การผลิตอิฐบล็อกสำหรับผนังดูดซับเสียงโดยใช้ถุงปูนซีเมนต์ผสมคอนกรีต

The production of Brick block for the Acoustics Absorption Wall by mixing Cement's Bags and Concrete

จุฬาลักษณ์ ไพบูลย์ฟุ้งเฟื่อง[1*], ชัชชติภัช เดชจิรมณี[2],พรชัย ขันทะวงค์[2]

[1]คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม 73170
[2]วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม 73170
*E-mail address: mschulalak@gmail.com

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมลพิษทางเสียงเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นพร้อมกับความเจริญโดยเฉพาะในเมืองหลักจึงมีการนำถุงปูนซีเมนต์มาใช้ในการลดปัญหาเสียงรบกวนดังนั้นการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับเสียงของอิฐบล็อกขนาด 24.3 ตารางเมตร โดยตัวแปรหลักในการศึกษาครั้งนี้คือถุงปูนซีเมนต์อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และทราย (W/C/S ratio) 0.5, 0.6, 0.7 และ0.8 ที่ความหนาของอิฐ 7, 9, และ 14 เซนติเมตร ซึ่งแสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α), ค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง (NRC) และค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน (TL) โดยใช้แผ่นวัสดุทั้งสิ้น 437 ก้อน จากผลการศึกษาพบว่า อิฐบล็อกสำหรับผนังดูดซับเสียงโดยใช้ถุงปูนซีเมนต์ผสมคอนกรีตมีค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของระดับเสียงคือมีค่าอยู่ในช่วง 0.4-0.7 ซึ่งเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงได้จึงสามารถสรุปได้ว่าเป็นวัสดุสะท้อนเสียงที่มีผลต่อกลไกในการดูดซับเสียงนอกจากนั้นยังสามารถกล่าวได้ว่าการผสมกระดาษลงในคอนกรีตมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการใช้ Putzmeister concentric spray gun ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งในการลดต้นทุนการผลิต

คำสำคัญ: การดูดซับเสียง, คอนกรีต, ถุงปูนซีเมนต์, อิฐบล็อก

Abstract

Urban noise pollution, in the present, has rapidly grown to be the most serious problem of our society. The study is to the noise absorption efficiency the Cement's Bags materials mixed with concrete. Three variables; mixing materials, water cement and sand ratio (W/C/S ratio) and thickness of sample brick, were predominantly considered in this study. The W/C/S were 0.5, 0.6, 0.7, and 0.8, while the thickness of sample plates were 7, 9, and 14 cm. Noise measurement, in terms of Sound Absorption Coefficient (α), Noise Reduction Coefficient (NRC) and Transmission Loss (TL), were conducted to all 437sample brick in the certain room. The results shown that NRC of Cement's Bags and Concrete, which are 0.4-0.7, Types of mixing material and W/C/S have significantly effected on Noise Absorption Efficiency. Mixing the Cement's Bags by the concrete mixing machine is as efficient as mixing by the process of Putzmeister Concentric Spray gun.

Key words: Acoustics Absorption 1, Concrete 2, Cement's Bags 3, Brick block 4

1. ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันประเทศไทยและทั่วโลกได้ประสบปัญหาสำคัญเหมือนกันทั่วโลกคือปัญหาสภาวะโลกร้อน ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ที่ไม่ได้เป็นไปตามธรรมชาติที่ควรจะเป็น แต่เป็นปัญหาที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์จึงทำให้เกิดปัญหา [1] “สภาวะโลกร้อน (Global Warming)”ซึ่งเกิดจากการกระทำกิจกรรมต่างๆ เช่น กิจกรรมทางด้านอาหารหรือสิ่งอำนวยความสะดวกที่อยู่ในรูปของอุตสาหกรรมหนักต่าง ๆ ซึ่งปัญหาเหล่านี้ยังส่งผลกระทบต่อการเกิดปัญหาภัยแล้ง หรือปัญหาน้ำท่วม โดยสาเหตุหลักมาจากความต้องการใช้ทรัพยากรป่าที่เพิ่มขึ้นแบบไร้ขีดจำกัดอันเกิดจากการเติบโตของประชากรโลกอย่างรวดเร็วและการเติบโตทางด้านเศรษฐกิจ ในขณะเดียวกันผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ ไม่ว่าจะเป็น น้ำมัน หิน ป่าไม้ มีปริมาณลดลงอย่างน่าตกใจ รวมถึงประเทศไทยที่มีการวางกรอบนโยบายต่างๆ ออกมาเพื่อหาวิธีการ คิดค้น สร้างวัสดุทดแทน หรือการนำของเสียมาใช้ใหม่เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดและคุ้มค่ามากที่สุด จึงมีการนำวัสดุเหลือใช้ในการอุตสาหกรรมก่อสร้างต่างๆ มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ เพื่อเกิดประโยชน์สูงสุด [2]

ของเสียในระบบอุตสาหกรรมที่ได้จากป่าไม้ เช่น ถุงปูนซีเมนต์ ซึ่งจัดได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำลายทรัพยากรธรรมชาติอย่างมาก โดยที่เมื่อมีการใช้ผลิตภัณฑ์แล้วจะเป็นการใช้แล้วทิ้งไป ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ กระดาษสำหรับบรรจุภัณฑ์ปูนซีเมนต์ จัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่สำคัญมากเนื่องจากกระดาษมีคุณสมบัติที่ดีในการถ่ายเทความร้อนและการระบายน้ำ ทำให้นิยมนำมาเป็นบรรจุภัณฑ์ของปูนซีเมนต์ ซึ่งการใช้ง่ายและราคาถูกจึงเป็นวัสดุอันดับต้นๆ ของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ และเมื่อภาคการก่อสร้างใช้ปูนซีเมนต์แล้วถุงปูนซีเมนต์จะกลายเป็นของเสียต่อระบบนิเวศน์ เนื่องจากถุงปูนซีเมนต์มีส่วนผสมของพลาสติก ซึ่งย่อยสลายได้ช้า และไม่เป็นที่ต้องการในระบบอุตสาหกรรมรีไซเคิล การวิจัยครั้งนี้จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาของเหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรมเป็นการผลิตอิฐบล็อกสำหรับผนังดูดซับเสียงโดยใช้ถุงปูนซีเมนต์ผสมคอนกรีต

2. วัตถุประสงค์

1 เพื่อพัฒนาคุณภาพของเหลือจากภาคอุตสาหกรรมให้มีคุณสมบัติทัดเทียมกับวัสดุกันเสียงสำหรับอาคารที่ต้องการลดความเข้มของเสียง ด้วยกระบวนการอย่างง่าย

2 เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับถุงปูนซีเมนต์ที่เป็นของเหลือจากภาคอุตสาหกรรม

3 เพื่อลดปริมาณขยะของภาคอุตสาหกรรมสิ่งก่อสร้าง

4 เพื่อเป็นการสร้างโอกาสในการต่อยอดเชิงพาณิชย์ เกี่ยวกับของเหลือจากภาคอุตสาหกรรมสิ่งก่อสร้าง

5 เพื่อเปรียบเทียบต้นทุน การประหยัดพลังงาน และคุณสมบัติต่าง ๆ ประกอบด้วย การรับแรง การทนไฟ การทนต่อสภาพภูมิอากาศ และประสิทธิภาพในการลดความเข้มของเสียง

3. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานผนังที่ใช้ก่อสร้างอาคารโดยทั่วไปนิยมที่จะใช้วัสดุจำพวกของอิฐ อิฐบล็อก มาใช้ในงานก่อสร้างซึ่งปัจจุบันได้มีการพัฒนารูปแบบไปมากมาย และมีอยู่หลายประเภททั้งที่ผลิตจากดินเป็นหลัก เช่น อิฐมอญ อิฐก่อสร้างสามัญ อิฐมาตรฐาน หรือใช้ปูนซีเมนต์ในการเป็นวัตถุดิบ เช่น อิฐบล็อก หรือคอนกรีตบล็อก คอนกรีตมวลเบา อิฐมวลเบา ใช้ทั้งอย่างเช่นอิฐประสาน อิฐดินซีเมนต์ ซึ่งวัสดุในการก่อแต่ละชนิดจะมีกระบวนการในการผลิต การขึ้นรูป คุณสมบัติและการใช้งานที่แตกต่างกัน ดังนั้น ในการเลือกใช้สินค้าจึงต้องศึกษาและเลือกใช้ให้เหมาะสม และประกอบกับในยุคปัจจุบันนั้นคนทั่วไปนิยม ผนังดูดซับเสียงนำมาติดตั้งอาคารต่างๆ จึงมีแนวคิดที่จะมีการพัฒนานำของเหลือใช้ จากภาคการก่อสร้างมาผสมกับคอนกรีต เพื่อใช้ในการก่อสร้าง

4.วิธีดำเนินการวิจัย

วัสดุอุปกรณ์ในการผลิตอิฐบล็อก การเตรียมกระดาษจากถุงปูนซีเมนต์

ขนาดของถุงปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการผสมลงไปในคอนกรีต ทำการย่อยให้ได้ขนาดโดยประมาณ 1 cm. x 1 cm. เพื่อให้กระดาษนั้นสามารถที่จะติดไปกับส่วนผสมทั้งหมด ได้อย่างเป็นเนื้อเดียวกันและจะได้ไม่มีปัญหาการแตกของส่วนผสม

รูปที่ 1: ถุงปูนซีเมนต์

<u>อัตราส่วนผสม</u>

ปูนซีเมนต์ 1 ถุง 50 กิโลกรัม		
มีปริมาตร	= 0.036 x 1	= 0.036 ลูกบาศก์เมตร
ทราย 2 ส่วน		
มีปริมาตร	= 0.036 x 2	= 0.072 ลูกบาศก์เมตร
น้ำหนักทราย	= 0.072 x 1,450	= 104.4 กิโลกรัม
หิน 2 ส่วน		
มีปริมาตร	= 0.036 x 2	= 0.072 ลูกบาศก์เมตร
น้ำหนักหิน	= 0.072 x 1,450	= 104.4 กิโลกรัม
ถุงปูนซีเมนต์ (กระดาษ) 2 ส่วน		
มีปริมาตร	= 0.036 x 2	= 0.072 ลูกบาศก์เมตร
น้ำหนักถุงปูนซีเมนต์	= 0.072 x 1,450	= 104.4 กิโลกรัม

ปริมาณน้ำที่ใช้โดยทั่วไปสำหรับปูน 1 ถุง เพื่อให้ได้ค่ายุบตัวประมาณ 10 ซม. เท่ากับ 30 ลิตรน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมดเมื่อใช้ปูน 1 ถึง = 50 + 104.4 + 104.4+104.4+30 = 393 กิโลกรัมหน่วยน้ำหนักคอนกรีต 1 ลบ.ม. = 2,400 กิโลกรัม ต้องใช้ปริมาณปูน = 2,400 / 393 = 6.1 ถุง = 305 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

<u>ขั้นตอนการผสม</u>

การผสมส่วนผสมนั้นเริ่มจากการนำทรายละเอียดตามอัตราส่วนข้างต้น มาผสมกับปูนซีเมนต์แห้ง และทำการคลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นเติมกระดาษจากถุงปูนซีเมนต์ ผสมให้เข้ากันจากนั้นค่อยๆเติมน้ำ และผสมให้เข้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกัน

รูปที่ 2: การผสมถุงปูนซีเมนต์ตามอัตราส่วน

การหล่ออิฐบล็อก

เมื่อผสมส่วนผสมทั้งหมดเรียบร้อยแล้วก็นำมาใส่ลงในแบบพิมพ์ตามขนาดที่ได้ศึกษาคือ ขนาด 0.07 x 0.19 x 0.39 เมตร ขนาด 0.09 x 0.19 x 0.39 เมตร และ ขนาด 0.14 x 0.19 x 0.39 เมตร โดยแบบพิมพ์ไม้นั้นจะทำการทาน้ำมันไว้เพื่อความสะดวกในการแกะแบบพิมพ์ นำส่วนผสมใส่ให้เต็ม และทิ้งไว้ให้แห้งเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นก็แกะออกจากแบบพิมพ์ตา

รูปที่ 3: การขึ้นรูปอิฐบล็อก

ขนาดห้องที่ทำการศึกษา

ในการออกแบบห้องต้นแบบสำหรับการทำการทดลองในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดการออกแบบ โดยกำหนดให้ห้องทดลองมีขนาด 3.00 x 3.00 x 2.70 เมตร หรือขนาด 24.3 ลูกบาศก์เมตรโดยไม่มีช่องเปิดหน้าต่าง โดยจำลองสำหรับห้องที่ใช้ดูภาพยนตร์ภายในครัวเรือน หรือภาคอุตสาหกรรม โดยที่การออกแบบห้องทดลองเป็น โดยใช้อุปกรณ์ที่เป็นโครงสร้าง ค.ส.ล. พื้นเป็นคอนกรีตขัดมัน ผนังทำด้วยคอนกรีตบล็อกที่ผลิตสำหรับทดลอง ฝาเพดานเป็นฝ้าฉาบเรียบ หลังคาเป็นหลังคากระเบื้องลอนคู่

เครื่องมือในการทดสอบ

เมื่อได้ทำการก่อสร้างห้องทดลองได้ตามขนาดที่กำหนดไว้แล้วนั้น ก็เตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย 1.เครื่องกำเนินคลื่นความถี่ 2.เครื่องวัดคลื่นความถี่ 3.เครื่องขยายสัญญาณ 4.ลำโพง 5.เครื่องวัดเสียง [3]

การตรวจวัดและรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Absorption Coefficient, α) ของแผ่นอิฐบล็อกสำหรับผนังดูดซับเสียงโดยใช้ถุงปูนซีเมนต์ผสมคอนกรีตโดยติดตั้งเครื่องมือต่างๆ และดำเนินการทดสอบตามขั้นตอนต่อไปนี้

1) ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ (°C)

2) ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดเสียง และทำการบันทึกค่าระดับความดังของเสียง หลังจากปิดประตูห้องทดลอง

3) เปิดเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่จนความถี่อิ่มตัว

4) เปิดเครื่องขยายสัญญาณ

5) เปิดลำโพงขยายเสียง

6) กำหนดช่วงความถี่ที่ทำการทดลอง

7) ทำการบันทึกค่าความดังของเสียงหลังจากความดังอิ่มตัว โดยแต่ละช่วงความถี่ภายในห้องกำเนินเสียงและห้องรับเสียง

8) ทำการหาค่าอัตราส่วน ความดังของเสียงที่ลดลงต่อวินาที(Rate of decay,dBA/sec)ภายในห้องรับเสียง

9) ทำการคำนวณหาค่าความสามารถในการดูดซับเสียงภายในห้องรับเสียง หลังจากติดตั้งแผ่นวัสดุเข้ากรอบ (Absorption Coefficient, α)

10) ทำการคำนวณหาค่าการสูญเสียพลังงานและการส่งผ่าน (Transmission loss, TL) [4]

5. ผลและวิจารณ์

การศึกษาเวลาที่ใช้ในการลดความก้องของเสียงจากเดิมให้เหลือ 60 dB หลังจากที่แหล่งกำเนิดเสียงหยุดการเกิดเสียงลงแล้ว หรือค่า RT60 พบว่าค่า RT60 จะขึ้นกับขนาดของห้องและสามารถในการดูดซับเสียงของห้องโดยหากห้องมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Absorption Coefficient) สูงกว่า 0.8 เวลาที่เกิดเสียงก้องจะน้อย [5]

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของแผ่นวัสดุ (Absorption Coefficient, α) จากผลการตรวจวัดค่าอัตราการสลายตัวของพลังงานเสียง (Rate of Decay) ดังแสดงในตารางที่ 4 เมื่อได้นำผลการทดลองดังกล่าวมาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Absorption Coefficient, α) และค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง (Noise Reduction Coefficient, NRC) พบว่ามีผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การดูดซับเสียงของอิฐบล็อกโดยใช้ถุงปูนซีเมนต์ผสมคอนกรีต

ความหนา (cm.)	อัตราส่วนน้ำ/คอนกรีต	ค่าการดูดซับเสียง						ค่าเฉลี่ย
		125	250	500	1000	2000	4000	
7	0.5	0.005	0.037	0.037	0.101	0.035	0.086	0.053
	0.6	0.012	0.054	0.054	0.097	0.082	0.078	0.039
	0.7	0.017	0.033	0.033	0.087	0.019	0.07	0.039
	0.8	0.025	0.034	0.034	0.039	0.046	0.05	0.036
9	0.5	0.021	0.059	0.044	0.113	0.066	0.134	0.07
	0.6	0.013	0.047	0.039	0.111	0.092	0.094	0.072
	0.7	0.011	0.039	0.041	0.09	0.052	0.086	0.055
	0.8	0.007	0.037	0.039	0.046	0.052	0.063	0.043
14	0.5	0.025	0.078	0.049	0.133	0.117	0.186	0.094
	0.6	0.008	0.061	0.057	0.135	0.106	0.146	0.09
	0.7	0.021	0.053	0.058	0.111	0.082	0.111	0.076
	0.8	0.003	0.044	0.03	0.047	0.059	0.107	0.045

จากข้อมูลในตารางที่ 1 พบว่า ลักษณะการเพิ่มขึ้นและลดลงของค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง (Noise Reduction Coefficient, NRC) ของอิฐบล็อกในช่วงอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ทรายต่างๆที่ความหนา 14 เซนติเมตรซึ่งมีลักษณะแตกต่างจากความหนา 9และ 7เซนติเมตรในช่วงอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ทราย เดียวกันเนื่องจากปรากฏการณ์การกำทอนของเสียงภายในช่องว่างของ

เนื้อวัสดุซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่วัสดุหรือสิ่งใดสิ่งหนึ่งเกิดการสั่นตัวเมื่อได้รับการกระตุ้นโดยคลื่นที่มีความถี่ตรงกับความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ของวัสดุหรือสิ่งของนั้นทำให้เกิดการสั่นตัวอย่างรุนแรงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของวัสดุมีค่าเปลี่ยนแปลงประกอบกับลักษณะของวัสดุกระดาษซึ่งมีความความหนาแน่นและความสม่ำเสมอต่ำทำให้การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ซึ่งตรงกับผลการศึกษาของ [6] [7]

โดยจากค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียง (Noise Reduction Coefficient, NRC) สามารถจำแนกชนิดของวัสดุได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ วัสดุสะท้อนเสียง เช่นวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียงอยู่ในช่วง 0-0.2 และวัสดุที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงสูง เช่น วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียงอยู่ในช่วง 0.4-0.7 ซึ่งจากข้อมูลในตารางที่ 2 พบว่าอิฐบล็อกสำหรับผนังดูดซับเสียงโดยใช้ถุงปูนซีเมนต์ผสมคอนกรีตเป็นวัสดุสะท้อนเสียงโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียงอยู่ในช่วง 0.036-0.094

ตารางที่ 2 การดูดซับเสียงแบบแมนแบรน

วัสดุ	ความหนา (cm.)	อัตราส่วน น้ำ/ซีเมนต์			
		0.5	0.6	0.7	0.8
ถุงปูนซีเมนต์	7	Membrane	Membrane	Membrane	Porous
	9	Membrane	Membrane	Membrane	Porous
	14	Membrane	Membrane	Membrane	Porous

6. สรุปผล

1. วัสดุอิฐบล็อกสำหรับผนังดูดซับเสียงโดยใช้ถุงปูนซีเมนต์ผสมคอนกรีต (5% โดยน้ำหนัก) ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และทราย 0.7 และ 0.8 มีค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียงใกล้เคียงกันโดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.4-0.7 ซึ่งเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดซับเสียงได้ดีซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของเสียงคือค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงในช่วงความถี่ 250 500 1000 และ 2000 Hz ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกชนิดของอิฐบล็อกสำหรับผนังดูดซับเสียงโดยใช้ถุงปูนซีเมนต์ผสมคอนกรีตจึงสามารถสรุปได้ว่าเป็นวัสดุสะท้อนเสียงโดยอัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ทราย (W/C/S ratio) และชนิดของเส้นใยมีผลต่อรูปแบบกลไกในการดูดซับเสียงโดยเป็นตัวกำหนดว่าวัสดุดูดซับเสียงจะมีกลไกในการดูดซับเสียงเป็นแบบเมมเบรน (membrane absorber) หรือแบบรูพรุน (porous absorber)

2. วัสดุอิฐบล็อกสำหรับผนังดูดซับเสียงโดยใช้ถุงปูนซีเมนต์ผสมคอนกรีตมีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงใกล้เคียงกับการใช้ Put zester concentric spray gun (วิธีการที่ใช้ในปัจจุบัน) ดังนั้นจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดต้นทุนการผลิตโดยยังคงมีลักษณะการติดตั้งแบบเดียวกับที่ใช้ในปัจจุบัน

3. เมื่ออิฐบล็อกสำหรับผนังดูดซับเสียงโดยใช้ถุงปูนซีเมนต์ผสมคอนกรีตมีความหนาเพิ่มขึ้นจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงจะสูงขึ้นยกเว้นในกรณีที่ความถี่เสียงตรงกับความถี่ธรรมชาติของวัสดุจะทำให้ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่านลดลง นอกจากนั้นวัสดุที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงได้ดีมักจะมีค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่านสูงด้วยเช่นกัน

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาที่สนับสนุนทุนในการวิจัย และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ที่ให้ใช้สถานที่ในการทดลอง

8. เอกสารอ้างอิง

[1] เกษม จันทร์แก้ว, 2541, เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม, “โครงการสหวิทยาการบัณฑิตศึกษาสาขาวิชา”, วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[2] ทวี สุขพันธุ์เพ็ง, 2529, “การพัฒนากับปัญหาภาวะมลพิษทางเสียงการป้องกันและแก้ไข”, ในรายงานการฝึกอบรมเรื่องการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม, กองวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมสำนักงาน คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ,วันที่ 21-25 เมษายน 2529, กรุงเทพมหานคร.

[3] นิรันดร์ วิทิตอนันต์, 2535, “สมรรถนะในการลดระดับความดังเสียงของวัตถุพรุน”, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[4] ประธาน อารีพล, 2541, “การจัดการมลพิษทางเสียงและความสั่นสะเทือน”, นนทบุรี: บริษัทเอ็นไวร์.

[5] พัฒนา บุญญประภา, 2526, “การศึกษาประสิทธิภาพของการลดเสียงของวัสดุป้องกันเสียงที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น”, วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล.

[6] A. Ramirez-Coretti, 1992, “Fiber Reinforced Cement and Concrete”, Costa Rico: Costa Rica Institute of Technology.

[7] American National Standard, 1998, “Annual Book of ASTM Standards: Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method”, C423-90a. Volume 4.06. New York: Clearance Center.