การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน

TA355
n365
1940 v.2

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

TA355
ก365
2540
ฉ.2

งานวิทยทรัพยากร 5 มิ.ย. 2543
สิ่งของ ๒๕๖๑

การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน
การเฝ้าตรวจและการจัดการการบำรุงรักษา

โดย

ก่อเกียรติ บุญชูกุศล
สมศักดิ์ ไชยะภินันท์
ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ

COLLEGE OF ENGINEERING
53457
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จัดทำโดย

สส.ท

ส่วนตำราสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม
สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

120.-

ISBN : 974-8324-95-1

การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน : การเฝ้าตรวจและการจัดการการบำรุงรักษา

ก่อเกียรติ บุญชูกุศล
สมศักดิ์ ไชยะภินันท์
ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ

ราคา 120 บาท

พิมพ์ครั้งที่ 1 พฤษภาคม 2540 จำนวนพิมพ์ 2,000 เล่ม

สงวนลิขสิทธิ์โดย

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
5-7 ซอยสุขุมวิท 29 ถนนสุขุมวิท แขวงคลองเตยเหนือ เขตคลองเตย กรุงเทพฯ 10110
โทร. 258-0320 (6 เลขหมายอัตโนมัติ), 259-9160 (10 เลขหมายอัตโนมัติ)

ตัวแทนจำหน่าย

บริษัท ดวงกมลสมัย จำกัด
90/21-25 ถนนราชปรารภ มักกะสัน เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
โทร. 245-5586, 247-1030, 245-5571 โทรสาร 247-1033

"ถ้ามีข้อผิดพลาดเนื่องจากการพิมพ์ ให้นำมาแลกเปลี่ยนได้ที่สมาคมฯ"

โรงพิมพ์ หจก. เม็ดทรายพริ้นติ้ง 594/89-90 ซอยประยูรสุข 2 ถนนจรัญสนิทวงศ์ แขวงอรุณอัมรินทร์ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700 โทร. 424-2872 : พ.ศ. 2539

คำนำนายกสมาคม

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) ก่อตั้งขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2516 ด้วยความร่วมมือร่วมใจกัน เป็นส่วนบุคคลในหมู่ผู้ที่ได้ผ่านการศึกษาระดับต่างๆ จากประเทศญี่ปุ่น โดยได้รับความร่วมมือทางด้านทุนทรัพย์จาก The Japan-Thailand Economic Cooperation Society เพื่อใช้จ่ายในการดำเนินงานกิจกรรมของสมาคมฯ ซึ่งประกอบด้วยฝ่ายต่าง ๆ คือ ฝ่ายอบรมและสัมมนา ฝ่ายสำนักพิมพ์ ฝ่ายบริการอุตสาหกรรม ฝ่ายการศึกษาทางไปรษณีย์ ฝ่ายโรงเรียน ส.ส.ท. ฝ่ายวิสาหกิจสัมพันธ์ ฝ่ายบริหารทั่วไป และศูนย์สารสนเทศทางเทคโนโลยี ซึ่งแต่ละฝ่ายจัดดำเนินการโดยสมาชิกของสมาคมฯ ทำหน้าที่เป็นคณะที่ปรึกษารับผิดชอบบริหารงานให้เป็นไปตามเป้าหมาย

สำหรับฝ่ายสำนักพิมพ์ โดยส่วนตำราสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม ซึ่งรับผิดชอบจัดทำหนังสือตำราเล่มนี้นั้น มีนโยบายพื้นฐานคือ การส่งเสริมและเร่งรัดให้มีการจัดพิมพ์หนังสือตำราทางเทคโนโลยีทุกประเภท ทั้งที่เป็นงานแปลโดยตรง งานแปลเรียบเรียง งานถอดความ งานรวบรวม งานแต่งและงานสำรวจวิจัยทางด้านอุตสาหกรรม โดยที่สมาคมฯ มีความเห็นว่า หนังสือตำราภาษาไทย โดยเฉพาะในระดับอาชีวศึกษาแขนงวิชาเทคโนโลยีต่างๆ ยังมีอยู่ในปริมาณจำกัดไม่พอเพียง ถ้าส่งเสริมให้มีหนังสือเช่นนี้เพิ่มขึ้น ย่อมมีส่วนช่วยยกระดับมาตรฐานการศึกษาทางเทคโนโลยีให้สูงขึ้นและแพร่หลายขึ้นโดยปริยาย อีกทั้งยังช่วยสร้างสรรค์ปัญญา ความคิดริเริ่ม และความรู้ความเข้าใจอันถูกต้อง ซึ่งจะเป็นการปูรากฐานสำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศไทย เป็นประโยชน์แก่สังคมอุตสาหกรรมโดยส่วนรวม

ปัจจุบัน สมาคมฯ ยังคงมีเจตนารมณ์อันแน่วแน่ที่จะขยายงานทุกๆ ฝ่ายต่อไปอย่างไม่หยุดยั้ง และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าด้วยเจตนาอันบริสุทธิ์ของสมาคมฯ ในการดำเนินกิจการที่มิใช่การแสวงหาผลกำไร หากมุ่งมั่นที่จะให้นักศึกษาและประชาชนได้มีโอกาสซื้อหาหนังสือตำราในราคาย่อมเยาเช่นนี้ คงเกิดประโยชน์แก่สังคมส่วนรวมทั้งในทางตรงและทางอ้อม และหากสถาบันการศึกษาใดต้องการใช้ส่วนหนึ่งส่วนใดเพื่อใช้ประกอบการศึกษา ทางสมาคมฯ ก็มิได้ขัดข้อง แต่ใคร่ขอให้ทำเรื่องขออนุญาตต่อทางสมาคมฯ ก่อน

อนึ่ง สมาคมฯ ใคร่ขอแสดงความขอบคุณเป็นอย่างยิ่งต่อผู้เขียนและคณะผู้จัดทำที่ได้พากเพียรจนทำให้ตำราชุดนี้สำเร็จขึ้นมาได้ไว้ ณ ที่นี้ด้วย

(นายอัจฉรินทร์ สารสาส)
นายกสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

คำแถลงของส่วนตำรา
สนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม

ส่วนตำราสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม วิวัฒนาการมาจากโครงการสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม ซึ่งแต่เดิมใช้ชื่อว่าโครงการตำรา ซึ่งจัดตั้งขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2516 พร้อมๆ กับการก่อตั้งสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) โครงการตำรานั้นมุ่งหวังที่จะให้มีตำราทางด้านวิทยาการต่างๆ โดยเฉพาะในระดับอาชีวศึกษา และประชาชนทั่วไปที่มีความรู้พื้นฐานทางช่างพอสมควร เพื่อเพิ่มพูนสติปัญญาและนำไปใช้ปฏิบัติงานได้

ในระยะแรกๆ นั้น ตำราที่ผลิตโดยโครงการตำรา ส่วนใหญ่จะเป็นหนังสือแปลจากต้นฉบับภาษาญี่ปุ่น ต่อมาจึงได้มีการขยายขอบข่ายของการจัดทำตำราให้กว้างขวางยิ่งขึ้น กล่าวคือ มีทั้งงานแปลและเรียบเรียงจากต้นฉบับภาษาอื่นด้วย ตลอดจนงานรวบรวมและงานเขียนแต่งตำราจากประสบการณ์โดยผู้ชำนาญในแต่ละสาขา ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นอาจารย์ในสถาบันการศึกษา

ต่อมาในระยะ 4-5 ปีหลังจากที่ก่อตั้งสมาคมฯ โครงการตำราได้วิวัฒนาการขึ้นเป็นโครงการสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม และในปี 2539 ก็ได้วิวัฒนาการอีกครั้งเป็นส่วนตำราสนับสนุนเทคนิค-อุตสาหกรรม

โดยที่ตำราที่จัดพิมพ์โดยสมาคมฯ ได้รับการต้อนรับเป็นอย่างดีจากนิสิตนักศึกษาและประชาชนทั่วไป ทางส่วนตำราฯ จึงใคร่ขอเชิญชวนให้ผู้เชี่ยวชาญในวงการอุตสาหกรรมและสถาบันการศึกษาได้ช่วยกันแต่งตำราให้แพร่หลายยิ่งขึ้น และทางส่วนตำราฯ ยินดีที่จะสนับสนุนในด้านการพิมพ์เพื่อให้มีตำราในด้านเทคนิคอุตสาหกรรมแพร่กระจายอย่างทั่วถึง

ส่วนตำราฯ ขอขอบคุณท่านผู้เขียนเรียบเรียงตำราเล่มนี้และเจ้าหน้าที่ของสมาคมฯ ทุกท่านที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีจนตำราเล่มนี้สำเร็จเป็นรูปเล่มได้ และหวังว่าตำราเล่มนี้จะมีส่วนช่วยในการพัฒนาเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมของประเทศ และหากท่านผู้อ่านมีข้อชี้แนะประการใด ขอได้โปรดแจ้งให้สมาคมฯ ทราบด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนตำราสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม

คำนำ

ในโลกของอุตสาหกรรมปัจจุบัน ผู้คนเริ่มตระหนักถึงความสำคัญของระบบการบำรุงรักษาและการทำการบำรุงรักษาที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพว่า มีผลต่อคุณภาพและราคาต้นทุนของผลิตภัณฑ์เป็นอย่างมาก จึงได้เริ่มมีการนำระบบการบำรุงรักษาแบบตามสภาพไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่และขนาดกลางมากขึ้นเรื่อย ๆ ความเข้าใจในเรื่องการบำรุงรักษานี้จึงเป็นเรื่องสำคัญเรื่องหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อความสำเร็จของกระบวนการผลิต และนอกเหนือจากความเข้าใจในเรื่องระบบการบำรุงรักษาและการบริหารการบำรุงรักษาแล้ว วิทยาการที่เกี่ยวกับการนำการเฝ้าตรวจสัญญาณการสั่นสะเทือนมาใช้ประกอบในการพยากรณ์ข้อบกพร่องของเครื่องจักรกลหมุน ก็เป็นส่วนสำคัญที่ผู้จะทำการบำรุงรักษาแบบตามสภาพจำเป็นต้องรู้และเข้าใจ

หนังสือเล่มนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะให้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการบำรุงรักษา การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน การหาข้อบกพร่องของชิ้นส่วนเครื่องจักรจากสัญญาณการสั่นสะเทือน และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นจุดเริ่มต้นของความเข้าใจและนำไปประยุกต์ใช้งานได้ โดยในบทที่ 1 ถึง 3 จะได้กล่าวถึงหลักการของการบำรุงรักษา ประเภทของการบำรุงรักษา และการบำรุงรักษาตามสภาพ ในบทที่ 4 และ 5 จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของการสั่นสะเทือน และผลกระทบจากพารามิเตอร์อื่น ในบทที่ 6 จะกล่าวถึงสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ใช้ในการทำการบำรุงรักษา บทที่ 7 จะกล่าวถึงการวิเคราะห์แบบสเปกตรัมเพื่อทำการเปลี่ยนสัญญาณการสั่นสะเทือนจากโดเมนเวลาเป็นสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ สำหรับบทที่ 8 จะกล่าวถึงเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ในบทสุดท้ายนั้นจะกล่าวถึงการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน โดยนำสัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดได้ไปวินิจฉัยหาข้อบกพร่องเฉพาะอย่างของเครื่องจักรหรือชิ้นส่วนของเครื่องจักร

คณะผู้เขียน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำเกี่ยวกับการบำรุงรักษา 1

1.1 บทนำ 1

1.2 ที่มาของเครื่องจักรอุตสาหกรรม 1

1.3 อะไรคือการบำรุงรักษา 3

1.4 ความเกี่ยวข้องระหว่างการบำรุงรักษากับกิจกรรมอื่น 4

บทที่ 2 กลยุทธ์ในการบำรุงรักษา 7

2.1 บทนำ 7

2.2 นิยาม 7

2.3 วิธีการบำรุงรักษาพื้นฐาน 7

2.4 อายุการทำงานของเครื่องจักร 13

2.5 ระบบการบำรุงรักษา 15

2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตกับการบำรุงรักษา 17

บทที่ 3 การบำรุงรักษาแบบตามสภาพ 23

3.1 บทนำ 23

3.2 หลักการดำเนินการทั่วไป 23

3.3 เทคนิคการตรวจสอบ 25

3.4 เครื่องจักรกับการบำรุงรักษาแบบตามสภาพ 26

3.5 การจัดตั้งระบบการบำรุงรักษาแบบตามสภาพ 27

บทที่ 4 การสั่นสะเทือน 31

4.1 บทนำ 31

4.2 ประเภทของการสั่นสะเทือน 31

4.3 การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน 32

บทที่ 5 ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อขนาดของการสั่นสะเทือน 43

5.1 บทนำ 43

5.2 การสั่นสะเทือนของแรงภายนอกแบบฮาร์มอนิก 43

5.3 การสั่นสะเทือนเนื่องจากการหมุนที่ไม่สมดุล 46

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4 การสั่นสะเทือนเนื่องจากการเคลื่อนที่ของฐานรอง 48
5.5 การกันการสั่นสะเทือนออก 49

บทที่ 6 สัญญาณการสั่นสะเทือน 53
6.1 บทนำ 53
6.2 การสั่นสะเทือนกับสภาพของเครื่องจักร 53
6.3 การสั่นสะเทือนและเสียง 54
6.4 ชนิดของสัญญาณการสั่นสะเทือน 54
6.5 หน่วยวัดขนาดสัญญาณการสั่นสะเทือน 60

บทที่ 7 การวิเคราะห์แบบสเปกตรัม 63
7.1 บทนำ 63
7.2 การแปลงแบบฟูเรียร์ 63
7.3 การวิเคราะห์แบบสเปกตรัม 65

บทที่ 8 เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนและอุปกรณ์ 71
8.1 บทนำ 71
8.2 เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือน 71
8.3 หัวทรานส์ดิวเซอร์สำหรับวัดการสั่นสะเทือน 74
8.4 การติดตั้งทรานส์ดิวเซอร์ 78

บทที่ 9 การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน 85
9.1 บทนำ 85
9.2 การประเมินค่าความรุนแรงของการสั่นสะเทือนของสัญญาณแบบรวม 85
9.3 การวิเคราะห์แบบแนวโน้ม 89
9.4 การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ 90
9.5 ตำแหน่งการวัดสัญญาณการสั่นสะเทือน 101

บรรณานุกรม 102

ประวัติผู้เขียน

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1 บทนำเกี่ยวกับการบำรุงรักษา

1.1 บทนำ

ในบทที่หนึ่งนี้จะได้กล่าวถึงความเป็นมาของการบำรุงรักษาในวัฏจักรการผลิตว่ามีความสำคัญอย่างไร มีความเกี่ยวข้องอย่างไรกับกระบวนการอื่น ๆ และความหมายของการบำรุงรักษา ที่เป็นที่เข้าใจกันในปัจจุบัน เพื่อที่จะเป็นการปรับความเข้าใจให้ตรงกันเสียก่อน ซึ่งจะช่วยให้การศึกษาบทต่อ ๆ ไปไม่เกิดความสับสน

1.2 ที่มาของเครื่องจักรอุตสาหกรรม

ในอุตสาหกรรมการผลิตโดยทั่วไปนั้นเป้าหมายหลักอยู่ที่ตัวผลิตภัณฑ์ ซึ่งการที่จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีมีคุณภาพ เป็นที่ต้องการของลูกค้า ก็จะต้องมีกระบวนการและเครื่องจักรสำหรับการผลิตที่เหมาะสม การได้มาซึ่งเครื่องจักรที่เหมาะสมนั้นแม้ว่าจะไม่ใช่เรื่องง่ายดายนัก เนื่องจากต้องผ่านขั้นตอนหลายขั้นตอน ตั้งแต่การออกแบบหรือเลือกเครื่องจักร การจัดหา การติดตั้ง ฯลฯ แต่การทำให้เครื่องจักรนั้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลาไปจนกว่าจะหมดความต้องการใช้นั้นจะเป็นเรื่องยากยิ่งกว่า การดำเนินการที่จะให้เครื่องจักรทำงานได้ดีนั้นคือการบำรุงรักษา รูปที่ 1.1 เป็นรูปที่แสดงให้เห็นวัฏจักรอายุ (Life Cycle) ของเครื่องจักรโดยทั่ว ๆ ไป

รูปที่ 1.1 วัฏจักรอายุของเครื่องจักร

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วัฏจักรอายุของเครื่องจักรประกอบด้วยขั้นตอนโดยทั่วไป 9 ขั้นตอน ซึ่งจะอธิบายให้ง่ายขึ้นโดยใช้รถยนต์เป็นตัวอย่าง ดังต่อไปนี้

1. **ความต้องการ** คือ ความประสงค์ของลูกค้าที่อยากจะได้ผลิตภัณฑ์อย่างหนึ่ง ซึ่งเป็นเหตุของการที่ต้องหาเครื่องจักรมาเพื่อดำเนินการให้ได้ผลิตภัณฑ์นั้น

ในตัวอย่างของเรานั้น ความต้องการคือความสะดวกในการเดินทาง และเครื่องจักรที่ต้องการเพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าว ได้แก่ ยานพาหนะต่าง ๆ ซึ่งในขั้นตอนนี้อาจจะเป็นไปได้ทั้งรถยนต์ รถจักรยานยนต์ หรือแม้แต่รถจักรยานถีบ

2. **รายละเอียดจำเพาะ** ความหมายในที่นี้หมายถึงการกำหนดรายละเอียดจำเพาะ (Specification) ของความต้องการ ทั้งนี้เพื่อให้ข้อมูลที่สมบูรณ์และถูกต้องที่จะนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

ดังนั้นสำหรับยานพาหนะของเรา ขั้นตอนนี้ก็คือการกำหนดว่า ต้องการยานพาหนะที่มีความเร็วสักเท่าใด บรรทุกคนได้กี่คน ต้องการความสามารถบรรทุกได้เท่าไร อย่างไรก็ตาม การกำหนดความต้องการนี้จะต้องพยายามให้ครบถ้วนและเป็นจริงมากที่สุดเพื่อที่จะได้ไม่ซื้อรถยนต์ 6 ล้อสำหรับใช้ขับขี่ไปทำงาน

3. **การออกแบบ/เลือก** หลังจากที่กำหนดรายละเอียดจำเพาะของความต้องการแล้ว รายละเอียดเหล่านั้นจะถูกนำไปใช้ประกอบการออกแบบเครื่องจักร ถ้าหากเครื่องจักรนั้นเป็นเครื่องจักรต้นแบบ หรือในกรณีที่เครื่องจักรนั้นเป็นเครื่องจักรอุตสาหกรรมทั่วไป ก็จะใช้การเลือกหารุ่น/แบบที่ตรงกับความต้องการมากที่สุด

เพราะฉะนั้นในขณะนี้เราจะสามารถเลือกยานพาหนะที่ต้องการได้แล้วทั้งรูปแบบ รุ่น ขนาด รวมทั้งยี่ห้อด้วย

4. **การลงทุน/จัดหา** เมื่อเป็นที่แน่นอนแล้วว่าจะเลือกใช้เครื่องจักรอะไร หรือได้ออกแบบเครื่องจักรที่ต้องการเรียบร้อยแล้ว สิ่งที่ต้องทำต่อไปคือการจัดซื้อเครื่องจักรนั้น หรือจัดจ้างให้มีการสร้างเครื่องจักรตามแบบที่ทำไว้

ในตอนนี้เราได้มีการตกลงสั่งซื้อรถยนต์ที่ต้องการเป็นที่เรียบร้อยแล้ว และกำลังคอยเวลาที่จะไปรับรถเพื่อนำมาใช้

5. **การติดตั้ง** เครื่องจักรในอุตสาหกรรมส่วนหนึ่งจะเป็นเครื่องจักรที่ถูกวางอยู่กับที่ด้วยเหตุผลของกระบวนการผลิตหรือขนาดและน้ำหนัก การเลือกตำแหน่งที่ตั้งและการติดตั้ง เครื่องจักรดังกล่าวมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตและต่อประสิทธิภาพในการผลิต

สำหรับรถยนต์ของเราและเครื่องจักรที่มีลักษณะเคลื่อนที่ไปมาได้ การติดตั้งในความหมายข้างต้นอาจจะไม่มีก็ได้

6. **การลองเครื่อง** เมื่อเครื่องจักรถูกติดตั้งเรียบร้อยแล้ว ก่อนที่จะเริ่มทำการผลิตจริงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการทดลองเดินเครื่องเพื่อที่จะตรวจสอบสภาพเครื่อง การติดตั้งต่าง ๆ ว่าเรียบร้อยดีหรือไม่ ทำการปรับแต่งเครื่องจักรเพื่อให้ได้สมรรถนะที่พึงพอใจ

เมื่อได้รับทราบว่าสามารถไปรับรถได้แล้ว ขั้นตอนที่สำคัญก็คือการตรวจดูสภาพโดยรอบ เช่น สีกันชน ฯลฯ การทดลองใช้งานอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อที่จะดูว่าพอใจกับรถคันนี้หรือไม่

7. **การเริ่มใช้งาน** จากนั้นก็คือการเริ่มใช้งานเครื่องจักรในการผลิต นั่นก็คือการเริ่มใช้งานรถยนต์ที่ซื้อมาตามความประสงค์

8. **การปรับปรุง** หลังจากที่เครื่องจักรได้ผ่านการใช้งานมาเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้ว ชิ้นส่วนต่าง ๆ ย่อมต้องเสื่อมสภาพไปตามเวลา ดังนั้นจึงต้องมีการเปลี่ยนทดแทนชิ้นส่วนดังกล่าวเพื่อให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้เหมือนเดิม

ในกรณีรถยนต์ตัวอย่างก็เช่นกัน การเปลี่ยนทดแทนชิ้นส่วนที่หมดสภาพ เช่น สายพาน ยางล้อ ที่ปัดน้ำฝน หรือแม้แต่เครื่องยนต์ เป็นสิ่งที่กระทำได้เมื่อพิจารณาเห็นว่าเหมาะสมและคุ้มค่ากว่าการเปลี่ยนรถยนต์ใหม่ทั้งคัน

9. **การจำหน่ายทิ้ง** อย่างไรก็ตามเมื่อเวลาผ่านไป การเปลี่ยนทดแทนชิ้นส่วนเครื่องจักรเริ่มกลายเป็นการกระทำที่ไม่คุ้มค่าเพราะจำนวนชิ้นส่วนที่เสียหายเพิ่มขึ้น การเสื่อมสภาพเกิดเร็วขึ้น อะไหล่หายากและราคาแพง รวมทั้งเครื่องจักรจะล้าสมัย ไม่คุ้มค่าในการผลิตอีกต่อไป ดังนั้นเครื่องจักรดังกล่าวจะถูกจำหน่ายทิ้งไป รวมทั้งรถยนต์คันดังกล่าวด้วย

จากวัฏจักรอายุของเครื่องจักรที่กล่าวมา ความสำคัญจะอยู่ที่การทำให้อายุของเครื่องจักรนั้นยืดยาวอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งช่วงยืดอายุเครื่องจักรดังกล่าวจะทำได้มากที่สุดในช่วงระหว่างการเริ่มใช้งานไปจนถึงการจำหน่ายทิ้ง และวิธีการที่ใช้เพื่อยืดอายุเครื่องจักรในระหว่างช่วงดังกล่าวคือ "การบำรุงรักษา"

1.3 อะไรคือการบำรุงรักษา

ในความรู้สึกและความเข้าใจของคนทั่วไปแล้วมักจะมองกันว่าการบำรุงรักษานั้นเป็นเพียงการซ่อมแซมปรับปรุง อุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องจักร ที่เสียหายไปแล้วให้กลับมาทำงานได้ (ไม่ว่าจะดีเหมือนเดิมหรือไม่ก็ตาม) และยังเป็นที่ยอมรับกันว่าช่างที่สามารถซ่อมเครื่องได้เร็วนั้นเป็นช่างที่มีความสามารถถึงแม้ว่าจะต้องซ่อมกันบ่อยสักแค่ไหนก็ตาม ซึ่งแนวความคิดดังกล่าวนี้ล้าสมัยและไม่สามารถที่จะนำมาใช้ได้กับโลกของการแข่งขันเช่นในปัจจุบันได้อีกต่อไป ด้วยเหตุผลที่สำคัญประการหนึ่งคือการสูญเสียเวลาทำงานมากเกินไป ดังนั้นจึงควรต้องทำความเข้าใจที่ถูกต้องกับการบำรุงรักษาเสียก่อน

การบำรุงรักษาไม่ใช่กิจกรรมหลักของอุตสาหกรรมเมื่อเทียบกับการผลิต (ยกเว้นกิจการบางประเภท เช่น บริษัทรับจ้างบำรุงรักษา) แต่การบำรุงรักษาเป็นกิจกรรมการบริการที่จะทำให้เครื่องจักรมีอายุใช้งานนานขึ้น ซึ่งเท่ากับเป็นผลประโยชน์ตอบแทนต่อการลงทุนสูงขึ้น แต่ทั้งนี้ต้องอยู่ในเงื่อนไขที่ว่าค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาจะต้องไม่สูงจนทำให้ผลตอบแทนลดลง ด้วยเหตุนี้การบำรุงรักษาจึงหมายถึง "การจัดการดูแลให้เครื่องจักรอยู่ในสภาพพร้อมเพื่อการผลิตตลอดเวลา และสามารถให้ผลตอบแทนที่มีประสิทธิภาพสูงสุด"

ด้วยเหตุนี้โดยความหมายของการบำรุงรักษาข้างต้น การบำรุงรักษาที่ดีหมายถึง ความพยายามที่จะทำให้เครื่องจักรมีการหยุดการทำงานโดยที่ไม่ได้คาดคิดมาก่อนน้อยที่สุด (มีความพร้อม) และสามารถทำงานได้ด้วยขีดความสามารถสูงสุดตลอดเวลา ดังนั้นการบำรุงรักษาจึงควรประกอบด้วยวิธีการตามลำดับความสำคัญดังต่อไปนี้

1. การดูแลรักษา
2. การตรวจตราสภาพการทำงาน
3. การซ่อมแซม

1. **การดูแลรักษา** สิ่งแรกที่ต้องทำเพื่อยืดอายุเครื่องจักรก็คือการคอยดูแลเครื่องจักรเป็นประจำ การดูแลรักษาเครื่องจักรจะต้องดำเนินการไปตามหลักการทางวิศวกรรมที่เหมาะสมกับเครื่องจักรนั้น นอกจากนั้นยังมีการดูแลรักษาขั้นพื้นฐานที่ต้องกระทำเป็นประจำ ได้แก่ การทำความสะอาดก่อนหรือหลังการใช้งาน การเติมน้ำมันหล่อลื่น (สำหรับชิ้นส่วนที่ต้องการการหล่อลื่น) โดยปกติแล้วการดูแลรักษาเครื่องจักรที่ถูกต้องนั้นจะมีระบุอยู่ในคู่มือเครื่องจักรเสมอ

2. **การตรวจตราสภาพการทำงาน** หมายถึง การสังเกต การตรวจด้วยอุปกรณ์ที่เหมาะสมว่าการทำงานของเครื่องจักรเป็นปกติหรือไม่ ปัจจัยที่มีการตรวจกันโดยทั่วไปได้แก่ การสั่นสะเทือน ความร้อน ความดัน เสียง เป็นต้น ทั้งนี้เพราะว่าการทำงานที่ผิดปกติของเครื่องจักรเป็นผลเสียต่อกระบวนการผลิตและยังจะทำให้เครื่องจักรเสื่อมสภาพเร็วขึ้นอีกด้วย

จะต้องเข้าใจด้วยว่าการทำงานที่ผิดปกติของเครื่องจักรเกิดขึ้นจากความผิดปกติของชิ้นส่วนบางชิ้น ซึ่งเกิดขึ้นได้เสมอแม้ว่าจะมีการดูแลรักษาที่ดีแล้วก็ตาม เช่น การสึกหรอ ดังนั้นการตรวจสภาพการทำงานจึงต้องกระทำควบคู่ไปกับการดูแลรักษาเสมอ

3. **การซ่อมแซม** เป็นสิ่งสุดท้ายที่จะทำในกระบวนการบำรุงรักษา เนื่องจากช่วงเวลาที่ใช้ในการซ่อมแซมจะทำให้เครื่องจักรไม่อยู่ในสภาพใช้งานได้เป็นเวลานานถ้าไม่ได้มีการเตรียมการที่ดี ซึ่งหมายถึงการสูญเสียเวลาในการผลิต การซ่อมแซมนั้นจะหมายถึง การทำให้เครื่องจักรที่ชำรุดเสียหายจนใช้การไม่ได้กลับสู่สภาพที่ใช้งานได้ ซึ่งหากดำเนินการดูแลรักษาควบคู่ไปกับการตรวจสภาพการทำงานที่ดีและเหมาะสมจะช่วยลดงานซ่อมแซมลงไปเป็นจำนวนมาก

1.4 ความเกี่ยวข้องระหว่างการบำรุงรักษากับกิจกรรมอื่น

โดยทั่วไปเมื่อจะสร้างโรงงานอุตสาหกรรมประเภทใดประเภทหนึ่ง บุคลากรทางด้านบำรุงรักษามักจะถูกรับเข้าทำงานในโรงงานหลังจากที่เครื่องจักรได้ถูกติดตั้งเรียบร้อยและพร้อมที่จะดำเนินการผลิตแล้ว ซึ่งขั้นตอนการดำเนินการเช่นนี้มักจะก่อให้เกิดปัญหาแก่การบำรุงรักษาเป็นอย่างมาก ถ้าไม่ได้มีการคำนึงถึงการบำรุงรักษาไว้ล่วงหน้าในขณะที่กำลังทำกิจกรรมอื่น ๆ ในวัฏจักรอายุของเครื่องจักร ความเกี่ยวข้องระหว่างการบำรุงรักษากับกิจกรรมอื่น ๆ ในวัฏจักรอายุของเครื่องจักรจะเป็นไปในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งไม่จำเป็นว่าจะต้องใช้บุคลากรทางด้านบำรุงรักษาเข้ามาช่วยพิจารณาทุกเรื่อง เพียงแต่ผู้ที่รับผิดชอบกิจกรรมนั้น ๆ จะต้องคำนึงอยู่เสมอว่าเครื่องจักรต้องการการบำรุงรักษาและต้องมีการบำรุงรักษาเครื่องจักร

1. **การออกแบบ** เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ จะเกิดการชำรุดเสียหายจากการใช้งานได้ตลอดเวลา ดังนั้นการออกแบบที่ดีจะต้องคำนึงถึงการบำรุงรักษาควบคู่กันไปด้วยเพื่อรักษาประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งานของเครื่องจักร เช่น

ก. เลือกวัสดุทำชิ้นส่วนเครื่องจักรที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในการทำงาน เพื่อลดความเสียหายจากการเสื่อมสภาพเร็วเกินไป

ข. ในการประกอบเครื่องจักรต้องวางตำแหน่งชิ้นส่วนให้เหมาะสมกับความต้องการในการบำรุงรักษา ชิ้นส่วนที่ต้องการการบำรุงรักษาบ่อยครั้งจะต้องเข้าถึงได้ง่าย

ค. หลีกเลี่ยงไม่ให้ต้องรื้อเครื่องจักรทุกครั้งที่จะทำการบำรุงรักษาโดยเสริมส่วนประกอบที่ช่วยทำให้เกิดความสะดวกในการดูแลรักษาและการตรวจตราสภาพเข้าไป

ง. เลือกใช้กลวิธีเชื่อมต่อที่ถอดเข้าออกได้สะดวกกับส่วนประกอบที่ต้องมีการเปลี่ยนทดแทนหรือปรับแต่งบ่อยครั้ง

2. **การติดตั้ง** ขั้นตอนการติดตั้งนี้มีความสำคัญมากต่อการบำรุงรักษา ทั้งนี้เพราะว่าโดยหลักการทางธุรกิจทั่วไปย่อมต้องมีความพยายามที่จะประหยัดพื้นที่ และมักจะคำนึงถึงความสะดวกของฝ่ายผลิตเป็นสำคัญ ดังนั้นจะต้องระวังไม่ให้การติดตั้งที่กระทำภายใต้เงื่อนไขดังกล่าวข้างต้นเข้าไปขวางการทำงานของฝ่ายบำรุงรักษาซึ่งจะต้องมีการเข้าออกพื้นที่ตลอดเวลาเพื่อการตรวจรักษาสภาพและการเข้าซ่อมแซม นอกจากนี้การมีพื้นที่คับแคบเกินไปก็จะเป็นการกีดขวางการทำงานของฝ่ายบำรุงรักษาด้วย แม้จะมีการซ่อมเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียวก็ตาม

ดังนั้นในการติดตั้งเครื่องจักร ฝ่ายบำรุงรักษาจึงต้องเข้าไปมีส่วนร่วมในการให้ความเห็นในแง่มุมของการบำรุงรักษาว่าจะมีข้อขัดข้องอย่างไร วางเครื่องจักรแบบไหนจึงจะสะดวกแก่การทำงาน ทำการตกลงกับฝ่ายอื่นที่เกี่ยวข้องเพื่อที่จะติดตั้งเครื่องจักรให้เหมาะสมสำหรับทุกฝ่ายมากที่สุด

3. **การลองเครื่อง** โดยปกติฝ่ายบำรุงรักษามักจะเข้าไปมีส่วนร่วมในการลองเครื่องเพื่อจะได้รับรู้สภาพของเครื่องจักรตั้งแต่เริ่มแรกอยู่แล้ว รวมทั้งจะได้เรียนรู้กลวิธีการปรับแต่งเครื่องจักรซึ่งจะช่วยให้สามารถเตรียมตัวสำหรับการบำรุงรักษาได้เป็นอย่างดี

4. **การใช้งาน** เมื่อเครื่องจักรถูกใช้งานในการผลิตอย่างจริงจัง ฝ่ายบำรุงรักษามีหน้าที่ที่จะต้องเข้าไปดูแลเครื่องจักร ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวอาจจะทำให้เกิดการหยุดชะงักของกระบวนการผลิตได้ ดังนั้นจึงต้องมีการประสานงานกันระหว่างฝ่ายผลิตกับฝ่ายบำรุงรักษาเป็นอย่างดีโดยให้พิจารณาจากประสิทธิภาพสูงสุดของเครื่องจักรเป็นสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2 กลยุทธ์ในการบำรุงรักษา

2.1 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของวิธีการบำรุงรักษาพื้นฐานแบบต่าง ๆ โดยที่จะแสดงให้เห็นข้อดี ข้อเสีย หรือขีดจำกัดของแต่ละวิธี เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ความเหมาะสมของวิธีการบำรุงรักษาแต่ละวิธีกับเครื่องจักรที่ใช้งานอยู่ได้ อีกทั้งยังมีแนวทางที่ช่วยในการพิจารณาเลือกวิธีการบำรุงรักษาอีกด้วย

นอกจากนั้นยังมีการกล่าวถึงระบบการบำรุงรักษาแบบต่าง ๆ ที่กำลังใช้กันอยู่อย่างแพร่หลายในปัจจุบันแต่ก็มิได้กล่าวถึงในรายละเอียดมากนัก ซึ่งในปัจจุบันก็มีหนังสือหลายเล่มที่เขียนถึงระบบการบำรุงรักษาแบบต่าง ๆ อยู่มากพอสมควร และในตอนท้ายของบทนี้จะกล่าวถึงการจัดการบำรุงรักษาให้สัมพันธ์กับการจัดการผลิตโดยรวม

2.2 นิยาม

ในปัจจุบันมีการเสนอวิธีการและระบบการบำรุงรักษาหลายรูปแบบด้วยกันและยังมีการเรียกชื่อสลับกันไปมา ซึ่งทำให้เกิดความสับสนไม่เข้าใจว่าควรจะหมายความว่าอย่างไรกันแน่ เนื่องจากใช้คำเรียกเหมือนกันแต่มีความหมายแตกต่างกัน ดังนั้นก่อนที่จะกล่าวถึงรายละเอียดในบทนี้ต่อไป ก็ควรจะต้องทำความเข้าใจกับความหมายของคำบางคำที่จะใช้ในหนังสือเล่มนี้เสียก่อน

ประการแรก คำที่ใช้เรียกชื่อวิธีการบำรุงรักษา ในที่นี้จะใช้คำที่แสดงความหมายพื้นฐานมากที่สุดและจะพยายามให้คำอธิบายถึงความหมายอื่นที่ใช้เรียกกัน

ประการที่สอง เมื่อกล่าวถึงระบบการบำรุงรักษาจะใช้ชื่อที่เรียกกันโดยเจ้าของระบบเป็นหลัก

สำหรับคำว่า **"วิธีการบำรุงรักษา"** ในที่นี้จะหมายถึง รูปแบบวิธีปฏิบัติอย่างใดอย่างหนึ่ง ส่วนคำว่า **"ระบบ"** จะหมายถึงการนำเอาวิธีการมาจัดผสมกันเป็นรูปแบบปฏิบัติรวม ๆ

2.3 วิธีการบำรุงรักษาพื้นฐาน

โดยทั่วไปวิธีการบำรุงรักษาที่จัดได้ว่าเป็นรูปแบบพื้นฐานสามารถจำแนกออกได้เป็น 4 ประเภทด้วยกัน ซึ่งถ้าเรียกให้ชัดเจนตามรูปแบบวิธีปฏิบัติการแล้ว ได้แก่

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. การบำรุงรักษาแบบพัฒนา (Design-Out Maintenance)
2. การบำรุงรักษาแบบซ่อมแซม (On-Failure Maintenance)
3. การบำรุงรักษาแบบตามกำหนดเวลา (Fixed Time Maintenance)
4. การบำรุงรักษาแบบตามสภาพ (Condition-Based Maintenance)

2.3.1 การบำรุงรักษาแบบพัฒนา (Design-Out Maintenance)

การบำรุงรักษาโดยวิธีการนี้ครอบคลุมถึง การออกแบบใหม่ การแก้ไขปรับปรุง การดัดแปลง เครื่องมือ/อุปกรณ์ ซึ่งดูเหมือนว่าจะไม่ตรงกับความหมายของการบำรุงรักษาโดยทั่วไปนัก แต่มีเหตุผลอยู่ 2 ประการที่บอกว่าวิธีการนี้สามารถนับเป็นส่วนหนึ่งของการบำรุงรักษาได้ คือ

(ก) ฝ่ายบำรุงรักษาเป็นหน่วยงาน ที่สามารถทำการพัฒนาเครื่องจักรได้ดีที่สุด เพราะว่าเป็นหน่วยงานที่มีความคุ้นเคยกับเครื่องจักรจึงทราบประวัติและสาเหตุความเสียหายของเครื่องจักรที่ผ่านมาดีกว่าใคร

(ข) เนื่องจากว่าเมื่อทำการบำรุงรักษาแบบพัฒนาไปแล้วจะเกิดผลลัพธ์ที่ดีโดยตรงกับการบำรุงรักษา เพราะว่าเครื่องจักรจะทำงานได้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมยิ่งขึ้นทำให้อัตราความเสียหายของเครื่องจักรลดลง

การบำรุงรักษาแบบพัฒนานี้หากทำอย่างถูกต้องจะทำให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพและมีอายุใช้งานยืนยาวขึ้น แต่การบำรุงรักษาวิธีนี้ต้องเสียค่าใช้จ่ายและเวลาค่อนข้างมากในการศึกษาและพัฒนา และยังมีความเสี่ยงที่จะไม่ประสบความสำเร็จถ้าหากว่าดำเนินการด้วยวิธีการสุ่มทำไปเรื่อย ๆ โดยปราศจากการไตร่ตรองเสียก่อน ดังนั้นถ้าต้องการจะให้ได้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจ ก็จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเข้าให้ถึงรากปัญหาของเครื่องจักรที่แท้จริง รวมทั้งจะต้องศึกษาหาวิธีแก้ไขที่ถูกต้องก่อนที่จะเริ่มดำเนินการ ทั้งนี้เพื่อมิให้กลายเป็นปัญหาซ้ำซ้อน

ตัวอย่างที่ไม่ดีตัวอย่างหนึ่งของการแก้ไขปรับปรุงก็คือ ไม่มีการวิเคราะห์ ซึ่งทำให้เกิดผลเสียที่ค่อนข้างรุนแรงพอสมควร

ในกรณีของเครื่องอัดขึ้นรูปขนาดใหญ่ (Press Machine) ซึ่งทำงานด้วยระบบข้อเหวี่ยงขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ความเสียหายเริ่มเกิดขึ้นจากสลักเกลียวที่ขันยึดมอเตอร์กับตัวเครื่องขาดบ่อยครั้ง หลังจากที่ได้ทำการซ่อมโดยการเปลี่ยนสลักเกลียวมาหลายครั้งหลายครา ฝ่ายบำรุงรักษาก็ตัดสินใจที่จะแก้ปัญหาให้เสร็จสิ้นในครั้งเดียว โดยการเชื่อมยึดฐานมอเตอร์ติดเข้ากับตัวเครื่อง แต่เนื่องจากเครื่องจักรได้ถูกใช้งานมาเป็นเวลานาน ชิ้นส่วนส่วนใหญ่ได้เสื่อมสภาพไปมาก ดังนั้นสิ่งที่เกิดตามมาคือเฟืองทดของเพลามอเตอร์รูด เพราะว่าความอ่อนแอของส่วนประกอบจะย้ายจากสลักเกลียว (ซึ่งใช้วิธีเชื่อมติดแทนไปแล้ว) มาอยู่ที่เฟือง (ซึ่งยังเป็นตัวเก่าอยู่) ผลเสียที่เกิดขึ้นคือ การเสียเวลาการผลิตซ้ำซ้อนหลายครั้งหลายครา เพราะในที่สุดก็ต้องมีการซ่อมใหญ่

ตามกรณีตัวอย่างนี้จะเห็นได้ว่าการบำรุงรักษาแบบพัฒนาจะต้องมีการวิเคราะห์ประวัติเครื่องจักรอย่างถูกต้อง (ซึ่งประวัติเครื่องจักรนั้นจะได้มาจากข้อมูลการบำรุงรักษาโดยวิธีอื่น) วิเคราะห์ความเสียหายอย่างเป็นระบบ ศึกษาหาวิธีแก้ไขที่เหมาะสม แล้วสุดท้ายจึงดำเนินการแก้ไข ซึ่งกระบวนการทั้งหมดนี้ต้องใช้เงินลงทุน เสียเวลา ต้องใช้บุคลากรที่มีความรู้เหมาะสม ดังนั้นเมื่อคิดจะทำการบำรุงรักษาวิธีนี้จึงต้องมี

การประเมินเสียก่อนว่าคุ้มค่าที่จะทำหรือไม่ ดังนั้นจึงควรที่จะใช้การบำรุงรักษาแบบพัฒนากับเครื่องจักรที่เป็นเครื่องจักรหลักในการผลิต (Critical Machine) เท่านั้น

ยังมีวิธีการบำรุงรักษาแบบหนึ่งที่เรียกกันว่าการบำรุงรักษาแบบแก้ไข (Corrective Maintenance) ซึ่งพบว่ามีที่ใช้อยู่ 2 ความหมายด้วยกัน ความหมายหนึ่งถูกใช้เรียกแทนการบำรุงรักษาแบบพัฒนา (Design-Out Maintenance) ในขณะที่มีการใช้คำว่าการบำรุงรักษาแบบแก้ไข (Corrective Maintenance) แทนคำว่าการบำรุงรักษาแบบซ่อมแซม (On-Failure Maintenance) เป็นครั้งคราวอยู่เหมือนกัน

2.3.2 การบำรุงรักษาแบบซ่อมแซม (On–Failure Maintenance)

การบำรุงรักษาแบบซ่อมแซมเป็นการเข้าไปทำการซ่อมแซมเครื่องจักรหลังจากที่เกิดความเสียหายต่อเครื่องจักรขึ้นแล้ว ซึ่งทำให้การบำรุงรักษาแบบซ่อมแซมเป็นวิธีการที่ไม่เหมาะสมที่จะใช้อย่างยิ่ง โดยเฉพาะในกรณีที่เป็นเครื่องจักรราคาแพง ซ่อมแซมยาก มีผลกระทบกระเทือนต่อการผลิตสูง มีผลกระทบต่อเครื่องจักรอื่น ๆ สูง และความเสียหายอาจก่อให้เกิดอันตรายถึงชีวิตได้ (เช่น Boiler) อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ยังมีความจำเป็นที่ต้องใช้เมื่ออยู่ในเงื่อนไข 2 ข้อ ต่อไปนี้

ก. เมื่อพิจารณาแล้วเห็นว่าไม่คุ้มที่จะลงทุนใช้วิธีการบำรุงรักษาแบบอื่นกับเครื่องจักรนั้น โดยทั่วไปแล้วเครื่องจักรดังกล่าวจะเป็นเครื่องจักรที่มีความสำคัญต่อการผลิตน้อย ราคาถูก ซ่อมแซมง่าย เช่น มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้หมุนเครื่องสูบน้ำที่ไม่ได้อยู่ในกระบวนการผลิต

ข. เมื่อไม่สามารถใช้วิธีการบำรุงรักษาแบบอื่นกับเครื่องจักรนั้นได้เนื่องจากลักษณะการทำงาน รูปร่างของเครื่องจักร รวมทั้งขีดความสามารถของบุคลากรในหน่วยงานด้วย

ดังนั้นควรที่จะได้มีการศึกษาเงื่อนไขที่กล่าวมาทั้ง 2 ข้อ รวมทั้งข้อเสียที่เกิดขึ้นจากการทำการบำรุงรักษาแบบซ่อมแซมซึ่งจะกล่าวถึงต่อไปให้ชัดเจนเสียก่อนที่จะเลือกใช้วิธีการนี้

ข้อเสียของการบำรุงรักษาแบบซ่อมแซมที่ควรนำมาพิจารณา ได้แก่

1. ไม่มีการเตือนล่วงหน้าถึงความเสียหายที่กำลังจะเกิดขึ้น ซึ่งในบางกรณีอาจจะนำมาซึ่งความเสียหายที่รุนแรงได้ทั้งชีวิตและทรัพย์สิน เช่น การระเบิดของหม้อน้ำ

2. ไม่สามารถควบคุมการหยุดชะงักของเครื่องจักรได้ ซึ่งจะเป็นสาเหตุให้มีการสูญเสียผลผลิตโดยไม่อาจคาดคะเนได้ นอกจากนั้นยังเกิดเวลาสูญเปล่าในกระบวนการผลิต

3. ต้องมีการกักตุนอะไหล่และ/หรือเครื่องจักรสำรองไว้เป็นจำนวนมาก เพื่อที่จะสามารถทำการซ่อมแซมเครื่องจักรได้ตลอดเวลา ถ้าไม่ต้องการให้เกิดการสูญเสียเวลาการผลิตเนื่องจากความไม่พร้อมของเครื่องจักรนานเกินไป ซึ่งหมายถึงเงินทุนที่ต้องจ่ายไปเพื่อการเตรียมพร้อมที่ไม่อาจคาดคะเนได้ นอกจากนั้นอะไหล่ที่เก็บไว้อาจจะตกค้างไม่ได้ใช้เป็นเวลานานทำให้ต้องสูญเสียพื้นที่เก็บของไปส่วนหนึ่ง ต้องเสียค่าดูแลอะไหล่เหล่านั้นถ้ายังต้องการให้แน่ใจว่ามันยังพร้อมที่จะถูกใช้งานได้

4. ถ้าต้องการให้เครื่องจักรได้รับการซ่อมแซมโดยรวดเร็ว จะต้องมีหน่วยงานบำรุงรักษาขนาดใหญ่เพื่อที่จะสามารถให้บริการได้ทั่วถึงและรวดเร็วตลอดเวลาเมื่อมีการร้องขอการซ่อมแซมเข้ามา ซึ่งหมายถึงค่าใช้จ่ายที่ต้องเสียไปเพียงเพื่อรอเวลาที่จะเกิดความเสียหาย และรวมถึงจำนวนเครื่องมือประจำตัวช่างที่ต้องมีให้จำนวนพอเหมาะกันอีกด้วย

5. ความเสียหายของเครื่องจักรหรือส่วนประกอบหนึ่งที่ไม่มีการควบคุมอาจก่อให้เกิดความเสียหายลุกลามไปถึงเครื่องจักรที่ทำงานร่วมกันหรือเครื่องจักรข้างเคียงได้ ซึ่งบางครั้งอาจจะรุนแรงกว่าความเสียหายของเครื่องจักรต้นเรื่องได้ เช่น หม้อน้ำรถยนต์รั่วจนทำให้เกิดความร้อนสูงซึ่งอาจทำให้เครื่องยนต์แตกร้าวได้

6. ก่อนที่เครื่องจักรจะเกิดความเสียหายจนถึงขั้นต้องร้องขอการซ่อมแซม การทำงานของมันย่อมต้องรวนเรไปจากสภาพการทำงานปกติ อันเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลผลิตไม่ได้คุณภาพและยังต้องสิ้นเปลืองพลังงานเนื่องจากประสิทธิภาพของเครื่องจักรลดลง

7. การสืบหาสาเหตุความเสียหายของเครื่องจักรทำได้ยาก โอกาสผิดพลาดสูง แม้ว่าจะใช้ผู้เชี่ยวชาญ ทั้งนี้เพราะว่าความเสียหายได้เกิดขึ้นแล้ว เครื่องจักรต้องหยุดการทำงาน ทำให้ไม่เห็นความผิดปกติในการทำงานที่อาจเป็นสาเหตุของความเสียหายได้ ทำให้ยากที่จะหาทางแก้ไขปรับปรุงเครื่องจักรหรือกระบวนการผลิตเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายต่อไปได้ จึงอาจต้องมีการลองผิดลองถูกเพื่อหาทางแก้ปัญหาหลายครั้งซึ่งไม่เป็นผลดีต่อการผลิต

2.3.3 การบำรุงรักษาแบบตามกำหนดเวลา (Fixed Time Maintenance)

วิธีการบำรุงรักษาแบบนี้ต้องมีการกำหนดช่วงระยะเวลาที่จะเข้าดำเนินการบำรุงรักษาเครื่องจักรแต่ละเครื่องอย่างสม่ำเสมอ เกณฑ์ที่ใช้ในการกำหนดช่วงเวลาการบำรุงรักษาสามารถกำหนดได้จากจำนวนชั่วโมงทำงาน จำนวนชิ้นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ การบำรุงรักษาแบบตามกำหนดเวลานี้จะเน้นที่การดูแลรักษาและการตรวจสภาพการทำงานตามแผนดำเนินงานที่กำหนดขึ้นเป็นสำคัญ ซึ่งกิจกรรมส่วนใหญ่จะครอบคลุม การทำความสะอาด การเปลี่ยนอะไหล่ การเติม/เปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่น การปรับแต่งต่าง ๆ

การบำรุงรักษาแบบตามกำหนดเวลาจะถูกใช้อย่างได้ผลก็ต่อเมื่อการวางแผนดำเนินงานทำได้อย่างเหมาะสม ความเหมาะสมดังกล่าวคือ ช่วงระยะเวลาระหว่างการเข้าบำรุงรักษาสองครั้งติดต่อกันจะต้องไม่นานเกินไปจนทำให้เครื่องจักรเกิดความเสียหายขึ้นก่อนที่จะทำการบำรุงรักษา หรือไม่กระชั้นเกินไปจนเป็นการสิ้นเปลืองทั้งเวลาและอะไหล่โดยไม่จำเป็น การที่จะวางกำหนดการบำรุงรักษาให้ดีได้จำเป็นที่จะต้องรู้ข้อมูลตัวหนึ่งของเครื่องจักรอย่างแน่นอน ข้อมูลตัวนั้นก็คืออายุการทำงานของชิ้นส่วนในเครื่องจักรที่สามารถใช้เป็นตัวกำหนดช่วงระยะการบำรุงรักษาได้ การบำรุงรักษาแบบตามกำหนดเวลาจะถูกนำมาใช้ไม่ได้โดยเด็ดขาดถ้าหากขาดข้อมูลของอายุการทำงาน นอกจากนั้นวิธีการบำรุงรักษาแบบนี้ยังอาจสร้างความเสียหายโดยไม่เจตนาต่อชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ เนื่องจากต้องมีการดำเนินการบ่อยครั้ง

สำหรับคำว่า **"อายุการทำงานของเครื่องจักร (Machine Life)"** ต้องเป็นที่เข้าใจว่าเป็นค่าเชิงสถิติโดยเป็นอายุการทำงานเฉลี่ยของเครื่องจักรนั้น อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ยนั้นต้องสูงถึง 70-80% ขึ้นไปจึงจะถือได้ว่าเป็นอายุการทำงานของเครื่องจักรได้ และต่อไปจะเรียกค่านี้ว่า **"อายุการทำงานเฉลี่ย" หรือ MTTF (Mean Time To Failure)** ส่วนช่วงระยะเวลาที่ใช้งานเครื่องจักรระหว่างการบำรุงรักษาที่ติดต่อกันซึ่งต้องสั้นกว่า MTTF เรียกว่า **"อายุการใช้งานเฉลี่ย" หรือ MTBF (Mean Time Before Failure)** สำหรับรายละเอียดของ MTTF และ MTBF จะอยู่ในหัวข้อ 2.4

ข้อดีและข้อเสียโดยทั่วไปของการบำรุงรักษาแบบตามกำหนดเวลาคือ

ข้อดี

1. ลดโอกาสของการเกิดความเสียหายอย่างฉับพลันของเครื่องจักรได้มากกว่า 80% ถ้าหากว่าค่า MTBF ที่เลือกใช้เหมาะสมกับค่า MTTF ของเครื่องจักรอย่างแท้จริง เนื่องจากชิ้นส่วนที่จะเสียหายได้ถูกเปลี่ยนไปก่อนในการดำเนินการบำรุงรักษาแล้ว ดังนั้นจึงช่วยป้องกันการหยุดชะงักแบบกะทันหันในกระบวนการผลิตซึ่งจะทำให้ต้องสูญเสียเวลาการผลิต สูญเสียวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ที่กำลังอยู่ในกระบวนการผลิต ฯลฯ

2. เมื่อรู้ MTTF ของเครื่องจักรอย่างแน่นอนแล้ว ก็สามารถกำหนดแผนดำเนินงานล่วงหน้าให้สอดคล้องกับหน่วยงานอื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ฝ่ายจัดซื้อ ฝ่ายผลิต ดังนั้นจึงไม่จำเป็นที่จะต้องเตรียมพร้อมบุคลากรและอะไหล่ไว้เป็นจำนวนมากตลอดเวลาเหมือนกับการบำรุงรักษาแบบซ่อมแซม จึงเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายได้เป็นอย่างมาก

3. สามารถกำหนดการใช้แรงงานได้อย่างมีประสิทธิภาพให้สอดคล้องกับแผนดำเนินงานที่วางไว้

ข้อเสีย

1. ไม่เป็นที่แน่นอนว่าจะได้เครื่องจักรที่ดีขึ้นหลังการบำรุงรักษา เนื่องจากค่า MTTF เป็นค่าทางสถิติ ดังนั้นจึงมีโอกาสที่อาจจะเปลี่ยนเอาชิ้นส่วนที่ยังดีอยู่ออกไปและแทนที่ด้วยชิ้นส่วนที่บกพร่องโดยไม่เจตนา เช่น ที่ 2,000 ชั่วโมงทำงาน (MTBF) เราอาจจะถอดเปลี่ยนสายพานซึ่งมีอายุใช้งาน 3,000 ชั่วโมงออกไป และใส่สายพานเส้นใหม่ซึ่งจะมีอายุใช้งานเพียง 1,500 ชั่วโมงเข้าไปแทน ซึ่งถึงแม้ว่าโอกาสดังกล่าวจะมีไม่มาก แต่ก็เป็นสิ่งที่ไม่พึงปราถนาจะให้เกิดขึ้น

2. อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องจักรจากการบำรุงรักษาได้หากไม่ระมัดระวัง เพราะเมื่อต้องเข้าทำการบำรุงรักษาบ่อยครั้ง โอกาสพลาดพลั้งย่อมต้องมีมากขึ้นถ้าไม่มีการจัดระบบวิธีดำเนินการบำรุงรักษาที่ดี

3. เมื่อต้องมีการเตรียมแผนดำเนินงาน จึงต้องสร้างองค์กรที่มีหน้าที่รับผิดชอบขึ้นมารองรับ ซึ่งเป็นการเพิ่มเนื้องานและค่าใช้จ่าย และยังจำเป็นต้องเสาะหาบุคลากรที่มีขีดความสามารถเหมาะสมกับการทำงาน (การวางแผน การหาค่า MTTF การกำหนดค่า MTBF) มาช่วยทำงานด้วย

4. ค่าใช้จ่ายในส่วนของอะไหล่สูงขึ้นเพราะต้องเปลี่ยนทดแทนตาม MTBF ซึ่งสั้นกว่า MTTF ส่วนการที่จะสูงขึ้นสักเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับว่าจะเลือกค่า MTBF ให้ใกล้กับค่า MTTF ได้แค่ไหน

5. เนื่องจากวิธีการบำรุงรักษาแบบตามกำหนดนี้ต้องมีการวางกำหนดการบำรุงรักษาอย่างชัดเจน ดังนั้นจึงใช้ได้ดีกับเครื่องจักร/ชิ้นส่วนของเครื่องจักรที่มี MTTF เท่านั้น การบำรุงรักษาแบบตามกำหนดนั้นมีหลาย ๆ แห่งที่เรียกกันว่าการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ในขณะที่อีกหลาย ๆ แห่งจะถือว่าการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเป็นระบบการบำรุงรักษาซึ่งจะกล่าวถึงอีกครั้งหนึ่งในหัวข้อ 2.4

การบำรุงรักษาตามแผนงาน (Scheduled Maintenance) เป็นอีกชื่อหนึ่งที่ใช้ในความหมายเดียวกันกับการบำรุงรักษาแบบตามกำหนดเวลา

2.3.4 การบำรุงรักษาแบบตามสภาพ (Condition-Based Maintenance)

เมื่อเปรียบเทียบวิธีการบำรุงรักษา 2 แบบที่กล่าวมาแล้วข้างต้นคือแบบซ่อมแซมกับแบบตามกำหนดเวลา โดยพิจารณาจากการใช้งานชิ้นส่วนของเครื่องจักรกับความเสียหายเป็นหลัก จะพบว่าโดยวิธีการบำรุงรักษาแบบซ่อมแซมนั้นชิ้นส่วนของเครื่องจักรจะถูกใช้งานได้จนถึงที่สุด แต่ไม่สามารถควบคุมการเกิดความเสียหายได้ ในขณะที่วิธีการบำรุงรักษาแบบตามกำหนดจะเปลืองอะไหล่กว่าแต่ลดโอกาสความเสียหายของการผลิต ดังนั้นจึงเกิดแนวความคิดเกี่ยวกับวิธีการบำรุงรักษาแบบใหม่ที่จะช่วยให้สามารถใช้งานเครื่องจักรได้เต็มที่และสามารถควบคุมความเสียหายที่ไม่ตั้งใจได้

ด้วยเหตุนี้วิธีการบำรุงรักษาแบบใหม่จึงขึ้นอยู่กับสภาพของเครื่องจักร การดำเนินการบำรุงรักษาจะเน้นอยู่ที่การคอยตรวจสภาพการทำงานของเครื่องจักรเพื่อที่จะควบคุมความเสียหาย และจะทำการดูแลรักษาและซ่อมแซมให้สอดคล้องกับความต้องการของเครื่องจักร อย่างไรก็ตามจากคำว่า "ตามสภาพของเครื่องจักร" ทำให้การใช้วิธีการบำรุงรักษาแบบนี้กับเครื่องจักรอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่จำเป็น 2 ข้อ คือ

ก. เครื่องจักรต้องมีอาการแสดงออกที่สะท้อนสภาพของเครื่องจักรหรือชิ้นส่วนของมันที่สามารถแปลความหมายได้ เช่น ความร้อน การสั่นสะเทือน ความดัน การสึกหรอ

ข. จะต้องมีวิธีการและ/หรืออุปกรณ์วัดสำหรับตรวจวัดอาการดังกล่าวของเครื่องจักรได้อย่างเหมาะสมกับความประสงค์

วิธีการบำรุงรักษาแบบตามสภาพจะเหมาะสมที่สุดกับระบบการผลิตที่ต้องทำอย่างต่อเนื่อง เช่น โรงกลั่นน้ำมัน โรงจักรไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรมเคมี ซึ่งการหยุดการผลิตไม่ว่าจะโดยตั้งใจหรือไม่ก็ตามจะทำให้สูญเสียผลประโยชน์มหาศาล วิธีการนี้จะช่วยในการตัดสินใจว่าสมควรที่จะหยุดเครื่องจักรเพื่อการบำรุงรักษาหรือไม่ หลังจากที่ได้ทำการพิจารณาอย่างถี่ถ้วนแล้วว่าจำเป็นถึงที่สุดจริง ๆ และผลเสียจากการไม่ยอมหยุดเครื่องจักรนั้นมีมากกว่าผลดี

สำหรับอุตสาหกรรมที่ลักษณะการผลิตเป็นแบบอื่น เช่น การผลิตแบบเป็นครั้งคราว การผลิตแบบเป็นรุ่น ก็สามารถใช้วิธีการบำรุงรักษาแบบตามสภาพนี้ได้ ทั้งนี้การตัดสินใจเลือกใช้วิธีการคงจะต้องพิจารณาจากข้อดี/ข้อเสียต่อไปนี้

ข้อดี

1. การดำเนินการบำรุงรักษาส่วนใหญ่เน้นที่การตรวจสภาพของเครื่องจักร ซึ่งวิธีการตรวจวัดส่วนใหญ่สามารถทำได้ในขณะที่เครื่องจักรกำลังทำงานอยู่ ดังนั้นจึงไม่ทำให้ต้องสูญเสียเวลาอันมีค่าในการผลิตเพื่อไปทำการบำรุงรักษาเหมือนกับวิธีการบำรุงรักษาแบบอื่นที่ได้กล่าวถึงมาแล้ว

2. เมื่อนำผลจากสภาพเครื่องจักรมาประมวลอย่างเหมาะสม จะทำให้สามารถหยุดการทำงานของเครื่องจักรได้ก่อนเกิดความเสียหาย เมื่อสังเกตพบว่าสภาพของเครื่องจักรไม่สมควรที่จะใช้ทำการผลิตอีกต่อไป การหยุดเครื่องจักรเพื่อเปลี่ยนลูกปืน (Bearing) บางตัวจะช่วยให้ชิ้นส่วนหลักของเครื่องจักร เช่น เพลา ใบพัด ไม่เกิดความเสียหายมากจนใช้งานไม่ได้

3. การประมวลสภาพเครื่องจักรอย่างต่อเนื่องทำให้สามารถใช้งานเครื่องจักรได้จนถึงที่สุดก่อนที่จะหยุดใช้งานเพื่อทำการบำรุงรักษา จึงเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาทั้งด้านอะไหล่และแรงงาน

4. สามารถปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตให้เหมาะสมกับสภาพเครื่องจักรเพื่อที่จะยืดอายุของเครื่องจักรออกไป เช่น การลดอัตราการผลิต การกระทำเช่นนี้จะช่วยให้สามารถวางแผนดำเนินการหยุดกระบวนการผลิตเพื่อทำการบำรุงรักษาพร้อมกันทั้งระบบได้ถ้าต้องการ

5. ความสามารถที่สำคัญที่สุดอันหนึ่งของวิธีการบำรุงรักษาแบบตามสภาพคือ การช่วยหาสาเหตุของความเสียหายของเครื่องจักร ทั้งนี้เพราะมีความได้เปรียบตรงที่ว่าวิธีการตรวจวัดสภาพส่วนใหญ่สามารถกระทำได้ในขณะที่เครื่องจักรกำลังทำงานอยู่ ดังนั้นในทันทีที่ร่องรอยความเสียหายถูกตรวจพบการติดตามร่องรอยเพื่อวิเคราะห์หาต้นเหตุย่อมกระทำได้ง่าย และจะส่งผลให้ทำการบำรุงรักษาได้ง่ายรวดเร็วและตรงกับสาเหตุ

6. จากความสามารถดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น การวางแผนการบำรุงรักษาจะสามารถทำได้อย่างสมบูรณ์และสอดคล้องกับสภาพความเสียหายมากกว่าวิธีการบำรุงรักษาแบบอื่น ๆ

ข้อเสีย

1. การบำรุงรักษาแบบตามสภาพที่จะประสบความสำเร็จได้จำเป็นต้องมีระบบการจัดการที่สมบูรณ์ ดังนั้นหน่วยงานบำรุงรักษาจึงต้องเป็นหน่วยงานที่สมบูรณ์ในตัวเองเพื่อให้มีความคล่องตัวในการจัดการ ซึ่งอาจจะเป็นปัญหาสำหรับองค์กรขนาดย่อมที่ต้องการจะเลือกใช้วิธีการบำรุงรักษาแบบนี้ได้

2. เครื่องจักร/ชิ้นส่วนต้องแสดงอาการที่สื่อถึงสภาพของตัวมันเองได้ ซึ่งถ้าไม่มีหรือไม่สามารถหาได้จะทำให้ไม่สามารถใช้วิธีการบำรุงรักษาแบบตามสภาพกับเครื่องจักร/ชิ้นส่วนนั้น ๆ ได้

3. การที่จะใช้วิธีการบำรุงรักษาแบบตามสภาพให้เต็มขีดความสามารถนั้น จะต้องมีบุคลากรที่มีความรู้และทักษะในศาสตร์อย่างดีเพื่อให้การทำงานโดยเฉพาะการวินิจฉัยสาเหตุ เป็นที่เชื่อถือและยอมรับได้

4. ต้องมีการลงทุนทางด้านอุปกรณ์วัด ซึ่งราคาโดยทั่วไปในปัจจุบันยังค่อนข้างสูงอยู่

5. ต้องมีการทำงานตลอดเวลา ซึ่งครอบคลุมทั้งการวางแผนดำเนินการ การวิเคราะห์ การตรวจวัด

6. ผลตอบแทนที่ได้ไม่ได้อยู่ในรูปของเม็ดเงิน แต่จะเป็นผลกำไรของเวลาในการผลิตที่เพิ่มขึ้น ค่าอะไหล่น้อยลง เครื่องจักรมีอายุทำงานนานขึ้น ซึ่งในระบบการจัดการบางรูปแบบจะไม่สามารถมองเห็นผลประโยชน์ในส่วนนี้ได้

การบำรุงรักษาแบบตามสภาพถูกเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance) เนื่องจากวิธีการนี้สามารถที่จะใช้ทำนายความเสียหายของเครื่องจักรได้ล่วงหน้า การจัดระบบการบำรุงรักษาแบบตามสภาพจะถูกอธิบายอีกครั้งหนึ่งในบทที่ 3

2.4 อายุการทำงานของเครื่องจักร (Machine Life)

ในหัวข้อที่ผ่านมาได้กล่าวถึงวิธีการบำรุงรักษาพื้นฐานในรูปแบบต่าง ๆ กัน ซึ่งพารามิเตอร์ตัวหนึ่งที่ถูกกล่าวถึงอย่างมาก ได้แก่ อายุการทำงานของเครื่องจักร ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงหลักการและเหตุผลของแต่ละวิธีการดีขึ้น ในหัวข้อนี้จะอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับเรื่องอายุการทำงาน

โดยทั่วไปชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลเมื่อใช้งานไป ถ้าไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากสาเหตุที่ไม่สมควรหรือผิดปกติ เช่น อุบัติเหตุ การใส่ภาระเกินพิกัด (Overload) การใช้เครื่องจักรผิดวิธี ความเสียหาย

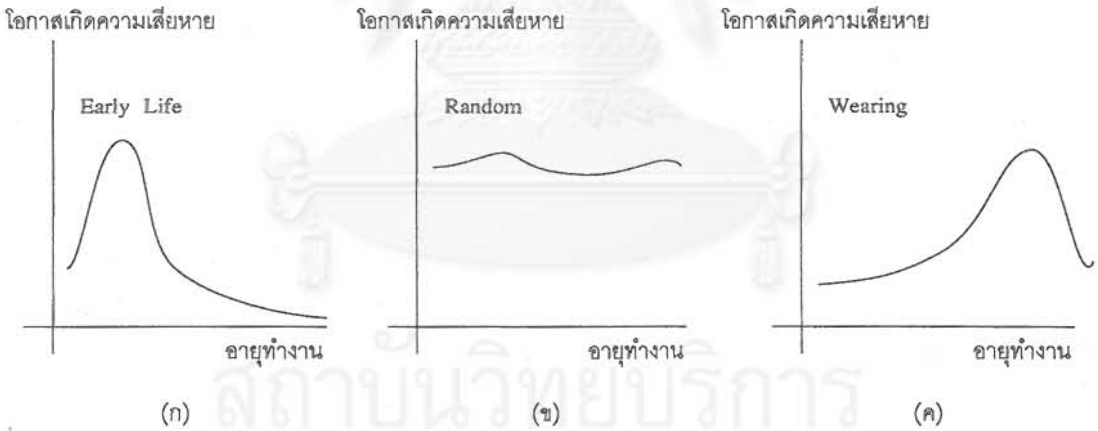
ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จะเกิดขึ้นเป็นสัดส่วนกับเวลาในการใช้งานเครื่องจักรนั้น ซึ่งสาเหตุส่วนใหญ่จะมาจากความล้า การสึกหรอจากการกัดกร่อนและ/หรือการเสียดสีแล้วแต่กรณี และสำหรับชิ้นส่วนที่ต้องทำงานภายใต้อุณหภูมิสูงยังอาจจะเสียหายได้ด้วยปรากฏการณ์การคืบ (Creep Effect) อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตาม สาเหตุของความไม่แน่นอนต่าง ๆ ในทางปฏิบัติทั้งจากการผลิตชิ้นส่วน เนื้อวัสดุ การทำงาน อายุการทำงานดังกล่าวจึงไม่แน่นอน ซึ่งอาจจะจำแนกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ตามรูปที่ 2.1 คือ

กราฟ (ก) ซึ่งเรียกว่าเป็นกลุ่ม Early Life เป็นกลุ่มที่ชิ้นส่วนเกิดความเสียหายในระยะเวลาอันสั้นหลังจากที่ถูกใช้งานไปไม่นานนัก ชิ้นส่วน/เครื่องจักรกลุ่มนี้จะเป็นพวกที่มีปัญหา เช่น เมื่อเครื่องจักรอยู่ในสภาพแวดล้อมการทำงานที่ไม่เหมาะสม การออกแบบไม่ถูกต้อง เป็นเครื่องจักรทดลองใช้งาน อาจจะเรียกได้ว่ามีอายุการทำงานของชิ้นส่วน/เครื่องจักรสั้นเกินไป

กราฟ (ข) กลุ่ม Random แสดงถึงชิ้นส่วนที่เสียหายโดยไม่เลือกเวลา หรือมีอัตราการเสียหายเฉลี่ยกันไป ชิ้นส่วนและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่จะมีรูปแบบความเสียหายแบบนี้ ลักษณะเช่นนี้ต้องถือว่าไม่มีอายุใช้งาน

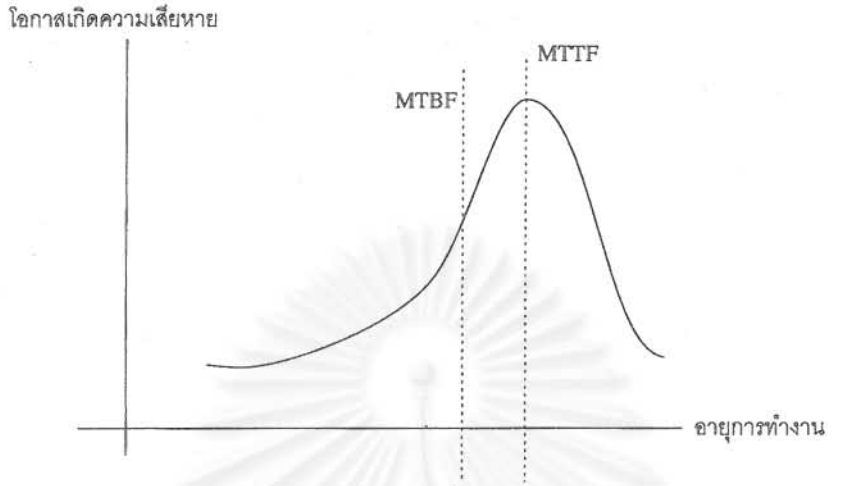
กราฟ (ค) เป็นรูปแบบความเสียหายที่เรียกได้ว่ามีอายุการทำงาน และเป็นอายุการทำงานที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมและเป็นปกติ ชิ้นส่วนทางกลส่วนใหญ่จะมีลักษณะความเสียหายตามแบบรูป (ค) นี้



รูปที่ 2.1 รูปแบบความเสียหายของเครื่องจักร

ดังนั้นเฉพาะชิ้นส่วนที่เกิดความเสียหายตามแบบในรูป (ค) เท่านั้นที่จะสามารถคำนวณหาค่าอายุการทำงานเฉลี่ย (Mean Time To Failure, MTTF) ได้ โดยใช้อายุทำงานตรงจุดสูงสุดเป็นเกณฑ์ (ดูรูปที่ 2.2)

จะต้องเข้าใจอยู่เสมอว่าค่า MTTF นี้เป็นเพียงระยะเวลาตรงที่มีโอกาสสูงสุดที่จะเกิดความเสียหายเท่านั้น เช่น อัตราความเสียหายที่ MTTF เป็น 77% มีความหมายว่าถ้าใช้เครื่องจักร 100 เครื่องที่เหมือนกันทุกประการมาทำงานที่เหมือนกัน จะมีเครื่องจักร 77 เครื่องที่เสียหายที่เวลา MTTF ในขณะที่



รูปที่ 2.2 การกำหนดค่า MTTF และ MTBF

เครื่องจักรที่เหลืออยู่จะเกิดความเสียหายก่อนและหลังเวลาที่ MTTF ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยจึงต้องทำการบำรุงรักษาก่อนถึงค่า MTTF ซึ่งเราเรียกช่วงระยะเวลานี้ว่าอายุการใช้งานเฉลี่ย (Mean Time Between Failure ; MTBF) การกำหนดว่าจะใช้ค่า MTBF เท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับความแม่นยำในการเก็บข้อมูล วิธีการประมวลข้อมูล และประสบการณ์ของผู้ดำเนินการ

2.5 ระบบการบำรุงรักษา

จากคำอธิบายในเรื่องวิธีการบำรุงรักษาแบบต่าง ๆ นั้น จะเห็นได้ว่าในโรงงานโรงหนึ่งซึ่งมีการใช้เครื่องจักรหลายประเภทด้วยกันนั้นเป็นการยากที่จะใช้วิธีการบำรุงรักษาแบบเดียวกันกับเครื่องจักรทุกเครื่อง การที่จะเลือกใช้วิธีการบำรุงรักษาแบบใดนั้นจะต้องพิจารณาจากเงื่อนไขหลายประการ ได้แก่

1. รูปร่างของเครื่องจักร
2. ลักษณะการทำงานของเครื่องจักร
3. ลักษณะการทำงานของระบบ
4. รูปแบบความเสียหายของเครื่องจักร
5. เงินทุน
6. กำลังคน
7. ขีดความสามารถของฝ่ายบำรุงรักษา

จากการพิจารณาในแง่ทางเศรษฐศาสตร์ จะสามารถเรียงลำดับวิธีการบำรุงรักษาตามความคุ้มค่าในการลงทุนและผลตอบแทนที่ได้รับตามลำดับจากดีที่สุดลงไปดังต่อไปนี้

1. การบำรุงรักษาแบบตามสภาพ
2. การบำรุงรักษาแบบตามกำหนด
3. การบำรุงรักษาแบบซ่อมแซม

อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของตัวเครื่องจักรเองจะมีผลต่อการเลือกวิธีการบำรุงรักษาด้วย ซึ่งสามารถใช้เกณฑ์ตามตารางที่ 2.1 ช่วยประกอบการพิจารณาได้

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์การเลือกวิธีการบำรุงรักษา

ลักษณะเครื่องจักร/ชิ้นส่วน	วิธีการบำรุงรักษาตามลำดับที่น่าจะเลือกปฏิบัติ
1 สามารถตรวจวัดสภาพของเครื่องจักรได้, รู้ MTTF	การบำรุงรักษาแบบตามสภาพ การบำรุงรักษาแบบตามกำหนด การบำรุงรักษาแบบซ่อมแซม
2. สามารถตรวจวัดสภาพของเครื่องจักรได้, ไม่รู้ MTTF	การบำรุงรักษาแบบตามสภาพ การบำรุงรักษาแบบซ่อมแซม
3. ไม่สามารถตรวจวัดสภาพของเครื่องจักรได้, รู้ MTTF	การบำรุงรักษาแบบตามกำหนด การบำรุงรักษาแบบซ่อมแซม
4. ไม่สามารถตรวจวัดสภาพของเครื่องจักรได้, ไม่รู้ MTTF	การบำรุงรักษาแบบซ่อมแซม
5. เครื่องจักรเสียหายบ่อยผิดปกติ	การบำรุงรักษาแบบพัฒนา

การใช้ตารางที่ 2.1 เพื่อเลือกวิธีการบำรุงรักษาที่เหมาะสมให้ทำดังนี้ ศึกษาเครื่องจักร/ชิ้นส่วนว่าจะเข้าอยู่ในลักษณะแบบใด สมมติว่าเป็นแบบที่ 2 คือ เครื่องจักรนั้นแสดงอาการที่บ่งชี้ถึงสภาพของตัวมันได้ เช่น มีความร้อนสูงผิดปกติเมื่อใกล้จะเสียหาย แต่โอกาสเกิดความเสียหายมีลักษณะเป็นแบบที่ไม่สามารถกำหนด MTTF ลงไปอย่างแน่นอนได้ คือแบบ (ข) ในรูปที่ 2.1 ในกรณีเช่นนี้ให้เลือกใช้วิธีการบำรุงรักษาแบบตามสภาพก่อน ถ้าหากไม่สามารถกระทำได้จึงให้เลือกวิธีการบำรุงรักษาแบบซ่อมแซม จะเห็นได้ว่าลักษณะของเครื่องจักรในตัวอย่างนี้ไม่มีทางที่จะทำการบำรุงรักษาแบบตามกำหนดเวลาได้เพราะไม่รู้ค่า MTTF

อย่างไรก็ตามตารางที่ให้มานี้แสดงแนวทางการเลือกใช้วิธีการบำรุงรักษาสำหรับเครื่องจักร/ชิ้นส่วนเฉพาะแต่ละตัว สำหรับการจัดการบำรุงรักษาที่ดีจะต้องมีการผสมผสานวิธีการบำรุงรักษาต่าง ๆ เข้าด้วยกันให้เหมาะสมกับทรัพยากรของโรงงาน ได้มีการเสนอระบบการบำรุงรักษาขึ้นมาหลายระบบด้วยกัน ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไปนี้พอเป็นสังเขป

2.5.1 ระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance)

ระบบนี้จะเน้นการวางแผนดำเนินการบำรุงรักษาล่วงหน้า โดยมีหน่วยงานบำรุงรักษาเป็นผู้ดำเนินการบำรุงรักษา ระบบนี้ยังคงเน้นการใช้วิธีการบำรุงรักษาแบบตามกำหนดเป็นสำคัญ ถึงแม้ว่าจะมีการกล่าวถึงวิธีการบำรุงรักษาแบบตามสภาพอยู่บ้างแต่ยังคงอยู่ในระดับที่อาศัยการสังเกตของบุคคลเท่านั้น โดยมีจุดประสงค์อยู่ที่การปรับปรุงค่า MTTF เป็นหลัก

2.5.2 ระบบการบำรุงรักษาแบบพึ่งความเชื่อถือได้ (Reliability–Centered Maintenance ; RCM)

ระบบการจัดการบำรุงรักษาแบบพึ่งความเชื่อถือได้นี้เป็นระบบที่เน้นการบำรุงรักษาทุกรูปแบบที่เหมาะสม โดยเสนอวิธีการที่จะใช้เป็นเกณฑ์ตัดสินการเลือกรูปแบบการบำรุงรักษาที่เหมาะสมกับชิ้นส่วน/เครื่องจักรอย่างเป็นระบบ ระบบการจัดการบำรุงรักษาแบบพึ่งความเชื่อถือได้ยังเสนอแนะขั้นตอนในการพิจารณาโอกาสเกิดความเสียหายโดยใช้การวิเคราะห์ความล้มเหลวและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis; FMEA) อย่างไรก็ตามระบบนี้ยังมุ่งไปที่การดำเนินการบำรุงรักษาโดยหน่วยงานบำรุงรักษาเป็นหลัก

2.5.3 ระบบการบำรุงรักษาแบบเพิ่มประสิทธิผลที่ทุกคนมีส่วนร่วม (Total Productive Maintenance ; TPM)

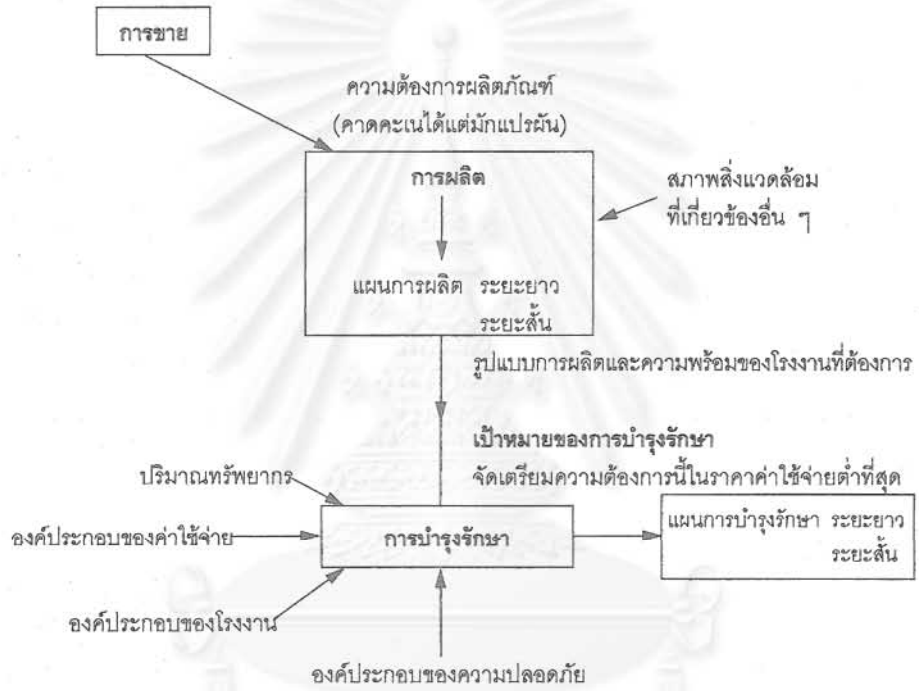
ปรัชญาของ TPM คือการที่ทุกคนในองค์กรต้องมีความรับผิดชอบร่วมกันต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการทำผลประโยชน์ให้แก่องค์กร TPM จะเน้นการสร้างจิตสำนึกเกี่ยวกับการบำรุงรักษา การแบ่งความรับผิดชอบ การทำงานเป็นทีม การวางแผนงาน ที่ทุกคนต้องมีส่วนร่วมให้ข้อเสนอแนะและปฏิบัติตาม TPM ไม่ได้กำหนดแนวทางในการจัดการบำรุงรักษาของหน่วยงานบำรุงรักษา เพียงแต่กำหนดมาตรฐานการบำรุงรักษาขั้นต่ำที่ทุกคนต้องมีส่วนร่วม อย่างไรก็ตามอาจจะกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าหน่วยงานบำรุงรักษาสามารถที่จะเลือกระบบการบำรุงรักษาใด ๆ ก็ได้ที่เหมาะสมสำหรับตนเอง

2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตกับการบำรุงรักษา

การจัดรูปแบบองค์กรของอุตสาหกรรมมีความเป็นไปได้หลายทางด้วยกัน ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของอุตสาหกรรม กระบวนการผลิต และนโยบายของผู้บริหาร หน่วยงานบำรุงรักษาอาจจะเป็นหน่วยงานที่เทียบเท่ากับฝ่ายผลิตหรืออาจจะเป็นเพียงหน่วยงานย่อยอยู่ในฝ่ายผลิตก็ได้ การใช้ทรัพยากร ซึ่งได้แก่ บุคลากร เครื่องมือ/อุปกรณ์ อะไหล่ และงบประมาณ อาจจะมีการแยกส่วนกันอย่างชัดเจนหรืออาจใช้ร่วมกันบางส่วนหรือร่วมกันทั้งหมดก็ได้ ดังนั้นการสร้างความสัมพันธ์ภายในองค์กรระหว่างฝ่ายผลิตกับฝ่ายบำรุงรักษาจึงต้องพิจารณาเป็นกรณี ๆ ไป อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตกับการบำรุงรักษาในเชิงเทคนิคนั้นก็ยังมีหลักการโดยทั่ว ๆ ไปที่สามารถนำมาวางแนวทางในการพิจารณาวางแผนการผลิตที่มีประสิทธิภาพได้

จุดประสงค์ของการผลิตนั้นก็คือ การทำผลผลิตให้ได้ตามเป้าหมายการส่งออก (Planned Output) ภายในคาบเวลาของกระบวนการผลิตที่กำหนดให้ ซึ่งเป้าหมายการส่งออกนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณการขาย (Sales Demand) และในขณะที่การคาดคะเนปริมาณรวมในระยะยาวเป็นสิ่งที่สามารถกระทำได้จากเป้าหมายการส่งออกดังกล่าว การผกผันในระยะสั้นก็อาจจะเกิดขึ้นได้เช่นกัน ทำให้ต้องมีการวางแผนระยะสั้นควบคู่กันไป ดังนั้นแผนการผลิตระยะยาวจะเป็นตัวกำหนดความต้องการของรูปแบบการทำงานและความพร้อมของโรงงาน เช่น เพื่อทำการผลิตให้ได้ลูกสูบจำนวน 100,000 ลูก ในเวลา 8 เดือน โรงงานจะ

ต้องทำการผลิต 2 กะต่อวัน 6 วันต่อสัปดาห์ ตลอดระยะเวลา 8 เดือนดังกล่าว โดยโรงงานต้องมีความพร้อม (เครื่องจักร บุคลากร วัตถุดิบ งบประมาณ) ไม่น้อยกว่า 90% แต่ในขณะเดียวกันจะต้องวางแผนการผลิตของแต่ละเดือนเอาไว้เพื่อให้สามารถควบคุมความผิดปกติ เช่น ไฟฟ้าดับ เครื่องจักรชำรุด วัตถุดิบมาไม่ทัน ฯลฯ ที่อาจเกิดขึ้นได้ และเมื่อเกิดเหตุการณ์เหล่านี้ขึ้นก็จะต้องมีแผนการสำรองมารองรับ พร้อมทั้งต้องปรับแผนการผลิตรายเดือนใหม่เพื่อให้บรรลุถึงผลลัพธ์สุดท้าย คือ ลูกสูบ 100,000 ลูกในเวลา 8 เดือน หรือให้ความล่าช้ามีน้อยที่สุด



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ในการวางแผนดำเนินการบำรุงรักษาในองค์กร [2]

รูปที่ 2.3 เป็นแผนภูมิที่แสดงให้เห็นว่า ปริมาณสินค้าที่ตกลงว่าจะมีการซื้อขายกันในรอบระยะเวลาหนึ่ง (การขาย) เป็นตัวกำหนดให้โรงงานต้องวางแผนการผลิตทั้งระยะยาวและระยะสั้น (การผลิต) โดยพิจารณาองค์ประกอบต่าง ๆ ที่โรงงานมีอยู่ เช่น ปริมาณวัตถุดิบ กำลังคน เงินทุน แผนการผลิตนี้จะเป็นสิ่งที่บ่งชี้ถึงเป้าหมายของการบำรุงรักษา (การบำรุงรักษา) ซึ่งจะต้องนำเอาความต้องการของฝ่ายผลิตไปพิจารณาประกอบการทำแผนการบำรุงรักษา ซึ่งจะต้องมีทั้งแผนการบำรุงรักษาระยะยาวและระยะสั้นเพื่อให้เครื่องจักรมีความพร้อมสำหรับการผลิตที่ต้องการ เช่น โรงงานผลิตน้ำตาลจากอ้อยจะทำการผลิตได้ในรอบปีหนึ่งประมาณ 3-4 เดือนเท่านั้น คือในช่วงที่มีการเก็บเกี่ยวอ้อย ดังนั้นฝ่ายบำรุงรักษาจะต้องวางแผนดำเนินการบำรุงรักษาที่สามารถทำให้เครื่องจักรทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมงต่อวันตลอดระยะเวลา 3-4 เดือนที่มีวัตถุดิบ (อ้อย) ป้อนเข้าสู่โรงงาน และต้องเตรียมแผนดำเนินการบำรุงรักษาสำหรับกรณีที่เกิดการ

หยุดชะงักของเครื่องจักรนอกแผนการขึ้น เพื่อให้สามารถกู้เครื่องจักรกลับสู่สภาพใช้งานได้ภายในระยะเวลาที่สั้นที่สุด

รูปที่ 2.3 ยังแสดงให้เห็นองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ฝ่ายบำรุงรักษาต้องนำมาประกอบในการพิจารณาวางแผนดำเนินการบำรุงรักษาทั้งระยะสั้นและระยะยาว

ความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตกับการบำรุงรักษาจะทำให้โรงงานอยู่ในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน 5 สถานการณ์ด้วยกัน คือ

(ก) โรงงานอยู่ในระหว่างกระบวนการผลิต เครื่องจักรกำลังทำงาน และจะทำการบำรุงรักษาได้โดยวิธีการบำรุงรักษาแบบตามสภาพในขณะปฏิบัติการ (On-line Maintenance) เท่านั้น

(ข) โรงงานไม่มีการผลิต เช่น ช่วงเวลากลางคืน การขาดวัตถุดิบ ช่วงเวลาเปลี่ยนกะ เป็นต้น ในกรณีเหล่านี้โรงงานพร้อมที่จะให้มีการบำรุงรักษาได้โดยไม่มีการสูญเสียการผลิต ช่วงเวลาตรงนี้เรียกว่าช่วงปลอดการผลิต (Production Window) ซึ่งสามารถใช้วิธีการบำรุงรักษาแบบตามสภาพในขณะหยุดปฏิบัติการ (Off-line Maintenance) หรือวิธีการบำรุงรักษาแบบตามกำหนดเวลาได้โดยถือว่าไม่มีการสูญเสียเวลาในการผลิต โดยทั่วไปช่วงปลอดการผลิตจะมีอยู่ตามธรรมชาติของกระบวนการผลิต ซึ่งจะปรากฏอยู่ในแผนดำเนินการของฝ่ายผลิต ดังนั้นถ้าเป็นไปได้ ฝ่ายบำรุงรักษาก็จะต้องกำหนดงานบำรุงรักษาให้สอดคล้องกับช่วงปลอดการผลิตนี้

(ค) โรงงานหยุดการผลิตในช่วงเวลาที่ยังสามารถทำการผลิตตามปกติได้เพื่อให้มีการเข้าทำการบำรุงรักษาตามแผนดำเนินการที่วางไว้ ช่วงเวลานี้ถูกกำหนดขึ้นเมื่อเลือกใช้วิธีการบำรุงรักษาแบบตามกำหนดเวลาและไม่สามารถจัดให้งานบำรุงรักษาไปอยู่ตรงกับเวลาที่เป็นช่วงปลอดการผลิตได้ การหยุดครั้งนี้ต้องนับว่าเกิดการสูญเสียเวลาในการผลิต

(ง) เครื่องจักรเกิดความเสียหายในขณะกำลังทำการผลิตและเป็นเหตุการณ์ที่ไม่ได้คาดคะเนเอาไว้ไม่อยู่ในแผนดำเนินการ ดังนั้นโรงงานต้องหยุดการผลิตและต้องทำการบำรุงรักษาแบบซ่อมแซมอย่างฉุกเฉิน การหยุดการผลิตในลักษณะเช่นนี้จะต้องถือว่าเป็นการสูญเสียเวลาในการผลิตอย่างแน่นอน และการเตรียมการบำรุงรักษาทำได้ยาก

(จ) เป็นเหตุการณ์ต่อเนื่องจากข้อ (ง) เครื่องจักรเกิดชำรุดเสียหาย โรงงานต้องหยุดการผลิต แต่เนื่องจากขาดทรัพยากรในการบำรุงรักษา โรงงานไม่สามารถถูกนำกลับเข้าสู่สภาพการผลิตตามปกติได้ ต้องรอการบำรุงรักษา ดังนั้นจึงมีการสูญเสียเวลาในการผลิต

ดังนั้นเมื่อพิจารณาสถานการณ์ทั้ง 5 แล้ว จะเห็นได้ว่าสถานการณ์ (ก) และ (ข) เป็นสิ่งที่พึงประสงค์ที่สุดของโรงงาน เพราะถือว่าโรงงานไม่ต้องเสียเวลาในการผลิตเลย หรืออาจกล่าวได้ว่าโรงงาน มีความพร้อม 100% ในทางตรงกันข้าม สถานการณ์ (จ) จะเป็นสถานการณ์ที่ไม่พึงปรารถนาที่สุดเพราะนอกจากจะเป็นการหยุดชะงักการผลิตโดยไม่ได้มีการวางแผนไว้แล้ว ยังไม่สามารถบอกได้ด้วยว่าจะกลับเข้าสู่ระบบการผลิตได้เมื่อใด

ความพร้อมของโรงงาน (Plant Availability) ซึ่งเป็นค่าที่สามารถใช้แสดงประสิทธิภาพของโรงงานที่จะรับมือกับการผลิตสินค้า ซึ่งคำนวณได้จากสัดส่วนของเวลาที่โรงงานได้ใช้ในการผลิตต่อเวลาทั้งหมดที่โรงงานมีอยู่ ซึ่งเขียนออกมาได้เป็นสมการดังนี้

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\text{ความพร้อม} = \frac{(ก) + (ข)}{(ก) + (ข) + (ค) + (ง) + (จ)}$$

ค่าความพร้อมนี้สามารถใช้เป็นเกณฑ์หนึ่งในการวัดประสิทธิผลของการบำรุงรักษาได้ การที่ค่าความพร้อมสูงแสดงว่าโรงงานใช้เวลาที่โรงงานมีส่วนใหญ่ไปในการผลิต ซึ่งอาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าโรงงานสามารถทำการบำรุงรักษาเครื่องจักรได้ดี จึงมีการหยุดชะงักของเครื่องจักรน้อย แต่อย่างไรก็ตามถ้าใช้ค่าความพร้อมนี้มาวัดประสิทธิผลของการบำรุงรักษาจริง ๆ แล้ว จะต้องใช้ความระมัดระวังในการแปลความหมายของความพร้อมด้วย ทั้งนี้เนื่องจาก

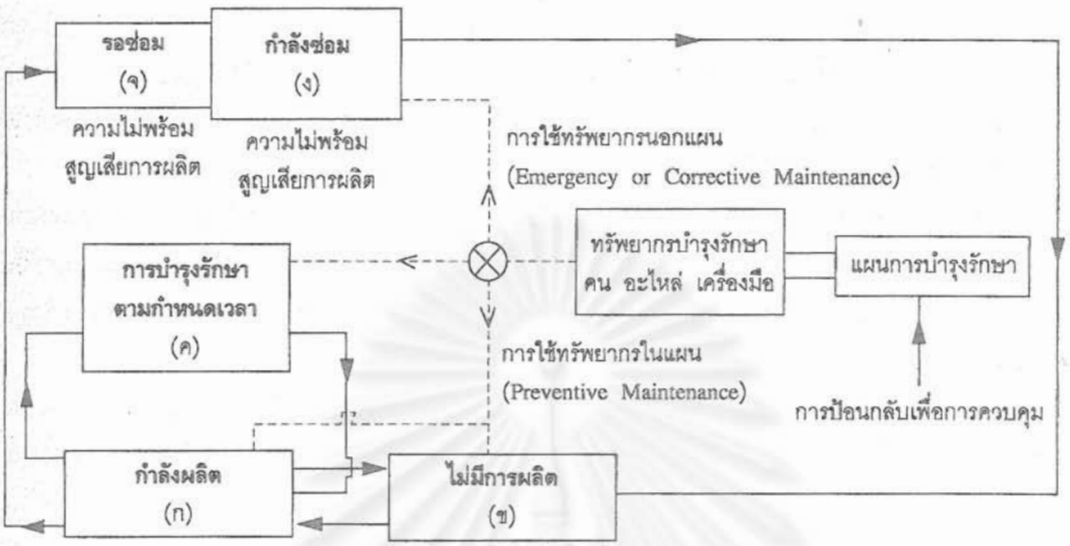
1. ยากในการหาค่าความเสียหายของความไม่พร้อม (Unavailability)
2. สาเหตุของความเสียหายอาจจะไม่ได้เกิดจากการบำรุงรักษา
3. คำนิยามได้กำหนดสมรรถนะไว้เพียง 2 ระดับ คือ ทำงานและเสีย ซึ่งในความเป็นจริงยังมีสถานภาพในระหว่างกลางซึ่งเกิดความเสียหายเพียงบางส่วนหรือสมรรถนะลดลงบางส่วนอีกด้วย

แบบจำลองวงจรการจัดวิธีการบำรุงรักษาในรูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นว่าต้องมีการวางแผนที่จะกระจายทรัพยากรของการบำรุงรักษา (คน เครื่องมือ อะไหล่) ไปไว้ที่สถานการณ์ (ก) (ข) (ค) และ (ง) ของโรงงาน เพื่อควบคุมระดับความพร้อม (Level of Availability) และสภาพของเครื่องจักรให้สมดุลกัน ทั้งนี้จะต้องอาศัยข้อมูลป้อนกลับและประวัติการบำรุงรักษาต่าง ๆ ที่ผ่านมาประกอบการวางแผน ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าหน้าที่ของการบำรุงรักษาคือการใช้ทรัพยากรดังกล่าวเพื่อการซ่อมแซม เปลี่ยนทดแทน ปรับแต่ง หรือดัดแปลงส่วนประกอบของเครื่องจักร เพื่อให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้ด้วยความพร้อมและสมรรถนะที่กำหนดตลอดระยะเวลาที่กำหนดและด้วยอายุใช้งานที่กำหนด นอกจากนี้ในรูปที่ 2.4 ยังได้แสดงให้เห็นถึงเส้นทางการเปลี่ยนสถานการณ์ของโรงงานจากสถานการณ์หนึ่งไปสู่อีกสถานการณ์หนึ่งอีกด้วย

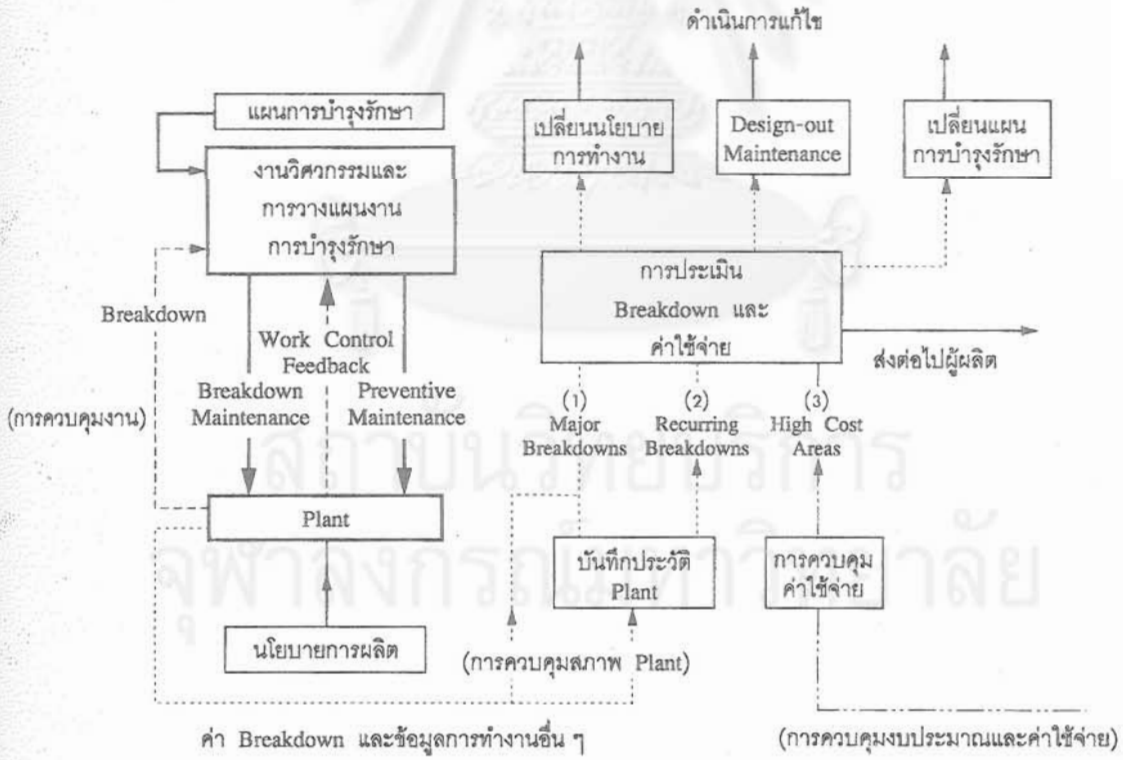
รูปที่ 2.4 ยังแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการบำรุงรักษาแบบต่าง ๆ ในการจัดทำแผน-ดำเนินการ เช่น ถ้ายกเลิกการบำรุงรักษาแบบตามสภาพ ((ก) และ (ข)) เนื่องจากขาดทรัพยากร (เช่นไม่มีเครื่องมือวัด ขาดบุคลากรที่มีความสามารถ) การบำรุงรักษาแบบตามกำหนดเวลา (ค) และการบำรุงรักษาแบบซ่อมแซม (ง) จะต้องเพิ่มขึ้น และถ้าทรัพยากรมีน้อยมากก็จำเป็นต้องหันไปใช้การบำรุงรักษาแบบซ่อมแซม ((ง) และ (จ)) ในที่สุด

โดยที่ระบบความสัมพันธ์การบำรุงรักษา/การผลิตเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาจึงทำให้เกิดความจำเป็นที่จะต้องสร้างระบบควบคุมความสัมพันธ์ขึ้นมาเพื่อเป็นการรับประกันการปรับตัวของแผนงานกับองค์กรให้ทันสมัยอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีกลไกหลักในการควบคุมการบำรุงรักษาอยู่ 3 ประการ คือ การควบคุมงาน (Work Control) การควบคุมสภาพเครื่องจักร (Plant Condition Control) และการควบคุมความพร้อมกับค่าใช้จ่าย (Availability and Cost Control) ซึ่งรูปที่ 2.5 เป็นแผนภูมิแสดงการควบคุมการบำรุงรักษา

ระบบการควบคุมสภาพโรงงานจะช่วยทำให้โรงงานมีสมรรถนะที่เหมาะสมที่สุดได้ในระยะยาว และหน้าที่ของมันก็คือ เพื่อชี้ให้เห็นปัญหาที่สำคัญที่สุด ชี้ให้เห็นสาเหตุของปัญหา และเพื่อกำหนดการ



รูปที่ 2.4 วงจรการจัดวิธีการบำรุงรักษา [2]



รูปที่ 2.5 แผนภูมิการควบคุมการบำรุงรักษา

แก้ไขปัญหา อย่าลืมว่าสาเหตุว่าของความเสียหายของเครื่องจักรก็คือ การออกแบบผิด การใช้งานไม่ถูกต้องและการบำรุงรักษาที่ไม่ดี ดังนั้นการดัดแปลงแผนการบำรุงรักษาจึงเป็นเพียงวิธีการหนึ่งที่จะทำให้บรรลุถึงเป้าหมายของการบำรุงรักษาเท่านั้น การบำรุงรักษาแบบพัฒนา การเปลี่ยนแผนการผลิตหรือวิธีการใช้งานเครื่องจักร ก็เป็นวิธีที่ใช้การได้เช่นกัน

ในระดับล่างขององค์กรนับตั้งแต่วิศวกรลงไป การควบคุมงานจะช่วยสนับสนุนการวางแผนงานและเกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดกับระบบสำหรับควบคุมอะไหล่ การควบคุมงานเป็นกลไกที่สำคัญที่สุดเพราะมันไม่เพียงแต่จะรับประกันว่าทรัพยากรที่คาดคะเนไว้จะพอเหมาะกับภาระงานเท่านั้น แต่ยังทำให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับความเสียหายและค่าใช้จ่ายที่ระบบควบคุมอื่น ๆ ต้องการอีกด้วย

ในระดับสูงขององค์กรนับตั้งแต่วิศวกรขึ้นไป ระบบการควบคุมความพร้อมและค่าใช้จ่ายของโรงงานจะช่วยในการติดตามสังเกตประสิทธิผลของงานบำรุงรักษา โดยจะดูว่าปริมาณทรัพยากรที่ประมาณการเอาไว้พอเหมาะกับความพร้อมที่ต้องการให้ทำได้หรือไม่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3 การบำรุงรักษาแบบตามสภาพ

3.1 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงวิธีการบำรุงรักษาแบบตามสภาพแต่เพียงอย่างเดียว โดยจะอธิบายถึงเทคนิคที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบัน การจัดตั้งระบบการบำรุงรักษาที่เน้นการบำรุงรักษาแบบตามสภาพ และท้ายที่สุดจะชี้ให้เห็นวิธีการใช้งานกับเครื่องจักร

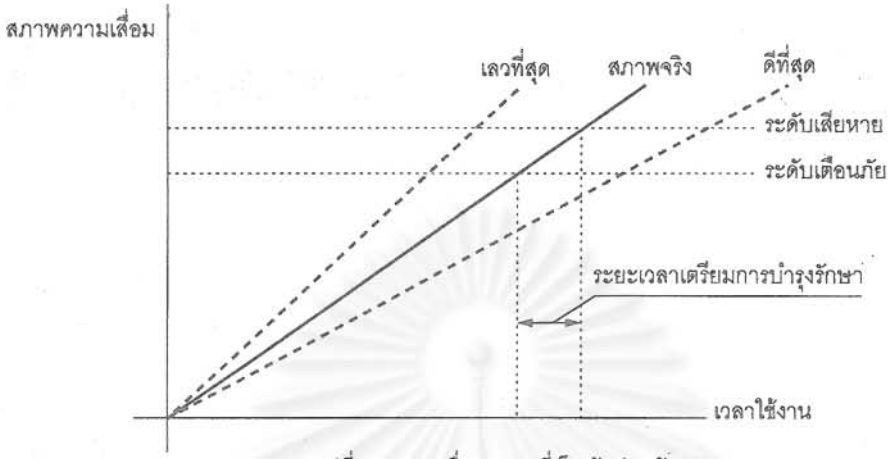
3.2 หลักการดำเนินการทั่วไป

ดังที่ได้กล่าวแล้วว่าวิธีการบำรุงรักษาแบบตามสภาพนั้นจะเน้นที่การคอยตรวจวัดสภาพเครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอ การตรวจสภาพการทำงานนั้นสามารถทำได้ 3 ลักษณะด้วยกัน กล่าวคือ

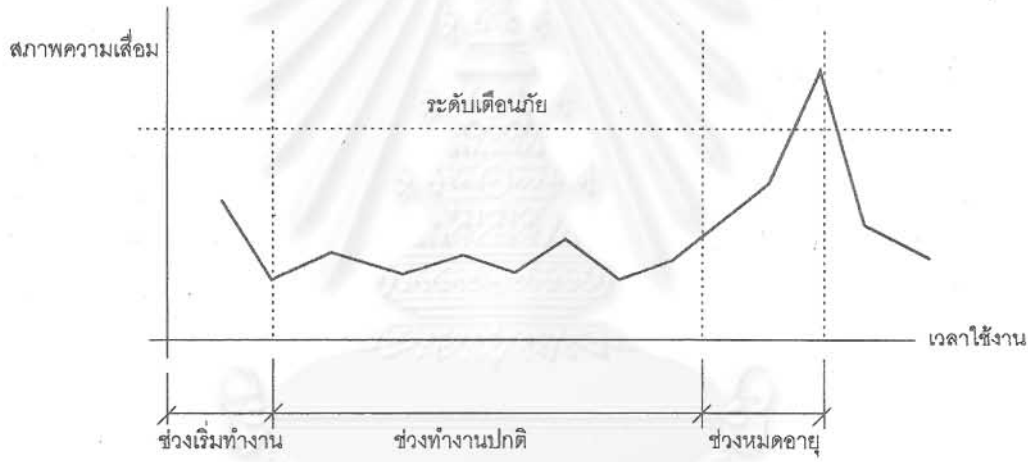
1. **การตรวจทั่วไป (Simple Inspection)** เป็นการกระทำโดยใช้ประสาทสัมผัสของผู้ตรวจเป็นเครื่องมือ ซึ่งได้แก่ การฟังเสียง การเฝ้าดู การสัมผัส การกระทำเหล่านี้ไม่ต้องมีการลงทุนเกี่ยวกับอุปกรณ์ แต่ต้องการความเชี่ยวชาญและความคุ้นเคยกับเครื่องจักรของผู้ตรวจมากกว่า ดังนั้นการใช้บุคลากรบำรุงรักษาทำงานนี้อาจจะมีปัญหาในการตัดสินใจเกี่ยวกับสภาพของชิ้นส่วน/เครื่องจักร เนื่องจากบุคลากรบำรุงรักษาไม่ได้ทำงานอยู่กับเครื่องจักรใดเครื่องจักรหนึ่งตลอดเวลา ทำให้ขาดความรู้สึกคุ้นเคยกับเครื่องจักร เช่น โดยการใช้มือแตะดูความร้อนที่เสื้อตลับลูกปืน ช่างบำรุงรักษาไม่มีทางที่จะบอกได้ว่าตลับลูกปืนลูกนั้นร้อนขึ้นหรือเย็นลงกว่าเมื่อครั้งที่ตรวจคราวที่แล้ว เมื่อเดือนที่แล้ว บุคลากรของฝ่ายผลิตที่ทำงานอยู่กับเครื่องจักรเป็นประจำจะทำงานนี้ได้ดีกว่า

อย่างไรก็ตามจะต้องไม่ลืมว่า กว่าที่ประสาทสัมผัสของคนจะเริ่มรับรู้ความผิดปกติของเครื่องจักรได้นั้น สภาพของเครื่องจักรก็มักจะอยู่ในขั้นที่เสื่อมสภาพไปมากพอสมควรแล้ว ซึ่งในบางครั้งอาจจะสายเกินไปที่จะเตรียมการบำรุงรักษาได้ทัน ทำให้ต้องกลับไปใช้วิธีการบำรุงรักษาแบบซ่อมแซม และทำให้เกิดการสูญเสียการผลิต นอกจากนั้นการรับรู้ด้วยประสาทสัมผัสเป็นข้อมูลที่หยาบและยากแก่การนำไปใช้วินิจฉัยหาสาเหตุของความเสียหายที่แท้จริงต่อไปได้

2. **การตรวจสภาพ (Condition Checking)** สำหรับชิ้นส่วนของเครื่องจักรที่เสื่อมสภาพไปตามเวลา การคอยเฝ้าตรวจสภาพของชิ้นส่วน/เครื่องจักรจะทำให้สามารถคาดคะเนถึงความเสียหายของชิ้นส่วน/เครื่องจักรนั้นล่วงหน้าได้



รูปที่ 3.1 การเสื่อมสภาพที่เป็นสัดส่วนกับเวลา



รูปที่ 3.2 การเสื่อมสภาพแบบฉับพลัน

ลักษณะการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรจำแนกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบที่หนึ่งการเสื่อมสภาพจะปรากฏเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเวลา เช่น ความหนาของสายพานที่สึกหรอไปตามชั่วโมงการทำงาน ระดับของน้ำมันหล่อลื่นที่ค่อย ๆ ลดลง ความสึกหรอของเฟือง รูปที่ 3.1 เป็นกราฟที่แสดงรูปแบบของการเสื่อมสภาพดังกล่าว

3. **การเฝ้าตรวจแนวโน้ม (Trend Monitoring)** การเสื่อมสภาพของเครื่องจักรอีกแบบหนึ่งซึ่งเป็นไปตามเวลาเหมือนกันแต่ไม่ได้แสดงอาการออกมาเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเวลาเหมือนแบบที่ 1 จะไม่แสดงให้เห็นสภาพการเสื่อมในระยะแรกของการใช้งาน ความผิดปกติที่แสดงอาการของการเสื่อมสภาพจะปรากฏออกมาอย่างฉับพลัน อย่างไรก็ตามมีแนวความคิดว่ารูปแบบการเสื่อมสภาพแบบนี้มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของตัวเองอยู่เหมือนกันแม้ว่าจะไม่เป็นรูปแบบเชิงเส้นก็ตาม ตัวอย่างของรูปแบบเช่นนี้ได้แก่ ความเสียหายของตลับลูกปืน ซึ่งรูปที่ 3.2 แสดงตัวอย่างของกราฟที่บันทึกการสั่นสะเทือนที่ตลับลูกปืนของเครื่องจักรกลหมุน

การบำรุงรักษาแบบตามสภาพที่กระทำได้โดยหลักการของ 2 วิธีหลัง ซึ่งใช้เครื่องมือ/อุปกรณ์ช่วยในการตรวจวัด ทำให้สามารถตั้งระดับเตือนภัย (Alarm Level) ของชิ้นส่วน/เครื่องจักรนั้นได้ก่อนที่จะถึงระดับเสียหาย (Failure Level) การกำหนดช่วงหมดอายุ (ระยะเวลาจากระดับเตือนภัยถึงระดับเสียหาย) ขึ้นอยู่กับความสามารถในการเตรียมการเข้าบำรุงรักษาของโรงงาน เช่น การรออะไหล่ ภาระงานของหน่วยงาน ความจำเป็นของการผลิต นอกจากนั้นชิ้นส่วน/เครื่องจักรจะได้รับการบำรุงรักษาก็ต่อเมื่อพบว่าสภาพของมันไม่เป็นที่ยอมรับอีกต่อไปได้แล้วเท่านั้น ซึ่งนั่นหมายความว่าชิ้นส่วน/เครื่องจักรนั้นได้ถูกใช้งานจนถึงที่สุด

3.3 เทคนิคการตรวจสอบ

ในปัจจุบันวิธีการตรวจสอบที่มีใช้กันสำหรับการบำรุงรักษาแบบตามสภาพได้แก่

1. การตรวจสอบความร้อน (Thermal Monitoring)
2. การวิเคราะห์สารหล่อลื่น (Lubricant Analysis)
3. การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน (Vibration Analysis)
4. การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย (Non-destructive Test)
5. การตรวจสอบรอยรั่ว (Leak Test)
6. การตรวจการกัดกร่อน (Corrosion Analysis)
7. การวิเคราะห์การไหล (Flow Analysis)
8. การวิเคราะห์ความเค้น (Stress Analysis)
9. การวิเคราะห์จากคลื่นเสียง (Acoustic Emission Analysis)

วิธีการตรวจสอบเหล่านี้มีทั้งที่สามารถทำได้ในขณะที่เครื่องจักรกำลังทำงาน และที่ทำได้เฉพาะในขณะที่เครื่องจักรต้องหยุดทำงานแล้วเท่านั้น สำหรับรายละเอียดของวิธีการตรวจสอบแต่ละวิธีนั้นเป็นเรื่องทางด้านเทคนิคและวิชาการเฉพาะตัวของมันที่ต้องใช้เวลาในการศึกษาเป็นเรื่อง ๆ ไป ดังนั้นจึงจะกล่าวถึงแนวทางการใช้งานวิธีต่าง ๆ พอเป็นสังเขปเท่านั้น

1. **การตรวจสอบความร้อน** ใช้ตรวจสอบการทำงานของชิ้นส่วนที่ต้องมีการเสียดสีและ/หรือหล่อลื่น ใช้ตรวจสอบสภาพของฉนวนกันความร้อนต่าง ๆ และใช้ตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้ความร้อน

2. **การวิเคราะห์สารหล่อลื่น** ใช้ตรวจสอบความสึกหรอของชิ้นส่วนที่น้ำมันหล่อลื่นไหลผ่าน โดยใช้การวิเคราะห์ปริมาณสารแปลกปลอมในน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งการวิเคราะห์สภาพน้ำมันหล่อลื่นก็เป็นส่วนหนึ่งของวิธีการนี้อยู่แล้ว

3. **การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน** สามารถใช้วิเคราะห์ความผิดปกติหลาย ๆ อย่างของเครื่องจักรกลหมุนได้ดีที่สุด ในปัจจุบันการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนได้ถูกพัฒนาให้สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์เครื่องจักรที่มีการเคลื่อนไหวแบบอื่น ๆ ได้ รวมทั้งใช้ในการหาความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างที่อยู่กับที่ด้วย

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. **การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย** ใช้ในการตรวจสอบหารอยร้าวและข้อบกพร่องอื่น ๆ ทั้งภายนอกและภายในชิ้นงาน เป็นวิธีการที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งในด้านความปลอดภัยของอุปกรณ์ภาชนะความดันต่าง ๆ นอกจากนั้นยังใช้ได้ในงานควบคุมคุณภาพ เช่น การวัดความหนา การตรวจสภาพพื้นผิว

5. **การตรวจสอบรอยรั่ว** ใช้ในการตรวจสอบหารอยรั่วในชิ้นงาน เป็นวิธีการที่เอนเอียงไปทางด้านการควบคุมคุณภาพมากกว่าการบำรุงรักษา

6. **การตรวจการกัดกร่อน** เป็นการตรวจสอบการเสื่อมสภาพเนื่องจากการกัดกร่อนโดยใช้ชิ้นทดสอบเปรียบเทียบเพื่อประเมินการกัดกร่อนในระบบทั้งหมด เช่น ระบบท่อขนส่งสารเคมี

7. **การวิเคราะห์การไหล** โดยการวัดอัตราการไหลของของไหลที่มีอยู่ในระบบ จะทำให้สามารถประเมินสมรรถนะและข้อบกพร่องของระบบได้ เช่น เครื่องสูบ (Pump)

8. **การวิเคราะห์ความเค้น** การใช้อุปกรณ์วัดความเค้น เช่น Strain Gauge ไปติดอยู่กับชิ้นงานที่ต้องรับแรง จะช่วยให้วิเคราะห์สภาพของชิ้นส่วนนั้นได้ นอกจากนั้นยังทำให้รู้สภาพการกระทำของแรงต่าง ๆ ในระบบอีกด้วย

9. **การวิเคราะห์จากคลื่นเสียง** ใช้การตรวจจับคลื่นเสียงที่เกิดจากการเกิดความผิดปกติขึ้นภายในเนื้อชิ้นงาน เช่น การขยายตัวของรอยร้าว การเกิด Strain Hardening

3.4 เครื่องจักรกับการบำรุงรักษาแบบตามสภาพ

เครื่องจักร/อุปกรณ์ที่ใช้กันทั่วไปในโรงงาน เช่น เครื่องสูบ (Pump), เครื่องเป่าลม (Blower), เครื่องปฏิกรณ์ (Reactor), ถังเก็บ (Storage Tank), เครื่องกวน (Stirrer), หม้อไอน้ำ (Boiler), ห้องเฟือง (Gear-box), เครื่องกลึง (Lathe) เป็นต้น เมื่อมองในแง่ของการบำรุงรักษาแบบตามสภาพแล้วอาจจะจำแนกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเครื่องจักรกลหมุน และกลุ่มภาชนะความดัน ซึ่งเทคนิคของการบำรุงรักษาแบบตามสภาพที่มีความเหมาะสมสำหรับการตรวจวัดอาการของข้อบกพร่องอาจถูกแยกแยะได้ดังต่อไปนี้

3.4.1 กลุ่มเครื่องจักรกลหมุน

ได้แก่ เครื่องสูบ (Pump), มอเตอร์ (Motor), ห้องเฟือง (Gear-box), เครื่องเป่าลม (Blower), เครื่องกลึง (Lathe) เป็นต้น เทคนิคที่เหมาะสมที่สุดคือการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน ปัญหาของเครื่องจักรกลหมุนหลายรูปแบบจะถูกวิเคราะห์ออกมาได้จากการเฝ้าตรวจด้วยเทคนิคนี้ เช่น การไม่สมดุล (Imbalance), การเยื้องแกน (Misalignment), การหลุดหลวมทางกล (Mechanical Looseness), การชำรุดของฟันเฟือง (Gear Tooth Defect), สายพานชำรุด (Belt Defect), ตลับลูกปืนชำรุด (Bearing Defect) เป็นต้น

ข้อได้เปรียบอย่างหนึ่งของเทคนิคนี้ก็คือสามารถดำเนินการตรวจวัดได้ในขณะที่เครื่องจักรทำงานตามปกติ นอกจากเทคนิคนี้แล้วยังมีเทคนิคอื่น ๆ ที่สามารถนำมาใช้ได้อีก เช่น

- การตรวจสอบความร้อนสามารถบอกสภาพผิดปกติของตลับลูกปืน
- การวิเคราะห์สารหล่อลื่นช่วยบอกอัตราการสึกหรอของชุดเฟืองทดและตลับลูกปืน

- การวิเคราะห์การไหลช่วยบอกสภาพการทำงานของเครื่องสูบ
- การวิเคราะห์จากคลื่นเสียงจะทำให้รู้ความผิดปกติภายในโครงสร้างได้ทันที เช่น การเกิดแตกร้าว (Crack)

ซึ่งเทคนิคที่กล่าวถึงในชุดหลังนี้ยังขาดความสมบูรณ์ในการตีความผลลัพธ์ที่ดีเท่ากับเทคนิคการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนสำหรับเครื่องจักรกลหมุน

3.4.2 กลุ่มภาชนะความดัน

ได้แก่ ท่อไอน้ำ (Steam Tube), ถังพักไอ (Header), เครื่องปฏิกรณ์ (Reactor), หอกลั่น (Column), ระบบท่อ (Piping) เป็นต้น เทคนิคที่จะใช้กับอุปกรณ์ในกลุ่มนี้มีหลายเทคนิคด้วยกันและมีข้อดีแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ของผลลัพธ์ที่ต้องการ

1. การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย มีให้เลือกหลายวิธี ได้แก่ Radiography, Surface Methods, Ultrasonic, และ Eddy Current เทคนิคเหล่านี้ช่วยให้หารอยร้าว (Cracks) และข้อบกพร่อง (Defects) ต่าง ๆ ในชิ้นงานได้ และยังสามารถใช้หาขนาดของรอยร้าว (Cracks) และข้อบกพร่อง (Defects) นั้นได้ ซึ่งความสามารถข้อนี้จะมีส่วนช่วยในการประเมินอายุที่เหลือของอุปกรณ์ได้ ข้อเสียเปรียบประการหนึ่งของเทคนิคนี้คือ จะทำการตรวจสอบได้ในขณะหยุดเครื่องจักร/อุปกรณ์แล้วเท่านั้น

2. การตรวจสอบความร้อน ใช้ตรวจสอบการเสื่อมสภาพของฉนวนความร้อนได้ สามารถใช้ตรวจสอบความแตกต่างของความหนาของผนังภาชนะได้ ใช้หาตำแหน่งของรอยแตกและรอยร้าวในผนังได้ เทคนิคนี้ต้องใช้การตรวจวัดในขณะที่อุปกรณ์ถูกใช้งาน เครื่องมือที่จะอำนวยประโยชน์มากในเทคนิคนี้คือ Thermography Equipment ซึ่งราคาค่อนข้างแพง

3. การวิเคราะห์จากคลื่นเสียงจะทำให้รู้ความผิดปกติทางโครงสร้างของภาชนะ เช่น การเกิดแตกร้าว (Crack) การยืดตัว (Yielding) ได้ทันที การใช้เทคนิคนี้ต้องใช้อุปกรณ์แบบติดตาย (Fixed Type) เทคนิคนี้ยังใช้หาตำแหน่งที่เกิดข้อบกพร่องได้ด้วย

4. การวิเคราะห์ความเค้นช่วยในการหาความเค้นและการขยายตัวของเปลือกภาชนะ ซึ่งเป็นการบอกสภาพของวัสดุทำเปลือกไปในตัว เทคนิคนี้ใช้ช่วยในการประเมินอายุที่เหลือของอุปกรณ์ได้

5. การตรวจการกัดกร่อนทำให้สามารถประเมินสภาพการกัดกร่อนของอุปกรณ์โดยรวมทั้งระบบได้ เช่น ระบบท่อลำเลียง และยังสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินอายุที่เหลือของอุปกรณ์ได้เช่นกัน

3.5 การจัดตั้งระบบการบำรุงรักษาแบบตามสภาพ

ขั้นตอนในการดำเนินการจัดตั้งระบบการบำรุงรักษาแบบตามสภาพนั้นมีแนวทางปฏิบัติโดยทั่วไปดังต่อไปนี้ (รูปที่ 3.3)

1. **การศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility)**

เป็นขั้นแรกที่ต้องดำเนินการก่อนการเลือกวิธีการบำรุงรักษา ทั้งนี้เพื่อที่จะดูความเหมาะสมของเครื่องจักรและทรัพยากรของโรงงานว่าวิธีการบำรุงรักษาแบบตามสภาพเหมาะสมหรือไม่กับโรงงานโดยภาพรวม

2. **การเลือกเครื่องจักร (Unit Selection)**

หลังจากการศึกษาความเป็นไปได้และเห็นว่าวิธีการบำรุงรักษาแบบตามสภาพเหมาะสมกับโรงงานแล้ว จึงจะมาพิจารณากันต่อไปว่าควรที่จะใช้วิธีการนี้กับเครื่องจักรใดหรือกลุ่มเครื่องจักรใด ถ้าหากสามารถทำการบำรุงรักษาแบบตามสภาพได้กับเครื่องจักรทุกเครื่องย่อมเป็นเรื่องที่ดี แต่ในทางปฏิบัติจริง ๆ แล้วมักจะพบว่าการกระทำดังกล่าวเป็นความฟุ่มเฟือยและไม่คุ้มค่า

3. **การเลือกเทคนิค (Technique Selection)**

หลังจากที่ตัดสินใจเลือกเครื่องจักรได้แล้ว จะต้องทำการศึกษาเครื่องจักรดังกล่าวเพื่อหาเทคนิคการตรวจวัดสภาพที่เหมาะสมที่สามารถแสดงสภาพปัจจุบันของเครื่องจักรให้เห็นได้อย่างแท้จริง อีกทั้งอย่าลืมว่า จะต้องพิจารณาความเป็นไปได้ว่าสามารถใช้เทคนิคการตรวจวัดนั้นกับเครื่องจักรได้หรือไม่

4. **การหาระดับการทำงานปกติ (Base-line Measurement)**

เมื่อเลือกเทคนิคการตรวจวัดและจัดหาอุปกรณ์ตรวจวัดที่เหมาะสมได้แล้ว สิ่งต่อมาที่ต้องทำคือการใช้เครื่องมือวัดดังกล่าวเก็บข้อมูลการทำงานตามปกติของเครื่องจักร เพื่อให้ทราบลักษณะอาการที่ถือว่าเป็นสภาพปกติของเครื่องจักรสำหรับใช้เป็นระดับอ้างอิงในการตรวจวัดครั้งต่อ ๆ ไป

5. **การกำหนดความถี่และระดับเตือนภัย (Set Frequency and Alarm Level)**

ความถี่ในการตรวจวัดและการตั้งระดับเตือนภัยจะต้องสอดคล้องกันเพื่อไม่ให้เกิดภาระงานมากเกินไปโดยไม่จำเป็นเนื่องจากตั้งความถี่การตรวจวัดไว้สูงเกินไป และไม่เกิดความผิดพลาดในการที่สภาพของเครื่องจักรผ่านเลยระดับเตือนภัยไปโดยไม่ได้มีการตรวจวัดเนื่องจากตั้งคาบเวลาการเข้าตรวจวัดไว้ห่างเกินไป ในขั้นเริ่มต้นสามารถที่จะใช้คู่มือเครื่องจักร (ถ้ามี) ร่วมกับความรู้และประสบการณ์มาช่วยในการกำหนดความถี่และระดับเตือนภัย หลังจากที่ได้ดำเนินการบำรุงรักษาไปแล้วสักระยะหนึ่งจึงจะมาทบทวนดูความเหมาะสมของค่าที่เลือกไว้ ต้องระลึกไว้เสมอว่าการเปลี่ยนแปลงไปสู่สิ่งที่ดีกว่าไม่ใช่สิ่งที่ผิด

6. **การจัดทำสาระและลำดับในการตรวจสอบ (Setup Tour Content and Order)**

คือ การกำหนดวิธีปฏิบัติในการตรวจวัดให้เป็นมาตรฐานเพื่อที่จะทำให้ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดและบันทึกไว้เป็นค่าที่แน่นอนและยอมรับได้ตลอดเวลาไม่ว่าการตรวจวัดจะถูกกระทำโดยใครก็ตาม

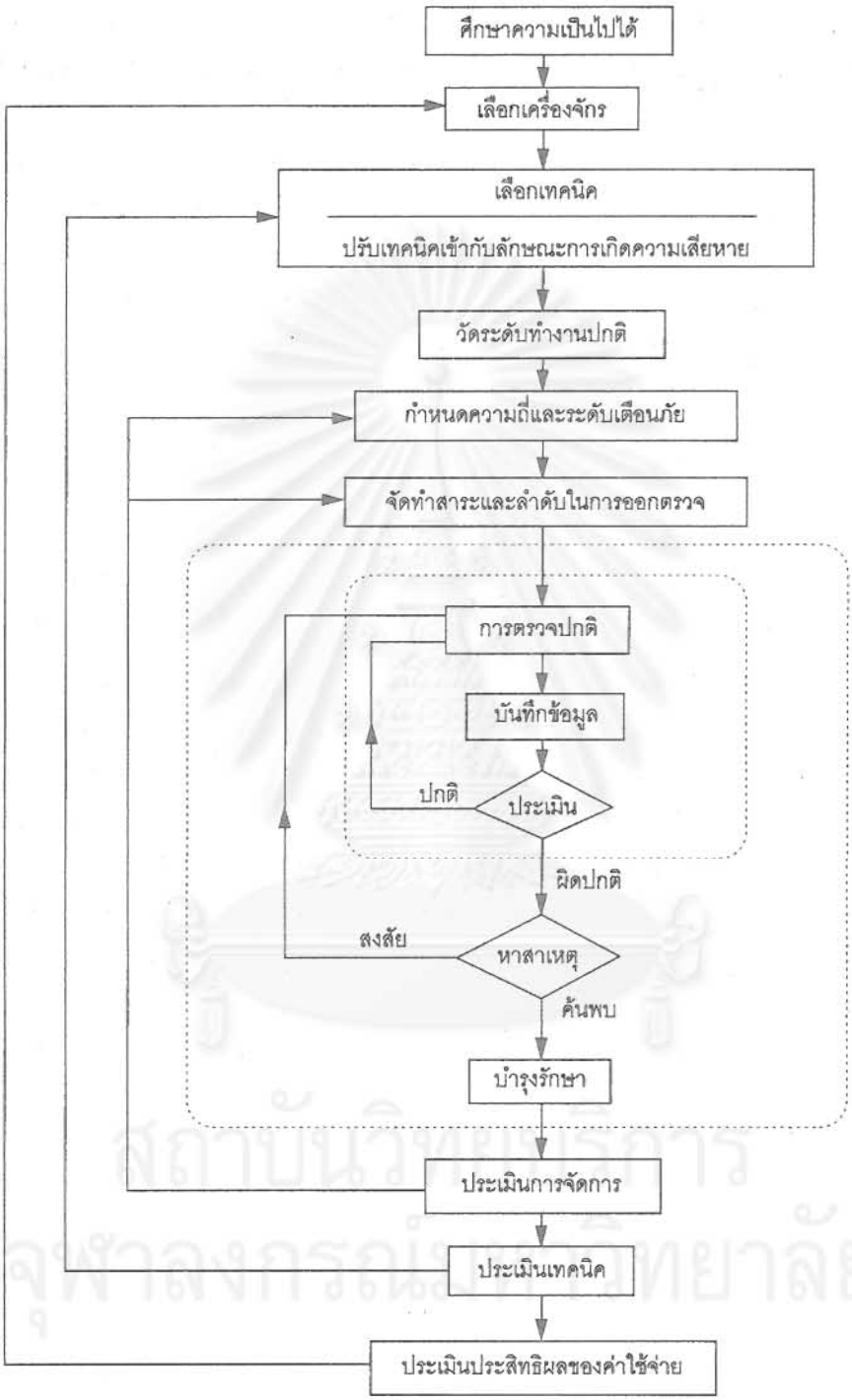
ขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้นเป็นเพียงการเตรียมการก่อนการเข้าสู่วิธีการบำรุงรักษาแบบตามสภาพตามปกติ ขั้นตอนต่อจากนี้ไปจึงเป็นขั้นตอนการบำรุงรักษาตามปกติ

1. การออกตรวจวัดปกติ (Routine Test) ภาระอันหนึ่งของฝ่ายบำรุงรักษา คือ การออกตระเวนทำการตรวจวัดเครื่องจักรด้วยอุปกรณ์และขั้นตอนที่ถูกกำหนดไว้

2. การเก็บข้อมูล (Record Data) ข้อมูลจะต้องถูกจัดเก็บอย่างเป็นระบบและสมบูรณ์เพื่อให้การวิเคราะห์ที่ตามมาถูกต้อง

3. การประเมินข้อมูล (Assess) สภาพของเครื่องจักรจะถูกประเมินจากบันทึกข้อมูลอย่างสม่ำเสมอ

จากขั้นตอนนี้ถ้าหากเครื่องจักรยังไม่แสดงอาการของการเสื่อมสภาพใด ๆ วัฏจักรจะหมุนเวียนกลับไปที่การออกตรวจวัดตามปกติ ถ้าหากพบว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้นก็จะเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3.3 แผนภูมิขั้นตอนการจัดตั้งระบบการบำรุงรักษาแบบตามสภาพ

1. การหาสาเหตุ (Diagnosis) การทำการบำรุงรักษาแบบตามสภาพให้คุ้มค่านั้นจะต้องครอบคลุมไปถึงการหาสาเหตุของความเสียหายให้พบเสียก่อนการหยุดเพื่อซ่อมบำรุง ทั้งเพื่อช่วยให้มีการเตรียมการบำรุงรักษาอย่างพร้อมเพรียงก่อนที่จะลงมือปฏิบัติงาน ซึ่งจะช่วยลดเวลาที่จะสูญเสียไปได้อย่างมาก

2. การบำรุงรักษา (Maintenance) ครอบคลุมการดำเนินการทุกอย่างเพื่อนำเครื่องจักรกลับสู่สภาพการทำงานปกติโดยให้มีความพร้อมของเครื่องจักร (Machine Availability) ได้เท่าที่ต้องการ

นอกจากการดำเนินการตามขั้นตอนที่กล่าวมาซึ่งเป็นการบำรุงรักษาโดยตรงแล้ว ขั้นตอนสำคัญซึ่งจะทำให้การทำการบำรุงรักษาแบบตามสภาพสมบูรณ์ คือ การตามประเมินขั้นตอนต่าง ๆ ที่ดำเนินการมาแล้วเพื่อป้อนกลับไปให้มีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงที่ดีขึ้นซึ่งได้แก่

1. การประเมินการจัดการ เพื่อนำไปปรับปรุงการจัดการในการตรวจวัดต่างๆ ให้เหมาะสมยิ่งขึ้น ได้แก่การดูว่าวิธีปฏิบัติสมบูรณ์ดีแล้วหรือไม่ ข้อมูลที่ได้มาตรงกับความต้องการหรือยัง มีจุดใดที่ต้องวัดเพิ่มเติมหรือไม่

2. การประเมินเทคนิค เพื่อนำไปปรับเปลี่ยนหรือพัฒนาเทคนิคในการตรวจวัดให้ทำงานได้ผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้น ถ้าพบว่าเทคนิคที่เลือกไว้เดิมนั้นยังไม่ให้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจ หรือยังไม่เพียงพอที่จะทำการบำรุงรักษาให้ได้ผล

3. การประเมินประสิทธิผลทางเศรษฐศาสตร์ จะเป็นการแสดงให้เห็นว่าการเลือกเครื่องจักรที่ผ่านมามีความเหมาะสมเพียงใด คุ้มค่าที่ได้ลงทุนไปแล้วหรือไม่ เพื่อช่วยในการพิจารณาขยายขอบเขตการทำการบำรุงรักษาแบบตามสภาพต่อไป

หลังจากที่กระบวนการจัดตั้งนี้เสร็จสมบูรณ์ เครื่องจักรได้รับการดูแลเป็นอย่างดี และทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องพอใจ งานที่ต้องทำต่อไปจะเป็นขั้นตอนที่อยู่ภายในกรอบเส้นประเท่านั้น ซึ่งจะเป็นงานในความรับผิดชอบของฝ่ายบำรุงรักษา กระบวนการจัดตั้งนี้จะถูกเริ่มขึ้นใหม่เมื่อมีความประสงค์จะขยายกรอบของการบำรุงรักษาแบบตามสภาพไปสู่เครื่องจักรตัวอื่น หรือเมื่อมีการเปลี่ยนทดแทนเครื่องจักร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4 การสั่นสะเทือน

4.1 บทนำ

การสั่นสะเทือน คือ ปรากฏการณ์ของการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของวัตถุภายใต้แรงกระทำ ซึ่งอาจเป็นแรงภายในหรือแรงภายนอกก็ได้ โดยทั่วไปแล้วการสั่นสะเทือนเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ แต่มักหลีกเลี่ยงไม่ได้ อย่างดีที่สุดก็คือการพยายามจำกัดขนาดของการสั่นสะเทือนให้อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ สำหรับเครื่องจักรแล้วสาเหตุของการสั่นสะเทือนมีอยู่หลายสาเหตุ การไม่สมดุลของเครื่องจักรที่หมุนนั้นก็จะเป็นสาเหตุใหญ่สาเหตุหนึ่งที่ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือน การสั่นสะเทือนยังอาจเกิดได้จากการที่ชิ้นส่วนเครื่องจักรเคลื่อนที่ตามแนวเส้นตรงด้วยความเร่ง ชิ้นส่วนเครื่องจักรสองชิ้นที่สีกันหรือถูกันก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งของการสั่นสะเทือน ซึ่งการสั่นสะเทือนนี้จะเกิดจากความไม่เรียบของผิวหน้าของชิ้นส่วนสองชิ้นที่สัมผัสกัน การหลุดหลวมของชิ้นส่วนของเครื่องจักรที่เข้าคู่กันจะก่อให้เกิดการกระแทก ซึ่งก็จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนเช่นกัน การสั่นสะเทือนเหล่านี้ของเครื่องจักรมักมีผลต่อสมรรถนะและสภาพการใช้งานของเครื่องจักร ดังนั้นในการทำให้เครื่องจักรทำงานมีประสิทธิภาพสูงสุดนั้นจึงจำเป็นต้องมีความเข้าใจถึงพฤติกรรมของการสั่นสะเทือนเพื่อจะได้สามารถจำกัดขนาดการสั่นสะเทือนให้มีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของการสั่นสะเทือน พารามิเตอร์ที่สำคัญที่มีผลต่อขนาดของการสั่นสะเทือน อาทิ ความถี่ธรรมชาติ ความหน่วง ปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ และผลของการตอบสนองของการสั่นสะเทือนที่เกิดจากพารามิเตอร์เหล่านี้ เพื่อเป็นพื้นฐานในการจำกัดขนาดของการสั่นสะเทือน

4.2 ประเภทของการสั่นสะเทือน

การสั่นสะเทือนนั้นมีหลายรูปแบบ แต่จะสามารถแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้สองประเภทคือ

4.2.1 การสั่นสะเทือนแบบอิสระ (Free Vibration)

คือ การเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของมวลในระบบภายใต้การกระทำของแรงภายในระบบ โดยปราศจากแรงภายนอกกระทำ

4.2.2 การสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้น (Forced Vibration)

คือ การเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของมวลในระบบอันเกิดจากแรงภายนอก และการสั่นสะเทือนนี้จะเป็นไปตามลักษณะของแรงภายนอกและความถี่ของแรงที่มากระตุ้นระบบ หากความถี่ของแรงภายนอกที่มากระทำนั้นตรงกับความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ของระบบเข้า ก็จะทำให้เกิดปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ (Resonance) ขึ้น นั่นคือขนาดของการสั่นสะเทือนจะถูกขยายขึ้นอย่างมากจนทำให้เกิดความเสียหายแก่ระบบได้ ความเสียหายที่เกิดกับโครงสร้างใหญ่ ๆ อาทิ สะพาน อาคารสูง หรือปีกเครื่องบิน ในหลาย ๆ เหตุการณ์เกิดจากปรากฏการณ์เรโซแนนซ์เป็นสาเหตุหลักสาเหตุหนึ่ง ดังนั้นการคำนวณหาค่าความถี่ธรรมชาติของระบบจึงมีความสำคัญในการวิเคราะห์เป็นอย่างยิ่ง

4.3 การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน

การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนสามารถกระทำโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้น แล้วนำผลเฉลยทางคณิตศาสตร์มาพิจารณา เพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องซึ่งจะมีผลต่อขนาดของการสั่นสะเทือน การสั่นสะเทือนที่นำมาวิเคราะห์มีทั้งการสั่นสะเทือนที่มีความหน่วงและไม่มีความหน่วง

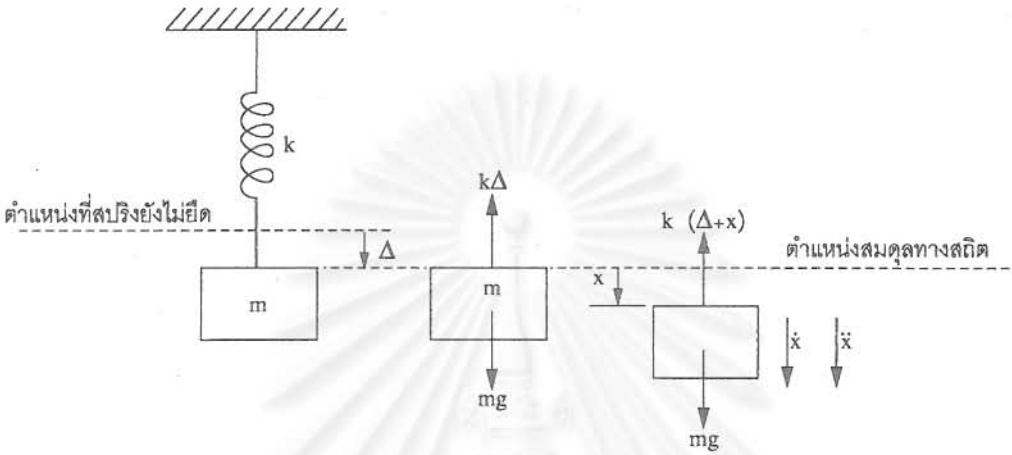
ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้บรรยายปรากฏการณ์การสั่นสะเทือนนั้น จำนวนพิกัดอิสระ (Independent Coordinate) ที่ใช้ในการบรรยายการเคลื่อนที่ของระบบจะถูกเรียกว่า จำนวนลำดับขั้นความเสรี (Degree of Freedom) ของระบบนั้น ๆ ตัวอย่างเช่น ถ้าอนุภาคอิสระเคลื่อนที่ไปในสามมิติ อนุภาคก็จะมีลำดับขั้นความเสรีเท่ากับ 3 เพราะต้องการพิกัด x,y,z ในการกำหนดตำแหน่งของอนุภาค ในขณะที่วัตถุเกร็งเคลื่อนที่ในสามมิติ ต้องการลำดับขั้นความเสรีเท่ากับ 6 กล่าวคือ ใช้พิกัด x,y,z ในการกำหนดตำแหน่ง และมุมอีกสามมุมในการกำหนดลักษณะการหมุนของวัตถุเกร็งรอบแกน x,y,z ด้วย นอกจากนั้นสำหรับวัตถุยืดหยุ่นที่ยาวต่อเนื่อง (Continuous Elastic Body) นั้น ต้องใช้จำนวนพิกัดเป็นอนันต์ในการบรรยายการเคลื่อนที่หรือตำแหน่งของวัตถุดังกล่าว (6 พิกัด สำหรับตำแหน่งแต่ละตำแหน่งบนวัตถุต่อเนื่อง) อย่างไรก็ดี ในหลายกรณี ๆ การวิเคราะห์ระบบดังกล่าวจะสามารถกระทำได้ โดยการใช้สมมติฐานและการประมาณการใช้ระบบดังกล่าวมีลำดับขั้นความเสรีเป็นจำนวนที่นับได้ และเป็นที่น่าแปลกใจว่าในหลาย ๆ กรณี การวิเคราะห์ระบบดังกล่าวสามารถกระทำได้อย่างแม่นยำ โดยการสมมติให้ระบบมีการเคลื่อนที่ที่มีลำดับขั้นความเสรีเท่ากับหนึ่ง

ดังนั้นในการศึกษาพฤติกรรมพื้นฐานของการสั่นสะเทือนจึงจะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบที่มีลำดับขั้นความเสรีเท่ากับหนึ่งมาบรรยาย เพื่อการศึกษาผลตอบสนองในโหมด (Mode) ใดโหมดหนึ่งเท่านั้น

4.3.1 การสั่นสะเทือนแบบอิสระที่ไม่มีความหน่วง (Undamped Free Vibration)

การสั่นสะเทือนโดยทั่ว ๆ ไปจะมีการสูญเสียพลังงานหรือมีความหน่วงอยู่โดยธรรมชาติ การสั่นสะเทือนแบบอิสระที่ไม่มีความหน่วง คือ การสั่นสะเทือนที่เกิดจากแรงภายในโดยไม่มีแรงภายนอกมากระทำ และเป็นการสั่นสะเทือนอุดมคติในทางทฤษฎีที่ไม่มีการสูญเสียพลังงานหรือไม่มีความหน่วง จุดประสงค์หลักของการศึกษาพฤติกรรมของการสั่นสะเทือนแบบนี้ก็คือ การคำนวณหาค่าความถี่ธรรมชาติของระบบ

สำหรับการสั่นสะเทือนแบบอิสระนั้น ระบบหลาย ๆ ระบบจะสามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้ระบบมวลเดี่ยว (Single Mass System) มาอธิบาย ระบบมวลเดี่ยวนี้คือ มีมวล m มาแขวนด้วยสปริงที่มีค่า Stiffness = k และให้ระยะ x เป็นระยะยืดและหดที่วัดจากจุดสมดุล



รูปที่ 4.1 ระบบมวลเดี่ยวและผังแรงอิสระ

สมการการเคลื่อนที่ของมวลนี้จะสามารถเขียนได้จากสมการกฎข้อที่สองของนิวตันเป็น

$$m\ddot{x} + kx = 0 \qquad (4.1)$$

ซึ่งจะสามารถเขียนผลเฉลยได้เป็น

$$x = A\cos\omega_n t + B\sin\omega_n t \qquad (4.2)$$

โดย ω_n คือ ความถี่ธรรมชาติของระบบซึ่งมีค่าเท่ากับ $\sqrt{\frac{k}{m}}$

A และ B เป็นค่าคงที่ซึ่งหาได้จากเงื่อนไขเริ่มต้น

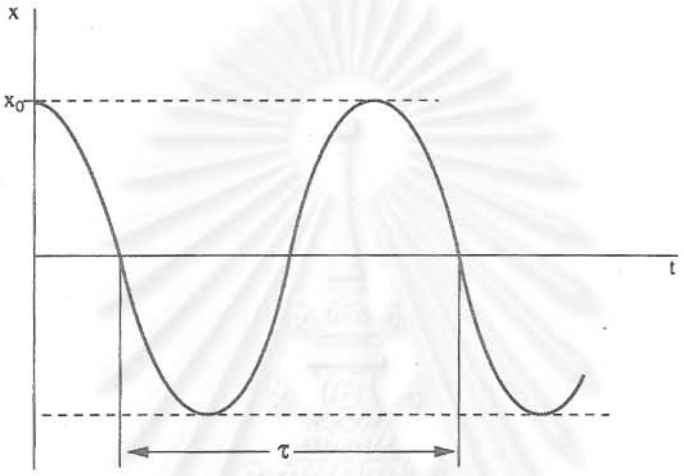
ตัวอย่างของผลเฉลยของระบบที่มีเงื่อนไขเริ่มต้นเป็นตัวมวลยืดออกจากจุดสมดุลเป็นระยะ x_0 และความเร็วเริ่มต้นของมวลเป็นศูนย์ $\dot{x}(0) = 0$ จะเป็น

$$x = x_0\cos\omega_n t \qquad (4.3)$$

ผลเฉลยในสมการที่ 4.3 นี้สามารถเขียนอยู่ในรูปเส้นโค้งไซน์ (Sine Curve) ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.2 ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่า มวลจะเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมาตามการยืดและหดของสปริง โดยที่เวลาใน

หอสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การที่มวลเคลื่อนที่จากจุดสมดุลสถิตกลับไปกลับมาครบ 1 รอบ จะมีค่าเท่ากับ τ ดังนั้นความถี่ของการแกว่งดังกล่าวจึงสามารถเขียนเป็น $f_n = {}^1/_\tau$ รอบต่อหน่วยเวลา ความถี่ดังกล่าวคือ ความถี่ธรรมชาติของระบบ f_n ในกรณีที่เขียนความถี่ธรรมชาติอยู่ในรูปของหน่วยเรเดียนต่อหน่วยเวลา ความถี่ธรรมชาติจะถูกเขียนเป็น ω_n ตามสมการที่ (4.3) โดยมีความสัมพันธ์ $\omega_n = 2\pi f_n$



รูปที่ 4.2 การสั่นสะเทือนแบบอิสระของระบบมวลเดี่ยว

ในกรณีที่ต้องการรู้ค่าความถี่ธรรมชาติของระบบ ω_n โดยไม่รู้ค่า k ของสปริง อาจสามารถหาค่าความถี่ธรรมชาติได้โดยนำมวล m มาห้อยติดกับสปริง แล้ววัดค่ายืดหรือหดตัวจากความยาวสปริงปกติภายใต้สภาวะสมดุลทางสถิต และจากความสัมพันธ์ของแรงของมวลที่อยู่ในสมดุลจะสามารถเขียนได้เป็น

$$k\Delta = mg$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{g}{\Delta}} \qquad (4.4)$$

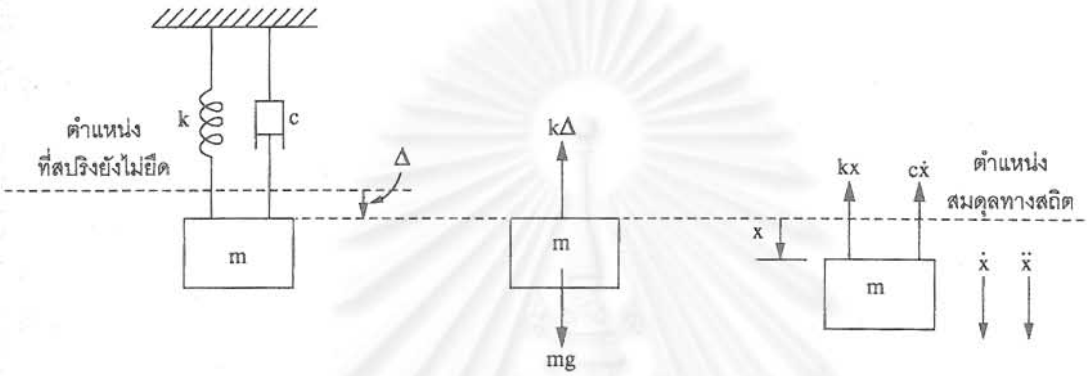
4.3.2 การสั่นสะเทือนแบบอิสระที่มีความหน่วง (Damped Free Vibration)

ระบบการสั่นสะเทือนแบบอิสระที่ไม่มีความหน่วงนั้นเป็นระบบทางอุดมคติ ระบบต่าง ๆ ที่ใช้งานอยู่จริงจะมีความหน่วงแฝงอยู่ ซึ่งความหน่วงนี้จะเป็นตัวที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานของระบบไป ถ้าปริมาณของพลังงานสูญเสียเนื่องจากความหน่วงนี้มีค่ามาก ในการวิเคราะห์ระบบก็จะต้องนำเอาความหน่วงนี้มาคิดด้วย ความหน่วงที่จะทำการวิเคราะห์และพิจารณาในที่นี้จะเป็นความหน่วงแบบหนืด (Viscous Damping)

การหน่วงแบบหนืดนี้จะก่อให้เกิดแรงต้านการเคลื่อนที่ซึ่งเป็นสัดส่วนกับความเร็วของการเคลื่อนที่ของมวล ซึ่งเขียนได้เป็น $F_d = c\dot{x}$ เมื่อ F_d คือแรงที่เกิดจากความหน่วง, c คือ ค่าความหน่วง และ $\dot{x}$

คือ อัตราเร็วของมวล ดังนั้นสมการการเคลื่อนที่ของระบบจะสามารถเขียนได้จากผังแรงอิสระและกฎข้อที่สองของนิวตันได้เป็น

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \qquad (4.5)$$



รูปที่ 4.3 ระบบมวลเดี่ยวที่มีความหน็ด

เพื่อให้ง่ายต่อการอธิบายและการเข้าใจถึงระบบดังกล่าว เทอมความหน่วงวิกฤต (Critical Damp) c_c จะถูกกำหนดขึ้นเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความหน่วงสมบูรณ์ในระบบ

$$c_c = 2\sqrt{km} = 2m\omega_n \qquad (4.6)$$

ดังนั้นค่าความหน่วงของระบบจะถูกเขียนใหม่เป็นเทอมไร้มิติเมื่อเทียบกับค่าความหน่วงวิกฤตเป็น

$$\zeta = \frac{c}{c_c} \qquad (4.7)$$

ซึ่งเรียกว่า อัตราส่วนความหน่วง (Damping Ratio)

สมการที่ (4.5) จะสามารถเขียนใหม่โดยนำเอาค่ามวล m หารตลอด และแทนค่า $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$ และค่าในสมการที่ (4.6) และ (4.7) ลงไปจะได้สมการในรูป

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2 x = 0 \qquad (4.8)$$

ซึ่งสมการที่ (4.8) เป็นสมการการเคลื่อนที่ของระบบที่อยู่ในรูปของสมการอนุพันธ์ย่อยอันดับสอง ผลเฉลยของสมการดังกล่าวสามารถเขียนอยู่ในรูปของ

$$x = Ae^{s_1 t} + Be^{s_2 t} \tag{4.9}$$

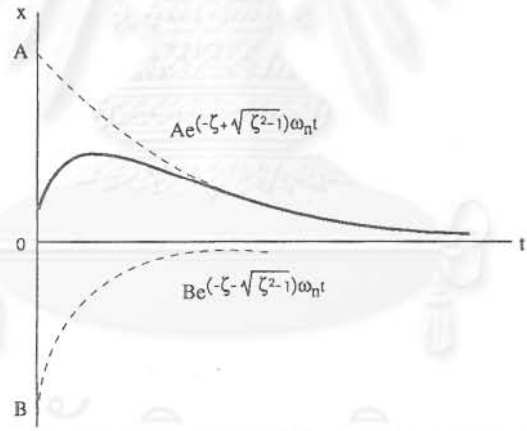
โดยที่ $$S_{1,2} = \left(-\zeta \pm \sqrt{\zeta^2 - 1}\right)\omega_n \tag{4.10}$$

เมื่อแทนค่าสมการที่ (4.10) ในสมการที่ (4.9) จะได้ผลเฉลยของขนาดของการสั่นสะเทือนอยู่ในรูป

$$x = e^{-\zeta\omega_n t}\left(Ae^{\sqrt{\zeta^2 - 1}\,\omega_n t} + Be^{-\sqrt{\zeta^2 - 1}\,\omega_n t}\right) \tag{4.11}$$

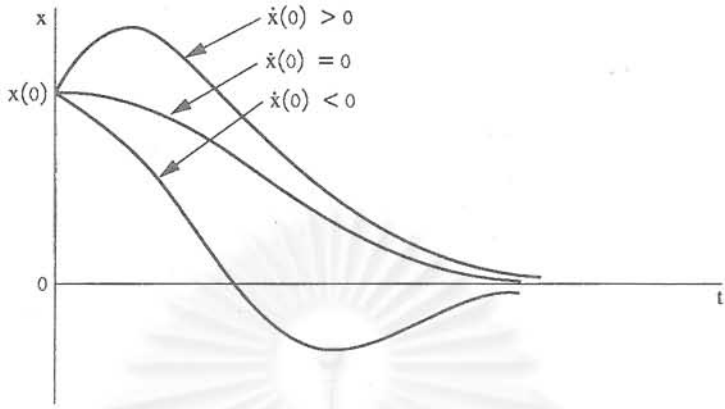
ผลเฉลยของสมการที่ (4.11) นั้นขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนของความหน่วง ζ ในรากที่สอง

ในกรณีที่ระบบมีความหน่วงสูง ($c > c_c$ หรือ $\zeta > 1$) จะทำให้เทอมในรากที่สองมีค่าเป็นค่าจำนวนจริง (Real Number) การสั่นสะเทือนจะลดขนาดลงในลักษณะของเลขชี้กำลัง (Exponential) แปรตามเวลา โดยไม่มีการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา กรณีดังกล่าวนี้จะถูกเรียกว่า กรณีการเคลื่อนที่แบบความหน่วงเกิน (Overdamped Motion) รูปที่ 4.4 แสดงถึงการเคลื่อนที่ลักษณะดังกล่าว



รูปที่ 4.4 การสั่นสะเทือนเมื่ออัตราส่วนความหน่วง $\zeta > 1$

ในกรณีที่ระบบมีความหน่วงเท่ากับความหน่วงวิกฤต ($c = c_c$ หรือ $\zeta = 1$) ระบบจะถูกเรียกว่าระบบมีการเคลื่อนที่แบบความหน่วงวิกฤต (Critical Damped Motion) การเคลื่อนที่จะลดขนาดลงโดยอาจมีการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาเล็กน้อยแล้วแต่เงื่อนไขเริ่มต้นของระบบ รูปที่ 4.5 แสดงถึงการสั่นสะเทือนดังกล่าว



รูปที่ 4.5 การสั่นสะเทือนเมื่ออัตราส่วนความหน่วง $\zeta = 1$

ในกรณีที่สามซึ่งคือกรณีที่ค่าความหน่วงของระบบน้อยกว่าค่าความหน่วงวิกฤติ ($c < c_c$ หรือ $\zeta < 1$) ซึ่งมักจะเรียกกรณีดังกล่าวเป็นกรณีที่มีการเคลื่อนที่แบบความหน่วงน้อย (Underdamped Motion) เมื่อแทนค่าอัตราส่วนความหน่วง ζ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าหนึ่งลงในสมการที่ (4.11)

ผลเฉลยของสมการนี้จะเป็น

$$x = e^{-\zeta\omega_n t} \left[D\sin(\omega_d t + \phi)\right] \qquad (4.12)$$

เมื่อ ϕ คือ มุมเฟส (Phase Angle)

D เป็นค่าคงที่ซึ่งหาได้จากเงื่อนไขเริ่มต้น

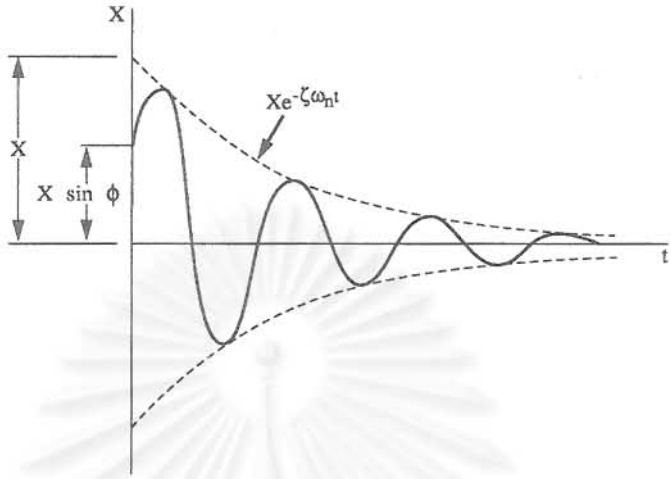
ζ คือ อัตราส่วนความหน่วง (Damping Ratio) $= c/c_c$

c_c เป็นค่าความหน่วงวิกฤติ (Critical Damping) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $2\sqrt{km}$

ω_n เป็นค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\sqrt{\frac{k}{m}}$

ω_d เป็นค่าความถี่ของระบบซึ่งมีค่าเท่ากับ $\omega_n\sqrt{1 - \zeta^2}$

รูปที่ 4.6 แสดงถึงผลเฉลยของสมการที่ (4.12) ซึ่งจะเป็นขนาดของการสั่นสะเทือนซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมา (Oscillating Motion) และลดขนาดลงจนมีค่าเข้าสู่ศูนย์เมื่อเวลาผ่านไป อัตราการลดลงของขนาดการสั่นสะเทือนนี้ก็จะขึ้นกับค่าอัตราส่วนความหน่วงของระบบว่ามีมากหรือน้อย



รูปที่ 4.6 การสั่นสะเทือนเมื่ออัตราส่วนความหน่วง $\zeta < 1$

การเคลื่อนที่แบบกรณีที่สามนี้จะเป็นกรณีที่สำคัญควรแก่การพิจารณา เนื่องจากการเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมานี้มักจะเป็นต้นเหตุของความล้าและความเสียหายต่อชิ้นส่วนของเครื่องจักร โดยมีสาเหตุจากขนาดของการสั่นสะเทือนที่มีมาก

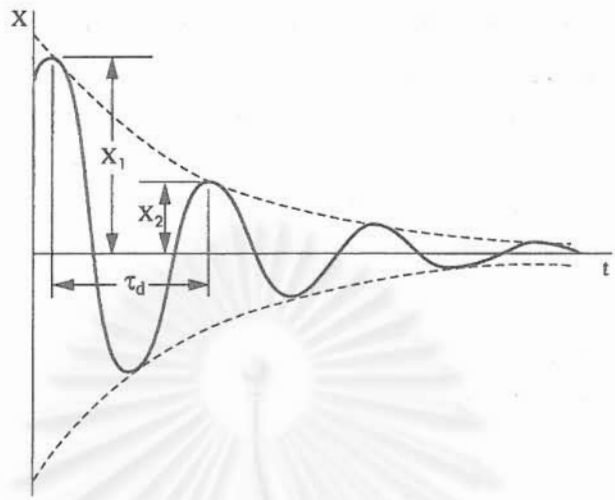
4.3.3 การลดลงแบบลอการิทึม (Logarithmic Decrement)

ในระบบของการทำงานจริงนั้น เรามักไม่ทราบค่าความหน่วงของระบบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องคำนวณหาค่าความหน่วงจากการวัดขนาดของการสั่นสะเทือนแบบอิสระของระบบที่ลดลง โดยเมื่อพิจารณาจากกราฟการสั่นสะเทือนในรูปที่ 4.7 ค่าลอการิทึมของอัตราส่วนของขนาดการสั่นสะเทือนในแต่ละคาบที่อยู่ถัดกันไปนั้นจะสามารถเขียนได้เป็น

$$\delta = \ln \left[\frac{X_1}{X_2} \right] \tag{4.13}$$

และจากค่าแอมพลิจูด X ในสมการที่ (4.12) และสมการที่ (4.13) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\delta = \ln \frac{e^{-\zeta\omega_n t} \left[D\sin(\omega_d t + \phi) \right]}{e^{-\zeta\omega_n (t + \tau_d)} \left[D\sin(\omega_d (t + \tau_d) + \phi) \right]} \tag{4.14}$$



รูปที่ 4.7 การลดลงของขนาดการสั่นสะเทือน

โดยที่ τ_d คือ คาบ (Period) ในการสั่นสะเทือน

$$\tau_d = \frac{2\pi}{\omega_d} = \frac{2\pi}{\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}} \tag{4.15}$$

$$\sin(\omega_d t + \phi) = \sin(\omega_d(t + \tau_d) + \phi)$$

$$\delta = \ln \frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{e^{-\zeta\omega_n(t + \tau_d)}} = \ln e^{\zeta\omega_n\tau_d}$$

$$\delta = \zeta\omega_n\tau_d$$

แทนค่า τ_d จากสมการที่ (4.8) จะได้

$$\delta = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1 - \zeta^2}} \tag{4.16}$$

สำหรับค่า ζ ที่น้อย

$$\delta \cong 2\pi\zeta \tag{4.17}$$

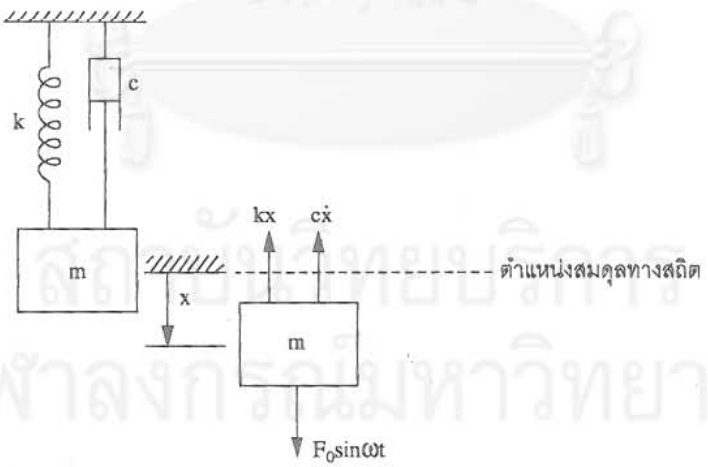
ดังนั้นจากสมการที่ (4.16) หรือ (4.17) เราจะสามารถหาค่าอัตราส่วนความหน่วง ζ ได้จากการรู้ค่าการลดลงแบบลอการิทึม δ ซึ่งได้จากการวัด

4.3.4 การสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้น (Forced Vibration)

การสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้นเป็นการสั่นสะเทือนที่เกิดจากแรงภายนอกมากระตุ้น และการสั่นสะเทือนจะเป็นไปตามลักษณะของแรงภายนอกและความถี่ของแรงที่มากระตุ้นระบบ ลักษณะของแรงภายนอกที่มากระตุ้นระบบมีได้หลายรูปแบบ อาทิ การกระตุ้นในลักษณะของฮาร์มอนิก (Harmonic) (การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกเป็นการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาเป็นรูปลูกคลื่นไซน์ (Sine) หรือโคไซน์ (Cosine)) ในลักษณะเป็นคาบ (Periodic) หรือในลักษณะสุ่ม (Random) เป็นต้น ในเครื่องจักรกลหมุน การกระตุ้นของระบบมักจะอยู่ในรูปของแรงกระตุ้นแบบคาบ และเนื่องจากแรงกระตุ้นแบบเป็นคาบนั้นจะสามารถแยกย่อยออกเป็นผลรวมของการกระตุ้นแบบฮาร์มอนิกที่ความถี่ต่าง ๆ กันได้ ดังนั้นจึงนิยมที่จะพิจารณาพฤติกรรมของการสั่นสะเทือนโดยใช้แบบจำลองในรูปของแรงกระตุ้นแบบฮาร์มอนิก

เมื่อระบบถูกกระตุ้นด้วยแรงภายนอกแบบฮาร์มอนิก (Harmonic) การสั่นสะเทือนของระบบจะเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกับแรง คือ จะสั่นสะเทือนด้วยความถี่เดียวกับความถี่ของแรงที่มากระตุ้น ต้นกำเนิดของแรงกระตุ้นแบบฮาร์มอนิกที่พบได้ง่ายที่สุด ได้แก่ ความไม่สมดุลของเครื่องจักรที่หมุน หรือการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรแบบชักกลับไปกลับมา เป็นต้น การสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้นเหล่านี้อาจมีผลต่อสมรรถนะและการทำงานตามปกติของเครื่องจักร และอาจทำให้เครื่องจักรเสียหายได้ ถ้าการสั่นสะเทือนนั้นมีขนาดใหญ่

การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้นนี้สามารถกระทำได้โดยพิจารณาจากระบบมวลเดี่ยวที่มีความหน่วงภายใต้การกระตุ้นด้วยแรงแบบฮาร์มอนิกที่มีความถี่ ω รูปที่ 4.8 แสดงถึงระบบดังกล่าว



รูปที่ 4.8 ระบบมวลเดี่ยวภายใต้การกระตุ้นแบบฮาร์มอนิก

สมการเคลื่อนที่ของระบบสามารถเขียนโดยใช้ผังแรงอิสระและกฎข้อที่สองของนิวตันได้เป็น

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_0 \sin\omega t \qquad (4.18)$$

ผลเฉลยของสมการนี้จะแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรกจะเป็นผลเฉลยของการสั่นสะเทือนแบบอิสระ $m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0$ ซึ่งผลเฉลยมีค่าเท่ากับ $x = e^{-\zeta\omega_n t}[D\sin(\omega_d t + \phi_d)]$ (จากสมการที่ (4.12) (โดยเปลี่ยน $\phi = \phi_d$)) ซึ่ง x จะมีขนาดลดลงเป็นศูนย์เมื่อเวลาผ่านไป ผลเฉลยส่วนนี้จะถูกเรียกว่า การเคลื่อนที่แบบทรานเซียน (Transient Motion)

ส่วนการสั่นสะเทือนส่วนที่เหลือที่ยังเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจะเป็นส่วนที่เกิดจากแรงกระตุ้น $F_0\sin\omega t$ ซึ่งจะมีการเคลื่อนที่อยู่ในรูปเดียวกับแรงกระตุ้น ผลเฉลยของการสั่นสะเทือนส่วนที่สองนี้ซึ่งถูกเรียกว่า การเคลื่อนที่แบบสภาวะคงตัว (Steady State Motion) จะสามารถเขียนได้เป็น

$$x = X\sin(\omega t - \phi) \tag{4.19}$$

เมื่อ X เป็นขนาดของการสั่นสะเทือนที่มีค่าสูงสุด และ ϕ เป็นมุมเฟสที่เทียบกับแรงที่มากระตุ้น ขนาดของค่า X สามารถเขียนได้เป็น

$$X = \frac{F_0}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} \tag{4.20}$$

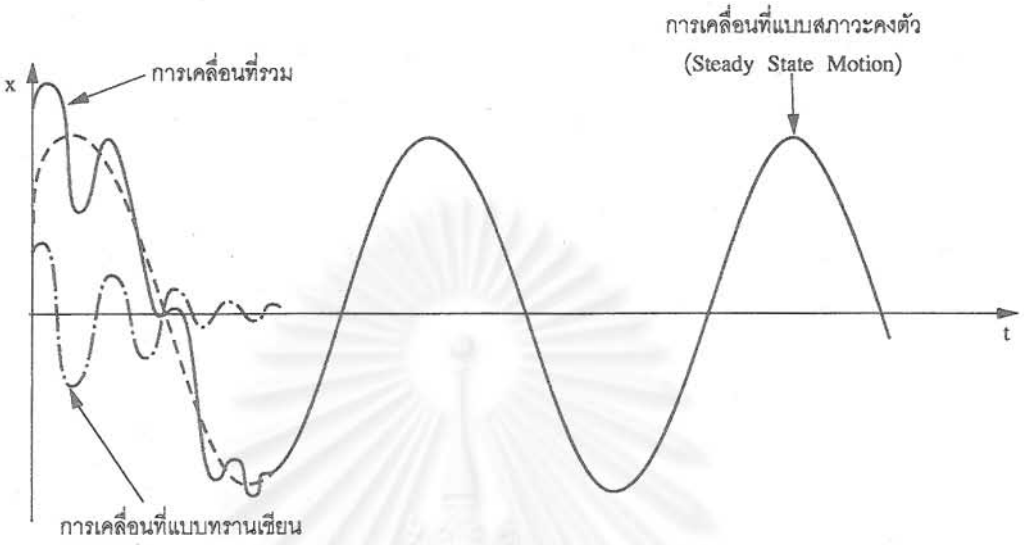
$$\phi = \tan^{-1}\left[\frac{c\omega}{k - m\omega^2}\right] \tag{4.21}$$

ดังนั้นผลเฉลยรวมของการเคลื่อนที่ภายใต้แรงกระตุ้นแบบฮาร์มอนิกสามารถเขียนได้เป็น

$$x = e^{-\zeta\omega_n t}\left[D\sin(\omega_d t + \phi_d)\right] + X\sin(\omega t - \phi) \tag{4.22}$$

รูปที่ 4.9 เป็นผลเฉลยของสมการที่ (4.22) ซึ่งจะเห็นได้ว่าในช่วงแรกขนาดของการสั่นสะเทือนเป็นผลรวมของการเคลื่อนที่ทั้งสองแบบ และเมื่อการเคลื่อนที่แบบทรานเซียนได้ลดขนาดลงจนเป็นศูนย์ การสั่นสะเทือนจะมีรูปร่างเป็นไปตามสมการที่ (4.19)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.9 การสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้นโดยในช่วงแรกมีผลเฉลยของการสั่นสะเทือนแบบอิสระรวมอยู่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5 ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อขนาดของการสั่นสะเทือน

5.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการควบคุมขนาดของการสั่นสะเทือนของระบบมวลเดี่ยวภายใต้เงื่อนไขของแรงภายนอกที่มากระตุ้นแบบต่าง ๆ โดยพิจารณาผลกระทบของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบที่มีต่อขนาดของการสั่นสะเทือน การสั่นสะเทือนที่เกิดจากแรงกระตุ้นภายนอกแบบต่าง ๆ ที่ถูกนำมาพิจารณาได้แก่ การสั่นสะเทือนที่เกิดจากแรงกระตุ้นแบบฮาร์มอนิก การสั่นสะเทือนของระบบที่เกิดจากความไม่สมดุล การสั่นสะเทือนของระบบที่ถูกกระตุ้นจากการเคลื่อนที่ของฐานรอง และการแยกเอาการสั่นสะเทือนออก ซึ่งจะพบว่าความถี่ของแรงที่มากระตุ้น ความถี่ธรรมชาติ และความหน่วงของระบบต่างมีผลต่อขนาดของการสั่นสะเทือน

5.2 การสั่นสะเทือนจากแรงภายนอกแบบฮาร์มอนิก

ระบบมวลเดี่ยวที่ประกอบด้วยสปริงที่มีค่าความแข็งของสปริงเท่ากับ k และมีค่าความหน่วง c ถูกกระตุ้นด้วยแรงภายนอกแบบฮาร์มอนิก $F_0\sin\omega t$ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.1 สมการการเคลื่อนที่ของระบบสามารถเขียนโดยใช้ผังแรงอิสระและกฎข้อที่สองของนิวตันได้เป็น

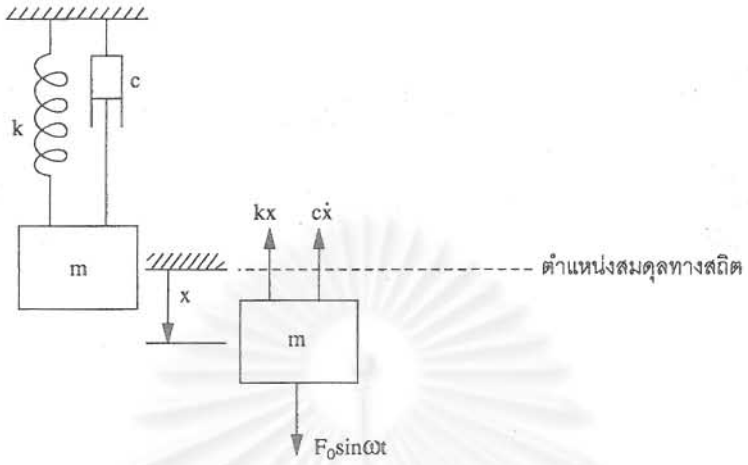
$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_0\sin\omega t \qquad (5.1)$$

ผลเฉลยในส่วนของการเคลื่อนที่คงตัว (Steady State Motion) สามารถเขียนได้เป็น

$$x = X\sin(\omega t - \phi) \qquad (5.2)$$

โดยที่ขนาดการสั่นสะเทือน x และมุมเฟส ϕ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเทอมไร้มิติเป็น

ห้องสมุดกลางวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.1 ระบบมวลเดี่ยวภายใต้แรงภายนอกกระตุ้น

$$\frac{\frac{X}{F_0}}{k} = \frac{1}{\sqrt{\left[1-\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\zeta\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)\right]^2}} \qquad (5.3)$$

$$\phi = \tan^{-1}\left[\frac{2\zeta\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)}{1-\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}\right] \qquad (5.4)$$

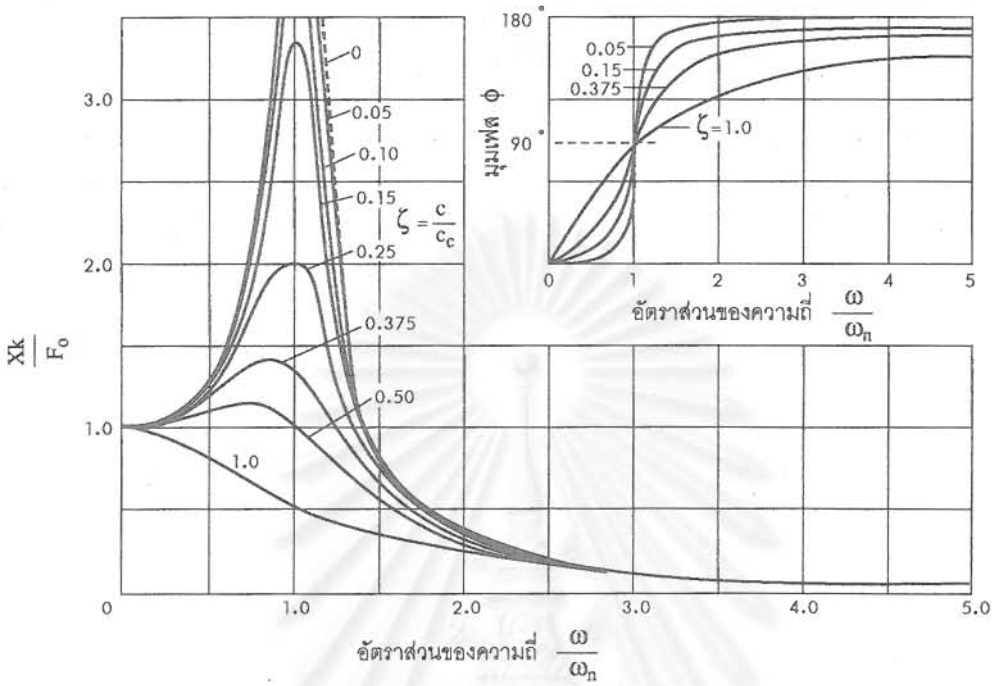
โดยที่ $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$

$$c_c = 2\sqrt{km}$$

$$\zeta = \frac{c}{c_c}$$

ซึ่งเมื่อนำค่าในสมการที่ 5.3 และ 5.4 มาเขียนโดยแปรค่าอัตราส่วนของความถี่ของแรงกระตุ้นต่อความถี่ธรรมชาติของระบบ ω/ω_n และอัตราส่วนความหน่วง ζ จะได้ภาพที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของขนาดการสั่นสะเทือนและมุมเฟสดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.2

รูปที่ 5.2 จะแสดงถึงความสัมพันธ์ของเทอมไร้มิติ $X/(F_0/k)$ กับค่าอัตราส่วนความถี่ (ω/ω_n) และค่าอัตราส่วนความหน่วง ζ และความสัมพันธ์ของมุมเฟส ϕ กับค่าอัตราส่วนความถี่ ω/ω_n และค่าอัตราส่วนความหน่วง ζ และจากรูปที่ 5.2 นี้ จะสังเกตได้ว่า

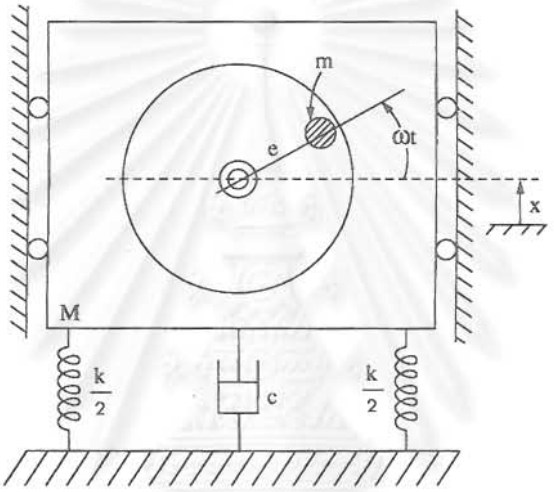


รูปที่ 5.2 การขยายทางพลวัตและมุมเฟสของการสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้น [3]

- ขนาดการสั่นสะเทือนจะมีขนาดใหญ่ขึ้น ถ้าค่าอัตราส่วนความหน่วงลดลง
- อัตราส่วนของความถี่ ω/ω_n จะมีผลต่อขนาดของการสั่นสะเทือนเป็นอย่างมาก
- เมื่อความถี่ของแรงที่ใช้มากระตุ้นมีค่าน้อยกว่าความถี่ธรรมชาติของระบบมาก ค่าอัตราส่วนความหน่วงจะมีผลต่อขนาดการสั่นสะเทือนน้อยมาก
- เมื่อความถี่ของแรงที่มากระตุ้นมีค่ามากกว่าความถี่ธรรมชาติของระบบมาก การตอบสนองจะมีขนาดค่อนข้างเล็ก
- เมื่อความถี่ของแรงที่มากระตุ้นมีค่าเท่ากับความถี่ธรรมชาติของระบบ ขนาดของการสั่นสะเทือน X จะมีค่าเท่ากับ $F_0/(2\zeta k)$ (ขึ้นกับค่าอัตราส่วนความหน่วงเป็นอย่างมาก)
- เมื่อความถี่ของแรงที่มากระตุ้นมีค่าน้อยกว่าความถี่ธรรมชาติของระบบมาก การตอบสนองจะมีค่ามุมเฟสน้อยกว่า 90 องศา
- เมื่อความถี่ของแรงที่มากระตุ้นมีค่ามากกว่าความถี่ธรรมชาติของระบบมาก การตอบสนองจะมีค่ามุมเฟสเข้าใกล้มุม 180 องศา
- เมื่อความถี่ของแรงที่มากระตุ้นมีค่าเท่ากับความถี่ธรรมชาติของระบบการตอบสนองจะมีมุมเฟสเป็น 90 องศา นั่นคือ การสั่นสะเทือนเกิดตามหลังแรงเป็นมุม 90 องศา

5.3 การสั่นสะเทือนเนื่องจากการหมุนที่ไม่สมดุล (Vibration Due To Rotating Unbalance)

ความไม่สมดุลของเครื่องจักรที่ต้องหมุนเป็นแหล่งที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนได้ง่าย เราจะมาพิจารณาการสั่นสะเทือนนี้ โดยพิจารณาจากระบบที่ประกอบด้วยมวล M ถูกบังคับให้เคลื่อนที่ขึ้นและลงในแนวดิ่งเท่านั้น ตัวมวล M มีส่วนที่หมุนติดอยู่และหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม ω ส่วนที่หมุนนี้มีมวลเล็ก m เยื้องศูนย์อยู่ห่างจากแกนหมุนเป็นระยะ e ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 โมเดลของเครื่องจักรหมุนที่ไม่สมดุล

สมการการเคลื่อนที่ของระบบจะเขียนได้เป็น

$$M\ddot{x} + c\dot{x} + kx = me\omega^2 \sin\omega t \qquad (5.5)$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่า สมการนี้จะมีรูปเหมือนสมการการเคลื่อนที่ของการสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้น โดยที่ค่า $me\omega^2$ ในสมการที่ 5.5 เป็นค่า F_0 ในสมการที่ 5.1

ผลเฉลยของระบบในสภาวะคงตัว (Steady State) เขียนได้เป็น

$$x = X\sin(\omega t - \phi) \qquad (5.6)$$

โดย X คือ ค่าขนาดความสั่นสะเทือนที่มีค่าสูงสุด

และ

$$X = \frac{me\omega^2}{\sqrt{(k - M\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} \qquad (5.7)$$

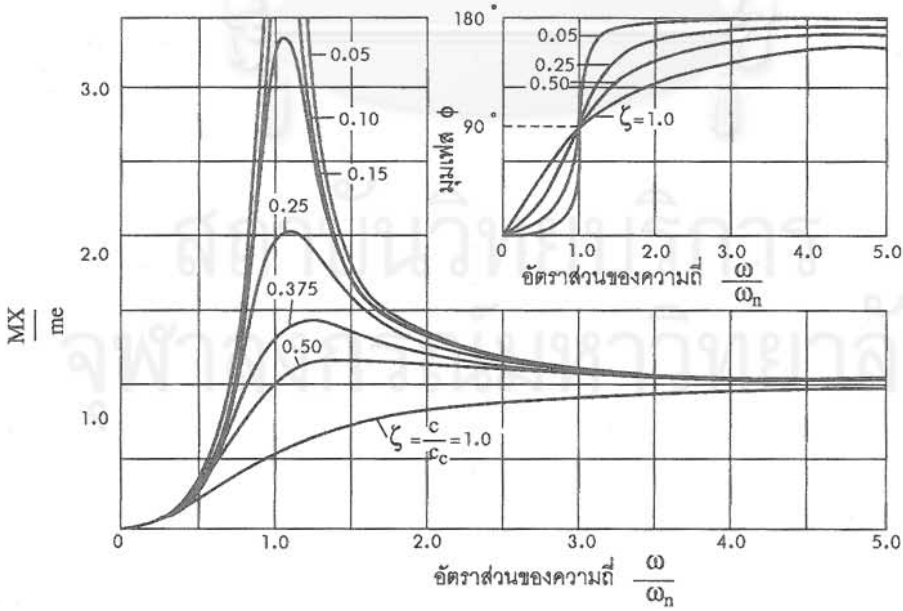
$$\tan \phi = \frac{c\omega}{k - M\omega^2} \tag{5.8}$$

เมื่อเขียนเป็นเทอมไร้มิติจะได้

$$\frac{MX}{me} = \frac{\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\zeta\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)\right]^2}} \tag{5.9}$$

$$\tan \phi = \frac{2\zeta\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \tag{5.10}$$

ลักษณะการแปรเปลี่ยนของขนาดการสั่นสะเทือนในรูปเทอมไร้มิติและมุมเฟสนี้แสดงไว้ในรูปที่ 5.4 ซึ่งจะคล้ายกับรูปที่ 5.2 กล่าวคือ ขนาดการสั่นสะเทือนจะมีค่าสูงในบริเวณที่ความถี่เข้าใกล้ความถี่ธรรมชาติ (ใกล้เรโซแนนซ์) และค่าอัตราส่วนความหน่วงจะมีผลต่อขนาดและมุมเฟสของการสั่นสะเทือนมากและที่บริเวณซึ่งความถี่ของการหมุนมีค่ามากกว่าความถี่ธรรมชาติมาก ($\omega/\omega_n >> 1$) ค่าขนาดการสั่นสะเทือน X มีค่าเข้าสู่ (me)/M ไม่ว่าความหน่วงจะมีค่าเท่าใดก็ตาม

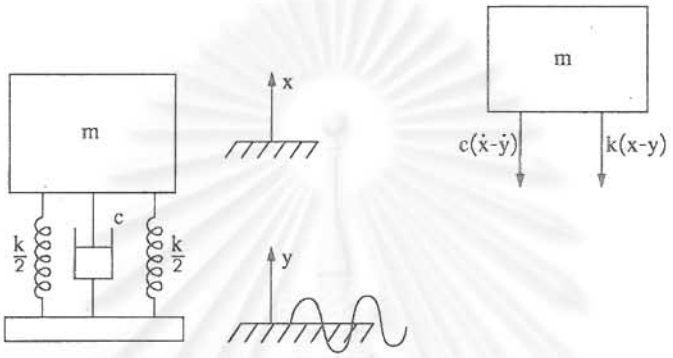


รูปที่ 5.4 ขนาดของการสั่นสะเทือนจากการหมุนที่ไม่สมดุล [3]

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4 การสั่นสะเทือนเนื่องจากการเคลื่อนที่ของฐานรอง (Vibration Due To Support Motion)

มีหลาย ๆ กรณีที่เครื่องจักรถูกกระตุ้นให้เกิดการสั่นสะเทือน เนื่องจากการเคลื่อนที่ของฐานรอง ถ้าฐานรองมีการสั่นสะเทือนแบบฮาร์มอนิกในลักษณะที่เขียนได้เป็น $y = Y\sin\omega t$ ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 โมเดลเครื่องจักรที่ถูกกระตุ้นจากการเคลื่อนที่ของฐานรอง

และกำหนดให้ x เป็นระยะการเคลื่อนที่ของมวล m จากแกนอ้างอิงคงที่

สมการการเคลื่อนที่ของระบบจะเขียนได้จากผังแรงอิสระและกฎข้อที่สองของนิวตันเป็น

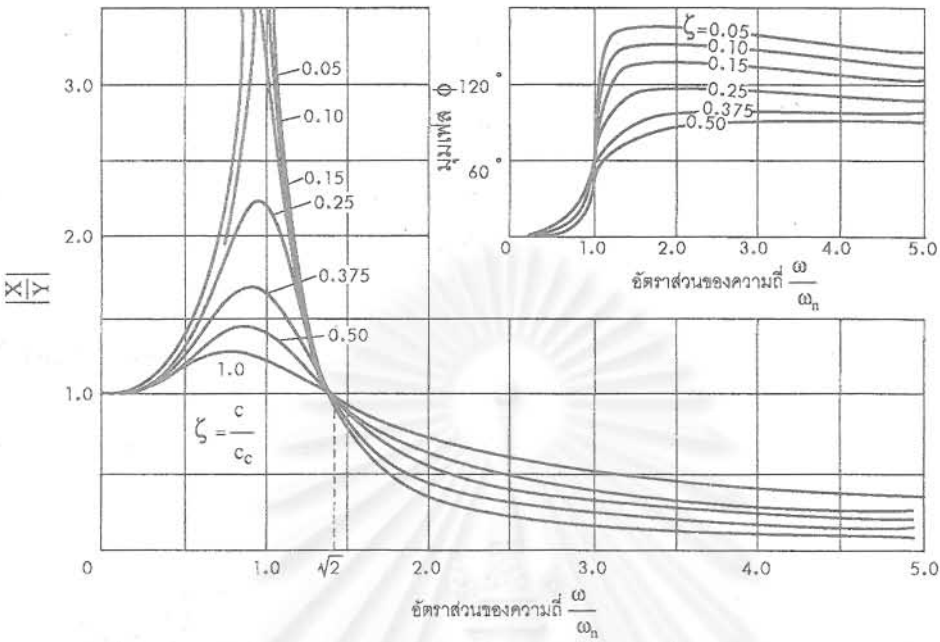
$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = c\dot{y} + ky \tag{5.11}$$

ซึ่งผลเฉลยในรูปการสั่นสะเทือนสภาวะสม่ำเสมอจะเขียนได้เป็น $x = X\sin(\omega t - \phi)$ ดังนั้นอัตราส่วนของขนาดการสั่นสะเทือนของมวลที่มีค่าสูงสุดต่อขนาดการสั่นสะเทือนของฐานรองที่มีค่าสูงสุดซึ่งคืออัตราส่วนของการส่งผ่านการเคลื่อนที่ (Motion Transmissibility) จะเขียนได้เป็น

$$\left|\frac{X}{Y}\right| = \frac{\sqrt{k^2 + (c\omega)^2}}{\sqrt{[(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2]}} \tag{5.12}$$

$$= \frac{\sqrt{1 + \left[2\zeta\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)\right]^2}}{\sqrt{\left[1-\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\zeta\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)\right]^2}} \tag{5.13}$$

$$\tan\phi = \frac{mc\omega^3}{k(k - m\omega^2) + (\omega c)^2} \tag{5.14}$$



รูปที่ 5.6 อัตราส่วนของขนาดการสั่นสะเทือนและมุมเฟสของการสั่นสะเทือนของฐานรอง [3]

จะสังเกตได้ว่า $\left|\frac{X}{Y}\right| < 1.0$ เมื่ออัตราส่วน $\frac{\omega}{\omega_n} > \sqrt{2}$

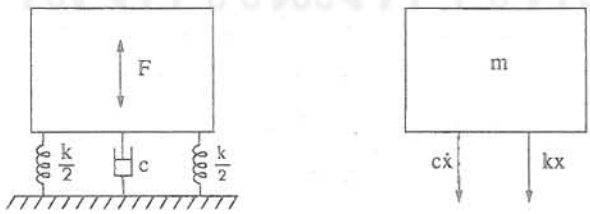
COLLEGE OF ENGINEERING
58452
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.5 การกันการสั่นสะเทือนออก (Vibration Isolation)

แรงพลวัตที่เกิดขึ้นจากการทำงานของเครื่องจักรมักมีขนาดใหญ่ แต่แรงที่ส่งผ่านไปยังฐานรองสามารถทำให้มีขนาดลดลงได้โดยการใช้ที่ยึดติดตั้งแบบยืดหยุ่นที่เหมาะสม ซึ่งเรามักจะเรียกที่ยึดแบบยืดหยุ่นนี้ว่า ตัวกันการสั่นสะเทือน (Vibration Isolator) ซึ่งอาจเป็นตัวสปริงก็ได้

รูปที่ 5.7 แสดงถึงระบบมวลเดี่ยวที่มีแรง $F_0 \sin\omega t$ มากระตุ้น ขนาดของแรงที่ส่งผ่านตัวสปริงและตัวหน่วงไปยังฐานรอง (ซึ่งเวกเตอร์แรงจากสปริงและตัวหน่วงจะมีทิศต่างกัน 90 องศา) จะเขียนได้เป็น

$$F_t = \sqrt{(kX)^2 + (c\omega X)^2} \qquad (5.15)$$



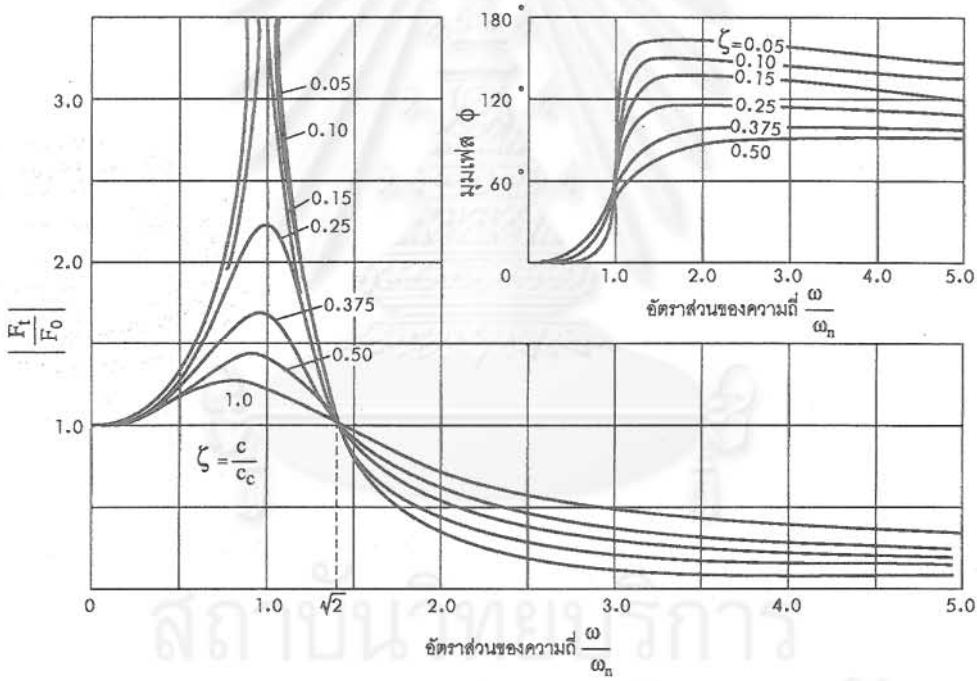
รูปที่ 5.7 การส่งผ่านแรงผ่านตัวสปริงและตัวหน่วง

อัตราส่วนของขนาดของแรงที่ถูกส่งผ่านไปสู่ฐานรองต่อขนาดของแรงที่มากระตุ้นจะเขียนได้เป็น

$$\frac{F_t}{F_0} = \frac{\sqrt{1 + \left(2\zeta \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\zeta \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)\right]^2}} \qquad (5.16)$$

จะสังเกตได้ว่า สมการที่ 5.16 เหมือนกับสมการที่ 5.13 ค่าอัตราส่วนการส่งผ่านแรงจะมีค่าเท่ากับค่าอัตราส่วนส่งผ่านการเคลื่อนที่

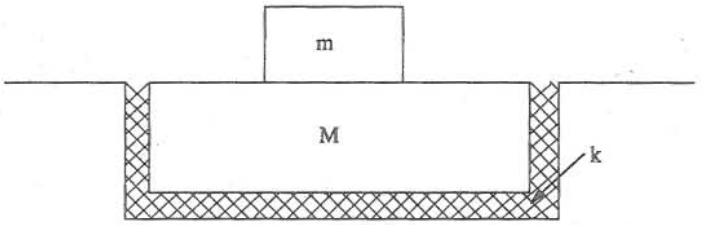
รูปที่ 5.8 แสดงถึงความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนการส่งผ่านแรงกับอัตราส่วนความถี่ และอัตราส่วนความหน่วง



รูปที่ 5.8 อัตราส่วนการส่งผ่านแรงและมุมเฟส [3]

จะเห็นได้ว่า การกันการสั่นสะเทือนนี้จะกระทำได้ เมื่ออัตราส่วนความถี่ ω/ω_n มีค่ามากกว่า $\sqrt{2}$ เท่านั้น และในระบบจำเป็นต้องมีความหน่วงพอสมควรเพื่อจำกัดขนาดการสั่นสะเทือนในขณะที่ความเร็วของมวลในระบบถูกกระตุ้นผ่านค่าความถี่ธรรมชาติไปสู่ความถี่ใช้งาน

นอกจากจะเลือกใช้สปริงและตัวหน่วงที่เหมาะสมในการจำกัดและกันความสั่นสะเทือนของระบบแล้ว ในบางครั้งอาจจะทำการลดขนาดของการสั่นสะเทือนของระบบลง โดยการติดตั้งเครื่องจักรลงบนฐานที่มีมวลขนาดใหญ่ M ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 การขยายแท่นฐานของเครื่องจักร

ในกรณีที่ระบบมีความหน่วงน้อยมาก สมการของการส่งผ่านอาจสามารถลดรูปลงเป็น

$$TR = \frac{1}{\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 - 1} \qquad (5.17)$$

โดย TR คือ ค่าการส่งผ่าน Transmissibility

ในการเลือกใช้ตัวกันการสั่นสะเทือนนั้น จะต้องเลือกให้ค่าอัตราส่วนความถี่ ω/ω_n มีค่ามากกว่า $\sqrt{2}$ เสมอ เพื่อให้ค่า TR มีค่าน้อยกว่า 1

เมื่อให้ Δ เป็นระยะยืดหรือหดตัวจากความยาวสปริงปกติในตำแหน่งสมดุลทางสถิตและ f เป็นความถี่ของแรงที่มากระตุ้นในหน่วยของรอบต่อหน่วยเวลา

$$\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 = \frac{(2\pi f)^2}{\left(\frac{g}{\Delta}\right)} = \frac{(2\pi f)^2 \Delta}{g} \qquad (5.18)$$

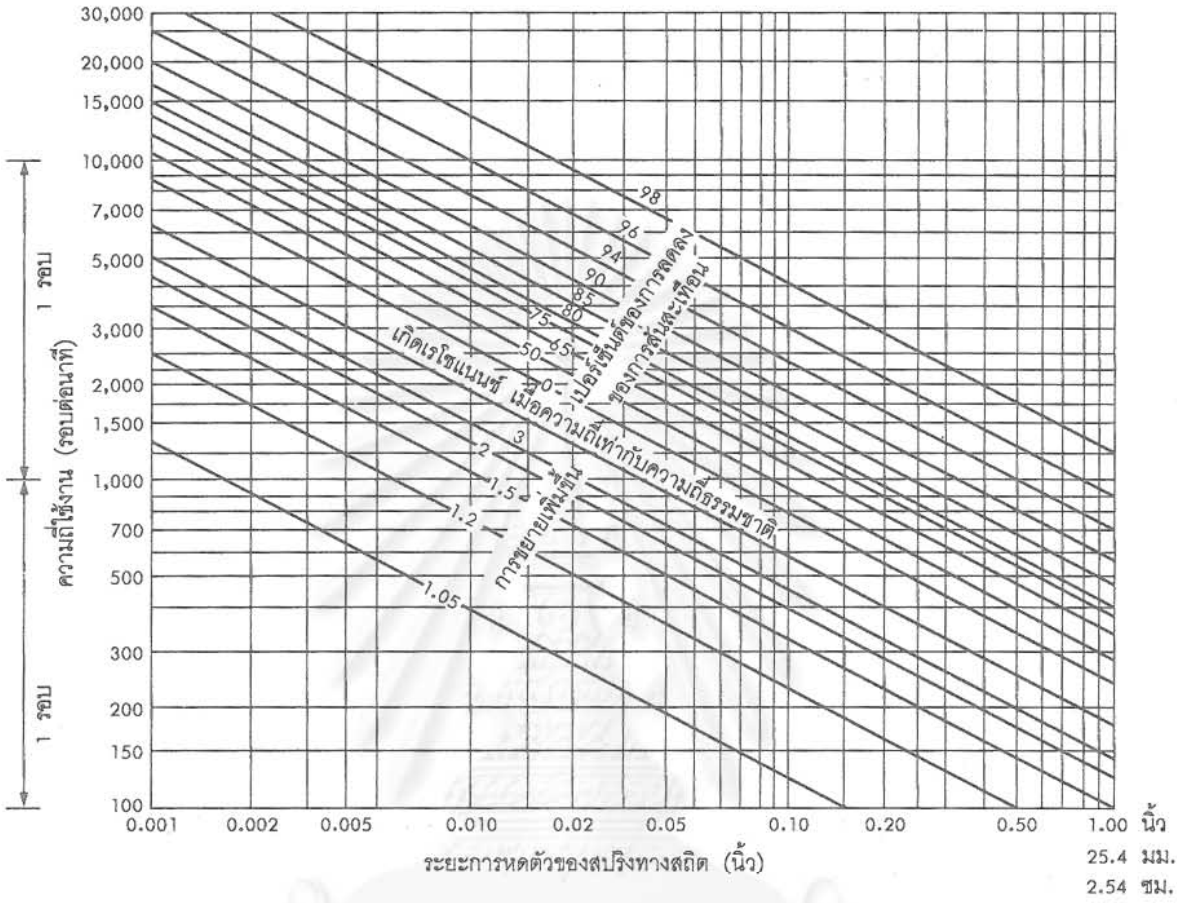
$$TR = \frac{1}{\frac{(2\pi f)^2 \Delta - 1}{g}} \qquad (5.19)$$

ถ้าให้การลดลงของการส่งผ่าน (Reduction in Transmissibility) เป็น $R = 1 - TR$ สมการที่ 5.19 จะสามารถจัดรูปเขียนใหม่เป็นความสัมพันธ์ของ R , Δ และ f ได้ดังนี้

$$f = 15.76 \sqrt{\frac{1}{\Delta}\left(\frac{2 - R}{1 - R}\right)} \quad Hz \qquad (5.20)$$

Δ มีหน่วยเป็นเมตร

รูปที่ 5.10 เป็นรูปที่แสดงความสัมพันธ์ของสมการที่ 5.20



รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ของการยืด/หดกับการลดลงของอัตราการส่งผ่าน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6 สัญญาณการสั่นสะเทือน

6.1 บทนำ

ในบทที่ 4 และบทที่ 5 ได้กล่าวถึงการสั่นสะเทือนและทฤษฎี รวมถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายการสั่นสะเทือนของระบบมวลเดี่ยว และผลเฉลยในรูปของการเคลื่อนที่ รวมทั้งผลของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการสั่นสะเทือนที่มีต่อขนาดของการสั่นสะเทือนเพื่อให้เข้าใจถึงพฤติกรรมของการสั่นสะเทือน ในบทนี้จะกล่าวถึงการสั่นสะเทือนในแง่ของการนำมาใช้งานในเรื่องของการบำรุงรักษาและการตรวจสภาพการทำงานของเครื่องจักร เพราะในการนำการสั่นสะเทือนมาใช้งานมักจะต้องมีเครื่องวัดมาช่วยในการเก็บข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ ดังนั้นในบทนี้จึงจะกล่าวถึงสาเหตุส่วนใหญ่ที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนในเครื่องจักรและชนิดของสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ใช้ ซึ่งสัญญาณที่กล่าวถึงทั้งหมดเป็นสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนเวลา

6.2 การสั่นสะเทือนกับสภาพของเครื่องจักร

เครื่องจักรทั่วไปเมื่อทำงานไม่ว่าจะอยู่ในสภาพที่ดีเยี่ยมหรือเสียหายต่างมีการสั่นสะเทือนและเสียง (Noise) เสมอ เพียงแต่ว่าระดับหรือขนาดของการสั่นสะเทือนและเสียงในเครื่องจักรที่อยู่ในสภาพที่ดีจะมีขนาดต่ำ (ในขนาดที่ยอมรับได้) ในขณะที่เมื่อเครื่องจักรมีสภาพชำรุดหรือมีจุดบกพร่องเกิดขึ้นระหว่างทำงาน ขนาดหรือระดับของการสั่นสะเทือนและเสียงก็มักจะมีขนาดสูงตามสภาพการชำรุดหรือบกพร่อง ดังนั้นจากความจริงข้อนี้จึงมักมีการใช้ขนาดของการสั่นสะเทือนหรือเสียงเป็นตัววินิจฉัยสภาพหรือปัญหาที่เกิดขึ้นในเครื่องจักรเพื่อประโยชน์ในการบำรุงรักษา

โดยทั่วไปแล้วการสั่นสะเทือนในเครื่องจักรมักเป็นตัวที่บ่งบอกถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในเครื่องจักร สาเหตุสำคัญของการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในเครื่องจักร คือ

- การไม่สมดุลของชิ้นส่วนเครื่องจักรที่หมุน
- การไม่อยู่ในแนวเดียวกัน (Misalignment) ของตัวต่อ (Coupling) และตลับลูกปืน (Bearing)
- เพลาที่แอ่น (Bent Shaft)
- เฟืองที่เยื้องศูนย์ เฟืองที่สึกและเสียหาย

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- สายพานขับและโซ่ขับที่เสียหาย
- ตลับลูกปืนชำรุด
- การแปรเปลี่ยนของแรงบิด
- แรงจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
- แรงจากอากาศพลศาสตร์
- แรงจากของเหลว
- การหลุดหลวม
- การถูและสีกัน
- การเกิดเรโซแนนซ์

6.3 การสั่นสะเทือนและเสียง (Vibration and Noise)

เวลาเครื่องจักรเกิดปัญหามักเกิดการสั่นสะเทือนและเกิดเสียงตามมาด้วย การเกิดเสียงดังผิดปกติมักเป็นตัวบ่งชี้ถึงการทำงานที่ผิดปกติของเครื่องจักรได้ ดังนั้นนอกเหนือจากการวัดการสั่นสะเทือนเพื่อบอกสภาพการทำงานของเครื่องจักรแล้ว การวัดเสียงที่เกิดจากการทำงานของเครื่องจักรก็เป็นอีกวิธีหนึ่งในการตรวจสอบสภาพของเครื่องจักร การวัดระดับเสียงจะมีข้อดีตรงที่กระทำได้ง่ายไม่จำเป็นต้องเอาตัวอุปกรณ์การวัดไปติดอยู่กับตัวเครื่องจักร แต่การวัดระดับเสียงมักมีปัญหาของการที่เสียงอื่นนอกเหนือจากเสียงเครื่องจักรมาสอดแทรกรบกวน และมักมีปัญหาว่าเสียงของเครื่องจักรที่วัดได้เป็นเสียงรวมไม่สามารถวัดเสียงเฉพาะของชิ้นส่วนของเครื่องจักรแต่ละชิ้นได้ แต่การวัดการสั่นสะเทือนจะสามารถวัดเฉพาะเจาะจงลงไปที่ชิ้นส่วนของเครื่องจักรแต่ละชิ้นได้ ดังนั้นการวัดการสั่นสะเทือนจึงเป็นที่นิยมมากกว่าการวัดระดับเสียง

6.4 ชนิดของสัญญาณการสั่นสะเทือน (Type of Vibration Signal)

สัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากเครื่องจักรจะสามารถนำมาช่วยในการบ่งบอกถึงสภาพหรือข้อบกพร่องของเครื่องจักร พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดจะประกอบด้วย

1. ความถี่
2. ขนาดของการสั่นสะเทือน
3. มุมเฟส

6.4.1 ความถี่

ความถี่ในที่นี้หมายถึงความถี่ของการสั่นสะเทือน ซึ่งหากพิจารณาสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนเวลาก็จะหมายถึง จำนวนรอบของการสั่นสะเทือนต่อหน่วยเวลา ซึ่งหน่วยที่นิยมใช้จะเป็น CPM (Cycle Per Minute) พารามิเตอร์ความถี่นี้จะเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากตัวหนึ่งในการบ่งบอกถึงสภาพความเสียหายได้ถ้าหากนำพารามิเตอร์นี้ไปใช้กับสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่

6.4.2 ขนาดของการสั่นสะเทือน

เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอีกตัวที่ใช้บ่งบอกสภาพของเครื่องจักร โดยทั่วไปแล้วขนาดของการสั่นสะเทือนหากมีขนาดใหญ่ย่อมหมายถึงเครื่องจักรเริ่มมีปัญหา ขนาดของการสั่นสะเทือนในปัจจุบันที่มีอยู่หลายชนิด ในที่นี้จะกล่าวถึงพารามิเตอร์หลักที่นิยมใช้ได้แก่

1. การขจัดหรือระยะการเคลื่อนที่ (Displacement)
2. ความเร็ว (Velocity)
3. ความเร่ง (Acceleration)

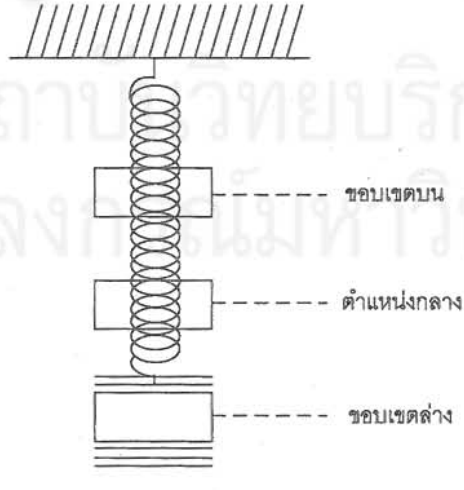
การขจัดหรือระยะการเคลื่อนที่คือ ระยะการเคลื่อนที่ของมวลจากจุดสมดุล หรือขนาด x(t) ในผลเฉลยของการสั่นสะเทือนของระบบมวลเดี่ยวที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 4 หรือในกรณีที่วัดค่าจากค่าสูงสุดไปยังค่าต่ำสุด (Peak to Peak) จะเป็นค่าระยะทางทั้งหมดที่ตัวมวลเคลื่อนที่จากจุดสูงสุดไปสู่จุดต่ำสุดในแต่ละวัฏจักร

ความเร็วของการสั่นสะเทือน คือ ความเร็วของการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของมวล ดังนั้นมวลจะมีความเร็วเป็นศูนย์เมื่อมวลเคลื่อนที่อยู่ที่จุดสูงสุดและต่ำสุด และจะมีความเร็วสูงสุดในขณะที่มวลเคลื่อนที่ผ่านจุดสมดุล ค่าการขจัดจะสัมพันธ์กับค่าความเร็วเป็น

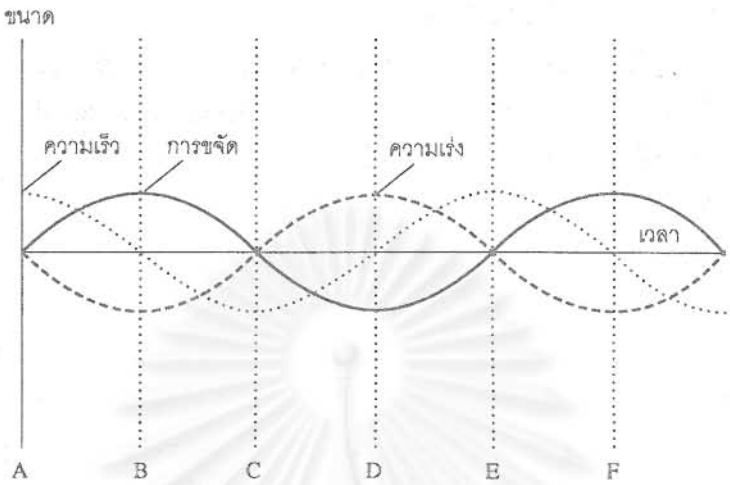
$$V = \frac{dx}{dt}$$

ความเร่งในการสั่นสะเทือนก็คืออัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมวลในขณะเคลื่อนที่กลับไปกลับมา โดยจะมีค่าสูงสุดเมื่อมวลอยู่ในตำแหน่งสูงสุดและต่ำสุดจากจุดสมดุล

$$a = \frac{dV}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$$



รูปที่ 6.1 การสั่นสะเทือนของระบบมวลและสปริง



รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการขจัด ความเร็ว และความเร่ง

จะพบว่าในกรณีของการสั่นสะเทือนของระบบมวลเดี่ยว ความสัมพันธ์ของการขจัด ความเร็ว และความเร่งสามารถเขียนได้เป็น

$$x = A_0 \sin 2\pi ft \quad (6.1)$$

$$V = \dot{x} = (2\pi f)A_0 \cos(2\pi ft) \quad (6.2)$$

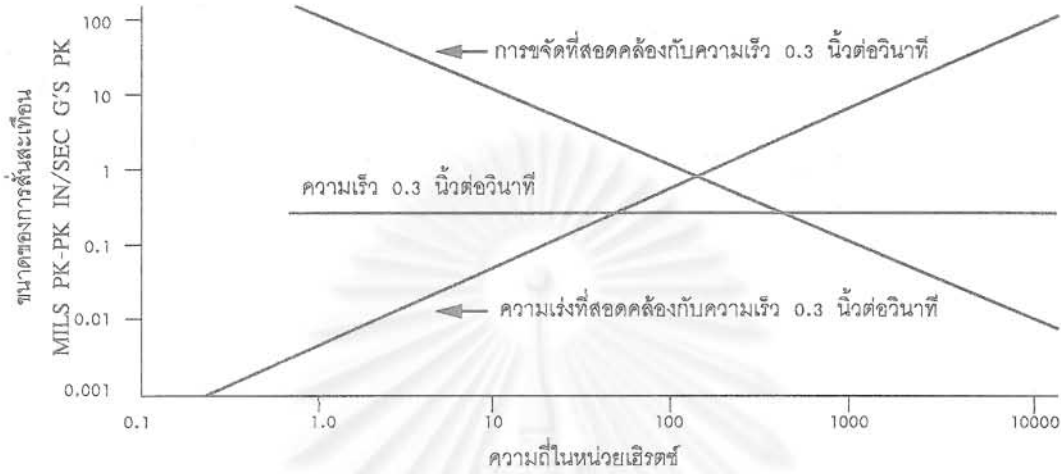
$$a = \ddot{x} = -(2\pi f)^2 A_0 \sin(2\pi ft) \quad (6.3)$$

เมื่อ A_0 คือค่าขนาดของการขจัดสูงสุด และ f คือค่าความถี่ในหน่วยของรอบต่อหน่วยเวลา

จะพบว่าความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัว เป็นไปตามสมการที่ (6.1), (6.2), (6.3) ส่วนความเร็วและความเร่งจะมีมุมเฟสนำการขจัดอยู่ 90 องศาและ 180 องศา ตามลำดับ ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 6.2

การเลือกว่าจะวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนอยู่ในรูปของการขจัดหรือความเร็วหรือความเร่งนั้น ขึ้นกับลักษณะการทำงานและความถี่ของชิ้นส่วนเครื่องจักรที่จะทำการวัด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วหากขนาดของพารามิเตอร์ (การขจัดหรือความเร็วหรือความเร่ง) ที่วัดได้มีค่ามาก มักจะบ่งบอกถึงสภาพที่มีปัญหาของเครื่องจักร แต่ตัวพารามิเตอร์อีกตัวที่จะเป็นตัวกำหนดว่าจะเลือกวัดด้วยค่าอะไรก็คือ ความถี่ที่ใช้งานของเครื่องจักรนั้น

เนื่องจากพลังงานที่สะสมในการสั่นสะเทือนเป็นฟังก์ชันของความเร็ว ดังนั้นความเร็วมักเป็นคุณลักษณะที่ถูกจัดเป็นพื้นฐานสำหรับอ้างอิง จากสมการที่ (6.1) ถึง (6.3) ถ้าใช้ความเร็วเป็นฐานเปรียบเทียบโดยสมมติว่ามีขนาดแอมพลิจูดคงที่ทุก ๆ ความถี่ แอมพลิจูดของการขจัดก็จะมีค่าสูงที่ความถี่ต่ำและลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น ส่วนความเร่งจะมีแอมพลิจูดน้อยที่ความถี่ต่ำและมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามความถี่ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 6.3 ซึ่งพอจะสรุปได้ว่าสัญญาณจะเด่นชัดสำหรับการขจัดที่ความถี่ต่ำและจะเด่นชัดสำหรับความเร่งที่ความถี่สูง



รูปที่ 6.3 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดของคุณลักษณะการสั่นสะเทือนต่าง ๆ [4]

ในกรณีที่ชิ้นส่วนเครื่องจักรเคลื่อนที่ด้วยความถี่ต่ำ (ต่ำกว่า 600 CPM) มักนิยมทำการวัดการสั่นสะเทือนด้วยปริมาณของการขจัดหรือระยะการเคลื่อนที่ เนื่องจากเป็นปริมาณที่บอกลักษณะของการสั่นสะเทือนที่มีความถี่ต่ำได้ดีที่สุด ในกรณีที่ขนาดของระยะการเคลื่อนที่ (การขจัด) นี้สูง มักจะบ่งบอกว่าความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นนั้นจะมาจากความเค้น และไม่ใช่ผลที่มาจากความล้า (Fatigue)

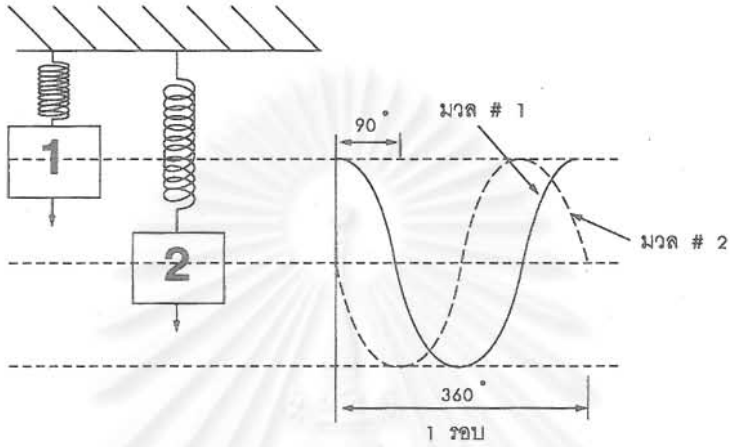
สำหรับชิ้นส่วนเครื่องจักรที่เคลื่อนที่ด้วยความถี่ประมาณ 600 CPM ถึง 60,000 CPM มักนิยมทำการวัดการสั่นสะเทือนด้วยปริมาณของความเร็ว ในกรณีนี้หากปริมาณความเร็วที่วัดมีขนาดสูงมากก็จะเป็นการบ่งบอกว่าความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนเครื่องจักรนั้นจะเป็นความเสียหายที่เกิดจากความล้า (Fatigue)

สำหรับความเร่งนี้จะเป็นค่าที่สัมพันธ์โดยตรงกับแรง และแรงที่มีขนาดใหญ่นี้อาจเกิดขึ้นได้ที่ความถี่สูงถึงแม้ขนาดของระยะการเคลื่อนที่ (การขจัด) และความเร็วจะมีค่าน้อย ในกรณีนี้ถ้าความเร่งที่วัดได้มีค่าสูงในขณะที่ความเร็วมีค่าน้อย ความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนเครื่องจักรนี้จะเกิดจากแรงที่ป้อนเข้ามาแทนที่จะเป็นผลจากความล้า

6.4.3 มุมเฟส

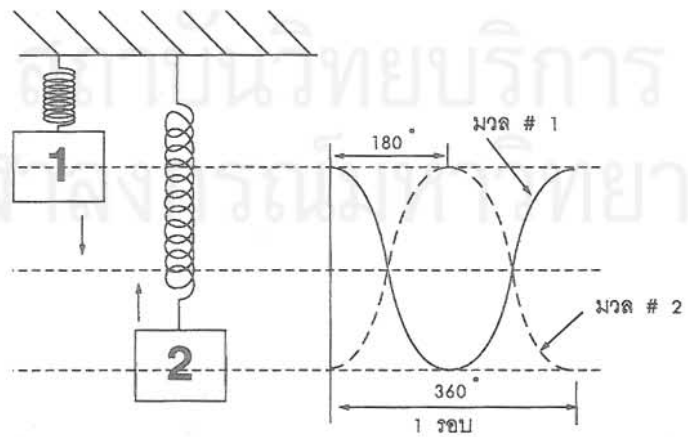
จะเป็นค่าความแตกต่างของตำแหน่งชิ้นส่วนที่มีการสั่นสะเทือนชิ้นหนึ่ง เมื่อเทียบกับจุดอ้างอิงหรือชิ้นส่วนที่มีการสั่นสะเทือนอีกชิ้นหนึ่ง รูปที่ 6.4 แสดงถึงมวล 2 มวล ที่มีการเคลื่อนที่ต่างกันเป็นมุมเฟส 90 องศา นั่นคือมวล 2 จะเคลื่อนที่นำหน้ามวล 1 อยู่หนึ่งในสี่รอบของการเคลื่อนที่ (หรือ 90 องศา)

ดังนั้นมวล 2 จะมีมุมเฟสนำหน้ามวล 1 อยู่ 90 องศา หรือหากมองจากอีกมุมหนึ่งอาจกล่าวได้ว่า มวล 1 มีมุมเฟสตามหลังการเคลื่อนที่ของมวล 2 อยู่ 90 องศา

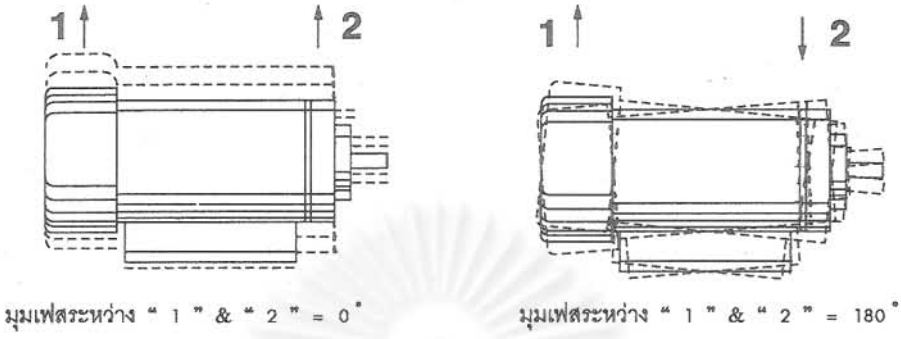


รูปที่ 6.4 มวล 2 มวล มีมุมเฟสต่างกัน 90 องศา

รูปที่ 6.5 แสดงถึงมวล 2 มวล ที่มีการเคลื่อนที่โดยมีมุมเฟสแตกต่างกัน 180 องศา เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร มุมเฟสจะใช้เป็นข้อมูลบอกลักษณะการเคลื่อนที่ของตำแหน่งต่าง ๆ บนเครื่องจักร รูปที่ 6.6 แสดงถึงตัวอย่างการวัดมุมเฟสที่นำมาใช้กับการตรวจวัดการสั่นสะเทือน ของเครื่องจักรเพื่อบอกลักษณะการเคลื่อนที่ของเครื่องจักร โดยที่รูปทางซ้ายมือจะแสดงให้เห็นว่ามุมเฟสระหว่างตำแหน่ง 1 และ 2 เท่ากัน คือ มีค่ามุมเฟสต่างกัน 0 องศา หรือมักเรียกว่า การเคลื่อนที่ในเฟสเดียวกัน (In-phase Motion) ในขณะที่รูปทางขวามือจะแสดงถึงมุมเฟสระหว่างตำแหน่ง 1 และ 2 ต่างกัน 180 องศา หรือเป็นการเคลื่อนที่แบบ Out of Phase

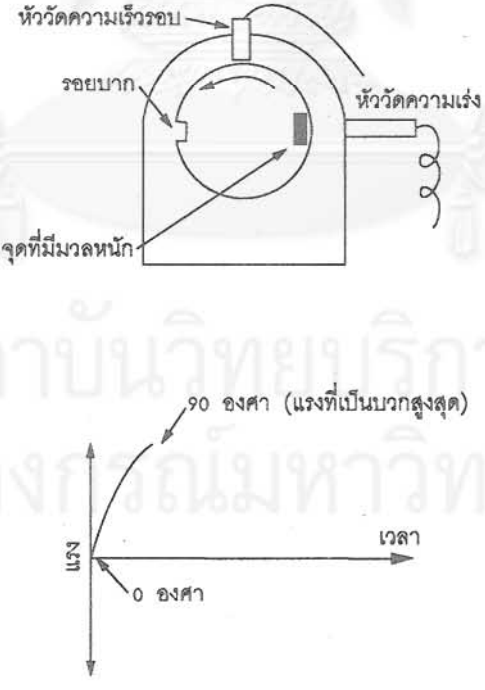


รูปที่ 6.5 มวล 2 มวล ที่มีมุมเฟสต่างกัน 180 องศา



รูปที่ 6.6 เครื่องจักรที่มีมุมเฟสที่ตำแหน่ง 1 และ 2 ต่างกัน 0 และ 180 องศา

ในทางปฏิบัติเมื่อทำการวัดมุมเฟส มุมเฟสมักหมายถึงมุมที่เพลาเคลื่อนที่จากจุดที่เริ่มเก็บข้อมูล (มักหมายถึงจุดที่ Tachometer หรือ Photocell เริ่มวัด) จนถึงจุดที่ตัวเฝ้าตรวจเริ่มจับค่าแรงทางด้านบวกที่มีค่าสูงสุด เฟสจะมีหน่วยเป็นองศา รูปที่ 6.7 แสดงถึงลักษณะการวัดมุมเฟส มุมเฟสจะเป็นข้อมูลเพิ่มเติมที่ใช้ประกอบการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ ทำให้สามารถบ่งบอกลักษณะความเสียหายได้ชัดเจนขึ้น



รูปที่ 6.7 ความสัมพันธ์ของมุมเฟสกับการวัด

6.5 หน่วยวัดขนาดสัญญาณการสั่นสะเทือน

เมื่อสัญญาณการสั่นสะเทือนไม่ว่าจะเป็นการขจัด ความเร็ว หรือความเร่งนั้นอยู่ในรูปของคลื่นรูปไซน์ หรือรูปเป็นคาบ ซึ่งจะมีทั้งค่าบวกและลบและมีค่าแปรเปลี่ยนตามเวลา การบอกขนาดของสัญญาณการสั่นสะเทือนในลักษณะการบอกขนาดโดยรวม (Overall Value of Vibration) ที่นิยมใช้กันมีดังต่อไปนี้คือ

1. ระดับยอดสูงสุด (Peak Level) เป็นการบอกค่าระดับสูงสุดของสัญญาณที่เบี่ยงเบนไปจากระดับศูนย์ ทั้งนี้มิได้คำนึงถึงลักษณะการสั่นสะเทือนอย่างอื่น ค่านี้มักนิยมใช้วัดการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการกระแทกในช่วงเวลาสั้น ๆ

2. ระดับยอดสูงสุดถึงยอดสูงสุดอีกยอดหนึ่ง (Peak to Peak Level) ซึ่งก็คือการบอกค่าขนาดของสัญญาณที่วัดจากจุดสูงสุดทางบวกกับจุดต่ำสุดทางลบ

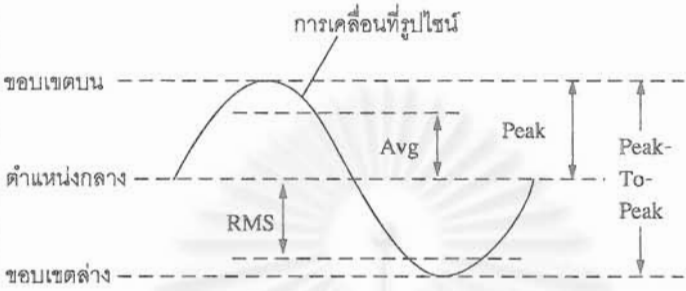
3. ค่าเฉลี่ย (Average Level) เป็นค่าเฉลี่ยของสัญญาณที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ ในกรณีทั่ว ๆ ไปที่สัญญาณการสั่นสะเทือนมีค่าเป็นทั้งบวกและลบเมื่อเทียบกับตำแหน่งสมดุล ซึ่งจะทำให้ค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ ค่าเฉลี่ยในกรณีนี้จะคิดโดยทำการเปลี่ยนเครื่องหมายของขนาดสัญญาณที่ลบให้เป็นบวก (Rectified) แล้วจึงคิดค่าเฉลี่ยออกมา

4. ค่าอาร์เอ็มเอส (RMS, Root Mean Square) เป็นค่าที่ได้จากการนำสัญญาณที่วัดได้ในโดเมนเวลาที่เกิดขึ้นในช่วงหนึ่ง ๆ มายกกำลังสองแล้วทำการเฉลี่ยตลอดคาบและถอดรากที่สอง

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{t}\int_0^{\tau} X^2\,(t)dt}$$

5. ค่าแฟกเตอร์เครสท์ (Crest Factor) เป็นค่าอัตราส่วนของ Peak Level กับ RMS Level ซึ่งค่าดังกล่าวจะให้ข้อมูลว่าลักษณะสัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดได้มีแนวโน้มเป็นการสั่นสะเทือนลักษณะแบบกระแทก (Impulse) หรือแบบสุ่ม (Random) ในกรณีที่เป็นลักษณะแบบกระแทกค่าแฟกเตอร์เครสท์จะสูง ส่วนกรณีที่เป็นลักษณะสุ่มค่าแฟกเตอร์เครสท์จะต่ำ

รูปที่ 6.8 แสดงถึงความสัมพันธ์ของขนาดสัญญาณการสั่นสะเทือนในแบบต่าง ๆ กัน ทั้ง 4 แบบ ซึ่งใช้ในกรณีที่สัญญาณการสั่นสะเทือนเป็นแบบฮาร์มอนิกรูปไซน์ แม้ว่ารูปแบบจริงของการสั่นสะเทือนทั่ว ๆ ไปไม่ได้เป็นลักษณะของคลื่นรูปไซน์ แต่อย่างไรก็ดีถ้าการสั่นสะเทือนมีลักษณะเป็นคาบ สัญญาณเหล่านี้ก็จะสามารถแยกออกเป็นผลรวมของสัญญาณรูปไซน์หลาย ๆ ความถี่ได้ตามทฤษฎีของฟูเรียร์ (Fourier) ดังนั้นความสัมพันธ์และความหมายของหน่วยวัดขนาดสัญญาณการสั่นสะเทือนที่กล่าวมาแล้วจึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้ดี



คุณค่าของ → / ด้วย / จะได้ค่า ↓	Peak To Peak	Peak	RMS	Average
Peak-To-Peak	1.000	2.000	2.828	3.142
Peak	.500	1.000	1.414	1.571
RMS	.354	.707	1.000	1.111
Average	.318	.636	.900	1.000

รูปที่ 6.8 หน่วยวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนและความสัมพันธ์ [5]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7 การวิเคราะห์แบบสเปกตรัม

7.1 บทนำ

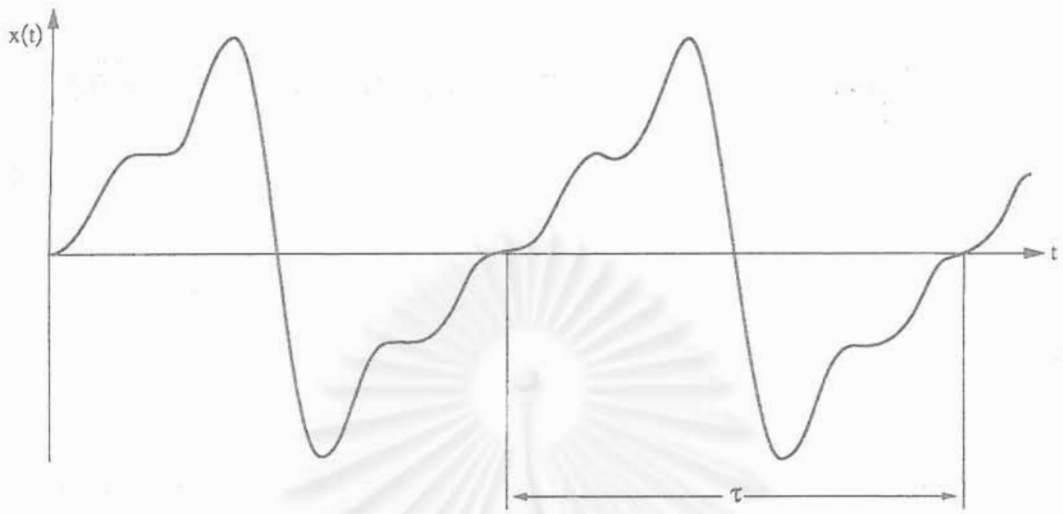
สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ได้กล่าวมาตั้งแต่ต้นนั้น จะเป็นสัญญาณแบบฮาร์มอนิกซึ่งเป็นไปตามลักษณะของแรงที่มากระตุ้นซึ่งเป็นแบบฮาร์มอนิกด้วย และเป็นสัญญาณที่ถูกแสดงอยู่บนโดเมนเวลา การวินิจฉัยสภาพหรือข้อบกพร่องของเครื่องจักรจะได้จากการพิจารณาขนาดของการสั่นสะเทือนเพียงอย่างเดียว ถ้าหากแรงที่มากระตุ้นไม่อยู่ในรูปของสัญญาณฮาร์มอนิกแต่เป็นสัญญาณลักษณะเป็นคาบแล้ว ในการวิเคราะห์จำเป็นต้องใช้วิธีการที่จะแปลงสัญญาณลักษณะเป็นคาบออกมาเป็นสัญญาณฮาร์มอนิกเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์โดยใช้การแปลงแบบฟูเรียร์ และเมื่อได้ข้อมูลหรือผลเฉลยซึ่งประกอบด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ความถี่ต่าง ๆ กัน ก็จะสามารถวินิจฉัยได้ละเอียดขึ้นถึงต้นเหตุของการชำรุดได้ การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ก็คือ การวิเคราะห์แบบสเปกตรัม ในบทนี้จะกล่าวถึงการแปลงแบบฟูเรียร์ ซึ่งทำการแปลงสัญญาณลักษณะเป็นคาบมาเป็นสัญญาณฮาร์มอนิกที่ความถี่ต่าง ๆ กัน และการนำหลักการแปลงของฟูเรียร์มาใช้แปลงสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนเวลาให้เป็นสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่

7.2 การแปลงแบบฟูเรียร์ (Fourier Transform)

สำหรับการสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้นที่ได้กล่าวมาตั้งแต่บทที่ 4 นั้นจะเห็นได้ว่า แรงที่มากระตุ้นจะอยู่ในรูปของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก แต่ในความเป็นจริงแล้วแรงที่มากระตุ้นอาจจะเกิดจากสาเหตุต่าง ๆ กัน และรูปแบบของแรงอาจไม่ใช่แบบฮาร์มอนิก แต่อาจเป็นการเคลื่อนที่แบบลักษณะเป็นคาบ (Periodic Motion) ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ที่มีรูปแบบเหมือนกันในแต่ละคาบ แต่ไม่ใช่รูปของคลื่นรูปไซน์

รูปที่ 7.1 แสดง ถึงตัวอย่างการเคลื่อนที่แบบเป็นคาบ

รูปการเคลื่อนที่แบบเป็นคาบนี้จะสามารถแยกเขียนออกมาเป็นผลรวมของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกที่มีความถี่ต่าง ๆ กันได้ โดยการใช้วิธีของฟูเรียร์ (Fourier) ถ้าให้ $x(t)$ ในรูปที่ 7.1 เป็นการเคลื่อนที่แบบเป็นคาบที่มีคาบเท่ากับ τ จะสามารถเขียน $x(t)$ เป็นสมการอนุกรมฟูเรียร์ (Fourier Series) ได้ดังนี้



รูปที่ 7.1 การเคลื่อนที่แบบลักษณะเป็นคาบ

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + a_1\cos\omega_1 t + a_2\cos\omega_2 t + \ldots + b_1\sin\omega_1 t + b_2\sin\omega_2 t + \ldots (7.1)$$

โดยที่ $\omega_1 = \frac{2\pi}{\tau}$, $\omega_n = n\omega_1$; $n = 1, 2, 3, \ldots$

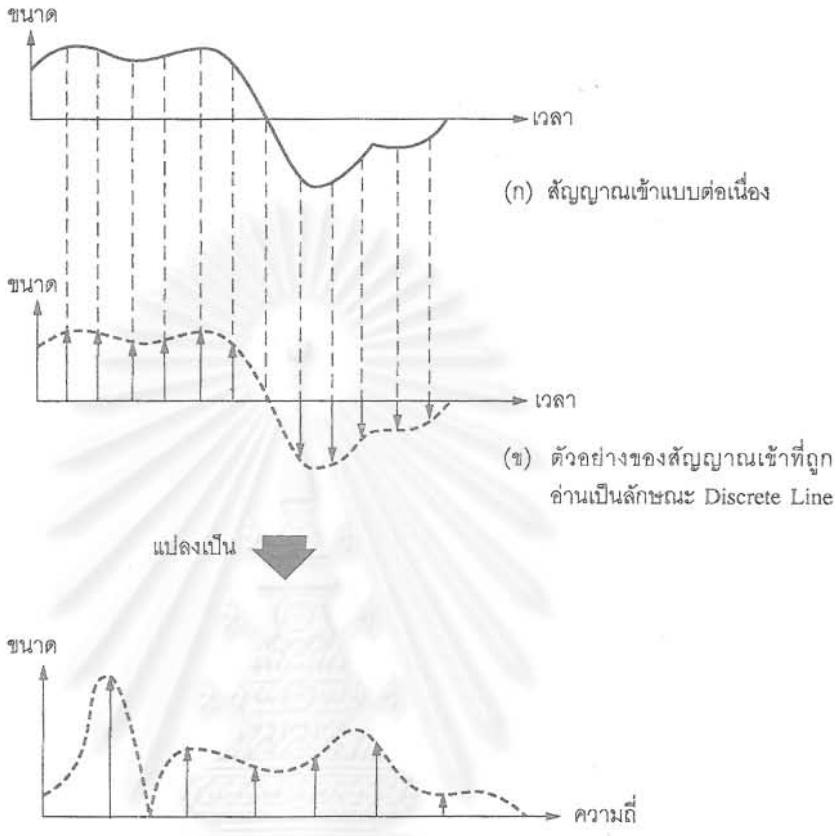
และค่าสัมประสิทธิ์ a_n และ b_n หาได้จาก

$$a_n = \frac{2}{\tau}\int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} x(t)\cos\omega_n t \, dt \qquad (7.2)$$

$$b_n = \frac{2}{\tau}\int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} x(t)\sin\omega_n t \, dt \qquad (7.3)$$

เมื่อนำสมการที่ (7.1) มาเขียนโดยให้แกนในแนวตั้งเป็นขนาดของการสั่นสะเทือน และแกนนอนเป็นแกนความถี่จะได้สัญญาณในลักษณะเป็นชุดเส้นดีสครีต (Discrete Line) ดังตัวอย่างในรูปที่ 7.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

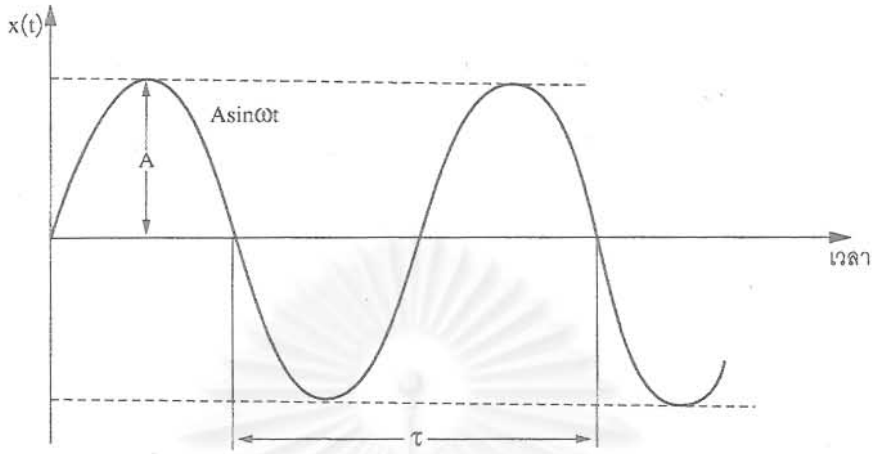


รูปที่ 7.2 สัญญาณการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกที่แสดงอยู่บนแกนความถี่ [1]

ในปัจจุบันด้วยวิทยาการที่ก้าวหน้าของคอมพิวเตอร์แบบดิจิตอล การแปลงสัญญาณลักษณะเป็นคาบมาเป็นสัญญาณบนแกนความถี่นั้นจะกระทำด้วยขั้นตอนวิธีที่เรียกว่า การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transfer ; FFT) ซึ่งทำให้การแปลงสามารถทำได้ง่ายและรวดเร็ว

7.3 การวิเคราะห์แบบสเปกตรัม (Spectrum Analysis)

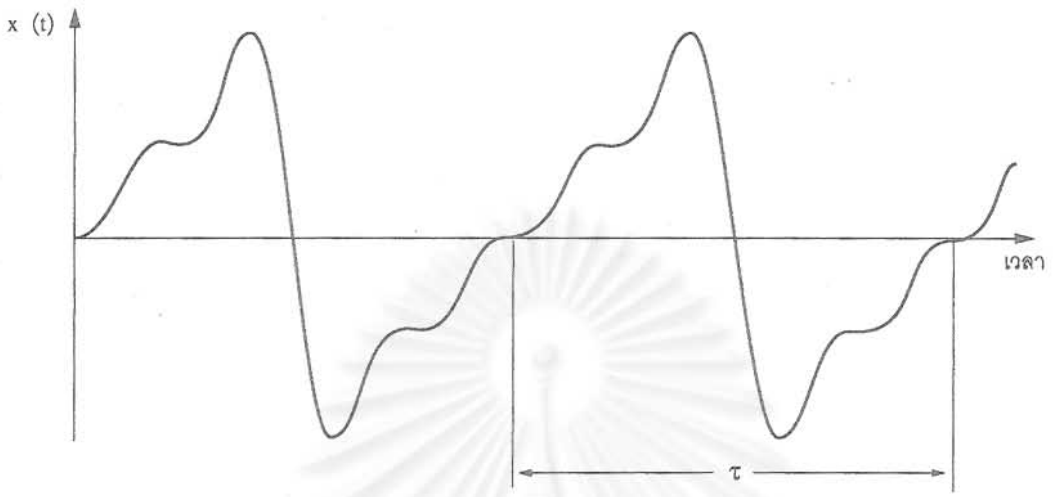
การวิเคราะห์แบบสเปกตรัม คือ การวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนของความถี่ ซึ่งการวิเคราะห์ลักษณะนี้หากนำมาใช้กับเครื่องจักรจะให้ข้อมูลของการสั่นสะเทือนได้มากกว่าข้อมูลจากการวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนเวลา เพื่อเป็นการทำความเข้าใจให้ดีขึ้นสำหรับการวิเคราะห์แบบสเปกตรัมนี้ สัญญาณคลื่นรูปไซน์บนโดเมนเวลาจะถูกพิจารณาเป็นกรณีแรก สัญญาณดังกล่าวถูกแสดงไว้ในรูปที่ 7.3 สัญญาณนี้จะมีความถี่ค่าเดียวซึ่งก็คือ $1/\tau$ เมื่อ τ คือ คาบของสัญญาณที่ครบ 1 รอบ ดังนั้นเมื่อแปลงสัญญาณดังกล่าวนี้ไปเป็นสัญญาณบนโดเมนความถี่ ก็จะมีสัญญาณเพียงค่าเดียวบนแกนความถี่ดังรูปที่ 7.4



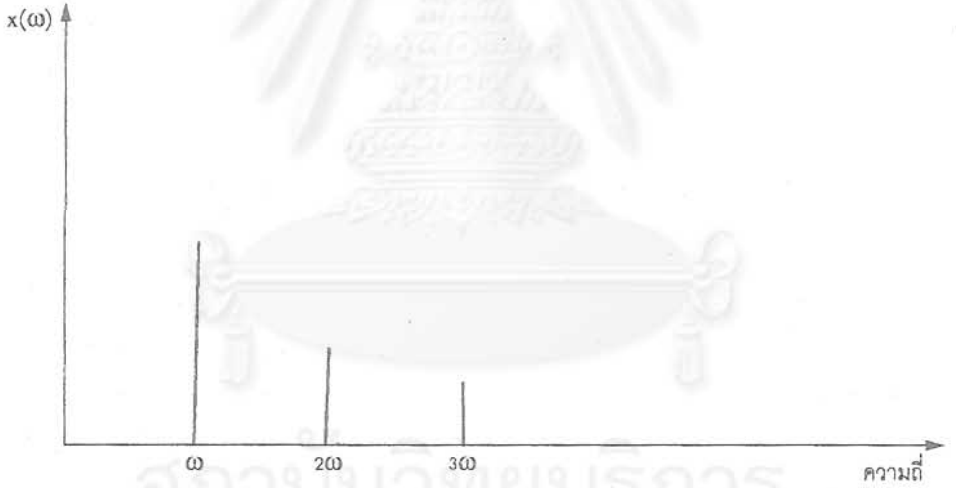
รูปที่ 7.3 สัญญาณบนโดเมนเวลา

รูปที่ 7.4 สัญญาณบนโดเมนความถี่

ในกรณีที่สองเมื่อมีสัญญาณอยู่ในรูปของลักษณะเป็นคาบซึ่งเขียนอยู่บนโดเมนเวลา เมื่อใช้การแปลงแบบฟูเรียร์ (Fourier Transform) ค่าสัญญาณแบบเป็นคาบนี้จะสามารถถูกเขียนเป็นสัญญาณแบบฮาร์มอนิกได้หลายความถี่ โดยในแต่ละความถี่จะมีขนาดต่างกัน ซึ่งในกรณีนี้สัญญาณโดเมนเวลาสามารถเขียนเป็นสัญญาณฮาร์มอนิกที่ 3 ความถี่ คือ ที่ ω, 2ω และ 3ω ดังแสดงไว้ในรูปที่ 7.5 และ 7.6 โดยที่ $\omega = 1/\tau$



รูปที่ 7.5 การเคลื่อนที่แบบเป็นคาบบนโดเมนเวลา

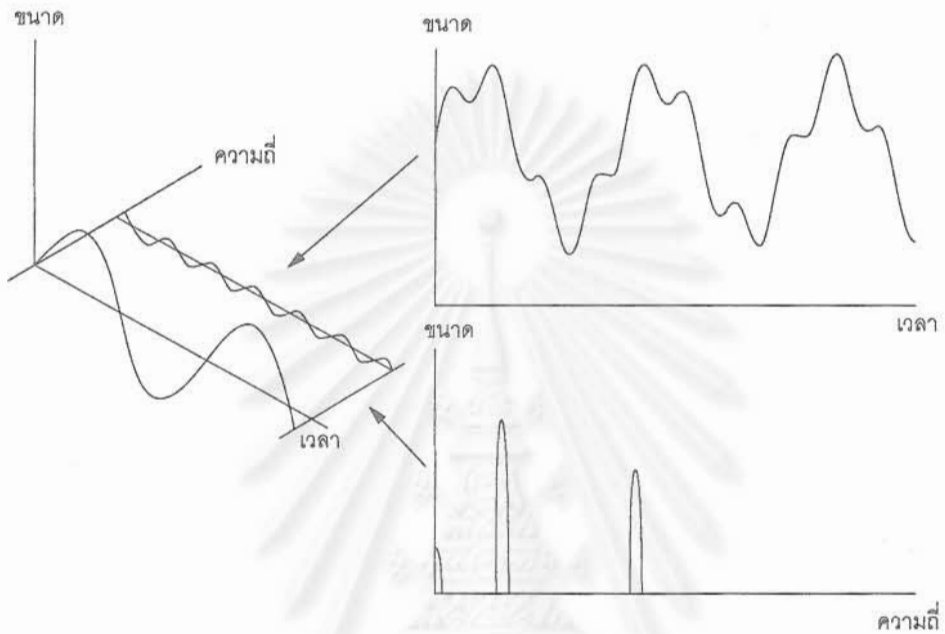


รูปที่ 7.6 การเคลื่อนที่แบบเป็นคาบบนโดเมนความถี่

เพื่อให้เห็นภาพชัดเจนถึงความสัมพันธ์ของการแปลงสัญญาณบนโดเมนเวลาสู่สัญญาณบนโดเมนความถี่ การมองแบบ 3 มิติ จึงถูกเขียนขึ้นและแสดงไว้ในรูปที่ 7.7 ซึ่งภาพสามมิตินั้นจะมีแกนตั้งเป็นแกนที่แสดงถึงขนาดของสัญญาณ ในขณะที่แกนแนวนอนแกนหนึ่งเป็นแกนเวลาและแกนในแนวนอนซึ่งตั้งฉากกับแกนแนวนอนแรกจะเป็นแกนความถี่ จากภาพแกน 3 มิติ ในรูปที่ 7.7 จะแสดงถึงสัญญาณคลื่นรูปไซน์ 2 รูป ที่มีความถี่ต่างกัน โดยมีรูปคลื่นรูปใหญ่มีความถี่น้อยกว่ารูปคลื่นรูปเล็ก เมื่อมองสัญญาณในทิศทางที่ตั้งฉากกับแกนเวลาจะเห็นเป็นสัญญาณลักษณะเป็นคาบบนโดเมนเวลาตามที่แสดงไว้ในภาพทางขวามือบน และเมื่อมองสัญญาณในทิศทางที่ตั้งฉากกับแกนความถี่ก็จะเห็นเป็นสัญญาณ 2 สัญญาณที่ความถี่

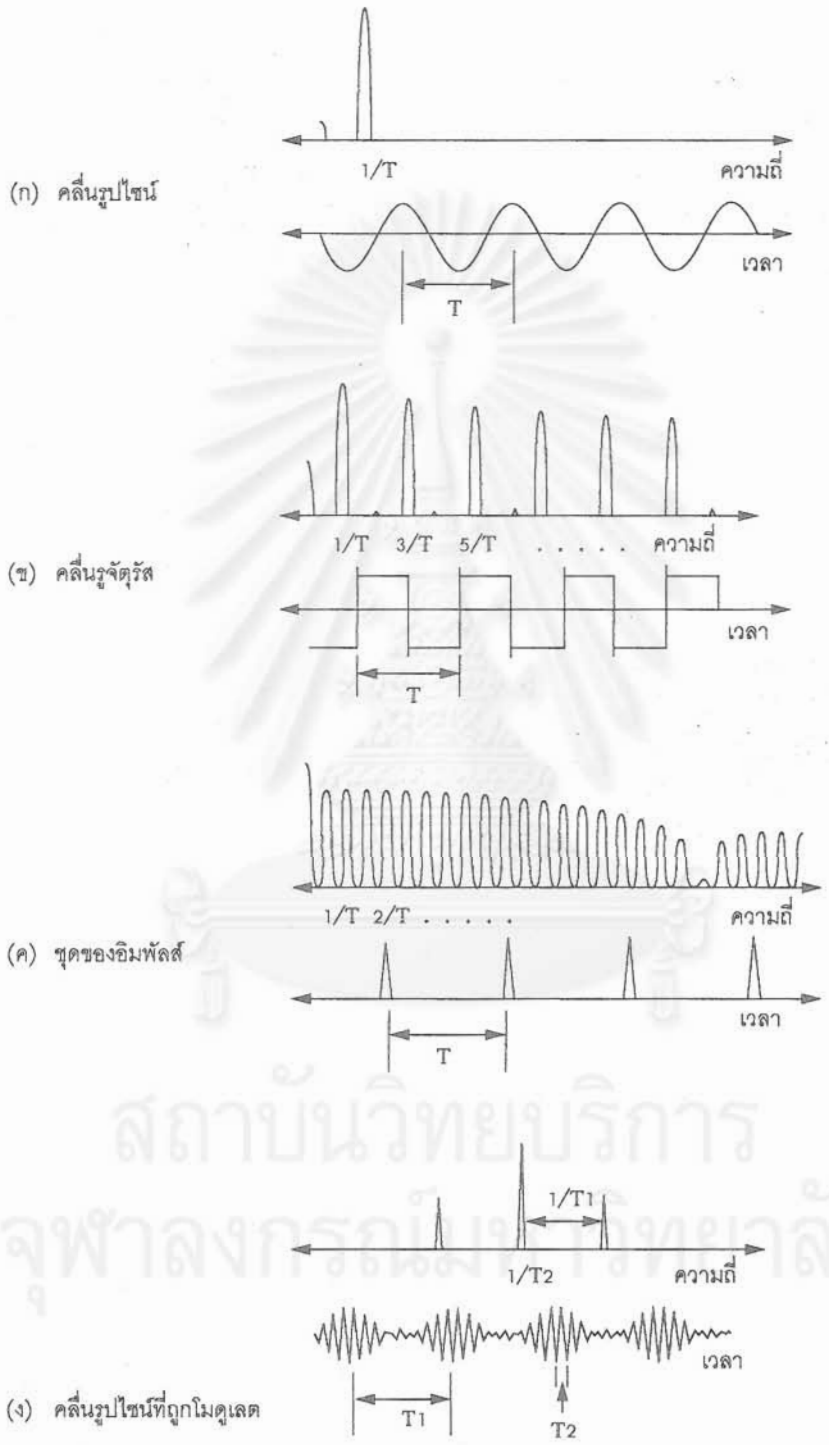
ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ต่างกัน โดยมีสัญญาณขนาดใหญ่อยู่ที่ความถี่ต่ำ และสัญญาณในขนาดที่เล็กกว่าอยู่ที่ความถี่สูงกว่าตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 7.1 (ด้านขวามือ)



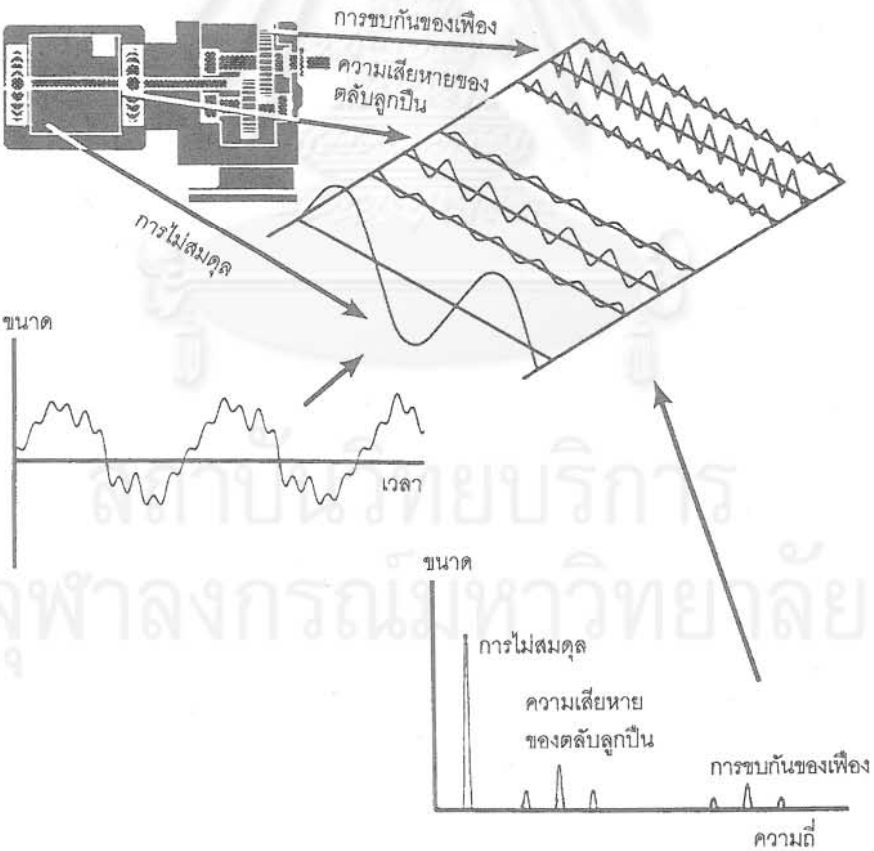
รูปที่ 7.7 ความสัมพันธ์ของการสั่นสะเทือนบนโดเมนเวลา และโดเมนความถี่ [4]

รูปที่ 7.8 จะแสดงถึงตัวอย่างของความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณบนโดเมนเวลากับสัญญาณบนโดเมนความถี่ โดยในภาพ (ก) จะแสดงถึงการแปลงสัญญาณคลื่นรูปไซน์ไปเป็นสัญญาณเพียงสัญญาณเดียวบนแกนความถี่ ภาพ (ข) แสดงถึงการแปลงสัญญาณคลื่นรูปจัตุรัสเป็นสัญญาณฮาร์มอนิกที่ความถี่ที่เป็นเลขคี่ ภาพ (ค) แสดงถึงการแปลงสัญญาณกระแทกที่เป็นชุด (Impulse Train) เป็นสัญญาณฮาร์มอนิกที่มีทุกค่าความถี่บนแกนความถี่ ภาพสุดท้ายแสดงถึงการแปลงสัญญาณ Modulate Sine Wave เป็นสัญญาณในลักษณะ Side Band บนแกนความถี่



รูปที่ 7.8 ตัวอย่างของสัญญาณในรูปแบบต่าง ๆ บนโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ [4]

เมื่อนำการวิเคราะห์แบบสเปกตรัมมาใช้กับสัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากเครื่องจักร ก็จะทำให้ได้ข้อมูลในการบอกว่าขนาดการสั่นสะเทือนซึ่งถูกแสดงในรูปแบบของค่ารวม (Overall Value) โดยมีค่าเป็นตัวเลขค่าหนึ่งนั้น จริง ๆ แล้วจะประกอบด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือนที่มีขนาดต่าง ๆ กันอยู่ที่แต่ละค่าความถี่ ซึ่งที่บางความถี่ขนาดของสัญญาณการสั่นสะเทือนจะมีค่ามาก ที่บางความถี่ขนาดของสัญญาณการสั่นสะเทือนมีค่าน้อย จุดที่สัญญาณการสั่นสะเทือนมีค่ามากมักเป็นตัวบ่งบอกว่าถ้ามีปัญหาเกิดขึ้นก็จะเกิดจากชิ้นส่วนที่ทำงานเกี่ยวข้องกับค่าความถี่นั้น ๆ การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนแบบรวม (Overall Vibration) จะเป็นการบอกลักษณะทั่วไปถึงขนาดการสั่นสะเทือนว่ามีขนาดอยู่ในเกณฑ์ที่จะยอมรับได้หรือไม่เท่านั้น แต่การวิเคราะห์แบบสเปกตรัมจะบอกถึงค่าความถี่ใดมีขนาดของการสั่นสะเทือนผิดปกติ จากข้อมูลเหล่านี้มักจะสามารถนำไปวิเคราะห์หาต้นเหตุของการเกิดการสั่นสะเทือนได้ ดังนั้นการวิเคราะห์แบบสเปกตรัมจึงให้ข้อมูลที่ละเอียดกว่าและมีความสามารถในการบ่งบอกสาเหตุการเกิดการสั่นสะเทือนได้มากกว่า
รูปที่ 7.9 แสดงตัวอย่างของการแสดงขนาดของการสั่นสะเทือนบนโดเมนเวลา และบนโดเมนความถี่



รูปที่ 7.9 การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรแสดงบนโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ [4]

8 เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนและอุปกรณ์

8.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือน ซึ่งโดยองค์ประกอบหลักจะประกอบด้วยหัวทรานส์-ดิวเซอร์ สายวัด และเครื่องประมวลผลและอ่านผล ความเข้าใจในเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนนั้นมีความสำคัญอย่างมากต่อความแม่นยำในการวินิจฉัยข้อบกพร่องของเครื่องจักร เพราะว่าสัญญาณที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดจะต้องผ่านการแปลงสัญญาณการสั่นสะเทือนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า และประมวลผลออกมา และบางครั้งต้องผ่านตัวกรอง Filter ตัวแปลงต่าง ๆ อาทิ Fast Fourier Transform แล้วจึงแสดงผลออกมา ผลที่แสดงอาจให้ข้อมูลที่ผิดพลาดและไม่ตรงกับการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจริงหากมีการติดตั้งหัวทรานส์ดิว-เซอร์ไม่ถูกต้อง มีการเลือกหัวทรานส์ดิวเซอร์ที่ไม่เหมาะสม และ/หรือมีการเลือกวิธีการประมวลผลหรือตัววงจรการแปลงสัญญาณที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นความเข้าใจเรื่องเครื่องมือวัด และการใช้เครื่องมือวัดจึงเป็นปัจจัยสำคัญอย่างมาก ในบทนี้จะบรรยายในรายละเอียดถึงประเภทของเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือน ชนิดหัวทรานส์ดิวเซอร์ การติดตั้ง และการเลือกใช้

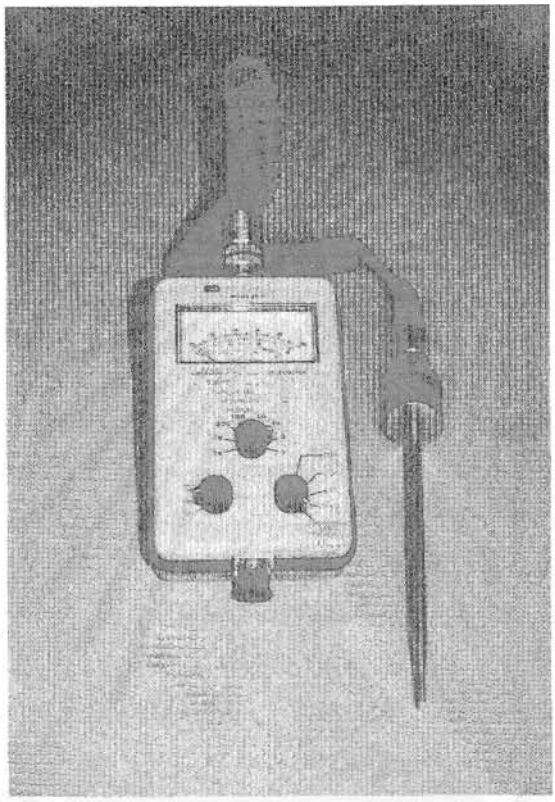
8.2 เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดการสั่นสะเทือนประกอบด้วย หัวทรานส์ดิวเซอร์ สายเคเบิลและเครื่องประมวลผลและอ่านผล สำหรับเครื่องประมวลผลและอ่านผลนั้นมีหลายแบบ อาทิ มิเตอร์วัดการสั่นสะเทือน (Vibration Meter) เครื่องเฝ้าตรวจการสั่นสะเทือน (Vibration Monitor) เครื่องวิเคราะห์แบบตัวกรองกวาด (Swept-Filter Analyzer) เครื่องวิเคราะห์และเก็บข้อมูลชนิดเอฟเอฟที (FFT Data Collecter and Analyzer) เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมแบบเวลาจริง (Real Time Spectrum Analyzer) และอื่น ๆ แต่เครื่องที่นิยมใช้ในการบำรุงรักษาเครื่องจักรและวิเคราะห์ข้อบกพร่องนั้น จะเป็นมิเตอร์วัดการสั่นสะเทือนและเครื่องวิเคราะห์และเก็บข้อมูลชนิดเอฟเอฟที เนื่องจากใช้ง่ายและมักเป็นเครื่องที่มีขนาดกะทัดรัดหิ้วไปมาได้ ในที่นี้จะกล่าวถึงเครื่องมือทั้ง 2 ประเภทนี้โดยสังเขป

8.2.1 มิเตอร์วัดการสั่นสะเทือน (Vibration Meter)

จะเป็นเครื่องมือวัดขนาดเล็กแบบมือถือ สามารถเคลื่อนย้ายไปมาได้ ทำงานด้วยแบตเตอรี่ สามารถวัดขนาดการสั่นสะเทือนเป็นขนาดรวม (Overall Value) โดยจะแสดงผลด้วยเข็มบนมาตรวัด และ

สามารถเลือกผลข้อมูลได้ทั้งข้อมูลที่เป็นการขจัด ความเร็ว ความเร่ง หากใช้หัววัดเป็นทรานส์ดิวเซอร์แบบความเร่ง ในรูปที่ 8.1 แสดงตัวอย่างของมิเตอร์วัดการสั่นสะเทือน



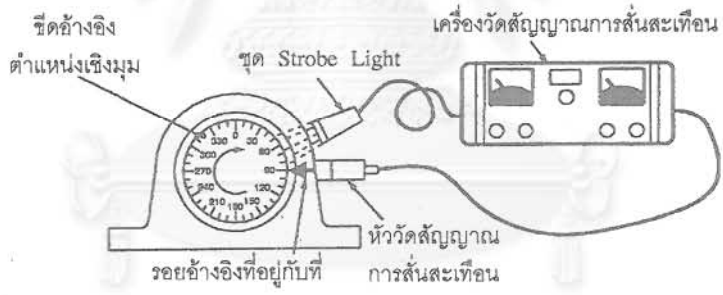
รูปที่ 8.1 มิเตอร์วัดการสั่นสะเทือน

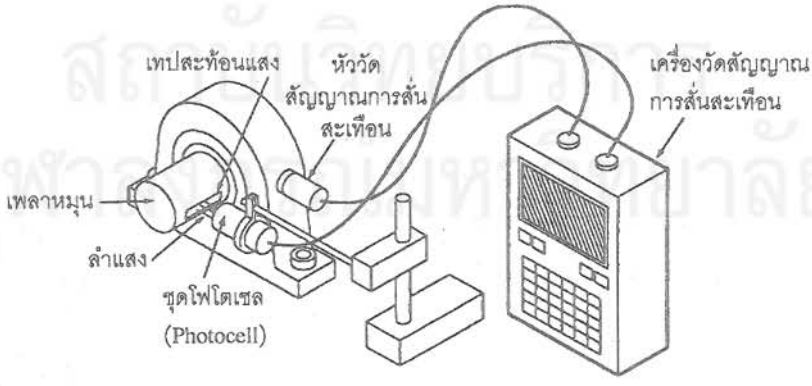
8.2.2 เครื่องวิเคราะห์และเก็บข้อมูลชนิดเอฟเอฟที (FFT Data Collector and Analyzer)

จะเป็นเครื่องที่มีความสามารถสูงกว่ามิเตอร์วัดการสั่นสะเทือน ตัวเครื่องจะสามารถวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนเป็นทั้งแบบรวม (Overall Value) และสัญญาณบนโดเมนความถี่เป็นอย่างน้อย เครื่องบางเครื่องจะสามารถวัดข้อมูลเฟสและทำสมดุลได้ด้วย และมักจะสามารถแสดงผลเป็นกราฟของสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่บนจอภาพ ในเครื่องที่มีราคาแพงจะมีฟังก์ชันการใช้งานที่ซับซ้อนขึ้น อาทิ สามารถเก็บข้อมูลได้จำนวนมาก และสามารถถ่ายข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ได้ เครื่องมือนี้มักถูกออกแบบให้เป็นแบบหิ้วไปมาได้ รูปที่ 8.2 จะแสดงถึงตัวอย่างของเครื่องวิเคราะห์และเก็บข้อมูลชนิดเอฟเอฟที

การวัดมุมเฟสจะทำการวัดได้ โดยใช้เครื่อง Strobe Light หรือใช้ชุด Photo Cell ร่วมกับหัวทรานส์ดิวเซอร์และเครื่องวิเคราะห์ รูปที่ 8.3 แสดงถึงเครื่อง Strobe Light และชุด Photo Cell ที่ใช้ในการวัดมุมเฟส

รูปที่ 8.2 เครื่องวิเคราะห์และเก็บข้อมูลชนิดเอฟเอฟที





รูปที่ 8.3 เครื่อง Strobe Light และชุด Photo Cell [1]

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8.3 หัวทรานส์ดิวเซอร์สำหรับวัดการสั่นสะเทือน (Vibration Measuring Transducers)

ทรานส์ดิวเซอร์จะเป็นอุปกรณ์หลักที่ทำหน้าที่แปลงสภาพการสั่นสะเทือนที่ต้องการเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะมีรูปแบบและคุณสมบัติเฉพาะอย่างไรก็ขึ้นกับรุ่นและแบบของแต่ละบริษัทผู้ผลิต

ทรานส์ดิวเซอร์สำหรับวัดการสั่นสะเทือนสามารถแยกประเภทตามหลักการของการเกิดสัญญาณได้เป็น

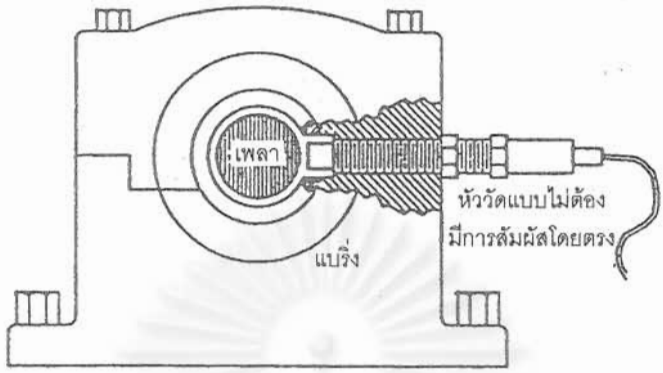
1. ทรานส์ดิวเซอร์สำหรับวัดระยะการเคลื่อนที่
2. ทรานส์ดิวเซอร์สำหรับวัดความเร็ว
3. ทรานส์ดิวเซอร์สำหรับวัดความเร่ง

8.3.1 ทรานส์ดิวเซอร์สำหรับวัดระยะการเคลื่อนที่ (Displacement Transducer)

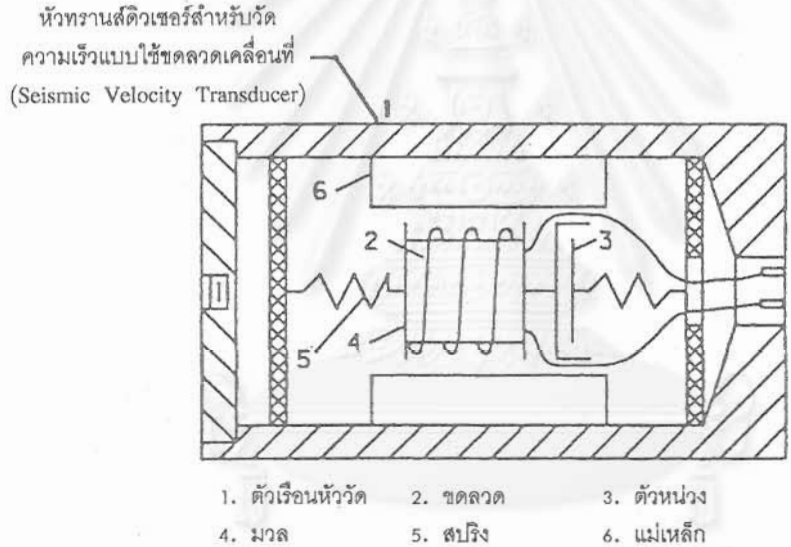
เป็นทรานส์ดิวเซอร์แบบที่ไม่ต้องมีการสัมผัสโดยตรง (Non-Contact) ใช้หลักการของการเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าของขดลวดที่มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องจากการไหลของกระแสไฟฟ้าสลับที่ป้อนเข้าไป เมื่อระยะห่างระหว่างวัตถุและขดลวดเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ภาระทางแม่เหล็กไฟฟ้าของขดลวดเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนกับระยะห่าง ซึ่งสัญญาณการเปลี่ยนแปลงนี้จะถูกนำไปประมวลผลต่อไป ทรานส์ดิวเซอร์ประเภทนี้มักใช้ในการวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่มีโครงตัวเรือนแบริ่งที่มีขนาดและมวลใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับเพลาหมุน เครื่องจักรเหล่านี้มักใช้แบริ่งน้ำมัน (Journal Bearing) ซึ่งได้แก่ กังหัน (Turbine) เครื่องสูบหรือเครื่องอัดแบบเหวี่ยง (Centrifugal Pump/Compressor) เนื่องจากเพลามักมีมวลน้อยเมื่อเทียบกับโครงเครื่อง ทำให้การเคลื่อนที่ของเพลามีผลที่แสดงออกที่โครงเครื่องน้อย การวัดระยะการเคลื่อนที่ของเพลาเทียบกับตัวเรือนแบริ่งจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับช่องว่างระหว่างเพลากับแบริ่งได้ดีกว่า ดังนั้นโดยทั่วไปทรานส์ดิวเซอร์จะถูกติดตั้งถาวรไว้ที่ตัวเรือนแบริ่ง และต้องทำการปรับเทียบระหว่างปลายทรานส์ดิวเซอร์และเพลา ลักษณะส่วนประกอบและการติดตั้งของทรานส์ดิวเซอร์แสดงไว้ในรูปที่ 8.4

8.3.2 ทรานส์ดิวเซอร์สำหรับวัดความเร็ว (Velocity Transducer)

เป็นทรานส์ดิวเซอร์ซึ่งใช้วัดความเร็วของการสั่นสะเทือนโดยตรง และยังอาจทำการคำนวณเป็นระยะการเคลื่อนที่ได้ด้วย ทรานส์ดิวเซอร์สำหรับวัดความเร็วมีหลักการทำงานโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของขดลวด (Seismic Velocity Pickup) ซึ่งขดลวดนั้นจะถูกรองรับด้วยสปริงและมีแม่เหล็กถาวรยึดติดกับตัวเรือน เมื่อมีการสั่นสะเทือนขดลวดจะสั่นและเคลื่อนที่ตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก ซึ่งจะเหนี่ยวนำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนกับความเร็วของการเคลื่อนที่ ความเข้มของสนามแม่เหล็ก และจำนวนรอบของขดลวด และความต่างศักย์ไฟฟ้าจะถูกนำไปประมวลผลต่อไป ส่วนประกอบต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 8.5

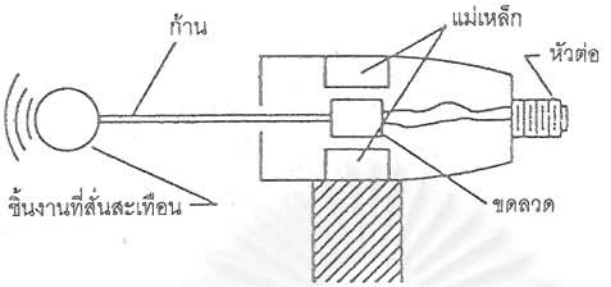


รูปที่ 8.4 ทรานส์ดิวเซอร์แบบไม่ต้องมีการสัมผัสโดยตรง (Non-Contact) [5]



รูปที่ 8.5 ทรานส์ดิวเซอร์สำหรับใช้วัดความเร็วแบบใช้ขดลวดที่เคลื่อนที่

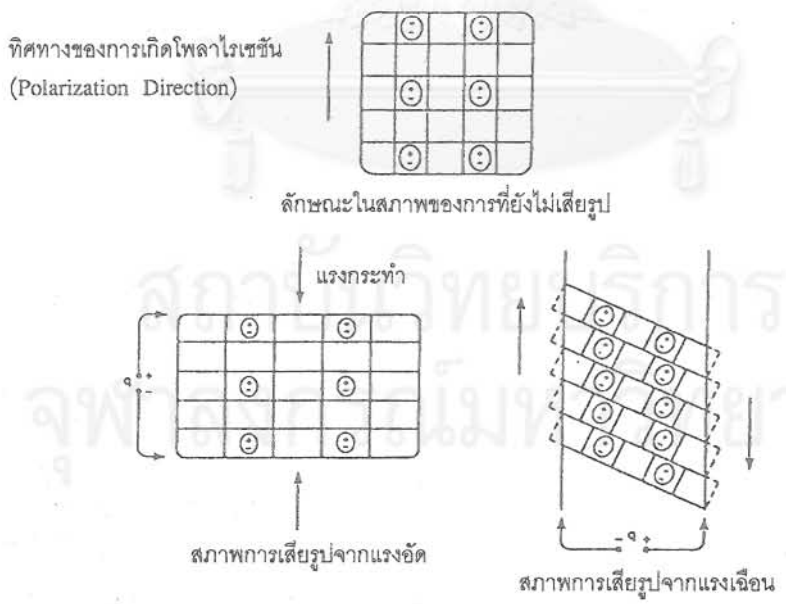
ถ้าชิ้นส่วนที่มีการสั่นสะเทือนมีขนาดเล็กทรานส์ดิวเซอร์ดังกล่าวอาจมีมวลมากเกินไป จึงได้มีการพัฒนาทรานส์ดิวเซอร์อีกรุ่นหนึ่งซึ่งก็ใช้หลักการเช่นเดียวกับแบบใช้ขดลวดที่เคลื่อนที่ แต่จะใช้ก้านขนาดเล็กติดตั้งไว้กับขดลวดซึ่งก้านจะยึดติดกับส่วนที่สั่นสะเทือน ทำให้มีมวลเพียงเล็กน้อย โดยที่ตัวเรือนถูกติดตั้งไว้กับโครงสร้างที่ไม่สั่นสะเทือน ทรานส์ดิวเซอร์แบบนี้เหมาะสำหรับใช้กับชิ้นส่วนหรือโครงสร้างที่มีขนาดเล็กและเบา ส่วนประกอบต่าง ๆ ของทรานส์ดิวเซอร์แบบนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 8.6 และเนื่องจากทรานส์ดิวเซอร์ใช้สนามแม่เหล็กภายในในการทำงาน ดังนั้นสนามแม่เหล็กจากภายนอกก็อาจรบกวนการทำงานได้เช่นกัน เมื่อนำมาใช้งานใกล้กับมอเตอร์กระแสสลับขนาดใหญ่



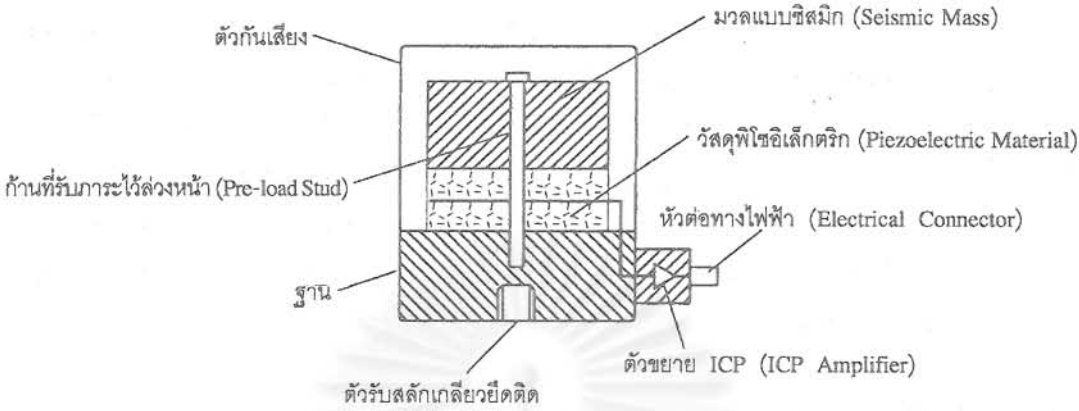
รูปที่ 8.6 ทรานส์ดิวเซอร์สำหรับใช้วัดความเร็วแบบใช้มวลต่อโดยตรง [5]

8.3.3 ทรานส์ดิวเซอร์สำหรับวัดความเร่ง (Acceleration Transducer or Accelerometer)

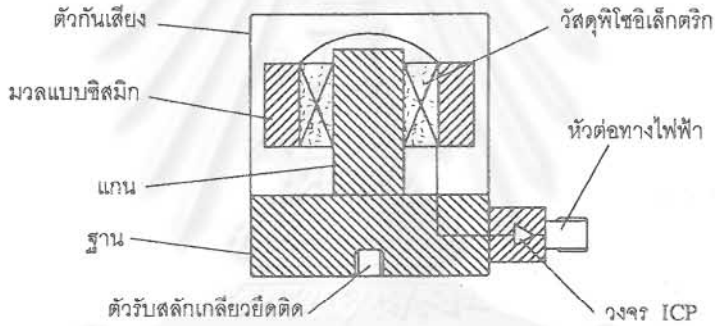
เป็นทรานส์ดิวเซอร์ซึ่งใช้วัดความเร่งของการสั่นสะเทือน (จากความเร่งก็สามารถคำนวณหาความเร็วและระยะการเคลื่อนที่ได้) ซึ่งอาจเป็นแบบดั้งเดิมที่ใช้มวล (ขดลวด) กับสปริงที่เคลื่อนที่ตัดเส้นแรงแม่เหล็ก ระยะที่มวลเคลื่อนที่ได้จะเป็นสัดส่วนกับแรงหรือความเร่งที่กระทำ แต่จะมีข้อจำกัดที่ความเร็วตอบสนองต่อความถี่และการรบกวนของสนามแม่เหล็กจากภายนอก



รูปที่ 8.7 ลักษณะของแรงกระทำต่อผลึกวัสดุพิโซอิเล็กตริก



รูปที่ 8.8 หัววัดความเร่งแบบแรงกด



รูปที่ 8.9 หัววัดความเร่งแบบแรงเฉือน

ปัจจุบันมักนิยมใช้ทรานส์ดิวเซอร์ที่ใช้หลักการพิโซอิเล็กตริก (Piezoelectric) นั่นคือ วัสดุบางประเภท เช่น ควอตซ์ (Quartz) และเฟอร์โรอิเล็กตริกเซรามิกส์ (Ferroelectric Ceramics) บางชนิดจะเกิดประจุไฟฟ้าเมื่อถูกแรงกด วัสดุพิโซอิเล็กตริกจะทำหน้าที่เป็นสปริงรับแรงกดจากก้อนมวลซึ่งสั่นทำให้เกิดปริมาณประจุไฟฟ้าตามการสั่นสะเทือนแรงกดอาจจะกระทำในแนวตั้งฉาก (Compression) กับผลึก หรืออาจจะกระทำในแนวเฉือน (Shear) กับผลึก ดังแสดงในรูปที่ 8.7

เนื่องจากหลักการดังกล่าวหัววัดความเร่ง (Accelerometer) ที่ใช้งานจะมีทั้งสองแบบโดย หัววัดความเร่งที่ใช้แรงกดจากมวลในแนวตั้งฉากกับผลึกจะมีอัตราส่วนความไวต่อมวลปานกลาง และอาจมีผลกระทบจากการโก่งงอของฐานและจากอุณหภูมิ ทำให้เกิดความเค้นในวัสดุพิโซอิเล็กตริกได้ แต่จะผลิตได้ง่ายกว่าและแข็งแรงกว่า หัววัดความเร่งแบบนี้มักนิยมใช้กับค่าความเร่งสูง ๆ เพื่อชดเชยปัญหาดังกล่าว ส่วนหัววัดความเร่งที่ใช้แรงกดจากมวลในแนวเฉือนกับผลึกจะมีอัตราส่วนความไวต่อมวลสูง แต่จะผลิตได้

ยากกว่า โครงสร้างของหัววัดความเร่งทั้งสองแบบแสดงไว้ในรูปที่ 8.8 และ 8.9 ประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์พิโซอิเล็กตริกมีปริมาณน้อยมากจึงจำเป็นต้องขยายสัญญาณเพื่อส่งไปยังอุปกรณ์ประมวลสัญญาณ ซึ่งจากสัญญาณความเร่งก็สามารถคำนวณหาความเร็วและระยะการเคลื่อนที่ของการสั่นสะเทือนได้ ดังนั้นหัววัดความเร่งจึงเป็นทรานส์ดิวเซอร์ที่นิยมใช้เพราะมีขนาดเล็กและมีความแข็งแรงทนทาน

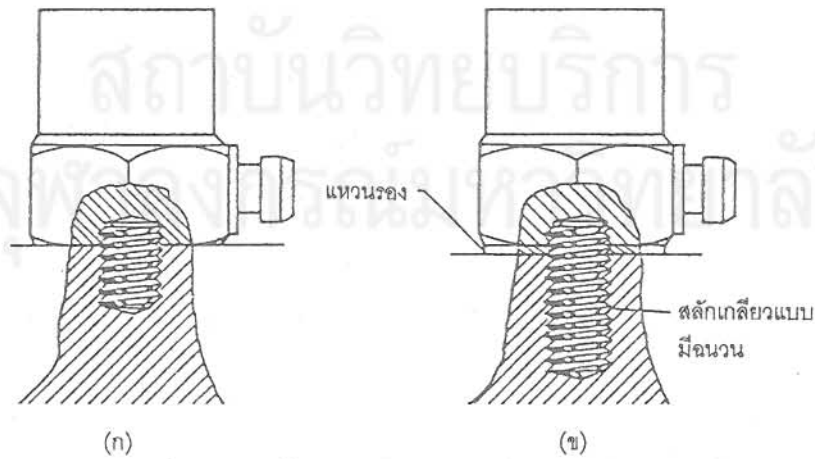
แต่อย่างไรก็ตาม หัววัดความเร่งแบบพิโซอิเล็กตริกก็มีข้อจำกัดเนื่องจาก การรั่วไหล (Leakage) ของประจุที่เกิดขึ้นได้ การก้อง (Ringing) เมื่อทำงานใกล้ความถี่ธรรมชาติ และการเคลื่อนของตำแหน่งศูนย์ (Zeroshift) ปรากฏการณ์เหล่านี้เกิดขึ้นเมื่อนำหัววัดความเร่งมาใช้งานนอกช่วงที่ออกแบบไว้

8.4 การติดตั้งทรานส์ดิวเซอร์

เพื่อให้ทรานส์ดิวเซอร์ที่ใช้วัดการสั่นสะเทือนสามารถทำงานได้สมบูรณ์ ต้องติดตั้งทรานส์ดิวเซอร์ให้สัมผัสแนบสนิทกับผิวของชิ้นส่วนที่ต้องการวัดการสั่นสะเทือน โดยมีแนวแกนของทรานส์ดิวเซอร์ในทิศทางเดียวกับการสั่นสะเทือน ทั้งนี้เพื่อให้ทรานส์ดิวเซอร์ได้รับการถ่ายทอดการสั่นสะเทือนมาได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งวิธีการยึดทรานส์ดิวเซอร์ให้แนบกับผิวของชิ้นส่วนเครื่องจักรกระทำได้หลายวิธี และสามารถเลือกใช้ตามความเหมาะสมของช่วงความถี่ที่ต้องการได้

8.4.1 การใช้สลักเกลียว

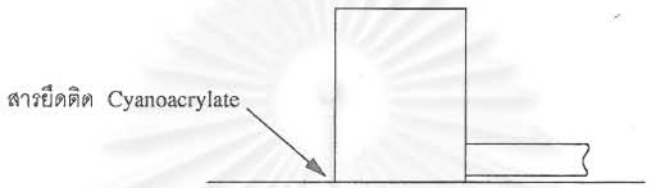
เป็นการยึดทรานส์ดิวเซอร์ที่แน่นหนามั่นคงจึงมีความถี่ตอบสนองที่สามารถใช้งานได้สูง ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับวัดการสั่นสะเทือนที่มีความถี่และแอมพลิจูดสูงได้ และเป็นการติดตั้งหัววัดความเร่งอย่างถาวร โดยที่ผิวหน้าต้องเรียบ แต่อาจจะไม่สะดวกถ้าต้องการตรวจวัดการสั่นสะเทือนเป็นครั้งคราว สลักเกลียวที่ใช้อาจเป็นสลักเกลียวที่ทำจากวัสดุที่ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า และมีแผ่นฉนวนรองรับตัวหัววัดความเร่ง เพื่อป้องกันการลัดวงจรลงดิน (Ground Loop) ที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ รูปที่ 8.10 แสดงลักษณะการติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยสลักเกลียวที่ถูกต้อง



รูปที่ 8.10 การใช้สลักเกลียวสำหรับยึดหัววัดความเร่ง [7]

8.4.2 การใช้ขี้ผึ้ง

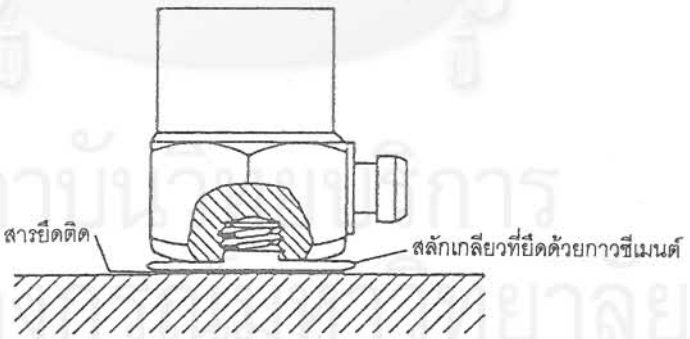
เป็นการยึดทรานส์ดิวเซอร์ด้วยขี้ผึ้ง ดังนั้นผิวหน้าของชิ้นส่วนเครื่องจักรต้องเรียบมากและต้องสะอาดเพื่อให้ขี้ผึ้งยึดหัววัดความเร่งกับผิวหน้าของชิ้นส่วนเครื่องจักรได้ดี วิธีการนี้ใช้ได้ดีสำหรับหัววัดความเร่งขนาดเล็ก เพราะสะดวกและมีความถี่ตอบสนองสูงใกล้เคียงกับการใช้สลักเกลียวยึด แต่จะถูกจำกัดด้วยอุณหภูมิ ซึ่งไม่ควรเกิน 40 °C และแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนไม่สูงมากนัก ดังแสดงในรูปที่ 8.11



รูปที่ 8.11 การใช้ขี้ผึ้งสำหรับยึดหัววัดความเร่ง (และการใช้กาวชนิดต่าง ๆ)

8.4.3 การใช้กาวอีพอกซี (Epoxy)

เป็นการยึดทรานส์ดิวเซอร์ด้วยกาวอีพอกซี หรือกาว Cyanoacrylate ซึ่งจะสามารถทนต่ออุณหภูมิได้ดีกว่าขี้ผึ้งคือ ประมาณ 80 °C ในขณะที่มีวิธีการและคุณสมบัติต่าง ๆ เหมือน ๆ กัน แต่จะสามารถทนต่อการสั่นสะเทือนที่มีแอมพลิจูดสูง ๆ ได้ดีกว่า การใช้กาวนี้อาจดัดแปลงเพื่อใช้ยึดชิ้นแป้นสลักเกลียวกับผิวชิ้นงานก่อนจะนำหัววัดความเร่งมายึดกับสลักเกลียว ดังรูปที่ 8.12 จุดอ่อนของการใช้กาวก็คือลำบากต่อการปลดหัววัดความเร่งออกจากตำแหน่งที่ติดตั้งไว้



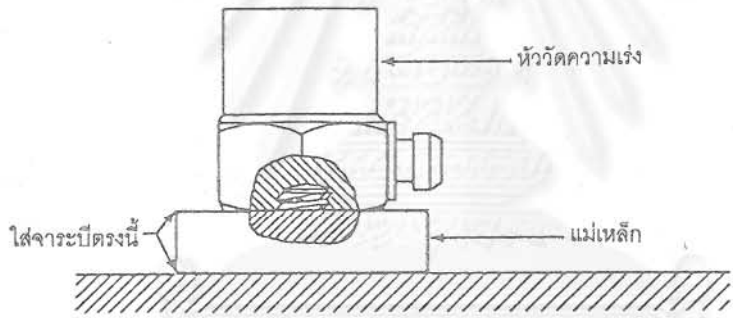
รูปที่ 8.12 การใช้ชิ้นแป้นสลักเกลียวและกาวติดหัววัดความเร่งกับผิวชิ้นงาน [7]

8.4.4 การใช้เทปกาวสองหน้า

เป็นการยึดทรานส์ดิวเซอร์ด้วยเทปกาวสองหน้า ซึ่งจะมีวิธีการติดตั้งและการใช้งานคล้ายคลึงกับการใช้ขี้ผึ้งหรือใช้กาว เพียงแต่ว่าจะสะดวกต่อการติดตั้งมากขึ้น และเป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี ความหนาของเทปกาวจะมีผลต่อความถี่ตอบสนองคือ ถ้ามีความหนามาก เช่น 0.8 mm จะทำให้ความถี่ตอบสนองค่อนข้างต่ำประมาณ 500 Hz เนื่องจากความยืดหยุ่นของวัสดุทำเทป

8.4.5 การใช้แม่เหล็ก

เป็นการยึดด้วยแท่นแม่เหล็กถาวรที่ขันชิดแน่นกับตัวทรานส์ดิวเซอร์กับส่วนของเครื่องจักรที่สั่นสะเทือน ทำให้สะดวกและรวดเร็วตลอดจนมีความสม่ำเสมอของแรงดึงดูดที่ยึดติดหัววัดความเร่งกับเครื่องจักร จึงเหมาะสำหรับตรวจวัดเป็นครั้งคราว แต่อย่างไรก็ตามก็จะมีความถี่ตอบสนองลดต่ำกว่าวิธีการที่ผ่าน ๆ มา และที่สำคัญก็คือ ชิ้นส่วนที่จะวัดการสั่นสะเทือนต้องเป็นเหล็ก ตลอดจนแท่นแม่เหล็กที่ใช้ก็จะเป็นการเพิ่มมวลให้กับชุดหัววัดความเร่งที่จะไปยึดกับชิ้นส่วน ลักษณะการติดตั้งโดยใช้แม่เหล็กแสดงไว้ในรูปที่ 8.13

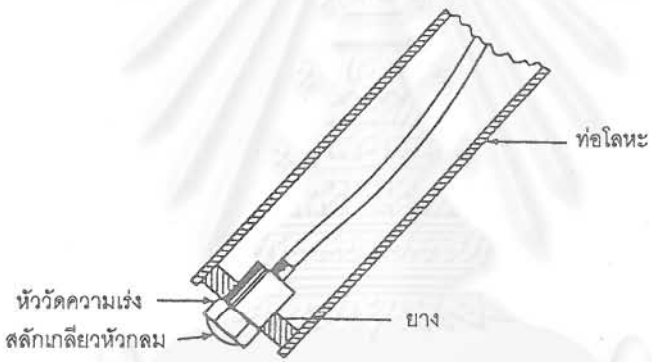


รูปที่ 8.13 การใช้แม่เหล็กสำหรับยึดหัววัดความเร่ง [7]

8.4.6 การใช้มือกด

ซึ่งอาจจะเป็นการกดหัววัดความเร่งลงบนเครื่องจักรโดยตรง หรืออาจเป็นการต่อแท่งโพรบ (Probe) ซึ่งเป็นแท่งโลหะที่ขันติดแน่นกับหัววัดความเร่ง ให้ปลายสัมผัสกับเครื่องจักรแทนก็ได้ แท่งโพรบอาจจะมีความยาว 3 นิ้ว 6 นิ้ว 9 นิ้ว หรือมากกว่าตามความเหมาะสม มีทั้งปลายแหลมและปลายมน เพื่อให้สามารถกดบริเวณที่เข้าถึงลำบาก ทั้งนี้ที่ตำแหน่งผิวของชิ้นส่วนเครื่องจักรควรจะทำรอยบากไว้เพื่อป้องกันการลื่นและเป็นการกำหนดจุดที่แน่นอนให้การตรวจวัดทุกครั้งที่ตำแหน่งเดิมเสมอ หรือถ้าใช้ท่อโลหะยาวก็จำเป็นต้องยึดหัววัดความเร่งไว้ที่ตอนปลายเพื่อป้องกันการเกิดเรโซแนนซ์ (Resonance) ของท่อ เนื่องมาจากการสัมผัสยึดติดของแท่งโพรบกับชิ้นส่วนเครื่องจักรอาศัยแรงกดจากมือ ทำให้ความถี่ตอบสนองค่อนข้างต่ำเพียงในช่วงประมาณ 1 kHz การใช้งานดังแสดงไว้ในรูปที่ 8.14 และ 8.15

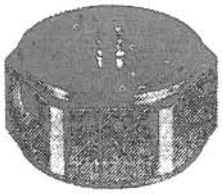
รูปที่ 8.14 การใช้มือกดแท่งโพรบ



รูปที่ 8.15 รายละเอียดแท่งโพรบ

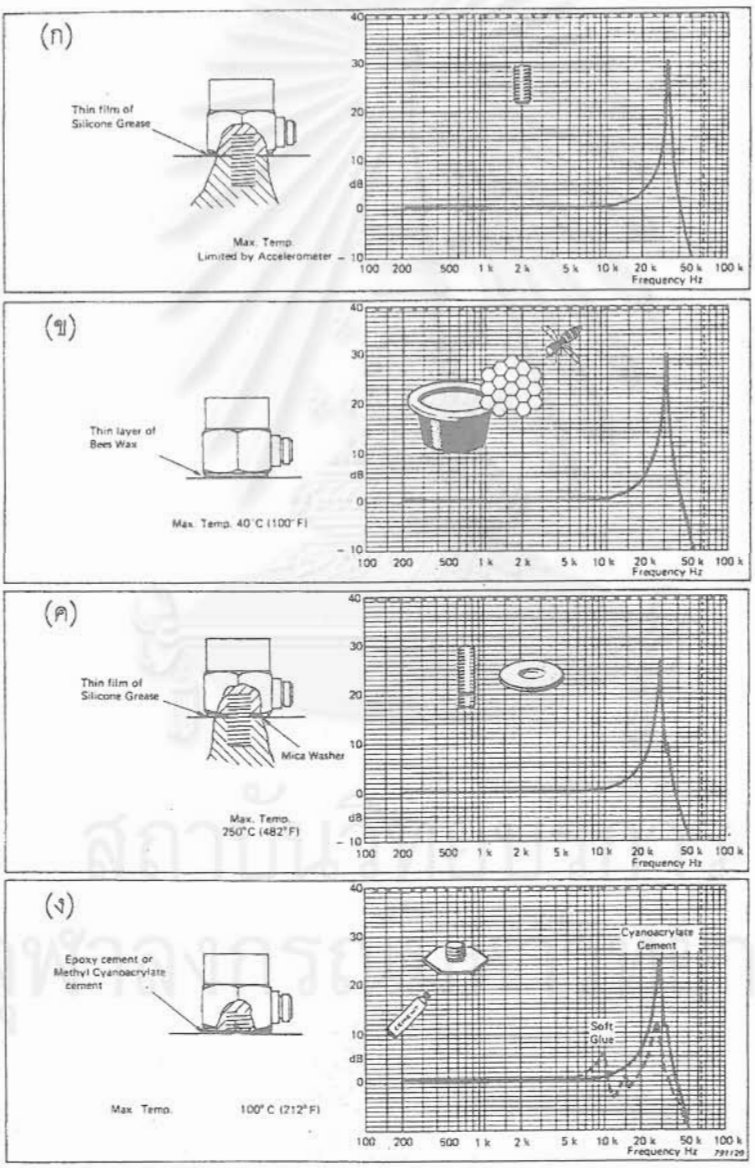
8.4.7 การใช้ตัวกรองทางกล (Mechanical Filter)

เมื่อต้องการวัดความสั่นสะเทือนในช่วงความถี่ต่ำ และมีแอมพลิจูดน้อย ๆ ก็อาจจำเป็นต้องใช้ตัวกรองทางกล ซึ่งก็คือชุดมวลกับสปริงที่มีความถี่ตอบสนองต่ำ ซึ่งมีลักษณะเป็นอุปกรณ์สำเร็จรูปที่มีจำหน่ายดังแสดงในรูปที่ 8.16 ตัวกรองทางกลจะยึดติดไว้ด้านหน้าของหัววัดความเร่ง ทำหน้าที่กรองการสั่นสะเทือนความถี่สูงไม่ให้ผ่านเข้าถึงหัววัดความเร่ง

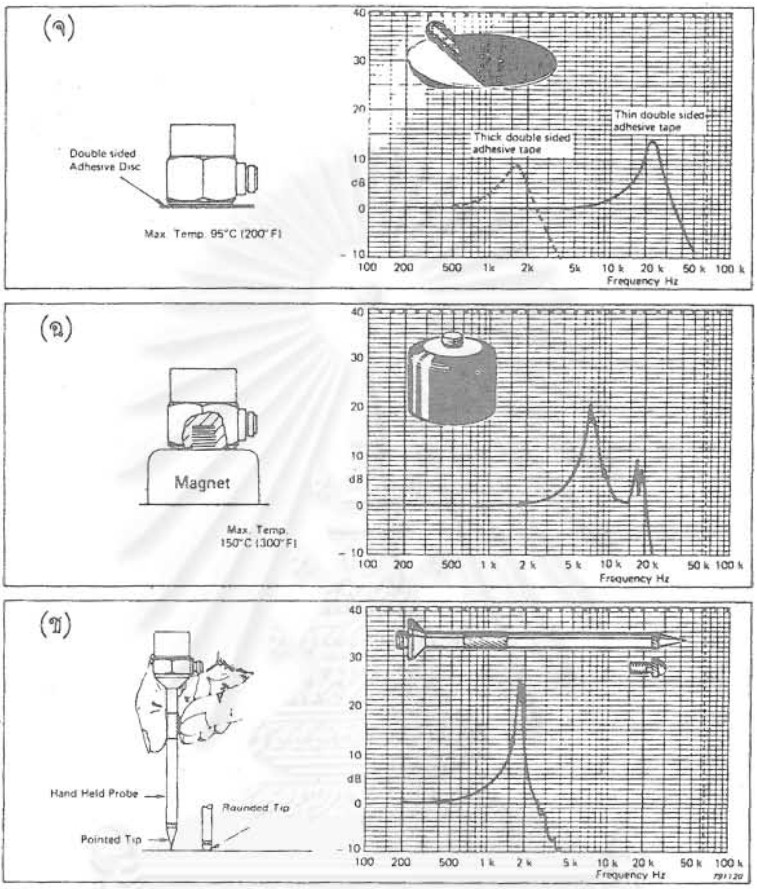


รูปที่ 8.16 ตัวกรองทางกล

รูปที่ 8.17 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างการติดตั้งหัววัดความเร่งแบบต่าง ๆ เพื่อแสดงช่วงความถี่ตอบสนองที่สามารถใช้งานได้ดีของการติดตั้งหลาย ๆ แบบ ข้อควรระวังในขณะทำการวัดการสั่นสะเทือนก็คือ สายเคเบิลของทรานส์ดิวเซอร์ควรยึดให้แนบกับพื้นเพื่อป้องกันปรากฏการณ์ที่เรียกว่า "Triboelectri" ซึ่งทำให้ความจุไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการแยกตัวของเส้นลวดโลหะและฉนวนหุ้มเคเบิล (Coaxial) เมื่อมีการหัก บิด หรือขยับไปมา นอกจากนี้การรบกวนของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายไฟฟ้า หรือเครื่องจักรกลไฟฟ้าขนาดใหญ่ก็ควรเลี่ยงโดยการไม่พาดสายเคเบิลของทรานส์ดิวเซอร์ในบริเวณเหล่านั้น



รูปที่ 8.17 การเปรียบเทียบความถี่ตอบสนองของการติดตั้งแบบต่าง ๆ [6]



รูปที่ 8.17 การเปรียบเทียบความถี่ตอบสนองของการติดตั้งแบบต่าง ๆ [6] (ต่อ)

ตารางที่ 8.1 เป็นข้อแนะนำกว้าง ๆ ในการเลือกใช้ทรานส์ดิวเซอร์ ค่าการสั่นสะเทือน ช่วงความถี่ และตำแหน่งที่จะทำการวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรประเภทต่าง ๆ ซึ่งสามารถนำไปเป็นแนวทางเบื้องต้นได้

ตารางที่ 8.1 เกณฑ์การเลือกใช้ทรานส์ดิวเซอร์และค่าการสั่นสะเทือน

ลักษณะของเครื่องจักร	พารามิเตอร์	ช่วงความถี่ CPM	ตำแหน่งของทรานส์ดิวเซอร์	ทรานส์ดิวเซอร์
● กังหันไอน้ำ/เครื่องสูบน้ำ	ระยะการเคลื่อนที่	600 - 6000	วัดระยะห่างสัมพัทธ์กับเพลา	หัววัดแบบไม่สัมผัส
● คอมเพรสเซอร์ขนาดใหญ่ที่ใช้แบริ่งฟิลม์น้ำมัน	ความเร็ว	600 - 60000	วัดที่แบริ่ง	หัววัดความเร็วหรือความเร่ง
● เครื่องสูบน้ำ-ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์หรือกังหัน	ความเร็ว	600 - 60000	วัดที่แบริ่ง	หัววัดความเร็วหรือความเร่ง
● มอเตอร์ไฟฟ้า-พัดลม	ความเร่ง	600 - 600000	วัดที่แบริ่ง	หัววัดความเร่ง
● พัดลมที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ ใช้แบริ่งชนิดชิ้นส่วนกลิ้ง	ความเร็ว	600 - 60000	ตัวโครงเรือน	หัววัดความเร็วหรือความเร่ง
	ความเร่ง	600 - 600000	ตัวโครงเรือน	หัววัดความเร่ง
● ชุดเฟืองที่ใช้แบริ่งชนิดชิ้นส่วนกลิ้ง	ความเร่ง	600 - 600000	ตัวโครงเรือน	หัววัดความเร่ง
● ชุดเฟืองที่ใช้แบริ่งฟิล์มน้ำมัน	ระยะการเคลื่อนที่	600 - 6000	วัดระยะห่างสัมพัทธ์กับเพลา	หัววัดแบบไม่สัมพัทธ์
	ความเร่ง	600 - 600000	ตัวโครงเรือน	หัววัดความเร่ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9 การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน

9.1 บทนำ

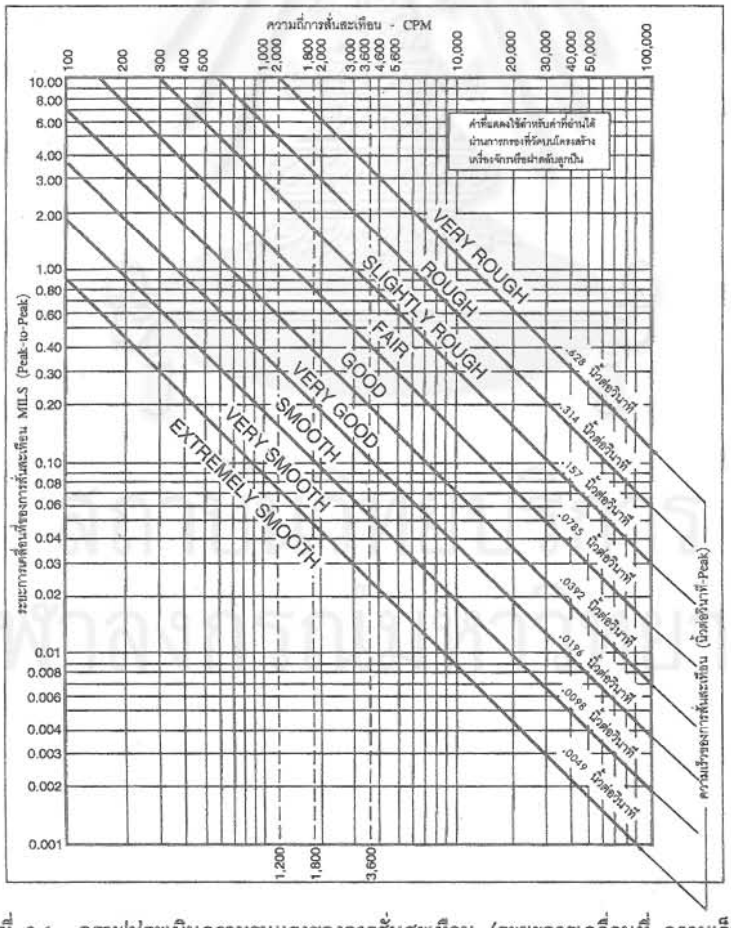
ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน ซึ่งสามารถแบ่งชนิดสัญญาณที่จะวิเคราะห์เป็นสองชนิด คือ สัญญาณการสั่นสะเทือนแบบรวม (Overall Value) และสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนแบบรูปรวม สามารถทำโดยการเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง โดยใช้หลักการที่ว่า ขนาดของสัญญาณยิ่งมากเครื่องจักรก็ยิ่งมีแนวโน้มว่าจะบกพร่องได้มาก ในขณะเดียวกันค่าอ้างอิงของความรุนแรงของการสั่นสะเทือนที่ยอมรับได้สำหรับแต่ละสัญญาณ (ระยะการเคลื่อนที่ ความเร็ว ความเร่ง) จะถูกนำเสนอเพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์ สำหรับสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ การวิเคราะห์จะกล่าวถึงในรายละเอียดของข้อมูลที่ได้จากสัญญาณซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของข้อบกพร่องของเครื่องจักร และจะกล่าวถึงลักษณะจำเพาะของสัญญาณที่เป็นต้นเหตุของการบกพร่องของเครื่องจักรแบบต่าง ๆ ไว้ด้วย

9.2 การประเมินค่าความรุนแรงของการสั่นสะเทือนของสัญญาณแบบรวม

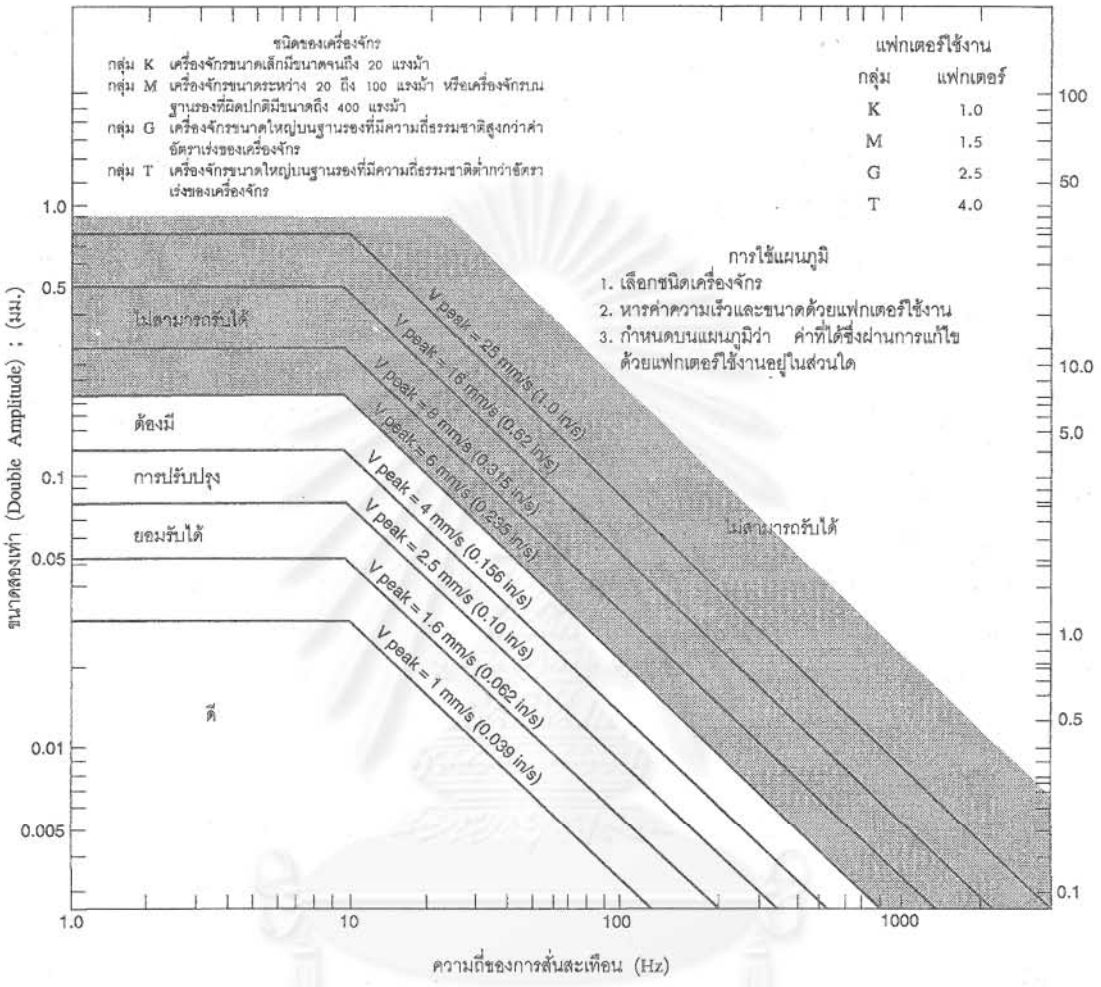
เนื่องจากการวัดสัญญาณแบบรวมจะแสดงผลเป็นตัวเลขค่าเดียว เครื่องจักรอาจมีมวลต่าง ๆ กัน ทำงานที่ความเร็วต่าง ๆ กัน คำถามจะเกิดขึ้นว่า การสั่นสะเทือนแค่ไหนถือว่ารุนแรง แค่ไหน ถือว่ายังยอมรับได้ รูปที่ 9.1 ถึง 9.3 จะเป็นข้อมูลกว้าง ๆ ที่ถือเป็นเกณฑ์ปฏิบัติ ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากข้อมูลสะสมมาจากสภาพปฏิบัติงานหลาย ๆ แบบ แต่อยากให้ผู้อ่านเข้าใจถึงการใช้ข้อมูลในรูปที่ 9.1 ถึง 9.3 ว่าข้อมูลเหล่านั้นเป็นเพียงเกณฑ์กว้าง ๆ ที่นำมาอ้างอิงในกรณีที่ไม่มีการใช้ข้อมูลอื่น ข้อมูลที่ดีที่สุดที่ใช้เป็นเกณฑ์กำหนดว่า ระดับการสั่นสะเทือนใดยอมรับได้ ระดับใดเริ่มยอมรับไม่ได้ ควรมาจากการเก็บข้อมูลสะสมของเครื่องจักรแต่ละตัวในโรงงานภายใต้การทำงานจริง เนื่องจากเครื่องจักรแต่ละเครื่องถึงแม้จะมีลักษณะและเงื่อนไขการทำงานเหมือนกัน ผลิตมาจากโรงงานผู้ผลิตเดียวกัน แต่มักมีคุณลักษณะของการสั่นสะเทือนไม่เหมือนกัน ตัวอย่างเช่น จากการเก็บข้อมูลสะสมของเครื่องจักรสองตัวที่คุณลักษณะเหมือนกันและทำงานภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน เครื่องจักรตัวแรกมีระดับการสั่นสะเทือนที่ถือเป็นระดับพื้นฐาน (Base Line) อยู่ที่ 0.01 นิ้วต่อวินาที ในขณะที่อีกเครื่องหนึ่งอาจมีระดับพื้นฐานอยู่ที่ 0.015 นิ้วต่อวินาที ดังนั้นในการกำหนดระดับที่เป็นระดับเตือนหรือระดับที่ยอมรับไม่ได้จึงควรมีค่าต่างกัน เป็นต้น

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อย่างไรก็ดีหากพิจารณาในรูปที่ 9.1 เกณฑ์ทั่วไปในการกำหนดความรุนแรงของการสั่นสะเทือน จะพบว่า แกนในแนวตั้งจะเป็นค่าการสั่นสะเทือนที่อยู่ในรูปของการขจัดหรือระยะการเคลื่อนที่ ในขณะที่แกนในแนวนอนจะเป็นแกนความถี่ ตัวอย่างการใช้งานก็คือ สมมติว่ามีการวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนในรูประยะการเคลื่อนที่ได้ค่า 0.4 mil ที่ความเร็วรอบของเครื่องจักรเท่ากับ 3000 รอบต่อนาที เมื่อนำค่ามาใช้ในรูปที่ 9.1 จะพบว่า จุดตัดจะอยู่ในบริเวณที่ถือว่ายังอยู่ในสภาพดี (Good) และในรูปที่ 9.1 ก็ยังมีเส้นทแยงมุมซึ่งกำหนดค่าเป็นช่วงของค่าสัญญาณการสั่นสะเทือนในรูปความเร็ว ซึ่งมีหน่วยเป็นนิ้วต่อวินาทีและวัดในรูปของค่าสูงสุด (Peak) สำหรับรูปที่ 9.2 เป็นตัวอย่างของเกณฑ์ความรุนแรงอีกแบบ โดยมีลักษณะและขนาดของเครื่องจักรมาเป็นตัวประกอบในการกำหนดความรุนแรง โดยการใช้เกณฑ์นี้จะต้องทราบลักษณะและขนาดต้นกำลังของเครื่องจักร เพื่อกำหนดประเภทของเครื่องจักรจากนั้นจึงนำไปหาค่าตัวประกอบบริการ (Service Factor) แล้วจึงนำเอาค่าตัวประกอบนี้ไปหารกับค่าสัญญาณที่วัดได้ แล้วจึงไปกำหนดจุดลงในรูปที่ 9.2 เพื่อหาสภาพที่เครื่องจักรเป็นอยู่ สำหรับรูปที่ 9.3 จะมีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 9.1 ยกเว้นแกนตั้งเป็นค่าสัญญาณการสั่นสะเทือนในรูปความเร่งที่มีหน่วยเป็น G (ซึ่งคือ สัดส่วนกับค่าความโน้มถ่วงของโลกเท่ากับ 981 มิลลิเมตรต่อวินาทีกำลังสอง หรือ 386.4 นิ้วต่อวินาทีกำลังสอง)

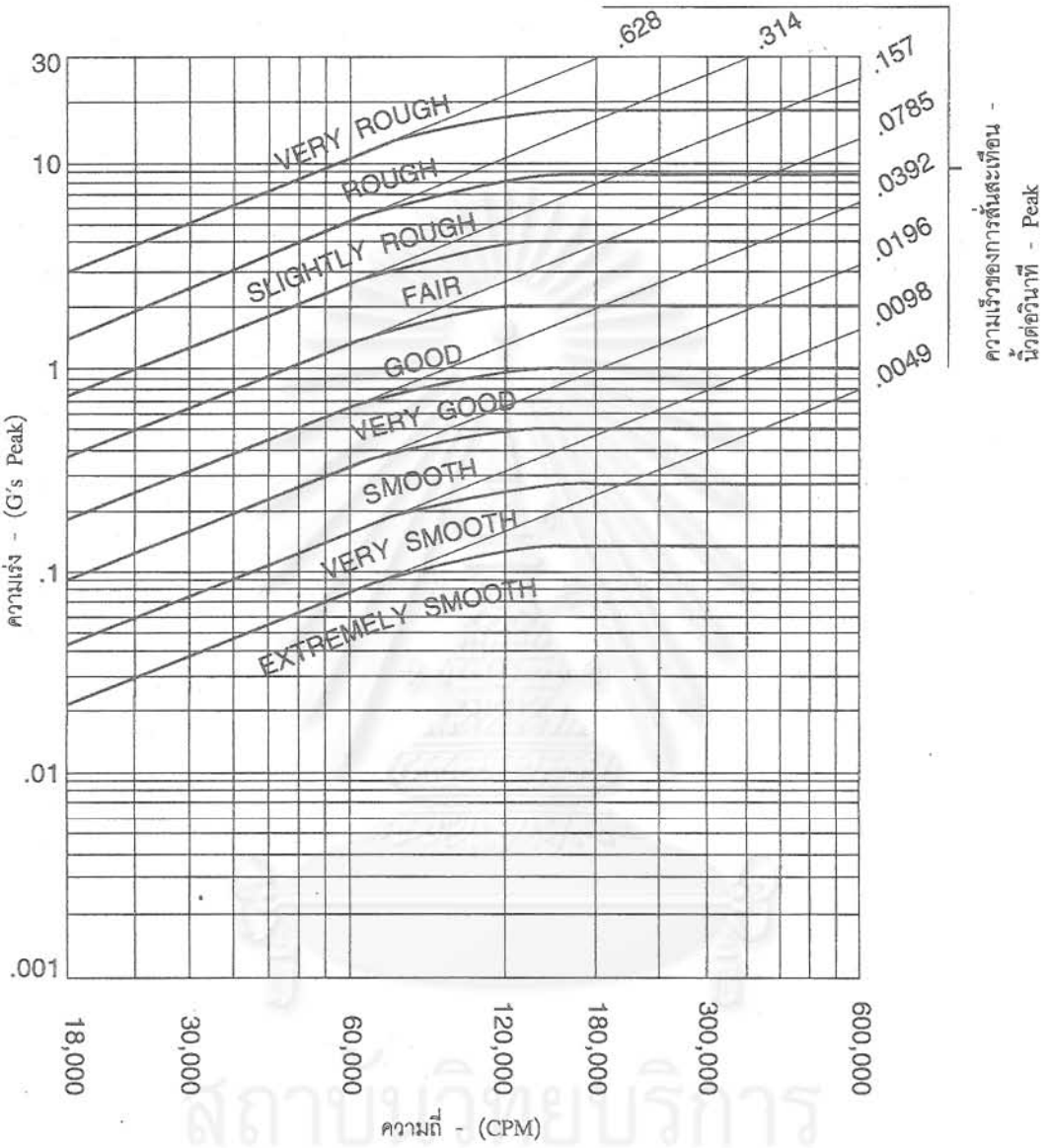


รูปที่ 9.1 กราฟประเมินความรุนแรงของการสั่นสะเทือน (ระยะการเคลื่อนที่–ความเร็ว) [5]



รูปที่ 9.2 กราฟประเมินความรุนแรงของการสั่นสะเทือน (ระยะการเคลื่อนที่–ความเร็ว) โดยพิจารณาขนาดและชนิดของเครื่องจักร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

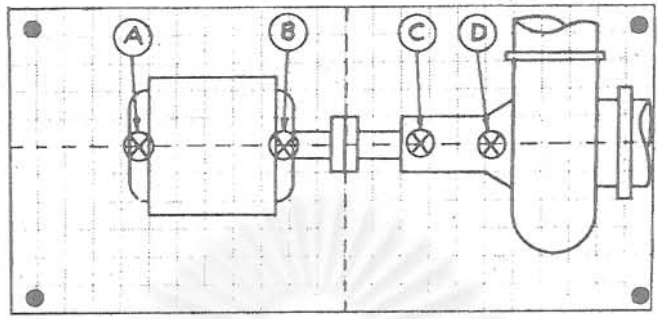


รูปที่ 9.3 กราฟประเมินความรุนแรงของการสั่นสะเทือน (ความเร่ง–ความเร็ว) [5]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9.3 การวิเคราะห์แบบแนวโน้ม (Trend Analysis)

ในการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนเพื่อบอกสภาพเครื่องจักรนั้น การใช้สัญญาณการสั่นสะเทือนแบบรวมมักจะไม่สามารถให้ข้อมูลเพียงพอที่จะบ่งบอกถึงสภาพการชำรุด หรือสาเหตุของการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรนั้นได้อย่างชัดเจน แต่อย่างไรก็ดี สัญญาณการสั่นสะเทือนแบบรวมก็ให้ข้อมูลมากพอในการบ่งบอกว่าเครื่องจักรเริ่มชำรุดโดยดูจากขนาด และวิธีวิเคราะห์ในลักษณะนี้มักจะเรียกว่า การวิเคราะห์แบบแนวโน้ม (Trend Analysis) ซึ่งจะทำโดยการเปรียบเทียบสัญญาณที่วัดได้จากการตรวจวัดเครื่องจักรในช่วงเวลาที่ต่าง ๆ กัน แล้วนำมาเปรียบเทียบหาแนวโน้ม โดยข้อมูลที่เปรียบเทียบจะต้องเป็นข้อมูลที่วัดด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือนแบบเดียวกัน (อาทิ ความเร็ว หรือความเร่ง หรือระยะการเคลื่อนที่) และในตำแหน่งเดิมและทิศทางเดิมเสมอ เมื่อนำสัญญาณมาเปรียบเทียบบนแกนเวลา หากสัญญาณมีลักษณะค่อย ๆ เพิ่มขนาดขึ้นด้วยอัตราที่คงที่และสม่ำเสมอ ลักษณะสัญญาณดังกล่าวจะบ่งบอกถึงการทำงานและการสึกหรอเป็นปกติ หากสัญญาณเพิ่มขนาดขึ้นอย่างรวดเร็วและมีอัตราการเพิ่มสูงมากขึ้นเรื่อย ๆ (โดยที่ได้ตรวจสอบจนแน่ใจว่าสัญญาณที่วัดนั้นถูกต้อง) ลักษณะสัญญาณดังกล่าวจะบอกให้รู้ว่ามีความบกพร่องเกิดขึ้นกับเครื่องจักรอย่างแน่นอน และจะต้องหยุดเครื่องจักรทำการซ่อมบำรุงเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าผู้ทำการวิเคราะห์อาจไม่รู้ถึงเหตุบกพร่องของเครื่องจักรว่าคืออะไร (ถ้าหากยังไม่ได้หยุดเครื่องเพื่อถอดออกมาตรวจสอบ) เนื่องจากไม่มีข้อมูลเพิ่มเติมเพียงพอ แต่การวิเคราะห์แบบแนวโน้มก็มีประสิทธิภาพสูงในแง่ของการทำการบำรุงรักษา ซึ่งเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการบอกสภาพการทำงานของเครื่องจักร และสามารถทำนายความเสียหายของเครื่องจักรล่วงหน้าได้ ถึงแม้ไม่รู้ว่าเกิดจากสาเหตุใด ซึ่งนั่นก็เพียงพอแล้วสำหรับการทำการบำรุงรักษาแบบตามสภาพ (Condition Based Maintenance) ทั่ว ๆ ไป รูปที่ 9.4 แสดงถึงตัวอย่างของการนำเอาข้อมูลการสั่นสะเทือนแบบรวมที่วัดได้ที่จุดต่าง ๆ บนเครื่องสูบน้ำมาบันทึกเพื่อดูแนวโน้มของสัญญาณเมื่อเวลาผ่านไป ในตัวอย่างนี้ที่แต่ละจุดจะทำการวัดสัญญาณแบบความเร็ว และจะพบว่าสัญญาณทั้งหมดที่จุด B และ C เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราที่สูงเมื่อเวลาผ่านไป โดยเฉพาะสัญญาณที่วัดในสัปดาห์ที่ 5 ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ว่ามีชิ้นส่วนบกพร่องเกิดขึ้นในชุดเครื่องสูบน้ำซึ่งเป็นต้นเหตุของการสั่นสะเทือนที่มีระดับที่ไม่สามารถยอมรับได้ จึงจำเป็นต้องหยุดการทำงานของเครื่องโดยเร็วเพื่อทำการซ่อมแซม เมื่อหยุดเครื่องและทำการซ่อมแซมเสร็จแล้ว สัญญาณการสั่นสะเทือนจะมีขนาดลดลงมาสู่ระดับปกติได้ใหม่ดังที่แสดงไว้ในรูป จากนั้นเมื่อทำงานต่อไปก็จะพบว่าสัญญาณการสั่นสะเทือนเริ่มมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ ทั้งนี้อาจจะสืบเนื่องจากการสึกหรอของชิ้นส่วนต่าง ๆ จากลักษณะการวิเคราะห์แนวโน้มก็อาจคาดการณ์ได้ว่าเครื่องสูบน้ำจะสามารถทำงานต่อเนื่องไปได้อีกนานเท่าใดค่าการสั่นสะเทือนจึงจะมีค่าสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้

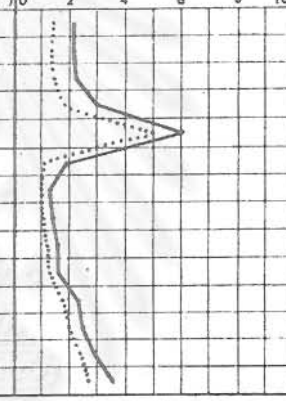


CHECKED — PERIODIC VIBRATION CHECKS — Interval WEEKLY

Disp. __ Vel. X Accel. __

DATE	BY	A(H)	B(H)	C(H)	D(H)	E( )	F( )	G( )	H( )
1/22	C.J.	.19	.15	.21	.12				
1/29	C.J.		.14	.21					
2/6	C.J.		.15	.22					
2/14	C.J.		.18	.3					
2/20	C.J.		.5	.6					
2/21	C.J.	.12	.11	.19	.10				
2/23	C.J.		.10	.13					
3/2	C.J.		.11	.14					
3/9	C.J.		.12	.16					
3/17	C.J.		.13	.16					
3/24	C.J.		.17	.22					
3/30	C.J.		.2	.24					
4/8	C.J.		.23	.29					
4/15	C.J.		.26	.33					

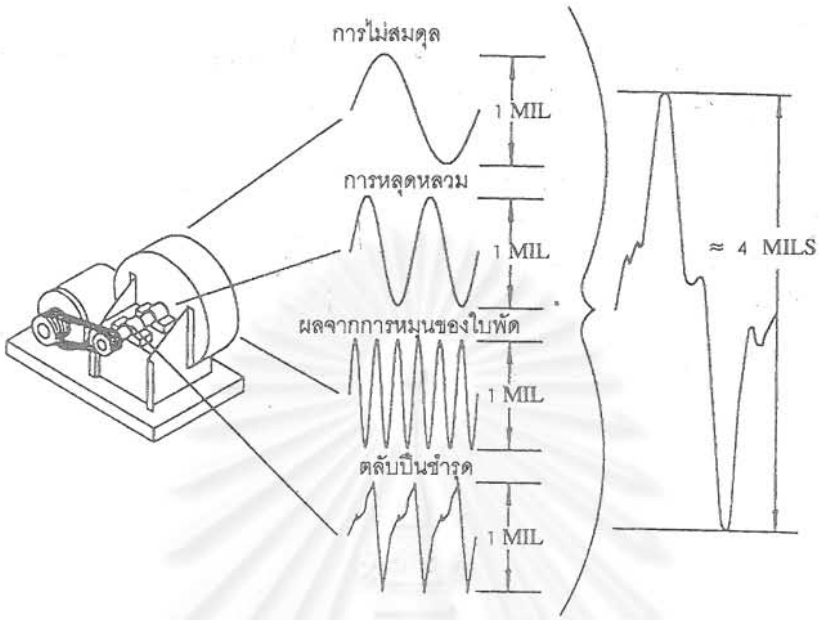
VIBRATION TREND CHART



รูปที่ 9.4 ประวัติของสัญญาณการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

9.4 การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่

จากการวัดการสั่นสะเทือนไม่ว่าจะเป็นระยะการเคลื่อนที่ ความเร็ว หรือความเร่งนั้น ขนาดโดยรวมของการสั่นสะเทือน (Overall Value of Vibration) เช่น ค่า Peak-to-Peak ค่า RMS สามารถใช้บอกสภาพของเครื่องจักรกลได้ โดยเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงหรือค่าที่วัดได้จากเครื่องจักรกลชนิด แบบ รุ่น เดียวกัน แต่อย่างไรก็ตาม ขนาดโดยรวมของการสั่นสะเทือนไม่ได้ระบุถึงสาเหตุหรือแหล่งที่มาของการสั่นสะเทือนเพราะเกี่ยวข้องเฉพาะขนาดของการสั่นสะเทือน ดังแสดงในรูปที่ 9.5 ขนาดโดยรวม Peak-to-Peak มีค่า 4 mils แต่ไม่ได้บอกว่าการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นที่ความถี่เท่าใดบ้าง นั่นคือเรามิได้ใช้ข้อมูลจากสัญญาณการสั่นสะเทือนอย่างครบถ้วน จากตัวอย่างในรูปที่ 9.5 ขนาดโดยรวม Peak-to-Peak เป็นผลรวมของการสั่นสะเทือนจากหลาย ๆ สาเหตุ ซึ่งแต่ละสาเหตุจะมีความถี่ที่เป็นคุณลักษณะเฉพาะตัว ดังนั้นการวิเคราะห์ความถี่ของสัญญาณการสั่นสะเทือนจะทำให้ทราบถึงสาเหตุที่ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนได้



รูปที่ 9.5 การรวมการสั่นสะเทือนจากหลาย ๆ สาเหตุ [5]

การแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนที่มีข้อมูลของความถี่อาจจะแสดงในลักษณะของขนาดกับเวลา (Amplitude vs Time) ซึ่งแม้ว่าจะแสดงถึงความถี่ของการสั่นสะเทือนได้บ้างในบางกรณี แต่โดยทั่ว ๆ ไปเกือบจะกระทำไม่ได้ เนื่องจากความซับซ้อนของสัญญาณ หรืออาจจะแสดงในลักษณะของสเปกตรัม (Spectrum) ซึ่งเป็นการแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนในรูปของขนาดและความถี่ เนื่องจากสาเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนแต่ละสาเหตุจะมีลักษณะของความถี่และมีทิศทางการสั่นสะเทือนเฉพาะตัว (แต่หลาย ๆ สาเหตุอาจซ้ำกันได้) ดังนั้นเมื่อทราบความถี่จากสเปกตรัมของการสั่นสะเทือนในหลาย ๆ ทิศทาง เช่น แนวดิ่ง แนวนอน และแนวแกนก็อาจจะสามารถวิเคราะห์ย้อนกลับไปหาสาเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนได้

มุมเฟสที่จะกล่าวถึงในลักษณะการสั่นสะเทือนแต่ละสาเหตุเป็นมุมเฟสที่ทำการวัดโดยใช้เครื่อง Strobe Light ที่ต่อร่วมกับเครื่องมือวัดที่วัดพร้อมกับสัญญาณการสั่นสะเทือน

ในการวิเคราะห์สาเหตุนั้น จำเป็นต้องศึกษาคุณลักษณะของสาเหตุที่ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนแต่ละสาเหตุ รายละเอียดของสาเหตุและลักษณะสัญญาณที่เกี่ยวข้องมีดังต่อไปนี้

9.4.1 การไม่สมดุล (Unbalance)

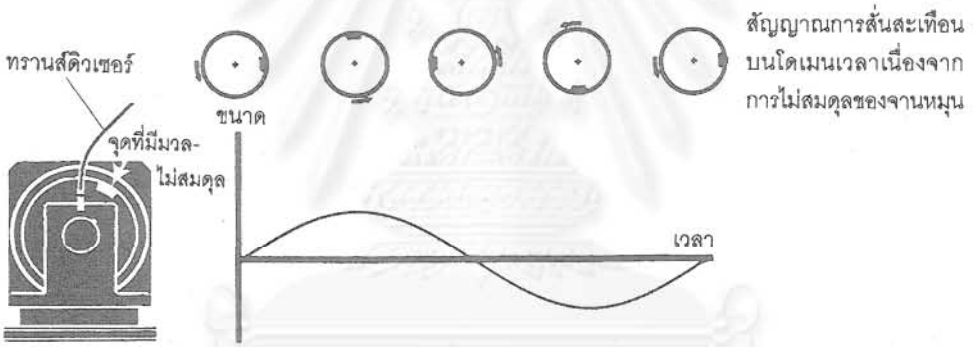
เกิดจากความไม่สม่ำเสมอของเนื้อวัสดุที่ประกอบเป็นโรเตอร์หรือชิ้นส่วนที่หมุนของเครื่องจักร ซึ่งอาจจะเป็นลักษณะของการไม่สมดุลแบบสถิต (Static Unbalance) หรือการไม่สมดุลแบบพลศาสตร์ (Dynamic Unbalance) ดังแสดงในรูปที่ 9.6 เมื่อโรเตอร์หมุนจะทำให้เกิดแรงไม่สมดุลเป็นสัดส่วนโดยตรงกับมวลที่ไม่สมดุล และเป็นสัดส่วนกับกำลังสองของความเร็วรอบในการหมุน โดยมีทิศทางของแรงกระทำในแนวรัศมีที่เปลี่ยนไปตามตำแหน่งของมวลที่ไม่สมดุล ลักษณะของการสั่นสะเทือนที่สำคัญคือ

1. ความถี่ของการสั่นสะเทือนเท่ากับ 1 × RPM ของชิ้นส่วนที่ไม่สมดุล

2. ขนาดของการสั่นสะเทือนขึ้นกับขนาดของมวลที่ไม่สมดุล และความเร็วรอบกำลังสอง
3. มุมเฟสสม่ำเสมอคงที่ เห็นจุดเดียว

(ก) การไม่สมดุลแบบสถิตเส้นกึ่งกลางมวลและเพลาขนานกัน

(ข) การไม่สมดุลแบบพลศาสตร์เส้นกึ่งกลางมวลและเพลาไม่ขนานกัน



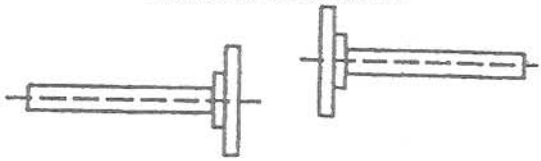
รูปที่ 9.6 ลักษณะของการไม่สมดุล [4]

9.4.2 การเยื้องแนวแกน (Misalignment)

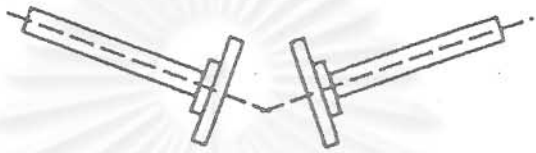
เกิดจากการตั้งศูนย์ในการติดตั้งเครื่องจักรไม่ได้แนวขนานกัน (Offset) หรือแนวแกนเอียงทำมุมกัน (Angular) หรือผลรวมของทั้งสองแบบ ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นที่ข้อต่อ (Coupling) ตลับลูกปืน กาบเพลา (Sleeve) และมู่เล่ (Pulley) ต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 9.7 และ 9.8 ซึ่งจะทำให้เกิดการโก่งงอของเพลาเมื่อมีการหมุนและมีภาระกระทำ ดังนั้นเมื่อเพลาหมุนก็จะทำให้เกิดการขึนตัวดันกันระหว่างเพลาทั้งสองหรือระหว่างเพลากับตลับลูกปืนที่รองรับ ลักษณะของการสั่นสะเทือนที่สำคัญ คือ

1. ความถี่ของการสั่นสะเทือนเท่ากับ 1 × RPM และจะมี 2 × RPM และ 3 × RPM ของชิ้นส่วนที่หมุน
2. ขนาดของการสั่นสะเทือนขึ้นกับขนาดของการเยื้องแนวแกนและมักจะมีขนาดของการสั่นสะเทือนตามแนวแกนสูงเช่นเดียวกับการสั่นสะเทือนตามแนวรัศมี
3. มุมเฟสสม่ำเสมอคงที่ จะเห็น 1, 2 หรือ 3 จุด

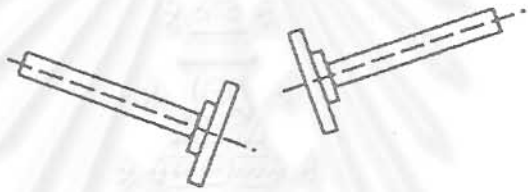
การเยื้องแนวแกนแบบไม่ขนาน



การเยื้องแนวแกนแบบเชิงมุม

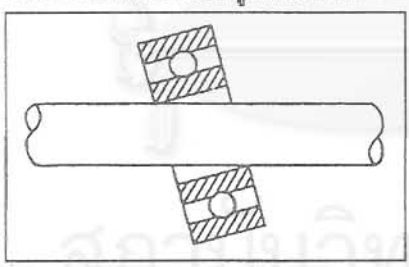


ผลรวมของการเยื้องแนวแกนแบบเชิงมุมและแบบไม่ขนาน

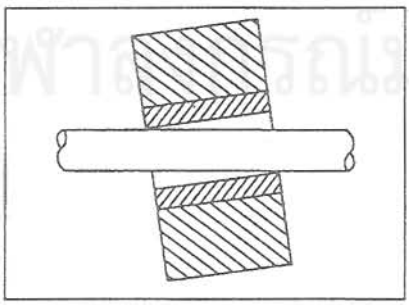


รูปที่ 9.7 ลักษณะของการเยื้องแนวแกนแบบต่าง ๆ

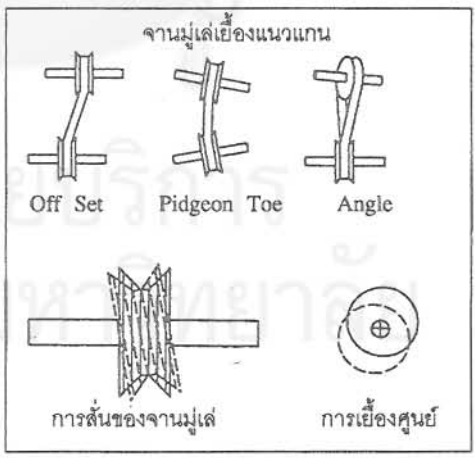
การเยื้องแนวแกนของตลับลูกปืนกับเพลา



การเยื้องแนวแกนของแบริ่งแบบปลอกกับเพลา



ตัวอย่างของการเยื้องแนวแกนของจานมู่เล่

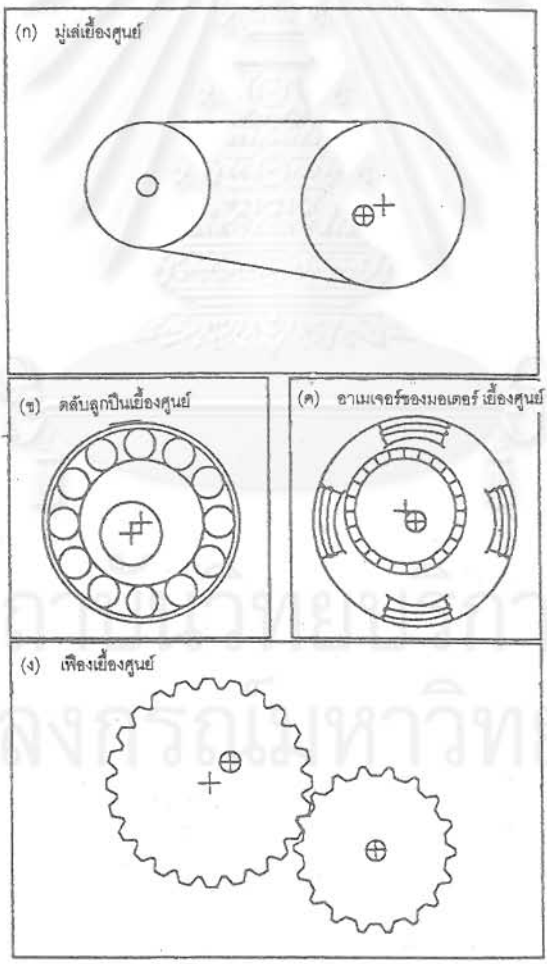


รูปที่ 9.8 ลักษณะของการเยื้องแนวแกนแบบต่าง ๆ

9.4.3 การเยื้องศูนย์ (Eccentricity)

เกิดจากการผลิตและประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักรที่มักมีตำแหน่งจุดศูนย์กลางผิดเพี้ยนไปจากที่กำหนดไว้ ทำให้ระยะห่างจากแกนหมุนไม่คงที่ คือ เส้นกึ่งกลางเพลาไม่ซ้อนกับศูนย์กลางทางเรขาคณิตของโรเตอร์ รูปที่ 9.9 แสดงลักษณะการเยื้องศูนย์หลาย ๆ แบบที่เกิดขึ้นบ่อย ๆ การเยื้องศูนย์คือสาเหตุสำคัญของการไม่สมดุล เพราะทำให้มวลด้านหนึ่งของเส้นกึ่งกลางเพลามีค่ามากกว่าอีกด้านหนึ่ง ดังนั้นลักษณะของการสั่นสะเทือนทั่ว ๆ ไปจะเหมือนกับการไม่สมดุล ตัวอย่างของข้อแตกต่าง ได้แก่ การสั่นสะเทือนจะมีค่ามากในแนวจุดศูนย์กลางของเกียร์ที่ขบกันหรือของมู่เล่ เป็นต้น ลักษณะของการสั่นสะเทือนที่สำคัญคือ

1. ความถี่ของการสั่นสะเทือนเท่ากับ 1 × RPM ของชิ้นส่วนที่หมุน
2. ขนาดของการสั่นสะเทือนมีค่าสูงในทิศทางแนวจุดศูนย์กลางของเพลาทั้งสอง
3. มุมเฟสสม่ำเสมอคงที่เห็นจุดเดียว

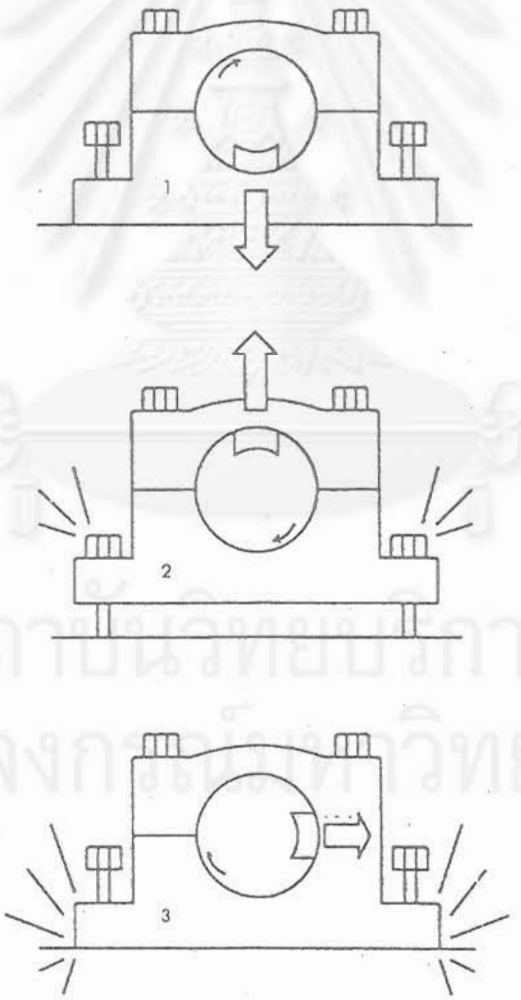


รูปที่ 9.9 ลักษณะของการเยื้องศูนย์ในชิ้นส่วนต่าง ๆ

9.4.4 การหลุดหลวม (Mechanical Looseness)

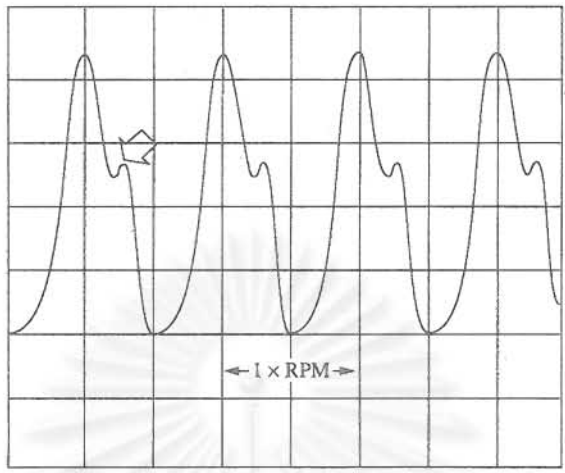
เกิดจากการยึดชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักรไม่แน่นพอ หรือมีการคลายตัวของสกรูเมื่อใช้งานไประยะหนึ่ง หรือเกิดจากช่องว่างในตลับลูกปืนกว้างเกินไป หรือเกิดจากการแตกร้าวของโครงสร้างเมื่อมีการสั่นสะเทือนจากสาเหตุอื่น ๆ มากระตุ้น ก็จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่มีขนาดโตขึ้น เนื่องจากความแข็งแกร่งของการยึดเกาะลดน้อยลง การขยับตัวมักจะเคลื่อนไปกระแทกตัวกั้นด้านหนึ่งแล้วขยับกลับมากระแทกด้านตรงข้าม ดังแสดงในรูปที่ 9.10 และ 9.11 ลักษณะของการสั่นสะเทือนที่สำคัญ คือ

1. ความถี่ของการสั่นสะเทือนเท่ากับ 1×, 2×, 3×, 4×, 5×,-----× RPM และมักจะมีขนาดการสั่นสะเทือนสูงที่ความถี่เท่ากับ 2 × RPM ของชิ้นส่วนที่หมุน
2. ขนาดของการสั่นสะเทือนมีค่าไม่สม่ำเสมอ
3. มุมเฟสค่อนข้างคงที่ เห็น 2 จุด



รูปที่ 9.10 การหลุดหลวมของสลักเกลียวบนฐานตลับลูกปืน

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 9.11 ลักษณะการสั่นสะเทือนเนื่องจากการหลุดหลวม [5]

9.4.5 การขับด้วยสายพาน (Belt Drives)

เกิดจากการสะบัดตัวของสายพานส่งกำลังโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเครื่องจักรที่จำต้องมีการสั่นสะเทือนคงไว้ที่ระดับหนึ่ง ซึ่งการสะบัดของสายพานอาจเกิดจากแรงรบกวนจากภายนอกหรือเกิดจากสายพานเอง ในการวิเคราะห์สาเหตุจำเป็นต้องใช้ความถี่ที่สายพานสั่นเป็นเครื่องบ่งชี้ เพราะถ้าสายพานสั่นเนื่องจากถูกแรงกระตุ้นจากภายนอก ความถี่ของการสั่นสะเทือนจะเหมือนกับความถี่ของการกระตุ้น ถ้าสายพานสั่นเนื่องจากตัวสายพานเอง ความถี่ของการสั่นสะเทือนจะมีค่า 1, 2, 3 หรือ 4 เท่าของความเร็วรอบของสายพาน (Belt RPM) โดยที่ความเร็วรอบของสายพานสามารถเขียนได้เป็น

$$\text{Belt RPM} = \frac{3.14 \times \text{pulley dia.} \times \text{pulley RPM}}{\text{Belt Length}}$$

ถ้าสายพานลื่นอันเนื่องมาจากการตั้งแรงตึงไม่เหมาะสม การเยื้องแนวแกนที่มีภาระมากเกินไปก็อาจทำให้เกิดการสั่นสะเทือนและเสียงดังได้ และจะทำให้มีขนาดของการสั่นสะเทือนไม่คงที่ ลักษณะของการสั่นสะเทือนที่สำคัญคือ

1. ความถี่ของการสั่นสะเทือนเท่ากับ 1×, 2×, 3× และ 4× RPM ของความเร็วรอบของสายพาน
2. ขนาดของการสั่นสะเทือนไม่แน่นอนและอาจจะเป็นการกระตุก
3. มุมเฟสไม่คงที่ จะเห็น 1 หรือ 2 จุด

9.4.6 ข้อบกพร่องทางไฟฟ้า (Electrical Faults)

การสั่นสะเทือนจากสาเหตุข้อบกพร่องทางไฟฟ้ามักสืบเนื่องมาจากภาระที่กระทำต่อมอเตอร์ ทำให้เกิดการกระตุก (Slip) ของมอเตอร์กระแสสลับซึ่งมีความถี่น้อยกว่า 1 × RPM เล็กน้อยก็อาจทำให้เกิดการ

เข้าจังหวะ (Beat) กับความถี่ของการหมุนได้ นอกจากนี้ยังมีพัลส์ของโมเมนต์บิด (Torque Pulse) ที่มีความถี่เป็น 2 เท่าของความถี่กระแสไฟฟ้าสลับเกิดขึ้นเสมอ ลักษณะของการสั่นสะเทือนที่สำคัญคือ

1. ความถี่ของการสั่นสะเทือนเท่ากับ 1 × RPM หรือ 1×, 2× ความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับ (A.C. Line Frequency)
2. การสั่นสะเทือนที่ความถี่ในข้อที่ 1 หายไปเมื่อปิดเครื่อง (ตัดกระแสไฟฟ้า)
3. มุมเฟสเห็นจุดเดียวหรือเห็นสองจุดหมุน

9.4.7 แรงกระทำจากอากาศและของเหลว (Aerodynamic and Hydraulic Forces)

การสั่นสะเทือนเกิดจากแรงกระทำของลม น้ำ หรือน้ำมัน ที่ไหลผ่านด้วยความเร็วไปกระทบใบพัด หรือใบครีบ มักจะพบมากในเครื่องสูบ คอมเพรสเซอร์ พัดลม เป็นต้น และจะเกี่ยวข้องกับความเร็วรอบและจำนวนของครีบบนใบพัด นอกจากนี้ในเครื่องสูบอาจเกิดปรากฏการณ์คาวิเตชัน (Cavitation) และการไหลวนของน้ำได้ ซึ่งมักจะมีเสียงดังตามมาด้วย ลักษณะของการสั่นสะเทือนที่สำคัญ คือ

1. ความถี่ของการสั่นสะเทือนเท่ากับ 1 × RPM หรือจำนวนครีบบนใบพัด × RPM (Blade Passing Frequency) สำหรับปัญหาที่เกิดจากตัวเครื่องสูบ คอมเพรสเซอร์ พัดลม ฯลฯ และความถี่ของการสั่นสะเทือนอาจจะมีค่าทั้งต่ำและสูงแล้วแต่เงื่อนไขสำหรับกรณีของการไหลปั่นป่วน (Flow Turbulence) และความถี่ของการสั่นสะเทือนจะสูงสำหรับกรณีของปรากฏการณ์คาวิเตชัน (Cavitation)
2. ขนาดของการสั่นสะเทือนอาจมีค่าสูงตามแนวแกนสำหรับปัญหาที่เกิดจากตัวเครื่องสูบ คอมเพรสเซอร์ พัดลม ฯลฯ และจะเกิดเป็นสัญญาณลักษณะสุ่ม (Random) ในกรณีของการไหลปั่นป่วน (Flow Turbulence) และจะเกิดสัญญาณเป็นลักษณะสุ่มแบบแถบกว้าง (Broad Band Random Signal) ที่ความถี่สูงสำหรับกรณีของปรากฏการณ์คาวิเตชัน (Cavitation)
3. มุมเฟสเห็นหลาย ๆ จุด

9.4.8 การเคลื่อนที่ชักกลับไปมา (Reciprocating Action)

เกิดจากการเคลื่อนที่ชักกลับไปมาของชิ้นส่วนของเครื่องจักร เช่น ลูกสูบของเครื่องสูบ คอมเพรสเซอร์ เครื่องยนต์ การสั่นสะเทือนมีความซับซ้อนเพราะการเคลื่อนที่เกิดขึ้นเป็นจังหวะกลับไปกลับมา และชิ้นส่วนต่าง ๆ มีช่องว่าง ทำให้เกิดการกระทบกัน ลักษณะของการสั่นสะเทือนที่สำคัญ คือ

1. ความถี่ของการสั่นสะเทือนเท่ากับ 1×, 2× RPM และค่าจำนวนเท่าที่สูงขึ้นไปของ RPM
2. ขนาดของการสั่นสะเทือนมีค่าสูงในทิศทางของการชักกลับไปกลับมา
3. มุมเฟสเห็นหลายจุด

9.4.9 การขบกันของเฟือง (Gear Meshing)

เกิดจากการกระทบกันของซี่ฟันเฟืองทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการสึกหรอทำให้เกิดช่องว่างที่ไม่สม่ำเสมอหรือการหล่อลื่อไม่เพียงพอหรือมีสิ่งแปลกปลอมติดค้างระหว่างซี่ฟันเฟือง ซึ่งความถี่ที่เกิดขึ้นจะเป็นความถี่

สูงขึ้นกับจำนวนของซี่ฟันเฟืองและ RPM ของเฟืองที่ผิดปกติ (Gear Meshing Frequency) นอกจากนี้แรงกระตุ้นจากสาเหตุอื่น ๆ ก็สามารถทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ของการขบกันได้ หรืออาจทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ต่ำกว่าความถี่ของการขบกันได้ การสั่นของเฟืองอาจจะไม่สม่ำเสมอถ้ามีภาระน้อย ๆ การขยับกระแทกไปมาของเฟืองก็อาจก่อให้เกิดเรโซแนนซ์ได้ ลักษณะของการสั่นสะเทือนที่สำคัญ คือ

1. ความถี่ของการสั่นสะเทือนของการสั่นสะเทือนเท่ากับความถี่ของการขบกันของฟันเฟือง (จำนวนซี่ฟัน × RPM)
2. ขนาดของการสั่นสะเทือนไม่สูงควรวัดด้วยความเร็ว ความเร่งหรือพลังงาน*
3. มุมเฟสไม่สม่ำเสมอมีหลายจุด

9.4.10 เรโซแนนซ์ (Resonance)

เกิดจากการที่เครื่องจักรถูกกระตุ้นที่ความถี่ธรรมชาติที่ส่วนใดส่วนหนึ่งของโครงสร้างหรือโดยรวม ทั้งนี้เพราะโครงสร้างทุกประเภทสามารถประมาณและจำลองได้ด้วยรูปแบบของมวลกับสปริงเสมอ เมื่อแรงภายนอกมากระตุ้นที่ความถี่ธรรมชาติก็จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่เสริมกันทำให้ขนาดสูงขึ้น ความถี่ธรรมชาติของเครื่องจักรอาจจะหาได้จากการกระแทกเครื่องจักรให้สั่นอย่างอิสระแล้ววัดความถี่ ถ้าการทำงานของเครื่องจักรมีรอบตรงกับความถี่ธรรมชาติก็คงจำเป็นต้องดัดแปลงความถี่ธรรมชาติด้วยการเสริมหรือลดความแข็งแกร่งของโครงสร้าง เพื่อขยับความถี่ธรรมชาติให้พ้นไปจากการกระตุ้น ลักษณะของการสั่นสะเทือนที่สำคัญ คือ

1. ความถี่ของการสั่นสะเทือนคงที่ไม่จำเป็นต้องสัมพันธ์กับความเร็วรอบ
2. ขนาดของการสั่นสะเทือนมีค่าสูงมาก แต่จะลดลงทันทีเมื่อความเร็วรอบเปลี่ยน
3. มุมเฟสไม่สม่ำเสมอเปลี่ยนไปเมื่อความเร็วรอบเปลี่ยน

9.4.11 ข้อบกพร่องของแบริ่งฟิล์มน้ำมัน (Faulty Journal Bearing)

มักเกิดจากช่องว่างระหว่างเพลากับแบริ่งมีค่ามากเกินไป อาจเกิดจากการสึกหรอหรือการกัดกร่อน หรือเกิดจากปัญหาของการหล่อลื่น ถ้าแบริ่งมีช่องว่างมากเกินไปการสั่นสะเทือนจะเกิดจากแรงกระทำภายนอกมากระตุ้น ส่วนปัญหาการหล่อลื่นที่พบก็คือการแกว่งเนื่องจากน้ำมัน (Oil Whirl) การแกว่งฮิสเตอรีซิส (Hysteresis Frictional) เกิดที่ความถี่วิกฤตที่หนึ่ง (First Critical Speed) การสีกันเนื่องจากขาดน้ำมันหล่อลื่น (Dry Whip) ซึ่งมักจะมีเสียงดัง ลักษณะการสั่นสะเทือนที่สำคัญคือ

1. ความถี่ของการสั่นสะเทือนของ Oil Whirl มีค่าประมาณ 0.43 - 0.48 × RPM
2. ขนาดของการสั่นสะเทือนไม่สม่ำเสมอ
3. มุมเฟสไม่คงที่หมุนเปลี่ยนไป

---

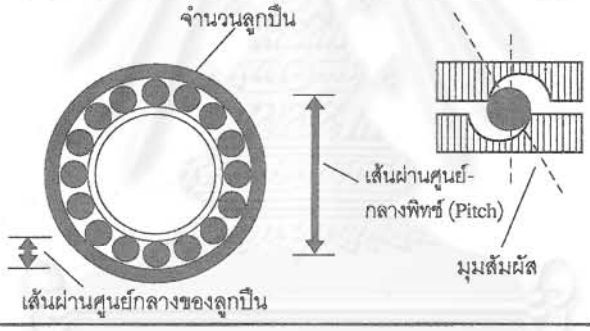
* พลังงาน (Energy) เป็นค่าพลังงานของการสั่นสะเทือน (พื้นที่ใต้สเปกตรัมของการสั่นสะเทือนซึ่งได้กรองความถี่ต่ำกว่า 5,000 เฮิรตซ์ (Hz) ออกไป)

9.4.12 ข้อบกพร่องของตลับลูกปืนแบบชิ้นส่วนกลิ้ง (Faulty Rolling Elements Bearing)

มักเกิดจากความเสียหายของพื้นผิวของรางลูกปืนทั้งด้านนอกและด้านใน ตลอดจนเม็ดลูกปืน ทำให้เกิดการถูเสียดสีกระแทกกันระหว่างลูกปืนกับรางลูกปืน การสั่นสะเทือนมักเกิดที่ความถี่สูงกว่าความเร็วรอบของเพลา โดยที่ความถี่ของการสั่นสะเทือนจะขึ้นอยู่กับว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นบนตลับลูกปืนเกิดจากชิ้นส่วนไหนของตลับลูกปืนที่เป็นตัวชำรุด ทั้งนี้ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับตลับลูกปืนจะมีสาเหตุมากมาย เช่น ภาระมากเกินไป การเยื้องแนวแกน การติดตั้งไม่ดี เป็นต้น

รูปที่ 9.12 จะสรุปสมการความถี่ของการสั่นสะเทือนที่อาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากชิ้นส่วนต่าง ๆ ของตลับลูกปืน ลักษณะของการสั่นสะเทือนที่สำคัญคือ

1. ความถี่ของการสั่นสะเทือนไม่จำเป็นต้องสัมพันธ์เป็นจำนวนเท่าลงตัวของความเร็วรอบ RPM มักมีค่าเป็นตัวเลขไม่ลงตัวของ RPM
2. ขนาดไม่สม่ำเสมอ ควรจะตรวจวัดด้วยความเร็ว ความเร่งและพลังงาน
3. มุมเฟสไม่สม่ำเสมอเห็นหลายจุด



คุณลักษณะความถี่ของตลับลูกปืน

ความเสียหายของรางนอก (ความถี่ของลูกปืนรางนอก)
$$= \frac{(n)}{2}\frac{(RPM)}{60}\left(1 - \frac{B_d}{P_d}\cos\phi\right) \quad (1)$$

ความเสียหายของรางใน (ความถี่ของลูกปืนรางใน)
$$= \frac{(n)}{2}\frac{(RPM)}{60}\left(1 + \frac{B_d}{P_d}\cos\phi\right) \quad (2)$$

ลูกปืนเสียหาย (ความถี่ของเม็ดลูกปืน)
$$= \frac{(P_d)}{B_d}\frac{(RPM)}{60}\left(1 - \frac{B_d^2}{P_d}\cos^2\phi\right) \quad (3)$$

ความถี่ชุดพื้นฐาน
$$= \frac{1}{2}\frac{RPM}{60}\left(1 - \frac{B_d}{P_d}\cos\phi\right) \quad (4)$$

P_d = เส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ ; n = จำนวนลูกปืน
B_d = เส้นผ่านศูนย์กลางลูกปืน ; ϕ = มุมสัมผัส

รูปที่ 9.12 ความถี่ของการสั่นสะเทือนจากข้อบกพร่องของตลับลูกปืน [4]

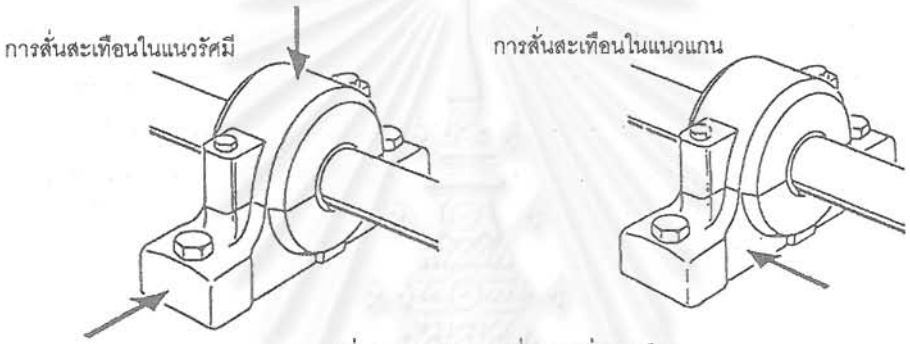
คุณลักษณะของการสั่นสะเทือนจากสาเหตุต่าง ๆ จะสามารถสรุปได้ดังปรากฏในตารางที่ 9.1 เพื่อใช้อ้างอิงในการวิเคราะห์

ตารางที่ 9.1 คุณลักษณะการสั่นสะเทือนจากสาเหตุต่าง ๆ [5]

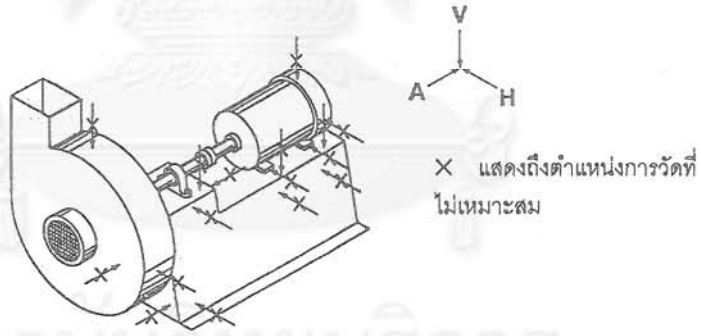
สาเหตุ	ขนาด	ความถี่	เฟส	ข้อสังเกต
การไม่สมดุล	สัดส่วนกับปริมาณการไม่สมดุลมีค่าสูงสุดในทิศตามแนวรัศมี (แนวดิ่งและแนวนอน)	1 × RPM	เป็นจุดเดียว	ต้นเหตุที่พบบ่อยของการสั่นสะเทือน
การเยื้องแกนและเพลางอ	ขนาดใหญ่ในทิศทางตามแนวแกน มีการสั่นสะเทือนตามแนวรัศมีขนาด 50% หรือมากกว่า	โดยทั่วไป 1 × RPM และมี 2,3 × RPM ในบางครั้ง	เป็นจุดเดียว สองจุด สามจุด	มักจะมีการสั่นสะเทือนขนาดใหญ่ในทิศตามแนวแกน
แบริ่งชำรุด	ขนาดไม่สม่ำเสมอให้ใช้การวัดด้วยความเร็วความเร่ง	สูงมากเป็นหลายเท่าของ RPM มักไม่เป็นเลขลงตัว	เป็นลักษณะยุ่งเหยิงเห็นหลายจุด	แบริ่งที่เสียมักเป็นตัวที่อยู่ใกล้กับจุดที่มีขนาดการสั่นสะเทือนสูงสุด
เยื้องศูนย์	ขนาดมักไม่ใหญ่	1 × RPM	จุดเดียว	ถ้าเป็นการเยื้องศูนย์ของมอเตอร์หรือเจนเนอเรเตอร์ สัญญาณการสั่นสะเทือนจะหายไปเมื่อหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้า
เฟืองชำรุด	ขนาดต่ำ ใช้การวัดด้วยความเร็ว ความเร่ง	สูงมากเท่ากับจำนวนฟันคูณ RPM	เป็นลักษณะยุ่งเหยิงเห็นหลายจุด	วิเคราะห์ความถี่สูงและความถี่แถบด้านข้าง (Side Band)
การหลุดหลวมเชิงกล	บางทียุ่งเหยิง	2 × RPM และอาจเป็น 1,2,3, & 4 × RPM	เป็นลักษณะสองจุดยุ่งเหยิงเล็กน้อย	มักเกิดพร้อมกับการไม่สมดุล และ/หรือการเยื้องแกน
สายพานขับชำรุด	ยุ่งเหยิง	1,2,3, & 4 × RPM ของสายพาน	จุดเดียวหรือสองจุดขึ้นกับความถี่	ใช้ Strobe Light ในการจัดภาพให้นิ่งเพื่อดูสาเหตุ
ไฟฟ้า	จะหายไปเมื่อตัดกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้า	1 × RPM หรือ 1, 2 × ความถี่ของกระแสไฟฟ้าสลับ	จุดเดียวหรือสองจุด	ถ้าขนาดของสัญญาณการสั่นสะเทือนหายไปทันทีเมื่อตัดกระแสไฟฟ้าออก ปัญหาจะมาจากปัญหาทางไฟฟ้า
แรงอากาศพลศาสตร์หรือแรงจากของเหลว	อาจมีขนาดใหญ่ในทิศตามแนวแกน	1 × RPM หรือจำนวนใบ × RPM	หลายจุด	มักไม่มีปัญหายกเว้นในกรณีเกิดเรโซแนนซ์
แรงกลับไปกลับมา (Reciprocating Force)		1,2 หรือสูงกว่า × RPM	หลายจุด	มักเกิดขึ้นตามลักษณะของเครื่องจักร การแก้ไขมักต้องทำการเปลี่ยนการออกแบบหรือใช้การแยก (Isolation) การสั่นสะเทือนออก

9.5 ตำแหน่งการวัดสัญญาณการสั่นสะเทือน

เพื่อให้การวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรประสบผลที่เหมาะสม ตำแหน่งที่ทำการวัดการสั่นสะเทือนมักจะเป็นการวัดที่โครงตลับลูกปืน เพราะตลับลูกปืนมักเป็นชิ้นส่วนที่เสียหายก่อนชิ้นส่วนอื่น ๆ เพราะมีการเคลื่อนที่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบซึ่งกันและกัน นอกจากนี้ก็ได้แก่ ฐาน เพื่อวัดการสั่นสะเทือนที่ส่งผ่านมาจากเครื่องจักรอื่น โดยทั่ว ๆ ไปมักทำการวัดทั้งสามทิศทาง คือ แนวดิ่ง แนวนอนตามแนวรัศมีของตลับลูกปืน และตามแนวแกน เพื่อให้ได้ทราบลักษณะทั้งหมดของการสั่นสะเทือน จึงจะสามารถวิเคราะห์หาสาเหตุที่ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนได้ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 9.13 และในรูปที่ 9.14 จะแสดงถึงตำแหน่งในการวัดที่เหมาะสมและไม่เหมาะสมสำหรับชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักร



รูปที่ 9.13 ตำแหน่งที่วัดการสั่นสะเทือน



รูปที่ 9.14 ตำแหน่งในการวัดที่เหมาะสมและที่ไม่เหมาะสม

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

1. Berry, J.E. **"Predictive Maintenance and Vibration Signature Anasysis II."** Technical Associates of Charlotte, Inc., First Edition, 1994.
2. Kelly, Anthony **"Maintenance Planning and Control."** Butterworths, 1989.
3. Thomson, William T. **"Theory of Vibration with Applications."** Prentice Hall, Inc. 2nd Edition, 1981
4. **"Dynamic Signal Analyzer Applications ; Effective Machinery Maintenance Using Vibration Analysis."** Hewlett Packard Co., Application Note 243 - 1, October 1983.
5. **"IRD Mechanalysis :- Vibration Technology - 1."** IRD Mechanalysis, Inc., 1988.
6. **"Mechanical Vibration and Shock Measurements"** Brüel & Kjaer, April 1984.
7. **"Piezoelectric Accelerometers and Vibration Preamplifiers."** Theory and Application Handbook. Brüel & Kjaer, November 1987.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

ก่อเกียรติ บุญชูกุศล

การศึกษา

2520 Dr. Ing. ENSMA POITIERS ประเทศฝรั่งเศส

2515 วศ.บ. วิศวกรรมเครื่องกล, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตำแหน่งทางวิชาการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์

สถานที่ทำงาน

ฝ่ายวางแผนและพัฒนา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประสบการณ์

- อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์-มหาวิทยาลัย
- ฝึกอบรมในหลักสูตร Condition-Based Maintenance Management ณ UMIST ประเทศอังกฤษ
- อบรมในหลักสูตร NDE ณ NDE Institute ประเทศแคนาดา
- อบรมและฝึกงานด้าน Vibration Analysis และ Non-Destructive Testing ที่โรงงาน DOFASCO ประเทศแคนาดา (2536)
- อบรมในหลักสูตร ISO 9000 : Lead Assessor

ความชำนาญ

- การออกแบบเครื่องจักรกล
- การวิเคราะห์ความเสียหายของเครื่องจักรกล (Failure Analysis)
- การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกล (Vibration Analysis)
- การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย
- การจัดระบบการบำรุงรักษา
- การจัดการระบบคุณภาพ ISO 9000 และ QS 9000

ผลงานทางวิชาการ

- กลศาสตร์วิศวกรรม ภาคสถิตย์ศาสตร์ ; บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด
- การทดสอบแบบไม่ทำลาย ; สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

ประวัติผู้เขียน

สมศักดิ์ ไชยะภินันท์

การศึกษา

2527 Ph.D. Mechanical Engineering, Oregon State University

2522 M.S. Mechanical Engineering, Oregon State University

2519 วศ.บ. วิศวกรรมเครื่องกล, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตำแหน่งทางวิชาการ

รองศาสตราจารย์

สถานที่ทำงาน

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประสบการณ์

- อาจารย์ประจำภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- อบรมในหลักสูตร Condition Based Maintenance ณ สถาบัน Wolfson Maintenance Center มหาวิทยาลัย Manchester ประเทศอังกฤษ
- อบรมในหลักสูตร Vibration Diagnosis and Analysis ณ Technical Associates of Charlotte ประเทศสหรัฐอเมริกา

ความชำนาญ

- การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน
- การออกแบบระบบปรับอากาศและระบายอากาศ และการใช้พลังงานในอาคาร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ

การศึกษา

2525 Ph.D. Mechanical Engineering, University of Wisconsin-Madison

2522 M.S. Mechanical Engineering, University of Wisconsin-Madison

2519 วศ.บ. วิศวกรรมเครื่องกล, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตำแหน่งทางวิชาการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์

สถานที่ทำงาน

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประสบการณ์

- อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์-มหาวิทยาลัย (ปีพ.ศ. 2526 - ปัจจุบัน)
- อบรมและฝึกงานด้าน Vibration Analysis และ Non-destructive Testing ณ ประเทศแคนาดา (ปีพ.ศ. 2536 และ 2532)
- NDT Certification -CGSB Level 2 : RT, UT, ET, MT, PT (ปีพ.ศ. 2536)

ความชำนาญ

- การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การสั่นสะเทือนเป็นเสมือนหนึ่งสัญญาณชีพของเครื่องจักรที่กำลังทำงาน การเฝ้าตรวจการสั่นสะเทือนจึงเป็นการตรวจสภาพของเครื่องจักร โดยนำเอาสัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดได้ทั้งในรูปแบบกราฟโดเมนเวลา และกราฟโดเมนความถี่มาวิเคราะห์หาสภาพและ/หรือข้อบกพร่องของเครื่องจักร

ความเข้าใจในเครื่องมือวัดและคุณลักษณะของสัญญาณการสั่นสะเทือนที่เกิดจากข้อบกพร่องเฉพาะของเครื่องจักรจะช่วยให้การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรเป็นไปได้อย่างแม่นยำและช่วยให้การกระทำการบำรุงรักษาแบบตามสภาพเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

ISBN 974-8324-95-8

9 789748 324951

ราคา 120 บาท