

การประยุกต์การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ กรณีศึกษาเครื่องวัดคุณภาพยางรถยนต์

ประวัติ วีระลีลลันท์

TNI

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย สาขาการจัดการอุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีไทย - ญี่ปุ่น

ปีการศึกษา 2556

APPLICATION OF PREDICTIVE MAINTENANCE
A CASE STUDY OF TIRE UNIFORMITY MACHINE

Prawat Weeraleelanon

TNI

A Term Paper Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Business Administration Program in Industrial Management

Graduate School
Thai - Nichi Institute of Technology
Academic Year 2013

หัวข้อสารนิพนธ์

การประยุกต์การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

กรณีศึกษาเครื่องวัดคุณภาพยางรถยนต์

โดย

ประวิติ วีระลีลานนท์

สาขาวิชา

การจัดการอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์

ดร. ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น อนุมัติให้รับสารนิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. พิชิต สุขเจริญพงษ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

คณะกรรมการสอบสารนิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวดี วงษ์สุวรรณ)

..... กรรมการ

(ดร. จักร ดิงศภักดิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์

(ดร. ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน)

ประวัติ วีระลีลลนหน้ : การประยุกต์การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ กรณีศึกษา
เครื่องวัดคุณภาพยางรถยนต์. อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร. ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน, 69
หน้า.

การศึกษานี้ เป็นการประยุกต์การบำรุงรักษาเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม
ด้วยการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ โดยใช้การวัดสัญญาณความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร
เพื่อลดจำนวนการชำรุดเสียหายที่ไม่ได้วางแผนไว้ล่วงหน้า เป็นกรณีศึกษาโดยใช้เครื่องวัด
สัญญาณความสั่นสะเทือน เพื่อตรวจติดตามสภาพลูกปืนแกนหมุนของเครื่อง Tire Uniformity
Machine ซึ่งเป็นเครื่องจักรที่ใช้วัดคุณภาพยางรถยนต์ โดยนำค่าที่ได้จากการวัดเปรียบเทียบกับ
ค่ามาตรฐาน ISO 10816 ซึ่งเป็นมาตรฐานการประเมินความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร
เมื่อพบความผิดปกติขึ้นจะเข้าไปปรับมือและดำเนินการแก้ไข ก่อนที่จะเกิดการชำรุดเสียหายที่
รุนแรง และเกิดเป็นความสูญเสียอื่นๆ ตามมาจากการดำเนินกิจกรรมสามารถตรวจพบอาการ
ผิดปกติของเครื่องจักรได้ 2 ครั้ง ครั้งแรกเกิดจากน้ำมันมีการปนเปื้อน และครั้งที่สองเกิดจาก
ลูกปืนหลวมคลอน ซึ่งการปรับมือกับปัญหาดังกล่าว ทำให้ลดจำนวนครั้งและมูลค่าความเสียหาย
จากการชำรุดเสียหายที่ไม่ได้วางแผนให้เป็นศูนย์ได้ คิดเป็นมูลค่าเงินที่ประหยัดได้จากการ
บำรุงรักษาเชิงพยากรณ์นี้ ประมาณ 1.58 ล้านบาท แต่การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์เพียง
อย่างเดียวไม่สามารถที่จะทำให้ปัญหานั้นหมดไป ยังต้องอาศัยการบำรุงรักษาอื่นควบคู่ไปด้วย
เช่น การบำรุงรักษาเมื่อขัดข้อง การบำรุงรักษาเชิงแก้ไข และการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน เป็นต้น
ขึ้นอยู่กับนโยบายการบำรุงรักษา สภาพเครื่องจักร งบประมาณด้านการบำรุงรักษา และความ
พร้อมด้านบุคลากรของบริษัทที่จะเลือกใช้

TNI

บัณฑิตวิทยาลัย

สาขาวิชา การจัดการอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2556

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

PRAWAT WEERALEELANON : APPLICATION OF PREDICTIVE
MAINTENANCE : A CASE STUDY OF TIRE UNIFORMITY MACHINE.
ADVISOR : DR. DAMRONGKIAT RATTANA-AMORNPIN, 69 PP.

This study is to apply the predictive maintenance on the industrial machine by the vibration spectrum monitoring with the purpose to reduce the unplanned failure. In this study, the bearing spindle of the tire uniformity testing machine assess with the vibration measuring device, by comparing the result with ISO 10816 which is the standard for evaluating the vibration severity. The assessment help to prevent the failure and improve the process before it becomes the major failure and lead to the severe loss in finally. From the study, we found the 2 failures. First, it is from the contamination of the lubricant. Second, it is from the loose of the bearing spindle. In conclusion, we found that the predictive maintenance can reduce times and costs of the number of unplanned failure to zero. Finally, we can save cost about 1.58 million baht. However, the predictive maintenance is not the best solution for all problems. We should consider breakdown maintenance ; corrective maintenance and preventive maintenance along with the predictive maintenance. This depends on the maintenance policy and plan, the machine type and condition, the maintenance budget and the personnel preparation of each company.

TNI

Graduate School
Field of Study Industrial Management
Academic Year 2013

Student's Signature
Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความอนุเคราะห์จาก ดร. ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่า ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำต่างๆ ที่มีประโยชน์ในการนำมาปรับใช้ ตลอดจนตรวจสอบข้อบกพร่อง และชี้แนะการแก้ไข ทำให้การจัดทำสารนิพนธ์เล่มนี้ มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น จึงขอขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ คุณอนุรักษ์ ศักดิ์ปรีดา ผู้ช่วยผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม ที่ได้ให้การสนับสนุน และอนุญาตให้ใช้ข้อมูลในการทำสารนิพนธ์ตั้งแต่ต้นจนเสร็จสมบูรณ์ รวมถึงพนักงานทุกท่านที่ข้าพเจ้าได้เข้าไปศึกษาและร่วมงานด้วย

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดา มารดา ซึ่งให้กำลังใจและสนับสนุนการศึกษาเสมอมา ตลอดจนภรรยาและบุคคลในครอบครัวของข้าพเจ้าด้วย รวมทั้งครูอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้สามารถนำความรู้มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ได้

ประวัติ วีระลีลานนท์

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
ขอบเขตของการศึกษา.....	2
ขั้นตอนการศึกษาและดำเนินงาน.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
แผนงานและระยะเวลาการดำเนินงาน.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
นิยามของงานบำรุงรักษาเครื่องจักร.....	4
การซ่อมบำรุงกับการผลิต.....	4
วงจรชีวิตของเครื่องจักรและการเสื่อมสภาพ.....	5
ความสำคัญของการบำรุงรักษา.....	7
วิวัฒนาการของการบำรุงรักษา.....	8
ประเภทของการบำรุงรักษา.....	10
การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance : PdM).....	12
ทฤษฎีและการวัดความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร.....	18
การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์โดยการวิเคราะห์สัญญาณความสั่นสะเทือน....	23
การวัดผลการจัดหาระบบบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance).....	34
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	35

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3	วิธีดำเนินงานสารนิพนธ์..... 37
	ศึกษาและรวบรวมข้อมูลทั่วไปโรงงานกรณีศึกษา..... 37
	ศึกษาที่มาของปัญหา และการเลือกหัวข้อในการปรับปรุง..... 44
	ออกแบบขั้นตอนบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์..... 47
4	ผลการศึกษา..... 53
	สรุปผลการศึกษา..... 53
	ข้อเสนอแนะ และความคิดเห็น..... 53
	ประโยชน์ที่ได้จากการทำสารนิพนธ์..... 54
บรรณานุกรม.....	55
ภาคผนวก.....	58
	ภาคผนวก ก. ข้อมูลการชำรุดเสียหายของเครื่อง Tire Uniformity Machine..... 59
	ภาคผนวก ข. ผลการวัดสัญญาณความสั่นสะเทือนของเครื่อง Tire Uniformity Machine..... 61
	ภาคผนวก ค. คุณสมบัติของเครื่องวัดความสั่นสะเทือน MicroVibe P รุ่น MCVL 3850-ML..... 64
ประวัติผู้เขียนสารนิพนธ์.....	69

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	หัวข้อการดำเนินงานและระยะเวลาในการทำสารนิพนธ์.....	3
2	วิวัฒนาการการบำรุงรักษา.....	10
3	เปรียบเทียบวิธีการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์.....	16
4	มาตรฐานการเปรียบเทียบค่าความสั่นสะเทือน ใช้เกณฑ์มาตรฐานของ ISO 2372.....	30
5	คำอธิบายมาตรฐานสากล ISO 10816.....	33
6	ข้อมูลความเสียหายของลูกปืนแกนหมุนเครื่อง Tire Uniformity Machine ระหว่างปี พ.ศ. 2551 ถึง ปี พ.ศ. 2554.....	46
7	มูลค่าเงินที่ประหยัดได้จากการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์.....	48
8	จำนวนครั้งของลูกปืนแกนหมุนของเครื่อง Tire Uniformity Machine ที่ชำรุด.....	52
9	ข้อมูลการชำรุดเสียหายของเครื่อง Tire Uniformity Machine.....	60
10	ค่าความสั่นสะเทือนของเครื่อง Tire Uniformity Machine หมายเลข 1-7 ระหว่างวันที่ 9 มกราคม พ.ศ. 2555 ถึงวันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ. 2555.....	62
11	ค่าความสั่นสะเทือนของเครื่อง Tire Uniformity Machine หมายเลข 8-14 ระหว่างวันที่ 9 มกราคม พ.ศ. 2555 ถึงวันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ. 2555.....	63

TNI

TAHITI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญรูป

รูป		หน้า
1	แผนผังการไหลของกิจกรรมการซ่อมบำรุงและการผลิต.....	5
2	กราฟเส้นโค้งรูปร่างน้ำ (Bathtub Curve).....	6
3	ประเภทของการซ่อมบำรุง.....	11
4	ระยะเวลาเตือนของเทคนิคการตรวจวัดต่างๆ.....	17
5	ตัวอย่างการสันสเทือนแบบฮาร์โมนิคอย่างง่าย.....	18
6	ตัวอย่างสัญญาณเป็นคาบเวลาแบบฮาร์โมนิคผสม ($f+2f$).....	19
7	การแยกส่วนประกอบสัญญาณ.....	19
8	หลักการวัดความสันสเทือนเหมือนกับการแกว่งไปแกว่งมาของลูกตุ้ม.....	20
9	ลักษณะรูปคลื่นการสัน และค่าต่างๆ ที่เกี่ยวกับการวัดความสันสเทือน.....	22
10	หุฟงอุตสาหกรรม ใช้การตรวจเช็คแบร์ริงมอเตอร์ไฟฟ้า.....	23
11	ทิศทางการตรวจวัดค่าความสันสเทือนในตำแหน่งต่างๆ สำหรับเครื่องจักร แนวราบ.....	25
12	ทิศทางการตรวจวัดค่าความสันสเทือน เครื่องจักรที่ติดตั้งในแนวดิ่ง.....	25
13	ขั้นตอนการจัดทำระบบการวัดความสันสเทือน.....	27
14	ขั้นตอนการดำเนินการวัดความสันสเทือน.....	29
15	ระดับค่าความสันสเทือน สำหรับเครื่องจักรในอุตสาหกรรม ตามระบบ ISO10816-1.....	34
16	ผังบริหารงานโรงงานกรณีศึกษา.....	37
17	ผังบริหารงานของแผนกวิศวกรรมโรงงานกรณีศึกษา.....	38
18	ผังการไหลการซ่อมบำรุงรักษาเมื่อขัดข้อง.....	39
19	ตัวอย่างใบแจ้งซ่อมและบันทึกการซ่อมบำรุงเครื่องจักร.....	40
20	ผังงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน.....	41
21	ผังการไหลของกระบวนการหลักในการผลิตยางรถยนต์.....	42
22	ภาพรวมของกระบวนการผลิตยางรถยนต์.....	42
23	เครื่อง Tire Uniformity Machine.....	43
24	ทิศทางแรงในการวัดของเครื่อง Tire Uniformity Machine.....	43
25	การชำรุดเสียหายรุนแรงของเครื่อง Tire Uniformity Machine ระหว่างปี พ.ศ. 2551 ถึง พ.ศ. 2554.....	45
26	แกนหมุนเครื่อง Tire Uniformity Machine ที่ชำรุดเสียหาย.....	45

สารบัญรูป

รูป		หน้า
27	ตำแหน่งในการวัดค่าความสั่นสะเทือนของเครื่อง Tire Uniformity Machine.....	47
28	ตัวอย่างแบบฟอร์มการวัดค่าความสั่นสะเทือนโรงงานกรณีศึกษา.....	49
29	แนวโน้มการสั่นสะเทือนของเครื่อง Tire Uniformity Machine หมายเลข 1-7 ระหว่างวันที่ 9 มกราคม พ.ศ. 2555 ถึงวันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ. 2555.....	50
30	แนวโน้มการสั่นสะเทือนของเครื่อง Tire Uniformity Machine หมายเลข 8-14 ระหว่างวันที่ 9 มกราคม พ.ศ. 2555 ถึงวันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ. 2555.....	51



บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

จากการแข่งขันที่สูงในปัจจุบันได้ส่งผลต่อองค์กรและธุรกิจทั่วไป ทั้งด้านคุณภาพ ราคา และการจัดส่งสินค้า เพื่อความอยู่รอดขององค์กรหรือธุรกิจ จึงเน้นไปที่การปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน การลดความสูญเสียในกระบวนการผลิต รวมทั้งการหาเทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขัน ส่งมอบสินค้าและบริการให้ทันตามความต้องการของลูกค้า องค์กรใดที่สามารถตอบสนองสิ่งเหล่านี้ได้ก็จะอยู่รอด สำหรับอุตสาหกรรมที่ใช้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์เป็นส่วนหนึ่งในการดำเนินงาน ความพร้อมใช้งานของเครื่องจักร การมีเครื่องจักรที่มีความน่าเชื่อถือ จึงเป็นสิ่งจำเป็น วิธีการที่จะทำให้เครื่องจักรมีความน่าเชื่อถือและมีความพร้อมในการใช้งานก็คือ ระบบการบำรุงรักษาเครื่องจักร (Maintenance System) หากเครื่องจักรเกิดความเสียหายไม่สามารถผลิตสินค้าได้ ย่อมสร้างความเสียหายให้กับบริษัทอย่างแน่นอน จะเห็นวาระบบการจัดการบำรุงรักษาเครื่องจักรมีผลกระทบมากต่อกำลังการผลิต หลายองค์กรจึงมุ่งประเด็นไปที่การหาวิธีที่ดีที่สุดในการจัดการระบบการบำรุงรักษาเครื่องจักรที่เหมาะสมลดต้นทุนในการบำรุงรักษาให้น้อยที่สุดเพื่อเพิ่มผลกำไรจากการประกอบการให้สูงขึ้น

ปัจจุบันการบำรุงรักษาเครื่องจักรนั้นมีมากมายหลากหลายวิธี เช่น การซ่อมบำรุงเมื่อขัดข้อง (Breakdown Maintenance) การซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) การซ่อมบำรุงรักษาเพื่อแก้ไขปรับปรุง (Corrective Maintenance) หรือการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance) เป็นต้น การเลือกใช้นั้นก็ขึ้นอยู่กับนโยบายงบประมาณ ความพร้อมด้านบุคลากรขององค์กรนั้นๆ

การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการสร้างความน่าเชื่อถือให้กับเครื่องจักร การบำรุงรักษาแบบนี้ เป็นการบำรุงรักษาแบบคาดการณ์ล่วงหน้า โดยใช้อุปกรณ์หรือเครื่องมือวัดที่มีความน่าเชื่อถือ เช่น เครื่องวัดสัญญาณความสั่นสะเทือน (Vibration Meter) เครื่องวิเคราะห์คลื่นเสียงความถี่สูง (Acoustic Emission) อุปกรณ์วัดความร้อน (Thermography) การวิเคราะห์กระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ (Motor Current Analysis) และการวิเคราะห์สารหล่อลื่นใช้แล้ว (Used Lubricant Analysis) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน เพื่อบอกหรือบ่งชี้ถึงอาการต่างๆ ที่จะเป็นปัญหาของเครื่องจักร ให้สามารถทำการปรับเปลี่ยนหรือแก้ไขได้ทันทั่วๆไปที่ก่อนที่จะเกิดเครื่องจักรจะชำรุดเสียหาย

สำหรับโรงงานกรณีศึกษาเครื่องจักรนับว่าเป็นส่วนสำคัญในการผลิต ระบบการบำรุงรักษาที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ทั้งการบำรุงรักษาเมื่อขัดข้อง และการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ยังไม่สามารถตอบสนองต่อการผลิตในปัจจุบันได้ เมื่อเครื่องจักรที่สำคัญชำรุดเสียหายขึ้น เช่น เครื่อง

ตรวจสอบคุณภาพยางรถยนต์ (Tire Uniformity Machine) มีการหยุดแบบกะทันหันบ่อยครั้ง เนื่องจากลูกปืนแกนหมุนของเครื่องเกิดการชำรุดเสียหาย เป็นความเสียหายที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ว่าจะชำรุดเสียหายเมื่อใด ทำให้เกิดความสูญเสียทั้งยอดการผลิต ส่งมอบลูกค้าไม่ทันตามกำหนด พนักงานฝ่ายผลิตเกิดการว่างงานในช่วงที่ฝ่ายบำรุงรักษาดำเนินการซ่อมบำรุง ต้องมีการระดมกำลังช่างซ่อมบำรุงมาเพื่อรับมือ ทำให้งานอื่นที่ทำอยู่ต้องหยุดชะงัก เพื่อไม่ให้เครื่องจักรหยุดนานเนื่องจากการรออะไหล่ จึงจำเป็นต้องจัดเตรียมอะไหล่ไว้จำนวนมากให้เพียงพอ ทำให้ต้องสูญเสียเงินเป็นจำนวนมากในการจัดซื้อ ทั้งอะไหล่มีราคาแพงและไม่ทราบปริมาณใช้งานที่แน่นอน เป็นต้น ดังนั้นเพื่อเพิ่มศักยภาพและความน่าเชื่อถือในการบำรุงรักษาให้มากขึ้น จึงจำเป็นต้องนำระบบการบำรุงรักษาอื่น เข้ามาเสริมเพื่อให้ระบบการบำรุงรักษาเดิมมีศักยภาพและความน่าเชื่อถือมากขึ้น สารนิพนธ์ฉบับนี้ จึงได้ทำการศึกษากระบวนการบำรุงรักษาเครื่องจักรเชิงพยากรณ์ โดยใช้เครื่องมือวัดสัญญาณความสั่นสะเทือน เนื่องจากเครื่องจักรส่วนใหญ่เป็นเครื่องจักรที่ทำงานด้วยการหมุน สามารถนำสัญญาณความสั่นสะเทือนมาใช้ในการตรวจสอบติดตามอาการเสียของเครื่องจักรก่อนที่เครื่องจักรจะชำรุดเสียหายแบบกะทันหันได้

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อลดจำนวนครั้งและมูลค่าความสูญเสียจากการชำรุดเสียหายรุนแรง ที่ไม่ได้วางแผนไว้ล่วงหน้า (Unplanned Maintenance) ของลูกปืนแกนหมุนเครื่อง Tire Uniformity Machine ให้เป็นศูนย์

ขอบเขตของการศึกษา

นำระบบการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ มาใช้เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของเครื่องจักร โดยใช้เครื่องมือวัดความสั่นสะเทือน ตรวจสอบติดตามสภาพเครื่อง Tire Uniformity Machine ในกระบวนการ Final Inspection ของโรงงานผลิตยางรถยนต์กรณีศึกษา ก่อนที่เครื่องจักรจะเกิดการชำรุดเสียหาย

ขั้นตอนการศึกษาและดำเนินงาน

1. ศึกษากระบวนการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์
2. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลทั่วไปโรงงานกรณีศึกษา
3. วิเคราะห์ที่มาของปัญหา และเลือกหัวข้อในการปรับปรุง
4. ออกแบบระบบการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์
5. ทดลองใช้งานระบบบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ที่ออกแบบไว้
6. ติดตามผลและประเมินผล เปรียบเทียบผลก่อนกับหลังดำเนินงาน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินการศึกษารวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การดำเนินงานการศึกษาเรื่อง การประยุกต์ระบบการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม ผู้ศึกษาได้ทำการศึกษารวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตามหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

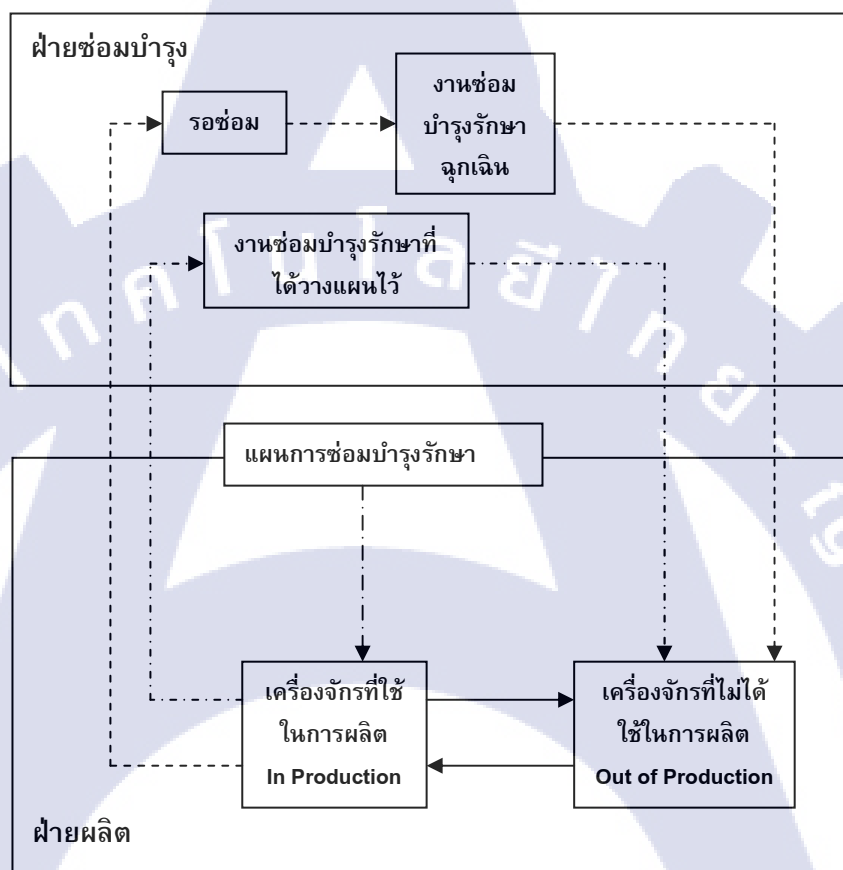
นิยามของงานบำรุงรักษาเครื่องจักร

ชินอย ; และบาตูรี ได้ให้คำนิยามของการบำรุงรักษาไว้ว่า การบำรุงรักษา เป็นการสงวนหรือรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตให้เป็นไปตามคุณลักษณะเงื่อนไขการทำงาน ซึ่งการบำรุงรักษานี้ สามารถครอบคลุมไปถึงกิจกรรมหรืองานที่มีความสัมพันธ์กับการสงวนรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์ หรือเป็นการซ่อมเครื่องจักรอุปกรณ์ต่างๆ ให้อยู่ในสภาพปกติ โดยกิจกรรมการบำรุงรักษาเครื่องจักรนี้จำเป็นต้องใช้อะไหล่สำรอง กำลังคน เครื่องมือ และสิ่งอำนวยความสะดวก ซึ่งความพร้อมและการใช้งานของทรัพยากรเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญ นอกจากนี้มีการกำหนดงานหรือกิจกรรม รวมไปถึงการทำความสะอาด การหล่อลื่น การเฝ้าติดตาม การวางแผนและการจัดลำดับงาน (ธาราริน อร่ามเจริญ. 2543 : 6)

การซ่อมบำรุงกับการผลิต

จากนิยามการบำรุงรักษาดังกล่าว จะเห็นว่าการบำรุงรักษาเครื่องจักรนั้นมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับการผลิต เมื่อทำการศึกษาในรายละเอียดของกิจกรรมการบำรุงรักษาและการผลิต พบว่า วัตถุประสงค์ของการผลิต คือ ทำการผลิตให้ได้มาซึ่งผลผลิตที่ต้องการด้วยคุณภาพที่ได้มาตรฐาน ต้นทุนต่ำ การส่งมอบที่ต้องเป็นไปตามกำหนดเวลาและแผนงานที่วางไว้ การผลิตต้องอยู่ในระดับที่สร้างความมั่นใจในด้านความปลอดภัยให้แก่พนักงาน และทำให้พนักงานมีขวัญและกำลังใจ ซึ่งการผลิตจำเป็นต้องใช้ทรัพยากรการผลิตส่วนการได้มาซึ่งความพร้อมในการใช้งานของเครื่องจักรอุปกรณ์ เป็นวัตถุประสงค์หลักของการบำรุงรักษาเครื่องจักร หรืออาจจะกล่าวได้ว่า วัตถุประสงค์หลักของการบำรุงรักษา คือ ต้องการควบคุมความสามารถในการจัดหาอุปกรณ์ โดยให้มีต้นทุนต่ำที่สุด และต้องขยายอายุการใช้งานของเครื่องจักรอุปกรณ์ ดังนั้นการผลิตและการบำรุงรักษาจึงมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป เมื่อพิจารณาถึงกิจกรรมการผลิตของฝ่ายผลิตและกิจกรรมการบำรุงรักษาเครื่องจักรแล้ว จะเห็นว่ากิจกรรมของทั้งสองฝ่ายเกี่ยวข้องกัน ดังที่ได้สรุปไว้ในรูปที่ 1 กล่าวคือ เครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตของฝ่ายผลิต เมื่อเกิดเหตุขัดข้องจะส่งไปทำการซ่อมที่ฝ่ายซ่อมบำรุง ซึ่งฝ่ายซ่อมบำรุงจะทำการวางแผนจัดลำดับงานซ่อมและดำเนินการซ่อม

หลังจากนั้นจะทำการส่งกลับไปให้ฝ่ายผลิตใช้ในการผลิตต่อไป ส่วนฝ่ายซ่อมบำรุงจะวางแผนการซ่อมบำรุงเครื่องจักรอุปกรณ์ และส่งแผนการซ่อมบำรุงให้ฝ่ายผลิตดำเนินการจัดเตรียมเครื่องจักรอุปกรณ์ให้พร้อมในการดำเนินการบำรุงรักษา เมื่อถึงเวลาบำรุงรักษาทำการบำรุงรักษาเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ เมื่อเสร็จจะส่งกลับไปให้ฝ่ายผลิตต่อไป



รูปที่ 1 แผนผังการไหลของกิจกรรมการซ่อมบำรุงและการผลิต

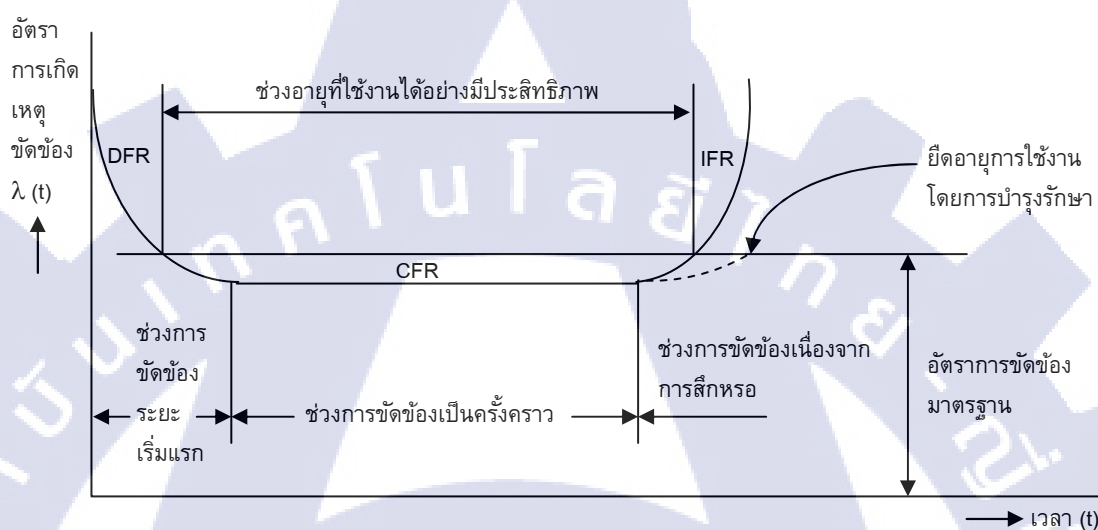
ที่มา : ชาญยุทธ ชัมสกุล. (2548). การออกแบบระบบซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน กรณีศึกษา บริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน). หน้า 10.

วงจรชีวิตของเครื่องจักรและการเสื่อมสภาพ

วงจรชีวิตของเครื่องจักรกล (Machinery Life Cycle) ซึ่งวิธีการที่จะนำมาอธิบายวงจรชีวิตของเครื่องจักรในช่วงเวลาต่างๆ โดยเริ่มตั้งแต่การประกอบขึ้นของเครื่องจักร การเสื่อมสภาพของเครื่องจักร การชำรุด และการหมดสภาพการใช้งานของเครื่องจักร ซึ่งเป็นที่ยอมรับในทางวิศวกรรมการบำรุงรักษา คือ กราฟเส้นโค้งรูปอ่างน้ำ (Bathtub Curve) ซึ่งเป็น

กราฟที่จะใช้อธิบายลักษณะเฉพาะที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปกับเครื่องจักร จากกราฟจะทำการแบ่งช่วงวงจรชีวิตของเครื่องจักรออกเป็น 3 ช่วง ดังรูปที่ 2

1. ช่วงการขัดข้องระยะเริ่มแรก (Early Failure Period หรือ Run – In Period)
2. ช่วงการขัดข้องเป็นครั้งคราว (Random Failure หรือ Life Time Period)
3. ช่วงการขัดข้องเนื่องจากการสึกหรอของเครื่องจักร (Wear – Out Failure)



รูปที่ 2 กราฟเส้นโค้งรูปร่างอ่างน้ำ (Bathtub Curve)

ที่มา : พูลพร แสงบางปลา. (2545). การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยการบำรุงรักษา TPM. หน้า 105.

ช่วงเวลาต่างๆ ตามอัตราการชำรุดของเครื่องจักรกล จากรูปอธิบายความหมาย ดังนี้

1. ช่วงการขัดข้องระยะเริ่มแรก (Early Failure Period หรือ Run – In Period)

ช่วงการขัดข้องระยะเริ่มแรก เป็นลักษณะการลดลงของอัตราการชำรุด (Decreasing Failure Rate : DFR) อัตราการชำรุดจะมีโอกาสเกิดขึ้นได้ จากสาเหตุหลายประการ เช่น การใช้วัสดุที่ผลิตเครื่องจักรไม่เหมาะสมกับการใช้งานของเครื่องจักรหรือไม่ถูกต้อง การออกแบบที่ไม่เหมาะสมหรือไม่ถูกต้อง การควบคุมคุณภาพหรือเทคโนโลยีการผลิตของการประกอบเครื่องจักรไม่ดีพอ การติดตั้งเครื่องจักรผิดไปจากที่กำหนดไว้ในคู่มือเครื่องจักร และการใช้งานไม่เหมาะสมหรือไม่ถูกต้อง ระยะนี้อัตราการชำรุดจึงมีโอกาสดังกล่าวเกิดขึ้นได้สูงมาก ดังนั้น สำหรับการใช้งานของเครื่องจักรในระยะนี้ เมื่อเริ่มมีการชำรุดจากสาเหตุใดก็ตาม ต้องดำเนินการแก้ไขปรับปรุงเพื่อให้ผ่านช่วงเวลานี้ไป เมื่อผ่านพ้นช่วงนี้ไปแล้ว อัตราการชำรุดของเครื่องจักรจะ

ค่อยๆ ลดลง หากต้องการลดโอกาสการชำรุดในช่วงนี้อาจจะมีทางเลือกหลายทาง ซึ่งประกอบไปด้วย

- การเลือกซื้อเครื่องจักรที่มีคุณภาพดี หรือจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องจักรที่เชื่อถือได้ ซึ่งเครื่องจักรนั้นจะต้องได้รับการออกแบบอย่างดี
- ในการติดตั้ง ควรติดตั้งเครื่องจักรให้ได้ตามมาตรฐานของบริษัทผู้ผลิต
- ควรศึกษาจากคู่มือที่มากับเครื่องจักร และทำความเข้าใจหลักการใช้งานเครื่องจักรให้ถูกต้อง
- ควรดูแลและบำรุงรักษาอยู่เสมอ เมื่อขัดข้องต้องรีบแก้ไขทันที และวางระบบการบำรุงรักษาที่ดี

2. ช่วงการขัดข้องเป็นครั้งคราว (Random Failure หรือ Life Time Period)

ช่วงการขัดข้องเป็นครั้งคราว เป็นช่วงที่ต่อเนื่องจากช่วงแรก เมื่อมีการใช้งานมาระยะหนึ่งแล้ว เป็นช่วงที่มีการปรับปรุงหรือมีการเปลี่ยนแปลงให้มีเสถียรภาพในการทำงานของเครื่องจักรมาแล้ว อัตราการชำรุดจะไม่ค่อยมี แต่ในบางโอกาสก็เกิดขึ้นได้ ขึ้นอยู่กับการใช้งานและการบำรุงรักษา และคงอยู่ในสภาพเช่นนั้นในระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งมีปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้ระยะการใช้งานปกติของเครื่องจักรยาวนานขึ้น เช่น ใช้งานไม่เกินภาระที่ได้รับการออกแบบไว้ บำรุงรักษาตามที่กำหนดไว้ในคู่มือเครื่องจักร และควบคุมสภาพแวดล้อมที่เครื่องจักรติดตั้งใช้งานอยู่ให้เหมาะสมตามที่ออกแบบไว้ เมื่อมีการควบคุมสิ่งเหล่านี้ได้ โอกาสที่เครื่องจักรจะชำรุดคงมีไม่มากและมักจะมีค่าค่อนข้างคงที่ จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟเป็นเส้นขนานกับแกนเวลา นั่นคืออัตราการชำรุดเสียหายค่อนข้างคงที่ (CFR : Constant Failure Rate : λ Constant)

3. ช่วงการขัดข้องเนื่องจากการสึกหรอของเครื่องจักร (Wear – Out Period)

ช่วงการขัดข้องเนื่องจากการสึกหรอของเครื่องจักร เป็นช่วงที่เมื่อเครื่องจักรผ่านระยะการใช้งานมาเป็นเวลานานๆ ทำให้เกิดการล้าขึ้นกับชิ้นส่วนของเครื่องจักร ทำให้ชิ้นส่วนของเครื่องจักรเริ่มเสื่อมสภาพ เช่น เกิดการสึกหรอ เมื่อเสื่อมมากขึ้นอัตราการชำรุดก็เพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งเป็นช่วงที่เรียกว่า อัตราการชำรุดเสียหายค่อยๆ เพิ่มขึ้น (Increasing Failure Rate : IFR)

ความสำคัญของการบำรุงรักษา

โรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปจะมีหลักการบริหารงานที่คล้ายกัน คือ พยายามควบคุมระบบการผลิตให้ได้ปริมาณที่มากและมีคุณภาพตามที่ต้องการของลูกค้า และส่งสินค้าให้กับลูกค้าได้ตามเวลาที่กำหนด พร้อมควบคุมต้นทุนในการดำเนินการให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ ผู้ปฏิบัติงานภายในโรงงานจะต้องทำงานอย่างปลอดภัยและมีขวัญกำลังใจ เพื่อให้บรรลุตามเป้าหมายที่ได้วางไว้ และเพื่อที่สนองตามนโยบายด้านการบริหารงานนั้น ต้องมีการประสานงานกันอย่างดีระหว่างหน่วยงานด้านการผลิตและหน่วยงานด้านบำรุงรักษา เพื่อไม่ให้มีเหตุอันไม่

พึงประสงค์เกิดขึ้นกับเครื่องจักรในระบบการผลิต ถ้าเครื่องจักรในระบบการผลิตมีเหตุอันต้องหยุดทำงาน เช่น เกิดความเสียหายอย่างรุนแรงกับเครื่องจักร จะทำให้ระบบการผลิตนั้นต้องหยุดชะงักตามด้วย การวางแผนระบบบำรุงรักษาที่ดีและมีประสิทธิภาพ จะช่วยให้เครื่องจักรทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพและมีความมั่นคงต่อระบบการผลิต ซึ่งจะส่งผลให้องค์การมีผลกำไรเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นการบำรุงรักษาจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อทุกระบบการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. เครื่องจักรทำงานได้อย่างเต็มสมรรถภาพ

การบำรุงรักษาที่ดีและสมบูรณ์ จะทำให้เครื่องจักรนั้นมีสมรรถภาพในการทำงานที่สูงตามที่ได้ออกแบบไว้ และเครื่องจักรจะได้ทำงานเต็มกำลังและตรงกับความต้องการที่ได้จัดหามาเพื่อสนองต่อระบบการผลิตนั้นๆ

2. เพิ่มสมรรถนะการทำงานของเครื่องจักร

การบำรุงรักษาที่ดีจะทำให้เครื่องจักรมีอายุการทำงานเพิ่มขึ้น ทำให้เครื่องจักรนั้นใช้งานได้เต็มสมรรถนะ และเมื่อเครื่องจักรใช้งานไประยะเวลาหนึ่งก็จะเกิดการล้าและการสึกหรอขึ้น ถ้าขาดการดูแลและบำรุงรักษาที่ดีแล้ว เครื่องจักรนั้นอาจจะเกิดการขัดข้อง ชำรุดเสียหายหรือทำงานได้ไม่เต็มสมรรถนะ ซึ่งจะส่งผลต่อระบบการผลิตในอนาคตได้

3. เพิ่มความน่าเชื่อถือ

เมื่อมีการบำรุงรักษาที่ดีแล้ว จะทำให้เครื่องจักรมีเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือต่อระบบการผลิต ซึ่งจะส่งผลให้ระบบการผลิตสามารถผลิตสินค้าได้ทันเวลาและมีมาตรฐานตามที่ได้กำหนดไว้ และเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการบริหารในเบื้องต้น

4. มีความปลอดภัย

การบริหารงานโรงงานอุตสาหกรรมในปัจจุบัน ได้ให้ความสำคัญต่อระบบความปลอดภัยต่อบุคคลมาเป็นอันดับหนึ่ง ซึ่งปัจจุบันจะมีกฎหมายควบคุมความปลอดภัยในโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดไว้ โดยทุกโรงงานอุตสาหกรรมตั้งแต่ขนาดกลางขึ้นไปจะต้องมีเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยประจำโรงงานนั้น เพื่อดูแลควบคุมดูแลด้านความปลอดภัยให้แก่บุคลากรทุกคนภายในโรงงาน ซึ่งรวมไปถึงงานด้านการบำรุงรักษาด้วย

วิวัฒนาการของการบำรุงรักษา

การบำรุงรักษาเมื่อขัดข้อง (Breakdown Maintenance : BM) เป็นการบำรุงรักษาแบบแรก ซึ่งเป็นการบำรุงรักษาตามอาการ เมื่อเครื่องจักรเกิดความเสียหายอะไรก็ตามแซมแก้ไขไปตามนั้น เพื่อให้กลับมาใช้งานได้ตามปกติ แต่ในขณะที่เครื่องจักรใช้งานได้ก็จะมีกิจกรรมใดๆ ที่เป็นการบำรุงรักษา อย่างไรก็ตาม การบำรุงรักษาเมื่อขัดข้อง คือ การบำรุงรักษาประเภทหนึ่ง แต่ไม่สามารถใช้ได้กับเครื่องจักรในกรณีที่เกิดความเสียหายแล้วส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตเป็นอย่างมาก จึงได้มีการคิดค้นการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive

Maintenance : PM) โดยการบำรุงรักษาในขณะที่เครื่องจักรยังใช้งานได้โดยไม่ต้องรอให้เครื่องเสียหาย การบำรุงรักษาเชิงป้องกันก็ยังประสบปัญหาอีกเกี่ยวกับตัวเครื่องจักรที่ออกแบบมาไม่สะดวกต่อการแก้ไข และการบำรุงรักษารวมถึงการใช้งานที่ยากลำบาก และมีโอกาสผิดพลาดสูง ดังนั้นจึงต้องมีการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขและปรับปรุง (Corrective Maintenance : CM) เพื่อให้เครื่องจักรทำงานได้ง่ายต่อซ่อมบำรุงและบำรุงรักษา แม้ว่าการบำรุงรักษาที่มีวิวัฒนาการอย่างต่อเนื่องก็ตาม ยังไม่สามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยการบำรุงรักษาแบบใดแบบหนึ่ง กล่าวคือ ถึงแม้จะมีการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ยอดเยี่ยมเพียงใด เครื่องจักรยังคงต้องมีการบำรุงรักษาเมื่อขัดข้อง หรือต่อให้เราตั้งใจการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเพียงใดก็ไม่ได้ผลอย่างเต็มที่ ถ้าไม่มีการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขและปรับปรุง และต่อให้เรามีเครื่องจักรที่ทำงานง่าย ซ่อมง่าย ดูแลง่ายเพียงใด ต้องเสียเวลามาก ถ้าไม่มีการป้องกันการบำรุงรักษา (Maintenance Prevention : MP) ไร้ล้วงหน้า การบำรุงรักษาที่ผลิต (Productive Maintenance : PM) เป็นการนำเอาการบำรุงรักษารูปแบบต่างๆ มารวมไว้ด้วยกัน

แนวความคิดและวิวัฒนาการในการบำรุงรักษา เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีในการผลิตคอมพิวเตอร์ จึงมีส่วนช่วยทำให้มีการผลักดันให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของวิธีการบำรุงรักษา โดยสามารถสรุปแนวของวิวัฒนาการที่เกิดขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 1950 ถึงหลังช่วงปี ค.ศ. 2000 ดังตารางที่ 2



TNI

ตารางที่ 2 วิวัฒนาการการบำรุงรักษา

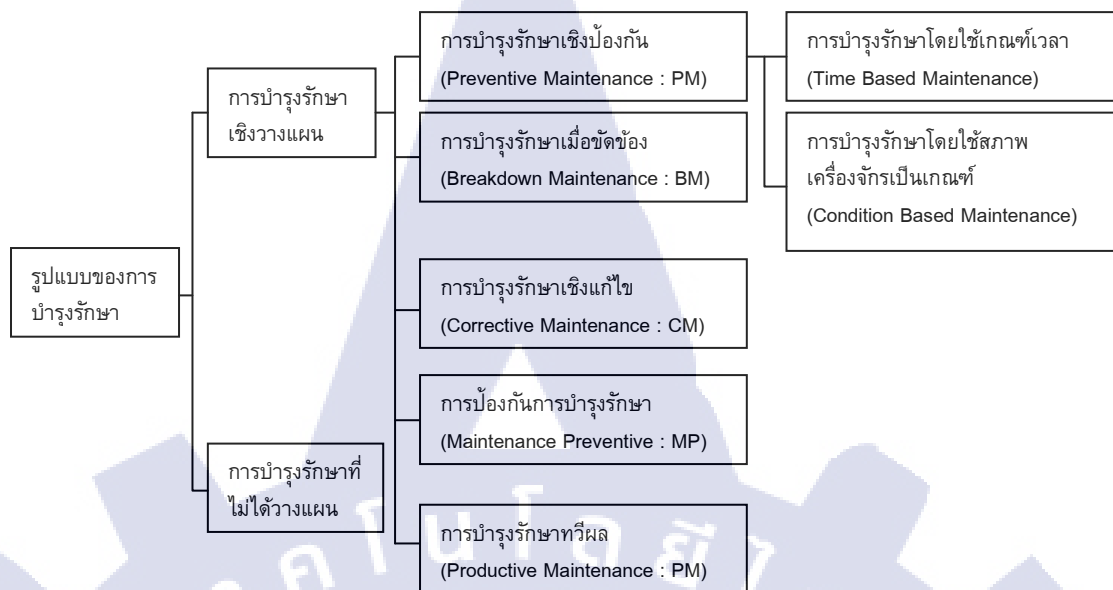
	1950	1951	1954	1957	1960-2000
กระบวนการพัฒนาวิธีการบำรุงรักษา	การซ่อมเมื่อขัดข้อง (BM)	การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (PM)	การบำรุงรักษาทวีผล (PM)	การบำรุงรักษาเชิงปรับปรุง (CM)	การป้องกันการบำรุงรักษา (MP)
				Corrective Maintenance (CM)	Maintenance Prevention (MP)
					Productive Maintenance (PM)
			Preventive Maintenance (PM)		
			Breakdown Maintenance (BM)		
ลักษณะการบำรุงรักษา	ซ่อมเมื่อเครื่องจักรเกิดการชำรุด	มักเป็นการป้องกันก่อนการชำรุด	บำรุงรักษาเพื่อเพิ่มผลผลิต เริ่มถูกนำมาใช้โดยบริษัท GE	เน้นการปรับปรุงแก้ไขส่วนที่บกพร่องที่ทำให้เครื่องจักรชำรุด	เน้นที่ออกแบบระบบให้ไม่ต้องการบำรุงรักษาหรือต้องบำรุงรักษาให้น้อยที่สุด

ที่มา : เขกสรร สิงห์ธนู. (2550). การบำรุงรักษาเชิงแผนงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักร กรณีศึกษา สายการบรรจุห้ายาทำความสะอาดสุกัณฑ์. หน้า 8.

ประเภทของการบำรุงรักษา

การที่จะดำเนินการบำรุงรักษาเชิงวางแผนให้มีสมรรถภาพนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเลือกรูปแบบของการบำรุงรักษาทั้ง 5 ประเภท ซึ่งประกอบด้วยแสดงไว้ในรูปที่ 3

TNI



รูปที่ 3 ประเภทของการซ่อมบำรุง

ที่มา : เรียร์ไชย จิตต์แจ้ง. (2541). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการบริหาร. หน้า 705.

1. การบำรุงรักษาเมื่อขัดข้อง (Breakdown Maintenance : BM)

การซ่อมบำรุงเมื่อขัดข้อง เป็นแนวความคิดในทางการซ่อมบำรุงที่เก่าแก่ที่สุดในตำราบางเล่มให้นิยามวิธีการซ่อมบำรุงแบบนี้ว่า ดำเนินการโดยไม่มีการซ่อมบำรุง (No-Maintenance at All) ทั้งนี้เป็นเพราะโดยข้อเท็จจริง คือ บุคลากรในฝ่ายซ่อมบำรุงจะไม่ออกไปปฏิบัติงานใดๆ จนกว่าจะมีรายงานว่ามีเครื่องจักรชำรุดจนใช้งานต่อไปไม่ได้ อย่างไรก็ตาม การซ่อมบำรุงแบบนี้ ยังคงมีใช้อยู่กับสถานะการณบางลักษณะ เช่น เครื่องจักรที่ไม่สลับซับซ้อนและเมื่อมีชิ้นส่วนอะไหล่พร้อมอยู่เสมอ หรือสามารถสั่งซื้อได้อย่างทันทีทันใด โดยที่ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการซ่อมบำรุงแบบนี้ จะมามีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการประยุกต์ใช้วิธีการซ่อมบำรุงวิธีอื่นๆ ตัวอย่างในการซ่อมบำรุงแบบนี้ ได้แก่ หลอดไฟฟ้าต่างๆ ซึ่งจะถูกเปลี่ยนไว้จนกระทั่งหลอดเสีย หรือในกรณีของแผ่นผ้าเบรกรถยนต์ หน้าสัมผัสสปริง เป็นต้น ข้อเสียในการซ่อมบำรุงชนิดนี้ ได้แก่

- ไม่มีสัญญาณใดๆ บอกเป็นการเตือนล่วงหน้าเมื่อเครื่องจักรเริ่มชำรุด
- ไม่สามารถยอมรับในระบบที่ต้องการความเชื่อมั่นสูง เช่น ในอากาศยาน เป็นต้น
- ต้องเก็บชิ้นส่วนอะไหล่ไว้เป็นจำนวนมาก ซึ่งหมายถึงว่าค่าใช้จ่ายในการเก็บอะไหล่ซ่อมคงคลังสูง
- ไม่สามารถบรรลุเป้าหมายในการปฏิบัติตามแผนการผลิตได้ตามประสงค์
- ไม่สามารถวางแผนงานในแผนการซ่อมบำรุงได้

2. การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance : PM)

การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน เป็นการบำรุงรักษาอีกระดับหนึ่งที่เกิดขึ้นมาจากการบำรุงรักษาเมื่อขัดข้อง (BM) เนื่องจากไม่ต้องการให้เครื่องจักรเสียหายในขณะที่กำลังใช้งาน โดยแบ่งออกเป็น การบำรุงรักษาประจำวัน การบำรุงรักษาตามคาบเวลา และการกำหนดเวลาหยุดซ่อม หรือเปลี่ยนก่อนที่จะเกิดการเสียหายของชิ้นส่วนสำคัญๆ

2.1 การบำรุงรักษาโดยใช้เวลาเป็นเกณฑ์ (Time Based Maintenance : TBM)

การบำรุงรักษาตามคาบเวลาเป็นการบำรุงรักษาที่มีการกำหนดกิจกรรมที่จะทำในแต่ละช่วงเวลา เป็นรายวัน สัปดาห์ เดือน หรือ ปี

2.2 การบำรุงโดยใช้สภาพเป็นเกณฑ์ (Condition Based Maintenance : CBM)

การบำรุงรักษาโดยใช้สภาพเครื่องจักรเป็นเกณฑ์ หรือ การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance) โดยอาศัยการประเมินจากสภาพการใช้งานของอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนของเครื่องจักร ด้วยการตรวจจบบรูปแบบความผิดปกติ แล้วเก็บรวบรวมเอาข้อมูลมาจำแนก เพื่อบ่งบอกสภาพการทำงาน หรือเก็บข้อมูลเพื่อประเมินสภาพความชำรุดของเครื่องจักร ในการกำหนดกิจกรรมสำหรับรับมือกับความเสียหายที่จะเกิดขึ้น

3. การบำรุงรักษาแก้ไขและปรับปรุง (Corrective Maintenance : CM)

การปรับปรุงดัดแปลงเครื่องจักรเพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งาน และดูแลบำรุงรักษา เพื่อกำจัดแหล่งที่มาของปัญหาต่างๆ

4. การป้องกันการบำรุงรักษา (Maintenance Prevention : MP)

ระบบการบำรุงรักษาในอุดมคติ คือ ไม่ต้องการมีการบำรุงรักษา ซึ่งทางปฏิบัติจะพยายามหาอุปกรณ์ที่ไม่ต้องการการบำรุงรักษา มาใช้จากการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขปรับปรุง

5. การบำรุงรักษาที่ผล (Productive Maintenance : PM)

การบำรุงรักษาที่ผลเป็นพื้นฐานการบำรุงรักษาที่ผลแบบทุกคนมีส่วนร่วม แตกต่างกันตรงที่การบำรุงรักษาที่ผลเป็นหน้าที่ของฝ่ายซ่อมบำรุงเพียงฝ่ายเดียว แต่การบำรุงรักษาที่ผลแบบทุกคนมีส่วนร่วมเป็นหน้าที่ของทุกคน และรวบรวมเอาการบำรุงรักษาแบบต่างๆ เข้าไว้ด้วยกัน ได้แก่ การบำรุงรักษาเมื่อขัดข้อง การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน การบำรุงรักษาเชิงแก้ไข และปรับปรุง และการป้องกันการบำรุงรักษา

การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance : PdM)

การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance) เป็นการติดตามสภาพเครื่องจักรในขณะที่เครื่องจักรกำลังทำงานอยู่ตามปกติ ไม่จำเป็นต้องหยุดเครื่องจักรเพื่อทำการตรวจสอบและทำการวิเคราะห์สภาพเครื่องจักรเพื่อหาข้อบกพร่องหรือความผิดปกติต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้น จากข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบ ความผิดปกติบางอย่างอาจไม่จำเป็นต้องแก้ไขในทันที ซึ่งยังสามารถใช้การเฝ้าสังเกตการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบ เพื่อ

ประเมินระดับความรุนแรงของความเสียหายนั้นๆ ทำให้สามารถยืดอายุการใช้งานชิ้นส่วนที่มีความบกพร่องนั้นออกไปได้ตราบเท่าที่ยังไม่ก่อให้เกิดความเสียหายขึ้นกับชิ้นส่วนอื่น หรือมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิต และสามารถกำหนดแผนการหยุดเครื่องจักรเพื่อแก้ไขความบกพร่องหรือความผิดปกติที่ตรวจพบ ตามความจำเป็นได้ โดยมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตน้อยที่สุด ซึ่งเทคนิคของการติดตามสภาพเครื่องจักรนั้น เรียกว่า Condition Monitoring การบำรุงรักษาแบบนี้ องค์กรสามารถควบคุมเครื่องจักรได้

1. หลักการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

หลักการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ เป็นการคอยตรวจวัดสภาพของเครื่องจักรตามเวลาอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งหลักการทำงานประกอบไปด้วย

1.1 การตรวจสอบขั้นพื้นฐาน

การตรวจสอบขั้นพื้นฐาน เป็นการตรวจสอบที่นิยมทำกันมาตั้งแต่อดีต ซึ่งในปัจจุบันผู้เชี่ยวชาญด้านการตรวจสอบสภาพเครื่องจักรยังใช้อยู่ จะทำการตรวจสอบโดยอาศัยประสบการณ์ของแต่ละบุคคล ใช้ประสาทสัมผัสของผู้ตรวจสอบเป็นเครื่องมือช่วย เช่น ตาตรวจเผ้าดู หูตรวจฟังเสียง และมือคอยสัมผัส เพื่อตรวจสอบสภาพของเครื่องจักรขณะนั้นว่ายังอยู่ในสภาพปกติดีหรือไม่ ซึ่งการตรวจสอบลักษณะนี้จะไม่ราบรื่นเสมอไป เนื่องจากประสบการณ์ในการทำงานของแต่ละบุคคล และการตัดสินใจว่าสภาพเครื่องจักรนั้นมีความผิดปกติรุนแรงแค่ไหน การตรวจสอบสภาพเครื่องจักรจะได้ผลก็ต่อเมื่อสภาพเครื่องจักรเข้าสู่สภาวะสุดท้ายของช่วงอายุการใช้งานแล้ว ทำให้กลับไปเป็นการบำรุงรักษาซ่อมเมื่อขัดข้อง (BM) และสุดท้ายก็จะเป็นองค์กรถูกควบคุมด้วยเครื่องจักร

1.2 การตรวจสอบสภาพเครื่องจักร

การตรวจสอบสภาพเครื่องจักร เป็นการตรวจสอบสภาพโดยการนำเครื่องมือสำหรับตรวจสอบโดยตรงมาช่วยในการวัดค่า เช่น เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เครื่องมือตรวจวัดการสั่นหรือเครื่องมือตรวจวัดความสั่นสะเทือน ซึ่งจะช่วยให้สามารถตรวจประเมินสภาพของเครื่องจักรนั้นได้

1.3 การตรวจดูแนวโน้มสภาพเครื่องจักร

การตรวจดูแนวโน้มสภาพเครื่องจักร (Trend Monitoring) สามารถเผ้าดูได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น การเผ้าดูแนวโน้มของอุณหภูมิของแบร์ริง การเผ้าดูแนวโน้มสภาพสภาพการสั่นหรือของชิ้นส่วนในเครื่องจักร และการเผ้าดูแนวโน้มของค่าความสั่นสะเทือนในเครื่องจักรหมุน เป็นต้น ในการตรวจเผ้าดูแนวโน้มของสภาพเครื่องจักรนี้ จะต้องตั้งค่าระดับการเตือนภัยไว้ 2 ระดับด้วยกัน คือ ระดับเตือนระวัง (Alert Level) เมื่อความรุนแรงถึงระดับเตือนระวังแล้ว ผู้ดูแลเครื่องจักรจะต้องคอยระวังอย่างใกล้ชิด หรือเพิ่มความถี่ในการตรวจวัดสภาพของเครื่องจักรนั้น และควรวางแผนไว้ล่วงหน้าว่าจะเข้าดำเนินการซ่อมบำรุงเมื่อใด ก่อนที่สภาพของเครื่องจักรนั้นจะเข้าสู่ระดับอันตราย (Alarm Level) ซึ่งเมื่อถึงระดับนี้แล้ว ควรทำการหยุดเครื่องจักรไว้ก่อน

เพื่อทำการแก้ไข เพราะถ้ายังปล่อยให้เครื่องจักรทำงานต่อไป อาจจะทำให้เกิดความเสียหายแก่ส่วนอื่นของเครื่องจักรได้ หรืออาจทำให้เกิดอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงานที่ทำอยู่บริเวณนั้นได้ ดังนั้น การตรวจเฝ้าดูแนวโน้มสภาพของเครื่องจักรจึงเป็นผลดีต่อระบบการผลิตของโรงงาน ยังช่วยลดต้นทุนในการบำรุงรักษาอีกทางหนึ่ง

2. เทคนิคในการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์มีรูปแบบและวิธีการต่างๆ กันหลายแบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการการบำรุงรักษากับงานอะไร เช่น ประเภทเครื่องจักร ท่อทาง หรือกับโครงสร้าง เป็นต้น ซึ่งบางประเภทนั้นยังอาจจะใช้วิธีการหลายๆ แบบร่วมกัน เพื่อความเชื่อมั่นและประมวลผลที่แม่นยำยิ่งขึ้น และส่งผลให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

เทคนิคในการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ สามารถตรวจสอบได้ทั้งในขณะที่เครื่องจักรอยู่ระหว่างการทำงาน และบางเทคนิคก็ทำได้เฉพาะในช่วงที่เครื่องจักรหยุดการทำงานเท่านั้น ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 การตรวจสอบความร้อน (Thermal Monitoring) ในขณะที่เครื่องจักรกำลังทำงานอยู่ในสภาวะปกติ ต้องมีความร้อนเกิดขึ้นในระดับหนึ่ง เรียกว่า อุณหภูมิการทำงานปกติของเครื่องจักร แต่เมื่ออุณหภูมิเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม หมายความว่าเกิดความผิดปกติบางอย่างขึ้นกับเครื่องจักร และจุดที่นิยมทำการตรวจวัดความร้อนของเครื่องจักรกลหมุน คือ ตัวเรือนแบริ่ง (Bearing Housing) หรือตำแหน่งที่มีการเสียดสี หรือตรวจวัดอุณหภูมิของสารหล่อลื่นภายในเครื่องจักร เช่น กล่องเกียร์ (Gearbox) การตรวจสอบสภาพของฉนวนกันความร้อนต่างๆ เป็นต้น

2.2 การวิเคราะห์น้ำมัน (Oil Analysis) เป็นการนำตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ เพื่อทำการตรวจหาสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นกับเครื่องจักรกลนั้นๆ เช่น สภาพการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องจักร การตรวจสอบสารหล่อลื่นที่ใช้แล้วนั้น เพื่อทำการตรวจสอบความหนืด จุดวาบไฟ ปริมาณเศษโลหะ เช่น เหล็ก ตะกั่ว ทองแดง โครเมียม ที่ผสมในสารหล่อลื่นที่ใช้แล้ว เพราะเศษโลหะที่ผสมในสารหล่อลื่นที่ใช้แล้วสามารถบอกได้ถึง การสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ว่าเป็นส่วนใดของเครื่องจักรที่หลุดออกมา และตรวจสอบปริมาณเขม่าหรือสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ซึ่งจะบอกให้ทราบถึงสภาพของน้ำมันเครื่อง

2.3 การวิเคราะห์ความสั่นสะเทือน (Vibration Analysis) ความสั่นสะเทือนเกิดจากปัญหาของเครื่องจักรที่แสดงผลออกมาทางกล ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานและสมรรถนะการทำงานของเครื่องจักรลดลง เมื่อมีการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นกับเครื่องจักรกล แสดงว่ามีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นกับเครื่องจักรนั้น ซึ่งจะต้องมีปัญหอย่างใดอย่างหนึ่งเกิดขึ้น เช่น การไม่สมดุลในเครื่องกลหมุน การเสียหายของแบริ่ง เป็นต้น

2.4 การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย (Non-Destructive Test) เป็นการตรวจสอบโครงสร้างภายในของชิ้นส่วนที่เป็นโลหะ เป็นการตรวจหารอยร้าวและความบกพร่องของชิ้นส่วน

ต่างๆ อุปกรณ์ภาชนะความดัน และยังใช้ได้ในงานควบคุมคุณภาพ เช่น การวัดหาความหนาของท่อในหม้อไอน้ำ (Boiler) โรงไฟฟ้าพลังไอน้ำ และการตรวจสอบสภาพพื้นผิวของท่อไอน้ำ (Main Steam) เพื่อทำการประเมินอายุ (Life Assessment) เป็นต้น

2.5 การตรวจสอบรอยรั่ว (Leak Test) เป็นการตรวจสอบหารอยรั่วในชิ้นงานที่ไม่สามารถตรวจสอบได้ง่ายๆ ด้วยสายตา เช่น การรั่วของแก๊สจากถัง หรือการรั่วจากท่อใต้ดินโดยอาศัยวิธีการอัลตราโซนิกในการตรวจสอบ ซึ่งการตรวจสอบรอยรั่วในชิ้นงานนี้ เป็นวิธีการที่เอนเอียงไปทางด้านการควบคุมคุณภาพมากกว่า

2.6 การตรวจสอบการกัดกร่อน (Corrosion and Erosion Analysis) เป็นการตรวจสอบการกัดกร่อนของชิ้นส่วนและท่อต่างๆ โดยเปรียบเทียบกับชิ้นส่วนเดิมก่อนใช้งานแล้วทำการประเมินสภาพการกัดกร่อน แล้วทำการวิเคราะห์สาเหตุและหาแนวทางการป้องกันต่อไป

2.7 การวิเคราะห์การไหล (Flow Analysis) การวิเคราะห์การไหลของของไหลเป็นการวัดอัตราการไหลที่มีอยู่ในระบบทั้งหมด เพื่อที่จะสามารถประเมินสมรรถนะ (Performance) และข้อบกพร่องของทั้งระบบได้ เช่น สมรรถนะการทำงานของเครื่องสูบลม การรั่วไหล การอุดตันของท่อทางต่างๆ เป็นต้น

2.8 การวิเคราะห์ความเค้น (Stress Analysis) การวิเคราะห์ความเค้น ทำได้โดยใช้อุปกรณ์วัดความเค้น เช่น Strain Gauge ไปติดอยู่กับชิ้นส่วนที่รับแรงหรือชิ้นส่วนที่เกิดการเปลี่ยนแปลง เพื่อวิเคราะห์สภาพของชิ้นส่วนนั้น และสามารถบอกถึงสภาพการเปลี่ยนแปลงของแรงที่กระทำต่อชิ้นส่วน และทราบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วน

2.9 การวิเคราะห์คลื่นเสียง (Sound Analysis) เป็นการใช้คลื่นเสียงตรวจวัดสิ่งผิดปกติในชิ้นส่วนหรือระบบต่างๆ เช่น การตรวจสอบการขยายตัวของรอยร้าวภายในชิ้นส่วน เป็นต้น

2.10 การวัดรังสีความร้อนด้วยกล้องอินฟราเรด (Thermal Infrared Testing) การตรวจวัดการแผ่รังสีความร้อนด้วยการถ่ายภาพรังสีอินฟราเรด เป็นการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของภาชนะหรือชิ้นส่วนต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบสภาพของเครื่องจักรว่ามีการเปลี่ยนแปลงมากน้อยจากปกติเพียงใด โดยทั่วไปแล้วจะนิยมใช้กับอุปกรณ์ทางไฟฟ้า เช่น ระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูง หม้อแปลงไฟฟ้า อุปกรณ์ทางภาชนะความดัน อุปกรณ์ทางเครื่องกล เป็นต้น

การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์มีหลากหลายวิธีด้วยกันดังกล่าวก่อนข้างต้น การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับว่าเครื่องจักรที่จะตรวจวัดนั้นมีสภาพเป็นอย่างไร และลักษณะอาการเสียหายตรงไหน การเลือกเทคนิคต่างๆ สามารถทำได้ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบวิธีการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

	อุณหภูมิ	ความดัน	อัตราการไหล	วิเคราะห์สารหล่อลื่น	วิเคราะห์ความสั่นสะเทือน
การไม่สมดุลของการหมุน					X
การเยื้องแนวแกน/เพลาคลด	X				X
การบกพร่องในเบร้งแบบลูกกลิ้ง	X			X	X
การบกพร่องในเบร้งแบบกบ	X	X	X	X	X
การบกพร่องในเฟืองเกียร์				X	X
การหลวมคลอนทางกล					X

ที่มา : ประดิษฐ์ หมูเมืองสอง ; และ สุขฐาน หรรษสุข. (2550). การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน. หน้า 43.

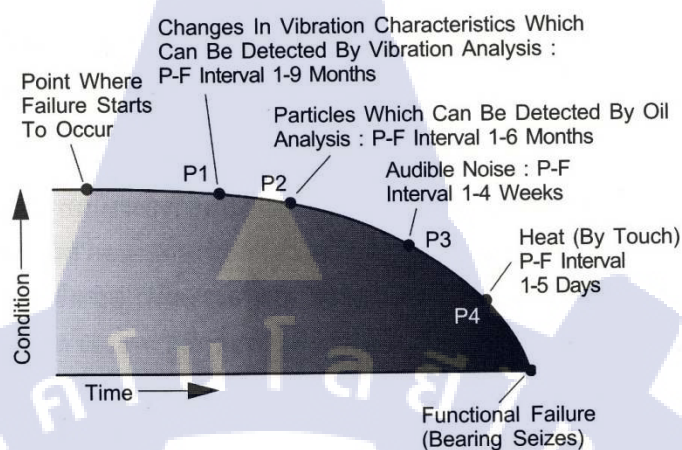
3. วิธีทางสถิติที่ใช้ในงานบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

การกำหนดช่วงเวลาในการทำงานบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ ไม่ได้ขึ้นอยู่กับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเท่านั้น แต่ทำได้โดยการเก็บบันทึกข้อมูลความขัดข้องหรือการใช้ข้อมูลความขัดข้องจากผู้ผลิตมาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติ การกำหนดระยะเวลาในการทำงานบำรุงรักษาสามารถกำหนดให้มีความเหมาะสมที่สุดทางด้านเศรษฐศาสตร์ได้ ภายใต้ระดับความเชื่อมั่น (Reliability) ของระบบที่ต้องการ

3.1 เวลาเตือนหรือระยะเวลา PF (Delay Time หรือ PF Interval) หรือเวลาเตือนหรือระยะเวลา PF คือ ระยะเวลาระหว่างจุดแรกที่สามารถตรวจวัดสภาพเงื่อนไขการชำรุดของเครื่องจักรอุปกรณ์ (Potential Failure) ความสามารถของแต่ละวิธีการวัด กับจุดที่เครื่องจักรอุปกรณ์เกิดการชำรุด (Functional Failure) ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งระยะเวลา PF จะแตกต่างกันตามชนิดของเทคนิคที่ใช้การตรวจวัดสภาพ ซึ่งการพิจารณาเลือกเทคนิคที่เหมาะสมกับระยะเวลาและค่าใช้จ่ายจึงควรนำมาพิจารณา เช่น เทคนิคที่สามารถเตือนได้ก่อนล่วงหน้านานๆ ค่าใช้จ่ายจะแพงขึ้น เป็นต้น

สำหรับการหาค่าช่วงเวลา PF นั้น จะแตกต่างกันตามแต่ละเทคนิค แต่หลักการเบื้องต้นจะเหมือนกันคือ ในช่วงแรกให้ทำการตรวจที่ระดับความถี่มากกว่าปกติ เพื่อให้พบแนวโน้มที่ต้องการ จากนั้นกำหนดช่วงเวลา PF ที่เหมาะสมในภายหลัง เช่น การวัดความสั่นสะเทือน หากต้องการหาค่าระยะเวลา PF ก็อาจจะกำหนดให้มีการวัดที่ความถี่ทุกๆ สัปดาห์เป็นเวลาประมาณ 40 สัปดาห์ ก็จะได้แนวโน้มของระยะเวลาจากจุด P ไปยังจุด F ซึ่งจากรูป

ตัวอย่างมีระยะเวลาประมาณ 9 เดือน หลังจากนั้นจึงนำค่าระยะเวลา PF ดังกล่าวไปกำหนด ช่วงเวลาในการตรวจวัดต่อไป



รูปที่ 4 ระยะเวลาเตือนของเทคนิคการตรวจวัดต่างๆ

ที่มา : ประดิษฐ์ หมูเมืองสอง ; และ สุขฐาน หรรษสุข. (2550). การวิเคราะห์การ สั่นสะเทือน. หน้า 50.

3.2 การกำหนดความถี่ในการทำงานบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ เราสามารถกำหนด ความถี่ของการทำงานได้จากการเก็บข้อมูลสถิติ ในลักษณะรูปแบบของเวลาเตือนหรือช่วงเวลา PF (Delay Time หรือ PF Interval Distribution) จากที่ผ่านมาจะพบว่า รูปแบบอัตราการชำรุดเสียหายสำหรับการพิจารณาบำรุงรักษานั้นลักษณะจะเป็นแบบสุ่ม ซึ่งจากข้อสมมติฐานนี้ สามารถนำมาพิจารณากำหนดความถี่ได้ดังนี้

$$\text{ให้} \quad D(t) = (1/l) \int_0^1 R(t) dt \quad (\text{สมการที่ 1})$$

เมื่อ $D(t)$ คือ ความน่าจะเป็นที่ความชำรุดจะสามารถตรวจวัดได้ที่เวลา t

$R(t)$ คือ ความน่าจะเป็นที่ Delay time จะมีค่ามากกว่าเวลา t ในที่นี้จะมีค่าเท่ากับ $\exp(-\lambda t)$ เมื่อ λ คืออัตราการขัดข้อง

l คือ ระยะเวลาในการตรวจวัด (Monitoring Interval) ให้เป็นครึ่งหนึ่งของ Delay Time จะได้เท่ากับ $1/2\lambda$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} D(t) &= (1 - e^{-\lambda t}) / \lambda \\ &= 2(1 - e^{-0.5}) = 0.7869 \end{aligned} \quad (\text{สมการที่ 2})$$

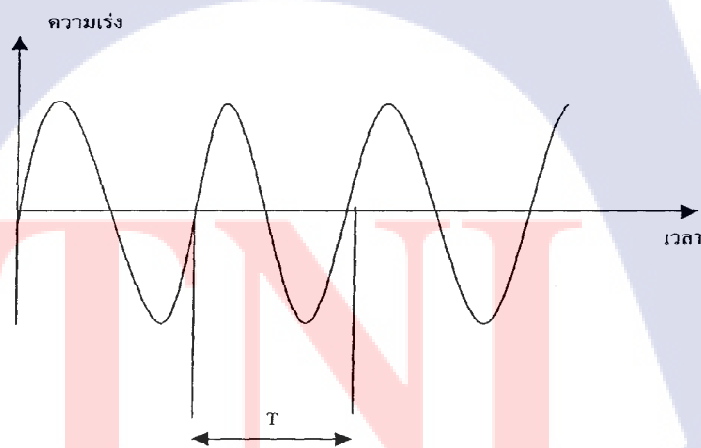
นั่นคือถ้าทราบค่า Delay Time และทำการตรวจวัดที่ระยะเวลาครึ่งหนึ่งของ Delay Time หรือ PF Interval จะมีโอกาสประมาณ 79% ที่สามารถตรวจพบเงื่อนไขการชำรุดได้ในทำนองเดียวกัน ถ้าเราตรวจวัดที่ระยะเวลาเป็น 1/3 ของ Delay Time จะมีโอกาสประมาณ 85% ถ้าระยะเวลาเป็น 1/4 ของ Delay Time จะมีโอกาสประมาณ 88% ซึ่งจะเห็นว่าการกำหนดระยะเวลาที่ช่วงเวลาครึ่งหนึ่งของ Delay Time น่าจะเป็นระยะที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งในอุตสาหกรรมก็นำหลักการนี้ไปประยุกต์ใช้เช่นกัน

ทฤษฎีและการวัดความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

1. ธรรมชาติของความสั่นสะเทือน (Natural of Vibration)

การสั่นสะเทือน พิจารณาการเคลื่อนที่ของวัตถุ (Particle) ลักษณะแกว่งไปแกว่งมาเมื่อเทียบกับตำแหน่งอ้างอิงการเคลื่อนที่เป็นคาบเวลา (Period) แบบสุ่ม (Random) แบบชั่วคราว (Transient) ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการเคลื่อนที่เป็นคาบ

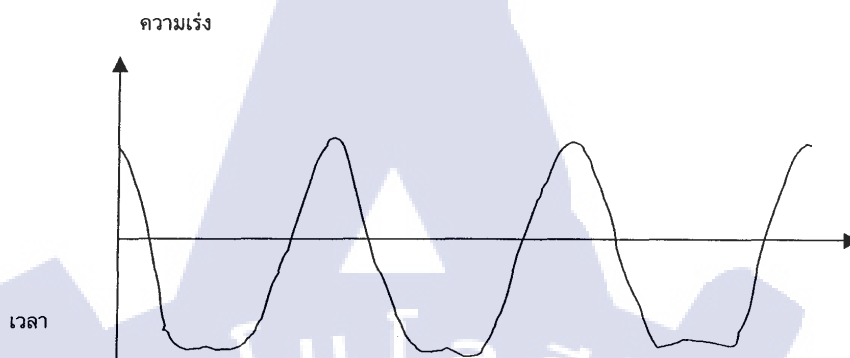
การเคลื่อนที่เป็นคาบเวลา



รูปที่ 5 ตัวอย่างการสั่นสะเทือนแบบฮาร์โมนิกอย่างง่าย

ที่มา : พีรเชษฐ์ ศรีชัย. (2546). การพัฒนาเครื่องตรวจการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร. หน้า 10.

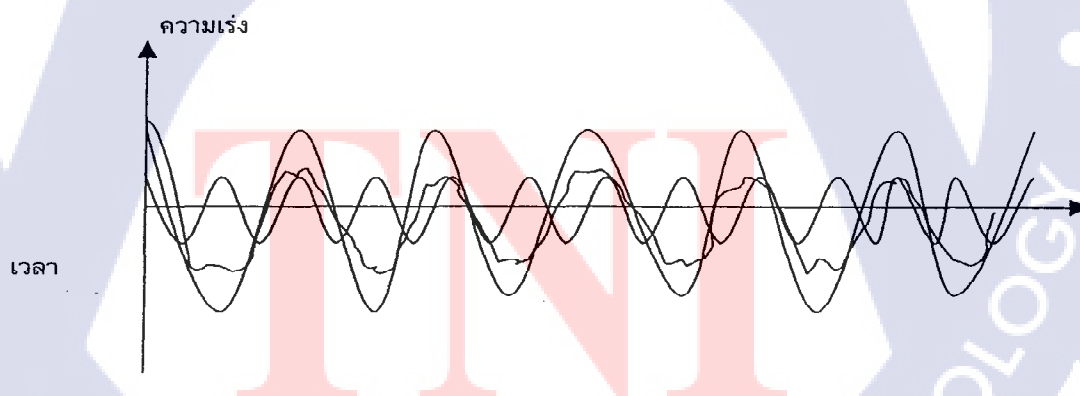
สัญญาณรูปไซน์ (Sinusoidal) ของรูปที่ 5 จะเป็นความถี่แยกความถี่เดียว (One Discrete Frequency) ซึ่งถูกกำหนดโดย $f = 1/T$ มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์



รูปที่ 6 ตัวอย่างสัญญาณเป็นคาบเวลาแบบฮาร์โมนิคผสม ($f+2f$)

ที่มา : พีรเชษฐ์ ศรีชัย. (2546). การพัฒนาเครื่องตรวจการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร. หน้า 11.

จากรูปที่ 6 สัญญาณยังคงเป็นคาบเวลาเพราะว่าสัญญาณยังคงซ้ำรูปร่างและคาบเวลาเดิม แต่มีฮาร์โมนิคปนเข้ามา ตัวอย่างนี้เป็นการผสมสัญญาณรูปคลื่นไซน์ 2 รูปคลื่น



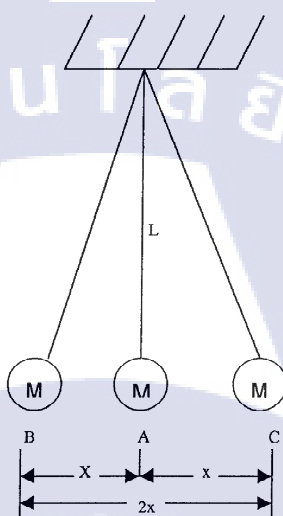
รูปที่ 7 การแยกส่วนประกอบสัญญาณ

ที่มา : พีรเชษฐ์ ศรีชัย. (2546). การพัฒนาเครื่องตรวจการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร. หน้า 11.

สัญญาณของรูปที่ 7 ประกอบด้วยสัญญาณ 2 รูป ที่มีความถี่และแอมพลิจูด (Amplitude) แตกต่างกันซึ่งมีรูปคลื่นไซน์รูปหนึ่งมีความถี่เป็น 2 เท่า ของอีกรูปคลื่นหนึ่ง แต่มีแอมพลิจูดเล็กกว่ามาก ผลรวมของสัญญาณทั้งสองทางคณิตศาสตร์ จะให้ผลลัพธ์เป็นระดับสัญญาณรวม

2. หลักการในการวัดความสั่นสะเทือน

การวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรโดยทั่วๆ ไป มีหลักการง่ายๆ เหมือนกับการแกว่งไปแกว่งมาของลูกตุ้ม ดังแสดงในรูปที่ 8



M = มวล L = ความยาว
X = ช่วงกว้าง 2X = ช่วงกว้างรวม ปริมาณความกว้าง

รูปที่ 8 หลักการวัดความสั่นสะเทือนเหมือนกับการแกว่งไปแกว่งมาของลูกตุ้ม

ที่มา : วินัย เวชวิทยาลัง. (2552). **เทคนิคการวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือน** เพื่องานบำรุงรักษา. หน้า 15.

ขนาดความสั่นสะเทือน (Amplitude) เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญ ใช้ในการบ่งบอกสภาพของเครื่องจักร พารามิเตอร์หลักที่นิยมใช้ได้แก่ 1. การขจัดหรือระยะทางการเคลื่อนที่ (Displacement) 2. ความเร็ว (Velocity) 3. ความเร่ง (Acceleration)

จากรูปที่ 8 เมื่อลูกตุ้ม M เคลื่อนที่จากจุดหยุดนิ่ง A มาจุด B ระยะทางการเคลื่อนที่นี้คือ แอมพลิจูด (Amplitude) อย่างไรก็ตาม แรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อลูกตุ้มจะทำให้ลูกตุ้มเคลื่อนที่กลับไปในตำแหน่ง A และเกิดแรงสะสมในลูกตุ้ม ทำให้ลูกตุ้มเคลื่อนที่ต่อไปถึงจุด C ระยะทางการเคลื่อนที่จากจุด A ไปจุด C จะเท่ากับระยะทางจากจุด A ไปจุด B ระยะทางรวม

จากจุด B ไปถึงจุด C เราเรียกว่า Displacement (ปริมาณรวมการเคลื่อนที่ของลูกตุ้ม) นิยมวัดเป็นมิลลิเมตร (mm) หรือ นิ้ว (inch)

ถ้าระยะทางการเคลื่อนที่จากจุด A ไปจุด B หรือจากจุด A ไปจุด C แทนการเคลื่อนที่สูงที่สุดจากจุด A และถ้าลูกตุ้มเคลื่อนที่ช้าลงจนกระทั่งหยุดหนึ่งที่จุด A ระยะทางการเคลื่อนที่ก็จะเท่ากับศูนย์ ถ้าลูกตุ้มยังมีการเคลื่อนที่ต่อไปในขณะที่มีความเร็วโดยเคลื่อนที่จากจุด A ไปจุด B หรือจุด A ไปจุด C ความเร็วจะเริ่มลดลงที่จุด B หรือจุด C เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกและจุด C เป็นจุดที่มีความเร็วสูงสุด ฉะนั้นความเร็ว (Velocity) คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของระยะทางใน 1 หน่วยเวลา โดยปกตินิยมวัดเป็นมิลลิเมตรต่อวินาที (mm/s) หรือ นิ้วต่อวินาที (inch/sec) และอัตราเร่ง (Acceleration) คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วใน 1 หน่วยเวลา มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อวินาทียกกำลังสอง (mm/s²)

3. การวัดค่าความสั่นสะเทือน

การวัดค่าความสั่นสะเทือน เป็นค่าวัดความสั่นสะเทือนแต่ละตำแหน่งบนคลื่นความสั่นสะเทือน (Sine Wave) ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของมวล เพื่อนำมาเป็นข้อมูลเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของการสั่น และใช้วิเคราะห์การเสื่อมสภาพของเครื่องจักรว่าอยู่มีระดับใด เช่น ดีมาก ดี พอใช้ หรือต้องหยุดการซ่อมบำรุง

จากรูปที่ 9 ตำแหน่งการวัดความสั่นสะเทือนมีรายละเอียดดังนี้

1) ค่าสูงสุด (Peak) คือ ค่าความสั่นสะเทือนจากจุดอ้างอิงที่จุดศูนย์หรือจุดเริ่มต้นถึงจุดสูงสุดของคลื่น หรือเป็นค่าครึ่งหนึ่งของค่าการสั่นสะเทือนภายในช่วงเวลาที่กำหนดเหมาะสำหรับการวัดความสั่นสะเทือนชนิดที่เลือกวัดเป็นระยะทางและความเร่ง

2) ค่าสูงสุดบนถึงค่าสูงสุดล่าง (Peak to Peak) คือ ค่าความสั่นสะเทือน 2 เท่าของค่าสูงสุดเป็นค่าความสั่นสะเทือนที่วัดจากค่าสูงสุดบน ถึงค่าต่ำสุดล่างของคลื่นในแต่ละรอบเหมาะสำหรับการวัดความสั่นสะเทือนชนิดที่เลือกวัดเป็นระยะทาง

3) ค่าเฉลี่ย RMS (Root Mean Square) หรือค่า Effective Value คือ ค่าความสั่นสะเทือนรากที่สองของผลรวมยกกำลังสองของความสั่นสะเทือนในช่วงเวลาหนึ่ง เป็นการเฉลี่ยตลอดคาบ (Period) และเป็นค่าถอดรากที่สอง ถ้าเขียนในรูปสมการจะได้

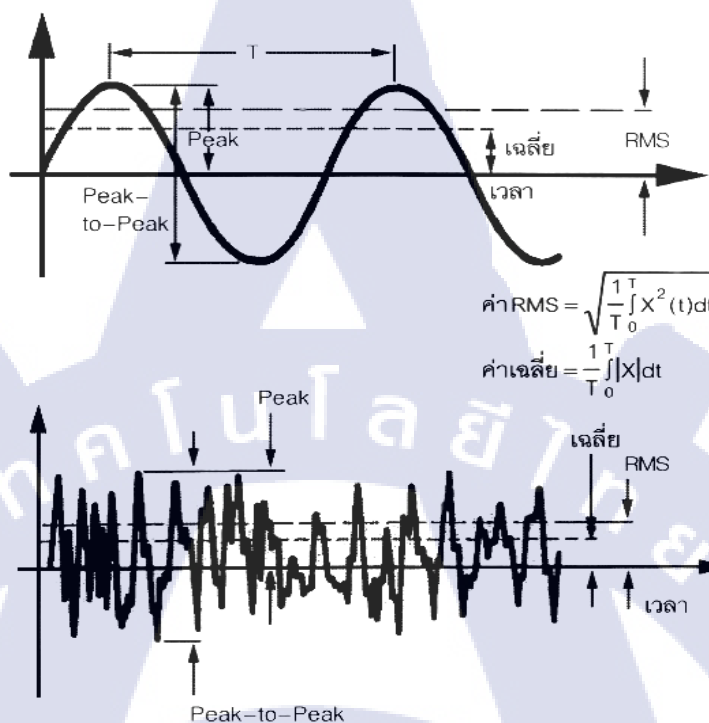
$$X_{RMS} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times Peak \quad (\text{สมการที่ 3})$$

$$= 0.707 \times Peak$$

4) อัตราส่วนพีค (Peak Ratio) คือ อัตราส่วนระหว่างค่าความเร่งสูงสุดต่อค่าความเร่ง RMS เรียกว่า เครสต์แฟกเตอร์ (Crest Factor : CF) เหมาะสำหรับตรวจวัดวิเคราะห์ความเสียหายของตลับลูกปืน หาได้จาก

$$\text{Peak ratio} = \frac{\text{Peak}}{\text{RMS}} = \sqrt{2}$$

(สมการที่ 4)



รูปที่ 9 ลักษณะรูปคลื่นการสั่น และค่าต่างๆ ที่เกี่ยวกับการวัดความสั่นสะเทือน

ที่มา : วินัย เวชวิทยาลัง. (2552). เทคนิคการวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือน
เพื่องานบำรุงรักษา. หน้า 43.

5) ค่าเฉลี่ย (Average) คือ ค่าเฉลี่ยความสั่นสะเทือนโดยรวมตลอดคาบ เป็นทั้งค่าบวกและค่าลบ เมื่อเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง หรือจุดเริ่มต้นทำให้ได้ค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ ในทางปฏิบัติจะใช้เฉพาะค่า Rectified ที่เป็นบวกตลอด

$$X_{Ave} = \frac{2}{\pi} \times \text{Peak}$$

$$= 0.637 \times \text{Peak}$$

(สมการที่ 5)

6) ค่า Form Factor คือ อัตราส่วนระหว่างค่า RMS ต่อ ค่าเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 1.11

7) ค่าการสั่นสะเทือนโดยรวม (Overall Vibration) คือ ค่าแสดงความสั่นสะเทือนตลอดช่วงความถี่หนึ่ง เนื่องจากความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่แต่ละความถี่จะมีค่าความ

สั่นสะเทือนแตกต่างกันออกไป ในทางปฏิบัติบางครั้งไม่จำเป็นต้องทราบรายละเอียดทุกๆ ค่าความถี่ แต่ต้องทราบค่าโดยรวมที่แสดงออกมาในรูปแบบ RMS จะได้

$$X_{\text{Overall}} = A_1^2 + A_2^2 + \dots + A_n^2 \quad (\text{สมการที่ 6})$$

$$X_{\text{Overall}} = \text{ค่าความสั่นสะเทือนโดยรวม}$$

$$A_1, A_2, \dots, A_n = \text{ค่าความสั่นสะเทือนของแต่ละความถี่ในช่วงความถี่ที่กำหนด}$$

(มาตรฐาน ISO 2372 กำหนดช่วงความถี่ตั้งแต่ 10-1,000 เฮิรตซ์)

การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์โดยการวิเคราะห์สัญญาณความสั่นสะเทือน

การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ โดยการวิเคราะห์สัญญาณความสั่นสะเทือน เป็นเทคนิคการติดตามสภาพเครื่องจักร โดยการวิเคราะห์สัญญาณความสั่นสะเทือน ซึ่งเครื่องจักรทุกตัวต้องมีความสั่นสะเทือน โดยวิธีการเปรียบเทียบรูปแบบของสัญญาณความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่ใช้อยู่กับสัญญาณความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่มีสุขภาพดี จะสามารถบ่งบอกถึงอาการที่แสดงให้เห็นว่าเกิดการชำรุดเสียหาย

เครื่องจักรทุกประเภทที่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ได้ จะมีความสั่นสะเทือนเกิดขึ้น ดังนั้นสถานะของเครื่องจักรจะถูกแยกแยะได้ว่า สุขภาพดี หรือ สุขภาพเลว จากรูปแบบของสัญญาณความสั่นสะเทือน ในกรณีที่สามารถตรวจหาการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบสัญญาณความสั่นสะเทือน แล้วทำการวิเคราะห์สัญญาณดังกล่าว จะสามารถบอกถึงสถานะของเครื่องจักรได้

วิธีที่ง่ายที่สุดในการตรวจวัดสัญญาณความสั่นสะเทือน คือ การใช้แท่งไม้ หรือแท่งเหล็กฟังเสียง (เทคนิคการวัดอย่างหยาบ) และวิธีวัดที่ละเอียดขึ้น คือ การใช้หูฟังอุตสาหกรรม (Stethoscope) ร่วมกับเครื่องขยายสัญญาณ (Amplifier) ดังรูปที่ 10 อย่างไรก็ตาม สัญญาณความสั่นสะเทือนทั้งหมด อาจไม่ได้อยู่ในรูปของเสียงที่สามารถได้ยินได้ และทั้งสองวิธีนี้ยังต้องขึ้นอยู่กับความชำนาญของบุคลากร ในกรณีที่ทำการวิเคราะห์ให้ได้ประสิทธิภาพในการติดตามสภาพเครื่องจักร โดยวิธีการวิเคราะห์สัญญาณความสั่นสะเทือนก็จะต้องมีช่วงการวัดค่าความถี่ที่กว้างมากๆ



รูปที่ 10 หูฟังอุตสาหกรรม ใช้การตรวจเช็คแมรี่มอเตอร์ไฟฟ้า

1. จุดวัดความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

การวัดค่าสัญญาณความสั่นสะเทือน ต้องทำการวัดที่จุดสำคัญๆ หลายจุด จำนวนจุดที่จะวัดสามารถพิจารณาได้จาก

- ขนาดและน้ำหนักของหัววัดที่สามารถจับยึดได้
- ตำแหน่งที่สามารถตรวจวัดได้โดยสะดวก และปลอดภัย
- ความรุนแรงของความเสียหาย
- ชนิดและสาเหตุของความสั่นสะเทือน
- ลักษณะโครงสร้างเครื่องจักร

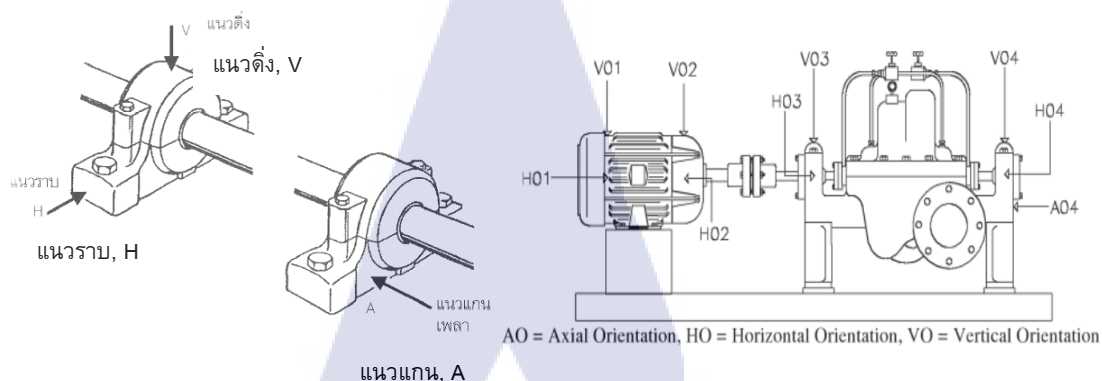
สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการวัดค่าความสั่นสะเทือน คือ จุดวัดควรอยู่ใกล้กับแหล่งที่เกิดความสั่นสะเทือนมากที่สุด เช่น แบร็งค์ ตลับลูกปืน จุดสัมผัสระหว่างชิ้นงาน จุดหมุนของชิ้นส่วน ควรหลีกเลี่ยงจุดที่เป็นช่องว่าง โพรงอากาศ ฝาครอบ ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ และเป็นจุดสำคัญที่ต้องตรวจวัด จำเป็นจะต้องมีสื่อนำสัญญาณความสั่นสะเทือนออกมาภายนอกเพื่อที่จะสามารถใช้หัววัดสัญญาณวัดได้ เช่น ฟังก์ชัน (Stud) รับสัญญาณ หรือต่อสายรับสัญญาณออกมาภายนอก เป็นต้น

สิ่งสำคัญอีกอย่างหนึ่งในการวัดคือ ทิศทางการวัด (Direction) เพราะความสั่นสะเทือนผิดปกติที่เกิดขึ้นแต่ละทิศทาง สามารถบอกถึงสาเหตุความผิดปกติเบื้องต้นได้ โดยทิศทางในการตรวจวัด ดังแสดงในรูปที่ 11 มีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

1) ทิศทางการวัดในแนวแกน (Axial, A) เป็นทิศทางการตรวจวัด การจับยึดหัววัดในแนวแกนเพลลาของเครื่องจักร ไม่ว่าเครื่องจักรจะติดตั้งในตำแหน่งใด ค่าความสั่นสะเทือนที่สูงผิดปกติ จะบอกถึงลักษณะการติดตั้งเครื่องจักรที่ไม่ตรงแนวศูนย์ (Misalignment) การหมุนสายของโรเตอร์ การบิดงอของเพลลา การบิดเอียงของฐานรองรับ (Soft Foot) การร่น การกระแทกของเพลลา เป็นต้น

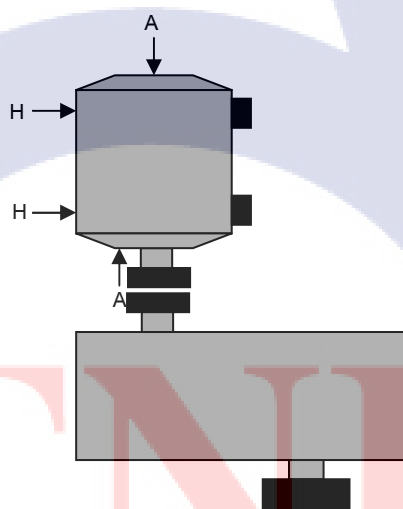
2) ทิศทางในแนวรัศมี (Radial) ที่เป็นแนวราบ (Horizontal, H) เป็นทิศทางการตรวจวัด การจับยึดหัววัดในแนวราบตั้งฉากกับแบร็งค์ บูช หรือโครงสร้างภายนอก (Casing) ของเครื่องจักร ค่าความสั่นสะเทือนที่สูงมากผิดปกติในแนวราบ จะบอกถึงลักษณะการไม่สมดุลของโรเตอร์ การติดตั้งเยื้องศูนย์ (Eccentric) เป็นต้น

3) ทิศทางในแนวรัศมี (Radial) ที่เป็นแนวตั้ง (Vertical, V) เป็นทิศทางการตรวจวัด การจับยึดหัววัดในแนวตั้งตั้งฉากกับแบร็งค์ บูช หรือโครงสร้างภายนอก (Casing) ของเครื่องจักร ค่าความสั่นสะเทือนที่สูงมากผิดปกติในแนวตั้ง จะบอกถึงลักษณะความเสียหายของโครงสร้างเครื่องจักร เช่น การเสียหายของแบร็งค์ บูช การสึกหรอของแบร็งค์ การหลวมคลาย เป็นต้น



รูปที่ 11 ทิศทางการตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือนในตำแหน่งต่างๆ สำหรับเครื่องจักรแนวราบ

ทิศทางการตรวจวัดทั้งสาม เป็นการตรวจวัดสำหรับเครื่องจักรที่ติดตั้งในแนวราบ ถ้าเป็นกรณีที่เครื่องจักรติดตั้งในแนวตั้ง หรือห้อยแขวน การกำหนดทิศทางแนวตั้ง (V) หรือแนวราบ (H) ก็เปลี่ยนไป ส่วนทิศทางในแนวแกนเฟลา (A) ยังคงที่เสมอ คือทิศทางการจับยึดหัวจับยังคงจับตามความยาวของเฟลาของเครื่องจักร ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 ทิศทางการตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือน เครื่องจักรที่ติดตั้งในแนวตั้ง

ที่มา : วินัย เวชวิทยาลัง. (2552). เทคนิคการวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนเพื่องานบำรุงรักษา. หน้า 90.

2. เครื่องมือวัดความสั่นสะเทือน

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดความสั่นสะเทือนประกอบด้วย หัวทรานสดิวเซอร์ สายเคเบิล เครื่องประมวลผลและอ่านผล สำหรับเครื่องประมวลผลและอ่านผลนั้นมีหลายแบบ อาทิ มิเตอร์วัดความสั่นสะเทือน (Vibration Meter) เครื่องเฝ้าตรวจความสั่นสะเทือน (Vibration Monitor) เครื่องวิเคราะห์แบบตัวกรองกวาด (Swept Filter Analyzer) เครื่องวิเคราะห์และเก็บข้อมูลชนิดเอฟเฟพที (Fast Fourier Transform Data Collector And Analyzer) เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมแบบเวลาจริง (Real Time Spectrum Analyzer) และอื่นๆ แต่เครื่องที่นิยมใช้ในการบำรุงรักษาเครื่องจักรและวิเคราะห์ข้อบกพร่องนั้น จะเป็นมิเตอร์วัดความสั่นสะเทือนและเครื่องวิเคราะห์และเก็บข้อมูลชนิดเอฟเฟพที เนื่องจากใช้ง่ายและมักเป็นเครื่องมือที่มีขนาดกะทัดรัดหิ้วไปมาได้ ในที่นี้จะกล่าวถึงเครื่องมือทั้ง 2 ประเภท

2.1 มิเตอร์วัดความสั่นสะเทือน (Vibration Meter)

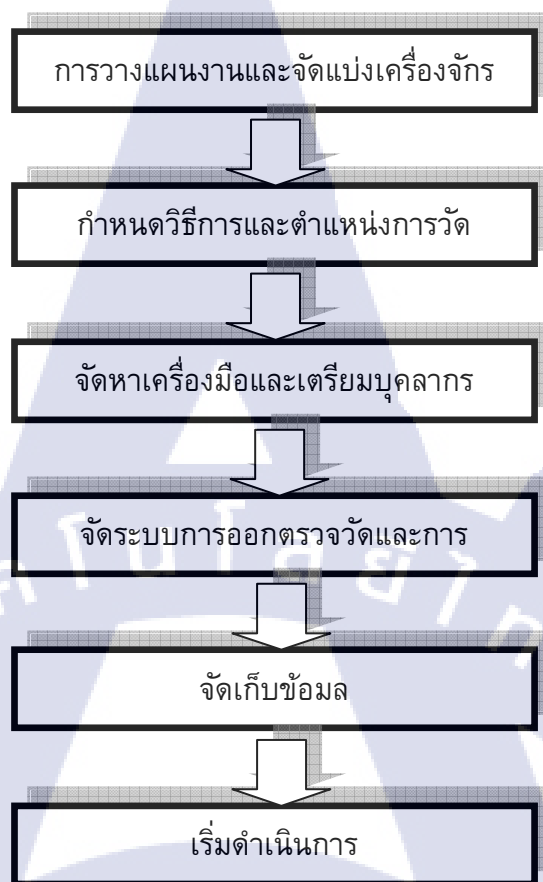
มิเตอร์วัดความสั่นสะเทือน เป็นเครื่องมือวัดขนาดเล็กแบบมือถือ สามารถเคลื่อนย้ายไปมาได้ ทำงานด้วยแบตเตอรี่ สามารถวัดขนาดความสั่นสะเทือนเป็นขนาดรวม (Overall Value) โดยแสดงผลด้วยเข็มบนมาตรวัด และสามารถเลือกผลการวัดได้ทั้งข้อมูลที่เป็นการจัด ความเร็ว ความเร่ง หากใช้หัววัดเป็นทรานสดิวเซอร์แบบความเร่ง

2.2 เครื่องวิเคราะห์และเก็บข้อมูลชนิดเอฟเฟพที (FFT Data Collector and Analyzer)

เครื่องวิเคราะห์และเก็บข้อมูลชนิด เอฟเฟพที เป็นเครื่องมือที่มีความสามารถสูงกว่า มิเตอร์วัดความสั่นสะเทือน ตัวเครื่องสามารถวัดสัญญาณความสั่นสะเทือนเป็นทั้งแบบรวม (Overall Value) และสัญญาณบนโดเมนความถี่เป็นอย่างน้อย เครื่องบางเครื่องสามารถวัดข้อมูลเฟสและทำสมดุลได้ด้วย สามารถแสดงผลเป็นกราฟของสัญญาณความสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่บนจอภาพ ในเครื่องที่มีราคาแพงจะมีฟังก์ชันการใช้งานที่ซับซ้อนขึ้น อาทิ สามารถเก็บข้อมูลได้จำนวนมาก และถ่ายข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ได้ เครื่องมือนี้นักถูกออกแบบให้เป็นแบบหิ้วได้

3. ขั้นตอนการดำเนินการวัดความสั่นสะเทือน

การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์โดยวิธีการวัดความสั่นสะเทือนในเครื่องจักรกล มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 ขั้นตอนการจัดทำระบบการวัดความสั่นสะเทือน

3.1 การวางแผนงานและจัดแบ่งเครื่องจักร

เมื่อตกลงใช้วิธีการบำรุงรักษาแบบพยากรณ์ตามสภาพในโรงงาน วิธีที่ดีที่สุด คือการจัดให้มีหน่วยงานรับผิดชอบโดยตรง ซึ่งพร้อมที่จะทุ่มเทความรู้ความสามารถให้การวางแผนงาน ตรวจสอบ วิเคราะห์ปัญหาต่างๆ ได้อย่างเต็มที่ เริ่มต้นด้วยการตรวจสอบประวัติการบำรุงรักษาเครื่องจักร ความถี่ของการขัดข้องของเครื่องจักร ประสิทธิภาพของการทำงาน ความสำคัญต่อกระบวนการผลิต และจำนวนเครื่องจักรทั้งหมดที่มีอยู่ เมื่อตรวจสอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทำการแบ่งกลุ่มเครื่องจักรออกตามหลักการดังนี้

กลุ่มที่ 1 ต้องการความถี่ในการตรวจสอบมาก เครื่องจักรกลประเภทนี้ต้อง

- มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตมากที่สุด ขาดเสียมิได้ (Critical Machine)
- ถ้าเกิดความเสียหายอย่างรุนแรง อาจเกิดอันตรายต่อบุคคลหรืออุปกรณ์รอบข้างได้

- ไม่มีเครื่องจักรอื่นที่จะทำงานทดแทนได้ เมื่อเกิดการเสียหาย จะทำให้ทั้งระบบหยุดตาม เครื่องจักรในกลุ่มนี้ต้องให้ความสำคัญและดูแลเป็นพิเศษ เพราะถ้าหากเกิดการขัดข้องหรือเสียหายจนเครื่องจักรไม่สามารถทำงานต่อไปได้ จะเป็นผลทำให้ทั้งระบบการผลิตต้องหยุดทำงานไปด้วย ดังนั้นจะต้องมีการตรวจสอบและดูแลอย่างใกล้ชิดและต่อเนื่อง

กลุ่มที่ 2 ต้องการความถี่ในการตรวจสอบปานกลาง เครื่องจักรกลประเภทนี้ประกอบไปด้วย

- มีความสำคัญในระบบการผลิต แต่มีเครื่องสำรองสำหรับการทำหน้าที่เดียวกันได้

- ถ้าเกิดความเสียหายอย่างรุนแรง อาจเกิดอันตรายกับบุคคลหรืออุปกรณ์รอบข้างได้

กลุ่มที่ 3 ต้องการความถี่ในการตรวจสอบน้อยเครื่องจักรกลประเภทนี้ ได้แก่

- มีความสำคัญต่อระบบการผลิตค่อนข้างน้อย

- มีเครื่องสำรองเพื่อที่จะทำหน้าที่เดียวกันได้

3.2 การกำหนดตำแหน่งวัดความสั่นสะเทือน

เครื่องจักรกลแต่ละประเภทอาจจะมีรูปร่างหน้าตาไม่เหมือนกัน แต่ตำแหน่งที่วัดความสั่นสะเทือนจะต้องเป็นตำแหน่งที่เหมาะสม โดยต้องคำนึงถึง

- 1) ตำแหน่งที่ใกล้ลูกปืนมากที่สุด
- 2) ตำแหน่งที่ตรงเข้าสู่ศูนย์กลางลูกปืน
- 3) ตำแหน่งที่รับภาระ (Load) มากที่สุด
- 4) ตำแหน่งที่เป็นเนื้อเดียวกันกับ Bearing Housing
- 5) ตำแหน่งที่ให้สัญญาณ Vibration แรงที่สุด

3.3 การจัดหาเครื่องมือและจัดเตรียมบุคลากร

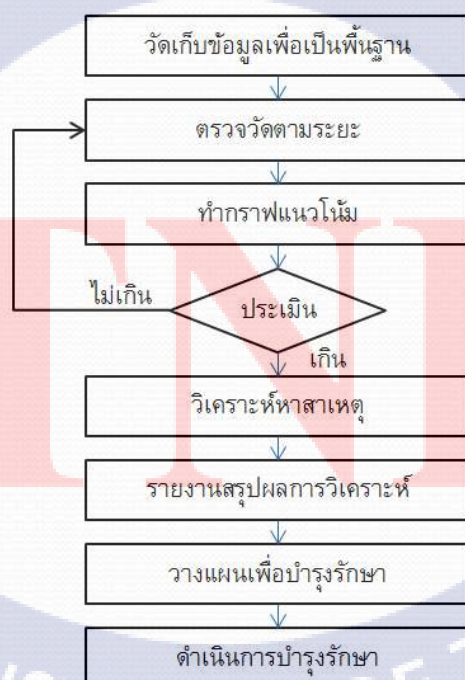
การเริ่มต้นสำหรับระบบงานวัดความสั่นสะเทือนนั้น ถ้ามีงบประมาณสำหรับเครื่องมือค่อนข้างจำกัด เพียงแค่จำกัดหาเครื่องวัดความสั่นสะเทือนแบบธรรมดาไปก่อน (Vibration Meter) โดยเป็นการวัดค่าความสั่นสะเทือนโดยรวม เพื่อทำการตรวจสอบเครื่องจักร โดยการวัดความสั่นสะเทือนได้เบื้องต้น แล้วนำค่าที่ตรวจวัดได้นั้นมาจัดทำเป็นกราฟแนวโน้มของความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร อาจจะมีเครื่องอื่นๆ ประกอบด้วย เช่น เครื่องช่วยสำหรับการฟังเสียง เพื่อที่จะช่วยในการประเมินสภาพการทำงาน of เครื่องจักรและตรวจหาความผิดปกติ เมื่อเริ่มดำเนินการในตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัดอย่างง่ายไปได้ช่วงเวลาหนึ่งแล้ว ก็ควรดำเนินการจัดหาเครื่องมือวัดและวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนที่มีความสามารถหลากหลายตามกำลังงบประมาณที่พอจะหาได้ อย่างน้อยที่สุดควรเป็นเครื่องมือที่วัดและวิเคราะห์แบบสเปกตรัมได้ (Spectrum Analysis) เนื่องจากค่าความสั่นสะเทือนโดยรวมจะทราบแต่เพียงแนวโน้มของความผิดปกติเท่านั้น ไม่สามารถหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาได้ ทำให้ต้องใช้

ผู้เชี่ยวชาญมาช่วยในการตรวจสอบหาสาเหตุที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนแบบสเปกตรัม เป็นการวิเคราะห์ในรูปของสัญญาณความถี่ที่เกิดจากความสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนภายในเครื่องจักรทั้งหมด โดยอาศัยกราฟสเปกตรัมวิเคราะห์ตรวจสอบสัญญาณความถี่ที่เกิดขึ้นว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนกับเครื่องจักรนั้น มีสาเหตุมาจากชิ้นส่วนไหนของเครื่องจักรที่เกิดความบกพร่องขึ้น เพื่อที่จะได้ทำการแก้ไขตรงจุดต่อไป

3.4 จักระบบการออกตรวจวัดและการจัดเก็บข้อมูล

ปัจจุบันนี้ มีเครื่องมือวัดและวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนที่ทันสมัยออกมามากมาย โดยแต่ละยี่ห้อจะมีซอฟต์แวร์สำหรับต่อเชื่อมกับคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการส่งถ่ายข้อมูลระหว่างกันของเครื่องมือวัดและระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อการจัดเก็บระบบข้อมูลที่ทำกรวัดค่ามา ต้องอาศัยซอฟต์แวร์ช่วย จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการจัดเตรียมข้อมูลในส่วนของเครื่องจักรด้วย และควรมีการจัดการบันทึกข้อมูลที่จำเป็นต่างๆ ของเครื่องจักรไว้ พร้อมทั้งทำการสังเกตสภาพของเครื่องจักรคร่าวๆ เพื่ออำนวยความสะดวกสำหรับการวิเคราะห์สภาพของเครื่องจักรนั้น กำหนดเส้นทางในการตรวจวัดตามที่กำหนดไว้ แล้วจัดทำตารางสำหรับทำการบันทึกข้อมูลที่จำเป็นของเครื่องจักรแต่ละชนิดไว้เพื่อใช้ประโยชน์สำหรับการทำงานต่อไป

หลังจากดำเนินการเตรียมการทุกอย่างตามขั้นตอนเสร็จ เริ่มดำเนินการตามแผนการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ โดยใช้เทคนิคการวัดและวิเคราะห์สัญญาณความสั่นสะเทือนในเครื่องจักรหมุน มีขั้นตอนดำเนินงานดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 ขั้นตอนการดำเนินการวัดความสั่นสะเทือน

4. การตรวจสอบและบันทึกข้อมูล

การตรวจสอบและบันทึกข้อมูลตามที่ได้วางแผนไว้แล้ว เป็นการตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรภาคสนามโดยการตรวจวัดตามที่ได้กำหนดจุดและตำแหน่งการวัดไว้ การตรวจวัดค่านั้น ผู้ที่ทำการตรวจวัดและผู้ที่ทำการวิเคราะห์ควรมีความเข้าใจตรงกัน และควรทำเป็นลำดับขั้นตอนที่ได้วางไว้แล้ว เพื่อไม่เป็นการสับสนในการดำเนินงาน ถ้าข้อมูลที่ได้มา มีการสับสน ก็จะส่งผลให้การวิเคราะห์นั้น เกิดความคลาดเคลื่อนได้ และจะส่งผลทำให้ผลของการวิเคราะห์นั้นไม่ตรงกับความเป็นจริง

5. การจัดทำกราฟแนวโน้ม (Trend Plot)

การจัดทำกราฟแนวโน้มความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร จะทำได้เมื่อมีข้อมูลที่วัดและบันทึกค่าจากจุดเดียวกันหลายๆ ครั้งตามที่ได้จัดทำรายการตรวจวัดไว้ การจัดทำกราฟแนวโน้มความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรควรจัดทำกับทุกๆ ตำแหน่งที่ทำการตรวจวัด เนื่องจากข้อมูลแต่ละตำแหน่งของการตรวจวัดจะช่วยเอื้อประโยชน์ในการวิเคราะห์หาความบกพร่องของเครื่องจักรได้เช่นกัน

6. การเปรียบเทียบค่าความสั่นสะเทือนว่าเกินระดับที่กำหนดหรือไม่

มาตรฐานสำหรับการเปรียบเทียบค่าความสั่นสะเทือนที่วัดได้ คือมาตรฐานการสั่นของตัวเรือน (Casing Vibration) ใช้เกณฑ์มาตรฐานของ ISO 2372 ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 มาตรฐานการเปรียบเทียบค่าความสั่นสะเทือน ใช้เกณฑ์มาตรฐานของ ISO 2372

กลุ่มเครื่องจักร	ระดับที่เริ่มสงสัย (สู่การวิเคราะห์) mm/s (rms)	ระดับที่ต้องหยุด เครื่องจักร mm/s (rms)
กลุ่ม 1 เครื่องจักรที่มีขนาด < 15 kW	1.8	4.5
กลุ่ม 2 เครื่องจักรที่มีขนาด 15 - 75 kW	2.8	7.1
กลุ่ม 3 เครื่องจักรที่มีขนาด > 75 kW	4.5	11.0
กลุ่ม 4 เครื่องจักรที่มีขนาด > 75 kW และตั้งอยู่บนฐานที่อ่อนตัว ได้ รวมทั้งเครื่องจักรประเภทอัดลมด้วย	7.1	18.0

ที่มา : ประดิษฐ์ หมูเมืองสอง ; และ สุชญาณ หรรษสุข. (2550). การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน. หน้า 63.

7. การวิเคราะห์สถานะปัจจุบันของเครื่องจักร

การเปลี่ยนแปลงระดับความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลนั้น จะแสดงถึงความบกพร่องอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายๆ อย่างภายในเครื่องจักร ซึ่งจำเป็นต้องหาข้อบกพร่องเพื่อที่จะดำเนินการแก้ไขต่อไป หากผลจากการวิเคราะห์กราฟแนวโน้มความสั่นสะเทือนไม่แสดงอาการที่ผิดปกติ ก็ทำการเก็บข้อมูลเข้าแฟ้มไว้สำหรับอ้างอิงและก็ดำเนินการตรวจวัดต่อไปตามตารางการตรวจวัด

8. การวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนกับงานบำรุงรักษา

เมื่อผลการวิเคราะห์สภาพการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรนั้น พบว่า น่าจะมีความผิดปกติเกิดขึ้นกับเครื่องจักร ดังนั้น ขั้นตอนต่อไปจะต้องทำการวิเคราะห์เพื่อค้นหาต้นตอของความบกพร่องนั้น โดยการใช้การวิเคราะห์แบบกราฟสเปกตรัม (FFT) เพื่ออำนวยความสะดวกในการตรวจหาสาเหตุที่แท้จริงภายในเครื่องจักร พร้อมทั้งเสนอแนะวิธีการแก้ไขให้หน่วยซ่อมและประเมินสภาพของเครื่องจักรชุดนั้นว่าจะสามารถทำงานได้อีกนานเท่าใด เพื่อทางหน่วยซ่อมจะได้กำหนดช่วงเวลาที่จะทำซ่อมบำรุงและต้องส่งผลกระทบต่อระบบการผลิตน้อยที่สุด เมื่อหน่วยซ่อมดำเนินการซ่อมบำรุงเครื่องจักรนั้นแล้วเสร็จ ควรดำเนินการตรวจวัดค่าอีกครั้งหนึ่ง (Test Run) เพื่อเปรียบเทียบค่าความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรนั้นว่าค่าความสั่นสะเทือนก่อนการซ่อมและหลังการซ่อม จะมีผลต่างกันมากน้อยแค่ไหน และเพื่อเป็นข้อมูลของค่าความสั่นสะเทือนสำหรับอ้างอิงในการซ่อมบำรุงครั้งต่อไปด้วย

9. หลักการวิเคราะห์ความสั่นสะเทือน

หลักการวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลในหัวข้อนี้ จะเป็นการอธิบายถึงหลักการที่จะทำการวิเคราะห์ความสั่นสะเทือน โดยจัดลำดับเป็นขั้นตอนเพื่อให้เข้าใจได้ง่ายในการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ โดยวิธีการวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนนั้น จะมีลำดับขั้นตอนในการดำเนินการดังต่อไปนี้

- 1) วัดและบันทึกข้อมูลความสั่นสะเทือนลงเครื่องมือ
- 2) ถ่ายโอนข้อมูลความสั่นสะเทือนจากเครื่องมือสู่ระบบคอมพิวเตอร์
- 3) ตรวจสอบกราฟแนวโน้มความสั่นสะเทือน
- 4) ประเมินค่าความสั่นสะเทือน (อยู่ในเกณฑ์หรือไม่)
- 5) วิเคราะห์หาสาเหตุ
- 6) สรุปและรายงานผลการวิเคราะห์
- 7) วางแผนกำหนดการบำรุงรักษา
- 8) ดำเนินการบำรุงรักษา

เมื่อเริ่มดำเนินการวัดความสั่นสะเทือน จำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีคุณภาพ พร้อมทั้งบุคลากรที่มีความรู้และความเข้าใจในวิธีการวัดความสั่นสะเทือน เพื่อบรรลุผลสำเร็จของการดำเนินการ เมื่อดำเนินการตรวจวัดเก็บข้อมูลมาแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็จะเป็นการถ่ายโอนข้อมูลเข้าสู่

ระบบคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นผู้ที่วิเคราะห์ทำการตรวจสอบกราฟแนวโน้มของความสั่นสะเทือน ถ้าเกินค่ามาตรฐานก็ดำเนินการวิเคราะห์หาสาเหตุ พร้อมสรุปทำเป็นรายงานต่อไป ในปัจจุบันโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลและช่วยวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนมีประสิทธิภาพสูงมากและให้เลือกใช้ได้หลายรูปแบบ

10. มาตรฐานการวิเคราะห์ความสั่นสะเทือน

เกณฑ์ในการตัดสินใจซ่อมและแก้ไขความผิดปกติของเครื่องจักรที่เกิดจากความสั่นสะเทือน แบ่งได้หลายวิธี เช่น

10.1 วิเคราะห์จากแนวโน้ม (Trend Analysis) เป็นการวิเคราะห์ที่เฝ้าติดตามอย่างต่อเนื่อง สำหรับเครื่องจักรที่มีความสำคัญในกระบวนการผลิต โดยดูแนวโน้มความผิดปกติเป็นระยะๆ เช่น ทุกชั่วโมง หรือทุกวัน เป็นต้น

10.2 ใช้เกณฑ์กำหนดจากผู้ผลิตเครื่องจักร เป็นการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดกับค่าที่ผู้ผลิตออกแบบหรือผู้ผลิตกำหนด

10.3 เปรียบเทียบกับเครื่องจักรที่เหมือนกัน

10.4 เกณฑ์กำหนดจากมาตรฐานสากล เป็นเกณฑ์ที่กำหนดขึ้นจากผู้เชี่ยวชาญ แล้วนำมาประชุมกำหนดเป็นมาตรฐานแต่ละสถาบัน แต่ละสาขา แต่ละประเทศ หรือกำหนดเป็นมาตรฐานสากล เช่น

- ISO (International Standards Organization)
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure)
- ANSI (American National Standards Institute)
- AGMA (American Gear Manufacturers Association)
- CDA/MS/NVSH 107 "Vibration limits for Maintenance" (Canadian Government Specification)
- NEMA (National Electric Manufacturers Association)

สำหรับมาตรฐานสากล ISO 10816 นั้น ประกอบไปด้วย 7 หมวด ดังแสดงในตารางที่ 5 โดยค่ามาตรฐานที่กล่าวมานี้ จะวัดค่าขนาดของความสั่นสะเทือนในรูปแบบของความเร็วนั้น มีหน่วยเป็น mm/sec, rms

ตารางที่ 5 คำอธิบายมาตรฐานสากล ISO 10816

ISO No.	Description
10816- 1	General Guidelines
10816- 2	Land-based steam turbines and generators in excess of 50 MW with normal operating speeds of 1,500 r/min, 1,800 r/min, 3,000 r/min and 3,600 r/min
10816- 3	Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15,000 r/min when measured in situ
10816- 4	Gas turbine driven set excluding aircraft derivatives
10816- 5	Machine sets in hydraulic power generating and pumping plants
10816- 6	Reciprocating machines with power ratings above 100 kW
10816- 7	Rotor dynamic pumps for industrial applications, including measurements on rotating shafts

ที่มา : หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ. (2552). การตรวจสอบความสั่นสะเทือนเครื่องจักร. หน้า 33.

สำหรับในการดำเนินงานการศึกษาเรื่อง การประยุกต์ใช้ระบบการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม ผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ISO 10816-1 ดังรูปที่ 15 ซึ่งแต่ละโซนมีความหมายดังนี้

Good คือ เครื่องจักรใหม่เริ่มทำงาน ถ้าค่าความสั่นสะเทือนตกที่โซนนี้ แสดงว่าเครื่องจักรทำงานปกติ

Satisfactory คือ เครื่องจักรมีความสั่นสะเทือนอยู่ในโซนนี้ เป็นเครื่องจักรที่สามารถยอมรับได้ (Acceptable) และสามารถทำงานได้ในระยะยาว (Long Term)

Unsatisfactory คือ เครื่องจักรมีความสั่นสะเทือนอยู่ในโซนนี้ เป็นเครื่องจักรที่ความสั่นสะเทือนรุนแรงไม่น่าพอใจ ซึ่งจะมีผลกับเครื่องจักรในระยะยาว โดยทั่วไปเมื่อเครื่องจักรอยู่ในโซนนี้จะต้องทำงานสลับกับเครื่องจักรตัวอื่น หรือควรจะมีการตรวจสอบอย่างใกล้ชิดจนกว่าจะมีการแก้ไข

Unacceptable คือ เครื่องจักรที่มีความสั่นสะเทือนอยู่ในโซนนี้ เป็นเครื่องจักรที่มีระดับความรุนแรง ที่จะนำไปสู่สาเหตุการชำรุดเสียหายของเครื่องจักร

Velocity Severity		Velocity Range Limits and Machine Classes Std.ISO 10816-1			
mm/s		Small Machines	Medium Machines	Large Machines	
RMS	Peak	Class I	Class II	Rigid Supports Class III	Flexible Supports Class IV
0.28	0.51	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD
0.45	0.76				
0.71	1.02				
1.12	1.52	SATISFACTORY			
1.80	2.54				
2.80	4.06	UNSATISFACTORY	SATISFACTORY	SATISFACTORY	
4.50	6.35	ALERT	UNSATISFACTORY		
7.10	9.91	UNACCEPTABLE (DAMAGE)	ALERT	UNSATISFACTORY	SATISFACTORY
11.20	15.75		UNACCEPTABLE (DAMAGE)	ALERT	UNSATISFACTORY
18.00	25.40				ALERT
28.00	39.62			UNACCEPTABLE (DAMAGE)	UNACCEPTABLE (DAMAGE)
45.90	63.50				

รูปที่ 15 ระดับค่าความสั่นสะเทือน สำหรับเครื่องจักรในอุตสาหกรรม ตามระบบ ISO10816-1

การวัดผลการจัดทำระบบบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance)

การวัดผลการจัดทำระบบบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance) การศึกษาในครั้งนี้ ได้เลือกวิธีวัดผล 2 วิธี คือ

1. การวัดผลโดยใช้ค่าเวลาเฉลี่ยระหว่างการเกิดการชำรุดเสียหายของเครื่องจักร (Mean Time between Failure : MTBF) ถ้าปรับปรุงแล้วค่า MTBF มีค่ามากขึ้นกว่าช่วงก่อนปรับปรุง แสดงว่าการปรับปรุงนี้ให้ผลลัพธ์ที่ดี

$$MTBF = \frac{\text{เวลาเดินเครื่องจักรทำงานโดยเกิดการผลิต (ชม.)}}{\text{จำนวนครั้งที่เกิดการชำรุดเสียหาย (ครั้ง)}} \quad (\text{สมการที่ 7})$$

2. การวัดผลโดยใช้เวลาเฉลี่ยการซ่อม (Mean Time to Repair : MTTR) ถ้าปรับปรุงแล้ว ค่า MTTR มีค่าลดลงกว่าช่วงก่อนปรับปรุง แสดงว่าการปรับปรุงนี้ให้ผลลัพธ์ที่ดี

$$MTTR = \frac{\text{เวลาเครื่องจักรหยุดจากการชำรุดเสียหาย (ชม.)}}{\text{จำนวนครั้งที่เกิดการชำรุดเสียหาย (ครั้ง)}} \quad (\text{สมการที่ 8})$$

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ต่อพงษ์ พึ่งจิตร (2553) นำเทคนิคการบำรุงรักษาตามสภาพ มาประยุกต์ใช้ในโรงงานผลิตผงคาร์บอนแบล็ค พบว่า ช่วยเพิ่มอัตราการเดินเครื่องของกระบวนการผลิต เพิ่มขึ้นจากเดิม 93.37% ต่อเดือนเป็น 98.02% ต่อเดือน ลดทั้งเวลาเฉลี่ยการซ่อม (MTTR) และเพิ่มระยะเวลาเฉลี่ยระหว่างการเกิดเหตุขัดข้องของเครื่องจักร (MTBF) สามารถมูลค่าการสูญเสียรวมจาก 9,617,204 บาทต่อเดือน เป็น 1,604,433 บาทต่อเดือน

นฤทธิ ไร่รุ่งอรุณ (2551) ได้ศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมแผงวงจร โดยการนำระบบการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance) เข้ามาใช้แทนการบำรุงรักษาแบบหลังเกิดเหตุขัดข้อง (Breakdown Maintenance) พบว่า เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือสูง ต้นทุนการดำเนินงานรวมต่ำ สามารถนำกรอบแนวความคิดนี้ ไปประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมทั่วไปได้

บวร วัชรโยธิน (2555) ได้ศึกษางานบำรุงรักษาระบบปรับอากาศในโรงแรมกรณีศึกษา โดยการประยุกต์การบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance) ตามมาตรฐาน Open System Architecture for Conditional Based Maintenance (OSA-CBM) โดยการบ่งชี้สภาพความอุดมสมบูรณ์ของไส้กรองอากาศในเครื่องปรับอากาศชนิด Fan Coil Unit ด้วยความดันอากาศ จากการปรับปรุงในพื้นที่ทดสอบ ระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2555 พบว่า มีการแจ้งเตือนสภาพกรองอากาศในการปฏิบัติงานซ่อมบำรุง ทำให้จำนวนความถี่ในการแจ้งซ่อมของ Fan Coil Unit ลดลงเท่ากับศูนย์ สามารถลดจำนวนการแจ้งซ่อมและจำนวนงานซ่อมที่นอกเหนือการวางแผนของระบบปรับอากาศลงได้

พิชิต สอนดงบัง (2545) ได้เกี่ยวกับการบำรุงรักษาเชิงป้องกันของระบบลำเลียงด้วยสายพานในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์ ซึ่งในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาสูญเสียในกระบวนการผลิต และป้องกันการขัดข้องของเครื่องจักร ซึ่งที่ผ่านมาการดำเนินงานของโรงงานตัวอย่างด้านการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องจักรยังไม่มีความชัดเจนมากนัก จึงได้มีการศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลเครื่องจักร คือ เหตุขัดข้อง ระยะเวลาการหยุดของเครื่องจักร เพื่อมาทำการวิเคราะห์เหตุขัดข้องของเครื่องจักรและดำเนินการแก้ไข เพื่อปรับระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องจักร ผลปรากฏว่าความพร้อมใช้งานหลังการปรับปรุงสูงขึ้นร้อยละ 2.87 อัตราการขัดข้องของเครื่องจักรลดลงร้อยละ 63.70

อุดมจิตต์ นิวาตะบุตร (2538) การตรวจสภาพเครื่องจักรจากความสัมพันธ์ ทั้งที่หยุดนิ่งและเคลื่อนที่ประสานกันตามที่ออกแบบไว้ พบว่า ชิ้นส่วนของเครื่องจักรที่มีการเคลื่อนที่ในลักษณะหมุนรอบแกนขณะทำงาน จะเกิดความสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากความไม่สมดุล การสัมผัส การกระทบ การเสียดสีระหว่างชิ้นส่วนต่างๆ ส่งผลทำให้สึกหรอและระดับความสั่นสะเทือนสูงขึ้น เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพเครื่องจักรลดลงหรือผลิตงานไม่ได้คุณภาพ การตรวจสอบความสั่นสะเทือนจะช่วยให้ทราบถึงสถานะและความผิดปกติของเครื่องจักร จึงช่วยยืด

อายุการทำงานเครื่องจักร ลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง เพิ่มความมั่นคงในกระบวนการผลิต

เบนสัน มาคัส ; และคณะ (Bengtsson, Marcus ; et al. 2004) กล่าวว่า ข้อแตกต่างของการบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance) กับการบำรุงรักษาเชิงความน่าเชื่อถือนั้น คือ การบำรุงรักษาเชิงความน่าเชื่อถือจะพิจารณาชิ้นส่วน หรืออุปกรณ์ที่เป็นส่วนสำคัญที่ส่งผลโดยตรงกับระบบ ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะถูกพิจารณาตั้งแต่ก่อนเริ่มติดตั้งเครื่องจักร หรือก่อนการปรับปรุงระบบใหม่

เบนสัน มาคัส ; และคณะ (Bengtsson, Marcus ; et al. 2004) ได้ศึกษาสิ่งสำคัญที่ทำให้ตัดสินใจในการใช้เลือกการบำรุงรักษาแบบ Condition Based Maintenance (CBM) ในหัวข้อ “Important Aspects to Take into Consideration When Deciding to Implement Condition Based” ได้กล่าวถึงบทบาทของการบำรุงรักษาโดยใช้สภาพเป็นเกณฑ์ CBM ที่ช่วยในการลดการทำ Corrective Maintenance เนื่องจากการพบข้อบกพร่องก่อนเกิดความเสียหาย และยังช่วยระบุการดำเนินงาน Preventive Maintenance แบบพลวัต

การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์โดยการวิเคราะห์สัญญาณความสั่นสะเทือน เป็นส่วนหนึ่งของการบำรุงรักษาตามสภาพ มุ่งเน้นในการติดตามสภาพความเสื่อมสภาพของเครื่องจักร จาก การเสื่อมสภาพ หรือสภาวะนั้นมาอยู่ในรูปแบบที่สามารถตรวจสอบได้ ซึ่งจัดเป็นรูปแบบเพื่อง่ายต่อการแบ่งแยกสถานะ สามารถบ่งชี้สถานะความเสื่อมสภาพต่างๆ ของเครื่องจักร เพื่อเป็นแนวทางในการป้องกันเครื่องจักรก่อนการเกิดความเสียหาย

แต่ทั้งนี้การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ ยังคงต้องอาศัยการบำรุงอื่นเข้ามาช่วย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาให้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ทั้งการบำรุงรักษาเมื่อขัดข้อง และการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน เพื่อการวางแผนปฏิบัติงานในการรับมือกับความเสื่อมสภาพของเครื่องจักร ซึ่งปัจจัยในการพิจารณาการวางแผนงานบำรุงรักษา จะขึ้นอยู่กับลักษณะของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานสารนิพนธ์

ในการศึกษานี้ ผู้ศึกษาได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

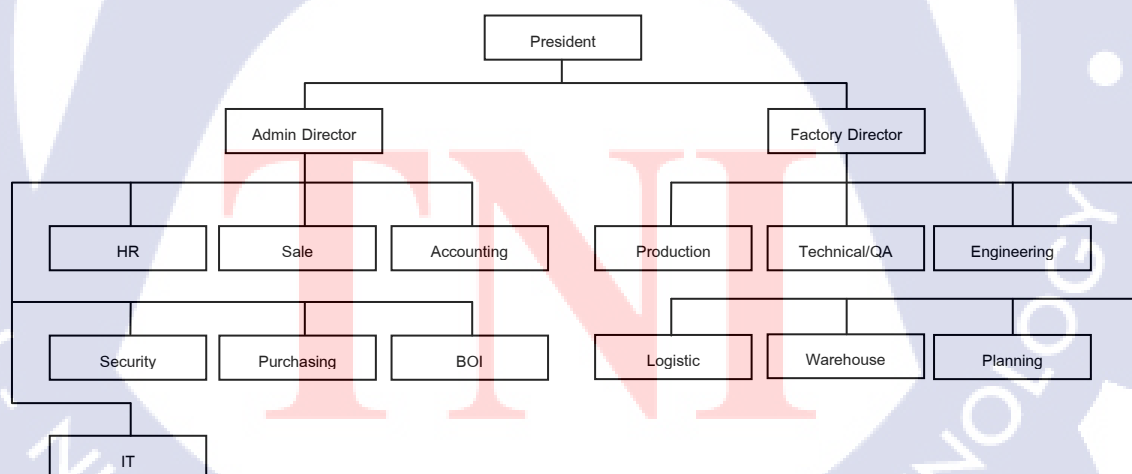
1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลทั่วไปโรงงานกรณีศึกษา
2. ศึกษาที่มาของปัญหา และเลือกหัวข้อในการปรับปรุง
3. ออกแบบขั้นตอนบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

ศึกษาและรวบรวมข้อมูลทั่วไปโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษา เป็นโรงงานผลิตรถยนต์ชั้นนำจากประเทศญี่ปุ่นที่ขยายฐานการผลิตมายังประเทศไทย ตั้งอยู่ในนิคมอุตสาหกรรมอมตะซิตี้ อำเภอปลวกแดง จังหวัดระยอง เป็นโรงงานขนาดใหญ่ มีพนักงานประมาณ 4,000 คน ผลิตรถยนต์รายวันสำหรับรถยนต์ส่วนบุคคลและรถกระบะ จำหน่ายทั้งภายในและส่งออกต่างประเทศ โดยนำเทคโนโลยีและเครื่องจักรอันทันสมัยมาใช้ในการกระบวนการผลิต มุ่งเน้นนวัตกรรมใหม่เพื่อเพิ่มสมรรถภาพสูงสุด และใส่ใจต่อสิ่งแวดล้อม

1. โครงสร้างการบริหารงานของโรงงานกรณีศึกษา

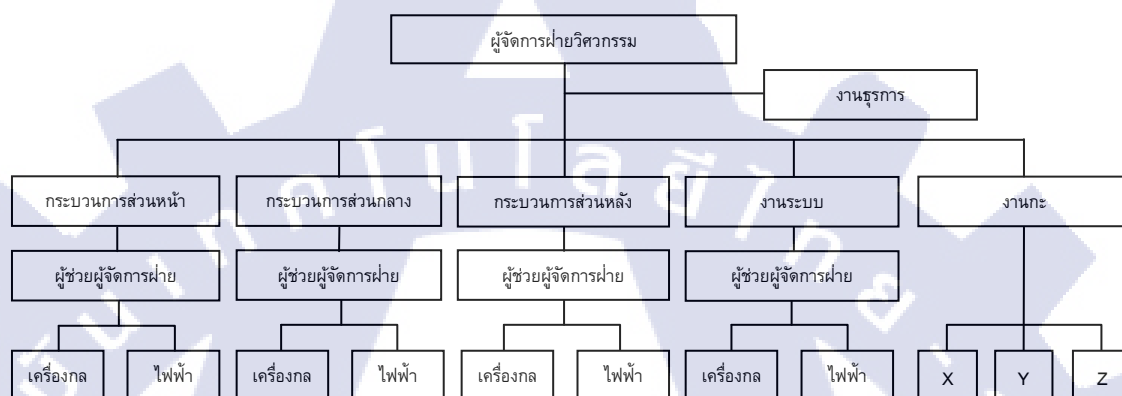
การบริหารงานแบ่งออกเป็นสองสายงาน ดังนี้ 1. ฝ่ายบริหารงานทั่วไป และ 2. ฝ่ายบริหารโรงงาน ดังแสดงในรูปที่ 16



รูปที่ 16 ผังบริหารงานโรงงานกรณีศึกษา

2. การบริหารงานฝ่ายวิศวกรรมของโรงงานกรณีศึกษา

ฝ่ายวิศวกรรมของโรงงานกรณีศึกษานี้ รับผิดชอบเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต ตั้งแต่ งานวางแผนการติดตั้งเครื่องจักรให้สอดคล้องกับยอดการผลิต ตลอดจนบำรุงรักษาเครื่องจักรให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานอยู่ตลอดเวลา ทำงานร่วมกับหลายฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ทั้งฝ่ายวางแผนการผลิต ฝ่ายเทคโนโลยีการผลิต และฝ่ายผลิต การบริหารงานของฝ่ายวิศวกรรมมีการแบ่งความรับผิดชอบตามกระบวนการผลิต ดังแผนผังรูปที่ 17



รูปที่ 17 ผังบริหารงานของแผนกวิศวกรรมโรงงานกรณีศึกษา

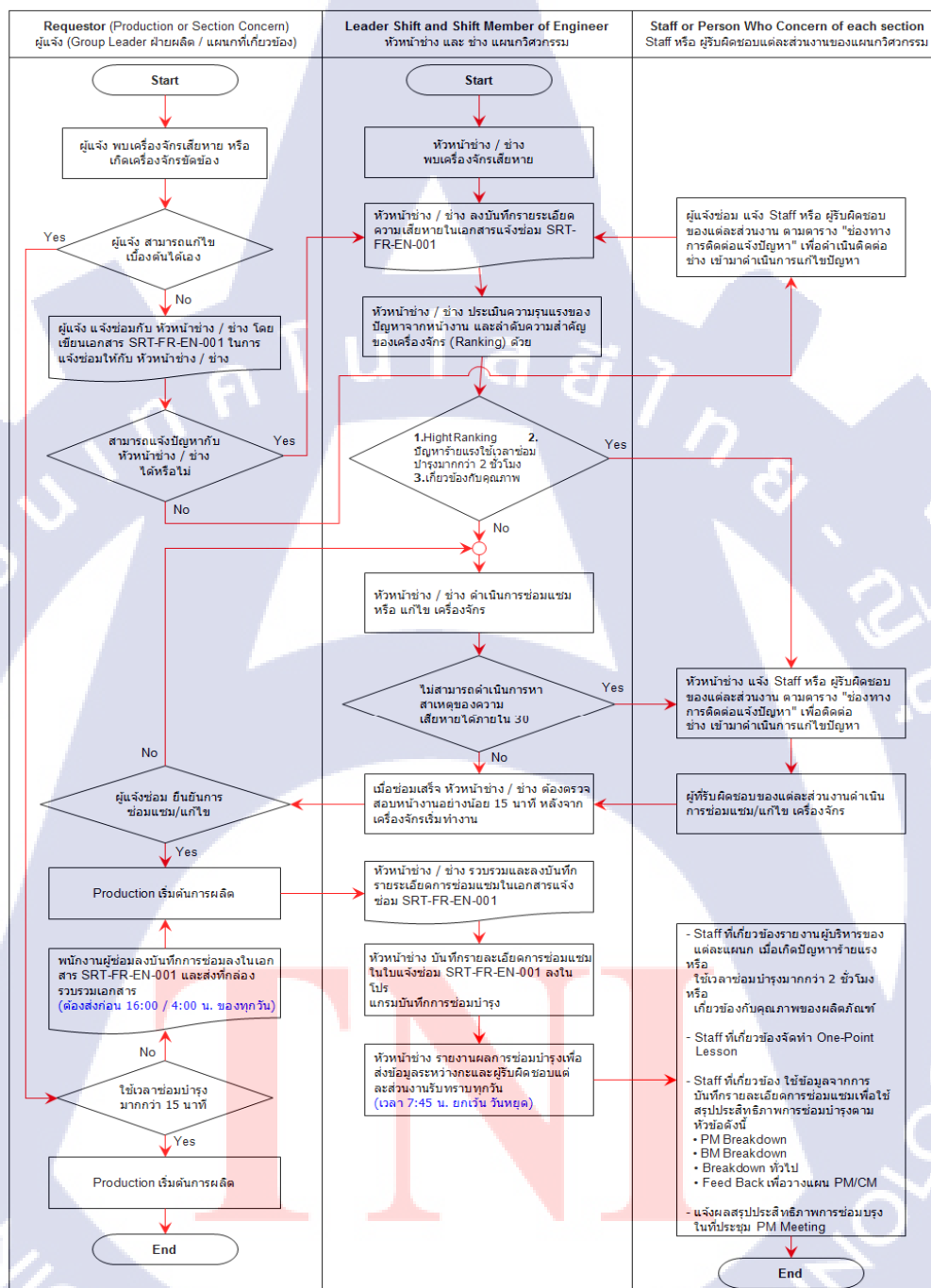
3. กระบวนการทำงานบำรุงรักษาของฝ่ายวิศวกรรม

ปัจจุบันในโรงงานกรณีศึกษา การซ่อมบำรุงประกอบด้วยสองลักษณะ คือ 1. การบำรุงรักษาเมื่อขัดข้อง (Breakdown Maintenance : BM) และ 2. การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance : PM) ประกอบด้วยการทำงานดังต่อไปนี้

3.1 การซ่อมบำรุงรักษาเมื่อขัดข้อง

แผนกวิศวกรรมจะแบ่งความรับผิดชอบออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่ม X กลุ่ม Y และกลุ่ม Z สลับกันทำงานเป็นกะ (Shift) ซึ่งมีด้วยกัน 2 กะ คือ กะเช้า ทำงานระหว่างเวลา 8:00 น. ถึง 20:00 น. และกะกลางคืน ทำงานระหว่างเวลา 20:00 น. ถึง 8:00 น. ในการรับงานแจ้งซ่อมประจำวันจากฝ่ายผลิต มีหัวหน้ากะ (Shift Leader) ทำหน้าที่เป็นผู้ควบคุมดูแลการซ่อมบำรุงแบบฉุกเฉินหรือเมื่อเกิดการขัดข้องของเครื่องจักรในฝ่ายผลิต สำหรับลำดับขั้นตอนการทำงานแสดงได้ดังรูปที่ 18 โดยเมื่อได้รับใบสั่งซ่อมจากฝ่ายผลิต หัวหน้ากะจะทำการประสานงานกับช่างเทคนิคที่รับผิดชอบในแต่ละกระบวนการนั้นเพื่อทำการซ่อม ในกรณีที่มีความจำเป็นต้องอาศัยช่างเฉพาะทางเข้ามาช่วยซ่อม หัวหน้ากะจะทำการร้องขอจากหัวหน้าช่างในฝ่ายต่างๆ ที่เกี่ยวข้องนั้นๆ เพื่อสนับสนุนการซ่อม และถ้าไม่สามารถปฏิบัติได้ทันทีจะทำการบันทึกงานที่ไม่สามารถปฏิบัติได้ เพื่อส่งมอบงานให้หัวหน้ากะถัดไปติดตามงานนั้นจนจบ หลังจากทำการ

ซ่อมเครื่องจักรเรียบร้อยแล้วจะทำการบันทึกผลการซ่อมบำรุงเป็นหลักฐาน ดังรูปที่ 19 เพื่อนำไปวิเคราะห์และสรุปเป็นมาตรการสำหรับวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันต่อไป



Comment (หมายเหตุ):

รายการผู้รับผิดชอบประจำแผนกที่ใช้เครื่อง

- Quality
- Safety
- Production

กรณีที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพ มีดังนี้

1. กรณีเครื่องจักรเสียแล้วเป็นเหตุให้เกิดงานเสีย หรือ งานเสียระดับเล็กน้อย
2. กรณีที่แจ้งซ่อมเครื่องแล้วไม่มีอะไร และ พิจารณาแล้วเห็นว่าเป็นจะต้องหาอะไรเข้ามาทดแทน

รายการของผู้บริหารของแต่ละแผนกที่ต้องรายงานปัญหา (ผู้ช่วยผู้จัดการแผนก หรือ Staff ที่เกี่ยวข้อง)

1. หัวหน้าแผนก Eng.
2. หัวหน้าแผนก PR
3. หัวหน้าแผนก PT
4. หัวหน้าแผนก PCC
5. ผู้จัดการโรงงาน

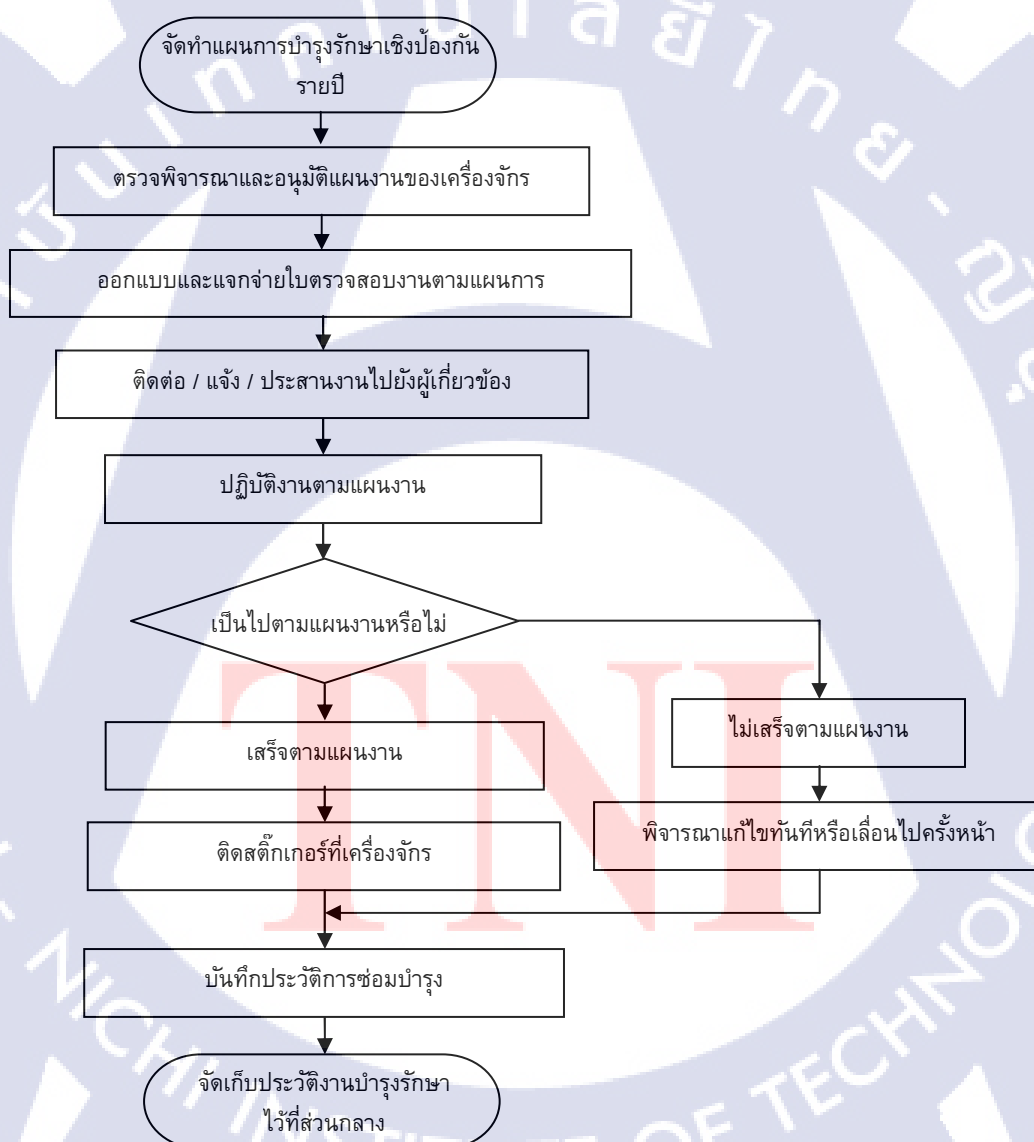
รูปที่ 18 ผังการไหลการซ่อมบำรุงรักษาเมื่อขัดข้อง

Maintenance Request & Record Sheet		Document No.	FR-EN-001
ใบแจ้งซ่อมและบันทึกการซ่อมบำรุงเครื่องจักร		Issue Date	06 / 11 / 2009
		Rev. No.	04
1. For Requestor (สำหรับผู้แจ้งซ่อม)			
Machine Name - No. (ชื่อ-หมายเลข เครื่องจักร)	Request No. (เลขที่แจ้ง) : _____		
	Request Date (วันที่แจ้ง) : ____/____/____		
M/C Trouble Status (สภาพความเสียหาย)	Trouble Time (เวลาที่เกิดปัญหา) : ____:____:____ ¹		
	Request Time (เวลาที่แจ้งปัญหา) : ____:____:____ ²		
PR Maintenance Detail (สำหรับกรณีที่ถ่ายถอดแก้ไข เบื้องต้นแล้วไม่สามารถแก้ไขได้)	Detail : (รายละเอียดการซ่อมเนื่องจากทางท้ายกด)		Technician (ผู้รับแจ้ง)
	-		Requestor (ผู้แจ้ง)
		Employee ID : _____	Employee ID : _____
2. For Maintenance Engineer (สำหรับฝ่ายซ่อมบำรุง)			
In Charge Section (แผนกที่รับผิดชอบ)	☐ Primary & Extrude ☐ Building ☐ Inspection	Factory (โรงงาน) :	☐ Fac. 1 ☐ Fac. 2
	☐ Material ☐ Curing ☐ Calibration ☐ Utility	Group (ฝ่าย) :	☐ EE ☐ ME
Problem Lv. (ระดับปัญหา)	☐ A = Urgent (แก้ไขเร่งด่วน)	Shift (กะ) :	☐ Day ☐ Night
	☐ B = 2-3 Days (แก้ไขภายในระยะ 2-3 วัน) ☐ C = 1 Week (แก้ไขภายใน 1 สัปดาห์)	Problem Type (ประเภทของปัญหา)	☐ BM ☐ PM ☐ Other
Cause of Problem (สาเหตุของปัญหา)	☐ อุดตัน ☐ น้ำมันรั่ว ☐ เสื่อมสภาพ ☐ สึกหรอ ☐ สัมผัสไม่ดี ☐ วงจรไม่สมบูรณ์ ☐ ความแข็งแรงไม่เพียงพอ ☐ การสั่น ☐ การหลวม ☐ การหลุด ☐ การพับ ☐ ผู้ปฏิบัติงาน ☐ โอเวอร์โหลด ☐ การทำงานผิดพลาด ☐ การเลอะ ☐ การสัมผัส ☐ สายขาด ☐ การกระแทก ☐ การซ่อมบำรุง ☐ การเคลื่อนตำแหน่ง ☐ อื่นๆ		Production Start Time (เวลาที่เริ่มดำเนินการผลิต) ____:____:____ ⁵
	Detail : (รายละเอียดสาเหตุของปัญหา)		
Maintenance Method (วิธีการซ่อมบำรุง)	☐ เปลี่ยนชิ้นส่วน ☐ ซ่อมชิ้นส่วน ☐ ทำชิ้นส่วนใหม่ ☐ เสริมความแข็งแรง ☐ ปรับ ☐ ใส่น้ำมัน ☐ ขันให้แน่น ☐ ดึงสภาพเดิม ☐ แยกชิ้นส่วนซ่อม ☐ ทำความสะอาด ☐ ต่อสาย ☐ ปรับปรุง ☐ เชื่อม ☐ ตั้งค่าเริ่มต้น ☐ เปลี่ยนวงจร ☐ เดินสายชั่วคราว ☐ ตรวจสอบ ☐ อื่นๆ		
	Status (สถานการณ์)		
	☐ Complete (สมบูรณ์) ☐ Temporary (ชั่วคราว)		
	Detail : (รายละเอียดวิธีการซ่อมบำรุง)		
	Preventive Procedure or More Information : (ข้อมูลเพิ่มเติมหรือแนวทางป้องกันการเกิดซ้ำ)		
Maintenance Part List (อะไหล่ที่ใช้ซ่อม)		Amount (จำนวน)	Technician List name (ชื่อ - รหัส ผู้ร่วมซ่อม)
Code (รหัสอุปกรณ์)	Name-Model (ชื่อ-รุ่นอุปกรณ์)		Man Total (ผู้ร่วมรวม) 1 คน ⁶
			Requestor (ผู้แจ้ง-อื่นอื่น)
			Employee ID : _____
		Sr. Tech (หัวหน้างาน)	Technician (ผู้ซ่อม)
		Employee ID : _____	Employee ID : _____
3. Loss Time Summarize (สรุปผล เวลาที่สูญเสีย)			
Loss Time Before Maintenance	9 - 8 - 1 = _____ Min.	Total Loss Time	9 - 8 - 1 = _____ Min.
Loss Time Between Maintenance	8 - 4 - 3 = _____ Min.	Total Man-Hour	10 - 6 x 8 = _____ Min.
ความจำเป็นในการตรวจสอบคุณภาพ และความปลอดภัย เมื่อเดินเครื่องหลังจากการเปลี่ยนอะไหล่ หรืออุปกรณ์แล้ว ☐ มี ☐ ไม่มี (ทำเครื่องหมายตามหัวข้อด้านล่าง)			
1. ร้องขอไปยังหัวหน้าฝ่ายซ่อมบำรุงเพื่อติดตามผล ☐ เขียนร้อย 2. ร้องขอเพื่อทำการปิ้งสี Lot หลังจากทำการซ่อมเสร็จ ☐ เขียนร้อย 3. ร้องขอเพื่อทำการอื่นอันคุณภาพของงานช่วงแรก ☐ เขียนร้อย			
ถ้าในเอกสารบันทึกการซ่อมบำรุงมีเครื่องหมาย "มี" ให้ทำสำเนาแบบส่งเวียนไปยังแผนกที่เกี่ยวข้องดังนี้ ฝ่าย : ผลิต _____ ฝ่าย : เทคโนโลยี _____ Engineering -> Production -> Production Technology -> Engineering			

รูปที่ 19 ตัวอย่างใบแจ้งซ่อมและบันทึกการซ่อมบำรุงเครื่องจักร

3.2 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

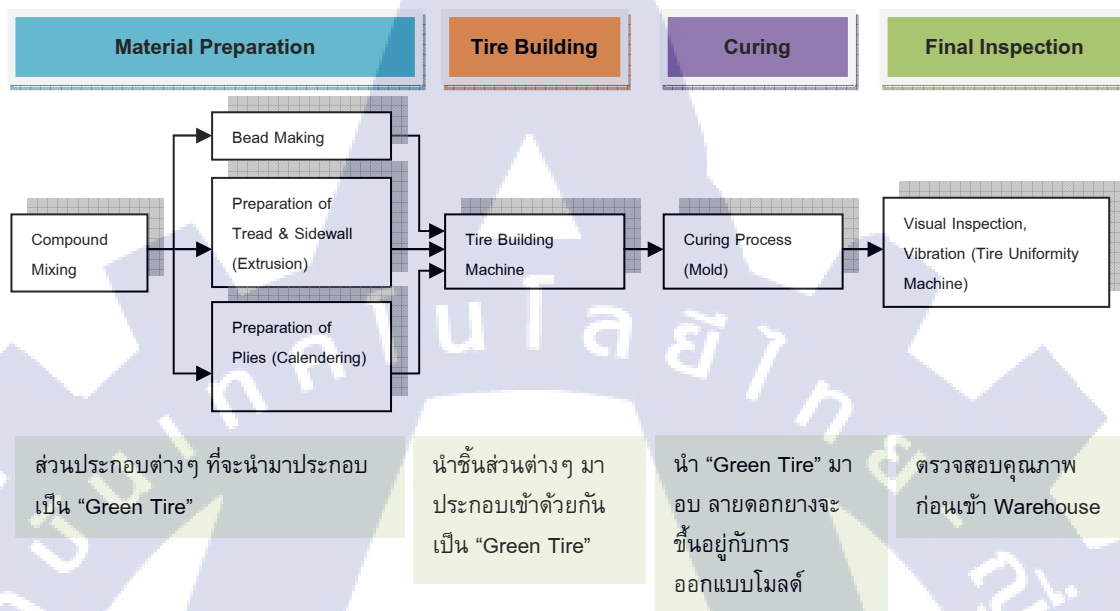
หัวหน้างานในแต่ละส่วนงาน จะเป็นผู้กำหนดแผนงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน โดยมีการจัดแผนปฏิบัติงานเป็นระยะๆ ในหนึ่งปี ซึ่งมีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับเครื่องจักรแต่ละชนิด ตามที่ผู้ผลิตเครื่องจักรนั้นกำหนด หรือตามความเหมาะสมที่ได้จากการเก็บข้อมูล Breakdown ในปีที่ผ่านมา เช่น แผนรายวัน รายสัปดาห์ รายเดือน และรายปี โดยจะกำหนดเป็น “Master Preventive Maintenance Check List” แจกแจงหัวข้อสำคัญๆ และช่วงระยะเวลาที่ต้องทำการบำรุงรักษา หลังจากนั้นจะนำรายละเอียดต่างๆ จาก Master List เขียนลงในแผนบำรุงรักษารายปี พร้อมทั้งกำหนดวันที่ที่จะดำเนินการ และกำหนดงบประมาณบำรุงรักษาในปีนั้นๆ ก็จะดำเนินการตามแผนรายปีที่กำหนดอย่างเคร่งครัด ดังรูปที่ 20



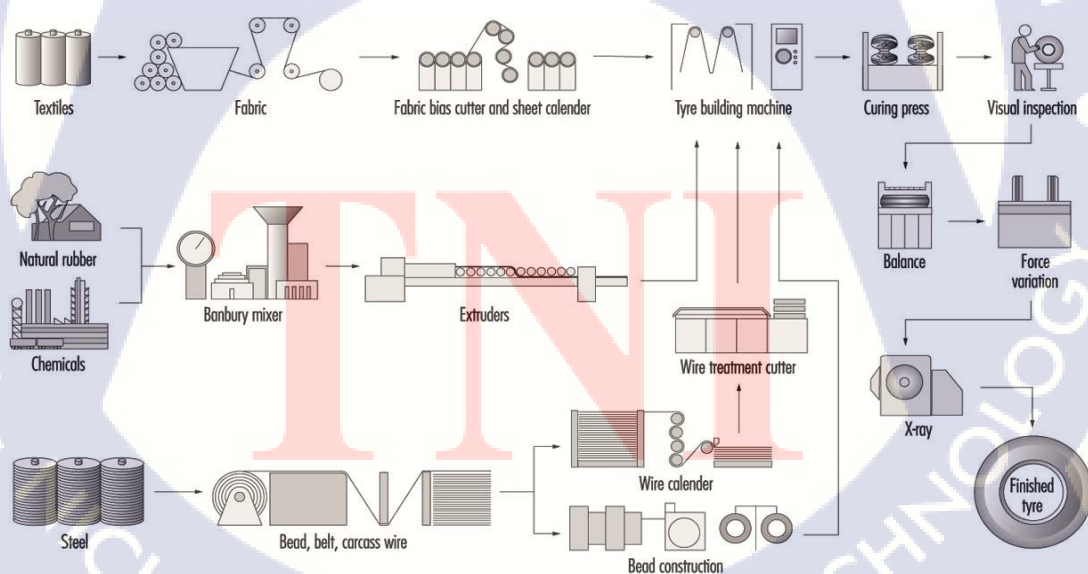
รูปที่ 20 ผังงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

4. กระบวนการผลิตยางรถยนต์

กระบวนการผลิตยางรถยนต์ มีขั้นตอนหลักดังรูปที่ 21 ภาพรวมกระบวนการผลิตยางรถยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 22



รูปที่ 21 ผังการไหลของกระบวนการหลักในการผลิตยางรถยนต์



รูปที่ 22 ภาพรวมของกระบวนการผลิตยางรถยนต์

การศึกษานี้ได้เน้นที่กระบวนการ Final Inspection ซึ่งเป็นกระบวนการวัดคุณภาพยางรถยนต์ก่อนเข้าเก็บใน Warehouse เครื่องจักรที่จะทำการศึกษา คือ Tire Uniformity Machine ทำหน้าที่ตรวจวัดความกลมของยางรถยนต์ ว่ามีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ โดยจะเป็นการทดสอบการวิ่งยางรถยนต์ลงบนพื้นถนนจำลองที่เรียกว่าดรัม (Drum) โดยที่ปลายทั้งสองด้านของดรัม จะติด Load Cell เพื่อแปลงสภาพแรงที่กระทำต่อยางรถยนต์ออกมาเป็นค่าแรงต่าง ๆ ซึ่งทำการประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์ สำหรับยางที่ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดจะทำเครื่องหมายไว้บนยาง และจะถูกคัดแยกออกโดยอัตโนมัติ

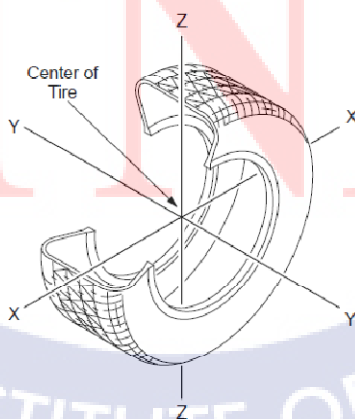
จากข้อมูลในปี พ.ศ. 2555 โรงงานกรณีศึกษามีเครื่อง Tire Uniformity Machine จำนวน 16 เครื่อง ลักษณะของเครื่อง Tire Uniformity Machine ดังรูปที่ 23



รูปที่ 23 เครื่อง Tire Uniformity Machine

สำหรับค่าที่วัดนั้น จะวัดในแนวแกน ดังรูปที่ 24 ซึ่งประกอบด้วย

1. F_z = Radial Force แรงที่กระทำในแนวตั้งฉากกับถนน
2. F_y = Lateral Force แรงที่กระทำด้านข้างของยาง
3. F_x = Tangential Force แรงนี้จะขนานกับถนน ในทิศทางที่เคลื่อนที่ไป



รูปที่ 24 ทิศทางแรงในการวัดของเครื่อง Tire Uniformity Machine

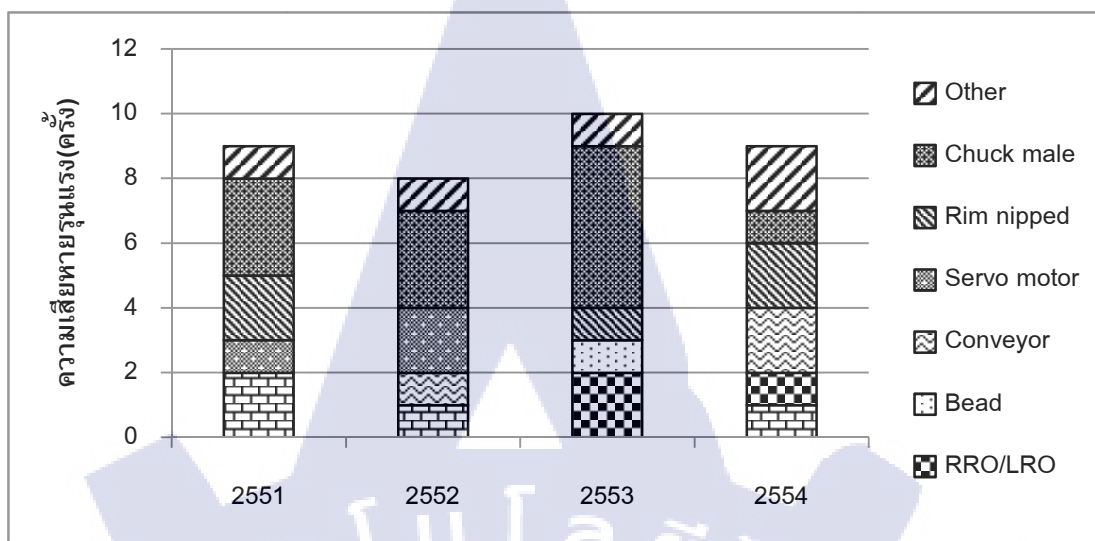
ศึกษาที่มาของปัญหา และการเลือกหัวข้อในการปรับปรุง

จากความต้องการขยายรถยนต์ที่เพิ่มขึ้น ทำให้บริษัทกรณีศึกษา ต้องเพิ่มยอดการผลิตที่สูงขึ้น จากเดิมปี พ.ศ. 2554 ที่ผลิตประมาณ 23,000 คันต่อวัน ในปี พ.ศ. 2555 เพิ่มขึ้น 5,000 คันต่อวัน เป็น 28,000 คันต่อวัน จากยอดที่เพิ่มขึ้นนี้ ทำให้ต้องมุ่งเน้นที่การผลิตเป็นสำคัญ ทั้งคนและเครื่องจักรต้องมีความพร้อมในการทำงานอยู่เสมอ

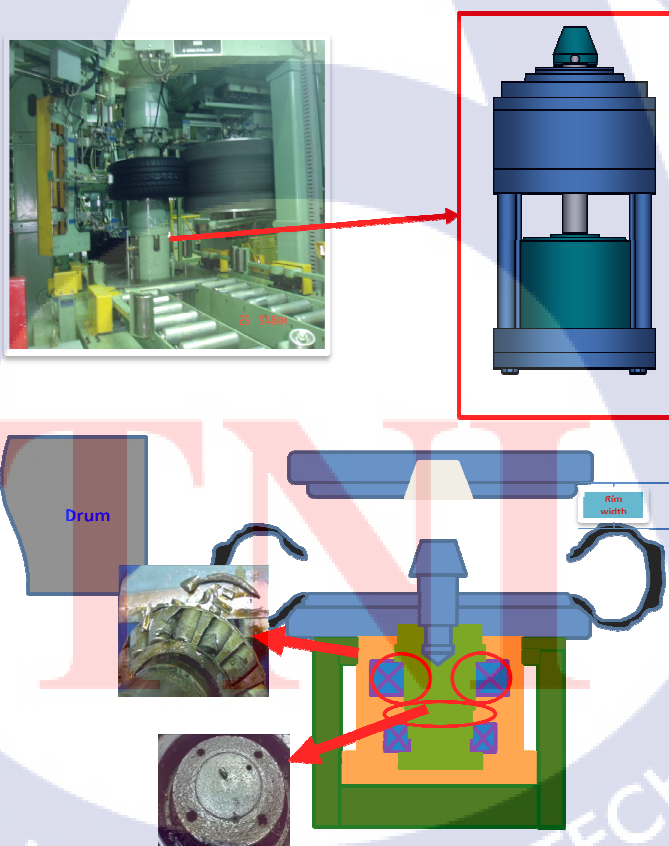
ปัญหาการหยุดจากการชำรุดเสียหายของเครื่องจักรที่เกิดขึ้น ส่งผลกระทบต่อยอดการผลิตในแต่ละวันโดยตรง ทำให้ไม่สามารถผลิตงานเพื่อตอบสนองความต้องการลูกค้าได้ทันเวลา จะกระทบต่อภาพลักษณ์ของบริษัทเป็นอย่างมาก ทางบริษัทกรณีศึกษาได้เห็นความสำคัญของปัญหาดังกล่าว จึงได้มีนโยบายในการสร้างความน่าเชื่อถือของเครื่องจักรให้มากขึ้น สำหรับเครื่องจักรในโรงงานกรณีศึกษามีหลากหลายชนิดขึ้นอยู่กับการผลิตในแต่ละกระบวนการ เครื่องจักรแต่ละเครื่องมีความสำคัญไม่เท่ากัน มีการจัดลำดับความสำคัญของเครื่องจักรไว้ 3 กลุ่ม โดยแบ่งออกเป็นความสำคัญมาก กลุ่ม A ความสำคัญปานกลาง กลุ่ม B และความสำคัญน้อย กลุ่ม C จากข้อมูลเครื่องจักรของบริษัทกรณีศึกษา พบว่า เครื่อง Tire Uniformity Machine ในหน่วยงาน Final Inspection เป็นเครื่องจักรที่อยู่ในกลุ่ม A สำคัญมากมีการใช้งานอย่างต่อเนื่อง เกี่ยวข้องกับคุณภาพของสินค้าโดยตรง มีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ที่จะส่งมอบให้กับลูกค้า ส่งผลกระทบต่อบริษัทได้ถ้าเกิดความผิดพลาดในการส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้า บริษัทกรณีศึกษาจึงได้เลือกเครื่อง Tire Uniformity Machine นี้ เป็นเครื่องต้นแบบในการดำเนินกิจกรรม

สำหรับการชำรุดเสียหายของเครื่องจักรที่เกิดขึ้นในโรงงานกรณีศึกษา แบ่งเป็นสองกรณี คือ การชำรุดเสียหายทั่วไป จะเริ่มบันทึกเป็นความเสียหายเมื่อมีการหยุดซ่อมบำรุงตั้งแต่สิบนาทิจนขึ้นไปแต่ไม่ถึงสองชั่วโมง และการชำรุดเสียหายรุนแรง จะเริ่มบันทึกเป็นความเสียหายเมื่อเครื่องจักรนั้นหยุดซ่อมบำรุงตั้งแต่สองชั่วโมงขึ้นไป ซึ่งการชำรุดเสียหายรุนแรงนี้จะส่งผลกระทบต่อยอดการผลิตเป็นอย่างมาก ทางบริษัทกรณีศึกษาได้ให้ความสำคัญและตั้งเป้าหมายในการลดจำนวนเครื่องจักรที่เกิดการชำรุดเสียหายรุนแรงให้เป็นศูนย์

จากกราฟรูปที่ 25 เป็นการชำรุดเสียหายรุนแรงของเครื่อง Tire Uniformity Machine ระหว่างปี พ.ศ. 2551 ถึง พ.ศ. 2554 พบว่า เครื่อง Tire Uniformity Machine มีความเสียหายในส่วนลูกปืนแกนหมุน (Spindle Bearing หรือ Chuck Male) เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 26 สำหรับการชำรุดเสียหายที่เกิดขึ้นสามารถนำมาสรุปเป็นมูลค่าความเสียหายได้ดัง ตารางที่ 6 มูลค่าการชำรุดเสียหายที่เกิดขึ้น ระหว่างปี พ.ศ. 2551 ถึง ปี พ.ศ. 2554 เป็นเงินจำนวน 4,375,000 บาท 3,250,000 บาท 4,458,333 บาท และ 791,667 บาท ตามลำดับ



รูปที่ 25 การชำรุดเสียหายรุนแรงของเครื่อง Tire Uniformity Machine ระหว่างปี พ.ศ. 2551 ถึง พ.ศ. 2554



รูปที่ 26 แกนหมุนเครื่อง Tire Uniformity Machine ที่ชำรุดเสียหาย

ตารางที่ 6 ข้อมูลความเสียหายของลูกปืนแกนหมุนเครื่อง Tire Uniformity Machine ระหว่างปี พ.ศ. 2551 ถึง ปี พ.ศ. 2554

ปี พ.ศ.	2551	2552	2553	2554
จำนวนครั้งที่เสีย	3	3	5	1
มูลค่าความเสียหาย	4,375,000	3,250,000	4,458,333	791,667

จากการวิเคราะห์ข้อมูลในภาคผนวก ก. พบว่า ลูกปืนแกนหมุนของเครื่อง Tire Uniformity Machine ที่เกิดการชำรุดเสียหายส่วนใหญ่เกิดจากเครื่องจักรที่มีอายุใช้งานเกิน 2 ปี และเป็นเครื่องจักรชนิดเปลี่ยนริม (RIM) อัตโนมัติ ลูกปืนนี้ไม่ได้กำหนดระยะเวลาในการเปลี่ยนไว้ เนื่องจากเป็นลูกปืนชนิดพิเศษ มีราคาแพง ซึ่งหนึ่งชุดมีราคาประมาณหนึ่งล้านบาท ถ้าเปลี่ยนตามระยะเวลาที่กำหนด อะไหล่ที่เปลี่ยนออกไปยังไม่เสียสามารถใช้ต่อได้อีกระยะหนึ่ง ถ้าเปลี่ยนเร็วเกินไปเป็นการใช้อะไหล่ไม่คุ้มค่า ทำให้ต้องใช้เงินเป็นจำนวนมากในการจัดซื้ออะไหล่ เมื่อพิจารณาแล้วบริษัทกรณีศึกษาจึงได้กำหนดวิธีการบำรุงรักษาลูกปืนแกนหมุนนี้เป็นแบบซ่อมเมื่อขัดข้องหรือเสียเท่านั้น ซึ่งเป็นการบำรุงโดยไม่ไดวางแผน (Unplanned Maintenance) การบำรุงรักษาแบบนี้ผลที่ตามมาคือ ไม่สามารถระบุได้ว่าจะต้องเสียเมื่อใด เมื่อเกิดการชำรุดเสียหายขึ้น ทำให้เกิดการสูญเสียอันเนื่องมาจากหยุดเครื่องจักรกระทันหัน การหยุดซ่อมแต่ละครั้งใช้เวลานาน บางครั้งอาจต้องรออะไหล่ เนื่องจากไม่ได้จัดเตรียมอะไหล่ไว้เพียงพอ หรือถ้าไม่ต้องการให้เกิดการรออะไหล่ จำเป็นต้องสำรองอะไหล่เป็นจำนวนมาก บางครั้งอาจมากเกินไปจนความจำเป็น ในการสำรองอะไหล่แต่ละครั้งต้องใช้เงินสูงเนื่องจากราคาอะไหล่ที่แพง เกิดความสูญเสียทางการผลิต อาจส่งผลกระทบต่อลูกค้าเมื่อไม่สามารถผลิตงานส่งมอบได้ทันกำหนด ระหว่างการซ่อมบำรุงจะเกิดการว่างงานของพนักงานฝ่ายผลิต รวมทั้งงานที่ดำเนินการอยู่ของฝ่ายซ่อมบำรุงต้องเลื่อนออกไปเพราะต้องระดมคนมาช่วยงาน จะเห็นว่ามูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นคิดเป็นเงินจำนวนมาก ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

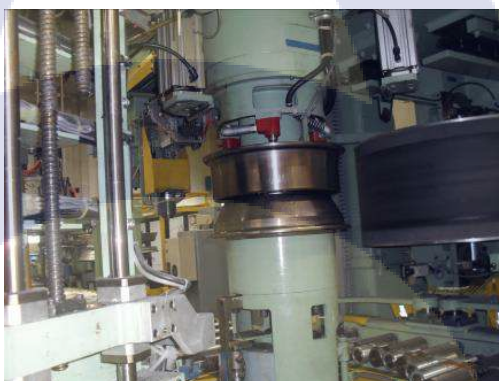
เพื่อลดความสูญเสียดังกล่าวเกิดการใช้น้ำมันลูกปืนอย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่า จึงได้เกิดแนวความคิดในการนำระบบบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์มาใช้ เพื่อติดตามแนวโน้มของลูกปืนว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้นเมื่อใด สามารถวางแผนการหยุดเครื่องจักรล่วงหน้าได้ เป็นการลดผลกระทบจากการหยุดซ่อมบำรุงเครื่องจักร สำหรับการติดตามสถานะเครื่องจักรนั้นทำได้หลายวิธี เช่น การวัดความร้อน การวัดสัญญาณความสั่นสะเทือน เป็นต้น บริษัทกรณีศึกษานี้เลือกการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ ด้วยการวัดสัญญาณความสั่นสะเทือน เพื่อติดตามดูแนวโน้มอาการเสียของลูกปืนแกนหมุน เพราะลูกปืนเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นจะแสดงความผิดปกติออกมาในรูปของความสั่นสะเทือน

ออกแบบขั้นตอนบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

จากกระบวนการ Final Inspection ที่ใช้เครื่อง Tire Uniformity Machine ในการตรวจวัดคุณภาพยางรถยนต์นั้น พบว่า ปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นผลกระทบมาจากการเลือกการบำรุงรักษาที่ไม่เหมาะสม ซึ่งเดิมจะเป็นการบำรุงรักษาเชิงป้องกันและซ่อมเมื่อเสียหรือขัดข้องเท่านั้น ดังนั้นทางผู้ศึกษาจึงได้เลือกการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์การสั่นสะเทือนเพิ่มเติมจากเดิม โดยตรวจวัดที่เครื่องจักรเพื่อติดตามสภาพของเครื่องจักรว่าสามารถใช้งานต่อไปได้หรือไม่ เพื่อเป็นการป้องกันก่อนที่จะเกิดการชำรุดเสียหายขึ้น

1. การกำหนดตำแหน่งในการตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือนของเครื่อง Tire Uniformity Machine

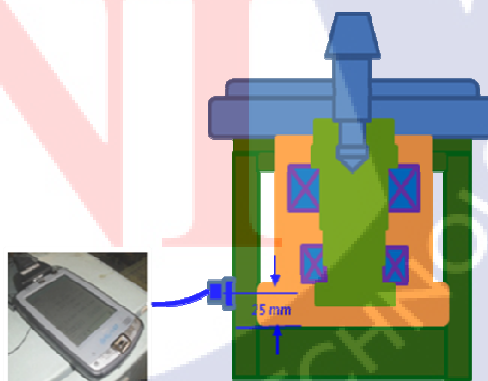
สำหรับตำแหน่งการวัดเป้าหมายต้องการวัดลูกปืนที่ติดตั้งอยู่ และต้องการวัดในแนวตั้ง โดยทำการติดตั้งหัววัดความสั่นสะเทือนในตำแหน่งที่สูงจากเศษของลูกปืนขึ้นมา 25 มิลลิเมตร เพียงตำแหน่งเดียว (ตำแหน่งในแนวระนาบ H) ดังรูปที่ 27 รูป ค. ส่วนตำแหน่งและแนวนอนอื่นๆ ไม่สามารถวัดได้ เนื่องจากไม่สามารถนำหัววัดไปติดตั้งได้



รูป ก.



รูป ข.



รูป ค.

รูปที่ 27 ตำแหน่งในการวัดค่าความสั่นสะเทือนของเครื่อง Tire Uniformity Machine

2. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

สำหรับการตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือนของโรงงานกรณีศึกษา ในช่วงแรกของการทดลองได้กำหนดให้ทำการตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือนหนึ่งครั้งต่อสัปดาห์ เพื่อติดตามแนวโน้มความเสียหายที่เกิดขึ้นและจะกำหนดช่วงวัดที่เหมาะสมในภายหลัง สำหรับเครื่องมือวัดจะใช้ยี่ห้อ SKF MicroVibe P รุ่น MCVL 3850-ML ในการวัด จะต้องได้รับการสอบเทียบตามระยะเวลาที่กำหนด เพื่อยืนยันความถูกต้องของเครื่องมือวัดก่อนนำไปใช้งาน บันทึกค่าที่ได้จากการวัดลงในแบบฟอร์มการวัดค่าความสั่นสะเทือน ดังแสดงในรูปที่ 28 แล้วนำไปพล็อตกราฟแนวโน้ม เพื่อง่ายแก่การติดตาม สำหรับข้อมูลที่ทำกรทดลองเริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่ 9 มกราคม พ.ศ. 2555 ถึง 6 สิงหาคม พ.ศ. 2555 จำนวนเครื่องที่ทดลอง 14 เครื่อง (หมายเลข 1-หมายเลข 14) ดังแสดงในภาคผนวก ข. ส่วนเครื่องจักรที่เหลือไม่ได้ทำการตรวจวัด เนื่องจากเป็นเครื่องจักรใหม่ยังไม่มีการใช้งาน จะได้มีการวางแผนและกำหนดการตรวจวัดต่อไป

จากข้อมูลการวัด สามารถนำมาพล็อตกราฟแนวโน้มเพื่อติดตามอาการผิดปกติของลูกปืนแกนหมุนเครื่อง Tire Uniformity Machine ได้ดังรูปที่ 29 และ 30 จากกราฟแนวโน้มเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน ISO 10816 พบว่า เครื่องจักรส่วนใหญ่อยู่ในโซนสีเขียวเป็นสภาวะทำงานปกติ แต่เครื่องหมายเลข 8 มีความผิดปกติเกิดขึ้น ในสัปดาห์ที่ 1 ของเดือนพฤษภาคม เส้นกราฟอยู่ในโซนสีชมพู เป็นโซนที่ต้องเข้าไปตรวจเช็คและแก้ไข หลังจากเข้าไปตรวจสอบพบว่า น้ำมันมีความสกปรก พบสิ่งปนเปื้อนอยู่ในน้ำมัน จึงได้เปลี่ยนน้ำมันลูกปืนใหม่ ทำให้เครื่องจักรกลับเข้าสู่สภาวะทำงานปกติอีกครั้ง และในสัปดาห์ที่ 1 ของเดือนสิงหาคม มีแนวโน้มเข้าใกล้โซนสีแดง ตรวจพบลูกปืนเกิดการหลวมคลอน หลังจากขัดอัดให้แน่น เครื่องจักรจึงเข้าสู่สภาวะทำงานตามปกติ

จากข้อมูลความเสียหายที่พบทั้งสองครั้ง ถ้าไม่ได้ดำเนินการแก้ไขใดๆ ก็อาจกลายเป็นปัญหาใหญ่ขึ้นได้ ซึ่งปัญหาใหญ่ที่เกิดขึ้นแต่ละครั้ง ใช้เวลาในการแก้ไขไม่น้อยกว่า 9.5 ชั่วโมง ทำให้ประโยชน์ที่รับจากการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์นี้คิดเป็นมูลค่าเงินที่ประหยัดได้ ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 มูลค่าเงินที่ประหยัดได้จากการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

มูลค่าเงินที่ประหยัดได้จากการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์	
จำนวนชั่วโมงทำงานต่อวัน	24 ชั่วโมง
จำนวนชั่วโมงที่ซากรุดเสียหายทั้งสองครั้ง	19 ชั่วโมง
ยางรถยนต์ที่ผลิตต่อชั่วโมง	2,000 เส้น
ราคายางเฉลี่ยต่อเส้น	1,000 บาท
มูลค่าเงินที่ประหยัดได้จากการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์	1,583,333 บาท

VIBRATION TEST REPORT

PROCESS
TESTER

FINAL INSPECTION

MACHINE
DATE

TYRE UNIFORMITY MACHINE (TUM)

CONDITION TEST

SOFTWARE

MicroVibe P

TEST WITH

No load

MACHINE SPEED

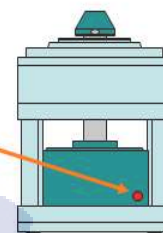
60 rpm

CHUCK MALE

0"



Head sensor



RESULT OF TEST

Plant Name	Machine Name	Point Name	Direction	Type
Final Inspection	TUM	Chuck male	H	V

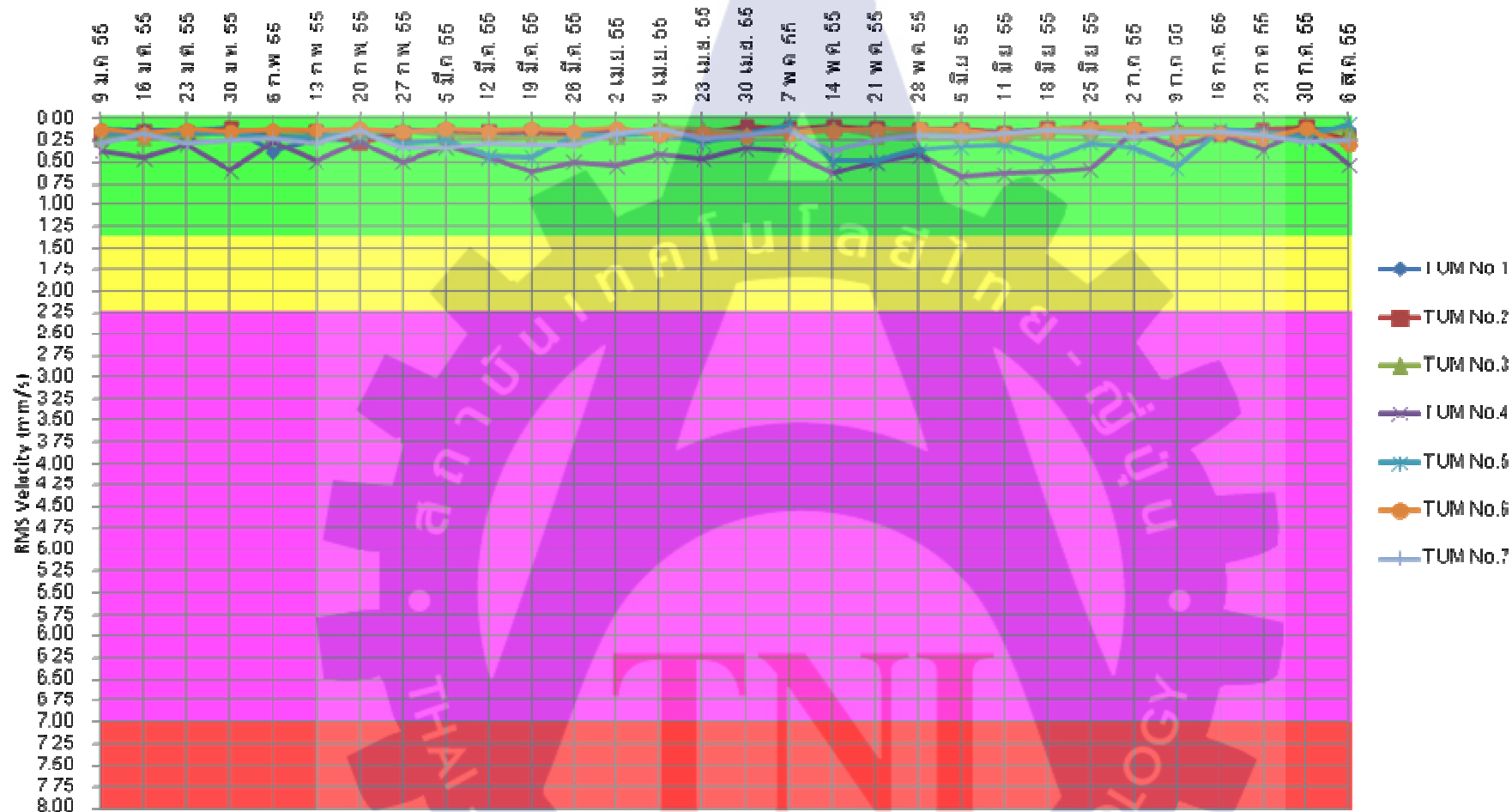
M/C	Last Date test	RMS*	PEAK*	C.F.	Judge**
TUM No.1					Good
TUM No.2					Good
TUM No.3					Good
TUM No.4					Good
TUM No.5					Good
TUM No.6					Good
TUM No.7					Good
TUM No.8					Good
TUM No.9					Good
TUM No.10					Good
TUM No.11					Good
TUM No.12					Good
TUM No.13					Good
TUM No.14					Good
TUM No.15					Good
TUM No.16					Good

* unit : mm/s

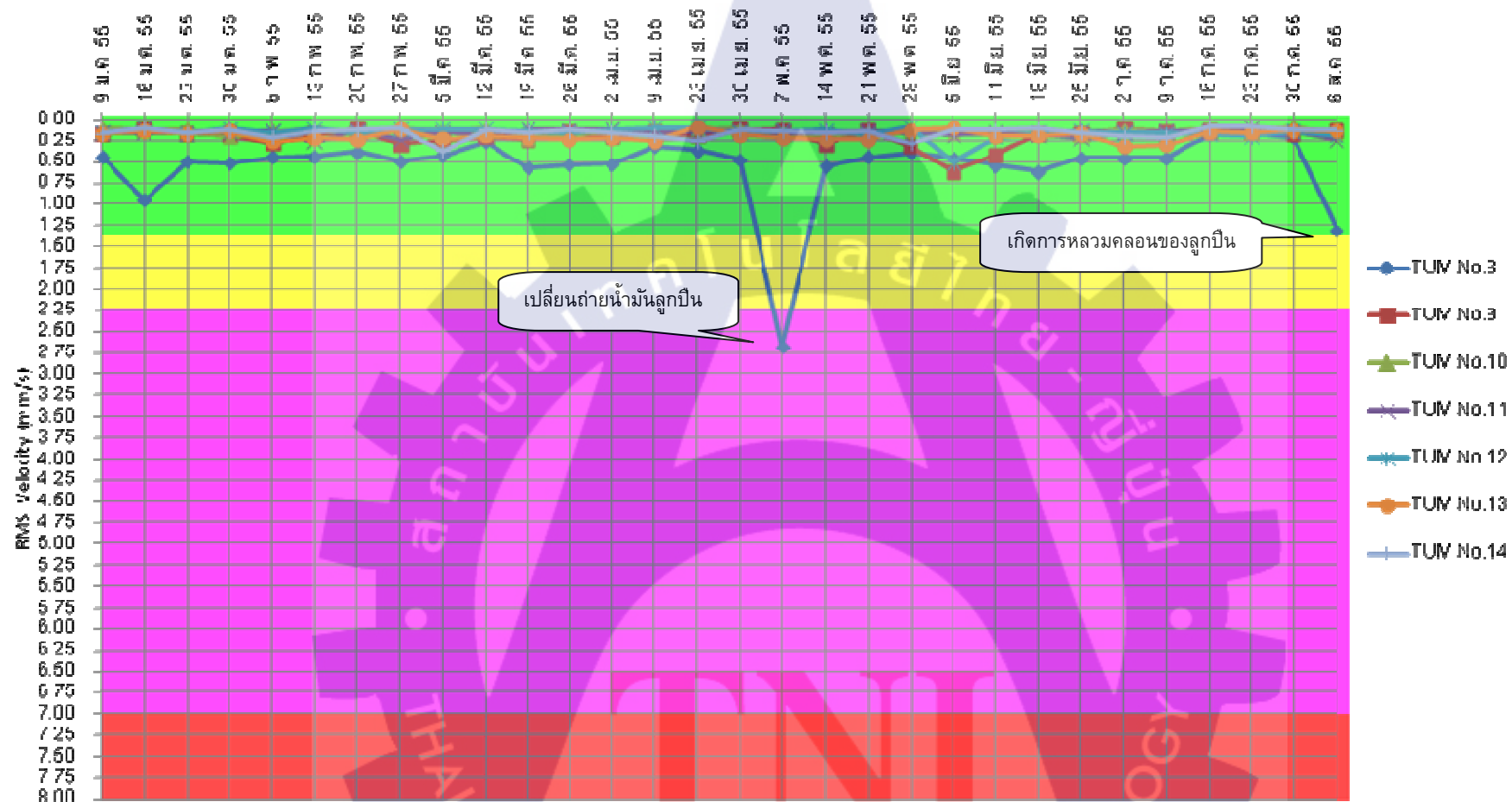
Range	SRT Judge	Color	Correction Action
0 ~ 1.51	Good	Green	
1.52 ~ 2.00	Satisfactory	Yellow	- Hydraulic oil change, Grease up, Bolt-Nut check, Daily check
2.01 ~ 6.25	Alert	Pink	- Prepare part and schedule for replace
6.26 ~ XXX	Damage	Red	

Tester by:	Checked by:	Approved by:
Date	Date	Date

รูปที่ 28 ตัวอย่างแบบฟอร์มการวัดค่าความสั่นสะเทือนโรงงานการศึกษา



รูปที่ 29 แนวโน้มการสั่นสะเทือนของเครื่อง Tire Uniformity Machine หมายเลข 1-7 ระหว่างวันที่ 9 มกราคม พ.ศ. 2555 ถึงวันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ. 2555



รูปที่ 30 แนวโน้มการสั่นสะเทือนของเครื่อง Tire Uniformity Machine หมายเลข 8-14 ระหว่างวันที่ 9 มกราคม พ.ศ. 2555 ถึงวันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ. 2555

หลังจากที่นำระบบการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์มาใช้ในหน่วยงาน Final Inspection สามารถตรวจพบความเสียหายและดำเนินการแก้ไขก่อนที่จะเกิดการชำรุดเสียหายขึ้น จึงทำให้การชำรุดเสียหายที่เกิดจากลูกปืนแกนหมุนของเครื่อง Tire Uniformity Machine ในปี พ.ศ. 2555 และ พ.ศ. 2556 มีค่าเป็นศูนย์ ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 จำนวนครั้งของลูกปืนแกนหมุนของเครื่อง Tire Uniformity Machine ที่ชำรุด

ปี พ.ศ.	2551	2552	2553	2554	2555	2556
จำนวนครั้งที่เสียกระแทก	3	3	5	1	0	0

จากการทดลองข้างต้น ผลที่เกิดขึ้นอาจไม่ชัดเจนนัก เนื่องจากลูกปืนนี้มีอายุการใช้งานนานมากกว่า 2 ปี ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ที่ทำการทดลอง ไม่สามารถเก็บข้อมูลความเสียหายของลูกปืนนี้ได้ครบรอบความเสียหายที่จะเกิดขึ้น จะต้องติดตามและเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการทดลองนี้จึงไม่ได้นำเสนอข้อมูล MTBF และ MTTR ซึ่งจะต้องมีการติดตามผลในภายหลัง

สำหรับกราฟข้อมูลสัญญาณความสั่นสะเทือน จะแสดงให้เห็นแนวโน้มความผิดปกติของเครื่องจักรที่เกิดขึ้นว่าเกิดความผิดปกติเมื่อใด เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นจะต้องเข้าไปติดตามอย่างใกล้ชิดและดำเนินการแก้ไขก่อนที่จะลุกลามเป็นปัญหาใหญ่ รวมทั้งสามารถคาดการณ์ความเสียหายที่จะเกิดขึ้นในอนาคต จะช่วยลดการหยุดเสียแบบกะทันหันลงได้ แต่ไม่ได้ช่วยให้ความผิดปกตินั้นหายไป ถ้าจะให้ความผิดปกตินั้นลดลงหรือหายไป จะต้องเข้าไปวิเคราะห์ถึงสาเหตุที่แท้จริงของอาการเสียนั้น แล้วทำการแก้ไขที่ต้นเหตุของปัญหา ตัวอย่างเช่น สาเหตุที่ลูกปืนแตกเกิดจากอะไร อาจเกิดจากการกระแทกกันของเครื่องจักร หรือการออกแบบที่ไม่ดี ลูกปืนเล็กเกินไป หรือขาดการบำรุงรักษา เป็นต้น เมื่อแก้ไขได้ตรงจุดแล้วความผิดปกติเหล่านั้นจะหายไป

สำหรับบริษัทกรณีศึกษาเอง ในช่วงแรกที่เกิดปัญหาของลูกปืนแกนหมุนขึ้น ไม่ได้เข้าไปวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหานั้น เปลี่ยนลูกปืนเพียงอย่างเดียว ทำให้เกิดปัญหานั้นซ้ำขึ้นมาอีก แต่ในช่วงปี พ.ศ. 2553 ที่เกิดปัญหานั้นหลายครั้ง จึงได้เข้าไปหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา ทำให้พบว่าลูกปืนแกนหมุนมีขนาดเล็กไม่เหมาะสม เนื่องจากเครื่องจักรที่ใช้นั้นเป็นแบบอัตโนมัติ มีการเปลี่ยนรیمบ่อย ช่วงที่เปลี่ยนรیمมีการกระแทกกันของเครื่องจักร ลูกปืนที่ใช้มีขนาดเล็กเกินไปไม่สามารถรับแรงนั้นได้ จึงได้ออกแบบลูกปืนแกนหมุนใหม่ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เป็นการนำระบบการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข (Corrective Maintenance) มาใช้นั่นเอง

บทที่ 4

ผลการศึกษา

สรุปผลการศึกษา

ระบบบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ โดยใช้เครื่องวัดสัญญาณความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร เป็นวิธีการหนึ่งในการเพิ่มความน่าเชื่อถือให้แก่การบำรุงรักษาเครื่องจักร สามารถตรวจติดตามแนวโน้มความผิดปกติของเครื่องจักร ดำเนินการแก้ไขก่อนที่จะเกิดเครื่องจักรชำรุดเสียหายแบบกะทันหันหรือไม่มีการวางแผนไว้ล่วงหน้าได้ สำหรับโรงงานกรณีศึกษาได้เริ่มนำระบบการบำรุงรักษานี้มาทดลองใช้ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555 พบว่า สามารถตรวจวัดสัญญาณความผิดปกติของเครื่องจักรที่เกิดขึ้นได้ ทำให้รับมือกับปัญหาที่เกิดขึ้นได้เร็วขึ้น เช่น เข้าไปเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่น เมื่อน้ำมันมีการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรก หรือตั้งศูนย์เครื่องจักรใหม่ เมื่อเครื่องจักรนั้นหลวมคลอน เป็นต้น เพื่อให้เครื่องจักรที่ผิดปกติเพียงเล็กน้อยเหล่านั้นกลับเข้าสู่การทำงานที่ปกติต่อไป แต่ถ้าไม่ทราบถึงแนวโน้มดังกล่าว รับมือได้ล่าช้าจะทำให้ลูกกลามกลายเป็นปัญหาที่รุนแรงขึ้นได้

ผลของการดำเนินกิจกรรม ระหว่างปี พ.ศ. 2555 ถึง ปี พ.ศ. 2556 มีผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจ ไม่พบปัญหาการหยุดเสียกระทันหันของเครื่อง Tire Uniformity Machine ขึ้น ทำให้สามารถลดความสูญเสียจากการชำรุดเสียกระทันหันให้เป็นศูนย์ได้ตามเป้าหมายที่กำหนด คิดเป็นมูลค่าเงินที่ประหยัดได้ จากการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์นี้ ประมาณ 1.58 ล้านบาท

ข้อเสนอแนะ และความคิดเห็น

การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ด้วยการวัดสัญญาณความสั่นสะเทือนนี้ เป็นหนึ่งในหลายๆ วิธีที่นำมาใช้ แต่การจะให้ครอบคลุมทุกๆ ส่วนของเครื่องจักรเป็นไปได้ยาก จะต้องหาวิธีการอื่นที่สอดคล้องและเหมาะสม เช่น การวิเคราะห์น้ำมันใช้แล้ว การวัดความร้อน เป็นต้น มาใช้ร่วมกันเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับนโยบายผู้บริหาร งบประมาณและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเพราะเครื่องมือวัดต่างๆ มีราคาสูง ใช้อย่างมีประสิทธิภาพด้าน ต้องอบรมให้ความรู้เฉพาะด้านแก่บุคลากรในฝ่ายซ่อมบำรุง สำหรับการลงทุนด้านเครื่องมือและเครื่องวัดที่มีราคาสูง อาจไม่มีความจำเป็นต้องจัดซื้อทั้งหมด ขึ้นอยู่กับการใช้งานนั้นๆ มีความคุ้มค่ามากน้อยเพียงใด ตัวไหนที่เห็นว่าไม่คุ้มค่าแก่การลงทุน ให้ใช้วิธีว่าจ้างผู้เชี่ยวชาญภายนอกเข้ามาดำเนินการแทนจะประหยัดค่าใช้จ่ายลงได้ สำหรับโรงงานกรณีศึกษา นี้ จะต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่องและจริงจัง รวมถึงต้องขยายผลไปใช้กับเครื่องจักรอื่นที่มีลักษณะการทำงานคล้ายคลึงกัน เพื่อให้การดำเนินกิจกรรมนี้เกิดประโยชน์สูงสุด

ประโยชน์ที่ได้จากการทำสารนิพนธ์

เพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับการนำระบบการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ มาประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม สามารถลดจำนวนการบำรุงรักษาที่ไม่ได้วางแผน ที่ส่งผลกระทบต่อความพร้อมในการการผลิตได้ เป็นแนวทางในการลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาได้ สามารถช่วยในการปรับปรุงแผนงานบำรุงรักษา เพื่อช่วยในการลดข้อผิดพลาดในการซ่อมบำรุงสามารถทำได้ ตรงกับจุดที่เกิดการบกพร่องหรือชำรุดเสียหาย ทั้งนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรอื่นๆ ได้ด้วย



บรรณานุกรม

TNI

บรรณานุกรม

- โกศล ดีศีลธรรม. (2547). การจัดการบำรุงรักษาสำหรับงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : เอ็มแอนด์อี.
- ชาญยุทธ ชัมสกุล. (2548). การออกแบบระบบซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน กรณีศึกษา บริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน). วิทยานิพนธ์ ค.อ.ม. (เทคโนโลยีอุตสาหกรรม). เพชรบุรี : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี.
- ต่อพงษ์ พึ่งจิตร. (2553). การปรับปรุงค่าอัตราการเดินเครื่องจักรของกระบวนการผลิต ผงคาร์บอนแบล็ค โดยลดความสูญเสียหลัก ตามแนวทางการบำรุงรักษาตามสภาพ. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (การพัฒนางานอุตสาหกรรม). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ธาราริน อร่ามเจริญ. (2543). การวัดสมรรถนะระบบการจัดการซ่อมบำรุงรักษา. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหกรรม). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เชียรไชย จิตต์แจ้ง. (2541). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการบริหาร. นนทบุรี : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมราชา.
- นฤทธิ์ เร้ารุ่งอรุณ. (2551). การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมแผงวงจรรวม โดยใช้การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหกรรม). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บวร วัชรเศโยธิน. (2555). การประยุกต์การบำรุงรักษาโดยใช้สภาพเป็นเกณฑ์ : กรณีศึกษาระบบปรับอากาศในโรงแรม. สารนิพนธ์ บธ.ม. (การจัดการอุตสาหกรรม). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น.
- ประดิษฐ์ หมูเมืองสอง ; และ สุขญาณ หรรษสุข. (2550). การวิเคราะห์การสันสะเทือน. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- พิชิต สอนดงบัง. (2545). การบำรุงรักษาเชิงป้องกันของระบบลำเลียงในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมระบบการผลิต). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- พีรเชษฐ์ ศรีชัย. (2546). การพัฒนาเครื่องตรวจการสันสะเทือนของเครื่องจักร. วิทยานิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- พูลพร แสงบางปลา. (2545). การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยการบำรุงรักษา TPM. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วินัย เวชวิทยาลัง. (2552). เทคนิคการวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนเพื่องาน

บำรุงรักษา. กรุงเทพฯ : เอ็มแอนด์อี.

เชกสรร สิงห์ธนู. (2550). การบำรุงรักษาเชิงแผนงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของ
เครื่องจักร กรณีศึกษา สายการบรรจุน้ำยาทำความสะอาดสุขภัณฑ์.

วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมการผลิต). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สุพร อัครวินนิมิตร ; และ ชีรพร พัดภู. (2550). วิศวกรรมการบำรุงรักษา. พิมพ์ครั้งที่ 2.

กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุพล ราษฎร์นุ้ย. (2545). วิศวกรรมการบำรุงรักษา. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ. (2552). การตรวจสอบความสั่นสะเทือนเครื่องจักร. กรุงเทพฯ :
ซีเอ็ดยูเคชั่น.

อุดมจิตต์ นิวาสะบุตร. (2538). การตรวจสอบสภาพเครื่องจักรจากการสั่นสะเทือน. กรุงเทพฯ :
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

Bengtsson, Marcus ; and Jackson, Mats. (2004). **Important Aspects to Take Into
Consideration When Deciding to Implement Condition Based
Maintenance.** Eskilstuna : Mälardalen University.

Bengtsson, Marcus. (2004). **Condition Based Maintenance System Technology
Where is Development Heading?.** Eskilstuna : Mälardalen University.

Bengtsson, Marcus. ; et al. (2004). **Design of Condition Based Maintenance System
A Case Study Using Sound Analysis and Case-Based Reasoning.**
Eskilstuna : Mälardalen University.

ภาคผนวก

TNI

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลการชำรุดเสียหายของเครื่อง Tire Uniformity Machine

TNI

ภาคผนวก ข.

ผลการวัดสัญญาณความสั่นสะเทือนของเครื่อง Tire Uniformity Machine

TNI

ตารางที่ 10 ค่าความสั่นสะเทือนของเครื่อง Tire Uniformity Machine หมายเลข 1-7 ระหว่างวันที่ 9 มกราคม พ.ศ. 2555 ถึงวันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ. 2555

เครื่องที่ วันที่วัด	ค่าความสั่นสะเทือนความเร็ว RMS (mm/s)						
	TUM 1	TUM 2	TUM 3	TUM 4	TUM 5	TUM 6	TUM 7
9 ม.ค. 55	0.14	0.19	0.22	0.37	0.19	0.13	0.28
16 ม.ค. 55	0.14	0.16	0.22	0.45	0.15	0.19	0.18
23 ม.ค. 55	0.15	0.18	0.22	0.30	0.18	0.13	0.28
30 ม.ค. 55	0.12	0.13	0.15	0.60	0.18	0.16	0.26
6 ก.พ. 55	0.38	0.21	0.14	0.27	0.21	0.13	0.23
13 ก.พ. 55	0.23	0.15	0.21	0.49	0.21	0.14	0.28
20 ก.พ. 55	0.25	0.29	0.17	0.26	0.18	0.12	0.15
27 ก.พ. 55	0.14	0.17	0.14	0.50	0.30	0.16	0.34
5 มี.ค. 55	0.14	0.16	0.20	0.33	0.26	0.12	0.35
12 มี.ค. 55	0.20	0.16	0.21	0.45	0.44	0.15	0.29
19 มี.ค. 55	0.17	0.16	0.23	0.62	0.45	0.12	0.31
26 มี.ค. 55	0.15	0.20	0.24	0.50	0.20	0.15	0.31
2 เม.ย. 55	0.16	0.16	0.22	0.55	0.21	0.11	0.19
9 เม.ย. 55	0.17	0.15	0.11	0.42	0.19	0.19	0.13
23 เม.ย. 55	0.16	0.19	0.13	0.47	0.28	0.18	0.24
30 เม.ย. 55	0.12	0.09	0.18	0.35	0.20	0.21	0.20
7 พ.ค. 55	0.14	0.12	0.18	0.38	0.07	0.17	0.15
14 พ.ค. 55	0.14	0.10	0.12	0.62	0.49	0.15	0.38
21 พ.ค. 55	0.11	0.13	0.20	0.51	0.49	0.13	0.25
28 พ.ค. 55	0.14	0.13	0.16	0.42	0.37	0.13	0.21
5 มิ.ย. 55	0.14	0.13	0.20	0.67	0.33	0.14	0.23
11 มิ.ย. 55	0.17	0.17	0.25	0.63	0.32	0.20	0.18
18 มิ.ย. 55	0.12	0.12	0.16	0.62	0.47	0.13	0.14
25 มิ.ย. 55	0.11	0.12	0.18	0.59	0.28	0.11	0.17
2 ก.ค. 55	0.15	0.14	0.12	0.14	0.34	0.12	0.21
9 ก.ค. 55	0.12	0.16	0.13	0.35	0.56	0.21	0.16
16 ก.ค. 55	0.16	0.18	0.13	0.19	0.13	0.18	0.16
23 ก.ค. 55	0.16	0.14	0.22	0.37	0.16	0.23	0.20
30 ก.ค. 55	0.12	0.10	0.16	0.14	0.22	0.13	0.28
6 ส.ค. 55	0.13	0.25	0.15	0.53	0.07	0.31	0.25

ตารางที่ 11 ค่าความสั่นสะเทือนของเครื่อง Tire Uniformity Machine หมายเลข 8-14 ระหว่างวันที่ 9 มกราคม พ.ศ. 2555 ถึงวันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ. 2555

เครื่องที่ วันที่วัด	ค่าความสั่นสะเทือนความเร็ว RMS (mm/s)						
	TUM 8	TUM 9	TUM 10	TUM 11	TUM 12	TUM 13	TUM 14
9 ม.ค. 55	0.44	0.18	0.11	0.16	0.16	0.17	0.17
16 ม.ค. 55	0.95	0.11	0.12	0.16	0.10	0.14	0.10
23 ม.ค. 55	0.50	0.17	0.12	0.17	0.17	0.17	0.17
30 ม.ค. 55	0.52	0.18	0.22	0.15	0.11	0.14	0.13
6 ก.พ. 55	0.45	0.29	0.14	0.14	0.16	0.27	0.21
13 ก.พ. 55	0.44	0.18	0.13	0.26	0.12	0.22	0.14
20 ก.พ. 55	0.39	0.12	0.19	0.14	0.16	0.24	0.12
27 ก.พ. 55	0.49	0.29	0.10	0.24	0.12	0.12	0.11
5 มี.ค. 55	0.43	0.25	0.14	0.15	0.13	0.23	0.38
12 มี.ค. 55	0.27	0.21	0.11	0.20	0.12	0.19	0.12
19 มี.ค. 55	0.57	0.24	0.22	0.12	0.14	0.22	0.16
26 มี.ค. 55	0.54	0.15	0.17	0.13	0.16	0.24	0.13
2 เม.ย. 55	0.53	0.21	0.15	0.12	0.14	0.22	0.16
9 เม.ย. 55	0.32	0.15	0.12	0.17	0.11	0.26	0.19
23 เม.ย. 55	0.37	0.19	0.12	0.15	0.11	0.09	0.25
30 เม.ย. 55	0.47	0.12	0.11	0.15	0.15	0.19	0.13
7 พ.ค. 55	2.69	0.13	0.16	0.16	0.14	0.22	0.14
14 พ.ค. 55	0.56	0.30	0.18	0.16	0.13	0.24	0.16
21 พ.ค. 55	0.45	0.13	0.16	0.14	0.18	0.24	0.14
28 พ.ค. 55	0.40	0.32	0.12	0.17	0.10	0.13	0.29
5 มิ.ย. 55	0.46	0.62	0.16	0.19	0.51	0.11	0.13
11 มิ.ย. 55	0.55	0.42	0.18	0.16	0.21	0.20	0.13
18 มิ.ย. 55	0.61	0.17	0.16	0.19	0.16	0.19	0.11
25 มิ.ย. 55	0.45	0.17	0.19	0.22	0.14	0.16	0.16
2 ก.ค. 55	0.45	0.13	0.13	0.16	0.17	0.32	0.20
9 ก.ค. 55	0.45	0.15	0.17	0.14	0.16	0.31	0.22
16 ก.ค. 55	0.18	0.13	0.11	0.14	0.18	0.15	0.10
23 ก.ค. 55	0.16	0.16	0.15	0.10	0.21	0.16	0.08
30 ก.ค. 55	0.21	0.17	0.09	0.15	0.14	0.13	0.13
6 ส.ค. 55	1.30	0.14	0.17	0.24	0.19	0.14	0.13

ภาคผนวก ค.

คุณสมบัติของเครื่องวัดความสั่นสะเทือน MicroVibe P รุ่น MCVL 3850-ML

TNI

MicroVibe P

CMVL 3850-ML

Power without complexity, an advanced instrument for simplified vibration assessment that fits in your pocket.

Now available in multiple languages (ML):
English, Chinese, German and Spanish.

With SKF's new MicroVibe P, vibration assessment is as close and convenient as your PDA! This economical vibration meter expansion module fits in a PocketPC's compact flash card slot (CF Type II) and features the user-friendly Windows® Mobile Operating System. Identify problems and assess machine condition quickly and easily with this versatile and easy-to-use pocket tool.

Power without complexity

A handy "quick-check" solution, based on the universal PDA platform, MicroVibe P is simple to use. Built-in automatic functions virtually eliminate setup, while the analytical displays and automatic judgment of machine vibration readings help users identify machine problems on the spot!

Features

• Exceptional value

- Low cost, compact, lightweight, works with many Pocket PC PDA's by Hewlett-Packard, Dell, Toshiba, etc.



The SKF MicroVibe P system

• Quickly identify problems

- Expert judgment criteria based on ISO vibration severity standard and SKF bearing evaluation
- FFT Spectrum analysis enables user to pinpoint problems like unbalance, misalignment, bearing, rubs, etc.
- Multi-point automation

• Standard vibration measurements

- Envelope acceleration, acceleration, velocity, displacement, time waveform, and FFT spectrum analysis

• Store and recall measurements

- For trending and analysis, store up to 2,000 overall vibration signals, 1,000 FFT spectrum, and 200 time waveforms

• Data management software

- Enables users to transfer machinery vibration data to a computer for trending and further analysis

• MicroVibe P kit includes:

- MicroVibe P module, data management software, accelerometer and cable, magnetic base, earphones, user manual, and carrying case (everything but the PDA).



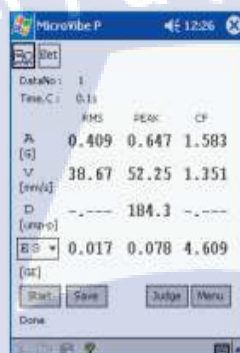
MicroVibe P
CMVL 3850-ML
www.skf.com/cm
2

An advanced instrument for simplified vibration assessment

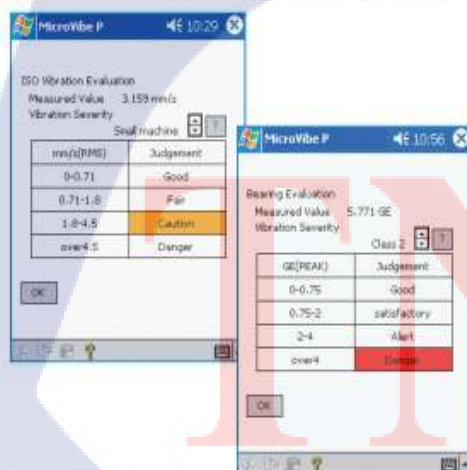
The MicroVibe P collects and displays overall vibration readings and automatically provides expert judgment of the measured velocity and overall enveloped acceleration levels, enabling immediate, accurate and reliable assessment of machine or bearing condition.

Multi-point automation saves time and improves reliability

Automatically collect the most useful measurements for vibration analysis – acceleration, velocity, displacement, and enveloped acceleration – simultaneously. SKF's Multi-point automation saves time and enhances the power, accuracy and overall reliability of your decision making – giving you the information needed to make the best possible judgment call.



Automatic setup and onboard expertise



The MicroVibe P provides extensive automatic setup and evaluation of vibration results. Simply collect the data and MicroVibe P does the rest – comparing readings to pre-

programmed velocity and enveloped acceleration severity criteria for a reliable and accurate evaluation of vibration severity. This allows even novice users to easily determine abnormal conditions and take appropriate action.

FFT spectrum analysis capabilities

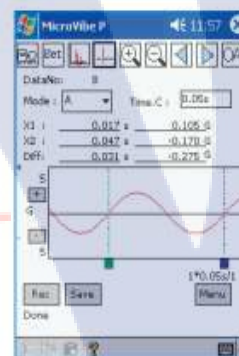
With pre-set measurements and user selectable FFT resolution at 400, 800 or 1600-lines, selectable Fmax and a 90 db dynamic range, the MicroVibe P has what it takes to help you easily pinpoint impending machine problems. Cursor position readout with display zoom optimizes your analysis power. In addition, it automatically tabulates and displays the highest vibration peaks

from a spectrum, making it easy to quickly identify signals indicative of specific machine problems, like misalignment, imbalance or bearing faults.



Time-waveform displays

Measure and store time data, with the capability to select acquisition type and time measurement. Time displays in acceleration, velocity, displacement or enveloped acceleration. A unique automatic transient capture function starts taking measurements when the signal exceeds a user-specified trigger level, enabling more detailed analysis of the pre- and post-trigger events surrounding a change in machine condition.



Versatile measurement capability

The MicroVibe P works with the two most commonly used vibration sensors – accelerometers and dynamic velocity transducers. Both enable you to take a multi-parameter approach to your analysis and to optimize vibration data gathering.

MicroVibe P
CMVL 3850-ML
www.skf.com/cm
3

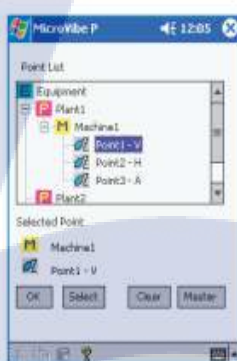
Audio analysis

Now you can actually listen to machine problems using the MicroVibe P's acoustic capability. Simply connect the earphones and listen to the operation of your machine. When abnormal noise is detected, use the vibration analysis capabilities of the MicroVibe P to zero in on the problem.



Store and recall measurements for trending and analysis

The MicroVibe P's data storage capacity is also extraordinarily impressive. It can store up to 2,000 overall vibration signals, 1,000 FFT spectrums or 200 records of time waveform data for later recall. A search function retrieves specific measurement points and a "repeat" measurement let's you recall and repeat any measurement for more focused analysis or trending of a potential problem. Finally, a "recall data storage" list helps you keep track of and reference all collected data.



Data management and software for your desktop computer

The next generation MicroVibe P now offers added functionality, including a software program to extract, save, edit and display collected data. It's ideal for small route data collection.

For further analysis and trending, data may be uploaded to your desktop computer using the Data Management software. Once uploaded, vibration data, overall trends and spectra can be stored, trended, graphically displayed and even exported to Excel®.

Utilities add value

Several exciting utilities help make the MicroVibe P an universal tool for machine vibration analysis, for any level of expertise. Collect data in English or Metric units or reference a dictionary of vibration terminology.

SKF's new MicroVibe P truly brings you vibration monitoring and analysis power without complexity. It's tomorrow's big solution for vibration analysis in a small, smart package – and it's available today! Get more information at www.skf.com/cm.

Specifications

MicroVibe P CMVL 3850-ML

Minimum PDA Requirements(*):
Conforms to the Pocket PC Specifications

Operating System: Microsoft® Windows® Mobile 3.0/5.0

Processor: ARM Processor

Interface: Compact Flash TYPE II Slot 3.3 V only

Recommended Specifications:

Processor: PXA255 400 MHz or higher

Memory (RAM): 64 MB or higher

Interface with Pocket PC: Compact Flash TYPE II, Slot 3.3 V only

Power Supply: +3.3 V (Supplied by Pocket PC)

Current:

Standby: 44 μ A

Under Measurement: 48 mA

Pickup Input (PU IN):

AC Voltage Signal: Maximum ± 2.5 V

Input Terminal: 8-pin modular jack (RJ-45) (ICP type pre-amp built-in accelerometer is not connected.)

Raw Waveform Output (PU OUT):

AC Voltage Signal: Maximum ± 2.5 V

Output Terminal: Mini-jack (2.5 mm ϕ)

Sampling Frequency: Maximum 76.8 kHz (Changes according to Mode) 76.8 kHz/38.4 kHz

Aliasing Filter: 20 kHz/2 kHz (Changes according to Mode and Sampling Frequency)

A/D: 16-Bit

Temperature Range: 0 to +45 °C (+32 °F to +113 °F)

Humidity Range: <90% relative humidity, non-condensing

Weight: 25 g (0.88 oz) approximate (Card only)

Dimensions: 60.0 mm x 42.1 mm x 16.9 mm (2.36" x 1.66" x 0.67")

Shape: Conforms to CF Card TYPE II, Card Type. See photograph.

Color: Black

CMSS 3811 Accelerometer

Type: Pre-amp is built-in. Shear type.

Power Supply: DC ± 5 V

Voltage Sensitivity: 20 mV/g

Resonance Frequency: 20 kHz approximate

Frequency Range: 3 Hz to 10,000 Hz

Maximum Acceleration: 500 m/s²

Vibration Limit: 5000 m/s²

Maximum Output Voltage: ± 1 V

Output Impedance: Below 100 Ω

Temperature Range: -20 °C to +80 °C (-4 °F to +176 °F)

Material: SUS

Weight: 60 g (2.1 oz) approximate

Tapped Hole: M6, P + 1, depth 5 mm, internal thread

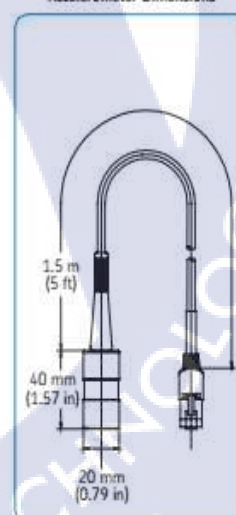
Integral Cable: Length 1.5 meters (5 feet)

Connector: 8-pin modular plug

Dimensions: See Drawing Below

Structure: Dust-proof, spray-proof

CMSS 3811 Accelerometer Dimensions



* May not work with all PDAs. Please see list of Certified PDAs.

MicroVibe P CMVL 3850-ML

Measurement Specifications

(For Measurement with CMSS 3811 Accelerometer)

Frequency specifications

Item	Specifications
Frequency range	
A	Acceleration: 10-15 kHz (*)
V	Velocity: 10-1000 Hz
D	Displacement: 10-150 Hz
E1	Envelope Detection: 5-100 Hz
E2	Envelope Detection: 50-1 kHz
E3	Envelope Detection: 500-10 kHz
E4	Envelope Detection: 5 k-20 kHz
Sampling frequency	A, E3, E4: 76.8 kHz E1, E2, V, D: 38.4 kHz
Aliasing filter	A, E3, E4: 20 kHz E1, E2, V, D: 2 kHz
Range	
A, E1, E2, E3, E4	0-1 g (100x range) 0-5 g (20x range) 0-20 g (5x range) 0-100 g (1x range)
V	0-10 mm/s (100x range) 0-50 mm/s (20x range) 0-200 mm/s (5x range) 0-1000 mm/s (1x range)
D	0-50 μ m (100x range) 0-250 μ m (20x range) 0-1000 μ m (5x range) 0-5000 μ m (1x range)

(*) The upper bound frequency can be changed by Utility Menu's A Filter.

Overall and judgment specifications

Item	Specifications
Overall value simultaneous measurement simultaneous	Simultaneous measurement of overall vibration level, multi-mode (A, V, D, E1-E4) Range: Auto Measuring Time: 0.1 s; 0.5 s; 1.0 s Measurement data: RMS value, PEAK value, C.F. value Measured value display digits: Significant figure 4 digits Example: 9999/999.9/99.99/9.999 Status Display (Under measurement, measurement end)
Judgment	Abnormal judgment by vibration severity standard (ISO 10816 (A5-B-D906) Standard) Abnormal bearing judgment by envelope acceleration E3 mode

Display specifications

Item	Specification
Graph display	FFT graph: • Dominant frequency component (highest 5 frequencies) • Cursor indication value display • Zoom scroll value display Waveform graph: • Cursor indication display • Zoom scroll display

FFT specifications

Item	Specifications
FFT, waveform analysis	Mode: A/V/D/E1/E2/E3/E4 Range: Fixed/Auto FFT measurement condition: Analysis frequency: Selection list • A: 250/500/1k/2k/5k/10k/15k/30k Hz • V: 250/500/1k Hz • D: 250/500/1k Hz • E1: 50 Hz • E2: 250/500 Hz • E3: 250/500/1k/2k/5k Hz • E4: 250/500/1k/2k/5k/10k Hz Lines of resolution: 1600/800/400 Averaging: Stable/exponential/peak hold 1/2/4/8 times Window: Hanning Measurement mode: Normal/ recorder/ post process • Normal: Recording time of waveform data is determined by FFT measurement condition (analysis frequency, line number). Executes the measurement for average cycle in FFT and records the waveform for frame time (final frame time). • Recorder: Records the waveform of specified time by Rec. time. Average cycle of FFT is one time. • Rec. Time: 1/2/5/10 sec. • Post-process: Calculates from raw waveform data (temporary saved data). Average cycle of FFT is one time.



Ordering Information

MicroVibe P Kit

CMVL 3850-ML includes:

- MicroVibe P Module
- CMSS 3811 Accelerometer, 1.5 meters (5 feet) integral cable, with plug, and stinger one (1) each.
- CMAC 3825 Two-Bar Magnetic Base, high strength 40 lb pull, one (1) each.
- CMAC 3830 Earphones, one (1) each.
- Data Management Software CD-ROM, one (1) each.
- MicroVibe P documentation (English only)
 - User manual
 - Data management software manual
 - Quick start guide
 - CE declaration of confirmation
- Carrying Case

NOTE: Pocket PC (PDA) NOT INCLUDED.

Additional Accessories

- CMSS 3811 Accelerometer, 1.5 meters (5 feet) integral cable (replacement), with plug, and stinger, one (1) each.
- CMSS 3812 Velocity Pickup Sensor, 1.5 meters (5 feet) integral cable, with plug, one (1) each.
- CMAC 3825 Two-Bar Magnetic Base, high strength 40 lb pull, one (1) each.
- CMAC 3830 Earphones, one (1) each.

Certified Pocket PC PDA's with Windows Mobile™ 2003/2005

Certified Pocket PC PDA's with Windows Mobile™ 2003

- Hewlett Packard
 - iPAQ hx2400
 - iPAQ hx2700
 - iPAQ hx2750
 - iPAQ hx4700
- Toshiba
 - e830
- ASUS MyPal A730
- Dell AXIM X50 (N07 51)

Compatible Pocket PC PDA's with Windows Mobile™ 2003

- Hewlett Packard
 - iPAQ h2210
 - iPAQ h2215
- Toshiba
 - e800

Certified Pocket PC PDA's with Windows Mobile™ 2005

- Hewlett Packard
 - iPAQ hx2490
 - iPAQ hx2790



SKF Reliability Systems

5271 Viewridge Court • San Diego, California 92123 USA
Telephone: +1 858-496-3400 • FAX: +1 858-496-3531

Web Site: www.skf.com/cm

The contents of this publication are the copyright of the publisher and may not be reproduced (even extracts) unless permission is granted. Every care has been taken to ensure the accuracy of the information contained in this publication but no liability can be accepted for any loss or damage whether direct, indirect or consequential arising out of the use of the information contained herein. SKF reserves the right to alter any part of this publication without prior notice.

- SKF is a registered trademark of the SKF Group.
- Microsoft, Windows and Excel are registered trademarks and Windows Mobile is a trademark of Microsoft Corporation.
- All other trademarks are the property of their respective owners.

CM2285 (Revised 12-06) • Copyright © 2006 by SKF Condition Monitoring, Inc. ALL RIGHTS RESERVED.

