บทที่ 4

การนำผลการทดลองไปใช้กับการรีดจริง

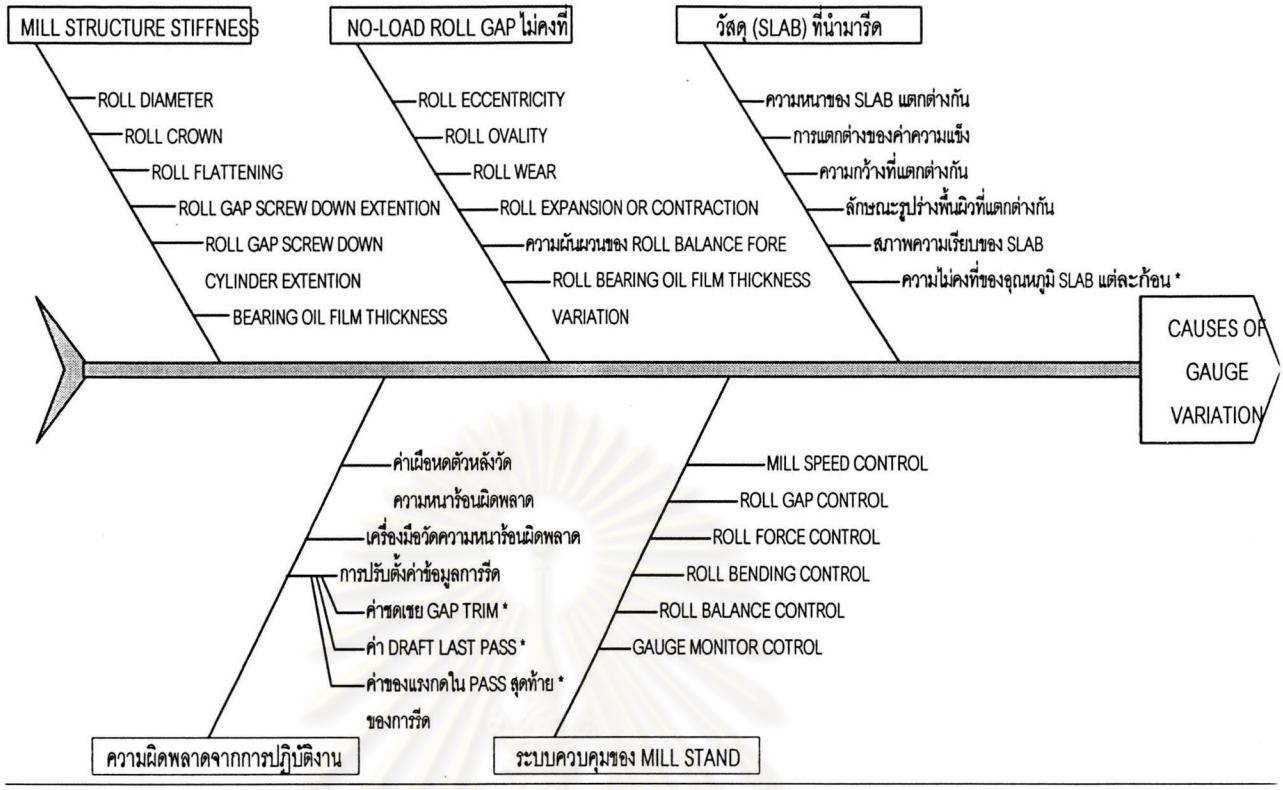
4.1 การวิเคราะห์สาเหตุของค่าความหนาที่ผิดพลาด

สิ่งที่มีผลกระทบต่อค่าความหนา (Gauge) ใน Hot Rolling Mill เกิดขึ้นได้จากสาเหตุต่างๆ ดังนี้

1. อุปกรณ์เชิงกลต่างๆ ของแท่นรีด ซึ่งสามารถทำให้เกิดปัญหาสองสาเหตุคือ
    - No. Load Roll Clearance ไม่คงที่
    - Mill Stiffness ไม่คงที่
2. ระบบควบคุม Mill Stand
3. วัสดุ (Slab) ที่นำมารีด
4. ความผิดพลาดจากการปฏิบัติงาน

ทั้ง 4 สาเหตุใหญ่ๆ สามารถนำไปวิเคราะห์สาเหตุย่อยโดยใช้แผนภูมิก้างปลา (Fishbone diagram) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ ดังแสดงต่อไปนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 แผนภูมิก้างปลาวิเคราะห์ปัญหาสาเหตุของการเกิด Gauge Variation ของ Vladimir B. Ginzburg

จากแผนภูมิก้างปลาสาเหตุย่อยตามกิ่งของสาขาย่อยถือเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการควบคุมความถูกต้องของค่า Clearance ช่องว่างระหว่าง Work roll ซึ่งส่งผลให้ความหนาของเหล็กแผ่นที่ออกมาไม่ถูกต้อง ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาปัจจัยแต่ละตัวว่าตัวใดเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้หรือเป็นปัจจัยแปรผัน แล้วดำเนินการหามาตราการเพื่อควบคุมหรือตรวจสอบปัจจัยคงที่ทุกตัว ซึ่งการวิเคราะห์สามารถแสดงไว้ในตารางการวิเคราะห์ปัจจัยของสาเหตุ Gauge Variation และการดำเนินการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์สาเหตุ Gauge Variation และการดำเนินการ

สาเหตุหลัก	ปัจจัยย่อย	ปัจจัยที่ควบคุมได้	ปัจจัยแปรผัน	การดำเนินการควบคุม/ตรวจสอบวัดผล
วัสดุ (Material) ที่นำมารีด	- ความหนาของ Slab แตกต่างกัน	✓		- การตรวจสอบความหนา Slab ก่อนการผลิต
	- การแตกต่างกันของค่าความแข็ง	✓		- ตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของ Slab และการอบให้ Slab มีอุณหภูมิทั่วถึงทั้งก้อน
	- ความกว้างที่แตกต่างกัน	✓		- การตรวจสอบความกว้างของ Slab
	- ลักษณะรูปร่างพื้นผิวที่แตกต่างกัน	✓		- การตรวจสอบสภาพของ Slab ก่อนการผลิต
	- สภาพความเรียบของ Slab	✓		- การตรวจสอบสภาพของ Slab ก่อนการผลิต
	- อุณหภูมิของ Slab ไม่คงที่	✓		- ควบคุมอุณหภูมิของวัตถุดิบและอุณหภูมิสุดท้ายของการรีด
ปัญหา No Load Roll Gap ไม่คงที่	- Roll Eccentricity	✓		- ทำการตรวจวัดค่า Roll Eccentricity โดยอ้างอิงตามวิธีของ "E.G. Lindsay"
	- Roll Ovality	✓		- ตรวจวัดค่า Profile ผิวของ Roll
	- Roll Wear		✓	- เก็บข้อมูลทดลองแยกตามช่วงระยะทางการใช้ Work Roll คือ 0-10 Km, 10-20 Km, 20 Km -สิ้นสุดการใช้งาน
	- Roll Expansion Or Contraction	✓		- เก็บข้อมูลทดลองในช่วงการรีดติดต่อ โดยเว้นข้อมูลในช่วงเริ่มต้นการรีดและช่วงแรกๆ หลังการเกิด Delay Time เกินกว่า 10 นาที
	- ความผันผวนของ Roll Balance Force	✓		- เช็คตรวจสอบแรงดันน้ำมันของระบบ Roll Balance
	- Roll Bearing Oil Film Thickness Variation	✓		- ตรวจสอบระบบ Loop จ่ายน้ำมันให้ถูกต้อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์สาเหตุ Gauge Variation และการดำเนินการ(ต่อ)

สาเหตุหลัก	ปัจจัยย่อย	ปัจจัยที่ควบคุมได้	ปัจจัยแปรผัน	การดำเนินการควบคุม/ตรวจสอบวัดผล
ปัญหาค่า Mill Structure Stiffness	- Roll Diameter	✓		- ตรวจเช็คความถูกต้องของขนาด Roll
	- Roll Crown	✓		- ตรวจเช็ครายงาน Profile ของ Work Roll หลังการเจียร์
	- Roll Flattening	✓		- ตรวจเช็คราย่งาน Profile ของ Back-up Roll หลังการเจียร์
	- Roll Gap Screw Down Extension	✓		- ทำการตรวจเช็คความเที่ยงตรงของอุปกรณ์วัด
	- Roll Gap Hydraulic Cylin. Extension	✓		- ตรวจสอบระบบ Loop จ่ายน้ำมันให้ถูกต้อง* ทำการตรวจสอบผลของการทำ Stretch Calibration Curve
	- Bearing Oil Film Thickness	✓		
ระบบควบคุมของ Mill Stand	- Mill Speed Control	✓		- ตรวจสอบระบบควบคุมและนำรอบของ Main Drive
	- Roll Gap Control	✓		- ตรวจสอบความเที่ยงตรงของ Servo Valve
	- Roll Force Control	✓		- ตรวจเช็คระบบและความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ Pressure Tran Sourer
	- Roll Balance Control	✓		- ตรวจสอบระบบ Loop จ่ายน้ำมันให้ถูกต้อง
	- Roll Bending Control	✓		- ตรวจสอบคำนวณหา Work Roll Bending Effect Rate
	- Roll Coolant Control	✓		- ตรวจเช็คสภาพ Nozzle Roll Coolant และแรงดัน
	- Gauge Monitor Control	-	-	- ไม่มีการใช้งาน

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์สาเหตุ Gauge Variation และการดำเนินการ(ต่อ)

สาเหตุหลัก	ปัจจัยย่อย	ปัจจัยที่ควบคุมได้	ปัจจัยแปรผัน	การดำเนินการควบคุม/ตรวจสอบวัดผล
ความผิดพลาดจากการปฏิบัติงาน	- เครื่องมือวัดความหนาร้อนผิดพลาด - การปรับตั้งค่าข้อมูลการรีด	✓		- Calibrate เครื่องมือวัดก่อนใช้งานทุกครั้ง
	: ค่าชดเชย Gap Trim		✓	- เก็บข้อมูลหาค่าเบี่ยงเบนจากการทดลองเปรียบเทียบกับการรีดจริง
	: ค่า Draft Last Pass		✓	- เก็บข้อมูลค่าปรับตั้ง Draft Last Pass เพื่อวิเคราะห์
	: ค่าของแรงกดใน Pass สุดท้ายของการรีด		✓	- เก็บข้อมูลของ Force Last Pass เพื่อวิเคราะห์

4.2 การควบคุมปัจจัยของสาเหตุ Gauge Variation

จากการวิเคราะห์สาเหตุการเกิดปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อความผันแปร การคงที่ของค่าความหนาของผลิตภัณฑ์จากการรีด ซึ่งจำเป็นต้องมีการควบคุมปัจจัยแต่ละตัวที่สามารถควบคุมได้ให้อยู่ในสภาวะที่ยอมรับได้ ทั้งนี้เพื่อไม่ให้มีผลกระทบต่อปัจจัยแปรผันสองตัวสุดท้าย คือ Draft Last Pass และ Force Last Pass ที่จะทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป

ปัจจัยที่จะทำการควบคุมได้แก่

- วัสดุ (Material) ที่นำมาผลิต
- การตรวจสอบระบบควบคุมที่มีผลต่อค่า No. Load Roll Gap
- การตรวจสอบระบบวัดค่า Mill Structure Stiffness
- การตรวจสอบระบบควบคุมของแท่นรีด (Mill Stand)
- การเช็คความพร้อมของการปฏิบัติงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.1 การควบคุมวัสดุ (Material) ที่นำมาผลิต

วัสดุหรือวัตถุดิบที่นำมาผลิตโดยทั่วไปเรียกว่า SLAB ซึ่งสั่งนำเข้าจากต่างประเทศ ในการทดลองจะใช้วัสดุเกรดเดียวกันได้แก่ เกรด SS 400 และต้องมีการควบคุมวัตถุดิบที่จะใช้ในช่วงทดลองดังนี้

4.2.1.1 ควบคุมขนาดและสภาพรูปร่างของวัตถุดิบ

ทำได้โดยการจัดทำแบบฟอร์มตรวจวัดขนาดและรูปร่างวัตถุดิบหลังจากมีการจัดเตรียมก่อนนำเข้าแผนการผลิต โดยกำหนดค่าพิกัดความเผื่อของขนาดเท่ากับ ความหนา $\pm$ 5 ม.ม. ความกว้าง $\pm$20 ม.ม. และความยาวให้อยู่ในช่วง 2,000 ม.ม. 3,000 ม.ม.

4.2.1.2 การควบคุมค่าส่วนผสมทางเคมีของวัตถุดิบ

เนื่องจากค่าส่วนผสมทางเคมีของวัตถุดิบมีผลโดยตรงกับค่าความแข็งแรงของวัตถุดิบขณะนำไปผลิต ซึ่งโดยปกติวัตถุดิบแต่ละชุดที่ผ่านการหล่อหลอมจากเตาในครั้งเดียวกัน (Heat Number) จะมีส่วนผสมทางเคมีเหมือนกัน ดังนั้นก่อนนำวัตถุดิบเข้าผลิตจะมีการตัดชิ้นงานตัวอย่างของวัตถุดิบแต่ละ Heat ไปทำการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี โดยเครื่อง Spectrometer เพื่อเปรียบเทียบธาตุผสมแต่ละตัวตรงตามมาตรฐานของเกรดเหล็ก SS-400 กำหนดไว้

คาร์บอน (C)	ซิลิกอน (Si)	แมงกานิส (Mn)	ฟอสฟอรัส (P)	ซัลเฟอร์ (S)
0.10-0.16%	0.07%	0.60-0.80%	0.025%	0.025-0.030%
ทองแดง (Cu)	นิเกิล (Ni)	โครเมี่ยม (Cr)	โมลิบดินั่ม (Mo)	อลูมิเนียม (Al)
0.025%	0.18%	0.15%	0.05%	0.02-0.08%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.2 การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของวัตถุดิบด้วยเครื่อง Spectrometer

4.2.1.3 การควบคุมอุณหภูมิของวัตถุดิบ

การควบคุมอุณหภูมิของวัตถุดิบสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่

- การควบคุมอุณหภูมิวัตถุดิบระหว่างอบให้ความร้อนภายในเตาอบ (Reheating Furnace) เป็นการอบวัตถุดิบให้ได้อุณหภูมิตามต้องการก่อนนำไปรีด ซึ่งกำหนดเป็นมาตรฐานไว้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความหนาของวัตถุดิบและขนาดผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปรีด สำหรับการทดลองนี้จะควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 1,180 ^{o}C $\pm$ 30 ^{o}C โดยการควบคุมอุณหภูมิจะอาศัยการควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ ทำการควบคุมเวลาการให้ความร้อนและอุณหภูมิการเผาไหม้โดยรอบจนได้อุณหภูมิที่อยู่ในช่วงที่ต้องการ

การควบคุมอุณหภูมิวัตถุดิบระหว่างการรีด สามารถกำหนดค่าอุณหภูมิเป้าหมายของผลิตภัณฑ์ในการรีดครั้งสุดท้ายก่อนออกจากแท่นรีดได้ในโปรแกรมการรีด โดยปกติจะกำหนดไว้ที่ 850 ^{o}C ซึ่งโปรแกรมจะพยายามคำนวณจำนวน Pass การรีดให้อุณหภูมิออกมาได้ตามกำหนด และในระหว่างการรีดและผลของอุณหภูมิการรีดในครั้งสุดท้ายจะถูกวัดโดยอุปกรณ์ไพโรมิเตอร์แบบวัดการแผ่รังสี (Radiation Pyrometer) และแสดงผลออกมาในรายงานให้ทราบ ดังตัวอย่าง

ID	ความหนา Slab (mm.)	ความกว้าง Slab (mm.)	ความยาว Slab (mm.)	weight	อุณหภูมิ Slab (°C)	ความหนารีด (mm.)	ความกว้างรีด (mm.)	ความยาวรีด (mm.)	อุณหภูมิสุดท้าย (°C)
J3A112B	198	1251	1990	3869	1231	7.69	1566	40	766
J3A110A	197	1254	1990	3859	1231	7.71	1566	40	769
J3A110B	197	1254	1990	3859	1231	7.70	1566	40	793

และในส่วนของช่วงการทดลองรีดจริงจะเก็บข้อมูลอุณหภูมิการรีดครั้งสุดท้ายเฉพาะช่วงอุณหภูมิ 850 $\pm$ 50 °C เท่านั้น

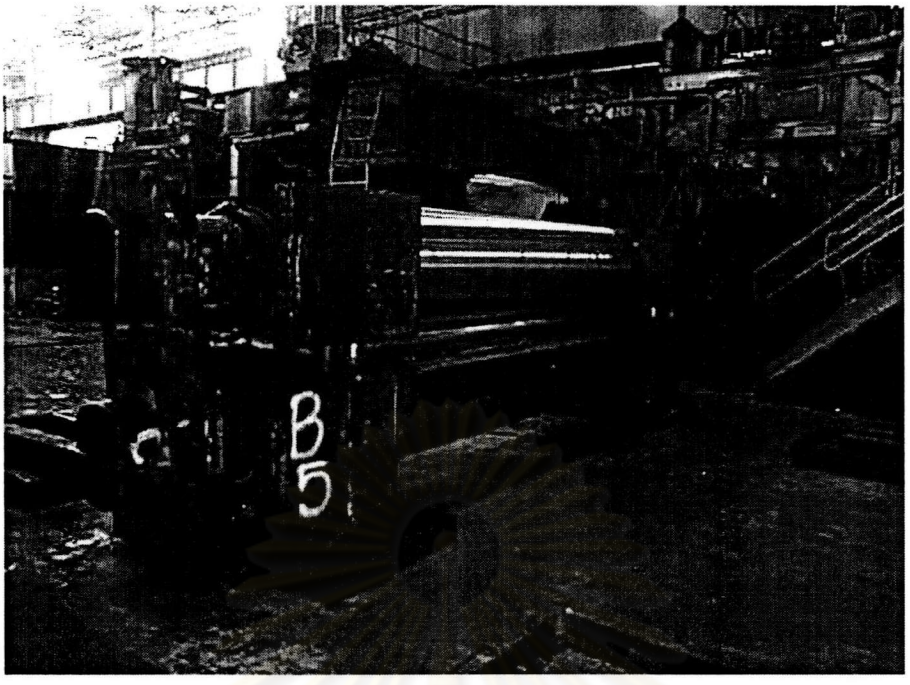
4.2.2 การควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อค่า No Load Roll Gap ไม่คงที่

การแปรค่าของ No Load Roll Gap ปกติจะเกิดจากปัจจัยต่างๆ ที่มีผลทำให้ระยะช่องห่างระหว่างลูกรีดที่กำหนดไว้เบี่ยงเบนไปขณะทำการหมุนตัวเปล่า โดยยังไม่มีการป้อนวัตถุดิบหรือแรงกดลงไป การควบคุมปัจจัยต่างๆ ทำได้ดังนี้

4.2.2.1 การควบคุมการแกว่งตัวของชุดลูกรีด (Roll Eccentricity)

การแกว่งตัวของชุดลูกรีด Work Roll จะเกิดจากค่า Clearance ต่าง ๆ ของส่วนประกอบชุด Support ที่ปลายทั้งสองด้านซึ่งเรียกว่า "CHOCK" ประกอบไปด้วย Bearing Journals, Inner Sleeve ฯลฯ รวมทั้งการประกอบชุด CHOCK ที่ไม่ดีพอก็จะส่งผลให้ชุดลูกรีดเกิดการแกว่งตัวเมื่อใช้งาน

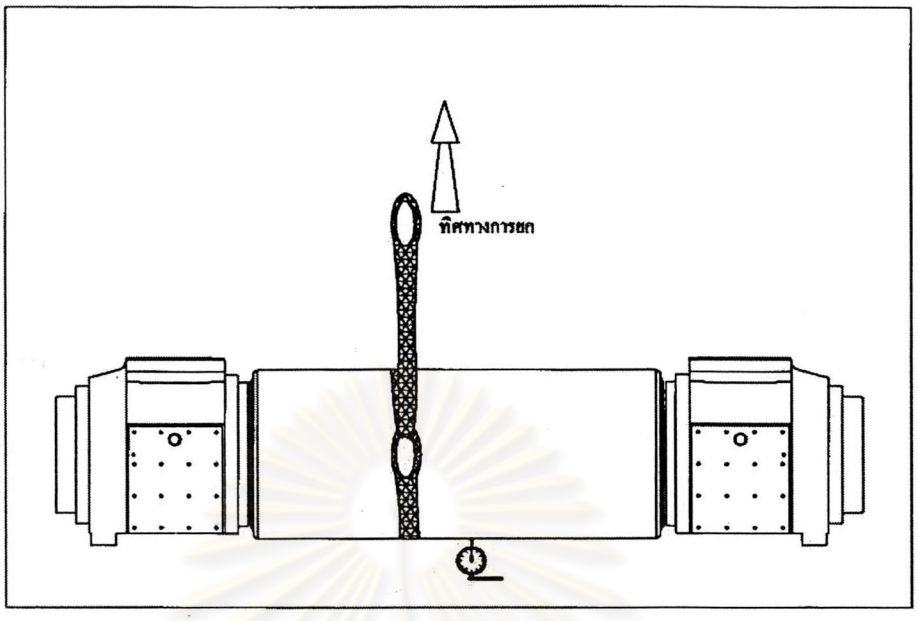
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 แสดงส่วนประกอบของชุด "CHOCK" รองรับลูกรีด

การทดสอบจะทำกับชุด CHOCK ที่จะใช้สำหรับการรีดทดลอง โดยอาศัยการตรวจวัดค่าตามวิธีของ "E.G. Lindsey" โดยนำชุด Work Roll ที่ประกอบชุด CHOCK เสร็จตามขั้นตอนที่กำหนดมาจัดวางบนพื้นระดับ และที่ช่องว่างระหว่างพื้นระดับกับผิวลูกรีดตรงค่ากึ่งกลาง ทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการแกว่ง Dial Gauge โดยให้ปลายของอุปกรณ์วัดสัมผัสกับผิวของลูกรีด แล้วทำการ Reset ค่าเป็นศูนย์ ทำการ Mark ระยะวัดโดยรอบผิวของลูกรีดทุก ๆ ระยะ 15 องศา รวม 24 จุด

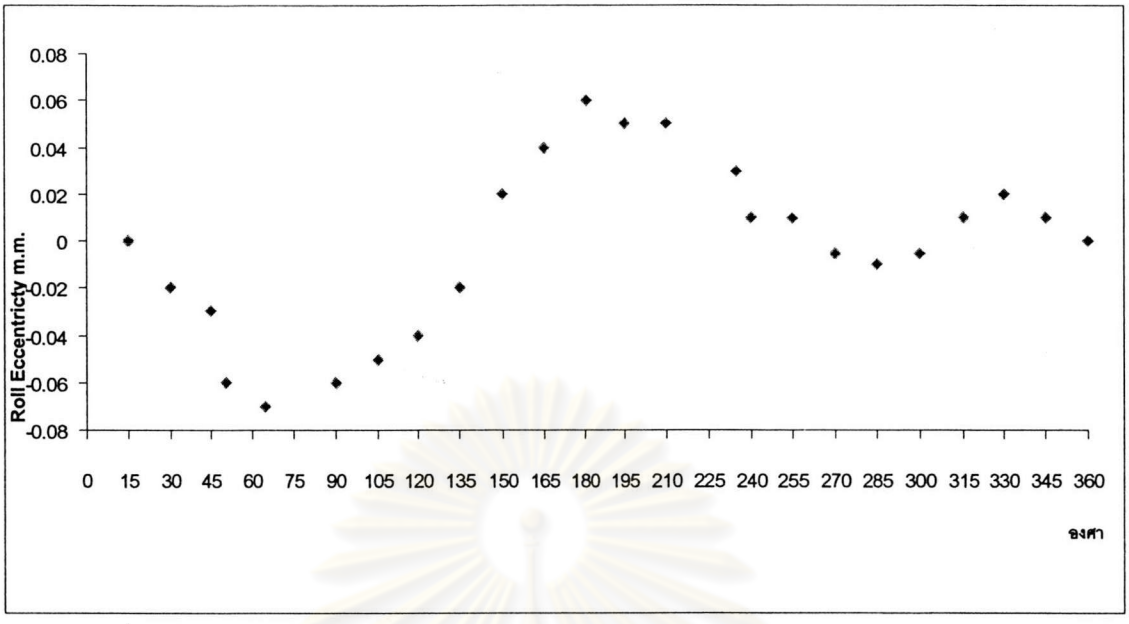
ทำการติดตั้งสลิงผ้าใบทนแรงดึง 10 ตันตามรูปที่ 4.4 แล้วนำห่วงด้านบนคล้องเข้ากับตะขอของเครนยกเหนือศีรษะ และค่อย ๆ ทำการยกขึ้นในแนวดิ่ง ให้ลูกรีดค่อย ๆ หมุนและอ่านค่าเข็มชี้ที่ Dial Gauge เมื่อถึงระยะที่กำหนดและบันทึกผล และต้องค่อย ๆ ขยับตำแหน่งสลิงผ้าใบเรื่อย ๆ ทำซ้ำจนครบ 3 รอบ



รูปที่ 4.4 แสดงการทดสอบการแกว่งตัวตามวิธีของ “E.G. Lindsey”

รูปที่ 4.5 แสดง Dial Gauge สำหรับวัดการแกว่งตัว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



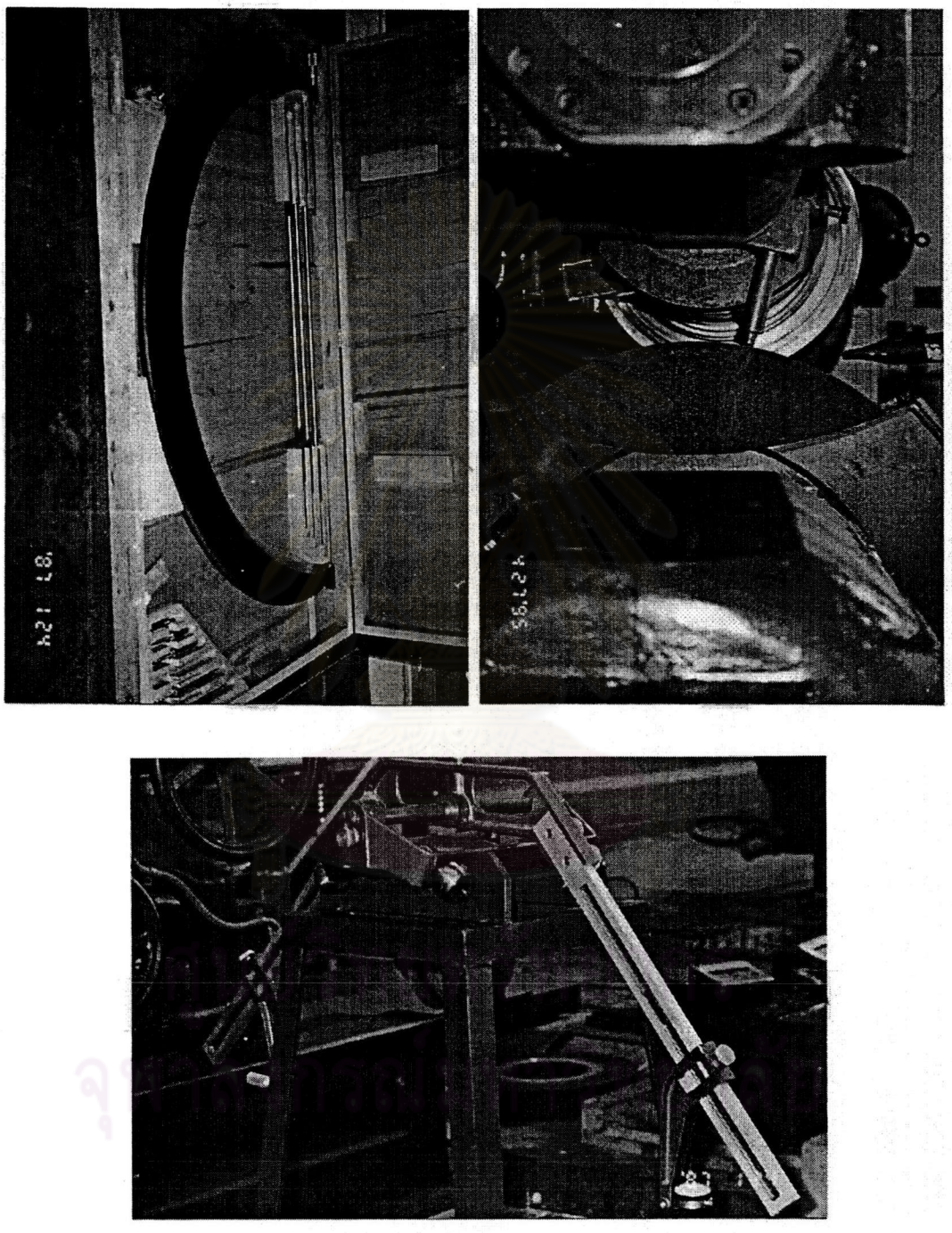
รูปที่ 4.6 แสดงผลการตรวจวัดค่า Roll Eccentricity ตารางกลางของ Work Roll

4.2.2.2 การวัดตรวจสอบความกลมของผิวลูกรีด (Roll Ovality)

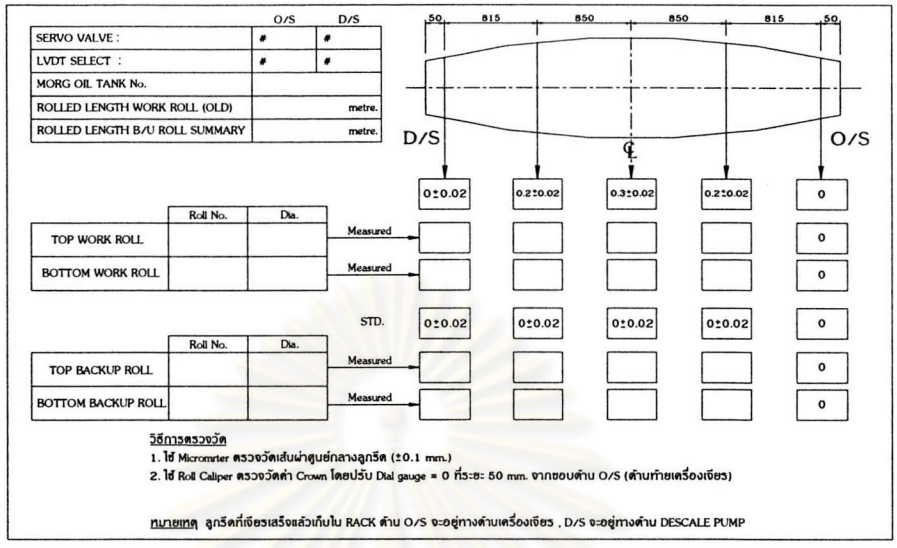
ลูกรีดแต่ละลูกเมื่อผ่านการนำไปใช้งานจนถึงระยะกำหนดจะถูกเปลี่ยนออกเพื่อนำกลับมาเจียร์ผิวใหม่ ซึ่งในขั้นตอนการเจียร์ผิวนี้อาจเกิดข้อผิดพลาดเช่น การตั้งศูนย์ถ่วงของลูกรีดไม่ดีหรือเครื่องเจียร์ทำงานผิดพลาด ทำให้ลูกรีดไม่สมดุลย์กัน ซึ่งทำให้มีผลต่อค่า No Load Roll Gap เปลี่ยนไป

วิธีการควบคุมจะทำโดยการตรวจวัดลูกรีดด้วยอุปกรณ์วัดระดับของผิวลูกรีด 2 จุดตรงข้ามกันตลอดความยาวลูกรีด และนำมาจัดทำตารางแสดง Profile ลักษณะผิวลูกรีด เพื่อนำไปตรวจสอบค่า Crown ที่เจียร์ได้ต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 แสดงอุปกรณ์วัดค่าระดับของผิวลูกรีด



รูปที่ 4.8 แสดงค่าบันทึกข้อมูลการวัดระดับผิวของลูกรีด

4.2.2.3 การควบคุมค่าการสึกของลูกรีด (Roll Wear)

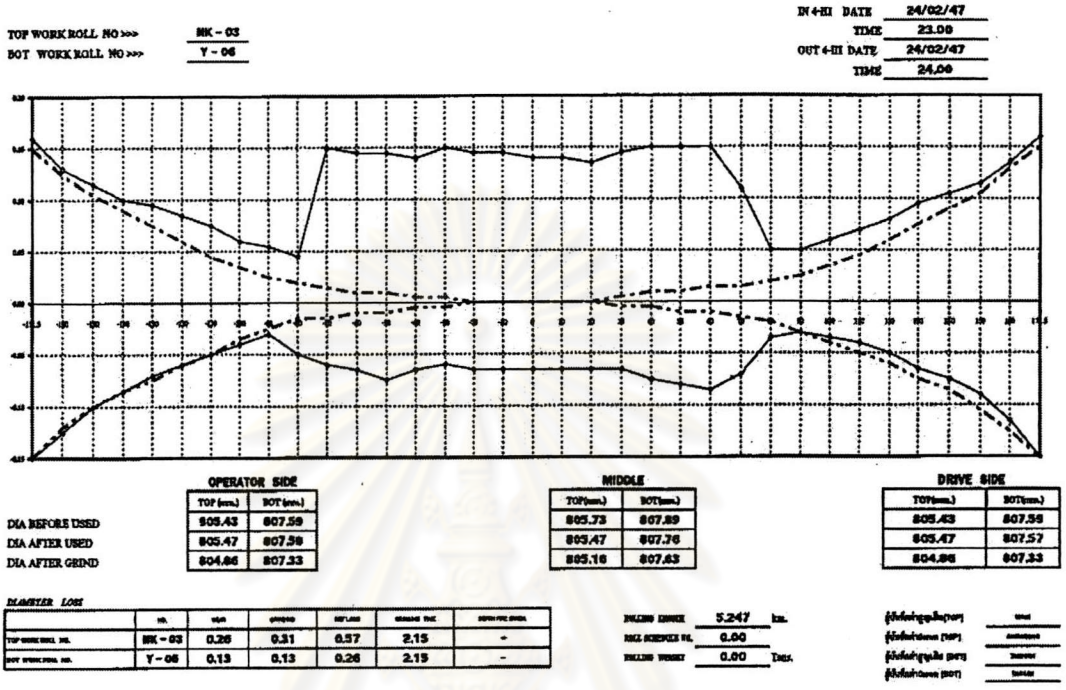
ลูกรีดที่ใช้งานเริ่มต้นจะมีการเจียร์ค่า Crown กำหนดไว้ที่ 0.3 ม.ม. เพื่อใช้สำหรับชดเชยการโก่งตัวของลูกรีดขณะทำการรีด ซึ่งเมื่อทำการรีดผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ ค่าของ Crown จะค่อย ๆ ลดลงแปรผันตามระยะทางความยาวของการรีดสะสมจนถึงระยะทางที่จุดหนึ่ง ปัจจุบันกำหนดไว้ที่ 30-32 กิโลเมตร ค่า Crown คงเหลือใกล้เคียงค่า 0.0 ม.ม. ซึ่งจะถือว่าหมดอายุการใช้งาน ต้องนำออกไปเจียร์ตำแหน่ง Crown ใหม่

เนื่องจากการวัดค่า Crown คงเหลือจริงระหว่างการรีดทำได้ยากมาก ขณะที่ผลของค่าการสึกของ Crown จะถูกคำนวณโดยโปรแกรมการรีดซึ่งมีผลต่อค่า Roll Gap ดังนั้นในการทดลองผลจะมีการแยกผลการรีดออกเป็น 3 ช่วงตามระยะทางการใช้งานของลูกรีดจริงที่ถูกวัดโดยการนับรอบการหมุนของลูกรีดขณะที่มีวัตถุดิบเข้ามารีดดังนี้

ช่วงที่ 1 ระยะทางตั้งแต่ 0 ถึง 9.999 กิโลเมตร

ช่วงที่ 2 ระยะทางตั้งแต่ 10.000 ถึง 15.999 กิโลเมตร

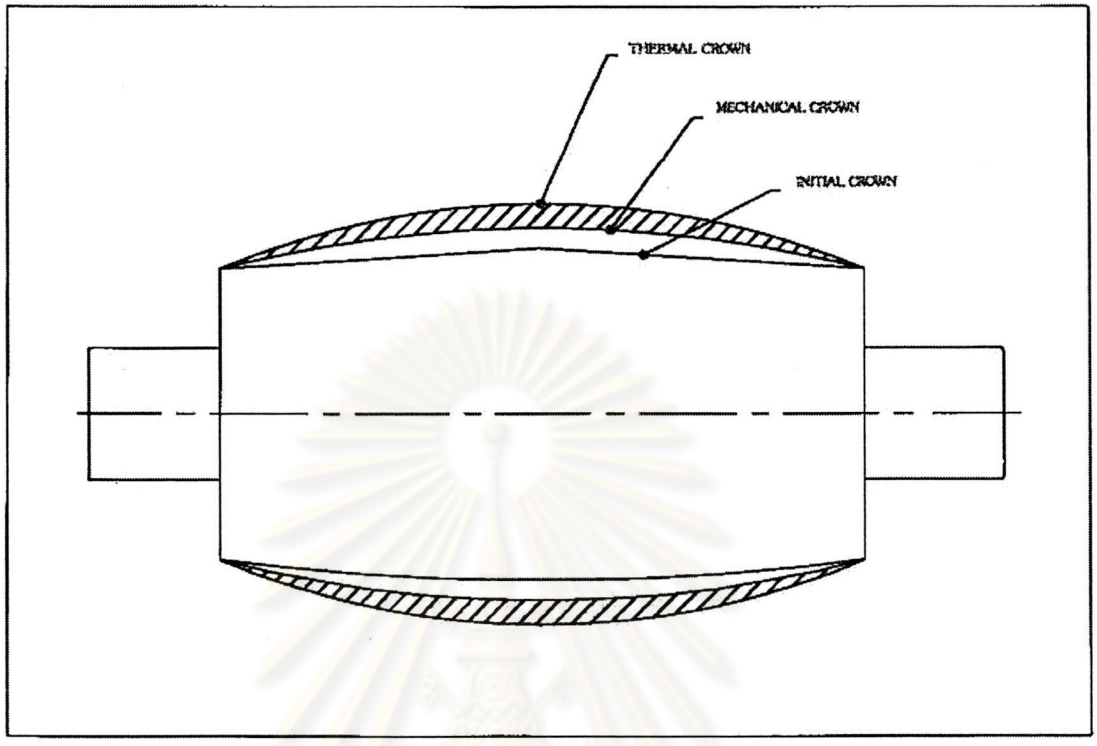
ช่วงที่ 3 ระยะทางตั้งแต่ 16.000 กิโลเมตรถึงสิ้นสุดการใช้งาน



รูปที่ 4.9 แสดง Profile การ Wear ของ Work Roll หลังใช้งาน

4.2.2.4 การควบคุมค่าการขยายตัวหดตัวของลูกรีด

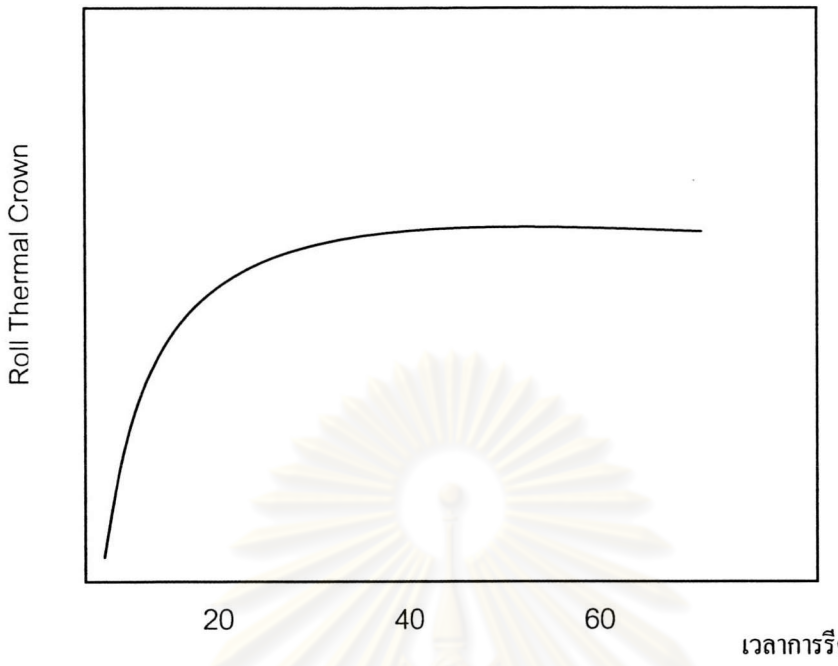
ลูกรีดขณะใช้งานเมื่อได้รับความร้อนจากการถ่ายเทวัตถุดิบที่นำมารีดจะเกิดการขยายตัวเชิงเส้นขึ้น ทำให้ลูกรีดมีขนาดโตขึ้น ค่า Crown เพิ่มขึ้น เรียกส่วนที่เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมินี้ว่า “Thermal Crown”



รูปที่ 4.10 แสดงชนิดของค่า Crown ลูกรีดจาก Machine และจากอุณหภูมิ

ผลจากอุณหภูมิลูกรีดจะมีผลต่อค่า No Load Roll Gap การเพิ่มขึ้นของขนาด Thermal Crown จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของลูกรีด เช่นช่วงระยะเริ่มต้นรีด Work Roll จะเย็นอยู่ Thermal Crown จะเกิดขึ้นน้อย จนเมื่อผ่านการรีดชิ้นงานไปแล้ว 2-3 ก้อน ค่า Thermal Crown จะอยู่ในช่วงปกติ และจะค่อนข้างคงที่ อุณหภูมิลูกรีดจะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงแม้จะมีการรีดต่อเนื่อง เพราะแท่นรีดมีระบบน้ำหล่อเย็นลูกรีดฉีดเพื่อควบคุมอุณหภูมิไม่ให้สูงเกินไป ปกติอยู่ที่ประมาณ 60-65 ^{o}C แต่เมื่อใดที่มีการเกิดหยุดชะงักการรีดนานเกินกว่า 20 นาที ลูกรีดก็จะมีอุณหภูมิลดลง ค่า Thermal Crown ก็จะลดลงอีก

การควบคุมปัจจัยของ Thermal Crown นี้จะทำได้โดยการเลือกเก็บข้อมูลการทดลองรีดขณะที่มีการรีดต่อเนื่อง และยกเว้นข้อมูลช่วงเริ่มต้นรีดก้อนแรกหรือเริ่มรีดหลังเกิด Delay Time เกิด 20 นาที และอีกส่วนหนึ่งจะต้องมีการตรวจสอบระบบน้ำหล่อเย็นลูกรีดให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ด้วย เพื่อตัดปัญหาการหล่อเย็นไม่เท่ากัน ทำให้ Thermal Crown ไม่สมดุลย์ตลอดหน้า Work Roll

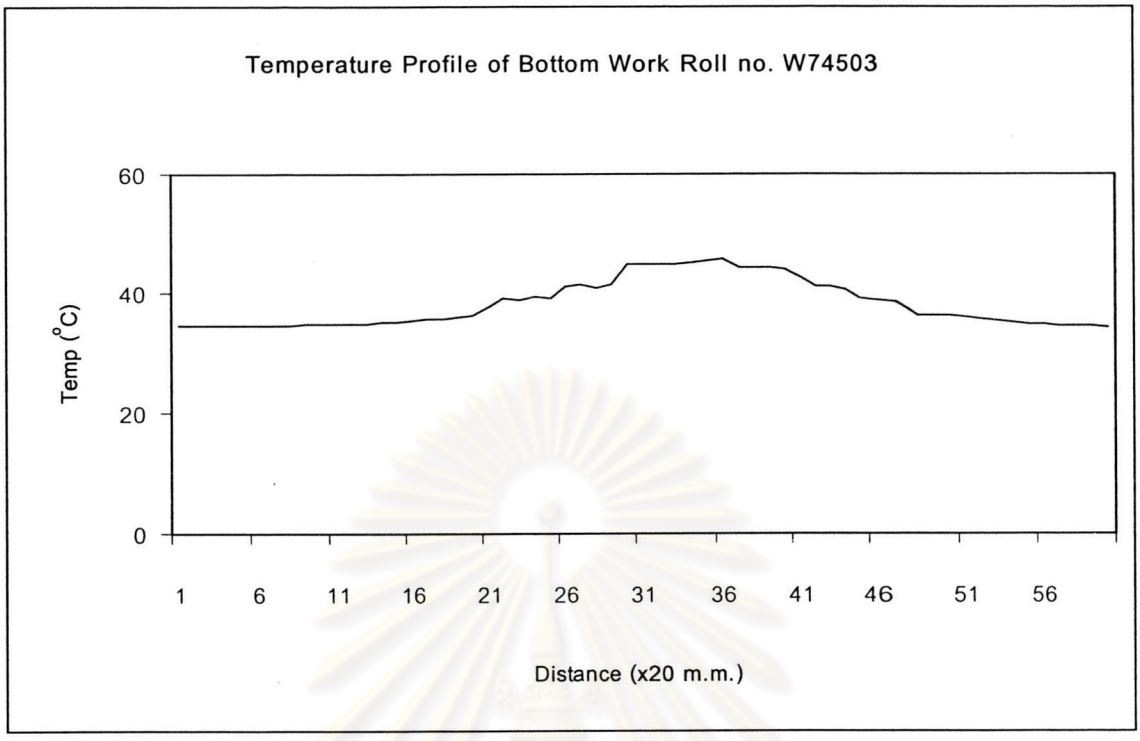


รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการรีดต่อเนื่องกับ Thermal Crown ที่เกิดขึ้น จะเห็นว่าถ้าเวลาเกิน 20 นาทีขึ้นไป ค่า Thermal Crown จะค่อนข้างคงที่

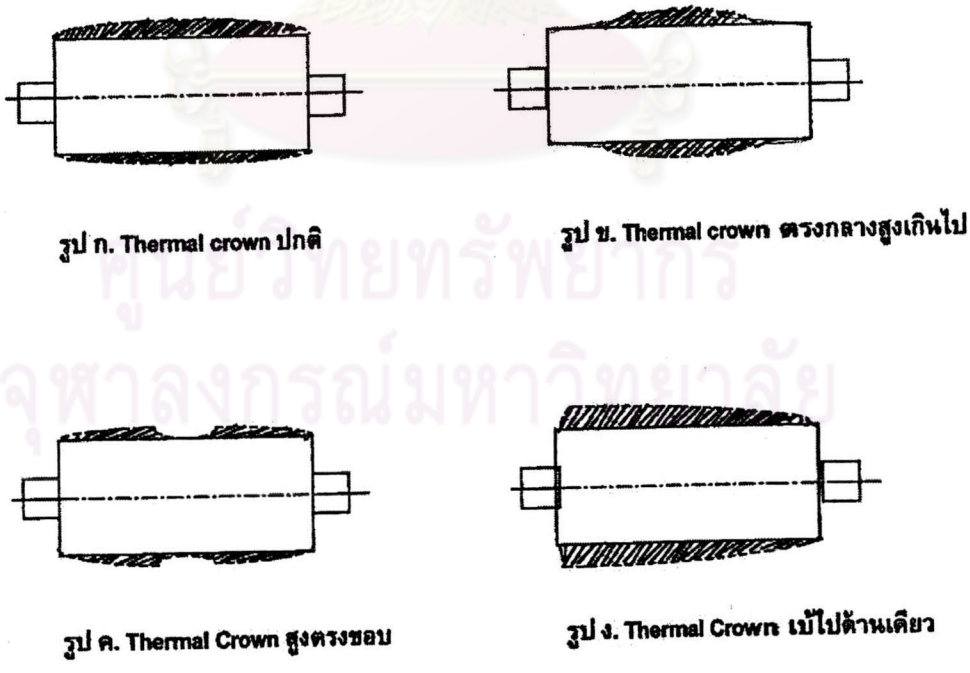
ในทางปฏิบัติอุณหภูมิลูกรีดโดยเฉลี่ยจะควบคุมให้อยู่ใน 60±5 °C แนวทางการควบคุมระบบ Roll Coolant สามารถทำได้ดังนี้

- การตรวจสอบ pressure ของแรงดันน้ำให้อยู่ในค่าปกติที่ 60 PSI
- ตรวจสภาพของหัว Nozzle ถ้ามีการสึกชำรุดต้องเปลี่ยน
- ตรวจสอบระยะมุมองศาของหัว Nozzle ต้องได้ 15 °C

การตรวจสอบความผิดปกติของอุณหภูมิลูกรีดทำได้โดยการตรวจวัดอุณหภูมิของลูกรีดทันทีหลังนำออกจากแท่นรีดหลังสิ้นสุดการใช้งาน โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิตามจุดที่มีระยะห่างเท่า ๆ กันตลอดผิวหน้าของลูกรีด เพื่อนำมาพล็อตกราฟหาความผิดปกติเพื่อแก้ไข



รูปที่ 4.12 รายงานกราฟแสดงค่า Profile ของอุณหภูมิลูกรีดหลังการใช้งาน



รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะ Thermal Crown แบบต่างๆ ที่มีผลมาจากระบบ Roll Coolant

4.2.2.5 การควบคุมการผันผวนของระบบ Roll Balance Force

ระบบไฮดรอลิค Roll Balance เป็นระบบที่ช่วยพยุงยกระดับปรับแนวของลูกรีด เพื่อปรับสมดุลย์ของน้ำหนัก ซึ่งการที่แรงดันของระบบ Roll Balance ผิดปกติไปจะมีผลทำให้แรงกดที่ใช้ขณะรีด SLAB สูงหรือต่ำเกินจริง หรืออาจไม่เท่ากันทั้งสองด้าน ดังนั้นการควบคุมระบบ Roll Balance ให้สมบูรณ์อยู่เสมอทำได้โดยการหมั่นคอยตรวจสอบระบบค่าของแรงดังน้ำมันที่แหล่งจ่ายต้องถูกต้อง และการปรับตั้งค่าแรงดันใช้งานต้องถูกต้อง ซึ่งโดยปกติทางฝ่ายซ่อมบำรุงได้มีการตรวจเช็คทุก ๆ ระยะ 2 ชั่วโมง

Work Roll Balance	แหล่งจ่าย (PSI)	แรงดันใช้งาน (PSI)	อัตราการไหล (LPM)	VELOCITY m.m./Sec
ด้านฝั่ง Operator side	2,000	1,100	50.1	21.1
ด้านฝั่ง Drive Side	2,000	1,450	50.1	21.1

ตารางที่ 4.2 แสดงค่ากำหนดควบคุมสำหรับการตรวจเช็คระบบ Work Roll Balance

4.2.2.6 การควบคุม Roll Bearing Oil Film Thickness Variation

ความหนาของ Oil Film ใน Backup Roll Bearing มีผลทำให้ค่า Gauge เปลี่ยนแปลง ซึ่งความหนาของ Oil Film (hf) โปรแกรมควบคุมการรีดมีการนำไปคำนวณตามสมการของ Reynold'd equation ดังนี้

$$h_f = \frac{a_1 \delta X}{X + b_1} \quad \text{..... (4.1)}$$

และ

$$X = \frac{c_1 \eta V}{P} \quad \text{..... (4.2)}$$

เมื่อ

a_1, b_1, c_1 = ค่าคงที่

δ = ระยะช่องว่างระหว่างลูกปืนกับคอเพลาลูกรีด (m.m.)

X = Summerfield's variable

η = ความหนืดของน้ำมัน (kg-sec/cm2)

v = ความเร็วในการรีด (m/min)

P = แรงที่ใช้ในการรีด (Ton)

ค่าคงที่ c_1 สามารถหาได้จากสมการ

$$c_1 = \frac{\ell \delta^2 10^{-3}}{3\pi D_b d} \quad \text{..... (4.3)}$$

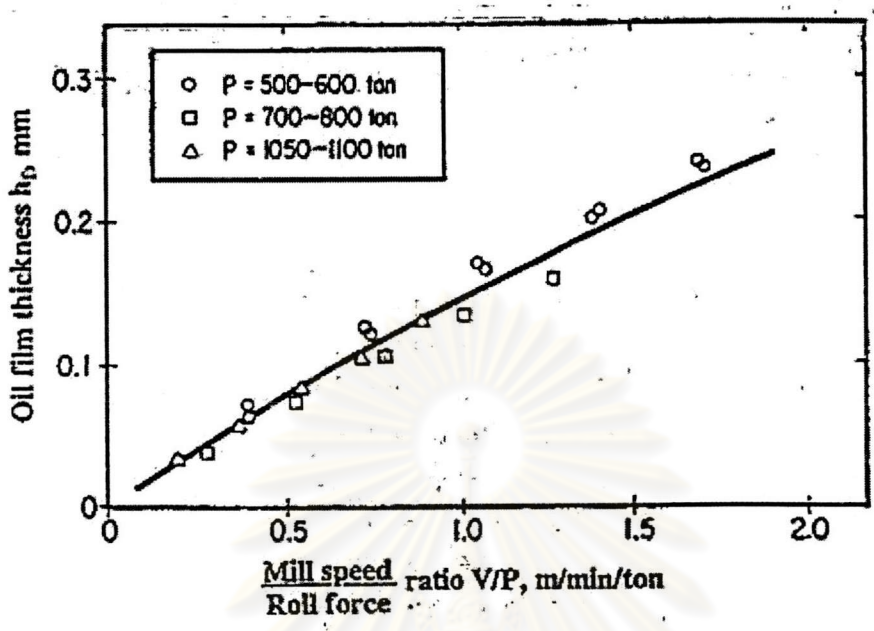
เมื่อ

ℓ = ความกว้างของ Bearing (m.m.)

D_b = ขนาดความโตของ Backup Roll (m.m.)

d = ขนาดความโตของ Journal (m.m.)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ของความหนา Oil Film กับอัตราส่วนของ Mill Speed และ Roll Force

ในส่วนของการคำนวณการเปลี่ยนแปลงความหนาของ Oil Film ตามการเร่งหรือลดความเร็วของแท่นรีดและแรงกดที่ใช้ ระบบคอมพิวเตอร์จะมีการคิดคำนวณเพื่อหาค่าชดเชยอยู่แล้ว ดังนั้นในส่วนที่จะคอยควบคุมปัจจัยความผันผวนของ Oil Film จะอยู่ที่ต้องมีการตรวจสอบขนาดของช่องว่างระหว่างเพลากับลูกปืนให้เป็นไปตามค่ากำหนดในการประกอบ Backup Roll ทุกชุด และการเลือกใช้น้ำมันที่ต้านทานการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีที่อุณหภูมิสูง และการมีสารเจือปนซึ่งก่อให้เกิดชั้น Oil Film ที่มีสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำ

4.2.3 ปัญหาค่า Mill Structures Stiffness ไม่คงที่

เป็นการเกิดการยืดตัวของแท่นรีดของส่วนประกอบต่างๆ ของแท่นรีดขณะวัตถุดิบ SLAB วิ่งเข้ามารีด ทำให้เกิดแรงต้านขึ้น ซึ่งชิ้นส่วนต่างๆ ที่ถูกประกอบกันเข้าเป็นแท่นรีดจะมีระยะช่องว่างค่าพิกัดสวมต่างๆ เช่น ตามชุดเกียร์, สกรูส่งกำลัง, ชุด Bearing ของลูกรีด ฯลฯ ส่งผลทำให้เกิดการยืดตัวขึ้น ทำให้ค่าช่องห่างของระหว่างลูกรีดเปลี่ยนไป ค่า Gauge ของแผ่นเหล็กจึงสูงกว่าที่กำหนด ในระบบของแท่นรีดมีกระบวนการที่จะใช้วัดหาค่าจริงของ Mill Structure Stiffness โดยอัตโนมัติ

ในขณะไม่มีวัตถุดิบอยู่ในแท่นรีด เพื่อนำค่าที่ได้ไปชดเชยการปรับค่าระยะช่องห่างลูกรีดระหว่างการรีด เรียกว่าการทำ “Stretch Calibration”

การทำ Stretch Calibrate จะกระทำหลังจากมีการเปลี่ยนลูกรีดชุดใหม่ หรือหลังจากมีการติดตั้งหรือปรับแต่งอุปกรณ์วัดระยะช่องห่างลูกรีด (LVDT) ทุกครั้ง การทำจะเริ่มจากการกดปุ่ม Mode “Auto Zero” สกรูส่งกำลังจะเคลื่อนที่ลงจนกระทั่งถึงระดับแรงสัมผัส จากนั้นกระบอกสูบไฮดรอลิคก็จะกดลงที่แรงอ้างอิงค่าต่ำ ๆ เพื่อเป็นการจัดระดับ (Leveling) เรียกในส่วนนี้ว่าการทำ Zeroing จากนั้นจะเริ่มเข้าสู่การทำ Stretch โดยแรงอ้างอิงจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างอัตโนมัติทีละระดับจาก 250 MT จนถึง 300 MT และจะลดระดับแรงลงมาจนถึง 250 MT และระบบจะทำซ้ำในทิศทางการหมุนด้านตรงข้าม ในแต่ละช่วงของแรงที่กด ระดับของแท่นรีดที่เปลี่ยนแปลงไปจะถูกอ่านค่าและเก็บไว้ แล้วประมวลผลออกมาเป็น Stretch Curve เพื่อใช้ตรวจสอบความผิดปกติ ซึ่งค่าการยืดตัวของแท่นรีดที่แรงกดต่างๆ จะถูกนำไปชดเชยในโปรแกรมการรีดทุก ๆ Pass เพื่อให้ความหนาแผ่นเหล็กถูกต้องยิ่งขึ้น

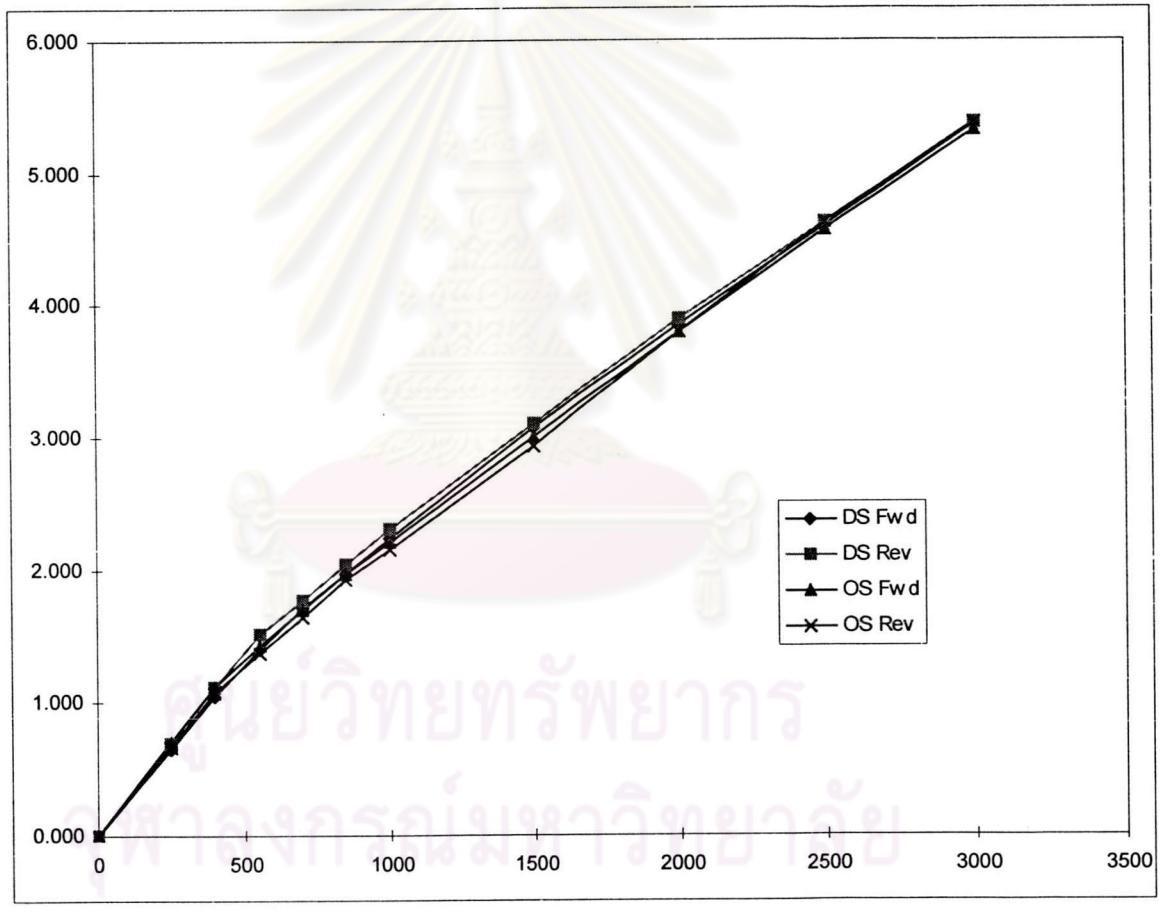
Zero Offsets and Stretch Curves

01-Dec-03

				Diff Dir
OS Zero Offset Rev	10.929	OS Zero Offset Rev	11.212	*-0.28*
DS Zero Offset Rev	11.635	DS Zero Offset Rev	11.305	*0.33*
Difference OS-DS	*-0.706*	Difference OS-DS	*-0.093*	*-0.61*

Force	DS Fwd	DS Rev	OS Fwd	OS Rev
0	0.000	0.000	0.000	0.000
250	0.651	0.696	0.701	0.670
400	1.041	1.113	1.121	1.071
550	1.407	1.512	1.433	1.375
700	1.707	1.766	1.700	1.644
850	1.973	2.032	1.964	1.926
1000	2.237	2.307	2.208	2.157
1500	3.064	3.105	2.998	2.936
2000	3.848	3.888	3.799	3.786
2500	4.600	4.628	4.575	4.627
3000	5.360	5.371	5.317	5.376

Roll & Chock I.Ds				
Roll I.D	Dia	DS Chock I.D.	OS Chock I.D.	PassLine
26653	1440.58	T8	T7	
K50020	817.75	T2	T11	826.82
K50019	817.93	B2	B1	
32188	1443.12	B10	B9	



รูปที่ 4.15 แสดงรายงานผล Stretch Curve จากการทำ Stretch Calibration

นอกจากการทำ Stretch Calibration แล้ว การควบคุมความถูกต้องของ Mill Structure Stiffness ยังต้องควบคุมปัจจัยย่อยต่าง ๆ ดังนี้

4.2.3.1 Roll Diameter

เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของขนาดความโต Work Roll และ Backup Roll ซึ่งมีผลต่อการนำไปคำนวณการเกิด Bending, การขยายตัวที่อุณหภูมิต่าง ๆ, ฯลฯ ของโปรแกรมควบคุมการรีด จึงต้องมีการตรวจเช็คเพื่อความมั่นใจในขนาดที่ถูกต้อง โดยทางหน่วยงานเจียร์ลูกรีดจะทำการวัดขนาดและวัดระยะ Profile ผิวของลูกรีด บันทึกลงแบบฟอร์ม ส่งมายังแท่นรีดเพื่อป้อนค่าความโต Work Roll เข้าสู่โปรแกรมคอมพิวเตอร์

4.2.3.2Roll Crown

Work Roll ทุกชุดหลังจากเจียร์ผิวเสร็จ จะถูกวัดค่าความแตกต่างของผิวด้วยเครื่องมือคาลิปเปอร์ตามระยะที่กำหนด และจะถูกนำมาพล็อตสร้าง Profile เพื่อตรวจสอบค่า Crown ที่เจียร์ได้ ซึ่งปกติกำหนดไว้เท่ากับ 0.15 m.m. จากขอบผิวของ Work Roll

4.2.3.3 Roll Flattening

เป็นการตรวจสอบสภาพความเรียบความสม่ำเสมอของพื้นผิวของลูกรีดที่ผ่านการเจียร์ก่อนเริ่มใช้งาน จะควบคุมโดยการตรวจสอบจากรายงาน Profile Work Roll Table เช่นเดียวกับการตรวจสอบค่า Roll Crown

4.2.3.4 Roll Gap Screw Down และ Hydraulic Cylinder Extension

เป็นการตรวจสอบความเที่ยงตรงของค่าการยืดตัวของชุด Screw Down ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบที่มีค่าพิกัดสวมต่าง ๆ อยู่ และเมื่อขณะรีดจะเกิดการยืดตัวขึ้น ซึ่งค่านี้โดยปกติจะถูกตรวจสอบและเก็บค่าการยืดตัวที่แรงกดต่าง ๆ โดยการทำ Stretch Calibration อยู่แล้ว สิ่งที่ควรระวังเพิ่มก็คือความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ที่จะวัดค่าซึ่งจะต้องมีการตรวจสอบซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อของระบบควบคุม Mill Stand ต่อไป

4.2.3.5 Bearing Oil Film Thickness

ควบคุมและถูกตรวจวัดโดยการทำ Stretch Calibration เช่นเดียวกัน

4.2.4 การตรวจสอบระบบควบคุมของ Mill Stand

ระบบควบคุมที่สำคัญของแท่นรีดที่มีผลกระทบต่อค่าความหนาที่เปลี่ยนแปลงของการรีด เป็นส่วนที่ต้องดูแลควบคุมระบบเหล่านั้นให้ทำงานถูกต้องอยู่เสมอหรือมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุด

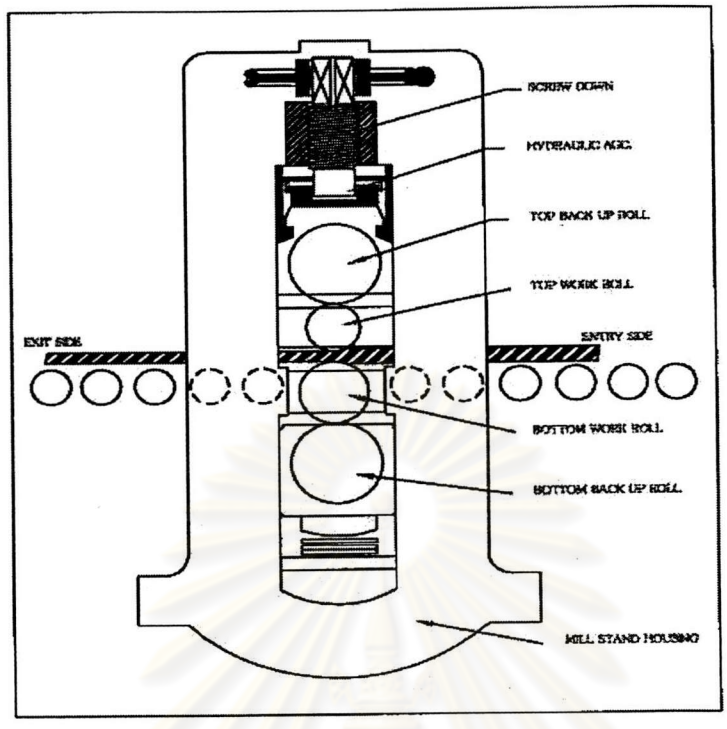
โดยทั่วไปสามารถแบ่งระบบควบคุมของแท่นรีดออกเป็น 7 ระบบควบคุมดังนี้

1. Roll Gap Control
2. Roll Force Control
3. Mill Speed Control
4. Roll Balance Control
5. Roll Bending Control
6. Roll Coolant Control
7. Gauge Monitor Control (ไม่มีการใช้งาน)

4.2.4.1 Roll Gap Control

สำหรับระบบควบคุม Roll Gap เป็นการวัดค่าระยะของตำแหน่งระดับลูกรีดที่เปิดอยู่ขณะวัตถุดิบวิ่งผ่าน การวัดระดับจะถูกวัดด้วยอุปกรณ์ Position Transducers โดยทั่วไปมักเรียกว่า Linear Variable Displacement Transducer (LVDT) ที่ติดตั้งอยู่ตรงชุดกระบอกไฮโดรลิคที่ได้รับการสั่งงานจากวาล์วควบคุมระบบเซอร์โว (Servo Valve) (ดูรูปที่ 4.16) กระบอกไฮโดรลิคเคลื่อนที่เมื่อเพิ่มหรือลด Roll Gap ค่าของตำแหน่งที่ LVDT ตรวจวัดจะถูกส่งไปยังคอมพิวเตอร์ควบคุมเพื่อประมวลผล

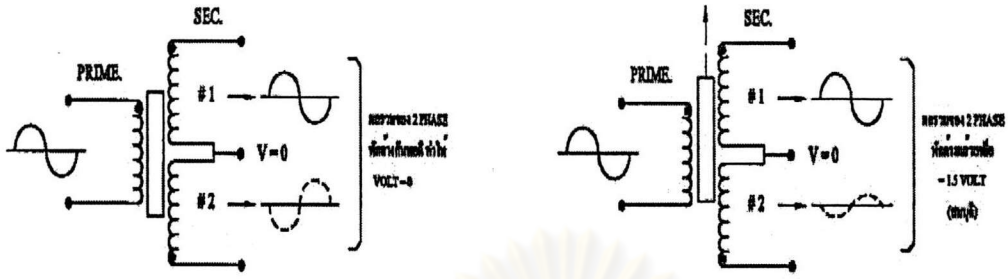
ดังนั้นในการควบคุมให้ค่าที่ตรวจวัดมีความเที่ยงตรงอยู่เสมอจึงต้องมีการตรวจเช็คค่าของ LVDT และ Servo Valve ตามกำหนด



รูปที่ 4.16 แสดงรูปแท่นรีดด้านหน้าและส่วนประกอบต่างๆ

- การตรวจสอบอุปกรณ์วัดตำแหน่งหรือ LVDT

LVDT เป็นอุปกรณ์เชิงกลที่ผลิตสัญญาณไฟฟ้าออกมาเป็นผลลัพธ์ที่เป็นสัดส่วนกับระยะทางการเคลื่อนที่ โดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่ของแกนแม่เหล็กผ่านขดลวด Primary และ Secondary ที่สร้างสนามแม่เหล็ก เมื่อแกนเคลื่อนที่จะทำให้แรงดันเหนี่ยวนำเปลี่ยนแปลงเพิ่มหรือลดลง การทำงานลักษณะนี้จะให้ผลลัพธ์ค่าแรงดันนำไปแปรค่าเป็นเชิงเส้นกับตำแน่งของแกนแม่เหล็ก การตรวจสอบค่าความเที่ยงตรงของ LVDT จะทำโดยการตรวจสอบผลค่าความแตกต่างของ Zero Effect ที่ได้จากการทำ Zero และ Stretch Calibration โดยค่าความแตกต่างของแท่นรีดทั้งสองด้านควรมีค่าบวกลบไม่เกิน 0.8 m.m. ทั้งด้าน Forward และ Reverse



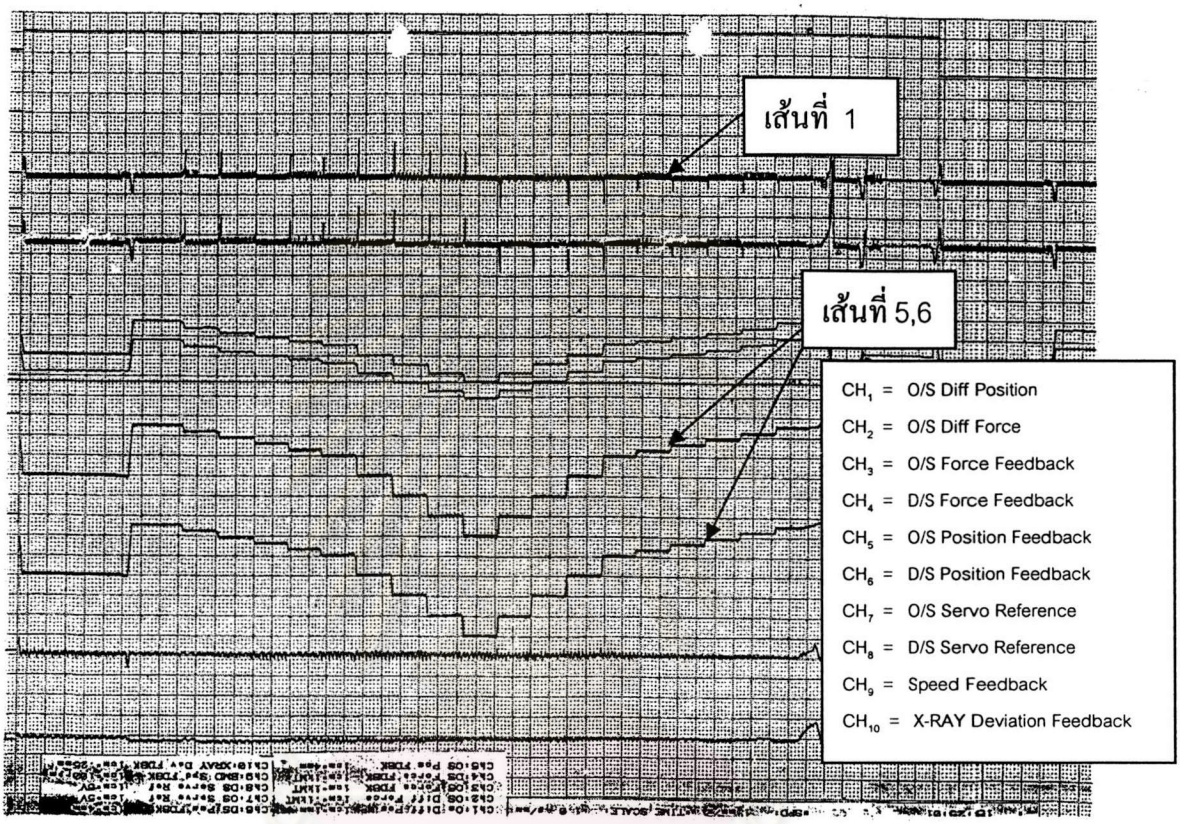
รูปที่ 4.17 แสดงหลักการทำงานของ LVDT

Zero Offsets and Stretch Curves 01-DEC-03				
				Diff Dir
OS Zero Offset Rev	10.929	OS Zero Offset Rev	11.212	*-0.28*
DS Zero Offset Rev	11.635	DS Zero Offset Rev	11.305	*0.33*
Difference OS-DS	*-0.706*	Difference OS-DS	*-0.093*	*-0.61*

ตารางที่ 4.3 แสดงตัวอย่างการตรวจสอบค่า Zero Effect ที่ได้จากการทำ Zero และ Stretch Calibration

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

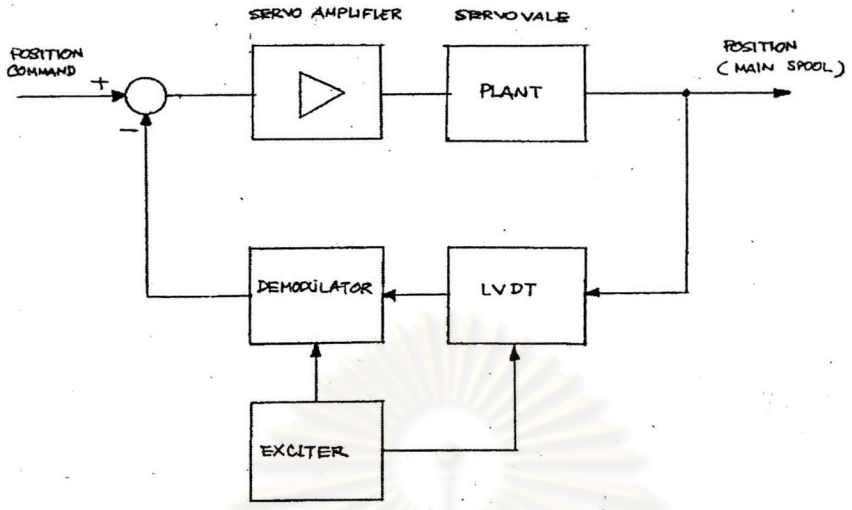
อีกทางหนึ่งคือสามารถตรวจสอบความผิดปกติของค่าตำแหน่งทั้งสองด้านขณะทำการรีดว่าถึงเวลาที่ต้องทำการ Calibration ทั้งสองด้านที่บันทึกโดยเครื่อง CHART Recorder ที่รับสัญญาณค่าตำแหน่งจาก LVDT มาบันทึกค่าตลอดช่วงเวลาที่ทำการรีดตามเส้นกราฟที่ 1,5 และ 6



รูปที่ 4.18 แสดงผลการบันทึกสัญญาณของตำแหน่งระดับแท่นรีดจากเครื่อง Chart Recorder

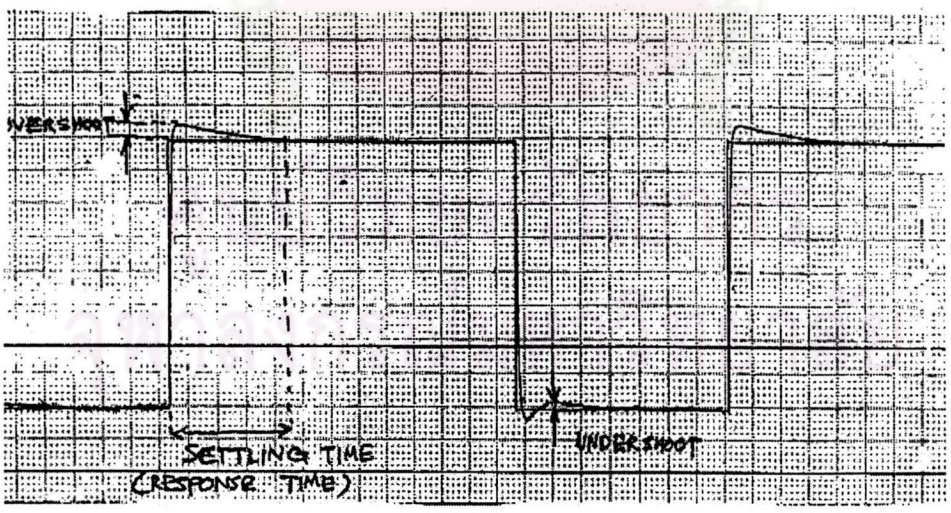
- การตรวจสอบอุปกรณ์วาล์วควบคุมการทำงานของกระบอกไฮดรอลิค (Servo Valve)

วาล์วควบคุมด้วยเซอร์โวจะเป็นแบบ 3 ภาค ควบคุมด้วยระบบอิเลคโทรนิคเพื่อให้การจ่ายน้ำมันที่แม่นยำไปยังกระบอกไฮดรอลิคที่เป็นต้นกำลังในการกดรีด ทั้งสองตัวกระบอกสูบมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1,016 ม.ม. ระยะชัก 35 ม.ม. สามารถรับแรงกดได้ถึง 1,822 เมตริกตัน เซอร์โววาลว์จะรับสัญญาณคำสั่งการจ่ายน้ำมันให้สัมพันธ์กับตำแหน่งและแรงกดที่ต้องการ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างมากที่ต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานของเซอร์โววาลว์

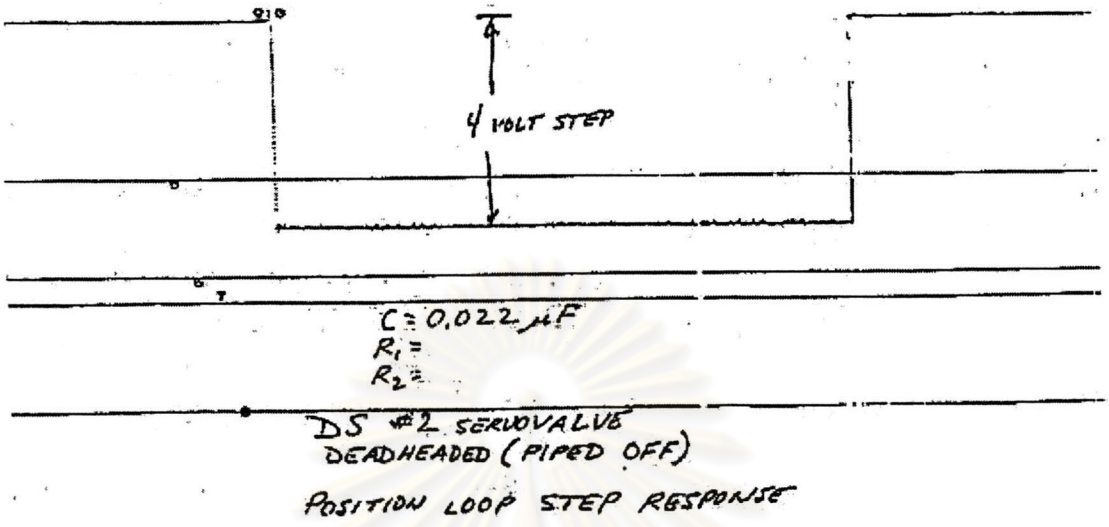


รูปที่ 4.19 Block Diagram การควบคุมตำแหน่งการเปิดจ่ายน้ำมันของเซอร์โววาล์ว

การตรวจสอบเซอร์โววาล์วที่ใช้เรียกว่า STEP Test เป็นการทดสอบผลตอบสนองของเซอร์โววาล์ว Feedback เทียบกับ Step Input ของ Servo Amplifier เพื่อปรับแต่งให้เหมาะสม โดยให้มีเวลาในการตอบสนองน้อยที่สุดและมี Over Shoot ต่ำที่สุด



รูปที่ 4.20 แสดงค่าการตรวจสอบก่อนปรับแต่งของ Servo Valve ที่มีค่า Over Shoot และ Response Time ที่มากเกินไป แต่ไม่มี Error



รูปที่ 4.21 แสดงค่าการตรวจสอบ Servo Valve หลังการปรับแต่งค่าทำให้มีผลตอบสนองที่ดี มี Overshoot น้อยมากและ Response time สั้น

4.2.4.2 Roll Force Control

แรงของกระบอกสูบไฮดรอลิคที่ใช้กดจะถูกวัดโดยอุปกรณ์วัดความดันขนาด 0-5,000 PSI ชนิด Strain Gauge พร้อมด้วยวงจรควบคุมอิเลคทรอนิกส์ ความเที่ยงตรง 0.1% ซึ่งจะติดตั้งไว้ที่บริเวณกระบอกสูบแต่ละตัว และมีระบบป้องกันแรงมีค่ามากเกิน วาล์วจะระบายน้ำมันออกเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดกับเครื่องจักร

การตรวจสอบทำได้ง่าย ๆ โดยการกดปุ่มระบายน้ำมัน (Vent Valve) ค่าแรงดันจะกลับไปอยู่ที่ศูนย์ซึ่งถือเป็นการ Reset ค่า หรืออาจตรวจสอบจากกราฟของ Chart Recorder ในรูปที่ 4.20 ในส่วนของค่า Force Feedback ตามเส้นกราฟที่ 2,3 และ 4 ว่ามีความผิดปกติหรือไม่

4.2.4.3 Mill Speed Control

Mill Speed จะมีผลกระทบในดานของการเปลี่ยนแปลงของความหนาฟิล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นในชุด Bearing ของ Work Roll และ Backup Roll ตามที่ได้กล่าวถึงตามหัวข้อที่ 2.4.2.6 แต่ในควบคุมเพิ่มเติมโดยการตรวจสอบสภาพการทำงานของอุปกรณ์วัดความเร็วรอบ (Tachometer) ตามกำหนด

4.2.4.4 Roll Balance Control

ระบบของชุดไฮดรอลิค Roll Balance ทำหน้าที่ส่งแรงดันเพื่อพยุงน้ำหนักของชุด Top Backup Roll และ Bottom Work Roll ทั้งการที่แรงดันของระบบ Roll Balance ที่จ่ายออกไปสูงหรือต่ำกว่าปกติ ส่งผลทำให้แรงสุทธิที่ใช้ในการรีดวัตถุดิบไม่ตรงตามความเป็นจริง การควบคุมความถูกต้องทำได้โดยการตรวจสอบแรงดันให้ถูกต้องตามกำหนดอยู่เสมอ ตามที่ได้กล่าวถึงตามหัวข้อที่ 4.2.4.5

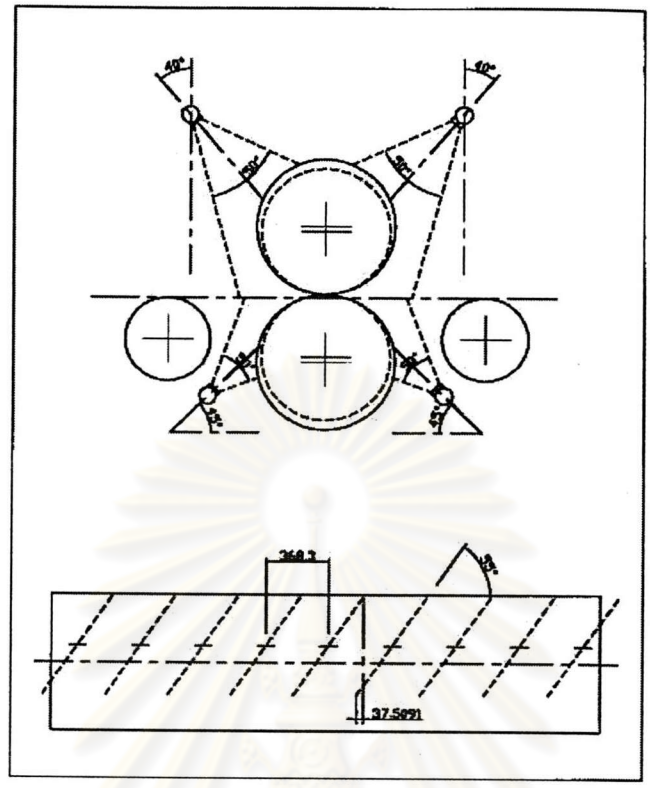
4.2.4.5 Roll Bearing Control

โดยปกติลูกรีด Work Roll เมื่อรับแรงขณะกดรีดวัตถุดิบจะเกิดการโก่งตัวขึ้น ทำให้ช่องห่างระยะ Gap ลูกรีดเปลี่ยนแปลงไป จึงได้มีการพัฒนานำลูกรีดขนาดใหญ่มาเป็นตัวประคองหลังด้านบนและล่างเพื่อรองรับการโก่งตัวของ Work Roll ที่เกิดขึ้น แต่ทั้งนี้ในความเป็นจริงก็ยังมีการโก่งตัวขึ้นอีกเล็กน้อย จึงได้มีการออกแบบผิวของลูกรีดเป็นผิวโค้ง (Crown) เล็กน้อยเพื่อชดเชยการโก่งตัวนั้นให้หมดไป

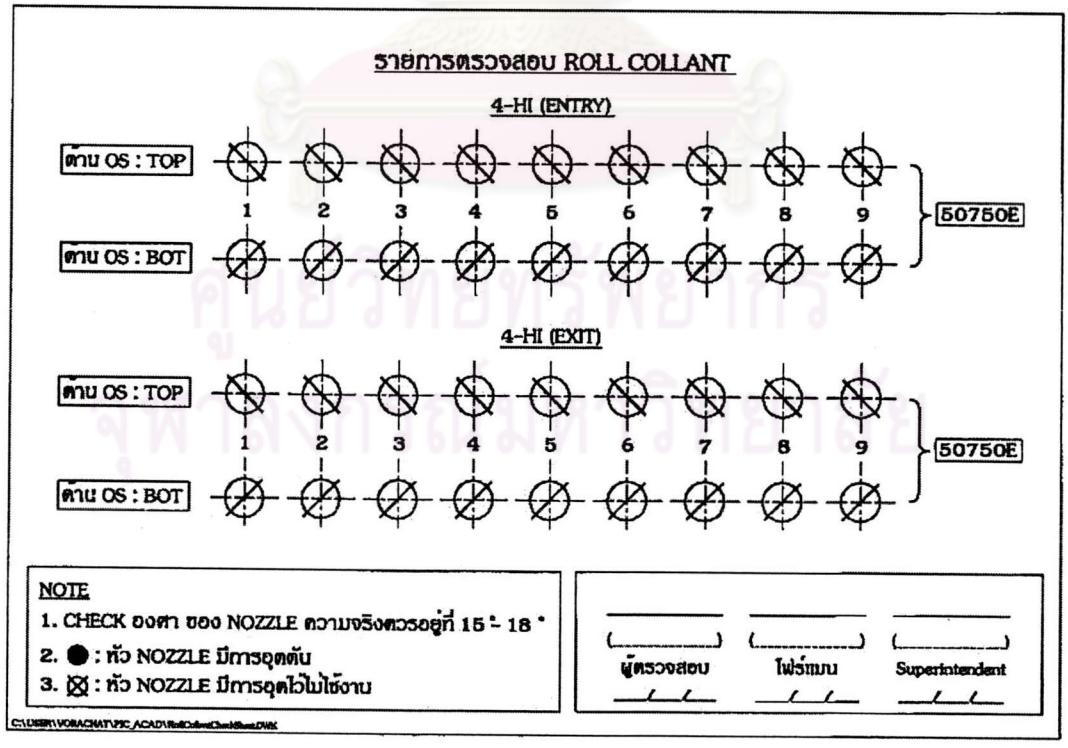
ซึ่งในการทดลองนี้เนื่องจากระบบของคอมพิวเตอร์ระดับ 2 จะมีการคำนวณค่าชดเชยการ Bending ที่เกิดขึ้นโดยอัตโนมัติ โดยดูจากค่าของขนาดความโต Work Roll, Backup Roll แรงการรีดและระยะทางการรีด ดังนั้นจึงไม่ขอลงในรายละเอียด

4.2.4.6 Roll Coolant Control

เป็นระบบการฉีดน้ำหล่อเย็นให้แก่ลูกรีด Work Roll และ Backup Roll ระหว่างการรีด ทั้งนี้เพื่อควบคุมไม่ให้ลูกรีดมีอุณหภูมิสูงเกินไป ซึ่งจะทำให้เกิดรอยแตกร้าวจากความร้อน (Fire crack) ที่ผิวลูกรีด และเกิดเป็นรอยข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ หรืออุณหภูมิที่สูงเกินไป หรือไม่เท่ากันตลอดผิวหน้าของลูกรีด จะส่งผลให้ขนาดความโตลูกรีดเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการขยายตัวทางความร้อน ซึ่งเรียกว่า “Thermal Crown” ถ้าค่าของ Thermal Crown เปลี่ยนแปลงตลอดจะส่งผลให้การควบคุมความหนาของผลิตภัณฑ์ทำได้ลำบาก



รูปที่ 4.22 แสดงตำแหน่งและทิศทางการ Spray ของระบบน้ำ Roll Coolant



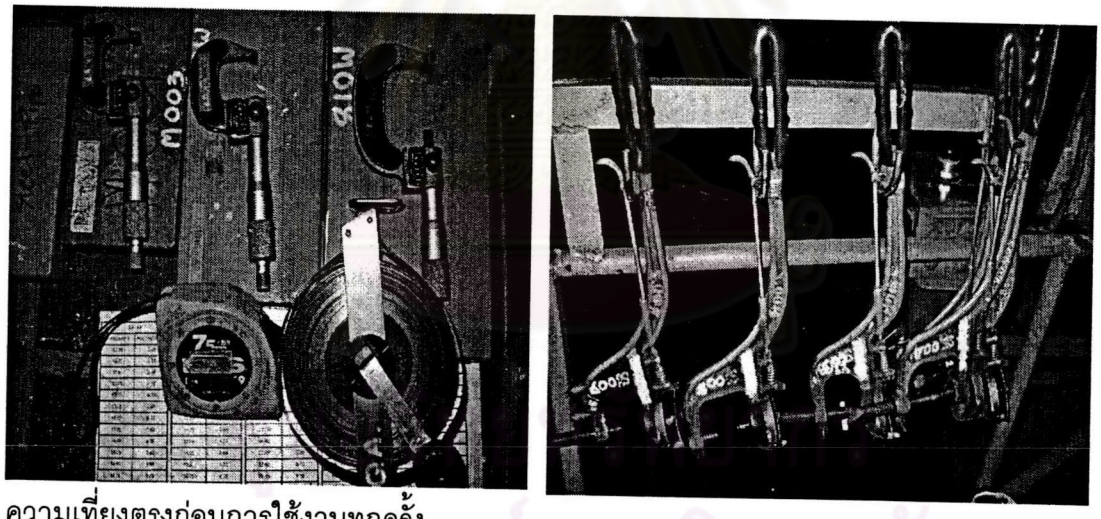
รูปที่ 4.23 แสดงการตรวจสอบสภาพความพร้อมของหัว Nozzle หล่อเย็นลูกรีด

4.2.4.7 Gauge Monitor Control

โดยทั่วไปเป็นระบบที่ใช้ในการตรวจวัดขนาดความหนาของผลิตภัณฑ์ที่ออกไปโดยอุปกรณ์ที่มีความละเอียดแม่นยำเช่น X-RAY Gauge ทำการวัดขณะที่ผลิตภัณฑ์กำลังออกจากแท่นรีดและนำค่าคามหนาที่วัดได้ส่งค่ามาที่ระบบคอมพิวเตอร์เพื่อปรับแก้ชดเชยค่าความหนาให้ถูกต้องโดยทันที ซึ่งระบบนี้ไม่มีติดตั้งใช้ในโรงงานที่ทำการวิจัยนี้ เนื่องจากมีราคาสูง และยุ่งยากในการปฏิบัติงาน

4.2.5 การควบคุมความผิดพลาดจากการปฏิบัติงาน

เนื่องจากการตรวจติดตามผลของความหนาผลิตภัณฑ์ที่รีดออกไปยังใช้การตรวจวัดจริงจากทางพนักงานคุณภาพและแจ้งกลับมายังหนักงานรีดเพื่อปรับแก้ไขความหนาในผลิตภัณฑ์ก้อนต่อไป ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมปัจจัยข้อผิดพลาดจากการวัดนี้ด้วยการ Calibrate เครื่องมือวัดตรวจสอบ



ความเที่ยงตรงก่อนการใช้งานทุกครั้ง

รูปที่ 4.24 แสดงอุปกรณ์วัดความหนาของผลิตภัณฑ์