคัญจากที่ได้กล่าวไปในหัวข้อเสียงรบกวนที่ผ่านมา ส่วนการป้องกันก็สามารถทำได้โดยการใช้วิธีการต่าง ๆ เช่น การใช้วัสดุกันเสียง การใช้กำแพงกันเสียง การใช้เนินดิน การลดช่องหรือ รอยแตกต่าง ๆของผนัง ที่เสียงสามารถลอดผ่านได้ เป็นต้น



Comparison of the effect of a barrier on sources of different frequencies. The low-frequency sound (a) *diffracts more readily over the barrier than the high-frequency sound* (b) *because of its longer wavelength. Thus the lower the frequency, the smaller the "acoustic shadow" and the lower the barrier attenuation. Of course, the "shadow" is not sharply defined; it represents increasing attenuation as the observer approaches the barrier.*

ภาพที่ 5 ตัวอย่างการป้องกันเสียงด้วยการใช้เนินดิน (Stein and Reynolds, 2000)

ระยะระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงจากปืนและผู้ได้ยินเสียงภายนอกสนาม (Distance) สามารถกำหนดได้จาก ระยะความยาวมาตรฐานของสนามแต่ละประเภท ระยะการมองเห็นของผู้ยิงปืนกับเป้าหมาย หรือกำหนดได้จากระดับความดังของเสียงที่ผู้ฟังได้ยิน นอกจากนี้ ระยะระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงและผู้ฟังนั้นต้องยังสามารถมองเห็นพื้นที่เป้าหมายได้อย่างชัดเจน ซึ่งมีความจำเป็นต่อการฝึกซ้อมเช่นเดียวกันเพราะทุกครั้งที่ระยะทางห่างเป็น 2 เท่า ค่าระดับความดังของเสียงจะลดลงเทียบเท่า 6 เดซิเบล ตามภาพที่ 6



Sound energy levels at varying distances from the source. Each doubling of distance reduces the level by 6 dB. These relationships hold true only in a free field.

ภาพที่ 6 แสดงค่าระดับความดังของเสียงที่ลดลงเมื่อห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง (Stein and Reynolds, 2000)

ขนาดและรูปร่างของห้อง (Room size and shape) ควรออกแบบให้มีความสัมพันธ์กับมาตรฐานสนามยิงปืน จำนวนของผู้ฝึกซ้อม ลักษณะอาวุธปืนที่ใช้ ความถี่และความดังของเสียงปืนที่เกิดขึ้น นอกจากนี้รูปร่างและขนาดพื้นที่สนาม ยังมีผลต่อจิตวิทยาของผู้ใช้อาคารอีกด้วย

การสะท้อนของเสียง (Sound reflection) มุ่งเน้นการออกแบบเพื่อให้เกิดการดูดซับเสียง ณ แหล่งกำเนิดเสียง เพื่อลดพลังงานเสียงที่กระจายออกสู่พื้นที่ภายนอกอาคาร โดยทั่วไปพื้นผิวที่เรียบมักจะมีคุณสมบัติสะท้อนเสียงจากบริเวณจุดกำเนิดเสียง และสะท้อนไปสู่พื้นที่โดยรอบ

การดูดซับเสียง (Sound absorption) จะต้องการออกแบบให้มีความสอดคล้องกับส่วนสะท้อนเสียง กล่าวคือส่วนดูดซับเสียงจะช่วยทำให้เสียงไม่เกิดการสะท้อนก้องไปมาซึ่งเป็นสาเหตุให้พลังงานเสียงเพิ่มขึ้น รวมทั้งหากมีการติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงที่ดูดซับเสียงได้ดีบางคลื่นความถี่ที่ไม่ตรงกับความถี่ของเสียงที่เกิดขึ้น

ตำแหน่งของวัสดุต่าง ๆ (Position of material) ต้องมีการออกแบบให้สอดคล้องกันระหว่างวัสดุทั่วไป วัสดุสะท้อนเสียง และวัสดุดูดซับเสียง

ทิศทางของการติดตั้งวัสดุ (Direction of material) เช่นเดียวกันกับปัจจัยที่ผ่านมา คือในส่วนนี้ต้องมีการออกแบบให้สอดคล้องกันระหว่างวัสดุทั่วไป วัสดุสะท้อนเสียง และวัสดุดูดซับเสียง โดยเฉพาะอย่างยิ่งทิศทางของวัสดุสะท้อนเสียงต้องมีการพิจารณาค่าความเอียงของระนาบอย่างถี่ถ้วน

ภาพที่ 7 เครื่องมือวัดความดัง (Hz.) และความก้องกังวานของเสียง (RT-60)

7. วิธีการ เก็บข้อมูลเสียง

7.1 ศึกษาตรวจวัด และเก็บข้อมูลทางกายภาพ ของสนามยิงปืนระยะ 25 เมตร

7.2 กำหนดแหล่งกำเนิดเสียงที่มีความดัง เสียงของปืนที่ใช้กระสุนแต่ละประมาณ 9 มม. .38 และ .45 ขณะยืนยิง โดยใช้ปืนขนาดต่างๆ ดังนี้

7.2.1 Kimber 5" .22 LRHV

7.2.2 CZ 4" 9 mm.(ลูกซ้อม)

7.2.3 CZ 4" 9 mm. 115 Grain (ลูกจริง)

7.2.4 ลูกโม่ 4" .38 (ลูกซ้อม)

7.2.5 ลูกโม่ 4" .38 (ลูกจริง)

7.2.6 ลูกโม่ 4" .38 Special Super + P

7.2.7 ลูกโม่ 4" .357 Maxnum

7.2.8 Kimber 5" .45 LRHV (ลูกซ้อม)

7.2.9 Kimber 5" .45 LRHV (ลูกจริง)

7.3 ประเมินค่าการดูดซับเสียง ของวัสดุผิวภายในสนาม ระยะยิง 25 เมตร

7.4 เก็บข้อมูล ความถี่ ความดังเสียงก่อนและการใช้ฉนวนตัวอย่าง มีพื้นที่ดูดซับเสียงประมาณ 4 ตารางเมตร ณ จุดกำเนิดเสียง

7.5 สัมภาษณ์ผู้สังเกตุการณ์ในสนามยิงปืนเบื้องต้น ก่อนและหลังการใช้ฉนวน

ภาพที่ 8 ประเภทปืนสั้นและเครื่องกระสุนที่ใช้ในการวิจัย ภายในสนามยิงปืนระยะ 25 เมตร

ภาพที่ 9 ประเภทปืนลูกโม่สั้นและเครื่องกระสุนที่ใช้ในการวิจัย ภายในสนามยิงปืนระยะ 25 เมตร

ภาพที่ 10 อุปกรณ์ป้องกันเสียงของผู้ใช้สนามยิงปืน สนามยิงปืนระยะ 25 เมตร

ภาพที่ 11 ช่องยิงจำนวน 8 ช่อง ของผู้ใช้สนามยิงปืน สนามยิงปืนระยะ 25 เมตร ในการเก็บข้อมูลใช้ช่องยิงที่ 5 ซึ่งเป็นตำแหน่งกลางของสนามยิงปืน

ภาพที่ 12 ช่องยิงจำนวน 8 ช่อง ของผู้ใช้สนามยิงปืน สนามยิงปืนระยะ 25 เมตร การเตรียมและติดตั้งเครื่องมือเก็บข้อมูลเสียง

ภาพที่ 13 ช่องยิงที่ 5 ในการเก็บข้อมูลเสียงของสนามยิงปืนระยะ 25 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งกลางของสนามยิงปืน

8. ผลการวิจัยการปรับปรุงสนามยิงปืน

ผลการวิจัยและการเก็บข้อมูลความดังของเสียงจากปืนและเครื่องกระสุนขนาดต่างๆ

วันที่ 18 กันยายน 2557 นักวิจัยได้เก็บข้อมูลเสียงและการสะท้อนเสียงของสนามยิงปืนระยะ 25 เมตร พบว่า ข้อมูลค่าการสะท้อนเสียงของสนามยิงปืน ระยะ 25 เมตร RT60 อยู่ระหว่าง 0.79-1.42 วินาที (ค่าจากการคำนวนประมาณ 0.92 วินาที)

วันที่ 15 ตุลาคม 2556 นักวิจัยทดสอบการใช้ฉนวนเพื่อเป็นกรณีศึกษา ทดสอบการดูดซับเสียง โดยใช้วัสดุฉนวนใยแก้วที่มีความหนาแน่นไม่น้อยกว่า 48 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือเทียบเท่า ขนาดแผ่นละ 1 ตารางเมตร จำนวน 4 แผ่น รวม 4 ตารางเมตร

ผลการเก็บข้อมูลพบว่า

ค่าการสะท้อนเสียงของสนามยิงปืน เมื่อติดตั้งวัสดุดูดซับเสียง โดยใช้ฉนวนใยแก้ว 4 ตารางเมตร RT60 อยู่ระหว่าง 0.71-0.94 วินาที ลดลงจากเดิม 0.08-0.48 วินาที (ค่าจากการคำนวนประมาณ 0.89 วินาที)

ผลการเก็บข้อมูลเปรียบเทียบก่อนและหลังการใช้ฉนวนทดสอบจำนวน 4 ตารางเมตร พบว่า

- ความดังเสียงกระสุนขนาด .22 มีความดังลดลงเฉลี่ย 5 ถึง 10 เดซิเบล (dBA)
- ความดังเสียงกระสุนขนาด .38 มีความดังลดลงเฉลี่ย 2 ถึง 5 เดซิเบล (dBA)
- ความดังเสียงกระสุนขนาด .45 มีความดังลดลงเฉลี่ย 2 ถึง 5 เดซิเบล (dBA)

เมื่อติดตั้งฉนวนบริเวณช่องยิง ผนังด้านหลังช่องยิง ฝ้าเพดาน และคานด้านหน้าช่องยิง ค่า NRC ประมาณ 1.05 รวมพื้นที่ประมาณ 140-150 ตารางเมตร จะสามารถลดปริมาณความดังเสียงประมาณ และค่าการสะท้อนเสียง RT-60 ประมาณ 0.56 วินาที ตามผลการคำนวณ

ผลการทดสอบกรณีศึกษา โดยการใช้วัสดุดูดซับเสียงจำนวน 4 ตารางเมตร เพื่อเก็บข้อมูลความดังเสียง ตลอดจนการลดความดังเสียงสะท้อนภายในสนามยิงปืนเบื้องต้น ของสนามยิงปืนระยะ 25 เมตร สรุปได้ว่า การใช้วัสดุดูดซับเสียงที่ผู้วิจัยกำหนด สามารถลดความดังเสียงลงได้ 2 ถึง 10 เดซิเบล และลดค่าการสะท้อนเสียงของห้องลงได้ ประมาณ 0.05 วินาที การใช้ฉนวนที่มีพื้นที่เพียง 4 ตารางเมตร เป็นเพียงพื้นที่ประมาณ ร้อยละ 3 ของพื้นที่ดูดซับเสียงในการออกแบบและเสนอแนะของนักวิจัย ดังนั้น การใช้วัสดุดูดซับเสียงเพื่อติดตั้ง บนฝ้าเพดาน ผนังด้านหลัง ผนังด้านข้างพื้นที่ช่องยิง และผนังกั้นระหว่างช่องยิงนั้น จะสามารถช่วยลดความดังของเสียงลงได้ การใช้สนามยิงปืนโดยปกติ จะมีแหล่งกำเนิดเสียงมากที่สุด เพียง 8 จุด ตามช่องยิง ซึ่งพลังงานเสียงที่ก่อให้เกิดความดังนั้น จะมีพลังงานและความดังเพิ่มขึ้นไม่เกิน 10 เดซิเบล (dBA) เมื่อผู้ใช้สนามยิงปืนพร้อมๆ กัน ดังนั้น การติดตั้งวัสดุดูดซับเสียงตามที่ผู้วิจัยเสนอยังสามารถดูดซับเสียงได้เพียงพอกับปริมาณแหล่งกำเนิดเสียง เมื่อผู้ใช้สนามยิงปืน ใช้เครื่องป้องกันเสียงครอบที่หู จะช่วยป้องกันความดังเสียงได้อีกระดับหนึ่ง

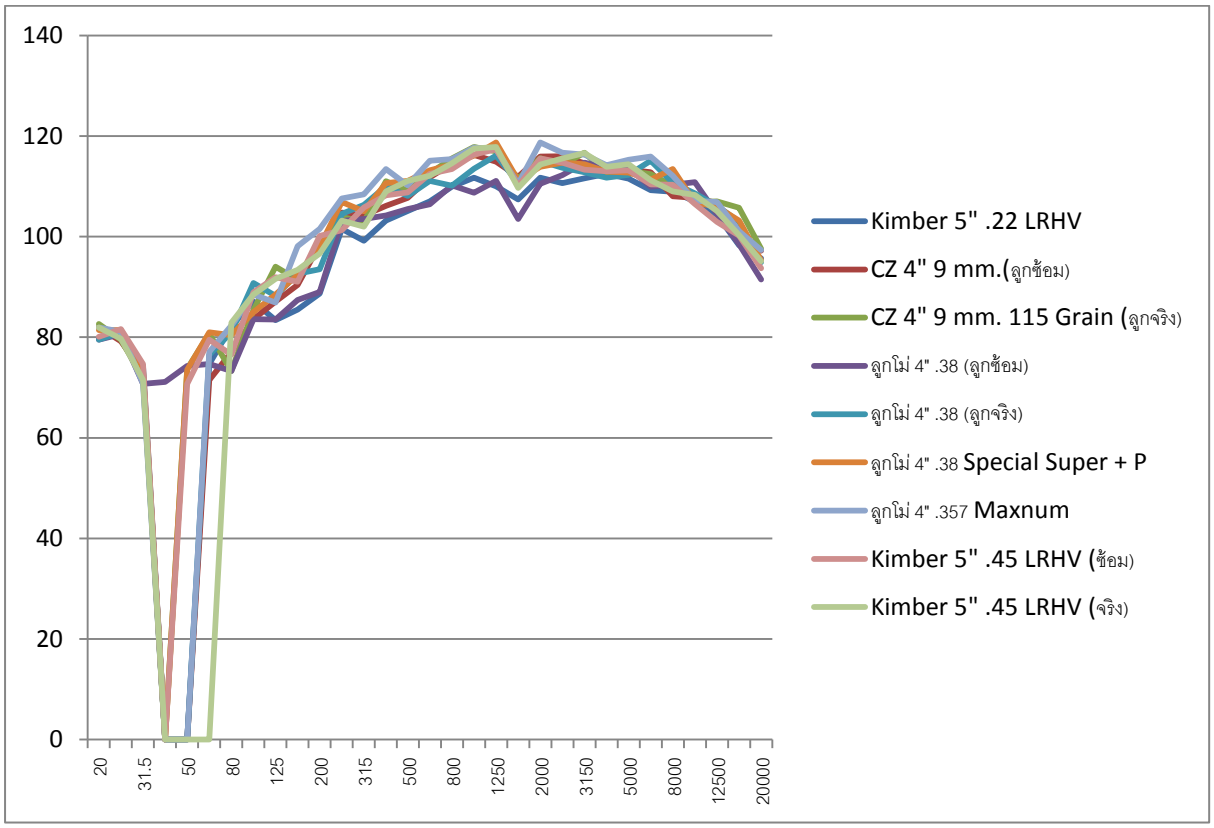
การลดความดังเสียงจากสนามยิงปืนที่ไปรบกวนสภาพแวดล้อมภายนอกนั้น หากความดังของเสียงไม่มากกว่า 80 ถึง 90 เดซิเบล ซึ่งเป็นค่าความดังของเสียงที่เกิดขึ้นจากท้องถนนสาธารณะ ที่มีแหล่งกำเนิดเสียงจากรถยนต์ มอเตอร์ไซค์ และรถบรรทุกสาธารณะ ซึ่งผู้ที่อยู่โดยรอบได้ยินเสียงที่ความดังในระดับนี้เป็นประจำทุกวัน

ตารางที่ 3 ข้อมูลความดังเสียงจากปืนและเครื่องกระสุนขนาดต่างๆ ในสนามยิงปืนระยะ 25 เมตร วันที่ 18 กันยายน 2556 เวลา 10:00-11:30 น.

ความถี่เสียง (Hz.) และการสะท้อนเสียงของสนามยิงปืนระยะ 25 เมตร (RT-60) Octave band	25	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	20000	Total	RT 60
Kimber 5" .22 LRHV	80.9	74.7	83.4	101.5	105.1	111.7	111.7	112.5	108.9	98.3	95.7	123.9	0.79
CZ 4" 9 mm.(ลูกซ้อม)	79.2	71.5	87.1	104.8	107.7	116.2	115.9	113.1	108	98.7	97.2	125.7	0.71
CZ 4" 9 mm. 115 Grain (ลูกจริง)	79.5	80.7	94	103.9	109.1	117.8	115.6	112.6	110.1	105.7	97.6	126.5	0.71
ลูกโม่ 4" .38 (ลูกซ้อม)	80.6	74.7	83.5	103.1	105.5	108.7	110.5	113.7	110.3	98.5	91.5	120.5	0.84
ลูกโม่ 4" .38 (ลูกจริง)	81	76.5	88.2	104.5	108.1	113.5	115	111.7	110.7	102.9	94.9	124.9	0.76
ลูกโม่ 4" .38 Special Super + P	81.4	81	88.5	106.9	111.1	116.1	113.9	112.9	113.4	103.2	95.3	125.5	0
ลูกโม่ 4" .357 Maxnum	81.1	77.1	86.9	107.6	110.2	117.7	118.7	114.2	112.1	101.1	97.3	127.2	1.17
Kimber 5" .45 LRHV (ลูกซ้อม)	81.6	79.5	91.9	101.3	108.8	116.3	115.5	113	110.3	100.2	93.7	125.9	0.93
Kimber 5" .45 LRHV (ลูกจริง)	79.7	0	91.6	103.2	111.1	117.5	114.3	113.9	109	100.3	95.1	123.6	1.42

ตารางที่ 4 ข้อมูลความดังเสียงจากปืนและเครื่องกระสุนขนาดต่างๆ ในสนามยิงปืนระยะ 25 เมตร วันที่ 15 ตุลาคม 2556 เวลา 10:00-11:30 น. พร้อมฉนวนใยแก้วความหนาแน่น ไม่น้อยกว่า 48 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือเทียบเท่า จำนวน 4 ตารางเมตร

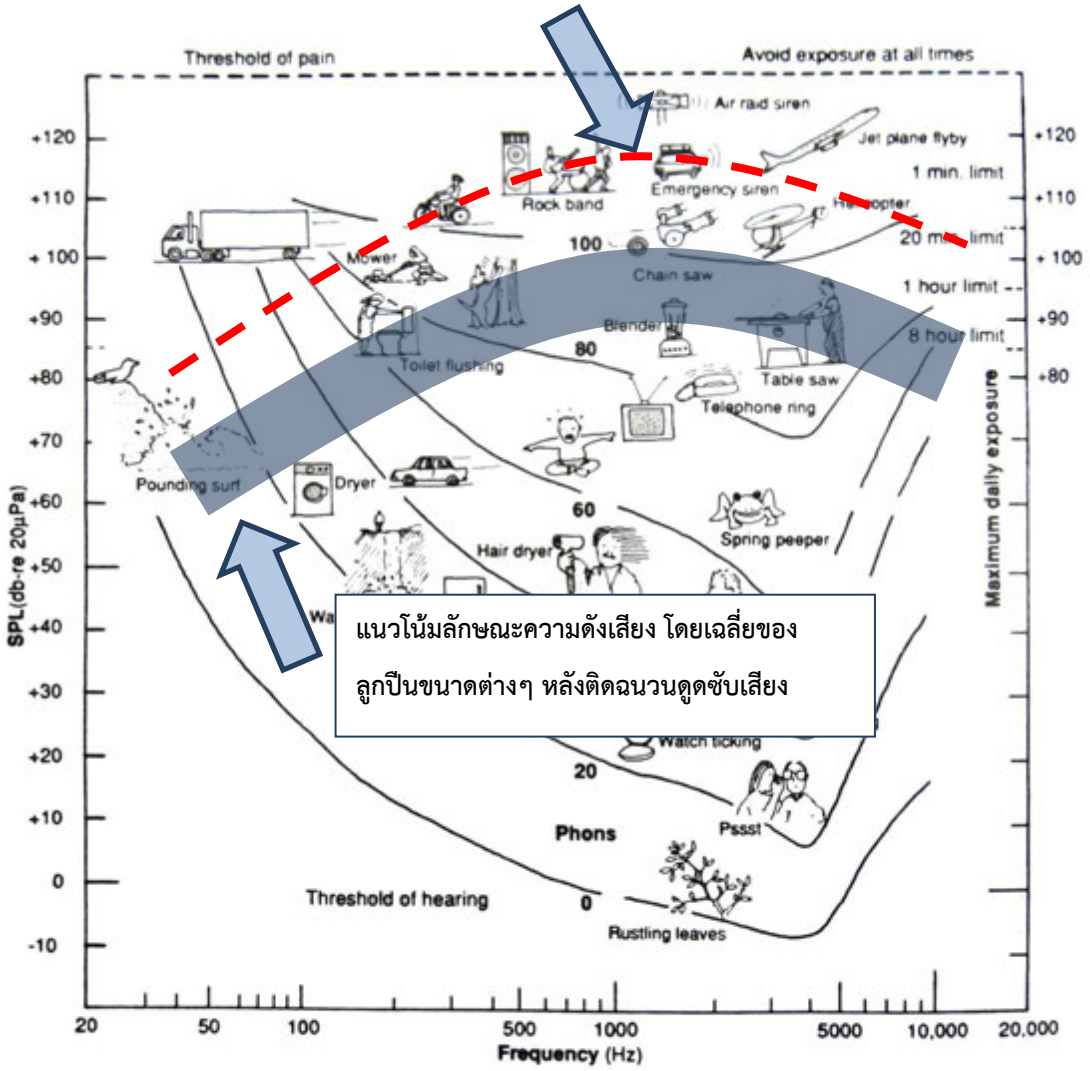
ความถี่เสียง (Hz.) และการสะท้อนเสียงของสนามยิงปืนระยะ 25 เมตร (RT-60) Octave band	**25**	**63**	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**	**16000**	**20000**	**Total**	**RT 60**
Kimber 5" .22 LRHV	53.6	66.6	73.2	81.9	84.4	92.3	91.8	94	94.7	89.4	87.6	102	0.73
CZ 4" 9 mm.(ลูกซ้อม)	80.3	75.2	85.6	101.7	101.9	110	110	111.2	108	95.1	92	122.4	0.78
CZ 4" 9 mm. 115 Grain (ลูกจริง)	78.5	74.5	83	102.1	103	109.4	111.5	110.1	105.8	99.1	92.2	122.3	0.72
ลูกโม่ 4" .38 (ลูกซ้อม)	80.3	77	89.9	101.3	102.6	108.9	110.1	109.3	105.9	97.2	90.7	120.1	0.71
ลูกโม่ 4" .38 (ลูกจริง)	78.2	83.8	89.2	104.7	105	115.6	114.5	113.5	110.2	98.1	93.9	126.3	0.94



ภาพที่ 14 กราฟความดังของเสียงของปืนและเครื่องกระสุนขนาดต่างๆ ภายในสนามยิงปืนระยะ 25 เมตร วันที่ 18 กันยายน 2556 เวลา 10:00-11:30 น.

ลักษณะความดังเสียง โดยเฉลี่ยของลูกปืนขนาด

ต่างๆ ที่อนุญาตให้ใช้ในสนามยิงปืน



Common sound sources plotted at their dominant frequencies and levels as typically heard by the observer. The equal loudness curves (see Section 26.11) show why certain sounds seem louder than others, despite the pressure levels that would indicate the contrary [Reprinted with modification from F. A. White, Quieting: A Practical Guide to Noise Control *(1976).]*

ภาพที่ 15 แสดงลักษณะความดังเสียงเฉลี่ยของปืนและเครื่องกระสุนที่ใช้ทดสอบ ภายในสนามยิงปืนระยะ 25 เมตร เปรียบเทียบกับเสียงในสภาพแวดล้อม ของ Stein and Reynolds (2000)

ตารางที่ 5 ข้อมูลเปรียบเทียบสนามยิงปืน ก่อนและหลังปรับปรุง

	สนามยิงปืนเดิม		**สนามยิงปืนที่ปรับปรุง**	
เสียง	ความถี่เสียงของ แหล่งกำเนิด กระสุนขนาด	.22 .38 .45	ความถี่เสียงของ แหล่งกำเนิด กระสุนขนาด	.22 .38 .45
	ความดังเสียง		ความดังเสียง	
	RT-60 (Reverberation Time, second)	0.79-1.42	RT-60 (Reverberation Time, second)	0.56-0.90
	α ค่าเฉลี่ยการดูดซับเสียงของผนังภายใน	0.1	α ค่าเฉลี่ยการดูดซับเสียงของผนังภายใน	0.2 และ 0.95
	พื้น	0.1	พื้น	0.1 (0.5)
	ฝ้าเพดาน	0.4	ฝ้าเพดาน	0.95

ตารางที่ 6 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุภายในสนามยิงปืน หลังการปรับปรุง

Material	Propriety	Thermal (U-value) ค่าการถ่ายเทความร้อน (m2.K/w) Btu/h.sf.F	Visual (Lux) ค่าการสะท้อนแสง	Acoustics (Absorption) ค่าการดูดซับเสียง	Acoustics (TL) ค่าการป้องกันเสียง
ผนัง	ฉนวน			0.95	
	ไม้			0.2	
	ก่ออิฐฉาบปูน			0.1	
	กระจก			0.1	
หน้าต่าง	ช่องเปิด			1.0	
	กระจก			0.1	
ประตู	กระจก			0.1	
พื้น	คอนกรีต			0.1	
เพดาน	ฉนวน			0.95	
อุปกรณ์	พัดลม				
	โคมไฟ				
	เสียงกริ่ง				
สรุป		**Q total = n/a Btu/hr.sf @ peak**		**RT 60 = 0.55-0.90 sec.**	**Average TL= n/a dBA**

หมายเหตุ : ขนาดสนามยิงปืนมาตรฐาน 14.00*25.00 เมตร พื้นที่ใช้สอยประมาณ 375 ตารางเมตร จำนวนผู้ฝึกซ้อม 8 คน

ตารางที่ 7 ตารางแสดงแนวทางการปรับปรุงสนามยิงปืนระยะ 25 เมตร

	สนามยิงปืนเดิม	**สนามยิงปืนปรับปรุง**
วัสดุพื้น	คอนกรีตและหญ้า	
ผนัง	ก่ออิฐฉาบปูน	กรุทับด้วยฉนวนใยแก้วหุ้มด้วยผ้า
เพดาน	แผ่นอะคูสติก 60*60 ซม.	ฉนวนใยแก้ว 60*60 ซม. ใช้โครงเดิม
สีภายใน	สีน้ำพลาสติก	
ผนังกั้นระหว่างช่องยิง	มุ้งลวด	ฉนวนใยแก้ว 1.20*1.20 เมตร ใช้โครงเดิมหุ้มด้วยผ้า

9. แผนการบริหารงานวิจัยและแผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 8 แผนการดำเนินงานปรับปรุงเพื่อลดความดังเสียง ของสนามยิงปืนระยะ 25 เมตร

การดำเนินงาน	**สัปดาห์**			
	1	2	3	4
เก็บข้อมูล				
วิเคราะห์ข้อมูล				
ตรวจสอบ ตรวจวัดข้อมูล เปรียบเทียบ ประเมิน สรุปผล				

10. เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

จันสอน สุลิวง. **แนวทางในการสร้างแบบประเมินค่าเสียงในอาคารเรียนระดับประถมศึกษา**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

จิตพัต ฉอเรืองวิวัฒน์. **สาระสำคัญด้านสภาวะน่าสบายที่เสริมสร้างอัจฉริยภาพของบ้านไทยในอดีต**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์. **โครงการวิจัยฐานข้อมูลผนังอาคาร.** คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุนสนับสนุนการวิจัยจาก สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2549.

วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์. **สาเหตุและผลกระทบจากปัญหาคุณภาพอากาศในอาคารสถาบันการศึกษาของประเทศสหรัฐอเมริกาและแคนาดา (Causes and Effect of Indoor Air Quality Problems in Education Facilities (Based on the United States and Canada Studies))** วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2543.

วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์. **การวิเคราะห์ สภาวะสิ่งแวดล้อม และคุณภาพอากาศในอาคาร กรณีศึกษา อาคารสถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (An Evaluation of Environment and Indoor Air Quality: Central Library Chulalongkorn University).** ทุนพัฒนาอาจารย์ใหม่/นักวิจัยใหม่ กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2542.

วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์. **Energy and Environmental Inputs In Building Operation (Condominium Case Study, Bangkok).** สาระศาสตร์ : การประชุมวิชาการประจำปีสถาปัตยกรรมและศาสตร์เกี่ยวเนื่อง ครั้งที่ 4 วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2544),

วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์. **พลิกโฉมแกนความคิดในการออกแบบสถาปัตยกรรมยั่งยืน.** บริษัท อาร์ต คลับ จำกัด. กรุงเทพฯ 2555.

สุธีวัน โล่ห์สุวรรณ. **การพัฒนาดัชนีสำหรับการประเมินประสิทธิภาพด้านพลังงานของกรอบอาคาร.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

สุธีวัน โล่ห์สุวรรณ. **นวัตกรรมการสร้างสรรค์ห้องเรียนคุณภาพสูงด้วยระบบธรรมชาติ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

ภาษาอังกฤษ

America Society of Heating, Refrigeration and Air Condition Engineering. **2001 ASHRAE Fundamentals Handbook IP Edition.** Atlanta Georgia: (n.p.), 2001.

America Society of Heating, Refrigeration and Air Condition Engineering. **1993 ASHRAE Fundamentals Handbook SI Edition.** Atlanta Georgia: ASHRAE, 1993.

Barron, M. **Auditorium Acoustics and Architectural Design.** London: E&FN spon, and imprint of Chapman & Hall, 1993.

Buranakarn, Vorasun. **The Paradigm Shift in Architecture.** Fostering Economic Growth Through Low Carbon Initiatives in Thailand. Chula Global Network, Chulalongkorn University. June, 2011. 117-200pp.

Egan, M. D. **Concepts in architectural acoustic.** New York: McGraw-Hill, 1972.

Flynn, J. E., Segil, A. W. and Steffy, G. R. **Architectural Interior Systems Lighting Acoustics Air Conditioning.** 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1988.

Lord, P. **The Architecture of Sound**. London: Architectural Press, 1986.

Olgyay, V. **Design with Climate Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism.** 4th ed. New Jersey: Princeton University Press, 1973.

Stein, B., Reynolds, J. S. and McGuiness, W. J. **Mechanical and Electrical Equipment for Buildings.** 7th ed. New York: John Wiley & Sons, 1986.

Stein, B. and Reynolds, J. S. **Mechanical and electrical equipment for Buildings.** 9th ed. New York: John Wiley & Sons, 2000.

11. ประวัติคณะผู้วิจัย

<u>ส่วน ข</u> : ประวัติผู้รับผิดชอบแผนงานวิจัย

<u>ผู้อำนวยการแผนงาน</u>

1. ชื่อ – นามสกุล (ภาษาไทย) รองศาสตราจารย์ ดร. วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์

ชื่อ – นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Assoc. Prof. Vorasun Buranakarn, Ph.D.

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3100904144538

3. ตำแหน่งปัจจุบัน

- รองศาสตราจารย์ ระดับ 9 ประจำคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ผู้อำนวยการฝ่ายวิจัย ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีอาคารและสิ่งแวดล้อม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ที่ปรึกษาคณะกรรมาธิการวิสามัญติดตาม เร่งรัด ประเมินผลการแก้ปัญหา และการพัฒนาจังหวัดชายแดนภาคใต้ วุฒิสภา
- กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
- กรรมการพัฒนานโยบายและขับเคลื่อนมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์
- กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
- ผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของ United Nations Environment Programme (UNEP)
- อดีตรองประธานมูลนิธิลดโลกร้อน
- ที่ปรึกษาระบบการบริหารจัดการอาคารและระบบสาธารณูปโภค อาคารเทพทวาราวดี คณะนิติศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ที่ปรึกษาระบบการบริหารจัดการอาคาร สถาบันวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีอาคารและสิ่งแวดล้อม
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท กรุงเทพฯ 10330
โทรศัพท์ 0-2218-4373, 0-2218-4370-1
โทรสาร 0-2218-4373, 0-2218-4372
vorasun1@gmail.com, cubest11@gmail.com

5. ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2555 ประกาศนียบัตรชั้นสูง หลักสูตรการบริหารงานภาครัฐและกฎหมายมหาชน รุ่นที่ 11 (ปรม.) สถาบันพระปกเกล้า.

พ.ศ. 2541 Ph.D. in Architecture
College of Architecture, University of Florida, USA.
พ.ศ. 2535 M. Arch. in Computer Graphic and Design Method
College of Architecture and Regional Planning,
University of Colorado at Denver, USA.
พ.ศ. 2533 สถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. สาขาที่มีความชำนาญพิเศษ

สาขาเทคโนโลยีอาคารและสิ่งแวดล้อม

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

รางวัลและเกียรติคุณ

พ.ศ. 2556 รางวัลดีเด่น ประจำปี 2555 Thailand Energy Awards อาคารสภาสถาปนิก ประเภทอาคารใหม่ กระทรวงพลังงาน

พ.ศ. 2552 รางวัลศิษย์ดีเด่น ประจำปี 2552 จากสมาคมนิสิตเก่า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2552 รางวัลผู้นำวิทยาศาสตร์พลังงานทางเลือกดีเด่นแห่งชาติ จากงานประชุมนิทรรศการพลังงานทางเลือกนานาชาติ จัดโดยกระทรวงวิทยาศาตร์และเทคโนโลยีและศูนย์บริการวิชาการแห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ.2541 Outstanding Academic Achievement, International Students Academic Award, Office of International Studies and Programs, International Student Council, University of Florida, USA.

พ.ศ. 2541 Thai Government Scholarship to study in doctoral level (Energy Conservation).

พ.ศ. 2535 Member of Tau Sigma Delta Honor Society in Architecture and Allied Arts (4.00 GPA), University of Colorado at Denver, USA.

พ.ศ. 2533 Architectural Design Award with gold medal in Thesis Design (1strank), Faculty of Architecture, Chulalongkorn University, Thailand.

ประสบการณ์ด้านการบริหาร (Executive Experience)

พ.ศ.2552 รักษาการ รองอธิการบดีฝ่ายพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีปทุมวัน

พ.ศ.2551 อนุกรรมการพิจารณากำหนดรูปแบบการบริหารศูนย์บริการนักท่อง แสดงและจำหน่ายผลิตภัณฑ์ชุมชนและท้องถิ่น (บึงบ้านโพธิ์) อำเภอเมืองนครปฐม

พ.ศ.2545 – ปัจจุบัน ที่ปรึกษาระบบการบริหารจัดการอาคารและระบบสาธารณูปโภค อาคารเทพทวาราวดี คณะนิติศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (หนังสือ ที่ ทม 0321/2145 ลงวันที่ 25 พฤศจิกายน 2545)

2543 – ปัจจุบัน ที่ปรึกษาระบบการบริหารจัดการอาคาร สถาบันวิทยบริการ (สถาบันวิทยทรัพยากร) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (หนังสือ ที่ ทม 0326/1400 ลงวันที่ 31 พฤษภาคม 2545)

- การจัดสภาพแวดล้อมทางกายภาพในอาคาร
- ควบคุม กำกับ ดูแลงานระบบสาธารณูปโภคของอาคาร
- จัดทำแผนและกำหนดนโยบายด้านการประหยัดพลังงาน
- จัดทำราคากลาง การซ่อมแซม บำรุงรักษาและปรับปรุงอาคารสถานที่ เพื่อทำการสอบราคาหรือประกวดราคา

ผลงานวิจัยที่สำคัญ

พ.ศ.2552 โครงการออกแบบกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นเองภายในประเทศ ร่วมกับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ทุนสนับสนุนการวิจัยจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค งบประมาณ 15,166,036 บาท

พ.ศ.2552 โครงการวิจัยแบบบูรณาการต่อยอดองค์ความรู้ประหยัดพลังงานสู่บ้านพอเพียง ทุนสนับสนุนการวิจัยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ งบประมาณโครงการ 4,500,000 บาท

พ.ศ.2551 ชุดโครงการวิจัยการออกแบบเพื่อกายภาพบำบัดและสร้างดัชนีระบบนิเวศ ระยะที่ 2 ทุนสนับสนุนการวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติงบประมาณโครงการ 18,900,000 บาท

พ.ศ.2551 โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดทำโครงการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียคลองสังเขปและคลองบางปลาสร้อย ทุนสนับสนุนการวิจัยเทศบาลชลบุรี งบประมาณโครงการ 1,000,000 บาท

พ.ศ.2550 โครงการศึกษาวิจัยและออกแบบผังแม่บทพื้นที่หมู่บ้านผู้ประสบภัยสึนามิ จังหวัดบันดาอาเจ ประเทศอินโดนีเซีย ทุนสนับสนุนการวิจัย Nations Environment Programme (UNEP)

พ.ศ.2550 โครงการศึกษาวิจัยออกแบบศูนย์การเรียนรู้ จังหวัดตรัง ทุนสนับสนุนการวิจัยจากเทศบาลนครตรัง งบประมาณโครงการ 7,025,000.- บาท

พ.ศ.2550 โครงการศึกษาวิจัยปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานยางแท่ง (ระยอง) บริษัท ไทยฮั้วยางพารา จำกัด ทุนสนับสนุนการวิจัยจากบริษัท ไทยฮั้วยางพารา จำกัด (มหาชน) งบประมาณโครงการ 3,000,000 บาท

พ.ศ.2549	โครงการศึกษาหลักเกณฑ์การออกแบบบ้านพักอาศัยชุมชนและเมืองที่อนุรักษ์พลังงานและรักษาสิ่งแวดล้อมทุนสนับสนุน United Nation Environment Program (UNEP)
พ.ศ.2547	โครงการจัดวางและออกแบบองค์ประกอบในภูมิทัศน์เพื่อการประหยัดพลังงาน ทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) ระยะเวลา 15 เดือน ตั้งแต่ กันยายน 2547-ธันวาคม 2548 งบประมาณโครงการ 700,000 บาท ทุนสนับสนุนการวิจัย “การจัดทำฐานข้อมูลผนังอาคารในประเทศไทยสำหรับการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงาน” การศึกษา การเก็บข้อมูล ตรวจวัด รวมทั้งการสร้างแบบจำลองถ่ายเทความชื้นของผนังต่างๆ ด้วยกล่องทำลองถ่ายเทความชื้นของผนังต่าง ๆ โดยกองทุนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน จำนวน 9,920,000 บาท
2546	คณะกรรมการบริหารหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตร์ดุษฎีบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (คำสั่งที่ 98/2546 ลงวันที่ 9 มิถุนายน พ.ศ. 2546)
2545	เมธีวิจัย ทุนสนับสนุนการวิจัย สำนักงานนโยบายพลังงานแห่งชาติ (สพช.) – อิทธิพลของการแผ่รังสีจากผนังอาคารที่มีผลต่อภาวะน่าสบายของผู้อยู่อาศัย โดยนางสาวน้ำเพชร กงประเวชนนท์ วงเงิน 78,200 บาท – การศึกษาเพื่อหาแนวทางในการสร้างต้นแบบระบบกลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน เข้าสู่อาคารในเขตร้อน โดย นายพรหมสิทธิ์ สร้อยระย้า วงเงิน 56,000 บาท – โครงการศึกษาวิจัยสถาปัตยกรรมในไทยเพื่อการประหยัดพลังงาน โดยคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานนโยบาย พลังงานแห่งชาติ (สพช.) ระยะเวลา 20 เดือน ตั้งแต่ 16 พฤษภาคม 2545
2543	เมธีวิจัย ทุนสนับสนุนการวิจัย สำนักงานนโยบายพลังงานแห่งชาติ (สพช.) – การปรุงแต่งสภาวะน่าสบาย โดยอาศัยอิทธิพลจากผิวสัมผัสดิน กรณีศึกษาอาคารในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (An application of thermal comfort from earth contact case study: buildings in Northeastern, Thailand) – การพัฒนารูปแบบและวัสดุหลังคาพื้นถิ่นอีสาน เพื่อลดความรุนแรงของอุณหภูมิภายนอกเข้าสู่อาคาร (A development of roof design and roof

material in Northeastern to reduce temperature influence through building)

ผลงานการออกแบบที่สำคัญ

2553 การศึกษา วิเคราะห์ และออกแบบโรงเรียนโยธินบูรณะแห่งใหม่ ผู้ว่าจ้าง: โรงเรียนโยธินบูรณะ

2552 การออกแบบอาคารที่ทำการสภาสถาปนิกแห่งใหม่ ผู้ว่าจ้าง: สภาสถาปนิก

2552 การออกแบบก่อสร้าง สถานที่สำหรับพิธีเปิดท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ, สะพานเชื่อมจากสถานที่สำหรับพิธีไปอาคารผู้โดยสาร ชั้น 4 และป้าย “ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ SUVARNABHUMI AIRPORT” ผู้ว่าจ้าง: บริษัท ท่ากาศยานไทย จำกัด (มหาชน)

2552 - การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย ณ บ่อกักน้ำป้องกันน้ำท่วม บ่อที่ 1 หมู่ที่ 10 ตำบลสำโรงเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทปราการ: หัวหน้าโครงการ ผู้ว่าจ้าง: จังหวัดสมุทรปราการ

- การออกแบบก่อสร้างห้องเรียนธรรมชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

2551 การปรับปรุงห้องปฏิบัติการ BSL3 ชั้น 4 อาคาร 60 ปีฯ คณะสัตวแพทย์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลงาน บทความ สิ่งพิมพ์ต่างๆ

2553 “การออกแบบและสร้างบ้านพอเพียง เพื่อผู้มีรายได้น้อย” วารสารธนาคารอาคารสงเคราะห์ ฉบับที่ 60 เดือนมกราคม-มีนาคม 2553

2552 “บทสนทนาว่าด้วยความคิดทางสถาปัตยกรรมจากธรรมชาติศึกษา” วารสารธนาคารอาคารสงเครราะห์ ฉบับที่ 59 เดือนตุลาคม-ธันวาคม 2552

2552 “การพัฒนาโครงการที่อยู่อาศัยในแนวเน้นธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม” วารสารธนาคารอาคารสงเครราะห์ ฉบับที่ 59 เดือนตุลาคม-ธันวาคม 2552

2552 “A New Paradigm Shift Design for Global Warming Solution” หนังสือ Proceeding ประชุมWorld Alternative Energy Sciences Expo 2009 วันที่ 5-8 มีนาคม 2552

2549 - รางวัลลำดับที่ 13 ในการประกวดแบบขององค์การสหประชาชาติ (UNDP)

- โครงการอุทยานการเรียนรู้จังหวัดตรัง

ชื่อ – นามสกุล (ภาษาไทย) นายเดโช เกษมสุข

ชื่อ – นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Decho Kasemsuk

1. ตำแหน่งปัจจุบัน

ผู้ช่วยนักวิจัยศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีอาคารและสิ่งแวดล้อม
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีอาคารและสิ่งแวดล้อม
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โทรศัพท์ 0-2218-4373, 0-2218-4370-1
โทรสาร 0-2218-4373, 0-2218-4372
E-mail: cubest11@gmail.com, soars10@hotmail.com

3. ประวัติการศึกษา

ปัจจุบัน	นิสิตระดับปริญญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2543-2547	คณะรัฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
2540-2542	โรงเรียนปานะพันธ์

4. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

สาขาเทคโนโลยีอาคารและสิ่งแวดล้อม

5. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

ผู้เชี่ยวชาญการใช้ฉนวนไมโครไฟเบอร์เป็นเวลา 7 ปี

ชื่อ – นามสกุล (ภาษาไทย) นางสุภรินี จีระพันธุ์

ชื่อ – นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mrs.Suparinee Chirabundhu

1. ตำแหน่งปัจจุบัน

ผู้ช่วยนักวิจัยศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีอาคารและสิ่งแวดล้อม
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีอาคารและสิ่งแวดล้อม
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โทรศัพท์ 0-2218-4373, 0-2218-4370-1
โทรสาร 0-2218-4373, 0-2218-4372
E-mail: cubest11@gmail.com, soars10@hotmail.com