

การวิเคราะห์ประเภทของวัสดุที่มีผลต่อค่าความเข้มของเสียง ที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่เสียง

Analysis a Material Effecting to Intensity of Sound of under Variable Frequencies

อานนท์ อิศรมงคลรักษ์^{1,*} และ รัฐกุล วุฒตวิภาต²

Arnon Isaramongkolrak^{1,*} and Rattakol Vuttavipat²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม 85 หมู่ที่ 3 ถนนมาลัยแมน อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

²แผนกปฏิบัติการและบำรุงรักษา การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคบางแสน 5 ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20130

*E-mail: anone_91@hotmail.com, Tel.: 09-0984-1082, Fax: 034-261-060, 034-261-065

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติของประเภทวัสดุที่ทำให้ลดค่าความเข้มเสียงด้วยการจำลองผลผ่านสมการเชิงอนุพันธ์โดยอาศัยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยบทความนี้มุ่งเน้นวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของวัสดุประเภทคอนกรีตและประเภทไม้ โดยจำลองให้วัสดุทั้งสองประเภทใช้สำหรับจัดทำเป็นห้องทดสอบที่มีแหล่งกำเนิดเสียงที่มีค่าความถี่เสียงเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 1,000 Hz ถึง 20,000 Hz อีกทั้งยังเปรียบเทียบผลการจำลองกับมาตรฐาน OSHA และจากผลการจำลองแสดงให้เห็นได้ว่าระดับความถี่เสียงทั่วไปที่มนุษย์สัมผัสซึ่งไม่เกิน 5,000 Hz สามารถใช้วัสดุประเภทคอนกรีตมาช่วยลดค่าความเข้มเสียงได้มากกว่าประเภทไม้ ซึ่งค่าประสิทธิภาพของคอนกรีตและไม้ที่ลดค่าความเข้มเสียงคิดเป็น 58.45% และ 51.70% ตามลำดับ

ABSTRACT

This paper analyzes the properties of material types that reduce the sound intensity by simulating differential equations with finite element method. This paper focuses on the performance of concrete and wood materials by simulating both types of materials for test room design under variable frequencies of source from 1,000 Hz to 20,000 Hz. Moreover, the simulation results compare with OSHA standards. The simulation results show that the typical human sound frequencies of no more than 5,000 Hz can be achieved. If using concrete materials can reduce the sound intensity than wood. The efficiency of concrete and wood decreased by 58.45% and 51.70%, respectively.

1. บทนำ

ความเข้มหรือความดังของเสียงนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น แหล่งกำเนิดเสียง ลักษณะการติดตั้งของแหล่งกำเนิดเสียง พื้นที่ของการกระจายเสียง ลักษณะและขนาดของห้อง รวมถึงสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนเสียงของวัสดุแต่ละชนิด ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนมีผลทำให้ความเข้มเสียงเปลี่ยนแปลงไป แม้ความดังเสียงจะมี

ความสัมพันธ์กับความเข้มเสียง แต่การหาความสัมพันธ์ไม่สามารถกระทำได้นี้เนื่องจากความดังของเสียงแปรเปลี่ยนไปตามค่าความถี่ของเสียง โดยค่าความถี่ขนาดกลาง ๆ ซึ่งมีความเข้มเสียงน้อย แต่อาจได้ความรู้สึกดังเท่ากับเสียงที่มีความถี่สูงได้ ดังนั้นการประเมินความดังของเสียงจึงอาศัยการเปรียบเทียบกับเสียงมาตรฐาน โดยเสียงที่มีความถี่ 500 Hz นั้นเป็นเสียงที่มีความเข้มน้อยที่สุดที่

Received 13 March 2018

Revised 21 May 2018

Accepted 18 May 2018

ได้ยินและถือว่าเป็นเสียงที่หูคนไวที่สุด [1] ดังนั้นบทความนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์ประเภทของวัสดุสำหรับการสร้างห้องทดสอบโดยพิจารณาจากระดับความดังของเสียงเมื่อความถี่ของเสียงมีการเปลี่ยนแปลงโดยอาศัยการจำลองผลผ่านสมการอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equation) ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิเลเมนต์แบบ 3 มิติซึ่งเป็นระเบียบวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับการหาผลเฉลยแบบประมาณ

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

บทความนี้อาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจำลองผลของความเข้มเสียง ซึ่งตั้งต้นจากสมการอนุพันธ์ย่อยดังสมการที่ 1 [4]

$$\nabla \cdot (-c\nabla p - \alpha p + \gamma) + \alpha p + \beta \cdot \nabla p = f \quad (1)$$

เมื่อ c คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของเสียง

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมของวัสดุ

f คือ ความเข้มของเสียงจากแหล่งกำเนิด

บทความนี้พิจารณาความเข้มของเสียงเพียงช่วงเวลาเดียว (Time harmonic analysis) จึงกำหนดให้ α , β และ γ มีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นสมการที่ 1 สามารถลดรูปของสมการได้เป็นดังสมการที่ 2 [5]

$$\nabla \cdot (-c\nabla p) + \alpha p = f \quad (2)$$

จากสมการที่ 2 จะเห็นได้ว่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องสำหรับการจำลองผลประกอบไปด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของเสียง (diffusion coefficient) และในบทความนี้กำหนดให้เสียงแพร่กระจายอยู่ในตัวกลางที่เป็นอากาศโดยจะมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของอากาศ (ρ) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3 [6]

$$c = \frac{1}{\rho} \quad (3)$$

สำหรับการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมของวัสดุ (absorption coefficient) [3] สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4

$$a = \frac{\omega^2}{c_s^2 \rho} \quad (4)$$

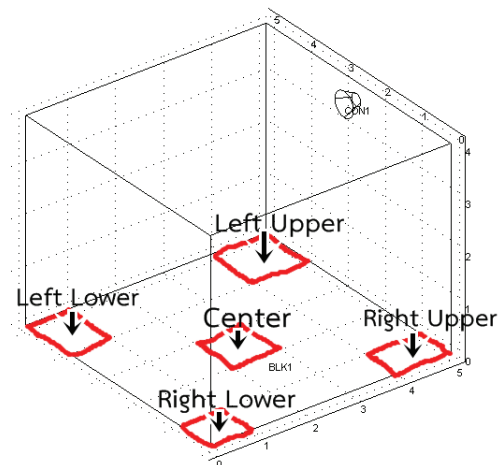
เมื่อ ω คือ ความถี่เชิงมุม (rad/s) มีค่า $2\pi f$

f คือ ค่าความถี่ของเสียงมีค่าเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 1,000 – 20,000 Hz

c_s คือ อัตราเร็วของเสียงมีค่าเท่ากับ 343 m/s

3. ระบบทดสอบและพารามิเตอร์การจำลองผล

บทความนี้อาศัยการจำลองผลด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิเลเมนต์ ซึ่งกำหนดให้การกระจายของเสียงแพร่ในห้องสี่เหลี่ยมที่มีความกว้าง 5 เมตร ความยาว 5 เมตร และความสูงของห้อง 4 เมตร โดยกำหนดตำแหน่งการวัดความเข้มของเสียงภายในห้องทดสอบทั้งสิ้น 5 ตำแหน่ง โดยวัดที่ระดับความสูงตั้งแต่ 1 เมตร 2 เมตรและ 3.5 เมตรแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตำแหน่งการพิจารณาค่าความเข้มของเสียง

จากรูปที่ 1 พิจารณาค่าความเข้มเสียงในแต่ละพื้นที่ของห้อง โดยแบ่งเป็น 5 จุด เพื่อเปรียบเทียบประเภทของวัสดุ ซึ่งมีทั้งหมด 2 ประเภท คือ คอนกรีต และไม้

พารามิเตอร์ของปัญหาเกี่ยวกับความเข้มเสียง โดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยวัสดุการสะท้อนเสียง แหล่งกำเนิดเสียง ในส่วนของสัมประสิทธิ์การดูดซับของวัสดุนั้นจะแปรเปลี่ยนไปตามค่าความถี่ของความเข้มเสียง [2] ซึ่งพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องสำหรับการจำลองผลแสดง ได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์สำหรับการจำลองผล

ประเภทวัสดุ	ค่าความหนาแน่น (kg/m ³)	ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย
คอนกรีต	2300	0.8264
อากาศ	1.21	0.000435
ไม้	600	0.0017

4. ผลการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

บทความนี้ได้วิเคราะห์ค่าความเข้มเสียงที่กระจายในห้องทดสอบทั้งหมด 5 ตำแหน่งแล้วแสดงผลในรูปแบบของค่าเฉลี่ย และพิจารณาค่าความถี่ของเสียงตั้งแต่ 1,000 Hz ถึง 20,000 Hz ที่ระดับความสูงจากพื้นห้อง 1 เมตร 2 เมตร และ 3.5 เมตร ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบผลการจำลองเมื่อใช้วัสดุประเภทคอนกรีตและไม้เป็นวัสดุสำหรับการสะท้อนของคลื่นเสียงภายในห้องทดสอบ โดยผลการจำลองจะเปรียบเทียบกับมาตรฐาน Occupational Safety and Health Administration Standard (OSHA) ที่กำหนดค่าความเข้มเสียงไม่เกิน 90 dB [7] ซึ่งผลการจำลองแสดงได้ดังตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลการจำลองความเข้มเสียง (dB) เมื่อใช้คอนกรีตเป็นวัสดุสำหรับการสะท้อนของคลื่นเสียง

ความถี่ (Hz)	ความเข้มเสียงเฉลี่ยที่ 1 m	ความเข้มเสียงเฉลี่ยที่ 2 m	ความเข้มเสียงเฉลี่ยที่ 3.5 m	OSHA
1,000	29.77	29.14	28.61	ผ่าน
2,000	22.06	21.17	19.68	ผ่าน

ตารางที่ 2 (ต่อ) ผลการจำลองความเข้มเสียง (dB) เมื่อใช้คอนกรีตเป็นวัสดุสำหรับการสะท้อนของคลื่นเสียง

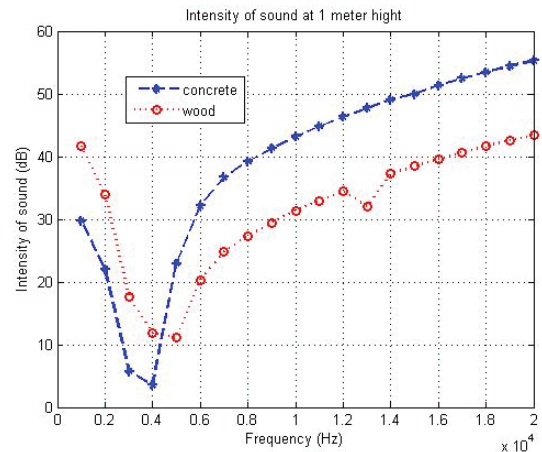
ความถี่ (Hz)	ความเข้มเสียงเฉลี่ยที่ 1 m	ความเข้มเสียงเฉลี่ยที่ 2 m	ความเข้มเสียงเฉลี่ยที่ 3.5 m	OSHA
3,000	5.74	5.67	5.81	ผ่าน
4,000	3.51	2.29	1.81	ผ่าน
5,000	22.95	22.13	21.50	ผ่าน
6,000	32.14	33.32	34.01	ผ่าน
7,000	36.67	37.48	38.02	ผ่าน
8,000	39.20	39.98	40.58	ผ่าน
9,000	41.30	42.05	42.64	ผ่าน
10,000	43.17	43.93	44.50	ผ่าน
11,000	44.82	45.59	46.17	ผ่าน
12,000	46.35	47.12	47.69	ผ่าน
13,000	47.76	48.53	49.09	ผ่าน
14,000	49.06	49.83	50.38	ผ่าน
15,000	49.92	51.03	51.59	ผ่าน
16,000	51.39	52.16	52.72	ผ่าน
17,000	52.46	53.22	53.77	ผ่าน
18,000	53.45	54.22	54.76	ผ่าน
19,000	54.40	55.17	55.71	ผ่าน
20,000	55.30	56.06	56.61	ผ่าน

จากผลการจำลองในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าทุกค่าความถี่ที่มนุษย์สามารถได้ยินเสียงนั้น จะมีค่าความเข้มเสียงไม่เกินค่ามาตรฐาน OSHA ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 90 dB และเมื่อพิจารณาที่ค่าความถี่ตั้งแต่ 5,000 Hz ขึ้นไป ก็ทำให้ค่าความเข้มเสียงมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย

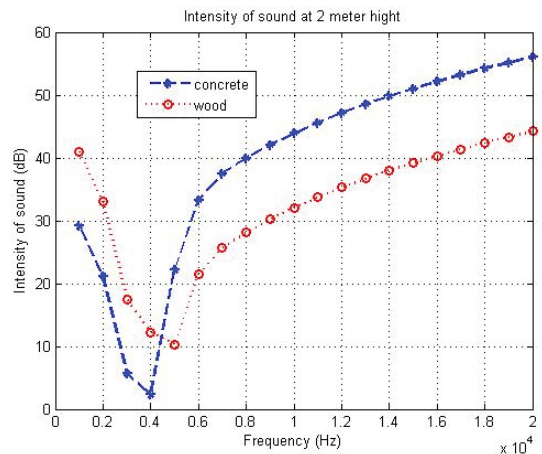
ตารางที่ 3 ผลการจำลองความเข้มเสียง (dB) เมื่อใช้ไม้ เป็นวัสดุสำหรับการสะท้อนของคลื่นเสียง

ความถี่ (Hz)	ความเข้มเสียงเฉลี่ยที่ 1 m	ความเข้มเสียงเฉลี่ยที่ 2 m	ความเข้มเสียงเฉลี่ยที่ 3.5 m	OSHA
1,000	41.61	40.97	40.45	ผ่าน
2,000	33.99	33.01	31.52	ผ่าน
3,000	17.58	17.47	17.55	ผ่าน
4,000	11.85	12.20	11.12	ผ่าน
5,000	11.11	10.29	9.67	ผ่าน
6,000	20.30	21.48	22.17	ผ่าน
7,000	24.83	25.64	26.18	ผ่าน
8,000	27.36	28.14	28.74	ผ่าน
9,000	29.46	30.22	30.80	ผ่าน
10,000	31.33	32.09	32.66	ผ่าน
11,000	32.98	33.75	34.33	ผ่าน
12,000	34.51	35.28	35.85	ผ่าน
13,000	21.98	36.69	37.25	ผ่าน
14,000	37.23	37.99	38.55	ผ่าน
15,000	38.43	39.19	39.75	ผ่าน
16,000	39.56	40.32	40.88	ผ่าน
17,000	40.62	41.38	41.93	ผ่าน
18,000	41.61	42.38	42.92	ผ่าน
19,000	42.56	43.33	43.87	ผ่าน
20,000	43.46	44.22	44.77	ผ่าน

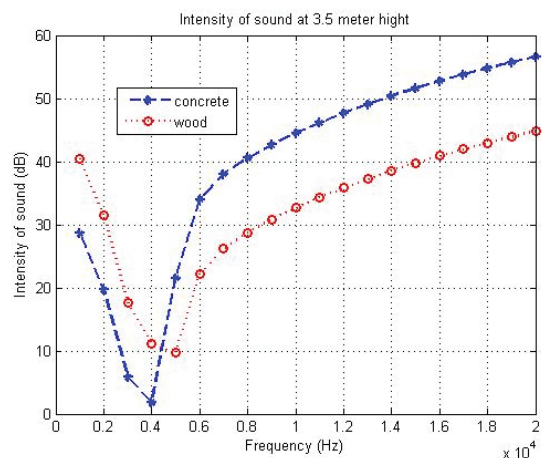
จากผลการจำลองในตารางที่ 2 และตารางที่ 3 นำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มของเสียงที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3.5 เมตร เมื่อใช้วัสดุเป็นคอนกรีตและไม้ จะได้ดังรูปที่ 2-4 ตามลำดับ



รูปที่ 4 เปรียบเทียบค่าความเข้มเสียงเมื่อใช้วัสดุเป็นคอนกรีตและไม้ที่ระดับความสูง 1 เมตร

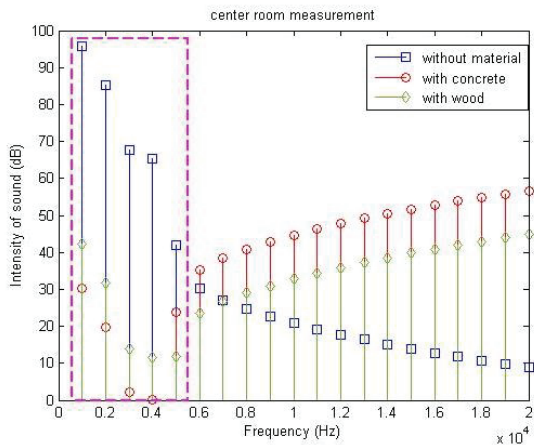


รูปที่ 5 เปรียบเทียบค่าความเข้มเสียงเมื่อใช้วัสดุเป็นคอนกรีตและไม้ที่ระดับความสูง 2 เมตร

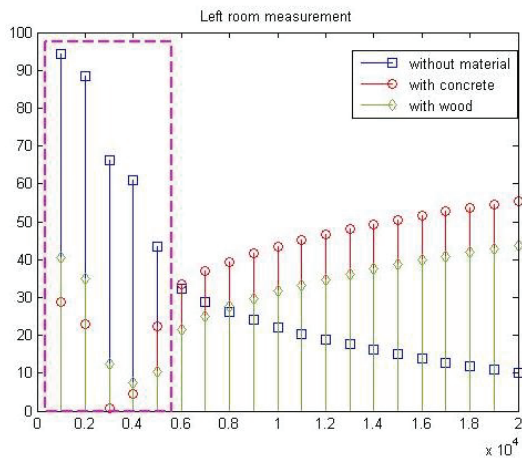


รูปที่ 6 เปรียบเทียบค่าความเข้มเสียงเมื่อใช้วัสดุเป็นคอนกรีตและไม้ที่ระดับความสูง 3.5 เมตร

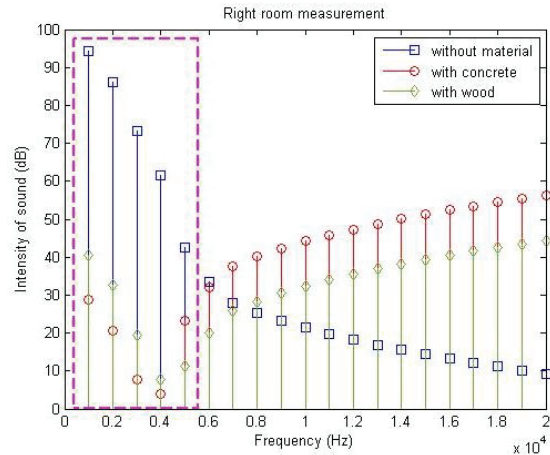
จากรูปที่ 4-6 จะเห็นได้ว่าการใช้คอนกรีตทำโครงสร้างห้องทดสอบจะสามารถลดค่าความเข้มของเสียงในระดับเสียงที่มีความถี่น้อยกว่า 5,000 Hz ได้ดีกว่าการใช้ไม้ แต่เมื่อความถี่มากกว่า 5,000 Hz การใช้ไม้จะลดค่าความเข้มเสียงได้ดีขึ้น และเมื่อพิจารณาตำแหน่งต่าง ๆ ภายในห้องทดสอบ โดยเปรียบเทียบที่ระยะความสูง 1 เมตร จะได้ผลการจำลองแสดงดังรูปที่ 7-9



รูปที่ 7 เปรียบเทียบค่าความเข้มเสียงที่ตำแหน่งกึ่งกลางห้องทดสอบ



รูปที่ 8 เปรียบเทียบค่าความเข้มเสียงที่ตำแหน่งด้านซ้ายของห้องทดสอบ



รูปที่ 9 เปรียบเทียบค่าความเข้มเสียงที่ตำแหน่งด้านขวาของห้องทดสอบ

จากรูปที่ 7-9 จะเห็นได้ว่าเมื่อไม่ใช้วัสดุโดยให้คลื่นเสียงเคลื่อนที่โดยอิสระผ่านตัวกลางอากาศภายในห้องทดสอบจะทำให้ค่าความเข้มเสียงมีค่าเกินมาตรฐาน OSHA ที่ค่าความถี่เสียงต่ำ ๆ ดังนั้น การลดความเข้มเสียงจำเป็นต้องอาศัยวัสดุที่ทำจากคอนกรีตมาเป็นโครงสร้างสำหรับห้องทดสอบเสียงที่มีความถี่เสียงไม่เกิน 5,000 Hz ส่วนการลดความเข้มเสียงที่มีความถี่มากกว่า 5,000 Hz จะต้องอาศัยวัสดุที่มีคุณสมบัติคล้ายกับประเภทไม้ และเมื่อพิจารณาที่ความถี่ของเสียงระดับต่ำ (1,000 Hz-5,000 Hz) ซึ่งเป็นความถี่เสียงที่มนุษย์ส่วนใหญ่ได้ยินสามารถคำนวณหาประสิทธิภาพของวัสดุแต่ละประเภทได้ดังสมการที่ 5

$$eff = \frac{I_{before} - I_{after}}{I_{before}} \times 100\% \quad (5)$$

ค่าประสิทธิภาพของวัสดุแต่ละประเภทที่ความถี่เสียงไม่เกิน 5,000 Hz พิจารณาที่ความสูง 1 เมตรแสดงได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพของวัสดุประเภทคอนกรีตและไม้

ความถี่ (Hz)	ก่อนใช้วัสดุ	ใช้วัสดุคอนกรีต	ใช้วัสดุไม้	ประสิทธิภาพของคอนกรีต (%)	ประสิทธิภาพของไม้ (%)
1,000	95.34	29.77	41.61	68.78	56.36
2,000	87.64	22.06	33.09	68.79	56.37
3,000	71.31	5.74	17.58	68.78	56.36
4,000	65.59	3.51	11.85	65.11	56.37
5,000	42.62	22.95	11.11	20.63	33.05
เฉลี่ย				58.45	51.70

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่า เมื่อใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติคล้ายประเภทคอนกรีตจะทำให้ได้ประสิทธิภาพในการลดค่าความเข้มเสียงเป็น 58.45% และเมื่อใช้วัสดุประเภท

ไม้ ทำให้ได้ประสิทธิภาพในการลดค่าความเข้มเสียงเป็น 51.70% โดยวัสดุทั้งสองประเภทนี้ทำให้ค่าความเข้มเสียงอยู่ในมาตรฐานของ OSHA

5. สรุปผลการจำลอง

จากผลการจำลองจะเห็นได้ว่า ค่าความเข้มเสียงจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้สำหรับการสะท้อนเสียง โดยวัสดุที่มีค่าความหนาแน่นน้อยจะมีประสิทธิภาพการลดค่าความเข้มเสียงได้ดีเมื่อทำงานกับเสียงที่มีค่าความถี่สูง ส่วนวัสดุที่มีค่าความหนาแน่นมาก จะมีประสิทธิภาพการลดค่าความเข้มเสียงได้ดีเมื่อทำงานกับเสียงที่มีค่าความถี่ต่ำ โดยเมื่อพิจารณาที่ความถี่การได้ยินของมนุษย์ในระดับปกติ ค่าประสิทธิภาพการทำงานของวัสดุชนิดคอนกรีตกับไม้มีค่าเป็น 58.45% และ 51.70% จากผลการจำลองดังกล่าวสามารถเป็นแนวทางสำหรับการออกแบบห้อง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันเสียงรบกวนโดยอาศัยการใช้งานจากคุณสมบัติของวัสดุประเภทคอนกรีตและไม้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Smith, J.P. Kiel, D.H. and Hurst, C.J. Intensity Measurements and Radiated Noise Reduction for Freon Compressor. International Compressor Engineering Conference, School of Mechanical Engineering, Perdue University, 1992.
- [2] Okubo, N., Nakane, N., Miyano, H. and Nogiwa, Y. 3-Dimensional Acoustic Intensity Measurement by Use of 4 Microphones. Proceeding on IMAC, 1985; 3: 652.
- [3] Lawson, M. V. The Sound Field for Singularities in Motion. Proceeding of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Science, A286559, 1965.
- [4] Timothy, H. Study and Research Regarding Sound Reduction Material with The Purpose of Reducing Sound Pollution. Master Thesis, Faculty of California Polytechnic State University, San Luis Obispo, 2014.
- [5] Barron, R. F. Industrial Noise Control and Acoustics. New York: Marcel Dekker, 2013.
- [6] Gade, S. Sound Intensity and its Application in Noise Control. *Sound and Vibration*, 1985; 14-26.
- [7] Occupational Safety and Health Administration. [Online] Available: <https://www.osha.gov/>.