# บทที่ 3

# เครื่องมือทดสอบแรงดึงอัตราความเครียดช้า

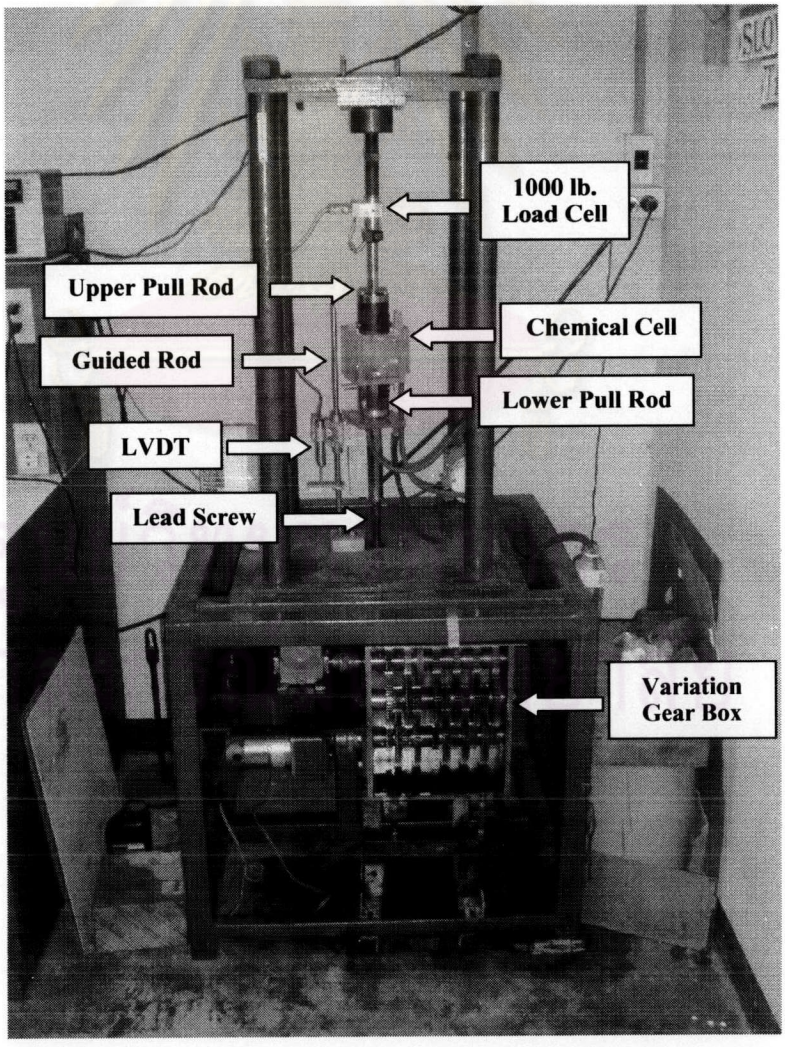
วิธีการทดสอบแบบ Slow Strain Rate Tensile; SSRT เป็นวิธีที่ใช้ในการทดสอบความไวต่อการเกิดการกัดกร่อนเนื่องจากผลของความเค้น (Stress Corrosion Cracking; SCC) ในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถจำลองสภาวะในการที่จะทำให้เกิด SCC ในชิ้นงานได้เป็นอย่างดีและยังแสดงถึงพัฒนาการของการเกิด SCC จากเริ่มต้นจนกระทั่งเกิดความเสียหายของวัสดุในสภาวะจำลองโดยใช้ระยะเวลาที่สั้น การทดลองจะทดสอบแรงดึงของชิ้นงานด้วยเครื่อง Slow Strain Rate Tensile Testing Machine; SSRT Machine ด้วยอัตราการยืดออกคงที่ (constant extension rate) ในอัตราที่ต่ำกว่า $10^{-3}$ มิลลิเมตร/วินาที ในระดับต่างกัน เนื่องจากการศึกษาในงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าวัสดุที่ได้รับอัตราความเครียดช้าในระดับที่แตกต่างกันนั้นมีผลต่อความไวของวัสดุต่อการเกิด SCC ที่ระดับความรุนแรงต่างกัน ดังนั้นในการทำวิจัยจึงได้มีการออกแบบชุดเกียร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ SSRT machine ให้สามารถปรับเปลี่ยนอัตราความเครียดช้าได้ เพื่อทำการศึกษาผลของอัตราความเครียดช้าต่อความไวในการเกิด SCC ในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ซึ่งรายละเอียดของ SSRT Machine ชุดเกียร์และหลักการทำงานของชุดเกียร์ที่ได้ปรับปรุงเพิ่มเติมนั้นจะได้กล่าวถึงต่อไป

## 3.1 เครื่องมือทดสอบแรงดึงอัตราความเครียดช้าหลายระดับ

SSRT machine เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับทำการทดสอบแรงดึงด้วยอัตราความเครียดช้า (SSRT) ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป และเป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในการทดสอบความไวต่อการเกิด SCC ในเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304 เนื่องจากการทดสอบด้วยวิธี SSRT นั้นมีข้อได้เปรียบวิธีทดลองอื่นคือใช้ระยะเวลาในการทดสอบที่สั้น การเตรียมชิ้นงานทดลองและวิธีการทดสอบที่ไม่ยุ่งยาก ตัวอย่างเช่นในการทดสอบรอยแตกในชิ้นงานโดย constant-load SCC test นั้นอาจจะพบรอยแตกเกิดขึ้นที่ชิ้นงานเมื่อเวลาผ่านไปมากกว่า 1000 ชั่วโมง แต่ในการทดสอบโดยวิธี SSRT ที่ระดับอัตราความเครียดช้าที่ใช้ทั่วไปคือ $10^{-6}$ วินาที $^{-1}$ นั้นจะพบการเกิดรอยแตกและเกิดความเสียหายขึ้นกับวัสดุภายใน 48 ชั่วโมง [8] ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแต่ละวัสดุและสภาวะที่ใช้ในการทดลอง สำหรับการทดลอง SSRT ภายใต้สภาวะจำลองที่เกิดการกัดกร่อนแล้วเป็นที่ทราบดีว่าอัตราความเครียดช้าเป็นสิ่งหนึ่งที่มีผลกระทบต่อความไวในการเกิด SCC ในวัสดุ การได้รับอัตราความเครียดช้าที่วิกฤตจะทำให้การเกิด SCC ในวัสดุเป็นไปอย่างสมบูรณ์ โดยทั่วไประดับอัตราความเครียดช้าที่เหมาะสม

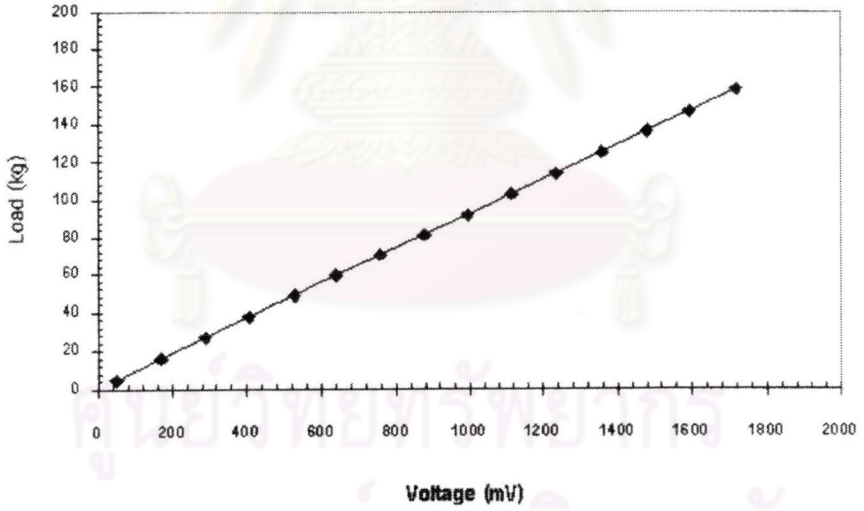
ต่อการเกิด SCC จะอยู่ในช่วง $10^{-8} - 10^{-4}$ วินาที $^{-1}$ ซึ่งขึ้นอยู่กับวัสดุและสภาวะที่ใช้ในการทดลอง [2]

ในงานวิจัยนี้ SSRT machine จึงเป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้ศึกษากลไกความเสียหายที่เกิดขึ้นในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 จากผลของอัตราความเครียดช้าต่อการเกิด SCC และเพื่อให้ได้อัตราความเครียดช้าในระดับดังกล่าวในการทำวิทยานิพนธ์จึงได้มีการปรับปรุง SSRT machine ที่ได้รับการออกแบบและสร้างขึ้นโดย กุลวัฒน์ เถลิงสุข [16] ซึ่งเดิมสามารถปรับเปลี่ยนระดับอัตราความเครียดช้าได้เพียงเล็กน้อย เพื่อให้มีระดับอัตราความเครียดช้าที่เหมาะสมต่อการศึกษาผลของอัตราความเครียดช้าต่อความไวในการเกิด SCC เครื่องมือดังกล่าวจึงได้รับการปรับปรุงโดยการเพิ่มชุดเกียร์ทดใหม่ ซึ่งเมื่อใช้งานร่วมกับชุดเกียร์ทดเดิมทำให้เครื่อง SSRT machine สามารถปรับเปลี่ยนอัตราการยืดออกได้หลายระดับมากขึ้น ด้วยการเพิ่มชุดเกียร์ปรับอัตราทดได้ทำให้การทดลองสามารถเลือกใช้ระดับอัตราความเครียดช้าได้ในช่วงที่กว้างขึ้นและมีระดับที่เหมาะสมต่อการใช้ทดลองในงานวิจัย




**รูปที่ 3.1** เครื่องดึงอัตราความเครียดช้าที่สามารถปรับระดับอัตราความเครียดช้าได้

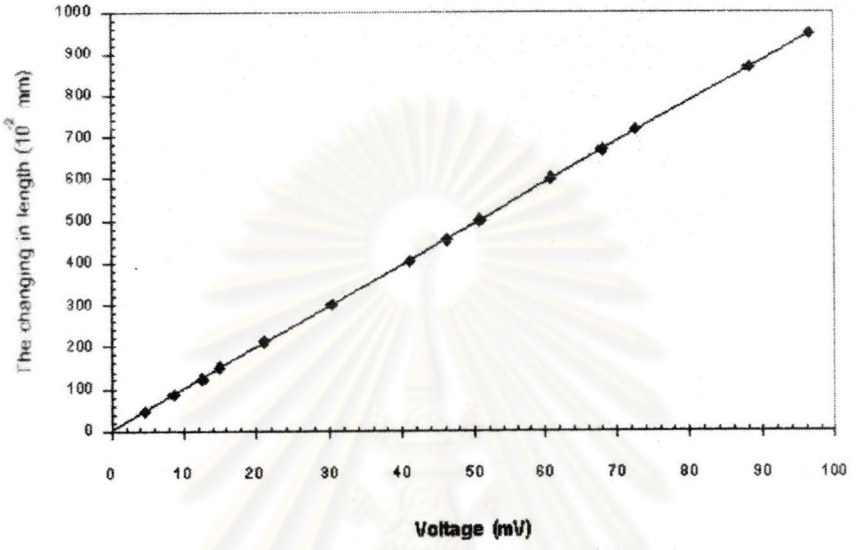
การทดสอบแรงดึงโดยใช้ SSRT Machine นั้นการทำงานจะเริ่มต้นจากมอเตอร์ขนาด ¼ แรงม้าที่สามารถปรับเปลี่ยนอัตราเร็วการหมุนได้โดย speed controller ระหว่าง 0-41 รอบ/นาที เป็นตัวขับเคลื่อนโดยถ่ายทอดกำลังผ่านชุดเกียร์ชุดแรกที่สามารถปรับเปลี่ยนอัตราทดได้อยู่ระหว่าง 1:0.035 ถึง 1:151 เกียร์ชุดแรกทำงานร่วมกับเกียร์ชุดที่สองซึ่งมีอัตราทด 1:3600 (ประกอบด้วยเกียร์ทดที่มีอัตราทดตัวละ 1:60 จำนวน 2 ตัว) โดยชุดเกียร์ชุดที่สองจะต่อเข้ากับ worm screw driver อัตราทด 1:5 ซึ่งยึดติดกับหัวจับชิ้นงานตัวล่าง (Lower pulled rod) ที่ภายในเป็นลักษณะของ ball-bearing แรงเสียดทานต่ำ ชิ้นงานที่ทำการทดลองจะยึดติดอยู่ระหว่างหัวจับชิ้นงานตัวบนและล่าง (Upper and Lower pulled rod) ซึ่งยึดติดอยู่กับ Load cell และ worm screw driver ตามลำดับ ในส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้แสดงค่าแรงกระทำที่ชิ้นงานได้รับต่อหนึ่งหน่วยเวลานั้นเป็น Load cell ขนาด 1000-lb.(454.55 กิโลกรัม) ขณะที่ระยะยืดออกของชิ้นงานต่อหน่วยเวลาจะถูกวัดค่าโดย LVDT (Linear Variable Differential Transformer) ที่ยึดติดกับหัวจับชิ้นงานตัวล่างและเคลื่อนที่บน ball-bearing guide rod ตามการยืดออกของวัสดุ ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบเกิดแรงเสียดทานต่ำทำให้ค่าที่วัดได้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น รูปที่ 3.1 แสดงเครื่อง SSRT Machine ภายหลังจากทำการดึงชิ้นงานพร้อมกับชิ้นงานที่เกิดความเสียหายและลักษณะตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูล




**รูปที่ 3.2** กราฟปรับเทียบค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงที่อ่านได้จาก LabVIEW ในรูปของความต่างศักย์ กับค่าแรงดึงที่อ่านได้จริงจาก SSRT machine

สำหรับข้อมูลที่ได้จาก Load-cell และ LVDT นั้นมีการเก็บรวบรวมโดยระบบเก็บรวบรวมข้อมูล(Data Acquisition system; DAQ system) ที่ทำการควบคุมผ่านโปรแกรม LabVIEW ซึ่งทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย กิติศักดิ์ โกศลวรรณธนะ [36] ทำให้การเก็บข้อมูลมีความสะดวกและแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยข้อมูลที่ได้จาก LabVIEW จะถูกเก็บอยู่ในรูปของความต่างศักย์ไฟฟ้าซึ่งก่อนการนำข้อมูลมาใช้วิเคราะห์จะต้องมีการแปลงข้อมูลกลับมา

เป็นแรงดึงและระยะยืดจริงของชิ้นงาน การแปลงค่าข้อมูลจะกระทำโดยการปรับเทียบมาตรฐานจากความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เก็บบันทึกโดย LabVIEW กับค่าจริงที่อ่านได้จาก Load- cell และLVDT ใน SSRT machine ซึ่งกราฟความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 3.2 สำหรับความสัมพันธ์ที่ได้จาก Load- cell และรูปที่ 3.3 สำหรับความสัมพันธ์ที่ได้จาก LVDT [36]



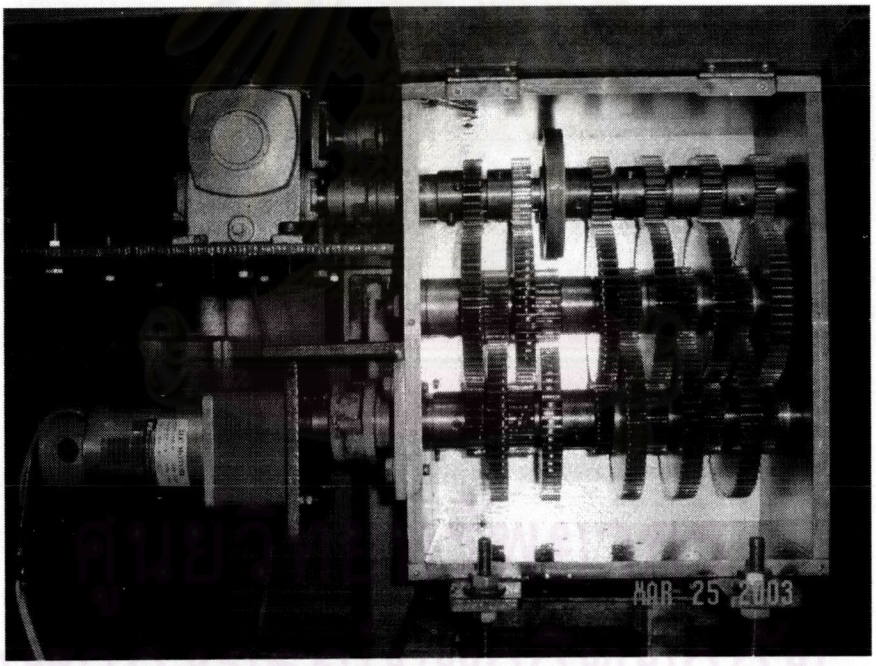

**รูปที่ 3.3** กราฟปรับเทียบค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปของ gauge-length ในชิ้นงานที่อ่านได้จาก LabVIEW ในรูปของความต่างศักย์ กับค่าแรงดึงที่อ่านได้จริงจาก SSRT machine

## 3.2 ชุดเกียร์เปลี่ยนระดับอัตราความเครียดช้า

SSRT machine ที่ได้รับการออกแบบโดย กุลวัฒน์ เถลิงสุข [16] อาศัยหลักการทำงานจากมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนโดยการส่งกำลังผ่านชุดเกียร์ทดรอบเพื่อให้ได้ระดับอัตราความเครียดช้าที่ต้องการ ระดับของอัตราความเครียดช้าที่ได้รับนั้นจะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์เป็นหลัก ซึ่งรอบการหมุนของมอเตอร์สามารถปรับค่าได้จาก speed controller อยู่ระหว่าง 0-41 รอบ/นาที ด้วยหลักการทำงานดังกล่าวทำให้ SSRT machine ที่ใช้ทดลองที่ผ่านมามีอัตราความเครียดช้าระหว่าง $5.1 \times 10^{-6} - 1.7 \times 10^{-6}$ วินาที $^{-1}$ ซึ่งมีช่วงไม่กว้างพอที่จะเห็นถึงผลความแตกต่างของระดับอัตราความเครียดที่ชิ้นงานได้รับต่อการเกิด SCC การศึกษาในงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าระดับอัตราความเครียดช้าที่มีผลต่อการเกิด SCC ในวัสดุนั้นจะมีค่าอยู่ระหว่าง $10^{-4} - 10^{-8}$ วินาที $^{-1}$ ซึ่งขึ้นอยู่กับแต่ละสภาวะและชนิดของวัสดุ การที่จะได้รับอัตราความเครียดช้าในระดับดังกล่าวจะต้องทำการปรับเปลี่ยนอัตราทดที่มีอยู่เดิมให้มีอัตราทดมากขึ้นเพื่อให้ได้ระดับอัตราความเครียดช้าที่ต่ำลง ขณะเดียวกันก็ต้องการอัตราทดที่น้อยลงเพื่อให้ได้ระดับอัตราความเครียดช้า

ที่สูงขึ้น ความต้องการระดับของอัตราทดที่แตกต่างกันดังกล่าวจึงเป็นที่มาของ variation gear-box ที่เปลี่ยนระดับอัตราทดได้ทั้งลดลงและเพิ่มขึ้นระหว่าง 0.035 – 151 เท่า ชุดเกียร์ที่สร้างขึ้นจะทำงานร่วมกับชุดเกียร์เดิมโดยได้รับการติดตั้งอยู่ในตำแหน่งระหว่างชุดเกียร์เดิมกับมอเตอร์ เพื่อทำหน้าที่เพิ่มและลดความเร็วรอบของมอเตอร์ก่อนที่จะขับเคลื่อนชุดเกียร์เดิมทำให้มีอัตราความเครียดช้าที่ได้รับอยู่ระหว่าง $5.7 \times 10^{-9} - 1.5 \times 10^{-4}$ วินาที $^{-1}$

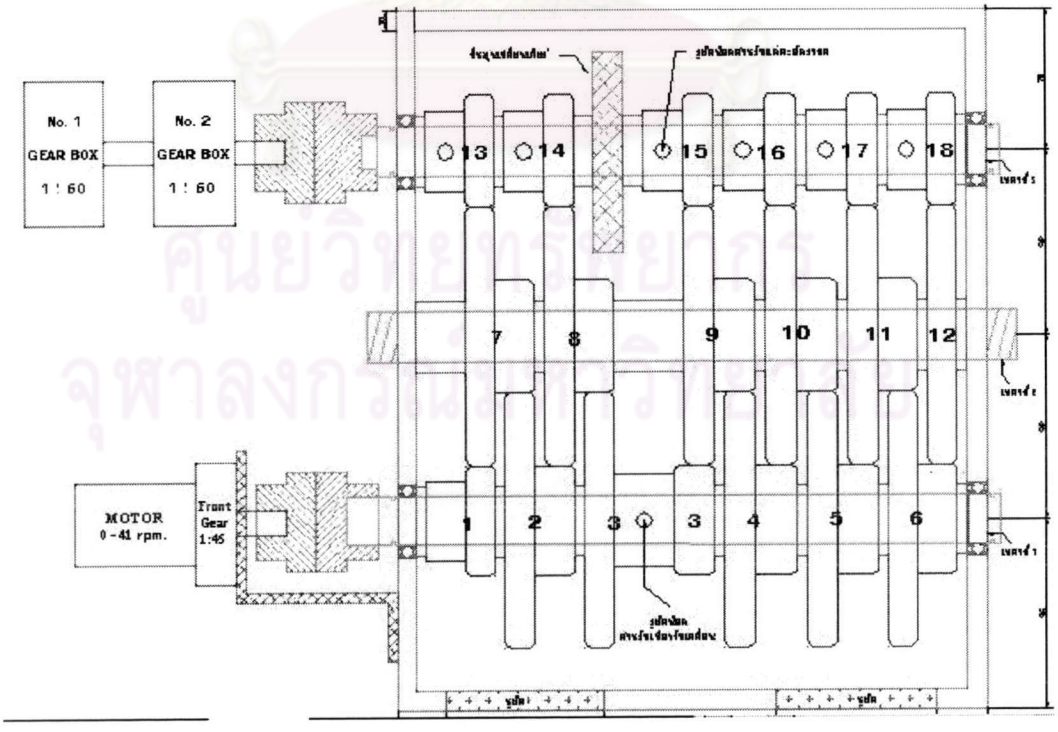
อัตราทดระดับต่างกันที่ได้รับจากชุดเกียร์ variation gear-box นั้นแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงรอบการหมุนของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนชุดเกียร์ภายหลังที่ต่อเข้ากับชุดเกียร์ อัตราทดเกียร์ที่มากกว่า 1.00 แสดงถึงจำนวนรอบการหมุนที่ได้รับจากชุดเกียร์จะมีค่าน้อยกว่าจำนวนรอบที่มอเตอร์หมุนจริง เช่น อัตราทดเกียร์ 1:50 หมายถึงมอเตอร์ขับเคลื่อนชุดเกียร์หมุน 50 รอบ จะทำให้เพลาชุดเกียร์หมุน 1 รอบ ในกรณีที่อัตราทดเกียร์น้อยกว่า 1.00 แสดงถึงจำนวนรอบการหมุนที่ได้รับจากชุดเกียร์จะมีค่ามากกว่าจำนวนรอบที่มอเตอร์หมุนจริง เช่น อัตราทดเกียร์ 1:0.25 หมายถึงมอเตอร์ขับเคลื่อนชุดเกียร์หมุน 1 รอบ จะทำให้เพลาชุดเกียร์หมุน 4 รอบ เป็นต้น




**รูปที่ 3.4** ลักษณะการจัดวางของเฟืองขนาด 60 และ 26 ฟัน ภายใน variation gear-box

อัตราทดที่ได้รับนั้นเกิดจากการทำงานร่วมกันระหว่างเฟืองที่มีความต่างกันขนาด 60 และ 26 ฟันที่ได้รับการจัดวางเชื่อมต่อกันทั้ง 18 เฟือง ภายใน variation gear-box ดังรูปที่ 3.4 การทำงานจะเริ่มขึ้นเมื่อชุดเกียร์ได้รับแรงขับเคลื่อนจากการหมุนของมอเตอร์ที่ต่อเข้ากับเพลาหมายเลข 1 (ดูได้จากแผนภาพการทำงานภายใน variation gear-box ดังรูปที่ 3.5 และในรูปที่ ก.1 ภาคผนวก ก.) ที่เพลาหมายเลข 1 นั้นเฟืองหมายเลข 3 จะถูกใช้เป็นเฟืองขับเคลื่อนโดยการยึดน๊อตติดระหว่างเฟือง

กับเพลา ในขณะที่มอเตอร์ขับเคลื่อนเฟืองหมายเลข 3 นั้นจะทำให้เฟืองหมายเลข 1, 2 และ 4-12 หมุนอย่างอิสระอยู่บนลูกปืน (ball-bearing) รอบเพลาที่ 1 และ 2 ในการเลือกใช้อัตราทดที่แตกต่างกันเกิดจากการเลือกใช้งานที่เฟืองแต่ละตัวบนเพลาหมายเลข 3 (เฟืองหมายเลข 13-18) ซึ่งเป็นเพลาที่ต่อเข้ากับชุดเกียร์ที่มีอยู่เดิม จากแผนภาพเมื่อสังเกตบนเพลาหมายเลข 3 จะเห็นว่าที่เฟืองแต่ละตัวจะมีรูสำหรับยึดน๊อตเพื่อล็อกเพลาให้หมุนในอัตราเดียวกันกับเฟืองตัวดังกล่าวซึ่งการยึดน๊อตจะยึดได้เพียงครั้งละ 1 เฟืองสำหรับ 1 อัตราทดเท่านั้น ส่วนเฟืองที่ปราศจากการยึดน๊อตจะหมุนฟรีอยู่บนเพลาในอัตราเร็วที่ต่างกันของแต่ละเฟือง ในการเลือกอัตราทดที่ต่างกัน 6 ระดับจากเฟืองหมายเลข 13-18 นั้น การยึดน๊อตที่เฟืองหมายเลข 14 และ 13 ชุดเกียร์จะมีอัตราทดที่ลดลงทำให้ได้อัตราการยืดออกที่เร็วขึ้นตามลำดับ (14 > 13) และถ้าทำการยึดน๊อตที่เฟืองหมายเลข 16, 17 และ 18 ชุดเกียร์จะมีอัตราทดที่เพิ่มขึ้นทำให้ได้รับอัตราการยืดออกที่ช้าลงตามลำดับ (16 > 17 > 18) ในส่วนของเฟืองหมายเลข 15 นั้นจะไม่มีการทดรอบแต่อย่างใด อัตราการยืดออกที่ได้รับจะเท่ากับใน SSRT Machine ก่อนมีการเพิ่มชุดเกียร์ ทั้งนี้อัตราทดที่ได้รับจากเฟืองแต่ละตัวบนเพลาหมายเลข 3 นั้นสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้อีกเล็กน้อยจากการปรับ speed controller ที่ควบคุมระดับความเร็วรอบของมอเตอร์ จากความสามารถของ variation gear-box และ speed controller ทำให้ผู้ทดลองสามารถที่จะเลือกอัตราความเครียดช้าที่ใช้ในการทดลองได้หลากหลายและเหมาะสมกับการทดลองมากขึ้น




**รูปที่ 3.5** แผนภาพการทำงานภายใน variation gear-box

### 3.3 อัตราการยืดออกและอัตราความเครียดช้า

ในการทดลอง tensile test สิ่งที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานทดลองคือการยืดออกของชิ้นงานด้วยอัตราคงที่ค่าหนึ่ง อัตราการยืดออกของวัสดุนั้นขึ้นอยู่กับระยะทางที่เคลื่อนที่ของตัวจับชิ้นงานที่ยืดส่วนปลายของวัสดุต่อหนึ่งหน่วยเวลา สำหรับ SSRT Machine ที่ใช้ทดลองอัตราการยืดออกของวัสดุคำนวณจากการเคลื่อนที่ของตัวยืดชิ้นงานตัวล่างที่ยึดติดกับชุด worm screw driver ระยะพิทช์ (pitch) 3/16 นิ้ว(4.76 mm) ทำให้เกิดอัตราทด 1:5 ชุด worm screw driver จะถูกต่อตรงเข้ากับเกียร์ทดสองตัวที่มีอัตราทดรวม 1:3600 (ตัวละ 1:60) ทั้งหมดนี้จะทำให้ชุดเกียร์ที่มีอยู่เดิมมีอัตราทดรวม 1:18000 เมื่อต่อเข้ากับ variation gear-box ที่มีอัตราทดอยู่ระหว่าง 1:0.035 – 1:151 จะทำให้ชุดเกียร์ทั้งหมดมีอัตราทดอยู่ระหว่าง 1:630 ถึง 1:2,718,000 ซึ่งทั้งหมดถูกขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด ¼ แรงม้า ที่มีความเร็วรอบในการหมุน 0-41 รอบ/นาที ค่าอัตราการยืดออกที่ได้รับจะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์ (R) , การเลือกใช้อัตราทดเกียร์ภายใน variation gear-box ($r_G$) และอัตราทดของเกียร์ชุดแรก ($r_0$) การคำนวณอัตราการยืดออก (extension-rate) สามารถคำนวณได้จากสมการ 3.1 และในการทดลองที่ชิ้นงานมี gauge-length เท่ากับ 35 มิลลิเมตร อัตราความเครียดช้าที่ได้รับจาก SSRT Machine จะแสดงดังตารางที่ 3.1 ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ 3.2

$$\text{Extension rate} = \left(\frac{R}{r_0 \times r_G}\right)\times\left(\frac{P}{60}\right) \text{ mm/sec}$$

$$= \left(\frac{R}{18000 \times r_G}\right)\times\left(\frac{4.7625}{60}\right) \text{ mm/sec} \qquad \ldots(3.1)$$

$$\text{Strain rate} = \frac{\text{Extension rate}}{\text{gauge length}} \text{ sec}^{-1} \qquad \ldots(3.2)$$

เมื่อ R = ความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์ (รอบ/นาที)

P = ระยะพิทช์ของ lead screw (มิลลิเมตร)

$r_0$ = อัตราทดเกียร์เดิม

$r_G$ = อัตราทดเกียร์ที่ได้จาก variation gear-box

ซึ่งอัตราการยืดออกของ SSRT machine ต่อความยาวของ gauge-length ในชิ้นงาน (35 mm) คืออัตราความเครียดช้าที่วัสดุได้รับ

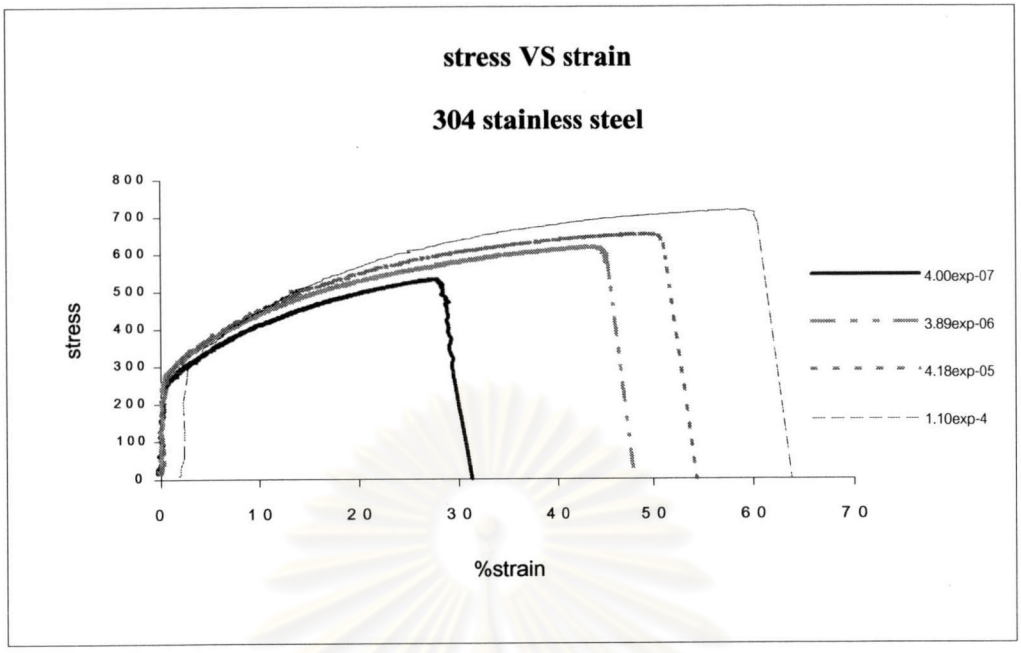
**ตารางที่ 3.1** อัตราความเครียดช้าที่ได้จาก SSRT Machine ภายหลังเพิ่มเติม variation gear-box

| อัตราทดลดลง (อัตราความเครียดช้าเพิ่มขึ้น ) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Position of speed speed controller | The revolution of motor (rpm); R | Strain-rate (วินาที$^{-1}$) | | |
| | | เฟืองหมายเลข 13 $r_G = 0.035$ | เฟืองหมายเลข 14 $r_G = 0.188$ | เฟืองหมายเลข 15 $r_G = 1.000$ |
| 11 | 41 | $1.5 \times 10^{-4}$ | $2.8 \times 10^{-5}$ | $5.2 \times 10^{-6}$ |
| 8 | 30.9 | $1.1 \times 10^{-4}$ * | $2.1 \times 10^{-5}$ | $3.9 \times 10^{-6}$ * |
| 7 | 26.1 | $9.3 \times 10^{-5}$ | $1.8 \times 10^{-5}$ | $3.3 \times 10^{-6}$ |
| 6 | 21.6 | $7.7 \times 10^{-5}$ | $1.5 \times 10^{-5}$ | $2.7 \times 10^{-6}$ |
| 5 | 16.9 | $6.0 \times 10^{-5}$ | $1.1 \times 10^{-5}$ | $2.1 \times 10^{-6}$ |
| 4 | 11.7 | $4.2 \times 10^{-5}$ * | $7.9 \times 10^{-6}$ | $1.5 \times 10^{-6}$ |
| 3 | 6.8 | $2.4 \times 10^{-5}$ | $4.6 \times 10^{-6}$ | $8.6 \times 10^{-7}$ |
| อัตราทดเพิ่มขึ้น (อัตราความเครียดช้าลดลง) | | | | |
| Position of speed speed controller | The revolution of motor (rpm); R | Strain-rate (วินาที$^{-1}$) | | |
| | | เฟืองหมายเลข 16 $r_G = 5.325$ | เฟืองหมายเลข 17 $r_G = 28.360$ | เฟืองหมายเลข 18 $r_G = 151.031$ |
| 11 | 41 | $9.7 \times 10^{-7}$ | $1.8 \times 10^{-7}$ | $3.4 \times 10^{-8}$ |
| 8 | 30.9 | $7.3 \times 10^{-7}$ | $1.4 \times 10^{-7}$ | $2.6 \times 10^{-8}$ |
| 7 | 26.1 | $6.2 \times 10^{-7}$ | $1.2 \times 10^{-7}$ | $2.2 \times 10^{-8}$ |
| 6 | 21.6 | $5.1 \times 10^{-7}$ | $9.6 \times 10^{-8}$ | $1.8 \times 10^{-8}$ |
| 5 | 16.9 | $4.0 \times 10^{-7}$ * | $7.5 \times 10^{-8}$ | $1.4 \times 10^{-8}$ |
| 4 | 11.7 | $2.8 \times 10^{-7}$ | $5.2 \times 10^{-8}$ | $9.8 \times 10^{-9}$ |
| 3 | 6.8 | $1.6 \times 10^{-7}$ | $3.0 \times 10^{-8}$ | $5.7 \times 10^{-9}$ |

* อัตราความเครียดช้าที่ใช้ในการทดลอง

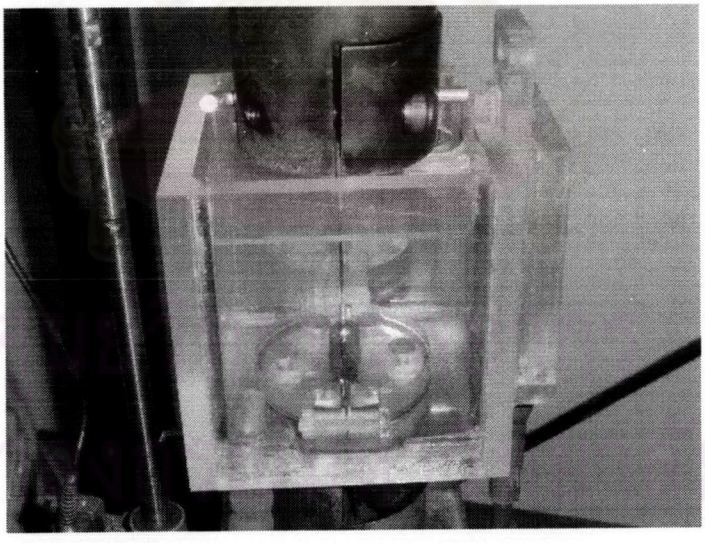
อัตราความเครียดช้าต่างกัน 4 ระดับ ที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ในการทดลองนั้น ผลที่ได้รับจาก SSRT machine แสดงให้เห็นความแตกต่างของความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืดออกของวัสดุ (%strain)และความเค้น(stress) ดังรูปที่ 3.6

I21060545




**รูปที่ 3.6** ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและเปอร์เซ็นต์การยืดออกของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304 จากผลของอัตราความเครียดช้าต่างกัน 4 ระดับ ที่ได้รับจาก SSRT machine

### 3.4 เซลล์ใส่สารเคมี

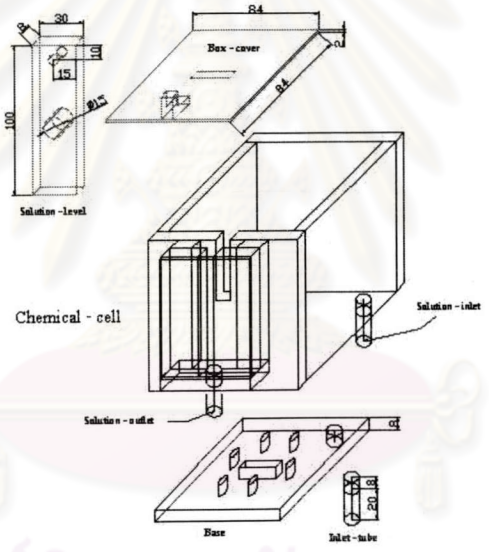


**รูปที่ 3.7** Chemical Cell ที่ใช้ในการทดลอง

การทดลอง SSRT นั้นเป็นการทดลองที่มีข้อดีประการหนึ่งคือสภาวะที่จำลองในการทดลองนั้นสามารถปรับเปลี่ยนได้หลากหลายตามความเหมาะสมในแต่ละการทดลอง สำหรับการทดสอบผลของอัตราความเครียดช้าต่อความไวการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ชิ้น

งานที่นำมาทดลองจะถูกดึงในสภาวะจำลองที่ประกอบด้วยสารละลายผสมโซเดียมคลอไรด์ โซเดียมไทโอซัลเฟตและกรดซัลฟุริกซึ่งบรรจุอยู่ภายใน Chemical Cell ที่ต่ออยู่กับระบบหมุนเวียนสารละลาย

Chemical Cell ที่ใช้ในการทดลอง (รูปที่ 3.7) ได้รับการออกแบบขึ้นมาเพื่อจำลองสภาวะสารละลายผสมที่ใช้ในการทดลอง นอกจากนั้นยังได้รับการออกแบบมาเพื่อทำงานร่วมกับระบบหมุนเวียนสารละลายที่ป้องกันการตกตะกอนของสารละลายและทำให้สารละลายบริเวณรอบชิ้นงานเกิดการหมุนเวียนอย่างทั่วถึง เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพที่เท่าเทียมกันในการเกิดการกัดกร่อนขึ้นกับชิ้นงาน โดยระบบการหมุนเวียนสารละลายนั้นอาศัยการทำงานของปั๊มสารละลายเคมี สำหรับวัสดุที่ใช้ทำ Chemical Cell นั้นจะเป็นอะคลีลิกที่มีคุณสมบัติเด่นคือเบาและทนการกัดกร่อนได้ดี ส่วนประกอบหลักของ Chemical Cell แบ่งได้เป็น 3 ส่วนคือ ฝาครอบด้านบน ตัวกล่องและฐานปิดด้านล่าง แสดงดังรูปที่ 3.8 และรายละเอียดแสดงในรูปที่ ก.2 ของภาคผนวก ก.




**รูปที่ 3.8** ส่วนประกอบของ Chemical Cell แบ่งได้เป็น 3 ส่วนคือ ฝาครอบด้านบน ตัวกล่องและฐานปิดด้านล่าง

ในส่วนของสารละลายที่ใช้ในการจำลองสภาวะการกัดกร่อนในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 เพื่อศึกษากลไกของวัสดุในการเกิด SCC ด้วยผลของอัตราความเครียดช้าในงานวิจัยนี้คือสารละลายผสมระหว่างโซเดียมคลอไรด์ โซเดียมไทโอซัลเฟตและกรดซัลฟุริก ซึ่งปริมาณและความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้นั้นนำมาจากบางส่วนในงานวิจัยของ T. Laitinen [27] ที่ได้ทำการทดสอบเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ในสารละลายที่ประกอบด้วย $Cl^-$ 300 มิลลิกรัม/ลิตร $S_2O_3^{2-}$ 50 มิลลิกรัม/ลิตร และ $SO_4^{2-}$ 300 มิลลิกรัม/ลิตร สารละลายผสมดังกล่าวเป็นสารละลายเดียวกันกับสารละลายที่ใช้ทดสอบ

ความไวของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ต่อการเกิด IGSCC ในงานวิจัยของ กิติศักดิ์ โกศลวรรณธนะ [36] ซึ่งมีการคำนวณปริมาณสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยแสดงดังต่อไปนี้

<u>ปริมาณ NaCl ที่ต้องใช้เพื่อให้มีปริมาณ $Cl^-$ 300 มิลลิกรัม/ลิตร</u>

มวลโมเลกุลของ NaCl = 23 ($Na^+$)+ 35.5($Cl^-$)

= 58.5

แสดงว่า ปริมาณ $Cl^-$ เท่ากับ 35.5 มิลลิกรัม จะต้องใช้ NaCl ปริมาณ 58.5 มิลลิกรัม

ดังนั้น ถ้าต้องการปริมาณ $Cl^-$ เท่ากับ 300 มิลลิกรัม ในสารละลาย 1 ลิตร จะได้ว่า

= (300 มิลลิกรัม x 58.5 มิลลิกรัม) / (35.5 มิลลิกรัม)

= 494.37 มิลลิกรัม

ปริมาณ NaCl ที่ต้องใช้เท่ากับ 494.37 มิลลิกรัม เพื่อให้ได้ $Cl^-$ เท่ากับ 300 มิลลิกรัม ในสารละลาย 1 ลิตร

<u>ปริมาณ $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ ที่ต้องใช้เพื่อให้มีปริมาณ $S_2O_3^{2-}$ 50 มิลลิกรัม/ลิตร</u>

มวลโมเลกุลของ $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ = 2 x 23 ($2Na^+$) + 112($S_2O_3^{2-}$) + 90($5H_2O$)

= 248

แสดงว่า ปริมาณ $S_2O_3^{2-}$ เท่ากับ 112 มิลลิกรัม จะต้องใช้ $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ ปริมาณ 248 มิลลิกรัม

ดังนั้น ถ้าต้องการปริมาณ $S_2O_3^{2-}$ เท่ากับ 50 มิลลิกรัม ในสารละลาย 1 ลิตร จะได้ว่า

= (50 มิลลิกรัม x 248 มิลลิกรัม) / (112 มิลลิกรัม)

= 110.71 มิลลิกรัม

ปริมาณ $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ ที่ต้องใช้เท่ากับ 110.71 มิลลิกรัม เพื่อให้ได้ $S_2O_3^{2-}$ เท่ากับ 50 มิลลิกรัม ในสารละลาย 1 ลิตร

<u>ปริมาณ $H_2SO_4$ ที่ต้องใช้เพื่อให้มีปริมาณ $SO_4^{2-}$ 300 มิลลิกรัม</u>

กรดซัลฟุริกที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นกรดซัลฟุริกที่มีความเข้มข้น 98% โดยปริมาตร มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1.84 $g/cm^3$

จากสมการ ปริมาตร(V) = $m / \rho$

= $(300 \times 10^{-3} g) / (1.84 g/cm^3)$

= $0.163 cm^3$

เนื่องจากกรดที่ใช้มีความเข้มข้น 98% แสดงว่าถ้ากรดซัลฟุริกที่ใช้มีปริมาตร 100 $cm^3$ จะมี $H_2SO_4$ อยู่ในปริมาตร 98 $cm^3$

ปริมาณกรดซัลฟุริก 98% ที่ต้องใช้= $(0.163 cm^3 \times 100) / (98)$

= $0.166 cm^3$

ปริมาณกรดซัลฟุริก 98% ที่ต้องใช้เท่ากับ 0.166 $cm^3$ เพื่อให้ได้ $SO_4^{2-}$ 300 มิลลิกรัม ในสารละลาย 1 ลิตร

ปริมาณของสารเคมีที่ได้จากการคำนวณนั้นจะใช้สำหรับเตรียมสารละลายที่ใช้ในการทดลองที่มีปริมาตร 1 ลิตร โดยผสมกับน้ำกลั่นบริสุทธิ์ 1 ลิตร ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานในระบบหมุนเวียนสารละลายและ บรรจุใน chemical cell ที่มีปริมาตร 240 มิลลิลิตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย