

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1.1 จากผลจากการทดสอบการขยายตัวของรอยร้าวล้าภายใต้สภาวะควบคุมในห้องปฏิบัติการซึ่งแสดงได้โดยความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการขยายตัวของรอยร้าว (crack growth rate, da/dN) และ stress intensity factor range, ΔK สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ว่า อัตราการขยายตัวของรอยร้าวจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนความเค้น (stress ratio, R) โดยที่ค่า stress intensity factor range threshold, ΔK_{th} ของ $R = 0.1$ และ $R = 0.7$ มีค่าประมาณ 1.2 และ 0.7 $\text{MPa.m}^{1/2}$ ตามลำดับ

ในขณะที่ผลจากการทดสอบการขยายตัวของรอยร้าวล้าภายใต้สภาวะการฉีดละอองโซเดียมคลอไรด์ 3.5% การแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการขยายตัวของรอยร้าว (crack growth rate, da/dN) และ stress intensity factor range, ΔK ในแต่ละ stress ratio นั้นมีเส้นโค้งที่แยกห่างจากกัน ซึ่งตรงกันกับสภาวะการทดสอบ เส้นหนึ่งสำหรับ ΔK -decreasing test และอีกเส้นสำหรับ ΔK -increasing test ดังระบุในภาพที่ 4.6 โดยที่ ΔK_{th} ของ $R = 0.1$ และ $R = 0.7$ มีค่าประมาณ 1.4 และ 1.0 $\text{MPa.m}^{1/2}$ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากในอัตราส่วนความเค้นเดียวกันภายใต้สภาวะควบคุมในห้องปฏิบัติการ

จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นได้ว่าพฤติกรรม crack closure กรณี $R = 0.1$ สำหรับ ΔK -decreasing test และกรณี $R = 0.7$ สำหรับ ΔK -decreasing test มีนัยสำคัญที่บริเวณ ΔK ที่มีค่าต่ำ ซึ่งหลังจากทำการทดลอง ΔK -decreasing test จนได้ค่า ΔK_{th} แล้วจะดำเนินการทดสอบ ΔK -increasing test เพื่อให้ได้เส้นโค้งการขยายตัวของรอยร้าวล้า (fatigue crack growth curves) ที่สมบูรณ์ โดยจากการทดลองพบว่าไม่สามารถตรวจพบการขยายตัวของรอยร้าวล้าได้ในบริเวณที่มีค่า ΔK ต่ำ (ในบริเวณ ΔK -decreasing test) ซึ่งสามารถตรวจสอบได้ว่า closure point ที่ได้จากการตรวจวัด crack closure ของทั้งกรณี $R = 0.1$ และ $R = 0.7$ ภายใต้สภาวะการฉีดละอองโซเดียมคลอไรด์ 3.5% มีค่าสูงขึ้น ณ จุดที่เป็น ΔK_{th} เนื่องจากวิธีการทดลองที่กำหนดให้มีการให้ชิ้นงานได้รับภาระที่ค่า ΔK_{th} ต่อเนื่องไปอีก 1,000,000 cycles เพื่อเป็นการยืนยันว่า ณ ค่า ΔK นั้นอัตราการขยายตัวของรอยร้าวมีค่าต่ำมาก โดยถือว่า ΔK ณ จุดนั้นเป็น ΔK_{th} ที่ซึ่งอิทธิพลการกีดร่อนจากสภาวะการฉีดละอองโซเดียมคลอไรด์ 3.5% ส่งผลให้ closure point ทำให้ไม่สามารถดำเนินการทดสอบ ΔK -increasing test ต่อไปได้เนื่องจากไม่สามารถตรวจพบ

การขยายตัวของรอยร้าว โดยใช้ค่า ΔK ที่มีค่าต่ำ (ซึ่งอยู่ในบริเวณ ΔK -decreasing test) ทำให้การทดสอบ ΔK -increasing test ต้องเพิ่มค่า ΔK ให้สูงมากขึ้นจนกระทั่งสามารถส่งผลให้รอยร้าวสามารถขยายตัวได้ เนื่องจากเหตุผลที่ได้กล่าวมาทำให้เส้นโค้งแสดงระหว่าง อัตราการขยายตัวของรอยร้าว (crack growth rate, da/dN) และ stress intensity factor range, ΔK มีลักษณะเป็นเส้นโค้งแยกห่างออกจากกัน ซึ่งตรงกันกับสภาวะการทดสอบ เส้นหนึ่งสำหรับ ΔK -decreasing test และอีกเส้นสำหรับ ΔK -increasing test ดังสาเหตุที่ได้กล่าวมา

5.1.2 จากผลจากการทดสอบการขยายตัวของรอยร้าวภายใต้สภาวะควบคุมในห้องปฏิบัติการซึ่งแสดงผลจากการตรวจวัด crack closure พบว่าพฤติกรรม crack closure มีนัยสำคัญสูงในบริเวณที่ค่า ΔK ต่ำสำหรับ $R = 0.1$ ในขณะที่ไม่พบพฤติกรรม crack closure สำหรับ $R = 0.7$

ในขณะที่ผลจากการตรวจวัด crack closure ภายใต้สภาวะการฉีดละอองโซเดียมคลอไรด์ 3.5% มีลักษณะเป็นเส้นโค้งแยกห่างออกจากกัน ซึ่งตรงกันกับสภาวะการทดสอบดังที่ได้กล่าวมาพบว่าพฤติกรรม crack closure มีนัยสำคัญสูงในบริเวณที่ค่า ΔK ต่ำในบริเวณ ΔK -decreasing test ทั้งในกรณี $R = 0.1$ และ $R = 0.7$ โดยมีความแตกต่างเฉพาะในกรณีของ ΔK -increasing test ซึ่งไม่พบพฤติกรรม crack closure สำหรับ $R = 0.7$ ในขณะที่พบพฤติกรรม crack closure มีนัยสำคัญสูงสำหรับ $R = 0.1$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารอยร้าวเกือบปิดตลอดทั้งการทดสอบ ΔK -increasing test

5.1.3 ผลที่ได้จากการตรวจวัด crack closure ภายใต้สภาวะควบคุมในห้องปฏิบัติการ เส้นโค้งการขยายตัวของรอยร้าว (fatigue crack growth curves) สามารถนำมาจัดทำใหม่โดยใช้ตัวแปร effective stress intensity factor range, ΔK_{eff} ซึ่งพบว่า fatigue crack growth curves สำหรับ $R = 0.1$ และ $R = 0.7$ ทั่วไปแสดงเป็นเส้นโค้งเดียวกันโดยไม่คำนึงถึงอัตราส่วนความเค้น ซึ่งไม่แตกต่างไปจากพฤติกรรมของวัสดุโลหะอื่นๆ โดยที่ ΔK_{th} ณ จุดนี้มีค่า ΔK_{eff} มีค่าประมาณ $0.7 \text{ MPa.m}^{1/2}$

ในขณะที่ผลที่ได้จากการตรวจวัด crack closure ภายใต้สภาวะการฉีดละอองโซเดียมคลอไรด์ 3.5% เส้นโค้งการขยายตัวของรอยร้าว (fatigue crack growth curves) ที่นำมาจัดทำใหม่โดยใช้ตัวแปร effective stress intensity factor range, ΔK_{eff} พบว่า fatigue crack growth curves ของ ΔK -decreasing test และ ΔK -increasing test สำหรับ $R = 0.7$ เช่นเดียวกันกับ ΔK -decreasing test ของ $R = 0.1$ แสดงราวกับเป็นเส้นโค้งเดียวกัน ซึ่งในขณะเดียวกันก็พบว่ามีการกระจายเป็นขอบเขตกว้าง โดยที่ ΔK_{th} ของ $R = 0.1$ และ $R = 0.7$ มี

ค่าประมาณ 0.12 และ 0.4 MPa.m^{1/2} ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากในอัตราส่วนความเค้นเดียวกันภายใต้สภาวะควบคุมในห้องปฏิบัติการโดยที่ fatigue crack growth curves ของ ΔK -increasing test สำหรับ $R = 0.1$ แยกต่างหากกับกรณีอื่นๆที่ได้กล่าวมา

จากปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายได้ว่ากรณีที่ค่า ΔK_{th} ที่เกิดจากการนำมาจัดทำใหม่โดยการใช้ตัวแปร effective stress intensity factor range, ΔK_{eff} ภายใต้สภาวะควบคุมในห้องปฏิบัติการสำหรับทั้ง $R = 0.1$ และ $R = 0.7$ ทั่วไปแสดงเป็นเส้นโค้งเดียวกันโดยไม่คำนึงถึงอัตราส่วนความเค้น โดยที่ ΔK_{th} ณ จุดนี้มีค่า ΔK_{eff} มีค่าประมาณ 0.7 MPa.m^{1/2} ซึ่งสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบ ΔK -decreasing test และ ΔK -increasing test สำหรับ $R = 0.7$ เช่นเดียวกันกับ ΔK -decreasing test ของ $R = 0.1$ โดยที่ ΔK_{th} ของ $R = 0.1$ และ $R = 0.7$ มีค่าประมาณ 0.12 และ 0.4 MPa.m^{1/2} ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากในอัตราส่วนความเค้นเดียวกันภายใต้สภาวะควบคุมในห้องปฏิบัติการ มีอิทธิพลเนื่องมาจากพฤติกรรม crack closure เช่นเดียวกับอิทธิพลเนื่องมาจากพฤติกรรมการกัดกร่อนที่สามารถตรวจพบจากบริเวณการขยายตัวรอยร้าว ณ บริเวณพื้นผิวเสียหายที่พื้นผิวทั้งหมดถูกกัดกร่อน และมี closure point ที่สูงมาก ส่งผลให้อัตราการขยายตัวรอยร้าวสำหรับกรณีภายใต้สภาวะการฉีดละอองโซเดียมคลอไรด์ 3.5% ที่ $R = 0.1$ มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีสำหรับภายใต้สภาวะควบคุมในห้องปฏิบัติการ ที่ $R = 0.1$ และ กรณีภายใต้สภาวะการฉีดละอองโซเดียมคลอไรด์ 3.5% ที่ $R = 0.1$ และ $R = 0.7$

5.1.4 จากผลการตรวจสอบเพื่ออธิบายพฤติกรรมของการขยายตัวรอยร้าวพบว่า บริเวณการขยายตัวรอยร้าวของพื้นผิวเสียหายสำหรับภายใต้สภาวะควบคุมในห้องปฏิบัติการ พื้นผิวมีลักษณะเป็น wavy-slip-marked ดังที่ปรากฏเห็นในทั้งกรณี $R = 0.1$ และ $R = 0.7$ ซึ่งแสดงถึงกรณีธรรมชาติทั่วไปของพื้นผิวการขยายตัวรอยร้าวสำหรับวัสดุที่เป็นโลหะเหนียว (ductile metallic material)

ในขณะที่บริเวณการขยายรอยร้าวของพื้นผิวเสียหายสำหรับ ΔK -decreasing test ภายใต้สภาวะการฉีดละอองโซเดียมคลอไรด์ 3.5% เห็นได้ว่าพื้นผิวเสียหายสำหรับทั้งกรณี $R = 0.1$ และ $R = 0.7$ ถูกกัดกร่อนโดยตลอดทั้งพื้นผิว โดยที่พื้นผิวเสียหายสำหรับ $R = 0.7$ แสดงความเรียบและมีลักษณะเป็น plate-like fracture surface มากกว่ากรณี $R = 0.1$

ส่วนบริเวณการขยายตัวรอยร้าวสำหรับ ΔK -increasing test ภายใต้สภาวะการฉีดละอองโซเดียมคลอไรด์ 3.5% พบว่าพื้นผิวเสียหายสำหรับกรณี $R = 0.1$

แสดงพื้นผิวที่ถูกกัดกร่อน ขณะที่ในกรณีเดียวกันของ $R = 0.7$ แสดงลักษณะพื้นผิวเสียหายที่เหมือนกันกับในกรณี $R = 0.7$ ภายใต้สภาวะควบคุมในห้องปฏิบัติการ

ซึ่งจากความแตกต่างของบริเวณการขยายตัวรอยร้าว ณ บริเวณพื้นผิวเสียหายดังที่ได้กล่าวมานั้นสามารถอธิบายได้จากความสัมพันธ์ต่ออิทธิพลของ crack closure ซึ่งไม่พบพฤติกรรมของ crack closure ทั้งในภายใต้สภาวะการฉีดละอองโซเดียมคลอไรด์ 3.5% ในช่วงบริเวณที่มีค่า ΔK ที่มีค่าสูงในช่วงบริเวณการทดสอบ ΔK -increasing test สำหรับกรณี $R = 0.7$ เช่นเดียวกันกับที่ไม่พบพฤติกรรมของ crack closure ภายใต้สภาวะควบคุมในห้องปฏิบัติการตลอดการทดสอบ ซึ่งจากเหตุผลนี้ส่งผลให้บริเวณการขยายตัวรอยร้าวล่างของพื้นผิวเสียหายสำหรับกรณี $R = 0.7$ ภายใต้สภาวะควบคุมในห้องปฏิบัติการ และภายใต้สภาวะการฉีดละอองโซเดียมคลอไรด์ 3.5% ณ บริเวณ ΔK -increasing test ที่มีค่า ΔK สูงมีลักษณะของพื้นผิวเสียหายจากการขยายตัวรอยร้าวที่เหมือนกัน