



วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.

UBU Engineering Journal

บทความวิจัย

ผลกระทบของระดับแรงดันสารทำความเย็นและความเสียหายทางกลต่อสัญญาณการสั่นในเครื่องปรับอากาศ

Effects of refrigerant pressure level and mechanical failure to vibration signal on an air conditioner

ธวัช กองสี ธวัชชัย คุณะโคตร อภินันท์ อรุโสมถนอม

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

Thawach kongsee Tawatchai Kunakote Apinan Aurasopon

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University Mahasarakham 44150

Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University Mahasarakham 44150

* Corresponding author.

E-mail: tawat.kongsee@gmail.com; Telephone: 08 0749 7869

วันที่รับบทความ 1 มิถุนายน 2563; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 9 กรกฎาคม 2563; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 29 กรกฎาคม 2563

วันที่ตอบรับบทความ 17 สิงหาคม 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษารูปแบบการสั่นสะเทือนของคอมเพรสเซอร์ ในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน สำหรับหาขนาดของการสั่นสะเทือนพร้อมวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ ช่วงขณะที่คอมเพรสเซอร์ตัดและต่อการทำงาน เพื่อทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างการสั่นสะเทือนทางกล และกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ขณะที่มีสารทำความเย็นภายในระบบที่ระดับ 80 60 และ 40 psi โดยทดลองภายใต้อุณหภูมิภายในห้องเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ทำการทดลอง 3 กรณี คือ กรณีที่น้ำยาของคอมเพรสเซอร์แอร์หลุด 1 ตัว กรณีที่น้ำยาของคอมเพรสเซอร์แอร์ชั้นแน่นทุกตัว และกรณีแผ่นกรองอากาศในส่วนคอยล์เย็นสกปรก จากผลการศึกษา พบว่า ที่เงื่อนไขของการทดลอง กรณีน้ำยาของคอมเพรสเซอร์แอร์หลุด 1 ตัว ที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi แอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นในช่วง 0.037-0.047 mV/g กระแสไฟฟ้าขณะคอมเพรสเซอร์ทำงานมีค่าในช่วง 3.63-3.68 Amp ที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi แอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นในช่วง 0.020-0.026 mV/g กระแสไฟฟ้าขณะคอมเพรสเซอร์ทำงานมีค่าในช่วง 3.44-3.47 Amp ที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi แอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นในช่วง 0.020-0.023 mV/g กระแสไฟฟ้าขณะคอมเพรสเซอร์ทำงานมีค่าในช่วง 3.17-3.20 Amp ที่เงื่อนไขของการทดลองกรณีน้ำยาของคอมเพรสเซอร์ชั้นแน่นทุกตัว ที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi แอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นในช่วง 0.032-0.034 mV/g กระแสไฟฟ้าขณะคอมเพรสเซอร์ทำงานมีค่าในช่วง 3.62-3.66 Amp ที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi แอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นในช่วง 0.017-0.020 mV/g กระแสไฟฟ้าขณะคอมเพรสเซอร์ทำงานมีค่าในช่วง 3.46-3.48 Amp ที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi แอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นในช่วง 0.016-0.018 mV/g กระแสไฟฟ้าขณะคอมเพรสเซอร์ทำงานมีค่าในช่วง 3.16-3.18 Amp และที่เงื่อนไขของการทดลองกรณีแผ่นกรองอากาศในส่วนคอยล์เย็นสกปรก ที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi แอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนมีค่าเท่ากับ 0.018393 mV/g กระแสไฟฟ้าขณะคอมเพรสเซอร์ทำงานมีค่าเท่ากับ 3.88 Amp ที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi แอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนมีค่าเท่ากับ 0.015673 mV/g กระแสไฟฟ้าขณะคอมเพรสเซอร์ทำงานมีค่าเท่ากับ 3.84 Amp ที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi แอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนมีค่าเท่ากับ 0.010987 mV/g กระแสไฟฟ้าขณะคอมเพรสเซอร์ทำงานมีค่าเท่ากับ 3.65 Amp

คำสำคัญ

เครื่องปรับอากาศ คอมเพรสเซอร์ การสั่นสะเทือน ระดับสารทำความเย็น

Abstract

This research investigates the vibration of a split-type air conditioner compressor during on and off modes in order to identify the relationship between the mechanical vibration and the supplied electrical current. Under the controlled room temperature of 25°C, experiments were performed at refrigerant pressure levels of 80, 60 and 40 psi with three scenarios including (1) one bolt used to fix the compressor with the base being removed, (2) all bolts being tightened and (3) evaporator filter being loaded with dust. The results showed for the first scenario that at 80 psi refrigerant pressure the vibration amplitude occurred at 0.037-0.047 mV/g with the compressor electrical current of 3.63-3.68 Amp, whereas the amplitudes occurred at 0.020-0.026 mV/g with the current of 3.44-3.47 Amp for 60 psi and 0.020-0.023 mV/g with 3.17-3.20 Amp for 40 psi. When all bolts were firmly fixed, applying refrigerant pressure of 80 psi led to the amplitude at 0.032-0.034 mV/g in conjunction with 3.62-3.66 Amp compressor current, while the amplitudes were at 0.017-0.020 mV/g and 0.016-0.018 mV/g with the electrical currents of 3.62-3.66 Amp and 3.16-3.18 Amp for 60 and 40 psi, respectively. The final scenario of dusty filter revealed that the vibration amplitude was 0.018393 mV/g corresponding to the compressor current of 3.88 Amp for 80 psi pressure. When the refrigerant pressure was reduced to 60 psi, the vibration amplitude decreased to 0.015673 mV/g with 3.84 Amp of compressor current. Additional decrease of the pressure to 40 psi cause further reduction of the amplitude to 0.010987 mV/g with the electrical current reducing to 3.65 Amp.

Keywords

air conditioner; compressor; vibration; refrigerant level

1. บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบัน เครื่องปรับอากาศถูกนำมาใช้ในการดำรงชีวิต และใช้ในภาคอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย ดังนั้น ปัญหาในการชำรุดเสียหายของอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น นี้อุตสาหกรรมคอมเพรสเซอร์ชำรุด การรั่วซึมของสารทำความเย็นในระบบ ฯลฯ จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องดำเนินการแก้ไข จากการตรวจเช็คความเสียหายของคอมเพรสเซอร์ และการตรวจวัดระดับสารทำความเย็นในระบบที่ผ่านมา ได้ทำการถอดชิ้นส่วนต่าง ๆ เพื่อทำการตรวจหาสาเหตุข้อบกพร่องของคอมเพรสเซอร์ และการตรวจวัดระดับสารทำความเย็น โดยการใช้เกจแมนิโพลต์ในการวัดค่าความดันของสารทำความเย็นภายในระบบ ซึ่งวิธีการแก้ไขดังกล่าว อาจส่งผลทำให้ชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่าง ๆ เกิดความเสียหายในขณะปฏิบัติงานได้ ทำให้สูญเสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา และซ่อมแซมเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น [1]

การตรวจสอบความเสียหายของเครื่องจักรกล จะใช้เซ็นเซอร์ในการวัดตำแหน่งของมุมเพลาคือเหวี่ยง เพื่อใช้เป็นตำแหน่งในการอ้างอิง สำหรับใช้ระบุกระบวนการที่เกิดขึ้นตามวัฏจักรการทำงานในการเคลื่อนไหวยของลูกสูบ ส่งผลต่อการสั่นสะเทือนของโครงสร้าง [2] วิธีของการแก้ไขการ

สั่นสะเทือนส่วนใหญ่ คือ ใช้ยางรองฐานของคอมเพรสเซอร์เพื่อลดแรงสั่นสะเทือน ขณะที่คอมเพรสเซอร์ทำงาน [3] งานวิจัยส่วนใหญ่ ที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบสถานะในการทำงานของคอมเพรสเซอร์ จะใช้เซ็นเซอร์ในการวัดตำแหน่งของมุมเพลาคือเหวี่ยง และวัดขนาดของการสั่นสะเทือนของใบพัดโรเตอร์ [4] จึงทำให้สามารถระบุกระบวนการทางกลและทางของไหลในสัญญาณได้ เช่น การเปิดหรือปิดของวาล์วด้านดูด หรือด้านส่ง การเคลื่อนที่ของลูกสูบ และช่วงการทำงานของจังหวะอัด หรือจังหวะส่ง [2]

จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา เป็นการควบคุมการสั่นสะเทือนแบบเชิงโครนัส ที่เหมาะสมของแม่เหล็กเพื่อลดแรงเหวี่ยงของคอมเพรสเซอร์ [5] และทำการวิเคราะห์สัญญาณด้วยคลื่นเสียงของไมโครโฟน โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์บนโดเมนเวลา โดเมนของมุมเพลาคือเหวี่ยง และเทคนิคการวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนของคอมเพรสเซอร์ที่เงื่อนไขต่าง ๆ และวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ในสถานะการทำงานที่มีความผิดปกติ

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น ได้ทำการทดลองวัดการสั่นสะเทือนของคอมเพรสเซอร์ โดยใช้คลื่นเสียงจาก

ไมโครโฟน ซึ่งอาจส่งผลให้ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง มีความถูกต้องแม่นยำน้อย เนื่องจากอาจมีคลื่นเสียงจากภายนอกมารบกวนในขณะที่ทำการทดลอง

งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาและทำการทดลอง สภาวะการทำงานของคอมเพรสเซอร์ โดยใช้เครื่องวัดการสั่นสะเทือนติดตั้งเข้ากับตัวของคอมเพรสเซอร์ เพื่อทำการตรวจวัดการสั่นสะเทือน และส่งข้อมูลผ่านตัวรับสัญญาณ X-bee ที่ถูกใช้เชื่อมต่อเข้ากับตัวเครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วทำการประมวลผลและวิเคราะห์ผลของการสั่นสะเทือน ด้วยโปรแกรม matlab และจะแสดงผลในรูปของขนาดที่สูงที่สุด ของการสั่นสะเทือนขณะที่สารทำความเย็นภายในระบบที่ระดับต่าง ๆ และใช้โมดูลวัดกระแสไฟฟ้า ในการวัดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ ขณะที่มีการทำความเย็นภายในระบบ ที่ระดับ 80 60 และ 40 psi เพื่อทำการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบระหว่าง ขนาดของการสั่นสะเทือน (Vibration amplitude) และกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ ในขณะที่มีการทำความเย็นภายในระบบที่ระดับต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ และบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องปรับอากาศ ให้มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดี และสะดวกสบายต่อการปฏิบัติงาน อีกทั้งยังเป็นการนำเอาเทคโนโลยีใหม่ ๆ เข้ามาช่วยในการปฏิบัติงานเพื่อทำให้เกิดความสะดวกสบาย มีความแม่นยำสูง สามารถนำไปปรับใช้กับเครื่องปรับอากาศรุ่นต่าง ๆ ได้ในอนาคตต่อไป

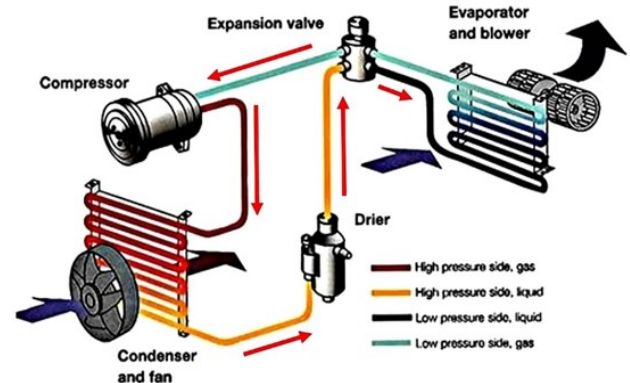
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การปรับอากาศวัตถุประสงค์หลัก คือ เพื่อต้องการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ไม่ให้ขึ้นหรือแห้งจนเกินไป และให้เป็นไปตามความต้องการของพื้นที่นั้น ๆ ในการควบคุมปริมาณการไหลเวียนของอากาศ ให้มีปริมาณที่เหมาะสมตามความต้องการ การปรับอากาศสามารถแบ่งตามวัตถุประสงค์การใช้งานได้เป็น 2 ประเภท คือ 1. การปรับอากาศเพื่อความเย็นสบาย เป็นการปรับอากาศที่มุ่งส่งเสริมความเย็นสบาย และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของผู้คน เช่น การปรับอากาศภายในบ้าน ภายในสำนักงาน ร้านอาหาร โรงเรียน โรงพยาบาล ฯลฯ 2. การปรับอากาศเพื่อการอุตสาหกรรม

เป็นการปรับอากาศเพื่อควบคุมภาวะบรรยากาศในการผลิต การทำงานวิจัย และการเก็บรักษาผลผลิตต่าง ๆ

2.1 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type)

รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยระบบนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนของเครื่องระเหย (Evaporator) ซึ่งติดตั้งอยู่ในพื้นที่ที่ต้องการปรับอากาศ และในส่วนของเครื่องควบแน่น (Condenser) โดยที่ชิ้นส่วนภายในจะมีคอมเพรสเซอร์ (Compressor) ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่อยู่ภายนอกอาคาร จะมีการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นภายในระบบ เป็นแบบการเคลื่อนที่ไป-กลับ [7] ซึ่งเป็นผลมาจากการทำงานของมอเตอร์ที่ทำการขับเคลื่อนปั๊มพัดโรเตอร์ เพื่อดูดและอัดสารทำความเย็นภายในระบบ รวมไปถึงการใช้กระแสไฟฟ้า ในสภาวะการทำงานต่าง ๆ ของคอมเพรสเซอร์ โดยระหว่าง 2 ส่วนนี้ จะมีท่อสารทำความเย็นเชื่อมต่อกัน ทำหน้าที่ในการถ่ายเทความร้อน [6]



รูปที่ 1 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน [6]

2.2 วิเคราะห์การสั่นสะเทือนทางกล

2.2.1 สัญญาณการสั่นสะเทือน

สัญญาณที่ได้จากการทดลองการสั่นสะเทือนนั้น จะอยู่ในรูปของพารามิเตอร์ คือ ขนาด ความถี่ และ เฟส สำหรับขนาดของการสั่นสะเทือนที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ การขจัด หรือ การเคลื่อนที่ สัญญาณการสั่นสะเทือนนิยมวัดได้ 2 รูปแบบ คือ บนโดเมนเวลา (Time domain) และโดเมนความถี่ (Frequency domain) การตรวจจับสัญญาณการสั่นสะเทือน

ของชุดคอยล์ร้อนนั้น จะใช้ระบบมองกลฝังตัวสำหรับการวัดขนาดของการสั่นสะเทือน โดยมีส่วนประกอบหลัก คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ (adxl 335) และโมดูลสื่อสารแบบไร้สาย x-bee pro 60mW wire antenna (x-bee series 1) ติดตั้งที่คอมเพรสเซอร์ของชุดคอยล์ร้อน แล้วส่งข้อมูลไปทำการประมวลผลโดยการเขียนคำสั่งให้กับโปรแกรม ดังแสดงในรูปที่ 2

```
axes(handles.axes3)
Z1 = plot(nan);
% axis([1 1800 0 2.5]);
axis([1 1800 0 3]);
grid on;
xlabel('Time(sec)')
ylabel('Voltage - z');

axes(handles.axes4)
Ap = plot(nan);
% axis([1 1800 0 2.5]);
% axis([1 1800 0 4]);
grid on;
xlabel('Time(sec)')
ylabel('Amplitude');
% figure(2),hold on
vt=[];
for i=1:7200
tic
ID = fgets(s)
IDP = strread(ID)
Td=IDP(1);
Vx(1)=IDP(2);
Vy(1)=IDP(3);
Vz(1)=IDP(4);
Vr(1)=sqrt(IDP(2).^2+IDP(3).^2+IDP(4).^2)
set(X1, 'ydata',Vx);
set(Y1, 'ydata',Vy);
set(Z1, 'ydata',Vz);
set(Ap, 'ydata',Vr);
drawnow
```

รูปที่ 2 โปรแกรมคำสั่งรับสัญญาณการสั่นมาวิเคราะห์

เครื่องวัดการสั่นสะเทือนจะถูกติดตั้งที่ด้านบนของคอมเพรสเซอร์ ขณะที่คอมเพรสเซอร์ตัดและต่อการทำงาน สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ได้ จะเก็บและบันทึกไว้ทั้งสามแนวแกน คือ x y และ z จากนั้นถูกส่งผ่านโมดูลสื่อสารไร้สายเป็นตัวส่งข้อมูลไปยังเครื่องรับ ที่เชื่อมต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยมีโปรแกรม matlab เป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์รูปแบบของสัญญาณการสั่นสะเทือนของระบบ ดังแสดงในรูปที่ 3

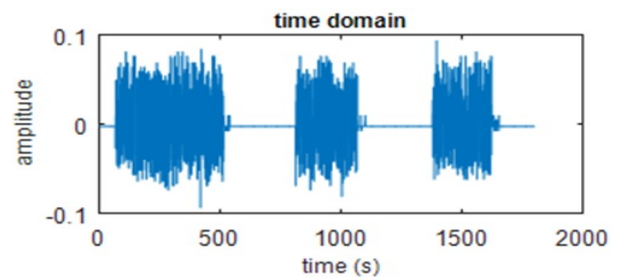
สัญญาณการสั่นสะเทือน ที่นำมาวิเคราะห์นั้น จะใช้เวกเตอร์ผลลัพธ์การสั่นสะเทือน ของทั้งสามแนวแกน ดังสมการที่ 1

$$A = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad mV/g \quad (1)$$



รูปที่ 3 ตำแหน่งติดตั้งเครื่องวัดการสั่นสะเทือน

กรณีที่เครื่องปรับอากาศทำงาน เพื่อให้ได้อุณหภูมิตามค่าที่ตั้งไว้ ขณะที่ระบบคอยล์ร้อนเกิดการทํางาน ส่งผลทำให้คอมเพรสเซอร์เกิดการสั่นสะเทือน เมื่ออุณหภูมิลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ ชุดคอยล์ร้อนก็จะหยุดทํางาน ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 4 กรณีเครื่องปรับอากาศทํางานที่อุณหภูมิ 25°C จะสามารถเห็นได้ชัด ถึงช่วงที่ชุดคอยล์ร้อนทํางานและหยุดการทํางาน



รูปที่ 4 ขนาดสัญญาณการสั่นสะเทือนของชุดคอยล์ร้อน (condensing unit) [8]

จากรูปเราสามารถนำเอาช่วงเวลา และขนาดของการสั่นขณะทำงาน และหยุดทำงานของคอมเพรสเซอร์ ในชุดคอยล์ร้อน มาวิเคราะห์เพื่อค้นหารูปแบบการสั่นของระบบ ว่าทำงานอยู่ในสภาวะสมบูรณ์ปกติ หรือเกิดข้อบกพร่องในระบบ เช่น ฟিলเตอร์คอยล์เย็นสกปรก นี้อาศัยฐานคอยล์ร้อนหลุดหรือหลวม เป็นต้น [8]

2.2.2 โดเมนความถี่

พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ความเสียหาย ที่ได้จากสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนเวลา ซึ่งมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน เช่น ระดับค่าแอมพลิจูดสูงสุด (peak) ระดับค่าแอมพลิจูดอาร์เอ็มเอส (root mean square, rms) และค่าcrestแฟคเตอร์ (crest factor) [9] จะถูกแปลงให้อยู่ในโดเมนของความถี่ (frequency domain) โดยใช้วิธีการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform : FFT) หรือที่เรียกโดยทั่วไปว่าสเปกตรัม (spectrum) ของสัญญาณ ซึ่งใช้วิเคราะห์หาขนาดของการสั่นสะเทือนโดยรวมของ fourier series โดยที่รูปร่างสเปกตรัมสามารถบ่งบอกถึงคุณลักษณะต่าง ๆ ของสัญญาณจากเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่วัดว่าระบบทำงานอยู่ในสภาวะใด การแปลงฟูเรียร์แบบเร็วคำนวณได้ดังสมการ (2) [10]

$$X(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-i\omega t} dt \quad (2)$$

โดย $X(\omega)$ คือ สัญญาณในโดเมนความถี่

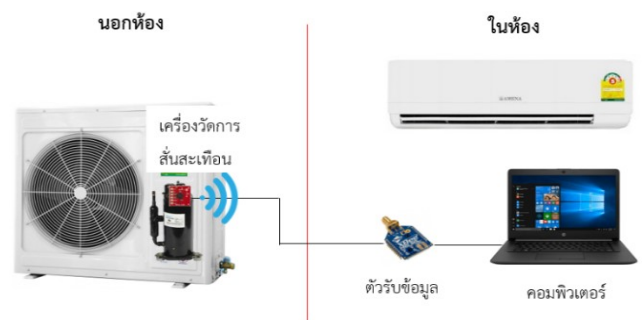
$x(t)$ คือ สัญญาณในโดเมนเวลา

ขนาดและความถี่หรือสเปกตรัมของสัญญาณการสั่นจะนำมาเป็นข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ถึงระดับสารทำความเย็นที่มีในระบบ พร้อมทั้งความบกพร่องในการทำงานเนื่องจากอุปกรณ์

3. การทดลอง

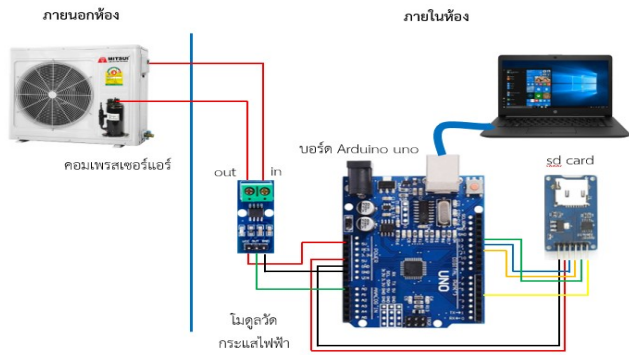
การศึกษานี้จะทำการทดลอง เพื่อวิเคราะห์หาขนาดการสั่นสะเทือน ของเครื่องปรับอากาศในส่วนคอมเพรสเซอร์ ขณะที่มีการสารทำความเย็นภายในระบบเท่ากับ 80 60 และ 40 psi เพื่อตรวจเช็คค่าสารทำความเย็นภายในระบบอยู่ในช่วงตามระดับที่กำหนดหรือไม่ เนื่องจากตามมาตรฐานกำหนดความดันของสารทำความเย็นสูงสุดในช่วง 75-80 psi ดังนั้นระดับสารทำความเย็น 80 psi หมายถึงอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi หมายถึงอยู่ในระดับปานกลาง และที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi หมายถึงอยู่ในระดับต่ำควรทำการเติมสารทำความเย็น ซึ่งเงื่อนไขในการทดลองมีดังต่อไปนี้

1. ที่ระดับสารทำความเย็นเท่ากับ 80 60 และ 40 psi ฐานน็อตคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว
2. ที่ระดับสารทำความเย็นเท่ากับ 80 60 และ 40 psi ฐานน็อตคอมเพรสเซอร์ขันแน่น 10 N.m
3. ที่ระดับสารทำความเย็นเท่ากับ 80 60 และ 40 psi กรณิแผ่นกรองอากาศในส่วนคอยล์เย็นสกปรก
4. ค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ที่เงื่อนไขการทดลองต่าง ๆ
5. อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส
6. ทำการทดลอง 3 ครั้ง ที่เงื่อนไขการทดลองกรณีน็อตหลุด 1 ตัว และกรณีน็อตขันแน่นทุกตัว ใช้เวลาในการทดลอง 90 นาที ต่อ 1 ครั้งของการทดลอง



รูปที่ 5 การทำงานของเครื่องวัดการสั่นสะเทือน

ในขณะที่เครื่องปรับอากาศเริ่มทำงาน เครื่องวัดการสั่นสะเทือน ที่ถูกติดตั้งอยู่ที่ตัวของคอมเพรสเซอร์ จะส่งสัญญาณความเร็วและความแรงของแกน x y และ z ในรูปของสัญญาณอนาล็อกมาที่ตัวรับข้อมูล ที่ถูกเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำการแปลงสัญญาณจากสัญญาณอนาล็อก ให้เป็นสัญญาณดิจิทัล และส่งข้อมูลที่บันทึกได้ ไปประมวลผลที่เครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม matlab เพื่อทำการวิเคราะห์หาค่าความถี่และขนาดโดยรวมของการสั่นสะเทือน ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 6 วงจรการทำงานของโมดูลวัดค่ากระแสไฟฟ้า

ขณะที่เครื่องปรับอากาศทำงาน โมดูลวัดกระแสไฟฟ้า ที่ถูกติดตั้งเข้ากับแผงควบคุมไฟฟ้าด้านคอยล์ร้อน จะทำการวัดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ แล้วส่งค่าไปที่บอร์ด Arduino uno เพื่อแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล และแสดงผลที่ตัวโปรแกรม arduino ผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ค่าที่วัดได้จะถูกบันทึกไว้ใน sd card เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์กระแสไฟฟ้า ที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ ในสภาวะที่ความดันของสารทำความเย็นภายในระบบ ที่ระดับต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 7 ที่สภาวะแผ่นกรองอากาศสกปรก

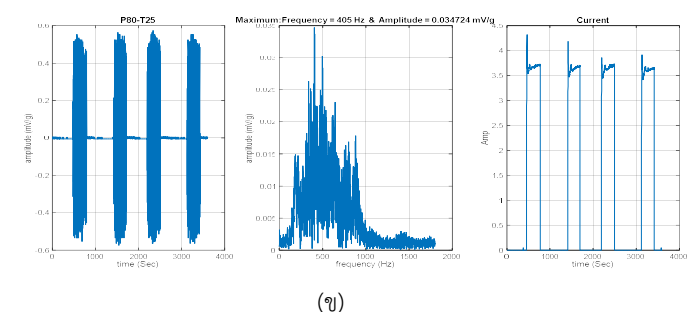
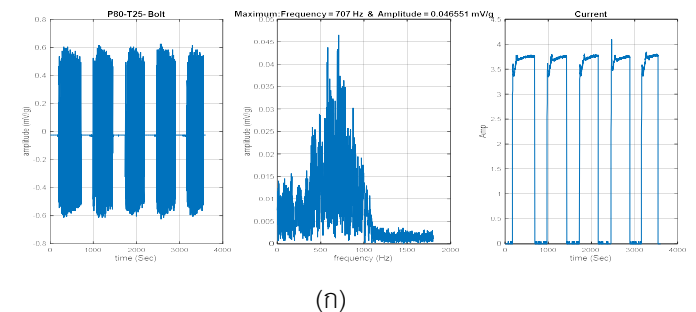
ที่เงื่อนไขของการทดลองในสภาวะที่มีสิ่งสกปรกอุดตันแผ่นกรองอากาศในส่วนของคอยล์เย็น ทำการทดลองโดยใช้ผ้าขาวบางขนาด ความกว้าง 280 มม. ความยาว 340 มม.หนา 0.028 มม. คลุมเข้ากับแผ่นกรองอากาศ เพื่อจำลองการทำงานในสภาวะที่มีฝุ่นละอองเกาะอยู่ที่แผ่นกรองอากาศเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้อากาศที่อยู่บริเวณภายในห้องเคลื่อนตัวผ่านแผ่นกรองอากาศได้น้อย ทำให้อุณหภูมิภายในห้องมีความเย็นน้อยลง และส่งผลทำให้คอมเพรสเซอร์มีสภาวะของการทำงานที่ผิดปกติ ดังแสดงในรูปที่ 7

4. ผลการทดลอง

จากผลการทดลองโดยใช้เครื่องวัดการสั่นสะเทือน ในการวัดขนาดการสั่นสะเทือนของคอมเพรสเซอร์ ขณะทีระดับสารทำความเย็นภายในระบบ เท่ากับ 80 60 และ 40 psi เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ถึงระดับของสารทำความเย็นภายในระบบว่าอยู่ในระดับที่สามารถทำงานได้หรืออยู่ในระดับที่ควรทำการเติมสารทำความเย็น โดยใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนยี่ห้อ mitsui รุ่น msft-12 ขนาด 12,100 บีทียู/ชั่วโมง พิกัดกระแสไฟฟ้า 4.44 แอมแปร์ ชนิดของสารทำความเย็น R22 ที่เงื่อนไขการทดลองต่าง ๆ พร้อมทั้งทำการวัดปริมาณของกระแสไฟฟ้า ที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ขณะตัดและต่อการทำงาน ที่สภาวะเงื่อนไขการทดลองต่าง ๆ โดยใช้โมดูลวัดกระแสไฟฟ้า เพื่อทำการบันทึกข้อมูลในการใช้กระแสไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ทุก ๆ 1 วินาที แล้วนำข้อมูลที่บันทึกได้ไปวิเคราะห์ลักษณะในการทำงาน และกรณีที่มีความผิดปกติเกิดขึ้นจากการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งจากผลการทดลองที่เงื่อนไขการทำงานต่าง ๆ ของเครื่องปรับอากาศสามารถอธิบายได้ดังนี้

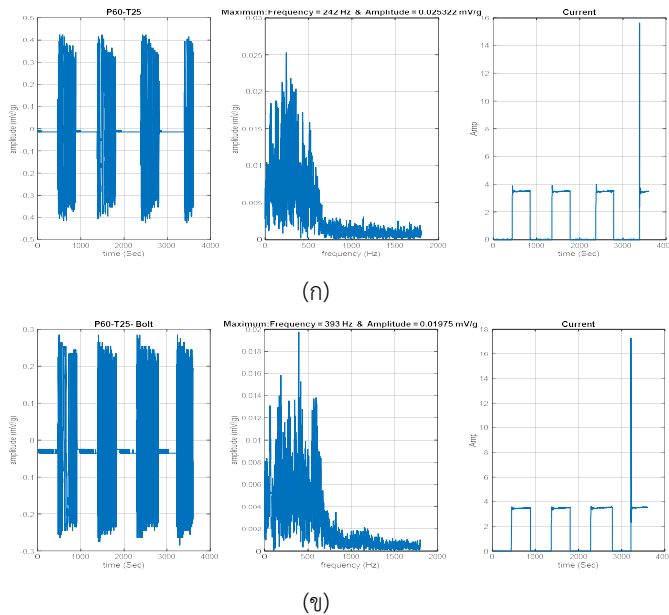
4.1 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 80 60 และ 40 psi น็อตหลุด 1 ตัว และ ฐานยึดแน่น 10 นิวตันเมตร

4.1.1 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi



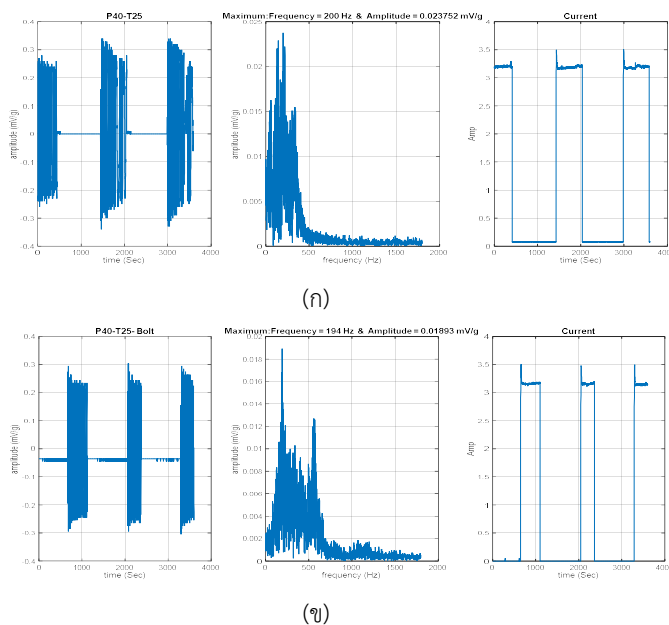
รูปที่ 8 กราฟการสั่นสะเทือนและกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในช่วงการทำงานกรณี 80 psi (ก) น็อตหลุด 1 ตัว และ (ข) ฐานยึดแน่น

4.1.2 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi



รูปที่ 9 กราฟการสั่นสะเทือนและกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในช่วงการทำงานกรณี 60 psi (ก) น็อตหลุด 1 ตัว และ (ข) ฐานยึดแน่น

4.1.3 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi



รูปที่ 10 กราฟการสั่นสะเทือนและกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในช่วงการทำงานกรณี 40 psi (ก) น็อตหลุด 1 ตัว และ (ข) ฐานยึดแน่น

จากผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 80 60 และ 40 psi ในแต่ละความดันได้ทำการทดลอง 3 ครั้ง โดยมีเงื่อนไขการทดลอง 2 เงื่อนไข รูปที่นำมาเสนอนี้ได้เลือกนำมาแสดงจากการทดลองครั้งที่ให้ค่าขนาดการสั่นที่สูงที่สุด

เช่น รูปที่ 8 (ก) การสั่นสะเทือนของคอมเพรสเซอร์ขณะทำงาน มีค่าความถี่เท่ากับ 707 Hz ขนาดการสั่นสะเทือนเท่ากับ 0.046551 mV/g กระแสไฟฟ้าขณะที่คอมเพรสเซอร์ทำงานมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.68 Amp

จากผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 80 60 และ 40 psi ที่อุณหภูมิภายในห้องเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ที่เงื่อนไขการทดลองกรณีที่น็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว พบว่า ที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi แอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นในช่วง 0.037-0.047 mV/g กระแสไฟฟ้าขณะที่คอมเพรสเซอร์ทำงานมีค่าในช่วง 3.63-3.68 Amp ที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi แอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นในช่วง 0.020-0.026 mV/g กระแสไฟฟ้าขณะที่คอมเพรสเซอร์ทำงานมีค่าในช่วง 3.44-3.47 Amp และที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi แอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นในช่วง 0.020-0.023 mV/g กระแสไฟฟ้าขณะที่คอมเพรสเซอร์ทำงานมีค่าในช่วง 3.17-3.20 Amp ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า ที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi แอมพลิจูดของการสั่นสะเทือน และกระแสไฟฟ้ามีค่าสูงกว่าที่ระดับสารทำความเย็น 60 และ 40 psi เนื่องจากปริมาณของสารทำความเย็นภายในระบบ ส่งผลต่อสภาวะการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ทำให้มอเตอร์ที่อยู่ภายในคอมเพรสเซอร์ต้องใช้กำลังเพิ่มขึ้น ในการขับเคลื่อนใบพัดโรเตอร์ให้หมุน เพื่อทำการดูดและอัดสารทำความเย็น ให้ไหลเวียนภายในระบบ จึงส่งผลให้คอมเพรสเซอร์ เกิดการสั่นสะเทือนสูง และมีการใช้กระแสไฟฟ้าสูงกว่าเงื่อนไขการทดลองที่ระดับสารทำความเย็นเท่ากับ 60 และ 40 psi ตามลำดับ ที่เงื่อนไขการทดลองกรณีที่น็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่นทุกตัว พบว่า ที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi แอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นในช่วง 0.032-0.034 mV/g กระแสไฟฟ้าขณะที่คอมเพรสเซอร์ทำงานมีค่าในช่วง 3.62-3.66 Amp ที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi แอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นในช่วง 0.017-0.020 mV/g กระแสไฟฟ้าขณะที่คอมเพรสเซอร์ทำงานมีค่าในช่วง 3.46-3.48 Amp และที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi แอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นในช่วง 0.016-0.018 mV/g กระแสไฟฟ้าขณะที่คอมเพรสเซอร์ทำงานมีค่าในช่วง 3.16-3.18 Amp เนื่องจากสภาพอากาศบริเวณภายนอกไม่คงที่ จึงส่งผลต่อสภาวะการ

ทำงานของคอมเพรสเซอร์ ทำให้ผลการทดลองซ้ำทั้ง 3 ครั้ง ที่ระดับสารทำความเย็นต่าง ๆ มีค่าการสั่นสะเทือน และกระแสไฟฟ้าที่คลาดเคลื่อน โดยรวมแล้วค่าที่วัดได้อยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนที่เงื่อนไขการทดลองกรณีนี้ของฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว มีค่าความคลาดเคลื่อนโดยรวมของแอมพลิจูดเท่ากับ 14 เปอร์เซ็นต์ และค่าความคลาดเคลื่อนโดยรวมของกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 1.6 เปอร์เซ็นต์ ที่เงื่อนไขการทดลองกรณีนี้ของฐานคอมเพรสเซอร์ชั้นแน่นทุกตัว มีค่าความคลาดเคลื่อนโดยรวมของแอมพลิจูดเท่ากับ 7 เปอร์เซ็นต์ และค่าความคลาดเคลื่อนโดยรวมของกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 0.4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากผลการทดลอง

สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์ และตรวจเช็คความบกพร่องในการทำงานของเครื่องปรับอากาศ และความเสียหายที่ฐานยึดคอมเพรสเซอร์ ขณะที่มีสารทำความเย็นภายในระบบที่ระดับต่าง ๆ รวมไปถึงการวิเคราะห์ระดับสารทำความเย็นภายในระบบ โดยใช้การวัดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ เพื่อทำนายถึงระดับสารทำความเย็นภายในระบบ และเมื่อเกิดความเสียหายที่ฐานยึด เพื่อเป็นการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องปรับอากาศ ให้มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดี รวมถึงการใช้งานที่ยาวนานต่อไป

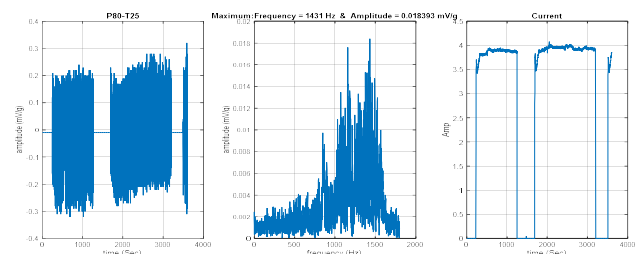
ตารางที่ 1 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 80 60 และ 40 psi นี้อุตหลุด 1 ตัว และ ฐานยึดแน่น 10 นิวตันเมตร

No.	Temp	Loose Nut			Tight base		
		ω (Hz)	A (mV/g)	Comp.on (Amp)	ω (Hz)	A (mV/g)	Comp.on (Amp)
80 psi							
1	25 °C	707	0.046551	3.68	668	0.03266	3.66
2		681	0.043023	3.68	509	0.033524	3.64
3		416	0.037275	3.64	405	0.034724	3.62
60 psi							
1	25 °C	242	0.025322	3.47	542	0.017382	3.48
2		214	0.020667	3.66	500	0.018073	3.46
3		465	0.022698	3.45	393	0.01975	3.48
40 psi							
1	25 °C	225	0.020305	3.20	377	0.017158	3.16
2		200	0.023752	3.19	486	0.016205	3.17
3		296	0.020658	3.17	194	0.01893	3.16

4.2 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 80 60 และ 40 psi กรณีแผ่นกรองอากาศสกปรก

ที่เงื่อนไขกรณีแผ่นกรองอากาศสกปรก ได้ทำการศึกษาและทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 80 60 และ 40 psi โดยที่น็อตฐานของคอมเพรสเซอร์ชั้นแน่นทุกตัว ทำการทดลอง 1 ครั้ง ที่ระดับสารทำความเย็นต่าง ๆ เพื่อศึกษาพฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงของการสั่นสะเทือน และกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้คอมเพรสเซอร์ เมื่อเทียบกับสภาวะการทำงานปกติ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า

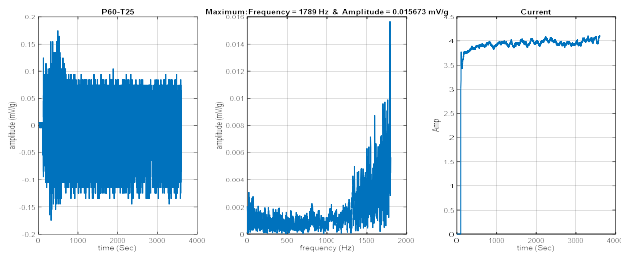
1) ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi



รูปที่ 11 ระดับสารทำความเย็น 80 psi

จากผลการทดลองรูปที่ 11 พบว่า คอมเพรสเซอร์มีการทำงานที่นานขึ้น อากาศที่อยู่ภายในห้องทำความเย็นได้ช้าลง เนื่องจากแผ่นกรองอากาศเกิดการอุดตัน ทำให้อากาศที่อยู่ภายในห้อง ไหลผ่านแผงคอยล์เย็นมีปริมาณที่ลดลง ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการทำความเย็นของคอมเพรสเซอร์ลดลง และมีการใช้กระแสไฟฟ้าเพิ่มมากยิ่งขึ้น เมื่อเทียบกับสภาวะการทำงานปกติ

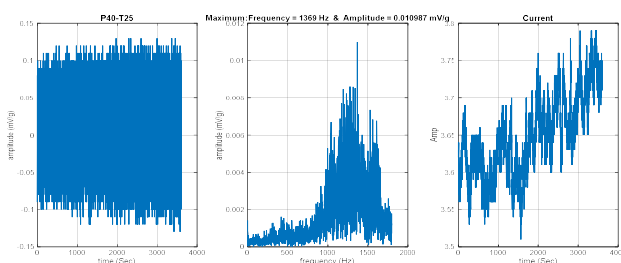
2) ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi



รูปที่ 12 ระดับสารทำความเย็น 60 psi

จากผลการทดลองรูปที่ 12 พบว่า คอมเพรสเซอร์ไม่สามารถทำความเย็นภายในห้อง ได้ตามค่าที่ตั้งไว้ เนื่องจากอุณหภูมิภายในห้องไม่ถึงค่าที่กำหนด ซึ่งเป็นสาเหตุมาจากแผ่นกรองอากาศเกิดการอุดตัน ประกอบกับสารทำความเย็นภายในระบบ มีปริมาณที่ลดลง ส่งผลให้คอมเพรสเซอร์ทำงานตลอดเวลา และมีการใช้กระแสไฟฟ้ามากขึ้นกว่าปกติ

3) ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi



รูปที่ 13 ระดับสารทำความเย็น 40 psi

จากผลการทดลองรูปที่ 13 พบว่า คอมเพรสเซอร์ไม่ตัดการทำงาน เนื่องจากการทำความเย็นภายในห้องไม่ถึงค่าที่กำหนด ซึ่งเป็นสาเหตุมาจาก แผ่นกรองอากาศในส่วนของคอยล์เย็นเกิดการอุดตัน ส่งผลให้อากาศภายในห้องเคลื่อนผ่านแผงคอยล์เย็นได้น้อย ประกอบกับสารทำความเย็นที่อยู่ในระบบมีค่าลดลง ส่งผลให้คอมเพรสเซอร์ทำงาน

ยาวนานขึ้น และกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้คอมเพรสเซอร์มีค่ามากขึ้นกว่าปกติ

ตารางที่ 3 ผลการทดลองที่ระดับสารทำความเย็น 80 60 และ 40 psi กรณีแผ่นกรองอากาศสกปรก

ความดัน psi	อุณหภูมิ ห้อง °C	ผลการสั่นสะเทือน		กระแสไฟฟ้า คอมฯ ทำงาน Amp
		ความถี่ Hz	แอมพลิจูด mV/g	
80	25	1431	0.018393	3.88
60	25	1789	0.015673	3.84
40	25	1369	0.010987	3.65

จากตารางผลการทดลอง กรณีแผ่นกรองอากาศในส่วนของคอยล์เย็นสกปรก พบว่า ที่ความดัน 80 psi ความถี่ แอมพลิจูด และกระแสไฟฟ้า มีค่าสูงกว่าที่ระดับต่าง ๆ เนื่องจากระดับของสารทำความเย็น และมีการอุดตันที่แผ่นกรองอากาศในส่วนของคอยล์เย็น จึงส่งผลต่อการทำงานของคอมเพรสเซอร์

5. สรุปผลการทดลอง

การศึกษานี้ได้ทำการทดลองหาขนาดการสั่นสะเทือนของคอมเพรสเซอร์ ในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน พร้อมทั้งวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ โดยมีเงื่อนไขการทดลอง 3 เงื่อนไข คือ กรณีน็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว กรณีน็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่นทุกตัว และกรณีแผ่นกรองอากาศสกปรก จากผลการทดลอง พบว่า ที่เงื่อนไขการทดลองกรณีน็อตฐานคอมเพรสเซอร์หลุด 1 ตัว ที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi แอมพลิจูดสูงสุดของการสั่นสะเทือนเท่ากับ 0.046551 mV/g กระแสไฟฟ้าขณะคอมเพรสเซอร์ทำงานเท่ากับ 3.68 Amp ที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi แอมพลิจูดสูงสุดของการสั่นสะเทือนเท่ากับ 0.025322 mV/g กระแสไฟฟ้าขณะคอมเพรสเซอร์ทำงานเท่ากับ 3.47 Amp ที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi แอมพลิจูดสูงสุดของการสั่นสะเทือนเท่ากับ 0.023752 mV/g กระแสไฟฟ้าขณะคอมเพรสเซอร์ทำงานเท่ากับ 3.19 Amp ที่เงื่อนไขการทดลองกรณีน็อตฐานคอมเพรสเซอร์ขันแน่นทุกตัว ที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi แอมพลิจูดสูงสุดของการสั่นสะเทือนเท่ากับ 0.034724 mV/g กระแสไฟฟ้าขณะคอมเพรสเซอร์

ทำงานเท่ากับ 3.62 Amp ที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi แอมพลิจูดสูงสุดของการสั่นสะเทือนเท่ากับ 0.01975 mV/g กระแสไฟฟ้าขณะคอมเพรสเซอร์ทำงานเท่ากับ 3.48 Amp ที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi แอมพลิจูดสูงสุดของการสั่นสะเทือนเท่ากับ 0.01893 mV/g กระแสไฟฟ้าขณะคอมเพรสเซอร์ทำงานเท่ากับ 3.16 Amp ที่เงื่อนไขการทดลองกรณีแผ่นกรองอากาศสกปรก ที่ระดับสารทำความเย็น 80 psi แอมพลิจูดสูงสุดของการสั่นสะเทือนเท่ากับ 0.018393 mV/g กระแสไฟฟ้าขณะคอมเพรสเซอร์ทำงานเท่ากับ 3.88 Amp ที่ระดับสารทำความเย็น 60 psi แอมพลิจูดสูงสุดของการสั่นสะเทือนเท่ากับ 0.015673 mV/g กระแสไฟฟ้าขณะคอมเพรสเซอร์ทำงานเท่ากับ 3.84 Amp ที่ระดับสารทำความเย็น 40 psi แอมพลิจูดสูงสุดของการสั่นสะเทือนเท่ากับ 0.010987 mV/g กระแสไฟฟ้าขณะคอมเพรสเซอร์ทำงานเท่ากับ 3.65 Amp ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ไม่มีสัญญาณรบกวนของระบบส่งและรับสัญญาณ ซึ่งสามารถสังเกตได้จากกราฟ รูปที่ 8 9 และ 10 ช่วงที่คอมเพรสเซอร์ตัดการทำงาน เส้นกราฟที่เกิดขึ้นจะเป็นเส้นตรงตามแนวนอน ซึ่งให้เห็นว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นผลของการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจริง จึงสามารถยืนยันได้ว่าผลการทดลองมีความถูกต้องและแม่นยำ

บทสรุปของผลการทดลอง เมื่อสารทำความเย็นภายในระบบมีปริมาณที่สูง ส่งผลให้การสั่นสะเทือนรวมไปถึงกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้คอมเพรสเซอร์มีค่าสูงขึ้นตาม การทำความเย็นภายในห้องจะใช้เวลาไม่นานมาก เนื่องจากปริมาณสารทำความเย็นภายในระบบ มีเพียงพอในการทำความเย็น เมื่อเทียบกับสารทำความเย็นภายในระบบมีปริมาณที่ต่ำ การสั่นสะเทือนและกระแสไฟฟ้าจะมีค่าต่ำลง คอมเพรสเซอร์ทำงานนานขึ้น ใช้กระแสไฟฟ้ายาวนานขึ้น รวมไปถึงการทำความเย็นภายในห้องจะใช้เวลานานขึ้น ซึ่งจากผลการทดลองจะสังเกตได้ว่า แอมพลิจูดและกระแสไฟฟ้าจะมีความสัมพันธ์ต่อกัน คือ เมื่อมอเตอร์ทำงานสูงขึ้นคอมเพรสเซอร์จะเกิดการสั่นสะเทือนมากขึ้น และกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตาม ซึ่งผลที่ได้จากการทดลอง สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการตรวจเช็คและวิเคราะห์ความบกพร่องของเครื่องปรับอากาศ รวมไปถึงการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องปรับอากาศ ให้สามารถใช้งานได้นาน และมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากบุคคลหลาย ๆ ท่าน ที่ได้ให้ความกรุณาช่วยเหลือรวมถึงให้ข้อเสนอแนะ คำปรึกษา ที่เป็นประโยชน์แก่ผู้จัดทำ และขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ต่าง ๆ รวมถึงสถานที่ปฏิบัติงานในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ทรงพล กลิ่นชะเอม, พรชัย นิเวศน์รังสรรค์. การตรวจสอบสถานะของคอมเพรสเซอร์ด้วยสัญญาณเสียงและสัญญาณการสั่นสะเทือน. *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21* ประจำปี 2550, 17-19 ตุลาคม 2550. ชลบุรี; 2550. หน้า 735-740.
- [2] กิตติศักดิ์ สุดดวง, พรชัย นิเวศน์รังสรรค์. การตรวจสอบสถานะของคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบอัดอากาศสองชั้นด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือน. *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 23* ประจำปี 2552, 4-7 พฤศจิกายน 2552. เชียงใหม่; 2552. DRC-013288
- [3] Rens J. Clark RE, Howe D. Vibration analysis and control of reciprocating air compressors. *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*. 2001; 15(1-4):155-162.
- [4] Zhao F, Jing X, Yang M, Wang D, Sha Y, Luan X. Experimental study of rotor blades vibration and noise in multistage high pressure compressor and their relevance. *Chinese Journal of Aeronautics*. 2019; 33(3): 870-878.
- [5] Peng C, He J, Zhu M, Deng Z, Zhen Z, Liu Q. Optimal synchronous vibration control for magnetically suspended centrifugal compressor. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2019;132: 776-789.
- [6] อภิเดช บุญเจือ. การศึกษาวิธีการลดพลังงานของคอมเพรสเซอร์เมื่อชุดคอยล์เย็นอยู่ต่ำกว่าชุดคอยล์ร้อน. [วิทยานิพนธ์]. ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2558.

มงคลชัยบุรี. 2554.

- [7] ศรายุทธ ทัพแสง. การบำรุงรักษาลิฟท์โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ [วิทยานิพนธ์]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2549.
- [8] ปิยะพงศ์ ปากว่าง, มนัสศักดิ์ วรรณสิน. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในส่วนคอมเพรสเซอร์ของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน [ปริญญาานิพนธ์]. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; 2560.
- [9] ปรัชญา นวลพลับ. การศึกษาพฤติกรรมของสัญญาณการสั่นสะเทือนกับรูปแบบการสั่นของเพื่องตรง [วิทยานิพนธ์]. กรุงเทพฯ ฯ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2550.
- [10] เอกรัตน์ สุขสุคนธ์. การศึกษาและปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณเสียงในห้องประชุม โดยใช้การแปลงฟูริเยร์แบบเร็วร่วมกับตัวกรองดิจิทัลจำกัด [วิทยานิพนธ์]. ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี; 2560.