บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์

ชิ้นส่วนอุปกรณ์ในเครื่องจักรกล ตลอดจนโครงสร้างที่ถูกออกแบบเพื่อใช้งานในทางวิศวกรรมนั้น สิ่งหนึ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ก็คือ ปัญหาการเกิดรอยร้าว(crack) ขึ้นภายในชิ้นส่วนกลหรือเครื่องจักรกลในขณะใช้งาน ซึ่งปัญหาดังกล่าวนี้นับเป็นความเสียหายเนื่องจากความล้า (fatigue failure) ทั้งที่ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในขณะใช้งานมีค่าต่ำกว่าความแข็งแรงที่วัสดุที่จะสามารถทนได้ ความเค้นที่กระทำกลับไปกลับมามีส่วนทำให้ความทนทานของชิ้นส่วนกลหรือโครงสร้างดังกล่าวลดลงจนนำไปสู่ความเสียหายขึ้นในที่สุด ซึ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นก็จะมีลักษณะและระดับของความรุนแรงที่แตกต่างกันไปตามแต่ละชนิดของวัสดุชิ้นส่วนกลที่ถูกนำมาใช้งาน

แม้ว่าในปัจจุบันจะได้มีการพัฒนาทั้งทางด้านการออกแบบในแนวสมัยใหม่และมีการปรับปรุงความแข็งแรงของวัสดุที่ถูกนำมาใช้งานด้วยการเติมธาตุและองค์ประกอบทางเคมีบางตัวในระหว่างกระบวนการผลิตวัสดุ ทั้งนี้เพื่อให้คุณสมบัติทางกลของวัสดุดีขึ้นและวัสดุมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่กลับพบว่าความเสียหายเหล่านี้ก็คงยังไม่หมดไปทั้งนี้เนื่องจากว่าความหลากหลายของการใช้งานซึ่งมีการประมาณกันว่าความเสียหายเนื่องจากความล้านั้นมีประมาณ 90% ของความเสียหายทางกลที่เกิดขึ้นในระหว่างที่ชิ้นส่วนกลหรือเครื่องจักรกลถูกใช้งาน Meguid S.A. [1] ด้วยสาเหตุนี้เองในปัจจุบันในด้านการใช้งานของชิ้นส่วนกล หรือโครงสร้างทางวิศวกรรมโดยทั่วไปมักจะมีการบำรุงรักษาและป้องกันความเสียหายไม่ให้เกิดขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากความเสียหายที่เกิดขึ้นในเบื้องต้นซึ่งเราเองอาจไม่ได้คาดคิดอาจนำไปสู่ความเสียหายอย่างต่อเนื่องและมีความรุนแรงกว่าหลายเท่าได้ ตัวอย่างเช่น ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเพลาที่ใช้ในเครื่องจักรหมุน (rotating machinery) อาจทำให้การผลิตต้องหยุดชะงักและเกิดการสูญเสียในเชิงของการผลิต การนำเอาวิธีการป้องกันความเสียหายโดยการคาดการณ์และการบำรุงรักษาเชิงระวังป้องกัน (predictive & preventive maintenance) เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมมากและมีด้วยกันหลายวิธี เช่น วิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย (non destructive testing, NDT)

หรือ vibration monitoring ฯลฯ นอกจากวิธีการดังกล่าวแล้วมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องเข้าใจและสามารถคาดการณ์ถึงพฤติกรรมของความเสียหายที่จะเกิดขึ้น

ลักษณะของจุดเริ่มต้นของความเสียหายที่พบมากเป็นอันดับแรก คือ รอยร้าว (crack) ซึ่งวิธีการตรวจสอบด้วยขั้นตอนของ NDT ที่กล่าวมาข้างต้นจะเป็นกระบวนการที่ใช้ในการตรวจสอบรอยร้าวได้แต่ไม่สามารถที่จะบอกให้ทราบถึงพฤติกรรมของการเติบโตรอยร้าว (crack growth behavior) ดังนั้นการเข้าถึงปัญหาความล้าโดยนำเอาแนวทางของกลศาสตร์การแตกหักมาใช้มีข้อได้เปรียบเหนือกว่าแนวทางวิธีอื่นๆ เพราะในแนวทางของกลศาสตร์การแตกหักจะพิจารณาถึงภาระที่มากระทำต่อชิ้นส่วนกลและขนาดของรอยร้าวซึ่งต่างก็เป็นปริมาณทางกายภาพร่วมกัน โดยอาศัยพารามิเตอร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นทำให้สามารถเข้าถึงพฤติกรรมของรอยร้าวทั้งในแง่ของพฤติกรรมการเติบโต หรือขนาดของพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้น (ΔK) ที่ก่อให้เกิดความเสียหายในช่วงต้นของอัตราการเติบโตรอยร้าวเนื่องจากความล้าในช่วงแรกของการเติบโตรอยร้าวได้

ด้วยเหตุนี้เองการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับปัญหาความเสียหายที่เกิดจากความล้าจึงมีความจำเป็นและได้นำเอาทฤษฎีทางกลศาสตร์การแตกหัก (fracture mechanics) เพื่อใช้แก้ปัญหาและวิเคราะห์ในชิ้นส่วนกล หรือโครงสร้างที่มีรอยร้าวโดยอาศัยพื้นฐานจาก Theory of elasticity และ Theory of plastic ซึ่งได้กล่าวถึง การวิเคราะห์สภาวะความเค้นที่บริเวณรอยร้าว และเงื่อนไขของการเกิดความเสียหายอันเนื่องจากการเติบโตของรอยร้าว นอกจากนี้ยังมีสาเหตุอื่น ๆ อีกที่ทำให้เกิดรอยร้าวในสภาพการใช้งานของชิ้นส่วนกล หรือ เครื่องจักรกลในสภาพปกติ ยกตัวอย่างเช่น สภาพสภาวะแวดล้อม (environment) อัตราส่วนภาระ (R) ความถี่ (f) ที่ส่งผลให้การเติบโตรอยร้าวที่เกิดขึ้นในช่วงแรกเร็วขึ้น ทั้งนี้ค่าของอัตราส่วนภาระ (R) คำนวณจากความสัมพันธ์ที่ ($R=\frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}=\frac{K_{\min}}{K_{\max}}=\frac{P_{\min}}{p_{\max}}$) ส่วนประกอบต่าง ๆ เหล่านี้เองที่ส่งผลให้การเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าในช่วงแรกของการเติบโตรอยร้าวเป็นช่วงสำคัญเนื่องจากเริ่มมีการเติบโตรอยร้าวขึ้นและมีปริมาณน้อย ๆ การเติบโตรอยร้าวในช่วงนี้เป็นกระบวนการเสียหายที่ไม่ต่อเนื่อง ในความเป็นจริงหรือกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่ารอยร้าวมีการเติบโตแล้วแต่มีปริมาณน้อยมากซึ่งเกิดขึ้นในช่วงของ micro crack growth และเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในช่วงบริเวณที่ 1 ของเส้นโค้งอัตราการเติบโตรอยร้าวเนื่องจากความล้าก็คือ พิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้น (ΔK) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สามารถหาได้จากการทดลองและเป็นตัวบ่งชี้

สภาวะการเติบโตของรอยร้าวเริ่มต้นซึ่งขึ้นกับ ชนิดของวัสดุ (material) อัตราส่วนภาระ (R) สภาพของสภาวะสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิ และสภาวะของความเค้น (stress)

นอกจากนี้ในช่วงบริเวณที่ 1 ของอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้ายังถือได้ว่าอยู่ในระดับที่ต่ำถ้าหากพิจารณาในแง่ของกระบวนการผลิตถ้ามีการตรวจพบรอยร้าวในชิ้นส่วนเครื่องจักรในระยะแรกก็ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องหยุดกระบวนการผลิตเพื่อเปลี่ยนซ่อมโดยทันที ทั้งนี้เนื่องจากการเติบโตของรอยร้าวในช่วงนี้ไม่ได้เป็นช่วงวิกฤติที่จะส่งผลต่อความเสียหายของชิ้นส่วนเครื่องจักรโดยฉับพลัน ทำให้กระบวนการผลิตยังคงสามารถดำเนินต่อเนื่องไปได้จนถึงช่วงเวลาที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนซ่อมซึ่งช่วยลดการสูญเสียด้านกำลังผลิตหรือโอกาสของรายได้จากการผลิตที่ต้องสูญหายไปถ้าหากต้องหยุดกระบวนการผลิต

หากพิจารณาในด้านการออกแบบโดยทั่วไปนักออกแบบสามารถนำเอาข้อมูลที่เกี่ยวกับพฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าในช่วงที่ 1 (Threshold regime) พิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้น (ΔK) ซึ่งนำไปใช้ในการกำหนดระดับความเค้นออกแบบได้ กล่าวคือ ถ้าในการออกแบบพยายามให้พิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้น (ΔK) มีค่าต่ำกว่าพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้นในบริเวณใกล้ขีดเริ่มความล้า (ΔK_{th}) ก็จะช่วยลดโอกาสการเติบโตของรอยร้าวได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษา และทดลองเกี่ยวกับพฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าในช่วงที่ 1 (Threshold regime) บนเส้นโค้งอัตราการเติบโตรอยร้าวเนื่องจากความล้าและในการวิจัยนี้จะพิจารณาถึงอิทธิพลของอัตราส่วนภาระ (R) ที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อเฝ้าติดตามดูพฤติกรรมของการเติบโตรอยร้าวเนื่องจากความล้า และเลือกใช้เหล็กกล้ามาตรฐาน JIS SCM 440 ซึ่งเป็นเหล็กกล้าที่ใช้ทำเพลาส่งกำลัง เพลาข้อเหวี่ยง เฟืองเพลา ซึ่งมีการใช้งานกันอย่างมากมายตามโรงงานและอุตสาหกรรมขนาดใหญ่นำมาใช้ในการทำชิ้นเหล็กกล้าทดสอบในรูปแบบ CT- Specimen

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1.2.1 เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมของการเติบโตรอยร้าวเนื่องจากความล้า สำหรับเหล็กกล้า JIS SCM 440 โดยพิจารณาในช่วงบริเวณที่ 1 (Threshold regime) บนกราฟเส้นโค้งอัตราการเติบโตรอยร้าวเนื่องจากความล้า

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนภาระ (R) ที่มีต่ออัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าและพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้น (ΔK) สำหรับเหล็กกล้า JIS SCM 440 โดยพิจารณาในช่วงบริเวณที่ 1 (Threshold regime) บนกราฟเส้นโค้งอัตราการเติบโตรอยร้าวเนื่องจากความล้า

1.3 ปัญหาและขอบเขตของวิทยานิพนธ์

สำหรับวิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงอิทธิพลของอัตราส่วนภาระต่อบริเวณใกล้ขีดเริ่มความล้าของอัตราการเติบโตรอยร้าวเนื่องจากความล้าสำหรับเหล็กกล้า JIS SCM 440 โดยได้ทำการทดสอบที่อัตราส่วนภาระต่าง ๆ กัน (R = 0.1, 0.3 และ 0.5) ความถี่ (f) = 10 Hz. ทำการทดสอบเงื่อนไขละ 3 ชิ้นเหล็กกล้าทดสอบ กระทำภายใต้สภาพสภาวะแวดล้อมที่ไม่กัดกร่อนและอุณหภูมิขณะทำการทดสอบให้อยู่ในช่วงของอุณหภูมิในห้องทดสอบ โดยเลือกรูปแบบคุณลักษณะของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบเป็นแบบ CT- Specimen (Compact–Tension Specimen) และการทดสอบให้เป็นแบบ tension–tension โดยชิ้นเหล็กกล้าทดสอบทำจากเหล็กกล้ามาตรฐาน JIS SCM 440 มีขนาดดังนี้ (กว้าง 61.20 mm.x ยาว 63.75 mm.) และความหนา 25.40 mm. พร้อมรูเจาะร้อยสลักขนาด 13.00 mm. และการวัดหาความยาวรอยร้าวให้หาจากค่าเฉลี่ยของความยาวรอยร้าวโดยวัดได้จากความยาวรอยร้าวด้านหน้าและความยาวรอยร้าวด้านหลังของชิ้นเหล็กกล้าทดสอบ CT-Specimen

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ช่วยให้เกิดความเข้าใจถึงพฤติกรรมของอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าในช่วงบริเวณที่ 1 (Threshold regime) บนกราฟเส้นโค้งอัตราการเติบโตรอยร้าวเนื่องจากความล้าซึ่งได้จากการทดสอบจริง

1.4.2 บอกได้ว่าผลของอัตราส่วนภาระ (R) ที่แตกต่างกันภายหลังจากดำเนินการทดสอบกับชิ้นเหล็กกล้าทดสอบมีผลต่ออัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าและระดับพิสัยตัวประกอบความเข้มของความเค้น (ΔK) ที่เกิดขึ้นในช่วงบริเวณที่ 1 (Threshold regime) บนกราฟเส้นโค้งอัตราการเติบโตรอยร้าวเนื่องจากความล้ามีลักษณะใด

1.4.3 ผลจากการทำวิจัยในครั้งนี้จะช่วยสร้างให้เกิดความชำนาญและทักษะตลอดจนความรู้พื้นฐานในกระบวนการทดสอบด้านกลศาสตร์การแตกหักซึ่งจะสามารถใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นในการศึกษาวิจัยทางด้านกลศาสตร์การแตกหักให้กว้างขวางยิ่งขึ้นและใช้เป็นแนวทางในการขยายฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการทดสอบกับวัสดุชนิดอื่นๆ และภายใต้เงื่อนไขของสภาพสภาวะแวดล้อมอื่นได้

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิทยานิพนธ์โดยสรุป

1.5.1 ศึกษาทฤษฎีและรวบรวมข้อมูลงานวิจัยเกี่ยวกับพฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าและทำความเข้าใจเกี่ยวกับพื้นฐานเบื้องต้น ตลอดจนแนวทางมาตรฐานของการทดสอบ

1.5.2 ศึกษาการใช้งานของเครื่องทดสอบ Hydraulic servo testing machine พร้อมส่วนควบคุมหลัก (main controller) ที่ทำหน้าที่ควบคุมสภาวะของการทดสอบ ทั้งนี้เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับเครื่องทดสอบในช่วงของการทดสอบ ตลอดจนขีดความสามารถในการสร้างภาระการทดสอบของเครื่องทดสอบ เช่น ขนาดของภาระกระทำ รูปแบบคลื่นความถี่ของภาระกระทำ และจำนวนรอบของภาระกระทำที่กระทำต่อชิ้นเหล็กกล้าทดสอบ

1.5.3 ออกแบบขนาดชิ้นเหล็กกล้าทดสอบที่ทำจากเหล็กกล้า JIS SCM 440 ให้เป็นไปตามแนวทางที่สามารถทดสอบได้ตามมาตรฐาน ASTM E647-05 [2] ที่ได้กำหนดเอาไว้

1.5.4 ทำการทดสอบและเก็บข้อมูลพร้อมทั้งวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบ

1.5.5 จัดทำรายงานเพื่อนำเสนอข้อมูลและผลสรุปจากที่ได้ทำการศึกษา