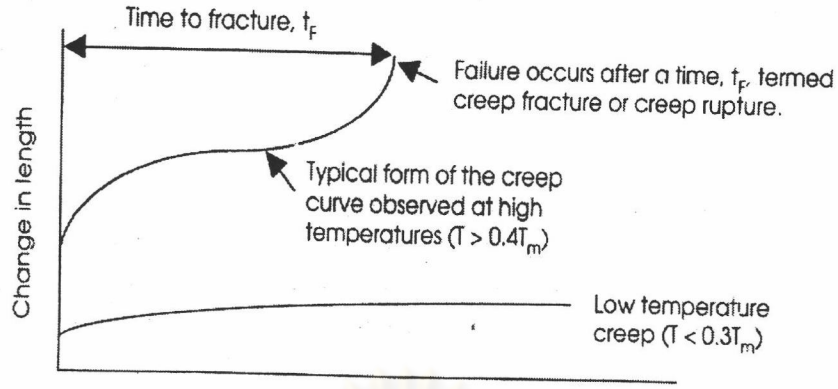
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

เหล็กกล้าไร้สนิม 304 เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมทั่วไป เนื่องจากมีคุณสมบัติต่อการต้านการกัดกร่อนได้ดี และมีความแข็งแรงกว่าเหล็กกล้าชนิดอื่น นอกจากนี้ได้ถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบสำคัญในโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์เช่น fuel cladding ของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแบบ fast reactor, BWR (Boiling Water Reactor) และ PWR (Pressure Water Reactor) เป็นส่วนประกอบของ control rod tube และ control rod sheath ของ boiling water reactor การเลือกใช้วัสดุโดยเฉพาะในโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์จำเป็นต้องเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติทนต่อสภาพแวดล้อมของโรงไฟฟ้าแต่ละชนิด เช่น เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแบบ BWR พบว่ามีการแตกหักของ fuel rod ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้ถูกนำไปใช้งานในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง สาเหตุของการเสียหายของวัสดุที่ใช้ในเตาปฏิกรณ์ปรมาณูมีหลายสาเหตุ ได้แก่ การเกิด IGSCC (Intergranular Stress Corrosion Cracking) และ Corrosion Fatigue บนท่อของเตาปฏิกรณ์ปรมาณูแบบ LWR (Light Water Reactor) [1] การเกิด SCC (Stress Corrosion Cracking) บน pellet cladding ที่ทำมาจาก zirconium alloy ของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแบบ PWR [2] การคืบของวัสดุที่เป็นเหล็กประเภท Austenitic ที่ใช้เป็นส่วนประกอบของ Superheat tube ซึ่งใช้ในโรงไฟฟ้า ที่ถูกใช้งานอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 650 °C และที่ความดัน 200 atm [3] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นพิจารณาถึงคุณสมบัติการคืบของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 650 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เกิดการเซนซิไทส่งผลทำให้เกิดการตกตะกอนของโครเมียมคาร์ไบด์ที่ขอบเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 และทำให้มีผลกระทบต่อคุณสมบัติการคืบของวัสดุ

การคืบ (creep) เป็นปรากฏการณ์การเสียรูปของวัสดุที่เกิดขึ้นในสภาวะอุณหภูมิสูงและมีแรงดึงมากระทำแม้ว่าแรงที่มากระทำนั้นมีขนาดคงที่ก็ตาม โดยปกติที่อุณหภูมิต่ำ (เมื่อเทียบกับจุดหลอมเหลวของวัสดุ) วัสดุจะเกิดการคืบเช่นกันแต่เนื่องจากการคืบที่เกิดขึ้นต้องใช้เวลานานมากเมื่อเทียบกับอายุการใช้งาน [4] ดังแสดงให้เห็นจากรูปที่ 1.1 เป็นการเปรียบเทียบลักษณะการคืบที่เกิดขึ้นของโลหะที่อุณหภูมิสูงกว่า 0.4 เท่าของอุณหภูมิจุดหลอมเหลว (0.4 T_m) และที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0.3 เท่าของอุณหภูมิจุดหลอมเหลว (0.3 T_m) [5]



รูปที่ 1.1 ความคืบที่อุณหภูมิสูง และ ที่อุณหภูมิต่ำ [5]

ความคืบที่เกิดขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับค่าความเค้น (stress,σ) อุณหภูมิ (temperature, T) เวลา (time, t) และ โครงสร้างจุลภาคของวัสดุ (microstructure) โดยปัจจัยทั้งสามอย่างแรกนั้นเป็นปัจจัยภายนอกที่สามารถควบคุมได้ในสภาวะแวดล้อมการทำงานของโลหะ ดังนั้นโครงสร้างจุลภาคจึงเป็นปัจจัยภายในที่ส่งผลต่อคุณสมบัติการคืบของวัสดุ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคืบกับความเค้น ณ ที่อุณหภูมิคงที่หนึ่งๆ ตามกฎของ power law สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังต่อไปนี้

$$\dot{\epsilon} \propto (\sigma - \sigma_i)^n \qquad 1.1$$

ซึ่ง σ คือค่าความเค้นจากแรงภายนอกที่กระทำต่อโลหะ σ_i คือ ค่าความเค้นภายใน (internal stress)ของโลหะที่เกิดจากความเค้นของดิสโลเคชั่น (dislocation) ภายในเกรน ซึ่งค่าความเค้นภายในขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางจุลภาคของโลหะชนิดต่างๆ ผลงานวิจัยของ L.J. Cuddy [7] แสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนเชิงกล (thermomechanical process) แก่เหล็กกล้าไร้สนิม 304 ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาคของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ทำให้ค่าความเค้นภายในและอัตราการคืบเปลี่ยนไป งานวิจัยของ A. Orlova, M. Pahutova และ J. Cadek [8] แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของโครงสร้างจุลภาคของเหล็กอัลฟา (alpha iron) เช่น ความหนาแน่นของดิสโลเคชัน เส้นผ่านศูนย์กลางของเกรนย่อย (subgrain diameter) กับความเค้นภายในและอัตราการคืบที่วัดได้ และจากงานวิจัยของ D.G. M0RRIS [9] ได้แสดงให้เห็นว่าเหล็กกล้าไร้สนิม 316 ที่ผ่าน solution treated condition และ pre-strain มีผลทำให้ค่าความเค้นภายในเปลี่ยนไปและมีต่ออัตราการคืบเช่นกัน นอกจากนั้นมีผลงานวิจัยก่อนหน้านี้จำนวนมากที่มีการทดลองหาค่าความเค้นภายในของโลหะผสมชนิดต่างๆ [10-15] โดยเฉพาะโลหะผสมที่เกิดการตกตะกอนที่อุณหภูมิสูง เช่น เหล็กกล้าไร้สนิม 304 โลหะผสมนิเกิล(Nickel-base alloy) และนิโมนิค 80A (Nimonic80 A) และ ทองแดงที่มีส่วนผสมของโครเมียม 4.04%โดยน้ำหนัก ซึ่งงานวิจัยส่วนมากจะใช้วิธีการ dip test หรือ load reduction test เพื่อหาค่าความเค้นภายใน ซึ่งพบว่าค่าความเค้นภายในของโลหะต่างชนิดกันมีค่าต่างกัน และค่าความเค้นภายในของโลหะชนิดเดียวกันที่ได้รับค่าความเค้นเริ่มต้นที่ต่างกันก็จะทำให้ค่าความเค้นภายในต่างกันด้วย ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าปัจจัยภายในที่มีผลต่ออัตรา

การคืบคือ ความเค้นภายในของวัสดุ (σ_i) ซึ่งถูกควบคุมโดยโครงสร้างจุลภาคของวัสดุนั้นๆ สำหรับเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่มีส่วนผสมของคาร์บอนประมาณ 0.04% นั้นเมื่อถูกให้ความร้อนอยู่ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 480 ถึง 760 °C จะเกิดการตกตะกอนของโคเมียมคาร์ไบด์ที่ขอบเกรนซึ่งทำให้ปริมาณของโครเมียมที่อยู่ปริเวณขอบเกรนลดลง [6] ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ทำให้เกิดผลกระทบต่อโครงสร้างทางจุลภาคของโลหะและจะส่งผลถึงคุณสมบัติของการคืบของวัสดุ จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ของ F.T. Furillo, J.M. Davidson and J.K. Tien [15] พบว่า การตกตะกอนของคาร์ไบด์ที่เพิ่มขึ้น ณ ขอบเกรน ของ นิเกิล เบส ซุปเปอร์อัลลอย (Ni- base super alloy) นั้นมีผลทำให้ค่าความเค้นภายในของวัสดุเพิ่มขึ้นและส่งผลให้อัตราการคืบลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับ นิเกิลเบสซุปเปอร์อัลลอย ที่ไม่มีการตกตะกอนของคาร์ไบด์ นอกจากนี้ยังมีผลงานของ Visit Thaveeprungsriporn and Gary S. Was [17]ได้แสดงให้เห็นว่าลักษณะชนิดของขอบเกรนมีผลต่ออัตราการคืบและความเค้นภายในของโลหะ Ni-16Cr-9Fe โดยเฉพาะเมื่อขอบเกรนส่วนใหญ่มีโครงสร้างแบบ Coincidence Site Lattice Boundary (CSLB) จะมีผลทำให้ค่าของความเค้นภายในเพิ่มขึ้นและอัตราการคืบลดลง การทำให้ขอบเกรนชนิด CSLB ของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 มีอัตราส่วนเพิ่มนั้นทำโดยให้โลหะผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกลซึ่งกระบวนการนี้ได้มีผลการทดลองจากการวิจัยก่อนหน้านี้จาก ปิยะพร สิ้นโศรก[18] โดยการนำชิ้นงานผ่านกระบวนการ recrystallization ที่อุณหภูมิ 850 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นผ่าน Iterative Strain Annealing ที่ความเครียด 3% แล้วนำไปอบที่ความร้อน 950 °C เป็นเวลา 10 นาทีซ้ำ 3 ครั้ง สามารถทำให้จำนวน CSLB เพิ่มได้มากขึ้นถึง 54% และจากงานของ ภัทริศา พุ่มพฤกษ์ [23] พบว่าหลังจากนำเหล็กกล้าไร้สนิม 304 มาผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกลแล้วทำให้ความสามารถต่อการต้านทานการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของโลหะนั้น สามารถทำให้อัตราการคืบและความเค้นภายในเปลี่ยนไป โดยเฉพาะกระบวนการให้ความร้อนเชิงกลนั้นจะมีผลทำให้โลหะมีความต้านทานต่อการคืบได้สูงขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบที่มีต่อความเค้นภายในระหว่างการคืบของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกล และเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ไม่ผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกล

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. ออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบการคืบของเหล็กกล้าไร้สนิม 304
2. ปรับปรุงโครงข่ายผลึกในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 โดยผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. วัดและเปรียบเทียบค่าความเค้นภายในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกล และเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ไม่ผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกล

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบการคืบของเหล็กกล้าไร้สนิม 304
3. ปรับปรุงโครงข่ายผลึกในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 โดยผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกล
4. วัดและเปรียบเทียบค่าความเค้นภายในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกล และเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ไม่ผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกล
5. สรุปพร้อมทั้งวิเคราะห์ผลการวิจัย และเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยนี้

ได้ความสัมพันธ์ระหว่างการคืบกับชนิดของขอบเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 และสามารถนำมาเป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณสมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 เพื่อให้มีความต้านทานต่อการคืบที่อุณหภูมิสูง

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ปี พ.ศ. 2540 V. Thaveeprungsriporn และ Gary S. Was ทำการวิจัยเรื่อง The Role of Coincidence-Site-Lattice Boundary in Creep of Ni-16Cr-9Fe at 360° C ทำให้ทราบผลกระทบของอัตราส่วนของ CSLB ที่มีต่อความเค้นภายในและอัตราการคืบ จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วน CSLB เป็น 2 เท่าในชิ้นงานโลหะผสม Ni-16Cr-9Fe ทำให้ความเค้นภายในเพิ่มขึ้นและเป็นผลให้อัตราการคืบลดลง 8 ถึง 26 เท่า สำหรับชิ้นงานที่มีขนาดเกรน 330 μm และ ลดลง 40 ถึง 60 เท่า สำหรับชิ้นงานที่มีขนาดเกรน 33 μm

2. ปี พ.ศ. 2545 นางสาว ภัทริศา พุ่มพฤกษ์ ทำการวิจัยเรื่องการเกิดเซนซิไทเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ที่ผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกล จากการศึกษาพบว่ากระบวนการความร้อนเชิงกลที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ไม่ทำให้อัตราส่วนของ CSLB เพิ่มขึ้นแต่อาจส่งผลให้มีการปรับตัวที่บริเวณขอบเกรน โดยการศึกษาจากการกระจายตัวของความลาดเอียงของขอบเกรน (grain boundary inclination) พบว่าชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกลจะมีการจัดเรียงตัวที่เปลี่ยนไปโดยอยู่ในช่วง 20-40 องศา ซึ่งมีผลดีต่อความต้านทานการตกตะกอนของโครเมียมคาร์ไบด์ที่ขอบเกรนในช่วงอุณหภูมิที่เกิดการเซนซิไทซ์ (650 °C) และมีผลทำให้ความต้านทานต่อการกัดกร่อนที่ขอบเกรนดีขึ้นด้วย

3. ปี พ.ศ. 2538 Fujio abe ได้ทำการวิจัยเรื่อง Creep and Creep Rate Curves of a 10Cr-30Mn Austenitic Steel during Carbide Precipitation พบว่าปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในชิ้นงาน ปริมาณและขนาดของโครเมียมคาร์ไบด์นั้นมีผลต่ออัตราการคืบของชิ้นงาน จากการทดลองพบว่าชิ้นงานหลังจากถูกอบให้ความร้อนที่ 923 K พบว่าทำให้อัตราการคืบเพิ่มขึ้นเนื่องจากคาร์ไบด์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและมีระยะห่างระหว่างคาร์ไบด์เพิ่มขึ้น

4. ปี พ.ศ. 2541 J.He และ คณะได้ทำการงานวิจัยเรื่อง Influence of Carbide on Intergranular Creep Fracture of Type 304 Stainless Steel งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบการคืบที่อุณหภูมิ 550°C ในก๊าซอาร์กอน จากการทดลองพบว่าโครเมียมคาร์ไบด์ที่มีลักษณะยาวต่อเนื่องที่เกิดขึ้นรอบขอบเกรนมีผลยับยั้งการเลื่อนไถลของขอบเกรนแต่มีผลทำให้อัตราการคืบสูงซึ่งลักษณะโครเมียมคาร์ไบด์ที่ยาวต่อเนื่องนั้นจะพบบนชิ้นงานที่นำไปผ่านการเซนซิไทซ์ที่อุณหภูมิ 750°C เป็นเวลา 24 ชัวโมงก่อนที่จะนำมาทดสอบการคืบ

5. ปี พ.ศ. 2519 Ravindra K. Bhargava และคณะได้ทำงานวิจัยเรื่อง The Dislocation Substructure, Carbides and the Deformation Mechanism Map for AISI 304 Stainless Steel ซึ่งได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลต่างๆของการคืบของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 เช่น แผนผังกลไกการคืบของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ลักษณะของ dislocation substructure และโครเมียมคาร์ไบด์ ที่เกิดขึ้นบนช่วงอุณหภูมิและค่าความเค้นต่างๆที่ใช้ทดสอบการคืบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย