

## การซ่อมบำรุง Rotor ของเครื่องกังหันแก๊สเทอร์ไบน์

### Gas Turbine Rotor Repair

ฉัตรชัย ไม้เรียง

วิศวกรระดับ 6

กองแก๊สเทอร์ไบน์และดีเซล ฝ่ายบำรุงรักษาเครื่องกล  
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

#### บทคัดย่อ

การบำรุงรักษาเครื่องกังหันแก๊สเทอร์ไบน์โดยทั่วไป จะถูกกำหนดในลักษณะของการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) โดยอุปกรณ์ที่รับความร้อนและ Stress สูงจะได้รับการซ่อมบำรุงใน Cycle ที่ถี่กว่า อุปกรณ์ที่รับความร้อนและ Stress รองๆ ลงไป การซ่อมบำรุง Gas Turbine Rotor ก็อยู่ในหลักการนี้ด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ ผู้ผลิตส่วนใหญ่มักกำหนดให้ทำการ ซ่อมบำรุงและตรวจสอบสภาพของ Gas Turbine Rotor ที่ประมาณ Half Life ของ การออกแบบโรงไฟฟ้านั้นๆ ซึ่งจุดสำคัญของการตรวจสอบสภาพและซ่อมบำรุง Rotor จะอยู่ที่การตรวจสอบชิ้นส่วนที่ สร้าง Compression Force ให้ชิ้นส่วนต่างๆ ของ Rotor ประกะบอยู่ด้วยกัน อันได้แก่ Tie Rod Bolt หรือ Through Bolt และการตรวจสอบ ชิ้นส่วนที่มีการส่งผ่านแรงอื่นๆ อันได้แก่ Bolt Face ,Rabbit Surface นอกจากนี้การ Unstacking Rotor ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งของการบำรุงรักษา Rotor อาจต้องดำเนินการก่อนกำหนด อันเนื่องมาจากความจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยน Compressor Blade ที่เสียหายก่อนเวลาอันควร หรือสำหรับใน Gas Turbine บาง Model การ Unstacking Rotor จะถูกกำหนดใน Cycle ของการทำ Major Overhaul เช่น Model V93.2 Kraftwerk Union เป็นต้นขึ้นกับการ ออกแบบของผู้ผลิต Gas Turbine

#### บทนำ

ในขั้นตอนการบำรุงรักษา Rotor ไม่ว่าจะเป็น Rotor ของบริษัทผู้ผลิต Gas Turbine รายใด ก็มักมีขั้นตอนพื้นฐานที่สำคัญเป็นเช่นเดียวกันทั้งหมดกล่าวคือ ขั้นตอน Incoming Inspection, ขั้นตอน Unstacking, ขั้นตอนการตรวจสอบและประเมินสภาพ, ขั้นตอน Restacking และลำดับสุดท้ายคือ Balancing and Final Inspection ซึ่งขั้นตอนโดยสังเขปทั้งหมดนี้ ได้นำเสนอในเอกสารต่อไปนี้แล้ว โดยยกตัวอย่าง Rotor ที่กฟผ. เคยมีประสบการณ์ในการซ่อมบำรุงด้วยตนเอง คือ Model 5001LA , MS9161E ของ General Electric (GE) Model V93.2 ของ Kraftwerk Union (KWU) และ Model MW701D ของ Mitsubishi Heavy Industry (MHI) มาเป็นตัวอย่างประกอบการบรรยาย ณ ที่นี้

## Rotor Maintenance Interval

โดยปกติแล้ว การ Maintenance Rotor นั้นทางบริษัทผู้ผลิตจะกำหนด Interval มาให้โดยอาจแบ่งได้ดังนี้

- กำหนดเป็นลักษณะสูตรคำนวณที่ชัดเจน สำหรับงาน Rotor Maintenance โดยเฉพาะ (โดยทั่วไปจะอยู่ที่ 10-20 ปี โดยประมาณขึ้นกับ ลักษณะการเดินเครื่องจ่าย Load, ลักษณะการ Start Up Shutdown และการออกแบบสำหรับเครื่อง Gas Turbine Model นั้นๆ) เช่น
  - GE Gas Turbine ยกตัวอย่างสูตรการคำนวณ ของ 9FA Gas Turbine ดังรูปที่ 1

**Starts Based Rotor Life Calculation**

$$\text{Maintenance Factor} = \frac{(Fh \cdot Nh + Fw1 \cdot Nw1 + Fw2 \cdot Nw2 + Fc \cdot Nc + Ft \cdot Nt)}{(Nh + Nw1 + Nw2 + Nc)}$$

Rotor Maintenance Interval =  $\frac{5000}{\text{Maintenance Factor}}$  (Not to exceed 5000 starts) MF >= 1

Where:	Hot	Normal
Fh - Hot start factor (Down 1-4 hr)	1.0	0.5
Fw1 - Warm1 start factor (Down 4-20 hr)	1.8	0.9
Fw2 - Warm2 start factor (Down 20-40 hr)	2.0	1.4
Fc - Cold start factor (Down >40hr)	4.0	3.0
Ft - Trip from load factor	4.0	4.0

Nh - Number of Hot Starts  
 Nw1 - Number of Warm1 starts  
 Nw2 - Number of Warm2 starts  
 Nc - Number of Cold starts  
 Nt - Number of Trips

**Hours Based Rotor Life Calculation**

$$\text{Maintenance Factor} = \frac{H + 2 \cdot P + 2 \cdot TG}{H + P}$$

Rotor Maintenance Interval =  $\frac{144000}{\text{Maintenance Factor}}$

H - Base load hours  
 P - Peak load hours  
 TG - Hours on turning gear

\* For starts within the first hour after a hot shutdown use cold start rotor life factor

รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างสูตรการคำนวณ Rotor Maintenance Interval ของเครื่อง Gas Turbine GE 9FA Model

- กำหนดเป็นช่วงเวลา Operating Hours โดยประมาณหลังจากที่ 1<sup>st</sup> Firing Gas Turbine มาแล้วช่วงหนึ่ง (การกำหนดลักษณะนี้มักเป็นข้อกำหนดที่ทาง บริษัทผู้ผลิตกำหนดขึ้นและแจ้งให้ผู้ใช้งานทราบภายหลัง โดยอาศัยข้อมูลทางสถิติ เมื่อหลังจากเดินเครื่องไปช่วงเวลาหนึ่งแล้วพบปัญหาขึ้นกับ Rotor จึงจำเป็นต้องมีการแก้ไขปรับปรุงบางชิ้นส่วนใหม่) เช่น
  - MHI Gas Turbine Model MW701D เป็นต้นซึ่งทาง MHI แจ้งให้ผู้ใช้เครื่อง MW701D ในรุ่นแรกๆจำเป็นต้องมีการ Modify เพื่อป้องกันปัญหา Spigot crack หลังจากเดินเครื่องมาแล้วประมาณ 100,000 Fire Hours เป็นต้น
  - กำหนดเป็นส่วนหนึ่งของงาน Major Overhaul ของ Gas Turbine ซึ่งกำหนดเป็นวิธีการคำนวณจาก Factor ในการเดินเครื่องที่ชัดเจน เช่น
    - KWU Gas Turbine Model V93.2 สำหรับ Rotor Model นั้นนอกเหนือจากที่ทางบริษัทผู้ผลิตกำหนดให้มีการตรวจสอบ Rotor ทุกช่วงงาน Major Overhaul แล้ว ยังจำเป็นต้องทำการถอดแยก Rotor ออกก่อนจึงจะสามารถที่จะดำเนินการเปลี่ยน Turbine Bucket ได้

ตารางสรุป Rotor Maintenance Interval ของ Gas Turbine แต่ละ Model ซึ่งแนะนำโดยบริษัทผู้ผลิต

Model	MW rated	บริษัทผู้ผลิต	Rotor Maintenance Interval
MS5001LA	15	GE	200,000 Fire Hours/5000 Starts
V93.2	60	KWU	30,000 Eq hours
MS9001E	100	GE	200,000 Fire Hours/5000 Starts
MW701D	120	MHI	100,000 Fire Hours

ในบางครั้งการซ่อมบำรุง Rotor อาจจำเป็นต้องดำเนินการก่อนครบกำหนด Rotor Maintenance Interval ที่แนะนำโดยบริษัทผู้ผลิตเนื่องจากสาเหตุดังต่อไปนี้

### 1. การเปลี่ยน Compressor Moving Blade

- สำหรับ Gas Turbine Rotor บาง Design หากจำเป็นต้องเปลี่ยน Compressor Moving Blade ก็ต้องทำการถอดแยก Rotor ออกเพื่อดำเนินการ เช่น Rotor ของ GE และ KWU Gas Turbine ในขณะที่ MHI Gas Turbine ได้รับการออกแบบให้สามารถดำเนินการเปลี่ยน Compressor Moving Blade ได้โดยไม่ต้องถอดแยก Rotor



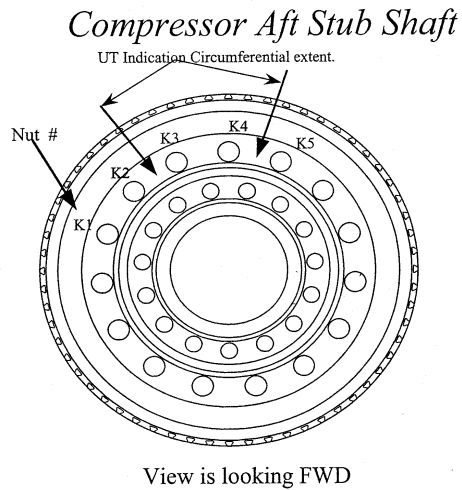
รูปที่ 2 ภาพด้านซ้ายแสดง MS9161E Compressor ซึ่งหากมีความจำเป็นต้องเปลี่ยน Compressor Blade ต้องถอดแยก Rotor เปรียบเทียบกับ Model MW701D ในภาพขวาซึ่งสามารถถอดแยกได้โดยไม่ต้อง Unstacking

### 2. การปรับปรุง Rotor เพื่อแก้ไขข้อบกพร่อง

- เป็นการทำให้ Rotor Maintenance เพื่อปรับปรุงแก้ไขจุดบกพร่องบางอย่างตามที่ทาง บริษัทผู้ผลิตแนะนำ ก่อนที่ความเสียหายรุนแรงจะเกิดขึ้นเช่น
  - การตรวจสอบ และ Modify Rotor Spigot ของ MW701D Rotor (รูปที่ 3)
  - การตรวจสอบ และ Modify 17<sup>th</sup> stage Compressor wheel ของ PG9311FA Rotor (รูปที่ 4)



รูปที่ 3 แสดงการตรวจพบ Crack ที่ Compressor Spigot ของ MW701D Rotor ที่อายุประมาณ 100,000 Fire Hours



รูปที่ 4 แสดงการตรวจสอบพบ Crack บริเวณ Compressor Wheel 17<sup>th</sup> หลังจาก Unstacking Compressor Rotor เรียบร้อยแล้ว

3. การทำ Rotor Maintenance เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการใช้งาน (Corrective Maintenance)

- การเปลี่ยน After Wheel Shaft ของ Turbine Rotor PG9161E เนื่องจาก Journal Shaft เสียหายขณะเดินเครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 5



## รูปที่ 5 แสดงการเปลี่ยน After Wheel shaft ของ Turbine Rotor GE PG9161E

### การแบ่งชนิดของ Rotor กับ การซ่อมบำรุง

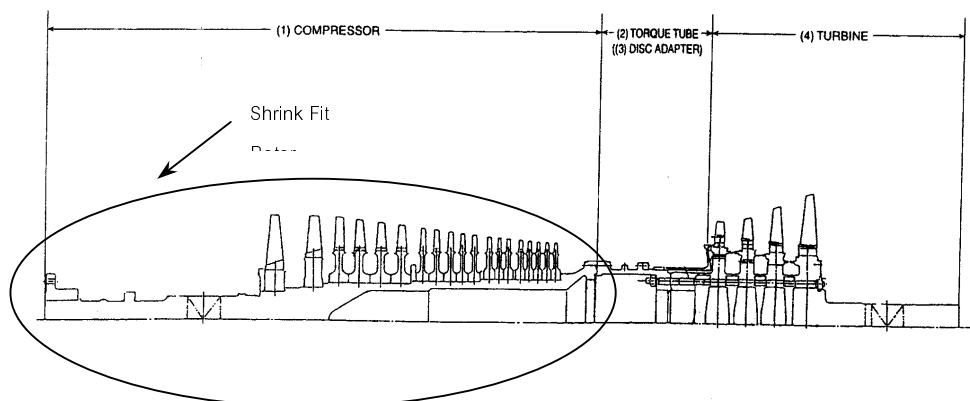
เนื่องจากการออกแบบ Gas Turbine นั้นเทคโนโลยีโดยพื้นฐานที่นำมาปรับใช้ในการออกแบบในช่วงเริ่มแรก นำมาจากเทคโนโลยีของ Steam Turbine แต่ทว่าปัญหาที่พบในการออกแบบ Gas Turbine นั้นกลับแตกต่างออกไปยกตัวอย่างเช่น

- อุณหภูมิของ Working Media ที่สูงมาก
- ความแตกต่างของอุณหภูมิที่แตกต่างกันมากในช่วงการ Operation จาก Full Speed No Load ไปจนถึง Base Load
- ความแตกต่างของอุณหภูมิที่แตกต่างกันมากตลอดช่วงความยาว Rotor เช่นประเทศที่อยู่ในเขตนหนาวจะพบว่า อุณหภูมิอาจติดลบ ใน Stage แรกๆของ Compressor ซึ่งแตกต่างกันมากเมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่ Turbine Blade Root ซึ่งอาจสูงถึง 400 Deg C

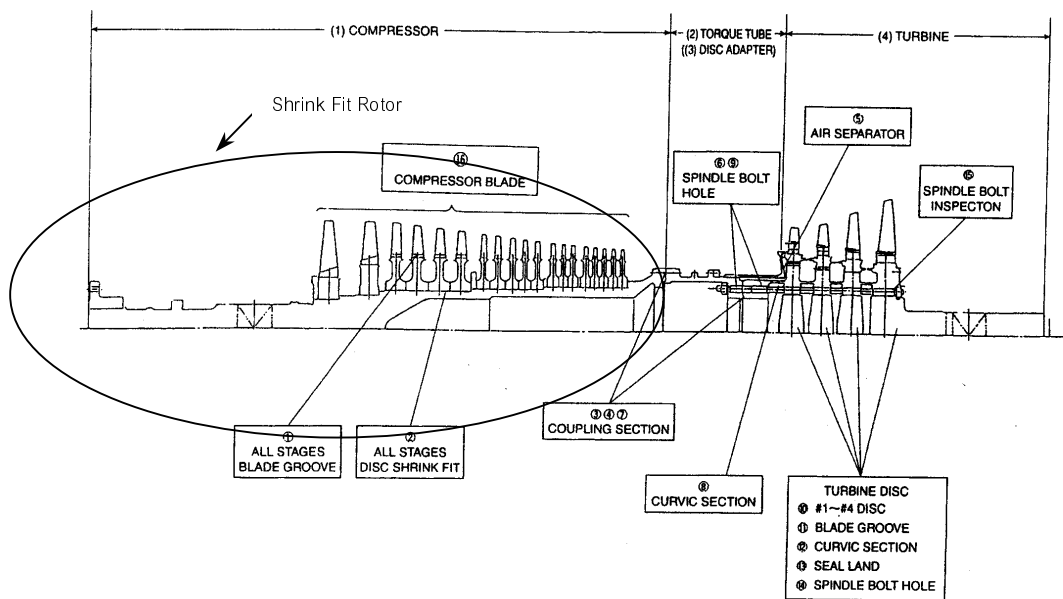
และจากจุดเริ่มต้นของปัญหาเหล่านี้ทางผู้ผลิต Gas Turbine ได้ทำการออกแบบ Rotor ที่สามารถทนทานต่อการใช้งานดังกล่าวออกมา ในรูปแบบที่แตกต่างกันออกไป กล่าวโดยสรุปแล้วมี 3 รูปแบบดังนี้

#### 1. Shrink Fit Rotor

- เป็น Rotor ที่อาศัย Shrink Fit ในการประกอบ Disc เข้ากับแกนของ Rotor ยกตัวอย่าง Compressor Rotor ของ MW701D ดังรูปที่ 6 ซึ่ง Rotor แบบนี้จะมีน้ำหนักค่อนข้างมากดังนั้น ในช่วงการ Start Up จึงจำเป็นต้องอาศัยระยะเวลาที่นานในการ Start up เพื่อมิให้ Temp Gradient ภายใน Rotor สูงเกินไป ซึ่งจะส่งผลให้อายุการใช้งานของ Rotor ลดลงได้
- ส่วนจุดสำคัญในการตรวจสอบ Rotor แบบนี้จะตรวจสอบโดยไม่ Unstacking Disc ออกมาเหมือนแบบอื่น แต่จะใช้วิธี Ultrasonic Test การวัดการ Slip ของ Disc ที่ Shrink Fit กับแกน Rotor และการตรวจสอบสภาพ Microstructure โดยวิธี Replica ซึ่งได้แสดงรายการที่ต้องดำเนินการตรวจสอบไว้แล้วดัง รูปที่ 7



รูปที่ 6 แสดงลักษณะของ Shrink Fit Rotor ในส่วนของ Compressor Blade ซึ่งจะเห็นได้ว่า Compressor Disc แต่ละ Disc ถูกสวมอัดอยู่บนแกนของ Rotor ในขณะที่ด้าน Turbine จะเป็นลักษณะของ Rotor with Exterior through Bolts ซึ่ง Turbine Disc แต่ละ Disc ถูกร้อยเข้าด้วยกันด้วย Turbine spindle bolts



รูปที่ 7 แสดง MW701D Rotor บริเวณที่ต้องทำการตรวจสอบเมื่อดำเนินการซ่อมบำรุง Rotor สำหรับ Shrink Fit Rotor

## 2. Rotor with Exterior Through Bolts

- ลักษณะของ Rotor แบบนี้คือการประกบกันของ Disc แต่ละ Disc จะถูกออกแบบมาให้อาศัย Compressive Force ที่เกิดจากการยึด Through Bolts หลายตัว โดยวางตำแหน่งของ Through Bolts ตามแนวเส้นรอบวงรอบแนวแกนของ Rotor
- Rotor ลักษณะนี้อาจแบ่งย่อยได้อีก 2 แบบ คือ

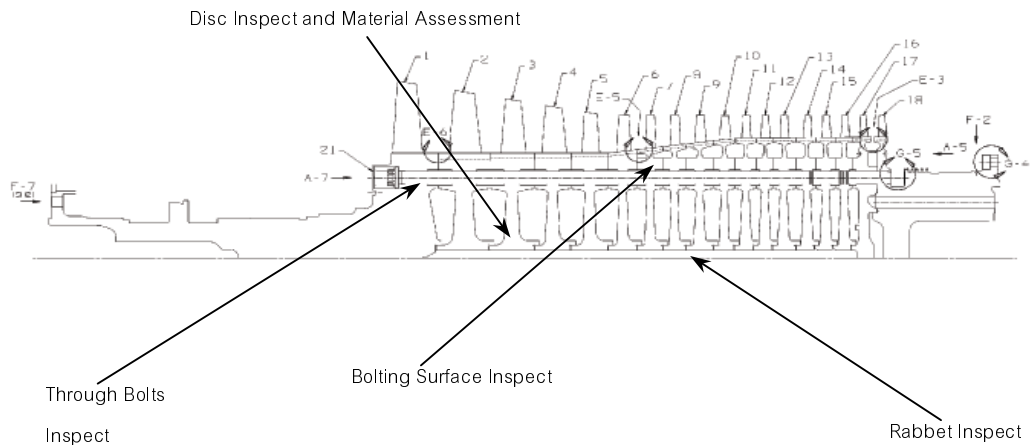
2.1 แบบที่ทำการ Disc Centering โดยใช้ Bore Shrink Fit และส่งผ่านแรงโดยอาศัย Friction Force บน Bolting Surface

- เช่น GE Gas Turbine Rotor Frame 5 และ Frame 9 เป็นต้น

2.2 แบบที่ทำการ Disc Centering และ ส่งผ่านแรงโดยอาศัย Curvic Coupling หรือ Hirth Coupling

- เช่นใน Turbine Side Rotor ของ MW701D และ MW701F Gas Turbine Rotor MHI

- การตรวจสอบ Rotor ทั้ง 2 แบบนี้ จะแตกต่างกับ Shrink Fit Rotor ตรงที่มีการถอดแยก Disc แต่ละ Disc ออกมาตรวจสอบ (Unstacking) และจุดสำคัญของการตรวจสอบ อยู่ที่การตรวจสอบ สภาพของ Through Bolts ทั้งคุณสมบัติทางกล และ ความเสียหายภายนอก, การตรวจสอบหน้าสัมผัสที่ใช้ในการส่งผ่านแรงของ Bolting Surface และ Curvic หรือ Hirth Coupling, การตรวจสอบสภาพของ Disc Rabbet รวมทั้งการตรวจสอบและ ประเมินสภาพทาง Metallurgy ของ Disc แต่ละ Disc ด้วย

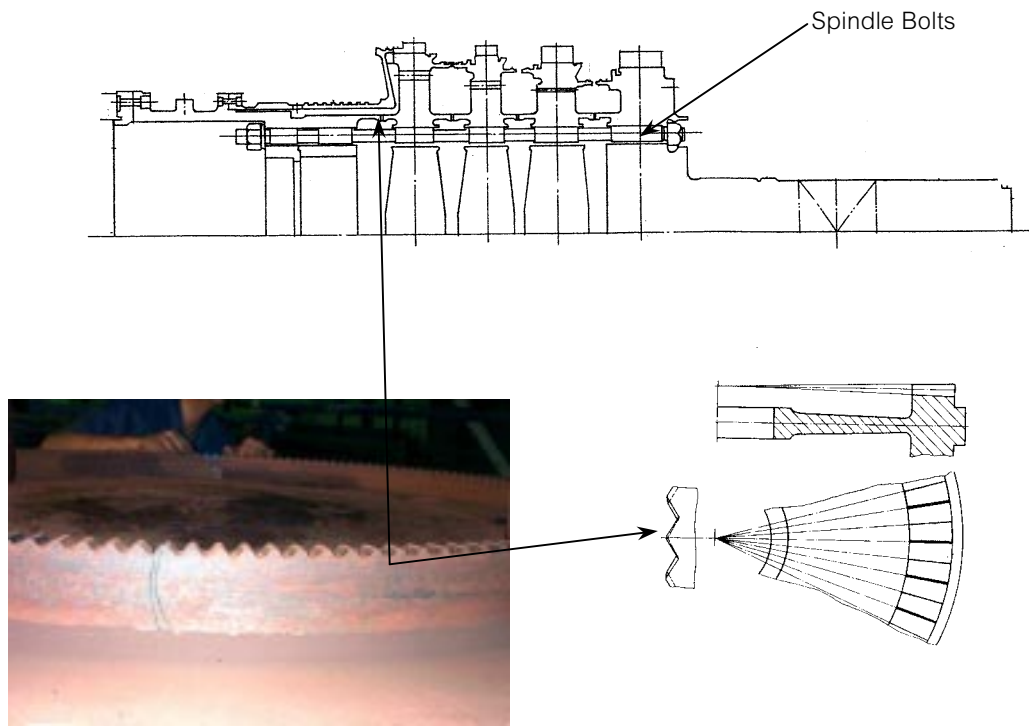


Disc Rabbet ของ MS9161E GE Rotor

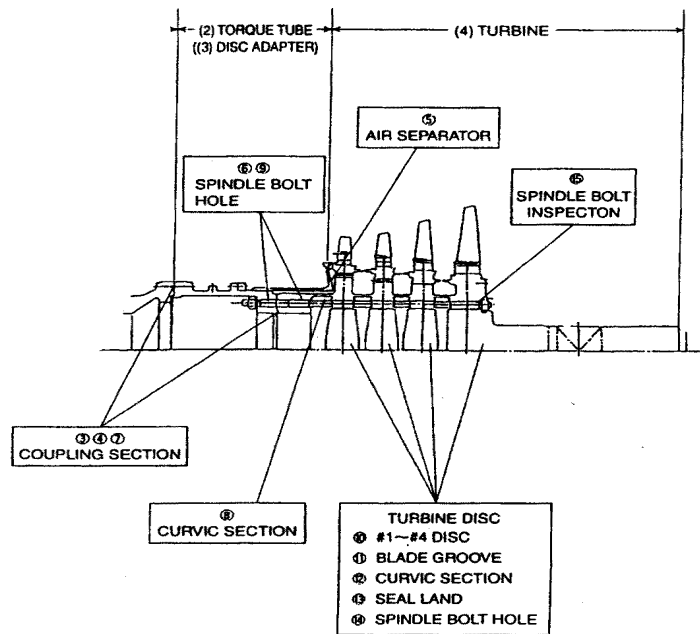


Bolting Surface ของ MS9161E GE Rotor

รูปที่ 8 แสดงลักษณะของ Rotor with Exterior Through Bolts แบบที่ 2.1 และการตรวจสอบสำคัญในการทำ Rotor Maintenance สำหรับ Rotor แบบนี้



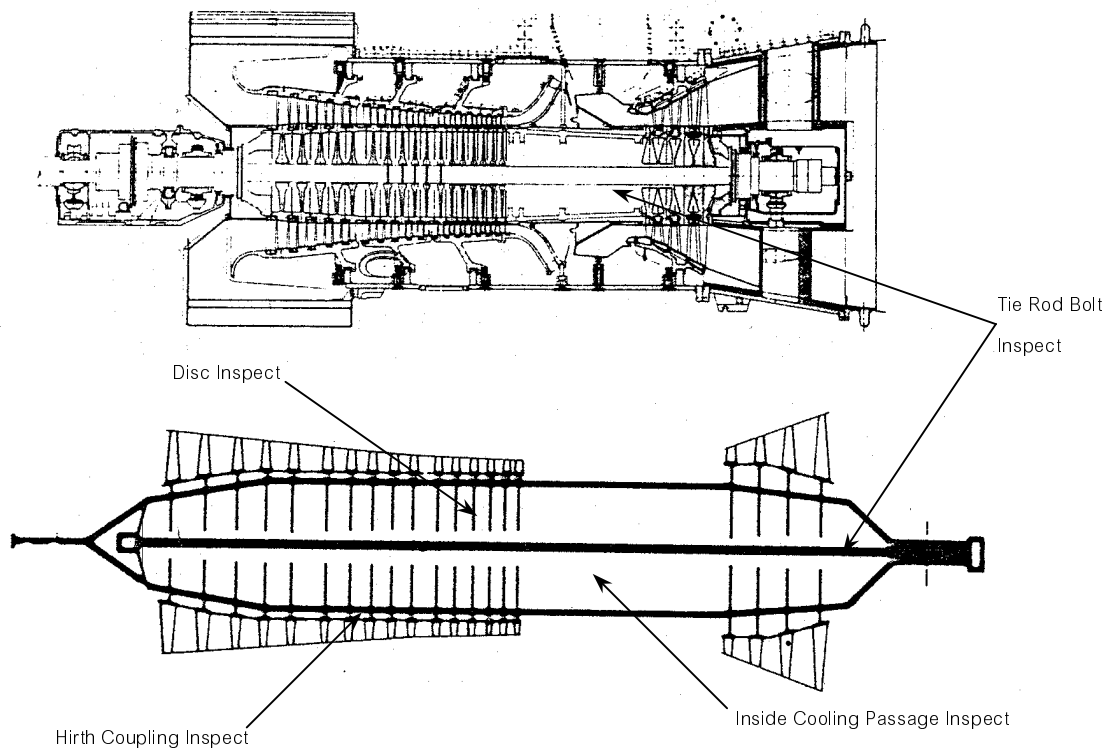
Curvic Coupling



รูปที่ 9 แสดงลักษณะของ Rotor with Exterior Through Bolts แบบที่ 2.2 และการตรวจสอบสำคัญในการทำ Rotor Maintenance สำหรับ Rotor แบบนี้

### 3. Rotor with Central Through Bolts

- ลักษณะของ Rotor แบบนี้จะมี Tie Rod Bolt เป็นตัวสร้าง Compression Force เพียงตัวเดียว ส่วนการการส่งผ่านแรง และรักษา Centering ของ Disc แต่ละ Disc จะอาศัย Curvic Coupling หรือ Hirth Coupling
- จุดเด่นของ Rotor ลักษณะนี้คือ น้ำหนักที่เบา และการออกแบบ Cooling Passage ของ Rotor สามารถทำได้ง่าย ทำให้ Tie Rod Bolt รับผลกระทบจาก Force อันเนื่องมาจาก Temp Gradient น้อย
- เป็นรูปแบบที่ บริษัท Kraftwerk Union (KWU) ซึ่งปัจจุบันคือ Siemens Kraftwerk เลือกใช้ในการออกแบบพัฒนา Gas Turbine Rotor และในเรื่องการบำรุงรักษาก็มักจะกำหนดให้ดำเนินการ ทุก Major Overhaul พร้อมการเปลี่ยน/ส่งซ่อม Turbine Moving Blade
- จุดสำคัญในการตรวจสอบ Rotor แบบนี้คือ การตรวจสอบสภาพ และ คุณสมบัติทางกลของ Tie Rod Bolt การตรวจสอบสภาพ Hirth Coupling รวมทั้ง Cooling Passage ภายใน Rotor



รูปที่ 10 แสดงลักษณะของ Rotor with Central Through Bolts และการตรวจสอบสำคัญในการทำ Rotor Maintenance

## ขั้นตอนการซ่อมบำรุง Gas Turbine Rotor

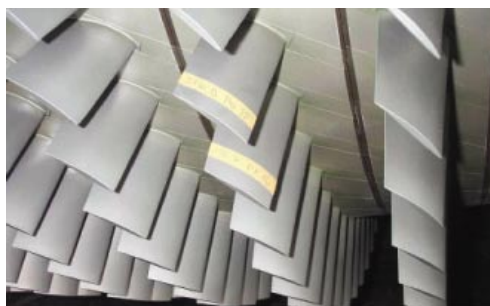
จากที่กล่าวมาแล้ว จะเห็นว่า Gas Turbine Rotor มีการออกแบบและผลิตใช้งานอยู่หลาย Design Concept ซึ่งในแต่ละ Design ก็จะมีรายละเอียดเกี่ยวกับการบำรุงรักษา ระยะเวลา รวมทั้งเทคนิคและ เครื่องมือที่ต้องใช้ในการปฏิบัติงาน ซ่อมบำรุงที่ต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามทุก Design เมื่อมองในภาพใหญ่ก็จะสามารถแบ่งขั้นตอนของการซ่อมบำรุง Gas Turbine Rotor ออกได้เป็น 6 ขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

1. Incoming Inspection
2. Disassembly or Unstacking
3. Check and Inspection
4. Reassembly or Restacking
5. Final Inspection and Balancing
6. Pack and Ship

### 1. Incoming Inspection

เป็นการตรวจสอบสภาพ Rotor ที่รับมาจากลูกค้า เพื่อเก็บข้อมูลเป็น Reference ทางเทคนิคที่จำเป็นก่อนเริ่มงานซ่อม ดังต่อไปนี้

#### 1.1 Overall Visual Inspection and Records with Defects Remarks

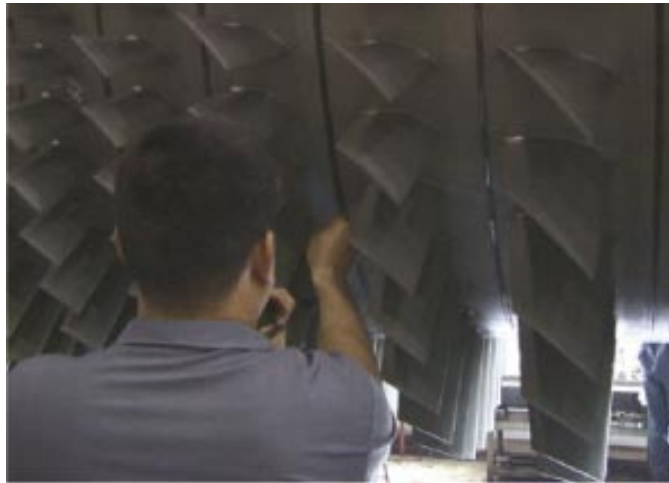


รูปที่ 11 แสดงการ Marks ตำแหน่ง Defects ของ Compressor Blade MS9161E ก่อนเริ่มงาน

## 1.2 Journal Dimension and Rim Gap Clearance check



รูปที่ 12 แสดงการวัด Dimension ของ Thrust Collar ก่อนเริ่มงาน



รูปที่ 13 แสดงการวัดค่า Rim Gap ของ Compressor Rotor ก่อนเริ่มงาน

## 1.3 Rotor Runout and Dimension Check



รูปที่ 14 แสดงการ Check Rotor Dimension และ Run out บนแท่นกลึง Skoda ณ กองโรงงานหนองจอก

### 1.4 Rotor Unbalance Check and Weight Position remarks

<b>INSPECTION SHEET</b>		DOC. NO.	REV. NO.
DATE ISSUED		DATE	PAGE OF 1
DIV.	M.S.	DEPT.	GTD.
PLANT/UNIT		BQ CODE	
TITLE		BQ NAME	
COMP. ROTOR DYNAMIC BALANCE		COMPRESSOR ROTOR	
INSPECTION SHEET NO.		MAINT. TYPE	

W/O No. \_\_\_\_\_

ORIGINAL WEIGHT  
 BALANCE WEIGHT  
 Incoming  
 Final

<b>SPECIFICATION</b>	Weight of Work: 29,399 Kg.	Operational Speed: 3,000 rpm.	Radius of Work: R1 540 mm. R2 540 mm.
<b>TECHNICAL DATA</b>	Date Of Test: 10/11/04	Method Of Balance: <input checked="" type="checkbox"/> Single Plane <input checked="" type="checkbox"/> Two Phase	Testing Speed: 310 rpm
	Balance Machine: IRD (SCHENCK)	ISO (1940 - 1973) G: <input checked="" type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 1.2.5	Acc. Residual Unbalance (Unit/Mass): E: 3.15 gm-mm/Kg
	Balance Limit: 0.041 gm/plane		
<b>DESCRIPTION</b>	PLANE 1 ( Amplitude/Degree)	PLANE 2 ( Amplitude/Degree)	
	Initial Unbalance: 749 gm/274	770gm/290	
	Weight Added: _____	_____	
	Weight Removed: _____	_____	
	Residual Unbalance: _____	_____	

Remark: Key Phaser - 15° IRD Machine 290

CHECKED BY _____	DATE / /	FOR CLIENT
APPROVED BY _____	DATE / /	INSPECTED BY _____
		DATE / /



รูปที่ 15 แสดงตัวอย่างการ Record ข้อมูลตำแหน่ง Balancing Weight และการ Check ค่า Unbalance ของ MS 9161E Compressor Rotor บน เครื่อง Low speed Balance โดย Check ที่รอบประมาณ 10 percent ของ rated speed

## 2. Disassembly or Unstacking

ในขั้นตอนนี้จะดำเนินการเพื่อถอดแยก Disc และ Through Bolt ออกมาเพื่อตรวจสอบสภาพภายใน Rotor ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในรายละเอียดระหว่าง Rotor แต่ละแบบ แต่อย่างไรก็ตามสามารถที่จะจัดกลุ่มขั้นตอนที่ต้องดำเนินการได้ดังนี้

### 2.1 การแยก Coupling ระหว่าง Compressor และ Turbine (Rotor with Exterior Through Bolts)



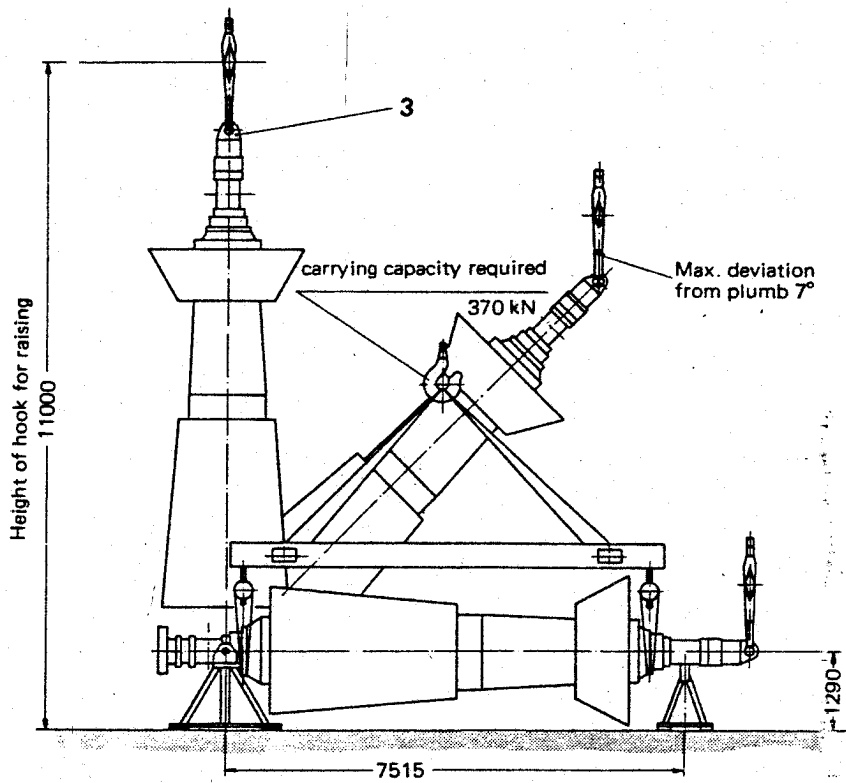
รูปที่ 16 แสดง การถอด Coupling Bolts และ Special steady ที่รองรับหน้า Flange Marriage coupling ระหว่าง Torque tube และ Compressor MW701D rotor

2.2 การ Check Run out Compressor และ Turbine หลังจากแยก Coupling แล้ว (Rotor with Exterior Through Bolts)



รูปที่ 17 แสดง การใช้ Special Tool ประกอบกับ Torque tube MW701D rotor เพื่อใช้ในการ Check Run Out Turbine Rotor

### 2.3 การ Turn Rotor to Vertical Position



รูปที่ 18 แสดง วิธีการ Turn Rotor to Vertical ของ Gas Turbine Rotor V93.2 (KWU)

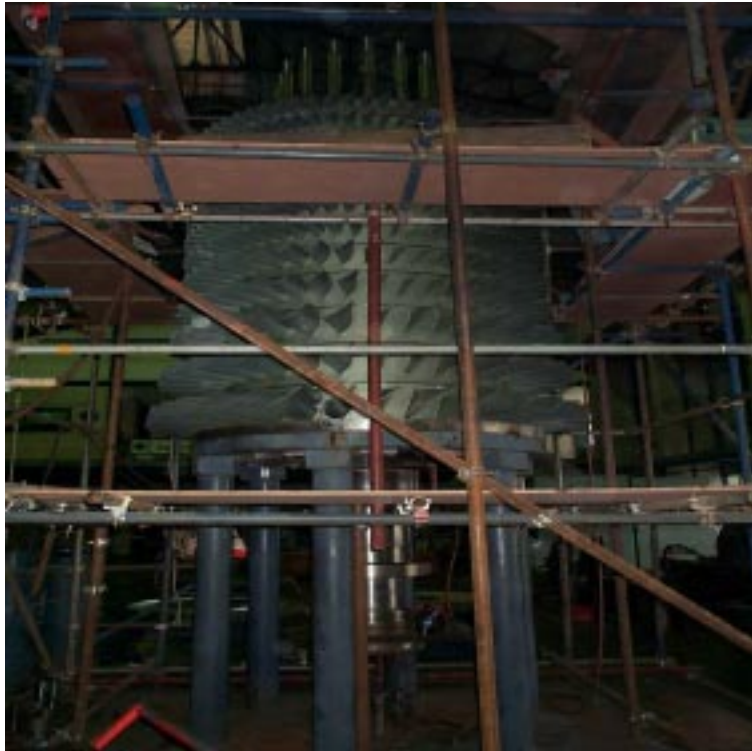


รูปที่ 19 แสดง วิธีการ Turn Turbine Rotor to Vertical ของ MW701D

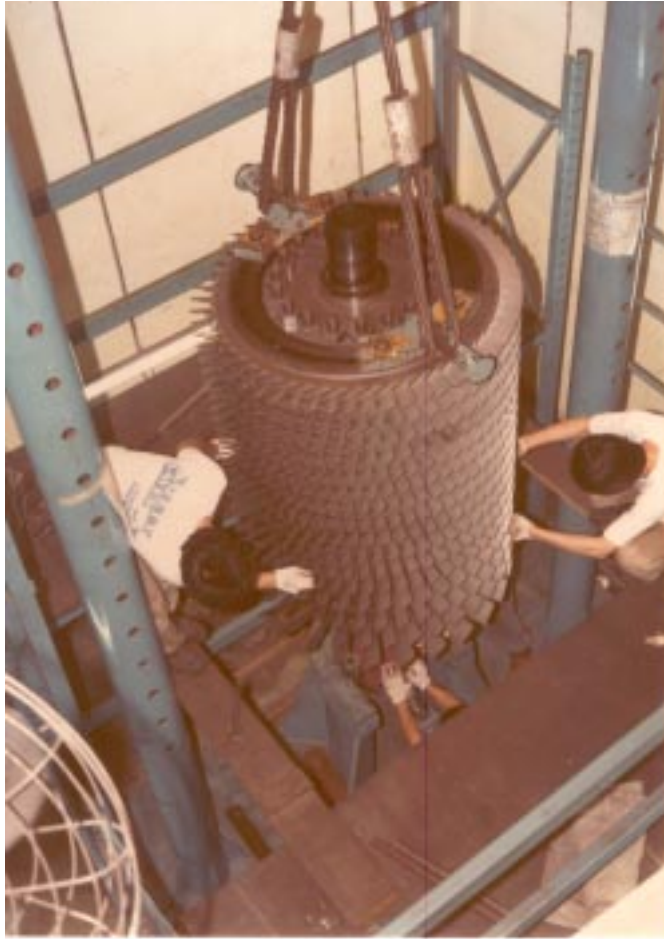
## 2.4 การติดตั้ง Rotor บน Disassembly Stand



รูปที่ 20 แสดง การวาง Turbine Rotor ของ MW701D ลงบน Vertical Stand ก่อนการถอดแยก



รูปที่ 21 แสดง การวาง Compressor Rotor ของ MS9161E ลงบน Vertical Stand ที่อยู่ระดับเดียวกับพื้น Workshop และตั้งนั้งร้านขึ้นไปรับ เตรียมการถอดแยก



รูปที่ 22 แสดงลักษณะของการทำงาน ในหลุมที่ใช้ในการถอดประกอบ Rotor

## 2.5 การยึด Through Bolt



รูปที่ 23 แสดงลักษณะของการยึด Through Bolts ของ Turbine Rotor MW701D (Left) และ MS9161E (Right)

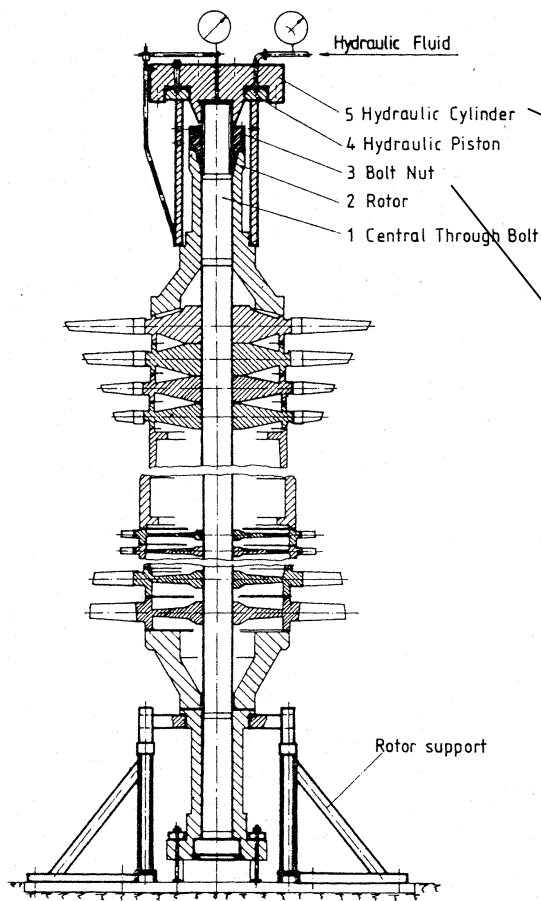


Fig. 10 Rotor Preloading Device



รูปที่ 24 แสดงลักษณะของการยึด Through Bolts ของ Gas Turbine Rotor V93.2 (KWU)

## 2.6 การถอดแยก Disc และ Rotor Component อื่นๆ



รูปที่ 25 แสดงการยก Disc และ Rotor Component อื่นๆออก เพื่อเตรียมการ Inspect

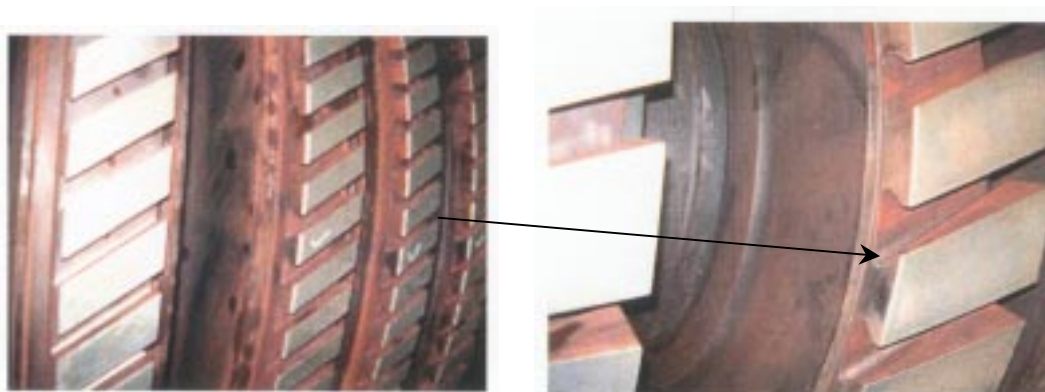
### 3. Check and Inspection

ดำเนินการตรวจสอบสภาพของแต่ละ Components ที่สำคัญได้แก่ การตรวจสอบสภาพของ Through Bolts, การตรวจสอบ Blade Groove, การตรวจสอบ Rabbet, การตรวจสอบ Curvic หรือ Hirth Coupling

ตรวจสอบ Disc Slip และ check Defects ของ Compressor Core โดย Ultrasonic Test ได้แสดงให้เห็นข้อแตกต่างของการตรวจสอบ Rotor ทั้ง 3 กลุ่มดัง ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบข้อแตกต่างในขั้นตอนของการ Check and Inspection ของ Rotor 3 แบบ

Shrink Fit Rotor	Rotor with Central Through Bolt	Rotor with Exterior Through Bolts
Remove Blade and Disc Cleaning	Remove Blade and Disc Cleaning	
MT Inspection for Disc Groove	MT Inspection for Disc Groove	
Disc Slip Check	Disc Run out Check	
UT inspection Rotor Core	Rabbit Dimension Check or Curvic or Hirth Coupling Contact Area Check	
Metallurgical Investigation by Replica and Hardness Test	Rabbit or Curvic NDT for Surface Defects	
	Disc Metallurgical Investigation by Replica and Hardness Test	
	Disc Balancing Check	
	Old Through Bolts and Tie Rod Bolts Creep Check	
	Old Through Bolts and Tie Rod Bolts Metallurgical Investigation by Replica and Hardness Test or Destructive Test if necessary	
	New Through Bolts or Tie Rod Bolts NDT	
	New Through Bolts or Tie Rod Bolts Dimension and Run Out Checks	
	New Through Bolts Straightening if necessary	



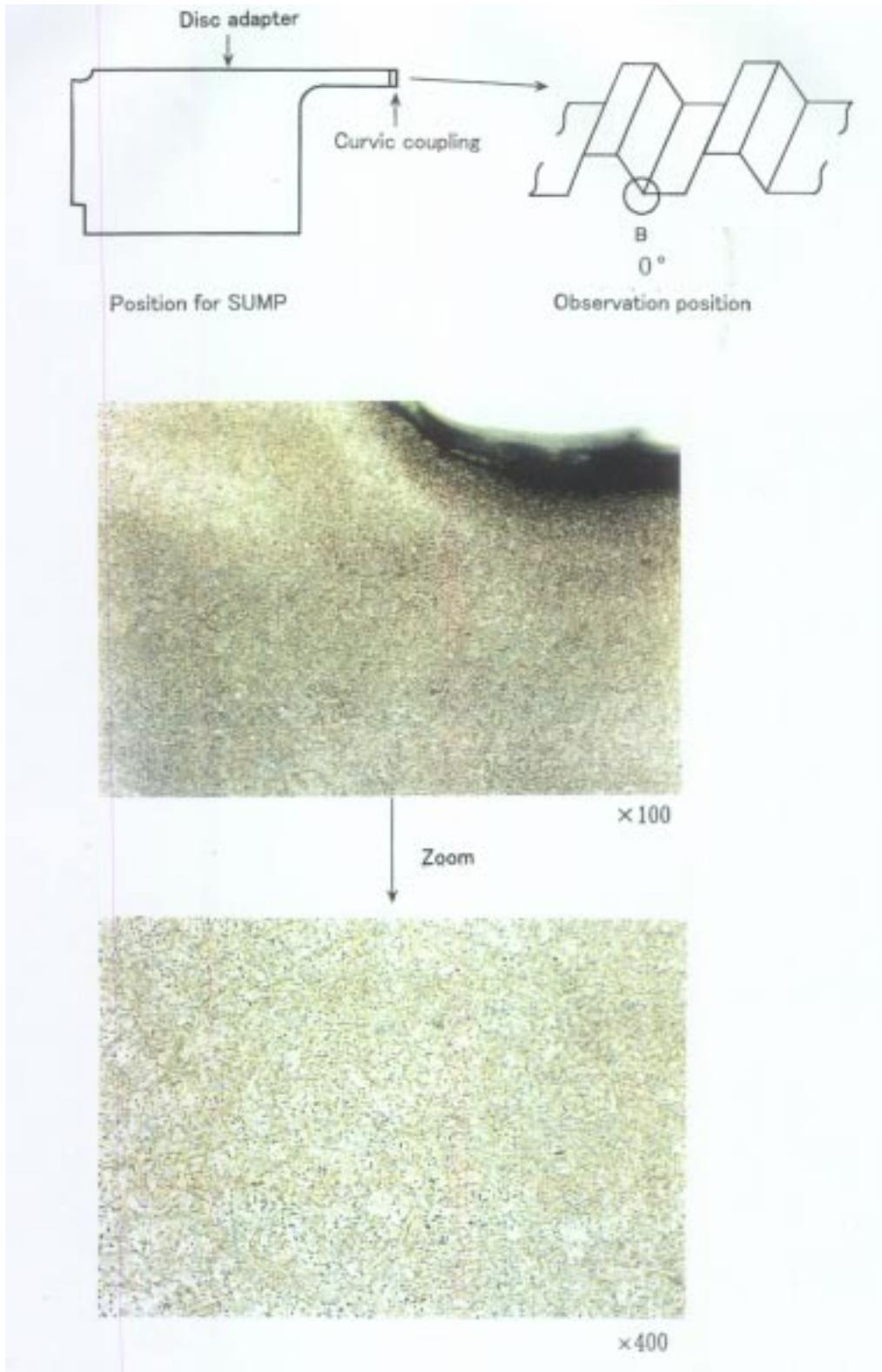
รูปที่ 26 แสดง MW701D Compressor Blade Groove หลังจากที่ถอด Blade และ ทำการ Clean เรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 27 แสดง Compressor Wheel ของ PG9001E หลังจากดำเนินการถอด Compressor Blade ออกไปแล้ว

Part	Location	Inspection for	Inspection Procedures
① Rotor & Disc	Blade groove edge	Crack due to fretting General corrosion SCC	Visual Inspection MT
	Inlet side surface of disk Blade groove edge	Material deterioration Corrosion	Metallurgical Investigation (Select typical location in appearance of indication if any.)
	Top and side (downstream) of #19 disc	Material deterioration	Hardness Measurement
② Shrink Fit	All stages shrink fit	Disc migration	Dimension Measurement (Attachment-1)
	UT Inspection area	Crack	UT

รูปที่ 28 แสดงจุดสำคัญในการ Inspection ของ MW701D Compressor Rotor



รูปที่ 29 แสดงตัวอย่างการทำ Metallurgy Investigation โดย วิธี Replica บริเวณ Curvic Coupling



รูปที่ 30 แสดงการตรวจสอบค่า Disc Mass Unbalance โดยใช้วิธี Check แบบ Dynamic



รูปที่ 31 แสดงการซั่งน้ำหนักร การตรวจสอบ Surface Defects โดยการท่า MT การวัดค่า Run out และการแก้ไข Run Out ของ Through Bolts กรณีค้ำที่วัดได้ไม่ผ่านเกณฑ์

#### 4. Reassembly or Restacking

ในขั้นตอนนี้จะดำเนินการหลังจากที่ทำการ Check and Inspection Rotor Components เรียบร้อยแล้ว โดยในขั้นตอนนี้จะดำเนินการย้อนขั้นตอนของการ Unstacking แต่มีประเด็นสำคัญที่ต้องพึงปฏิบัติดังต่อไปนี้

- 4.1 การพิจารณาค่า Total Disc Unbalance, การพิจารณาค่า Total Through Bolts Unbalance เพื่อปรับตำแหน่งการประกอบ Through Bolts
- 4.2 การ Mark ตำแหน่งก่อนการประกอบเพื่อป้องกันความผิดพลาด
- 4.3 การรักษาความสะอาดขณะประกอบ
- 4.4 การยึด Through Bolts และการวัดค่า ซึ่งต้องเป็นไปอย่างถูกต้องตามขั้นตอนของ Rotor แต่ละ Design



รูปที่ 32 แสดงการติดตั้ง Dial Gauge เพื่อวัดค่าการยึดของ PG9001E Compressor Through Bolts ในแต่ละ Step

#### 5. Final Inspection and Balancing

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการตรวจสอบขั้นสุดท้ายก่อนที่จะดำเนินการส่ง Rotor คืนให้แก่ลูกค้า โดย ขั้นตอนย่อยๆจะเป็นเช่นเดียวกับขั้นตอนการ Incoming Inspection

6. Pack and Ship

หลังจากที่ผ่านการตรวจสอบขั้นสุดท้ายแล้ว Rotor จะถูก Pack อย่างปลอดภัย และส่งถึง Site ตามที่ได้กำหนดเอาไว้



รูปที่ 33 แสดงการขนส่ง Rotor ไปที่ site โดย Rotor ถูกบรรจุอยู่ใน Capsule

## บทสรุป

จากที่ได้กล่าวมาแล้วทั้งหมดจะเห็นว่า การบำรุงรักษา Gas Turbine Rotor นั้นเป็นสิ่งที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้กับหลายๆ โรงไฟฟ้าที่ใช้เครื่อง Gas Turbine โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กับเครื่อง Gas Turbine ขนาดใหญ่ ซึ่งทางบริษัทผู้ผลิตระบุ Maintenance Cycle ไว้อย่างแน่นอน ประกอบกับขั้นตอนการบำรุงรักษา นั้น จำเป็นต้องใช้ เครื่องจักรกลขนาดใหญ่ เช่น แท่นกลึงแนวนอน และ แท่น Balance ที่สามารถรองรับ Rotor ขนาดใหญ่ได้ ซึ่ง อุปกรณ์เหล่านี้ ต้องใช้การลงทุนที่สูงในการสร้าง Workshop ขนาดใหญ่ รวมทั้งประสบการณ์การทำงานของผู้ปฏิบัติงานที่มีความสามารถเพียงพอ ในสิ่งเหล่านี้ ทางธุรกิจบำรุงรักษา ได้พยายามพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของ Non-OEM ในการให้บริการกับลูกค้าโรงไฟฟ้าต่างๆต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. GER 3620g, Heavy-Duty Gas Turbine Operating and Maintenance Considerations
2. Work Completion Report Rotor Integrated Inspection Nam Phong Power Plant
3. MS9001E Gas Turbine Compressor Rotor Unstacking Report
4. ASME 81-GT-181, Experience with Large Heavy-Duty Gas Turbine Rotors
5. Gas Turbine Rotor Modification, Lankrabue Unit 1, 1985 Report
6. KWU V93.2, Bang Pakong Combined Cycle Power Plant, Major Overhaul Report