

การตรวจสอบสถานะของคอมเพรสเซอร์ด้วยสัญญาณเสียง Condition Monitoring of Compressor using Sound

ทรงพล กลิ่นชะเอม และ พรชัย นิเวศน์รังสรรค์*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

51 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530 โทร/โทรสาร: 0-2988-3666 ต่อ 241 *อีเมลล์ nporncha@mut.ac.th

Songpol Klincha-ame and Pornchai Nivesrangsarn *

Department of Mechanical Engineering, Engineering Faculty, Mahanakorn University of Technology,

51 Cheum-Sampan road, Nong-Chok, Bangkok 10530 Tel/Fax: 0-2988-3666 ext.241, *E-mail: nporncha@mut.ac.th

บทคัดย่อ

การตรวจสอบสถานะของคอมเพรสเซอร์ได้มีการศึกษาโดยใช้สัญญาณต่าง ๆ เช่น สัญญาณของการสั่นสะเทือน สัญญาณเสียง หรือ สัญญาณความดัน โดยสัญญาณที่ตรวจวัดได้จะเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางกลและของไหลที่เกิดขึ้นในวัฏจักรการทำงานของคอมเพรสเซอร์ นอกจากนี้สัญญาณเหล่านี้ยังมีการใช้เพื่อศึกษาถึงการตรวจสอบความเสียหายที่เกิดขึ้นในคอมเพรสเซอร์เช่น ความเสียหายของสปริงวาล์ว ความเสียหายของหน้าวาล์วและปาวาล์วด้านส่ง เป็นต้น การศึกษานี้จะเป็นการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการจำลองการตรวจสอบสถานะการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์โดยใช้สัญญาณเสียงที่สามารถตรวจวัดได้โดยใช้ไมโครโฟน ซาวด์การ์ด และคอมพิวเตอร์ เพื่อพัฒนานำมาใช้เป็นอุปกรณ์การทดลองสำหรับการเรียนการสอน . ในห้องปฏิบัติการ การศึกษาจะจำลองการทำงานการทำงานของคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบที่เงื่อนไขการทำงานปกติ ความเสียหายที่แหวนยางกันรั่ว ความเสียหายที่ลูกสูบ และความเสียหายที่วาล์วด้านดูด สำหรับคอมเพรสเซอร์แบบโรตารีจะศึกษาการทำงานที่สภาวะปกติ ความเสียหายที่วาล์วด้านดูดและด้านส่ง และความเสียหายที่ใบพัด จากการศึกษาพบว่าสัญญาณเสียงและสัญญาณการสั่นสะเทือนที่บันทึกได้จากคอมเพรสเซอร์ทั้งสองชนิดสามารถใช้ทำนายสภาวะการทำงานที่เงื่อนไขต่าง ๆ ด้วยการใช้เทคนิคการวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนเวลา, โดเมนมุมเพลอาซฮ์เวีย และโดเมนความถี่ การศึกษาต่อไปยังต้องปรับปรุง พัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลที่ได้กับสัญญาณอื่น ๆ เช่น สัญญาณความดัน เป็นต้น เพื่อเป็นการยืนยันถึงความถูกต้องของคำตอบก่อนที่จะนำมาใช้สำหรับการเรียนการสอนในห้องปฏิบัติการได้จริง

(คำสำคัญ: การตรวจสอบสถานะ ความเสียหาย คอมเพรสเซอร์ เสียง และการสั่นสะเทือน)

Abstract

Condition monitoring of compressors has been studied by using various signals for example vibration signal, sound signal or pressure signal. These detected signals associate with mechanical and fluid flow processes in the compression cycle and can be used for fault monitoring in a compressor such as defect of spring valve, face valve and discharge valve. In this study, Sound signal is used to monitor state of compressors which detected using microphone and sound card with computer in order to develop for student used in laboratory. In this study, condition monitoring of reciprocating compressors are studied with various conditions which are example normal, rubber seal damage, piston damage and suction valve damage conditions. For rotary compressor, normal, suction and discharge valve damage and blade damage for rotary compressor are demonstrated. Detected sound and vibration signals can be used to predict compressor conditions on time domain, crank angle domain and frequency domain. For the future work, analysis techniques will be developed and compared to other signals such as pressure signal to verify the results prior to use in the laboratory.

(Keyword: Condition monitoring, Compressor, Fault detection, Sound, and Vibration)

1. บทนำ

คอมเพรสเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม (ระบบลมอัด) และเครื่องใช้ภายในที่พักอาศัย (เช่น เครื่องปรับอากาศ และตู้เย็น) ปัจจุบันการตรวจสอบสภาวะการทำงานของคอมเพรสเซอร์มีความจำเป็นสำหรับอุตสาหกรรมเพื่อทำให้คอมเพรสเซอร์ทำงานได้เต็มความสามารถและเป็นการป้องกันความเสียหายรุนแรงที่อาจเกิดขึ้น การทำงานของคอมเพรสเซอร์จะเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางกลและทางของไหลที่สอดคล้องกับวัฏจักรการทำงานการทำงานของคอมเพรสเซอร์ [1-3] เช่น การเปิดหรือปิดของวาล์วทางดูดและทางส่ง การเคลื่อนที่ของลูกสูบ การหมุนของเพลลาภายในห้องอัด และการอัดตัวของอากาศในห้องอัด เป็นต้น งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการใช้เซนเซอร์ชนิดต่าง ๆ มาใช้สำหรับตรวจวัดสัญญาณจากคอมเพรสเซอร์ เช่น กระแสไฟฟ้า มุมเพลลาข้อเหวี่ยง ความดัน การสั่นสะเทือน เสียง อุณหภูมิแก๊ส เป็นต้น โดยได้ทำการศึกษาการตรวจสอบสภาวะของคอมเพรสเซอร์ชนิดต่าง ๆ เช่น คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ [1-3] และ แบบสกรู [4-5]

การตรวจสอบความเสียหายของเครื่องจักรกลจะใช้เซนเซอร์วัดตำแหน่งของมุมเพลลาข้อเหวี่ยงเพื่อใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิงสำหรับวัฏจักรกระบวนการที่เกิดขึ้นตามวัฏจักรการทำงาน [6] งานวิจัยส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบสภาวะการทำงานของคอมเพรสเซอร์จะใช้เซนเซอร์ที่กล่าวไว้ก่อนหน้าและเซนเซอร์วัดตำแหน่งของมุมข้อเหวี่ยงจึงทำให้สามารถระบุกระบวนการทางกลและทางของไหลในสัญญาณได้ เช่น การเปิดหรือปิดของวาล์วทางดูดหรือทางส่ง การเคลื่อนที่ของลูกสูบ และช่วงการทำงานของจังหวะอัดหรือจังหวะส่ง [1-3] สำหรับเทคนิคการวิเคราะห์สัญญาณโดยทั่วไปจะวิเคราะห์บนโดเมนเวลาซึ่งนิยมใช้พารามิเตอร์เชิงสถิติ เช่น ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความเบ้ (Skewness) ค่าเคอร์โทซิสหรือค่าความโด่ง (Kurtosis) ค่า RMS (Root mean square) และ พลังงานของสัญญาณ เป็นต้น

การศึกษานี้จะจำลองการตรวจสอบสภาวะของคอมเพรสเซอร์ด้วยสัญญาณเสียงซึ่งสามารถตรวจจับโดยใช้อุปกรณ์พื้นฐานของเครื่องคอมพิวเตอร์คือ ฮาร์ดการ์ด และไมโครโฟน ซึ่งมีราคาประหยัดเมื่อเทียบกับเครื่องมือตรวจสอบเครื่องจักรที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดซึ่งมีราคาค่อนข้างสูงคือ เครื่องมือตรวจวัดการสั่นสะเทือน การศึกษาเบื้องต้นนี้จะใช้อุปกรณ์ดังกล่าวเพื่อเก็บสัญญาณเสียงด้วยโปรแกรม LabVIEW และจะวิเคราะห์สัญญาณที่บันทึกได้เทียบกับสัญญาณการสั่นสะเทือน เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของผลการวิเคราะห์คอมเพรสเซอร์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มี 2 ชนิดคือ คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ ดังรูปที่ 1 ซึ่งเป็นคอมเพรสเซอร์ที่มีราคาถูกใช้สำหรับเติมลมยางรถยนต์ และคอมเพรสเซอร์แบบโรตารี ดังรูปที่ 2 ซึ่งเป็นคอมเพรสเซอร์ที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศในสถานที่พักอาศัยและสำนักงาน คอมเพรสเซอร์ทั้งสองชนิดจะจำลองการทำงานที่เงื่อนไขแตกต่างกัน เช่น สภาวะการทำงานปกติ และสภาวะการเสียหายที่เกิดขึ้นที่ชิ้นส่วนภายในของคอมเพรสเซอร์ซึ่งจะแสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อถัดไป

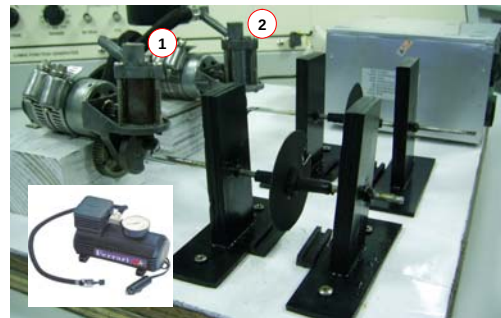
สัญญาณเสียงและสัญญาณการสั่นสะเทือนที่บันทึกจากการทดลองจะอยู่บนโดเมนเวลาและสามารถวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์บน

โดเมนมุมข้อเหวี่ยง และบนโดเมนความถี่ ผลของการวิเคราะห์จะนำมาใช้ปรับปรุงและพัฒนาให้ดีขึ้นเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับการเรียนการสอนได้จริง

2. การทดลอง

การศึกษานี้จะใช้อุปกรณ์การจำลองสภาวะการทำงานของคอมเพรสเซอร์ 2 ชุด ชุดแรกเป็นชุดทดลองสำหรับคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบมีลักษณะดังรูปที่ 2 และจะใช้เฉพาะตัวคอมเพรสเซอร์เท่านั้น จากรูปที่ 2 หมายเลข 1 เป็นคอมเพรสเซอร์ที่มีสภาพปกติพร้อมใช้งาน และหมายเลข 2 เป็นคอมเพรสเซอร์ที่ใช้จำลองสภาวะการทำงานที่มีชิ้นส่วนภายในเสียหาย การจำลองสภาวะการทำงานของคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบมีเงื่อนไขการทดลองดังนี้คือ

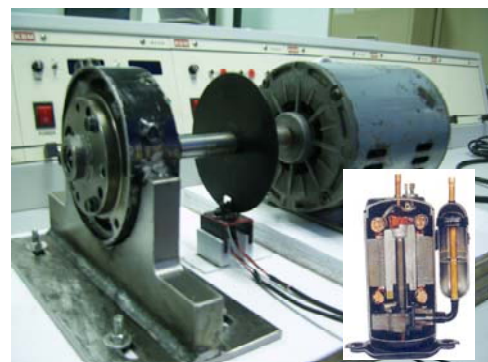
- การทำงานที่สภาวะปกติ
- การจำลองความเสียหายที่แหวนรองกันรั่ว (O-ring)
- การจำลองความเสียหายที่ลูกสูบ
- การจำลองความเสียหายที่แผ่นวาล์วทางดูด



รูปที่ 1 ชุดการทดลองคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ

ชุดทดลองที่ 2 เป็นชุดทดลองคอมเพรสเซอร์แบบโรตารีจะมีลักษณะดังรูปที่ 4 โดยจะผ่าเอาเฉพาะตัวกลไกคอมเพรสเซอร์แบบโรตารีมาใช้และใช้ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งหมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ 1440 รอบต่อนาที การจำลองสภาวะการทำงานของชุดทดลองนี้มีเงื่อนไขการทดลองดังนี้คือ

- การทำงานที่สภาวะปกติ
- การจำลองความเสียหายที่วาล์วทางดูด
- การจำลองความเสียหายที่วาล์วทางส่ง
- การจำลองความเสียหายที่ใบพัด (Blade)

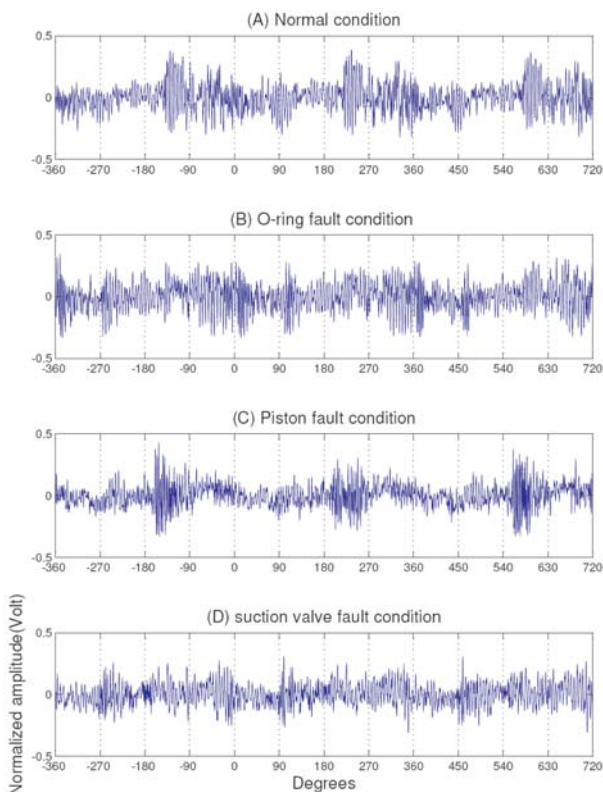


รูปที่ 2 ชุดการทดลองคอมเพรสเซอร์แบบโรตารี

สัญญาณเสียง และ สัญญาณการสั่นสะเทือนจะถูกบันทึกจากชุดทดลองทั้งสอง โดยแต่ละเงื่อนไขของการทดลองสัญญาณจะถูกบันทึกพร้อมกับสัญญาณอ้างอิงของมุลเพล็กซ์เหวี่ยง สัญญาณเสียงตรงจบบได้จากไมโครโฟนและชาร์ตการ์ดที่ใช้กับคอมพิวเตอร์ โดยไมโครโฟนจะวางห่างจากคอมเพรสเซอร์ประมาณ 30 cm ส่วนสัญญาณการสั่นสะเทือนจะตรวจวัดจากตัววัดการสั่นสะเทือน (Accelerometer) ซึ่งจะวางอยู่บริเวณด้านหน้าของคอมเพรสเซอร์ โปรแกรม LabVIEW จะใช้สำหรับเก็บข้อมูลและบันทึกเป็นไฟล์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองของคอมเพรสเซอร์ทั้งสองชนิดจะใช้เวลาที่ 44000 Hz เพื่อให้สะดวกต่อการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลอง

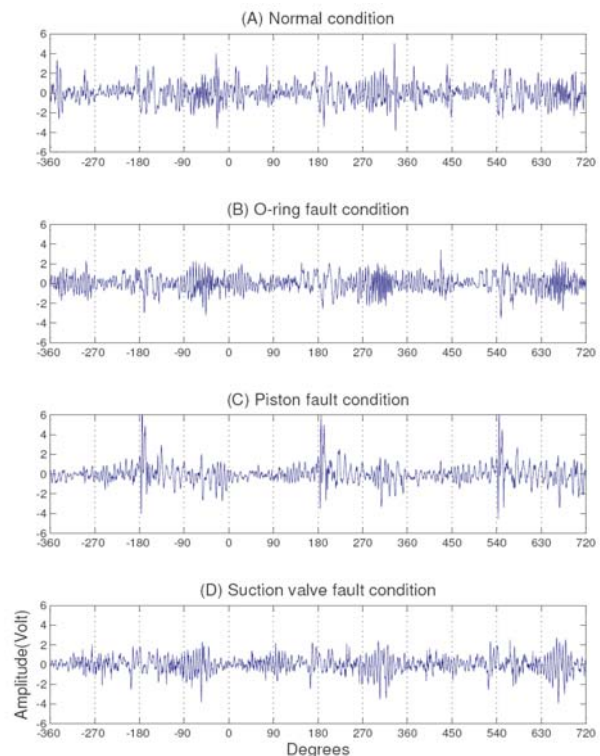
3. ผลการทดลอง

สัญญาณเสียงและสัญญาณการสั่นสะเทือนที่บันทึกจากการทดลองทั้งหมดจะอยู่ในรูปของโดเมนเวลา และจะถูกแปลงให้อยู่ในโดเมนมุลเพล็กซ์เหวี่ยงโดยใช้สัญญาณอ้างอิงจากมุลเพล็กซ์เหวี่ยงดังรูปที่ 5, 6, 9 และ 10 โดยมีแกนนอนเป็นมุลเพล็กซ์เหวี่ยงและแกนตั้งเป็นแอมพลิจูดของสัญญาณ สัญญาณเสียงและสัญญาณการสั่นสะเทือนที่บันทึกจากคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบแสดงดังรูปที่ 5 และ 6 ตามลำดับ แต่ละรูปแสดงถึงสัญญาณที่เงื่อนไขการทดลองตามลำดับดังนี้คือ (A) สภาวะปกติ (B) ความเสียหายที่แหวนรอกันรั่ว (C) ความเสียหายที่ลูกสูบ และ (D) ความเสียหายที่วาล์วด้านดูด



รูปที่ 5 สัญญาณเสียงของคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ
บนโดเมนมุลเพล็กซ์เหวี่ยงที่สภาวะต่าง ๆ

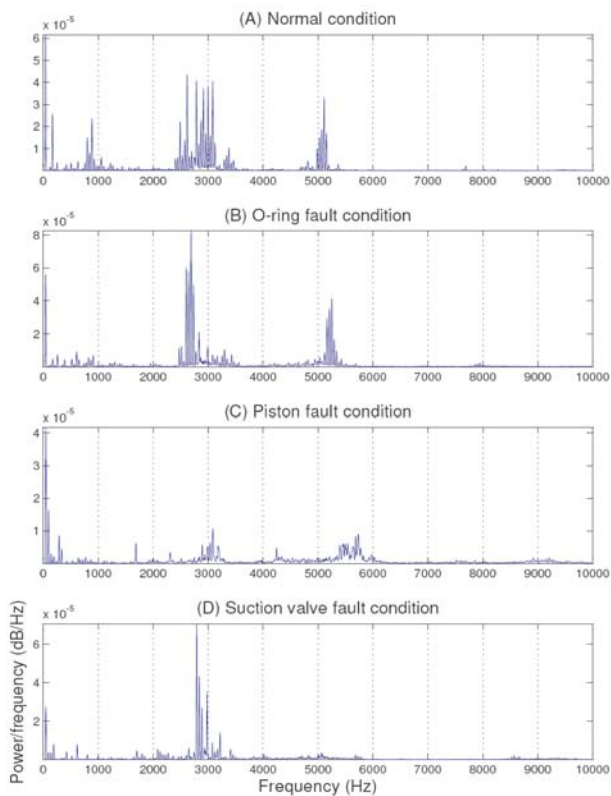
จากรูปที่ 5 และ 6 ที่ตำแหน่ง 0 องศาคือตำแหน่งศูนย์ตายล่างของลูกสูบ ดังนั้นช่วงจังหวะอัดจะอยู่ช่วงองศา 0-180 องศา และจังหวะดูดจะอยู่ในช่วงองศา 180-360 องศา เมื่อเปรียบเทียบสัญญาณเสียงและสัญญาณการสั่นสะเทือนจะเห็นรูปแบบการเกิดเหตุการณ์เป็นจังหวะในรอบการทำงานจะคล้ายคลึงกันเช่น สัญญาณเสียงช่วงจังหวะดูด 180-360 องศา ดังรูปที่ 5 คือสัญญาณที่คอมเพรสเซอร์ทำงานปกติ ซึ่งจะมีแอมพลิจูดมากกว่าช่วงจังหวะอัด 0-180 องศา ส่วนสัญญาณการสั่นสะเทือนที่สภาวะการทำงานปกติดังรูปที่ 6 จะสังเกตเห็นรายละเอียดของสัญญาณชัดเจนกว่าสัญญาณเสียง จากการวิเคราะห์สัญญาณทั้ง 2 ชนิดพบว่า ช่วงการทำงานของคอมเพรสเซอร์ที่ 0-45 องศาเป็นช่วงที่ลูกสูบเริ่มเคลื่อนที่ขึ้นซึ่งวาล์วด้านส่งจะเปิดให้ลูกสูบอัดอากาศออกจนกระทั่งลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ตายบน หรือที่ 180 องศาจึงเป็นการสิ้นสุดจังหวะอัด สำหรับจังหวะดูดนั้นวาล์วด้านดูดจะทำงานประมาณตำแหน่งที่ 225 องศา ลูกสูบจะเคลื่อนที่ลงพร้อมกับดูดอากาศใหม่เข้าในกระบอกสูบจนถึงตำแหน่งศูนย์ตายล่างจึงเป็นการสิ้นสุดของจังหวะดูด จากรูปที่ 5 และ 6 จะสังเกตเห็นได้ว่ารูปแบบของสัญญาณที่สภาวะเงื่อนไขต่างกันจะมีรูปแบบของสัญญาณที่แตกต่างกัน สัญญาณที่กรณีเงื่อนไขการเสียหายที่ลูกสูบจะมีสัญญาณค่อนข้างชัดเจนที่ตำแหน่งประมาณ 180 องศา ทั้งนี้อาจเกิดจากการสั่นคลอนของลูกสูบเมื่อเคลื่อนที่ใกล้กับตำแหน่งศูนย์ตายบนของกระบอกสูบ



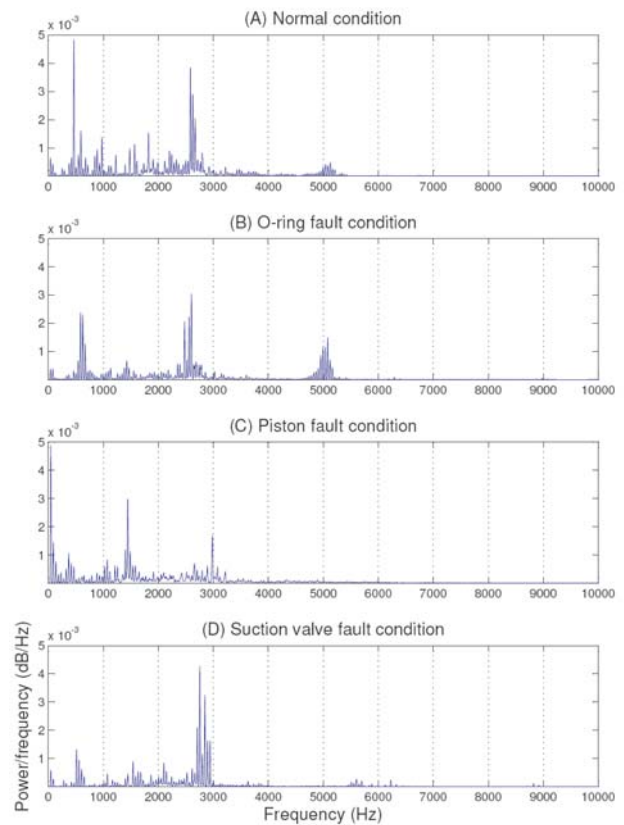
รูปที่ 6 สัญญาณการสั่นสะเทือนของคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ
บนโดเมนมุลเพล็กซ์เหวี่ยงที่สภาวะต่าง ๆ

การวิเคราะห์สัญญาณเสียงและสัญญาณการสั่นสะเทือนของคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบบนโดเมนความถี่ด้วยเทคนิคการหาค่า Power Spectrum Density (PSD) แสดงไว้ดังรูปที่ 7 และ 8 ตามลำดับ

โดยที่แทนด้วยค่า PSD และแกนนอนคือความถี่ สำหรับลำดับของสัญญาณ A, B, C และ D จะแสดงถึงเงื่อนไขการทดลองที่กล่าวไว้ก่อนหน้า จากรูปที่ 7 และ 8 พบว่าแนวโน้มของสัญญาณบนโดเมนความถี่จะมีรูปแบบของสัญญาณใกล้เคียงกันทุกเงื่อนไขของการทดลอง สำหรับเงื่อนไขการทำงานปกติพบว่า ค่า PSD ของสัญญาณทั้งสองจะกระจายอยู่ในช่วงความถี่ไม่เกิน 6000 Hz โดยจะมีช่วงความถี่ที่สังเกตเห็นชัดเจนคือ ช่วงความถี่ประมาณ 400-600 Hz, 2500-2800 Hz และ 4800-5200 Hz กรณีของเงื่อนไขความเสียหายที่แหวนยางกันรั่วพบว่าสัญญาณที่มีความถี่ประมาณ 4800-5200 Hz มีค่ามากขึ้นทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการรั่วไหลของอากาศผ่านแหวนยางกันรั่วในจังหวะอัดของคอมเพรสเซอร์ ทั้งนี้สามารถสังเกตได้ในสัญญาณเสียงดังรูปที่ 5(B) เช่นกันซึ่งจะเห็นสัญญาณมีแอมพลิจูดมากขึ้นที่จังหวะอัด สำหรับกรณีที่เกิดความเสียหายที่ลูกสูบดังรูปที่ 7(C) และ 8(C) พบว่าค่า PSD ของสัญญาณที่มีความถี่ต่าง ๆ มีขนาดลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงความถี่สูงประมาณ 5000 Hz ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากลูกสูบไม่สามารถสร้างแรงดันให้กับอากาศที่ถูกอัดตัวได้ สำหรับกรณีที่เงื่อนไขการเสียหายที่วาล์วด้านดูดพบว่า ค่า PSD ของสัญญาณจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่ความถี่ประมาณ 2800-3000 Hz และจะไม่สังเกตเห็นสัญญาณที่มีความถี่ประมาณ 4800-5200 Hz ปรากฏในสัญญาณ จากผลการวิเคราะห์ทั้งสัญญาณเสียงและสัญญาณการสั่นสะเทือนพบว่าสัญญาณที่มีความถี่สูงน่าจะเป็นผลของกระบวนการของของไหลที่เกิดขึ้นที่คอมเพรสเซอร์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่สรุปไว้ว่าสัญญาณที่บันทึกจากกระบวนการทางของไหลจะเกิดขึ้นที่ความถี่สูง [1-4 และ 6]



รูปที่ 7 สัญญาณเสียงของคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ
บนโดเมนความถี่ที่สภาวะต่าง ๆ



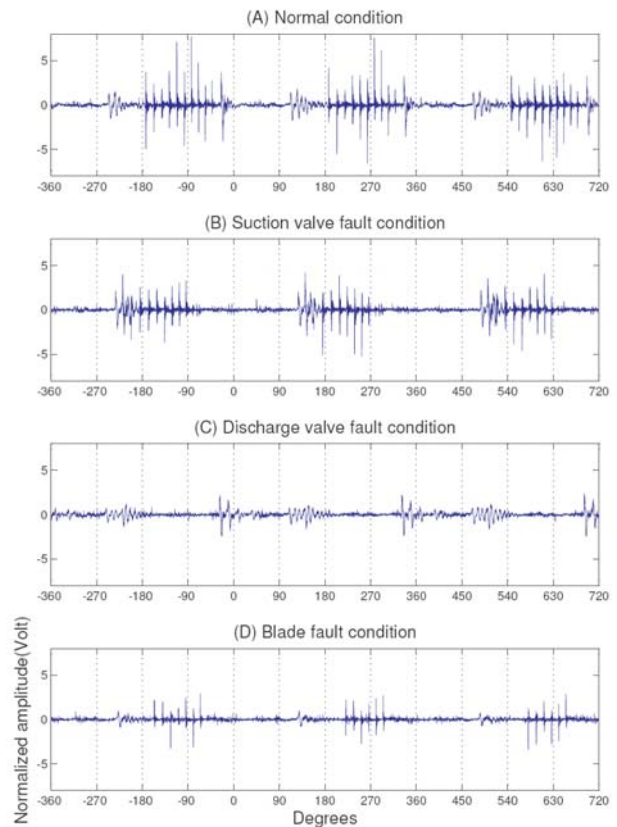
รูปที่ 8 สัญญาณการสั่นสะเทือนของคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ
บนโดเมนความถี่ที่สภาวะต่าง ๆ

สัญญาณเสียงและสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนมุมเพลซข้อเหวี่ยงที่บันทึกจากคอมเพรสเซอร์แบบโรตารีแสดงไว้ดังรูปที่ 9 และ 10 ตามลำดับ ซึ่งสังเกตเห็นความแตกต่างของการทำงานของคอมเพรสเซอร์ที่องศาการทำงานระหว่าง 0-180 องศา และ 180-360 องศา สัญญาณทั้งสองมีความชัดเจนและมีรายละเอียดของรูปร่างสัญญาณแตกต่างกันตามเงื่อนไขของการทดลองตามลำดับคือ (A) สภาวะปกติ (B) ความเสียหายที่วาล์วด้านดูด (C) ความเสียหายที่วาล์วด้านส่ง และ (D) ความเสียหายที่ไพบัต จากการทดลองตำแหน่ง 0 องศาจะเป็นตำแหน่งเริ่มต้นของ 2 กระบวนการคือ จังหวะดูดและจังหวะอัดของคอมเพรสเซอร์จะเกิดขึ้นพร้อมกันอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นที่ตำแหน่ง 0 องศาจะเป็นตำแหน่งเริ่มต้นของจังหวะดูดของวัฏจักรถัดไป และขณะเดียวกันจะเป็นจังหวะอัดของวัฏจักรปัจจุบัน สัญญาณเสียงดังรูปที่ 9 มีลักษณะรูปร่างคล้ายคลึงกัน ยกเว้นรูปที่ 9(C) เป็นสัญญาณที่เกิดความเสียหายของวาล์วด้านส่งจะสังเกตเห็นแอมพลิจูดปรากฏชัดเจนที่ตำแหน่ง 0 องศา ส่วนสัญญาณดังรูปที่ 9(D) เป็นสัญญาณเสียงเมื่อเกิดความเสียหายของไพบัต จะเห็นว่าสัญญาณรบกวนลดน้อยลงเมื่อเทียบกับสภาวะปกติดังรูปที่ 9(A)

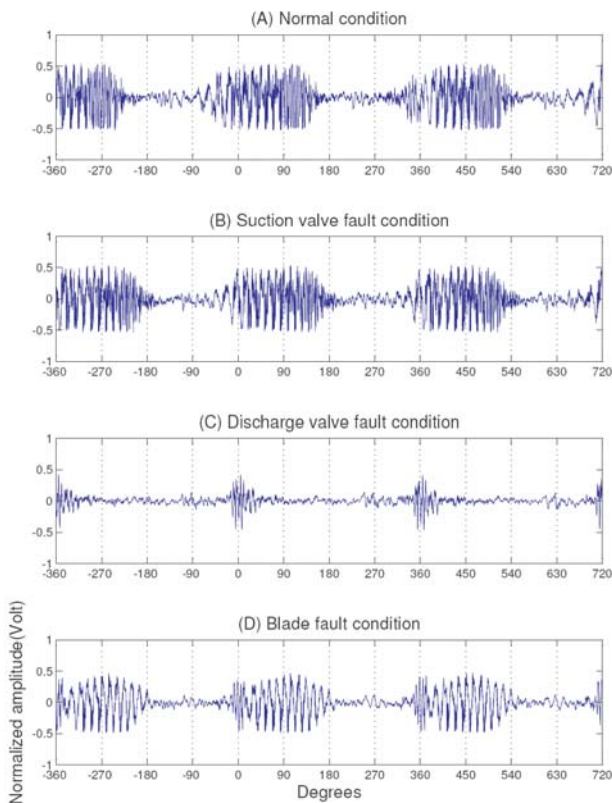
สัญญาณการสั่นสะเทือนของคอมเพรสเซอร์แบบโรตารีจะมีสัญญาณที่เกิดขึ้นสลับกับสัญญาณเสียงคือ สัญญาณจะสังเกตเห็นได้ชัดเจนในช่วงตำแหน่ง 180-360 องศา และสัญญาณจะเกิดขึ้นเป็นช่วง ๆ สม่่าเสมอดังในรูปที่ 10 (A, B และ D) คาดว่าเป็นสัญญาณการทำงานของวาล์วด้านส่งที่มีการเปิดปิดเป็นช่วง ๆ ตามความดันที่

กำหนดของคอมเพรสเซอร์ จากรูปที่ 10(C) จะเห็นได้ว่าเมื่อเกิดความเสียหายขึ้นที่วาล์วด้านส่ง สัญญาณการสั่นสะเทือนจะแตกต่างจากกรณีเงื่อนไขการทดลองอื่น ๆ

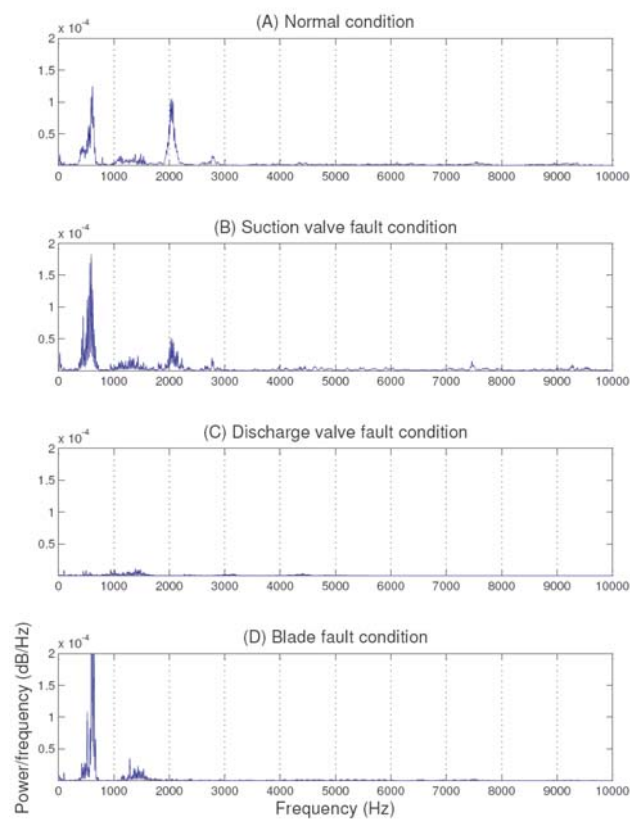
ผลการวิเคราะห์สัญญาณเสียงและสัญญาณการสั่นสะเทือนด้วยค่า PSD บนโดเมนความถี่แสดงดังรูปที่ 11 และ 12 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าสามารถนำมาใช้บอกเงื่อนไขสภาวะการทำงานของคอมเพรสเซอร์ได้ ค่า PSD ของสัญญาณเสียงและสัญญาณสั่นสะเทือนสามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจนเมื่อความถี่ไม่เกิน 3000 Hz และพบว่าสัญญาณทั้งสองชนิดมีความถี่ที่ปรากฏอยู่ที่ช่วง 500-700 Hz, 1000-1500 Hz, 1800-2000 Hz และ มากกว่า 3000 Hz กรณีการเสียหายที่วาล์วด้านส่งพบว่าสัญญาณเสียง (รูปที่ 11(C)) และสัญญาณการสั่นสะเทือน (รูปที่ 12(C)) จะสังเกตเห็นค่า PSD บริเวณความถี่ที่สนใจมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับกรณีอื่น ๆ สำหรับความเสียหายที่วาล์วด้านดูด ด้านส่ง และใบพัด พบว่า สัญญาณเสียงและสัญญาณการสั่นสะเทือนจะมีความถี่ใกล้เคียงกันดังรูปที่ 11 และ 12 แต่ความถี่หลักที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันเล็กน้อยโดยค่า PSD ของสัญญาณเสียงที่มีความถี่ประมาณ 2000 Hz จะลดลงจนเห็นได้ชัดเนื่องจากกระบวนการทางของไหลที่เกี่ยวกับการดูดและการอัดของไหลไม่เป็นไปตามเงื่อนไขการทำงานปกติเช่นเดิม สำหรับสัญญาณการสั่นสะเทือนเมื่อมีการเสียหายเกิดขึ้นที่วาล์วด้านดูด ด้านส่ง และใบพัด สัญญาณช่วงความถี่สูง (มากกว่า 3000 Hz) จะลดลงจนไม่สามารถสังเกตเห็นได้จากสัญญาณดังรูปที่ 12(C และ D) นอกจากนี้ในช่วงความถี่ที่ไม่เกิน 2000 Hz สัญญาณการสั่นสะเทือนจะสังเกตเห็นความถี่ของสัญญาณแยกออกเป็นกลุ่มได้ชัดเจน



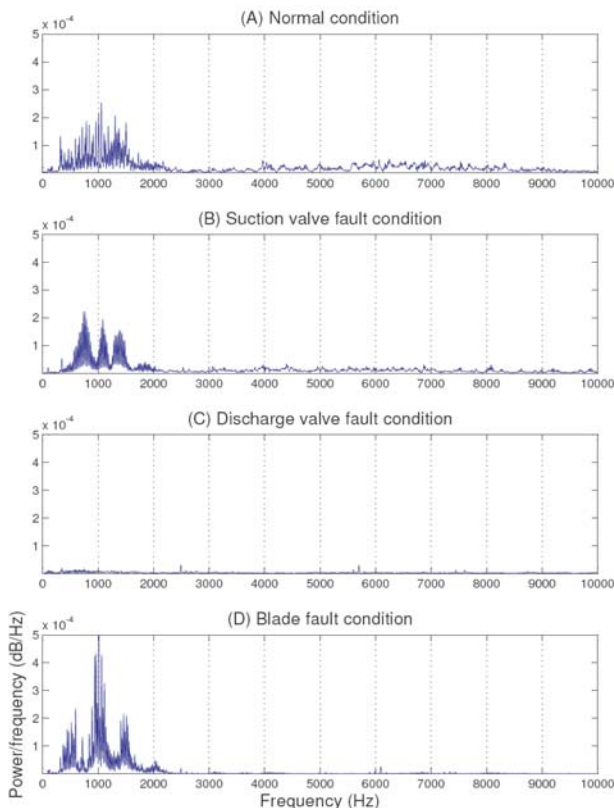
รูปที่ 10 สัญญาณการสั่นสะเทือนของคอมเพรสเซอร์แบบโรตารี บนโดเมนมุมข้อเหวี่ยงที่สภาวะต่าง ๆ



รูปที่ 9 สัญญาณเสียงของคอมเพรสเซอร์แบบโรตารี บนโดเมนมุมข้อเหวี่ยงที่สภาวะต่าง ๆ



รูปที่ 11 สัญญาณเสียงของคอมเพรสเซอร์แบบโรตารี บนโดเมนความถี่ที่สภาวะต่าง ๆ



รูปที่ 12 สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่
ของคอมเพรสเซอร์แบบโรตารี

4. สรุป

การจำลองการตรวจสอบสภาวะการทำงานของคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบและแบบโรตารีที่เงื่อนไขการทำงานปกติและเกิดความเสียหายที่ชิ้นส่วนประกอบของคอมเพรสเซอร์ เช่น วาล์วด้านดูด วาล์วด้านส่ง ลูกสูบ หรือแหวนยางกันรั่ว พบว่าสัญญาณเสียงที่บันทึกมาจากไมโครโฟนและฮาร์ดการ์ดที่ใช้ในคอมพิวเตอร์สามารถนำมาใช้ตรวจสอบการทำงานของคอมเพรสเซอร์ได้ใกล้เคียงกับสัญญาณการสั่นสะเทือน สำหรับการวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนเวลาหรือโดเมนมุมเพลซข้อเหวี่ยงพบว่าสัญญาณการสั่นสะเทือนจะให้รายละเอียดที่ชัดเจนกว่าสัญญาณเสียง แต่สำหรับการวิเคราะห์บนโดเมนความถี่ ทั้งสัญญาณเสียงและสัญญาณการสั่นสะเทือนจะให้ผลของความเป็นไปในทิศทางเดียวกัน การใช้ไมโครโฟนและฮาร์ดการ์ดซึ่งเป็นอุปกรณ์เสริมที่ใช้ในคอมพิวเตอร์และราคาไม่แพง สามารถนำมาใช้เป็นอุปกรณ์วัดและใช้พัฒนาเป็นชุดทดลองสำหรับใช้ในการเรียนการสอนเรื่องการจำลองการตรวจสอบการทำงานของคอมเพรสเซอร์ได้ แต่เพื่อความถูกต้องมากยิ่งขึ้นก่อนนำไปใช้จริง การพัฒนาวิธีการตรวจสอบเทคนิคการวิเคราะห์และโปรแกรมการใช้งานยังจำเป็นต้องปรับปรุงให้เหมาะสมยิ่งขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มการตรวจวัดความดันจะทำให้เข้าใจการทำงานของคอมเพรสเซอร์มากยิ่งขึ้น

4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นายพิทักษ์ แสงชา นายชนินทร์ เมธีเสริมสกุล และนายอวิรุทธ์ งามบุตร นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครที่ช่วยเหลือในการพัฒนาชุดอุปกรณ์การทดลองและช่วยเหลือเรื่องการเก็บข้อมูลจากการทดลองของการศึกษาค้นคว้า

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] El-Ghamry, M.H., Reuben, R.L., and Steel, J.A., The development of automates pattern recognition and statistical feature isolation techniques for the diagnosis of reciprocating machinery faults using acoustic emission, Mechanical system and signal Processing, Vol.17, 2003, pp. 805-823
- [2] Gill, J.D., Douglas, R.M., Neo, Y.S., Reuben, R. L., and Steel, J.A., Examination of Plate Valve Behavior in a small Reciprocating Compressor Using Acoustic Emission, The 24th EWGAE conference on Acoustic Emission, France, 2000, pp. 133-138.
- [3] Gill, J.D., Brown, E.R., Twite, M., Horner, G., Reuben, R. L. and Steel, J.A., Monitoring of a large reciprocating compressor, Proceeding of the 11th International Conference on Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management, COMADEM, Monash University, Australia, 1998.
- [4] Jones, R.M., Application note: CM3086, Monitoring of screw compressor bearing and rotational elements, SKF Reliability systems, 2003
- [5] Kim, T., Feedforward neural networks for fault diagnosis and severity assessment of a screw compressor, Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 9, No. 5, 1995, pp. 485-496.
- [6] Nivesrangsarn, P., Steel, J.A. and Reuben, R.L., Source location of acoustic emission in diesel engine, Mechanical system and Signal Processing, V.21, Issue 2, 2007, pp. 1103-1114.