

รายงานผลการวิเคราะห์สภาพเครื่องจักรด้วยการตรวจวัดความสั่นสะเทือน  
สำหรับ บริษัท ทีดีซี สตีลกรุ๊ป จำกัด

นำเสนอต่อ

สำนักงานทะเบียนเครื่องจักรกลาง กรมโรงงานอุตสาหกรรมและ บริษัท ทีดีซี สตีลกรุ๊ป จำกัด  
เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2550



ตรวจวัดและวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนโดย

นายสมพงษ์ วงศ์คำเขียว วิศวกรตรวจสอบสภาพเครื่องจักร บจ. อั้งเส็งฮวดวิศวกรรมท์

จัดทำรายงานโดย

นายสาธิต ตูลายากรณ์โชติ ประธานงานฝ่ายขาย บจ. อั้งเส็งฮวดวิศวกรรมท์

โครงการนี้เป็นความร่วมมือ 3 ฝ่าย ระหว่างสำนักงานทะเบียนเครื่องจักรกลาง กรมโรงงานอุตสาหกรรม บริษัท อั้งเส็งฮวด  
วิศวกรรมท์ จำกัด (SKF Certified Maintenance Partner) และบริษัท เอสเคเอฟ ประเทศไทย จำกัด

## สารบัญ

หน้า

1) บทนำ	3
2) ประโยชน์ของการตรวจสอบสภาพเครื่องจักรด้วยการวัดความสั่นสะเทือนอย่างสม่ำเสมอ	4
3) ความเป็นมาของบริษัทฯ ที่เข้าร่วมโครงการ	5
4) ประวัติของเครื่องจักรที่ทำการตรวจสอบสภาพ	6 - 7
5) ขอบข่ายและเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบสภาพและวิเคราะห์	8 - 9
6) การกำหนดระดับความสำคัญและความเร่งด่วน	10
7) การกำหนดขอบเขตการวัด	11 - 12
8) สรุปผลการวิเคราะห์	13
9) รายละเอียดผลการวิเคราะห์	14 - 28
10) เอกสารอ้างอิง	
ตารางที่ 1: ตารางค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็ว (velocity) ตามมาตรฐาน ISO 10816-1	29
ตารางที่ 2: ตารางค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่ง (acceleration enveloping) ตามมาตรฐาน SKF	30

## บทนำ

โครงการ การตรวจสอบสภาพเครื่องจักรนำร่องจำนวน 5 แห่งนี้ เป็นโครงการความร่วมมือระหว่าง สำนักงานทะเบียนเครื่องจักรกลาง กรมโรงงานอุตสาหกรรมและบริษัท อังเส็งฮวดวิศวกรรม จำกัด ในฐานะที่เป็นผู้จัดหาเครื่องมือตรวจวิเคราะห์สภาพเครื่องจักรระดับสูงให้แก่กรมโรงงานอุตสาหกรรมในปี พ.ศ. 2549 โดยการสนับสนุนทางเทคนิคจากบริษัท เอสเคเอฟ ประเทศไทย จำกัด

### จุดประสงค์หลักของโครงการนี้ ได้แก่

- แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพและประโยชน์ของการตรวจสอบสภาพเครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอ ทั้งในระดับอุตสาหกรรม (บุคคล) ระดับองค์กร (โรงงานแต่ละแห่ง) และระดับมหภาค (กลุ่มอุตสาหกรรมจนถึงระดับประเทศ)
- แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเครื่องมือตรวจสอบสภาพเครื่องจักรระดับสูง (วัดและวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนเชิงลึก) เมื่อเปรียบเทียบการตรวจสอบสภาพเครื่องจักรระดับกลาง (เช่น ติดตามแนวโน้มอุณหภูมิ) หรือระดับพื้นฐาน (ตรวจสอบด้วยประสาทสัมผัส)
- แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของการประยุกต์ใช้ สหวิทยาการในการตรวจสอบสภาพเครื่องจักร ไม่ว่าจะเป็นขณะที่เครื่องจักรกำลังทำงานอยู่ (ตรวจสอบความสั่นสะเทือนและอุณหภูมิ) หรือในขณะที่เครื่องจักรหยุดทำงานแล้ว (วิเคราะห์ความเสียหายวัสดุ) รวมถึงการบริหารจัดการปัจจัยต่าง ๆ ก่อนที่จะเริ่มเดินเครื่องจักรด้วย เช่น การติดตั้งตลับลูกปืนและสายพานอย่างถูกต้อง การวางแผนเวลาที่ถูกต้อง การใช้สารหล่อลื่นที่ถูกต้อง เป็นต้น
- เพื่อถ่ายทอดเทคนิควิทยา และความรู้แขนงต่าง ๆ ตามข้างต้นนี้ ให้โรงงานอุตสาหกรรมนำไปประยุกต์ใช้ เพื่อเป็นประโยชน์แพร่ขยายในอนาคต

## ประโยชน์ของการตรวจสอบสภาพเครื่องจักรด้วยการวัดความสั่นสะเทือนอย่างสม่ำเสมอ

1. การตรวจสอบสภาพอย่างสม่ำเสมอ จะทำให้โรงงานสามารถค้นหาและระบุปัญหาของเครื่องจักรต่าง ๆ ตั้งแต่ปัญหานั้น ๆ อยู่ในระดับไม่รุนแรง การระบุปัญหาได้ตั้งแต่ขั้นต้นนี้จะช่วยลดต้นทุนในการบำรุงรักษา และยังอำนวยความสะดวกให้โรงงานสามารถควบคุมสถานการณ์การซ่อมบำรุง ด้วยความสามารถเตรียมตัวซ่อมบำรุงได้ล่วงหน้าในระยะเวลาที่เหมาะสม
2. การตรวจสอบสภาพเครื่องจักรภายหลังการซ่อมบำรุง เมื่อผนวกกับการวิเคราะห์ความเสียหายตลับลูกปืน จะทำให้โรงงานสามารถวัดประสิทธิภาพและคุณภาพของการซ่อมและอะไหล่ต่าง ๆ ของเครื่องจักรที่ถูกเปลี่ยนไปได้ ซึ่งเป็นข้อมูลย้อนกลับที่สำคัญยิ่ง และสามารถค้นหาโอกาสอื่น ๆ ในสามารถพัฒนาการซ่อมบำรุงได้
3. การตรวจสอบสภาพเครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอ จะทำให้โรงงานสามารถระบุสภาพเครื่องจักรในรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้
  - สภาพโดยรวมของเครื่องจักร และจุดหรือตำแหน่งที่จะสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานได้
  - เพิ่มระยะเวลาเฉลี่ยระหว่างการซ่อม ( Mean Time Between Failure – MTBF)
  - สภาพโดยจำเพาะเจาะจงสำหรับเครื่องจักรที่สำคัญต่อการผลิต
  - สามารถพยากรณ์ได้อย่างแม่นยำถึงระยะเวลาการทำงานของเครื่องจักรก่อนที่จะต้องซ่อมบำรุงตามเวลา
  - ลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงโดยรวมลง ทั้งที่เกิดจากการซ่อมบำรุงตามระยะเวลา และการซ่อมบำรุงโดยปราศจากการวางแผน
  - สามารถกำหนดขอบเขตการซ่อมบำรุงล่วงหน้า โดยลดระยะเวลาเฉลี่ย ก่อนที่จะถึงการซ่อม (lower Mean Time To Repair – MTTR)
4. การตรวจสอบสภาพเครื่องจักรอย่างต่อเนื่อง สามารถป้องกันและขจัดอุบัติเหตุต่อบุคคล และอุบัติเหตุแก่องค์กร ที่อาจจะเกิดขึ้นได้หากเครื่องจักรทำงานจนกระทั่งเกิดความเสียหายอย่างสิ้นเชิง
5. การเก็บข้อมูลบนฐานข้อมูลเดียวกันจะช่วยให้เห็นสภาพโดยรวมของเครื่องจักรทั้งโรงงาน ซึ่งจำเป็นต่อการตัดสินใจในระดับปฏิบัติการและระดับบริหาร
6. สามารถช่วยลดการนำเข้าของอะไหล่บางชิ้น เช่น ตลับลูกปืน ซึ่งเป็นอะไหล่ที่ประเทศไทยไม่สามารถผลิตเองได้ และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้อะไหล่ทุกรายการ
7. ด้วยข้อมูลสภาพเครื่องจักรจากการตรวจสอบ ผู้บริหารสามารถเริ่มต้นแผนบริการความสมดุลระหว่าง ทรัพย์สินของบริษัทฯ (asset optimization) และ ความไว้วางใจได้ของเครื่องจักร (reliability & maintenance)

### ความเป็นมาของบริษัทที่เข้าร่วมโครงการ บริษัท ทีดีซี สตีลกรุ๊ป จำกัด

บริษัท ทีดีซี สตีลกรุ๊ป จำกัด ถูกจัดตั้งขึ้นเมื่อ พ.ศ 2540 โดยนายเด่นตง ตั้งเด่นไชย ประธานบริษัทเด่นชัย ปากน้ำ เพื่อดำเนินธุรกิจอสังหาริมทรัพย์และด้านอื่น ๆ จนประสบความสำเร็จ จึงเกิดความคิดที่จะสร้างโรงงานผลิตเหล็กเส้นเตาหลอมสำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้าง

บริษัทฯ ได้ลงทุนกว่า 1 พันล้านบาทเพื่อก่อสร้างและนำเข้าเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพสูงจากประเทศอิตาลี โดยใช้ระบบควบคุมเป็นคอมพิวเตอร์อัตโนมัติทั้งหมด โรงงานสร้างเสร็จสมบูรณ์ในปี พ.ศ. 2542 สามารถผลิตเหล็กเส้นกลมขนาด 6-28 มิลลิเมตร ชั้นคุณภาพ SR24 และเหล็กเส้นข้ออ้อย ขนาด 10 - 32 มิลลิเมตร ชั้นคุณภาพ SD30, SD40 และ SD50 โดยมีกำลังการผลิตโดยรวม 40 ตันต่อชั่วโมง ที่ความเร็วสูงสุด 34 เมตรต่อวินาที รวมกำลังการผลิตต่อปีมากกว่า 150,000 ตัน

ปัจจุบัน บริษัทฯ ได้ผลิตเหล็กเส้นกลมและเหล็กเส้นข้ออ้อยที่มีคุณภาพตามมาตรฐานอุตสาหกรรม ภายใต้หลักการ “เหล็กดีมีมาตรฐาน บริการฉับไว ใสใจลูกค้า ราคายุติธรรม”



คุณนิคม ถิ่นนา ผู้จัดการฝ่ายซ่อมบำรุง บริษัท ทีดีซี สตีลกรุ๊ป จำกัด

ประวัติเครื่องจักรที่ทำการตรวจสอบสภาพ  
ข้อมูลจากคุณนิคม ถิ่นนา ผู้จัดการฝ่ายซ่อมบำรุง

เครื่องจักรที่เป็นหัวข้อของการตรวจสอบเป็นปั้มน้ำสำหรับการหล่อเย็นลูกรีดที่อยู่ในแท่นรีดเบอร์ 1 TDC ให้ความสนใจกับปั้มนี้นี้เป็นพิเศษ เนื่องจากที่ผ่านมามีปัญหาหยุดการทำงานโดยปราศจากการวางแผนล่วงหน้าบ่อย ๆ (random failure) ความไว้วางใจได้ (reliability) ของเครื่องจักรชนิดนี้ต่ำมาก คือไม่สามารถกำหนดได้ว่า จะต้องดูแลบำรุงรักษาอย่างไร เมื่อไหร่

อาการที่ปรากฏทุกครั้งคือ ความสั่นสะเทือนที่เพิ่มสูงขึ้นจากการใช้ประสาทสัมผัส อุณหภูมิการทำงานที่เพิ่มสูงขึ้นเป็น 60-70 องศาเซลเซียส จากปกติไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส และความเสียหายของตลับลูกปืน (เมื่อหยุดเดินเครื่องและถอดตลับลูกปืนออกมาแล้ว)

ตลับลูกปืนในกรณีนี้เป็นตลับลูกปืนเม็ดกลมร่องลึกแบบมีฝาปิด 2 ด้าน (sealed deep groove ball bearing) รหัส 6312ZZ/C3 ทำงานต่อเนื่องตลอดเวลาที่รอบการทำงานคงที่ประมาณ 1500 รอบต่อนาทีขณะที่รีดเหล็ก ซึ่งทำให้ TDC จำต้องแก้ปัญหาเฉพาะหน้าทุกครั้งด้วยการเปลี่ยนตลับลูกปืนเพื่อแก้อาการตลอดเวลา ในขณะเดียวกัน ก็ไม่ได้มีการส่งตัวอย่างตลับลูกปืนที่เสียหายเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุรากฐานของความเสียหาย (root cause failure analysis) ให้แก่ผู้จำหน่ายตลับลูกปืนให้แก่ TDC แต่ประการใด

ในช่วงต้นปี พ.ศ. 2549 TDC ได้ตัดสินใจที่จะแก้ปัญหาเชิงลึก คือเปลี่ยนทั้งแบบตลับลูกปืนและระบบการหล่อลื่น ตลับลูกปืนที่ถูกเปลี่ยนแบบ ถูกเปลี่ยนแบบจากตลับลูกปืนแบบมีฝาปิด (6312ZZ/C3) เป็นตลับลูกปืนแบบปราศจากฝาปิด (open bearings 6312/C3) จุดประสงค์หลักคือ ต้องการให้ตลับลูกปืนสามารถรับการหล่อลื่นเพิ่มเติมได้โดยต่อเนื่อง

ส่วนการหล่อลื่น เนื่องจากตลับลูกปืนตัวเก่าเป็นแบบปิด ทำให้ไม่สามารถหล่อลื่นเพิ่มเติมได้ เพราะปั้มถูกออกแบบไว้เช่นนั้น เมื่อ TDC เปลี่ยนเป็นตลับลูกปืนแบบเปิด ก็ได้ดัดแปลงระบบการหล่อลื่นของปั้มนี้นี้ให้เป็นแบบอ่างน้ำมัน ด้วยทำให้ตลับลูกปืนแบบใหม่สามารถรับการหล่อลื่นอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา (continuous re-lubrication is applied via oil bath)

ผลการแก้ไขดัดแปลงปั้มได้ผลเป็นที่น่าพอใจต่อ TDC ในปัจจุบันปั้มนี้นี้ทำงานต่อเนื่องได้ถึงระยะเวลา 6 เดือนโดยปราศจากปัญหา (แต่ ณ มีนาคม 2550 TDC เดินแท่นรีดเหล็กเฉพาะวันเสาร์และวันอาทิตย์) โดยเน้นที่การบำรุงรักษาตามระยะเวลา (Preventive Maintenance - PM) อย่างเคร่งครัด ซึ่งแนวคิดหลักของ PM ได้แก่ การบำรุงรักษา – เปลี่ยนอะไหล่และสารหล่อลื่นตามกำหนดเวลา โดยไม่จำเป็นต้องพิจารณาว่า อะไหล่และสารหล่อลื่นที่เปลี่ยนไปนั้น อยู่ในสภาพใช้การได้อีกหรือไม่

ความเห็นของผู้จัดทำรายงานได้แก่ การที่ TDC ได้อายุการใช้งานตลับลูกปืน 6 เดือน หรือประมาณ 4000 ชั่วโมง ซึ่งถือว่าค่อนข้างน้อยมาก เมื่อพิจารณาว่าอายุการใช้งานมาตรฐาน (L10) ควรเป็นประมาณ 20,000 ชั่วโมงหรือประมาณ 2 ปี (อ้างถึง SKF general catalog 5000E หน้า 72 ตารางที่ 8) และเครื่องจักรทำงานเพียง 2 วันในหนึ่งสัปดาห์เท่านั้น

ในโครงการของกรมโรงงานอุตสาหกรรมนี้ บริษัทฯ และ TDC มีความสนใจร่วมกันที่จะตรวจสอบสภาพของปั๊มตัวนี้ เนื่องจากความเชื่อมั่นว่า หากได้วิเคราะห์ความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรเพื่อตรวจหาความผิดปกติ เมื่อผนวกเข้ากับการวิเคราะห์ความเสียหายตลับลูกปืน จะสามารถช่วยให้ TDC สามารถแก้ปัญหาที่สาเหตุได้อย่างถูกต้อง

การที่ TDC สามารถแก้ปัญหาที่ต้นเหตุได้จะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงได้จนเห็นชัด หากวิเคราะห์กันเฉพาะมูลค่าตลับลูกปืน จะสามารถประหยัดการใช้งานถึง 1/3 หรือมากกว่า 6 พันบาทในระยะเวลาการใช้งาน ทั้งนี้ หากสามารถประยุกต์ใช้วิธีการซ่อมบำรุงเชิงรุกทั่วทั้งโรงงานแล้ว เชื่อว่าจะสามารถลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้อีกมาก

อนึ่ง ณ ช่วงเวลาที่นำเสนอรายงานนี้ (เดือนพฤษภาคม 2550) TDC ยังไม่สามารถส่งตัวอย่างตลับลูกปืนที่เสียหายจากปั๊มนี้ให้แก่บริษัทฯ เพื่อวิเคราะห์ความเสียหายได้ แต่บริษัทฯ ได้แจ้งกับ TDC ไว้ว่า หากมีตัวอย่างที่เสียหายเกิดขึ้น TDC สามารถส่งให้กับบริษัทฯ วิเคราะห์ได้ เพื่อที่จะได้ยืนยันผลการวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนได้

## ขอบข่ายและเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบสภาพและวิเคราะห์

จุดประสงค์ของรายงานนี้ได้แก่ การระบุสภาพเครื่องจักรจำนวน 1 ชุด ที่กำลังทำงานอยู่ของ บจ. ทีดีซีเอสดีลกรุ๊ป

บริษัทฯ ได้ทำการตรวจวัด ณ วันเสาร์ที่ 17 มีนาคม พ.ศ. 2550 ซึ่งเครื่องจักรจำนวน 1 ชุด นี้ประกอบด้วยเครื่องจักรย่อยดังต่อไปนี้

- มอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 75 กิโลวัตต์
- ปั๊มน้ำ ขนาด 450 ลูกบาศก์เมตร ทำงานที่ความดัน 4 บาร์ ส่งน้ำได้ตามท่อยาว 40 เมตร



ในการทำงานนี้ บริษัทฯ ได้ใช้หลักการวิเคราะห์ทั้งความสั่นสะเทือนโดยรวม (overall vibration) ของเครื่องจักร การวิเคราะห์แถบคลื่นความถี่ (FFT spectra analysis) และการวิเคราะห์สัญญาณแท้ในหนึ่งช่วงเวลา (time wave form analysis) ในบางกรณีที่จำเป็น





เครื่องมือที่ใช้เป็นเครื่องมือตรวจสอบสภาพเครื่องจักรของสำนักงานทะเบียนเครื่องจักรกลาง กรมโรงงานอุตสาหกรรม ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

- เครื่องมือวัด SKF Microlog รหัส CMXA 44 รหัสลำดับ (serial number) 060411
- หัววัดสัญญาณความสั่นสะเทือน (Accelerometer) รหัส CMSS 2200 รหัสลำดับ S19180
- โปรแกรมวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนขั้นสูงจำเพาะเครื่องรุ่นนี้ รหัส CMXA-ANB-EN Analyser Application & Bump firmware V1.12RC3 รหัสลำดับ (unit serial number) 060411, Analyser License number 0377708

สำหรับความสั่นสะเทือนโดยรวม (overall vibration) ของเครื่องจักร บริษัทฯ ได้วิเคราะห์สภาพเครื่องจักรโดยอ้างอิงมาตรฐานความสั่นสะเทือนตาม ISO 10816-1 vibration severity standard

บริษัทฯ ได้วิเคราะห์แถบคลื่นความถี่โดยใช้มาตรฐานสากลของ SKF Reliability Systems

ในกรณีนี้ บุคลากรผู้ทำงานของบริษัทฯ ได้เข้าตรวจวัดหน้างานโดยสวมอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยตามมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม อันประกอบด้วย หมวกนิรภัยและรองเท้านิรภัย ส่วนอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยอื่น ๆ เช่น แวนนิรภัย ถุงมือนิรภัย ชุดนิรภัย และอุปกรณ์ป้องกันสารพิษจากการหายใจ ผู้ที่เข้าทำงานหน้างานได้ตัดสินใจว่าไม่จำเป็นเฉพาะกรณีนี้

## การกำหนดระดับความสำคัญและความเร่งด่วน

**ระดับที่ 1 รุนแรง** – ผลการวิเคราะห์บ่งชี้ว่ามีแนวโน้มสูงมากที่เครื่องจักรจะเกิดความเสียหายจนถึงระดับหยุดการทำงานในช่วงเวลาอันสั้น ผู้ที่เกี่ยวข้องจะต้องให้ความสนใจและความสำคัญในระดับสูงสุด บริษัทฯ แนะนำให้มีการวางแผนหรือลงมือซ่อมบำรุงทันที ในช่วงเวลานี้ ควรจะต้องตรวจสอบสภาพเครื่องจักรอย่างน้อยหนึ่งครั้งในทุก ๆ กะของการทำงาน (ทุก ๆ 8 ชั่วโมง) เป็นอย่างต่ำ

**ระดับที่ 2 ผิดปกติระดับสูง** – ผลการวิเคราะห์บ่งชี้ว่าเครื่องจักรมีความผิดปกติในระดับค่อนข้างสูง. บริษัทฯ แนะนำให้มีการวางแผนการซ่อมบำรุงโดยเร็ว ผู้ที่เกี่ยวข้องควรตรวจสอบระดับความสั่นสะเทือน สารหล่อลื่น อุณหภูมิ และข้อมูลการทำงาน (process data) อย่างต่อเนื่องเพื่อดูแนวโน้มความเสียหายอย่างใกล้ชิด และหากสาเหตุรากฐานของความเสียหายหากสามารถกระทำได้ การตรวจสอบข้อมูลเหล่านี้อย่างใกล้ชิดจะนำไปสู่การซ่อมบำรุงอย่างเป็นระบบและถูกต้อง เช่น เปลี่ยนเฉพาะอะไหล่บางชิ้น หรือ เปลี่ยนสารหล่อลื่นเป็นอีกตัวหนึ่ง เป็นต้น ควรมีการควบคุมปัจจัยเสี่ยงที่อาจเร่งความเสียหายและยืดอายุการเดินเครื่อง เช่น การเดินเครื่องจักรเร็วขึ้น การเพิ่มความถี่ของการเปลี่ยนสารหล่อลื่น การเพิ่มระบบระบายอุณหภูมิ เป็นต้น

**ระดับ 3 ผิดปกติระดับต่ำ** – ผลการวิเคราะห์ชี้ให้เห็นถึงความผิดปกติของเครื่องจักรในขั้นเริ่มต้น ตัวอย่างที่ชัดเจนได้แก่ เมื่อเครื่องจักรทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพหรือไม่ถูกต้อง ในกรณีเช่นนี้ ผู้เกี่ยวข้องจำเป็นต้องสังเกตความผิดปกติของเครื่องจักรอย่างใกล้ชิดและต่อเนื่อง ควรเพิ่มความถี่ในการสังเกตและตรวจวัดสภาพในระดับนี้อีก 1 เท่าตัว เช่น จากการที่เคยตรวจสอบสภาพทุกเดือน เปลี่ยนไปเป็นการตรวจสอบทุก 2 สัปดาห์ เป็นต้น

**ระดับ 4 ปกติ** – ผลการวิเคราะห์ไม่พบอาการผิดปกติของเครื่องจักร ณ วันที่เก็บข้อมูล โดยทั่วไปลูกค้าไม่จำเป็นต้องทำการซ่อมบำรุงหรือดูแลเพิ่มเติมเป็นพิเศษ เพียงแต่กำหนดการซ่อมบำรุงหรือตรวจสอบสภาพตามตารางปกติเท่านั้น

## การกำหนดขอบเขตการวัด

ในทางด้านวิธีวิทยาของ **SKF** การตรวจสอบสภาพเครื่องจักรจะไม่กระทำต่อเครื่องจักรที่ถูกระบุว่ามีปัญหาเท่านั้น (ในกรณีนี้คือปั๊ม) แต่จำเป็นจะต้องตรวจสอบความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรต่อเนื่อง (ในกรณีนี้คือมอเตอร์ไฟฟ้า) ควบคู่กันไป ด้วย สาเหตุสำคัญได้แก่ จากประสบการณ์ของ **SKF** ปัญหาหลาย ๆ กรณีมีความซับซ้อนค่อนข้างสูง อาการที่ถูกลูกค้าระบุว่าเป็นสาเหตุของปัญหา (เช่น คลับลูกปืนเสียหายบ่อย) บ่อยครั้งจะไม่ใช่สาเหตุที่แท้จริง (root cause) และบ่อยครั้งอาการที่แสดงออกมานี้จะไม่ถูกแสดงออกที่เครื่องจักรที่มีปัญหาโดยตรง แต่จะไปแสดงให้เห็นในเครื่องจักรต่อเนื่องแทน ตัวอย่างเช่น มอเตอร์ไฟฟ้าขับเคลื่อนส่งกำลังที่ฟันเกียร์ขบกันไม่เต็มหน้า (backlash) รากฐานปัญหาอยู่ที่ชุดส่งกำลัง แต่อาการแสดงที่มอเตอร์โดยเกิดหยุดกะทันหัน หรือความเร็วไม่คงที่ เป็นต้น ดังนั้น SKF จึงกำหนดมาตรฐานการวัดว่า หากสามารถกระทำได้ การวัดจะต้องวัดเป็นชุดเครื่องจักร (machine train) เท่านั้น เพื่อจัดการความเคลือบแคลงทุกประการ และสามารถระบุสาเหตุปัญหาที่แท้จริงได้ง่ายขึ้น

ในการวัดมอเตอร์ไฟฟ้าและปั๊มในกรณีนี้ ผู้วิเคราะห์ได้กำหนดขอบเขตการวัด (perimeters) ออกเป็น 2 ประการใหญ่ และแต่ละจุดแบ่งออกเป็นอีก 7 ประการย่อย

ขอบเขตการวัด 2 ประการใหญ่ ได้แก่

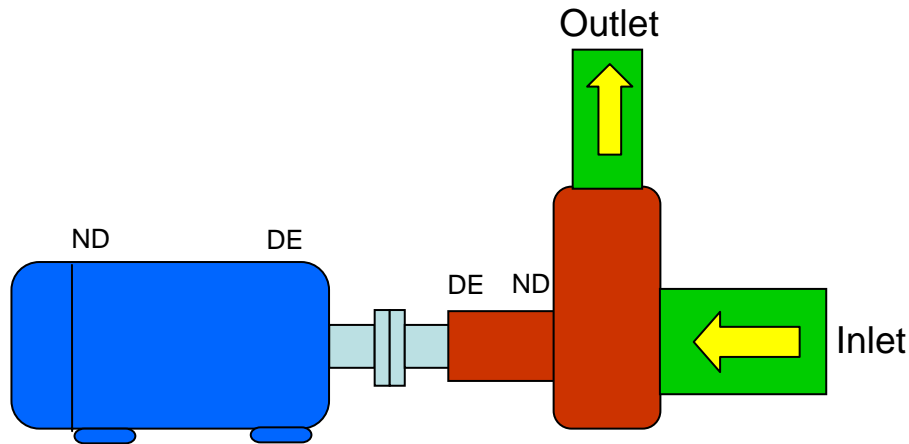
1. การวัดด้านขับ (drive side - DE) – ด้านท้ายของเครื่องจักร ในกรณีปั๊ม ด้านขับคือด้านที่อยู่ติดกับมอเตอร์และประกบเพลา (coupling) หรือด้าน suction
2. การวัด ด้านตาม (non-drive side – NDE) ในกรณีปั๊ม ด้านตามคือด้าน discharge

ขอบเขตการวัด 7 ประการย่อยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. NDE / DE vibration horizontal : การวัดแนว radial – horizontal สำหรับตรวจสอบปัญหาพื้นฐานทั่วไปที่ความถี่ไม่เกิน 10 เท่าของรอบการทำงานของเครื่องจักร เช่น ปัญหาการหมุนที่ไม่สมดุล (unbalance) และ/หรือปัญหาการเอียงแนวเชิงขนาน (offset misalignment)
2. NDE / DE vibration HL : การวัดแนว radial – horizontal สำหรับตรวจสอบและแยกปัญหาไฟฟ้า โดยเฉพาะ คือเป็นการจำแนกปัญหาไฟฟ้าและปัญหาทางกลออกจากกัน

3. NDE / DE vibration High Frequency (HH) : การวัดแนว radial – horizontal ที่ความถี่สูง สำหรับตรวจสอบความเสียหายของตลับลูกปืนในชั้นปลาย คือระดับ 3 และ 4
4. NDE / DE vibration ACC-HF : การวัดแนว radial – horizontal โดยใช้หน่วยการวัด acceleration enveloping ความถี่สูง เพื่อตรวจสอบปัญหาที่เกิดขึ้น ณ ความถี่สูง ๆ ทั้งหมด เช่น ปัญหา rotor bar pass frequency ในกรณีของมอเตอร์ เพื่อตรวจสอบปัญหา rotor bar ในมอเตอร์ และปัญหา cavitation (มีฟองอากาศปะปนอยู่ในปั๊ม) ในกรณีของปั๊ม
5. NDE / DE vibration ENV 3 : การวัดแนว radial – horizontal โดยใช้หน่วยการวัด acceleration enveloping ความถี่สูง สำหรับตรวจสอบความเสียหายของตลับลูกปืนในชั้นต้น คือระดับ 1 และ 2
6. NDE / DE vibration vertical: การวัดแนว radial – vertical เพื่อตรวจสอบปัญหาการหลวมคลอนเชิงกล (mechanical looseness)
7. NDE / DE vibration axial: การวัดแนวแกนเพลา เพื่อตรวจสอบปัญหาเพลาโก่งงอ (bent shaft) และการเอียงแนวเชิงมุม (angular misalignment)

สรุปผลการวิเคราะห์



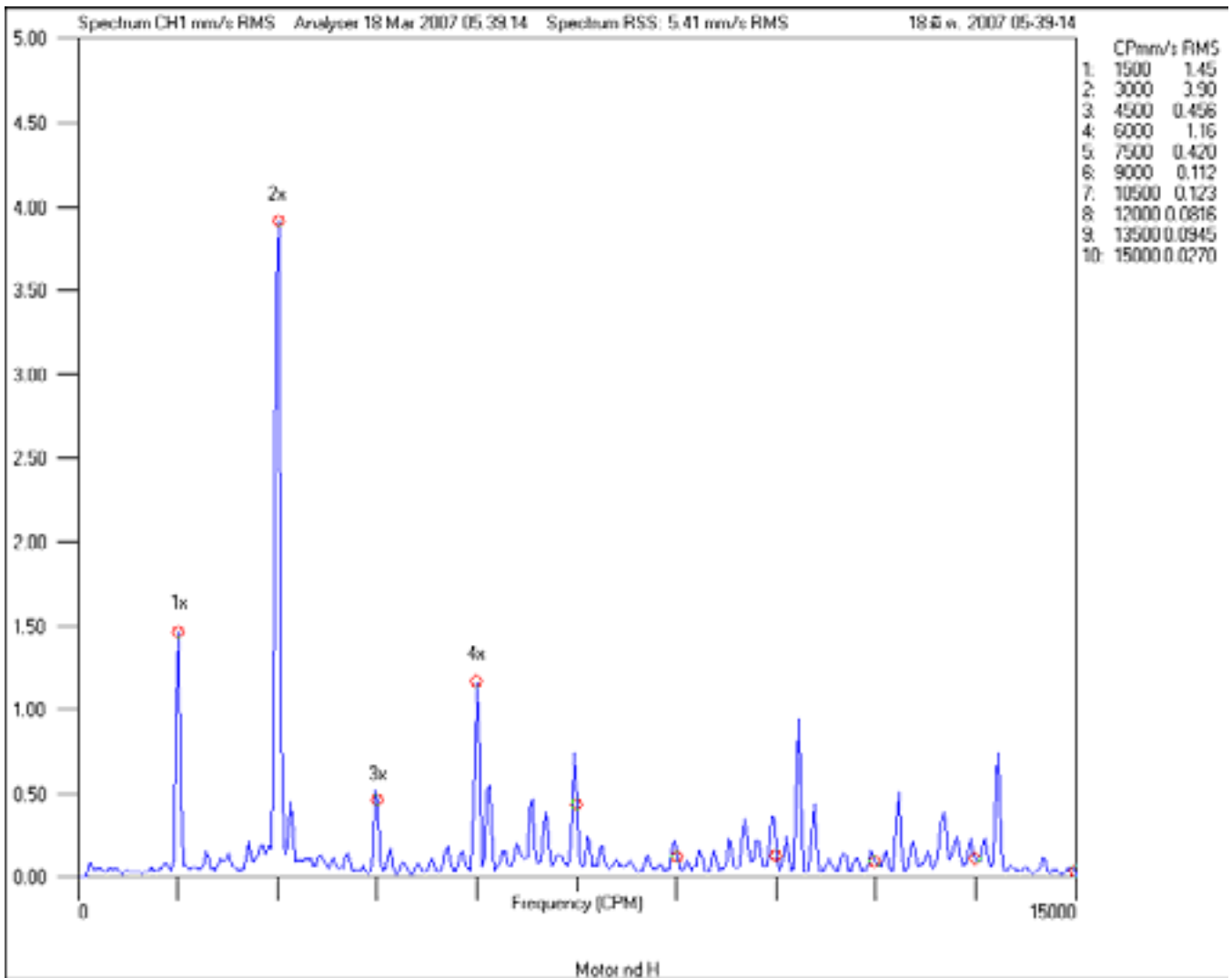
ทั้งมอเตอร์และปั้มน้ำ พบความผิดปกติในระดับที่ 3

สาเหตุ

1. เกิดจากการเชื่อมแนวระหว่างมอเตอร์กับปั้มน้ำ
2. ตลับลูกปืนของมอเตอร์และปั้มน้ำทั้งด้านหน้าและด้านหลัง มีความเสียหายในระยะเริ่มต้น

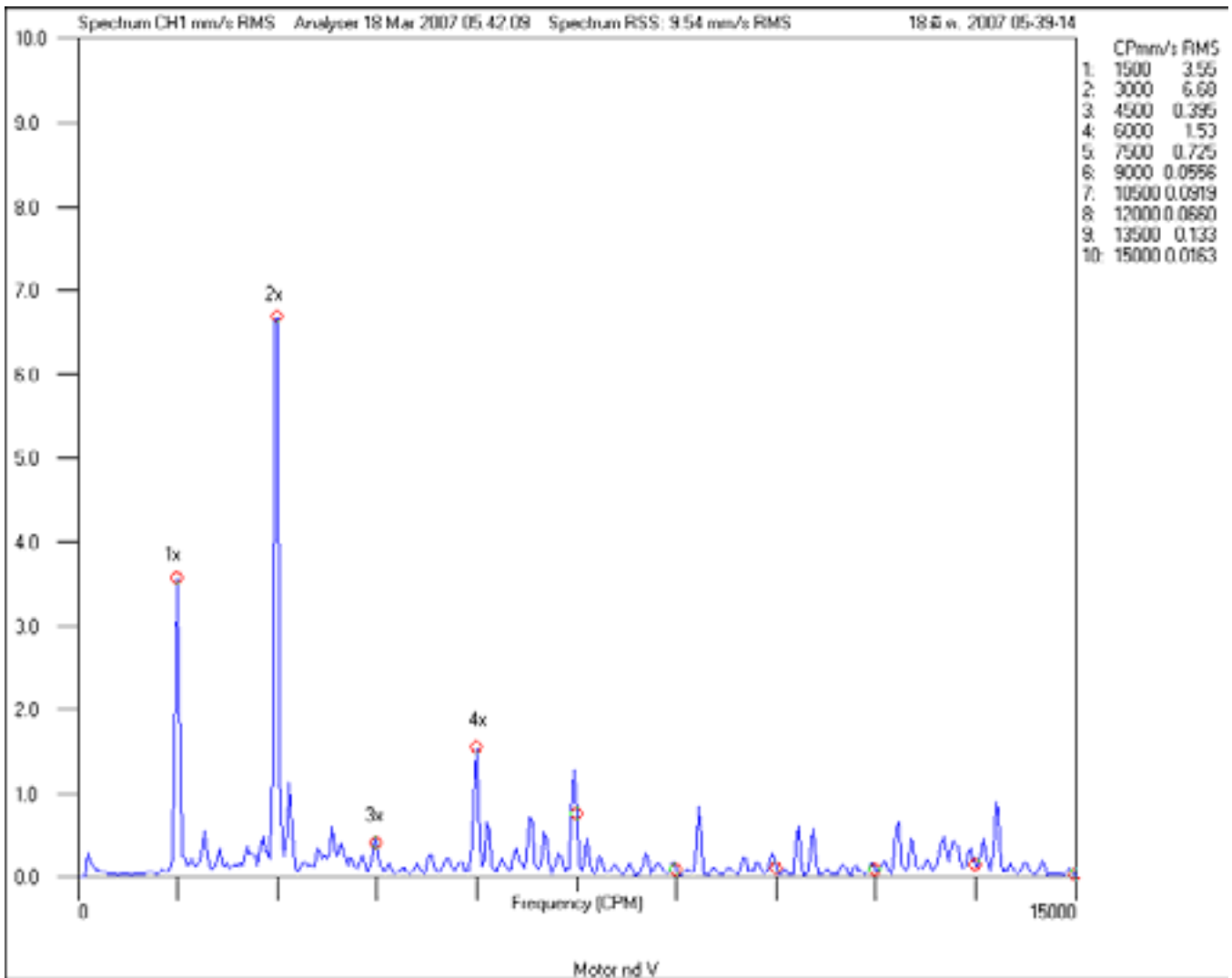
การแก้ไข

1. ทำการวางแผนปรับระยะแนวเพลลาให้ขนานกัน
2. เพิ่มความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายสารหล่อลื่นตลับลูกปืนของมอเตอร์และปั้มน้ำทั้งด้านหน้าและด้านหลัง
3. ตรวจสอบสกรูยึดที่ฐานมอเตอร์และปั้มน้ำ



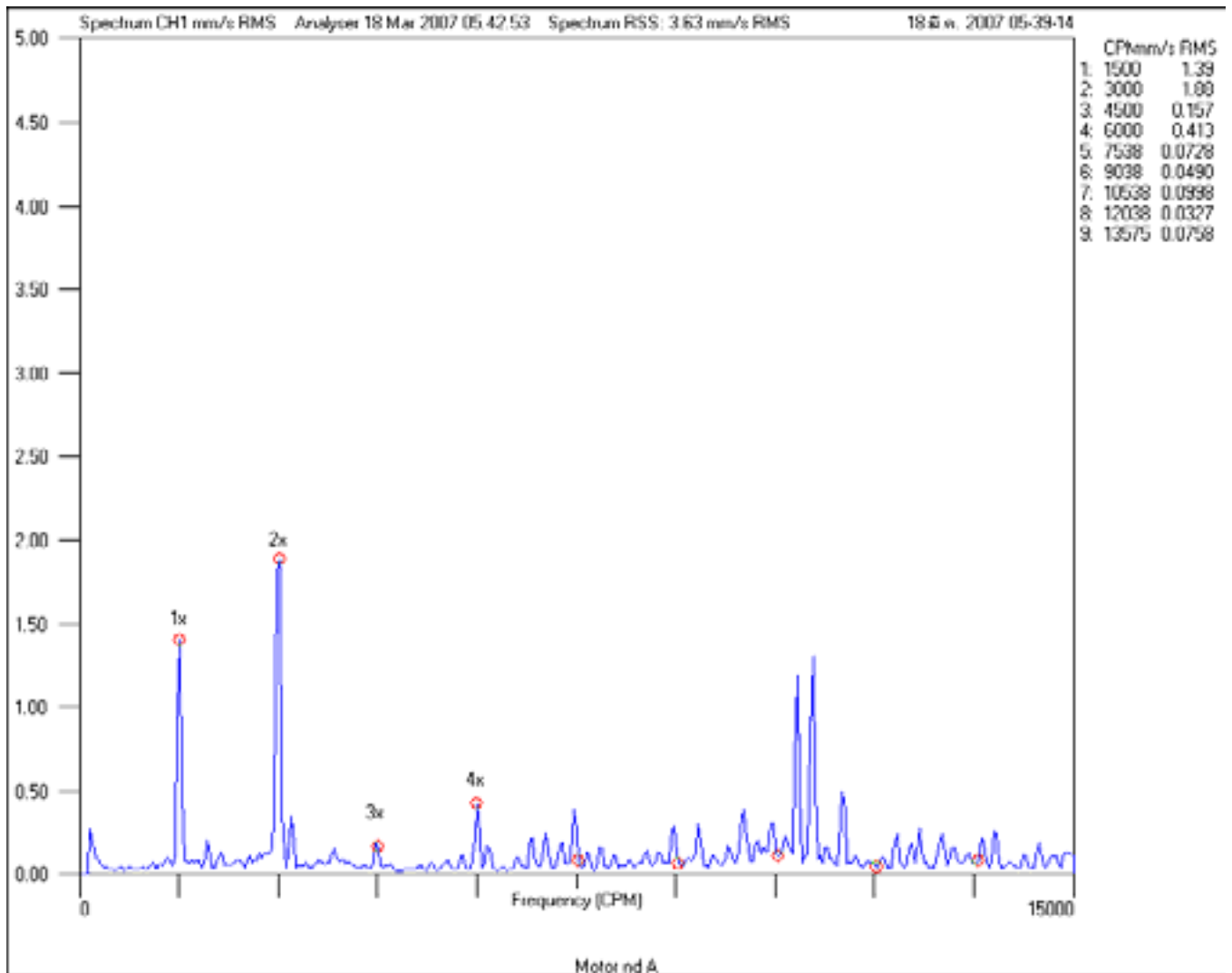
ภาพ velocity spectrum ของมอเตอร์ ด้านตาม ในแนว horizontal มีค่าความสั่นสะเทือนโดยรวม 5.41 mm/sec. RMS มีความถี่ 1x เท่ากับ 1500 rpm สูง 1.45 mm/sec. RMS และมีการสะท้อนของสัญญาณ ณ 2x สูง ปัญหาเกิดจากการเอียงแนวของเพลลา





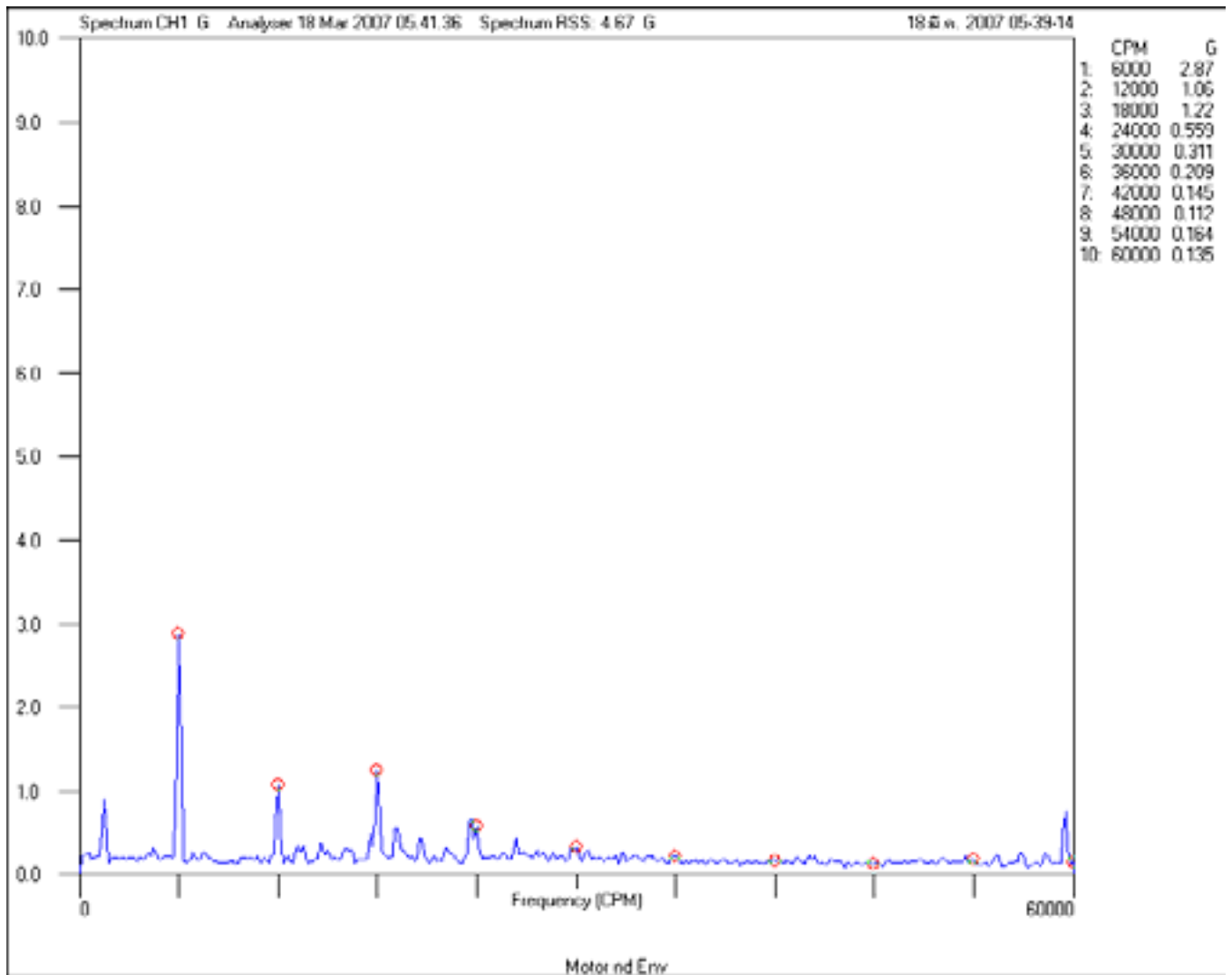
ภาพ velocity spectrum ของมอเตอร์ ด้านตาม ในแนว vertical มีค่าความสั่นสะเทือนโดยรวม 9.54 mm/sec. RMS มีความถี่ 1x เท่ากับ 1500 rpm สูง 3.55 mm/sec. RMS และมีการสะท้อนของสัญญาณ ณ 2x สูง ปัญหาเกิดจากการเอียงแนวของเพลลา



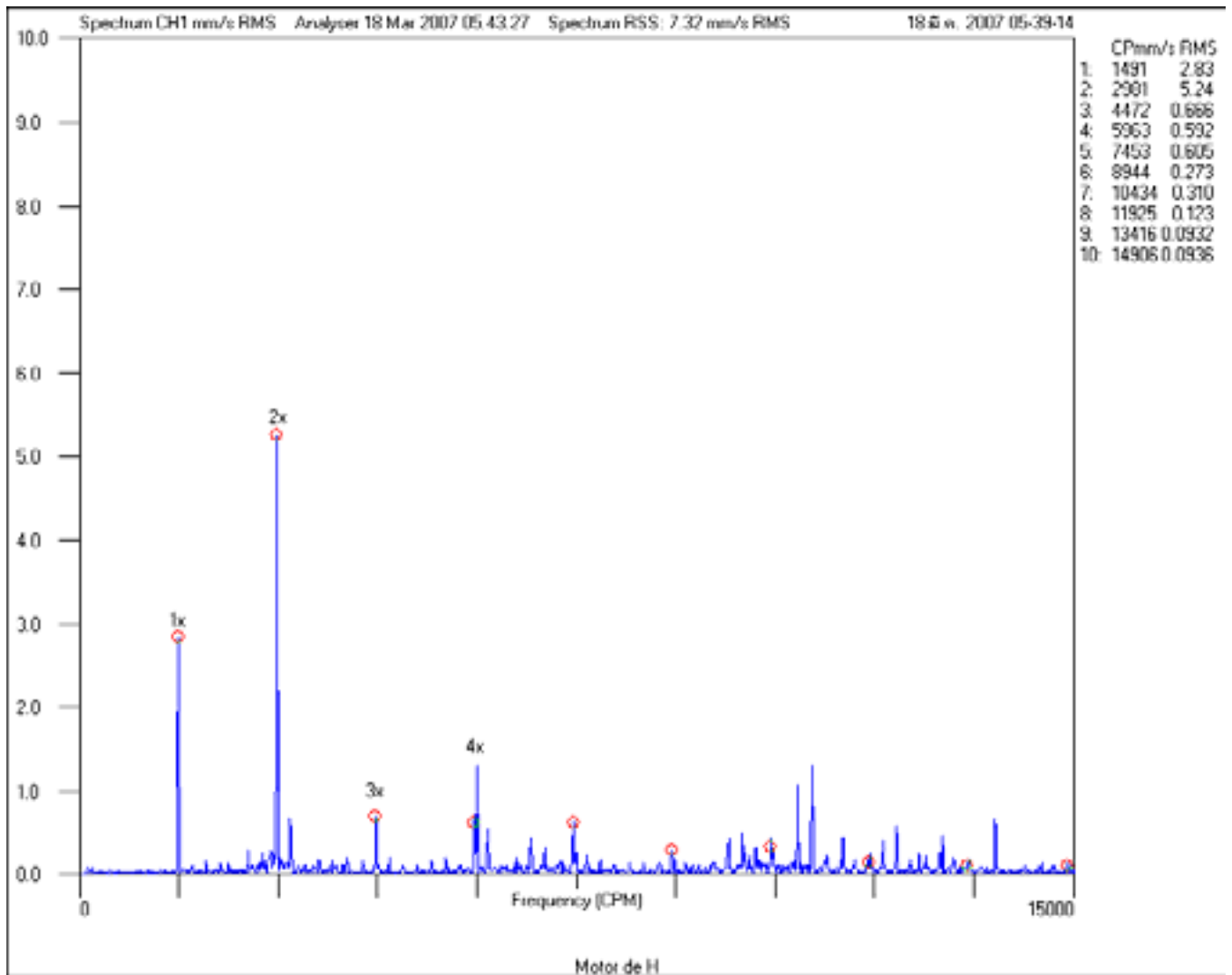


ภาพ velocity spectrum ของมอเตอร์ ด้านตาม ในแนวแกน (axial) มีค่าความสั่นสะเทือนโดยรวม 3.63 mm/sec. RMS มีความถี่ 1x เท่ากับ 1500 rpm สูง 1.39 mm/sec. RMS และมีการสะท้อนของสัญญาณ ณ 2x สูง ปัญหาเกิดจากการเอียงแนวของเพลลา



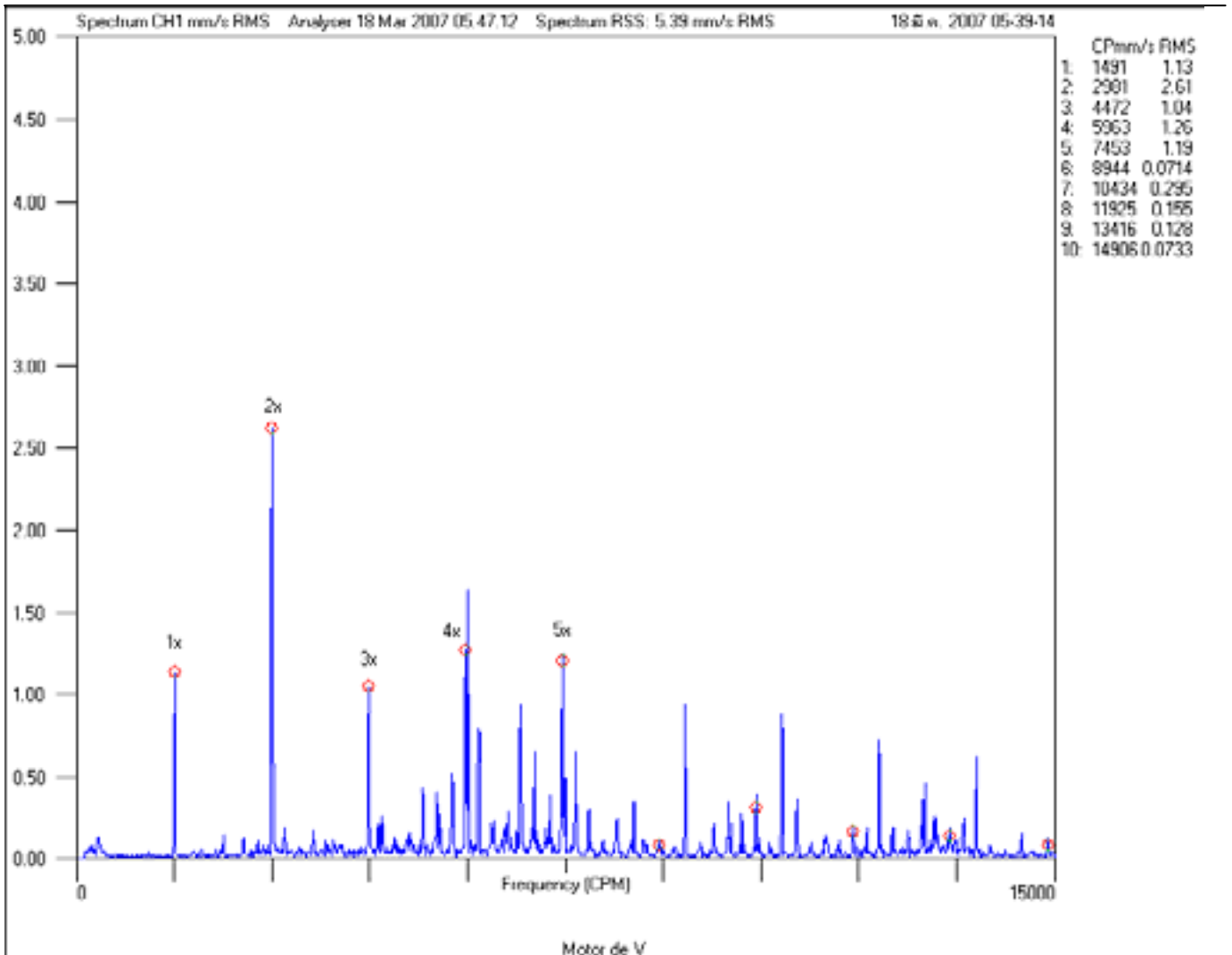


ภาพ acceleration enveloping spectrum ของมอเตอร์ด้านตาม ค่าความสั่นสะเทือนโดยรวม 4.67 gE เกิดการกระแทกเป็นจังหวะทุกๆความถี่ 6000 cpm ปัญหาเกิดจากตลับลูกปืนด้านนี้มีความเสียหายในระยะเริ่มต้น



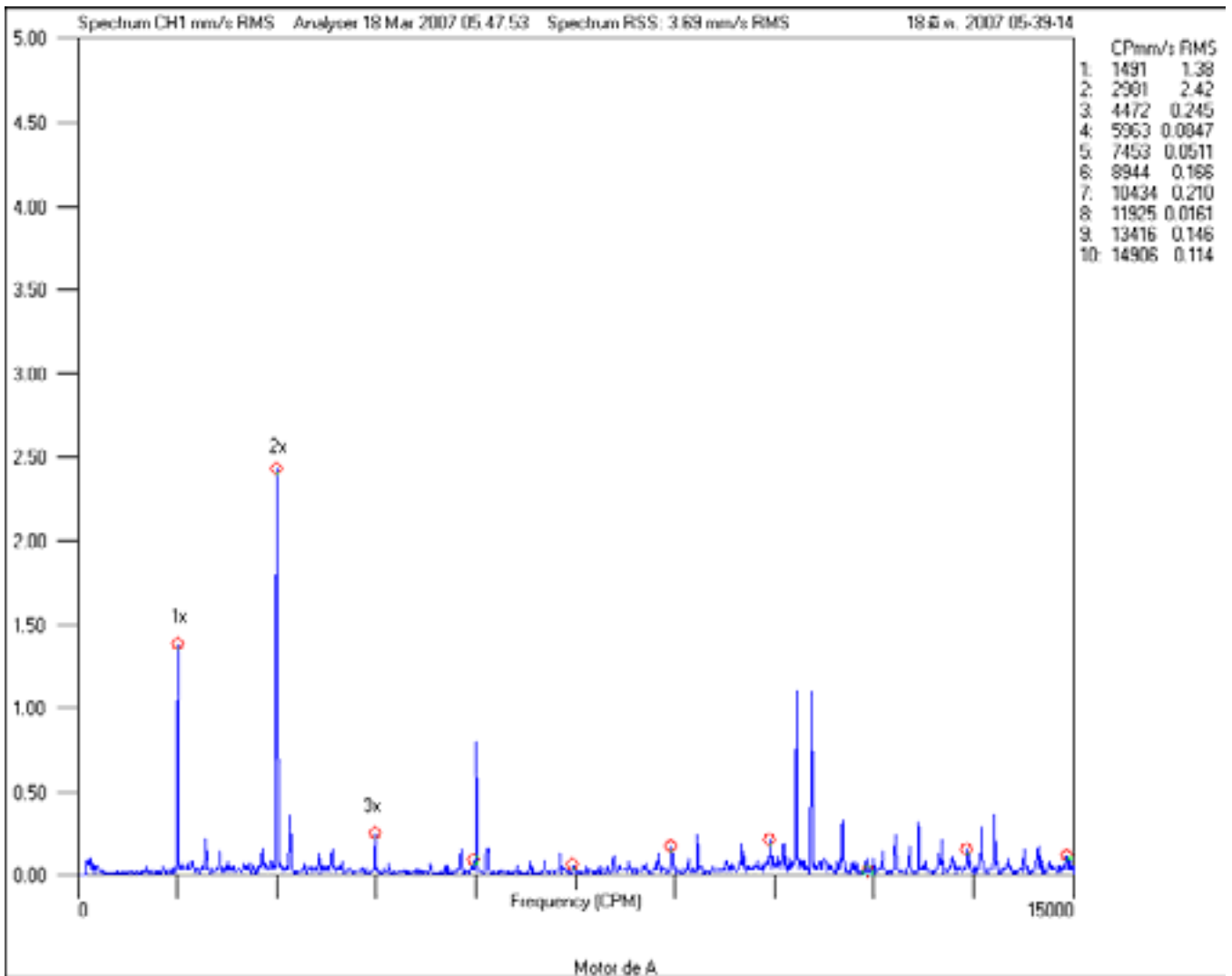
ภาพ velocity spectrum ของมอเตอร์ ด้านซ้าย ในแนว horizontal มีค่าความสั่นสะเทือนโดยรวม 7.32 mm/sec. RMS มีความถี่ 1x เท่ากับ 1491 rpm สูง 2.83 mm/sec. RMS และมีการสะท้อนของสัญญาณ ณ 2x สูง ปัญหาเกิดจากการเอียงแนวของเพลลา





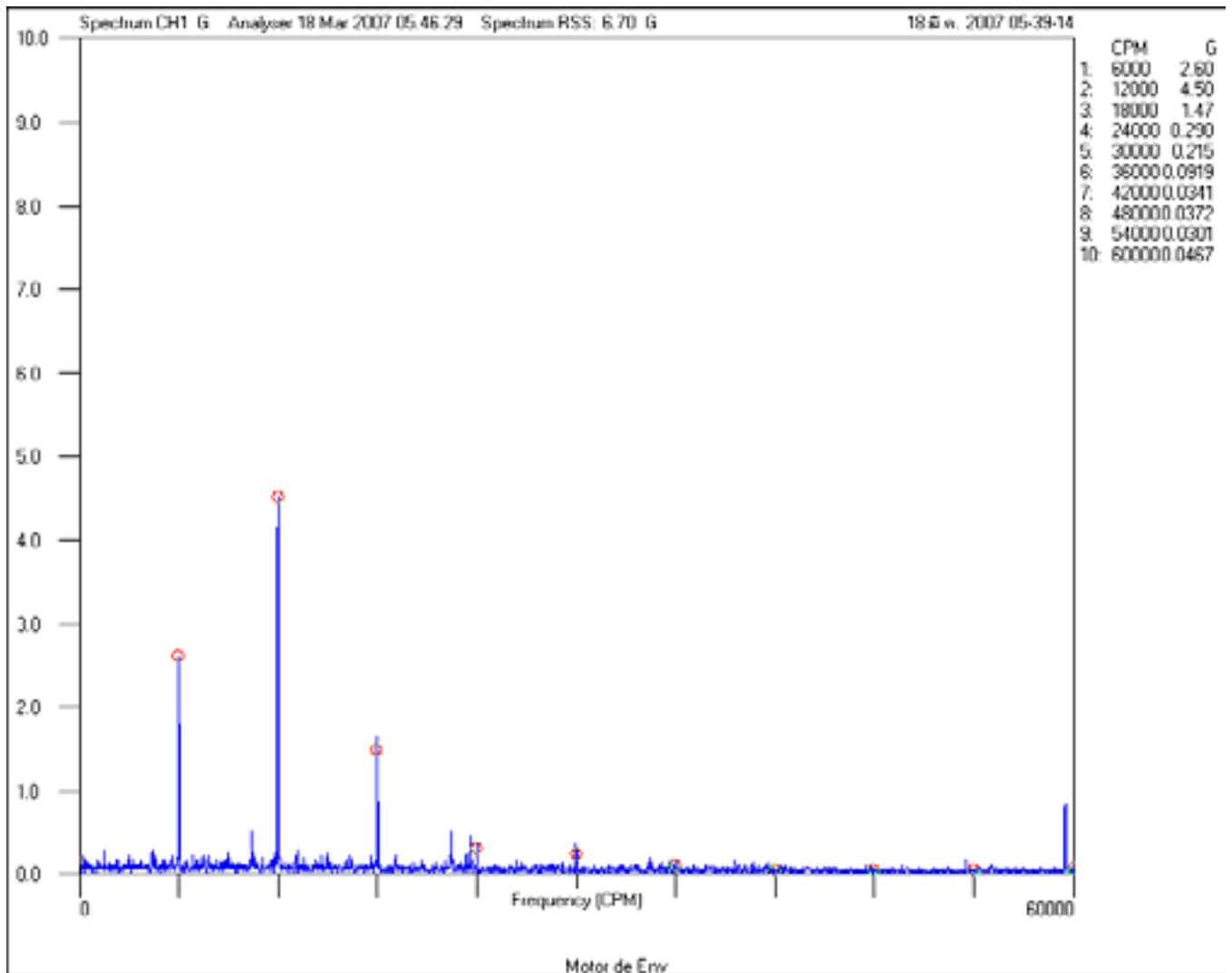
ภาพ velocity Spectrum ของมอเตอร์ ด้านขับ ในแนว vertical มีค่าความสั่นสะเทือนโดยรวม 5.39m/sec. RMS มีความถี่ 1x เท่ากับ 1491 rpm สูง 1.13 mm/sec. RMS มีการสะท้อนของสัญญาณ ณ 2x,3x,4x,5x ปัญหาเกิดจากการเอียงแนวของเพลและเกิดการหลวมคลอน



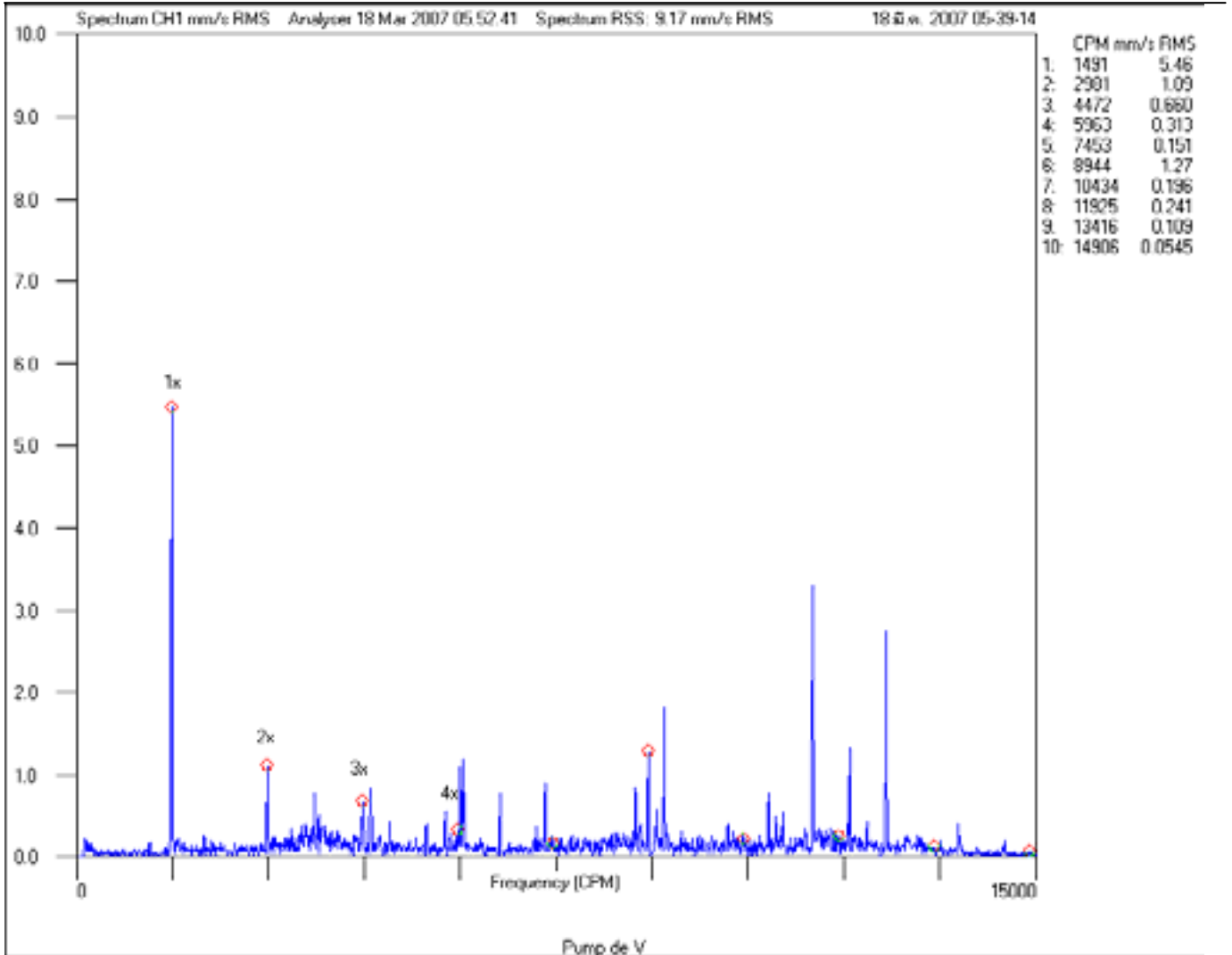


ภาพ velocity spectrum ของมอเตอร์ ด้านขับ ในแนวแกน (axial) มีค่าความสั่นสะเทือนโดยรวม 3.69 mm/sec RMS มีความถี่ 1x เท่ากับ 1491 rpm สูง 1.38 mm/sec RMS และมีการสะท้อนของสัญญาณ ณ 2x สูง ปัญหาเกิดจากการเอียงแนวของเพลลา



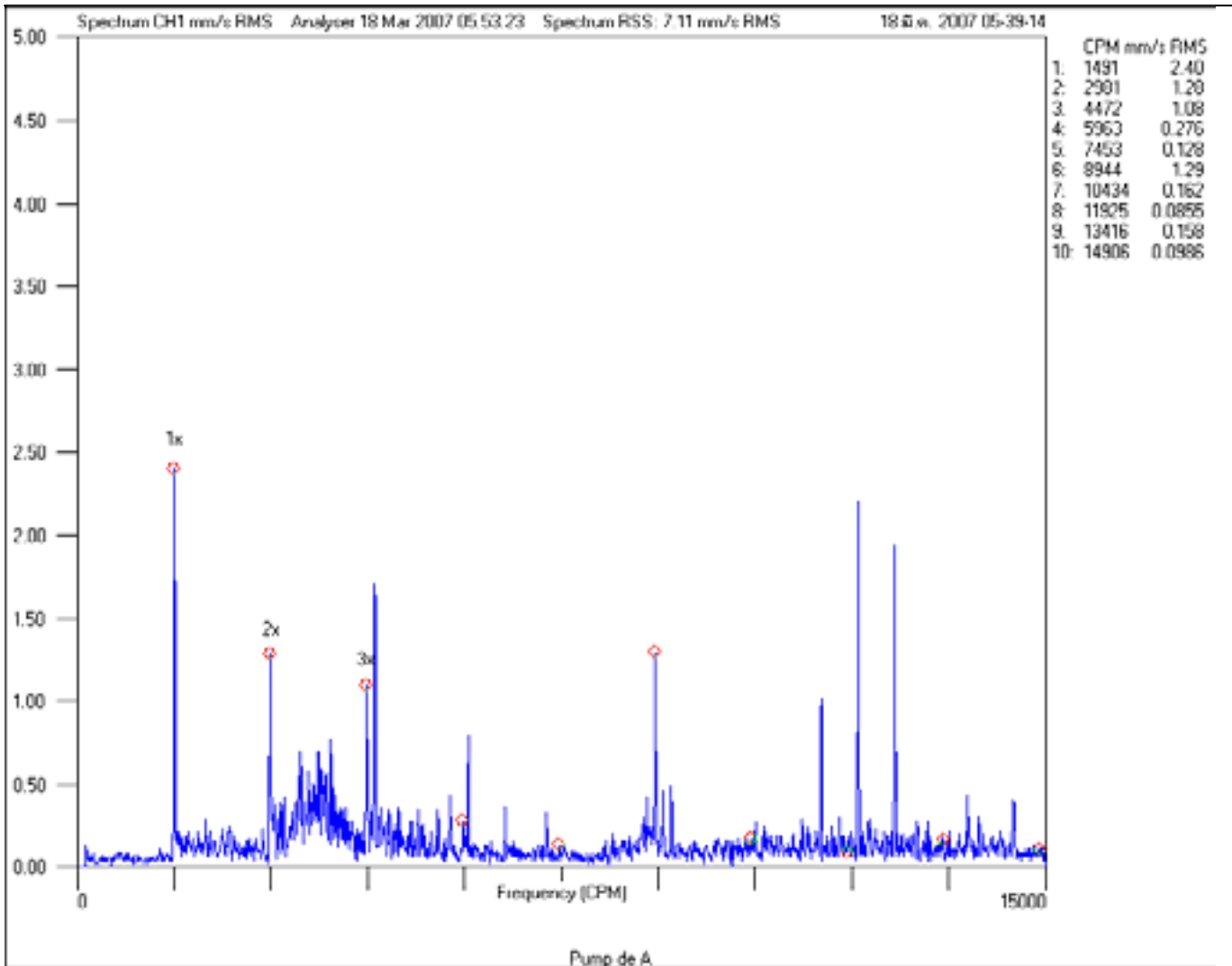


ภาพ acceleration enveloping spectrum ของมอเตอร์ด้านซ้ายค่าความสั่นสะเทือนโดยรวม 6.70 gE เกิดการกระแทกเป็นจังหวะทุกๆความถี่ 6000 cpm ปัญหาเกิดจากคลັบลูกปืน ณ ตำแหน่งนี้มีความเสียหายในระยะเริ่มต้น



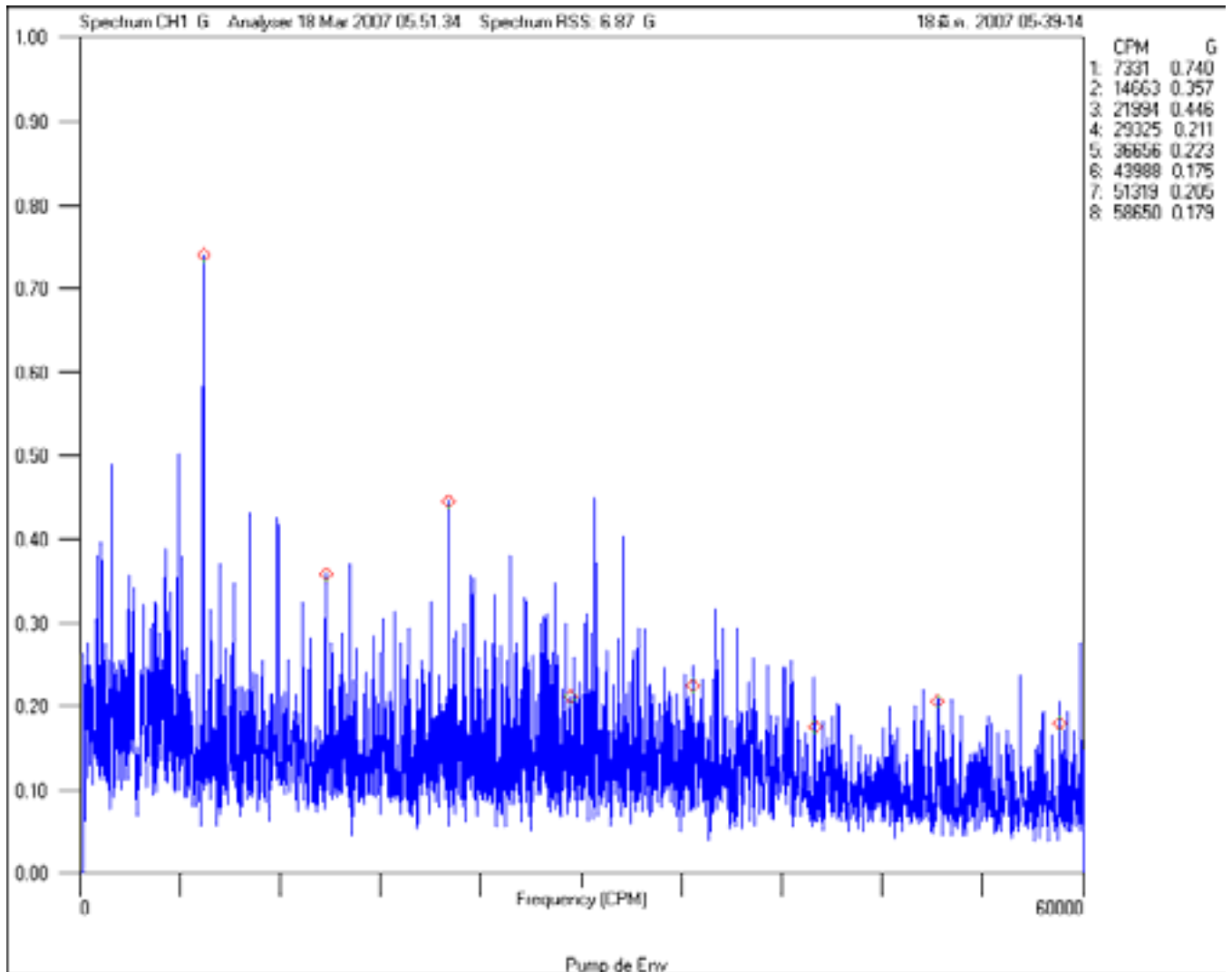
ภาพ velocity spectrum ของปั้มน้ำ ด้านซ้าย ในแนว vertical มีค่าความสั่นสะเทือนโดยรวม 9.17 m m/sec. RMS มีความถี่ 1x เท่ากับ 1491 rpm สูง 5.46 mm/sec. RMS มีการสะท้อนของสัญญาณ ณ 2x,3x,4x,5x ปัญหาเกิดจากการหลวมคลอน





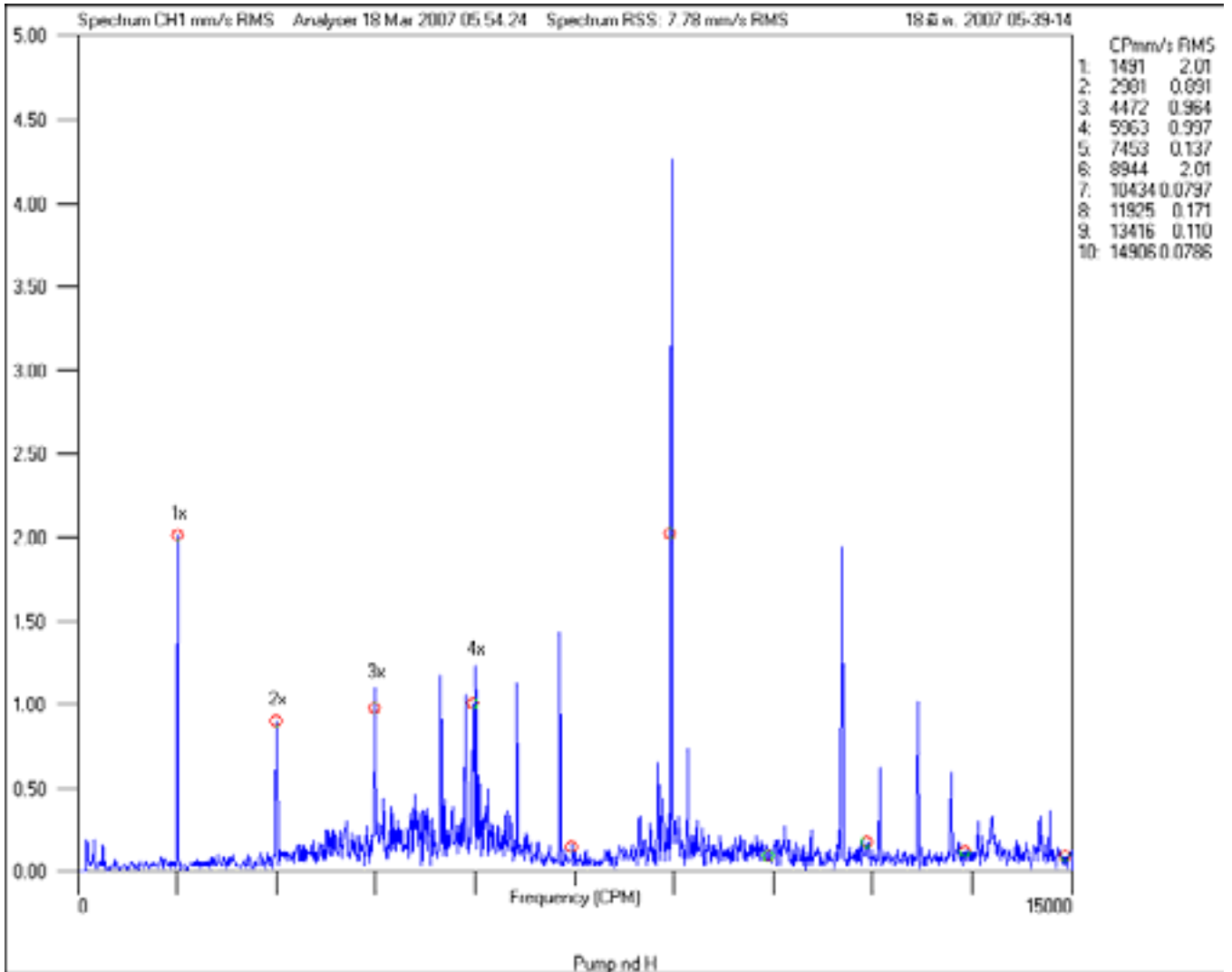
ภาพ velocity spectrum ของปั๊มด้านซ้าย ในแนวแกน (axial) มีค่าความสั่นสะเทือนโดยรวม 7.11 mm/sec. RMS มีความถี่ 1x เท่ากับ 1491 rpm สูง 2.40 mm/sec RMS และเกิดการสะท้อนของสัญญาณ ปัญหาเกิดจากการเอียงแนวของเพลลา





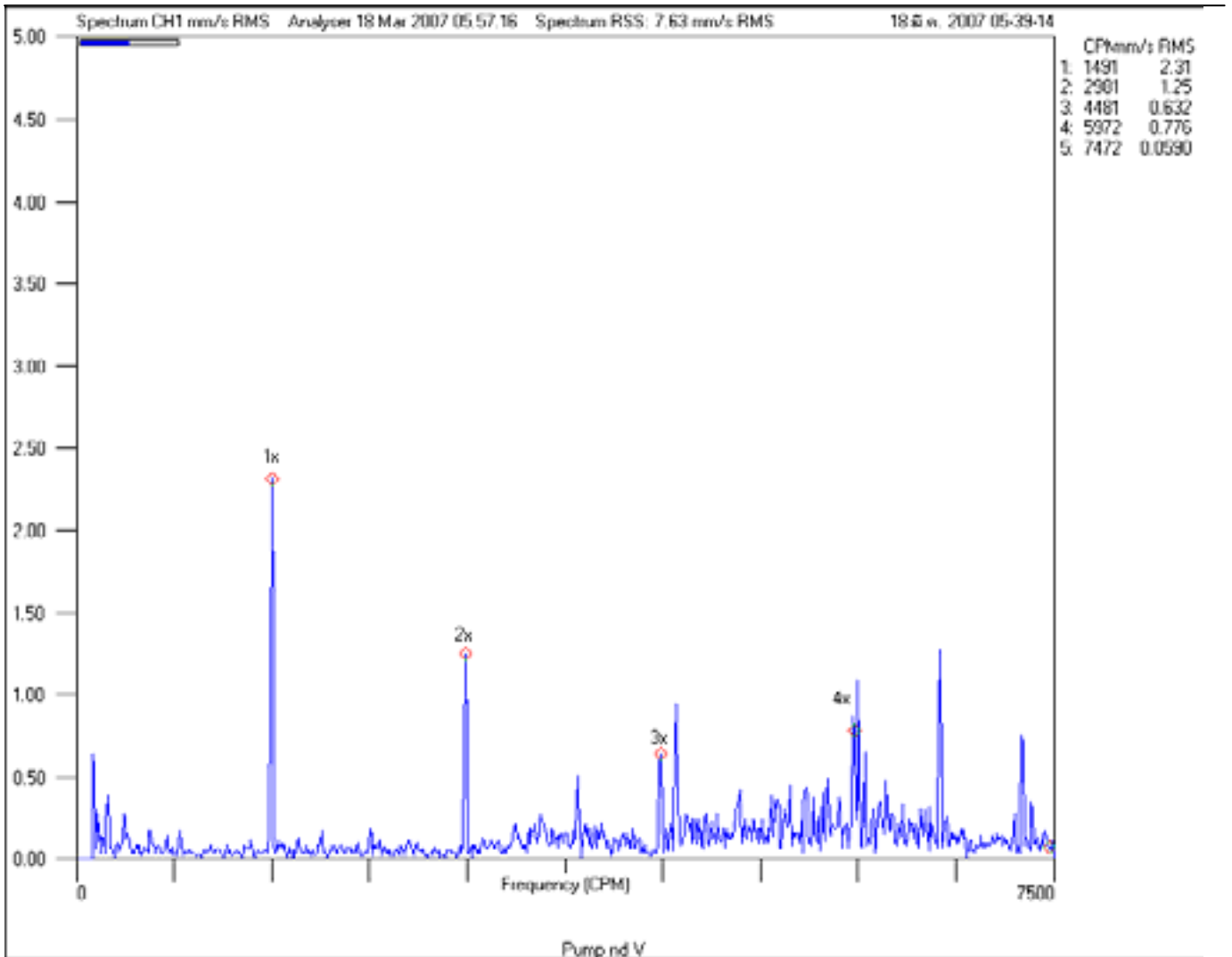
ภาพ acceleration enveloping spectrum ของปั๊มด้านซ้าย มีค่าความสั่นสะเทือนโดยรวม 6.87 gE เกิดการกระแทกเป็นจังหวะ ทุก ๆ ความถี่ 7331 cpm ปัญหาเกิดจากตลับลูกปืนด้านนี้เกิดความเสียหายในระยะเริ่มต้น





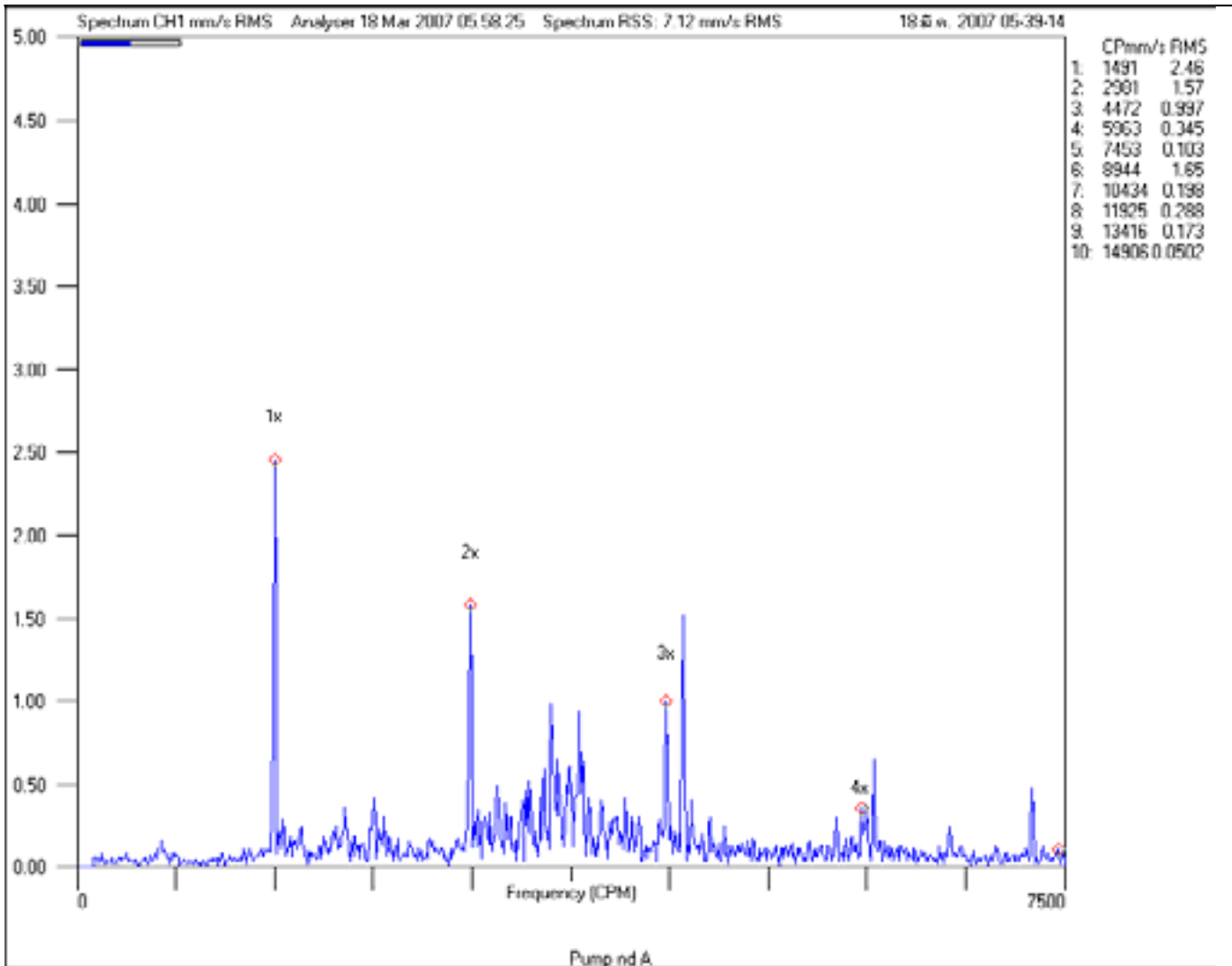
ภาพ velocity spectrum ของปั๊มด้านตามในแนว horizontal มีค่าความสั่นสะเทือนโดยรวม 7.78 mm/sec RMS มีความถี่ 1x เท่ากับ 1491 rpm สูง 2.01 mm/sec RMS และเกิดการสะท้อนของสัญญาณ ปัญหาเกิดจากการเอียงแนวของเพลลา





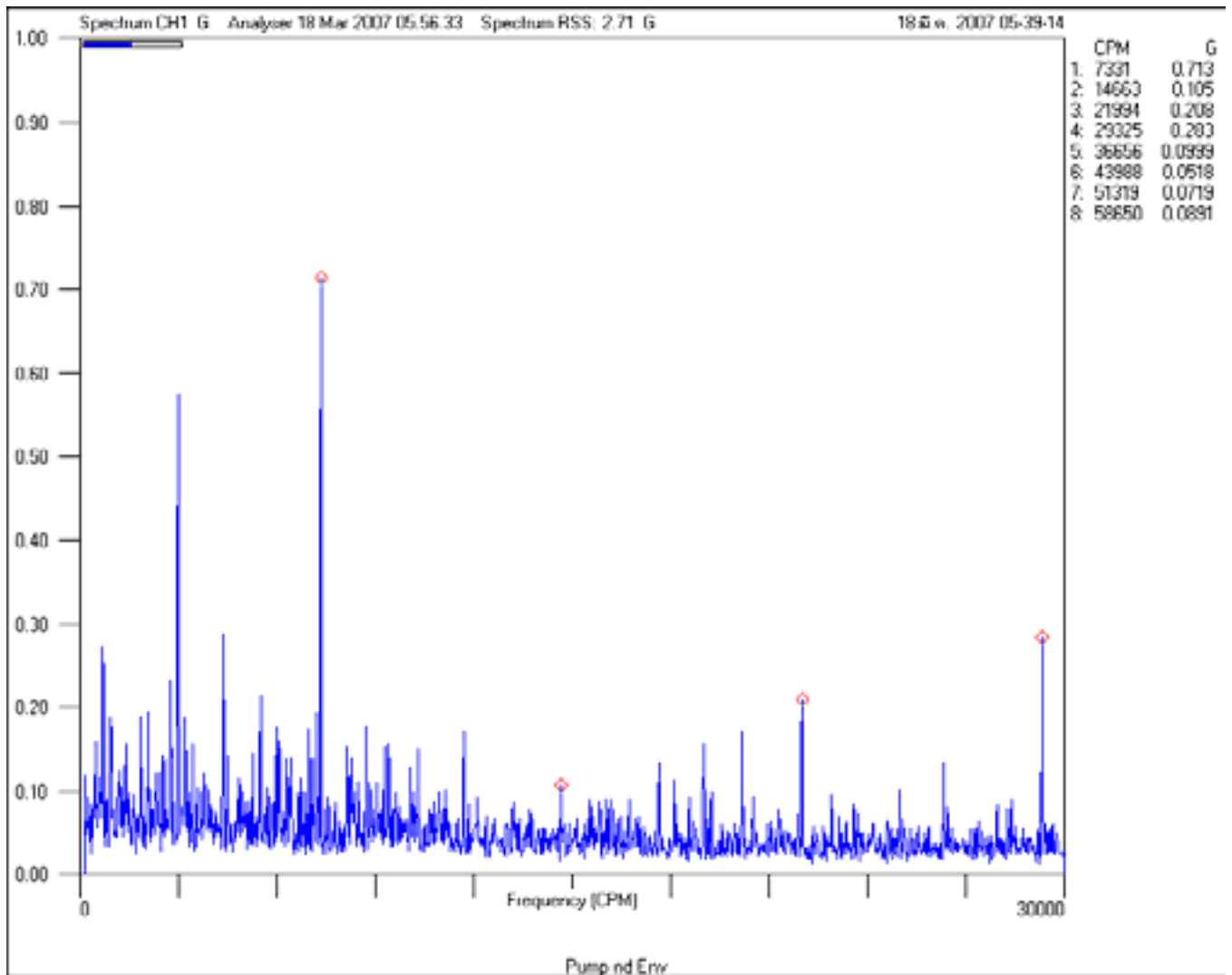
ภาพ spectrum velocity ของปั๊มด้านตาม ในแนว vertical มีค่าความสั่นสะเทือนโดยรวม 7.63 mm/sec RMS มีความถี่ 1x เท่ากับ 1491 rpm สูง 2.31 mm/sec. RMS และเกิดการสะท้อนของสัญญาณ ปัญหาเกิดจากการเอียงแนวของเพลลา





ภาพ velocity spectrum ของปั๊มด้านตาม ในแนวแกน (axial) มีค่าความสั่นสะเทือนโดยรวม 7.12 mm/sec RMS มีความถี่ 1x เท่ากับ 1491 rpm สูง 2.46 mm/sec RMS และมีการสะท้อนของสัญญาณ ปัญหาเกิดจากการเยื้องแนวของเพลลา





ภาพ acceleration enveloping spectrum ของปั๊มด้านตาม มีค่าความสั่นสะเทือนโดยรวม 2.71 gE เกิดการกระแทกเป็นจังหวะทุกๆความถี่ 7331 cpm ปัญหาเกิดจาก ตลับลูกปืนของปั๊มน้ำเริ่มมีความเสียหายในระยะเริ่มต้น

เอกสารอ้างอิง

Appendix A: ISO 10816-1 Vibration Severity Chart

Velocity Severity		Velocity Range Limits and Machine Classes ISO Std.10816-1			
		Small Machines Class I	Medium Machines Class II	Large Machines	
mm/s RMS	in/s peak			Rigid Supports Class III	Flexible Supports Class IV
.36	0.02	Good	Good	Good	Good
.54	0.03				
.72	0.04	Satisfactory	Satisfactory	Satisfactory	Satisfactory
1.08	0.06				
1.80	0.10	Unsatisfactory (alert)	Unsatisfactory (alert)	Unsatisfactory (alert)	Unsatisfactory (alert)
2.87	0.16				
4.50	0.25	Unacceptable (danger)	Unacceptable (danger)	Unacceptable (danger)	Unacceptable (danger)
7.18	0.40				
11.14	0.62	Unacceptable (danger)	Unacceptable (danger)	Unacceptable (danger)	Unacceptable (danger)
17.96	1.00				
28.00	1.56	Unacceptable (danger)	Unacceptable (danger)	Unacceptable (danger)	Unacceptable (danger)
44.90	2.50				
70.94	3.95	Unacceptable (danger)	Unacceptable (danger)	Unacceptable (danger)	Unacceptable (danger)

### Appendix B: Enveloping Severity Chart

Severity $gE_{peak}$ to peak	Shaft Diameter Speed		
	Dia. between 200 & 500 mm and Speed < 500 RPM	Dia. between 50 & 300 mm & Speed between 500 & 1000 RPM	Dia between 20 & 150mm & Speed is either 1800 or 3600 RPM
0.1	Good	Good	Good
0.5	Satisfactory	Good	Good
0.75	Satisfactory	Satisfactory	Good
1	Unsatisfactory (alert)	Satisfactory	Satisfactory
2	Unsatisfactory (alert)	Unsatisfactory (alert)	Satisfactory
4	Unacceptable (danger)	Unsatisfactory (alert)	Unsatisfactory (alert)
10	Unacceptable (danger)	Unacceptable (danger)	Unacceptable (danger)