การพัฒนาใช้ PZT บนพื้นฐานการวางตำแหน่งของอะคูสติกเซนเซอร์ สำหรับตรวจสอบรอยร้าวในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ

DEVELOPMENT OF PZT BASED ON ACOUSTIC SENSOR PLACEMENT FOR CRACK DETECTION IN TERM OF 2D AND 3D

ปวิช พสุวาณิชย์

PAVICH PASUWANICH

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2558

KMITL-2015-EN-M-060-067

การพัฒนาใช้ PZT บนพื้นฐานการวางตำแหน่งของอะคูสติกเซนเซอร์ สำหรับตรวจสอบรอยร้าวในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ

DEVELOPMENT OF PZT BASED ON ACOUSTIC SENSOR PLACEMENT FOR CRACK DETECTION IN TERM OF 2D AND 3D

ปวิช พสุวาณิชย์
PAVICH PASUWANICH

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2558

KMITL-2015-EN-M-060-067
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF PZT BASED ON ACOUSTIC SENSOR PLACEMENT FOR CRACK DETECTION IN TERM OF 2D AND 3D

PAVICH PASUWANICH

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2015

KMITL-2015-EN-M-060-067

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2015

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาใช้ PZT บนพื้นฐานการวางตำแหน่งของอะคูสติกเซนเซอร์ สำหรับตรวจสอบรอยร้าวในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ

Thesis Title Development of PZT Based on Acoustic Sensor Placement for Crack Detection in Term of 2D and 3D

นักศึกษา ว่าที่ร้อยตรีปวิช พสุวาณิชย์

รหัสประจำตัว 53611217

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.วิศรุต ศรีรัตนะ

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2015-EN-M-060-067

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.วิทยา	ทิพย์สุวรรณพร	
รศ.สุพรรณ	กุลพาณิชย์	
รศ.ดร.สุรพันธ์	ยิ้มมั่น	
รศ.ดร.ทวีพล	ซื่อสัตย์	
รศ.ดร.วิศรุต	ศรีรัตนะ	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 14 กรกฎาคม พ.ศ. 2558 เวลา 15.00-17.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติใหม่ ห้อง HM-302

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 14 กรกฎาคม พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาใช้ PZT บนพื้นฐานการวางตำแหน่งของอะคูสติกเซนเซอร์สำหรับตรวจสอบรอยร้าวในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ
นักศึกษา	ว่าที่ร้อยตรีปวิช พสุวาณิชย์
รหัสประจำตัว	53611217
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.วิศรุต ศรีรัตนะ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เสนอวิธีการตรวจสอบหาตำแหน่งรอยร้าวบนพื้นฐานการวางตำแหน่งของอะคูสติกเซนเซอร์ สำหรับตรวจสอบรอยร้าวในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ซึ่งเป็นการพัฒนาจากการใช้เพียโซอิเล็กทริกในการตรวจวัดสัญญาณอะคูสติก เพื่อหาตำแหน่งรอยร้าวหรือจุดที่เกิดความผิดปกติในรูปแบบ 1 มิติ ของวัสดุชนิดที่เป็นเหล็ก เพื่อวิเคราะห์ตัวแปรซึ่งในที่นี้เป็นส่วนต่างของเวลาที่ได้รับจากเพียโซอิเล็กทริกเซนเซอร์และนำมาสร้างเป็นสมการในการคำนวณ เพื่อหาตำแหน่งรอยร้าวในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ โดยใช้อุปกรณ์ที่ได้มาตรฐานสามารถจัดหาได้ง่ายและมีราคาถูก เพื่อนำมาเชื่อมต่อกับระบบการตรวจวัดและประมวลผลที่ใช้ร่วมกับโปรแกรมแล็ปวิวและโปรแกรมภาษาซีซึ่งสามารถปรับปรุงแก้ไขตามวัตถุประสงค์ในการตรวจสอบได้อย่างง่าย จากการทดสอบระบบพบว่าสามารถตรวจสอบสัญญาณรอยร้าวเทียมที่จำลองขึ้นในรูปแบบ 2 มิติ ได้อย่างถูกต้อง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน 0.2 เปอร์เซ็นต์ สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการสร้างอุปกรณ์เฝ้าระวังการแตกร้าวหรือการรั่วของระบบลำเลียงพลังงานหรือวัตถุดิบที่ใช้ภายในระบบอุตสาหกรรมได้ อย่างไรก็ตามการตรวจสอบสัญญาณรอยร้าวเทียมที่สร้างขึ้นในรูปแบบ 3 มิตินั้น สามารถหาแหล่งกำเนิดสัญญาณรอยร้าวเทียมได้ใกล้เคียง แต่ก็ยังมีค่าความคลาดเคลื่อนบางส่วนสูงถึง 17 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการทดลองใช้วัสดุตัวกลางที่แตกต่างจากรูปแบบ 1 มิติ และ 2 มิติ ทำให้ได้ผลการทดลองออกมีความคลาดเคลื่อนสูง แต่ยังสามารถนำไปเป็นแนวทางเพื่อศึกษาเพิ่มเติมหรือพัฒนารูปแบบการจัดวางตำแหน่งของตัวเซนเซอร์ให้มีความถูกต้องเที่ยงตรงมากยิ่งขึ้นได้ต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Development of PZT Based on Acoustic Sensor Placement for Crack Detection in term of 2D and 3D
Student	Acting Sub Lt. Pavich Pasuwanich
Student ID.	53611217
Degree	Master of Engineering
Program	Instrumentation Engineering
Year	2015
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Witsarut Sriratana

ABSTRACT

This study proposes an improvement of piezoelectric (PZT) based on acoustic sensor placement in order to crack detection in term of two dimensions and three dimensions. An improvement of PZT uses the acoustic signals for detecting cracked and defective positions in one dimension form of steel materials. The studies also analyze a variable of time difference would be obtained from PZT and then created the equation to determine the cracked positions in terms of two dimensions and three dimensions. This research focused on using and connecting easy and cheap equipment to measurement and evaluation system, as well as LabVIEW software and C++ programming language. However, the system was developed can be easily adjusted and revised to meet the detection purpose. The results of testing the system showed that the system can be effectively used for crack detection in term of two dimensions with 0.2% error. The findings of this research can be used as the reference to build equipment to prevent crack or leakage of energy or material transport system at industrial level. From empirical study, detecting the crack of material based on acoustic sensor placement in term of three dimensions, although the system could find the almost exact source of artificial crack signal, its error still was high 17%. Since the experiment of 3D used different materials from that of one dimension and two dimensions, the result of experiment had high rate of error. Moreover, this can be used as reference to further study or develop more accurate model of acoustic sensor placement in the future.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากคำแนะนำและคำปรึกษาในการดำเนินงานวิจัยและพัฒนาจาก รศ.ดร.วิศรุต ศรีรัตนะ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ขอขอบพระคุณ รศ.สักรียา ชิตวงศ์ และ รศ.ดร.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร ในการให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ขอขอบพระคุณอาจารย์ท่านอื่นๆ ในสาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้สอนตลอดระยะเวลาที่ได้ทำการศึกษา และขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล และ อาจารย์สุ่น จ่างประยูร สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้จนมีพื้นฐานทางด้านความคิดและเทคนิคทางด้านการวิเคราะห์ ขอขอบพระคุณคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน

ขอขอบคุณ คุณยศวัต รายณะสุข คุณพรสรร มายุรักษ์ และคุณไพลิน ล้อมสินทรัพย์ สำหรับความเป็นห่วงและดูแล ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ ในสาขาวิชาที่คอยให้คำแนะนำและช่วยเหลือ

ท้ายที่สำคัญที่สุด ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณในทุกๆ สิ่งที่ คุณพ่อ คุณแม่ และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้เป็นกำลังใจและสนับสนุนทุกสิ่งทุกอย่างที่มีคุณค่าด้วยดีมาโดยตลอด

ปวิช พสุวาณิชย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VIII
สารบัญรูป IX
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 2
1.3 การนำเสนอหลักการใหม่ของวิทยานิพนธ์ 3
1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 4
1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์ 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6
2.1 กล่าวนำ 6
2.2 การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย 6
2.3 สัญญาณอะคูสติก 7
2.3.1 สัญญาณอะคูสติกแบบไม่ต่อเนื่อง 7
2.3.2 สัญญาณอะคูสติกแบบต่อเนื่อง 8
2.4 คุณลักษณะของคลื่น 9
2.4.1 คลื่นตามยาว 9
2.4.2 คลื่นตามขวาง 9
2.4.3 คลื่นที่ผิว 10
2.5 ระบบการตรวจสอบด้วยอะคูสติกอีมิสชัน 11
2.6 หัวรับสัญญาณ 11
2.6.1 หัวรับสัญญาณอิเล็กโตรแมกเนติก 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6.2 หัวรับสัญญาณคาปาซิแตนซ์ 12
2.6.3 หัวรับสัญญาณเพียโซอิเล็กทริก 12
2.7 ขีดจำกัดความถี่ 14
2.8 หัวรับสัญญาณคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน 14
2.8.1 อิมพีแดนซ์ 15
2.8.2 การตอบสนองความถี่ของเสียง 15
2.8.3 ความไวในการรับเสียงของไมโครโฟน 16
2.9 ข้อแตกต่างระหว่าง PZT Sensor กับคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน 16
2.10 การประยุกต์ใช้ขีดจำกัดของความถี่เสียงตรวจสอบรอยร้าวหรือรอยรั่วในท่อ 17
2.11 ปัจจัยที่สำคัญในการเลือกหัวรับสัญญาณ 18
2.11.1 ช่วงความถี่ในการใช้งาน 18
2.11.2 การตรวจจับสัญญาณของหัวรับสัญญาณ 18
2.11.3 ขนาดของหัวรับสัญญาณ 19
2.12 การติดตั้ง PZT Sensor 19
2.13 วงจรขยายสัญญาณเบื้องต้น 19
2.14 สารช่วยสัมผัส 21
2.15 อุปกรณ์รับและประมวลสัญญาณ 21
2.15.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ 22
2.15.2 โปรแกรม LabVIEW 22
2.15.3 โปรแกรม Dev C++ 23
2.16 อะคูสติกพารามิเตอร์ 24
2.16.1 สัญญาณอะคูสติกพารามิเตอร์แบบไม่ต่อเนื่อง 24
2.16.2 สัญญาณอะคูสติกพารามิเตอร์แบบต่อเนื่อง 25
2.17 วิธีการหาตำแหน่งโดยการใช้เซนเซอร์จำนวนน้อยที่สุด 27
2.18 วิธีการหาตำแหน่งโดยการใช้ส่วนต่างของเวลา 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย 31
3.1 กล่าวนำ 31
3.2 การสอบเทียบหัวรับสัญญาณ 31
3.2.1 การสอบเทียบคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนเพื่อการวัด 31
3.2.2 การสอบเทียบหัวรับสัญญาณของ PZT Sensor 32
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย 33
3.4 การติดตั้งระบบตรวจสอบด้วยวิธีอะคูสติกอีมิสชัน 33
3.4.1 PZT Sensor 33
3.4.2 วงจรปรับสภาพสัญญาณ 34
3.5 การออกแบบจำลองการสร้างรอยร้าวและการวางตำแหน่งของ PZT Sensor 34
3.5.1 การออกแบบจำลองการสร้างรอยร้าวในรูปแบบ 1 มิติ 34
3.5.2 การวางตำแหน่งของ PZT Sensor เพื่อหาตำแหน่งรอยร้าวในรูปแบบ 2 มิติ 35
3.5.3 การวางตำแหน่งของ PZT Sensor เพื่อหาตำแหน่งรอยร้าวในรูปแบบ 3 มิติ 36

บทที่ 4 ผลการพัฒนาใช้ PZT ในการตรวจสอบ 37
4.1 กล่าวนำ 37
4.2 ผลการทดสอบคุณลักษณะของหัวรับสัญญาณ 37
4.2.1 ผลการสอบเทียบคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนเพื่อการวัด 37
4.2.2 ผลการสอบเทียบหัวรับสัญญาณของ PZT Sensor 39
4.3 ผลการตรวจสอบตำแหน่งรอยร้าวเทียมในรูปแบบ 1 มิติ 41
4.4 ผลการตรวจสอบตำแหน่งรอยร้าวเทียมในรูปแบบ 2 มิติ 46
4.5 ผลการตรวจสอบตำแหน่งรอยร้าวเทียมในรูปแบบ 3 มิติ 47
4.6 การพัฒนาการจัดวางตำแหน่งของอะคูสติกเซนเซอร์ 48
4.7 การนำ PZT Sensor มาใช้เป็นเครื่องมือในการเฝ้าระวัง 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 53

5.1 สรุปผลการวิจัย 53

5.2 ข้อเสนอแนะ 54

บรรณานุกรม 55

ภาคผนวก 56

ภาคผนวก ก 57

ภาคผนวก ข 64

ประวัติผู้เขียน 71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 หน่วยเดซิเบล กับ อัตราส่วนของแอมพลิจูดของสัญญาณ 20

4.1 ผลการสอบเทียบคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนด้านความไว 39

4.2 ผลการสอบเทียบคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนด้านความถี่เรโซแนนซ์ 39

4.3 ผลการสอบเทียบเพียโซอิเล็กทริกด้านความไว 40

4.4 เพียโซอิเล็กทริกด้านความถี่เรโซแนนซ์ 40

4.5 เวลาที่แตกต่างกันของรอยร้าวเทียบแบบ 1 มิติ ที่วัดได้จาก PZT Sensor 41

4.6 เวลาที่แตกต่างกันของรอยร้าวเทียบแบบ 2 มิติ ที่วัดได้จาก PZT Sensor 46

4.7 เวลาที่แตกต่างกันของรอยร้าวเทียบแบบ 3 มิติ ที่วัดได้จาก PZT Sensor 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 หลักการตรวจสอบด้วยอะคูสติกอีมิสชัน 7

2.2 สัญญาณอะคูสติกแบบไม่ต่อเนื่อง 8

2.3 สัญญาณอะคูสติกแบบต่อเนื่อง 8

2.4 คลื่นตามยาว 9

2.5 คลื่นตามขวาง 10

2.6 คลื่นที่ผิว 10

2.7 ระบบการตรวจจับสัญญาณอะคูสติก 11

2.8 ปรากฏการณ์ของเพียโซอิเล็กทริก 13

2.9 โครงสร้างของหัวรับสัญญาณเพียโซอิเล็กทริก 13

2.10 การติดตั้งอุปกรณ์การศึกษาขีดจำกัดของความถี่เสียงในท่อ 14

2.11 หัวรับสัญญาณคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน 15

2.12 ความสัมพันธ์ของ Frequency และ Output Voltage ของจุด Cut-off Frequency 17

2.13 วงจร Active Mic Preamp 17

2.14 ความสัมพันธ์ของ Frequency และ Output Voltage ขณะติดท่อ 3 ทาง 18

2.15 วงจรการเชื่อมต่อหัวตรวจสอบเพียโซอิเล็กทริกกับวงจรขยายสัญญาณและฟิลเตอร์ 21

2.16 บอร์ด ET-STAMP ADuC847 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS51 22

2.17 โปรแกรม LabVIEW 23

2.18 โครงสร้าง Block Diagram ของโปรแกรม LabVIEW 23

2.19 โปรแกรม Dev C++ 24

2.20 อะคูสติกพารามิเตอร์ 26

2.21 วิธีการหาตำแหน่งด้วยเซนเซอร์ 3 ตัว 28

2.22 วิธีการหาตำแหน่งกึ่งกลางของสามเหลี่ยม 30

2.23 ส่วนต่างของเวลาที่ได้จากการประมวลผล....30

3.1 การสอบเทียบคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน 31

3.2 การตรวจรับสัญญาณเสียงผ่านวงจรขยายสัญญาณมาเป็นสัญญาณไฟฟ้า 32

3.3 การสอบเทียบหัวตรวจสอบเพียโซอิเล็กทริก 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.4 หัวรับสัญญาณเพียโซอิเล็กทริก 34
3.5 บอร์ดวงจรขยายสัญญาณ Pre-Amplifier 34
3.6 การวางตำแหน่ง PZT Sensor สำหรับตรวจสอบรอยร้าวในรูปแบบ 1 มิติ 35
3.7 การวางตำแหน่ง PZT Sensor สำหรับตรวจสอบรอยร้าวในรูปแบบ 2 มิติ 35
3.8 การวางตำแหน่ง PZT Sensor สำหรับตรวจสอบรอยร้าวในรูปแบบ 3 มิติ 36
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Amplitude กับ V_{P-P} 38
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่จาก Oscilloscope กับ Input V_{P-P} 38
4.3 เวลาที่แตกต่างกัน 8.43 ms ของหัวตรวจสอบรอยร้าวแบบ 1 มิติ 42
4.4 เวลาที่แตกต่างกัน 7.85 ms ของหัวตรวจสอบรอยร้าวแบบ 1 มิติ 42
4.5 เวลาที่แตกต่างกัน 7.12 ms ของหัวตรวจสอบรอยร้าวแบบ 1 มิติ 42
4.6 เวลาที่แตกต่างกัน 6.65 ms ของหัวตรวจสอบรอยร้าวแบบ 1 มิติ 43
4.7 เวลาที่แตกต่างกัน 5.96 ms ของหัวตรวจสอบรอยร้าวแบบ 1 มิติ 43
4.8 เวลาที่แตกต่างกัน 5.41 ms ของหัวตรวจสอบรอยร้าวแบบ 1 มิติ 43
4.9 เวลาที่แตกต่างกัน 4.75 ms ของหัวตรวจสอบรอยร้าวแบบ 1 มิติ 44
4.10 เวลาที่แตกต่างกัน 4.29 ms ของหัวตรวจสอบรอยร้าวแบบ 1 มิติ 44
4.11 เวลาที่แตกต่างกัน 3.51 ms ของหัวตรวจสอบรอยร้าวแบบ 1 มิติ 44
4.12 เวลาที่แตกต่างกัน 2.96 ms ของหัวตรวจสอบรอยร้าวแบบ 1 มิติ 45
4.13 เวลาที่แตกต่างกัน 1.20 ms ของหัวตรวจสอบรอยร้าวแบบ 1 มิติ 45
4.14 เวลาที่แตกต่างกัน 4.83 ms ของหัวตรวจสอบรอยร้าวแบบ 1 มิติ 45
4.15 การตรวจสอบรอยร้าวเทียมในรูปแบบ 2 มิติ 47
4.16 โปรแกรม Dev-C++ ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งรอยร้าวแบบ 2 มิติ 47
4.17 การตรวจสอบรอยร้าวเทียมในรูปแบบบ 3 มิติ 48
4.18 โปรแกรม Dev-C++ ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งรอยร้าวแบบ 3 มิติ 48
4.19 การจัดวางตำแหน่ง PZT Sensor จำนวน 3 ตัว สำหรับตรวจสอบในรูปแบบ 2 มิติ 49
4.20 การตรวจสอบสัญญาณจาก PZT Sensor จำนวน 3 ตัว สำหรับตรวจสอบในรูปแบบ 2 มิติ 49
4.21 การหาตำแหน่ง Crack ที่อยู่บริเวณกึ่งกลางของสามเหลี่ยม 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.22 การหาตำแหน่ง Crack ในรูปแบบ 3 มิติ ที่สามารถจัดวางตำแหน่งได้ 4 ด้าน โดยใช้เซนเซอร์ จำนวน 5 ตัว 50
4.23 การหาตำแหน่ง Crack ในรูปแบบ 3 มิติ ที่สามารถจัดวางตำแหน่งได้ 3 ด้าน โดยใช้เซนเซอร์ จำนวน 4 ตัว รูปแบบที่ 1 50
4.24 การหาตำแหน่ง Crack ในรูปแบบ 3 มิติ ที่สามารถจัดวางตำแหน่งได้ 3 ด้าน โดยใช้เซนเซอร์ จำนวน 4 ตัว รูปแบบที่ 2 51
4.25 การเฝ้าระวังการแตกร้าวหรือการรั่วของท่อส่งพลังงานด้วย PZT Sensor 51
4.26 หน้าจอมอนิเตอร์ในห้องเฝ้าระวัง 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการเฝ้าระวังหรือตรวจสอบสภาพความผิดปกติในระบบอุตสาหกรรมเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นต่อกระบวนการผลิต (Production) โดยเฉพาะการลำเลียงเชื้อเพลิงและวัตถุดิบ ถือว่ามีความสำคัญกับเครื่องจักร เพราะเครื่องจักรจะเดินเครื่องได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น ต้องได้รับเชื้อเพลิงหรือพลังงานมากเพียงพอต่อความต้องการ ทำให้เครื่องจักรเดินเครื่องได้อย่างเต็มกำลัง หากเครื่องจักรไม่ได้รับพลังงานหรือเชื้อเพลิงเพียงพอต่อความต้องการ อาจทำให้เครื่องจักรเดินงานได้อย่างติดขัด ไม่มีประสิทธิภาพ ส่งผลกระทบต่อชิ้นงานทำให้ชิ้นงานออกมาไม่มีคุณภาพ และยิ่งฝืนเดินงานต่อไปอาจทำให้เครื่องจักรเสียหาย ทำให้เกิดความยุ่งยากกับการบำรุงรักษา เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น เสียเวลาซ่อมแซมมากขึ้น จะดีกว่าถ้าสามารถเฝ้าระวังและบำรุงรักษาได้ทันทีในขณะที่กำลังจะเกิดขึ้น ซึ่งจะช่วยป้องกันความเสียหายที่รุนแรงต่อเครื่องจักร กระบวนการผลิต และยังช่วยลดต้นทุนในการซ่อมบำรุงได้อีกด้วย

โรงงานที่มีเครื่องจักรจำนวนมาก ก็ย่อมมีความต้องการเชื้อเพลิงหรือพลังงานในการทำงานมาก ยกตัวอย่างเช่นพลังงานไฟฟ้าและพลังงานลมเป็นต้น โดยนิยมใช้เชื้อเพลิงลำเลียงผ่านมาทางท่อส่งพลังงาน ซึ่งเมื่อเกิดการรั่วหรือแตกร้าว (Crack) ของท่อส่งพลังงานก็จะทำให้เกิดอันตราย จึงเป็นการยากที่จะต้องตรวจเช็คระบบเชื้อเพลิงและระบบการลำเลียงเชื้อเพลิงทุกวัน การตรวจเช็คแต่ละครั้งอาจจะต้องหยุดขบวนการผลิต เมื่อจะเดินเครื่องต่อก็ต้องปรับเครื่องใหม่ ปรับอุณหภูมิใหม่ จัดวางตำแหน่งใหม่ ทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น แต่ถ้ารอให้ถึงแผนงานบำรุงรักษาที่ตั้งไว้ อาจจะยิ่งส่งผลเสียหายและเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็น แต่จะดีกว่าถ้าเราสามารถตรวจสอบหาสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นก่อนที่จะเกิดปัญหาที่ใหญ่โต โดยที่ไม่ต้องหยุดระบบการทำงาน สามารถตรวจสอบได้ทุกวัน เปรียบเสมือนเป็นการเฝ้าระวัง เพราะถ้ารู้ปัญหาเร็วก็สามารถที่จะวางแผนการซ่อมบำรุง วางแผนการสั่งซื้ออะไหล่ วัตถุดิบ และจัดวางกำลังพลได้

ปัจจุบันมีอุปกรณ์การตรวจสอบมากมายที่สามารถจะตรวจสอบย้อนกลับถึงจุดเริ่มต้นของปัญหา หรือแม้แต่อุปกรณ์ในการแจ้งเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติกับระบบงาน แต่ราคาค่อนข้างสูง ซึ่งจะดีกว่าถ้าสามารถจัดทำเครื่องมือที่สามารถตรวจสอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ราคาต้นทุนไม่สูงมาก สามารถเป็นอุปกรณ์เฝ้าระวังได้ดี โดยแจ้งให้ทราบได้ว่ามีปัญหาเกิดขึ้นที่บริเวณใด เนื่องจากโรงงานส่วนใหญ่มีการจัดวางระบบการลำเลียงวัตถุดิบและเชื้อเพลิงที่ค่อนข้างซับซ้อน เมื่อถึงเวลาเกิดปัญหาและต้องการที่จะตรวจเช็คทั้งระบบทำให้เกิดความล่าช้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ปัจจุบันได้มีบริษัทนำเข้าอุปกรณ์เครื่องมือหัวตรวจสอบ เครื่องมือการตรวจวัด รวมถึงมีหลายบริษัทที่ผลิตหัวตรวจสอบหรือเซนเซอร์ที่ใช้ตรวจวัดรอยรั่วอยู่หลายรุ่นหลายยี่ห้อ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบและความสามารถของชุดอุปกรณ์การตรวจสอบกับการออกแบบของแต่ละบริษัทผู้ผลิต แต่เทคนิคการวิเคราะห์ปัญหาทั่วไปจะไม่แตกต่างกันมากนักบางบริษัทถึงกับต้องจำหน่ายอุปกรณ์ในการวิเคราะห์การใช้งานเพิ่มเติมขึ้นอีก จากการสำรวจพบว่าอุปกรณ์บางชนิดที่นำมาใช้ร่วมกับหัวตรวจสอบในการวิเคราะห์มีราคาแพงมากกว่าหัวตรวจสอบอยู่สูงมาก แต่หลักการทำงานสามารถนำมาใช้งานในการวิเคราะห์ผลสามารถแสดงผลสำเร็จรูปออกมาทันที โดยที่ไม่แจ้งรายละเอียดที่มาของหลักการวิเคราะห์ และมีอีกหลายบริษัทที่จัดจำหน่ายอุปกรณ์เครื่องมือหัวตรวจสอบพร้อมกับซอฟต์แวร์สำเร็จรูปที่ใช้สำหรับการตรวจสอบมาด้วย ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูงและฟังก์ชันมากมายที่สร้างขึ้นรวมถึงการวิเคราะห์ชั้นสูงที่อาจจะเกินความต้องการ โดยผู้ใช้จะทำการปรับวิธีวิเคราะห์ใหม่ตามความต้องการค่อนข้างยุ่งยาก ซึ่งการจัดเก็บข้อมูลของแต่ละยี่ห้อขึ้นอยู่กับผู้ผลิตและในกรณีที่นำผลวิเคราะห์ต่างๆที่ได้จากซอฟต์แวร์ก็เป็นรูปแบบเฉพาะของแต่ละบริษัทเท่านั้น ทำให้ยุ่งยากในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนรูปแบบเครื่องมือ เปลี่ยนวัตถุประสงค์ในการตรวจสอบหรือแม้แต่การเปลี่ยนอะไหล่อุปกรณ์ไม่สามารถจัดหาได้ง่าย รวมถึงการเปลี่ยนแปลงวัตถุประสงค์ในการตรวจสอบ ก็ต้องติดต่อให้บริษัทที่จัดจำหน่ายหัวตรวจสอบมาติดตั้งหรือแก้ไขซอฟต์แวร์ ซึ่งก็ต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น จึงกลายเป็นว่าต้องผูกขาดกับบริษัทที่จำหน่ายเท่านั้น ทำให้บริษัทที่นำมาใช้งานไม่มีสิทธิ์เปลี่ยนแปลงอะไร เพราะเนื่องจากถ้าเปลี่ยนอุปกรณ์หรือรูปแบบการทำงาน อาจจะต้องเปลี่ยนชุดตรวจสอบทั้งชุด ซึ่งมีราคาสูงมาก

วิทยานิพนธ์นี้จึงมุ่งเน้นไปในทางนำอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์มาตรฐานที่สามารถจัดหาได้ง่ายราคาต้นทุนไม่สูงมากมาใช้เป็นอุปกรณ์ จึงได้นำเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric : PZT) ที่มีคุณสมบัติในการรับแรงสั่นสะเทือนหรือเมื่อเกิดความเค้นจะให้กระแสไฟฟ้าออกมา โดยนำคุณสมบัตินี้มาสร้างเป็นหัวตรวจสอบสัญญาณอะคูสติก (Acoustic Signal) เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เข้ากับโปรแกรม LabVIEW และแสดงผลรูปแบบการคำนวณจากโปรแกรม Dev C++ ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ได้รับการยอมรับและง่ายต่อการพัฒนาโปรแกรมรวมทั้งผู้ใช้เองสามารถปรับเปลี่ยนวิธีการประมวลผลข้อมูลให้ตรงตามการประยุกต์ใช้งานที่ต้องการได้ง่ายกว่า รวมถึงสามารถนำไปใช้พัฒนาเกี่ยวกับการตรวจสอบหรือการตรวจวัดชนิดอื่นได้ ซึ่งทำให้สะดวกต่อการดัดแปลงรูปแบบการตรวจวัด รวมถึงราคาของอุปกรณ์ไม่สูงมากและซอฟต์แวร์ที่นำมาใช้ก็สามารถใช้งานได้กับคอมพิวเตอร์หรือแล็ปท็อปทั่วๆ ไป ทำให้ง่ายและสะดวกต่อการพกพา และสามารถนำอุปกรณ์ที่จัดทำไปใช้ตรวจสอบได้ในงานภาคสนาม จากเดิมมีข้อจำกัดที่ต้องติดตั้งอุปกรณ์ไว้ในห้องเฝ้าระวังหรือห้องประมวลผลโดยไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้และต้องโยงสายสัญญาณไปไกลถึงจุดที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการตรวจสอบหรือเฝ้าระวัง ซึ่งอาจทำให้สัญญาณที่ได้มีลักษณะไม่เสถียรและอาจมีสัญญาณรบกวนอื่นๆ ได้

1.3 การนำเสนอหลักการใหม่ของวิทยานิพนธ์

จากการศึกษาการตรวจสอบโดยไม่ทำลายด้วยวิธีคูสติกอีมิสชันนับเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่สามารถตรวจสอบสิ่งผิดปกติได้ง่าย โดยไม่ต้องปิดระบบการทำงาน [1] ในการตรวจสอบปรากฏการณ์หรือสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้น ปัจจุบันได้มีการวิจัยและพัฒนามาอย่างต่อเนื่องทั้งในประเทศไทย และนำเข้ามาจากต่างประเทศ โดยหลักการใช้หัวตรวจสอบคุณลักษณะจะคล้ายๆกัน โดยตรวจสอบและแสดงผลผ่านทางอุปกรณ์วิเคราะห์สัญญาณ ยกตัวอย่างเช่นเครื่อง LOCAN320 และเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analyzer) เป็นต้น โดยเครื่อง LOCAN320 เป็นอุปกรณ์วิเคราะห์พารามิเตอร์ทางอะคูสติกโดยตรงที่จะแสดงข้อมูลออกมาในรูปของตัวเลข และ กราฟความสัมพันธ์แบบต่างๆ ส่วนเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม จะแสดงคุณลักษณะของสัญญาณอะคูสติกในรูปของโดเมนเวลาและโดเมนความถี่เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ต่างๆในกระบวนการโครงสร้าง เครื่องจักรกล หรือชิ้นส่วนต่างๆในเครื่องจักรกล เช่นการตรวจสอบหารอยร้าวของถังน้ำมันหรือรอยเชื่อมของถังความดัน การตรวจสอบหารอยรั่วของท่อในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี การตรวจสอบความผิดปกติของเครื่องจักรกลเป็นต้น การตรวจสอบถังความดันหรือรอยรั่วโดยทั่วไปมักนิยมใช้เทคนิคการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย เช่นคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Testing : UT) ภายถ่ายรังสี (Radiographic Testing : RT) อนุภาคแม่เหล็ก (Magnetic Particle Testing : MT) กระแสไหลวน (Eddy Current Testing : ET) และสารละลายแทรกซึม (Liquid Penetrate Testing : LT) แต่การตรวจสอบด้วยวิธีการเหล่านี้ เป็นการตรวจสอบหลังจากมีข้อบกพร่อง (Defect) เกิดขึ้นในวัสดุแล้ว [2] แต่การใช้วิธีอะคูสติกอีมิสชันสามารถนำมาใช้ทำนายข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นได้ตั้งแต่ยังไม่เริ่มต้น [3] ซึ่งจากงานวิจัยที่ได้ทดลอง เรื่องการศึกษาขีดความถี่ของท่อในเสียงในท่อ พบว่าสามารถนำมาทดสอบรอยแตกร้าวได้แต่ต้องเป็นการจำกัดขอบเขตทางด้านปริมาตร ซึ่งมีข้อดีตรงที่อุปกรณ์ที่ใช้สามารถหาได้ง่าย ราคาถูก และยังใช้งานได้ง่าย และมีข้อเสียคือมีข้อจำกัดเรื่องการติดตั้งเพราะอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจสอบไม่สามารถสัมผัสกับเนื้องานได้ รวมถึงยังมีข้อจำกัดเรื่องการถอดวัสดุที่ต้องการตรวจสอบและอุปกรณ์ที่ใช้มีความไวต่อสภาพแวดล้อมที่รบกวนจึงอาจทำให้การตรวจสอบคลาดเคลื่อนได้ โดยวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการตรวจวัดรอยรั่วหรือรอยแตกร้าวที่สามารถตรวจสอบได้ด้วยอะคูสติกเซนเซอร์ หรือ เพียโซอิเล็กทริกเซนเซอร์ (PZT Sensor) มาตรวจสอบ เชื่อมต่อกับวงจรขยายสัญญาณ (Preamplifier) และตัวกรองสัญญาณ (Filter) ต่อไปยังระบบประมวลสัญญาณ (Microcontroller) ส่งผ่านไปยังโปรแกรม LabView ที่สร้างขึ้น และนำข้อมูลจากการวิเคราะห์การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับสัญญาณ ในรูปแบบ 1 มิติ มาพัฒนาเพิ่มเติมให้อยู่ในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ รวมถึงการพัฒนาทางด้านการจัดวางในกรณีที่ถูกจำกัดด้านพื้นที่

1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

การศึกษาหัวตรวจสอบอะคูสติกเซนเซอร์ที่สร้างจากวัสดุ PZT และการประยุกต์ใช้ทางอะคูสติกที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ ได้ทำการออกแบบการจำลองจุดที่เกิดรอยรั่ว รอยร้าว หรือจุดที่เกิดความผิดปกติขึ้นมาจากตำแหน่งที่ทราบตำแหน่งในรูปแบบ 1 มิติ นำมาทดสอบหาสัญญาณอะคูสติกด้วย PZT Sensor โดยจะเชื่อมต่อกับวงจรขยายสัญญาณและตัวกรองสัญญาณ เชื่อมต่อกับระบบประมวลสัญญาณและโปรแกรมที่สร้างขึ้นเพื่อที่จะวิเคราะห์ตัวแปรที่ได้เป็นปัจจัยเกี่ยวข้องเพื่อหาตำแหน่งที่เกิดรอยรั่ว รอยร้าว หรือจุดที่เกิดความผิดปกติจำลองที่สร้างขึ้น เพื่อนำมาวิเคราะห์และพัฒนาพื้นฐานการจัดวางจากรูปแบบ 1 มิติ ให้สามารถค้นหาจุดที่เกิดความผิดปกติในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติได้ จากนั้นได้นำหัวตรวจสอบนี้ไปทดลองติดตั้งกับงานภาคสนามจริงในรูปแบบของโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อตรวจสอบหาจุดผิดปกติจริงของท่อหรือตามความต้องการอื่นๆที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ โดยอาศัยการปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดวางตำแหน่งเพื่อหาสัญญาณอะคูสติก เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบให้สอดคล้องเป็นไปตามหลักการที่ได้นำเสนอ

1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท และภาคผนวก 2 ส่วน โดยในแต่ละบท มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ เป็นการกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา การนำเสนอหลักการใหม่ๆของวิทยานิพนธ์ ขอบเขตวิทยานิพนธ์ และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เป็นการกล่าวถึงการตรวจสอบแบบไม่ทำลายและสัญญาณอะคูสติก รวมถึงคุณลักษณะของคลื่น ตลอดจนระบบการตรวจสอบด้วยอะคูสติกอีมิสชันและการเลือกหัวรับสัญญาณ เพื่อมาใช้งานให้เหมาะสม ซึ่งมีงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เข้ามาเป็นปัจจัยในการเปรียบเทียบสำหรับการเลือกหัวตรวจสอบและการหาตำแหน่งรอยร้าวในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ โดยใช้โปรแกรมที่สร้างขึ้นเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ส่วนต่างของเวลาเพื่อหาตำแหน่งรอยร้าว

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย เป็นการอธิบายถึงการสอบเทียบหัวรับสัญญาณ การติดตั้งระบบตรวจสอบด้วยวิธีอะคูสติกอีมิสชัน รวมถึงการออกแบบจำลองการสร้างรอยร้าวเทียมและการวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งของ PZT Sensor โดยเป็นการตรวจสอบตำแหน่งรอยร้าวเทียมในรูปแบบ 1 มิติ การตรวจสอบตำแหน่งรอยร้าวเทียมในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ

บทที่ 4 ผลการพัฒนาใช้ PZT ในทางอะคูสติกทดสอบ โดยเป็นผลมาจากการทดลองในบทที่ 3 ซึ่งได้ผลการทดลองทั้งหมด 4 ส่วน คือผลการสอบเทียบหัวรับสัญญาณ ผลการตรวจวัดรอยร้าวเทียมในรูปแบบ 1 มิติ ทั้งนี้ได้สร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของหัวตรวจสอบกับตำแหน่งรอยร้าวเทียมด้วยผลของเวลาที่รับสัญญาณแตกต่างกัน โดยเขียนเป็นโปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อนำไปใช้ในการตรวจสอบตำแหน่งรอยเทียมในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ รวมถึงรูปแบบการพัฒนาการจัดวางตำแหน่งของอะคูสติกเซนเซอร์สำหรับตรวจสอบตำแหน่งรอยร้าวเทียมเพิ่มเติม และการนำไปใช้งานติดตั้งจริงในระบบอุตสาหกรรม

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ เป็นการกล่าวถึงการสรุปผลที่ได้นำเสนอในงานวิทยานิพนธ์ ปัญหาที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งนำเสนอแนวทางในการพัฒนาแก้ไขและวิเคราะห์โครงสร้างต่อไป

ในส่วนสุดท้ายของงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะเป็นภาคผนวกที่แสดงผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ Source Code ของโปรแกรม และประวัติผู้เขียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้เป็นการอธิบายถึงการตรวจสอบแบบไม่ทำลายและสัญญาณอะคูสติก รวมถึงคุณลักษณะของคลื่น ตลอดจนระบบการตรวจสอบด้วยอะคูสติกอีมิสชันและการเลือกหัวรับสัญญาณเพื่อมาใช้งานให้เหมาะสม ซึ่งมีงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เข้ามาเป็นปัจจัยในการเปรียบเทียบสำหรับการเลือกหัวตรวจสอบและการหาตำแหน่งรอยร้าวในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ โดยใช้โปรแกรมที่สร้างขึ้นเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ส่วนต่างของเวลาเพื่อหาตำแหน่งรอยร้าว

2.2 การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing : NDT) เป็นการทดสอบวัสดุชิ้นงานโดยไม่ทำลายให้เกิดความเสียหาย ซึ่งทางสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลของอเมริกา (ASME) จะเรียกว่าการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Examination : NDE) ซึ่งการทดสอบแบบไม่ทำลายเป็นการทดสอบชิ้นงาน วัสดุอุปกรณ์หรือโครงสร้างโดยไม่ก่อให้เกิดรอยขีดข่วน การแยกส่วนการแตกหักเสียหายเกิดขึ้นหรือเป็นการทดสอบลักษณะ คุณสมบัติ สมรรถภาพ โครงสร้างภายในหรือรอยบกพร่องภายใน โดยไม่ทำให้ชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ขนาด หรือสมรรถนะไปจากเดิมโดยจะใช้ลักษณะสมบัติทางฟิสิกส์ของชิ้นทดสอบ เช่นความร้อน รังสี คลื่นเสียง ไฟฟ้าหรืออำนาจแม่เหล็กซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามความผิดปกติของโครงสร้างภายในหรือรอยบกพร่องที่มีอยู่แล้ว ใช้การทดสอบแบบไม่ทำลายวัดลักษณะสมบัติทางฟิสิกส์เหล่านี้ เพื่อประเมินความผิดปกติของโครงสร้างภายในหรือรอยบกพร่องที่มีอยู่ได้ [3, 4]

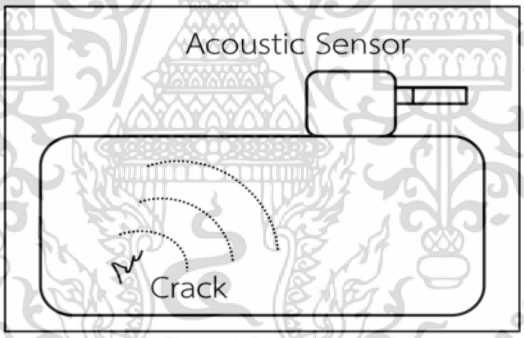
การทดสอบแบบไม่ทำลายดังวิธีที่กล่าวมาข้างต้นนี้ จะเป็นวิธีการตรวจสอบสิ่งผิดปกติหรือรอยบกพร่องที่ได้เกิดขึ้นแล้ว นอกจากนี้ยังมีวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายที่ประยุกต์ใช้ในงานตรวจสอบรอยบกพร่องที่กำลังเกิดการขยายตัวอยู่หรือเป็นการตรวจสอบสภาพเวลาจริงในปัจจุบัน ซึ่งก็คือการตรวจสอบแบบเฝ้าระวังในเวลาจริง นั่นคือวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยวิธีอะคูสติกอีมิสชัน (Acoustic Emission : AE) โดยเป็นการตรวจสอบคลื่นเสียงที่อยู่ในรูปของคลื่นอิลาสติกที่เกิดขึ้นจากการที่วัสดุเกิดการขาดเสถียรภาพ หรือเกิดรอยบกพร่องขึ้นแล้วมีการขยายตัวออกทำให้เกิดคลื่นเสียงออกมา ซึ่งการตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยวิธีนี้สามารถนำไปใช้ในการทดสอบการวิจัยทางวัสดุ การควบคุมการผลิตในงานเชื่อมหรือการตรวจสอบความแข็งแรงมั่นคงในวัสดุ โดยในปัจจุบันนี้ได้มีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประยุกต์นำมาตรวจสอบใช้กับวัสดุต่างๆมากมายหลายชนิด เช่นพลาสติกเสริมแรง (Fiber Reinforced Plastic : FRP) เซรามิก คอนกรีต หิน แก้ว ไม้ และถ่านหินเป็นต้น สิ่งต่างๆที่ประยุกต์ใช้งานนั้น นอกจากวัสดุที่ก่อเป็นโครงสร้างแล้ว ยังใช้ในการตรวจสอบการเลื่อนไหลของพื้นดิน แผ่นดินไหวในการทำเหมืองแร่ เหมือนถ่านหิน พลังงานความร้อนใต้พิภพ เขื่อนคอนกรีต และโครงสร้างที่ใช้ทะเลและมหาสมุทรอีกด้วย

2.3 สัญญาณอะคูสติก (Acoustic Signal)

หมายถึงสัญญาณของพลังที่อยู่ในรูปของคลื่นยืดหยุ่นแบบชั่วครู่ (Transient Elastic Wave) หรือคลื่นเสียง ซึ่งปลดปล่อยออกมาจากวัสดุเนื่องจากวัสดุนั้นเกิดการแตกร้าวหรือมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบพลาสติก (Plastic Deformation) ซึ่งความถี่ของสัญญาณอะคูสติกที่นำไปวิเคราะห์โดยทั่วไปมักอยู่ในช่วงตั้งแต่ 25 kHz จน ถึง 3 MHz แต่ความถี่ที่นิยมนำไปใช้วิเคราะห์ในงานต่างๆมักอยู่ในช่วงตั้งแต่ 100 kHz จนถึง 1 MHz จะทำให้การตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยวิธีอะคูสติกมีความไว (Sensitivity) ในการตรวจสอบสูงมาก [5, 6] โดยการตรวจจับคลื่นอะคูสติกแสดงดังรูปที่ 2.1

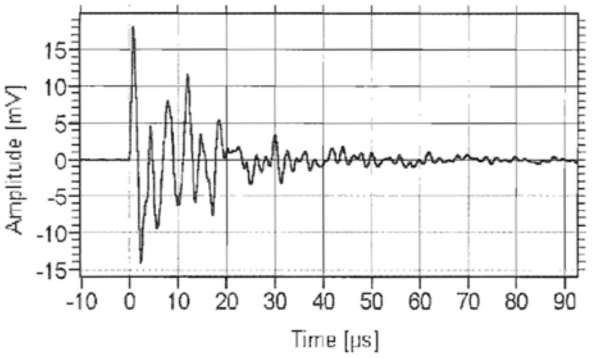


รูปที่ 2.1 หลักการตรวจสอบด้วยอะคูสติกอีมิสชัน

2.3.1 สัญญาณอะคูสติกแบบไม่ต่อเนื่อง (Burst Acoustic Emission)

หมายถึงสัญญาณอะคูสติกที่สามารถแยกแยะจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของสัญญาณได้ โดยทั่วไปสัญญาณอะคูสติกแบบไม่ต่อเนื่องมักถูกตรวจพบกับการตรวจสอบแบบไม่ทำลายในงานตรวจสอบการกัดกร่อน (Corrosion) ตรวจสอบความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมแบบจุด (Sport Welding) หรือการแตกร้าวของวัสดุ (Crack) เป็นต้น ซึ่งมีลักษณะแสดงดังรูปที่ 2.2

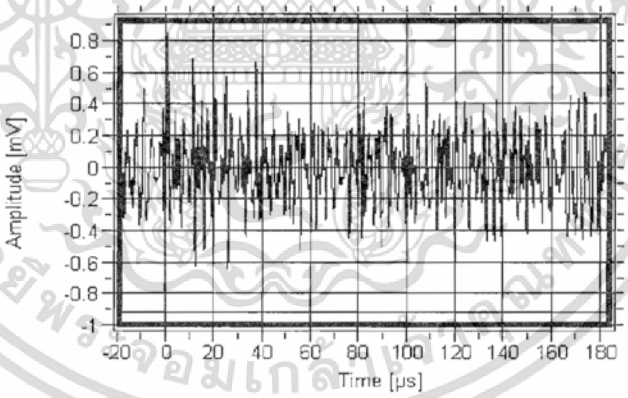
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 สัญญาณอะคูสติกแบบไม่ต่อเนื่อง

2.3.2 สัญญาณอะคูสติกแบบต่อเนื่อง (Continuous Acoustic Emission)

หมายถึงสัญญาณอะคูสติกที่ไม่สามารถระบุหรือกำหนดจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดของสัญญาณได้ โดยทั่วไปลักษณะของแหล่งกำเนิดสัญญาณแบบนี้เป็นลักษณะแหล่งพลังงานเสมือน (Pseudo Source) เช่นการรั่วซึมของแก๊สในภาชนะทนแรงดันสูง การรั่วของของไหลในท่อ คาวิเตชัน ความเสียดทาน การเรียงตัวในโดเมนแม่เหล็ก การกลายเป็นของเหลว การแข็งตัว และการเปลี่ยนแปลงเฟส ในสภาพของแข็งเป็นต้น ซึ่งมีลักษณะแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สัญญาณอะคูสติกแบบต่อเนื่อง

2.4 คุณลักษณะของคลื่น

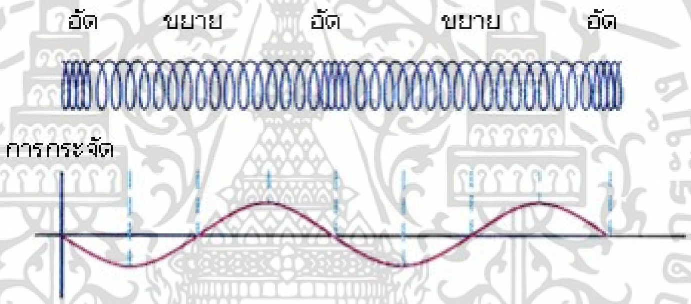
โดยทั่วไปคลื่นมีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน คลื่นจากแหล่งกำเนิดคลื่นอะคูสติกจะแพร่กระจายออกไปในทุกทิศทุกทางรอบจุดกำเนิด เปรียบได้กับคลื่นน้ำระหว่างยอดคลื่นแต่ละยอดวิ่งตามกันไป หากเป็นคลื่นในตัวกลางที่ไม่มีขอบเขต (ตัวกลางอิสระ) หรือคลื่นเสียงที่เดินทางในอากาศจะมีระยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยอดคลื่นแต่ละยอดหรือความยาวคลื่นที่มีค่าคงที่สม่ำเสมอ แต่คลื่นอะคูสติกจะมีความซับซ้อนกว่าเพราะตัวกลางเป็นของแข็งเมื่อพบรอยต่อของพื้นผิวก็จะมีการหักเหและสะท้อนกลับของคลื่น ส่วนของแข็งจะมีความต้านทานต่อแรงเฉือนด้วยซึ่งอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงชนิดของคลื่นอีกด้วย รูปแบบคลื่นคือการเคลื่อนที่ของจุดต่างๆบนคลื่นและทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น มีลักษณะที่แตกต่างกันซึ่งจะส่งผลต่อความเร็วของคลื่นเสียง โดยที่คลื่นเสียงจะแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือคลื่นตามยาว คลื่นตามขวาง และคลื่นที่ผิว

2.4.1 คลื่นตามยาว (Longitudinal Wave)

การเดินทางของคลื่นเสียงในอากาศ การเคลื่อนตัวของคลื่นจะเคลื่อนที่ไปในแนวเดียวกันกับการสั่นสะเทือนของโมเลกุลของตัวกลางมีลักษณะแสดงดังรูปที่ 2.4 ซึ่งเป็นแบบจำลองแสดงการสั่นสะเทือนของโมเลกุลที่มีการอัดตัวและขยายตัวในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่

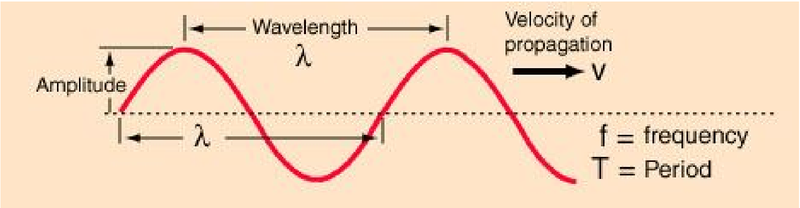


รูปที่ 2.4 คลื่นตามยาว

2.4.2 คลื่นตามขวาง (Transverse Wave)

หากการเคลื่อนที่ของคลื่นผ่านตัวกลางอิสระ หน้าคลื่นเป็นระนาบและไม่ได้ขอบเขตจำกัด อนุภาคจะมีการเคลื่อนที่ของอนุภาคเป็นแบบอัดและขยายในทิศทางเดียวกันกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง แต่หากคลื่นเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่ไม่เป็นอิสระ เช่นของเหลวหรือของแข็ง อนุภาคจะมีการเคลื่อนที่ในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางของการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง เนื่องจากตัวกลางเหล่านี้มีความต้านทานต่อแรงเฉือนเป็นผลทำให้เกิดการเดินทางอย่างมีขอบเขตจำกัด คลื่นตามขวางนั้นจะมีอยู่เฉพาะซึ่งในของแข็งจะไม่ปรากฏ แต่ในตัวกลางที่เป็นของเหลวหรือก๊าซและมีความเร็วคลื่นน้อยกว่าคลื่นตามยาว คลื่นตามขวางมีลักษณะแสดงดังรูปที่ 2.5

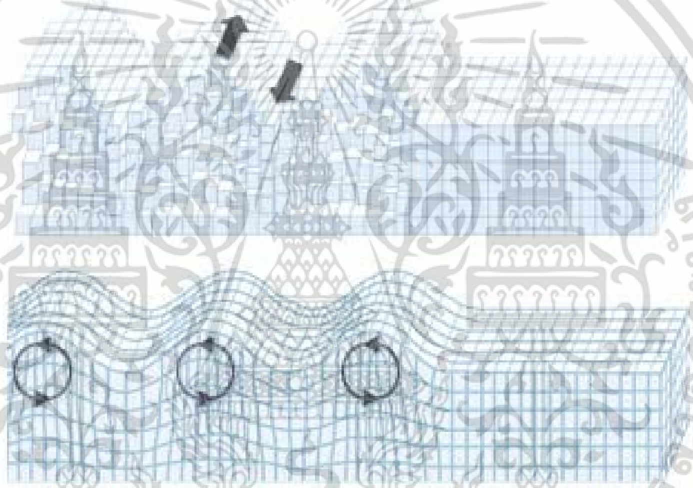
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 คลื่นตามขวาง

2.4.3 คลื่นที่ผิว (Surface Wave)

เป็นคลื่นที่เกิดขึ้นเนื่องจากการที่คลื่นตามยาวจากแหล่งกำเนิดเดินทางมาถึงบนผิวของตัวกลางแล้วเปลี่ยน เป็นคลื่นตามขวางเดินทางไปบนพื้นผิวของตัวกลางนั้นแสดงดังรูปที่ 2.6

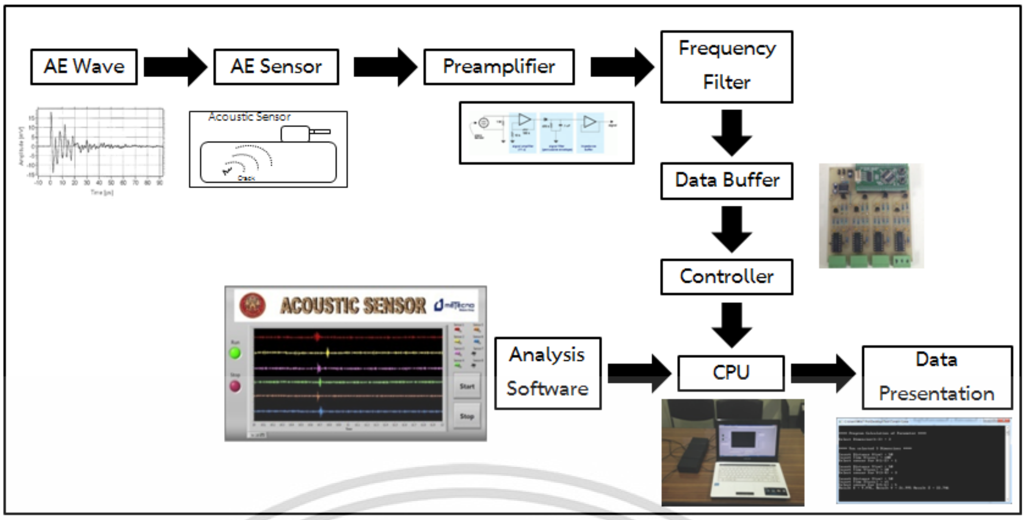


รูปที่ 2.6 คลื่นที่ผิว

2.5 ระบบการตรวจสอบด้วยอะคูสติกอีมิสชัน

การตรวจสอบโดยใช้คลื่นอะคูสติก เป็นวิธีที่ตรวจสอบได้เฉพาะในขณะที่ชิ้นงานกำลังเกิดความเสียหาย เช่นในขณะเกิดการแตกของชิ้นงานหรือในขณะที่ชิ้นงานถูกแรงกระทำจนถึงช่วงการแปรรูปถาวรคือการเปลี่ยนแปลงรูปแบบพลาสติกเป็นต้น ในขณะที่ชิ้นงานกำลังเกิดความเสียหายจะปลดปล่อยพลังงานกลในรูปของคลื่นเสียงออกมา พลังงานกลนี้จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำไปวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นซึ่งระบบการตรวจจับสัญญาณอะคูสติกแสดงดังรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ระบบการตรวจจับสัญญาณอะคูสติก

2.6 หัวรับสัญญาณ (Sensor)

หัวรับสัญญาณจะทำหน้าที่รับสัญญาณที่ได้ในรูปแบบต่างๆและแปลงสัญญาณมาเป็นรูปแบบทางไฟฟ้าขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของหัวรับสัญญาณ ซึ่งหัวรับสัญญาณในงานนี้เป็นอุปกรณ์ที่รับสัญญาณเพื่อตรวจจับคลื่นสัญญาณอะคูสติกและทำหน้าที่แปลงสัญญาณคลื่นอะคูสติกที่ได้เป็นคลื่นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยหัวรับสัญญาณสามารถแบ่งได้ 3 ชนิดตามวิธีการวัด

2.6.1 หัวรับสัญญาณอิเล็กโตรแมกเนติก (Electromagnetic Sensor)

เป็นหัวรับสัญญาณแบบไม่ต้องสัมผัสชิ้นงานซึ่งใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากขดลวดเหนี่ยวนำกระแสไหลวน เมื่อพื้นผิวมีการขยับเคลื่อนที่ก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ ซึ่งตรวจวัดได้ด้วยวงจรบริดจ์อิมพีแดนซ์

2.6.2 หัวรับสัญญาณคาปาซิแตนซ์ (Capacitance Sensor)

เป็นหัวรับสัญญาณแบบไม่ต้องสัมผัสชิ้นงาน ซึ่งใช้ค่าความจุไฟฟ้าของช่องว่างระหว่างชิ้นส่วนที่มีความไวของหัวรับสัญญาณกับพื้นผิวของชิ้นงาน เมื่อพื้นผิวมีการขยับเคลื่อนที่ค่าความจุไฟฟ้าก็จะเปลี่ยนไปซึ่งจะตรวจวัดได้ด้วยบริดจ์ความจุไฟฟ้า

2.6.3 หัวรับสัญญาณเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Sensor : PZT Sensor) [7]

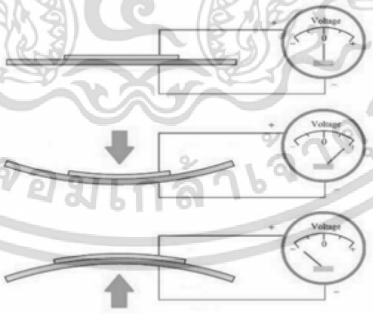
เพียโซอิเล็กทริกได้ถูกค้นพบเป็นครั้งแรกโดย Pierre และ Jacques Curie ได้ทำการทดลองครั้งแรกเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของปรากฏการณ์ของเพียโซอิเล็กทริกกับโครงสร้างทางผลึกวิทยา หลักการทำงานของเพียโซอิเล็กทริกเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่ทำให้พลังงานสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ คือเปลี่ยนจากพลังงานรูปหนึ่งไปเป็นพลังงานอีกรูปแบบหนึ่ง กล่าวคือเมื่อมีแรงหรือความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดันมากระทำบนคริสตัล ชนิด Rochelle Salt และ Tourmaline การแทนที่ของคริสตัลจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น ในทางกลับกันถ้าป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับคริสตัลจะทำให้คริสตัลเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปจากเดิม ซึ่งคุณสมบัติที่กล่าวมานี้ก็คือผลของเพียโซอิเล็กทริกนั่นเอง แสดงดังรูปที่ 2.8

ปรากฏการณ์ของเพียโซอิเล็กทริกนั้นถูกคิดค้นขึ้นโดยพี่น้อง Curie ในปี ค.ศ. 1880 คำว่า “Piezo” เป็นภาษากรีกที่มีความหมายว่าการกดหรืออัด ผลของเพียโซอิเล็กทริกจะเกิดขึ้นเพียงชั่วคราวเท่านั้น ตราบใดที่ความดันยังคงมีการเปลี่ยนแปลงก็จะยังมีความต่างศักย์ไฟฟ้าเกิดขึ้นอยู่ ดังที่กล่าวมาแล้วในกรณีที่ป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับคริสตัลมีผลทำให้คริสตัลเกิดการเปลี่ยนรูปร่างแต่เมื่อหยุดป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับคริสตัลมีผลทำให้คริสตัลเกิดการเปลี่ยนรูปร่างแต่เมื่อหยุดป้อนแรงดันไฟฟ้าช่วงเวลาที่ใช้สำหรับการกลับคืนสู่สภาพเดิมของคริสตัลก็จะเป็นเวลาเพียงชั่วอึดใจเดียวเช่นกัน ดังนั้นจึงสามารถนำเอาเพียโซอิเล็กทริกไปใช้สำหรับงานทางด้านการวัดความดัน ความเค้น การสั่นสะเทือน หรือความเร่งได้ เป็นต้น

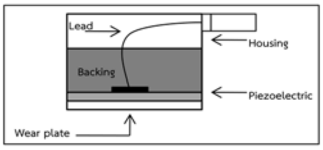
เพียโซอิเล็กทริกสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ แปลงจากแรงที่มากระทำเป็นแรงดันไฟฟ้า และแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้เป็นพลังงานกล ซึ่งเพียโซอิเล็กทริกสามารถนำไปใช้อย่างกว้างขวางทั้งในกิจการทางทหารเรือหรือในวงการอุตสาหกรรมเช่น ใช้เป็น Piezoelectric Shear Accelerometer ที่สามารถวัดการสั่นสะเทือนของวัตถุหลายๆ ชนิดได้อย่างแม่นยำ โดยนำเอาเพียโซอิเล็กทริกไปยึดติดกับวัตถุที่ต้องการวัด ซึ่งความสั่นสะเทือนที่วัดได้ในบริเวณฐานของ Accelerometer จะทำให้เกิดแรงเค้นเฉือน (Shear Stress) ขึ้นที่ผนังของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกและความเค้นนี้จะเป็นตัวสร้างแรงดันไฟฟ้าขึ้น ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะถูกนำไปขยายเพื่อให้มีระดับของสัญญาณที่เหมาะสม จึงนำคุณสมบัติที่กล่าวมานี้ใช้สร้างเป็นหัวตรวจสอบ



รูปที่ 2.8 ปรากฏการณ์ของเพียโซอิเล็กทริก

ซึ่ง Piezoelectricity เป็นปรากฏการณ์เฉพาะที่มีอยู่ในวัสดุเพียโซอิเล็กทริกเท่านั้น โครงสร้างของ หัวรับสัญญาณเพียโซอิเล็กทริกแสดงดังรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของหัวรับสัญญาณเพียโซอิเล็กทริก

ซึ่งหัวรับสัญญาณเพียโซอิเล็กทริกนี้จะมีชนิดของการตอบสนองต่อความถี่ของสัญญาณที่ทำการตรวจวัดอยู่ 2 ชนิด

1. แบบ Resonant

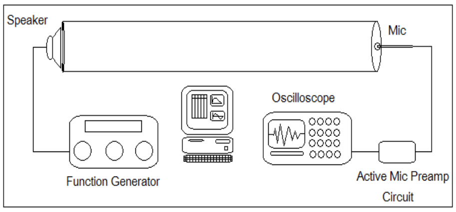
เป็นชนิดของหัวรับสัญญาณที่มีการตอบสนองต่อสัญญาณอะคูสติกเฉพาะในช่วงความถี่หนึ่งๆ ซึ่งเป็นช่วงแคบๆได้ดีที่สุด

2. แบบ Broadband

เป็นชนิดของหัวรับสัญญาณที่มีการตอบสนองต่อสัญญาณอะคูสติกในช่วงความถี่กว้างๆ ซึ่งการตอบสนองต่อความถี่ต่างๆในช่วงนั้นๆจะมีการตอบสนองที่ไม่ต่างกันมากนัก

2.7 ขีดจำกัดความถี่ (Cut-off Frequency)

ขีดจำกัดของความถี่คือการที่คลื่นสะท้อนและแทรกสอดซ้ำๆ กัน ในขอบเขตที่ถูกจำกัด และเกิดการหักล้างกันของสัญญาณที่ความถี่หนึ่ง ทำให้สัญญาณในช่วงความถี่นั้นหายไป โดยจากการทดลองพบว่า เมื่อทดลองสร้างขีดจำกัดของความถี่เสียงในท่อที่ขนาดต่างกันจะเกิดจุด Cut-off Frequency ขึ้น 1 จุดที่ความถี่ต่างกัน และเมื่อมีการติดตั้งท่อ 3 ทางเข้าไปทำให้ปริมาตรเปลี่ยนไป ซึ่งทำให้จุด Cut-off Frequency นั้นเปลี่ยนไป จึงสามารถพัฒนาต่อไปในการสร้างฟิลเตอร์ เช่นในกรณีของ Low-Pass Filter ถ้าจุด Cut-off ต่ำลง Frequency ที่ถูกเอาออกก็ยิ่งมากขึ้น ทำให้เกิดเสียงทุ้มนุ่มกว่า ในทางกลับกันยิ่งถ้าจุด Cut-off สูงขึ้นเท่าไหร่จุดเริ่มที่จะกำจัด Frequency ออกก็ยิ่งอยู่ในช่วงความถี่สูงขึ้นไปอีกทำให้เสียงใสและแหลมกว่า โดยติดตั้งอุปกรณ์การทดลองแสดงดังรูปที่ 2.10

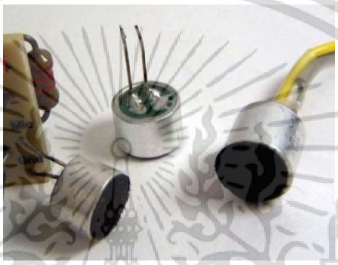


รูปที่ 2.10 การติดตั้งอุปกรณ์การศึกษาขีดจำกัดของความถี่เสียงในท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 หัวรับสัญญาณคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน

คอนเดนเซอร์ไมโครโฟนเป็นไมโครโฟนที่มีความชัดเจนของเสียงแบบหนึ่งในจำนวนไมโครโฟนหลายๆแบบ ซึ่งไมโครโฟนชนิดนี้ใช้แผ่นโลหะที่เป็นขั้วหนึ่งของตัวเก็บประจุเป็นแผ่นไดอะแฟรมซึ่งเมื่อมีคลื่นเสียงมากระทบที่แผ่นไดอะแฟรมแล้วรูปทรงของแผ่นโลหะจะเปลี่ยนไป และจะเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุไปด้วย เพื่อให้ไมโครโฟนสามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ในระบบขยายเสียงได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดจึงควรต้องทราบข้อมูลของไมโครโฟนที่จะนำมาใช้ แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 หัวรับสัญญาณคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน

2.8.1 อิมพีแดนซ์ (Impedance)

หมายถึงตัวเลขที่บอกค่าความต้านทานของไมโครโฟนที่เกิดขึ้นขณะที่มีสัญญาณไฟฟ้าความถี่เสียงหรือกระแสสลับไหลผ่านมีหน่วยเป็นโอห์ม แบ่งเป็น 2 พวก คือ

1. อิมพีแดนซ์สูงหรือมีค่าความต้านทานสูง (High Impedance)

จะมีค่าอิมพีแดนซ์อยู่ในช่วง 5, 10, 50 หรืออาจถึง 100 กิโลโอห์ม (kΩ) จะให้กำลังของสัญญาณออกมาต่ำ (Low Power Output) มีเสียงรบกวนได้ง่าย เช่นเสียงฮัม ยิ่งถ้าต่อสายยาวๆหรือเกินกว่า 25 ฟุต ก็ยิ่งทำให้สูญเสียกำลังของสัญญาณมากขึ้น คุณภาพของเสียงจะลดลงด้วยใช้ต่อร่วมกับเครื่องขยายเสียงโดยต่อช่องที่ช่อง High Impedance

2. อิมพีแดนซ์ต่ำหรือมีค่าความต้านทานต่ำ (Low Impedance)

จะมีค่าอิมพีแดนซ์อยู่ในช่วง 200 ถึง 600 โอห์มซึ่งมีคุณภาพดีให้กำลังของสัญญาณออกสูง (High Power Output) ไม่มีเสียงรบกวนสามารถใช้กับสายยาวๆได้ แต่จะมีความไวในการรับเสียงต่ำใช้ต่อร่วมกับเครื่องขยายเสียงที่ช่อง Low Impedance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 การตอบสนองความถี่ของเสียง (Frequency Response)

ความสามารถของไมโครโฟนในการรับความถี่ของคลื่นเสียงได้กว้างและมีความเรียบมากน้อย ซึ่งไมโครโฟนแต่ละชนิดก็จะออกแบบมาเพื่อใช้ในลักษณะงานต่างๆกันจึงมีความสามารถในการตอบสนองความถี่ต่างๆกัน เช่นไมโครโฟนสำหรับพูดในที่ชุมนุม ประกาศ สั่งงาน การเรียนการสอนในห้องเรียนจะใช้ช่วงการตอบสนองความถี่ต่ำๆและแคบๆ ก็พอ เช่น 300-5,000 เฮิรตซ์ แต่ถ้าต้องการคุณภาพของเสียงเรียบและแยกความถี่ได้กว้างขึ้น ควรอยู่ในช่วง 70-10,000 เฮิรตซ์ ถ้าต้องการคุณภาพของเสียงที่ดีเยี่ยมนอกจากเสียงพูดแล้วยังมีเสียงดนตรีด้วยควรต้องใช้ไมโครโฟนที่ให้ผลตอบสนองความถี่ที่กว้างและเก็บความถี่ได้ละเอียดยิ่งขึ้นควรอยู่ในช่วง 50-15,000 เฮิรตซ์ แต่ราคาก็จะค่อนข้างแพงตามคุณภาพไปด้วย

2.8.3 ความไวในการรับเสียงของไมโครโฟน (Sensitivity)

หมายถึงความสามารถในการรับความแรงของคลื่นเสียงที่มาจากแหล่งกำเนิดเสียงจากระยะทางใกล้ไกลต่างๆกันนั่นเอง โดยไมโครโฟนที่มีความไวสูงจะสามารถรับเสียงเบาๆและอยู่ไกลออกไปได้ ไมโครโฟนความไวต่ำต้องป้อนคลื่นเสียงดังๆและใกล้ๆมีหน่วยเป็นเดซิเบล (Decibel : dB) โดยวัดจากสัญญาณที่ได้ออกจากไมโครโฟนผ่านไปเข้าเครื่องขยายเสียง เช่น -90 dB, -60 dB และ -45 dB เป็นต้น ค่าติดลบมาก จะมีความไวกว่าค่าติดลบน้อย เช่น -90 dB มีความไวต่ำกว่า -60 dB เป็นต้น

2.9 ข้อแตกต่างระหว่าง PZT Sensor กับคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน

ในงานทดสอบนี้เป็นการทดสอบการตรวจสอบสัญญาณที่เกิดจากแหล่งกำเนิดที่ออกมาในรูปแบบของรอยรั่ว รอยร้าว หรือตรวจวัดแรงสั่นสะเทือน ทำให้เกิดข้อสงสัยที่ว่านอกจากการใช้ PZT Sensor แล้ว ยังสามารถใช้อุปกรณ์ชนิดอื่นได้แต่ขึ้นอยู่กับปัจจัยในการตรวจสอบ เช่น การตอบสนองในการรับสัญญาณและช่วงความถี่ในการตรวจวัด รวมถึงสภาพแวดล้อมและตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณ ซึ่ง PZT Sensor สามารถตรวจวัดสัญญาณที่ออกมาในรูปแบบของคลื่นจากแหล่งกำเนิดผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็งและโดยการสัมผัสกับหน้าชิ้นงานได้ แตกต่างจากคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนที่ไม่สามารถสัมผัสกับหน้าเนื้องานหรือตรวจวัดบริเวณรอยรั่วได้ แต่สามารถตรวจวัดสัญญาณที่เคลื่อนที่ผ่านอากาศได้ ซึ่งถ้าจะรับสัญญาณได้ก็จะสามารถรับได้ที่บางช่วงความถี่เท่านั้น เนื่องจากงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาเรื่องขีดจำกัดของความถี่ในท่อพบว่า เมื่อนำไมโครโฟนไปติดบริเวณปากท่อซึ่งมีขนาดแตกต่างกันออกไป เมื่อทำการทดลองแล้วพบว่าความกว้างของพื้นที่หน้าตัดส่งผลต่อการเกิด Cut-off Frequency ซึ่งทำให้สัญญาณที่ความถี่นั้นหายไป ประกอบกับการนำไมโครโฟนไปติดตั้งบริเวณที่ตรวจสอบค่อยข้างลำบาก เพราะต้องติดตั้งใกล้กับชิ้นงานหรือลอยกลางอากาศ ทำให้ยากต่อการติดตั้งและวิเคราะห์ผล เนื่องจากปัจจัยสภาพแวดล้อมอาจส่งผลเป็นสัญญาณรบกวนได้ โดยจุด Cut-off Frequency สามารถคำนวณได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

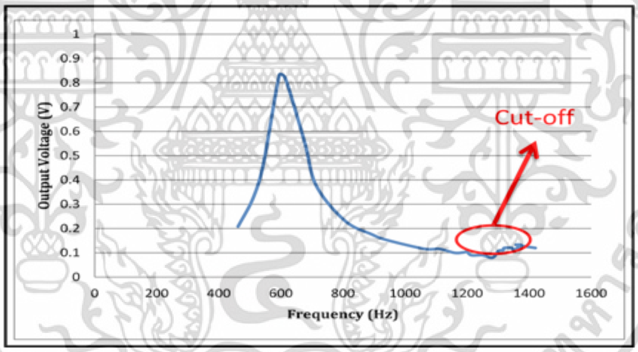
$$f_c = \frac{8065.1}{D} \tag{1}$$

โดยที่ f_c คือ ขีดจำกัดของความถี่ (H_z)

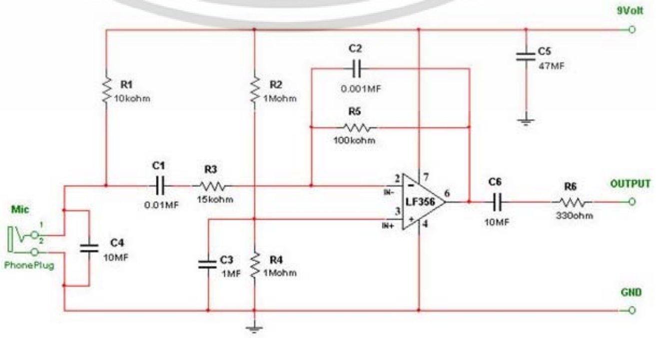
D คือ ความกว้างของพื้นที่หน้าตัด (inch)

2.10 การประยุกต์ใช้ขีดจำกัดความถี่เสียงตรวจสอบรอยร้าวหรือรอยรั่วในท่อ

เนื่องจากการศึกษาเรื่องขีดจำกัดของความถี่เสียงในท่อ เมื่อทดสอบโดยการติดตั้งลำโพงที่ปลายเสียงด้านหนึ่งโดยเชื่อมต่อลำโพงกับเครื่องผลิตสัญญาณความถี่ ปลายท่ออีกด้านติดตั้งคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนกับวงจรขยายสัญญาณ (Active Mic Preamp) เพื่อขยายสัญญาณเอาท์พุทของวงจรไปยังเครื่องออสซิลโลสโคป ตั้งค่าแอพลิจูดให้คงที่และทำการเปลี่ยนความถี่ที่เครื่องผลิตสัญญาณความถี่ จากนั้นบันทึกค่าและทำการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Frequency (Hz) กับ Output Voltage (V) จะมีลักษณะเป็นเชิงเส้นดังรูปที่ 2.12 และวงจรขยายสัญญาณแสดงดังรูปที่ 2.13



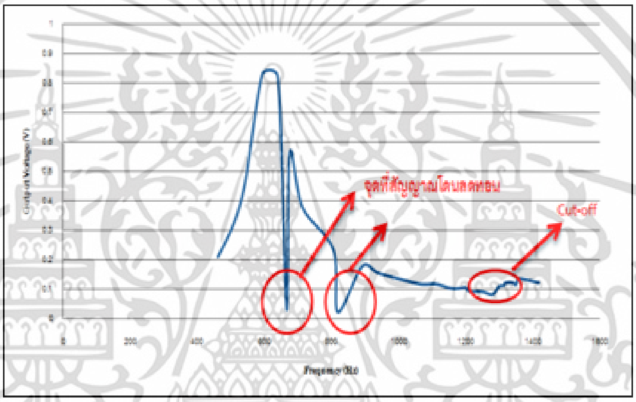
รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ของ Frequency และ Output Voltage ของจุด Cut-off Frequency



รูปที่ 2.13 วงจร Active Mic Preamp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองเพิ่มเติมได้ติดตั้งท่อ 3 ทาง เพื่อนำมาแทนการรั่วของท่อ พบว่ากราฟที่ได้ออกมามีการตกแบบผิดปกติดังรูปที่ 2.14 แสดงให้ว่าวิธีนี้สามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบรอยแตกร้าวหรือรอยรั่วของท่อได้ แต่มีข้อยกเว้นสำหรับจุด Cut-off Frequency ซึ่งพบว่าในกรณีที่ท่อไม่เกิดการแตกร้าวหรือรั่วก็มีช่วงที่ความถี่ของกราฟตกลง สรุปคือก่อนทำการทดลองให้นำความกว้างของพื้นที่หน้าตัดมาคำนวณหา จุด Cut-off Frequency ซึ่งช่วงความถี่ที่ได้คำนวณมาไปตามสมการที่ 3 จากนั้นทำการพล็อตกราฟเชิงเส้นความสัมพันธ์ระหว่าง Frequency กับ Output Voltage ถ้ากราฟมีจุดที่ตก ในจุดที่ไม่ใช่จุด Cut-off Frequency แสดงว่าท่อนั้นเกิดการแตกร้าวหรือรอยรั่ว ซึ่งมันเป็นการติดตั้งและตรวจสอบรอยรั่วได้ง่ายในห้องทดลอง แต่ในทางภาคสนามเป็นเรื่องยากที่จะนำท่อที่ทำการติดตั้งแล้วมาตรวจสอบด้วยวิธีนี้



รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ของ Frequency และ Output Voltage ขณะติดตั้งท่อ 3 ทาง

2.11 ปัจจัยที่สำคัญในการเลือกหัวรับสัญญาณ

2.11.1 ช่วงความถี่ในการใช้งาน

ช่วงความถี่ในการใช้งานเป็นส่วนที่สำคัญที่สุด โดยจะต้องพิจารณาว่าประเภทของงานหรือลักษณะของสัญญาณที่ต้องการตรวจจับนั้นมีความถี่สัญญาณอยู่ในช่วงความถี่เท่าไร เพื่อมาทำการเลือกหัวรับสัญญาณที่ตอบสนองต่อความถี่ในช่วงนั้นมากที่สุด ซึ่งจะทำให้การตรวจจับเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

2.11.2 การตรวจจับสัญญาณของหัวรับสัญญาณ

การตรวจจับสัญญาณของหัวรับสัญญาณเพื่อให้เกิดความเหมาะสมสำหรับงานจะต้องคำนึงถึงความไวในการตรวจจับของหัวรับสัญญาณว่าสามารถตรวจจับสัญญาณอะคูสติกและแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าได้ดีเพียงใด หากเลือกหัวรับสัญญาณที่มีการตอบสนองการรับสัญญาณต่ำในการใช้งานบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทที่สัญญาณที่ส่งมาต่ำมาก จะทำให้การวิเคราะห์ผลเกิดความผิดพลาดหรือไม่มีประสิทธิภาพ โดยการตรวจจับสัญญาณจะมีค่าคงที่ไม่เกี่ยวกับการเลือกช่วงความถี่ที่ใช้งาน

2.11.3 ขนาดของหัวรับสัญญาณ

ขนาดของหัวรับสัญญาณจะต้องคำนึงถึงขนาดของพื้นที่หรือโครงสร้างนั้นๆ ว่ามีขนาดเท่าไร เพื่อการเลือกขนาดของหัวรับสัญญาณให้มีความเหมาะสมสำหรับการติดตั้งบนวัสดุหรือโครงสร้างที่ต้องการตรวจสอบ

2.12 การติดตั้ง PZT Sensor

โดยจะต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อมในการติดตั้ง สัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขึ้น สภาพของพื้นที่หรือโครงสร้างนั้นๆว่ามีอุปสรรคต่อการติดตั้งหรือไม่ ตลอดจนการตรวจเช็คและการบำรุงรักษา ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้ PZT Sensor ชนิดเรโซแนนซ์เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบ โดยติดตั้ง PZT Sensor ให้หน้าสัมผัสติดกับชิ้นงานโดยการใช้ซิลิโคนเพื่อช่วยให้เป็นสารช่วยสัมผัสและยึดติดกับชิ้นงาน จากนั้นเชื่อมต่อสายสัญญาณเข้ากับวงจรขยายสัญญาณและฟิลเตอร์ ส่งผ่านไปยังอุปกรณ์วัดและประมวลสัญญาณ

2.13 วงจรขยายสัญญาณเบื้องต้น (Preamplifier)

วงจรขยายสัญญาณเบื้องต้นทำหน้าที่ในการขยายของสัญญาณหรือค่าแรงดัน (Voltage) ของสัญญาณ ให้เกิดความเหมาะสมสำหรับการวัดหรือการส่งผ่านต่อไป โดยอัตราการขยาย (Gain) สามารถแสดงให้อยู่ในรูปของอัตราส่วน หรือในหน่วยของเดซิเบล (dB) ได้ โดยในหน่วยเดซิเบลหาได้จากสมการ

$$Gain = \frac{V_{out}}{V_{in}} \tag{2}$$

$$dB_{AE} = 20Log\frac{V_{out}}{V_{In}} \tag{3}$$

โดยที่ V_{out} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าหลังจากผ่านการขยาย

V_{in} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าก่อนผ่านการขยาย

ข้อมูลตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณในหน่วยเดซิเบลกับอัตราส่วนของสัญญาณขาออกและขาเข้า โดยทั่วไปแล้วอัตราการขยายของสัญญาณในงาน

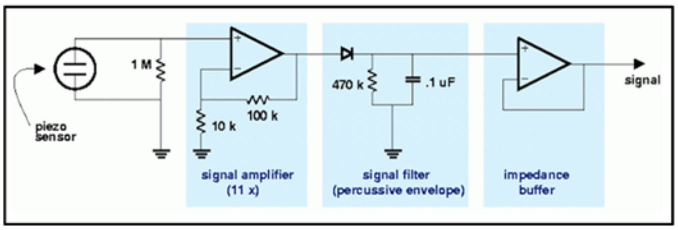
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบทั่วๆไปจะอยู่ที่ 40 เดซิเบล ซึ่งสามารถจะปรับเปลี่ยนได้ตามฟังก์ชันของวงจรการขยายนั้น เพื่อให้มีความเหมาะสมกับประเภทของงาน และขนาดของสัญญาณที่ต้องการตรวจสอบนั้นๆ

ตารางที่ 2.1 หน่วยเดซิเบล กับ อัตราส่วนของแอมพลิจูดของสัญญาณ

หน่วยเดซิเบลกับอัตราส่วนของแอมพลิจูดของสัญญาณ			
เดซิเบล (dB)	อัตราส่วนของสัญญาณ	เดซิเบล (dB)	อัตราส่วนของสัญญาณ
0	1.00:1	11	3.55:1
0.5	1.06:1	12	3.98:1
1	1.12:1	13	4.47:1
2	1.26:1	14	5.01:1
3	1.41:1	15	5.62:1
4	1.58:1	16	6.31:1
5	1.78:1	17	7.08:1
6	2.00:1	18	7.94:1
7	2.24:1	19	8.91:1
8	2.51:1	20	10.00:1
9	2.82:1	40	100.00:1
10	3.16:1	60	1000.00:1

ในการตรวจสอบด้วยวิธีอะคูสติกอีมิสชั่น สัญญาณอะคูสติกที่ได้จากหัวรับสัญญาณซึ่งถูกแปลงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยปกติจะเป็นแรงดันไฟฟ้าระดับไมโครโวลท์ (μV) ถึงมิลลิโวลท์ (mV) สัญญาณนี้จะถูกขยายเพิ่มด้วยอัตรา 40 ถึง 100 เดซิเบล โดยขยายสัญญาณขึ้นเป็นขนาดประมาณ 40 เดซิเบล โดยในวงจรนี้มีส่วนที่เป็นการขยายสัญญาณและกรองสัญญาณรวมอยู่ด้วย ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 วงจรการเชื่อมต่อหัวตรวจสอบเพียโซอิเล็กทริกกับวงจรขยายสัญญาณและฟิลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 สารช่วยสัมผัส (Couplant)

สารช่วยสัมผัส คือสารประกอบที่มีความจำเป็นในการติดตั้ง เพื่อป้องกันการเกิดช่องว่างของอากาศ (Air Gap) ระหว่างหัวรับสัญญาณกับชิ้นงานหรือโครงสร้าง ทำให้การส่งผ่านของพลังงานคลื่นอะคูสติกจากชิ้นงานสู่หัวรับสัญญาณเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ โดยตัวอย่างของสารช่วยสัมผัสที่ใช้ในระบบอะคูสติกอีมิสชัน เช่นกาว ซิลิโคน สารช่วยสัมผัสที่ใช้ในการตรวจสอบด้วยวิธีอัลตราโซนิกและปิโตรเลียมเจลเป็นต้น โดยคุณสมบัติเฉพาะที่จำเป็นของสารช่วยสัมผัสจะต้องมีการส่งผ่านพลังงานคลื่นอะคูสติกได้อย่างมีประสิทธิภาพจะต้องเป็นสารที่มีลักษณะเปียกและต้องมีคุณสมบัติทางเคมีที่เหมาะสม คือจะต้องไม่เกิดปฏิกิริยาใดๆกับผิวทดสอบหรือหัวรับสัญญาณ นอกจากนี้จะต้องไม่ทำให้เกิดการไหลบนพื้นผิวเมื่อทำการวางวัสดุทดสอบในแนวตั้ง หรือที่อุณหภูมิสูงและจะต้องไม่เกิดการชะล้างเมื่อถูกฝนได้สุดท้ายจะต้องมีความสามารถในการขจัดออกได้อย่างเหมาะสม กล่าวคือเมื่อต้องการเคลื่อนย้ายหรือเปลี่ยนตำแหน่งของการติดตั้งหัวรับสัญญาณ จะต้องสามารถทำได้ง่ายไม่เกิดการเกาะติดอย่างถาวรบนวัสดุนั้นๆ

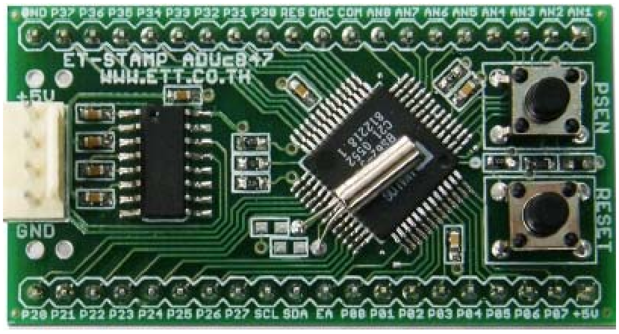
2.15 อุปกรณ์รับและประมวลสัญญาณ (Discriminator)

คลื่นสัญญาณที่ออกจากอุปกรณ์ขยายสัญญาณเบื้องต้นนั้น จะป้อนเข้าสู่อุปกรณ์อนาลอกโดยตรงและส่วนหนึ่งจะผ่านอุปกรณ์แปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอล (A/D) ที่จะย้อนเข้าสู่อุปกรณ์จัดการสัญญาณอุปกรณ์นับ (Counter) หรืออุปกรณ์จัดการข่าวสาร (Information Processing) อื่นๆต่อไป ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้อุปกรณ์ในการประมวลผลดังนี้

2.15.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ET-STAMP ADuC847 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS51 จากค่าย Analog Device ซึ่งเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ “ADuC847BS62-5” ทำงานด้วยแรงดัน +5V (4.75-5.25V) โดดเด่นด้วยระบบ ADC ขนาด 24 บิต 8 ช่อง และ DAC ขนาด 12 บิต 1 ช่อง ครบถ้วนด้วยฟังก์ชันพิเศษ ออกแบบพัฒนาขึ้นมาสนับสนุนการทำงานของวงจร ADC ที่มีความละเอียดสูง สามารถเลือกปรับแต่งคุณสมบัติการทำงานของวงจรด้วย Software ได้โดยตรง ไม่วาจะเป็นการปรับค่าเกณฑ์การขยาย (Gain Amplifier) การชดเชยความผิดพลาด การกำจัดสัญญาณรบกวน การกำหนดย่านความถี่ Input ใช้งาน และการทำ Digital Filter เพื่อให้ได้ค่าการวัดที่มีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้นโดยไม่ต้องปรับแต่ง Hardware มาก แสดงในรูปที่ 2.16

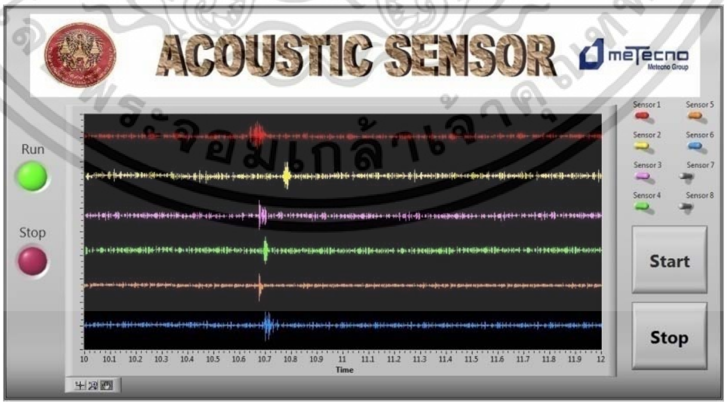
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 บอร์ด ET-STAMP ADuC847 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ในตระกูล MCS51

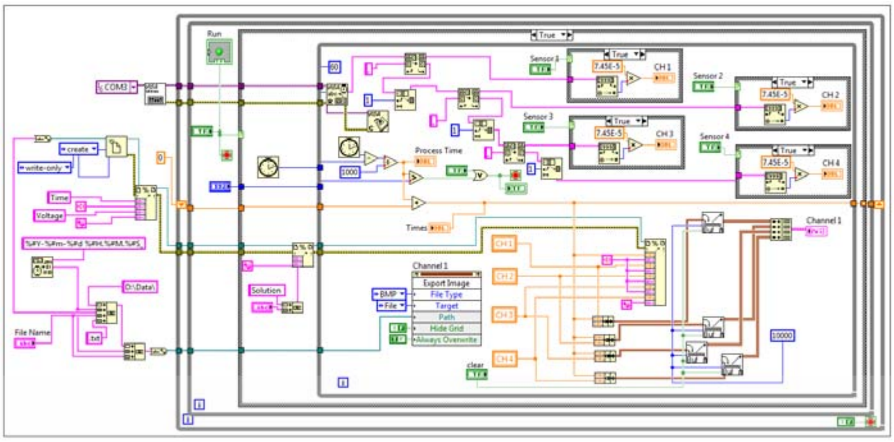
2.15.2 โปรแกรม LabVIEW [8]

Lab View ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench เป็นโปรแกรมที่สร้างเพื่อนำมาใช้ในด้านการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรม ดังนั้นจุดประสงค์หลักของการทำงานของโปรแกรมนี้ก็คือการจัดการในด้านการวัดและเครื่องมือวัด อย่างมีประสิทธิภาพ และในตัวโปรแกรมจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันที่ใช้ช่วยในการวัดมากมายและแน่นอนที่สุด โปรแกรมนี้จะมีประโยชน์อย่างสูงเมื่อใช้ร่วมกับเครื่องมือวัดทางวิศวกรรมต่างๆ โปรแกรมนี้เป็นโปรแกรมประเภท GUI ไม่ต้องเขียนโค๊ดหรือคำสั่งใดๆทั้งสิ้น และที่สำคัญลักษณะภาษาที่ใช้ในโปรแกรมนี้เป็นภาษารูปภาพ ซึ่งจะแทนการเขียนโปรแกรมเป็นบรรทัดอย่างที่เราคุ้นเคยกับภาษาพื้นฐาน และยังสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ ฮาร์ดแวร์ภายนอกได้ ซึ่งในที่ได้เชื่อมต่อกับวงจรขยายสัญญาณและฟิลเตอร์ของ PZT Sensor แสดงผลของสัญญาณหน้าจอแสดงดังรูปที่ 2.17 และโครงสร้าง Block Diagram แสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.17 โปรแกรม LabVIEW

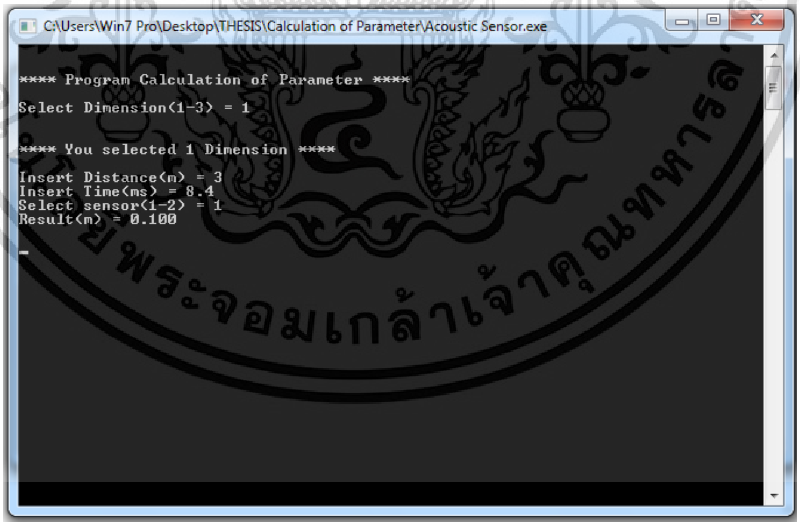
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 โครงสร้าง Block Diagram ของโปรแกรม LabVIEW

2.15.3 โปรแกรม Dev C++

เป็นโปรแกรมเพื่อสร้างและรันโปรแกรมที่เขียนด้วยภาษา C ซึ่งโปรแกรมนี้จะต้องสร้าง Source Code ทำการ Complie และรัน โปรแกรมที่เขียนขึ้น ถ้าเขียน Source Code ผิด ก็จะไม่สามารถ Complie ได้ และจะแจ้ง error แต่ถ้าเขียนโปรแกรมและรันได้ จะเป็น Dos Mode ข้อมูลจะเป็นไปตามที่เขียนไว้ ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้ Dev C++ ในการคำนวณตำแหน่งรอยร้าวแบบ 1 มิติ 2 มิติ และ 3 มิติ โดยโปรแกรม Dev C++ แสดงดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 โปรแกรม Dev.C++

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16 อะคูสติกพารามิเตอร์

เมื่อหัวรับสัญญาณแปลงคลื่นความยืดหยุ่นเป็นสัญญาณไฟฟ้า สัญญาณจะถูกขยาย แสดงผลและวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรืออุปกรณ์ประมวลลักษณะรูปคลื่นอะคูสติกทั่วๆไป สัญญาณอะคูสติกที่ได้จากระบบการตรวจสอบอะคูสติกอีมิสชันจะบอกถึงแหล่งกำเนิดและความสำคัญตลอดจนคุณลักษณะของคลื่นอะคูสติก โดยมีการแสดงสาระสำคัญและแปรความหมายสัญญาณอะคูสติกออกมาในรูปตัวแปรที่เป็นปริมาณสเกล่าร์ (Scalar) เรียกว่าอะคูสติกพารามิเตอร์ ซึ่งจากที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นว่าวัสดุสามารถปล่อยสัญญาณแบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่ การปล่อยคลื่นอะคูสติกที่เป็นไปแบบต่อเนื่องและเป็นการปล่อยคลื่นอะคูสติกที่เป็นไปแบบไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นการประมวลผลอะคูสติกพารามิเตอร์จึงสามารถแบ่งออกได้ตามชนิดของสัญญาณอะคูสติกดังนี้

2.16.1 สัญญาณอคูสติกแบบไม่ต่อเนื่อง

รูปแบบของสัญญาณอะคูสติกในโดเมนเวลาจะแสดงดังรูป ซึ่งสัญญาณที่ได้รับจะแสดงให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดและความสำคัญตลอดจนคุณลักษณะของคลื่นอะคูสติกแต่เนื่องจากคลื่นหรือสัญญาณรบกวน (Noise) การวิเคราะห์และการประเมินผลสัญญาณจึงต้องมีการกำหนดค่าจำกัดเริ่มต้น (Threshold) ของสัญญาณเพื่อให้สามารถตรวจวัดข้อมูลได้ถูกต้องมากขึ้นและเพื่อเป็นการกำจัดสัญญาณรบกวนในระบบอีกด้วย ซึ่งคุณลักษณะของสัญญาณที่ใช้ในการวิเคราะห์และประเมินผลมีตัวแปรต่างๆดังนี้

1. AE Count (or Ringdown Count) คือจำนวนครั้งที่สัญญาณคลื่นอะคูสติกมีขนาดสูงกว่าค่าจำกัดเริ่มต้น
2. AE Amplitude คือแอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณคลื่นอะคูสติก
3. AE Rise Time คือระยะเวลาระหว่างช่วงตั้งแต่สัญญาณมีค่าสูงกว่าขีดจำกัดเริ่มต้นครั้งแรกจนถึงสัญญาณที่มีแอมพลิจูดสูงสุด
4. AE Duration Time คือระยะเวลาตั้งแต่สัญญาณแรกที่มีแอมพลิจูดสูงกว่าค่าจำกัดเริ่มต้นจนถึงเวลาของแอมพลิจูดของสัญญาณสุดท้ายที่สูงกว่าค่าจำกัดขีดเริ่ม
5. AE Event คือจำนวนครั้งที่เกิดสัญญาณการปล่อยคลื่นอะคูสติก ทั้งนี้โดยไม่ได้คำนึงถึงระยะเวลาในการเกิดสัญญาณ เวลาในการเกิดแอมพลิจูดสูงสุด (Rise Time) หรือคุณลักษณะอื่นๆ
6. AE Energy คือพลังงานที่มีอยู่ในสัญญาณของคลื่นอะคูสติก โดยค่าพลังงานของคลื่นอะคูสติกนี้จะหาได้จากการอินทิเกรตของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พิเศษตามสมการ ซึ่งค่าพลังงาน (U) นี้จะช่วยในการวิเคราะห์สัญญาณแบบต่อเนื่องที่มีแอมพลิจูดต่ำได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$U = \frac{1}{R}\int_0^T V^2(t)dt \quad (4)$$

โดยที่ U คือ พลังงาน AE

R คือ Reynolds Number

ρ คือ ความหนาแน่น

r คือ รัศมีทรงกระบอก

v คือ โวลต์เตจที่เป็นฟังก์ชันกับเวลาของสัญญาณอะคูสติก

T คือ ช่วงเวลาที่พิจารณา

2.16.2 สัญญาณอะคูสติกแบบต่อเนื่อง

สัญญาณอะคูสติกแบบต่อเนื่องนิยมพิจารณาตัวแปรทางอะคูสติกทั้ง 2 โดเมน คือโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ โดยเหตุผลของสัญญาณรบกวนจึงมีการกำหนดค่าจำกัดเริ่มต้นเช่นเดียวกับการวิเคราะห์สัญญาณอะคูสติกแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งตัวแปรของอะคูสติกพารามิเตอร์แสดงดังรูปที่ 2.21

รูปที่ 2.20 อะคูสติกพารามิเตอร์

1. โดเมนเวลา

Average Signal Level (*ASL*) คือระดับของสัญญาณอะคูสติกทางโดเมนเวลาโดยเฉลี่ยในหน่วย โวลต์ ซึ่งหาได้จากสูตร

$$ASL_V = \frac{1}{T}\int_{t_0}^{(t_0+T)} |v(t)dt| = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} |v(i)| \quad (5)$$

โดยที่ v คือ โวลต์เตจที่เป็นฟังก์ชันกับเวลาของสัญญาณอะคูสติก

T คือ ช่วงเวลาที่พิจารณา

t_0 คือ เวลาเริ่มต้น

N คือ จำนวนข้อมูลที่ได้จากการสุ่มของสัญญาณอะคูสติกภายในช่วงเวลา T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับระดับสัญญาณเฉลี่ยในหน่วยเดซิเบล (dB)

$$dB_{AE} = 20log\frac{ASL_v}{1\mu V} \qquad (6)$$

โดยที่ *v* คือ โวลต์เตจที่เป็นฟังก์ชันกับเวลาของสัญญาณอะคูสติก

Energy in Time Domain (*AErms*) คือรากที่สองของค่าสัญญาณทางเวลาเฉลี่ย (Root Mean Square) ซึ่งหาได้จากสูตร

$$AErms = \sqrt{\frac{1}{T}\int_{t_0}^{t_0+T} V^2(t)dt} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} V^2(i)} \qquad (7)$$

โดยที่ *v* คือ โวลต์เตจที่เป็นฟังก์ชันกับเวลาของสัญญาณอะคูสติก

T คือ ช่วงเวลาที่พิจารณา

t_0 คือ เวลาเริ่มต้น

N คือ จำนวนข้อมูลที่ได้จากการสุ่มของสัญญาณอะคูสติกภายในช่วงเวลา T

2. โดเมนความถี่

AE Amplitude คือแอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณคลื่นอะคูสติกในโดเมนความถี่

Energy in Frequency Domain (*AErms*) คืออินทิเกรตพื้นที่ใต้กราฟของสัญญาณในโดเมนเวลา

$$AErms = \sqrt{\frac{1}{F}\int_{t_0}^{t_0+T} V^2(f)df} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} V^2(i)} \qquad (8)$$

โดยที่ *v* คือ โวลต์เตจที่เป็นฟังก์ชันกับเวลาของสัญญาณอะคูสติก

F คือ ช่วงเวลาที่พิจารณา

t_0 คือ เวลาเริ่มต้น

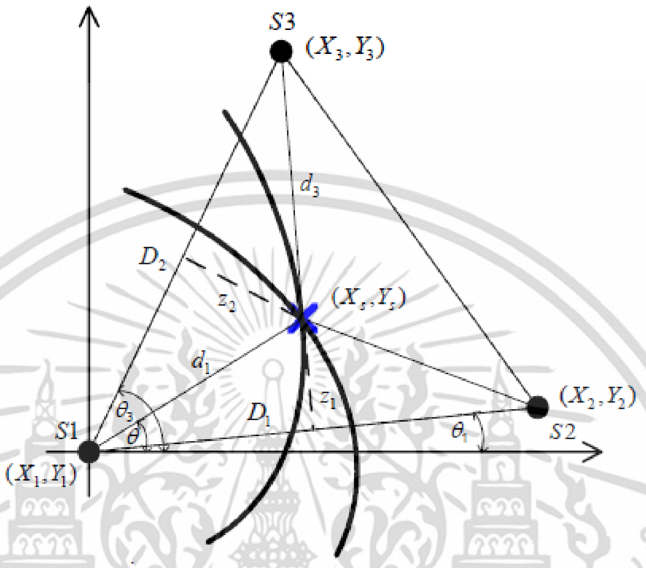
N คือ จำนวนข้อมูลที่ได้จากการสุ่มของสัญญาณอะคูสติกภายในช่วงความถี่ F

2.17 วิธีการหาตำแหน่งโดยการใช้เซนเซอร์จำนวนน้อยที่สุด

วิธีการหาตำแหน่งบนเส้นทางตรงเป็นวิธีการหาตำแหน่งในแบบ 1 มิติ สามารถตรวจหาได้ด้วยการติดตั้งเซนเซอร์เริ่มต้นเพียง 1 ตัวเป็นต้นไป เพียงแต่ต้องรู้ความเร็วของคลื่นในตัวกลางและทิศทางของตำแหน่งกับเซนเซอร์ หรือในกรณีที่ตรวจหาตำแหน่งบนระนาบเป็นวิธีการหาตำแหน่งในแบบ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิติ ซึ่งสามารถตรวจหาได้ด้วยการติดตั้งเซนเซอร์เริ่มต้นตั้งแต่ 3 ตัวเป็นต้นไป โดยสามารถหาตำแหน่งได้ด้วยความเร็วคลื่น และใช้ทฤษฎีการตัดกันของกราฟไฮเปอร์โบลาสองเส้นทำให้สามารถคำนวณหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณจากเซนเซอร์ S1 S2 และ S3 วางที่ตำแหน่ง (X_1, Y_1), (X_2, Y_2) และ (X_3, Y_3) ตามลำดับ [3] การหาตำแหน่งแสดงดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 วิธีการหาตำแหน่งด้วยเซ็นเซอร์สามตัว

ส่วนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดคือ (X_S, Y_S) สามารถคำนวณหาจากผลต่างของเวลาของเซนเซอร์ทั้งสาม (dT_1 และ dT_2) ความเร็วคลื่น (V) และระยะห่างระหว่างเซนเซอร์ (D_i) พารามิเตอร์ต่างๆ ดังกล่าวจะนำมากำหนดกราฟไฮเปอร์โบลาสองเส้น และจุดตัดกันคือตำแหน่งของแหล่งกำเนิด กราฟไฮเปอร์โบลาสองเส้นสามารถกำหนดตามสมการที่ 11 และสมการที่ 12

$$\delta_1 = d_2 - d_1 = T_2 - T_1 = dT_1 \cdot V \tag{9}$$

$$\delta_2 = d_3 - d_1 = T_3 - T_1 = dT_2 \cdot V \tag{10}$$

โดยที่ δ_i คือ ค่าคงที่

d_i คือ ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดและเซนเซอร์

dT คือ ส่วนต่างของเวลา

V คือ ความเร็วของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาเซนเซอร์ S_1 และ S_2 จะได้ d_1 คือระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดและ S_1 สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการการหาค่า Z_1 ตามสมการที่ 11 และสมการที่ 12

$$Z_1 = d_1 \cdot sin(\theta - \theta_1) \quad (11)$$

$$Z_1^2 = d_2^2 - (D_1 - d_1 cos(\theta - \theta_1))^2 \quad (12)$$

จากสมการที่ 9, 11 และ 12 จะได้

$$d_1 = \frac{D_1^2 - \delta_1^2}{2(\delta_1 + D_1\, cos(\theta - \theta_1))} \quad (13)$$

พิจารณาเซนเซอร์ S1 และ S3 ใช้วิธีการดังกล่าวข้างต้น Z_2 สามารถเขียนในรูปสมการดังนี้

$$Z_2 = d_1 \cdot sin(\theta_3 - \theta) \quad (14)$$

$$Z_2^2 = d_3^2 - (D_2 - d_1 cos(\theta_3 - \theta))^2 \quad (15)$$

จากสมการที่ 10, 14 และ 15 จะได้

$$d_1 = \frac{D_2^2 - \delta_2^2}{2(\delta_2 + D_2\, cos(\theta_3 - \theta))} \quad (16)$$

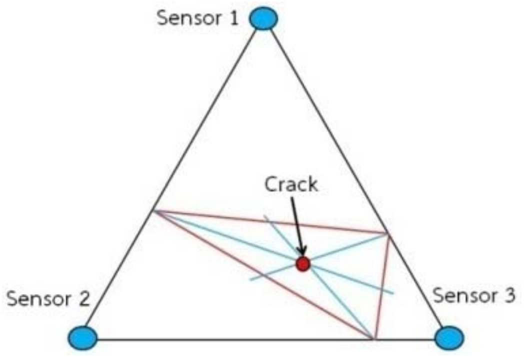
เมื่อคำนวณสมการที่ 13 และ สมการที่ 16 อย่างต่อเนื่อง จะได้ค่า d_1 ดังนั้นตำแหน่งของแหล่งกำเนิด (X_S, Y_S) สามารถคำนวณจาก

$$X_s = X_1 + d_1 cos\theta \quad (17)$$

$$Y_s = Y_1 + d_1 sin\theta \quad (18)$$

แต่ในงานจริงเราไม่สามารถรู้ได้เลยว่าจะเกิดขึ้นเวลาใด ซึ่งไม่สามารถใช้วิธีนี้ในการเฝ้าระวังได้ แต่สามารถใช้วิธีการหาตำแหน่งโดยการใช้ส่วนต่างของเวลาให้หัวข้อ 2.17 ได้ แต่จะมีความซับซ้อนมากขึ้นในการหาจริงกึ่งกลางของรูปสามเหลี่ยมที่เกิดขึ้นจากจุดกึ่งกลางของส่วนต่างของเวลา เพราะจะนั้นจะต้องนำวิธีการหาจุดกึ่งกลางของสามเหลี่ยมเข้ามาเกี่ยวข้องโดยสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



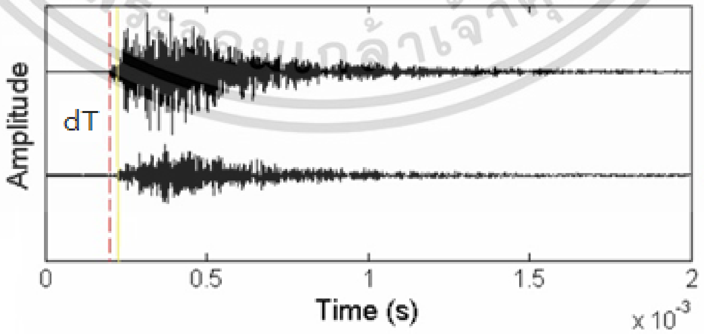
รูปที่ 2.22 วิธีการหาตำแหน่งกึ่งกลางของสามเหลี่ยม

2.18 วิธีการหาตำแหน่งโดยการใช้ส่วนต่างของเวลา

จากการศึกษาหาตำแหน่งที่เกิดรอยร้าวในรูปแบบ 1 มิติ สามารถหาตำแหน่งได้โดยการใช้เซนเซอร์ 2 ตัว หาตำแหน่งที่เกิดรอยร้าวในรูปแบบ 2 มิติ สามารถหาตำแหน่งได้โดยการใช้เซนเซอร์ 4 ตัว และหาตำแหน่งที่เกิดรอยร้าวในรูปแบบ 3 มิติ สามารถหาตำแหน่งได้โดยการใช้เซนเซอร์ 6 ตัว ซึ่งวิธีนี้จะสะดวกตรงที่ไม่ต้องรู้ค่าความเร็วที่เคลื่อนที่ผ่านตัวกลางและไม่ต้องคำนวณอะไรมาก ทำให้ง่ายและมีความแม่นยำกว่า

การใช้ส่วนต่างของเวลาที่หัวตรวจสอบรับสัญญาณเข้ามาใช้ โดยการจับคู่ของเซนเซอร์กับแนวแกนที่ต้องการทราบตำแหน่ง โดยอ่านค่าจากสัญญาณที่ได้รับของหัวตรวจสอบ

การจับคู่กันระหว่างหัวตรวจสอบที่ 1 และหัวตรวจสอบที่ 2 แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.23 พบว่ามีส่วนต่างของเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงนำส่วนต่างของเวลาที่ได้มาเปรียบเทียบกับความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ออกมาเป็นสมการเพื่อนำไปสร้างเป็นโปรแกรมหาตำแหน่งโดยการใช้ส่วนต่างของเวลา



รูปที่ 2.23 ส่วนต่างของเวลาที่ได้จากการประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้เป็นการอธิบายถึงการสอบเทียบหัวรับสัญญาณ การติดตั้งระบบตรวจสอบด้วยวิธีอะคูสติกอีมิสชัน รวมถึงการออกแบบจำลองการสร้างรอยร้าวเทียมและการวางตำแหน่งของ PZT Sensor โดยเป็นการตรวจสอบตำแหน่งรอยร้าวเทียมในรูปแบบ 1 มิติ การตรวจสอบตำแหน่งรอยร้าวเทียมในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ

3.2 การสอบเทียบหัวรับสัญญาณ

3.2.1 การสอบเทียบคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนเพื่อการวัด

การสอบเทียบหัวรับสัญญาณของคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนเพื่อการวัด สามารถใช้เทคนิค Reciprocity จากการรับรองระบบคุณภาพและความสามารถทางเทคนิค ISO/IEC 17025 เทียบหับหัวรับสัญญาณและนำมาทดสอบกับคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน

1. ทดสอบความสามารถด้านความไว (Sensitivity) นำหัวตรวจสอบมาติดตั้งห่างจากแหล่งกำเนิดสัญญาณ 1 เมตร และทำการบันทึกค่าแอมพลิจูดของหัววัดโดยการทดสอบจำนวน 5 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย
2. ทดสอบความถี่เรโซแนนซ์ (Resonance Frequency) นำหัวตรวจสอบมาติดตั้งห่างจากแหล่งกำเนิดสัญญาณ 1 เมตร และทำการบันทึกค่าความถี่เรโซแนนซ์ของหัววัดโดยการทดสอบจำนวน 5 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย แสดงดังรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.1 การสอบเทียบคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

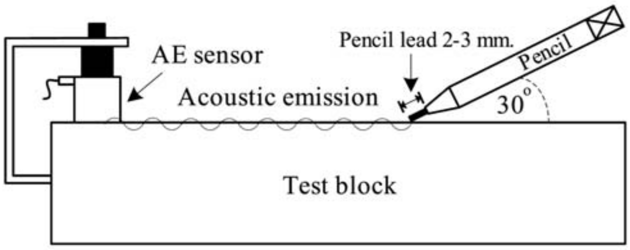
รูปที่ 3.2 การตรวจรับสัญญาณเสียงผ่านวงจรขยายสัญญาณมาเป็นสัญญาณไฟฟ้า

3.2.2 การสอบเทียบหัวรับสัญญาณของ PZT Sensor

การทดสอบความสามารถการรับสัญญาณของ PZT Sensor ต่อการตรวจวัด [2] จะต้องการตรวจสอบความสมบูรณ์ของการติดตั้งหัวรับสัญญาณเสียก่อนเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบ หรือเพื่อตรวจเช็คความสามารถในการรับสัญญาณของหัวทดสอบที่นำมาใช้ ซึ่งวิธีการทดสอบมีดังนี้ ใช้ดินสอแบบ 2H ขนาดของไส้ดินสอ 0.5 มิลลิเมตร โดยให้ไส้ดินสอยื่นออกมาจากปลายดินสอประมาณ 2-3 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.3

1. นำปลายไส้ดินสอ สัมผัสกับชิ้นงานที่ตรวจสอบ ตรงตำแหน่งห่างจากหัวตรวจสอบประมาณ 1-2 นิ้ว โดยให้แท่งดินสอทำมุม 30 องศากับผิวของชิ้นงาน
2. หักไส้ดินสอพร้อมกับบันทึกค่าแอมพลิจูดของสัญญาณอะคูสติกที่เกิดจากการหักไส้ดินสอ
3. ทำการทดลองซ้ำตามข้อที่ 1-2 จนครบ 3 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งให้ทำการหักไส้ดินสอที่ตำแหน่งห่างจากหัวตรวจสอบเป็นระยะทางเท่าๆกัน แล้วหาค่าเฉลี่ยของแอมพลิจูดของสัญญาณอะคูสติกที่ได้ทั้ง 3 ครั้ง
4. ในกรณีที่ติดตั้งหัวตรวจสอบเพียงหัวเดียว ถ้าผลการหักไส้ดินสอมีค่าแอมพลิจูดต่ำกว่า 60 เดซิเบล แสดงว่าการติดตั้งหัวตรวจสอบไม่สมบูรณ์ ให้ทำการติดตั้งหัวตรวจสอบใหม่
5. ในการติดตั้งหัวตรวจสอบหลายหัว ถ้าผลของการหักไส้ดินสอของแต่ละหัวตรวจสอบมีค่าต่างกันเกินกว่า ± 4 เดซิเบล แสดงว่าการติดตั้งหัวตรวจสอบไม่สมบูรณ์ ให้ทำการติดตั้งหัวตรวจสอบใหม่
6. ทดสอบความสามารถด้านความไว (Sensitivity) นำหัวตรวจสอบมาติดตั้งห่างจากแหล่งกำเนิดสัญญาณ 1 เมตร และทำการบันทึกค่าแอมพลิจูดของหัววัดโดยการทดสอบจำนวน 5 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย
7. ทดสอบความถี่เรโซแนนซ์ (Resonance Frequency) นำหัวตรวจสอบมาติดตั้งห่างจากแหล่งกำเนิดสัญญาณ 1 เมตร และทำการบันทึกค่าความถี่เรโซแนนซ์ของหัววัดโดยการทดสอบจำนวน 5 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การสอบเทียบหัวตรวจสอบเพียโซอิเล็กทริก

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีการออกแบบทดสอบ 5 ส่วน ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีดังต่อไปนี้

1. หัวตรวจสอบเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Transducer)
2. หัวรับสัญญาณคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน
3. วงจรขยายสัญญาณของหัวตรวจสอบเพียโซอิเล็กทริก
4. วงจรขยายสัญญาณของหัวรับสัญญาณคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน
5. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller Board) รุ่น ET-STAMP ADuC847
6. แผ่น Wall Panel ขนาด 1 ตารางเมตร หนา 42 มิลลิเมตร
7. แผ่น Wall Panel ยาว 4 เมตร กว้าง 1 เมตร หนา 42 มิลลิเมตร
8. กล่องทดสอบขนาด 0.5 ลูกบาศก์เมตร
9. น้ำยาเคมี Poly และ Iso

3.4 การติดตั้งระบบตรวจสอบด้วยวิธีอะคูสติกอีมิสชัน

3.4.1 PZT Sensor

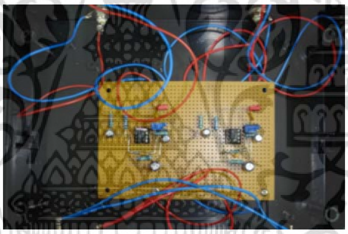
PZT Sensor ใช้ผลึกเดียวกันกับควอทซ์ หรือ ใช้วัสดุเซรามิกซ์ ที่เรียกว่า เฟอร์โรอิเลคตริก (Ferroelectric) เช่น ตะกั่ว ซิรอนเกต–ไตตาเนต เมื่อเกิดการสั่นสะเทือนก็จะเกิดประจุไฟฟ้า การเกิดปรากฏการณ์ Piezoelectricity นั้นคือ การเกิดประจุทางไฟฟ้าซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนรูปทางกล ปรากฏการณ์นี้สามารถย้อนกลับได้เช่นกัน นั่นคือเมื่อทำการจ่ายประจุไฟฟ้าให้กับวัสดุ วัสดุก็จะสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้เช่นกันทำให้เกิดเสียงดัง PZT Sensor แสดงดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 หัวรับสัญญาณเพียโซอิเล็กทริก

3.4.2 วงจรปรับสภาพสัญญาณ (Pre - Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณ ทำหน้าที่ขยายสัญญาณโดยสัญญาณเบื้องต้นจะมีอัตราการขยาย 2 ค่า คือ 40 dB และ 60 dB โดยภายในจะประกอบด้วย ตัวกรองสัญญาณแบบ Band Pass ที่มี Pass Band ตั้งแต่ 100 kHz - 300 kHz กับตั้งแต่ 100 kHz – 1200 kHz แสดงดังรูปที่ 3.5 โดยจะเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์ประมวลผลและวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจากคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.5 บอร์ดวงจรขยายสัญญาณ Pre-Amplifier

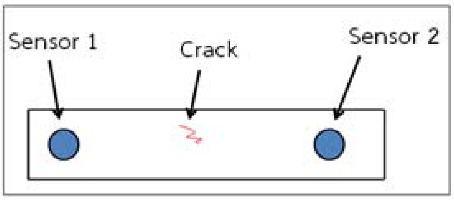
3.5 การออกแบบจำลองการสร้างรอยร้าวและการวางตำแหน่งของ PZT Sensor

3.5.1 การออกแบบจำลองการสร้างรอยร้าวในรูปแบบ 1 มิติ

ออกแบบจำลองการสร้างรอยร้าวจำลองขึ้น โดยการนำแผ่น Panel ที่มีความกว้าง 1 เมตร และมีความยาว 4 เมตร ติดตั้ง PZT Sensor จำนวน 2 ตัว ในระยะตำแหน่งที่ห่างกัน 3 เมตร แสดงดังรูปที่ 3.4 และทำการสร้างรอยร้าวเทียมโดยการหักไส้ดินสอเพื่อสร้างแหล่งกำเนิดเสียงตามระยะห่างจาก Sensor 1 กับ Sensor 2 ที่กำหนด จากนั้นขยับจุดที่หักไส้ดินสอให้ห่างจากหัวตรวจสอบในระยะที่แตกต่างกันและบันทึกค่าส่วนต่างของเวลาที่ได้ โดยได้ต่อหัวตรวจสอบกับวงจรขยายสัญญาณและกรองสัญญาณเพื่อเชื่อมต่อไปยังหน่วยประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วแสดงออกทางซอฟต์แวร์ที่เขียนโปรแกรมขึ้นจากนั้นมาหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆเพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ของตัวแปรเพื่อค้นหาตำแหน่งรอยร้าว ซึ่งถ้าสามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ของการหาตำแหน่งรอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

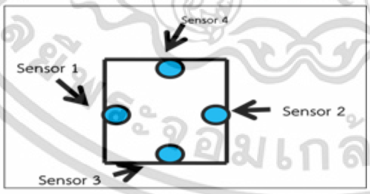
ร้าวในรูปแบบ 1มิติได้ ก็สามารถพัฒนานำไปทดสอบหาตำแหน่งรอยร้าวในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติได้



รูปที่ 3.6 การวางตำแหน่ง PZT Sensor สำหรับตรวจสอบรอยร้าวในรูปแบบ 1 มิติ

3.5.2 การวางตำแหน่งของ PZT Sensor เพื่อหาตำแหน่งรอยร้าวในรูปแบบ 2 มิติ

การวางตำแหน่งของ PZT Sensor เป็นการพัฒนาเพื่อหาตำแหน่งรอยร้าวในรูปแบบ 2 มิติ โดยมีต้นแบบมาจากการออกแบบจำลองการสร้างรอยร้าวในรูปแบบ 1 มิติ โดยการใช้ PZT Sensor จำนวน 4 ตัว ในรูปแบบ 4 เหลี่ยม 4 ด้าน บนแผ่นเหล็กขนาด 1 ตารางเมตรและติดตั้งหัวตรวจสอบตามตำแหน่งที่กำหนดห่างกัน 1 เมตร แสดงดังรูปที่ 3.7 จากนั้นเชื่อมต่อหัวตรวจสอบกับวงจรขยายสัญญาณและกรองสัญญาณเพื่อเชื่อมต่อไปยังหน่วยประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วแสดงออกทางซอฟต์แวร์ที่เขียนโปรแกรมขึ้น โดยจำลองตำแหน่งจุดผิดปกติ โดยการหักไส้ดินสอที่แผ่นเหล็กในตำแหน่งกำหนด จากนั้นนำสัญญาณความถี่ที่ได้มาวิเคราะห์ส่วนต่างของเวลา จับคู่ หัวตรวจสอบครั้งละ 2 ตัว โดยการแบ่งเป็น 2 คู่ จับคู่กันแบบด้านตรงข้ามกัน และนำมาวิเคราะห์หาตำแหน่ง ซึ่งจะแสดงในลักษณะ (X, Y)



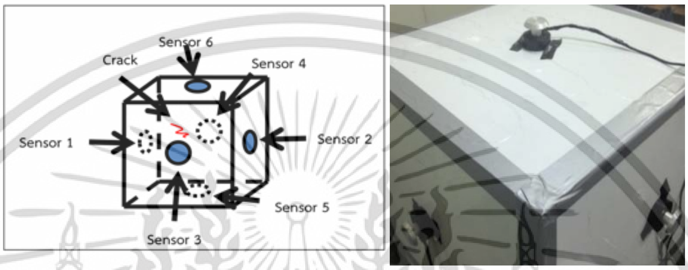
รูปที่ 3.7 การวางตำแหน่ง PZT Sensor สำหรับตรวจสอบรอยร้าวในรูปแบบ 2 มิติ

3.5.3 การวางตำแหน่งของ PZT Sensor เพื่อหาตำแหน่งรอยร้าวในรูปแบบ 3 มิติ

การวางตำแหน่งของ PZT Sensor เป็นการพัฒนาเพื่อหาตำแหน่งรอยร้าวในรูปแบบ 3 มิติ โดยมีต้นแบบมาจากการออกแบบจำลองการสร้างรอยร้าวในรูปแบบ 2 มิติ โดยการใช้ PZT Sensor จำนวน 6 ตัว ในรูปแบบ 6 ด้าน แสดงดังรูปที่ 3.8 อยู่บริเวณผิวของกล่องเหล็กขนาด 0.5 ลูกบาศก์เมตร โดยติดแหล่งกำเนิดสัญญาณด้วยการสั่นภายใน และนำน้ำยาเคมีของบริษัทดาวเคมีคอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ประเทศไทย) จำกัด ผสมลงในกล่อง เมื่อสารเคมี 2 ชนิด ได้แก่ น้ำยาเคมี Poly และน้ำยาเคมี Iso ผสมกันจะทำกลายเป็นเนื้อ PU Foam สีเหลือง ซึ่งเนื้อโฟมเมื่อเย็นตัวลงแล้วจะแข็งตัว จากนั้นเชื่อมต่อหัวตรวจสอบกับวงจรขยายสัญญาณและกรองสัญญาณเพื่อเชื่อมต่อไปยังหน่วยประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วแสดงออกทางซอฟต์แวร์ที่เขียนโปรแกรมขึ้น โดยจำลองตำแหน่งจุดผิดปกติ โดยการสร้างแหล่งกำเนิดสัญญาณการสั่นในตำแหน่งกำหนด จากนั้นนำสัญญาณความถี่ที่ได้มาวิเคราะห์ส่วนต่างของเวลา จับคู่ หัวตรวจสอบครั้งละ 2 ตัว โดยการแบ่งเป็น 3 คู่ จับคู่กันแบบด้านตรงข้ามกัน และนำมาวิเคราะห์หาตำแหน่ง ซึ่งจะแสดงในลักษณะ (X, Y, Z)



รูปที่ 3.8 การวางตำแหน่ง PZT Sensor สำหรับตรวจสอบรอยร้าวในรูปแบบ 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการพัฒนาใช้ PZT ในการตรวจสอบ

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้เป็นการอธิบายถึงผลการพัฒนาใช้ PZT ในทางอะคูสติกตรวจสอบ โดยเป็นผลมาจากการทดลองในบทที่ 3 ซึ่งได้ผลการทดลองทั้งหมด 4 ส่วน คือผลการสอบเทียบหัวรับสัญญาณ ผลการตรวจวัดรอยร้าวเทียมในรูปแบบ 1 มิติ ทั้งนี้ได้สร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของหัวตรวจสอบกับตำแหน่งรอยร้าวเทียมด้วยผลของเวลาที่รับสัญญาณแตกต่างกัน โดยเขียนเป็นโปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อนำไปใช้ในการตรวจสอบตำแหน่งรอยเทียมในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ รวมถึงรูปแบบการพัฒนาการจัดวางตำแหน่งของอะคูสติกเซนเซอร์สำหรับตรวจสอบตำแหน่งรอยร้าวเทียมเพิ่มเติมและการนำไปใช้งานติดตั้งจริงในระบบอุตสาหกรรม

4.2 ผลการสอบเทียบหัวรับสัญญาณ

4.2.1 ผลการสอบเทียบคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนเพื่อการวัด

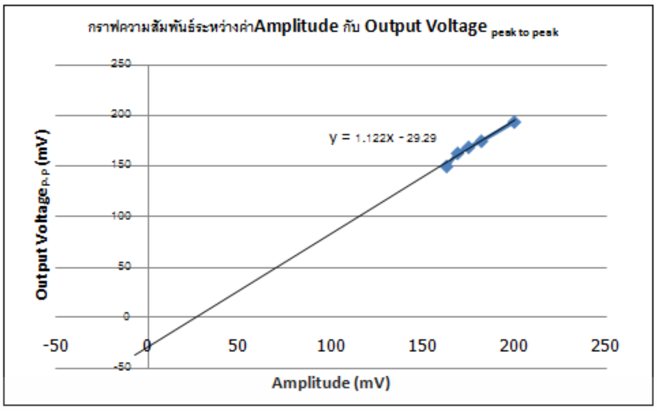
1. ด้านความไว (Sensitivity)

จากการทดสอบคุณลักษณะของหัวรับสัญญาณเสียงคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน พบว่าเมื่อนำหัวรับสัญญาณเสียงติดตั้งห่างจากแหล่งกำเนิดสัญญาณโดยการติดตั้งลำโพงระยะห่าง 1 เมตร โดยการให้ความถี่ที่ทราบค่าเพื่อวัดค่าความไวของการรับสัญญาณแอมพลิจูดของหัวรับสัญญาณได้ตามตารางที่ 4.1 และกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Amplitude กับ Output V_{P-P} ความถี่ที่วัดได้ แสดงดังรูปที่ 4.1

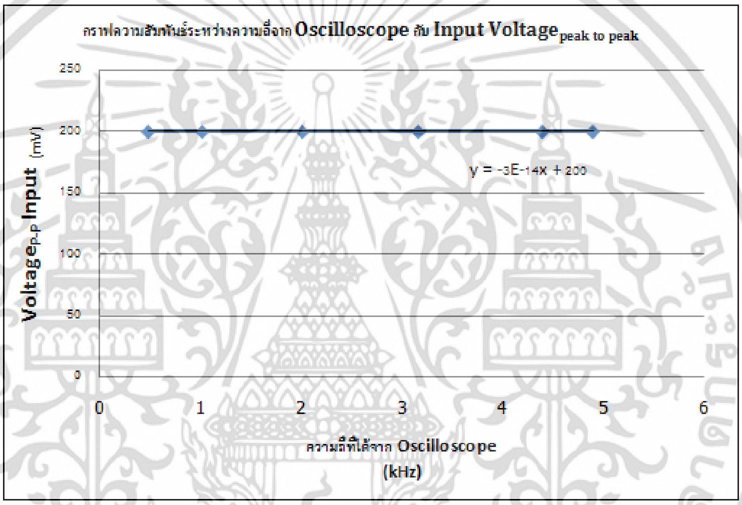
2. ด้านความถี่เรโซแนนซ์ (Resonance Frequency)

จากการทดสอบคุณลักษณะของหัวรับสัญญาณเสียงคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน พบว่าเมื่อนำหัวรับสัญญาณเสียงติดตั้งห่างจากแหล่งกำเนิดสัญญาณโดยการติดตั้งลำโพงระยะห่าง 1 เมตร โดยการให้ความถี่ที่ทราบค่าเพื่อวัดค่าความถี่ที่หัวรับสัญญาณเสียงได้ตามตารางที่ 4.2 และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่วัดได้ แสดงดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Amplitude กับ $V_{P\text{-}P}$



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่จาก Oscilloscope กับ Input $V_{P\text{-}P}$

ตารางที่ 4.1 ผลการสอบเทียบคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนด้านความไว

แอมปลิจูด (mV)	$V_{P\text{-}P}$ (mV)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%)
163	150	7.97
169	163	3.55
175	169	3.43
182	175	3.85
200	194	3.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการสอบเทียบคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนด้านความถี่เรโซแนนซ์

ความถี่จาก Function Generator (Hz)	ความถี่ที่วัดได้จากคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน (Hz)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%)
500	489	2.20
1000	1060	6.00
2000	2100	5.00
3000	3275	9.17
4000	4400	10.00
5000	4800	4.00

4.2.2 ผลการสอบเทียบหัวรับสัญญาณของ PZT Sensor

1. ด้านความไว (Sensitivity)

จากการทดสอบคุณลักษณะของ PZT Sensor พบว่าเมื่อนำหัวตรวจสอบมาติดตั้งห่างจากแหล่งกำเนิดสัญญาณโดยการหักไส้ดินสอระยะ 1 เมตร เพื่อวัดค่าความไวของการรับสัญญาณได้แอมพลิจูด (dB_{AE}) ของหัวตรวจสอบได้ตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการสอบเทียบ PZT Sensor ด้านความไว

ครั้งที่	Amplitude (dB_{AE})					
	หัวตรวจสอบที่1	หัวตรวจสอบที่2	หัวตรวจสอบที่3	หัวตรวจสอบที่4	หัวตรวจสอบที่5	หัวตรวจสอบที่6
1	60	59	62	59	61	58
2	58	62	62	60	60	63
3	61	62	60	62	59	59
4	62	62	61	61	62	61
5	61	59	59	61	60	61
เฉลี่ย	60.4	60.8	60.8	60.6	60.4	60.4

2. ด้านความถี่เรโซแนนซ์ (Resonance Frequency)

จากการทดสอบคุณลักษณะของหัวตรวจสอบเพียโซอิเล็กทริกพบว่าเมื่อนำหัวตรวจสอบมาติดตั้งห่างจากแหล่งกำเนิดสัญญาณโดยการหักไส้ดินสอระยะ 1 เมตร เพื่อวัดค่าความถี่ (Hz) ในการรับสัญญาณของหัวตรวจสอบได้ตามตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการสอบเทียบ PZT Sensor ด้านความถี่เรโซแนนซ์

ครั้งที่	Frequency (kHz)					
	หัวตรวจสอบที่1	หัวตรวจสอบที่2	หัวตรวจสอบที่3	หัวตรวจสอบที่4	หัวตรวจสอบที่5	หัวตรวจสอบที่6
1	85.0	81.5	82.5	82.0	79.5	80.6
2	82.5	80.0	80.0	80.5	80.5	81.5
3	80.0	83.0	80.0	85.5	86.5	79.5
4	86.0	79.5	80.5	86.0	81.5	82.5
5	80.0	77.0	78.0	79.5	82.5	87.0
เฉลี่ย	82.7	80.2	80.2	82.7	82.1	82.2

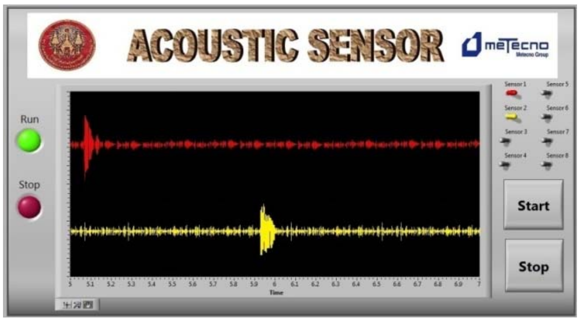
4.3 ผลการตรวจสอบรอยร้าวเทียมในรูปแบบ 1 มิติ

จากการตรวจสอบตำแหน่งรอยร้าวในรูปแบบ 1 มิติ พบว่า PZT Sensor ที่สร้างขึ้นสามารถตรวจวัดสัญญาณได้ไกลที่สุดถึง 23 เมตร จึงได้นำแผ่น Panel ที่มีความกว้าง 1 เมตร และมีความยาว 4 เมตร โดยการติดตั้ง PZT Sensor จำนวน 2 ตัว ในระยะห่างกัน 3 เมตร และจำลองการเกิดรอยแตกร้าวโดยการหักไส้ดินสอระยะต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบความเร็วในการรับสัญญาณ Sensor 1 และ Sensor 2 พบว่าหัวตรวจสอบสามารถจับสัญญาณที่เข้ามาได้เวลาที่ต่างกันตามตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 เวลาที่แตกต่างกันของรอยร้าวเทียมแบบ 1 มิติ ที่วัดได้จาก PZT Sensor

ตำแหน่งรอยร้าวเทียมที่ระยะต่างๆ จาก PZT Sensor 1 (m)	เวลาที่แตกต่าง (ms)	ตำแหน่งรอยร้าวเทียมที่ระยะต่างๆ จาก PZT Sensor 1 (m)	เวลาที่แตกต่าง (ms)
0.1	8.43	0.7	4.75
0.2	7.85	0.8	4.29
0.3	7.12	0.9	3.52
0.4	6.65	1.0	2.96
0.5	5.96	1.7	1.20
0.6	5.41	2.3	4.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

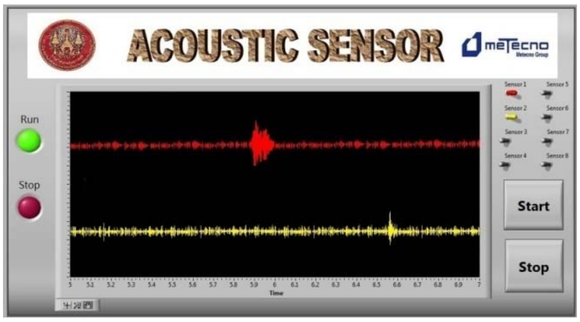


รูปที่ 4.3 เวลาที่แตกต่างกัน 8.43 ms ของหัวตรวจสอบรอยร้าวเทียมแบบ 1 มิติ

รูปที่ 4.4 เวลาที่แตกต่างกัน 7.85 ms ของหัวตรวจสอบรอยร้าวเทียมแบบ 1 มิติ

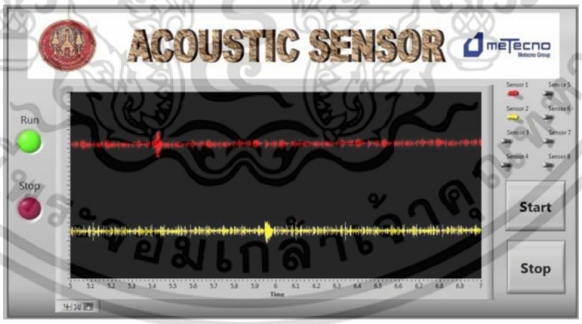
รูปที่ 4.5 เวลาที่แตกต่างกัน 7.12 ms ของหัวตรวจสอบรอยร้าวเทียมแบบ 1 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



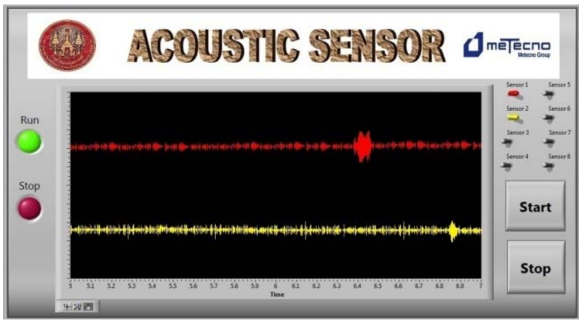
รูปที่ 4.6 เวลาที่แตกต่างกัน 6.65 ms ของหัวตรวจสอบรอยร้าวเทียมแบบ 1 มิติ

รูปที่ 4.7 เวลาที่แตกต่างกัน 5.96 ms ของหัวตรวจสอบรอยร้าวเทียมแบบ 1 มิติ



รูปที่ 4.8 เวลาที่แตกต่างกัน 5.41 ms ของหัวตรวจสอบรอยร้าวเทียมแบบ 1 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

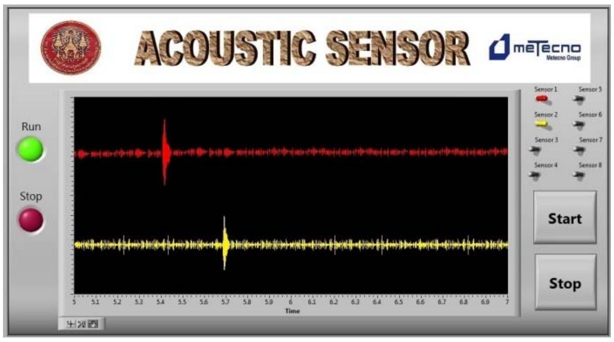


รูปที่ 4.9 เวลาที่แตกต่างกัน 4.75 ms ของหัวตรวจสอบรอยร้าวเทียมแบบ 1 มิติ

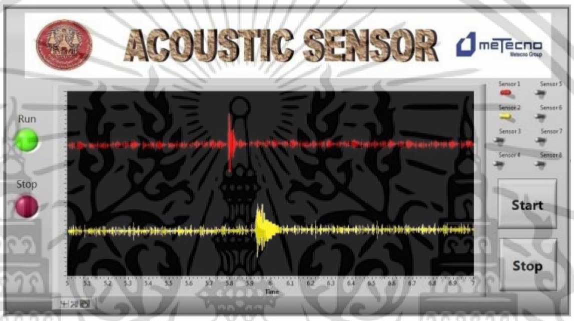
รูปที่ 4.10 เวลาที่แตกต่างกัน 4.29 ms ของหัวตรวจสอบรอยร้าวเทียมแบบ 1 มิติ

รูปที่ 4.11 เวลาที่แตกต่างกัน 3.51 ms ของหัวตรวจสอบรอยร้าวเทียมแบบ 1 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 เวลาที่แตกต่างกัน 2.96 ms ของหัวตรวจสอบรอยร้าวเทียมแบบ 1 มิติ



รูปที่ 4.13 เวลาที่แตกต่างกัน 1.20 ms ของหัวตรวจสอบรอยร้าวเทียมแบบ 1 มิติ

รูปที่ 4.14 เวลาที่แตกต่างกัน 4.83 ms ของหัวตรวจสอบรอยร้าวเทียมแบบ 1 มิติ

จากความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ได้ สามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของหัวตรวจสอบกับตำแหน่งรอยร้าวเทียม (L_{sn}) และผลของเวลาที่แตกต่าง (dT) ในการรับสัญญาณ ได้สมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะห่างของหัวตรวจสอบที่ 1 กับตำแหน่งรอยร้าวเทียมในกรณีที่ สัญญาณความถี่เข้ามาถึงหัวตรวจสอบที่ 1 ก่อนหัวตรวจสอบที่ 2

$$L_{si} = \frac{\left(L - \frac{dT}{L}\right)}{2} \tag{21}$$

ระยะห่างของหัวตรวจสอบที่ 1 กับตำแหน่งรอยร้าวเทียมในกรณีที่ สัญญาณความถี่เข้ามาถึงหัวตรวจสอบที่ 1 หลังหัวตรวจสอบที่ 2

$$L_{si} = L - \frac{\left(L - \frac{dT}{L}\right)}{2} \tag{22}$$

โดยที่ L_{si} คือ ระยะห่างของตำแหน่งกับหัวตรวจสอบเซนเซอร์ใดๆที่อ้างอิง (m)

dT คือ ส่วนต่างของเวลาที่ได้จากการประมวลผล (ms)

L คือ ระยะห่างของหัวตรวจสอบที่ติดตั้ง (m)

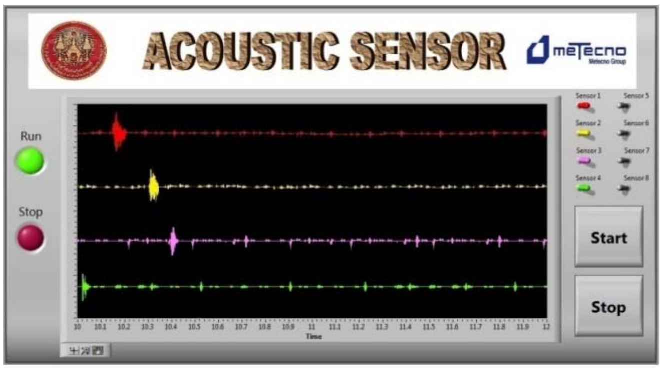
4.4 ผลการตรวจสอบรอยร้าวเทียมในรูปแบบ 2 มิติ

จากการตรวจสอบตำแหน่งจุดผิดปกติในรูปแบบ 2 มิติ ด้วยหัวตรวจสอบเพียโซอิเล็กทริก จำนวน 4 ตัว ทำให้สามารถตรวจสอบตำแหน่งจุดผิดปกติในรูปแบบของแกน X และแกน Y ที่สร้างขึ้นโดยการจับคู่จำนวน 2 คู่ คือหัวตรวจสอบที่ 1 จับคู่กับหัวตรวจสอบที่ 2 และหัวตรวจสอบที่ 3 จับคู่กับหัวตรวจสอบที่ 4 พบว่าหัวตรวจสอบสามารถจับสัญญาณที่เข้ามาได้เวลาที่ต่างกัน จากนั้นนำมาเทียบกับตำแหน่งที่ได้จากโปรแกรมตามตารางที่ 4.6 และโปรแกรมที่ใช้คำนวณหาตำแหน่งแสดงดังรูปที่ 4.16

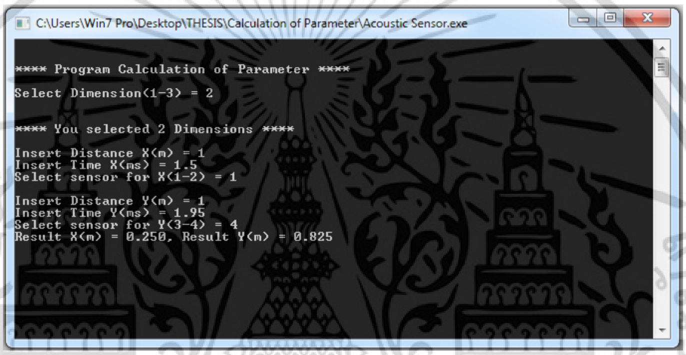
ตารางที่ 4.6 เวลาที่แตกต่างกันของรอยร้าวเทียมแบบ 2 มิติ ที่วัดได้จาก PZT Sensor

ตำแหน่งรอยร้าวเทียม แบบ 2 มิติ			
แกน	ตำแหน่งที่สร้างขึ้น	คำนวณจากโปรแกรม	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%)
X	0.25	0.25	0
Y	0.82	0.825	0.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 การตรวจสอบรอยร้าวเทียมในรูปแบบ 2 มิติ



รูปที่ 4.16 โปรแกรม Dev-C++ ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งรอยร้าวแบบ 2 มิติ

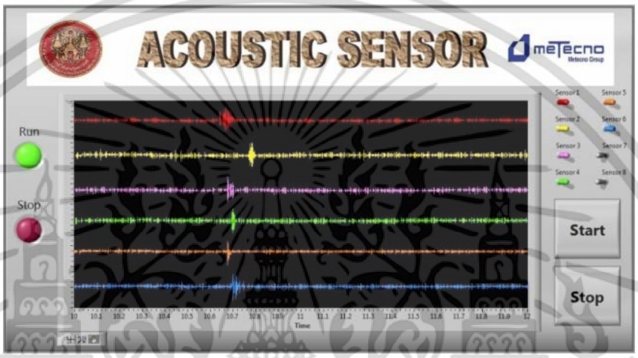
4.5 ผลการตรวจสอบรอยร้าวเทียมในรูปแบบ 3 มิติ

จากการตรวจสอบตำแหน่งจุดผิดปกติในรูปแบบ 3 มิติ ด้วยหัวตรวจสอบเพียโซอิเล็กทริก จำนวน 6 ตัว ทำให้สามารถตรวจสอบตำแหน่งจุดผิดปกติในรูปแบบของแกน X แกน Y และแกน Z ที่สร้างขึ้นโดยการจับคู่จำนวน 3 คู่ คือหัวตรวจสอบที่ 1 จับคู่กับหัวตรวจสอบที่ 2 หัวตรวจสอบที่ 3 จับคู่กับหัวตรวจสอบที่ 4 และหัวตรวจสอบที่ 5 จับคู่กับหัวตรวจสอบที่ 6 พบว่าหัวตรวจสอบสามารถจับสัญญาณที่เข้ามาได้เวลาที่ต่างกัน นำมาเทียบกับตำแหน่งที่ได้จากโปรแกรม จากนั้นนำมาเทียบกับตำแหน่งที่ได้จากโปรแกรมตามตารางที่ 4.7 และโปรแกรมที่ใช้คำนวณหาตำแหน่งแสดงดังรูปที่ 4.18

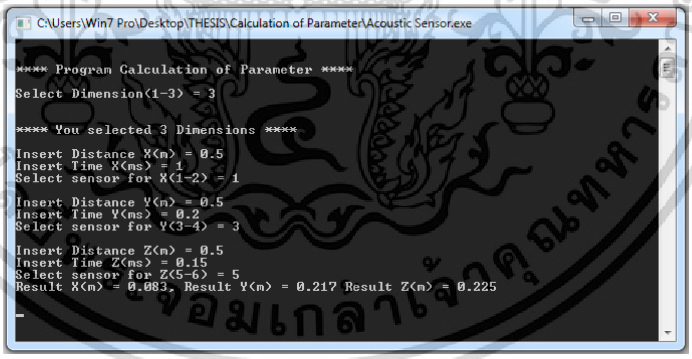
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 เวลาที่แตกต่างกันของรอยร้าวเทียมแบบ 3 มิติ ที่วัดได้จาก PZT Sensor

ตำแหน่งรอยร้าวเทียม แบบ 3 มิติ			
แกน	ตำแหน่งที่สร้างขึ้น	คำนวณจากโปรแกรม	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%)
X	0.10	0.083	17.0
Y	0.20	0.217	8.5
Z	0.25	0.225	10.0



รูปที่ 4.17 การตรวจสอบรอยร้าวเทียมในรูปแบบ 3 มิติ



รูปที่ 4.18 โปรแกรม Dev-C++ ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งรอยร้าวเทียมแบบ 3 มิติ

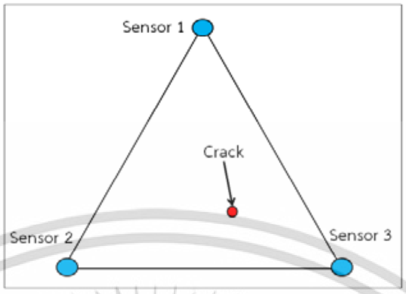
4.6 การพัฒนาการจัดวางตำแหน่งของอะคูสติกเซนเซอร์

การพัฒนาการจัดวางตำแหน่งของ PZT Sensor โดยการจำลองขึ้นใน 3 รูปแบบเพิ่มเติมจากเดิมคือ การทดสอบในหาจุดผิดปกติในรูปแบบ 2 มิติ 1 รูปแบบ คือการใช้ PZT Sensor จำนวน 3 ตัว ดังรูปที่ 3.7 และการทดสอบหาจุดผิดปกติในรูปแบบ 3 มิติ 2 รูปแบบ คือการใช้ PZT Sensor ใน

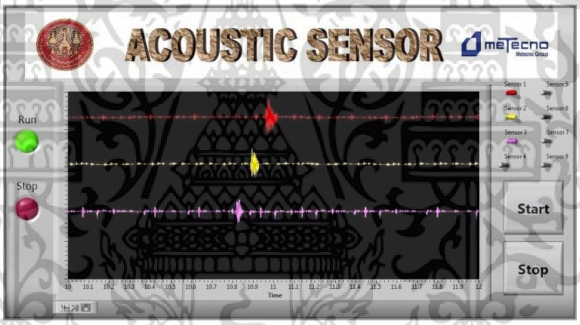
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่สามารถติดตั้งได้แค่ 3 ด้าน และ 4 ด้าน เช่น เสาผนังตึกหรือจุดที่ไม่สามารถติดตั้งได้รอบด้าน หรือบริเวณรอบๆเสาอาคารที่สามารถติดตั้งได้เพียง 4 ด้านเท่านั้น

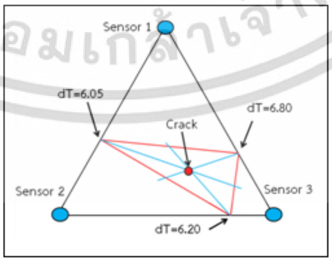
การตรวจสอบตำแหน่งจุดผิดปกติเทียมในรูปแบบ 2 มิติ โดยใช้ PZT Sensor จำนวน 3 ตัว



รูปที่ 4.19 การจัดวางตำแหน่ง PZT Sensor จำนวน 3 ตัว สำหรับตรวจสอบในรูปแบบ 2 มิติ



รูปที่ 4.20 การตรวจวัดสัญญาณจาก PZT Sensor จำนวน 3 ตัว สำหรับตรวจสอบในรูปแบบ 2 มิติ

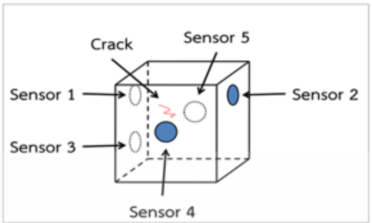


รูปที่ 4.21 การหาตำแหน่ง Crack ที่อยู่บริเวณกึ่งกลางของสามเหลี่ยม

การตรวจสอบตำแหน่งจุดผิดปกติเทียมในรูปแบบ 3 มิติ โดยใช้ PZT Sensor จำนวน 5 ตัว ซึ่งสามารถจัดวางตำแหน่งได้เพียง 4 ด้าน โดยการจับคู่กันในการหาส่วนต่างของเวลาจะต้องให้ Sensor

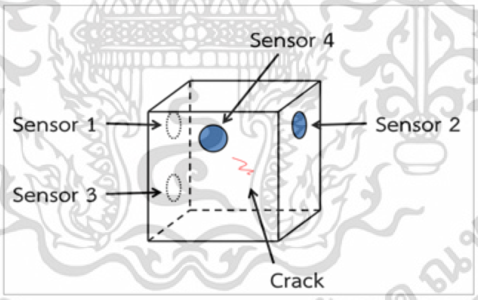
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่จะจับคู่อยู่ระดับเดียวกัน จากรูปได้จับคู่ระหว่าง Sensor 1 กับ Sensor 2 จะได้ระยะแกน X, จับคู่ Sensor 4 กับ Sensor 5 จะได้ระยะแกน Y และจับคู่ Sensor 1 กับ Sensor 3 จะได้ระยะแกน Z ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 การหาตำแหน่งจุด Crack ในรูปแบบ 3 มิติ ที่สามารถจัดวางตำแหน่งได้ 4 ด้าน โดยใช้เซนเซอร์ 5 ตัว

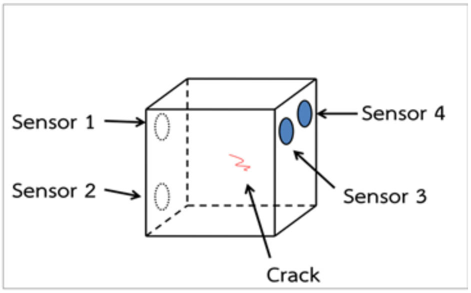
การตรวจสอบตำแหน่งจุดผิดปกติเทียมในรูปแบบ 3 มิติ ที่สามารถจัดวางตำแหน่งได้ 3 ด้าน โดยหัวตรวจสอบอะคูสติกเซนเซอร์ 4 ตัว รูปแบบที่ 1 จากรูปได้จับคู่ระหว่าง Sensor 1 กับ Sensor 2 จะได้ระยะแกน X, จับคู่ Sensor 1 กับ Sensor 3 จะได้ระยะแกน Z ส่วนแกน Y นั้น ต้องใช้รูปแบบหาตำแหน่ง Crack ที่อยู่บริเวณกึ่งกลางของสามเหลี่ยม ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 การหาตำแหน่งจุด Crack ในรูปแบบ 3 มิติ ที่สามารถจัดวางตำแหน่งได้ 3 ด้าน โดยใช้เซนเซอร์ 4 ตัว รูปแบบที่ 1

การตรวจสอบตำแหน่งจุดผิดปกติเทียมในรูปแบบ 3 มิติ ที่สามารถจัดวางตำแหน่งได้ 3 ด้าน โดยหัวตรวจสอบอะคูสติกเซนเซอร์ 4 ตัว รูปแบบที่ 2 จากรูปได้จับคู่ระหว่าง Sensor 1 กับ Sensor 3 จะได้ระยะแกน X, จับคู่ Sensor 3 กับ Sensor 4 จะได้ระยะแกน Y และจับคู่ Sensor 1 กับ Sensor 2 จะได้ระยะแกน Z ดังรูปที่ 4.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 การหาตำแหน่งจุด Crack ในรูปแบบ 3 มิติ ที่สามารถจัดวางตำแหน่งได้ 3 ด้าน โดยใช้เซนเซอร์ 4 ตัว รูปแบบที่ 2

4.7 การนำ PZT Sensor มาใช้เป็นเครื่องมือในการเฝ้าระวัง

การนำ PZT Sensor เป็นเครื่องมือในการเฝ้าระวังการแตกร้าวหรือการรั่วของท่อส่งพลังงาน โดยการนำ PZT Sensor จำนวน 8 ตัว โดยติดตั้งที่ท่อส่งพลังงานระยะห่างกัน 3 เมตร ต่อกันยาวทั้งสิ้น 21 เมตร เมื่อเกิดความผิดปกติจะมีสัญญาณเกิดขึ้นที่หน้าจอมอนิเตอร์ในห้องเฝ้าระวัง ทำให้ทราบได้ว่าเกิดความผิดปกติขึ้นที่บริเวณใด แสดงดังรูปที่ 4.25 และ 4.26

รูปที่ 4.25 การเฝ้าระวังการแตกร้าวหรือการรั่วของท่อส่งพลังงานด้วย PZT Sensor

รูปที่ 4.26 หน้าจอมอนิเตอร์ในห้องเฝ้าระวัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากปัญหาที่พบในการตรวจสอบภาพความผิดปกติในระบบอุตสาหกรรมเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการบวนการผลิต โดยเฉพาะการรั่วไหลของพลังงานและเชื้อเพลิง ที่ไม่สามารถตรวจเช็คระบบได้ทุกวัน เพราะการตรวจเช็คค่อนข้างที่จะใช้เวลามาก ใช้จำนวนคนมาก หรืออาจต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในการจ้างบริษัทภายนอกเข้ามาดูแล และถ้าเกิดการรั่วไหลหรือเกิดการแตกร้าวของพลังงานหรือเชื้อเพลิงแล้วก็จะส่งผลกระทบให้ต้องหยุดขบวนการทำงานและซ่อมแซมรวมถึงสูญเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็น ดังนั้นควรจะมีการเฝ้าระวังและตรวจสอบสภาพความผิดปกติของระบบอุตสาหกรรมที่สามารถตรวจสอบได้โดยไม่ต้องหยุด ซึ่งกรณีดังกล่าวสามารถตรวจสอบได้ด้วยหัวตรวจสอบสัญญาณอะคูสติก ในปัจจุบันหัวตรวจสอบสำเร็จรูปและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศราคาสูงมากรวมถึงโปรแกรมที่มาพร้อมกันไม่สามารถแก้ไขหรือพัฒนาได้ตามความต้องการ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้เป็นการพัฒนาใช้ PZT บนพื้นฐานการวางตำแหน่งของอะคูสติกเซนเซอร์สำหรับตรวจสอบรอยร้าวในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ โดยการพัฒนาสร้างหัวรับสัญญาณและค้นหาวิธีการจัดวางตำแหน่งมาจากการทดลองใช้ PZT Sensor ในรูปแบบ 1 มิติ เพื่อหารอยร้าวเทียมที่สร้างขึ้น นำมาสู่การตรวจสอบหาตำแหน่งจุดผิดปกติหรือจุดบกพร่องที่เกิดขึ้น ไปสู่การพัฒนาการตรวจวัดและการเฝ้าระวัง เพื่อป้องกันการเกิดความเสียหายเล็กน้อยของรอยร้าวหรือจุดผิดปกติที่อาจลุกลามทำให้เกิดเป็นความเสียหายที่ใหญ่โต ซึ่งการป้องกันปัญหาต่างๆนี้สามารถทำได้โดยอาศัยคุณสมบัติของ PZT ร่วมกับอุปกรณ์มาตรฐานอื่นที่จัดหาได้ง่ายและมีราคาถูก ประกอบกับระบบการติดตั้งและประมวลผลผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์หรือแล็ปท็อบทั่วๆ ไปที่สามารถเขียนโปรแกรมในการคำนวณหาตำแหน่งจุดผิดปกติที่เกิดขึ้นและสามารถแก้ไขดัดแปลงโปรแกรมอย่างง่ายได้ด้วยตนเอง ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย ติดตั้งได้ง่าย พกพาได้สะดวกและสามารถเคลื่อนย้ายนำไปใช้ในหน้างานได้โดยไม่ต้องติดตั้งอยู่กับที่

การพัฒนาใช้ PZT บนพื้นฐานการวางตำแหน่งของอะคูสติกเซนเซอร์สำหรับตรวจสอบรอยร้าวในรูปแบบ 2 มิติ ได้ผลเป็นที่น่าพอใจสามารถตรวจสอบหาตำแหน่งจุดผิดปกติได้อย่างถูกต้องโดยมีค่าความคลาดเคลื่อน 0.2 % แต่สำหรับการตรวจสอบรอยร้าวในรูปแบบ 3 มิตินั้น สามารถหาแหล่งกำเนิดสัญญาณรอยร้าวเทียมได้ใกล้เคียง แต่ยังมีค่าความคลาดเคลื่อนบางส่วนสูงสุดอยู่ที่ 17 % ซึ่งเป็นผลมาจากการตรวจวัดแหล่งกำเนิดเสียงผ่านตัวกลางที่แตกต่างกัน และการพัฒนาการจัดวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งของอะคูสติกเซนเซอร์สำหรับตรวจสอบรอยร้าวในกรณีที่ไม่สามารถวางตำแหน่งของอะคูสติกเซนเซอร์ได้รอบชิ้นงานที่ทดลองนั้น สามารถตรวจได้เฉพาะในกรณีที่รอยร้าวหรือจุด Crack นั้นอยู่ระหว่างเซนเซอร์เท่านั้น และอาจจะต้องนำผลมาวิเคราะห์หลายขั้นตอน เพราะถ้าอยู่นอกเขตระหว่างเซนเซอร์จะไม่สามารถตรวจสอบได้ จึงเป็นข้อเสียของการถูกจำกัดพื้นที่การจัดวางตำแหน่ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้เป็นการเน้นที่หลักการวัดและวิเคราะห์ผลการตรวจวัดด้วยอะคูสติกเซนเซอร์ โดยการใช้ PZT Sensor เป็นหัวทดสอบวัดค่าและส่งสัญญาณเข้าสู่ระบบประมวลผลเพื่อแสดงส่วนต่างของเวลาเข้ามาช่วยในการหาตำแหน่งของรอยร้าวหรือจุดผิดปกติ ทำให้เรื่องของเวลาเป็นส่วนที่สำคัญ โดยสามารถพัฒนาระบบประมวลผลโดยการใช้บอร์ดหรือชิพคุณสมบัติด้านความเร็วและการขยายหัวรับสัญญาณให้มี input มากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น Field Programmable Gate Array (FPGA) โดยมีประสิทธิภาพการทำงานและมีปริมาณความหนาแน่นของเกตสูง มีความเร็วในการประมวลผลสูงสามารถออกแบบให้ตรวจจับความแตกต่างของเวลาในระดับนาโนวินาที มีความยืดหยุ่นในการออกแบบวงจรการทำงานสามารถขยายจำนวนช่องสัญญาณจากหัวตรวจสอบได้ถึง 16 ช่อง สามารถตัดปัญหาในเรื่องของการเสียเวลาหน่วงในการทำงานตามการเขียนโปรแกรมที่เกิดขึ้นจากระบบประมวลผลด้วยไมโครโปรเซสเซอร์หรือ PLC โดยทั่วไป นอกจากนี้ยังสามารถใช้หัวตรวจสอบชนิดอื่นมาแทน PZT ได้ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติความสามารถของหัวตรวจสอบนั้นๆและจุดมุ่งหมายในการตรวจสอบ ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนและพัฒนาเพิ่มเติมได้ตามความต้องการ แต่เนื่องจากการทดลองนี้ได้ใช้ตัวกลางที่ต่างกัน ทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง จึงเหมาะที่จะใช้เป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนารูปแบบต่อ หรือในกรณีที่จะใช้ทดลอง ควรมีการสอบเทียบและใช้ตัวกลางที่เป็นชนิดเดียวกันมาวิเคราะห์ จะทำให้ได้ผลที่ถูกต้องหรือใกล้เคียงและมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำ เพื่อนำไปพัฒนาใช้ได้ต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] อาษา ประทีปเสน. "อะคูสติกอิมิชชันทางเลือกหนึ่งของการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย." **Thai welding journal**, 2545. หน้า 27-13.

[2] เชิดพงษ์ จอมเดช, อาษา ประทีปเสน. "หัวตรวจสอบอะคูสติกอิมิชชั่นแบบเรโซแนนซ์โดยใช้เพียโซอิเล็กทริกเซรามิกส์ผลึกเดี่ยว" **วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี,** ปีที่ 29, ฉบับที่ 4, ตุลาคม–ธันวาคม 2549. หน้า 483-498

[3] พรชัย นิเวศน์รังสรรค์. "การหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณในเครื่องยนต์ด้วยอคูสติกอิมิชชั่น." **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย,** ครั้งที่ 20, ตุลาคม 2549.

[4] เฉลิมเกียรติ จิระรุ่งเสถียร. **"การตรวจจับการกัดกร่อนด้วยวิธีอะคูสติกอิมิชชัน."** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชามาตรวิทยาทางอุตสาหกรรม วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[5] ณัฐพล แสนคำ. "**ความรุนแรงของการกัดกร่อนที่ตรวจจับด้วยอะคูสติกอิมิชชัน**." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชามาตรวิทยาทางอุตสาหกรรม วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[6] วาทิต แก้วแววน้อย. "**การวัดอัตรารั่วของวาล์วด้วยวิธีอะคูสติกอิมิชชัน**." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชามาตรวิทยาทางอุตสาหกรรม วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[7] วิศรุต ศรีรัตนะ. **"เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ในงานอุตสาหกรรม."** กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2550.

[8] กิจไพบูรณ์ ชีวพันธุศรี. **"การสร้างระบบอัตโนมัติด้วย LabVIEW ร่วมกับระบบ Data Acquisition และ Machain Vision สำหรับผู้เริ่มต้น."** กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2557.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

Source Codeของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Source Codeของโปรแกรม

```
# include<stdio.h>
# include<math.h>
main()
{
printf("\n\n**** Program Calculation of Parameter ****\n\n");
        int     dimension;
        char    Run;
        // Parameter 1D
        float L;
        floatdT;
        float result_1D;
        int   sensor_1D;
        // Parameter 2D
        float L_2D_X,L_2D_Y;
        float T_2D_X,T_2D_Y;
        float result_2D_X,result_2D_Y;
        int   sensor_2D_X,sensor_2D_Y;
        // Parameter 3D
        float L_3D_X,L_3D_Y,L_3D_Z;
        float T_3D_X,T_3D_Y,T_3D_Z;
        float result_3D_X,result_3D_Y,result_3D_Z;
        int   sensor_3D_X,sensor_3D_Y,sensor_3D_Z;
        do
        {
                printf("Select Dimension(1-3) = ");
                scanf("%d",&dimension);

                //  calculation 1D
                if(dimension == 1)
                {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        printf("\n\n**** You selected 1 Dimension ****\n\n");
        // Insert parameter
        printf("Insert Distance(m) = ");
        scanf("%f",&L);
        printf("Insert Time(ms) = ");
        scanf("%f",&dT);
        printf("Select sensor(1-2) = ");
        scanf("%d",&sensor_1D);
        // Calculation
        if(sensor_1D == 1)
        {
                result_1D = ((L-(dT/3)))/2;
        }
        if(sensor_1D == 2)
        {
                result_1D = L-(((L-(dT/3)))/2);
        }
        printf("Result = %.3f\n\n",result_1D);
}
// calculation 2D
if(dimension == 2)
{
        printf("\n\n**** You selected 2 Dimensions ****\n\n");
        // Insert parameter X
        printf("Insert Distance X(m) = ");
        scanf("%f",&L_2D_X);
        printf("Insert Time X(ms) = ");
        scanf("%f",&T_2D_X);
        printf("Select sensor for X(1-2) = ");
        scanf("%d",&sensor_2D_X);
        // Insert parameter Y
        printf("\nInsert Distance Y(m) = ");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                scanf("%f",&L_2D_Y);
                printf("Insert Time Y(ms) = ");
                scanf("%f",&T_2D_Y);
                printf("Select sensor for Y(3-4) = ");
                scanf("%d",&sensor_2D_Y);
                // Calculation X
                if(sensor_2D_X == 1)
                {
                        result_2D_X = ((L_2D_X-(T_2D_X/3)))/2;
                }
                if(sensor_2D_X == 2)
                {
                        result_2D_X = L_2D_X-(((L_2D_X-(T_2D_X/3)))/2);
                }
                // Calculation Y
                if(sensor_2D_Y == 3)
                {
                        result_2D_Y = ((L_2D_Y-(T_2D_Y/3)))/2;
                }
                if(sensor_2D_Y == 4)
                {
                        result_2D_Y = L_2D_Y-(((L_2D_Y-(T_2D_Y/3)))/2);
                }
                printf("Result X = %.3f, Result Y =
%.3f\n\n",result_2D_X,result_2D_Y);
        }
        // calculation 3D
        if(dimension == 3)
        {
                printf("\n\n**** You selected 3 Dimensions ****\n\n");
                // Insert parameter X
                printf("Insert Distance X(m) = ");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
scanf("%f",&L_3D_X);
printf("Insert Time X(ms) = ");
scanf("%f",&T_3D_X);
printf("Select sensor for X(1-2) = ");
scanf("%d",&sensor_3D_X);
// Insert parameter Y
printf("\nInsert Distance Y(m) = ");
scanf("%f",&L_3D_Y);
printf("Insert Time Y(ms) = ");
scanf("%f",&T_3D_Y);
printf("Select sensor for Y(3-4) = ");
scanf("%d",&sensor_3D_Y);
// Insert parameter Z
printf("\nInsert Distance Z(m) = ");
scanf("%f",&L_3D_Z);
printf("Insert Time Z(ms) = ");
scanf("%f",&T_3D_Z);
printf("Select sensor for Z(5-6) = ");
scanf("%d",&sensor_3D_Z);
// Calculation X
if(sensor_3D_X == 1)
{
	result_3D_X = ((L_3D_X-(T_3D_X/3)))/2;
}
if(sensor_3D_X == 2)
{
	result_3D_X = L_3D_X-(((L_3D_X-(T_3D_X/3)))/2);
}
// Calculation Y
if(sensor_3D_Y == 3)
{
	result_3D_Y = ((L_3D_Y-(T_3D_Y/3)))/2;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            }
            if(sensor_3D_Y == 4)
            {
                result_3D_Y = L_3D_Y-(((L_3D_Y-(T_3D_Y/3)))/2);
            }
            // Calculation Z
            if(sensor_3D_Z == 5)
            {
                result_3D_Z = ((L_3D_Z-(T_3D_Z/3)))/2;
            }
            if(sensor_3D_Z == 6)
            {
                result_3D_Z = L_3D_Z-(((L_3D_Z-(T_3D_Z/3)))/2);
            }
            printf("Result X = %.3f, Result Y = %.3f Result Z = 
%.3f\n\n",result_3D_X,result_3D_Y,result_3D_Z);
        }
        printf("Do you want run again? (y/n) ");
        printf("\n\n");
    }while(Run == 'y');
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

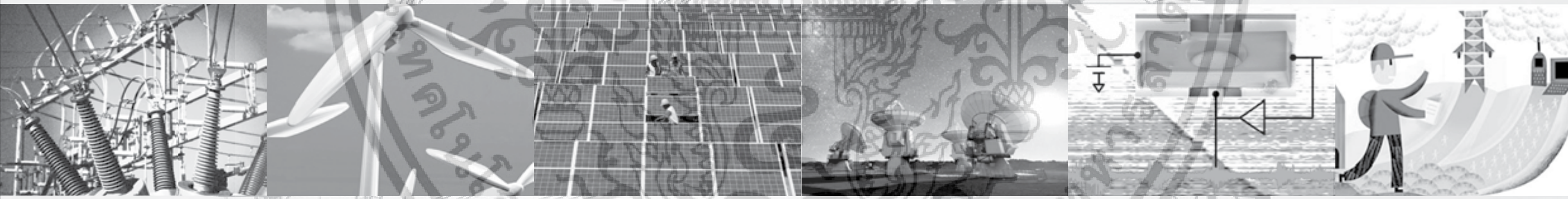
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EENET2015

27-29 May 2015, A-one The Royal Cruise Hotel

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 7

The 7th Electrical Engineering Network 2015 of Rajamangala University of Technology



Conference Topics

- ไฟฟ้ากำลัง (PW)
- อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)
- อิเล็กทรอนิกส์ (EL)
- ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)
- ระบบควบคุมและการวัด (CT)
- การประมวลผลสัญญาณดิจิตอล (DS)
- พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน (ES)
- งานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)
- คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)
- นวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ (IN)

คณะกรรมการจัดการประชุมวิชาการ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพ 10120
http://www.eenet2015.org

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาขีดจำกัดของความถี่เสียงในท่อ

A Study of Sound Cut-off Frequencies in Ducts

ปวิช พสุวาณิชย์[1] วิศรุต ศรีรัตนะ[1] สักรียา ชิตวงศ์[1] และสุ่น จ่างประยูร[2]
[1]สาขาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
[2]สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร โทรศัพท์ 02-3298000 E-mail: kswitsar@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อแสดงการศึกษาขีดจำกัดของความถี่เสียง(Sound Cut-off Frequency) ด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองจากการสร้างต้นกำเนิดเสียง(พลังงานทางกล)จำนวน3 ขนาด คือ 2 นิ้ว 4 นิ้ว และ 6 นิ้ว ตามลำดับไปยังอุปกรณ์ตรวจวัดระดับความถี่เสียงซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนคลื่นเสียงเป็นคลื่นทางไฟฟ้า และนำสัญญาณทางไฟฟ้านั้นไปประมวลผลแสดงเปรียบเทียบเพื่อวิเคราะห์ขีดจำกัดของความถี่เสียงเพื่อเปรียบเทียบกับทฤษฎี ซึ่งจากการทดลองพบว่างานวิจัยนี้สามารถตรวจวัดจุด Cut-Off Frequency และนำมาสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างจุด Cut-Off Frequency กับขนาดความกว้างของท่อได้

คำสำคัญ: ขีดจำกัด, ความถี่เสียง, ซาวน์ฟิลเตอร์

Abstract

Thisresearch present A study of sound cut-off frequencies in ducts by means of modeling from creating the sound energy(mechanical) through PVC ducts various sizes is two, four and six inch in order to frequency analyzer, which will convert sound wave into electrical wave. The electrical signal is then processed to determine the sound cut-off frequencyfor comparison with the theory. The results showed that this research is to measure the Cut-Off Frequency and bring the mathematical relationship between the Cut-Off Frequency to the width of the duct.

Keywords:Cut-off, Frequency, Sound Filter

1. บทนำ

ปัจจุบันท่ามกลางความเปลี่ยนแปลงและพัฒนาทางด้านเทคโนโลยี มีการวิจัยและทดลองถึงสิ่งต่างๆเพื่อทำการพิสูจน์ถึงสิ่งที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ โดยการวิจัยและทดลองใช้เครื่องมือต่างๆที่ทันสมัย ซึ่งเป็นการพัฒนาที่ก้าวหน้ามากขึ้นสามารถควบคุมและออกแบบโครงสร้างของสิ่งที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าแต่สามารถตรวจสอบและวัดผลได้จากเครื่องมือ ตัวอย่างเช่นเสียงต่างๆที่เกิดขึ้นเป็นต้น นอกจากจะมีประโยชน์ในการใช้ติดต่อสื่อสารแล้วยังสามารถทำให้เกิดโทษได้เช่นกัน ยกตัวอย่างเช่นเสียงที่มีความถี่สูงมากอาจทำให้อวัยวะทางการรับฟังเสียหายซึ่งถือว่าเป็นมลพิษทางเสียง โดยที่เสียงสามารถแพร่ออกมาจากแหล่งกำเนิดเสียงต่างๆ รวมถึงโรงงานอุตสาหกรรมที่มีเครื่องจักรส่งเสียงดัง และรถยนต์ที่มีท่อไอเสียส่งเสียงดังแต่สามารถป้องกันได้ด้วยอุปกรณ์ป้องกันต่างๆ แต่จะดีมากกว่าถ้าสามารถป้องกันได้จากแหล่งที่กำเนิดเสียงจึงควรมีการศึกษาการแก้ไขจุด Cut-off และการสร้างฟิลเตอร์[1,3] เพื่อพัฒนาให้เกิดประโยชน์

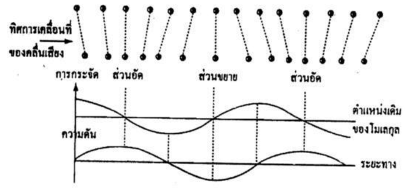
การวิจัยเพื่อศึกษาขีดจำกัดของความถี่เสียงในท่อ รวมถึงการทดลองสร้างฟิลเตอร์เพื่อกรองช่วงเสียงที่ไม่ต้องการ งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการสร้างอุปกรณ์ลดเสียงที่ไม่ต้องการหรือแก้ไขปรับความถี่เสียงของอุปกรณ์ดนตรี[2,3]ได้อีกด้วย

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เสียง (Sound)

เสียงเป็นคลื่นในลักษณะคลื่นกลตามยาว มีลักษณะเป็นคลื่นฮาร์โมนิกซึ่งจะแผ่ออกไปทุกทิศทาง โดยอาศัยตัวกลางซึ่งอาจจะเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซก็ได้ จากการศึกษาพบว่าเมื่อเสียงแผ่ไปในอากาศจะทำให้ความดันเปลี่ยนแปลงแล้วโมเลกุลของอากาศจะสั่นไปมาพร้อมกับถ่ายเทพลังงานให้กับโมเลกุลอื่นๆอย่างต่อเนื่องแล้วกลับคืนสู่ตำแหน่งเดิม[4,5]หลังจากคลื่นเสียงได้แผ่ผ่านไปดังนั้นเมื่อมีคลื่นเสียงเดินทางไปในตัวกลางจะเกิดจุดที่อนุภาคขยายตัวออกจากกันสลับกันไปมาตลอดทางดังรูปที่ 1 ลักษณะของคลื่นที่โมเลกุลของตัวกลางที่คลื่นนั้นเดินทางผ่านไป มีการสั่นหรือเคลื่อนที่ในแนวการเดินทางของคลื่นเรียกว่า คลื่นตามยาวซึ่งเป็นลักษณะประจำตัวของคลื่นเสียงทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 การเคลื่อนที่ของเสียงผ่านโมเลกุลอากาศ

2.2ความเร็วของเสียง (Velocity of Sound)

การหาค่าความเร็วของคลื่นเสียงนั้นหาได้หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีจะหาได้ค่าความเร็วแตกต่างกันออกไป เช่น ความเร็วของเสียงที่เคลื่อนที่ในตัวกลางที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ก็จะมีวิธีการหาที่แตกต่างกัน โดยค่าความเร็วของเสียงอาจหาได้จากระยะที่คลื่นเสียงเดินทางครบรอบ 1Cycle ได้จากสมการ (1)

$$v = f\lambda \qquad (1)$$

โดยที่

v คือ ความเร็วของเสียง (m/s)

f คือ ความถี่ (Hz)

λ คือ ความยาวคลื่น

คลื่นเสียงสามารถแพร่เข้าไปในของแข็ง ของเหลว และก๊าซได้ ความเร็วของเสียงในตัวกลางจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของตัวกลางและคุณสมบัติความยืดหยุ่นของตัวกลาง โดยสามารถหาค่าความเร็วของเสียงในของแข็ง ของเหลว และ ก๊าซ ได้จากสมการ (2) (3) และ (4) ตามลำดับ

$$v = \sqrt{\frac{y}{\rho}} \qquad (2)$$

โดยที่

v คือ ความเร็วของเสียง (m/s)

y คือ ค่าYoung's modulus

ρ คือ ความหนาแน่นของตัวกลาง

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \qquad (3)$$

โดยที่

v คือ ความเร็วของเสียง (m/s)

B คือ Bulk modulus

ρ คือ ความหนาแน่นของตัวกลาง

$$v = \sqrt{\frac{P\gamma}{\rho}} \qquad (4)$$

โดยที่

v คือ ความเร็วของเสียง (m/s)

γ คือ สัดส่วนของความร้อนจำเพาะของก๊าซ

P คือ แรงดันของก๊าซ

ρ คือ ความหนาแน่นของตัวกลาง

จากสมการการหาค่าของความเร็วเสียงของก๊าซ ค่าแรงดันและความหนาแน่นของก๊าซจะเปลี่ยนแปลงไปกับอุณหภูมิของก๊าซ ด้วยเหตุนี้ความเร็วของก๊าซจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของก๊าซดังนั้นความเร็วเสียงในอากาศได้จากสมการ (5)

$$v = 331 + 0.606\,t \text{ (m/s)} \qquad (5)$$

โดยที่

v คือ ความเร็วของเสียง (m/s)

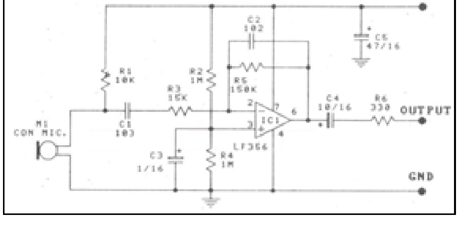
t คือ อุณหภูมิของอากาศ ($^{\circ}$C)

2.3ขีดจำกัดของความถี่เสียง (Sound Cut-off Frequency)

ขีดจำกัดของเสียงคือหน่วยสำคัญในภาค Filter ที่จะเป็นตัวกำหนดจุดสูงสุดที่จะใช้ทำฟิลเตอร์ได้[1] ยกตัวอย่างเช่นในกรณีของ Low-Pass Filter ถ้าจุด Cut-off ต่ำลง Frequency ที่ถูกเอาออกก็ยิ่งมากขึ้นทำให้เกิดเสียงทุ่มนุ่มกว่า ในทางกลับกันยิ่งถ้าจุด Cut-off สูงขึ้นเท่าไหร่จุดเริ่มที่จะกำจัด Frequency ออกก็ยิ่งอยู่ในช่วงความถี่สูงขึ้นไปอีกทำให้เสียงใสและแหลมกว่า[6]

2.4วงจรแอคทิพไมค์ปรีแอมป์(Active Mic Preamp Circuit)

วงจรนี้เป็นวงจรที่มีอัตราการขยายไม่สูงมากจากทฤษฎีสามารถขยายได้ 10 เท่า แต่จากกการทดลองจริงได้สูงสุด 7 เท่า ซึ่งเกิดจากอุปกรณ์ต่างๆที่มีค่าคลาดเคลื่อน การปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ให้มีค่าน้อยลง ถ้าความต้านทานปรับค่ามากขึ้นอัตราการขยายจะน้อยลง



รูปที่ 2 วงจรแอคทิพไมค์ปรีแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

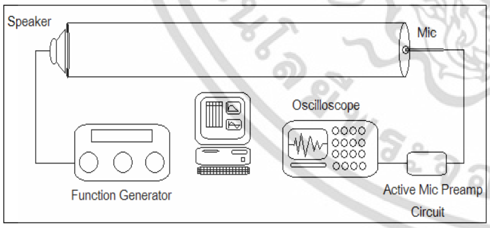
2.5 การกรองความถี่ (Filtering)

การกรองความถี่เป็นแขนงหนึ่งของการประมวลผลของสัญญาณ การกรองสัญญาณเสียงเป็นการประมวลผลสัญญาณที่มีความสำคัญ โดยที่สัญญาณเสียงมักเกี่ยวเนื่องกับเสียงรบกวน(Noise) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนและลดความเพี้ยนของสัญญาณ[3,7]การกรองสัญญาณเป็นกระบวนการที่ดัดแปลงช่วงความยาวคลื่นของสัญญาณให้มีช่วงความยาวคลื่นเป็นไปตามข้อกำหนดที่ต้องการหรือที่กำหนดให้ซึ่งอาจเป็นการเพิ่มค่าหรือลดทอนค่าของสัญญาณในแถบความถี่ที่กำหนดให้ออกไปหรือทำการแยกแถบความถี่ที่ต้องการออกมาใช้งาน โดย Filter จะเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงสเปคตรัม[3,9]ซึ่งเป็นองค์ประกอบทางความที่ของสัญญาณหรือเรียกรวมกันได้ว่า"แถบความถี่เสียงทางสัญญาณที่เปลี่ยนไป" และ Sound Filter เป็นตัวประมวลผลสัญญาณเสียงที่ทำให้แถบความถี่เสียงของสัญญาณเสียงเปลี่ยนไป[10,11]

3. วิธีการทดลอง

3.1การทดลองหาขีดจำกัดของความถี่เสียงในท่อ(f_c)

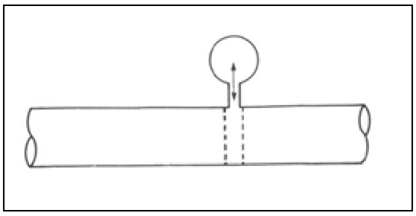
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาขีดจำกัดของความถี่เสียงโดยใช้ลำโพงขนาดเล็ก มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร รองรับความถี่ตั้งแต่ 500 Hz – 5.0 KHz ซึ่งสร้างสัญญาณความถี่จาก Function Generator ผ่านท่อPVC ที่มีขนาดความยาว 4 เมตร และมีขนาดความกว้างของท่อ 2 นิ้ว 4 นิ้ว และ 6 นิ้ว ตามลำดับ และรับสัญญาณโดยคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนจากวงจรแอคทิพไมค์ปรีแอมป์ ถ่ายทอดสัญญาณผ่านออกทาง Oscilloscope สู่กระบวนการประมวลผลดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

3.2การทดลองสร้างฟิลเตอร์ดักความถี่เสียงในท่อ

งานวิจัยนี้นอกจากเป็นการศึกษาขีดจำกัดของความถี่เสียงในท่อแล้ว ยังได้ทำการทดลองสร้างฟิลเตอร์เพื่อดักเสียง เพื่อทดลองหาการเปลี่ยนแปลงของ Output Voltage (V) โดยการนำท่อแยก 3 ทาง หรือ ท่อแยกรูปตัว T มาติดตั้งกับท่อที่มีขนาดความกว้างของท่อ 6 นิ้ว ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การนำท่อมาติดตั้งฟิลเตอร์

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

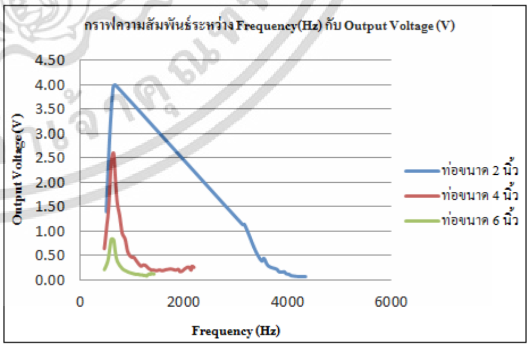
จากที่ได้ทราบในเบื้องต้นแล้วว่างานวิจัยนี้เป็นการศึกษาขีดจำกัดของความถี่เสียงในท่อPVC ขนาดความยาว 4 เมตร และมีขนาดความกว้างของท่อ2 นิ้ว 4 นิ้ว และ 6 นิ้วตามลำดับ ซึ่งทดลองเพื่อพิสูจน์ว่ามีการเกิดจุด Cut-Off Frequency ที่บริเวณท่อปลายเปิดกับความสัมพันธ์ของความกว้างของปากท่อ โดยไม่สนใจนำความยาวของท่อ หรือ จำนวนฮาร์โมนิกมาทดลอง เนื่องจากบริเวณปากท่อปลายเปิดจะเป็นปฏิบัพเสมอและได้ทำการเปรียบเทียบกับค่าความถี่จากแหล่งกำเนิดเสียง กับ Output Voltage แล้วมีความสัมพันธ์กันได้ผลการทดลองดังรูปที่ 5 ทำให้สามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่าง จุด Cut-Off Frequency กับ ขนาดความกว้างของท่อ ได้ดังสมการ (6)

$$f_c = \frac{8065.1}{D} \qquad (6)$$

โดยที่

f_cคือขีดจำกัดของความถี่ (Hz)

Dคือ ความกว้างของพื้นที่หน้าตัด (inch)

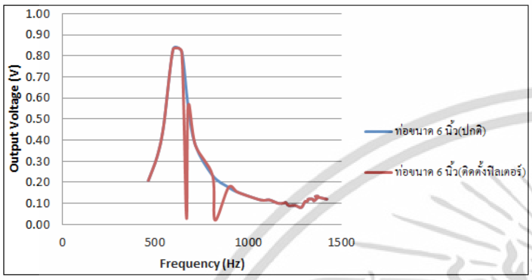


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Frequency(Hz) และ Output Voltage(V) ของท่อขนาด 2 นิ้ว 4 นิ้ว และ 6 นิ้ว

จากการยกตัวอย่างโดยนำท่อขนาด 6 นิ้ว มาติดตั้งฟิลเตอร์ พบว่า การติดตั้งฟิลเตอร์ทำให้ความถี่ช่วงที่สูงที่สุดนั้นตกลง ดังรูปที่ 7 แต่เนื่องจากการทดลองนี้เป็นการศึกษาขีดจำกัดของความถี่เสียงในท่อ จึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ได้เน้นทำการวิเคราะห์ด้านฟิลเตอร์ แต่ได้ทดสอบแล้วว่าการติดตั้งฟิลเตอร์นั้น ทำให้สามารถควบคุมแถบความถี่นั้นๆได้ โดยการทดลองนี้ได้นำท่อ 3 ทาง มาติดตั้งพบว่าการนำท่อ 3 ทางมาติดตั้งเป็นฟิลเตอร์สามารถคอยดักความถี่เสียงได้ แต่เนื่องจากใส่ท่อ 3 ทางแล้วยังมีการเกิดช่องว่างระหว่างข้อต่อทำให้เป็นการเพิ่มจำนวนจุดดักเสียงเพิ่มอีกจากข้อมูลแสดงให้เห็นดังรูปที่ 6 ว่ามีการดักความถี่เสียงได้ถึง 3 จุด



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Frequency(Hz) และ Output Voltage (V) ของท่อขนาด 6 นิ้วที่ยังไม่ติดตั้งฟิลเตอร์และแบบที่ติดตั้งฟิลเตอร์

5. สรุปผลการทดลอง

จากงานวิจัยนี้พบว่าแบบทดลองที่สร้างขึ้นสามารถนำผลมาวิเคราะห์ความถี่เสียง และ นำไปประมวลผลแสดงเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่าง จุด Cut-Off Frequency กับ ขนาดความกว้างของท่อ เพื่อหาค่า f_c ได้อย่างใกล้เคียง ถึงจะแม้จะมีความคลาดเคลื่อนจากอุปกรณ์ เพื่อให้เป็นประโยชน์เพิ่มเติมมากขึ้นยังได้แสดงให้เห็นจากผลการทดลองจริงว่า มีการเกิดซาวน์ฟิลเตอร์ภายในขีดจำกัดของความถี่เสียงในท่อ ซึ่งถ้านำไปวิเคราะห์เพิ่มเติมจะสามารถนำไปพัฒนาได้อย่างมาก ยกตัวอย่างเช่นการนำฟิลเตอร์เข้าไปติดตั้งในท่อไอเสียรถยนต์ และการสร้างฟิลเตอร์ที่เป็นช่องว่างในอุปกรณ์ดนตรี อาทิเช่น กีตาร์ ไวโอลีน เพื่อคอยดักความถี่เสียงหรือเพื่อลดเสียงที่ไม่ต้องการได้ ทำให้อุปกรณ์ดนตรีมีเสียงที่ไพเราะ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

[1] D.W. Herrin, S. Ramalingam, Z. Cui and J. Liu, "Predicting insertion loss of large duct systems above the plane wave cutoff frequency", in Journal of Sound and Vibration, Vol. 73, pp. 37-42.

[2] Berg, Richard E. and David G. Stork, "The Physics Of Sound", 2nd ed., Prentice Hall, New Jersey,1995, pp. 1-9, 20-25,74-81, 259-292.

[3] Smith, B. J., Peter , R. J., and Stephanie Owen, "Acoustics and Noise Control", 2nd ed., Addison Wesley Longman, England, 1996, pp. 62-63, pp.166-167

[4] Dowling, A.P. and J.E. Ffowcs Williams, "Sound And Sources Of Sound",EllisHorwood Publishers, England,1983, pp. 63-74, 124-134.

[5] Techathawiekul, S. et al., "Acoustic Signal Strength Measurement for Direction Finding" Research Report, National Research Council of Thailand (NRCT), Bangkok, Thailand, 2000.

[6] Berry R. Wyerman, "A Theoretical and Experimental Study of Acoustic Propagation in Multisectioned Circular Ducts", Department of Engineering, University of Pennsylvania State, pp. 14-534.

[7] P. Joseph, C.L., Morfey and C.R. Lowis, "Multi-mode sound transmission in ducts with flow", in Journal of Sound and Vibration, Vol. 264, pp. 523-544.

[8] Hall, Donald E., "Basic Acoustics" John Wiley & Sons, New York, 1987.

[9] Witte, Robert A., "Spectrum and Network Measurements", Prentice Hall, New Jersey, 1991.

[10] Beckwith, Thomas G., Roy D. Marangoni and John H. Lienhard V., "Mechanical Measurements", 5nd ed., Addison Wesley, Massachusetts, 1993.

Everest, F. Alton, "The Master Handbook of Acoustic", 4nd ed., McGraw-Hill, New York, 2001.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EENET 2015

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 7

The 7th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology (EENET 2015)

ขอมอบเกียรติบัตรฉบับนี้ให้เพื่อแสดงว่า

บทความวิจัยเรื่อง "การศึกษาขีดจำกัดของความถี่เสียงในท่อ"

ปวิช พสุวาณิชย์ สักรียา ชิตวงศ์ วิศรุต ศรีรัตนะ และสุ่น จ่างประยูร

ได้เป็นประธานกลุ่มย่อยในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 7

ระหว่างวันที่ 27 - 29 พฤษภาคม พ.ศ.2558 ณ โรงแรม A-one The Royal Cruise เมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปราโมทย์ อนันต์วราพงษ์

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ประธานจัดงานการประชุมวิชาการ EENET 2015

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	ว่าที่ร้อยตรีปวิช พสุวาณิชย์
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 4 ธันวาคม พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	125/310 หมู่บ้านสวนเกษตรเปรมฤทัย ถนนบางนา-ตราด ตำบลบางโฉลง อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ 10540
ประวัติการศึกษา	2552 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้