

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

การตรวจสอบคอมเพรสเซอร์โรตารีด้วยสัญญาณอคูสติกอิมิชัน Condition Monitoring of Rotary Compressor using Acoustic Emission

พรชัย นิเวศน์รังสรรค์ และ วราคม เนินน้อย

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ หนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530

*ผู้ติดต่อ: npomcha@mut.ac.th, โทรศัพท์ 0-2988-3666 ต่อ 3110, โทรสาร 0-2988-3666 ต่อ 3106

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เกี่ยวข้องกับการจำลองการตรวจสอบสภาวะการทำงานของคอมเพรสเซอร์โรตารีโดยใช้สัญญาณอคูสติกอิมิชัน คอมเพรสเซอร์โรตารีที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศถูกใช้เพื่อจำลองการทำงานการทำงานของคอมเพรสเซอร์ที่เงื่อนไขต่าง ๆ เช่น สภาวะการทำงานปกติ ความเสียหายที่ใบพัด ความเสียหายที่วาล์วด้านดูดและด้านจ่าย สัญญาณอคูสติกอิมิชัน สัญญาณการสั่นสะเทือน และสัญญาณวัดรอบจะถูกใช้เพื่อตรวจวัดสัญญาณจากคอมเพรสเซอร์ด้วยหัววัดอคูสติกอิมิชัน หัววัดการสั่นสะเทือน และ Proximity switch จากผลการศึกษาพบว่าสัญญาณอคูสติกอิมิชันสามารถใช้ศึกษาและทำนายการทำงานของคอมเพรสเซอร์แบบโรตารีทั้งบนโดเมนเวลาโดเมนมุมเพลซซอเหวียงและโดเมนความถี่ ข้อดีของสัญญาณอคูสติกอิมิชันคือจะไม่ได้รับผลกระทบจากสัญญาณรบกวนที่ความถี่ต่ำในช่วงความถี่ของการสั่นสะเทือน การศึกษานี้ยังพบว่าสัญญาณอคูสติกอิมิชันจะให้ผลการทำนายที่ดีกว่าสัญญาณการสั่นสะเทือน

คำหลัก: คอมเพรสเซอร์โรตารี การตรวจสอบสภาวะการทำงาน สัญญาณอคูสติกอิมิชัน การวิเคราะห์สัญญาณ และการวิเคราะห์ความถี่

Abstract

This study concerns about condition monitoring of a rotary compressor using acoustic emission (AE) signal. Typical rotary compressor that used in an air-conditioner was used to study various conditions such as normal, blade defect, suction and discharge valve fault conditions in order to predict compressor state. AE signal, vibration signal and crank angle signal were detected from compressor using an AE sensor, an accelerometer and a proximity switch. It is found that AE signal on the time domain, the crank angle domain and the frequency domain can be used to study mechanical activities and processes in the rotary compressor and also to predict compressor state. The benefit of AE signal is that low environment noise is not affected on AE signal. In this study, it is found that AE signal gives a better prediction of compressor state than vibration signal.

Keywords: rotary compressor, condition monitoring, acoustic emission signal, and signal analysis and frequency analysis

1. บทนำ

คอมเพรสเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีใช้งานอย่างแพร่หลายในเครื่องใช้ประจำบ้านและเครื่องจักรอุตสาหกรรม ปัจจุบันการตรวจสอบการทำงานของคอมเพรสเซอร์มีความจำเป็นสำหรับภาคอุตสาหกรรม เพื่อให้คอมเพรสเซอร์สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพและป้องกันความเสียหายรุนแรงที่อาจเกิดขึ้น กระบวนการทำงานของคอมเพรสเซอร์จะเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางกลและทางของไหลที่สอดคล้องกับการทำงานของคอมเพรสเซอร์ เช่น การปิดและเปิดของวาล์วทางด้านดูดและด้านจ่าย [1-3] การเคลื่อนที่ของลูกสูบ การหมุนของเพลลา การอัดตัวของอากาศภายในห้องอัด เป็นต้น การศึกษาที่ผ่านมา มีการประยุกต์การตรวจสอบสภาวะของคอมเพรสเซอร์ชนิดต่าง ๆ เช่น คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ [1-3] คอมเพรสเซอร์แบบโรตารี [4,5] คอมเพรสเซอร์แบบสกรู [6,7] การตรวจสอบความเสียหายของคอมเพรสเซอร์จะนิยมใช้เซนเซอร์วัดตำแหน่งมุมเพลลาเพื่อใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิงสำหรับใช้ระบุกระบวนการที่เกิดขึ้นตามวัฏจักรของคอมเพรสเซอร์ [1-5] นอกจากนี้ยังสามารถใช้วัดความเร็วของคอมเพรสเซอร์ขณะทำงานด้วยกระบวนการที่เกิดขึ้นในวัฏจักรของคอมเพรสเซอร์ประกอบด้วย การเปิดและปิดของวาล์วด้านดูดและด้านจ่าย การเคลื่อนที่ของลูกสูบ และช่วงการทำงานของจังหวะอัดและจังหวะจ่าย

การตรวจสอบคอมเพรสเซอร์มีการใช้เซนเซอร์มาประยุกต์เพื่อตรวจจับสัญญาณทางไฟฟ้า การเปลี่ยนของกระบวนการทางกลต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในคอมเพรสเซอร์จะถูกเปลี่ยนมาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า จึงทำให้สามารถตรวจจับและบันทึกเก็บเป็นข้อมูลไว้ได้ เซนเซอร์ที่มีการใช้ตรวจวัดสัญญาณจากคอมเพรสเซอร์ในงานวิจัยที่ผ่านมาประกอบด้วย หัววัดคอสติกอิมิชชัน [1-3] หัววัดความดัน [1,2] หัววัดการสั่นสะเทือน [4-6] หัววัดความเร็วรอบ [7] เป็นต้น การตรวจสอบคอมเพรสเซอร์ในภาคอุตสาหกรรมจะนิยมใช้การตรวจสอบด้วย

สัญญาณการสั่นสะเทือนเนื่องจากการติดตั้งเซนเซอร์ทำได้ง่ายโดยไม่จำเป็นต้องเจาะยึดเข้าไปที่เครื่องจักรซึ่งมักจะมาพร้อมกับชุดอ่านและวิเคราะห์สัญญาณและเทคนิคการวิเคราะห์สัญญาณมักจะแสดงในรูปของผลการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform, FFT) หรือ Power Spectrum Density (PSD) เป็นต้น ทั้งนี้เทคนิคการวิเคราะห์บนโดเมนความถี่นั้นผู้วิเคราะห์จำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานและประสบการณ์เกี่ยวกับการวิเคราะห์สัญญาณจึงจะสามารถอธิบายสิ่งที่ปรากฏในกราฟความถี่ได้ นอกจากนี้การใช้การวัดการสั่นสะเทือนจะเหมาะสมเมื่อช่วงการทำงานต่ำกว่า 20000 Hz และเครื่องจักรส่วนใหญ่จะมีช่วงทำงานต่ำกว่า 1000 Hz ดังนั้นการวัดการสั่นสะเทือนจึงมักจะถูกรบกวนจากเครื่องจักรรอบ ๆ ที่อาจมีการสั่นสะเทือนที่รุนแรง จึงทำให้สัญญาณที่ได้และการวิเคราะห์ผลไม่เที่ยงตรง

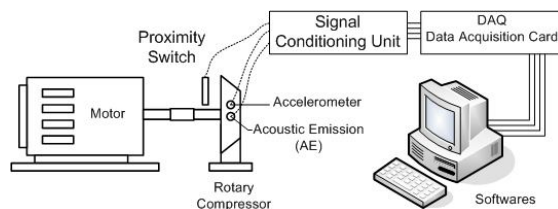
อคูสติกอิมิชชัน (Acoustic Emission) เป็นปรากฏการณ์ที่คลื่นยืดหยุ่น (Elastic wave) ชั่วขณะเกิดขึ้นเนื่องจากการปลดปล่อยพลังงานภายในเนื้อวัสดุ [8] คลื่นอคูสติกอิมิชชันนี้มีความซับซ้อนและมีพฤติกรรมต่าง ๆ เหมือนคลื่นทั่วไปคือ การสะท้อน การหักเห การเปลี่ยนโหมด และการลดลงของแอมพลิจูดของคลื่น [8-10] ซึ่งส่งผลให้สัญญาณที่ตรวจวัดได้จากหัววัดอคูสติกอิมิชชันมีความซับซ้อนมาก งานประยุกต์ของคลื่นอคูสติกอิมิชชันที่นิยมคือ การหาตำแหน่งการแตกร้าวของโครงสร้าง [10] และการหารอยร้าวของท่อ [11] เป็นต้น นอกจากนี้คลื่นอคูสติกอิมิชชันยังมีการนำมาใช้สำหรับตรวจสอบเครื่องจักรกลต่าง ๆ เช่น เครื่องยนต์ดีเซล บั๊ม และคอมเพรสเซอร์ เป็นต้น ข้อดีของคลื่นอคูสติกอิมิชชันคือ จะไม่ถูกรบกวนจากคลื่นความถี่ต่ำช่วงของการสั่นสะเทือน (<1000 Hz) ซึ่งเป็นช่วงทำงานของเครื่องจักรกล สัญญาณที่ตรวจวัดได้จากหัววัดอคูสติกอิมิชชันจะอยู่ที่ความถี่สูงประมาณ 50 kHz - 1 MHz และการวิเคราะห์สัญญาณนี้ก็สามารถใช้เทคนิคการวิเคราะห์สัญญาณทั้งบนโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ได้เช่นเดียวกับที่เทคนิคการวิเคราะห์ของ

สัญญาอนุญาตการสันนิษฐาน รวมถึงเทคนิคอื่นๆ ที่
เกี่ยวกับข้อบกพร่องในการวิเคราะห์สัญญาอนุญาต

การศึกษานี้จะจำลองการตรวจสอบการทำงาน
ของคอมเพรสเซอร์แบบโรตารีซึ่งเป็นคอมเพรสเซอร์ที่
ใช้ในเครื่องปรับอากาศด้วยสัญญาณอคูสติกอิมพัลส์ที่
เงื่อนไขการจำลองต่าง ๆ เช่น สภาวะปกติ สภาวะ
ความเสียหายบางส่วนที่ด้านดูด วาล์วด้านส่ง และ
ความเสียหายที่ใบ นอกจากนี้ยังทำการเปรียบเทียบ
ผลการวิเคราะห์ระหว่างสัญญาณอคูสติกอิมพัลส์กับ
สัญญาณการสั่นสะเทือนด้วย

3. การทดลอง

การศึกษานี้จะจำลองการตรวจสอบคอมเพรสเซอร์โรตารีซึ่งใช้ในเครื่องปรับอากาศทั่วไป ด้วยสัญญาณออสซิลโลมิทซ์ คอมเพรสเซอร์ที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นคอมเพรสเซอร์ที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศขนาด 9000 Btu ซึ่งจะตัดเอาเฉพาะตัวเรือนคอมเพรสเซอร์มาใช้เท่านั้น การทดลองจะประกอบด้วยชุดคอมเพรสเซอร์ หัววัดออสซิลโลมิทซ์ หัววัดการสั่นสะเทือน หัววัดรอบ การเก็บข้อมูล (Data acquisition card) และคอมพิวเตอร์ พร้อมโปรแกรมเก็บข้อมูลซึ่งแสดงดังแผนผังรูปที่ 1

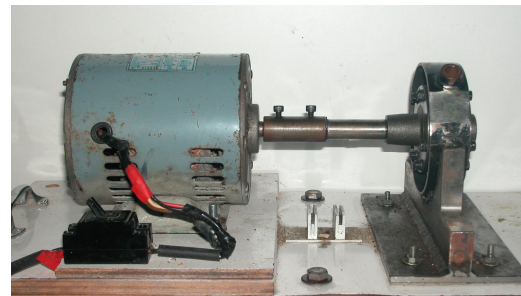


รูปที่ 1 แผนผังชุดทดลองและอุปกรณ์

หัววัดออสซิลโลมิทซ์ที่ใช้คือ Kistler รุ่น 8152B121 ซึ่งมีช่วงความถี่ใช้งานประมาณ 50 - 400kHz พร้อมด้วยชุดขยายสัญญาณ AE Piezotron Coupler 5125B ที่มีชุด bandpass filter ระหว่าง 50 - 1000kHz หัววัดออสซิลโลมิทซ์จะติดตั้งที่โครงด้านนอกของคอมเพรสเซอร์ใกล้กับท่อด้านดูด นอกจากนี้ Proximity switch จะติดตั้งเพื่อใช้สำหรับวัดรอบและวัดตำแหน่งอ้างอิงที่ศูนย์กลางบนของคอมเพรสเซอร์ที่แกนเพลลา สัญญาณออสซิลโลมิทซ์และสัญญาณการ

วัดรอบจะถูกบันทึกที่ความถี่สุ่มประมาณ 1 MHz ด้วยโปรแกรม LabVIEW พร้อมทั้งบันทึกเป็นไฟล์เพื่อวิเคราะห์ภายหลัง

นอกจากนี้หวั้วัดการสันสะเทือน Kistler รุ่น 8702B25 จะนำมาตรวจวัดสัญญาณการสันสะเทือนที่ตำแหน่งติดตั้งเดียวกับหวั้วัดอคูสติกอิมิซันเพื่อใช้เปรียบเทียบผลการทดลองกับสัญญาณอคูสติกอิมิซัน โดยจะบันทึกที่ความถี่สุ่ม 50000 Hz ชุดคอมเพรสเซอร์จะถูกขับด้วยมอเตอร์ 1 เฟส ¼ แรงม้าที่รอบการทำงาน 1430 รอบต่อนาที ชุดจำลองคอมเพรสเซอร์แบบโรตารีแสดงดังรูปที่ 2 เงื่อนไขการจำลองของการศึกษานี้ประกอบด้วย การทำงานที่สภาวะปกติ ความเสียหายที่ใบ ความเสียหายที่วาล์วด้านดูด และความเสียหายที่วาล์วด้านจ่าย สัญญาณทั้งสองจะแสดงเชิงเปรียบเทียบทั้งบนโดเมนเวลา โดเมนมุมเพลอาซอเหวียง และโดเมนความถี่ เพื่อใช้อธิบายถึงกระบวนการและความผิดปกติที่เกิดขึ้นในคอมเพรสเซอร์

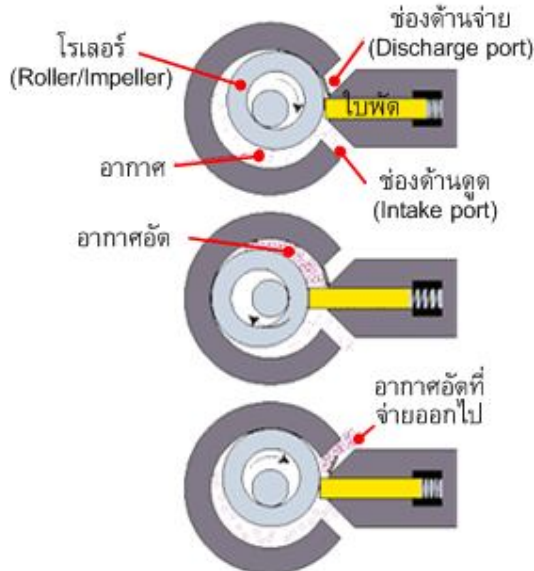


รูปที่ 2 ชุดจำลองคอมพิวเตอร์แบบโรตารี

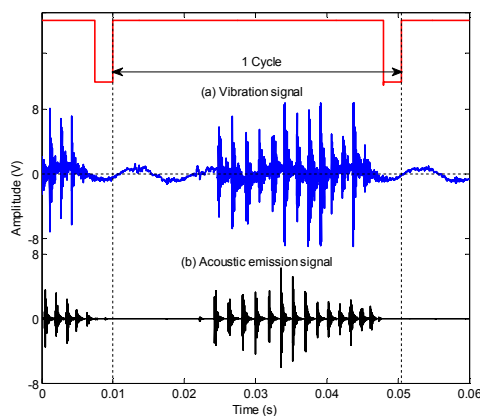
4. ผลการทดลอง

การทำงานของคอมเพรสเซอร์โรตารีจะมีกระบวนการอัดอากาศเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องดังรูปที่ 3 ตัวโรเลอร์มีลักษณะเป็นลูกเบี้ยวจะหมุนรอบแกนเพลลา ผิวของตัวโรเลอร์จะสัมผัสกับผิวภายในของคอมเพรสเซอร์ตลอดเวลา ส่วนใบพัดก็จะสัมผัสกับผิวของโรเลอร์ตลอดเวลาเช่นกัน ซึ่งจะทำให้ก๊าซที่อยู่ภายในบริเวณทั้งสองถูกอัดอย่างต่อเนื่องและทำให้ปริมาตรของห้องอัดลดลงตามการหมุนของโรเลอร์จากการทดลองอากาศอัดจะไหลเข้าทางช่องด้านดูตามการหมุนของโรเลอร์ เมื่อโรเลอร์หมุนมาปิดช่อง

ด้านดูด อากาศจะเริ่มถูกอัดตัวและอากาศในห้องอัดจะมีปริมาตรลดลงตามการหมุนของโรเลอร์ซึ่งจะทำให้ความดันของอากาศอัดเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเอาชนะแรงกดของแผ่นวาล์วด้านจ่ายจึงทำให้อากาศไหลออกจากห้องอัด กระบวนการที่เกิดขึ้นในคอมเพรสเซอร์นี้สามารถพบเห็นได้ในสัญญาณอคูสติกอิมพัลส์และสัญญาณการสั่นสะเทือนดังรูปที่ 4 – 6



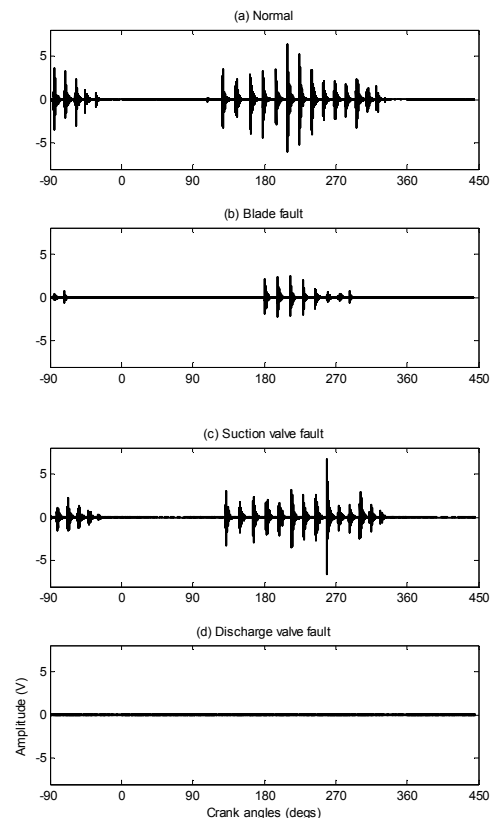
รูปที่ 3 วัฏจักรการทำงานของคอมเพรสเซอร์โรตารี



รูปที่ 4 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณการสั่นสะเทือนและสัญญาณอคูสติกอิมพัลส์

สัญญาณอคูสติกอิมพัลส์และสัญญาณการสั่นสะเทือนที่บันทึกได้จากคอมเพรสเซอร์แบบโรตารีแสดงบนโดเมนเวลาดังรูปที่ 4 พร้อมทั้งสัญญาณจาก Proximity switch ซึ่งใช้วัดรอบการหมุนและจะให้

หนึ่งพัลส์ต่อรอบ สัญญาณการสั่นสะเทือนดังรูปที่ 4(a) จะถูกรบกวนด้วยสัญญาณความถี่ต่ำอย่างชัดเจนซึ่งสัญญาณอคูสติกอิมพัลส์ดังรูปที่ 4(b) ไม่ปรากฏ สัญญาณรบกวนดังกล่าว ส่วนเหตุการณ์ที่เกิดจากกระบวนการอัดอากาศภายในคอมเพรสเซอร์สามารถพบเห็นได้จากทั้งสองสัญญาณ สัญญาณบนโดเมนเวลาดังรูปที่ 4 สามารถถึงอธิบายกระบวนการที่เกิดขึ้นในห้องอัดของคอมเพรสเซอร์ แต่ไม่สามารถระบุตำแหน่งของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจนจึงจำเป็นต้องแปลงสัญญาณให้อยู่บนโดเมนมุมเพลซอให้ยิ่งก่อน



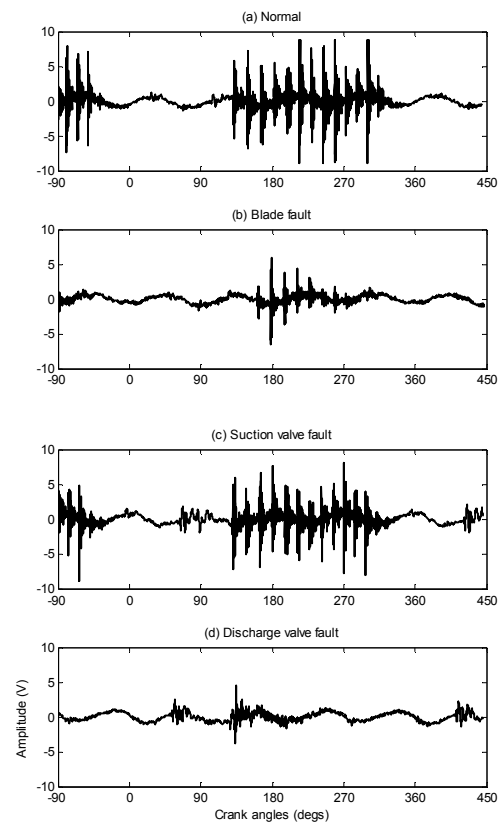
รูปที่ 5 สัญญาณอคูสติกอิมพัลส์ที่บันทึกจากคอมเพรสเซอร์แบบโรตารีที่เงื่อนไขต่าง ๆ

รูปที่ 5 และ 6 แสดงถึงสัญญาณอคูสติกอิมพัลส์และสัญญาณการสั่นสะเทือนตามลำดับที่เงื่อนไขการจำลอง (a) สภาวะปกติ (b) การเสียหายที่ใบ (c) การเสียหายที่วาล์วด้านดูด และ (d) การเสียหายที่วาล์วด้านจ่าย ทั้งนี้เพื่อความสะดวกต่อการวิเคราะห์การทำงานของคอมเพรสเซอร์แบบโรตารี สัญญาณทั้งสอง

จะถูกแปลงจากสัญญาณบนโดเมนเวลาเป็นสัญญาณบนโดเมนมุมเพลอาซอหรือเชิง ตำแหน่งที่ 0 องศา หมายถึงตำแหน่งที่โรเลอร์ (หรือลูกเบี้ยว) หมุนมายังตำแหน่งที่ทำให้ใบพัดเคลื่อนที่ขึ้นสู่จุดสูงสุด หากพิจารณาสัญญาณอนุสติกอิมพัลส์ที่สภาวะการทำงานปกติของคอมเพรสเซอร์ดังรูปที่ 5(a) พบว่า กระบวนการที่เกิดขึ้นในคอมเพรสเซอร์จะเกิดอย่างต่อเนื่องคือ จังหวะดูดเริ่มต้นที่ตำแหน่ง 0 องศา จนกระทั่งโรเลอร์หมุนถึงตำแหน่งที่ 90 องศา อากาศจะเริ่มถูกอัดในห้องอัด ต่อจากนั้นอากาศจะถูกอัดจนความดันในห้องอัดเพิ่มขึ้นจนสามารถเอาชนะแรงกดของแผ่นวาล์วด้านจ่ายจึงทำให้อากาศอัดไหลออกจากห้องอัดทางช่องด้านจ่าย ทั้งนี้จังหวะจ่ายจะเริ่มที่โรเลอร์หมุนไปยังตำแหน่ง 120 องศาและจะสิ้นสุดกระบวนการเมื่อโรเลอร์หมุนไปที่ตำแหน่งประมาณ 300 องศา เมื่อความดันในห้องอัดลดลงและไม่สามารถเอาชนะแรงกดของแผ่นวาล์ว ดังนั้นสัญญาณที่บันทึกได้จะไม่ปรากฏเหตุการณ์เกิดขึ้นหลังตำแหน่งที่ 300 องศา สัญญาณที่บันทึกนี้สามารถนำมาวิเคราะห์และใช้อธิบายกระบวนการที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน

เมื่อคอมเพรสเซอร์เกิดความผิดปกติที่ใบด้วยการเขาระงับที่ใบให้อากาศไหลออกได้พบว่าแอมปริจูดของสัญญาณอนุสติกอิมพัลส์มีขนาดลดลงดังรูปที่ 5(b) และจังหวะจ่ายจะเลื่อนออกไปที่ตำแหน่งประมาณ 180 องศา เนื่องจากอากาศอัดในห้องอัดรั่วออกไปจึงทำให้จังหวะจ่ายผิดตำแหน่งไป เมื่อความดันของอากาศเพิ่มขึ้นจนสามารถเอาชนะแรงกดของแผ่นวาล์วด้านจ่าย จึงปรากฏเหตุการณ์ขึ้นในสัญญาณเมื่อวาล์วด้านดูดถูกปิดด้วยแผ่นเหล็กที่เจาะรูขนาด 5 mm แอมปริจูดของสัญญาณอนุสติกอิมพัลส์ในจังหวะจ่ายดังรูป 5(c) มีขนาดต่ำลงไม่มาก แต่เหตุการณ์การจ่ายอากาศออกทางวาล์วด้านจ่ายยังปรากฏชัดเจน ส่วนสัญญาณอนุสติกอิมพัลส์ที่บันทึกเมื่อวาล์วด้านจ่ายเสียหายด้วยการสอดแผ่นบางให้วาล์วเปิดตลอดเวลาดังรูปที่ 5(d) ไม่ปรากฏเหตุการณ์ที่เด่นชัดใด ๆ ในสัญญาณ

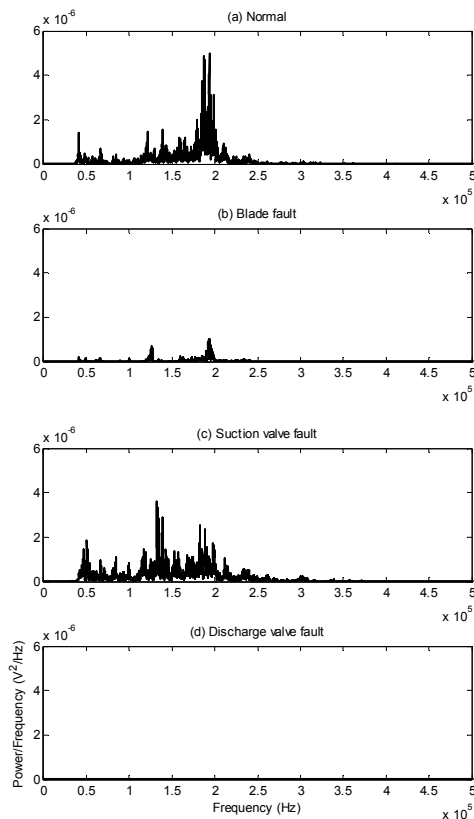
สัญญาณการสั่นสะเทือนที่บันทึกได้จากคอมเพรสเซอร์ที่เงื่อนไขการทดลองต่าง ๆ ดังรูปที่ 6 จะสามารถเห็นเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้เช่นเดียวกับสัญญาณอนุสติกอิมพัลส์ที่กล่าวมาแล้ว แต่สัญญาณรบกวนที่ความถี่ต่ำจะปรากฏเห็นได้ชัดเจนซึ่งอาจทำให้การวิเคราะห์ผิดพลาดได้นอกจากนี้สัญญาณการสั่นสะเทือนยังปรากฏเหตุการณ์ซึ่งไม่สามารถอธิบายได้ว่าเกิดจากแหล่งกำเนิดใดและมีแอมปริจูดไม่สูงนักดังรูปที่ 6(c) และ 6(d) ที่ตำแหน่งประมาณ 90 องศา



รูปที่ 6 สัญญาณการสั่นสะเทือนที่บันทึกจากคอมเพรสเซอร์แบบโรตารีที่เงื่อนไขต่าง ๆ

การวิเคราะห์สัญญาณอนุสติกอิมพัลส์ด้วยการวิเคราะห์ความถี่โดยใช้ค่า PSD ดังรูปที่ 7 พบว่าความถี่ที่เกิดขึ้นในสัญญาณอยู่ในช่วง 50kHz - 300kHz เมื่อคอมเพรสเซอร์ทำงานปกติจะปรากฏความถี่ประมาณ 200kHz อย่างชัดเจนดังรูปที่ 7(a) ส่วนความถี่อื่น ๆ จะมีขนาดต่ำกว่า กรณีของคอมเพรสเซอร์ที่ใบเสียหายทำงานดังรูปที่ 7(b) พบว่า

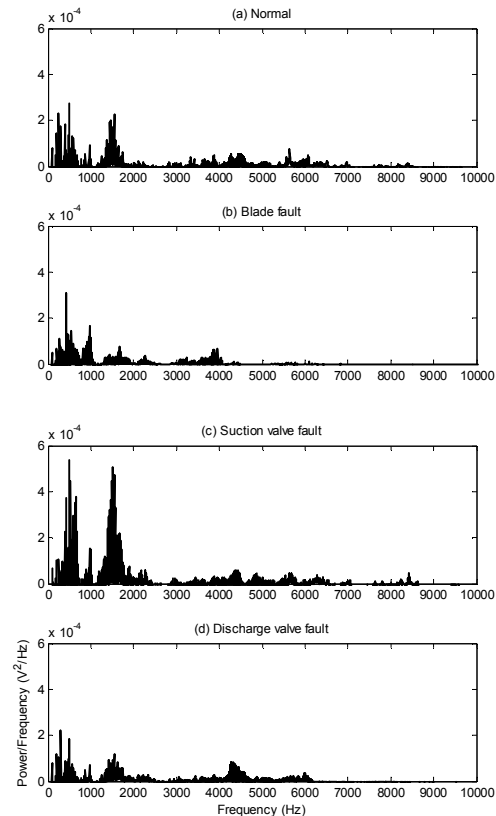
ความถี่ของสัญญาณมีขนาดลดลงมากตลอดช่วง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความถี่ประมาณ 200 kHz ลดลงอย่างเห็นได้ชัดจน เมื่อวาล์วด้านดูดผิดปกติพบว่า ความถี่ของสัญญาณอนุสติกอิมิชชันประมาณ 200 kHz ลดลงและไม่แตกต่างกับความถี่ช่วงอื่นๆ ดังรูปที่ 7(c)



รูปที่ 7 สัญญาณอนุสติกอิมิชชันที่บันทึกจาก คอมเพรสเซอร์แบบโรตารีที่เงื่อนไขต่าง ๆ

สำหรับความผิดปกติที่วาล์วด้านดูดดังรูปที่ 7(d) พบว่าขนาดแอมพลิจูดของความถี่ของสัญญาณไม่ปรากฏซึ่งก็สอดคล้องกับสัญญาณบนโดเมนเวลาที่ไม่ปรากฏสัญญาณในกรณีนี้เกิดขึ้น นอกจากนี้สิ่งที่พบเห็นจากกราฟความถี่ของสัญญาณอนุสติกอิมิชชันก็คือ สัญญาณช่วงความถี่ 200 kHz มีผลต่อสัญญาณบนโดเมนเวลาช่วงระหว่างองศาที่ 90 - 300 คาดว่าจะเป็นความถี่ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการอัดและจ่ายอากาศออกจากห้องอัดงานวิจัยที่ผ่านมา Gill และคณะ [2,3] ได้สรุปไว้ว่าสัญญาณความถี่สูงของสัญญาณอนุ

สติกอิมิชชันน่าจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการของ ๆ ไหล ที่เกิดขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษานี้



รูปที่ 8 สัญญาณการสั่นสะเทือนที่บันทึกจาก คอมเพรสเซอร์แบบโรตารีที่เงื่อนไขต่าง ๆ

การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนด้วยค่า PSD นั้นจำเป็นต้องกรองสัญญาณความถี่ต่ำที่ปรากฏเด่นชัดในสัญญาณออกไป ผลการวิเคราะห์ของสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่แสดงดังรูปที่ 8 พบว่าความถี่ของสัญญาณที่สภาวะปกติดังรูปที่ 8(a) จะปรากฏอยู่ในช่วง 200-1000 Hz, ช่วง 1200-2000 Hz และช่วงมากกว่า 3000 Hz ซึ่งสามารถสังเกตเห็นทุกเงื่อนไขของการทดลอง สำหรับกรณีที่เกิดความผิดปกติที่ใบและวาล์วด้านส่งดังรูปที่ 8(b) และ 8(d) ตามลำดับ พบว่าแอมพลิจูดช่วงความถี่ 1200 - 2000 Hz จะมีขนาดลดลงซึ่งเป็นผลเนื่องจากกระบวนการอัดและจ่ายอากาศออกจากห้องอัดลดลงส่วนกรณีความเสียหายที่วาล์วด้านดูดพบว่าความถี่ช่วง 200-1000 Hz และ ช่วง 1200-2000 Hz กลับมี

แอมปริจูดที่สูงขึ้นซึ่งแตกต่างจากผลของสัญญาณอคูสติกอิมพัลส์

5. สรุปผลการทดลอง

การตรวจสอบคอมเพรสเซอร์ด้วยสัญญาณอคูสติกอิมพัลส์ได้แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้ทำนายสภาวะของคอมเพรสเซอร์แบบโรตารีได้ สัญญาณอคูสติกอิมพัลส์ที่บันทึกจากคอมเพรสเซอร์ไม่ได้รับผลกระทบจากสัญญาณรบกวนช่วงความถี่ต่ำซึ่งพบเห็นได้ชัดเจนในสัญญาณการสั่นสะเทือน การเปลี่ยนแปลงของกระบวนการที่เกิดขึ้นในห้องอัดซึ่งเป็นผลเนื่องจากความผิดปกติของส่วนประกอบเช่นความผิดปกติของใบ วาล์วด้านดูดและด้านจ่ายก็สามารถพบเห็นความผิดปกติที่เกิดขึ้นในสัญญาณอคูสติกอิมพัลส์ทั้งบนโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

จากการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าสัญญาณอคูสติกอิมพัลส์สามารถประยุกต์เพื่อใช้ตรวจสอบสภาวะการทำงานของคอมเพรสเซอร์โรตารีได้ รวมทั้งยังสามารถพัฒนาต่อไปเพื่อนำไปใช้ตรวจสอบคุณภาพและความสมบูรณ์ของการประกอบคอมเพรสเซอร์โรตารีในที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนในสายการผลิต นอกจากนี้การพัฒนาเทคนิควิเคราะห์สัญญาณอื่น ๆ เพื่อให้สามารถนำมาใช้อธิบายกระบวนการที่เกิดขึ้นในคอมเพรสเซอร์และใช้ทำนายความผิดปกติที่เกิดขึ้นให้แม่นยำยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนายทรงพล กลิ่นชะเอมและ เจ้าหน้าที่โรงประลองฯ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครที่ได้ช่วยสนับสนุนในการพัฒนาและปรับปรุงชุดทดลองและช่วยเหลือในเรื่องการเก็บข้อมูลของการศึกษานี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] El-Ghamry M.H., Reuben R.L., and Steel, J.A. (2003). 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, pp. 805-823.

[2] Gill J.D., Douglas R.M., Neo Y.S., Reuben R.L., and Steel J.A. (2000). Examination of Plate Valve Behavior in a small Reciprocating Compressor Using Acoustic Emission, *The 24th EWGAE conference on Acoustic Emission*, France, pp. 133-138.

[3] Gill J.D., Brown E.R., Twite M., Horner G., Reuben R. L. and Steel J.A. (1998). Monitoring of a large reciprocating compressor, *Proceeding of the 11th International Conference on COMADEM, Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management*, Monash University, Australia.

[4] ทรงพล กลิ่นชะเอม และ พรชัย นิเวศน์รังสรรค์ (2007). การตรวจสอบสภาวะของคอมเพรสเซอร์ด้วยสัญญาณเสียงและสัญญาณการสั่นสะเทือน, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21*, 17-19 ตุลาคม 2550, ชลบุรี, เล่มที่ 2, DRC012, หน้า 735-740.

[5] ทรงพล กลิ่นชะเอม และ พรชัย นิเวศน์รังสรรค์ (2008). การตรวจสอบคอมเพรสเซอร์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบหลัก, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22*, 15-17 ตุลาคม 2551, ปทุมธานี, เล่มที่ 1, DRC004, หน้า 234-241.

[6] Jones R.M. (2003). Application note: CM3086 Monitoring of screw compressor bearing and rotational elements, *SKF Reliability systems*.

[7] Kim T. (1995). Feedforward neural networks for fault diagnosis and severity assessment of a screw compressor, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol.9 (5), pp. 485-496.

[8] Miller R.K. and McIntire P. (1987) *Non-Destructive Testing Handbook Vol.5 - Acoustic Emission*, American Society for Non-Destructive Testing, USA.

- [9] Nivesrangsarn P., Steel J.A. and Reuben R.L. (2007). Source location of acoustic emission in diesel engine, *Mechanical system and Signal Processing*, Vol. 21(2), pp. 1103-1114.
- [10] Holford K.M. and Carter D.C. (1999). Acoustic Emission Source Location, *Key Engineering Materials*, Vol. 167-168, pp.162-171.
- [11] Miller R.K., Pollock A.A., Watts D.J., Carlyle J.M., Tafuri A.N., and Yezzi J.J. Jr. (1999). A reference standard for the development of acoustic emission pipeline leak detection techniques, *NDT & E International*, Vol. 32(1), pp. 1-8.