# บทที่ 7

# ข้อสรุป และข้อเสนอแนะ

ในบทนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับข้อสรุปของงานวิจัย ตลอดจนข้อแนะนำในการทำวิจัย รวมทั้งงานวิจัยที่ต่อเนื่อง เรียงไปตามลำดับ

## ข้อสรุปของงานวิจัย

ข้อสรุปของงานวิจัยนี้คือ เราสามารถใช้อัตราส่วนภาระเป็นพารามิเตอร์ในการจำลองสภาวะของภาระที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนโครงสร้างมายังสภาวะของภาระที่กระทำกับชิ้นงานทดสอบได้ ทำให้การทดสอบสามารถกระทำที่สภาวะของภาระซึ่งเหมาะสมกับขนาดชิ้นงานทดสอบ ขีดความสามารถของเครื่องทดสอบ และอยู่ในขอบเขตการประยุกต์ใช้งานของกลศาสตร์การแตกหักยืดหยุ่นเชิงเส้น นอกจากนี้พฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าสำหรับวัสดุ AISI 4140 ยังไม่ขึ้นอัตราส่วนภาระ และสมการอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดคือ $da/dN = 5.32 \times 10^{-9} (\Delta K)^{3.06}$ อย่างไรก็ดี เมื่อพิจารณาถึงการกระจัดกระจายของข้อมูลอัตราการเติบโตของรอยร้าว(ขอบเขตบน และล่าง) ของงานวิจัยนี้ พบว่าควรเลือกใช้ตัวประกอบความปลอดภัยตั้งแต่ 2 ขึ้นไปในการประเมินอายุความล้าของชิ้นส่วน ทั้งนี้เนื่องจากยังมีความไม่แน่นอนของข้อมูลอื่น ๆ เช่น ข้อมูลภาระที่เกิดขึ้นจริง, ข้อมูลสมบัติของวัสดุ เป็นต้น ด้วย

## ข้อแนะนำที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัย

จากประสบการณ์ที่ได้รับในระหว่างทำการวิจัย ผู้วิจัยใคร่ขอเสนอแนะแนวทางต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบทั้งในด้านขั้นตอนการปฏิบัติงาน และการแก้ปัญหาเฉพาะหน้า เพื่อเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยต่อ ๆ ไป ดังนี้

1. ข้อแนะนำเกี่ยวกับการเตรียมชิ้นงาน

1.1 การสั่งวัตถุดิบ(วัสดุที่จะนำมาทดสอบ)ในรูปของเหล็กรูปพรรณนั้น ควรกำชับให้ผู้ผลิต หรือผู้จัดจำหน่าย นำส่งของที่มาจาก lot เดียวกัน หรือถ้าเป็นไปได้ควรจะเป็นเส้นเดียวกันจะดีที่สุด

1.2 การกลึงไส และขัดผิวชิ้นงานทดสอบ ต้องกระทำในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการเติบโตของรอยร้าวเท่านั้น

1.3 ควรเก็บรักษาชิ้นงานที่จะทำการทดสอบในภาชนะที่ปิดสนิท เพื่อป้องกันการเกิดสนิม และหลุมบนผิวชิ้นงาน ซึ่งจะทำให้การติดตามรอยร้าวทำได้ยากลำบากขึ้น

2. ข้อแนะนำเกี่ยวกับการเตรียมสลัก

2.1 สำหรับการทดสอบความล้า เราสามารถใช้สลักที่ทำจากเหล็กชนิดอื่น ๆ นอกเหนือจาก AISI 4340 ที่ ASTM แนะนำไว้ได้ เพียงแต่ความสามารถในการต้านทานความล้าของสลักที่ทำจากวัสดุอื่นจะน้อยกว่าเท่านั้น

2.2 การเตรียมผิวของสลักต้องพยายามให้เรียบมากที่สุด นอกจากนี้ต้องไม่มีระยะเผื่อกับรูเจาะบนชิ้นงาน และ grip มากจนเกินไป ทั้งนี้เพื่อให้อายุความล้าของสลักเพิ่มขึ้น

3. ข้อแนะนำเกี่ยวกับการปฏิบัติงาน

3.1 ก่อนทำการทดสอบทุกครั้งให้เปิดระบบหล่อเย็น แล้วทำการอุ่นเครื่อง (warm up) เครื่องทดสอบโดยการเดินเครื่องแบบไม่มีภาระจนกระทั่งน้ำมันไฮโดรลิคในถังมีอุณหภูมิราว 40°C ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 20 นาที การอุ่นเครื่องดังกล่าวจะช่วยลดระดับเสียงที่เกิดขึ้นในช่วงเริ่มเดินเครื่องทดสอบแบบมีภาระได้

3.2 ในกรณีที่ทำการทดสอบ ณ สภาวะทดสอบที่มีแอมปลิจูดภาระสูง(ราว 1 ตัน) ควรเริ่มทดสอบที่ความถี่ของภาระไม่มากนักก่อน(ราว 20 Hz) หากไม่เกิดเสียงที่ดังผิดปกติจากเครื่องทดสอบ ก็สามารถเพิ่มความถี่ขึ้นได้อีก อย่างไรก็ดีในกรณีที่ระยะเผื่อ (clearance)ระหว่างสลัก และรูของ grip มีค่ามากอาจมีความจำเป็นต้องลดความถี่ที่ใช้ทดสอบให้ต่ำลงไปอีก

3.3 ไม่ควรทำการทดสอบในช่วงเวลาที่เสี่ยงต่อการเกิดการขาดช่วงของระบบไฟฟ้า เช่นช่วงก่อนฝนตก เป็นต้น ทั้งนี้เพราะเมื่อเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวเครื่องทดสอบจะตัด

การทำงานทำให้ชิ้นงานถูกกระทำด้วยภาระที่สูงกว่าปกติ และชิ้นงานทดสอบอาจเสียหายจนไม่สามารถนำมาใช้ได้

3.4 ในระหว่างทำการทดสอบให้หมั่นตรวจตราค่าเคลื่อนตัวที่แสดงบนจอมอนิเตอร์ เพื่อให้ทราบว่าสภาวะทดสอบยังเป็นปกติอยู่ หากค่าเคลื่อนตัวมีค่ามากกว่าในตอนเริ่มต้นพอสมควร ให้หยุดการส่งสัญญานควบคุมแล้วดำเนินการแก้ไข สำหรับกรณีดังกล่าวเท่าที่พบจะเกิดจากสลักเสียหายทั้งสิ้น

3.5 เพื่อเป็นการป้องกันเหตุในข้อ 3.4 อีกชั้นหนึ่ง ในระหว่างถอดชิ้นงานออกมาทำการวัดความยาวรอยร้าว ควรให้ความสังเกตเบื้องต้นกับสลักด้วยว่าเสียหายหรือไม่

4. ข้อแนะนำอื่น ๆ

4.1 จำนวนรอบที่ใช้ในการให้กำเนิดรอยร้าวจะมีค่าแตกต่างกันอย่างมากแม้ว่าสภาวะของภาระจะเหมือนกันก็ตาม สำหรับงานวิจัยนี้การใช้ภาระขนาด 1.900+0.600 ตัน เพื่อสร้างรอยร้าวก่อนหน้า พบว่าจำนวนรอบที่ใช้มีค่าอยู่ราว 800,000-2,500,000 รอบ แต่อย่างไรก็ดี ตั้งแต่จำนวนรอบเท่ากับ 800,000 รอบขึ้นไปผู้ทดสอบต้องเริ่มให้ความสนใจต่อชิ้นงานอย่างใกล้ชิด

4.2 หากเกิดการขาดช่วงของระบบไฟฟ้า เช่น ดับ หรือ กระพริบ ในขณะทำการ pre-cracked เราสามารถใช้ชิ้นงานเดิมเพื่อทดสอบต่อไปได้ แต่จะต้องเปลี่ยนสภาวะของภาระให้มีค่าภาระสูงสุดเพิ่มขึ้นกว่าเดิมเพื่อให้รอยร้าวสามารถเติบโตต่อไปได้ แต่จะต้องให้ความสนใจอย่างใกล้ชิดควบคู่ไปด้วยเพื่อมิให้รอยร้าวมีขนาดเกินที่ต้องการ จากการสังเกตพบว่าหากเกิดการขัดข้องของระบบไฟฟ้าขณะที่ทำการทดสอบที่แอมปลิจูดภาระสูงขึ้น ขนาดของบริเวณเสียรูปแบบพลาสติกจะมีขนาดใหญ่กว่า การแก้ไขทำได้ยากขึ้น โดยเฉพาะในกรณีที่รอยร้าวมีความยาวไม่มากนัก(ประมาณ 3 มม.)

4.3 ในกรณีที่รอยร้าวทั้งสองด้านยาวไม่เท่ากัน เราสามารถแก้ไขได้โดยกลับด้านของชิ้นงานทดสอบที่มีความยาวรอยร้าวน้อยกว่าไปอยู่ในด้านที่ทำให้เกิดรอยร้าวยาวกว่า (ผู้ทดสอบจะต้องสังเกตด้วยตนเอง ทั้งนี้เนื่องจากเหตุการณ์ดังกล่าวอาจเปลี่ยนไปเมื่อใช้ grip ต่างชิ้นกัน) อย่างไรก็ดีการเพิ่มขนาดของภาระเฉลี่ย และใช้สลักที่ไม่หลวมนัก จะช่วยให้การกระจายภาระไปยังผิวทั้งสองของชิ้นงานทดสอบดีขึ้น สำหรับการกำหนดแอมปลิจูดภาระให้พิจารณาจากความแตกต่างของความยาวรอยร้าวทั้งสองด้าน หากแตกต่างกันมาก(ราว 5 มม.) ควรใช้แอมปลิจูดภาระคงเดิม แต่ถ้าแตกต่างกันไม่มาก(ราว 2 มม.)ให้ลดแอมปลิจูดภาระให้เหลือเท่ากับที่จะทำให้ขนาดของภาระสูงสุดคงเดิม

## งานวิจัยที่ต่อเนื่อง

พื้นฐานความรู้ที่ได้รับจากงานวิจัยนี้นำไปสู่งานวิจัยที่ต่อเนื่องออกไป ดังนี้

- ศึกษาพฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าในบริเวณใกล้ขีดเริ่มที่อัตราส่วนภาระต่าง ๆ
- ศึกษาพฤติกรรมการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าภายใต้ภาระเปลี่ยนแปลงรูปแบบต่าง ๆ เช่น การเกิดภาระเกินพิกัด การเกิดภาระต่ำกว่าพิกัด ฯลฯ
- ทดสอบหาอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กัดกร่อน
- ทดสอบหาอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าภายใต้อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิห้อง
- พัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ทำนายอายุความล้าภายใต้ภาระแบบแอมปลิจูดเปลี่ยนแปลงที่ซับซ้อน โดยอาศัยข้อมูลอัตราการเติบโตของรอยร้าวเนื่องจากความล้าที่ทดสอบภายใต้ภาระเปลี่ยนแปลงแบบแอมปลิจูดคงที่ และภาระเปลี่ยนแปลงแบบแอมปลิจูดไม่คงที่อย่างง่าย