



การวิเคราะห์ลักษณะเสียงโพรงใต้แผ่นกระเบื้องด้วยการแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว An Analysis of Hollow-Sounding Tiles using Fast Fourier Transform

เพชรรัตน์ ลิ้มสุปรียารัตน์¹ ชัยฤกษ์ จักรพัฒน์จิต² และจันทนา ปัญญาวรรณณ์^{1*}

Received: July, 2017; Accepted: September, 2017

บทคัดย่อ

การตรวจเสียงโพรงใต้แผ่นกระเบื้องเป็นขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพงานก่อสร้างที่จำเป็นต้องทำ เพราะหากเกิดโพรงอาจส่งผลกระทบต่อความบกพร่อง เช่น กระเบื้องหลุดล่อนหรือแตกหักหากมีวัตถุหล่นบนผิวหน้า อาจทำให้เกิดอุบัติเหตุและการบาดเจ็บในการใช้งานพื้นที่ การตรวจสอบเสียงโพรงจำเป็นต้องใช้การฟังของผู้ตรวจสอบเพื่อจำแนกลักษณะเสียงซึ่งขาดความเป็นมาตรฐาน งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์เสียงที่ได้จากการตรวจสอบงานปูกระเบื้องโดยใช้หลักการวิเคราะห์สัญญาณเสียงในโดเมนความถี่เพื่อจำแนกลักษณะเสียงทึบและโพรง พื้นที่ปูกระเบื้องที่ใช้ทดสอบถูกจำลองขึ้นในห้องปฏิบัติการสำหรับการทำการเคาะบนผิวกระเบื้องและจัดเก็บข้อมูลเสียงเพื่อนำไปวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์พบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถจำแนกลักษณะเสียงทึบและโพรง มีค่าความถูกต้องมากถึง 98.73 % งานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาการตรวจสอบคุณภาพงานปูกระเบื้องให้เป็นมาตรฐานขึ้น

คำสำคัญ : งานปูกระเบื้อง; การตรวจสอบ; สัญญาณเสียง; โดเมนความถี่

¹ Faculty of Engineering, Burapha University, Chon Buri

² Faculty of Engineering at Si Racha, Kasetsart University, Si Racha Campus

* Corresponding Author E - mail Address: jantanap@eng.buu.ac.th

Abstract

Hollow-sounding tile inspection is the required process of construction quality inspection because hollows under tiles may lead to the defections such as unbonded tiles or broken tiles in case some objects fall onto the surface. These defects will be causes of accidents and injuries when those areas were occupied. In order to inspect a hollow-sounding tile, the inspector must listen to that sound to classify the type of sound which it lacks any standardize. This paper proposes the audio signal analysis from tiling inspection in frequency domain to classify a dull or hollow sound. The test tiling area was mocked up in laboratory for tapping on the tile surface and collecting the audio signal to analysis. The analysis results indicated the proposed method can identify the dull and hollow sounding tiles. The accuracy is up to 98.73 %. It can use to be a guideline for developing the standard tiling inspection method.

Keywords: Tilling; Inspection; Audio Signal; Frequency Domain

บทนำ

งานปูกระเบื้องเป็นขั้นตอนการก่อสร้างสำหรับตกแต่งพื้นผิวของอาคารเพื่อให้เกิดความสวยงาม วิธีการปูกระเบื้องที่นิยมในปัจจุบันมีหลากหลายวิธี เช่น วิธีการปูแบบเปียกเป็นการปูกระเบื้องโดยการเทพูนปรับระดับแล้วทำการติดตั้งแผ่นกระเบื้องลงบนพื้นที่ที่เทพูนไว้ วิธีการปูแบบซาลาเปาเป็นวิธีการปูกระเบื้องโดยการปั้นปูนเป็นก้อนไว้กึ่งกลางด้านหลังแผ่นกระเบื้องก่อนติดตั้งลงบนพื้นที่ที่กำหนด และวิธีการปูแบบแห้งเป็นการปูกระเบื้องโดยการทาขาวซีเมนต์ลงบนพื้นผิวด้านหลังแผ่นกระเบื้องก่อนติดตั้งลงบนพื้นที่ที่ได้ทำการปรับระดับไว้เรียบร้อยแล้ว ผู้ควบคุมงานจะดำเนินการตรวจสอบคุณภาพการปูกระเบื้อง ได้แก่ การตรวจสอบสภาพและลวดลายของกระเบื้อง การตรวจสอบรูปแบบการจัดวางกระเบื้อง การตรวจสอบแนวและระดับในการปูกระเบื้อง การตรวจสอบร่องยาแนวกระเบื้อง และการตรวจสอบการหลุดล่อนของกระเบื้อง

การตรวจสอบการหลุดล่อนของกระเบื้องเป็นการตรวจสอบที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก หากกระเบื้องที่ได้ทำการติดตั้งไปแล้วเกิดโพรงภายใต้กระเบื้องจะส่งผลให้เมื่อใช้งานในพื้นที่ดังกล่าวอาจทำให้กระเบื้องแตกหรือหลุดออกจากบริเวณที่ติดตั้ง วิธีการตรวจสอบที่ผู้ควบคุมงานก่อสร้างมักใช้ในการตรวจสอบการหลุดล่อนของกระเบื้อง คือ การนำวัตถุ เช่น เหรียญหรือเหล็กเส้นทำการเคาะบนผิวหน้าของแผ่นกระเบื้องที่ได้ทำการติดตั้งลงบนพื้นที่ใช้งานบริเวณมุมทั้งสี่ด้านและกึ่งกลางของแผ่นกระเบื้องเนื่องจากเป็นบริเวณที่มักพบว่ามีปริมาณปูนซีเมนต์หรือขาวซีเมนต์ไม่ทั่วถึงโดยผู้ควบคุมงานก่อสร้างจะฟังเสียงกระทบที่เกิดขึ้น หากพบว่าเป็นเสียงโพรงผู้ควบคุมงานก่อสร้างจะพิจารณาว่างานปูกระเบื้องในบริเวณดังกล่าวมีความบกพร่องและอาจต้องดำเนินการแก้ไข วิธีการตรวจสอบดังกล่าวจำเป็นต้องใช้ทักษะและประสบการณ์เฉพาะบุคคลของผู้ควบคุมงานซึ่งอาจทำให้ผลการจำแนกเสียงขาดความถูกต้องและแม่นยำ

ในอดีตที่ผ่านมาทีมงานวิจัยที่ได้ศึกษาวิธีการตรวจสอบการหลุดล่อนของกระเบื้องอยู่หลายวิธี ยกตัวอย่างเช่น วิธี Ultrasound-echo และ Impact echo [1] - [3] ทั้ง 2 วิธีไม่ได้รับการยอมรับเนื่องจากเป็นวิธีที่ต้องนำอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ (Sensor) ไปติดตั้งที่พื้นผิวที่ต้องการตรวจสอบ วิธีนี้ไม่สะดวกกับการนำไปตรวจสอบในพื้นที่ขนาดใหญ่หรือพื้นผิวอยู่บนที่สูง งานวิจัยของ Huang, Y. H. et al. [4] นำเสนอวิธี Shearography ซึ่งเป็นวิธีการตรวจสอบที่ไวต่อสภาพแวดล้อมจริงและเป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงและ Hung, Y. Y. et al. [5] ได้นำเสนอวิธี Thermography ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ต้องนำอุปกรณ์ไปติดตั้งที่ผิวสัมผัสแต่ใช้การตรวจจับอุณหภูมิบริเวณพื้นที่ผิว วิธี Thermography แบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ คือ แบบดั้งเดิมและแบบ Active แบบดั้งเดิมจะไม่ใช้แหล่งกำเนิดความร้อนจากภายนอกจึงทำให้เมื่อนำไปใช้ในการตรวจสอบอาจได้รับผลกระทบจากแหล่งความร้อนตามธรรมชาติที่มีอยู่ในสภาพแวดล้อมจริง ส่วนแบบ Active เป็นเทคนิคที่ค่อนข้างได้รับความนิยมน่าเชื่อถือ แต่อย่างไรก็ตามการใช้อุปกรณ์สร้างแหล่งกำเนิดความร้อนจากภายนอกค่อนข้างยุ่งยากและไม่เหมาะต่อการทำงานในอาคารสูง

นอกจากวิธีการตรวจสอบที่ได้นำเสนอไปข้างต้นมีวิธี Impact acoustics [6] ซึ่งเป็นการศึกษาการยืดเกาะระหว่างวัสดุ 2 ชนิด โดยพิจารณาคุณลักษณะเสียงที่แตกต่างกันในแต่ละสภาพ วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและมีค่าใช้จ่ายไม่มาก ทีมงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาการจำแนกเสียงเคาะที่ผิวของวัตถุด้วยเหรียญ [7] วิธีนี้เป็นวิธีที่ต้องพึ่งพาทักษะและความสามารถของผู้ควบคุมงาน ทีมงานวิจัยจำนวนไม่มากที่ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาการตรวจสอบด้วยวิธี Impact acoustics [8] - [10] เพื่อให้วิธีการตรวจสอบนี้เป็นวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายที่มีความสะดวก ง่ายต่อการใช้งานและมีค่าใช้จ่ายที่มีประสิทธิภาพ จากการทบทวนงานวิจัยในอดีตพบว่า การนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ในการจำแนกและวิเคราะห์ลักษณะเสียงที่เป็นความบกพร่องที่เกิดขึ้นในการดำเนินงานปูกระเบื้องจึงเป็นแนวทางที่สามารถช่วยลดการพึ่งพาและการตัดสินใจโดยมนุษย์ ซึ่งอาจมีความคลาดเคลื่อนและสามารถยกระดับมาตรฐานการตรวจสอบคุณภาพงานก่อสร้างให้มีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้นได้

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่การวิเคราะห์ลักษณะเสียงทึบและเสียงโพรงใต้แผ่นกระเบื้องในโดเมนความถี่ (Frequency Domain) ซึ่งมีความแม่นยำกว่าการวิเคราะห์สัญญาณเสียงในโดเมนเวลา (Time Domain) พร้อมทั้งวิเคราะห์ผลจากสเปกตรัมของสัญญาณเสียง โดยบทความวิจัยนี้ประกอบด้วย 5 ส่วนหลัก คือ บทนำ ทฤษฎีการแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว วิธีดำเนินการวิจัย ผลการทดสอบในพื้นที่จำลองและบทสรุป

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform)

การแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform: FFT) คือ การแปลงฟูริเยร์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Fourier Transform) อย่างเร็ว สามารถหาผลการแปลงได้จากสมการที่ (1)

$$F_k = \sum_{j=1}^N \left(L_j \cdot e^{\frac{2i\pi(j-1)(k-1)}{N}} \right), k = 1, \dots, N \quad (1)$$

โดยที่

L คือ ข้อมูล

N คือ จำนวนข้อมูล สำหรับงานวิจัยฉบับนี้ ข้อมูลหมายถึงสัญญาณเสียง

F คือ สเปกตรัมในเชิงความถี่

ค่า F เป็นได้ทั้งจำนวนจริงและจำนวนเชิงซ้อน ดังนั้นสามารถหาขนาด (Magnitude) ของสเปกตรัมได้จากสมการที่ (2)

$$Magnitude = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (2)$$

เมื่อ x คือ ค่าจริง และ y คือ ค่าจินตภาพ

จุดประสงค์หลักของการวิเคราะห์สัญญาณด้วย FFT เพื่อต้องการทราบว่าสัญญาณมีองค์ประกอบความถี่ใดบ้างและมีจำนวนความถี่มากน้อยเพียงใด

วัสดุและวิธีดำเนินการวิจัย

วัสดุ

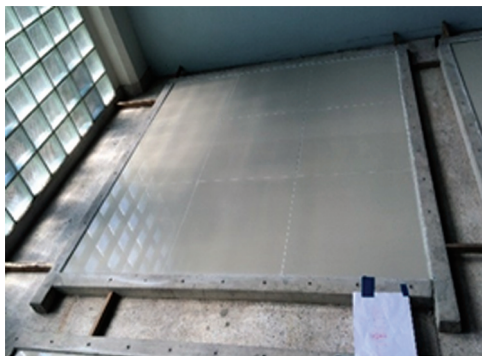
ในปัจจุบันนิยมตกแต่งอาคารด้วยกระเบื้องแกรนิตโต้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้กระเบื้องแกรนิตโต้ในการทดสอบ กระเบื้องที่ใช้ในการทดสอบมีขนาดกว้างและยาวเท่ากับ 0.60×0.60 เมตร และมีความหนาของแผ่นกระเบื้องประมาณ 0.80 – 1.00 เซนติเมตร

วิธีดำเนินการวิจัย

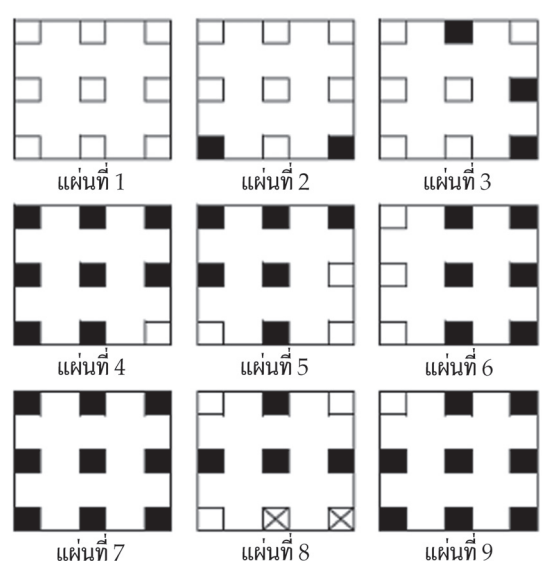
วิธีดำเนินการวิจัยในบทความนี้แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน

1. จากการสำรวจเบื้องต้นในโครงการก่อสร้างบ้านจัดสรรและคอนโดมิเนียมในปัจจุบันพบว่าวิธีการปูกระเบื้องที่นิยมใช้คือการปูแบบแห้ง ดังนั้นพื้นที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการดังแสดงในรูปที่ 1 จึงเลือกใช้วิธีการปูกระเบื้องแบบแห้งโดยการปูกระเบื้องด้วยการใช้ปูนกาวซีเมนต์ทาที่ด้านหลังแผ่นกระเบื้องก่อนติดตั้งลงบนผิวพื้นคอนกรีตหล่อในที่ขนาด 2.00×2.00 เมตร และมีความหนา 5 เซนติเมตร กันขอบโดยรอบ การจำลองโพรงได้แผ่นกระเบื้องทำโดยเว้นพื้นที่ลาปูนกาวซีเมนต์ขนาด 5×5 เซนติเมตร ตำแหน่งโพรงได้แผ่นกระเบื้องถูกกำหนดไว้ตามตำแหน่งในรูปที่ 2 กรอบสี่เหลี่ยมสีขาวแสดงตำแหน่งโพรงได้แผ่นกระเบื้อง กรอบสีดำในภาพแสดงตำแหน่งที่มีปูนกาวทึบเต็มบริเวณและตำแหน่งที่กากบาทแสดงตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดในการปูกระเบื้อง

2. จัดเก็บผลการฟังลักษณะเสียงใต้แผ่นกระเบื้องโดยผู้เชี่ยวชาญที่ปฏิบัติหน้าที่ในการตรวจสอบคุณภาพงานปูกระเบื้องในโครงการบ้านจัดสรรมากกว่า 10 ปี จำนวน 1 ท่าน โดยให้ผู้เชี่ยวชาญทำการเคาะบนผิวหน้ากระเบื้องบนพื้นที่จำลองตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ในรูปที่ 2 จากนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญทำการตัดสินใจลักษณะเสียงที่ได้ยินมีลักษณะเสียงทึบหรือโพรง ในการทดลองนี้เลือกให้ผู้เชี่ยวชาญเพียง 1 ท่าน เนื่องจากตำแหน่งที่มีลักษณะเสียงทึบหรือโพรงนั้นได้ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้าแล้ว ผลการฟังเสียงเคาะโดยผู้เชี่ยวชาญถูกใช้เพื่อยืนยันความถูกต้อง

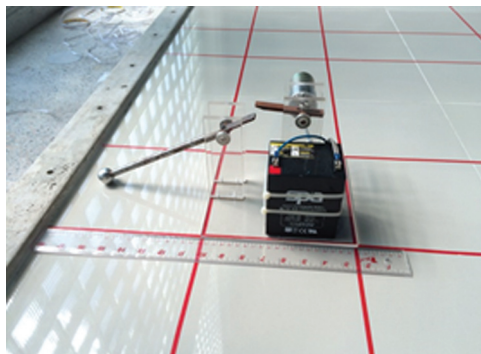


รูปที่ 1 พื้นที่ทดสอบ



รูปที่ 2 การกำหนดตำแหน่งโพรงใต้แผ่นกระเบื้องในพื้นที่จำลอง

3. ข้อมูลสัญญาณเสียงถูกเก็บโดยใช้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งควบคุมความเร็วและน้ำหนักในการเคาะด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ทำการเคาะกระเบื้องแผ่นละ 9 จุด จุดละ 10 ครั้ง ตำแหน่งที่ทำการเคาะทั้ง 9 จุด ประกอบด้วย มุมทั้งสี่ด้านของแผ่นกระเบื้อง กึ่งกลางกระเบื้องและกึ่งกลางของขอบกระเบื้องทั้งสี่ด้าน รวมจำนวนจุดเคาะทดสอบและเก็บสัญญาณเสียงบนพื้นที่จำลองเท่ากับ 79 จุด เนื่องจากในพื้นที่ทดสอบมี 2 ตำแหน่งที่ไม่สามารถทดสอบได้ เก็บชุดข้อมูลเสียงตำแหน่งละ 2 ครั้ง ฉะนั้นได้จำนวนชุดข้อมูลเสียงที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ทั้งสิ้น 158 ชุดข้อมูล ข้อมูลเสียงถูกบันทึกด้วยอุปกรณ์บันทึกเสียงเพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้น

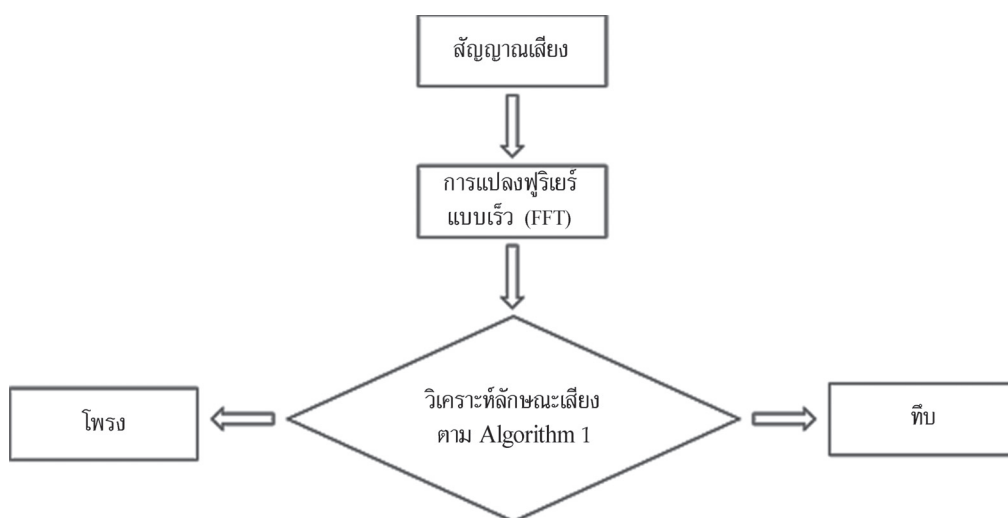


รูปที่ 3 เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการเก็บสัญญาณเสียง

4. พัฒนาอัลกอริทึมในการวิเคราะห์ลักษณะเสียงโพรงได้ผ่านกระเบื้องโดยใช้การแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว ตามการวิเคราะห์ที่สัญญาณเสียงดังแสดงในรูปที่ 4

- เริ่มจากนำสัญญาณเสียงที่บันทึกในรูปแบบ .wav
- เปลี่ยนสัญญาณเสียงจากโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่
- กำหนดค่าเทรชโฮลด์ (Threshold)
- นับจำนวนสเปกตรัม (count) ที่มากกว่าค่าเทรชโฮลด์
- ถ้าจำนวนสเปกตรัมมากกว่าค่าที่กำหนดไว้แสดงว่าสัญญาณเสียงที่น่ามาวิเคราะห์เป็นลักษณะเสียงโพรง ถ้าจำนวนสเปกตรัมน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนดไว้แสดงว่าสัญญาณเสียงที่น่ามาวิเคราะห์เป็นลักษณะเสียงทึบดังแสดงใน Algorithm 1 โดยที่ “PASS” หมายถึงเสียงทึบ “FAIL” หมายถึงเสียงโพรง และกำหนดตัวแปร MAX ที่ 20

5. เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในโดเมนความถี่ด้วย FFT กับผลการฟังเสียงและวิเคราะห์โดยผู้เชี่ยวชาญ



รูปที่ 4 การวิเคราะห์ลักษณะเสียง

Algorithm 1: วิเคราะห์ลักษณะเสียง

```

1: Initialize: wav file (w), Threshold (T), MAX
2: [w, fs] = wavread(w)
3: n = length(w)-1, f = 0:fs/n:fs
4: w* ← abs(fft(w))
5: For i = 1:length(f)
6: If w*(i) > T Then
7:     count++
8: End If
9: End For
10: If count > MAX Then
11:     'FAIL'
12: Else If
13:     'PASS'
14: End If

```

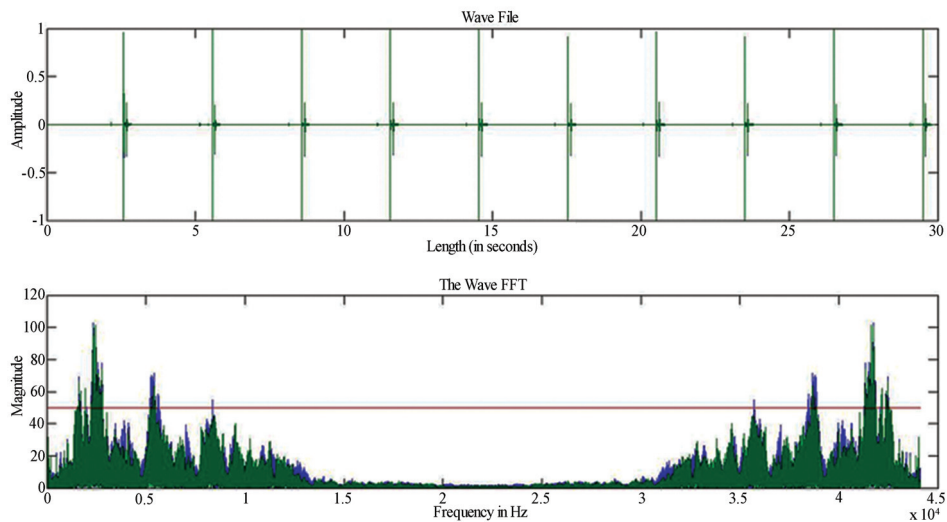
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากข้อมูลเสียงทั้งหมด 158 ชุดข้อมูลที่ถูกนำมาวิเคราะห์ข้อมูลเสียงด้วย FFT และพัฒนาอัลกอริทึมโดยใช้โปรแกรม MATLAB ผลการวิเคราะห์เสียงในโดเมนความถี่ดังแสดงในรูปที่ 5 - 8 โดยแกนนอนเป็นความถี่และแกนตั้งเป็นขนาดของสเปกตรัมที่คำนวณจากสมการที่ (1) - (2) จากรูปที่ 5 - 6 แสดงกราฟสเปกตรัมของสัญญาณเสียงที่ได้แผ่นกระเบื้องที่มีลักษณะเสียงโพรงและรูปที่ 7 - 8 เป็นกราฟสเปกตรัมของสัญญาณเสียงที่ได้แผ่นกระเบื้องมีปูนขาวซีเมนต์ทึบ จากผลการวิเคราะห์สังเกตเห็นได้ว่า ได้แผ่นกระเบื้องที่มีความทึบส่งผลให้สเปกตรัมของสัญญาณเสียงมีค่าต่ำกว่า 50 ฉะนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงเลือกกำหนดค่าเทรชโฮลด์ไว้ที่ 50

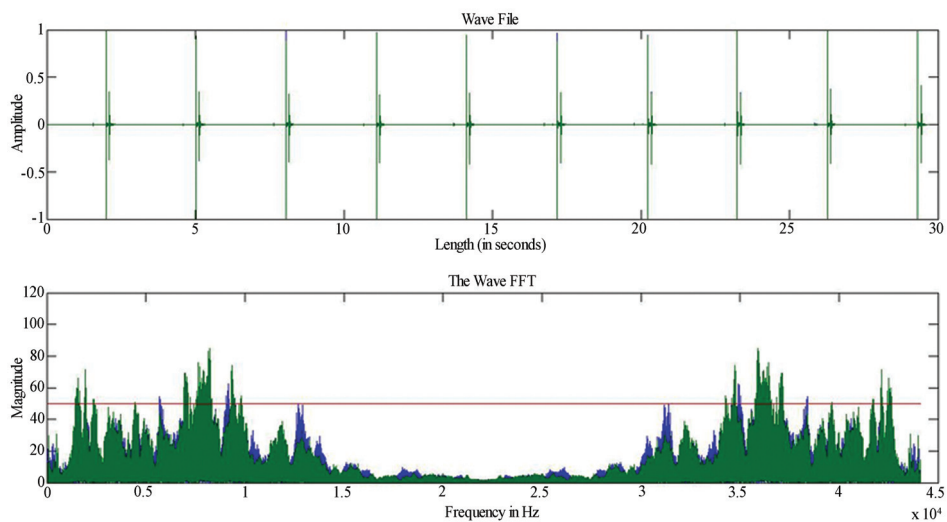
ผลเปรียบเทียบการวิเคราะห์สัญญาณเสียงในโดเมนความถี่ด้วย FFT กับการวิเคราะห์ของผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบคุณภาพงานปูกระเบื้องพบว่า การวิเคราะห์ของผู้เชี่ยวชาญมีความสอดคล้องกับตำแหน่งที่ได้ทำการกำหนดความทึบหรือโพรงที่ได้ทำการกำหนดไว้ล่วงหน้า ผลเปรียบเทียบสรุปดังตารางที่ 1 จากข้อมูล 79 ชุดข้อมูล โปรแกรมวิเคราะห์ผลไม่ตรงกับผู้เชี่ยวชาญเพียง 1 จุดเท่านั้น รายละเอียดการเปรียบเทียบการวิเคราะห์แต่ละตำแหน่งที่ทำการเคาะทดสอบระหว่างอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นกับผู้เชี่ยวชาญแสดงในตารางที่ 2 โดยที่ C หมายถึงจำนวนของสเปกตรัมมีค่ามากกว่าค่าเทรชโฮลด์ที่กำหนดไว้ การวิเคราะห์โดยอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นบันทึกไว้ในช่อง 'โปรแกรม' และการวิเคราะห์ของผู้เชี่ยวชาญถูกบันทึกไว้ในช่อง 'ผลจริง' จากการวิเคราะห์สังเกตเห็นว่าเกิดความผิดพลาดที่ตำแหน่งกระเบื้องแผ่นที่ 7 จุดที่ 4 ทั้ง 2 ชุดข้อมูล เนื่องจากตำแหน่งดังกล่าวมีลักษณะข้อมูลเสียงที่ก้ำกึ่งระหว่างเสียงทึบและเสียงโพรง

ตารางที่ 1 สรุปผลการวิเคราะห์สัญญาณเสียงเคาะกระเบื้อง

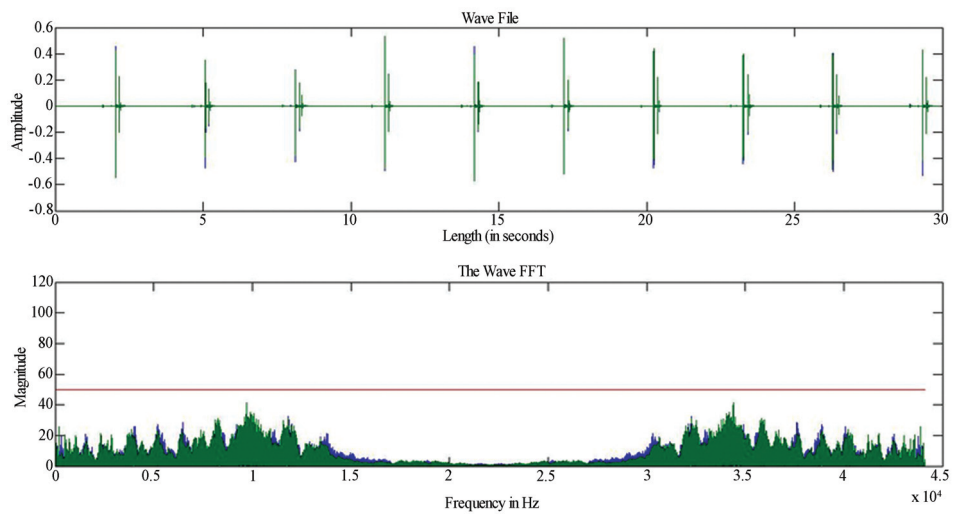
	ทดสอบครั้งที่ 1	ทดสอบครั้งที่ 2
จำนวนข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์สัญญาณเสียง	79	79
จำนวนข้อมูลที่โปรแกรมวิเคราะห์ที่ไม่ตรงกับผู้เชี่ยวชาญ	1	1
เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของโปรแกรม	98.73	98.73



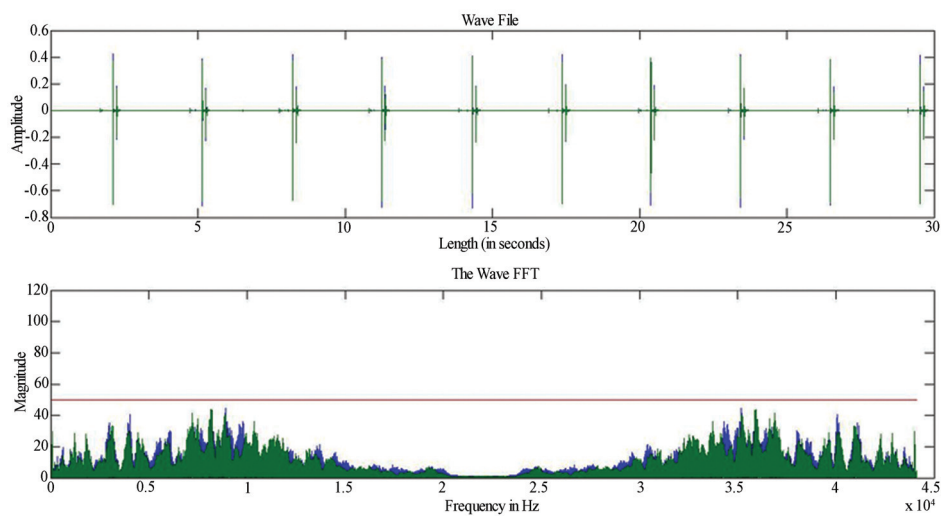
รูปที่ 5 ลักษณะเสียงของกระเบื้องแผ่นที่ 1 จุดที่ 2



รูปที่ 6 ลักษณะเสียงของกระเบื้องแผ่นที่ 8 จุดที่ 1



รูปที่ 7 ลักษณะเสียงของกระเบื้องแผ่นที่ 5 จุดที่ 5



รูปที่ 8 ลักษณะเสียงของกระเบื้องแผ่นที่ 7 จุดที่ 1

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์สัญญาณเสียงด้วย FFT

ทดสอบครั้งที่ 1																			
จุดที่	แผ่นที่ 1		แผ่นที่ 2		แผ่นที่ 3		แผ่นที่ 4		แผ่นที่ 5		แผ่นที่ 6		แผ่นที่ 7		แผ่นที่ 8		แผ่นที่ 9		
	C	ผลจริง	C	ไม่ผ่าน	ผลจริง	C	ไม่ผ่าน	ผลจริง	C	ไม่ผ่าน	ผลจริง	C	ไม่ผ่าน	ผลจริง	C	ไม่ผ่าน	ผลจริง	C	
1	29542	FAIL	โพรง	12478	FAIL	โพรง	34	FAIL	โพรง	0	PASS	ทึบ	0	PASS	ทึบ	4750	FAIL	โพรง	5804
2	7058	FAIL	โพรง	200	FAIL	โพรง	0	PASS	ทึบ	0	PASS	ทึบ	0	PASS	ทึบ	0	PASS	ทึบ	0
3	10120	FAIL	โพรง	4028	FAIL	โพรง	1536	FAIL	โพรง	0	PASS	ทึบ	2	PASS	ทึบ	0	PASS	ทึบ	8
4	11812	FAIL	โพรง	9998	FAIL	โพรง	2516	FAIL	โพรง	0	PASS	ทึบ	5220	FAIL	โพรง	6652	FAIL	ทึบ	0
5	21768	FAIL	โพรง	8366	FAIL	โพรง	0	PASS	ทึบ	0	PASS	ทึบ	0	PASS	ทึบ	0	PASS	ทึบ	0
6	19438	FAIL	โพรง	3716	FAIL	โพรง	1124	FAIL	โพรง	0	PASS	ทึบ	0	PASS	ทึบ	0	PASS	ทึบ	0
7	15298	FAIL	โพรง	0	PASS	ทึบ	252	FAIL	โพรง	0	PASS	ทึบ	22434	FAIL	โพรง	0	PASS	ทึบ	0
8	4786	FAIL	โพรง	6640	FAIL	โพรง	496	FAIL	โพรง	0	PASS	ทึบ	0	PASS	ทึบ	6584	FAIL	โพรง	0
9	78	FAIL	โพรง	0	PASS	ทึบ	0	PASS	ทึบ	2472	FAIL	โพรง	8788	FAIL	โพรง	0	PASS	ทึบ	0

ทดสอบครั้งที่ 2																		
จุดที่	แผ่นที่ 1		แผ่นที่ 2		แผ่นที่ 3		แผ่นที่ 4		แผ่นที่ 5		แผ่นที่ 6		แผ่นที่ 7		แผ่นที่ 8		แผ่นที่ 9	
	C	ไม่ผ่าน	ผลจริง	C	ไม่ผ่าน	ผลจริง	C	ไม่ผ่าน	ผลจริง	C	ไม่ผ่าน	ผลจริง	C	ไม่ผ่าน	ผลจริง	C	ไม่ผ่าน	ผลจริง
1	33870	FAIL	โพรง	8378	FAIL	โพรง	252	FAIL	โพรง	0	PASS	ทึบ	0	PASS	ทึบ	536	FAIL	โพรง
2	5838	FAIL	โพรง	236	FAIL	โพรง	0	PASS	ทึบ	0	PASS	ทึบ	0	PASS	ทึบ	0	PASS	ทึบ
3	8160	FAIL	โพรง	3056	FAIL	โพรง	1838	FAIL	โพรง	0	PASS	ทึบ	14	PASS	ทึบ	3626	FAIL	โพรง
4	10994	FAIL	โพรง	8318	FAIL	โพรง	4350	FAIL	โพรง	0	PASS	ทึบ	5494	FAIL	โพรง	0	PASS	ทึบ
5	20672	FAIL	โพรง	8584	FAIL	โพรง	0	PASS	ทึบ	0	PASS	ทึบ	0	PASS	ทึบ	0	PASS	ทึบ
6	9050	FAIL	โพรง	3398	FAIL	โพรง	1120	FAIL	โพรง	0	PASS	ทึบ	0	PASS	ทึบ	0	PASS	ทึบ
7	12778	FAIL	โพรง	0	PASS	ทึบ	854	FAIL	โพรง	0	PASS	ทึบ	21802	FAIL	โพรง	9132	FAIL	โพรง
8	4412	FAIL	โพรง	8484	FAIL	โพรง	394	FAIL	โพรง	0	PASS	ทึบ	0	PASS	ทึบ			0
9	644	FAIL	โพรง	0	PASS	ทึบ	0	PASS	ทึบ	1244	FAIL	โพรง	6436	FAIL	โพรง	0	PASS	ทึบ

บทสรุป

งานวิจัยนี้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์ลักษณะเสียงโพรงใต้แผ่นกระเบื้องด้วยการแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว (FFT) เพื่อลดการพึ่งพามนุษย์ซึ่งขาดความแน่นอนและแม่นยำในการตรวจสอบคุณภาพงานก่อสร้าง การตรวจสอบคุณภาพงานปูกระเบื้องเป็นงานที่จำเป็นต้องใช้ประสบการณ์โดยเฉพาะการตรวจสอบโพรงใต้แผ่นกระเบื้อง การตรวจสอบนี้ต้องใช้การฟังของมนุษย์เพื่อทำการแยกแยะลักษณะเสียงทึบหรือโพรงก่อนตัดสินใจแก้ไขงาน อัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นนี้ใช้การพิจารณาขนาดของสเปกตรัมและกำหนดค่าเทรชโฮลด์เท่ากับ 50 ข้อมูลเสียง 158 ชุดข้อมูล ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์โดยค่าความถูกต้องที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์โดยผู้เชี่ยวชาญมีค่ามากถึง 98.73 % ผลการพัฒนานี้วิธีการวิเคราะห์ลักษณะเสียงโพรงนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการสร้างระบบช่วยตรวจสอบคุณภาพงานปูกระเบื้องเพื่อให้เกิดมาตรฐานในงานก่อสร้างได้ โดยควรพิจารณาเกี่ยวกับเสียงรบกวนในหน่วยงานก่อสร้างจริงซึ่งต้องทำการตัดเสียงรบกวนก่อนทำการวิเคราะห์สัญญาณเสียง รวมไปถึงการพัฒนาต่อยอดเป็นอุปกรณ์อัตโนมัติหรือแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่สามารถเพิ่มความสะดวกในการทำงานให้ดียิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนวิจัยและพัฒนาจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา เลขที่ วจพ. 7/2559

References

- [1] Yang, S., Gu, L., and Gibson, R. F. (2001). Nondestructive of Weak Joints in Adhesively Bonded Composite Structures. **Composite Structures**. Vol. 51, Issue 1, pp. 63-71. DOI: 10.1016/S0263-8223(00)00125-2
- [2] Sansalone, M. and Carino, N. J. (1989). Detecting Delaminations in Concrete Slabs with and without Overlays using the Impact-Echo Model. **ACI Materials Journal**. Vol. 86, No. 2, pp. 177-184
- [3] Mori, K., Spagnoli, A., Murakami, Y., Kondo, G., and Torigoe, I. (2002). A New Non-Contacting Non-Destructive Testing Method for Defect Detection in Concrete. **NDT and E International**. Vol. 35, No. 6, pp. 399-406
- [4] Huang, Y. H., Ng, S. P., Liu, L., Li, C. L., Chen, Y. S., and Hung, Y. Y. (2009). NDT&E using Shearography with Impulsivethermal Stressing and Clustering Phase Extraction. **Optics and Laser in Engineering**. Vol. 47, pp. 774-781

- [5] Hung, Y. Y., Chen, Y. S., Ng, S. P., Liu, L., Huang, Y. H., Luk, B. L., Ip, R. W. L., Wu, C. M. L., and Chung, P. S. (2009). Review and Comparison of Shearography and Active Thermography for Nondestructive Evaluation. **Materials Science and Engineering R Reports**. Vol. 64, No. 5, pp. 73-112. DOI: 10.1016/j.mser.2008.11.001
- [6] Luk, B. L., Liu, K. P., Tong, F., and Man, K. F. (2010). Impact-Acoustics Inspection of Tile-Wall Bonding Integrity Via Wavelet Transform and Hidden Markov Models. **Journal of Sound and Vibration**. Vol. 329, Issue 10, pp. 1954-1967. DOI: 10.1016/j.jsv.2009.11.038
- [7] Wu, H. and Siegel, M. (2000). Correlation of Accelerometer and Microphone Data in the Coin Tap Test. **IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement**. Vol. 49, No. 3, pp. 493-497
- [8] Ito, T. and Uomoto, T. (1997). Nondestructive Testing Method of Concrete using Impact Acoustics. **NDT & E International**. Vol. 30, Issue 4, pp. 217-222. DOI: 10.1016/S0963-8695(96)00059-X
- [9] Asano, M., Kamada, T., Kunieda, M., and Rokugo, K. (2003). Impact Acoustics Methods for Defect Evaluation in Concrete. In **Proceedings of Nondestructive testing - Civil Engineering 2003**. DOI: 10.1016/j.jsv.2005.11.017
- [10] Tong, F., Xu, X. M., Luk, B. L., and Liu, K. P. (2008). Evaluation of Tile - Wall Bonding Integrity Based on Impact Acoustics and Support Vector Machine. **Sensors and Actuators A: Physical**. Vol. 144, pp. 97-104. DOI: 10.1016/j.sna.2008.01.020