บทที่ 1

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทนำ

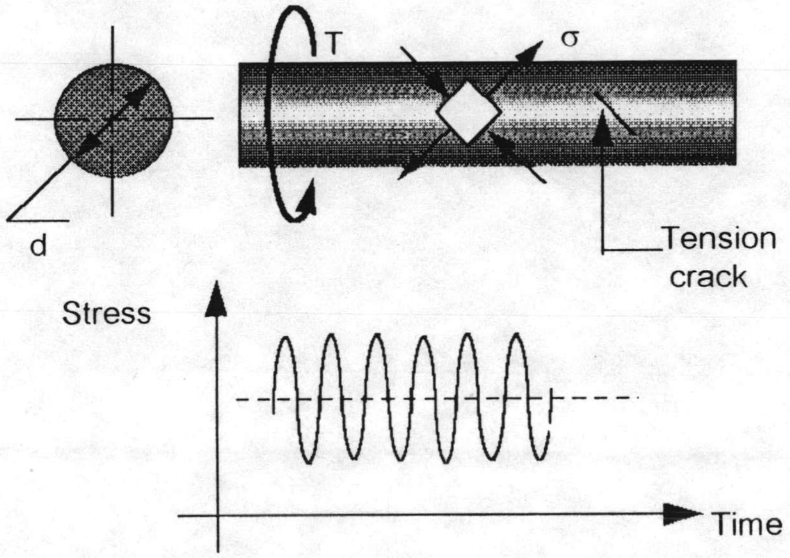
ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

นับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันความเสียหายเนื่องจากความล้าก็ยังคงเป็นปัญหาใหญ่ที่วิศวกรต้องเผชิญ แม้ว่าจะมีการพัฒนาความรู้ และแนวทางการออกแบบใหม่ ๆ ขึ้นมามากมาย แต่ความเสียหายเนื่องจากความล้าก็ยังคงมีปรากฏอยู่ นักวิจัยหลายท่าน ยกตัวอย่างเช่น Dieter (1988) และ Meguid (1989) กล่าวว่าความเสียหายเนื่องจากความล้านั้นมีประมาณ 90 เปอร์เซนต์ของความเสียหายทางกลทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระหว่างการใช้งาน

ในสภาพการใช้งาน ชิ้นส่วนกล และโครงสร้างต่าง ๆ ทั้งที่มีการเคลื่อนไหวหรือหยุดนิ่งเกือบทั้งสิ้นจะถูกกระทำด้วยภาระเปลี่ยนแปลง ภาระเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจจะเกิดมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะของการรับภาระ ความบกพร่องของการติดตั้ง เช่น การไม่สมดุล การเยื้องศูนย์ หรืออาจจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมโดยที่ชิ้นส่วนโครงสร้างมิได้มีการเคลื่อนไหวก็ได้ ตัวอย่างของชิ้นส่วน โครงสร้างเหล่านั้นก็ได้แก่ เฟือง, เพลาส่งกำลัง, เพลาข้อเหวี่ยง, โบลท์, สลัก, เครื่องบิน, เรือ, สะพาน เป็นต้น จากตัวอย่างดังกล่าวเราจะเห็นว่าปัญหาความล้านั้นเกิดขึ้นได้กับชิ้นส่วนโครงสร้างที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง ทำให้การศึกษาเกี่ยวกับความล้าจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง

ภาระเปลี่ยนแปลงดังที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น โดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นแบบสุ่ม (random loading) ประกอบขึ้นจากองค์ประกอบ 2 ส่วนคือ ภาระสถิตย์(static load) และภาระเปลี่ยนแปลง(fluctuating load) หรือเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า ภาระกระทำเป็นรอบ(cyclic loading) ในส่วนของภาระเปลี่ยนแปลงนี้เองที่เป็นต้นเหตุสำคัญของการเกิดความเสียหายต่อชิ้นส่วนโครงสร้างอันเนื่องมาจากความล้าในท้ายที่สุด

แม้ว่าภาระโดยรวมที่กระทำต่อชิ้นส่วนโครงสร้างจะมีลักษณะเป็นแบบสุ่มก็ตาม เราก็ยังพบว่ามีชิ้นส่วนกลในงานบางอย่างรับภาระแบบแอมปลิจูดคงที่ในช่วงเวลาหนึ่ง หรือตลอดทุกช่วงเวลา เช่น เพลาในเครื่องจักรกลหมุนที่ส่งกำลังและหมุนที่ความเร็วรอบคงที่ ณ สภาวะสถานะคงตัว แรงบิดที่กระทำต่อเพลาดังกล่าวจะก่อให้เกิดความเค้นดึงในทิศทำมุม 45° กับแนวแกนเพลา และเมื่อพิจารณาร่วมกับผลเนื่องจากการเยื้องศูนย์กลาง(misalignment)ที่คัปปลิ้ง และความไม่สมดุลต่าง ๆ ก็จะทำให้ภาระที่เกิดขึ้นจริงในทิศทางดังกล่าวมีขนาดเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะนำไปสู่การเกิดรอยร้าวในทิศทางตั้งฉากกับความเค้นดึง(tension crack)ต่อไป (รูปที่ 1.1)



รูปที่ 1.1 แสดงภาระเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับเพลาส่งกำลังที่สภาวะสถานะคงตัว

ในการทำนายอายุความล้าของชิ้นส่วนโครงสร้างต่าง ๆ นั้น สิ่งหนึ่งที่มีผลต่อความแม่นยำในการทำนายก็คือความเหมาะสมในการจำลองสภาวะของภาระในสภาพการใช้งานจริงมายังสภาวะของภาระที่กระทำกับชิ้นงานทดสอบ แต่เนื่องจากการระบุลักษณะของภาระแบบแอมปลิจูดคงที่นั้นจำเป็นต้องกำหนดตัวแปรหรือพารามิเตอร์พร้อมกัน 2 ตัว เช่น กำหนดภาระเฉลี่ยกับแอมปลิจูดภาระ เป็นต้น ทำให้เกิดปัญหาว่าจะต้องกำหนดภาระทดสอบที่มีค่าเฉลี่ยและแอมปลิจูดเท่ากับเท่าใดจึงจะให้ผลลัพธ์ที่สามารถนำไปประยุกต์กับสภาพใช้งานจริงได้ใกล้เคียงที่สุด เพราะส่วนใหญ่แล้วเราไม่สามารถจะทำการทดสอบที่ขนาดของภาระเท่ากับภาระที่เกิดขึ้นจริงได้

แม้ว่าจะมีผลการทดลองที่แสดงให้เห็นว่าภายใต้การทดสอบที่อัตราส่วนภาระค่าเดียวกันแต่กำหนดขนาดของภาระเฉลี่ย และแอมปลิจูดภาระต่างกัน จะได้เส้นโค้งอัตราการเติบโต

ของรอยร้าวเส้นเดียวกัน(e.g.,Itoka, 1975; Barsom and Rolfe, 1987; Jones et al.,1994) ก็ตาม แต่พฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าสำหรับวัสดุต่างชนิดกันนั้นจะแตกต่างกัน จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาว่าการใช้พารามิเตอร์ดังกล่าวในการจำลองสภาวะของภาระสำหรับวัสดุ AISI 4140 นั้นมีความเหมาะสมเพียงใด

การเข้าถึงปัญหาความล้าโดยอาศัยแนวทางของกลศาสตร์การแตกหักมีข้อได้เปรียบเหนือแนวทางการเข้าถึงปัญหาความล้าด้วยวิธีอื่น ๆ เพราะในแนวทางของกลศาสตร์การแตกหักจะพิจารณาภาระที่มากระทำต่อชิ้นส่วน และขนาดของรอยร้าวซึ่งต่างก็เป็นปริมาณทางกายภาพร่วมกันโดยอาศัยพารามิเตอร์ที่ถูกพัฒนาขึ้น ทำให้สามารถเข้าถึงพฤติกรรมของรอยร้าวทั้งในแง่ของพฤติกรรมการเติบโต หรือขนาดวิกฤติที่ก่อให้เกิดการเสียหายขึ้นได้

การนำแนวทางของกลศาสตร์การแตกหักมาวิเคราะห์ร่วมกับเทคโนโลยีของการทดสอบแบบไม่ทำลาย(non-destructive testing) จะช่วยให้วิศวกรสามารถกำหนดเกณฑ์ความเสียหาย และสามารถประเมินอายุที่เหลืออยู่ของชิ้นส่วนโครงสร้างที่ตรวจพบรอยร้าวได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากทั้งในแง่ของการซ่อมบำรุง และการผลิต เพราะสามารถวางแผนการเปลี่ยนซ่อมชิ้นส่วนดังกล่าวล่วงหน้าได้ อีกทั้งอาจไม่มีความจำเป็นที่จะต้องหยุดกระบวนผลิตเพื่อเปลี่ยนซ่อมชิ้นส่วนที่ตรวจพบรอยร้าวโดยทันที ทำให้กระบวนการผลิตสามารถดำเนินต่อเนื่องไปได้จนถึงช่วงเวลาที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนซ่อม เช่น ช่วงเวลาซ่อมบำรุงประจำปี เป็นต้น ช่วยลดการสูญเสียกำลังการผลิตหรือรายได้ขององค์กร นอกจากนี้ยังสร้างความมั่นใจว่าจะไม่เกิดเหตุขัดข้องที่รุนแรงจนเป็นเหตุให้เกิดการสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สินในช่วงเวลาดังกล่าว และยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนซ่อมชิ้นส่วนก่อนถึงเวลาอันควรด้วย

ในทำนองเดียวกันเราสามารถนำแนวทางของกลศาสตร์การแตกหักไปใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนต่าง ๆ ได้ นักออกแบบสามารถนำพารามิเตอร์ เช่น ค่าความต้านทานการแตกหัก(fracture toughness) เป็นต้น ไปใช้ประกอบในการเลือกวัสดุได้อีกทางหนึ่ง(Barsom and Rolfe, 1987) สามารถกำหนดระดับความเค้นออกแบบได้จากข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าว อาทิเช่น ค่าขีดเริ่มของการเติบโตของรอยร้าว ซึ่งมโนทัศน์ดังกล่าวนี้มีประโยชน์อย่างมากในกรณีของชิ้นส่วนที่ต้องรับภาระสถิตย์ภายใต้สภาวะแวดล้อมกัดกร่อน นอกจากนี้หากนักออกแบบทราบขนาดรอยบกพร่องเริ่มต้นอันเนื่องมาจากกระบวนการผลิต หรือการขนย้าย ฯลฯ แล้วเขาจะสามารถออกแบบให้ชิ้นส่วนนั้นมีอายุการใช้งานได้นานตามที่กำหนด เป็นต้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย มีดังนี้

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า ณ สภาวะของ "ภาระเฉลี่ย" และ "แอมปลิจูดภาระ" ต่าง ๆ กัน ในบริเวณที่ 2 ของเส้นโค้งอัตราการเติบโตของรอยร้าว

2. เพื่อวิเคราะห์การใช้พารามิเตอร์ไร้หน่วย"อัตราส่วนภาระ"แทนการกำหนด "ภาระเฉลี่ย" และ "แอมปลิจูดภาระ" ในการบ่งชี้พฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้า

3. เพื่อวิเคราะห์การจำลองสภาวะของภาระที่เกิดขึ้นจริงในโครงสร้างมายังสภาวะของภาระที่กระทำกับชิ้นงานทดสอบ

4. เพื่อหาสมการอัตราการเติบโตของรอยร้าว ในบริเวณที่ 2 ของเส้นโค้งอัตราการเติบโตของรอยร้าว เพื่อใช้ในการทำนายอายุที่เหลือของโครงสร้างที่ตรวจพบรอยร้าว

ขอบเขตทฤษฎี และสมมุติฐานที่ใช้ในการวิจัย

ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัยนี้อยู่ในขอบเขตของการประยุกต์แนวทางของกลศาสตร์การแตกหักยืดหยุ่นเชิงเส้นกับปัญหาความล้า นอกจากนี้ยังสมมุติให้สภาพแวดล้อมที่ทำการทดสอบไม่ก่อให้เกิดการผุกร่อนในระดับที่กระทบกระเทือนต่อการเติบโตของรอยร้าวทำให้สามารถละเลยผลของความถี่ของภาระที่มีต่ออัตราการเติบโตของรอยร้าวได้ (Besuner et al., 1986; Bannantine et al., 1990 ; Dowling, 1993)

วิธีดำเนินการวิจัยโดยสรุป

แบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ทำการทดสอบหาอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าที่สภาวะของ "ภาระเฉลี่ย " และ "แอมปลิจูดภาระ"ต่าง ๆ กัน

2. คำนวณหาสมการอัตราการเติบโตของรอยร้าวจากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ

3. วิเคราะห์ และสรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้

ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยนี้

ผลที่ได้รับจากงานวิจัยนี้จะช่วยให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับการจำลองสภาวะที่เกิดขึ้นจริงมายังสภาวะทดสอบมากขึ้น อีกทั้งยังสามารถนำสมการอัตราการเติบโตของรอยร้าวล้าที่ได้จากการทดสอบภายใต้ภาระกระทำเป็นรอบแบบแอมปลิจูดคงที่ไปใช้ทำนายอายุที่เหลือของชิ้นส่วนโครงสร้างที่ตรวจพบรอยร้าวได้ โดยสมการดังกล่าวสามารถประยุกต์กับโครงสร้างรูปทรงใด ๆ ก็ได้ที่มีผลเฉลยของค่าความเข้มของความเค้น และเป็นสมการพื้นฐานที่ใช้ประกอบกับแบบจำลองในการทำนายอายุความล้าภายใต้ภาระแบบแอมปลิจูดเปลี่ยนแปลงแบบง่าย(simple variable amplitude loading) ตัวอย่างของแบบจำลองดังกล่าวนั้นก็ได้แก่ แบบจำลองของ Wheeler และแบบจำลองของ Willenborg เป็นต้น นอกจากนี้ยังเป็นพื้นฐานความรู้ความเข้าใจในการพัฒนาแบบจำลองสำหรับทำนายอายุความล้าภายใต้ภาระแบบแอมปลิจูดเปลี่ยนแปลงที่ซับซ้อน(spectrum loading) ได้ต่อไป