บทที่ 1

บทนำ

ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น โรงกำเนิดไฟฟ้า โรงปิโตรเคมี โรงกลั่นน้ำมัน ฯลฯ ประกอบไปด้วยอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่าง ๆ มากมายซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ low alloy steels เป็นหลัก เช่น ท่อต่าง ๆ วาล์ว หน้าแปลนยึดประกบ ภาชนะบรรจุความดัน เป็นต้น ซึ่งต้องทำงานในที่มีอุณหภูมิและความดันสูงติดต่อกันเป็นเวลานาน alloy ที่นิยมใช้กันแพร่หลายคือ Cr-Mo low alloy steels ซึ่งจะมีสัดส่วนของ Cr และ Mo แตกต่างกันไปตามลักษณะของการใช้งาน ASME SA-335 Gr P22 มีส่วนผสมของ Cr 2 ¼ % และ Mo 1% ใช้งานในช่วงอุณหภูมิและความดันระหว่าง -10 ถึง 500 $^{\circ}$C และ 45 ถึง 324 kg/cm^2 ตามลำดับ มักจะใช้ในอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ท่อลำเลียงไอดงในหม้อกำเนิดไอน้ำ ท่อน้ำในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน อุปกรณ์ควบแน่นของไอน้ำ งานท่อและภาชนะบรรจุความดันในระบบการขนถ่ายก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น

ความเสียหายที่เกิดขึ้นก่อนเวลาอันควรของอุปกรณ์เหล่านี้ จะส่งผลกระทบถึงสายงานการผลิตทั้งระบบได้ เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า ความเสียหายถึงขั้นแตกหักของโครงสร้างต่าง ๆ นั้นมีสาเหตุหนึ่งมาจากรอยแยก (flaws) หรือรอยบกพร่องที่ปนอยู่ในเนื้อโลหะของชิ้นส่วนที่เป็นโครงสร้างได้ขยายตัวขึ้นจนถึงขนาดวิกฤตอันหนึ่ง หรือเมื่อภาระที่กระทำนั้นมีค่าถึงจุดวิกฤต กรณีแรกนั้นได้รวมถึง subcritical flaw growth ด้วย ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องระวังด้วยเหตุผลหลายประการด้วยกัน ถ้าชิ้นส่วนโครงสร้างของเรามีรอยบกพร่องที่มีขนาดใหญ่อาจจะทำให้เกิดความเสียหายแบบฉับพลันได้ รอยบกพร่องดังกล่าวมักจะถูกตรวจพบได้ด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย (non destructive testing) ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ทำให้สามารถทำการซ่อมแซมได้ก่อน ในอีกทางหนึ่งเมื่อรอยบกพร่องมีขนาดเล็กมากจนตรวจหาไม่พบด้วยวิธีต่าง ๆ ของการทดสอบแบบไม่ทำลาย ก็จะบอกได้ว่ารอยบกพร่องที่มีขนาดวิกฤตไม่ปรากฏอยู่ในขณะนั้น ดังนั้นจึงไม่มีหลักประกันใด ๆ ว่ารอยบกพร่องดังกล่าวจะไม่ขยายตัวขึ้นในระหว่างการใช้งานจนถึงขนาดวิกฤตและก่อให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรงหรืออาจทำให้เกิดความสูญเสียอย่างใหญ่หลวงทั้งแก่ชีวิตและทรัพย์สินได้ เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายดังกล่าวขึ้นหรือมีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อยมาก การบำรุงรักษาเชิงทำนาย (predictive maintenance) และการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (preventive maintenance) เป็นวิธีหนึ่งซึ่งนิยมใช้กันแพร่หลายทั่วไป การบำรุงรักษาให้ได้ผลดีนั้นจำเป็นต้องมีการศึกษาข้อมูลการทำงานของอุปกรณ์และเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่ได้เกิดขึ้นในอดีตอย่าง

ละเอียด ตลอดจนการตรวจหารอยบกพร่องด้วยวิธีการต่าง ๆ ของการทดสอบแบบไม่ทำลาย เพื่อนำมาประกอบการพิจารณาวางแผนและตัดสินใจต่าง ๆ ต่อไป

การทดสอบหาความสัมพันธ์ต่าง ๆ ทางกลศาสตร์การแตกหัก เช่น การทดสอบหาอัตราการเติบโตของรอยแตกร้าวเนื่องจากภาระที่กระทำเป็นคาบเพื่อนำมาประเมินอายุการใช้งานของอุปกรณ์ที่เป็นชิ้นส่วนหลักในสายการผลิต การศึกษาผลของภาระเกินที่กระทำต่อโครงสร้าง การทดสอบการคืบคลาน (creep) ที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ การศึกษาการกัดกร่อน (corrosion) การทดสอบหาความต้านทานในการแตกร้าวภายใต้สภาวะความเครียดระนาบ K_{IC} (plane strain fracture toughness) เป็นการทดสอบหนึ่งที่สำคัญมากและควรทำก่อนการทดสอบอื่น ๆ เพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมพฤติกรรมการแตกร้าวและเป็นคุณสมบัติหนึ่งของวัสดุที่ไม่ขึ้นกับขนาดและรูปร่างของโครงสร้าง สามารถหาได้จากการทดสอบภายในห้องทดสอบ โดยถือมาตรฐานการทดสอบของ ASTM E399 เป็นเกณฑ์ จากการศึกษาเบื้องต้นผู้วิจัยพบว่า ASTM E399 มีข้อจำกัดในตัวเองที่เป็นอุปสรรคต่อการทดสอบเพื่อให้ได้ค่า K_{IC} ที่เชื่อถือได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาวิจัยถึงผลของความหนาชิ้นทดสอบว่ามีผลต่อการทดสอบหา K_{IC} อย่างไรบ้าง

ท่อเหล็ก ASME SA-335 Gr P22 ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นท่อ header ในระบบผลิตไอน้ำของโรงไฟฟ้า ซึ่งถือว่าเป็น critical component เพราะทำงานในส่วนที่มีอุณหภูมิและความดันสูง และรับภาระแบบเป็นคาบและคงที่ (cyclic and steady loading) ซึ่งภาระแบบเป็นคาบสามารถทำให้เกิดความเสียหายแบบล้า (fatigue) และภาระแบบคงที่สามารถทำให้เกิดความเสียหายแบบคืบคลาน (creep) การประกอบติดตั้ง การซ่อมบำรุงหรือการตรวจสอบอุปกรณ์นี้ เป็นไปด้วยความลำบากยุ่งยากต้องใช้เวลานานและเสียค่าใช้จ่ายสูง โดยเฉพาะการเสียหายแบบล้านั้น รอยแตกร้าวล้าจะมีขนาดเล็กมากเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดต่าง ๆ ของตัวท่อเหล็กเอง ถ้าเราแบ่งท่อเหล็กออกเป็นเสี้ยว ๆ ตามแนวเส้นรอบวง ขนาดของรอยแตกร้าวล้าจะเล็กมากเมื่อเทียบกับแต่ละเสี้ยว ดังนั้นเราสามารถคิดว่าแต่ละเสี้ยวเป็น infinite plate ได้ และเมื่อเราทราบค่า K_{IC} ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ใช้ในการควบคุมพฤติกรรมการแตกร้าว เราก็จะสามารถคำนวณหาความยาวรอยแตกร้าววิกฤตและนำค่านี้ไปใช้เป็นเกณฑ์ในการตรวจสอบขนาดของรอยแตกร้าว คือ ถ้ารอยแตกร้าวที่ถูกตรวจพบมีขนาดใกล้เคียงกับค่าวิกฤตที่คำนวณได้ ก็ควรจะต้องทำการซ่อมแซม เปลี่ยน หรือหาวิธีในการกำจัดรอยแตกร้าวที่ถูกตรวจพบนี้ให้หมดไป หรืออีกทางหนึ่งคือ ถ้ารอยแตกร้าวที่ถูกตรวจพบยังมีขนาดเล็กกว่าค่าวิกฤตมาก ๆ เราสามารถที่จะคำนวณภาระวิกฤตซึ่งไม่ทำให้รอยแตกร้าวที่ถูกตรวจพบนี้ขยายขนาดใหญ่ขึ้นหรือสามารถควบคุมอัตราการเติบโตของรอยแตกร้าวได้อีกระยะเวลาหนึ่ง

ด้วยการลดภาระการผลิตไอน้ำจากเดิมเคยทำงานที่อุณหภูมิและความดันปกติ ก็ลดลงมาทำงานที่ภาระต่ำกว่า จะทำให้สามารถยืดเวลาในการเสียหายออกไปได้ระยะเวลาหนึ่ง และมีเวลาวางแผนการซ่อมใหญ่ทีเดียวหลายอุปกรณ์ได้ เพราะการซ่อมอุปกรณ์เหล่านี้แต่ละครั้งจะต้องทำการหยุดระบบผลิตไอน้ำทั้งระบบและต้องใช้เวลานาน ดังนั้นถ้าต้องหยุดซ่อมบ่อย ๆ ก็จะส่งผลเสียต่อระบบการผลิตไฟฟ้า และไม่คุ้มกับค่าใช้จ่ายต่าง ๆ เมื่อคิดในแง่ทางเศรษฐศาสตร์ และที่สำคัญคือ ค่า K_{IC} นี้ สามารถนำไปคำนวณอัตราการเติบโตของรอยแตกร้าวในท่อเหล็กได้ ทำให้สามารถทำการประเมินอายุการใช้งานหรืออายุที่เหลือของท่อเหล็ก และกำหนดระยะเวลาที่เหมาะสมในการหยุดผลิตไอน้ำเพื่อทำการซ่อมใหญ่ได้

สมมติฐานในการศึกษาวิจัย

1. สมมติท่อเหล็ก ASME SA-335 Gr P22 เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเหมือนกันทุกจุด (homogeneous) และเหมือนกันทุกทิศทุกทาง (isotropic)

2. ความต้านทานในการแตกร้าวภายใต้สภาวะความเครียดระนาบ K_{IC} จะไม่ขึ้นกับความหนาของชิ้นทดสอบ

ความมุ่งหมายของการศึกษาวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของความหนาชิ้นทดสอบต่อการทดสอบความต้านทานในการแตกร้าวของท่อเหล็ก ASME SA-335 Gr P22 ซึ่งเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็น low strength และ high toughness

2. เพื่อศึกษาและประมาณค่าความต้านทานในการแตกร้าวภายใต้สภาวะความเครียดระนาบ (plane strain fracture toughness , K_{IC}) ของท่อเหล็ก ASME SA-335 Gr P22 จากชิ้นทดสอบขนาดเล็กซึ่งไม่สามารถที่จะทดสอบตามวิธีการมาตรฐานของ ASTM E399 ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความสำคัญของการศึกษาวิจัย

1. ผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จะเป็นแนวทางในการทดสอบหาค่าความต้านทานในการแตกร้าวของวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็น low strength และ high toughness โดยใช้ชิ้นทดสอบที่มีขนาดเล็กเท่าที่จะสามารถทำได้ในทางปฏิบัติ

2. ผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จะเป็นประโยชน์ในอนาคตแก่ผู้ที่จะทำการศึกษาวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์การแตกหักของท่อเหล็ก ASME SA-335 Gr P22

ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

1. ขอบเขตของเนื้อหา

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ มุ่งศึกษาผลของความหนาชิ้นทดสอบของท่อเหล็ก ASME SA-335 Gr P22 ที่มีผลต่อการทดสอบหาความต้านทานในการแตกร้าวตามมาตรฐานวิธีการทดสอบของ ASTM E399 (Standard Test Method for Plane Strain Fracture Toughness of Metallic Materials)

2. วัสดุที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นท่อเหล็ก ASME SA-335 Gr P22 ซึ่งเป็นท่อส่งไอน้ำของหม้อกำเนิดไอน้ำในโรงผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยการนำท่อเหล็กนี้มาตัดแบ่งทำเป็นชิ้นทดสอบแบบ C(T) - specimen ให้มีขนาดความหนาต่างกัน แล้วนำชิ้นทดสอบแต่ละขนาดไปทำการทดสอบหาค่าความต้านทานในการแตกร้าวตามวิธีมาตรฐานของ ASTM E399

3. ตัวแปรที่ศึกษา

3.1 ตัวแปรอิสระ คือ ความหนาของชิ้นทดสอบแบบ C(T)-specimen แบ่งตามความหนาได้ 5 กลุ่ม ดังนี้

3.1.1 กลุ่มที่ 1 ความหนา (B) เท่ากับ 15.00 mm ความกว้าง (W) เท่ากับ 50.80 mm จำนวน 3 ชิ้น

3.1.2 กลุ่มที่ 2 ความหนา (B) เท่ากับ 17.50 mm ความกว้าง (W) เท่ากับ 50.80 mm จำนวน 3 ชิ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.3 กลุ่มที่ 3 ความหนา (B) เท่ากับ 20.00 mm ความกว้าง (W) เท่ากับ 50.80 mm จำนวน 3 ชิ้น

3.1.4 กลุ่มที่ 4 ความหนา (B) เท่ากับ 23.00 mm ความกว้าง (W) เท่ากับ 50.80 mm จำนวน 3 ชิ้น

3.1.5 กลุ่มที่ 5 ความหนา (B) เท่ากับ 25.40 mm ความกว้าง (W) เท่ากับ 50.80 mm จำนวน 3 ชิ้น

3.2 ตัวแปรตาม คือ ความต้านทานในการแตกร้าวที่ทดสอบได้จากชิ้นทดสอบแต่ละชิ้น

<u>นิยามศัพท์เฉพาะ</u>

1. ความต้านทานในการแตกร้าวภายใต้สภาวะความเครียดระนาบ (plane strain fracture toughness , K_{IC}) หมายถึง พารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายและควบคุมพฤติกรรมการแตกร้าวและเป็นคุณสมบัติหนึ่งของท่อเหล็ก ASME SA-335 Gr P22

2. ชิ้นทดสอบ (specimen) หมายถึง ชิ้นทดสอบแบบ C(T)-specimen ที่สร้างขึ้นจากท่อเหล็ก ASME SA-335 Gr P22

3. บริเวณพลาสติค (plastic zone) หมายถึง บริเวณการเสียรูปในช่วงพลาสติคอย่างถาวรที่ปลายรอยแตกร้าวของชิ้นทดสอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย