

## ชุดปฏิบัติการถ่วงสมดุลเพลลาแข็งเกร็งด้วยโปรแกรม LabVIEW Balancing of Rigid Shaft Apparatus Using LabVIEW Program

พรชัย นิเวศน์รังสรรค์\*, และ สุรัตน์ คุ้มกระเทียม

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร  
กรุงเทพฯ 10530 โทรศัพท์: 0-2988-3655 ต่อ 3110, โทรสาร 0-2988-4040  
\*ติดต่อ: npornchai@gmail.com

### บทคัดย่อ

การเสียสมดุลของเพลลาทำให้เกิดปัญหาการสั่นสะเทือนเนื่องจากจุดศูนย์กลางของเพลลาอยู่นอกแกนของการหมุน ดังนั้นก่อนนำเพลลาไปใช้งานจึงต้องทำการสมดุล วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อออกแบบและพัฒนาชุดปฏิบัติการสมดุลพลวัตของเพลลาเพื่อใช้เป็นชุดปฏิบัติการสำหรับการสอนของนักศึกษา โดยประกอบด้วย ชุดเพลลา หัววัดการสั่นสะเทือน พร็อกซิมิตี้สวิทช์ ชุดอุปกรณ์เก็บข้อมูล คอมพิวเตอร์ และ โปรแกรม LabVIEW ชุดทดลองสามารถวิเคราะห์ปัญหาสมดุลสมดุลพลวัตด้วยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปรควบคู่ซึ่งผลการทดลองวิเคราะห์ความถี่ที่ 1xRPM พบว่าแอมพลิจูดของการสั่นลดลงมากกว่า 83%

**คำหลัก:** การถ่วงสมดุลพลวัต การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน การวิเคราะห์ความถี่ LabVIEW

### Abstract

The unbalance of shaft causes vibration because the center of gravity (C.G) of shaft is run out of the center of rotational axis, thus shaft needs to balance before operating on a machine. The purpose of the study is to design and develop the dynamic balancing machine that used for teaching in a mechanical engineering laboratory. Dynamic balancing machine is composed of shaft, accelerometer, proximity switch, data acquisition card and computer with LabVIEW program. This apparatus is able to analyze dynamic balancing problem using influence coefficient method. It is found that using frequency analysis, the amplitude at 1xRPM was decreased more than 83%.

**Keywords:** Dynamics balancing, Vibration analysis, Frequency analysis, LabVIEW

### 1. บทนำ

เครื่องจักรกลที่ขับเคลื่อนด้วยการหมุนต่าง ๆ เป็นสิ่งจำเป็นในการผลิตของอุตสาหกรรมต่าง ๆ สภาพที่สมบูรณ์ของเครื่องจักรก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ปัจจัยในการผลิตมีประสิทธิภาพ รวดเร็วและ ความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการผลิตมีจำนวนลดลง เครื่องจักรกลมีปัญหาเกิดขึ้นได้หลายอย่างเช่นการเสียศูนย์ การไม่สมดุล แบริงเสียหาย เป็นต้น แต่ปัญหาหลักคือปัญหาอันเนื่องมาจากการสั่นสะเทือน ปัญหานี้เป็นสาเหตุของเครื่องจักรไม่สามารถทำงานเต็มความสามารถ อายุการใช้งานสั้นลง

และรวมถึงอาจส่งผลเสียและเป็นอันตรายต่อผู้ใช้งาน รวมถึงบุคคลรอบข้างด้วย

การสังเกต ติดตามและตรวจสอบความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรสามารถกระทำได้ด้วยการฟัง หรือการสังเกตจากช่างผู้ชำนาญการ แต่ปัจจุบันวิธีการดังกล่าวไม่สามารถแก้ปัญหาได้ทุกปัญหา เนื่องจากเทคโนโลยีของเครื่องจักรที่ทันสมัยทำให้เครื่องจักรมีชิ้นส่วนมากขึ้น ซับซ้อนมากขึ้นและยากที่จะสังเกตและตรวจจับสิ่งผิดปกติได้ด้วยบุคคลใดบุคคลหนึ่ง ปัจจุบันเทคโนโลยีที่ก้าวหน้านี้ทำให้อุปกรณ์เกี่ยวกับ

เซนเซอร์ได้พัฒนาไปด้วยเช่นกัน ปัจจุบันเซนเซอร์มีความแม่นยำสูง ง่ายต่อการติดตั้ง สะดวกและรวดเร็วในการใช้งาน รวมไปถึงการตอบสนองที่รวดเร็วขึ้นและสามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อทำการเก็บข้อมูลและบันทึกเป็นไฟล์ไว้วิเคราะห์ต่อในภายหลัง การวิเคราะห์และประมวลผลสัญญาณสามารถทำได้ง่าย สะดวก และรวดเร็วขึ้น โดยทั่วไปปัญหาการสั่นสะเทือนเนื่องจากการหมุนมีสาเหตุมาจากจุดศูนย์กลางของวัตถุไม่ได้อยู่ที่จุดศูนย์กลางของการหมุน จึงทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางและก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบ เมื่อความถี่ของการหมุนมีค่าตรงกับความถี่กำธรรของระบบ จะทำให้ระบบเกิดการสั่นที่รุนแรงและจะทำให้เครื่องจักรเสียหายได้เมื่อพิจารณาถึงสาเหตุของการไม่สมดุลการหมุนของเครื่องจักรมีสาเหตุจากหลายประการ เช่น กระบวนการผลิตที่ไม่ได้มาตรฐาน กระบวนการผลิตที่มีความผิดพลาด การเจาะหรือเพิ่มมวลที่มีขนาดไม่เท่ากัน รวมถึงความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มขึ้นส่วนบางอย่างเข้าไปในระบบ เป็นต้น สิ่งเหล่านี้อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความไม่สมดุลขึ้นระหว่างการทำงานของเครื่องจักรกลหมุน นอกจากนี้เครื่องจักรที่ผ่านการใช้งานก็อาจเกิดความไม่สมดุลด้วย เช่น การเสียหายหรือการสึกหรอของชิ้นส่วน การเสีयरูปร่างเนื่องมาจากการเสียดสีจากการใช้งาน การมีสิ่งผิดปกติที่สะสมจากการใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่สกปรก สิ่งต่างๆ เหล่านี้อาจเป็นสาเหตุของปัญหาความไม่สมดุล ดังนั้นการติดตามและการแก้ไขปัญหาลักษณะนี้จะช่วยให้เครื่องจักรทำงานได้เต็มความสามารถ

การสมดุล แบ่งออกได้เป็นสองประเภทคือ การสมดุลสถิต (Static balance) และการสมดุลแบบพลวัต (Dynamic balance) การสมดุลสถิตเป็นการสมดุลที่มีทิศทางยาวตามแกนหมุนไม่มีผลกระทบต่อสมดุล และการสมดุลแบบพลวัตเป็นการสมดุลแบบที่ระนาบที่มีทิศทางความยาวตามแกนหมุนมีผลกระทบต่อสมดุล การสมดุลทั้งสองแบบจำเป็นต้องทราบมวลที่ไม่สมดุลและตำแหน่งที่ไม่สมดุลของระบบ การวิเคราะห์ค่าเหล่านี้สามารถทำได้โดยวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน และสัญญาณวัดรอบของการหมุน งานวิจัยนี้จะใช้หัววัดการสั่นสะเทือน (accelerometer) และ พรอกซิมีตี้เซนเซอร์เป็นตัวจับสัญญาณเพื่อส่งข้อมูลผ่าน DAQ Card ไปยังคอมพิวเตอร์ และโปรแกรม LabVIEW จะใช้เพื่อเก็บบันทึกวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล การวิจัยนี้จะ

พัฒนาชุดปฏิบัติการเพื่อใช้สำหรับการสอนวิชาปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล

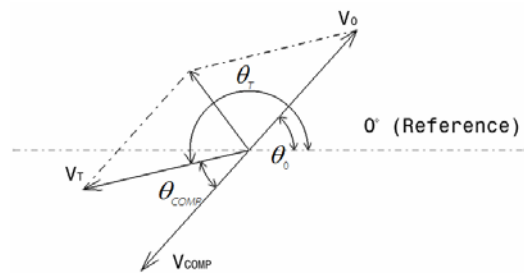
2. สมดุลพลวัตของเพลลา

เพลลาเป็นส่วนประกอบชิ้นสำคัญของเครื่องจักร การสมดุลเพลลา ก่อนนำไปใช้งานเป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากหากไม่ทำการสมดุลก่อนนำไปใช้งานอาจก่อให้เกิดปัญหาการสั่นสะเทือนเนื่องจากการหมุน เทคนิคการทำสมดุลเพลลาเป็นการทำสมดุลแบบสองระนาบ การศึกษานี้จะใช้วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปรควบคู่กับการถ่วงมวลทดสอบด้วยโปรแกรม LabVIEW ซึ่งใช้สำหรับการเก็บค่าและคำนวณขนาดมวลและตำแหน่งองศาของมวลที่จะต้องนำไปถ่วงเพื่อให้เพลลาสมดุล และค่าการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นก่อนและหลังจากทำการถ่วงสมดุลจะถูกนำไปเปรียบเทียบกัน.

2.1 พื้นฐานของการสมดุลสถิต

สมดุลสถิตเป็นสมดุลแบบระนาบเดียว [1] การสมดุลสถิตแสดงด้วยแผนภาพเวกเตอร์ดังรูปที่ 1 โดยกำหนดให้

- $M_0, \theta_0$  คือ ขนาดของมวลและมุมของมวลไม่สมดุล
- $V_0$  คือ ขนาดของเวกเตอร์การไม่สมดุลเริ่มต้น
- $M_T, \theta_T$  คือ ขนาดของมวลและมุมของมวลทดสอบ
- $V_T$  คือ ขนาดของเวกเตอร์มวลทดสอบ
- $V_{comp}$  คือ ขนาดของเวกเตอร์มวลแก้ไข
- $M_{comp}, \theta_{comp}$  คือ ขนาดและมุมของมวลแก้ไข



รูปที่ 1 เวกเตอร์ของสมดุลสถิต

เวกเตอร์  $V_0$  เป็นเวกเตอร์การไม่สมดุลเริ่มต้นของระบบซึ่งทำมุม  $\theta_0$  กับแกนอ้างอิง ส่วนเวกเตอร์  $V_T$  ที่ทำมุม  $\theta_T$  เป็นเวกเตอร์ที่วัดได้จากการทดสอบด้วยการเพิ่มมวลทดสอบที่ทราบขนาดและตำแหน่งที่ใช้ทดสอบ เมื่อทำการวิเคราะห์เวกเตอร์  $V_0$  และ  $V_T$  จะทำให้ทราบ

ขนาดของเวกเตอร์  $V_{comp}$  และมุม  $\theta_{comp}$  ซึ่งเป็นเวกเตอร์ที่ใช้คำนวณหาขนาดของมวลแก๊สและมุมที่แก๊สตั้งรูปที่ 1 ดังนั้นขนาดของมวลแก๊สคำนวณได้จากสมการที่ (1) และ มุมที่แก๊สจะคำนวณหาจากผลต่างของมุมระหว่างเวกเตอร์  $V_{comp}$  และ  $V_T$  ดังสมการที่ (2) ตามลำดับ

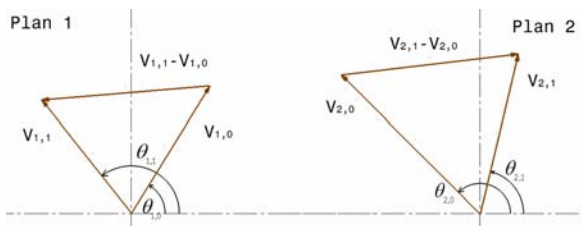
$$M_{comp} = M_o = \frac{V_o}{V_T} \times M_T \quad (1)$$

$$\theta_{comp} = -\theta_T + \theta_o + 180^\circ \quad (2)$$

ทั้งนี้มุมของมวลที่แก๊ส ( $\theta_{comp}$ ) จะวัดจากตำแหน่งของมวลทดสอบ

### 2.2 วิธีการวิเคราะห์ด้วยสัมประสิทธิ์ตัวแปรควบคู่

การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดจากสมดุลสองระนาบจะใช้ตัวเลขเชิงซ้อนเพื่อช่วยวิเคราะห์ในการแก้ปัญหาแต่อย่างไรก็ตามการนำมวลทดสอบไปติดตั้งบนระนาบใดระนาบหนึ่งจะมีผลกระทบต่อเวกเตอร์การสั่นสะเทือนของอีกระนาบควบคู่กันไปด้วย ดังนั้นเทคนิคการวิเคราะห์ปัญหาการสมดุลสองระนาบนี้จึงใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยสัมประสิทธิ์ตัวแปรควบคู่ [2-6] ซึ่งอธิบายได้ดังต่อไปนี้

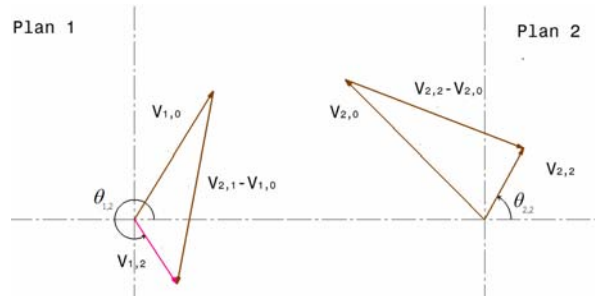


รูปที่ 2 เวกเตอร์เนื่องจากการสั่นสะเทือนเมื่อติดตั้งด้วยมวลทดสอบ  $T_1$

เวกเตอร์ของการสั่นสะเทือนในระนาบด้านซ้าย (ระนาบที่ 1) และขวา (ระนาบที่ 2) ดังรูปที่ 2 โดยกำหนดให้  $\vec{V}_{1,0}$  และ  $\vec{V}_{2,0}$  และมุมของเวกเตอร์ของการสั่นสะเทือนทั้งสองมีค่าเป็น  $\phi_{1,0}$  และ  $\phi_{2,0}$  ตามลำดับ เมื่อทำการเพิ่มมวลทดสอบ  $T_1$  ที่ตำแหน่งมุม  $\gamma_1$  ไปยังระนาบทางด้านซ้ายของเพลลา และวัดการสั่นสะเทือนของเวกเตอร์อีกครั้ง โดยกำหนดเวกเตอร์ของการสั่นสะเทือนที่วัดได้ดังนี้ เวกเตอร์ของการสั่นสะเทือนและมุมของการสั่นสะเทือนของระนาบด้านซ้ายหลังจากที่ติดตั้งมวล

ทดสอบ  $T_1$  เท่ากับ  $\vec{V}_{1,1}$  และ  $\phi_{1,1}$  ตามลำดับ ส่วนเวกเตอร์ของการสั่นสะเทือนและมุมของระนาบด้านขวา คือ  $\vec{V}_{2,1}$  และ  $\phi_{2,1}$  ตามลำดับ

จากนั้นเมื่อทำการถอดมวลทดสอบ  $T_1$  และติดตั้งมวลทดสอบ  $T_2$  ที่ตำแหน่งมุม  $\gamma_2$  ทางด้านขวาของเพลลา กำหนดให้เวกเตอร์ของการสั่นสะเทือนที่วัดได้ดังรูปที่ 3 ดังนี้ เวกเตอร์ของการสั่นสะเทือนและมุมของการสั่นสะเทือนของระนาบด้านซ้ายหลังจากที่ติดตั้งมวลทดสอบ  $T_2$  คือ  $\vec{V}_{1,2}$  และ  $\phi_{1,2}$  ตามลำดับ ส่วนเวกเตอร์ของการสั่นสะเทือนและมุมของระนาบด้านขวาคือ เป็น  $\vec{V}_{2,2}$  และ  $\phi_{2,2}$  ตามลำดับ



รูปที่ 3 เวกเตอร์เนื่องจากการสั่นสะเทือนเมื่อติดตั้งด้วยมวลทดสอบ  $T_2$

จากทฤษฎีการหาสมดุลพลวัตด้วยเทคนิคการหาค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปรควบคู่ กำหนดค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปรดังสมการข้างล่าง

$\vec{V}_{1,1} - \vec{V}_{1,0}$  คืออิทธิพลของมวล  $T_1$  บนระนาบด้านซ้าย  
 $\vec{V}_{1,2} - \vec{V}_{1,0}$  คืออิทธิพลของมวล  $T_2$  บนระนาบด้านซ้าย  
 $\vec{V}_{2,1} - \vec{V}_{2,0}$  คืออิทธิพลของมวล  $T_1$  บนระนาบด้านขวา  
 $\vec{V}_{2,2} - \vec{V}_{2,0}$  คืออิทธิพลของมวล  $T_2$  บนระนาบด้านขวา

วิธีการสมดุลพลวัตด้วยเทคนิคการหาค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปรควบคู่ มีการวิเคราะห์ตามสมการที่ (3) และ (4) เพื่อหาค่าเวกเตอร์ของมวลแก๊ส  $\vec{W}_1$  และ  $\vec{W}_2$

$$\begin{bmatrix} \vec{W}_1 \\ \vec{W}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \vec{h}_{11} & \vec{h}_{12} \\ \vec{h}_{21} & \vec{h}_{22} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \vec{V}_{10} \\ \vec{V}_{20} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} \vec{h}_{11} & \vec{h}_{12} \\ \vec{h}_{21} & \vec{h}_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \vec{V}_{11} - \vec{V}_{10} & \vec{V}_{12} - \vec{V}_{10} \\ \vec{V}_{21} - \vec{V}_{20} & \vec{V}_{22} - \vec{V}_{20} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \vec{W}_{11} & \vec{W}_{12} \\ \vec{W}_{21} & \vec{W}_{22} \end{bmatrix}^{-1} \quad (4)$$

เมื่อ

$\bar{h}_{11}, \bar{h}_{12}, \bar{h}_{21}, \bar{h}_{22}$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ตัวควบคู่

$\bar{V}_{1,0}, \bar{V}_{2,0}, \bar{V}_{1,1}, \bar{V}_{1,2}, \bar{V}_{2,1}, \bar{V}_{2,2}$  คือ เวกเตอร์ของการ

สั่นสะเทือนดังที่กล่าวข้างต้น

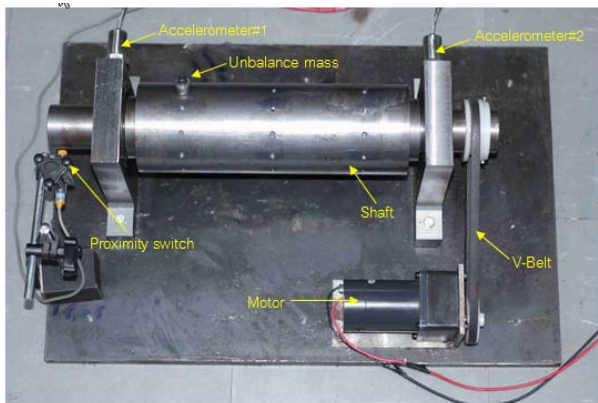
$\bar{W}_{11}, \bar{W}_{12}, \bar{W}_{21}, \bar{W}_{22}$  คือ เวกเตอร์ของมวลทดสอบ

$\bar{W}_1$  และ  $\bar{W}_2$  คือ เวกเตอร์ของมวลแก๊ซ

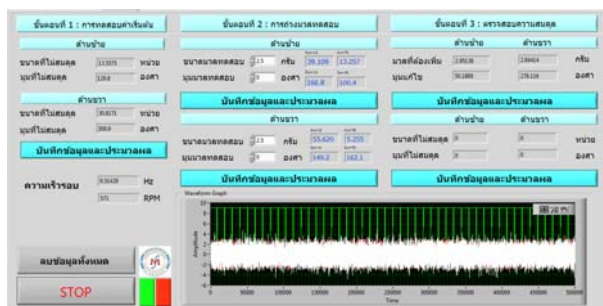
### 3. การทดลอง

#### 3.1 ชุดอุปกรณ์การทดลอง

ชุดปฏิบัติการถ่วงสมดุลเพลลาประกอบด้วย เพลากลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร หัววัดการสั่นสะเทือน พรีอิกซิมิตี้สวิทช์ ชุดปรับปรุงสัญญาณ DAQ Card และ คอมพิวเตอร์พร้อมด้วยโปรแกรม LabVIEW ชุดปฏิบัติการเครื่องถ่วงสมดุลเพลลาแสดงดังรูปที่ 4 ชุดปฏิบัติการทำการทดสอบมีความเร็วรอบประมาณ 500 รอบต่อนาที



รูปที่ 4 ชุดปฏิบัติการเครื่องถ่วงสมดุลเพลลา



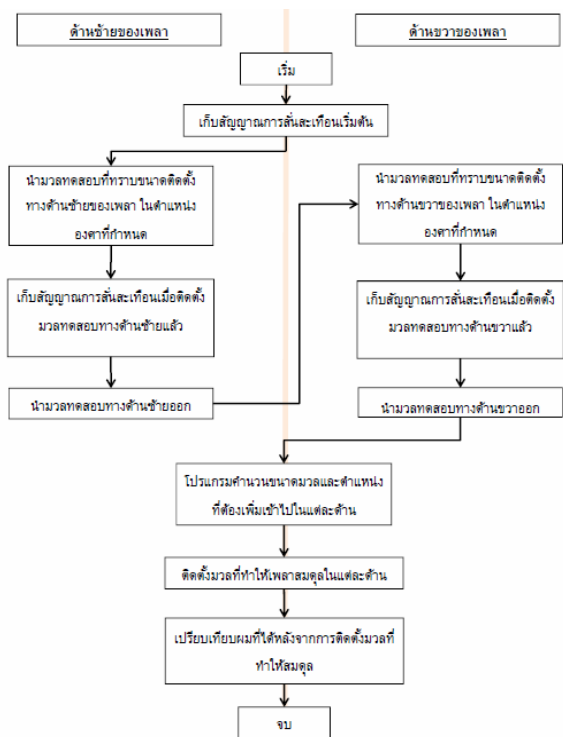
รูปที่ 5 โปรแกรมถ่วงสมดุลพลวัตของเพลลา

หัววัดการสั่นสะเทือน Monitran รุ่น MTN/1100CQ มีความไวประมาณ 100 mV/g ทั้งสองตัวจะถูกติดตั้งกับฐานของตัวชุดแบร์ริงทั้งสองข้างในแนวนอนดังรูปที่ 4 และพรีอิกซิมิตี้สวิทช์จะติดตั้งที่ปลายเพลลาด้านซ้าย โดยหัววัดการสั่นสะเทือนทั้งสองจะต่อเชื่อมกับชุดปรับปรุง

สัญญาณและปรับอัตราการขยายสัญญาณให้ขยายได้ที่ 100 เท่า สัญญาณทั้งหมดจะถูกบันทึกด้วยโปรแกรมการถ่วงสมดุลพลวัตของเพลลาที่พัฒนาขึ้นดังรูปที่ 5

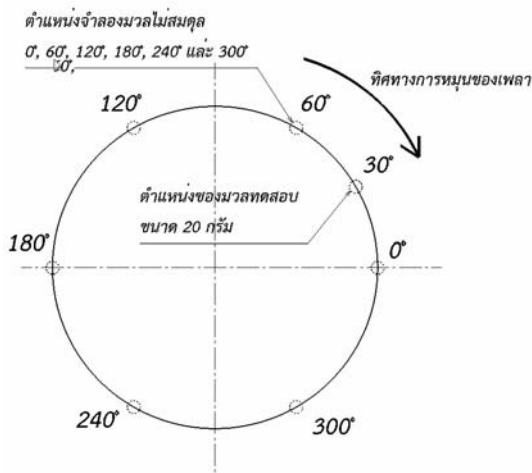
#### 3.2 ขั้นตอนการทดลอง

- ขั้นตอนของการทดลองแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน คือ
- ขั้นตอนที่ 1 การจำลองมวลไม่สมดุลเริ่มต้นให้แก่ชุดทดลอง
- ขั้นตอนที่ 2 การวัดขนาดสัญญาณการสั่นสะเทือนและมุมของสัญญาณการสั่นสะเทือน
- ขั้นตอนที่ 3 การถ่วงมวลทดสอบทางด้านซ้ายของเพลลาวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนและมุมของสัญญาณ
- ขั้นตอนที่ 4 การถ่วงมวลทดสอบทางด้านขวา (มวลสมดุลด้านซ้ายถอดออก) และทำการวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนเพื่อหาขนาดและมุมที่กระทำของเวกเตอร์ที่เกิดขึ้น
- ขั้นตอนที่ 5 การถ่วงมวลสมดุลทางด้านซ้ายและขวาด้วยขนาดและตำแหน่งที่คำนวณได้
- ขั้นตอนที่ 6 การเปรียบเทียบค่าการสั่นสะเทือนที่ได้หลังจากทำการถ่วงมวลแก๊ซ โดยกระบวนการทดลองที่กล่าวข้างต้นสามารถแสดงด้วยแผนภาพดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แผนภาพขั้นตอนการทดลอง

การทดลองการสมดุลพลวัตของเพลลาทำได้จากการจำลองความไม่สมดุลบนเพลลาด้วยมวลขนาด 20 กรัม การทดลองนี้เพลลาจะถูกขับด้วยมอเตอร์ที่ความเร็วรอบประมาณ 500 รอบต่อนาที เงื่อนไขจำลองมวลไม่สมดุลของการศึกษานี้จะใส่ก่อนมวลขนาด 20 กรัมที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนเพลลาดังนี้ 0°, 60°, 120°, 180°, 240°, 300° ตามลำดับ มวลทดสอบขนาด 20 กรัมจะถูกติดตั้งที่ตำแหน่ง 30° เพื่อหาขนาดของมวลแก้ไขของแต่ละด้านของเพลลา ตำแหน่งต่างๆ ของการจำลองมวลไม่สมดุลแสดงดังรูปที่ 8

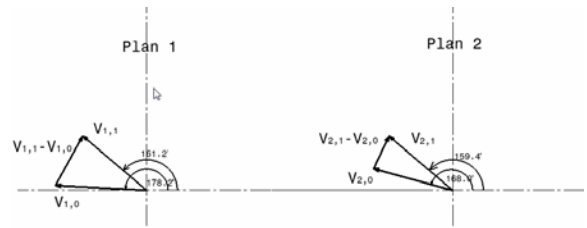


รูปที่ 8 ตำแหน่งการจำลองมวลไม่สมดุล และตำแหน่งของมวลทดสอบ

4. ผลการทดลอง

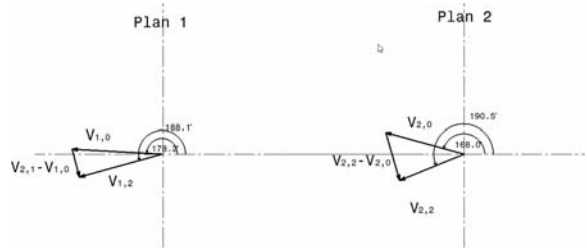
สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ได้จากการทดลองถูกนำมาใช้ประมวลผลเพื่อวิเคราะห์หาค่าขนาดและมุมของมวลแก้ไขโดยที่ตัวอย่างของผลทดลองแสดงรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

ตัวอย่างการวิเคราะห์สมดุลพลวัตของเพลลา โดยทำการจำลองมวลไม่สมดุลขนาด 20 กรัมที่ตำแหน่ง 60° ทางด้านซ้ายของเพลลา วัดสัญญาณการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นพบว่า มีขนาดของ  $\vec{V}_{1,0}$  (ด้านซ้ายของเพลลา) เท่ากับ 0.712 หน่วย ที่ตำแหน่ง  $\theta_{1,0}$  เท่ากับ 178.2° และขนาดของ  $\vec{V}_{2,0}$  (ด้านขวาของเพลลา) เท่ากับ 0.682 หน่วย ที่ตำแหน่ง 168.0° เมื่อทำการติดตั้งมวลทดสอบ  $T_1$  ขนาด 20 กรัมที่ตำแหน่ง 30° ทางด้านซ้ายของเพลลา วัดสัญญาณการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นพบว่า มีขนาดของ  $\vec{V}_{1,1}$  เท่ากับ 0.752 หน่วย ที่ตำแหน่ง 161.2° และ  $\vec{V}_{2,1}$  เท่ากับ 0.721 ที่ตำแหน่ง 159.4° แสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 เวกเตอร์ของการสั่นสะเทือนเมื่อติดตั้งมวล  $T_1$

เมื่อถอดมวล  $T_1$  ออกและทำการติดตั้งมวลทดสอบ  $T_2$  ขนาด 20 กรัมที่ตำแหน่ง 30° ทางด้านขวาของเพลลา ทำการวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนพบว่า ขนาดของ  $\vec{V}_{1,2}$  เท่ากับ 0.825 หน่วยที่ตำแหน่ง 188.1° และขนาดของ  $\vec{V}_{2,2}$  เท่ากับ 0.874 ที่ตำแหน่ง 190.5° แสดงดังรูปที่ 10 หลังจากทำการถอดมวล  $T_2$  ออกและทำการคำนวณมวลที่ต้องแก้ไข พบว่า  $\vec{W}_1$  มีขนาด 20.2 กรัมที่ตำแหน่ง 277.3° และ  $\vec{W}_2$  มีขนาด 2.4 กรัม ที่ตำแหน่ง 58°

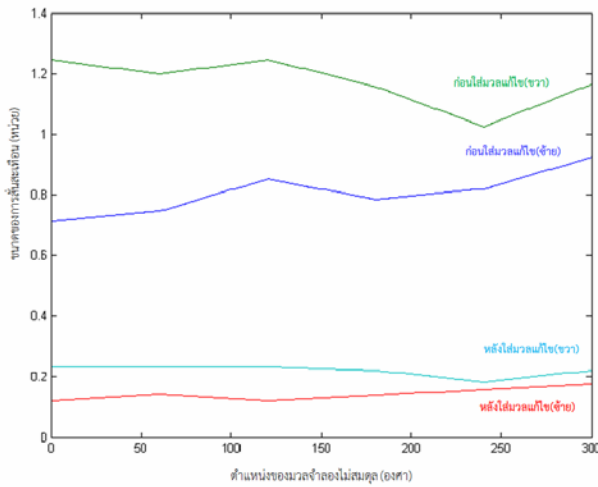


รูปที่ 10 เวกเตอร์ของการสั่นสะเทือนเมื่อติดตั้งมวล  $T_2$

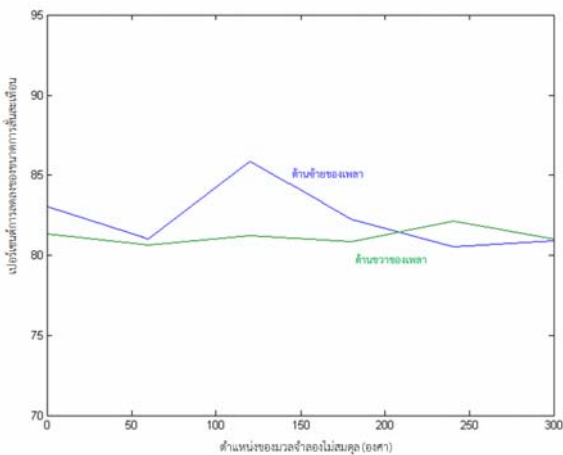
การตรวจสอบหลังจากที่ได้ทำการใส่มวลแก้ไขแล้ว กระทำโดยการวิเคราะห์ความถี่ที่ 1xRPM ของสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ตรวจวัดได้พบว่า แอมพลิจูดมีค่าลดลงเท่ากับ 0.121 และ 0.115 หน่วยที่ตำแหน่งเดิมตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดแอมพลิจูดก่อนที่ใส่มวลแก้ไขพบว่า มีขนาดลดลงถึง 83 % ซึ่งค่าแอมพลิจูดที่ลดลงในตำแหน่งการจำลองมวลไม่สมดุลที่ตำแหน่งต่าง ๆ รอบเพลลาแสดงดังรูปที่ 11

เมื่อพิจารณาขนาดของแอมพลิจูดที่ 1xRPM ของสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ และนำมาเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การลดลงของแอมพลิจูดก่อนและหลังการใส่มวลแก้ไขที่ตำแหน่งการจำลองต่าง ๆ รอบเพลลาทดสอบ ผลการเปรียบเทียบแสดงดังรูปที่ 12 ซึ่งจะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของแอมพลิจูดที่ 1xRPM ของการสั่นสะเทือนหลังจากที่ทำการใส่มวลแก้ไขบนเพลลาจำลองที่ตรวจวัดได้จากหัววัดทั้งสองตัวมีเปอร์เซ็นต์

ของแอมพลิจูดลดลงไม่ต่ำกว่า 83% ตลอดเงื่อนไขของการจำลอง



รูปที่ 11 กราฟแอมพลิจูดการสั่นสะเทือนก่อนและหลังใส่มวลแก๊ซ ณ ตำแหน่งต่างๆ บนเพลลา



รูปที่ 12. กราฟเปอร์เซ็นต์ของขนาดการสั่นสะเทือนที่ลดลงเมื่อใส่มวลแก๊ซ

### 5. สรุป

ชุดปฏิบัติการถ่วงสมดุลพลวัตของเพลลาสามารถวิเคราะห์ปัญหาการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นเนื่องจากมวลทดสอบไม่สมดุลที่เกิดขึ้นได้โดยใช้วิธีสัมประสิทธิ์ตัวแปรควบคู่ การทดสอบได้จำลองมวลไม่สมดุลตามตำแหน่งต่าง ๆ รอบเพลลาทางด้านซี่และด้านชวา และใช้โปรแกรมถ่วงสมดุลพลวัตของเพลลาที่พัฒนาด้วยโปรแกรม LabVIEW เพื่อคำนวณขนาดและตำแหน่งของมวลแก๊ซจากการทดลองพบว่า แอมพลิจูดที่ 1xRPM ของสัญญาณการสั่นสะเทือนมีค่าลดลงได้มากกว่า 83 % ทั้งสองด้าน อย่างไรก็ตามชุดปฏิบัติการนี้ยังต้องมีการปรับปรุงเพื่อ

และพัฒนาต่อไปเพื่อให้สามารถคำนวณมวลแก๊ซที่จะทำให้ขนาดของแอมพลิจูดลดลงได้มากขึ้นและแม่นยำกว่าเดิม

### 7. เอกสารอ้างอิง

[1] วราคม เนติน้อย และ พรชัย นิเวศน์รังสรรค์ (2552) “เครื่องถ่วงสมดุลสถิตด้วยโปรแกรม LabVIEW” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23, 4 – 7 พฤศจิกายน 2552 เชียงใหม่

[2] Yu, J.J. (2009). “Relationship of influence coefficients between static-couple and multi-plane methods on two-plane balancing”, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol.131, No. 1, pp. 1-11.

[3] Kang, Y., Chang, Y.P., Tseng, M.H., Tang, P.H. and Chang, Y.F. (2000). “A modified approach based on influence coefficient method for balancing coefficient method for balancing crank shafts”, Journal of Sound and Vibration, Vol. 234, No. 2, pp. 277-296.

[4] Vaughan, J. (1970-1989). “Application Notes: Static and Dynamic Balancing”, Second Edition, Brüel & Kjær.

[5] Muszynska, A. (2005). “Rotordynamics”, Taylor & Francis, CRC Press.

[6] De Silva, C. W. (1999), “Vibration: fundamentals and practice”, ISBN: 0-8493-1808-4, CRC Press.