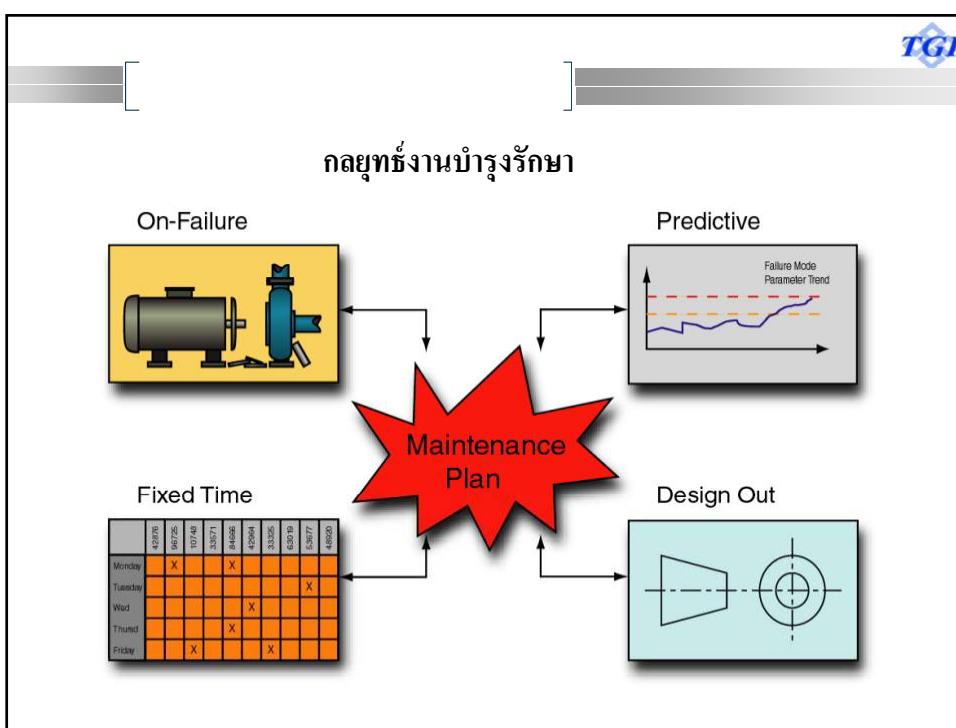


Only for Education Purpose





Breakdown Maintenance

- **Advantages:**

- No costs that would be related to condition monitoring and preventive maintenance
- Machines may not over-maintained

- **Disadvantages:**

- **Unanticipated downtime**
- **Secondary damage** and catastrophic failure
- Loss of production
- **High repair costs**
- **Lack of control**

3

Only for Education Purpose



Preventive Maintenance

- **Advantages:**

- Reduces failures.
- Maintenance is performed at convenient time in a controlled manner.
- There is greater control over parts storage and costs.

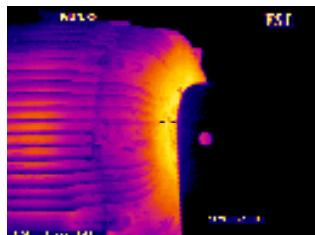
- **Disadvantages:**

- Machines are frequently “repaired”.
- **Repair actions too often** cause failures.
- There are **still “unscheduled” breakdowns**.
- High maintenance cost.

4

Condition Based Maintenance

We know that a rotating machine will usually give warning sign before failing.

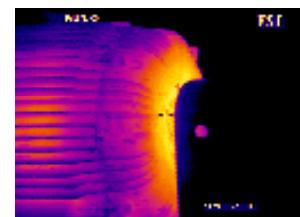
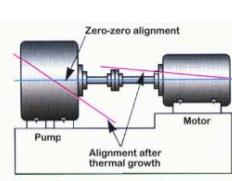


5

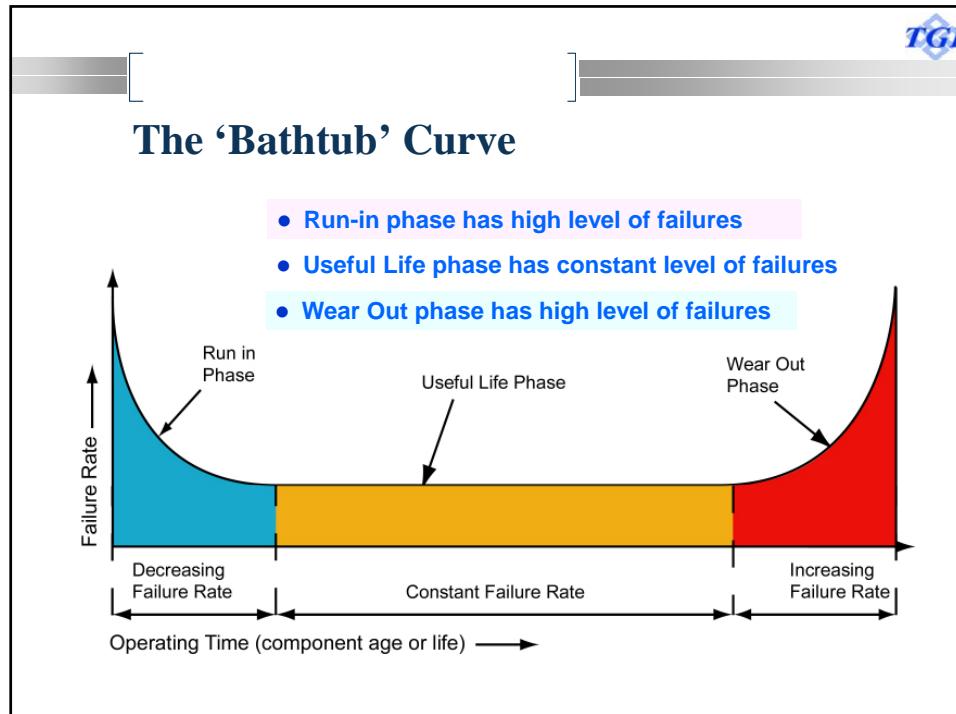
Only for Education Purpose

Condition Based Maintenance

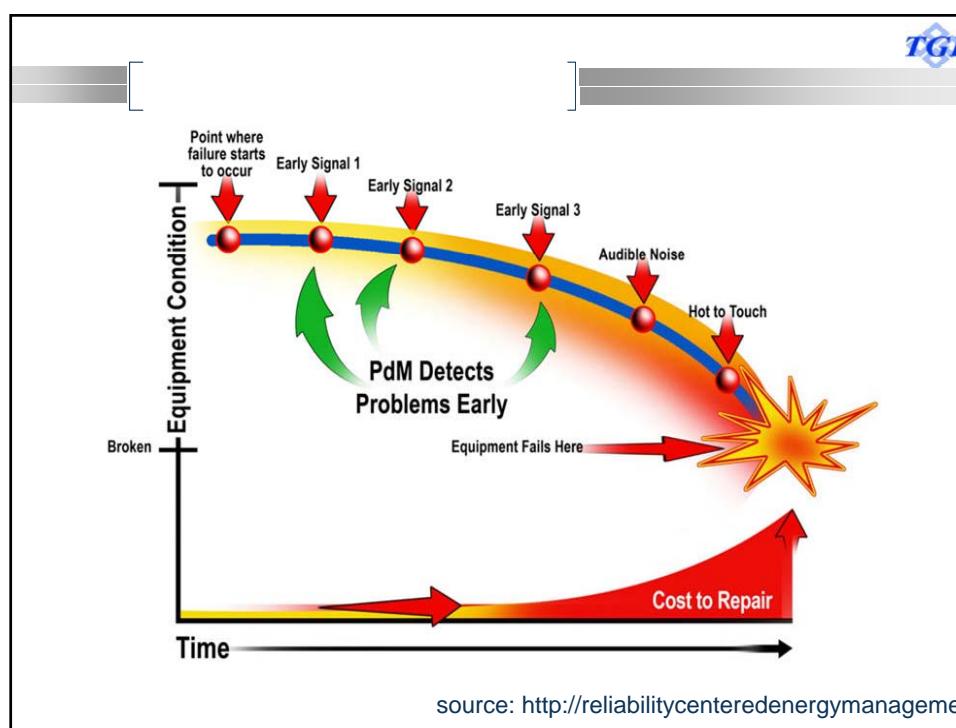
The art of condition based maintenance is to monitored the machine with the **appropriate technologies, frequently enough to detect the anticipated failure modes.**



6



Only for Education Purpose





Only for Education Purpose

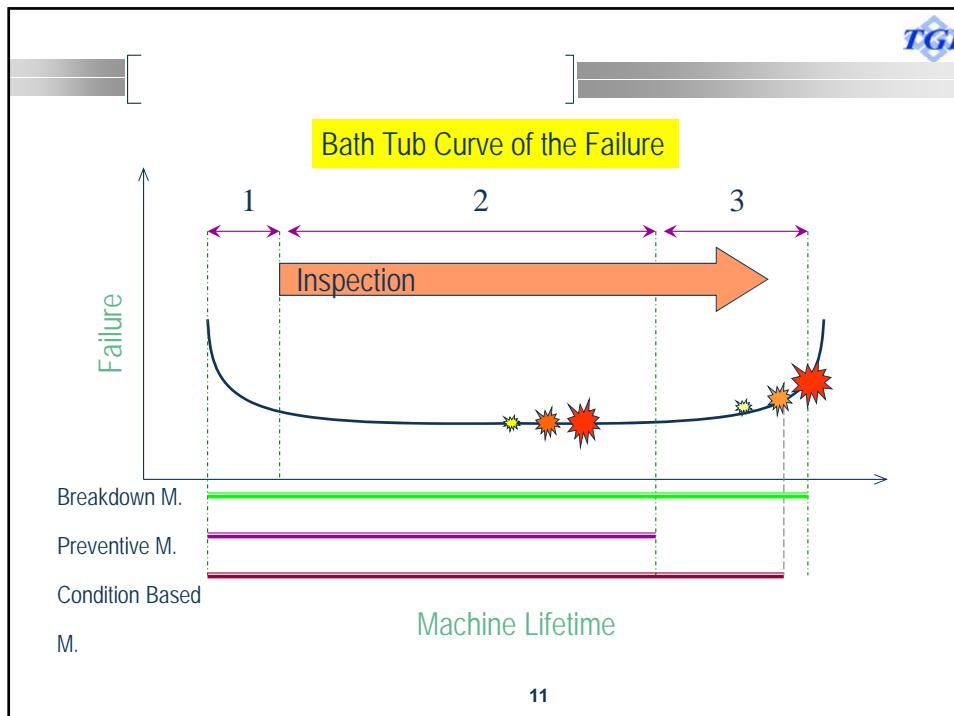
Condition Based Maintenance

- Advantages:

- **Unexpected downtime** is reduced.
- **Parts** are only ordered and used when needed.
- **Maintenance** is only performed when convenient.

- Disadvantages:

- Cost of instruments, systems, services and personnel.
- Does not ensure that machine life is extended.



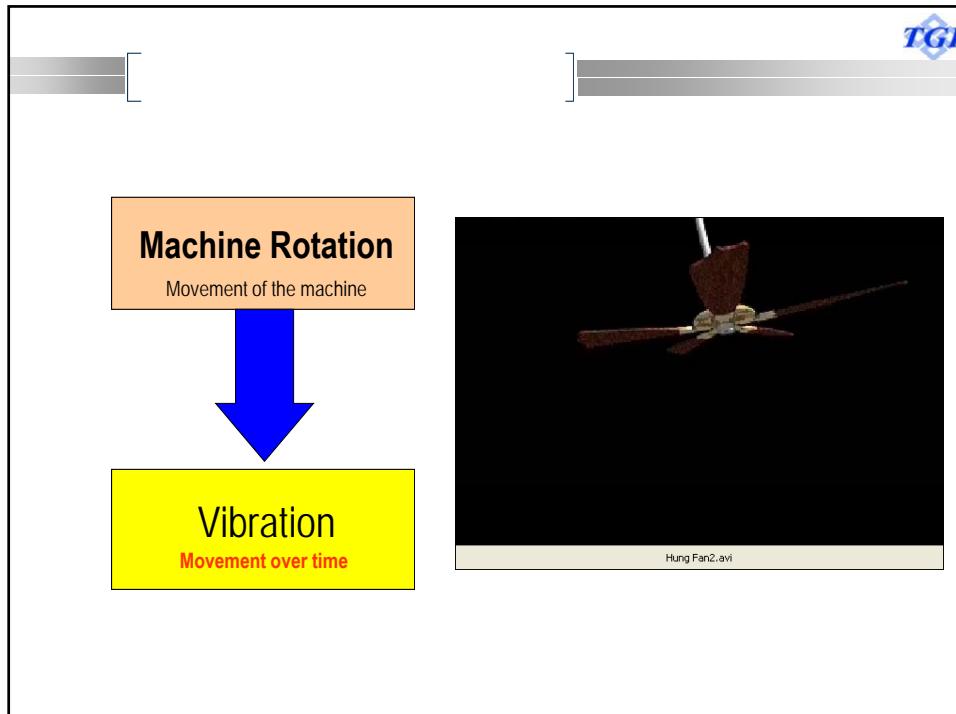
11

Only for Education Purpose

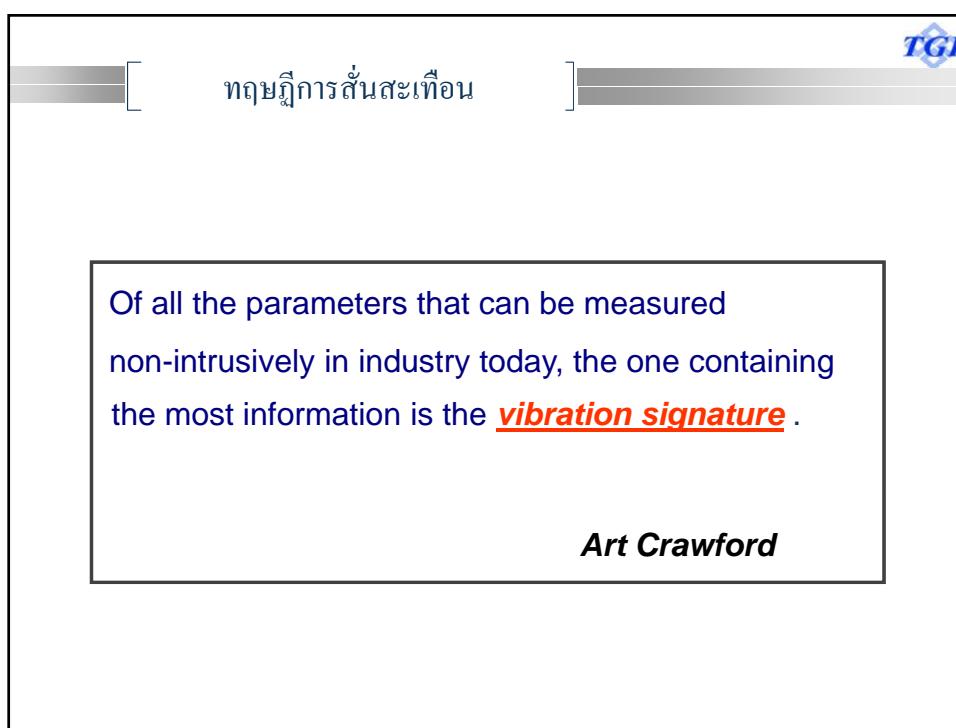
Design Out Maintenance

- **Advantages:**
 - **Equipment life is extended.**
 - **Equipment reliability is improved.**
 - **Fewer failures and thus secondary damage.**
 - **Reduced downtime.**
 - **Reduce overall maintenance costs.**
- **Disadvantages:**
 - **Cost of instruments, systems, services, and personnel.**
 - **Additional skill required.**
 - **Additional time invested up front.**

12



Only for Education Purpose



[TGI]

การวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือน

การวัดค่าการสั่นสะเทือนนั้น สามารถนำผลมาใช้ได้ 3 เทคนิค คือ

1. Certificated : การนำค่าการสั่นสะเทือน มาช่วยในการ ตัดสินใจในการ ประเมิน หลังจากการติดตั้งเครื่องจักร หรือ หลังจากการปรับ / ซ่อมเครื่องจักร

R.M.S Vibration Velocity RMS	Class I	Class II	Class III	Class IV
0.28	A			
0.45	A			
0.71		A		
1.12	B		A	
1.8		B		
2.8	C		B	
4.5		C	B	
7.1	D		C	
11.2		D	C	
18	D			C
28		D		D
45				D

For Education Only... www.tgipmt.com
Copy Right by Plant maintenance Technology Division

Only for Education Purpose

[TGI]

การวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือน

ประโยชน์และการนำไปใช้ประโยชน์

การวัดค่าการสั่นสะเทือนนั้น สามารถนำผลมาใช้ได้ 3 เทคนิค คือ

2. Potential Fault: “Predictive Maintenance”

Predictive

For Education Only... www.tgipmt.com
Copy Right by Plant maintenance Technology Division

TGI

[การวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือน]

ประโยชน์และการนำไปใช้ประโยชน์

การวัดค่าการสั่นสะเทือนนั้น สามารถนำผลมาใช้ได้ 3 เทคนิค คือ

3. Diagnostics Fault :




For Education Only... www.tgipmt.com
Copy Right by Plant maintenance Technology Division

Only for Education Purpose

TGI

ทฤษฎีการสั่นสะเทือน

Components of a Mechanical System

- Mass**

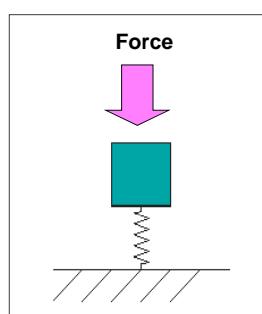
Defined as “A body’s resistance to acceleration”

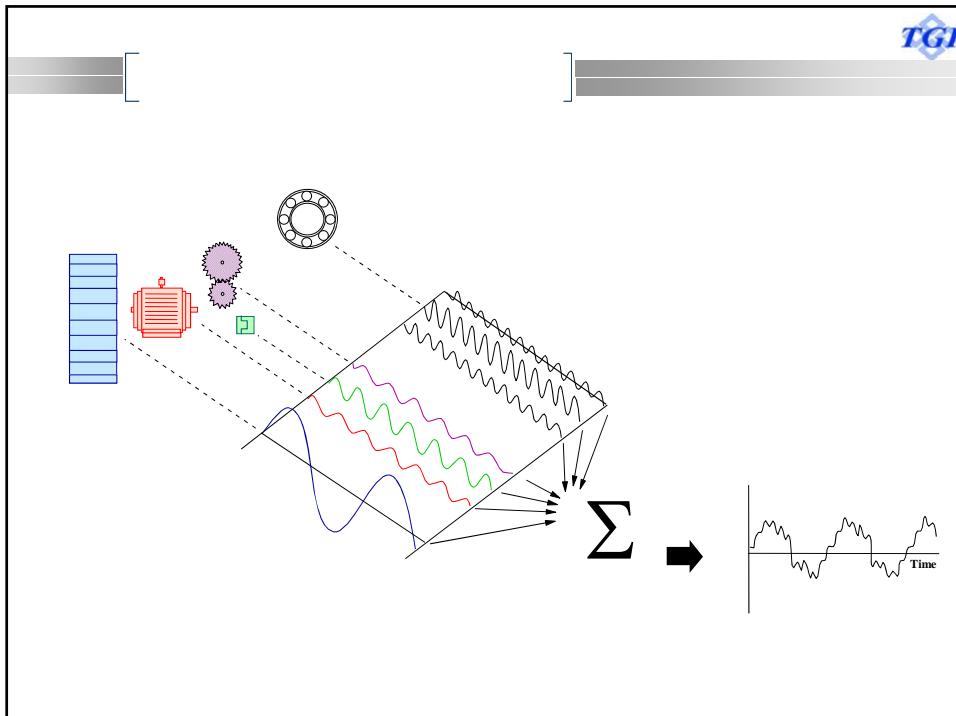
- Spring**

Defined as “Any part of system that supports mass and against a force”

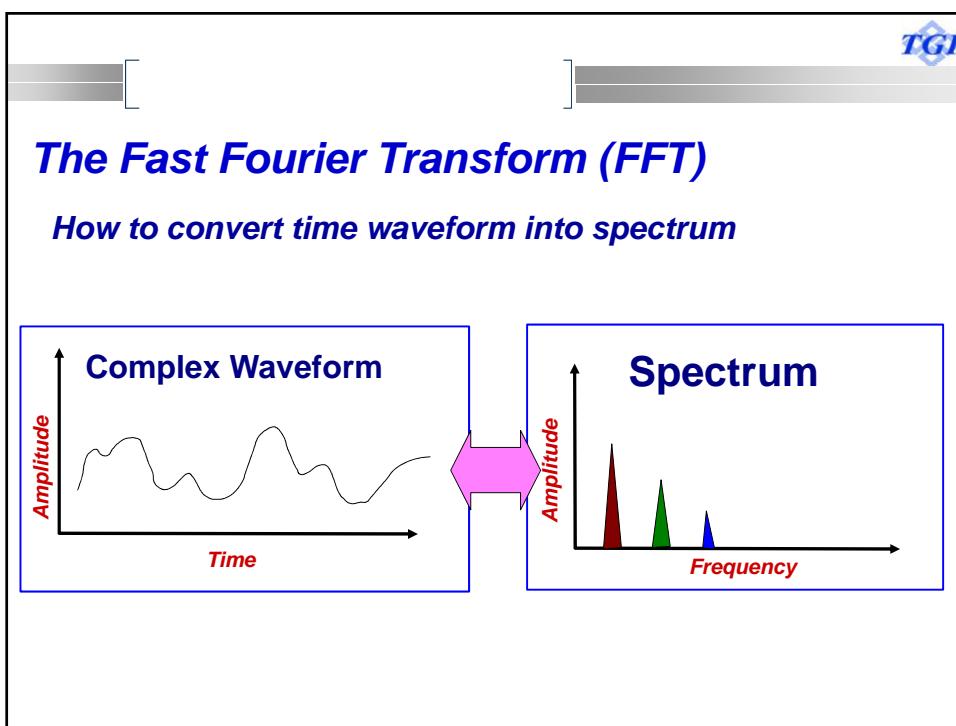
- Damper**

Defined as “Energy dissipation in an oscillating structure”. For free vibration, that results in a decay in the amplitude of motion over time





Only for Education Purpose



[] เราจะวัดค่าการสั่นสะเทือนไปด้วยย่างไร ? **TGI**

Transducer and Frequency Range

Types of Transducers

Frequency Range

- | | |
|----------------------------|-------------------|
| 1. Displacement Transducer | 1 - 1000 Hz ??? |
| 2. Velocity Transducer | 10 - 2000 Hz ??? |
| 3. Acceleration Transducer | 1 - 16,000 Hz ??? |

Only for Education Purpose

[] การวัดการสั่นสะเทือน

TGI

Early method of vibration analysis

- Balancing a coin
- Chalk
- Dial Indicators
- Light Beams



เครื่องวัดแม่นยำโบราณ (地动仪)

Ask!

..... all measured in Displacement !

หัวข้อการสั่นสะเทือน (Vibration Transducers)

Transducer Vs. Sensor ต่างกันอย่างไร !!!

Definition, by Vibration Institute, USA

Any device that translates the magnitude of one quantity into another quantity.

Three of the most common measure in vibration measurements are

- 1) Displacement
- 2) Velocity
- 3) Acceleration

แหล่ง: www.Vibinst.org

Only for Education Purpose

1. Displacement transducer



Displacement transducer

ตัวอย่างความเร็วสูงจาก Driver สร้างสนามแม่เหล็กดิจิตัลขึ้นที่ Transducer โดยความเร็วของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะสัมผัทกับตัวแม่เหล็กที่ตั้งไว้ในวงจร DC Output จะถูกต่อออกเป็นรูปของ DC Voltage ซึ่งสามารถตรวจสอบของสนามแม่เหล็กได้

เมื่อสนามแม่เหล็กซึ่งตั้งไว้ไปชี้ด้านของวัสดุที่สามารถเคลื่อนไหวได้ อยู่หักล้าสั่งซึ่งที่ไปสัมผัสนั้นแม่เหล็กเริ่มมีการเคลื่อนไหวตัวนำ แล้วทำให้เกิดสนามแม่เหล็กในทิศทางการเคลื่อนไหวนั้น นิพจน์ที่ว่า DC Voltage Output มีค่าคงที่เมื่อวัสดุอยู่ใกล้กับDriverมากขึ้นที่ไป กระแต่เมื่อวัสดุเคลื่อนตัวไป DC Voltage Output จะเปลี่ยนแปลงไปตามทิศทางการเคลื่อนไหวนั้น

Only for Education Purpose

Displacement transducer

Advantages

- Measures relative movement
- Good for sleeve bearing machines
- Very good for heavy machines such as turbine and compressor
- Non-contacting measurement
- High resolution up to $0.1 \mu\text{m}$
- High frequency response

2. Velocity transducer

Advantages

- Best signal to severity ratio
- Good signal to noise ratio
- No power required
- Usually pretty hardy

Disadvantages

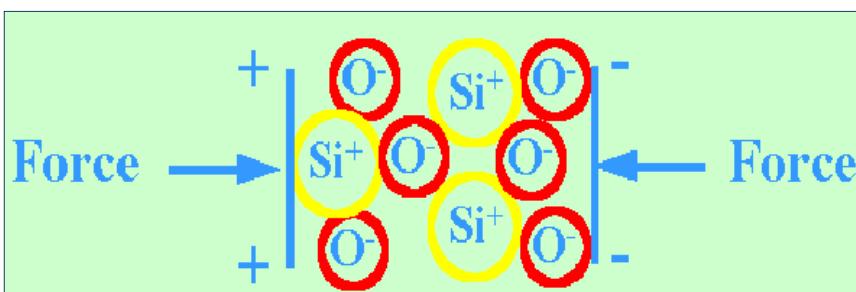
- Usually big
- Heavy
- Freq.. 10Hz to 2kHz
- Temperature sensitive
- Magnetic field sensitive
- Orientation sensitive
- Wear and temp. changes calibration



Only for Education Purpose

Piezotronic element & Piezoelectricity

Piezoelectric material: Quartz crystal and Polycrystalline Ceramic



ผลึกเปียโซเชลิคทริกเป็นแร่ชนิดหนึ่ง โดยจะเกิดแรงดึงเคลื่อนตัวคร่อมทางด้านเอกสารพูดเมื่อว่าได้รับแรงกด

3. Accelerometers

Advantages

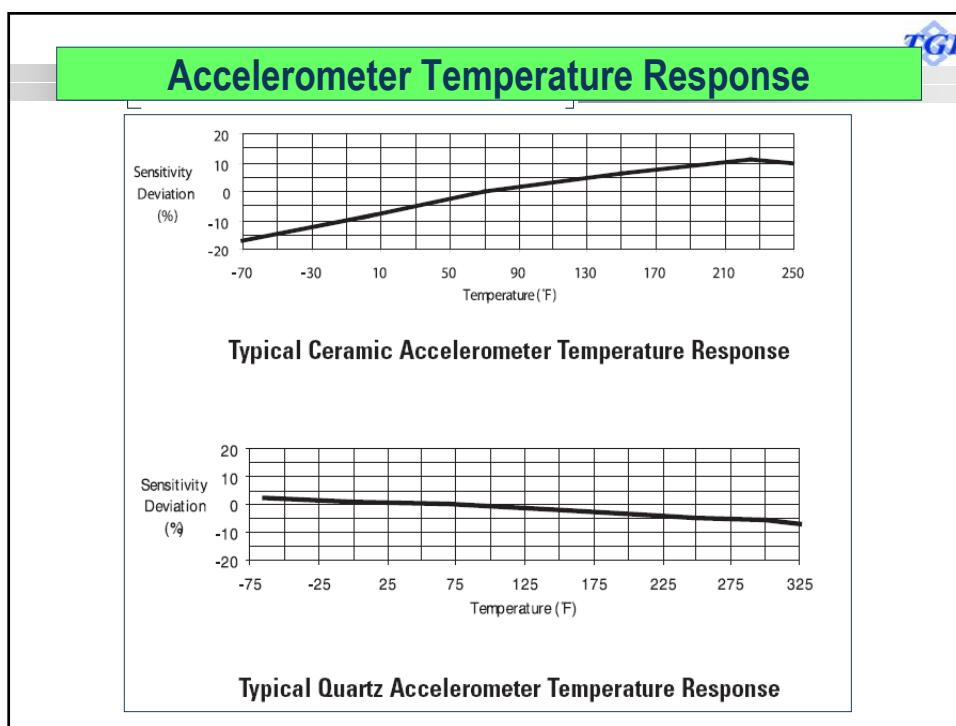
- ความถี่ใช้งานกว้าง
- ขนาดกะทัดรัด เบา แข็งแรง
- ICP needs no signal conditioning
- สามารถยึดติดได้ง่าย ติดได้ทุกทิศทุกทาง
- ไม่มีส่วนเคลื่อนที่ จึงไม่เกิดการเสียดสี ทำให้มีความทนทาน
- มีอัตราภาพสูง

Disadvantages

- poor as a hand held
- limited signal to noise ratio
- reads acceleration
- power required

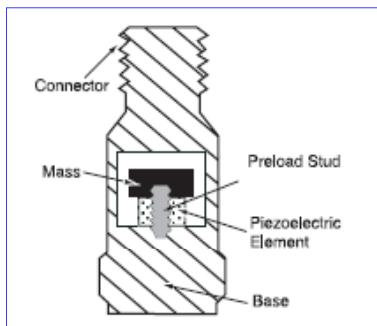
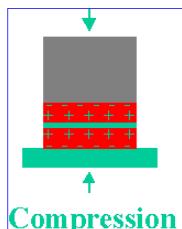


Only for Education Purpose



Accelerometer types

Compression mode Accelerometer

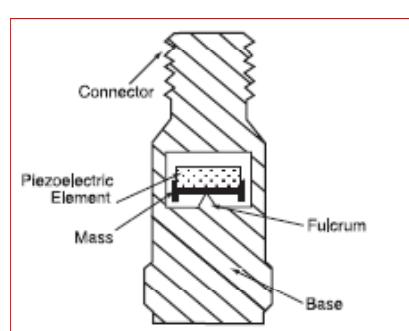
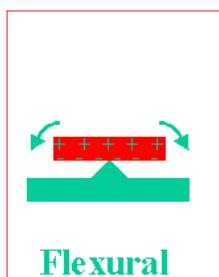


- High stiffness
- High durability
- High resonant frequency
- Susceptible to inputs from base strain caused by thermal transient

Only for Education Purpose

Accelerometer types

Flexural mode Accelerometer

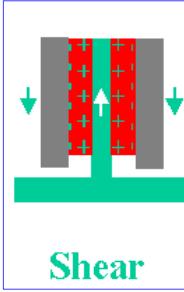


- Higher output signal
- Less susceptible to inputs from base strain caused by thermal transient
- Lower resonant frequency
- More fragile (หักง่าย)

TGI

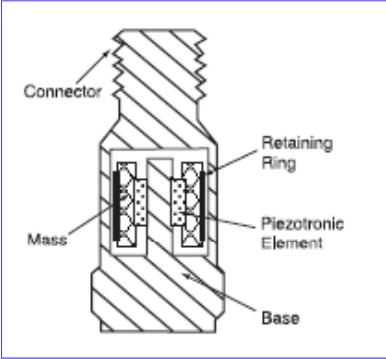
Accelerometer types

Shear mode Accelerometer



Shear

- Good stiffness
- Good durability
- Reasonable resonant frequency
- Less susceptible to inputs from base strain by thermal transient



Only for Education Purpose

TGI

Piezoelectric material comparison

Quartz Crystal	Polycrystalline Ceramic
naturally piezoelectric material	artificially polarized, man-made material
high voltage sensitivity	high charge sensitivity
exhibits excellent long term stability	unlimited availability of sizes and shapes
low temperature coefficient	materials available which operate at 1000 F (540 C)
	characteristics vary with temperature

สิ่งที่ควรคำนึงถึงในการติดตั้ง Accelerometer

1. เมื่องจากการติดตั้งมีผลโดยตรงกับค่าความแม่นยำของ sensors

2. ค่า stiffness มีผลโดยตรงกับ natural resonant frequency ของ Transducers.

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \rightarrow \omega = 2\pi f \rightarrow f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

where:

f = the natural (resonant) frequency

ω = angular frequency in radians

k = force / deflection (stiffness)

m = mass

3. ในการติดตั้งที่ไม่เหมาะสมเมื่อกีดการสั่นสะเทือน ค่า resonant frequencies

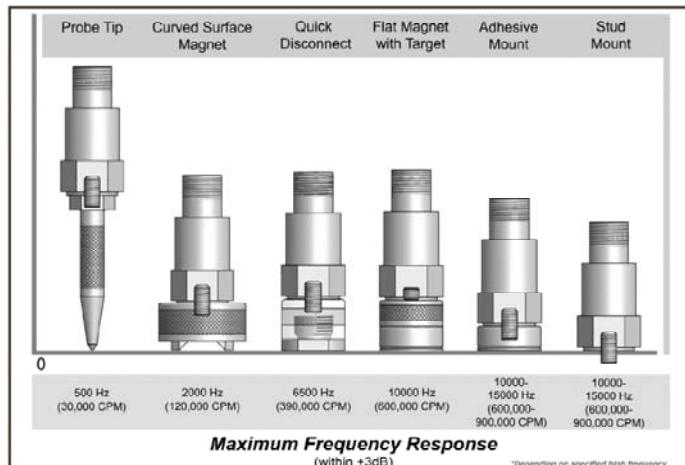
จะสูงขึ้นอย่างมากหรือมีสัญญาณที่ร้าวໄฉ

35

Only for Education Purpose

3.

Sensor Mounting Techniques



36

Accelerometer Mounting Techniques

1. การยึดโดยใช้สลักเกลียว (Stud Mount)

ข้อดี

เป็นการยึดที่แน่นหนาเนื่องจากมีความต่อมนคงที่สามารถใช้งานได้สูง

ข้อเสีย

1. ไม่สะดวกถ้าต้องการตรวจสอบการรั่วซึ่งเป็นภัยคุกคาม
2. ง่ายต่อการเกิด Ground effect สาหริคต์ไม่ดีพอ

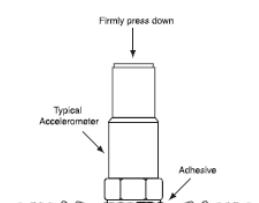


37

Only for Education Purpose

Accelerometer Mounting Techniques

2. Adhesive Mount (การยึดโดยใช้กาว)



Mounting Pad



Epoxy



Motor Fin Mounting Stem

38

Accelerometer Mounting Technique

3. การยึดโดยการใช้แม่เหล็ก (Magnetic Mount)

ข้อดี

สะดวกและรวดเร็ว เทคนิคสำหรับการตรวจสอบเป็นครั้งคราว

ข้อเสีย

1. ชิ้นส่วนที่จะติดตั้งต้องเป็นเหล็ก
2. ควรใช้แม่เหล็กที่มีความถี่ใช้งานไม่เกิน 2.5kHz
3. ควรใช้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 150 องศาเซลเซียส



39

Only for Education Purpose

Accelerometer Mounting Technique

4. Mounting Clip

ข้อดี

ง่ายต่อการติดตั้ง



ข้อเสีย

ความลึกของฐานองค์ตัวแต่สูงกว่าแบบแม่เหล็กพราเวลความแข็งแรงของการยึดติดไม่แน่นเท่าการทากาวหรือขันเกลียว

40

TGI

Accelerometer Mounting Technique

5. Hand-held Probe Tip

ข้อดี
เป็นวิธีการที่ง่าย สามารถอัดได้แน่นไว้ได้ดี

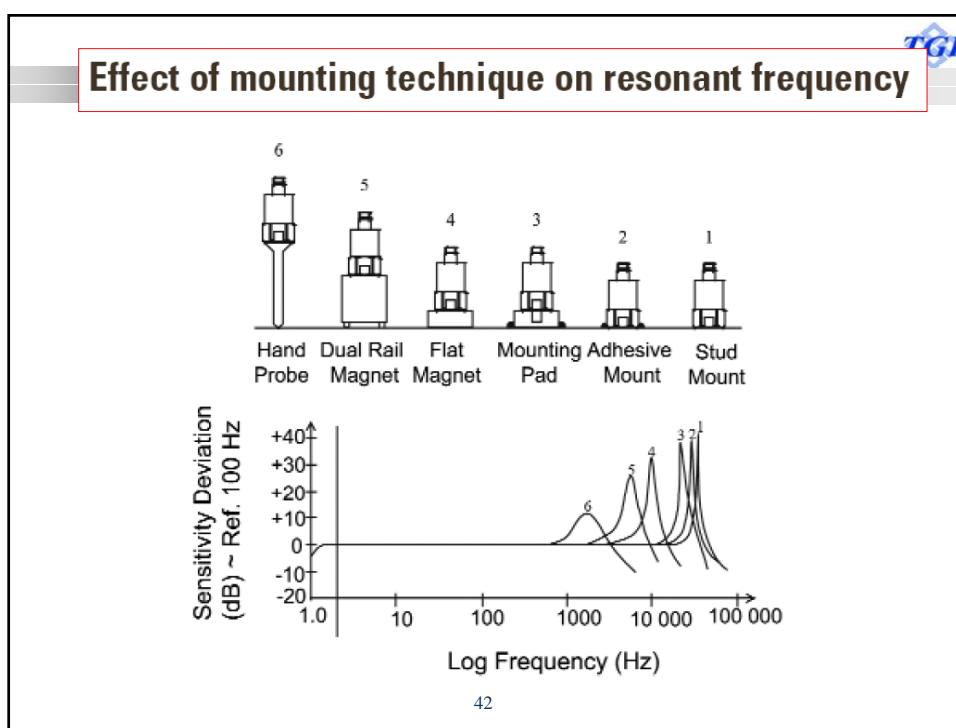


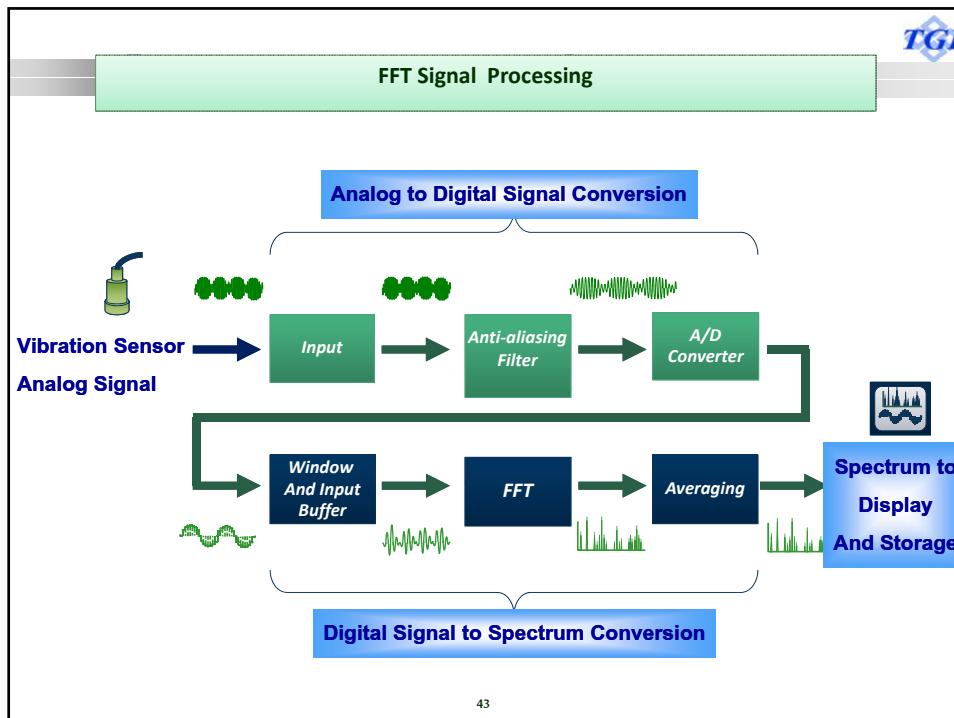
ข้อเสีย

- 1 มีข้อจำกัดด้านความถี่มาก โดยใช้งานได้ที่ความถี่ไม่เกิน 1 kHz
- 2 การอ่านค่าไม่ง่ายเมื่อสัมผัสร้าฟ เนื่องจากความแข็งแรงของรวมมีค่าต่ำ

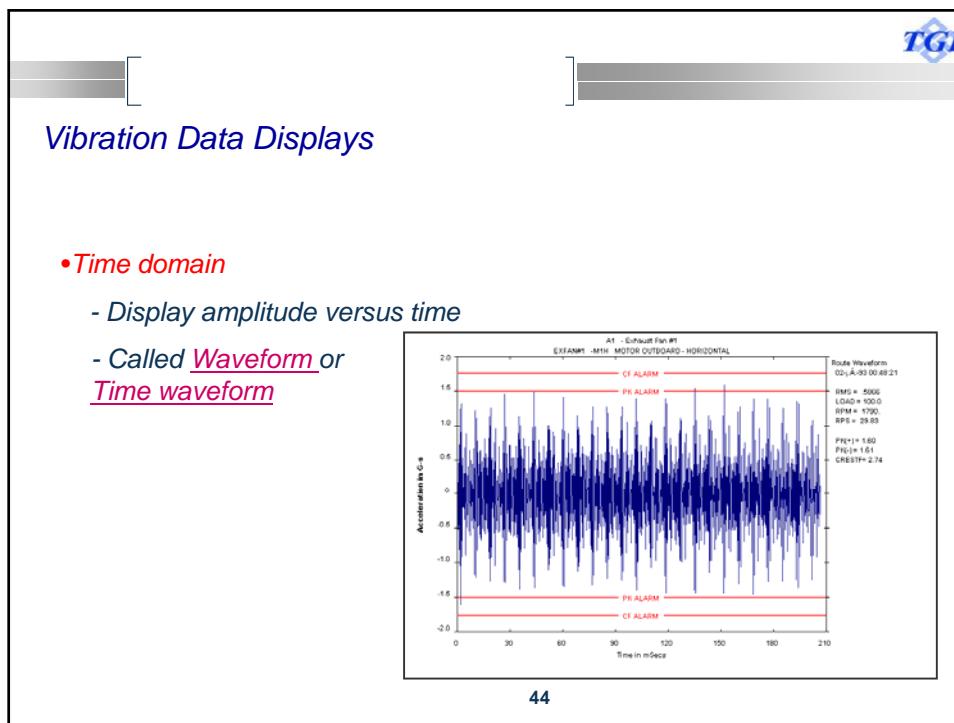
41

Only for Education Purpose





Only for Education Purpose

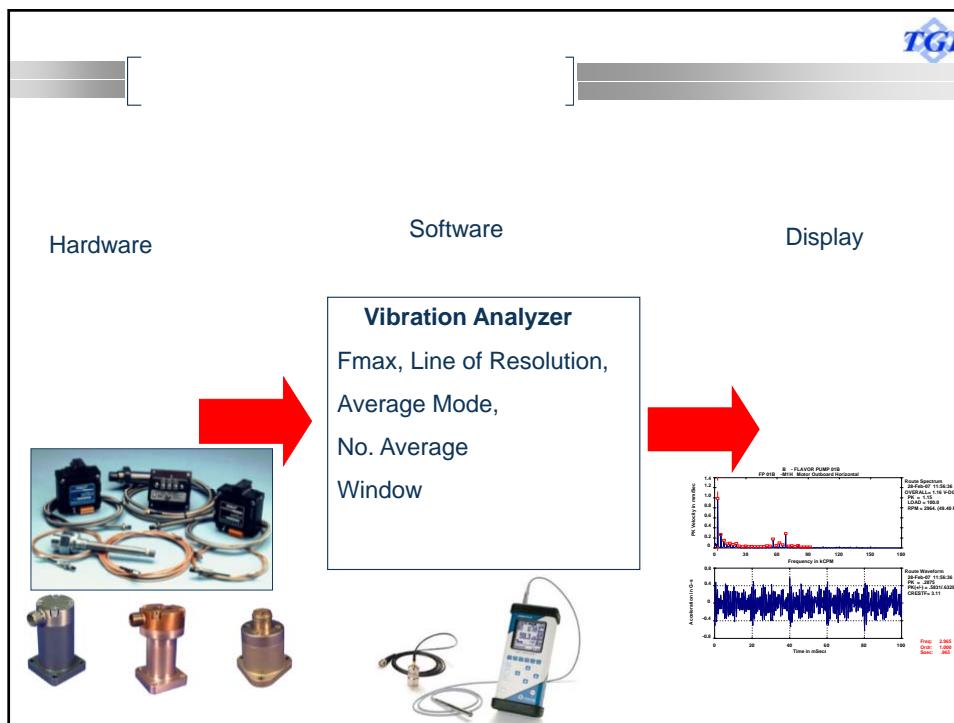


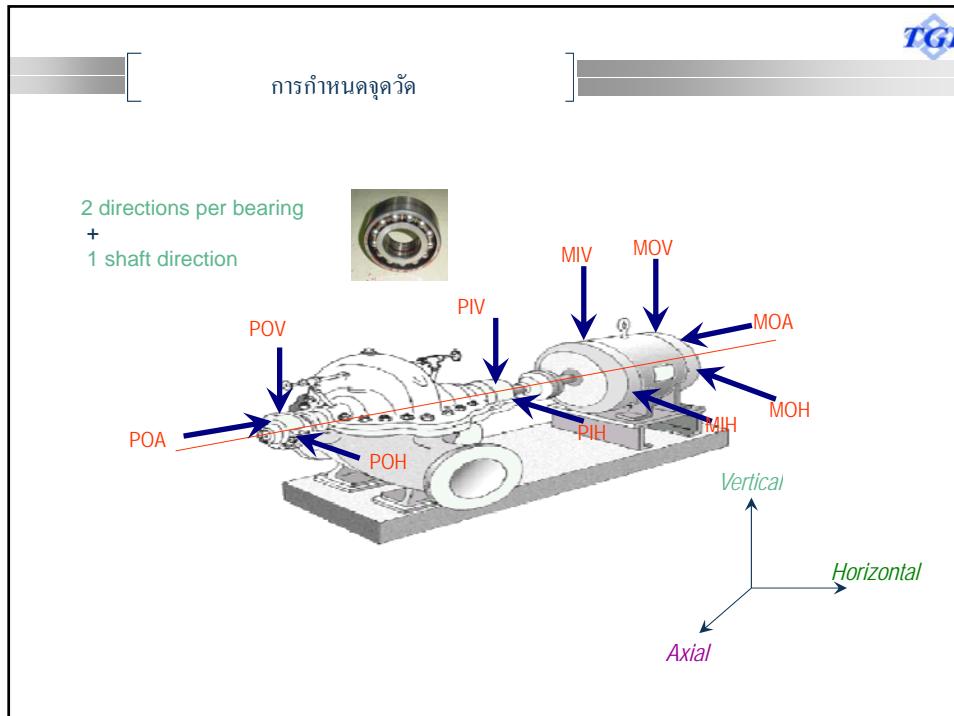
Vibration Data Displays

- *Frequency domain*
 - Display amplitude versus frequency
 - Frequency are converted from Waveform by FFT process
 - Called Spectrum or Frequency domain

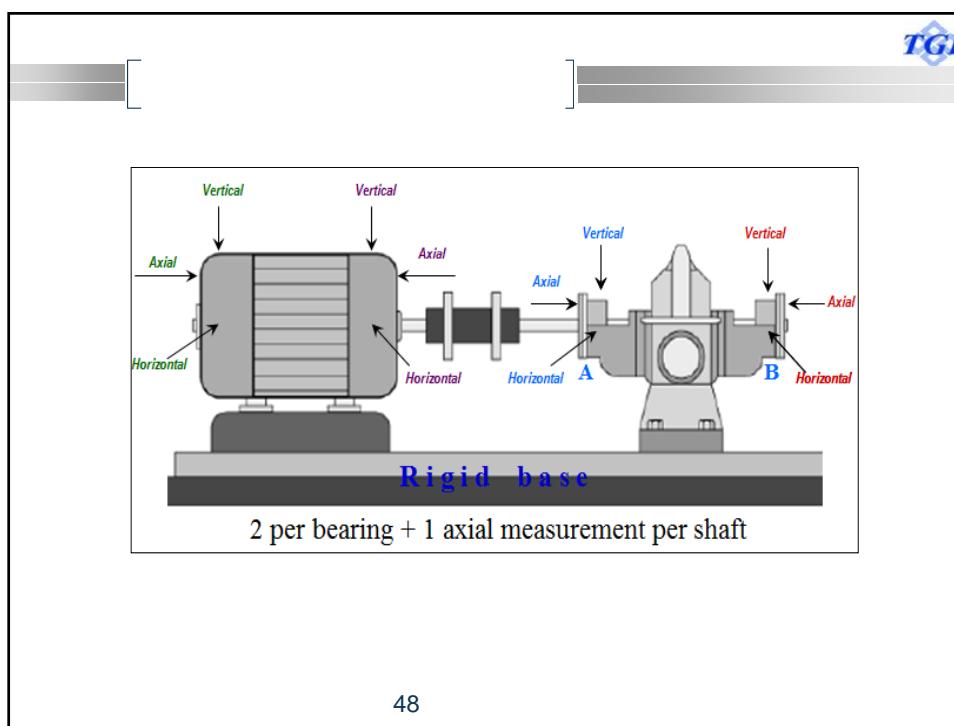
45

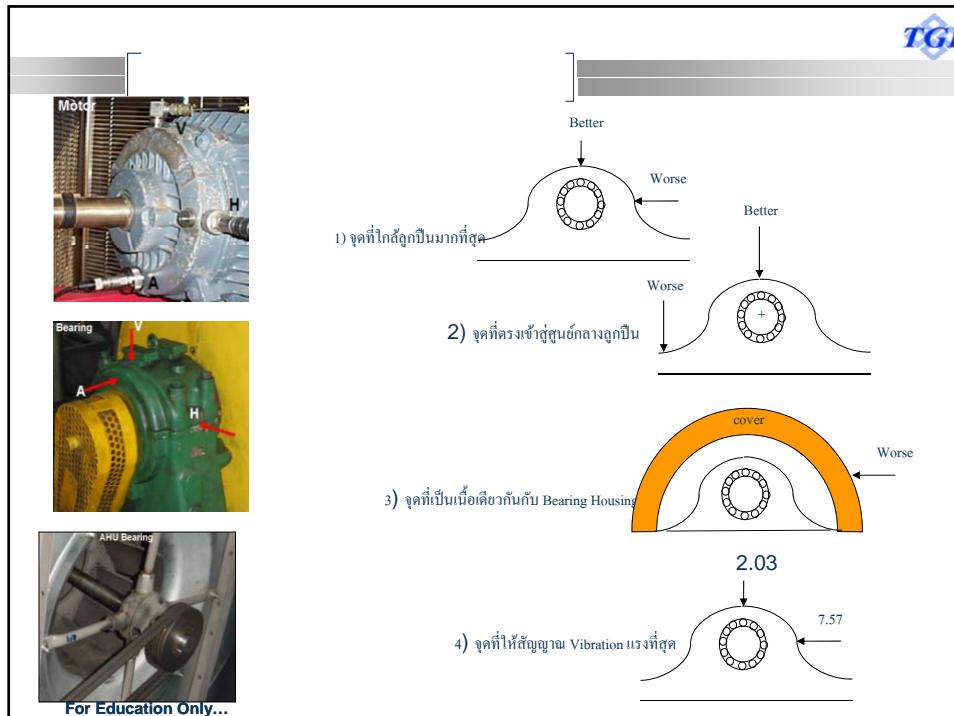
Only for Education Purpose



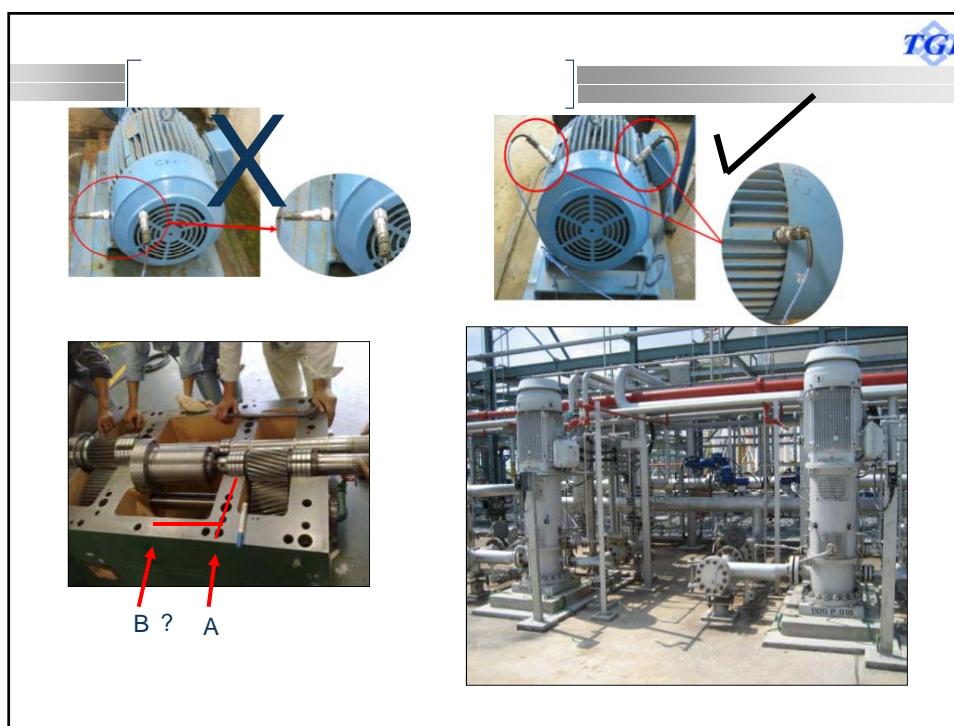


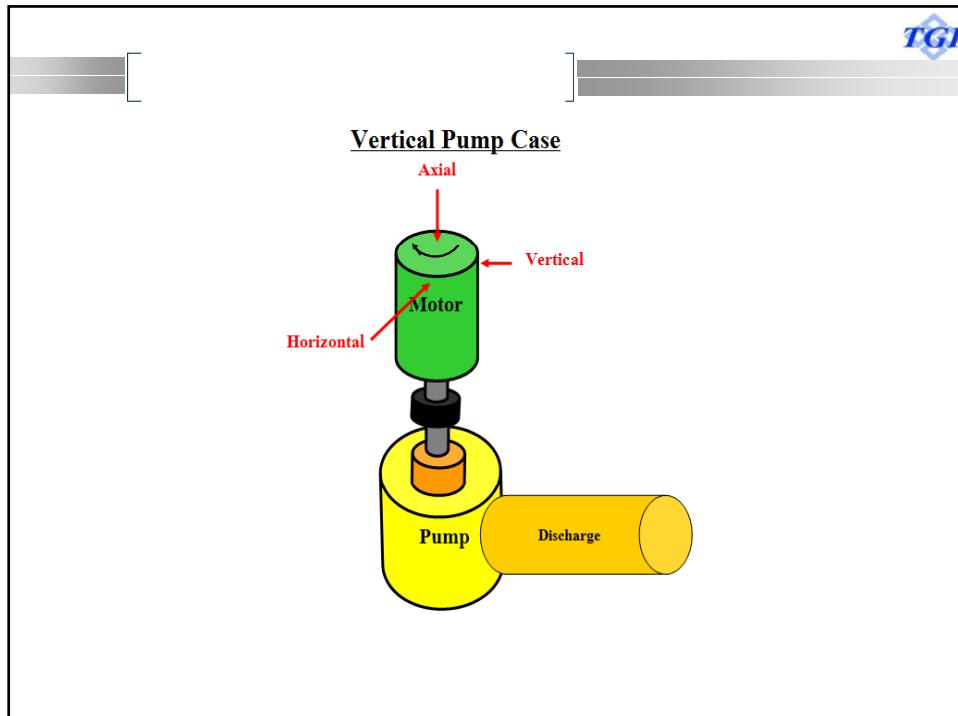
Only for Education Purpose



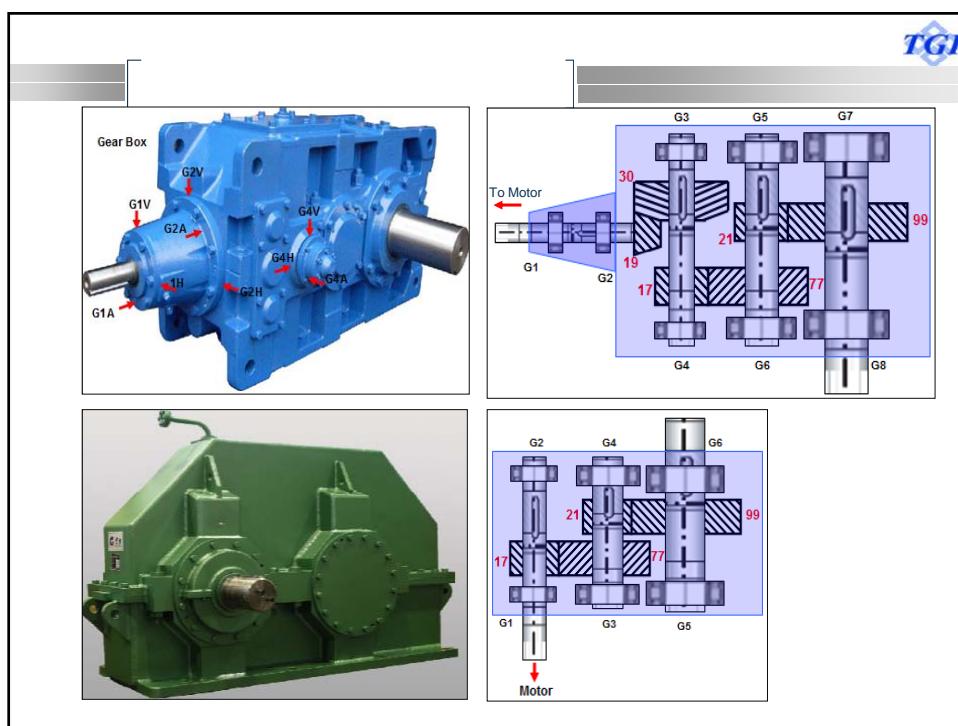


Only for Education Purpose



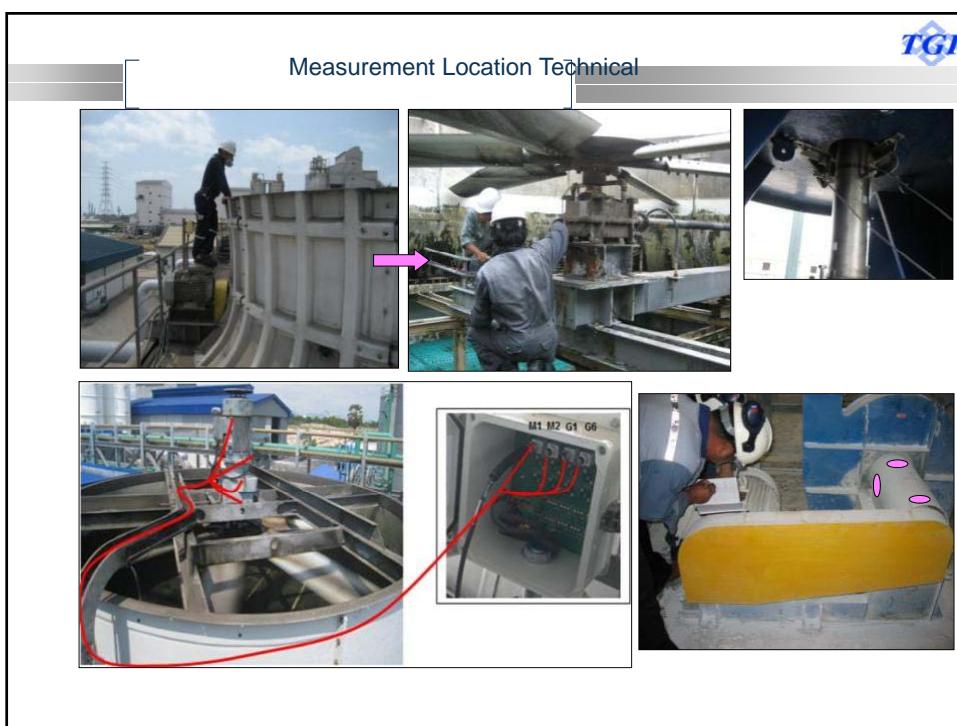


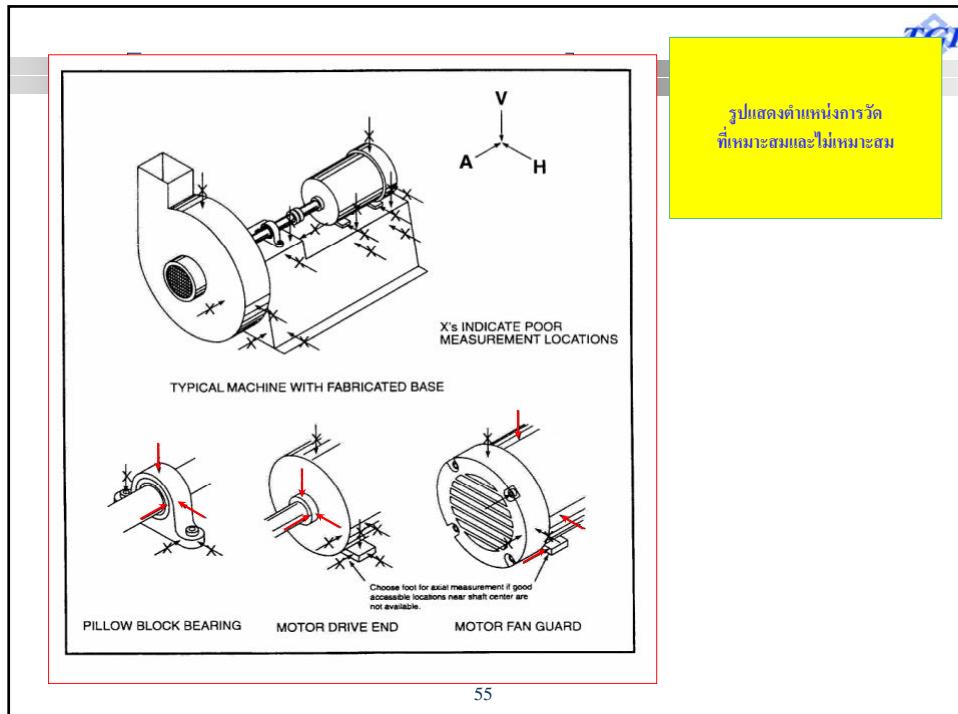
Only for Education Purpose





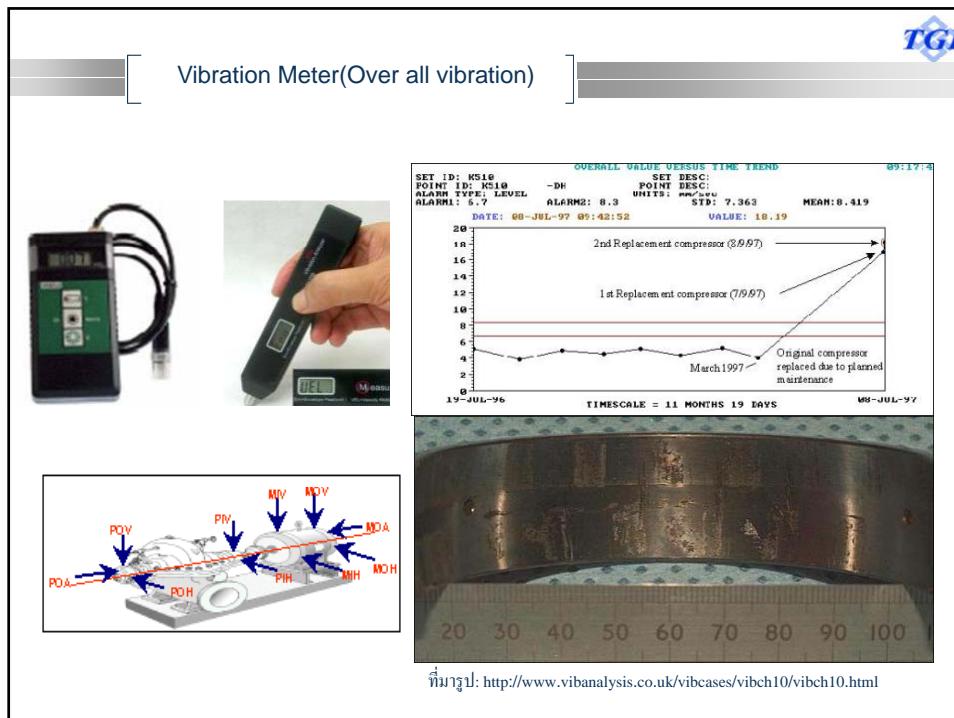
Only for Education Purpose



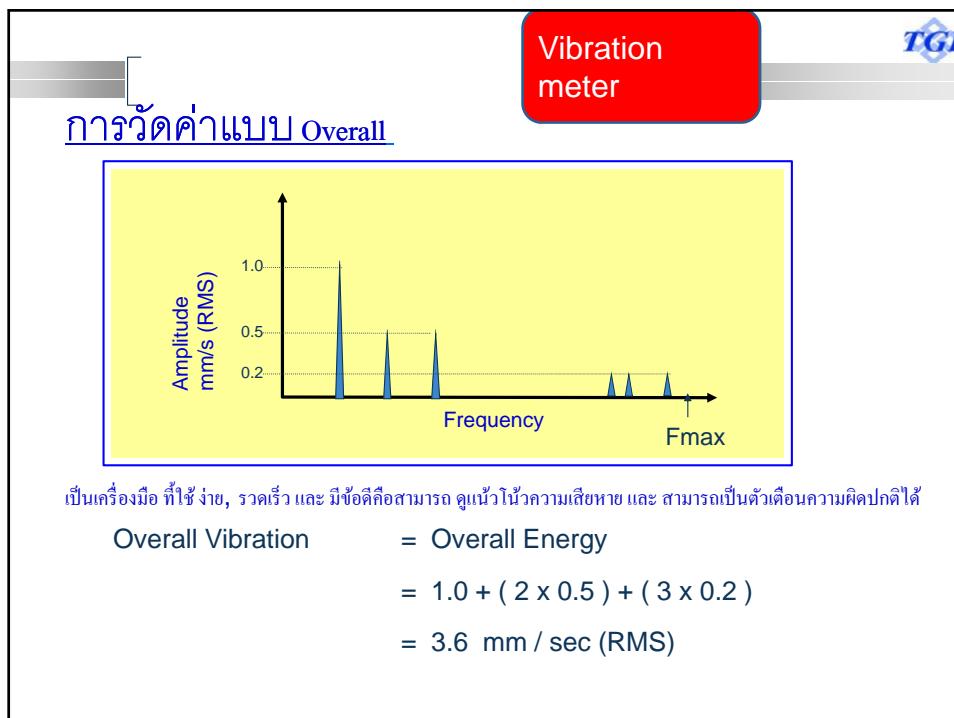


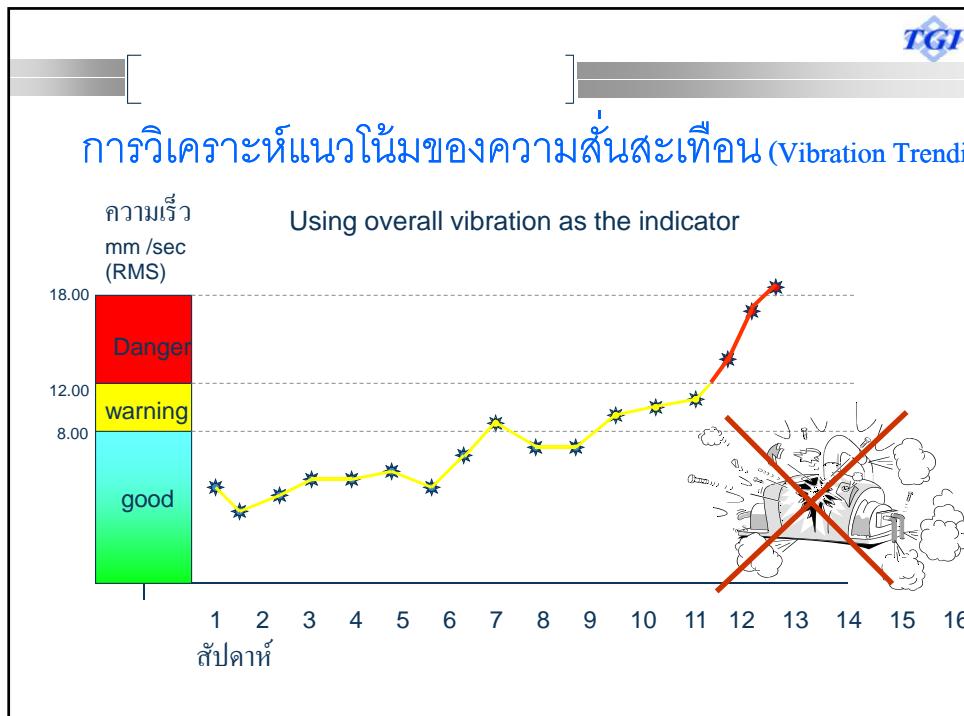
Only for Education Purpose



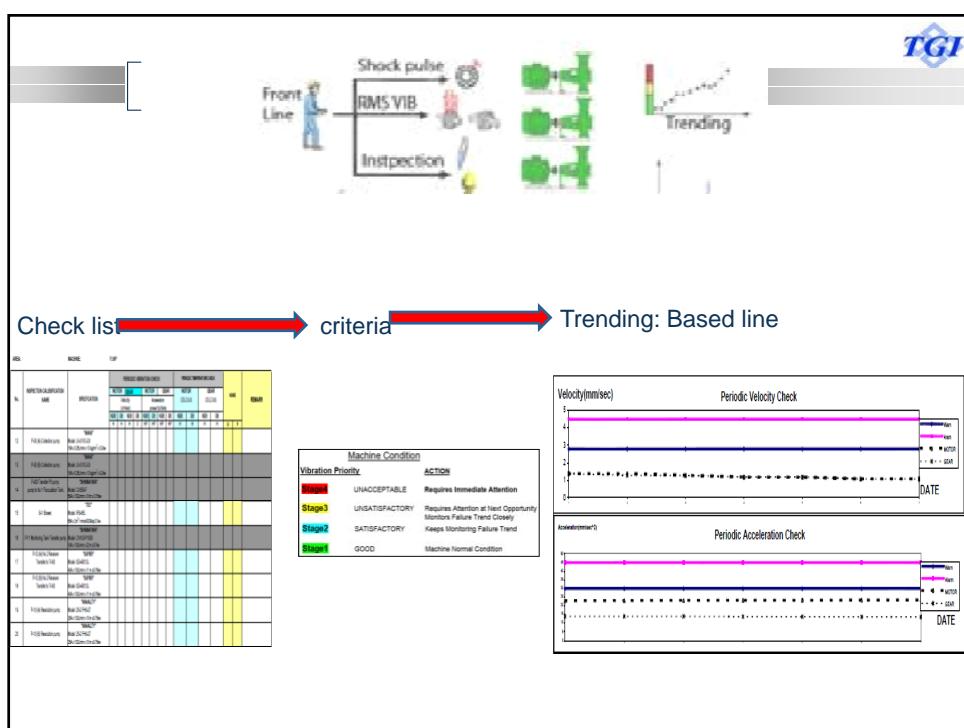


Only for Education Purpose





Only for Education Purpose



Vibration meter



R.M.S Vibration Velocity RMS	Class I	Class II	Class III	Class IV
0.28	A	A	A	A
0.45				
0.71				
1.12	B	B	B	B
1.8	C	C	C	C
2.8				
4.5				
7.1				
11.2	D	D	D	D
18				
28				
45				

ข้อดี

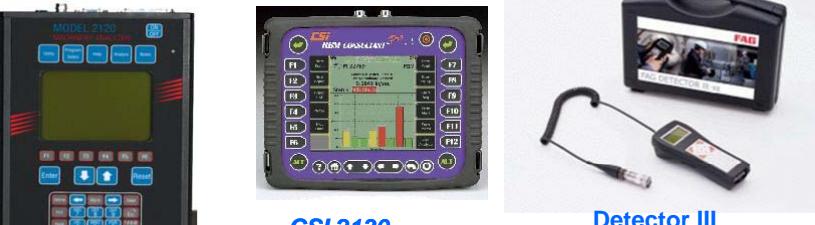
- สามารถประเมิน ได้ว่าเครื่องจักรใดมีความเสียหาย
- เหมาะสมกับผู้เริ่มนัก เมื่อจาก ง่าย และ ไม่ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญ
- ราคาถูก ใช้งานง่าย

ข้อเสีย

- ไม่สามารถตรวจสอบความเสียหายของเครื่องจักรได้ (หากของชำรุดเสียหายแล้ว ไม่สามารถตรวจพบได้)

Only for Education Purpose

FFT Analyzer



The FFT analyzer is a device that uses the FFT algorithm to calculate a spectrum from a time domain signal, and is the most common type of spectrum analyzer available today.

CSI 2120- A2 Analyzer

CSI 2130

Detector III

Fourier Transform (FT)

Jean Baptiste Joseph Fourier (1768 - 1830)

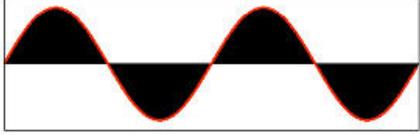


French mathematician who discovered that any periodic motion can be written as a superposition of sinusoidal and cosinusoidal vibrations

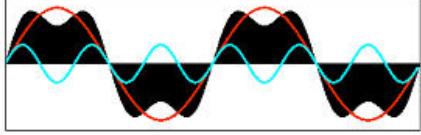
Only for Education Purpose

Square Wave

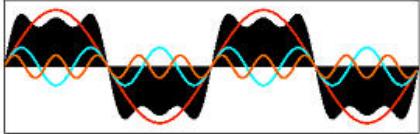
Frequencies: f



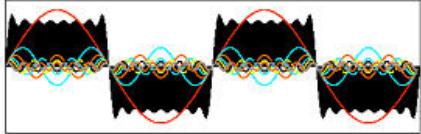
Frequencies: $f + 3f$

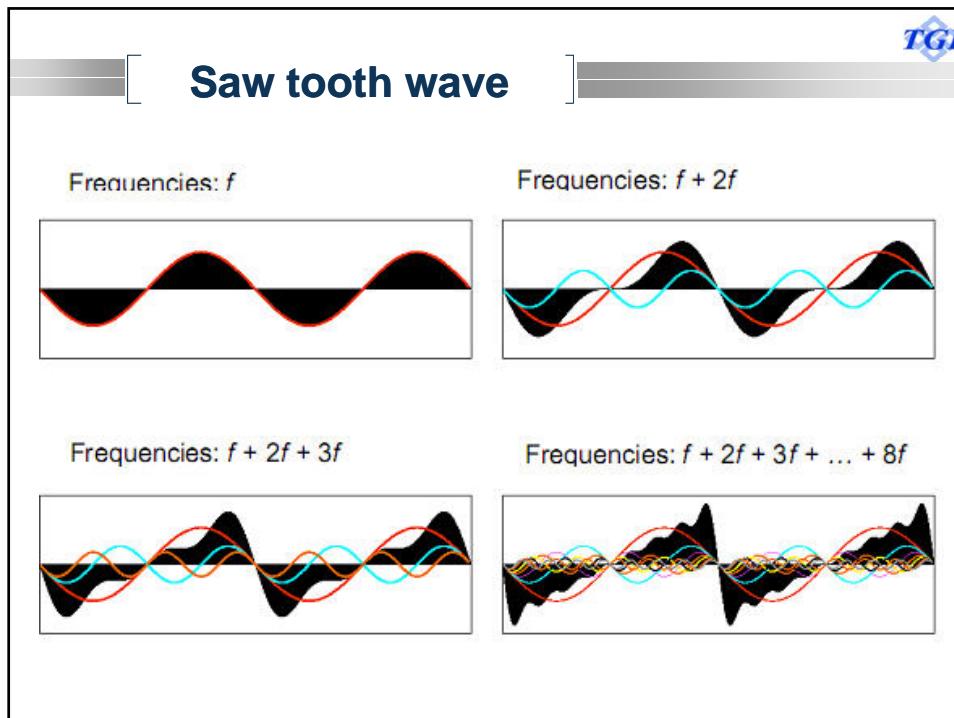


Frequencies: $f + 3f + 5f$

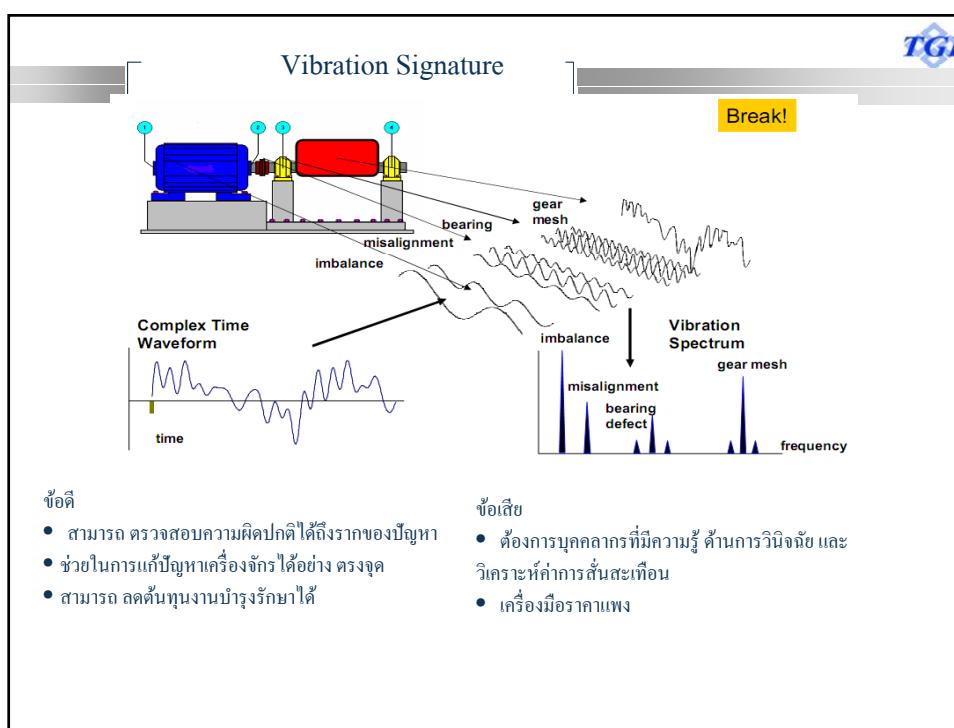


Frequencies: $f + 3f + 5f + \dots + 15f$





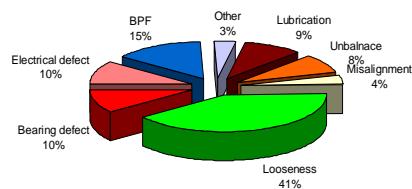
Only for Education Purpose



[กรณีศึกษา: ความเสียหายที่ตรวจพบ]

- ❖ ปัญหาที่พบบ่อย และ เป็นสาเหตุของ
ความเสียหายของเครื่องจักร
 - การเสียสมดุล (Unbalance)
 - การยึดงูนซ์ (Misalignment)
 - การหลวมคลอน (Looseness)
 - การสั่นพ้อง (Resonance)

Fault: Block

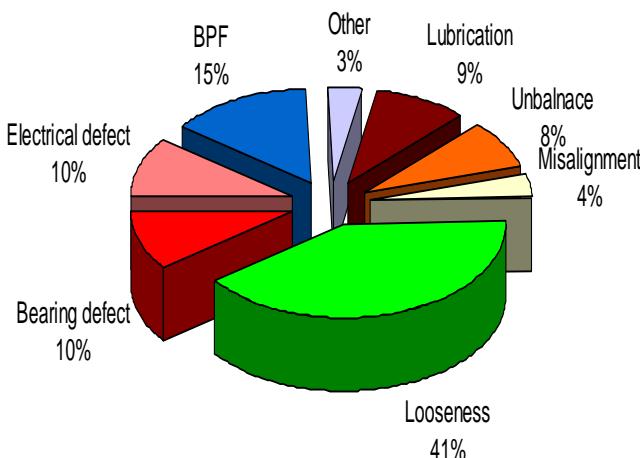


For Education Only...

www.tgipmt.com
Copy Right by Plant maintenance Technology Division

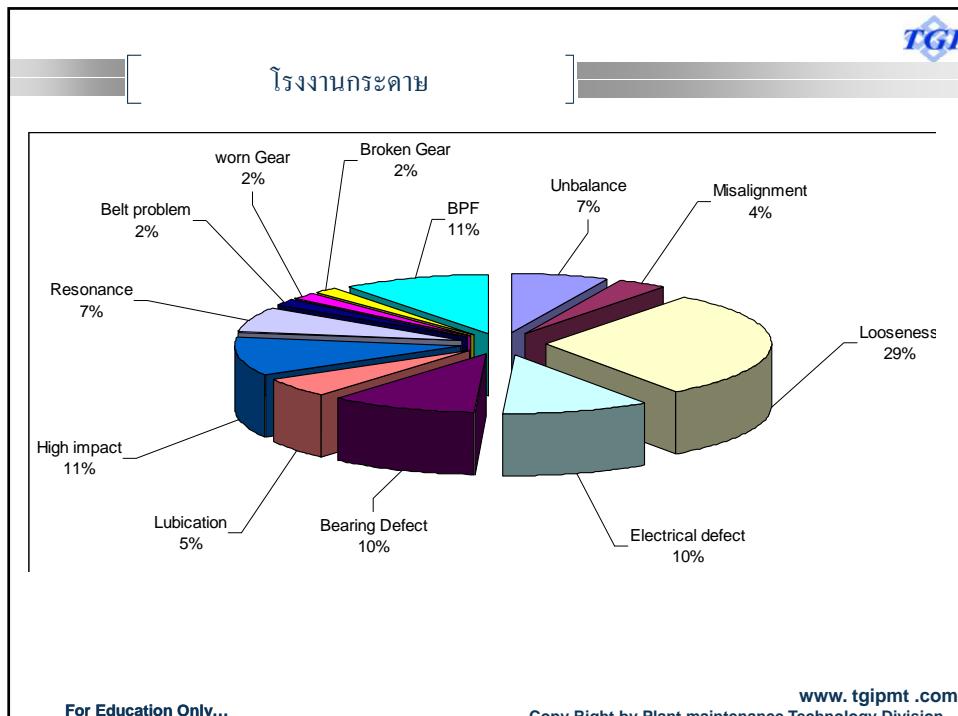
Only for Education Purpose

[โรงงานผลิตเครื่องจักร]

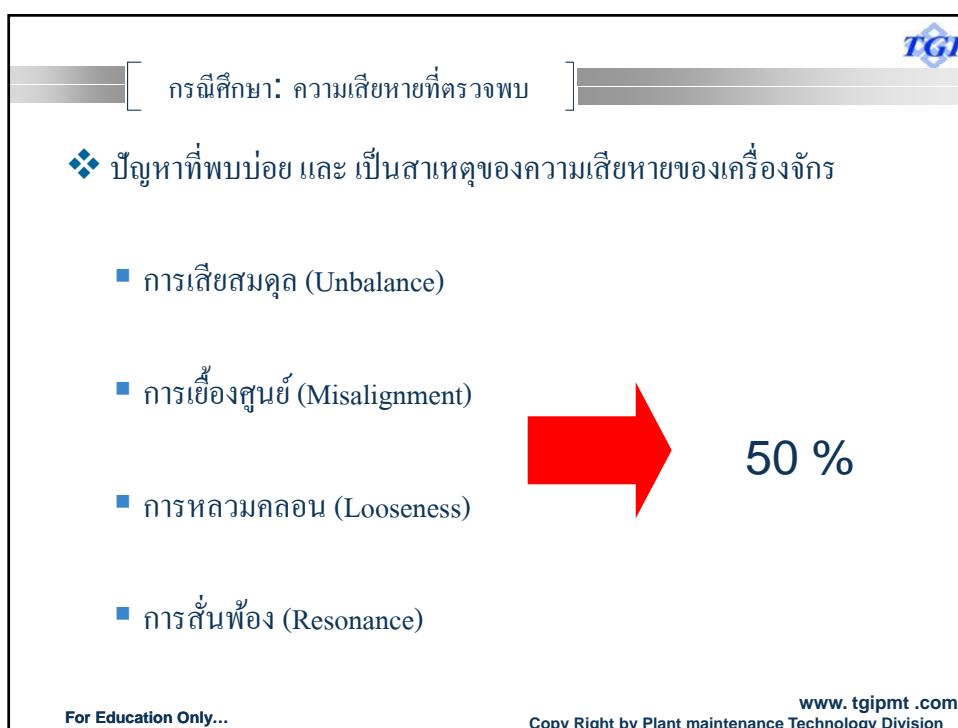


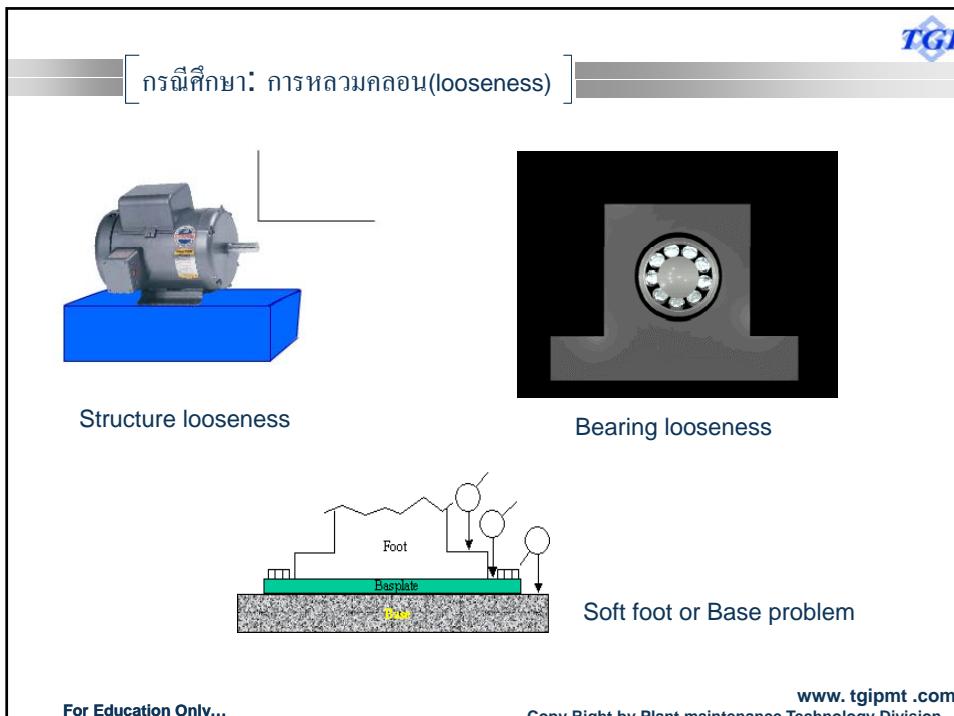
For Education Only...

www.tgipmt.com
Copy Right by Plant maintenance Technology Division

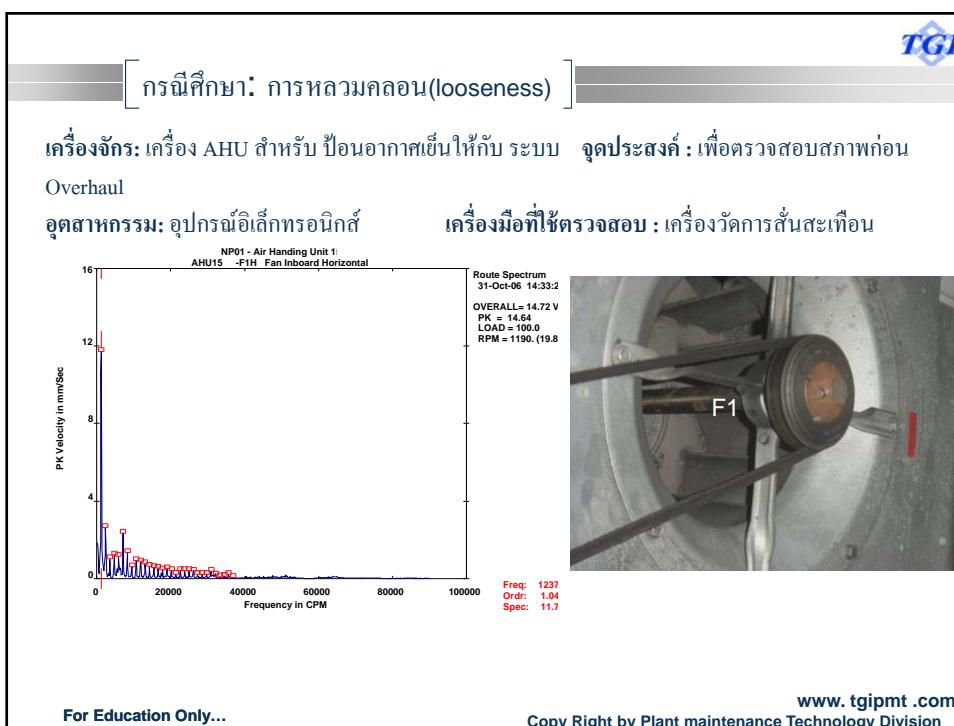


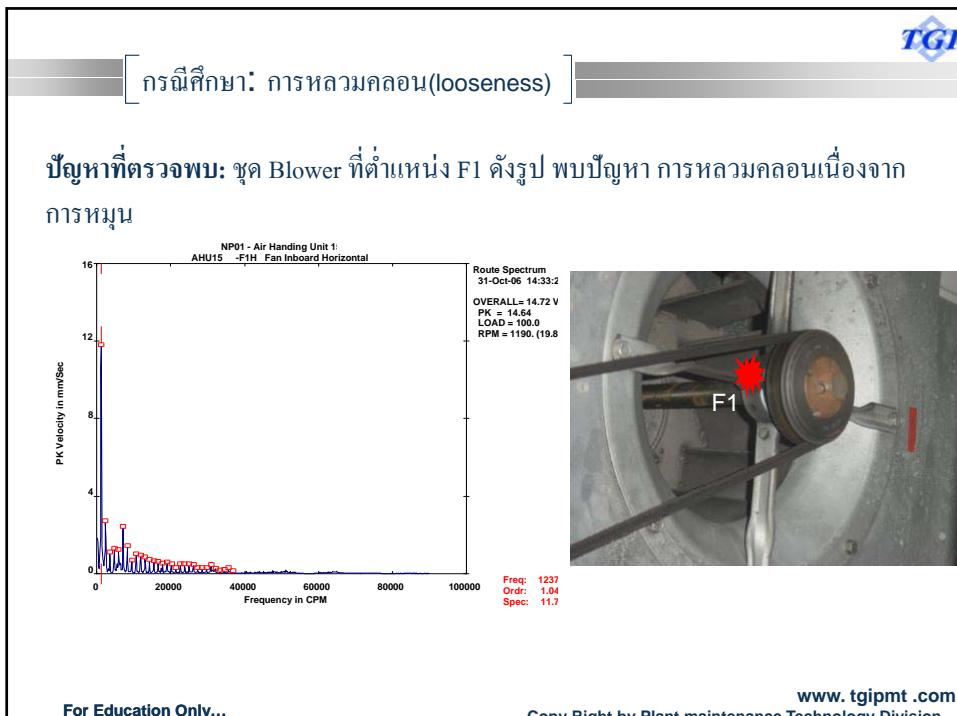
Only for Education Purpose



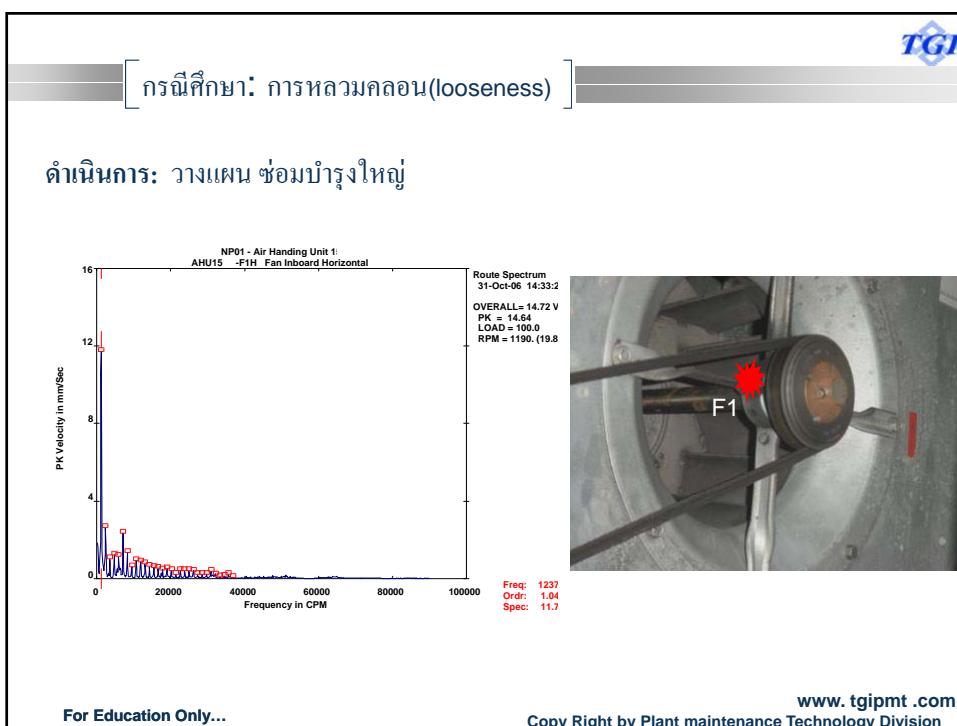


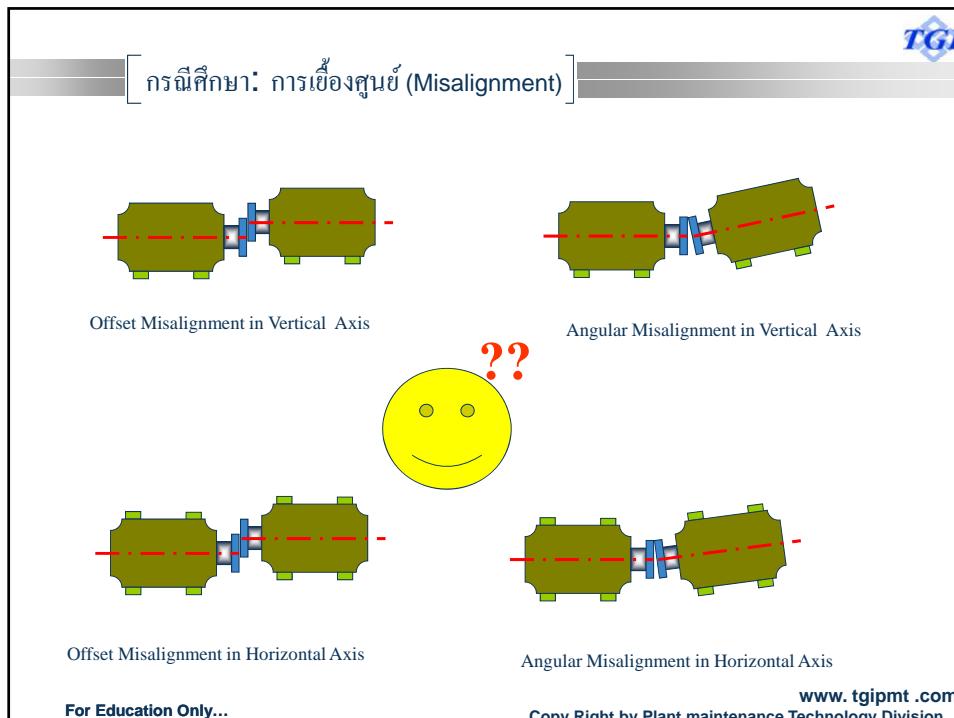
Only for Education Purpose





Only for Education Purpose





Only for Education Purpose



Alignment tolerance tables - OPTALIGN® Plus series

OPTALIGN® PLUS uses 'happy face' symbols to show compliance with tolerances based upon coupling type and RPM.

	[RPM]	metric [mm]		inch [mils]	
Soft foot	any	0.06 mm	2.0 mils		
Short "flexible" couplings		Acceptable	Excellent	Acceptable	Excellent
Offset	600 750 1500 1800 3000 3600 6000 7200	0.19 0.09 0.06 0.06 0.03	0.09 0.06 0.03 0.02	9.0 3.0 1.5 1.0	5.0 2.0 1.0 0.5
Angularity (gap difference at coupling edge per 100 millimeters diameter)	600 750 1500 1800 3000 3600 6000 7200	0.13 0.07 0.05	0.09 0.05 0.03	15.0 5.0 3.0	10.0 3.0 2.0
Spacer shafts and membrane (disk) couplings					
Offset (per 100 millimeters spacer length or per inch of spacer length)	600 750 1500 1800 3000 3600 6000 7200	0.25 0.12 0.07	0.15 0.07 0.04	3.0 1.0 0.5	1.8 0.6 0.3

For Education Only... 77 www.tgipmt.com
Copy Right by Plant maintenance Technology Division

Only for Education Purpose

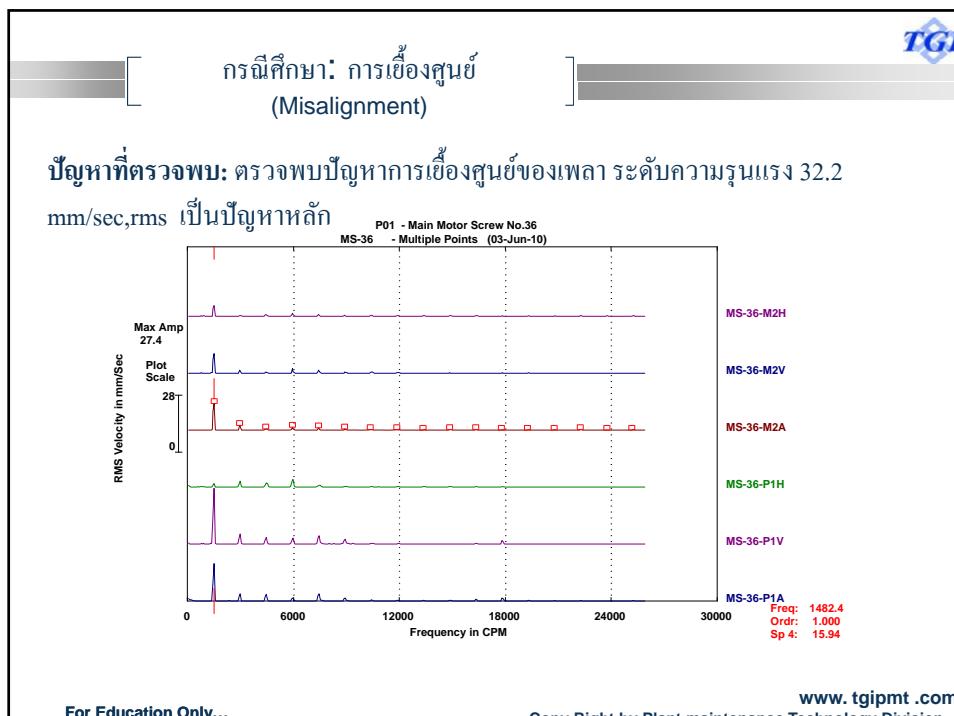
กรณีศึกษา: การเขียงศูนย์ (Misalignment)

เครื่องจักร: ไอน้ำอเล็กทริค
อุตสาหกรรม: อุปกรณ์พลาสติกส์

จุดประสงค์ : เพื่อตรวจสอบสภาพเครื่องจักร
เครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบ : เครื่องวัดการสั่นสะเทือน

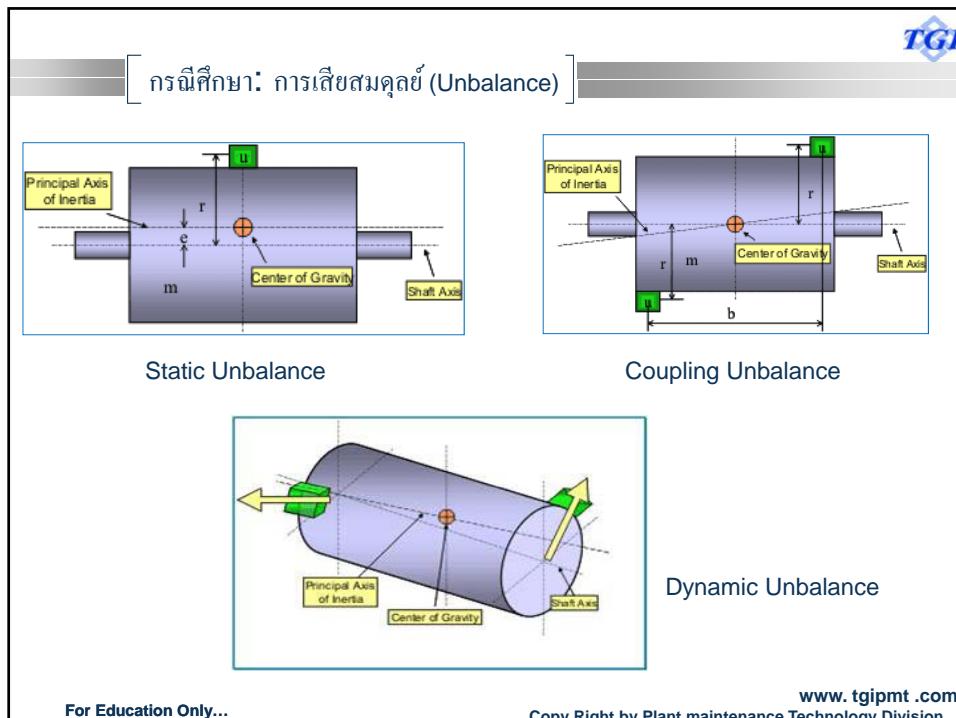
Motor: 1460 rpm, 7.5 KW, A,V,
IB Bearing 6308zz , OB Bearing 6206zz
Coupling: integration drive
Pump: Don't know detail of machine.
Base: Flexible

For Education Only... www.tgipmt.com
Copy Right by Plant maintenance Technology Division



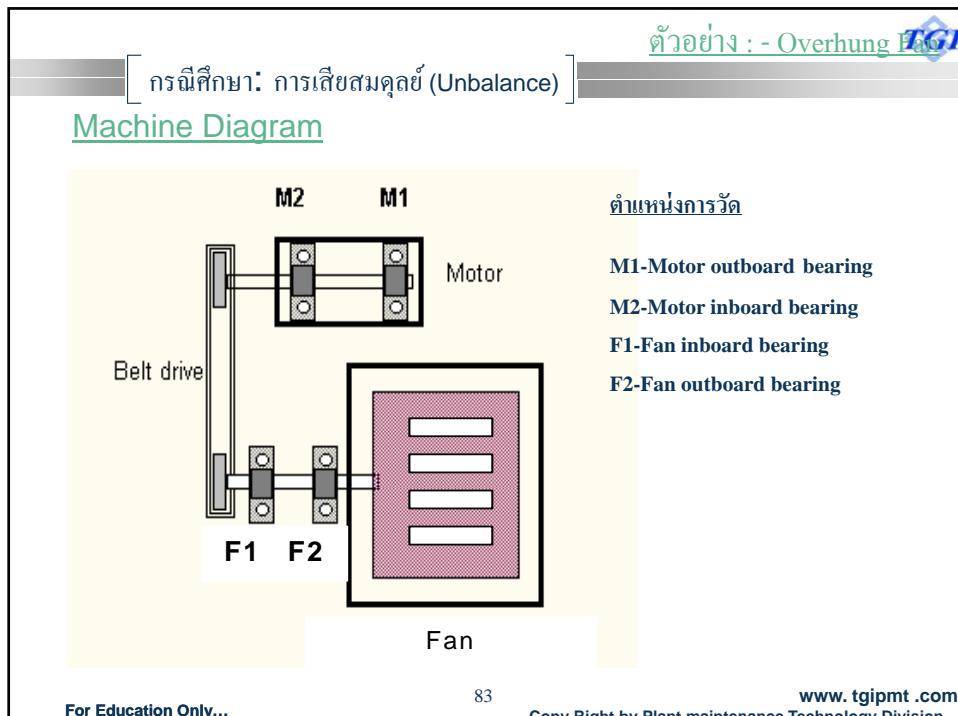
Only for Education Purpose





Only for Education Purpose





Only for Education Purpose

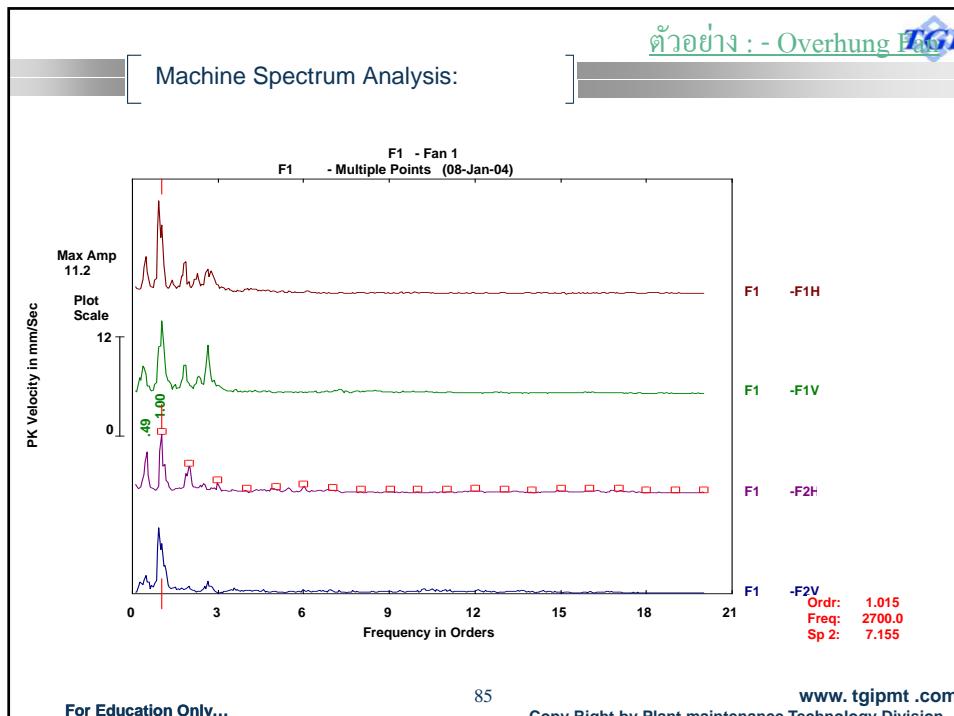
ตัวอย่าง : - Overhung Fan

[กรณีศึกษา: การเสียสมดุลย์ (Unbalance)]

Summary Data

Unbalance Vibration (1xTS vibration)	Horizontal	Vertical	Unit (RMS)
First Measurement:			
F1- Inboard bearing	3.7	4.7	mm/sec
F2-Outboard bearing	7.1	7.9	mm/sec
Note: The faults are mixed between imbalance, belt tension, and looseness			

For Education Only... 84 www.tgipmt.com Copy Right by Plant maintenance Technology Division



Only for Education Purpose

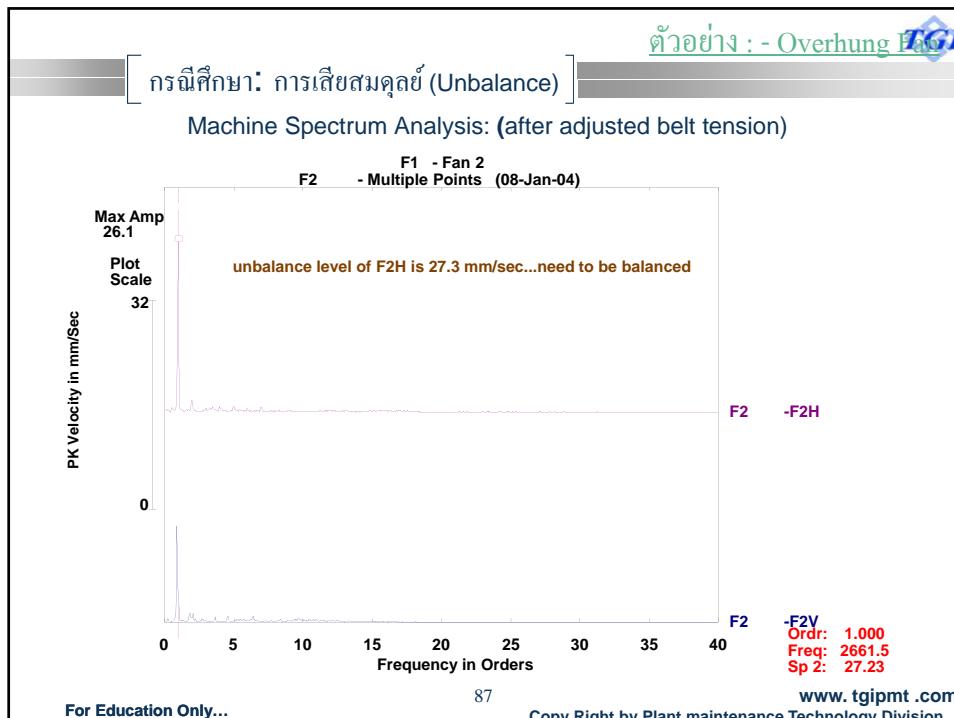
ตัวอย่าง : - Overhung Fan

กรณีศึกษา: การเสียสมดุล (Unbalance)

Summary Data

Unbalance Vibration (1xTS vibration)	Horizontal	Vertical	Unit (RMS)
First Measurement:			
F1- Inboard bearing	3.7	4.7	mm/sec
F2-Outboard bearing	7.1	7.9	mm/sec
Note: The faults are mixed between <u>imbalance, belt tension, and looseness</u>			
First Measurement (after adjusted belt tension):			
F1- Inboard bearing	2.3	5.1	mm/sec
F2-Outboard bearing	27.23	17.8	mm/sec

For Education Only... 86 www.tgipmt.com
Copy Right by Plant maintenance Technology Division



Only for Education Purpose



ตัวอย่าง : - Overhung Fan 

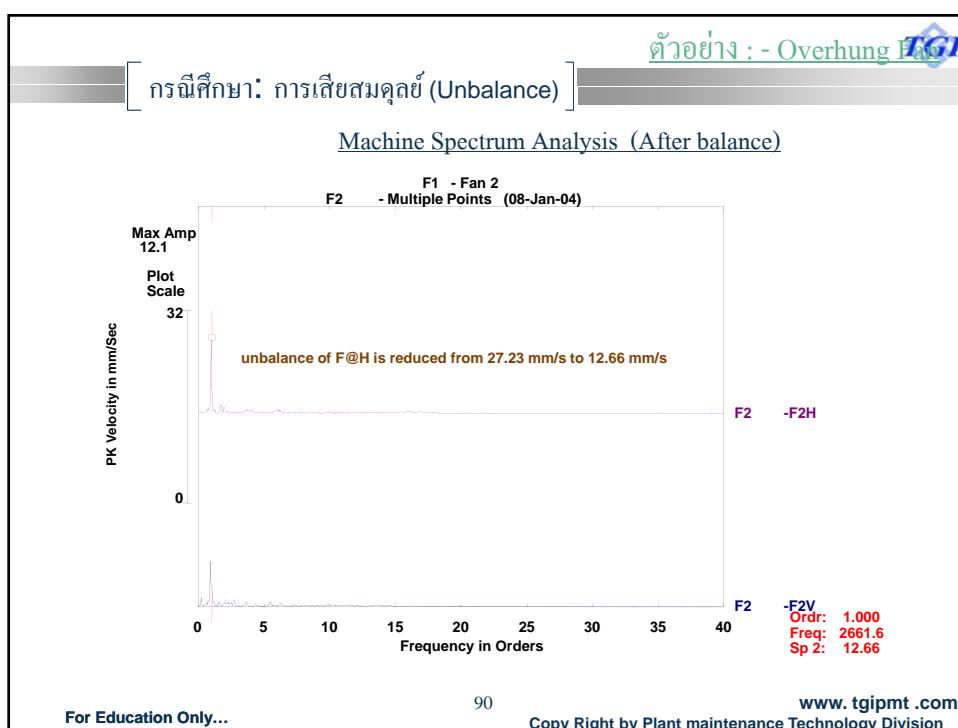
[กรณีศึกษา: การเสียสมดุลย์ (Unbalance)]

Summary Data

Unbalance Vibration (1xTS vibration)	Horizontal	Vertical	Unit (RMS)
First Measurement:			
F1- Outboard bearing	3.7	4.7	mm/sec
F2-Outboard bearing	7.1	7.9	mm/sec
Note: The faults are mixed between imbalance, belt tension, and looseness			
First Measurement (after adjusted belt tension):			
F1- Outboard bearing	2.3	5.1	mm/sec
F2-Outboard bearing	27.23	17.8	mm/sec
Third Measurement (1st balance) :			
F1- Outboard bearing	3.3	3.1	mm/sec
F2-Outboard bearing	12.66	9.6	mm/sec

For Education Only... 89 www.tgipmt.com
Copy Right by Plant maintenance Technology Division

Only for Education Purpose



ตัวอย่าง : - Overhung Fan

กรณีศึกษา: การเสียสมดุลย์ (Unbalance)

Machine Picture

For Education Only... 91 www.tgipmt.com
Copy Right by Plant maintenance Technology Division

Only for Education Purpose

TGI

กรณีศึกษา: ความเสียหายด้านลูกปืน

ลักษณะความผิดปกติที่เกิดภายในลูกปืน

Ball Spin Frequency Outer Race (BPFO)
Outer ring
Seal
Inner ring
Guide ring
Cage
Ball Spin Frequency (BSF)
Rolling elements
Fundamental Train Frequency (FTF)

For Education Only... www.tgipmt.com
Copy Right by Plant maintenance Technology Division

[กรณีศึกษา: ความเสียหายตับลับลูกปืน]

เราจะหาความถี่เหล่านี้ได้จากที่ใด ?

	FTF	BSF	BPFO	BPFI

ตารางจากผู้ผลิต Bearing

Bearing Type	No. of Balls or Rollers	FTF	BSF	BPFO	BPFI
ICR 2318	15	412	2366	6111	8329
TOR 23302	14	407	2507	5703	8397
TOR 23314	15	411	2619	6160	8398
TOR 23305	14	407	2516	5700	8399
TOR 23308	14	409	2574	5726	8374
TOR 23310	15	410	2601	6149	8350

Order

For Education Only...

การคำนวณ

$$FTF = \left(\frac{\Omega}{2} \right) \left[1 - \left(\frac{B}{P} \right) \cos CA \right]$$

$$BPFI = \left(\frac{N}{2} \right) \Omega \left[1 + \left(\frac{B}{P} \right) \cos CA \right]$$

$$BPFO = \left(\frac{N}{2} \right) \Omega \left[1 + \left(\frac{B}{P} \right) \cos CA \right]$$

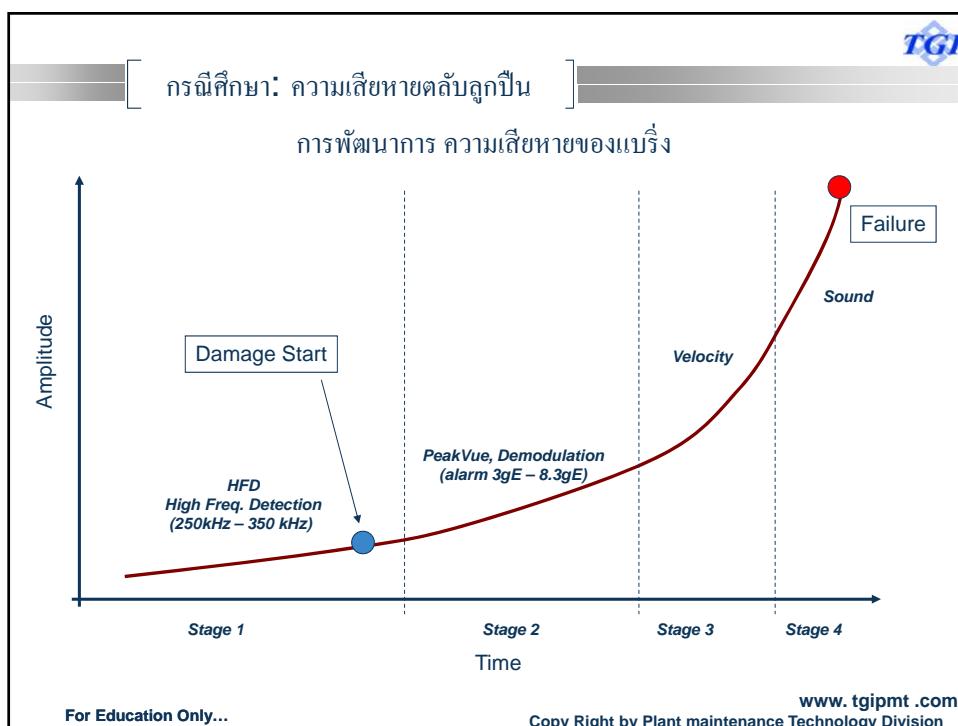
$$BSF = \left(\frac{P}{2B} \right) \Omega \left[1 + \left(\frac{B}{P} \right)^2 \cos^2 CA \right]$$

CA = Contact angle
 Ω = Machine Speed
 N = Number of rolling elements
 P = pitch diameter, mm
 B = Ball or Roller diameter, mm

CPM

www.tgipmt.com
Copy Right by Plant maintenance Technology Division

Only for Education Purpose



[กรณีศึกษา: ความเสียหายต้นลูกปืน]

ตัวอย่าง: เครื่องจักร Booster Vacuum Pump

AC มอเตอร์ 22 กิโลวัตต์ หมุนด้วยความเร็ว **965 rpm**
มีเบร็งด้าน NDE 6310 2Z, DE 6312 2Z

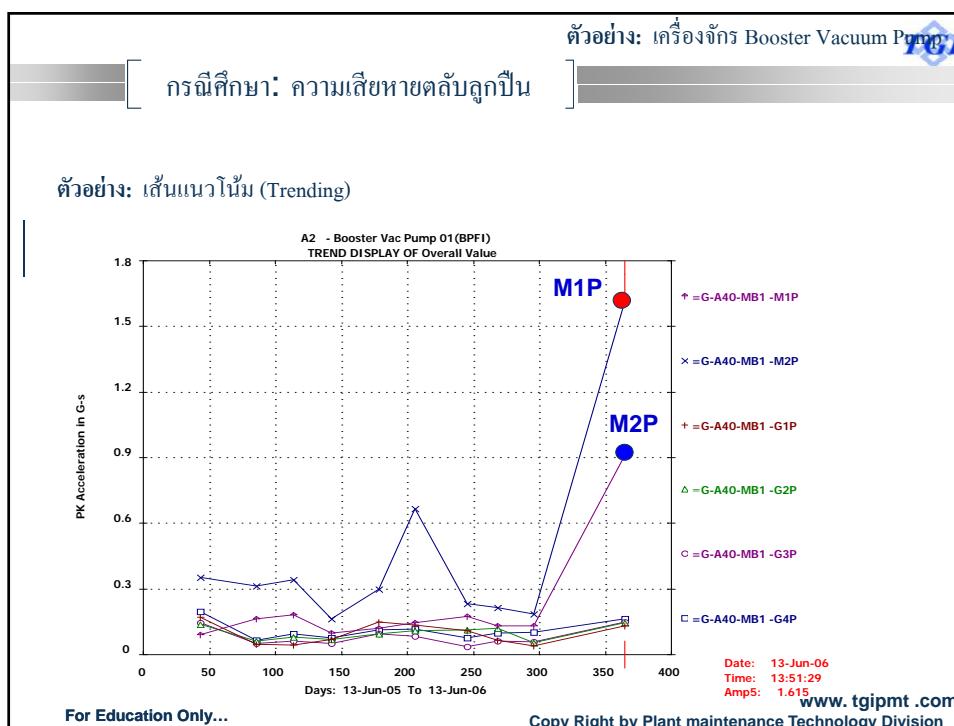
ต่อค้ำย **Belt Coupling**

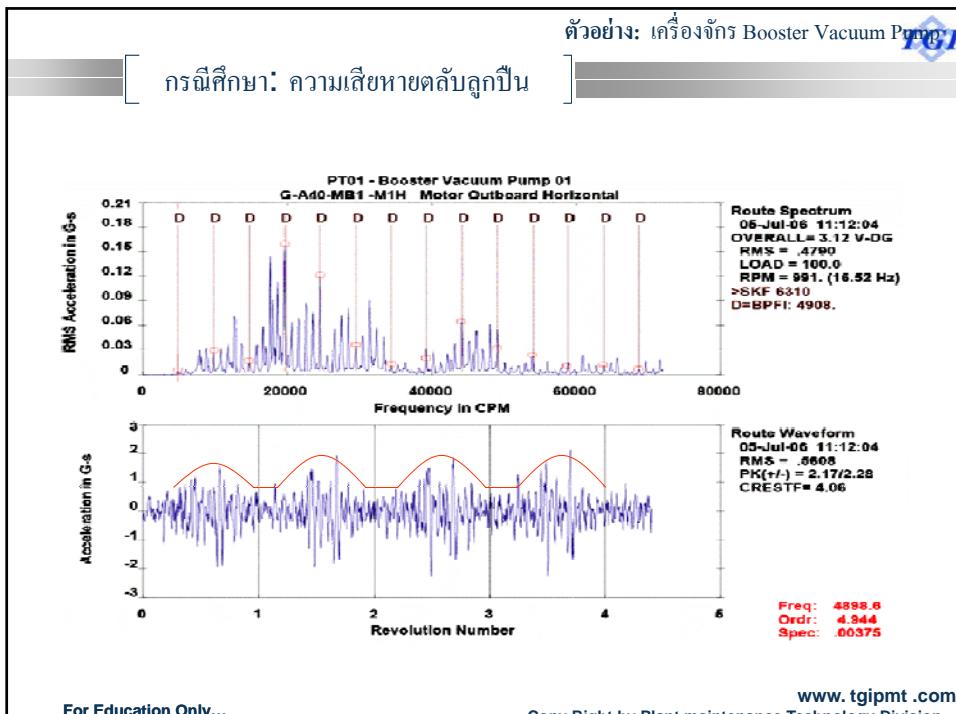
กับ บ้ม โดยบ้ม มีความเร็วเท่ากับ
850 rpm มีเบร็งด้าน NDE 6314, DE NU314

ปัญหา: เมื่อจากเครื่องจักรมีการเก็บข้อมูลการสั่นสะเทือน ทุกวันเดือน
พบว่ารันที่ 13 กรกฎาคม 2006 ค่า peakvue ด้านมอเตอร์มีค่าสูงขึ้น

For Education Only... www.tgipmt.com
Copy Right by Plant maintenance Technology Division

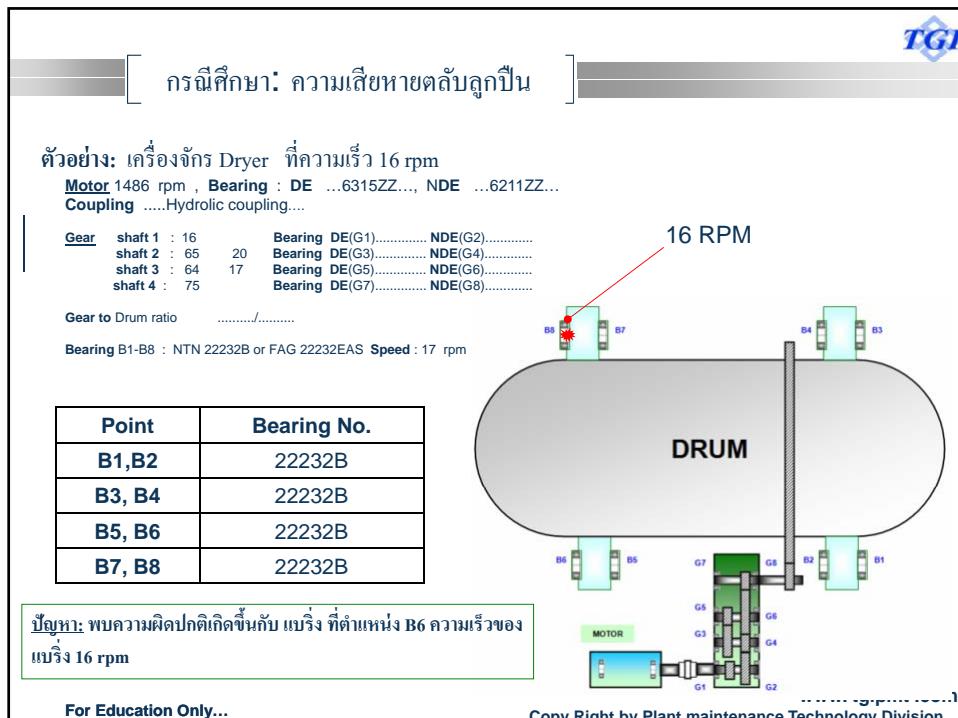
Only for Education Purpose



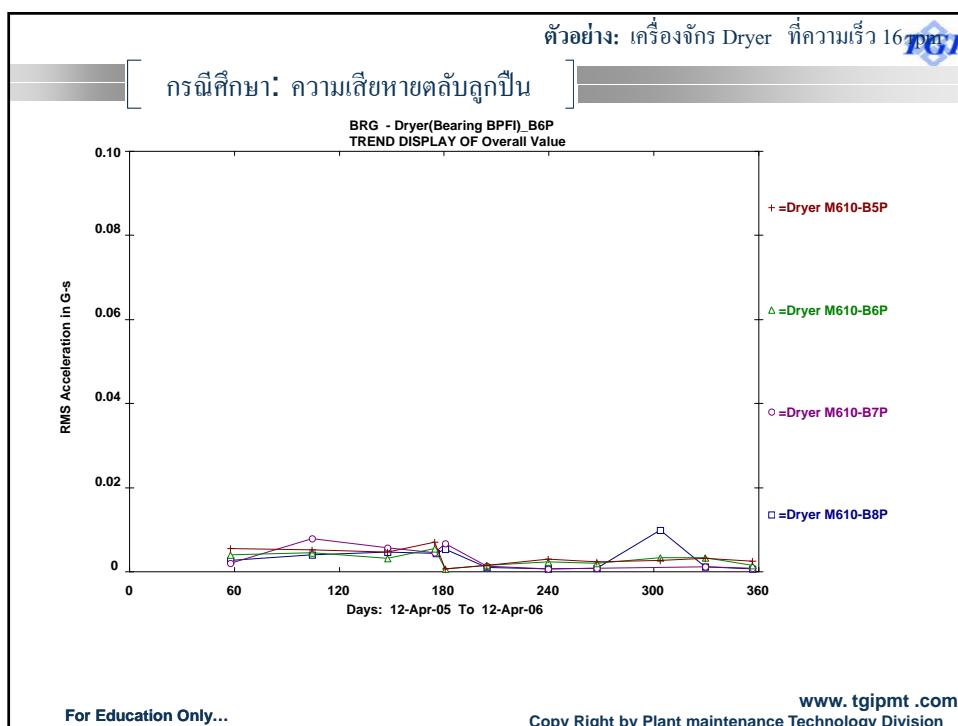


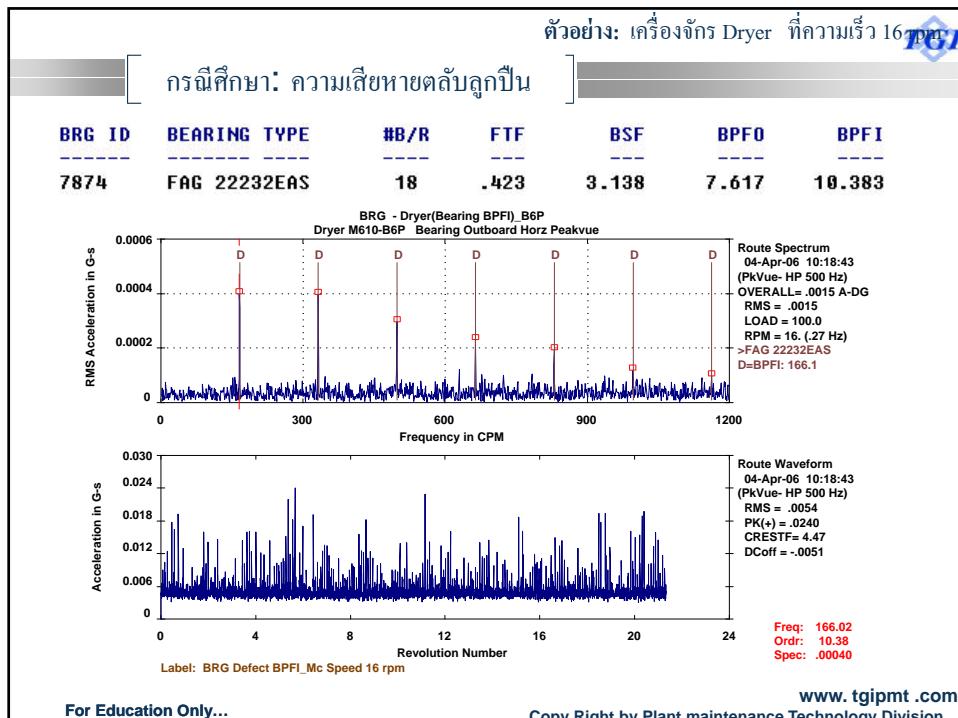
Only for Education Purpose



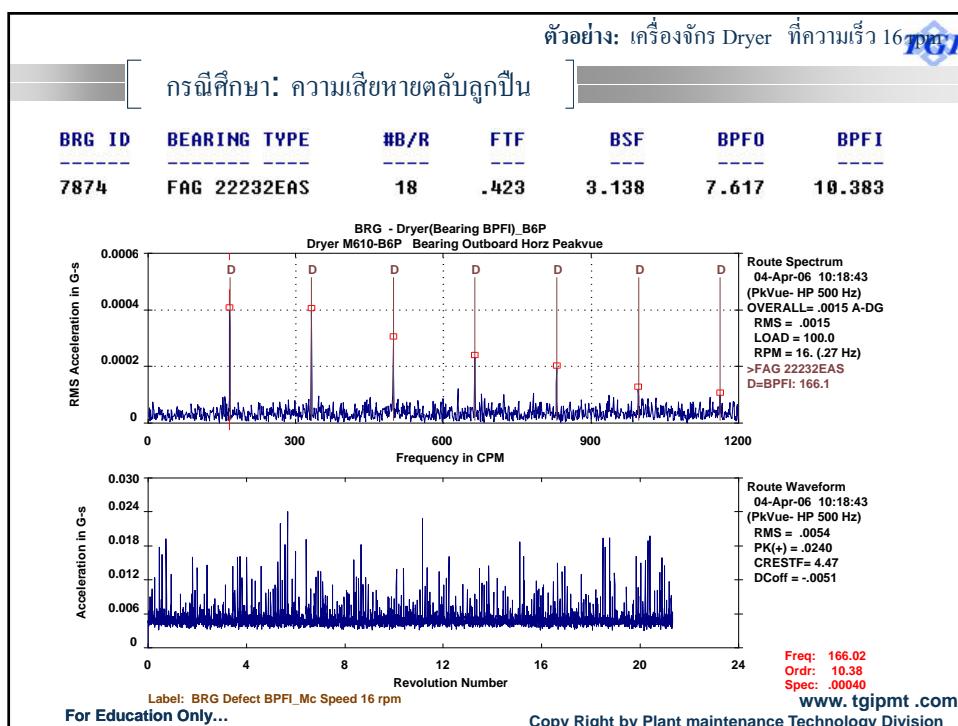


Only for Education Purpose





Only for Education Purpose



ตัวอย่าง: เครื่องจักร Dryer ที่ความเร็ว 16 TGI

กรณีศึกษา: ความเสียหายลับลูกปืน



For Education Only...

www.tgipmt.com
Copy Right by Plant maintenance Technology Division**Only for Education Purpose**

กรณีศึกษา: gear box

TGI

Spur Gear



Helical Gear



Bevel Gear



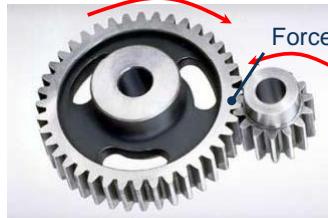
Worm Gear

www.tgipmt.com
Copy Right by Plant maintenance Technology Division



[กรณีศึกษา : gear box]

การวัดการสั่นสะเทือน ตรวจสอบความคิดป กติยะไร้ได้บ้าง สำหรับ ชุดเกียร์



Spur Gear

แรงกระทำ **F** คือ แรงนึ่งจาก การดันกันของฟันเกียร์ ถ้าเกียร์มีการชนกันอย่างปะติดปะพะ แรง ผลักหรือดันกันท่านั้นย่อมไม่มีการเกิด การลื่นไถลของฟันเกียร์ถ้าเกียร์มีการลื่นไถล หมายความว่า เกิดช่องว่างระหว่าง พื้นที่ กับ พื้นของชุดตามกล่าวคือ เกียร์เริ่มมีการสึกหรอเกิดขึ้นนั่นเอง

For Education Only...

www.tgipmt.com
Copy Right by Plant maintenance Technology Division

Only for Education Purpose

เครื่องจักร Roll 04

[กรณีศึกษา : gear box]

เครื่องจักร Roll 04

ความเร็วรอบเดือน

SIEMANS; DC Motor 85 KW; 1460 RPM; IP: 23; Arm. Volt 400 V; Arm. Current 230A; Field Volt 310 V; Field Current 4.9 A Insulation Class: F; S/N:

Calender Spur Gearing

Type FCSR 300 – IV/4 kA

1st Shaft IB BRG: 22310, OB BRG: 23311

Gear Teeth: ____

2nd Shaft IB BRG: 23314, OB BRG: 23314

Gear Teeth I/P: 61; Gear Teeth O/P: ____

3rd Shaft IB BRG: 23222, OB BRG: 23222

Gear Teeth I/P: 72; Gear Teeth O/P: ____

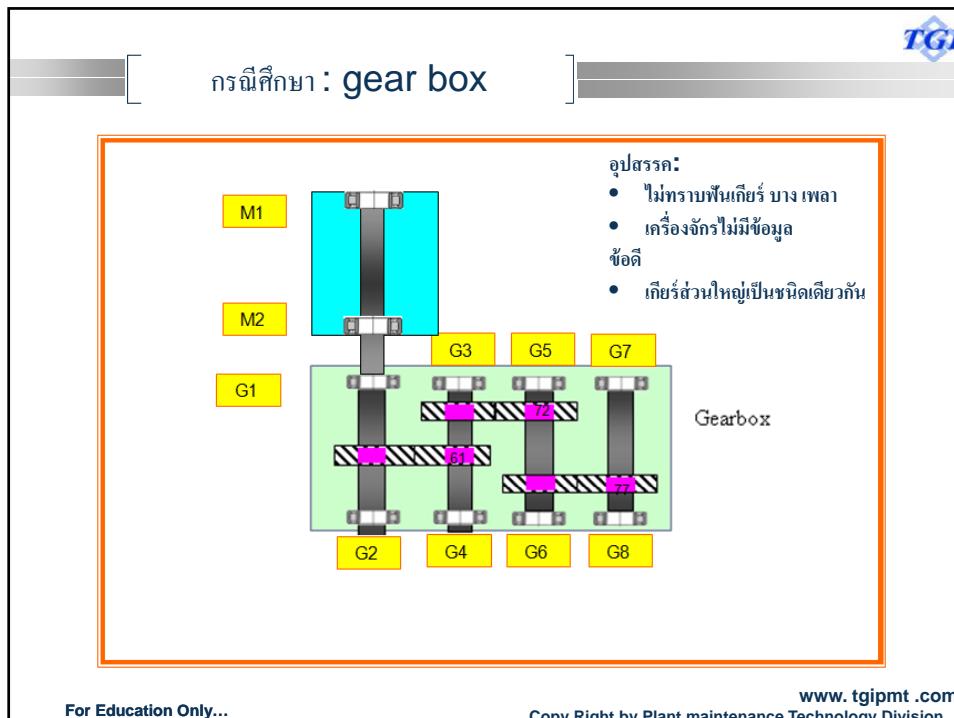
4th Shaft IB BRG: 22224, OB BRG: 23030

Gear Teeth I/P: 77

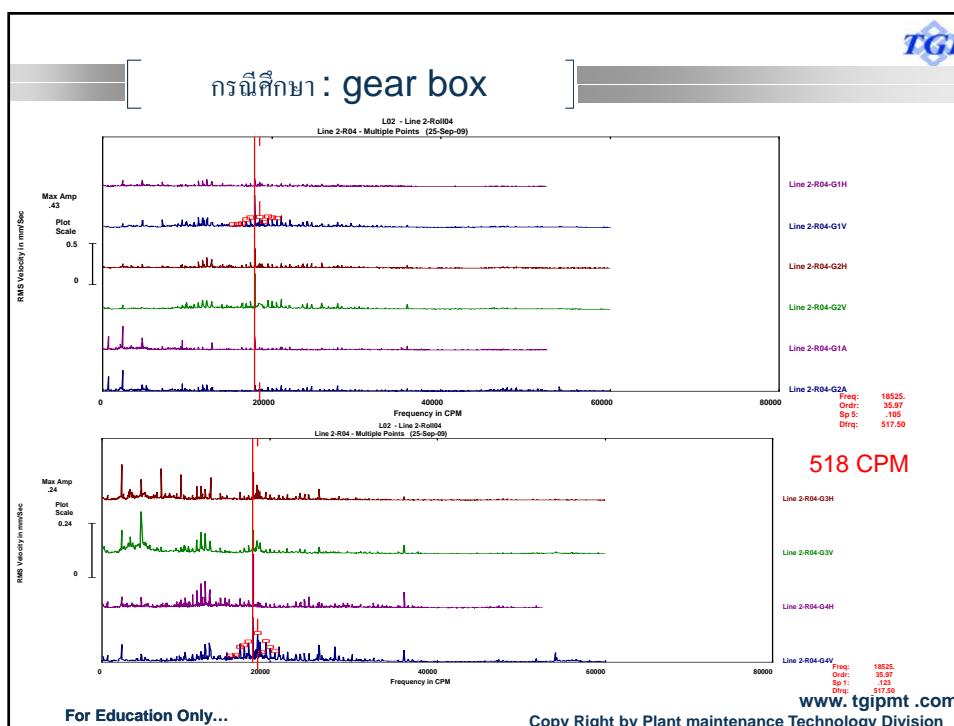


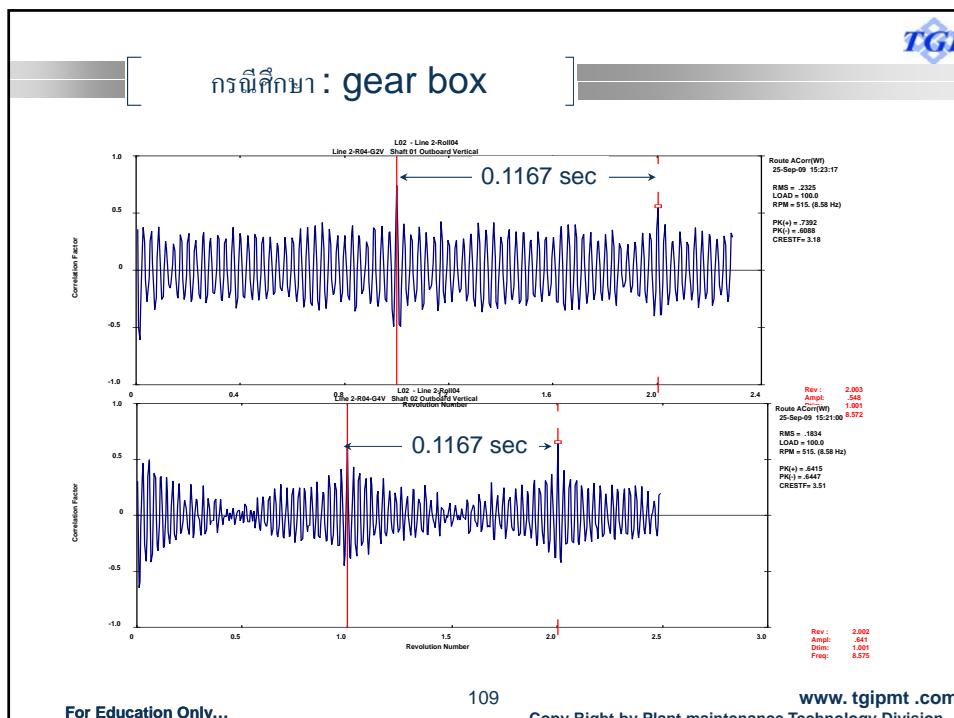
For Education Only...

106
www.tgipmt.com
Copy Right by Plant maintenance Technology Division

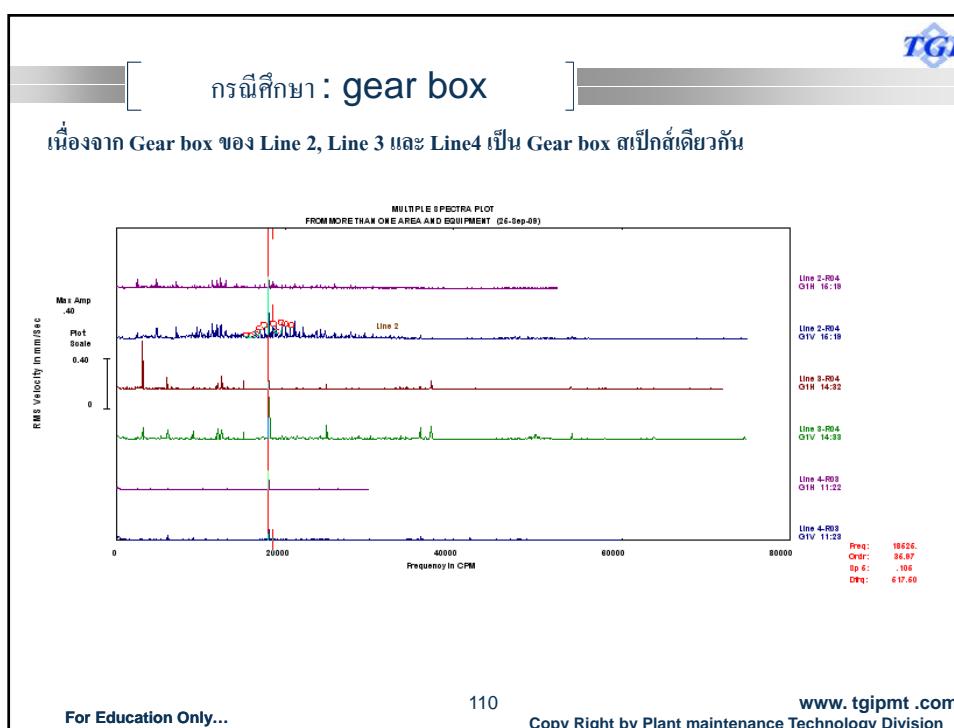


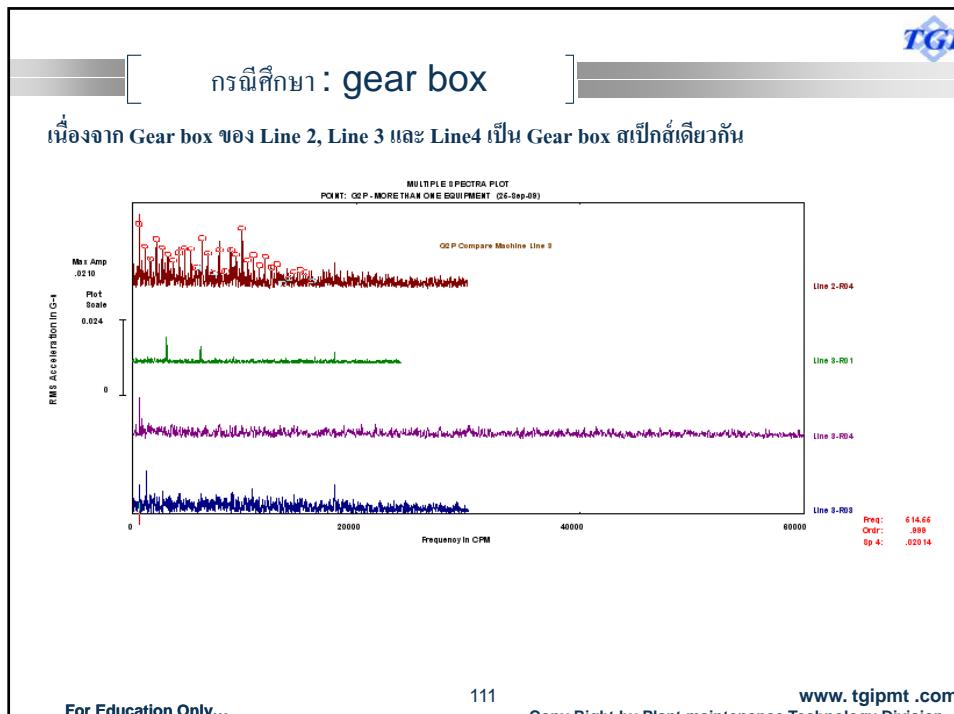
Only for Education Purpose



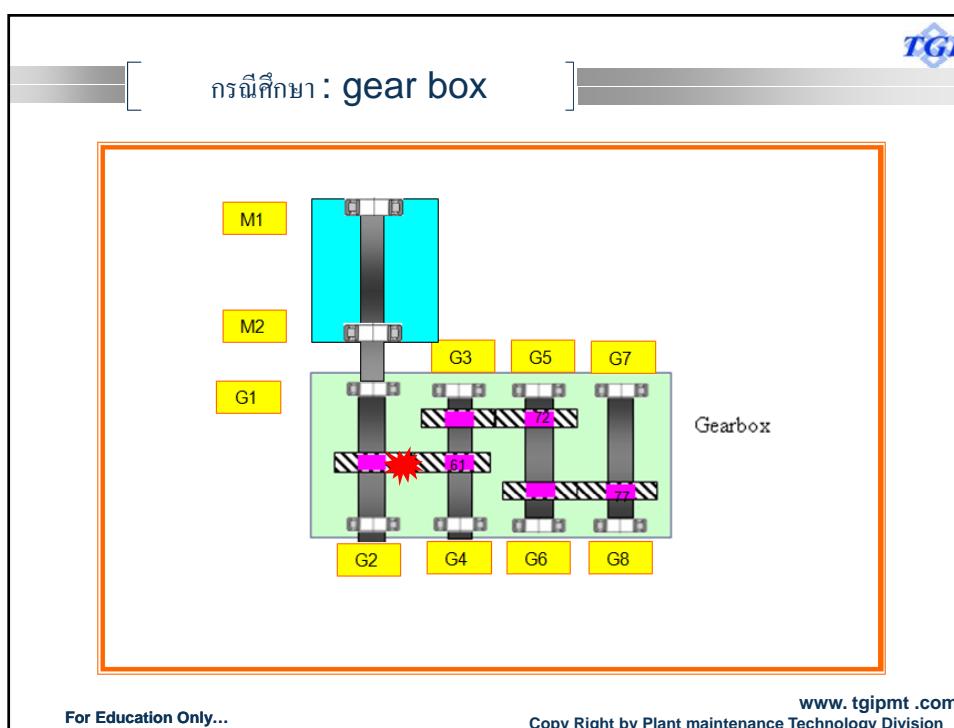


Only for Education Purpose

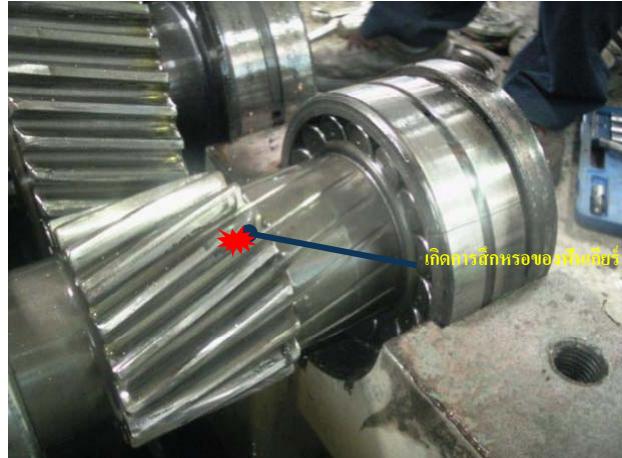




Only for Education Purpose



กรณีศึกษา : gear box



เกิดการลอกหัวของฟันเกียร์

For Education Only...

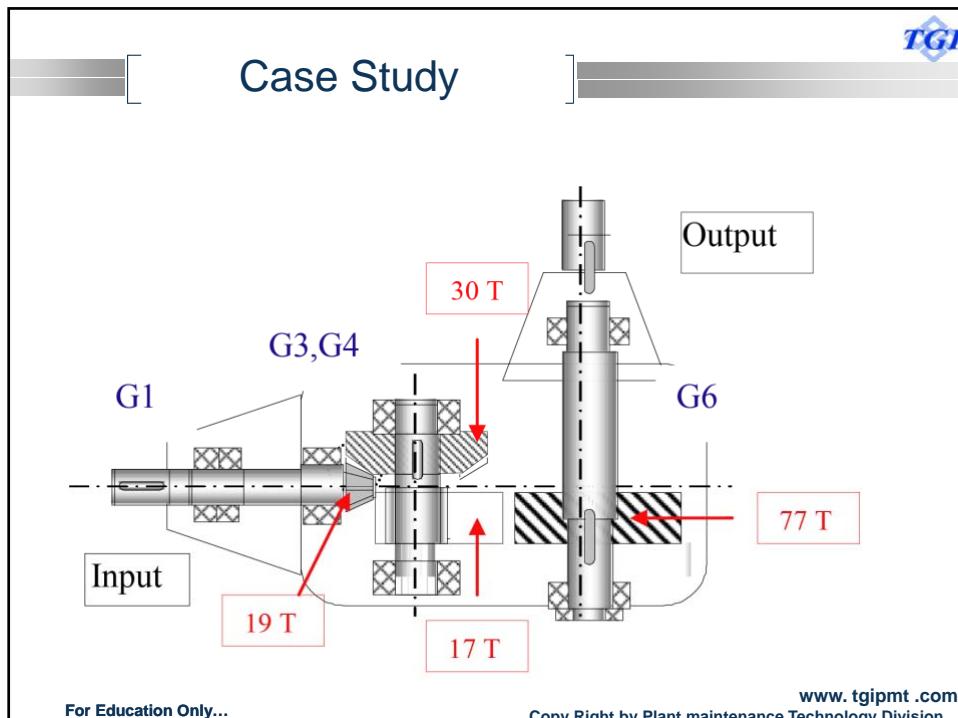
www.tgipmt.com
Copy Right by Plant maintenance Technology Division**Only for Education Purpose**

Case Study

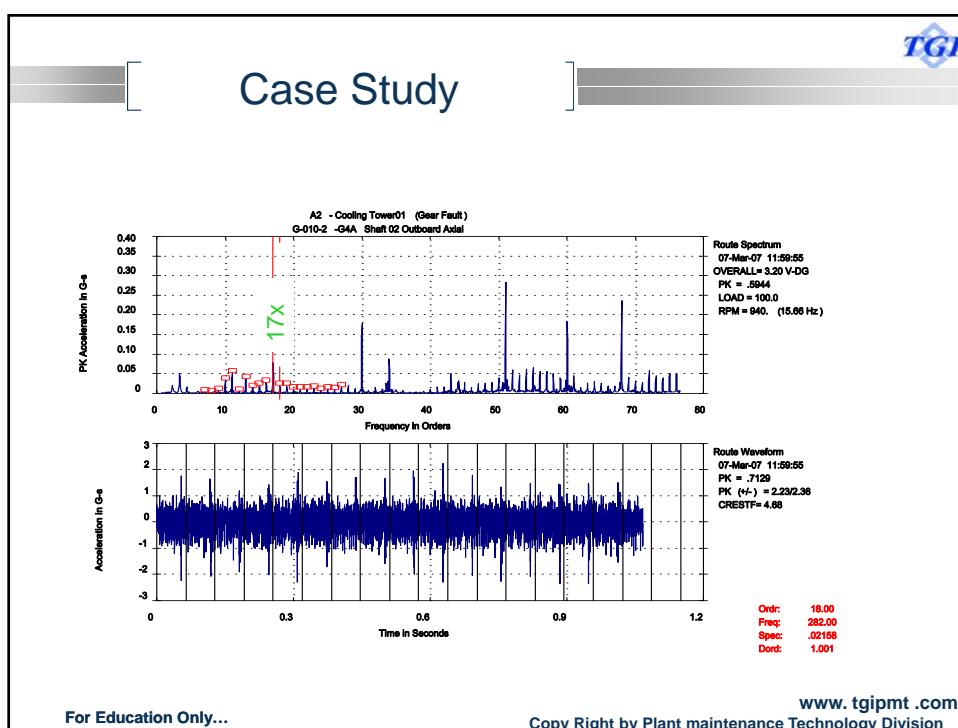
เครื่องจักร Cooling Tower
ทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนที่ Gear Box

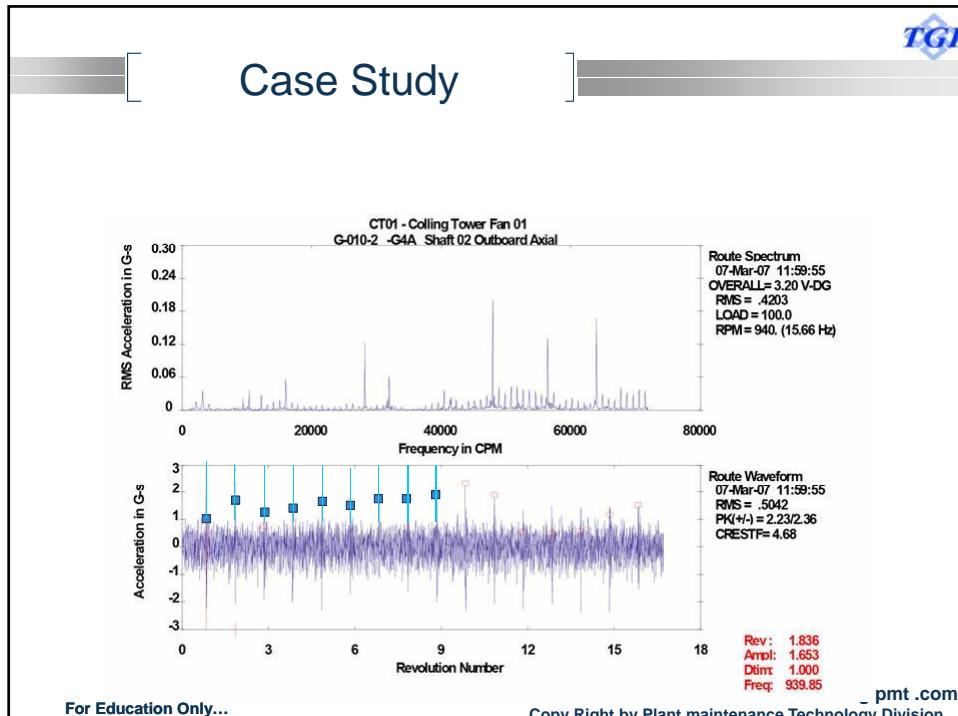
For Education Only...

www.tgipmt.com
Copy Right by Plant maintenance Technology Division



Only for Education Purpose





Only for Education Purpose



TGI

ความถี่ธรรมชาติของเครื่องจักร, ปรากฏการณ์ Resonance และการตรวจสอบ

Definition, by Vibration Institute, USA (www.vibinst.org)

Natural Frequency

The frequency of oscillation of the free vibration of a system if no damping were present. For a single -degree-of-freedom, the natural frequency.

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} , \text{ Hz}$$

where k is spring constant(kg/sec²)and m is the mass (kg)

Resonance

When a forcing frequency is the same as resonant frequency of the structure, the structure is said to be resonance.

Resonance = vibration at natural frequency

For Education Only... www.tgipmt.com
Copy Right by Plant maintenance Technology Division

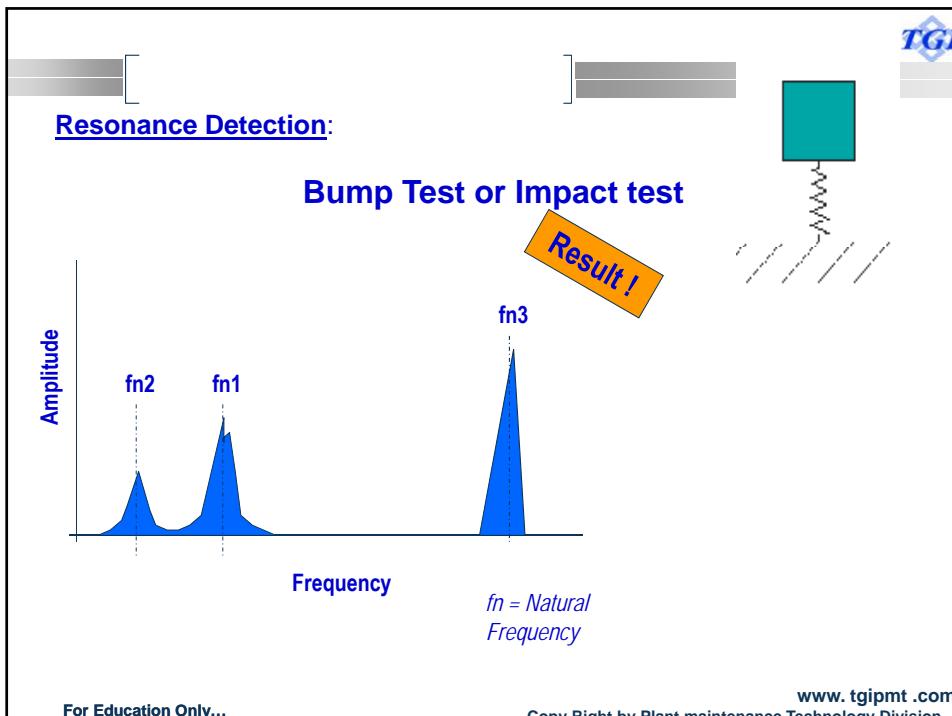
Only for Education Purpose

ความถี่ธรรมชาติของเครื่องจักร, ปรากฏการณ์ Resonance และการตรวจสอบ

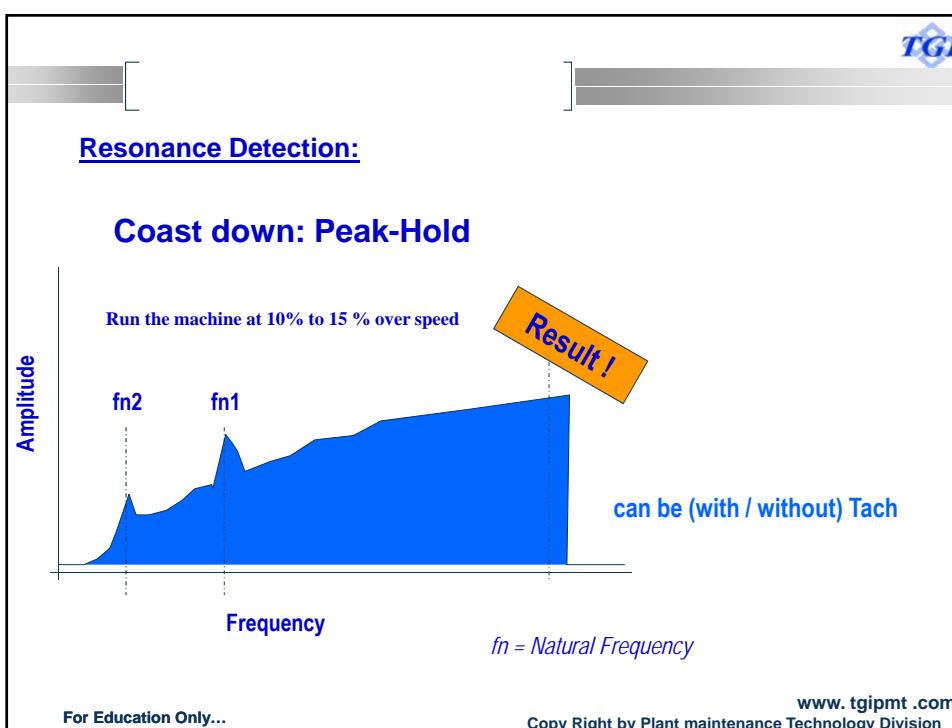
Natural Frequency + Vibration → Resonance!

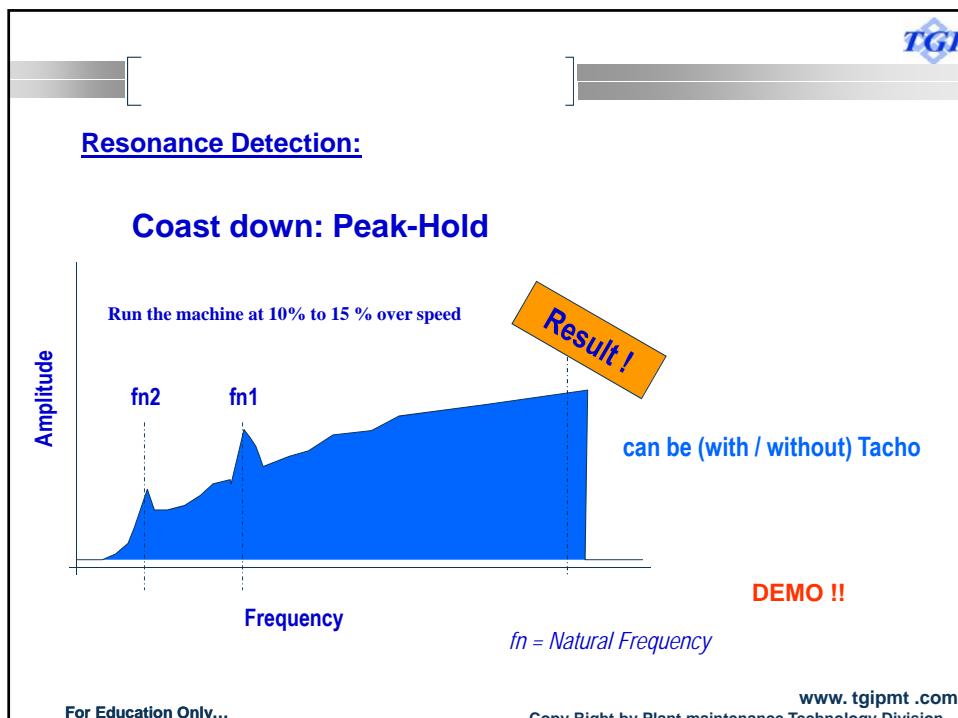
www.tgipmt.com
Copy Right by Plant maintenance Technology Division

For Education Only...



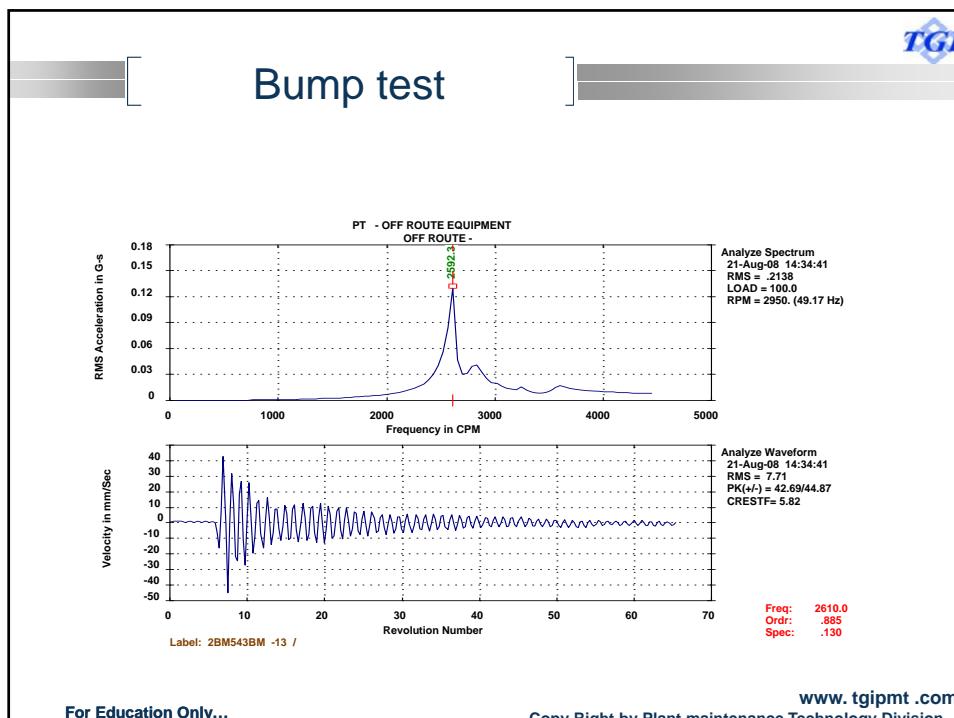
Only for Education Purpose



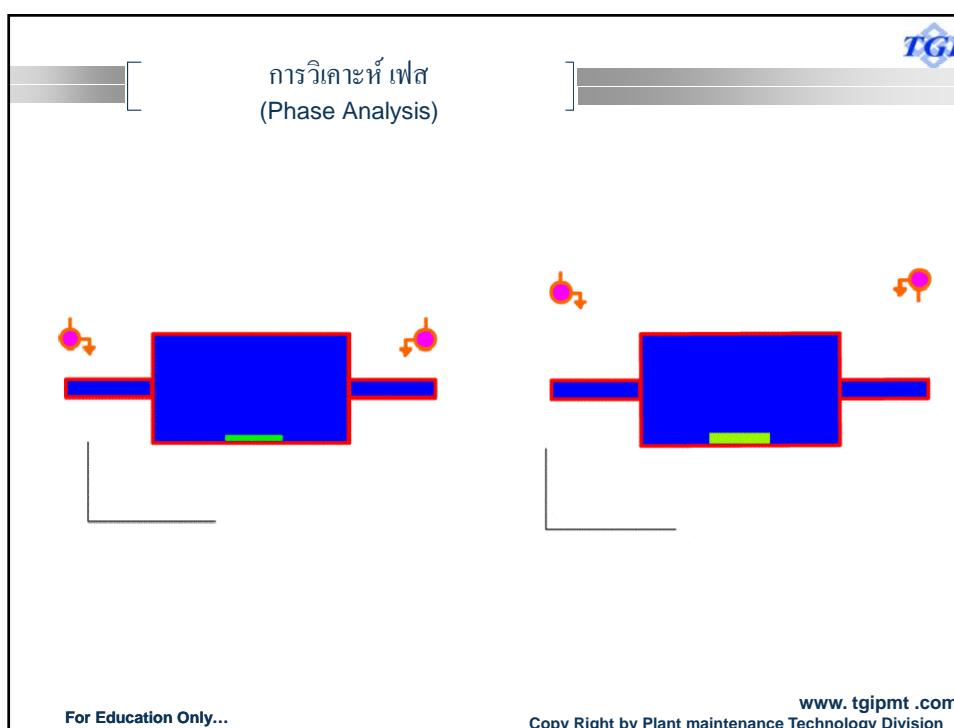


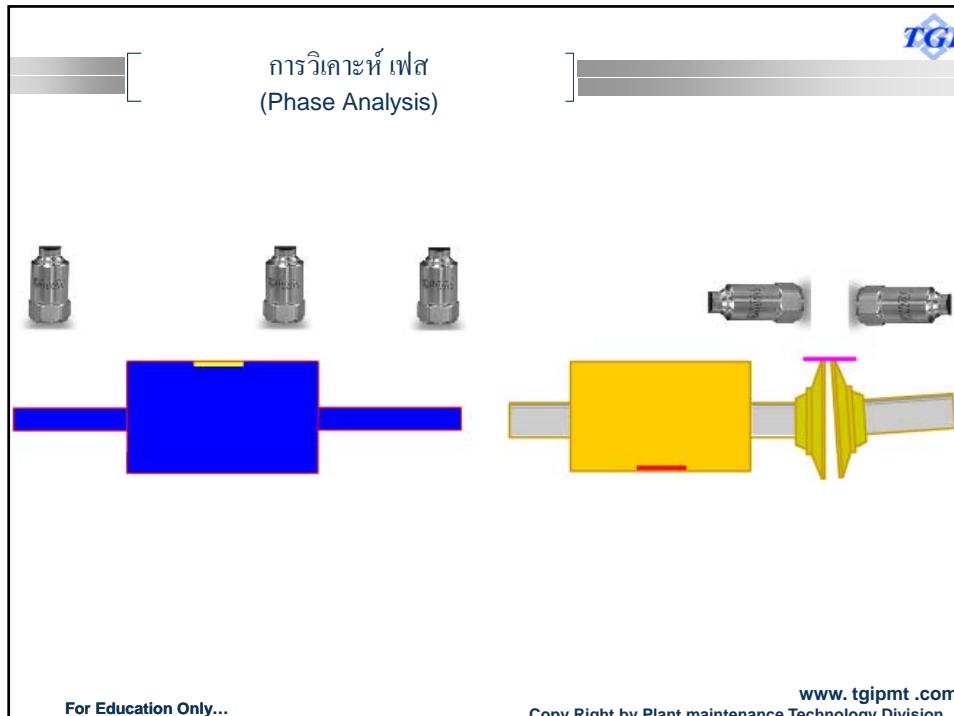
Only for Education Purpose





Only for Education Purpose





Only for Education Purpose

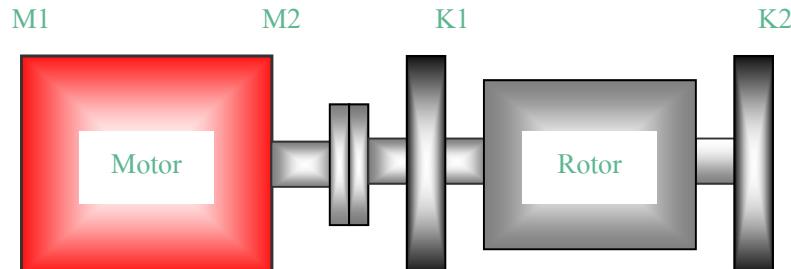
[กรณีศึกษาการวิเคราะห์ เฟส]

Motor 2889 rpm ...5.5.kw ...380....Volt ...10.9...Amp
Bearing DE NDE
Coupling -
Drum :Bearing DE...1210EKTN.... Bearing NDE ...1210EKTN

BRG ID	BEARING TYPE	#B/R	FTF	BSF	BPFO	BPFI
11517	SKF 1210EKTN	17	.426	3.276	7.243	9.757

For Education Only... www.tgipmt.com
Copy Right by Plant maintenance Technology Division

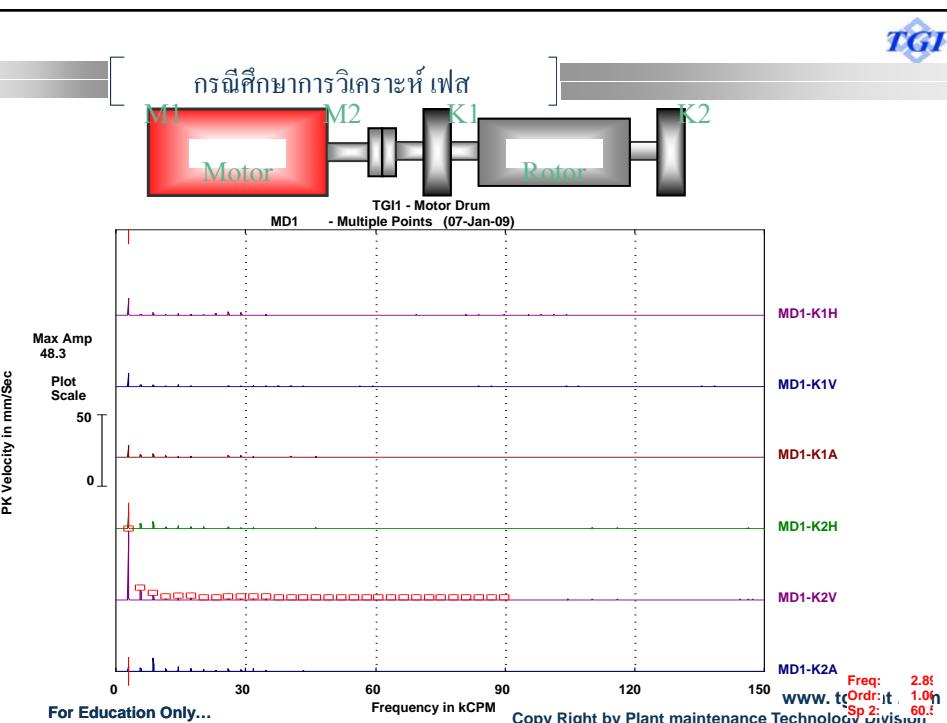
กรณีศึกษาการวิเคราะห์ เพส

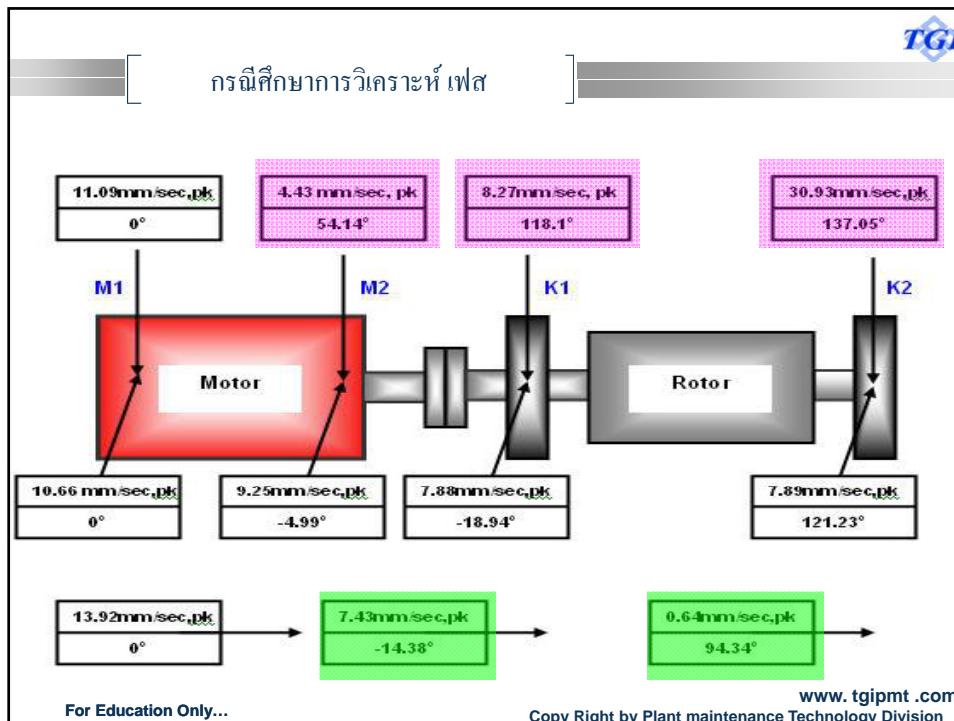


For Education Only...

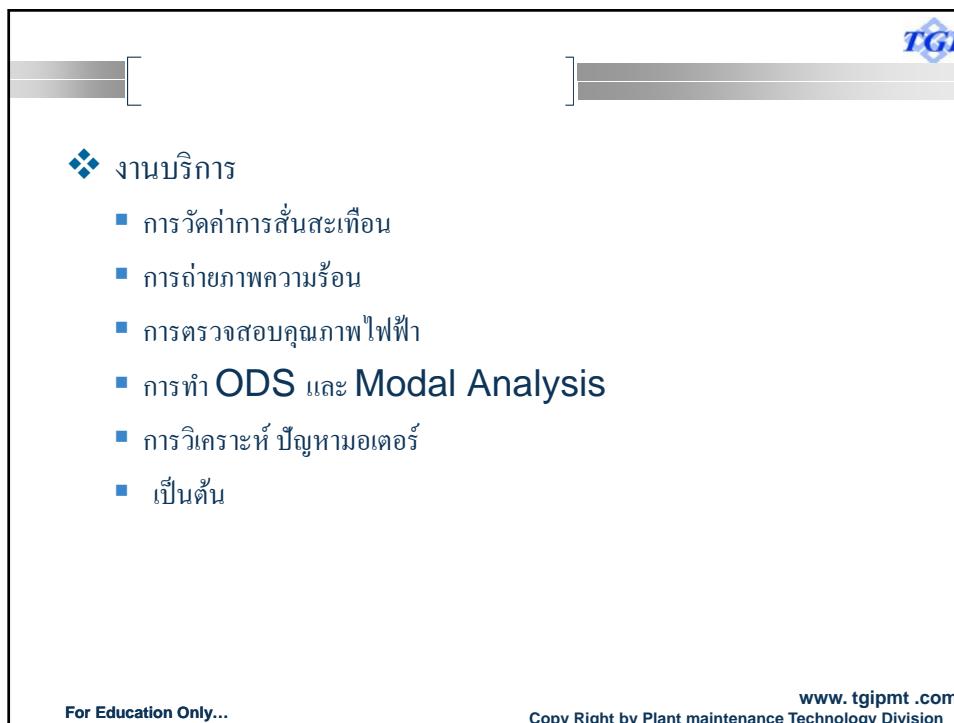
www.tgipmt.com

www.tqipmt.com





Only for Education Purpose



Operation Defection Shape (ODS) & Modal

Top (+Z) CCF.SHP - (Shape 01) (x,y,z) 3DView CCF.SHP - (Shape 01) (x,y,z)

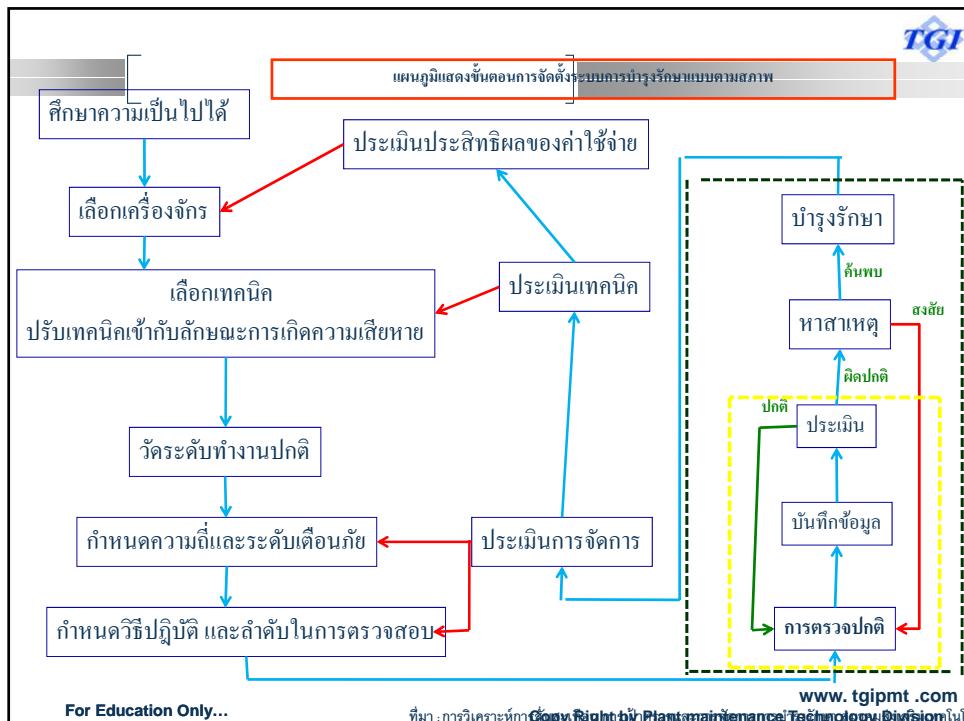
Front (+X) CCF.SHP - (Shape 01) (x,y,z) Right (+Y) CCF.SHP - (Shape 01) (x,y,z)

For Education Only... www.tgipmt.com
Copy Right by Plant maintenance Technology Division

Only for Education Purpose

Operational Defection Shape (ODS) & Modal

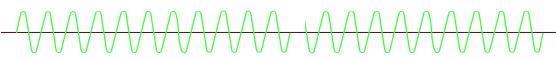
For Education Only... www.tgipmt.com
Copy Right by Plant maintenance Technology Division



Only for Education Purpose

Field Balancing

การถ่วงสมดุลย์บนเครื่องจักร (ภาคสนาม)



By

Thai - German Institute

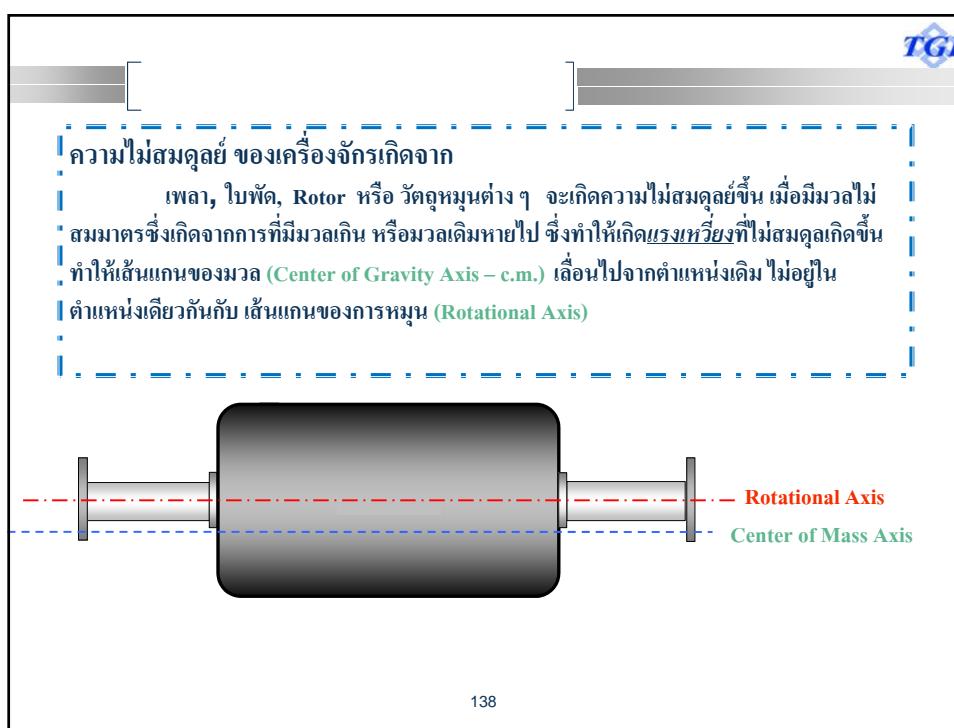
Sumate Auswasilawasukul

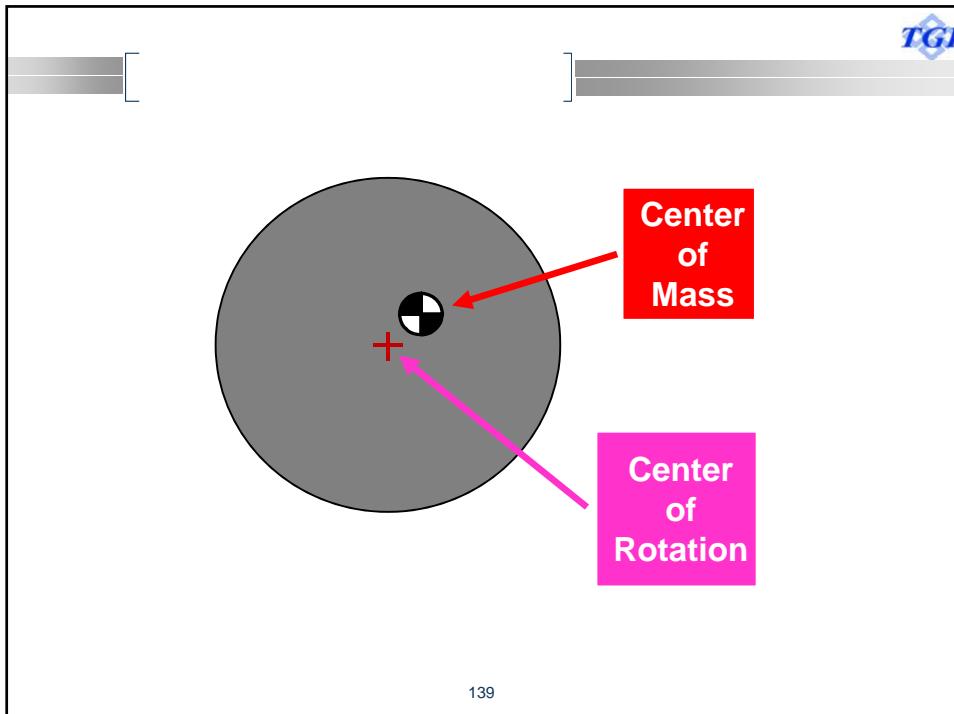
E-mail: sumate.a@tgi.or.th

136



Only for Education Purpose





Only for Education Purpose

Why Balance?

แกนการหมุนที่ไม่สมดุลจะเป็นสาเหตุให้เกิดการสั่นสะเทือน ความ
เค็มในแกนการหมุนและในส่วน ที่เป็นโครงสร้างที่ใช้รับแกนการหมุน
การทำสมดุลของแกนการหมุน เป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องทำเพื่อให้ได้รับ¹
ความสำเร็จ ในหนึ่งเดียวหรือมากกว่านั้น ดังด่อไปนี้

1. การเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์
2. การสั่นสะเทือนที่น้อยที่สุด
3. เสียง และสัญญาณ รบกวนน้อยที่สุด
4. ความน่ารำคาญและความเหนื่อยล้าของผู้ปฏิบัติงานน้อยที่สุด
5. อายุการใช้งาน Bearings นานมากขึ้น
6. สูญเสียพลังงาน และ กำลังน้อยที่สุด

140

TGI

ผลกระทบที่เกิดขึ้น จากการไม่สมดุล (Unbalance)

1. เกิดแรง Dynamic เป็น load แก่ Bearing
2. เกิดความล้าในชิ้นส่วน
3. ลดความสามารถของเครื่องจักร
4. เกิดความไม่สงบ
5. เกิดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์
6. เกิดเสียงดัง
7. เครื่องจักรมีอายุการใช้งานสั้นลง
8. เสียงต่อ การ **Breakdown** และ อันตราย





141

Only for Education Purpose

TGI

สาเหตุที่ทำให้เกิดความไม่สมดุลย์ ของเครื่องจักร

1. การออกแบบ และผลิต เช่น ความไม่สมมาตรของใบพัด, พื้นผิวของวัสดุความกลม
2. ความนกพ่องในวัสดุ เช่น โครงสร้าง, ฟองอากาศ, ความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน, ความหนาแน่นของวัสดุ, ความหนาของชิ้นงาน
3. ความผิดพลาดในการประกอบ เช่น การหล่อ, การเชื่อม
4. ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเมื่อใช้งาน เช่น การสึกหรอ, การแตกหักของส่วนประกอบบางชิ้นส่วนของเครื่องจักร, การบิน, การสะท้อนของเสียงวัสดุ, การเปลี่ยนรูปร่างเมื่อใช้งาน หรือเมื่อมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพเดิม

142

ประเภทของการไม่สมดุล

ลักษณะของการไม่สมดุลแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ

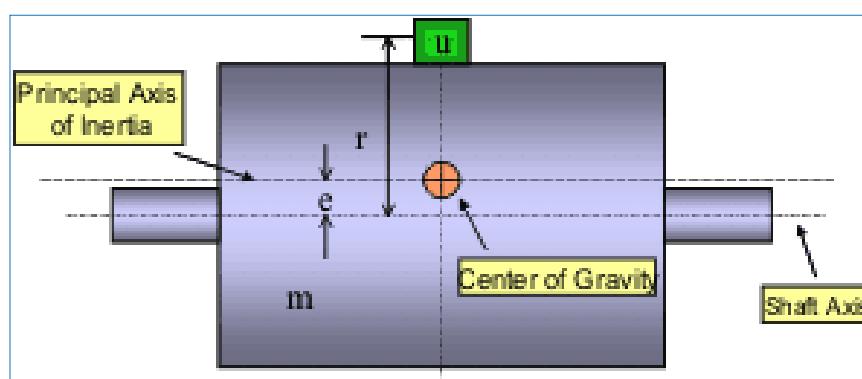
1. การไม่สมดุลแบบสถิติ (Static Unbalance)
2. การไม่สมดุลแบบคู่ความ (Couple Unbalance)
3. การไม่สมดุลแบบพลศาสตร์ (Dynamic Unbalance)

143

Only for Education Purpose

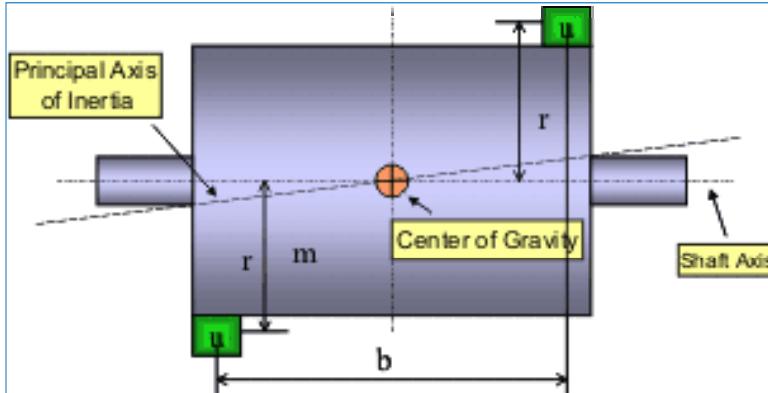
ประเภทของการเสียสมดุล

1. การไม่สมดุลแบบสถิติ (Static Unbalance) เกิดขึ้นเมื่อ เส้นแกนของมวล ขนานกับ เส้นแกนของการหมุน



144

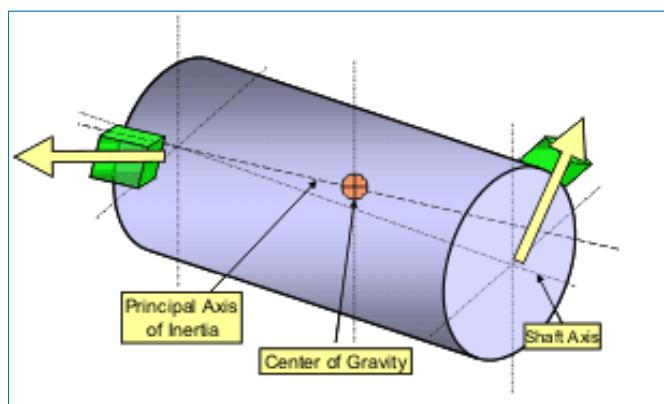
2. การไม่สมดุลแบบคู่ความ (Couple Unbalance) เกิดขึ้นเมื่อ เส้นแกนของมวล ตัด กับเส้นแกนของการหมุน



145

Only for Education Purpose

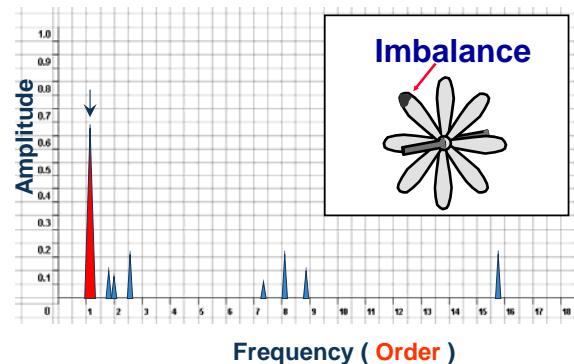
3. การไม่สมดุลแบบพลศาสตร์ (Dynamic Unbalance) เกิดขึ้นเมื่อ เส้นแกนของ มวล ไม่平衡 และ ไม่ตัดกับเส้นแกนของการหมุน หรืออยู่ต่างระนาบกัน



146

ขั้นตอนในการถ่วงสมดุลบนเครื่องจักร

1. ทำการตรวจวัดอาการและความรุนแรงของการเสียสมดุล
2. ทำการแก้ไข หรือ กำจัดแรงหนีศูนย์



147

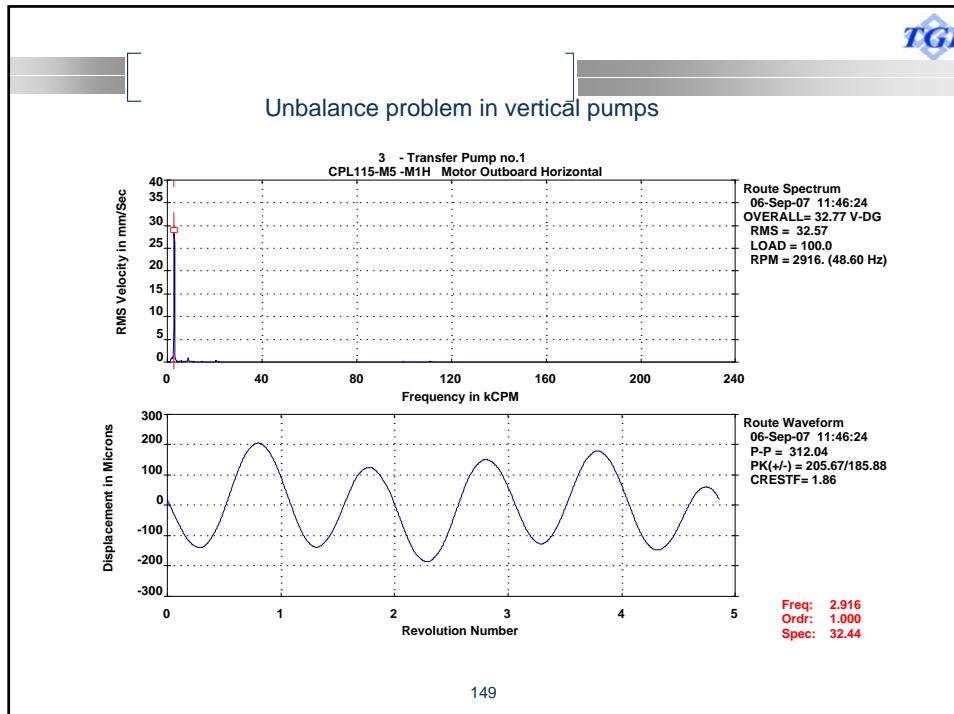
Only for Education Purpose

ลักษณะของ Spectrum ของเครื่องจักรที่เสียสมดุล

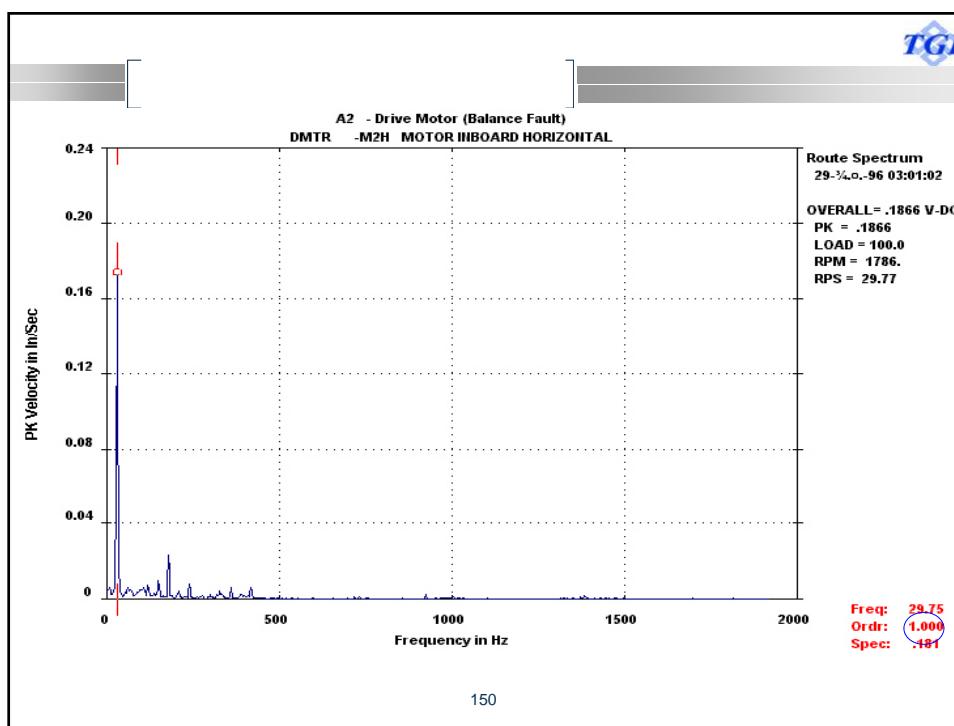
(Spectrum Characteristics of Unbalance)

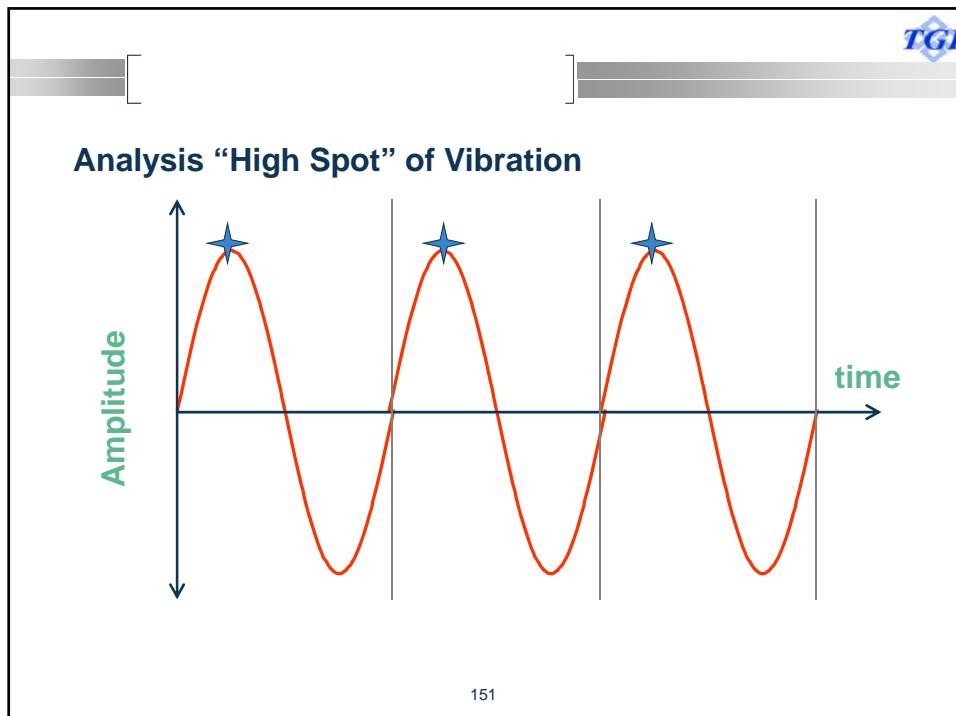
- High amplitude radial peaks at $1 \times$ shaft RPM
- Very low axial vibration levels at $1 \times$ shaft RPM
- Any harmonics of shaft RPM (integer multiples of shaft RPM) are very low in amplitude
- $1 \times$ order pattern significantly visible in the waveform (sinusoidal)
- If harmonics of shaft RPM have significant amplitude, other faults should be suspected

148



Only for Education Purpose





Only for Education Purpose



ประเภทของการถ่วงสมดุล

(Field Balance VS Shop Balance)

2. การทำการถ่วงสมดุลภาคสนาม หรือบนเครื่องจักร (Field Balancing)

คือ การถ่วงสมดุล ขึ้นส่วนหมุนของเครื่องจักร เช่น ใบพัด, Rotor, ปูเล่ย์, งานเกียร์ บนตัวของเครื่องจักรนั้น ๆ โดยไม่ต้องถอดออกจากนา อาจแยกเป็นวิธีการได้ ดังนี้

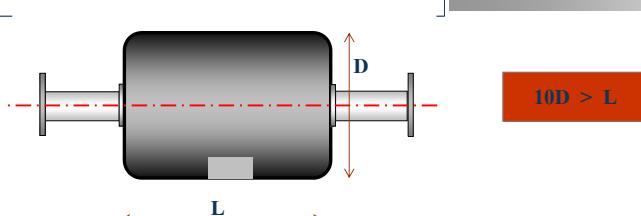
2.1 One - Plan Balancing

2.2 Two - Plan Balancing



153

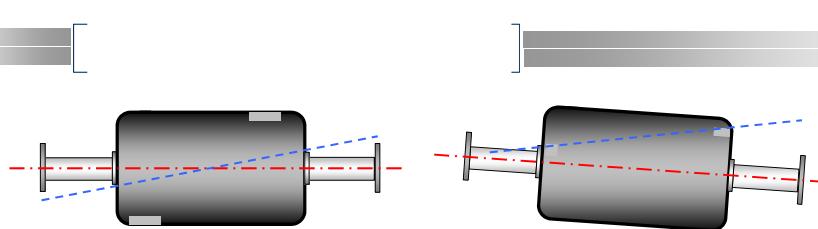
Only for Education Purpose



Static Balancing

วิธีการแก้ไขความไม่สมดุล สต็อก (Static Unbalancing) ที่นิยมมากที่สุด คือ การถ่วงสมดุล บนหน้าแบลนเดียว "Single-Plan Balancing" ซึ่งหมายความว่า ชิ้นส่วนที่มีลักษณะที่มีความหนาหรือยาว ไม่มาก หรือพวงจานหมุนต่าง ๆ (Disc-shaped rotor) เช่น ทัคลุม, ใบพัดของปั๊ม, ปูเล่ย์, งานเกียร์ ต่าง ๆ แล้วชิ้นส่วนของเครื่องจักรที่มีความหนาเกิน 10 เท่าของ เส้นผ่าศูนย์กลางขึ้นไป (ไม่น่าจะหลักสายตัว) เรายิ่งที่จะใช้วิธีการถ่วงสมดุล บน 2 หน้าแบลน เป็นวิธีการแก้ไข การเสียสมดุล

154



Dynamic Balancing

วิธีการที่เหมาะสมสำหรับการแก้ไขความไม่สมดุลย์แบบ Dynamic Unbalance รวมถึง Couple Unbalance คือการถ่วงสมดุลย์ 2 หน้าแปลน "Two-Plan Balancing" ซึ่งหมายความว่าหัวน้ำหนักทั้งสองข้างต้องมีความหนา หรือความยาวมาก ๆ เช่น ลูกกลิ้งต่าง ๆ ของ Spindle, Rotor bar เป็นต้น

155

Only for Education Purpose

ขั้นตอนการทำ Single - Plan Balancing

1. เลือกหน้าแปลนที่จะทำการถ่วงสมดุล ต้องเป็นแปลนที่สำคัญ และปลอดภัยต่อการทำงาน
2. เลือก จุด และทิศทางที่จะใช้วัดตรวจสอบ ควรจะเป็นตำแหน่ง Bearing ที่อยู่ใกล้หน้าแปลนที่เลือกที่จะถ่วงสมดุลมากที่สุด
3. การเลือก Vibration Sensor และตั้งค่าเครื่องมือให้ถูกต้อง
4. การกำหนดการหมุน, การติดตั้ง Tachometer
5. การเลือกความเร็วรอบ ต้องระวังเรื่องของ Resonance, Critical Speed



156

6. การเตรียมพร้อมเครื่องจักรก่อนการวัดค่า ต้องตรวจสอบ เรื่องความหลุมคลอน, Alignment ความผิดปกติอื่น ๆ รวมถึง Damping ต่าง ๆ บนเครื่องจักร

7. การ Trial และ Correction Weight

$$m_{\text{trial}} = 30 \frac{m_{\text{rotor}}}{r_{\text{trial}}}$$

m_{trial} = มวลของ Trial Weight, grams

m_{rotor} = มวลของ Rotor, kg.

r_{trial} = รัศมีของมวลที่จำทำ การทดสอบ, mm

8. ทำการวัด และ ถ่วงสมดุลเครื่องจักร

157

Only for Education Purpose

ก่อนการทำงาน

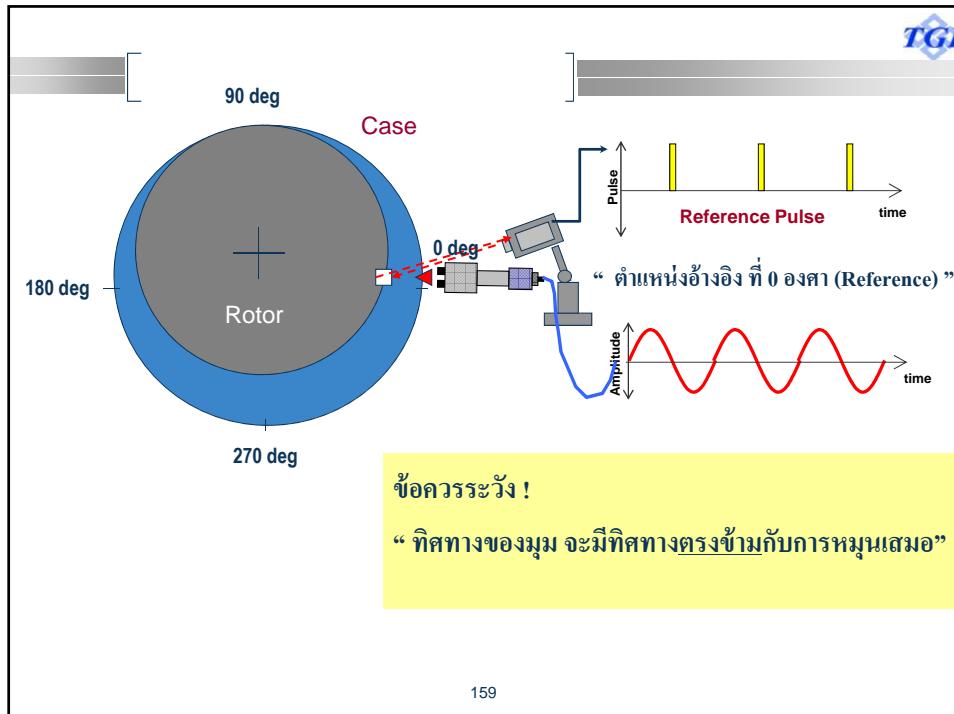
1. สำรวจสถานที่, ความปลอดภัย, และ กำหนดวิธีการทำงาน

2. ทำการสำรวจ และตรวจสอบหน้างานถึงความผิดปกติทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักร

3. ทำการตรวจสอบค่า unbalance



158



Only for Education Purpose



1. การ Balance ด้วยเครื่องมือ , โปรแกรมสำเร็จรูป



Only for Education Purpose

ขั้นตอนการทำ Balance ด้วยเครื่องมือ Analyzer , โปรแกรมสำเร็จรูป

1. สำรวจสถานที่, ความปลอดภัย, และ กำหนดวิธีการทำงาน
2. ทำการตรวจสอบค่า unbalance
3. ตรวจสอบ ทิศการวัดมุม :
4. ทำการวัด ค่า unbalance เริ่มต้น (Reference), Z_0
5. การทดสอบด้วยน้ำหนัก และการประมาณน้ำหนักที่จะใช้ และตรวจสอบค่าที่ได้ Z_1
6. ทำการติดตั้งมวลที่ใช้แก้ไข unbalance บนเครื่องจักร
7. ตรวจสอบค่าที่ได้ หลังการแก้ไข Z_0'
8. เปรียบเทียบผลที่ได้กับ Specification เพื่อตัดสินใจว่าจะ Trim Balance ต่อหรือไม่



Before we start

- ❖ Is imbalance the problem?
- ❖ Is the rotor clean?
- ❖ Thermal or load factors that could affect levels?
- ❖ Where are resonances what speed shall we balance at?
- ❖ Useful to know where weights will go for calculations.

163

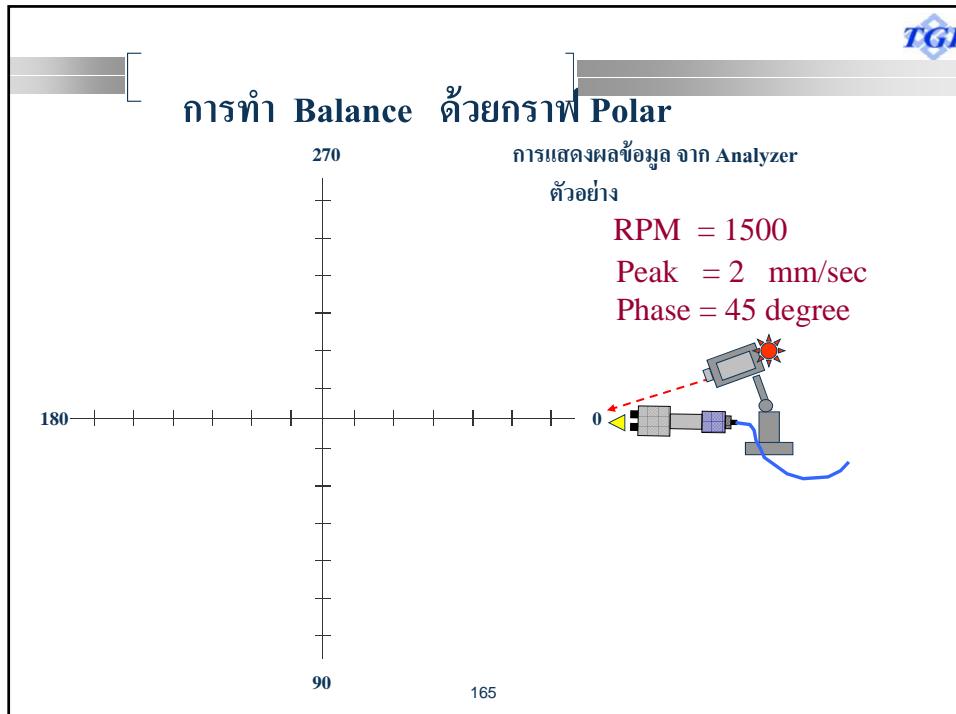
Only for Education Purpose



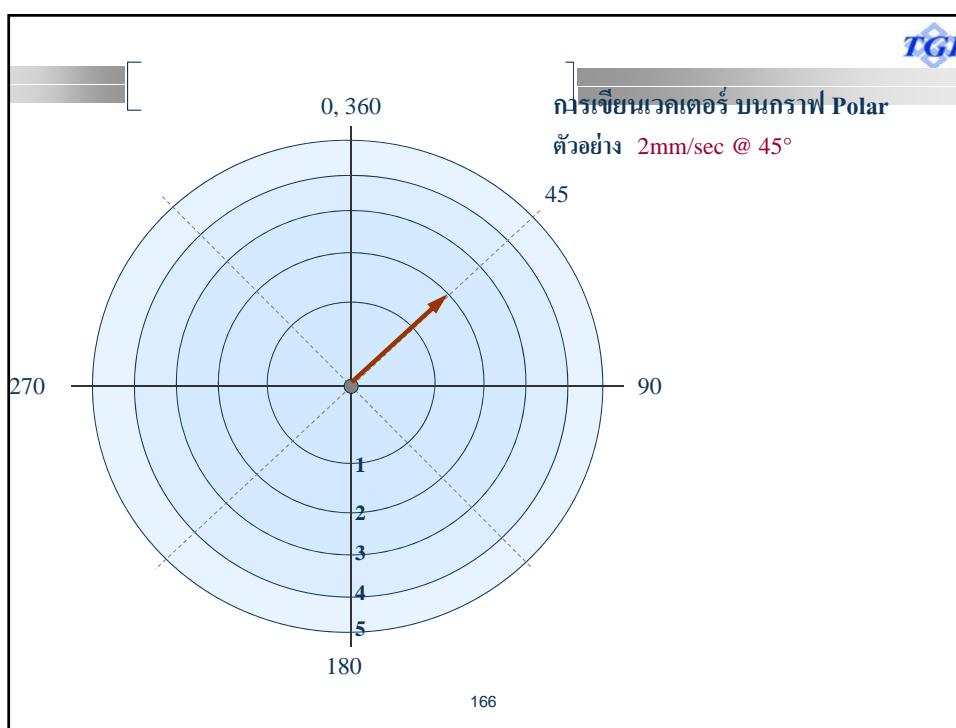
Vector Balancing Process

- ❖ Measure original condition amplitude and phase
- ❖ Put on a trial weight
- ❖ Measure response
- ❖ Calculate correct weight and location
- ❖ Verify amplitude

164



Only for Education Purpose





ขั้นตอนการทำ Balance ด้วยกราฟ Polar

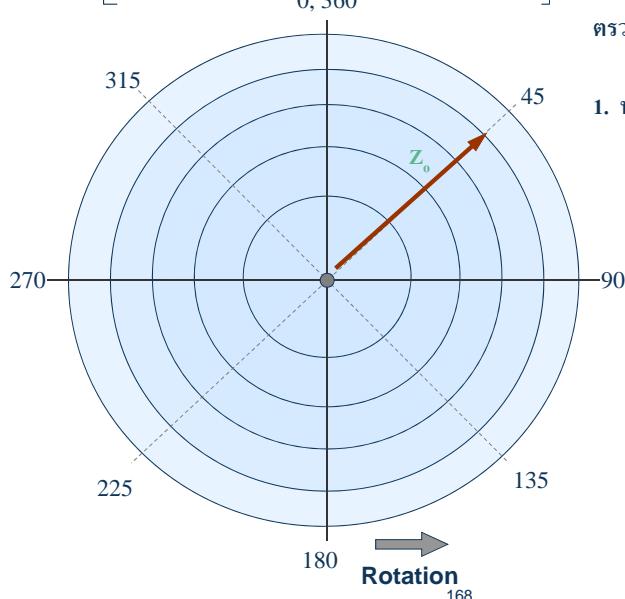
1. ตรวจสอบ ทิศการวัดมุม โดยถูกต้องทางการหมุนของเพลา :
2. ทำการวัด ค่า unbalance เริ่มต้น (Reference), Z_0
3. การทดสอบด้วยน้ำหนัก และการประมาณน้ำหนักที่ใช้ และตรวจสอบค่าที่ได้ Z_1
4. คำนวณหา θ และมุมที่จะติดตั้ง มวลที่ใช้แก้ไข unbalance
5. คำนวณหา มวลที่ใช้แก้ไข unbalance
6. ทำการติดตั้งมวลที่ใช้แก้ไข unbalance บนเครื่องจักร
7. ตรวจสอบค่าที่ได้ หลังการแก้ไข Z_0 .
8. เปรียบเทียบผลที่ได้กับ Specification เพื่อตัดสินใจว่าจะ Trim Balance ต่อหรือไม่

167

Only for Education Purpose



ทิศการวัดมุม
0, 360



ตรวจสอบ ทิศการวัดมุม :

1. ทำการวัด ค่า unbalance เริ่มต้น (Reference), Z_0
Result Z_0 : 5 mm/s @ 45°

2.1 การทดสอบด้วยน้ำหนัก และการประมาณน้ำหนักที่จะใช้

$$m_{\text{trial}} = 30 \frac{m_{\text{rotor}}}{r_{\text{trial}}}$$

m_{trial} = มวลของ Trial Weight, grams

m_{rotor} = มวลของ Rotor, kg.

r_{trial} = รัศมีของมวลที่จะทำการทดสอบ, mm

2.2 การทดสอบน้ำหนัก

ค่าเวคเตอร์ และ แอมเพลจูด ที่เกิดขึ้นหลังจาก การทดสอบน้ำหนัก ค่าของแอมเพลจูด

คือ

ควรอยู่ในช่วง **30 - 50%** ของแอมเพลจูดเริ่มต้น (Reference)

169

Only for Education Purpose

Degree

0, 360

315

270

225

210

180

170

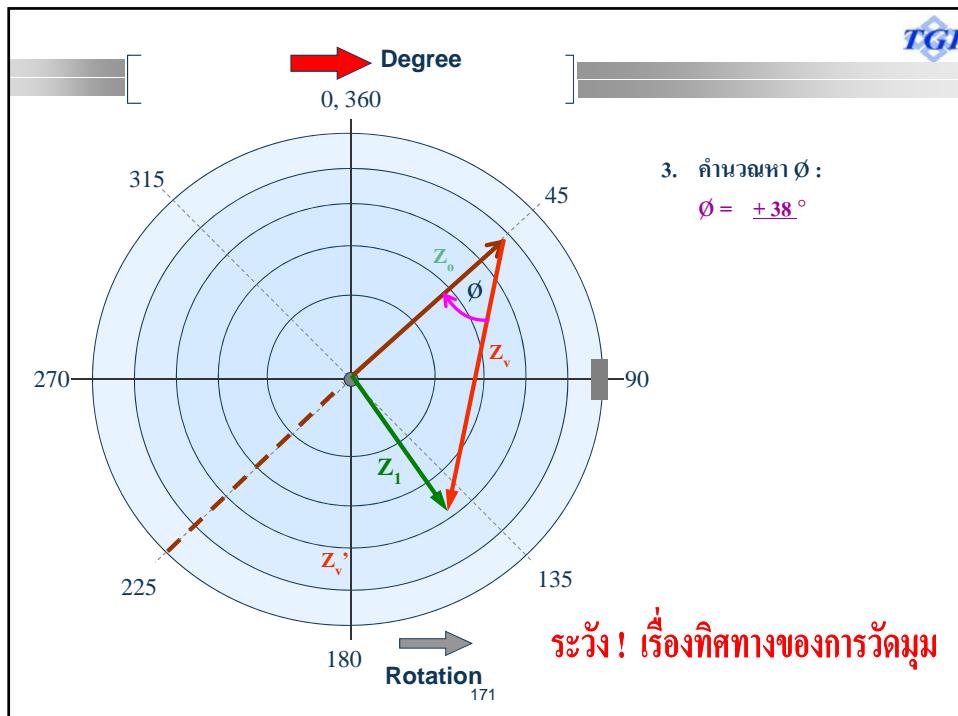
Rotation

การทดสอบด้วยน้ำหนัก : $m_1 = 4 \text{ g. at } 90^\circ$

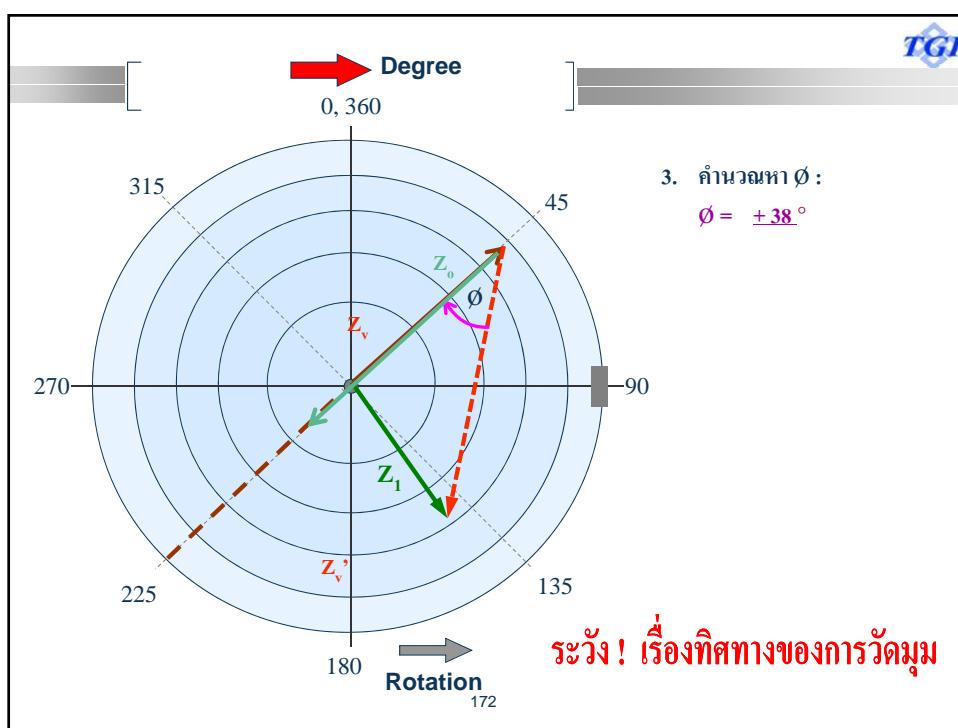
และตรวจสอบค่าที่ได้ Z_o

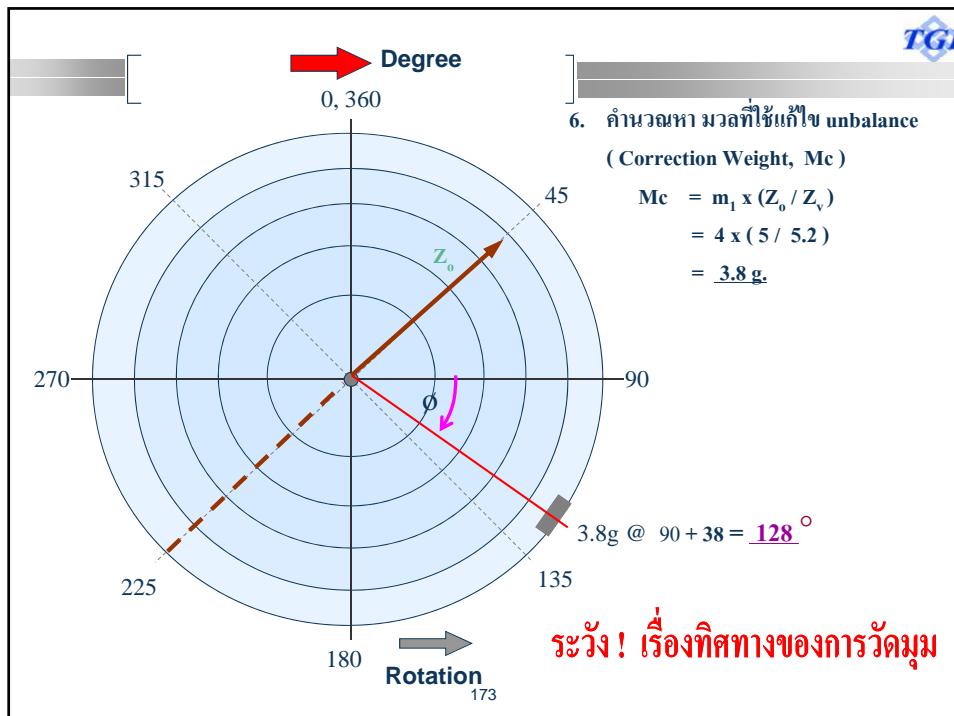
Result $Z_1: 4 \text{ mm/s @ } 138^\circ$

Trial : m_1 weight 4 g.
at 90°

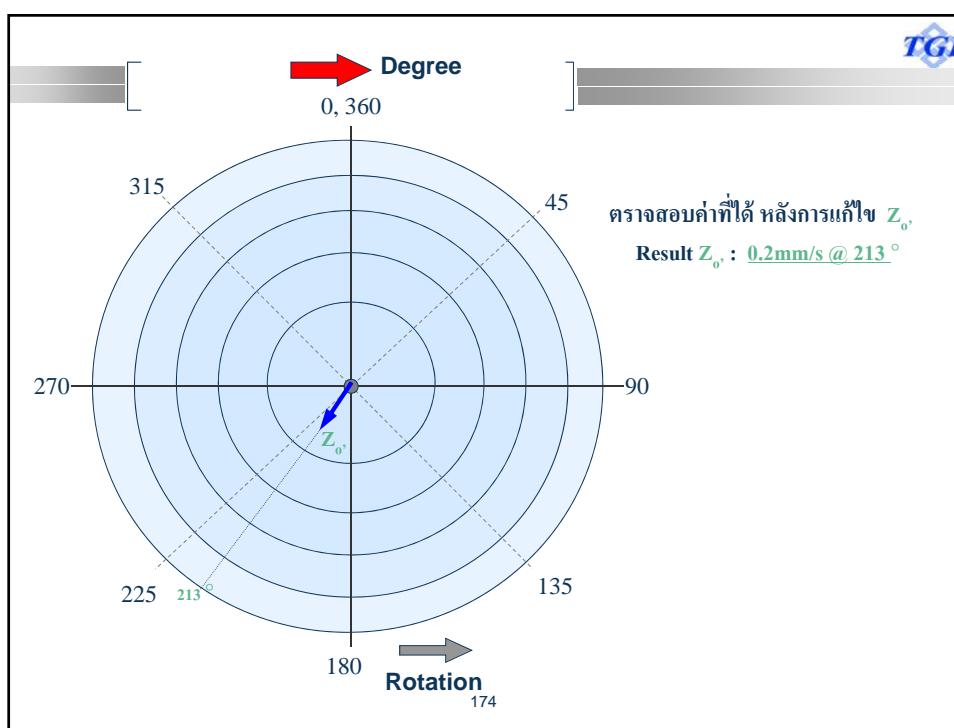


Only for Education Purpose





Only for Education Purpose





Only for Education Purpose