

รูปร่างการสั่นขณะปฏิบัติงานของปล่องลมระบายความร้อน Operational Deflection Shapes (ODS) of Stack Cooling

วินัย ตุ่มทอง^{1*}, จิระพล ศรีเสรีภูผล¹, สุวัฒน์ย์ กล้าเกิดผล² และ เสกสรรค์ ไชยกิตติ³

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

² สถาบันไทย – เยอรมัน 700/1 หมู่ 1 นิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร ถ.บางนา-ตราด กม. 57 ต.คลองตำหรุ อ.เมือง จ.ชลบุรี 20000

³ BLISS SERVICE (THAILAND) CO., LTD อาคารฟอร์จูน ชั้น 26 โซนบี 1, ยูนิต #02, 1 ถนนรัชดาภิเษก ดินแดง กรุงเทพมหานคร 10400

*ติดต่อ: E-mail: all_on_one@hotmail.com, เบอร์โทรศัพท์: 087-2556750, เบอร์โทรสาร: 0-4422-4163

บทคัดย่อ

การหาความถี่ธรรมชาติและรูปร่างการสั่นของโครงสร้างขนาดใหญ่โดยใช้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์หรือเทคนิคทางโมดอล เป็นการวิเคราะห์ ออกแบบโครงสร้าง ซึ่งจำเป็นต้องใช้ตัววัดความเร่งจำนวนมากเพื่อวัดค่าในตำแหน่งที่สนใจและแสดงการเคลื่อนที่ของโครงสร้าง บทความนี้ได้นำเสนอเทคนิคการหารูปร่างการสั่นขณะปฏิบัติงาน ในการวิเคราะห์การสั่นและแสดงรูปร่างการสั่นของปล่องลมระบายความร้อนขนาดใหญ่ในขณะปฏิบัติงาน โดยใช้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ร่วมกับข้อมูลจากการวัดที่ใช้ตัววัดความเร่งเพียง 4 ตัวเท่านั้น

คำหลัก: การวิเคราะห์การสั่น, รูปร่างการสั่นขณะปฏิบัติงาน, ปล่องลมระบายความร้อน

Abstract

The natural frequency and mode shape of the large structural using Finite Element Method or Modal technique is to analysis, design structure which is necessary to more accelerometer for measurement at interested position and indicating the movement of structure. This paper presents an Operational Deflection Shapes (ODS) technique to analysis and demonstrating the mode shape of large stack cooling in operating speed using finite element analysis with measurement data only 4 accelerometers.

Keywords: Vibration Analysis, Operational Deflection Shape (ODS), Stack Cooling

1. บทนำ

โดยส่วนใหญ่ปัญหาการสั่นของโครงสร้างเกิดจากความถี่ของแรงกระทำจากภายนอกตรงกับความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างทำให้เกิดการสั่นพ้อง การวิเคราะห์หาความถี่ธรรมชาติและรูปร่างโหมดการสั่นเป็นสิ่งสำคัญต่อการวิเคราะห์ และออกแบบโครงสร้างเพื่อหลีกเลี่ยงการสั่นพ้อง โดยทั่วไปการวิเคราะห์เพื่อหารูปร่างการสั่น มี 2 วิธี คือ

การทดสอบแบบโมดอล (Modal testing) เป็นเทคนิคในการหาคุณลักษณะเฉพาะของโครงสร้าง คือความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency) และรูปร่างโหมดการสั่น (Mode shape) ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางธรรมชาติของโครงสร้างและจะไม่เปลี่ยนแปลงจนกว่า

คุณสมบัติทางกายภาพ (มวล, ค่าความแข็งของสปริง และค่าความหน่วง) หรือเงื่อนไขขอบเขตมีการเปลี่ยนแปลง รูปร่างโหมดการสั่นเป็นการแสดงการเคลื่อนที่ของตำแหน่งบนโครงสร้างที่ความถี่ที่เราสนใจ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างเบื้องต้น เมื่อนำโครงสร้างนั้นไปประกอบกับส่วนอื่นๆ เช่น พัดลม มอเตอร์ เป็นต้น ลักษณะการสั่นที่เกิดขึ้นจะมีการเปลี่ยนแปลงไปจากการออกแบบเบื้องต้น เพราะมีแรงที่กระทำจากภายนอก และการประกอบโครงสร้างเข้ากับเครื่องจักรทำให้เงื่อนไขขอบเขตเปลี่ยนแปลง ดังนั้นบทความนี้ได้นำเสนอเทคนิคการหารูปร่างการสั่นขณะปฏิบัติงาน (Operational Deflection Shapes, ODS) การหารูปร่างการสั่นขณะปฏิบัติงานเป็น

การหารูปร่างการสั่น โดยการวัดค่าการสั่นที่สถานะคงตัว หรือที่ความเร็วรอบใช้งาน (Operating speed) ทำให้ทราบรูปร่างการสั่นขณะปฏิบัติงานที่เป็นปัญหาการสั่นที่เกิดขึ้นในขณะนั้นได้ การประยุกต์ใช้เทคนิคการหารูปร่างการสั่นขณะปฏิบัติงานในการวิเคราะห์การสั่นและแสดงรูปร่างการสั่นของปล่องลมระบายความร้อนขนาดใหญ่ ในขณะที่ปฏิบัติงาน โดยใช้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ร่วมกับข้อมูลจากการวัด ปล่องลมระบายความร้อน คือ โครงสร้างของปล่องลมที่อยู่บนหอคอยทำความเย็น (Cooling tower) ซึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ จะใช้หอคอยทำความเย็นแบบอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งจะติดตั้งปล่องลมระบายความร้อนหลายตัวบนโครงสร้างเดียวกัน ซึ่งในโรงงานที่ได้เข้าไปทดลองมีปล่องลมระบายความร้อนทั้งหมด 8 ตัว เรียงตามตัวอักษร A - H ปัญหาที่พบคือ การสั่นอย่างรุนแรงของปล่องลมระบายความร้อนตัวที่ C และตัวที่ H เมื่อมีการปรับเปลี่ยนมุมองศาของใบพัด เพื่อให้เป็นการประหยัดพลังงานและได้กำลังการผลิตสูงสุด

ในการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้เทคนิคการหารูปร่างการสั่นขณะปฏิบัติงาน ได้มีบทความงานวิจัยที่ศึกษาและวิเคราะห์รูปร่างการสั่น โดย Tony DeMatteo [1] ได้นำเสนอการแก้ปัญหาเรโซแนนซ์ของปั๊มแนวแกนตั้ง (Vertical pump case history) ด้วยเทคนิค ในการหาแหล่งกำเนิดการสั่นสะเทือน (Source of vibration) และแก้ปัญหาด้วยวิธีการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ B. Schwarz[2] ได้นำเสนอ “ความต้องการการวัดสำหรับการแสดงผล ODS” โดยใช้เทคนิคต่าง ๆ เช่น Transmissibility, Auto spectrum, and Cross spectrum เพื่อยืนยันขนาดการสั่นและมุมเฟสของการแสดงผลของ ODS นั้นเป็นการเคลื่อนที่ที่ผิวอาจอยู่ในรูปของการกระจัด ความเร็วหรือความเร่งก็ได้ Surendra N.[3-4] ได้นำเสนอการใช้ ODS ในการตรวจสอบ Misalignment และ Unbalance ในอุปกรณ์หมุน โดยใช้ค่า MAC (Modal Assurance Criterion) เป็นตัวกำหนด ค่า MAC มีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1 ถ้าค่ามากกว่า 0.9 แสดงว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง และถ้าน้อยกว่า 0.9 แสดงว่าเกิดการเปลี่ยนแปลง

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

การหารูปร่างการสั่นด้วยเทคนิคการหารูปร่างการสั่นขณะปฏิบัติงาน (ODS) มีขั้นตอนดังนี้

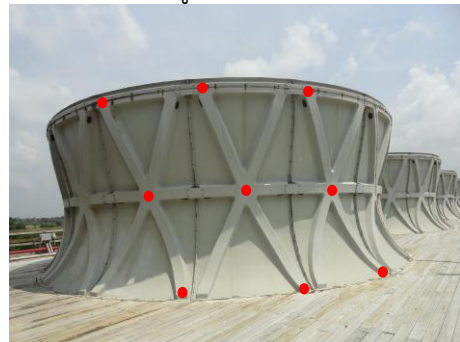
2.1. ข้อมูลเบื้องต้นของปล่องลมระบายความร้อน

- โครงสร้างฐานทั้งหมดทำมาจากไม้
- ตัวปล่องลมระบายความร้อนทำมาจากวัสดุผสม มีทั้งหมด 16 แผ่นประกบกัน โดยยึดด้วยสกรู และมียางกันระหว่างกลาง เส้นผ่านศูนย์กลางที่ปลายปล่อง 11 เมตร และที่ตรงกลางปล่องมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เมตร สูง 4.19 เมตร ยึดกับโครงสร้างฐานด้วยสกรู
- พัดลมติดตั้งตรงกลางของปล่อง และมีใบพัดจำนวน 8 ใบ
- ความเร็วรอบพัดลม 2 Hz โดยประมาณ
- มอเตอร์อยู่ด้านนอกต่อผ่านเพลาลงและลดรอบของมอเตอร์ ด้วยอัตราทดเกียร์ 12.93:1
- ความเร็วรอบมอเตอร์ 25 Hz โดยประมาณ
- ความถี่ผ่านของใบพัด (Blade Pass Frequency, BPF) 15 Hz โดยประมาณ

2.2. สร้างแบบจำลองของปล่องลมระบายความร้อน

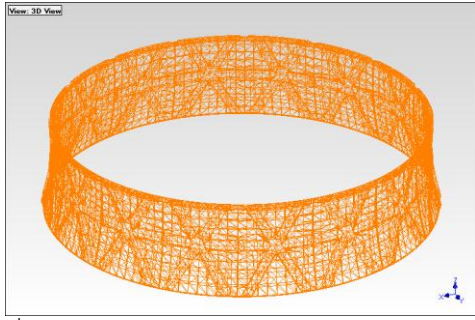
ในการหารูปร่างการสั่นสะเทือนด้วยวิธี ODS จำเป็นต้องมีแบบจำลอง เพราะ ODS สามารถแสดงรูปร่างการสั่นที่เกิดขึ้นเป็นภาพเคลื่อนไหวได้ โดยใช้ร่วมกับโปรแกรม ME'scope VES

สำหรับบทความนี้ได้สร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Solidworks และบันทึกไฟล์เป็นชนิด *.STL เราจำเป็นต้องกำหนดจุดที่เป็นตำแหน่งการวัดก่อนแล้วจึงสร้างเอลิเมนต์ โปรแกรมจะสร้างเอลิเมนต์ที่เป็นรูปสามเหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 1-2



รูปที่ 1 ปล่องลมระบายความร้อนและตำแหน่งการวัด

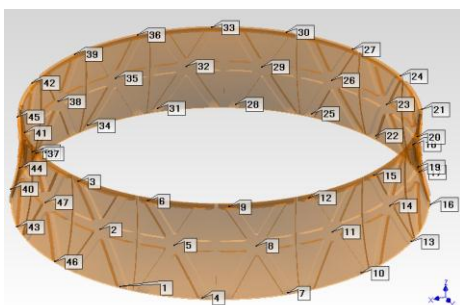
* จุดสีแดง แสดงตำแหน่งในการติดเซนเซอร์



รูปที่ 2 แบบจำลองของปล่องลมระบายความร้อนในโปรแกรม ME'scope VES

2.3. การวัดการสั่น

ในการแสดงผลของ ODS จะแสดงขนาดการสั่นและมุมเฟสที่ตำแหน่งต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งในการทดลองนี้ได้กำหนดจุดวัดทั้งหมด 48 จุด เนื่องจากตัวปล่องลมระบายความร้อนมีขนาดใหญ่และทำมาจากวัสดุผสมไม่สามารถติดกับตัววัดความเร่งที่มีหัวติดแบบแม่เหล็กได้ จึงต้องใช้แหวนรองติดกับกาวอีพ็อกซี่ ซึ่งทำให้เสียเวลาในการเก็บข้อมูล ในการเก็บข้อมูลเราใช้ตัววัดความเร่งทั้งหมด 4 ตัว โดยตัววัดความเร่งหนึ่งตัวจะวัดที่ตำแหน่งที่ 2 และกำหนดตำแหน่งนี้เป็นจุดอ้างอิงของการเก็บข้อมูลทั้งหมด ดังนั้นจะติดตัววัดความเร่งไว้ที่ตำแหน่งนี้ตลอดเวลา ส่วนตัววัดความเร่ง อีก 3 ตัวที่เหลือเคลื่อนย้ายไปตำแหน่งต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยการวัดจะวัดครั้งละ 3 จุดพร้อมกัน ทำการวัดค่าในแนวรัศมีของปล่องลมระบายความร้อน



รูปที่ 3 กำหนดจุดวัดให้กับแบบจำลอง

2.4. การกำหนดค่าการเก็บข้อมูล

ในการวิเคราะห์การสั่นของปล่องลมระบายความร้อนเราสนใจในช่วงความถี่ 0 – 50 Hz ดังนั้นการเก็บค่าที่วัด เราได้ใช้โปรแกรม eZ-analyze ของ Dynamic Signal Analyzers IO tech โดยมีการกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้

- Analysis Frequency : 100 Hz
- Spectral lines : 400
- Nyquist Factor : 2.56
- Averaging : Linear(+) ,30 average

2.4. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

เทคนิคการหารูปร่างการสั่นในขณะปฏิบัติงานจะใช้ Dynamic Signal Analyzers IO tech 655u ขนาด 10 ช่องสัญญาณเป็นอุปกรณ์ในการเก็บค่าการสั่นที่วัดได้จากตัววัดความเร่ง ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 IO tech 655u

อุปกรณ์ตัววัดความเร่ง (Accelerometer Sensor) ของบริษัท CSI รุ่น A0760GP จำนวน 4 ตัว โดยตัวจับยึดเป็นชนิดแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 5

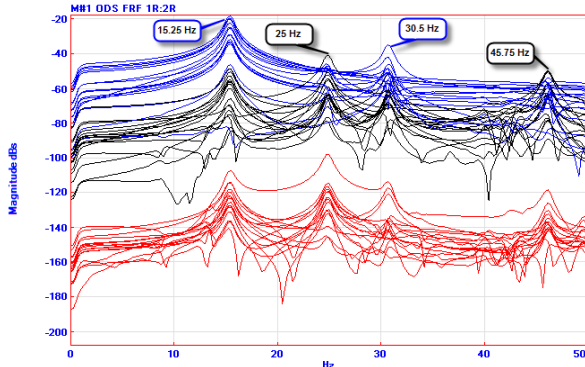


รูปที่ 5 อุปกรณ์ตัววัดความเร่ง รุ่น A0760GP

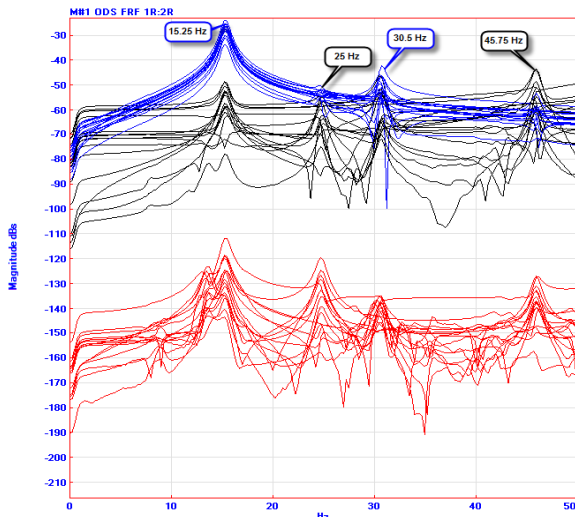
3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ในการทดลองได้ทำการวัดค่าความเร่งของปล่องลมระบายความร้อนทั้งหมด 3 ตัว คือ ตัวที่ C และ ตัวที่ H (เกิดการสั่นรุนแรง) ตัวที่ B (ไม่เกิดการสั่น) จากผลการวัดที่ได้นำมาแสดงผลในรูปของฟังก์ชันการตอบสนองเชิงความถี่(Frequency Response Function, FRF) ในช่วงความถี่ 0-50 Hz พบว่า ตัวที่ C และตัวที่ H มีขนาดการสั่นที่มากที่สุดความถี่ตรงกับความถี่ของมอเตอร์พัดลมและความถี่ผ่านของใบพัด ดังแสดงในรูปที่ 6 – 7 ในส่วนของตัวที่ B พบความถี่ในตำแหน่งเดียวกันแต่มีขนาดการสั่นน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวที่ C และตัวที่ H ดังแสดง

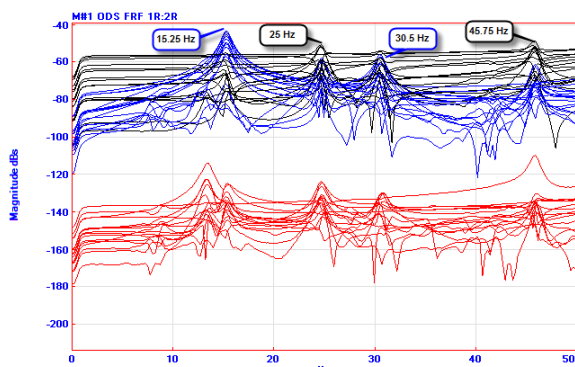
ในรูปที่ 8 โดยเส้นสีน้ำเงินแสดงขนาดการสั่นของจุดวัดที่ขอบบนของปล่องลมระบายความร้อน เส้นสีดำแสดงขนาดการสั่นของจุดวัดที่ตรงกลางของปล่องลมระบายความร้อน และเส้นสีแดงแสดงขนาดการสั่นของจุดวัดที่ฐานของปล่องลมระบายความร้อน จากกราฟจะเห็นว่าการสั่นที่ขอบบนของปล่องจะมีการสั่นมากกว่าที่ฐาน



รูปที่ 6 FRFของปล่องลมระบายความร้อนตัวที่ H



รูปที่ 7 FRF ของปล่องลมระบายความร้อนตัวที่ C



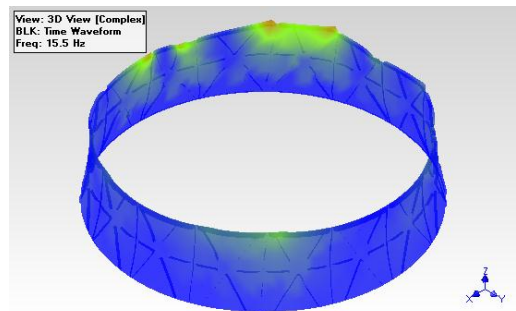
รูปที่ 8 FRF ของปล่องลมระบายความร้อนตัวที่ B ผลการวัดการสั่นของมอเตอร์พัดลมในขณะที่ปฏิบัติงานที่ 25 Hz ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขนาดการสั่นของมอเตอร์ที่ความถี่ใช้งาน

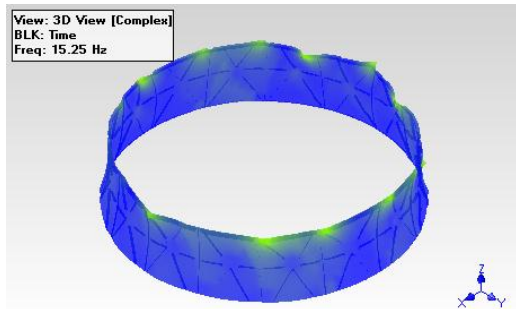
Stack	Direction	Frequency (Hz)	Amplitude (g RMS)
C	H	25	0.0862
	V	25	0.0608
H	H	25	0.1389
	V	25	0.0965

*หมายเหตุ H=Horizontal, V=Vertical

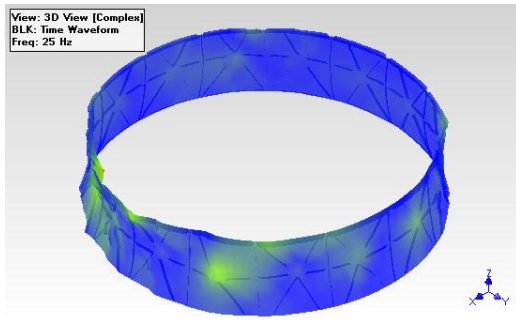
เมื่อนำข้อมูลที่ความถี่ผ่านของไบพัต (BPF) มาแสดงร่วมกับโปรแกรม ME'scope VES เราจะได้รูปร่างการสั่นของปล่องลมระบายความร้อนตัวที่ C และ H ที่ความถี่ 15 โดยประมาณ ดังแสดงในรูปที่ 9 -10 และเมื่อพิจารณาความถี่เดียวกับมอเตอร์ที่ 25 Hz โดยประมาณ ดังแสดงในรูปที่ 11 - 12



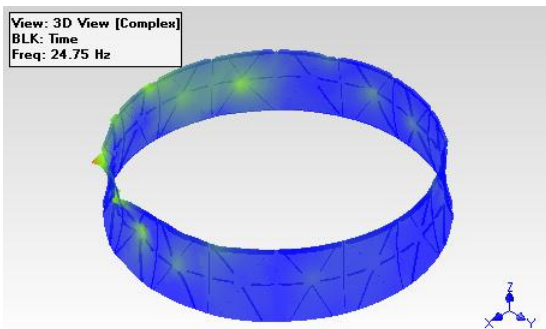
รูปที่ 9 รูปร่างการสั่นของปล่องลมระบายความร้อนตัวที่ H ที่ $f = 15.5$ Hz



รูปที่ 10 รูปร่างการสั่นของปล่องลมระบายความร้อนตัวที่ C ที่ $f = 15.25$ Hz



รูปที่ 11 รูปร่างการสั่นของปล่องลมระบายความร้อนตัวที่ H ที่ $f=25$ Hz



รูปที่ 12 รูปร่างการสั่นของปล่องลมระบายความร้อนตัวที่ C ที่ $f=24.75$ Hz

4. สรุปผล

ผลการทดลองวัดและวิเคราะห์โดยวิธี ODS ได้แสดงรูปร่างการสั่นของปล่องลมระบายความร้อนที่ตัว C และ H ที่เกิดขึ้น ซึ่งเราพบว่าการสั่นที่มีขนาดใหญ่จะเกิดขึ้นที่ความถี่ผ่านไบพัต (BPF) ที่ 15 Hz และฮาร์มอนิกส์ของความถี่ผ่านไบพัตที่ 30 Hz และ 45 Hz โดยประมาณ และที่ความถี่เดียวกับความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ 25 Hz โดยประมาณ โดยรูปร่างการสั่นที่ทราบนั้น สามารถนำไปเป็นข้อมูลในการแก้ไขโครงสร้าง จุดจับยึด หรือลดการสั่นจากแหล่งกำเนิดของแรงที่กระทำของไบพัต และมอเตอร์ ต่อไปได้ เทคนิควิธี ODS เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์การสั่นของโครงสร้างขนาดใหญ่ขณะปฏิบัติงานได้ โดยใช้ตัววัดความเร่งเพียง 4 ตัวเท่านั้น

5. ข้อเสนอแนะ

ในการวิเคราะห์การสั่นของโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่ นั้น การกำหนดจุดวัด และการติดตั้งระยะห่างระหว่างตัววัดความเร่งส่งผลต่อรูปร่างการสั่นที่ได้ และการแก้ปัญหาการสั่นนั้น ควรจะค้นหาและลดการสั่นของแหล่งกำเนิดการสั่นที่กระทำต่อโครงสร้างด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

“โครงการวิจัยนี้ ได้รับทุนสนับสนุนจากศูนย์วิจัยร่วม เฉพาะทางด้านส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ”

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] DeMatteo, T. (2001), Operational Deflection Shape and Modal Analysis Testing To Solve Resonance Problems, ODS & Modal, CSI RBM University 2001.
- [2] Schwarz, B. and Richardson, M.H.(2004). Measurements Required for Displaying Operating Deflection Shapes, Proceedings of IMAC XXII, January 26, 2004.
- [3] Surendra, N. G, Li Zhuang, and Richardson, M.H.(2008). Using Operating Deflection Shapes to Detect Shaft Misalignment in Rotating Equipment, Proceedings of International Modal Analysis Conference (IMAC XXVI), February, 2008.
- [4] Surendra, N. G, Schwarz, B. and Richardson, M.H.(2009). Using Operating Deflection Shapes to Detect Unbalance in Rotating Equipment, Proceedings of International Modal Analysis Conference (IMAC XXVII), February, 2009.
- [5] Schwarz, B. and Richardson, M.H.(1999), Experiment Modal Analysis, Proceedings of CSI Reliability Week, October, 1999.
- [6] Richardson, M.H.(1997), Is It a Mode Shape or an Operating Deflection Shape?, Sound and Vibration magazine, March, 1997.
- [7] Daniel J. Inman (2008). *Engineering Vibrations*, 3rd edition, Pearson International Edition.
- [8] Singiresu S. (2004). *Mechanical Vibrations*, SI edition, Pearson Prentice Hall.