

# การศึกษาประสิทธิภาพในการจำลองเสียงในงานสถาปัตยกรรมด้วยแบบจำลอง 3 มิติ จากข้อมูลพอยต์คลาวด์

## A Study on the Efficiency of Architectural Acoustic Simulation Using 3D Models Created from Point Cloud Data

|              |            |
|--------------|------------|
| รับบทความ    | 17/02/2568 |
| แก้ไขบทความ  | 28/03/2568 |
| ยอมรับบทความ | 11/04/2568 |

สินธุ์ แสงอินทร์ ชวนนท์ โฆษกิจจาเลิศ\*

ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Sinth Sang-in, Chavanont Khosakitchalert

Department of Architecture, Faculty of Architecture, Chulalongkorn University

sinth.sangin@gmail.com, chavanont.k@chula.ac.th

\*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ

### บทคัดย่อ

เสียงในงานสถาปัตยกรรม (architectural acoustic) เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญ และส่งผลต่อสุขภาวะของผู้ใช้งานอาคารโดยตรง โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีการใช้เสียงเป็นส่วนสำคัญ เช่น สถานการศึกษา หรือพื้นที่จัดงานมหรสพ แม้ในปัจจุบันจะมีเครื่องมือและซอฟต์แวร์ด้านการจำลองเสียงในงานสถาปัตยกรรมจำนวนมาก แต่สำหรับอาคาร หรือบางพื้นที่ที่ไม่มีการทำแบบจำลอง 3 มิติ จึงเป็นเรื่องที่ต้องอาศัยแรงงานและเวลาหากต้องมีการรังวัดสภาพของอาคารจริงเพื่อนำไปสร้างแบบจำลอง 3 มิติ สำหรับการจำลองเสียง ในงานสถาปัตยกรรมโดยเฉพาะ ประกอบกับในปัจจุบัน การใช้เทคโนโลยีพอยต์คลาวด์ (Point Cloud) เริ่มเป็นที่แพร่หลายในอุตสาหกรรมด้านสถาปัตยกรรมและการก่อสร้าง เนื่องจากการเก็บข้อมูลพอยต์คลาวด์สามารถบันทึกและเก็บรายละเอียดของสภาพและแผนผังของอาคาร หรือพื้นที่ก่อสร้างที่มีอยู่จริงได้ ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างมากสำหรับโครงการก่อสร้างและบูรณะอาคาร

ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงศักยภาพของการนำข้อมูลพอยต์คลาวด์มาใช้ในการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ เพื่อทำการจำลองเสียงในงานสถาปัตยกรรม และประเมินประสิทธิภาพของวิธีการดังกล่าวกับการจำลองเสียงจากแบบจำลอง 3 มิติ ที่สร้างขึ้นจากการรังวัดพื้นที่อาคารจริงด้วยมือ โดยเสนอวิธีการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ จากข้อมูลพอยต์คลาวด์เพื่อใช้ในการจำลองเสียงทั้งหมด 2 วิธี ได้แก่ การสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการประยุกต์คำสั่ง Bounding Box บน Rhinoceros Grasshopper และการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ แบบ Voxel ด้วยเครื่องมือเสริม Volvox โดยทำการจำลองแบบจำลอง 3 มิติ ทั้งหมดด้วยชุดวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงโดยรวมของห้องที่แตกต่างกัน 2 ชุด

ผลจากการศึกษาพบว่า แบบจำลอง 3 มิติ ที่สร้างขึ้นจากข้อมูลพอยต์คลาวด์ทั้ง 2 แบบสามารถให้ผลการจำลองค่าตัวแปรของเสียงทั้ง 4 ค่า ได้แก่ ระยะเวลาก้องกังวาล (RT60) ระยะเวลาสลายตัวเร็ว (EDT) ค่าความชัดเจน (C80) และค่าดัชนีการส่งผ่านเสียงพูด (STI) ของทุกช่วงความถี่ทั้ง 6 ช่วง ตั้งแต่ 125 Hz ถึง 4000 Hz ที่มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน และมีปริมาณค่าตัวแปรทั้ง 4 ที่ใกล้เคียงกับการจำลองเสียงด้วยแบบจำลอง 3 มิติ ที่สร้างด้วยมือ โดยแบบจำลองแบบ Bounding Box สามารถให้ผลการจำลองที่มีความใกล้เคียงกับแบบจำลองที่สร้างด้วยมือมากกว่าแบบจำลองแบบ Voxel แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการนำวิธีการดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาและพัฒนาในอนาคต

**คำสำคัญ:** เสียงในงานสถาปัตยกรรม การจำลองเสียง ข้อมูลพอยต์คลาวด์ ลิดาร์สแกนนิ่ง คอมพิวเตอร์ช่วยในงานสถาปัตยกรรม

## Abstract

Architectural acoustics affect building users, especially in spaces like auditoriums. While tools exist for acoustic simulation, creating 3D models for buildings without them requires significant labor and time for surveying. With the growing use of point cloud technology in architecture and construction, it has become essential for capturing detailed information on existing buildings and renovations.

Recognizing the potential of point cloud data, this study explores its application in generating 3D models for architectural acoustic simulations and evaluates the effectiveness of this approach compared to traditional 3D models created manually from field measurements. Two methods are proposed for generating 3D models from point cloud data: a bounding box-based modeling approach using Rhinoceros Grasshopper and a Voxel-based modeling approach using the Volvox plugin. The 3D models were used to simulate acoustic performance under two different sets of material absorption coefficients.

The study found that both point cloud-based models successfully simulated four key acoustic parameters: Reverberation Time (RT60), Early Decay Time (EDT), Clarity (C80), and Speech Transmission Index (STI) across six frequency bands ranging from 125 Hz to 4000 Hz. The results followed the same trend and exhibited values similar to those obtained from the manually created 3D models. Among the two point cloud-based methods, the bounding box approach produced simulation results that more closely aligned with the manual models than the Voxel-based approach. This finding highlights the potential of these methods for further study and development in architectural acoustics.

**Keywords:** *architectural acoustics, sound simulation, Point Cloud, LiDAR Scanning, Computer-Aided Architectural Design*

## บทนำ

เสียงคือหนึ่งในสิ่งที่มีมนุษย์สามารถรับรู้ได้ผ่านประสาทสัมผัสด้านการฟัง ซึ่งล้วนก่อให้เกิดสถานะทางอารมณ์ของพวกมนุษย์ทั้งสิ้น (Ma et al., 2018) ซึ่งเสียงเป็นส่วนหนึ่งที่แยกออกจากชีวิตประจำวันของมนุษย์ไม่ได้ โดยเฉพาะผู้คนที่อยู่ในเขตเมืองซึ่งส่วนมากใช้เวลาชีวิตส่วนใหญ่อยู่ภายในอาคาร ไม่ว่าจะเป็นเพื่อการอยู่อาศัย การทำงาน หรือการสร้างความบันเทิง การศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของสิ่งแวดล้อมทางเสียงต่อการรับรู้ของมนุษย์ในบริบทเสียงในงานสถาปัตยกรรม (architectural acoustic) จึงมีความสำคัญ (Mak, 2015) ด้วยเหตุนี้จึงได้มีผู้คนทำการพัฒนาซอฟต์แวร์และเครื่องมือเสริมต่าง ๆ สำหรับทำการจำลองเสียงในงานสถาปัตยกรรมอย่างแพร่หลายเพื่อช่วยให้สถาปนิกได้ทำความเข้าใจ และสามารถประเมินประสิทธิภาพของเสียงในงานสถาปัตยกรรมตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ อย่างไรก็ตาม สำหรับการก่อสร้างหรือบูรณะอาคารเดิมที่มีอยู่แล้วเพื่อการพัฒนาประสิทธิภาพของเสียง โดยที่ไม่ได้มีการออกแบบ หรือวางแผนการก่อสร้างที่ละเอียดรอบคอบนั้นจะส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายที่สูงเกินจำเป็น (Wu & Clayton, 2013) และในบางครั้งการได้มาซึ่งแบบจำลอง 3 มิติ ที่มีความละเอียดแม่นยำสำหรับการนำไปจำลองเสียงในงานสถาปัตยกรรมของอาคารเดิมที่ไม่ได้มีการจัดทำแบบจำลอง 3 มิติมาก่อนนั้นอาจเป็นเรื่องที่ยาก เนื่องจากรายละเอียดของอาคารที่มากบวกกับต้องอาศัยแรงงานคนในการทำการรังวัดพื้นที่

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีข้อมูลพอยต์คลาวด์ (Point Cloud) ซึ่งเป็นรูปแบบข้อมูลที่สามารถแสดงข้อมูลของภูมิประเทศ หรือสภาพของสิ่งปลูกสร้างในรูปแบบกลุ่มจุดในระบบพิกัด 3 มิติ ซึ่งมีความยืดหยุ่นสำหรับการทำงานในโครงการต่าง ๆ โดยการแสดงข้อมูลในรูปแบบของชุดพิกัดช่วยให้ได้ชุดข้อมูลขนาดใหญ่ที่สามารถนำมาวิเคราะห์ข้อมูลที่สำคัญและเป็นประโยชน์ (GP Radar, 2025) ในด้านสถาปัตยกรรมและการก่อสร้าง การเก็บข้อมูลพอยต์คลาวด์จากอาคารนั้น สามารถบันทึกและเก็บรายละเอียดของสภาพและแผนผังของอาคาร หรือพื้นที่ก่อสร้างที่มีอยู่จริงได้ ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างมากสำหรับโครงการก่อสร้างและบูรณะอาคาร (Autodesk, 2025)

จากข้อจำกัดด้านการจำลองประสิทธิภาพของเสียงภายในพื้นที่อาคารที่จริงประกอบกับแนวโน้มในการใช้ข้อมูลพอยต์คลาวด์สำหรับงานด้านสถาปัตยกรรมและการก่อสร้างในปัจจุบัน ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงศักยภาพของการนำข้อมูลพอยต์คลาวด์มาใช้ในการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ เพื่อทำการจำลองเสียงในงานสถาปัตยกรรม และประเมินความแม่นยำของวิธีการดังกล่าวกับการจำลองเสียงจากแบบจำลอง 3 มิติ ที่สร้างขึ้นจากการรังวัดพื้นที่อาคารจริงด้วยมือ

## วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อพัฒนารูปแบบใหม่ในการวิเคราะห์ จำลอง และปรับปรุงเสียงในงานสถาปัตยกรรมด้วยข้อมูลพอยต์คลาวด์
2. เพื่อศึกษาความแม่นยำของการจำลองเสียงด้วยแบบจำลอง 3 มิติ ที่สร้างขึ้นจากข้อมูลพอยต์คลาวด์เมื่อเทียบกับการจำลองด้วยแบบจำลอง 3 มิติที่สร้างด้วยมือ
3. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความแม่นยำในการจำลองเสียงด้วยแบบจำลอง 3 มิติที่สร้างขึ้นจากข้อมูลพอยต์คลาวด์

## ขอบเขตของการศึกษา

- ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานและความสำคัญของการออกแบบเสียงในงานสถาปัตยกรรม รวมถึงค่าตัวแปรของเสียงต่าง ๆ ในการชี้วัดประสิทธิภาพของเสียงในงานสถาปัตยกรรม
- ศึกษาวิธีการในการประยุกต์ใช้ข้อมูลพอยต์คลาวด์เพื่อสร้างแบบจำลอง 3 มิติ สำหรับการจำลองเสียงในงานสถาปัตยกรรม
- ศึกษาความแม่นยำของการจำลองเสียงด้วยแบบจำลอง 3 มิติ ที่สร้างขึ้นจากข้อมูลพอยต์คลาวด์เมื่อเทียบกับการจำลองด้วยแบบจำลอง 3 มิติที่สร้างด้วยมือ ผ่านการกำหนดการตั้งค่าและตัวเลือกของวัสดุที่ใช้สำหรับการจำลองเสียงบนซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์

## การทบทวนวรรณกรรม

### เสียงในงานสถาปัตยกรรม

ในการประเมินประสิทธิภาพของการใช้เสียงในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งจำเป็นต้องมีการกำหนดตัวแปรของเสียงในการชี้วัด และแบ่งบอกถึงคุณลักษณะของเสียงภายในพื้นที่นั้น ๆ โดยตัวแปรของเสียงที่มีความสำคัญสำหรับการประเมินประสิทธิภาพของการใช้เสียงในอาคารนั้นประกอบไปด้วย

- ระยะเวลาก้องกังวาล (Reverberation Time: RT60) วัดได้จากระยะเวลาที่พลังงานเสียงลดลง 60 เดซิเบล (dB) หลังจากแหล่งกำเนิดเสียงหยุดส่งเสียง (สุรภฤกษ์ อ้นไพศาล, 2562)
- ระยะเวลาสลายตัวเร็ว (Early Decay Time: EDT) เป็นตัวแปรที่มีหลักการคล้ายกับระยะเวลาก้องกังวาล โดยจะวัดจากหกเท่าของระยะเวลาที่พลังงานเสียงในห้องลดลง 10 เดซิเบลแทน (Bradley, 2011)
- ค่าความชัดเจน (Clarity: C80) วัดได้ด้วยการหาอัตราส่วนระหว่างพลังงานเสียงช่วง 80 มิลลิวินาทีแรก และพลังงานเสียงช่วงหลัง 80 มิลลิวินาทีแรก (Cabrera, 2007)
- ค่าดัชนีการส่งผ่านเสียงพูด (Speech Transmission Index: STI) เป็นตัวชี้วัดความชัดเจนของเสียงพูดในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง โดยคำนึงถึงลักษณะทางอะคูสติกของพื้นที่ ระดับเสียงรบกวนพื้นหลัง และกิจกรรมที่สร้างเสียงรบกวนอื่น ๆ ที่อาจเกิดขึ้น (Association of Australasian Acoustical Consultants, 2020)

เสียงในงานสถาปัตยกรรมนับเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในการออกแบบพื้นที่ภายในอาคาร โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีการใช้เสียงในการสื่อสารเป็นหลัก เช่น หอประชุม ห้องเรียน เป็นต้น จากการศึกษาของโอนิกูและเบลโล (Oniku & Bello) (2012) เกี่ยวกับบทบาทของค่า RT60 กับประสิทธิภาพของเสียงในอาคาร พบว่า ค่า RT60 ที่เหมาะสมผลต่อความชัดเจนของเสียงพูดและคุณภาพเสียงดนตรี โดยเฉพาะในห้องเรียนที่ต้องมีการสื่อสารเสียงที่ติระหว่างครูและนักเรียน นอกจากนี้ การศึกษาของคอบ และคณะ (Kob et al.) (2008) เกี่ยวกับประสิทธิภาพของเสียงในอาคารกับสุขภาวะของคุณครูในโรงเรียน พบว่า การปรับปรุงคุณภาพเสียงในห้องเรียนสามารถช่วยลดปัญหาการใช้เสียงของคุณครูได้ จากการปรับปรุงที่ทำให้คุณครูสามารถลดการใช้เสียงที่ไม่จำเป็น และเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนการสอน และการศึกษาของลัชวานีและเดวี (Lachhwani & Devi) (2023) เกี่ยวกับความสำคัญของการออกแบบเสียงในห้องประชุมและพื้นที่การแสดง ชี้ให้เห็นถึงลักษณะสำคัญของการออกแบบเสียงในงานสถาปัตยกรรม เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง ค่า RT60 และการเลือกวัสดุในห้องประชุม เพื่อให้การสื่อสารด้วยเสียงมีความชัดเจนและมีคุณภาพเสียงที่ดีสำหรับการแสดงมหรสพ

### ข้อมูลพอยต์คลาวด์ในงานสถาปัตยกรรม

ข้อมูลพอยต์คลาวด์ (Point Clouds) คือชุดของจุดข้อมูลในระบบพิกัด 3 มิติ โดยแต่ละจุดในพอยต์คลาวด์ประกอบด้วยข้อมูลเฉพาะตัวหลายอย่าง เช่น สีและความสว่าง รวมถึงตำแหน่งของจุดในแนวแกน XYZ (Autodesk, 2025) ในปัจจุบัน หนึ่งในวิธีที่ได้รับความนิยม ได้แก่ การเก็บข้อมูลพอยต์คลาวด์แบบ LiDAR ซึ่งเก็บข้อมูลโดยการฉายแสงเลเซอร์เป็นชุดไปยังพื้นผิว และวัดระยะเวลาที่แสงสะท้อนกลับไปถึงเซนเซอร์ LiDAR ถือเป็นเครื่องมือที่มีศักยภาพสูงสุดและถูกใช้อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะการเก็บข้อมูลพอยต์คลาวด์จากการสแกน เพื่อสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (scan to BIM) เนื่องจากมีความแม่นยำและความเร็วสูงกว่าวิธีอื่น ๆ โดยมีขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน ได้แก่ การเก็บข้อมูลบนพื้นที่จริง การจำแนกข้อมูล (semantic segmentation) และการประมวลผลบนซอฟต์แวร์ BIM (Rashdi et al., 2022)

สำหรับการนำข้อมูลพอยต์คลาวด์ไปใช้ในการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ จากการศึกษาของชานบารี และคณะ (Shanbari et al.) (2016) ได้ทำการทดลองให้นักศึกษาจากหลักสูตรการจัดการการก่อสร้างขึ้นแบบจำลอง 3 มิติ จากข้อมูลพอยต์คลาวด์ของอาคารบนซอฟต์แวร์ Autodesk Revit พบว่า นักศึกษาสามารถสร้างแบบจำลองของอาคารได้อย่างแม่นยำ และสามารถเข้าใจรายละเอียดการก่อสร้างได้ดี ในขณะเดียวกัน กรวิชัย เปลี่ยนสมัย (2560) ก็ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการนำข้อมูลพอยต์คลาวด์มาทำการสร้างพื้นผิว (surface) ขอบเขตของผนัง ด้วยเครื่องมือ xBIM พบว่า ผลลัพธ์จากวิธีการที่พัฒนาขึ้นให้ระนาบของกำแพงที่สามารถยอมรับได้ ไม่เกิดการซ้อนทับ หรือการขาดกันของระนาบของกำแพง รวมถึงสามารถบอกถึงขนาดของกำแพงที่ตรงจับได้

นอกจากนี้การสร้างแบบจำลอง 3 มิติ จากข้อมูลพอยต์คลาวด์ยังสามารถทำได้โดยการใช้วิธีการสร้างแบบจำลองแบบ Voxel โดยการสร้างกลุ่มของลูกบาศก์บนพิกัดฉาก 3 มิติบนข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่อ้างอิงจากตำแหน่งของจุดต่าง ๆ ในข้อมูล โดยการสร้างแบบจำลอง Voxel นั้น สามารถนำไปใช้ในงานรูปแบบต่าง ๆ เช่น การติดตามและวางแผนไซต์งานก่อสร้าง การตรวจจับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และการสร้างแบบจำลองทั่วไป (Xu et al., 2021)

ข้อมูลพอยต์คลาวด์ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการจำลองประสิทธิภาพของอาคารได้เช่นกัน จากการศึกษาของ โอดอนเนลล์ และคณะ (O'Donnell et al.) (2019) ได้ทำการประยุกต์ใช้ข้อมูลพอยต์คลาวด์ของเปลือกอาคารสำหรับการจำลองการใช้พลังงานของอาคาร พบว่า การจำลองด้วยข้อมูลพอยต์คลาวด์สามารถลดระยะเวลาในการทำงานจากวิธีการสร้างแบบจำลองแบบดั้งเดิม และสามารถให้ผลการจำลองที่มีความแม่นยำ นอกจากนี้การศึกษาของโกลด์สไตน์ และคณะ (Goldstein et al.) (2014) ซึ่งได้ทำการทดสอบการนำแบบจำลองแบบ Voxel มาใช้ในการจำลองการเคลื่อนไหวของผู้คนและการถ่ายเทความร้อนในอาคาร พบว่า การใช้ Voxel นั้นมีแนวโน้มที่จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการจำลองประสิทธิภาพอาคารได้ ซึ่งสามารถลดระยะเวลาและความซับซ้อนเมื่อเทียบกับวิธีการแบบทั่วไป

สำหรับงานวิจัยด้านการเสียงในสถาปัตยกรรมที่บูรณาการร่วมกับการใช้ข้อมูลพอยต์คลาวด์ ในปัจจุบันนี้มีอยู่ในจำนวนที่น้อยมาก และยังไม่พบงานวิจัยในเชิงทดลองและเปรียบเทียบประสิทธิภาพจากผลการจำลองเสียงโดยตรง เช่น การศึกษาของแบร์เฌโรต์ และคณะ (Bergerot et al.) (2022) ที่นำเอาข้อมูลพอยต์คลาวด์และข้อมูลของเสียงในงานสถาปัตยกรรมที่เก็บจากอาคารมรดกวัฒนธรรมมาทำการแสดงผลภาพ (visualization) ผ่านเครื่องมือบนเว็บไซต์ (web-based) และการศึกษาของมาร์โควิช และคณะ (Markovic et al.) (2013) ที่ทำการศึกษานวโนมการใช้แบบจำลอง 3 มิติ จากข้อมูลพอยต์คลาวด์สำหรับการจำลองเสียงในงานสถาปัตยกรรม ซึ่งในการศึกษานี้เป็นเพียงการศึกษาถึงความเป็นไปได้ที่จะนำข้อมูลพอยต์คลาวด์สำหรับการจำลองเสียงเท่านั้น นอกจากนี้ จำลองเสียงด้วยแบบจำลอง 3 มิติ ที่สร้างจากข้อมูลพอยต์คลาวด์นั้นมีข้อจำกัดอยู่ที่ การจำลองเสียงนั้นต้องอาศัยแบบจำลองที่มีความแม่นยำ เนื่องจากความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยอาจส่งผลให้ผลการจำลองมีความคลาดเคลื่อนได้ ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้หากข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองมีสัญญาณรบกวน (Noise) หรือมีข้อผิดพลาดจากการกำหนดตำแหน่งในการเก็บข้อมูลที่ไม่มีเพียงพอ ต่างจากการจำลองเสียงด้วยแบบจำลองที่สร้างด้วยมือที่ผู้สร้างสามารถตรวจสอบความถูกต้องจากการรังวัดด้วยตนเอง ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาถึงความแม่นยำของการจำลองเสียงด้วยแบบจำลอง 3 มิติ ที่สร้างจากข้อมูลพอยต์คลาวด์ในรูปแบบต่าง ๆ โดยการเปรียบเทียบกับผลการจำลองเสียงจากแบบจำลอง 3 มิติที่สร้างขึ้นจากการรังวัดพื้นที่อาคารจริงด้วยมือ

## วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษาความแม่นยำของการจำลองเสียงด้วยแบบจำลอง 3 มิติ ที่สร้างจากข้อมูลพอยต์คลาวด์เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลอง 3 มิติ ที่สร้างขึ้นจากการรังวัดพื้นที่อาคารจริงด้วยมือ โดยเสนอวิธีการจำลองเสียงด้วยแบบจำลอง 3 มิติ จากข้อมูลพอยต์คลาวด์สองแบบที่แตกต่างกัน ได้แก่ แบบจำลองแบบ Bounding Box และแบบจำลองแบบ Voxel และชุดวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่แตกต่างกัน 2 ชุด

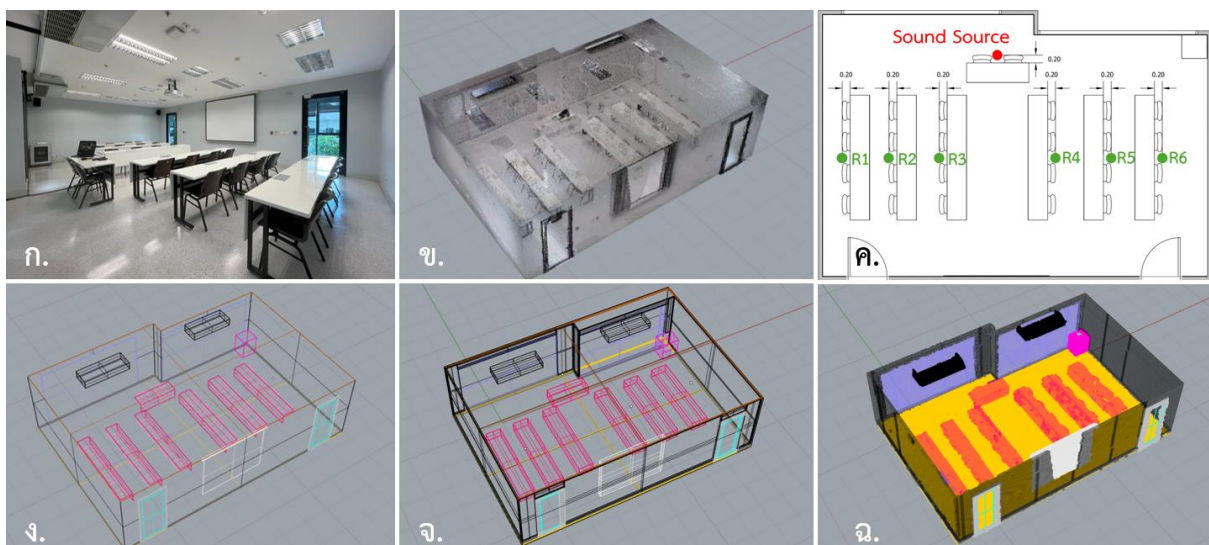
### การเก็บข้อมูลพอยต์คลาวด์และรังวัดพื้นที่ภายในอาคาร

ในการศึกษานี้ได้ทำการเก็บข้อมูลพื้นที่ภายในห้องทั้งหมดสองวิธี ได้แก่ การรังวัดด้วยตลับเมตรและเครื่องวัดระยะเลเซอร์สำหรับการทำแบบจำลอง 3 มิติด้วยมือ และการเก็บข้อมูลด้วยกล้องสแกนวัตถุ 3 มิติยี่ห้อ Faro รุ่น Focus S150 Premium สำหรับการทำให้แบบจำลอง 3 มิติจากข้อมูลพอยต์คลาวด์ โดยห้องที่ทำการเก็บข้อมูลในการศึกษานี้ คือห้องเรียน 302 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีความกว้าง 6.20 ถึง 6.72 เมตร ยาว 9.88 เมตร และความสูงฝ้าเพดาน 2.86 เมตร ซึ่งมีการจัดวางห้องเรียนเป็นลักษณะการวางชุดโต๊ะและเก้าอี้หันเข้าหากันดังภาพ 1 (ก.) ซึ่งในขั้นตอนการเก็บข้อมูลพอยต์คลาวด์ด้วยกล้องสแกนวัตถุ 3 มิติ ได้ทำการตั้งค่าความละเอียดของการเก็บข้อมูลอยู่ที่มาตราส่วน 1:8 (ความหนาแน่นประมาณ 1 จุดในทุก ๆ 12.3 มิลลิเมตร ที่ระยะห่างจากกล้อง 10 เมตร) และทำการกำหนดตำแหน่งในการเก็บข้อมูลบริเวณมุมห้องทั้ง 4 มุม บริเวณหัวและท้ายแถวของชุดโต๊ะเรียน และบริเวณกึ่งกลางห้อง รวมทั้งหมด 13 ตำแหน่ง

### การสร้างแบบจำลอง 3 มิติจากข้อมูลพอยต์คลาวด์

หลังจากที่ทำการเก็บข้อมูลด้วยกล้องสแกนวัตถุ 3 มิติ เสร็จแล้ว ก็จะมีการรวบรวมข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่ทำการเก็บจากจุดต่าง ๆ ภายในห้องให้เป็นชุดข้อมูลเดียวกัน และกำจัดจุดภายในข้อมูลที่เป็นสัญญาณรบกวน (noise) ออกและทำการนำเข้าข้อมูลพอยต์คลาวด์สู่ซอฟต์แวร์ Rhinoceros Grasshopper และทำการปรับค่าความหนาแน่นของจุดในข้อมูลพอยต์คลาวด์ให้มีความหนาแน่นอยู่ที่ 1 จุดต่อ 2.5 เซนติเมตร ด้วยเครื่องมือเสริม Volvox บน Grasshopper ดังภาพ 1 (ข.)

ในขั้นตอนถัดไปจะทำการจำแนกจุดต่าง ๆ ภายในข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่ได้นำเข้ามาแล้วออกเป็นกลุ่มต่าง ๆ ด้วยมือ โดยแบ่งออกตามองค์ประกอบต่าง ๆ ของห้องได้ทั้งหมด 11 กลุ่ม ดังที่แสดงบนตาราง 1 หลังจากทำการจำแนกจุดภายในข้อมูลพอยต์คลาวด์ออกเป็นกลุ่มต่าง ๆ แล้วจะทำการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ จากกลุ่มที่จำแนกออกมาทั้งหมด 2 วิธี ได้แก่ การสร้างแบบจำลองแบบ Bounding Box โดยทำการนำเข้ากลุ่มของจุดต่าง ๆ ที่ผ่านการจำแนกด้วย Grasshopper แล้วทำการแปลงกลุ่มจุดเหล่านั้นเป็นพื้นผิวแบบกล่องรูปทรงสี่เหลี่ยมที่ล้อมรอบกลุ่มจุดต่าง ๆ ที่ละกลุ่มจนครบทุกกลุ่มด้วยคำสั่ง Bounding Box และทำการใช้คำสั่ง Bake เพื่อสร้างพื้นผิวรูปทรงสี่เหลี่ยมดังกล่าวในซอฟต์แวร์ Rhinoceros และการสร้างแบบจำลองแบบ Voxel ด้วยเครื่องมือเสริม Volvox โดยทำการนำเข้ากลุ่มของจุดต่าง ๆ ที่ผ่านการจำแนกด้วย Grasshopper แล้วทำการแปลงให้กลายเป็นกลุ่มของรูปทรงลูกบาศก์บนพิกัดฉาก 3 มิติ ที่มีลักษณะเชื่อมต่อกันเป็นรูปทรงขององค์ประกอบและวัตถุต่าง ๆ ภายในห้อง ด้วยคำสั่ง Voxel Colored โดยกำหนดให้ลูกบาศก์ Voxel หนึ่งชั้นมีความกว้าง ความยาว และความสูงเท่ากับ 5 เซนติเมตร และใช้คำสั่ง Bake เพื่อสร้างพื้นผิว Voxel พร้อมแปลงรูปแบบ Geometry จาก Mesh ให้เป็น Surface ในซอฟต์แวร์ Rhinoceros โดยลักษณะของแบบจำลอง 3 มิติทั้งสามแบบแสดงได้ดังภาพ 1 (ง., จ., และ ฉ.)



ภาพ 1 (ก.) ห้องเรียน 302, (ข.) ข้อมูลพอยต์คลาวด์ของห้อง, (ค.) แผนห้องพร้อมตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียง (Sound Source) และผู้รับเสียง (R1 ถึง R6), (ง.) แบบจำลองที่สร้างด้วยมือ, (จ.) แบบจำลองแบบ Bounding Box, (ฉ.) แบบจำลองแบบ Voxel

ที่มา: ผู้วิจัย

ตาราง 1 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุชุดที่ 1

| องค์ประกอบต่างๆ ของห้อง | ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงตามช่วงความถี่ |        |        |         |         |         |
|-------------------------|---------------------------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|
|                         | 125 Hz                                      | 250 Hz | 500 Hz | 1000 Hz | 2000 Hz | 4000 Hz |
| พื้นกระเบื้องหินขัด     | 0.01                                        | 0.01   | 0.01   | 0.02    | 0.02    | 0.02    |
| ผ้าเพดานยิปซัมทาสี      | 0.10                                        | 0.08   | 0.05   | 0.03    | 0.03    | 0.03    |
| ผ้าใบบังแดด             | 0.03                                        | 0.04   | 0.11   | 0.17    | 0.24    | 0.35    |
| ผนังก่ออิฐฉาบเรียบทาสี  | 0.01                                        | 0.01   | 0.02   | 0.02    | 0.02    | 0.03    |
| กรอบประตูกันเสียง       | 0.35                                        | 0.39   | 0.44   | 0.49    | 0.54    | 0.56    |
| กระจกใส                 | 0.10                                        | 0.05   | 0.00   | 0.04    | 0.03    | 0.03    |
| โต๊ะ/เก้าอี้ไม้อัด      | 0.28                                        | 0.08   | 0.07   | 0.07    | 0.09    | 0.09    |
| ฉากรับภาพโปรเจกเตอร์    | 0.14                                        | 0.35   | 0.55   | 0.72    | 0.70    | 0.65    |
| บัวพื้นไม้เนื้อแข็ง     | 0.59                                        | 0.22   | 0.07   | 0.04    | 0.03    | 0.07    |
| กล่องงานไฟฟ้าเหล็ก      | 0.13                                        | 0.09   | 0.08   | 0.09    | 0.11    | 0.11    |
| เครื่องปรับอากาศพลาสติก | 0.03                                        | 0.00   | 0.03   | 0.00    | 0.05    | 0.05    |

ที่มา: รวบรวมจาก วัสดุอะคูสติก โดย เอสซีจี, 2561. (<https://storage.googleapis.com/scgsmartliving/download/scg-acoustic-product-catalog.pdf>) และ Sound absorption coefficients table โดย Acoustic Materials & Technologies Ltd., 2025.

([https://www.acoustic.ua/st/web\\_absorption\\_data\\_eng.pdf](https://www.acoustic.ua/st/web_absorption_data_eng.pdf))

### การจำลองเสียงบนแบบจำลอง 3 มิติ

ในการจำลองเสียงภายในห้อง จะทำการจำลองโดยใช้เครื่องมือเสริม Pachyderm ในซอฟต์แวร์ Rhinoceros Grasshopper โดยขั้นแรกจะทำการระบุค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุตามองค์ประกอบประเภทต่าง ๆ ของห้องทั้งหมด 11 กลุ่มที่ได้จำแนกไปก่อนหน้านี้ผ่านหน้าค่า Materials บนคำสั่ง Pachyderm ที่สามารถเปิดได้ผ่าน Command Prompt บน Rhinoceros ซึ่งในการจำลองเสียงในการศึกษานี้ จะจำลองผ่านการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุภายในห้องที่แตกต่างกัน 2 ชุด เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของการจำลองเสียงทั้งในกรณีที่ห้องมีการดูดซับเสียงที่ต่ำ และในกรณีที่ห้องมีการดูดซับเสียงที่สูง โดยวัสดุชุดที่สองจะทำการปรับเปลี่ยนวัสดุของพื้น ฝ้าเพดาน และผนังของห้องให้มีการดูดซับเสียงที่มากขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุต่าง ๆ ในชุดแรกแสดงได้ดังตาราง 1 และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของพื้น ฝ้าเพดาน และผนังของห้องที่เปลี่ยนไปในชุดที่ 2 สามารถแสดงได้ดังตาราง 2

ตาราง 2 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของ พื้น ฝ้าเพดาน และผนัง ในวัสดุชุดที่ 2

| องค์ประกอบต่าง ๆ ของห้อง          | ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงตามช่วงความถี่ |        |        |         |         |         |
|-----------------------------------|---------------------------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|
|                                   | 125 Hz                                      | 250 Hz | 500 Hz | 1000 Hz | 2000 Hz | 4000 Hz |
| พื้นปูพรมหนา                      | 0.05                                        | 0.10   | 0.10   | 0.30    | 0.40    | 0.50    |
| ฝ้าเพดาน Glass wool               | 0.20                                        | 0.65   | 0.70   | 0.80    | 0.69    | 0.64    |
| ผนังก่ออิฐฉาบเรียบ กรู Glass wool | 0.03                                        | 0.04   | 0.11   | 0.17    | 0.24    | 0.35    |

ที่มา: รวบรวมจาก วัสดุอะคูสติก โดย เอสซีจี, 2561. (<https://storage.googleapis.com/scgsmartliving/download/scg-acoustic-product-catalog.pdf>)

ในขั้นตอนการจำลองเสียง จะทำการกำหนดตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียงบริเวณตำแหน่งของโต๊ะผู้สอนหลังห้อง 1 จุด และผู้รับเสียงบริเวณกึ่งกลางของชุดโต๊ะเรียนทั้ง 6 ชุดภายในห้อง ซึ่งอ้างอิงจากตำแหน่งการใช้ห้องเรียนขณะทำการเรียนการสอนของทั้งผู้สอนและนิสิต ดังที่แสดงในภาพ 1 (ค.) โดยกำหนดให้ตำแหน่งของการรับเสียงอยู่สูงจากระดับพื้น 110 เซนติเมตร ตามระดับความสูงของศีรษะในท่านั่งบนเก้าอี้ และทำการกำหนดค่าอุณหภูมิห้องอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอยู่ที่

50 เปอร์เซ็นต์ พลังงานแหล่งกำเนิดเสียงอยู่ที่ 65 เดซิเบล พลังงานเสียงรบกวนพื้นหลังอยู่ที่ 40 เดซิเบล ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายเสียงอยู่ที่ 1 ค่า Image Source Order อยู่ที่ 3 และค่า Cutoff Time อยู่ที่ 2,500 มิลลิวินาที

ในการจำลองเสียงด้วยเครื่องมือเสริม Pachyderm จะประกอบด้วยการจำลองพฤติกรรมทางเสียง 3 รูปแบบ ได้แก่ การจำลองเสียงจากแหล่งกำเนิดถึงผู้รับเสียงโดยตรง (direct sound) การจำลองการสะท้อนของแหล่งกำเนิดเสียงบนพื้นผิวของห้อง (image source) และการจำลองเสียงด้วยการปล่อยลำแสงจำลองของเสียงในหลายทิศทาง (ray tracing) โดยจะทำการจำลองเสียงด้วยแบบจำลอง 3 มิติ ทั้ง 3 แบบ ได้แก่ แบบจำลองที่สร้างด้วยมือ แบบจำลองแบบ Bounding Box และแบบจำลองแบบ Voxel ซึ่งแบบจำลองแต่ละแบบจะทำการจำลองเสียงด้วยทั้งวัสดุชุดที่ 1 และ 2 และแต่ละแบบจำลองจะทำการจำลองเสียงทั้งหมด 5 รอบ ด้วยจำนวนลำแสง Ray Tracing เท่ากับ 10,000 เพื่อมั่นใจว่า การจำลองเสียงสามารถจำลองทิศทางของ Ray Tracing ได้อย่างครอบคลุม เนื่องจากการจำลองเสียงแต่ละครั้งจะมีการสุ่มทิศทางของ Ray Tracing

โดยผลการจำลองเสียงจากแบบจำลอง 3 มิติ แบบ Bounding Box และแบบ Voxel จะถูกเปรียบเทียบกับผลการจำลองจากแบบจำลอง 3 มิติที่สร้างด้วยมือ โดยจะทำการเปรียบเทียบด้วยผลลัพธ์ของค่าตัวแปรของเสียงทั้งหมด 4 ค่า ได้แก่ ระยะเวลาห้องกังวาล (RT60) ระยะเวลาสลายตัวเร็ว (EDT) ค่าความชัดเจน (C80) และค่าดัชนีการส่งผ่านเสียงพูด (STI)

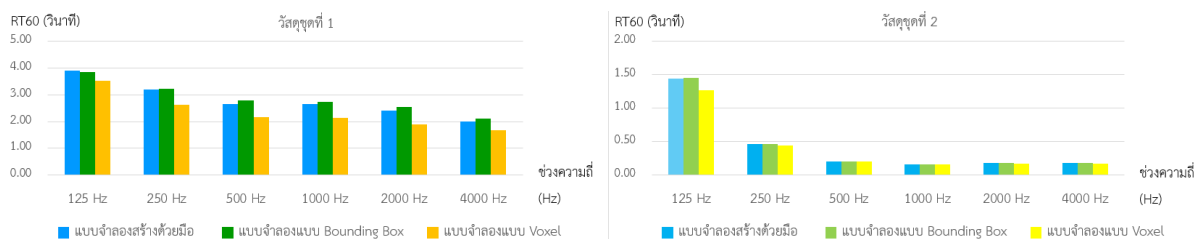
## ผลการศึกษา

หลังจากเสร็จสิ้นการจำลองเสียงด้วยแบบจำลอง 3 มิติทั้ง 3 แบบและ 2 ชุดวัสดุ สามารถแสดงผลการจำลองเสียงด้วยแบบจำลอง 3 มิติ จากข้อมูลพอยต์คลาวด์ทั้งแบบ Bounding Box และแบบ Voxel เมื่อเทียบกับผลการจำลองด้วยแบบจำลอง 3 มิติที่สร้างด้วยมือโดยเฉลี่ยผลการจำลองทั้ง 6 ผู้รับเสียงได้ดังนี้

### ระยะเวลาห้องกังวาล (Reverberation Time: RT60)

ภาพ 2 และตาราง 3 แสดงแสดงผลการจำลองค่า RT60 ของแบบจำลองทั้ง 3 แบบ ด้วยวัสดุทั้ง 2 ชุด ผลการจำลองค่า RT60 ด้วยชุดวัสดุที่ 1 พบว่า ผลการจำลองด้วยแบบจำลองแบบ Bounding Box มีค่าความคลาดเคลื่อน เมื่อเทียบกับแบบจำลองที่สร้างด้วยมือตั้งแต่ 0.028 ถึง 0.142 วินาที หรือ 0.874 ถึง 5.902 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแบบจำลองแบบ Voxel มีค่าความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ 0.350 ถึง 0.568 วินาที คิดเป็น 17.396 ถึง 20.823 เปอร์เซ็นต์

สำหรับผลการจำลองค่า RT60 ด้วยชุดวัสดุที่ 2 พบว่า ผลการจำลองด้วยแบบจำลองแบบ Bounding Box มีค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับแบบจำลองที่สร้างด้วยมือตั้งแต่ 0.001 ถึง 0.018 วินาที หรือ 0.493 ถึง 1.249 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแบบจำลองแบบ Voxel มีค่าความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ 0.001 ถึง 0.167 วินาที หรือ 0.493 ถึง 11.589 เปอร์เซ็นต์



ภาพ 2 กราฟแสดงผลการจำลองค่า RT60 ของแบบจำลองทั้ง 3 แบบ ด้วยวัสดุชุดที่ 1 (ซ้าย) และ วัสดุชุดที่ 2 (ขวา)

ที่มา: ผู้วิจัย

ตาราง 3 ผลการจำลองค่า RT60 โดยเฉลี่ยจากผู้รับเสียงทั้ง 6 ตำแหน่ง

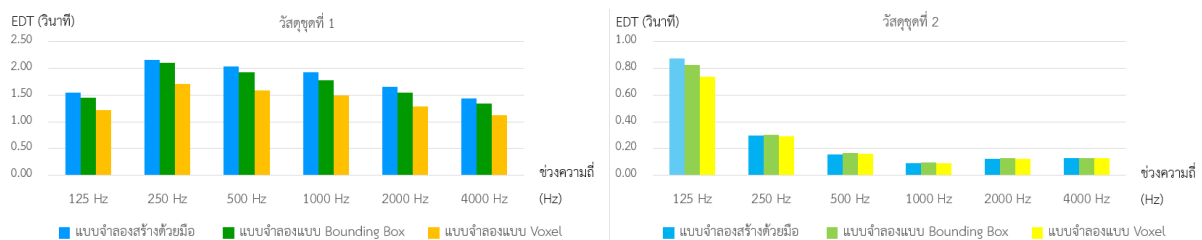
| ช่วงความถี่ | วัสดุชุดที่ 1                        |                                                      |                             | วัสดุชุดที่ 2                        |                                                      |                             |
|-------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------|
|             | ผลจาก<br>แบบจำลองที่<br>สร้างด้วยมือ | ความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับ<br>แบบจำลองสร้างด้วยมือ |                             | ผลจาก<br>แบบจำลองที่<br>สร้างด้วยมือ | ความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับ<br>แบบจำลองสร้างด้วยมือ |                             |
|             |                                      | แบบจำลองแบบ<br>Bounding Box                          | แบบจำลองแบบ<br>Voxel        |                                      | แบบจำลองแบบ<br>Bounding Box                          | แบบจำลองแบบ<br>Voxel        |
| 125 Hz      | 3.899 วินาที                         | -0.055 วินาที<br>(-1.411%)                           | -0.379 วินาที<br>(-9.720%)  | 1.441 วินาที                         | +0.018 วินาที<br>(+1.249%)                           | -0.167 วินาที<br>(-11.589%) |
| 250 Hz      | 3.204 วินาที                         | +0.028 วินาที<br>(+0.874%)                           | -0.568 วินาที<br>(-17.728%) | 0.461 วินาที                         | +0.004 วินาที<br>(+0.868%)                           | -0.015 วินาที<br>(-3.254%)  |
| 500 Hz      | 2.664 วินาที                         | +0.119 วินาที<br>(+4.467%)                           | -0.504 วินาที<br>(-18.919%) | 0.203 วินาที                         | -0.001 วินาที<br>(-0.493%)                           | +0.001 วินาที<br>(+0.493%)  |
| 1000 Hz     | 2.651 วินาที                         | +0.090 วินาที<br>(+3.395%)                           | -0.518 วินาที<br>(-19.540%) | 0.160 วินาที                         | -0.004 วินาที<br>(-2.500%)                           | +0.002 วินาที<br>(+1.250%)  |
| 2000 Hz     | 2.406 วินาที                         | +0.142 วินาที<br>(+5.902%)                           | -0.501 วินาที<br>(-20.823%) | 0.178 วินาที                         | -0.001 วินาที<br>(-0.562%)                           | -0.004 วินาที<br>(-2.247%)  |
| 4000 Hz     | 2.012 วินาที                         | +0.087 วินาที<br>(+4.324%)                           | -0.350 วินาที<br>(-17.396%) | 0.177 วินาที                         | -0.002 วินาที<br>(-1.130%)                           | -0.005 วินาที<br>(-2.825%)  |

ที่มา: ผู้วิจัย

#### ระยะเวลาสลายตัวเร็ว (Early Decay Time: EDT)

ภาพ 3 และตาราง 4 แสดงแสดงผลการจำลองค่า EDT ของแบบจำลองทั้ง 3 แบบ ด้วยวัสดุทั้ง 2 ชุด ผลการจำลองค่า EDT ด้วยชุดวัสดุที่ 1 พบว่า ผลการจำลองด้วยแบบจำลองแบบ Bounding Box มีค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับแบบจำลองที่สร้างด้วยมือ ตั้งแต่ 0.049 ถึง 0.141 วินาที คิดเป็น 2.270 ถึง 7.332 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแบบจำลองแบบ Voxel มีค่าความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ 0.307 ถึง 0.454 วินาที คิดเป็น 21.028 ถึง 22.757 เปอร์เซ็นต์

สำหรับผลการจำลองค่า EDT ด้วยชุดวัสดุที่ 2 พบว่า ผลการจำลองด้วยแบบจำลองแบบ Bounding Box มีค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับแบบจำลองที่สร้างด้วยมือตั้งแต่ 0.004 ถึง 0.048 วินาที คิดเป็น 2.703 ถึง 7.143 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแบบจำลองแบบ Voxel มีค่าความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ 0.000 ถึง 0.138 วินาที คิดเป็น 0.000 ถึง 15.808 เปอร์เซ็นต์



ภาพ 3 กราฟแสดงผลการจำลองค่า EDT ของแบบจำลองทั้ง 3 แบบ ด้วยวัสดุชุดที่ 1 (ซ้าย) และ วัสดุชุดที่ 2 (ขวา)

ที่มา: ผู้วิจัย

ตาราง 4 ผลการจำลองค่า EDT โดยเฉลี่ยจากผู้รับเสียงทั้ง 6 ตำแหน่ง

| ช่วงความถี่ | วัสดุชุดที่ 1                        |                                                      |                             | วัสดุชุดที่ 2                        |                                                      |                             |
|-------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------|
|             | ผลจาก<br>แบบจำลองที่<br>สร้างด้วยมือ | ความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับ<br>แบบจำลองสร้างด้วยมือ |                             | ผลจาก<br>แบบจำลองที่<br>สร้างด้วยมือ | ความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับ<br>แบบจำลองสร้างด้วยมือ |                             |
|             |                                      | แบบจำลองแบบ<br>Bounding Box                          | แบบจำลองแบบ<br>Voxel        |                                      | แบบจำลองแบบ<br>Bounding Box                          | แบบจำลองแบบ<br>Voxel        |
| 125 Hz      | 1.541 วินาที                         | -0.090 วินาที<br>(-5.840%)                           | -0.325 วินาที<br>(-21.090%) | 0.873 วินาที                         | -0.048 วินาที<br>(-5.498%)                           | -0.138 วินาที<br>(-15.808%) |
| 250 Hz      | 2.159 วินาที                         | -0.049 วินาที<br>(-2.270%)                           | -0.454 วินาที<br>(-21.028%) | 0.296 วินาที                         | +0.008 วินาที<br>(+2.703%)                           | -0.007 วินาที<br>(-2.365%)  |
| 500 Hz      | 2.038 วินาที                         | -0.109 วินาที<br>(-5.348%)                           | -0.453 วินาที<br>(-22.228%) | 0.154 วินาที                         | +0.011 วินาที<br>(+7.143%)                           | +0.008 วินาที<br>(+5.195%)  |
| 1000 Hz     | 1.923 วินาที                         | -0.141 วินาที<br>(-7.332%)                           | -0.429 วินาที<br>(-22.309%) | 0.091 วินาที                         | +0.006 วินาที<br>(+6.593%)                           | +0.001 วินาที<br>(+1.099%)  |
| 2000 Hz     | 1.661 วินาที                         | -0.118 วินาที<br>(-7.104%)                           | -0.378 วินาที<br>(-22.757%) | 0.125 วินาที                         | +0.004 วินาที<br>(+3.200%)                           | 0.000 วินาที<br>(0.000%)    |
| 4000 Hz     | 1.435 วินาที                         | -0.093 วินาที<br>(-6.481%)                           | -0.307 วินาที<br>(-21.394%) | 0.126 วินาที                         | +0.004 วินาที<br>(+3.175%)                           | +0.002 วินาที<br>(+1.587%)  |

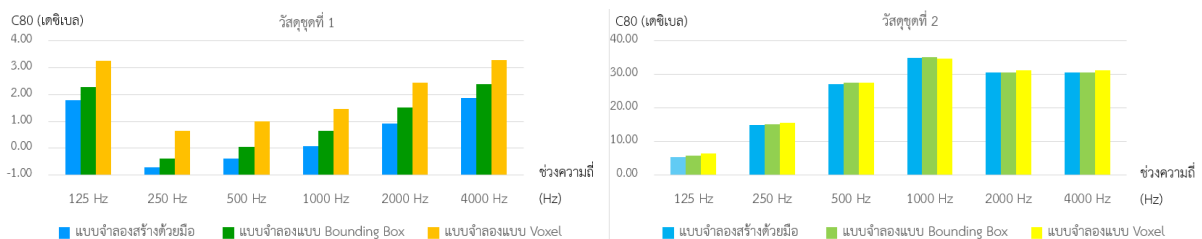
ที่มา: ผู้วิจัย

#### ค่าความชัดเจน (Clarity: C80)

สำหรับผลการจำลองค่า C80 เนื่องจากค่าดังกล่าวมีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB) ซึ่งมีการคำนวณในลักษณะของมาตราส่วนลอการิทึม (Logarithmic scale) ซึ่งการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนโดยใช้มาตราส่วนร้อยละโดยตรง จะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ไม่ถูกต้องตามหลักการ ดังนั้นในค่า C80 จึงรายงานค่าความคลาดเคลื่อนในหน่วยเดซิเบลโดยตรงเพียงอย่างเดียว

ภาพ 4 และตาราง 5 แสดงผลการจำลองค่า C80 ของแบบจำลองทั้ง 3 แบบด้วยวัสดุทั้ง 2 ชุด ผลการจำลองค่า C80 ด้วยชุดวัสดุที่ 1 พบว่า ผลการจำลองด้วยแบบจำลองแบบ Bounding Box มีค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับแบบจำลองที่สร้างด้วยมือตั้งแต่ 0.310 ถึง 0.581 เดซิเบล ส่วนแบบจำลองแบบ Voxel มีค่าความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ 1.347 ถึง 1.507 เดซิเบล

สำหรับผลการจำลองค่า C80 ด้วยชุดวัสดุที่ 2 พบว่า ผลการจำลองด้วยแบบจำลองแบบ Bounding Box มีค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับแบบจำลองที่สร้างด้วยมือตั้งแต่ 0.045 ถึง 0.389 เดซิเบล ส่วนแบบจำลองแบบ Voxel มีค่าความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ 0.120 ถึง 1.208 เดซิเบล



ภาพ 4 กราฟแสดงผลการจำลองค่า C80 ของแบบจำลองทั้ง 3 แบบ ด้วยวัสดุชุดที่ 1 (ซ้าย) และ วัสดุชุดที่ 2 (ขวา)

ที่มา: ผู้วิจัย

ตาราง 5 ผลการจำลองค่า C80 โดยเฉลี่ยจากผู้รับเสียงทั้ง 6 ตำแหน่ง

| ช่วงความถี่ | วัสดุชุดที่ 1                        |                                                      |                      | วัสดุชุดที่ 2                        |                                                      |                      |
|-------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------|
|             | ผลจาก<br>แบบจำลองที่<br>สร้างด้วยมือ | ความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับ<br>แบบจำลองสร้างด้วยมือ |                      | ผลจาก<br>แบบจำลองที่<br>สร้างด้วยมือ | ความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับ<br>แบบจำลองสร้างด้วยมือ |                      |
|             |                                      | แบบจำลองแบบ<br>Bounding Box                          | แบบจำลองแบบ<br>Voxel |                                      | แบบจำลองแบบ<br>Bounding Box                          | แบบจำลองแบบ<br>Voxel |
| 125 Hz      | 1.801 dB                             | +0.480 dB                                            | +1.449 dB            | 5.311 dB                             | +0.389 dB                                            | +1.208 dB            |
| 250 Hz      | -0.702 dB                            | +0.310 dB                                            | +1.347 dB            | 15.016 dB                            | +0.045 dB                                            | +0.638 dB            |
| 500 Hz      | -0.400 dB                            | +0.458 dB                                            | +1.391 dB            | 27.156 dB                            | +0.298 dB                                            | -0.344 dB            |
| 1000 Hz     | 0.065 dB                             | +0.576 dB                                            | +1.391 dB            | 34.886 dB                            | +0.326 dB                                            | -0.120 dB            |
| 2000 Hz     | 0.930 dB                             | +0.581 dB                                            | +1.507 dB            | 30.564 dB                            | +0.156 dB                                            | +0.717 dB            |
| 4000 Hz     | 1.866 dB                             | +0.531 dB                                            | +1.431 dB            | 30.515 dB                            | +0.205 dB                                            | +0.727 dB            |

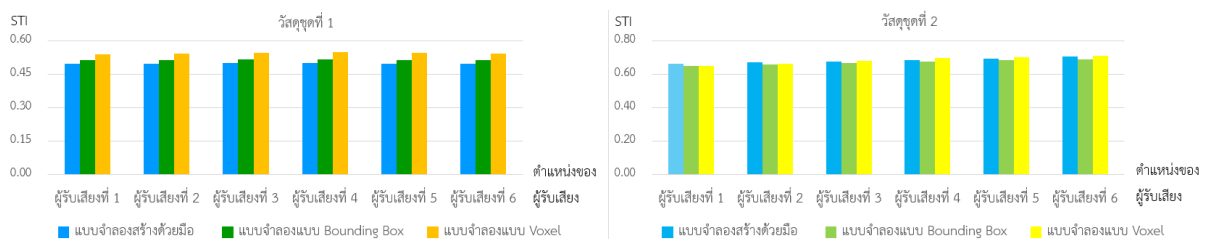
ที่มา: ผู้วิจัย

### ค่าดัชนีการส่งผ่านเสียงพูด (Speech Transmission Index: STI)

เนื่องจากค่า STI เป็นค่าดัชนีที่แสดงเป็นจำนวนตั้งแต่ 0.000–1.000 ซึ่งไม่มีหน่วย และไม่มีการแบ่งตามช่วงความถี่ ดังนั้นในการรายงานผลการจำลองจะทำการแสดงโดยเปรียบเทียบตามตำแหน่งของผู้รับเสียงทั้ง 6 ตำแหน่งแทน

ภาพ 5 และตาราง 6 แสดงผลการจำลองค่า STI ของแบบจำลองทั้ง 3 แบบด้วยวัสดุทั้ง 2 ชุด ผลการจำลองค่า STI ด้วยชุดวัสดุที่ 1 พบว่า ผลการจำลองด้วยแบบจำลองแบบ Bounding Box มีค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับแบบจำลองที่สร้างด้วยมือตั้งแต่ 0.001 ถึง 0.022 คิดเป็น 0.211 ถึง 4.671 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแบบจำลองแบบ Voxel มีค่าความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ 0.026 ถึง 0.049 คิดเป็น 5.497 ถึง 9.780 เปอร์เซ็นต์

สำหรับผลการจำลองค่า STI ด้วยชุดวัสดุที่ 2 พบว่า ผลการจำลองด้วยแบบจำลองแบบ Bounding Box มีค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับแบบจำลองที่สร้างด้วยมือตั้งแต่ 0.006 ถึง 0.020 คิดเป็น 0.958 ถึง 3.350 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแบบจำลองแบบ Voxel มีค่าความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ 0.004 ถึง 0.024 คิดเป็น 0.596 ถึง 4.020 เปอร์เซ็นต์



ภาพ 5 กราฟแสดงผลการจำลองค่า STI ของแบบจำลองทั้ง 3 แบบ ด้วยวัสดุชุดที่ 1 (ซ้าย) และ วัสดุชุดที่ 2 (ขวา)

ที่มา: ผู้วิจัย

ตาราง 6 ผลการจำลองค่า STI โดยเฉลี่ยจากผู้รับเสียงทั้ง 6 ตำแหน่ง

| ตำแหน่งของผู้รับเสียง | วัสดุชุดที่ 1                |                                                  |                     | วัสดุชุดที่ 2                |                                                  |                     |
|-----------------------|------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------|------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------|
|                       | ผลจากแบบจำลองที่สร้างด้วยมือ | ความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับแบบจำลองสร้างด้วยมือ |                     | ผลจากแบบจำลองที่สร้างด้วยมือ | ความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับแบบจำลองสร้างด้วยมือ |                     |
|                       |                              | แบบจำลองแบบ Bounding Box                         | แบบจำลองแบบ Voxel   |                              | แบบจำลองแบบ Bounding Box                         | แบบจำลองแบบ Voxel   |
| ผู้รับเสียงที่ 1      | 0.500                        | +0.013<br>(+2.600%)                              | +0.039<br>(+7.800%) | 0.665                        | -0.013<br>(-1.955%)                              | -0.012<br>(-1.805%) |
| ผู้รับเสียงที่ 2      | 0.501                        | +0.017<br>(+3.393%)                              | +0.049<br>(+9.780%) | 0.687                        | -0.010<br>(-1.456%)                              | +0.011<br>(+1.601%) |
| ผู้รับเสียงที่ 3      | 0.495                        | +0.016<br>(+3.232%)                              | +0.045<br>(+9.091%) | 0.716                        | -0.016<br>(-2.235%)                              | +0.007<br>(+0.978%) |
| ผู้รับเสียงที่ 4      | 0.476                        | +0.011<br>(+2.311%)                              | +0.038<br>(+7.983%) | 0.671                        | -0.011<br>(-1.639%)                              | -0.004<br>(-0.596%) |
| ผู้รับเสียงที่ 5      | 0.471                        | +0.022<br>(+4.671%)                              | +0.041<br>(+8.705%) | 0.626                        | +0.006<br>(+0.958%)                              | +0.007<br>(+1.118%) |
| ผู้รับเสียงที่ 6      | 0.473                        | +0.001<br>(+0.211%)                              | +0.026<br>(+5.497%) | 0.597                        | -0.020<br>(-3.350%)                              | -0.024<br>(-4.020%) |

ที่มา: ผู้วิจัย

## สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพของการจำลองเสียงด้วยแบบจำลอง 3 มิติ ที่สร้างจากข้อมูลพอยต์คลาวด์เปรียบเทียบกับ การจำลองเสียงด้วยแบบจำลอง 3 มิติ ที่สร้างด้วยมือจากการรังวัดพื้นที่อาคาร พบว่า ผลของการจำลองเสียงด้วยแบบจำลอง 3 มิติ ที่สร้างขึ้นจากข้อมูลพอยต์คลาวด์ทั้ง 2 แบบ สามารถให้ผลการจำลองค่าตัวแปรของเสียงทั้ง 4 ค่า จากทั้ง 6 ผู้รับเสียง ในทุกช่วง ความถี่ทั้ง 6 ช่วง มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันและมีปริมาณค่าตัวแปรทั้ง 4 ที่มีความใกล้เคียงกับการจำลองเสียงด้วย แบบจำลอง 3 มิติ ที่สร้างด้วยมือ ดังกราฟที่แสดงในภาพ 2 ภาพ 3 ภาพ 4 และภาพ 5 และเมื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของการจำลอง ด้วยชุดวัสดุทั้ง 2 ที่ต่างกันด้วยแบบจำลอง 3 มิติ ที่สร้างจากข้อมูลพอยต์คลาวด์ทั้ง 2 แบบ พบว่า ชุดวัสดุที่ 1 ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ การดูดซับเสียงที่น้อยกว่าจะส่งผลให้มีค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงกว่าในค่าตัวแปรทั้ง 4 ค่า เมื่อเทียบกับการจำลองด้วยชุดวัสดุที่ 2 ที่มี ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่มากกว่า โดยเฉพาะผลการจำลองเสียงด้วยแบบจำลองแบบ Voxel ด้วยวัสดุชุดที่ 2 ซึ่งผลการจำลอง ค่า RT60 มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าเฉลี่ยทุกช่วงความถี่ 0.438 วินาที หรือ 13.745 เปอร์เซ็นต์ ค่า EDT มีค่าความคลาดเคลื่อน น้อยกว่าเฉลี่ย 0.365 วินาที หรือ 17.459 เปอร์เซ็นต์ ค่า C80 มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าเฉลี่ย 0.794 เดซิเบล และค่า STI มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าเฉลี่ยทุกตำแหน่งผู้รับเสียง 0.029 วินาที หรือ 6.456 เปอร์เซ็นต์

นอกจากการจำลองด้วยวัสดุชุดที่ 2 บนแบบจำลอง 3 มิติจากข้อมูลพอยต์คลาวด์ทั้งสองแบบจะมีความแม่นยำมากกว่า การจำลองด้วยวัสดุชุดที่ 1 แล้วผลจากการจำลองเสียงด้วยชุดวัสดุที่ 1 พบว่า ผลจากการจำลองด้วยแบบจำลองแบบ Bounding Box จะให้ความแม่นยำที่มากกว่าการจำลองด้วยแบบจำลองแบบ Voxel ในค่าตัวแปรทั้ง 4 ค่า โดยในค่า RT60 มีค่าความคลาดเคลื่อน น้อยกว่าเฉลี่ยทุกช่วงความถี่ 0.383 วินาที หรือ 13.958 เปอร์เซ็นต์ ค่า EDT มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าเฉลี่ย 0.291 วินาที หรือ 16.072 เปอร์เซ็นต์ ค่า C80 มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าเฉลี่ย 0.930 เดซิเบล และค่า STI มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าเฉลี่ย ทุกตำแหน่งผู้รับเสียง 0.026 หรือ 5.406 เปอร์เซ็นต์

ในขณะที่การจำลองด้วยชุดวัสดุที่ 2 ผลจากการจำลองด้วยแบบจำลองแบบ Bounding Box จะให้ความแม่นยำที่ใกล้เคียง การจำลองด้วยแบบจำลองแบบ Voxel ยกเว้นในช่วงความถี่ที่ 125 Hz ที่ผลการจำลองค่า RT60, EDT, และ C80 จากการจำลองเสียง

ด้วยแบบจำลองแบบ Voxel จะมีค่าความคลาดเคลื่อนที่มากกว่าการจำลองเสียงด้วยแบบจำลองแบบ Bounding Box อยู่พอสมควร โดยในค่า RT60 มีค่าความคลาดเคลื่อนในช่วงความถี่ดังกล่าวมากกว่า 0.149 วินาที หรือ 10.340 เปอร์เซ็นต์ ค่า EDT มีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่า 0.090 วินาที หรือ 10.309 เปอร์เซ็นต์ และค่า C80 มีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่า 0.819 เดซิเบล

โดยสรุปแล้วสำหรับการทำ การจำลองเสียงด้วยแบบจำลอง 3 มิติ ที่สร้างจากข้อมูลพอยต์คลาวด์ ในการจำลองด้วยชุดวัสดุที่มีค่าการดูดซับเสียงโดยรวมของห้องที่น้อย ควรเลือกใช้แบบจำลองแบบ Bounding Box ซึ่งให้ค่าความคลาดเคลื่อนทั้ง 4 ตัวแปรที่น้อยกว่าแบบจำลองแบบ Voxel และสำหรับการจำลองด้วยชุดวัสดุที่มีการดูดซับเสียงโดยรวมของห้องที่มากสามารถเลือกใช้รูปแบบของแบบจำลอง 3 มิติ จากข้อมูลพอยต์คลาวด์ได้ทั้งสองแบบ แต่ต้องระมัดระวังความคลาดเคลื่อนของการจำลองด้วยแบบจำลองแบบ Voxel ที่ช่วงความถี่ 125 Hz ของค่า RT60, EDT, และ C80

การศึกษานี้เป็นเพียงการศึกษาประสิทธิภาพและความแม่นยำของการจำลองเสียงด้วยแบบจำลอง 3 มิติ ที่สร้างจากข้อมูลพอยต์คลาวด์แบบเบื้องต้นด้วยเครื่องมือเสริม Pachyderm V.2.0.0.2 บนซอฟต์แวร์ Rhinoceros 7.37 Grasshopper โดยทำการจำลองด้วยฮาร์ดแวร์ CPU Intel Core i5-13400f และ RAM 32 GB DDR4(3200) เนื่องด้วยข้อจำกัดด้านระยะเวลา และประสิทธิภาพของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่ใช้ทำการจำลองเสียงที่มีอยู่จำกัด ทำให้จำเป็นต้องกำหนดการตั้งค่าการจำลองเสียงในส่วนของการสะท้อน และการกระจายของเสียงในปริมาณที่ต่ำ ซึ่งอาจส่งผลต่อความแม่นยำของผลการจำลองเมื่อเทียบกับการใช้งานในพื้นที่จริง ในการศึกษาในอนาคตควรมีการใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพมากพอสำหรับการคำนวณแบบละเอียด นอกจากนี้ยังแนะนำให้มีการใช้วิธีการศึกษาดังกล่าวกับตัวอย่างห้อง หรือพื้นที่ภายในอาคารอื่น ๆ และวัสดุที่มีความหลากหลายมากขึ้น เพื่อยืนยันถึงความแม่นยำของวิธีการศึกษาข้างต้น รวมถึงการนำเอาวิธีการจำแนกข้อมูลพอยต์คลาวด์ (Point Cloud Segmentation) แบบอัตโนมัติมาร่วมใช้ด้วย เพื่อสร้างกระบวนการทำงานที่รวดเร็วและมีความเป็นอัตโนมัติ

## บรรณานุกรม

- กรวิญญ์ เปลี่ยนสมัย. (2560). *การสร้างแบบจำลองพารามิเตอร์จากข้อมูลเมฆจุด 3 มิติจากภาพถ่ายเพื่อการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศิลป์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์]. TU Digital Collections. <https://doi.org/10.14457/TU.the.2017.895>
- สุรฤทธิ อ้นไพศาล. (2562). *การใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบหลายวัตถุประสงค์ในการออกแบบผนังควบคุมเสียงแบบปรับเปลี่ยนได้เพื่อตอบสนองกิจกรรมในพื้นที่อเนกประสงค์* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศิลป์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์]. TU Digital Collections. <https://doi.org/10.14457/TU.the.2019.1558>
- เอสซีจี. (2561). *วัสดุอะคูสติก*. <https://storage.googleapis.com/scgsmartliving/download/scg-acoustic-product-catalog.pdf>
- Acoustic Materials & Technologies Ltd. (2025). *Sound absorption coefficients table*. [https://www.acoustic.ua/st/web\\_absorption\\_data\\_eng.pdf](https://www.acoustic.ua/st/web_absorption_data_eng.pdf)
- Association of Australasian Acoustical Consultants. (2020). *Guideline for educational facilities acoustics (Version 2.0)*. The Association.
- Autodesk. (2025, January 8). *3D laser scanning solutions*. <https://www.autodesk.com/solutions/3d-laser-scanning>
- Autodesk. (2025, January 8). *Point clouds solutions*. <https://www.autodesk.com/solutions/point-clouds>
- Bergerot, L., Blaise, J. Y., Dudek, I., Pamart, A., Aramaki, M., Fargeot, S., Kronland-Martinet, R., Vidal, A., & Ystad, S. (2022). Combined web-based visualisation of 3D point clouds and acoustic descriptors: An interdisciplinary challenge. *Heritage*, 5(4), 3819–3845. <https://doi.org/10.3390/heritage5040197>

- Bradley, J. S. (2011). Review of objective room acoustics measures and future needs. *Applied Acoustics*, 72(10), 713–720. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2011.04.004>
- Cabrera, D. (2007). *Acoustic clarity and auditory room size perception*. In Proceedings of the 14th International Congress on Sound and Vibration 2007, ICSV 2007 (Vol. 3, pp. 1830–1837). Cairns, Australia.
- Goldstein, R., Breslav, S., & Khan, A. (2014). *Towards voxel-based algorithms for building performance simulation*. In Proceedings of the IBPSA-Canada eSim Conference. Ottawa, Canada.
- GP Radar. (2025, January 6). *What is a point cloud?* <https://www.gp-radar.com/article/what-is-a-point-cloud>
- Kob, M., Behler, G., Kampolf, A., Goldschmid, O., & Neuschaefer-Rube, C. (2008). Experimental investigations of the influence of room acoustics on the teacher’s voice. *Acoustical Science and Technology*, 29(1), 86–94. <https://doi.org/10.1250/ast.29.86>
- Lachhwani, N., & Devi, T. S. (2023, May–June). Auditorium acoustics and architectural design. *International Journal for Modern Research (IJFMR)*, 5(3),1–9. <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2023.v05i03.3891>
- Ma, K. W., Wong, H. M., & Mak, C. M. (2018). A systematic review of human perceptual dimensions of sound: Meta-analysis of semantic differential method applications to indoor and outdoor sounds. *Building and Environment*, 133, 123–150. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.02.021>
- Mak, C. M. (2015). Special issues on building acoustics and noise control. *Building and Environment*, 94, 751. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.10.011>
- Markovic, M., Olesen, S. K., & Hammershøi, D. (2013). Three-dimensional point-cloud room model for room acoustics simulations. *Proceedings of Meetings on Acoustics*, 19(1), 015122. <https://doi.org/10.1121/1.4800237>
- O'Donnell, J., Truong-Hong, L., Boyle, N., Corry, E., Cao, J., & Laefer, D. F. (2019). LiDAR point-cloud mapping of building façades for building energy performance simulation. *Automation in Construction*, 107, 102905. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102905>
- Oniku, S., & Bello, T. (2012). A review of acoustic consideration in public and multifunctional building design. *FUTY Journal of the Environment*, 6(2). <https://doi.org/10.4314/fje.v6i2.9>
- Rashdi, R., Martínez-Sánchez, J., Arias, P., & Qiu, Z. (2022). Scanning technologies to building information modelling: A review. *Infrastructures*, 7(4), 1–29. <https://doi.org/10.3390/infrastructures7040049>
- Shanbari, H. A., Blinn, N. M., & Issa, R. R. (2016). Laser scanning technology and BIM in construction management education. *Journal of Information Technology in Construction*, 21, 204–217.
- Wu, C., & Clayton, M. J. (2013, October). *BIM based acoustic simulation framework*. In Proceedings of the 30th International Conference of CIB W78 (pp.99–108). Beijing, China.
- Xu, Y., Tong, X., & Stilla, U. (2021, February). Voxel-based representation of 3D point clouds: Methods, applications, and its potential use in the construction industry. *Automation in Construction*, 126, 103675. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103675>