หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ถังเก็บความร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไปมักทำด้วยแผ่นเหล็กนำมาเชื่อมประกอบเป็นตัวถัง และใช้ฉนวนความร้อนหุ้มไว้ภายนอกเพื่อลดการสูญเสียความร้อนจากภายใน ถังเหล็กมีข้อเสียคือต้องใช้ช่างเชื่อมฝีมือดี หากรอยเชื่อมมีความบกพร่องจะทำให้เกิดการรั่วซึม นอกจากนี้เหล็กธรรมดาจะเป็นสนิมโดยเฉพาะในที่มีอุณหภูมิสูง ยกเว้นในกรณีที่ใช้เหล็กไร้สนิม (stainless steel) ซึ่งมีข้อเสียที่ราคาค่อนข้างแพง

ถังเก็บความร้อน (heat storage tank) เป็นส่วนสำคัญอันหนึ่งในกระบวนการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ การเก็บความร้อนนิยมใช้น้ำมันซึ่งมีจุดเดือดเกิน 300° เซลเซียส น้ำมันนี้จะรับความร้อนจากแผงรับความร้อนแล้วไหลมายังถังเก็บความร้อน อุณหภูมิของน้ำมันที่ส่วนบนของถังราว 250° เซลเซียส และลดลงตามระดับความสูง เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสำหรับการผลิตไฟฟ้าจะต้องให้อุณหภูมิของน้ำมันส่วนบนสูงกว่าส่วนล่างมากที่สุดเท่าที่จะเป็นได้ แต่ถ้าหากใช้ถังเก็บความร้อนทำด้วยเหล็กซึ่งมีการนำความร้อนที่ดี ความร้อนจะไหลผ่านผนังเหล็กจากข้างบนลงสู่ข้างล่างได้มาก ทำให้อุณหภูมิของน้ำมันส่วนบนลดลงเข้าใกล้กับส่วนล่างเร็วขึ้น ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าจึงลดลงด้วย

ดังนั้นผนังถังจึงควรใช้วัสดุที่มีการนำความร้อนต่ำ เช่น คอนกรีต แต่ตามปกติถังคอนกรีตจะใช้เก็บของเหลวที่อุณหภูมิห้องซึ่งมีความแตกต่างของอุณหภูมิไม่มากนัก และออกแบบให้รับเพียงแรงดันของของเหลวภายในหรืออาจจะให้รับแรงดันจากภายนอก เช่น แรงดันของดินร่วมด้วยก็ได้แล้วแต่สภาพการใช้งาน สำหรับที่อุณหภูมิสูงได้มีการใช้ถังคอนกรีตอัดแรง ในโรงไฟฟ้าพลังปรมาณู ถังชนิดนี้เรียกว่า ถังปฏิกรณ์คอนกรีตอัดแรง ซึ่งมักเรียกย่อ ๆ ว่า พีซีอาร์วี (prestressed concrete reactor vessel,PCRV) ภายในเป็นเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู ซึ่งผลิตความร้อนจำนวนมาก อุณหภูมิของคอนกรีตขณะใช้งานประมาณ 100° เซลเซียสโดยมีฉนวนและท่อน้ำเย็นไหลวนเรียนผ่านในผนังถังตลอดเวลา ในช่วงเวลา 15 ปีที่ผ่านมาได้มีการศึกษาทดลองเกี่ยวกับพฤติกรรมของถังพีซีอาร์วี ต่อเนื่องกันมาโดยตลอด ทั้งด้านคุณสมบัติของคอนกรีตที่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุณหภูมิสูงและการวิเคราะห์เพื่อทำนายพฤติกรรมของถัง เนื่องจากการคืบของคอนกรีตโดยวิธีการต่าง ๆ หลายวิธี เป็นผลให้มีความเชื่อมั่นว่าอาจจะสามารถใช้ถังคอนกรีตอัดแรงเก็บน้ำมันร้อนได้ แต่เนื่องจากอุณหภูมิขณะใช้งานของถังเก็บความร้อนสูงกว่าถังพีซีอาร์วี และถังคอนกรีตจะต้องไม่เกิดรอยร้าวที่จะทำให้น้ำมันซึมออกมา จึงน่าจะทำการศึกษาทดลองให้ทราบถึงความเป็นไปได้ของการใช้ถังคอนกรีตอัดแรงเป็นถังเก็บความร้อน

1.2 <u>การสำรวจงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง</u>

จากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถแยกหัวข้อได้เป็น 2 จำพวกคือ

1. ทางด้านคุณสมบัติของวัสดุ ได้แก่ คอนกรีต เหล็กเสริม

2. ทางด้านการวิเคราะห์เพื่อศึกษาพฤติกรรมในระยะสั้นและระยะยาวของถังปฏิกรณ์คอนกรีตอัดแรง (prestressed concrete reactor vessel) หรือถังความดันคอนกรีตอัดแรง (prestressed concrete pressure vessel)

ทางด้านที่เกี่ยวกับวัสดุอันได้แก่คอนกรีตซึ่งเป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้งานได้ดีในงานทั่ว ๆ ไป เช่น อาคาร ถนน สะพาน สำหรับในงานที่อุณหภูมิสูง ความร้อนทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตเปลี่ยนแปลงไป[1,2] กำลังของคอนกรีตและโมดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) จะลดลง ส่วนการคืบ (creep) จะเพิ่มขึ้น[3,4,5]

เหล็กเสริมก็เช่นเดียวกัน เมื่อมีอุณหภูมิสูง กำลังและโมดูลัสยืดหยุ่นจะมีค่าลดลง[6] รายละเอียดของคุณสมบัติต่าง ๆ ทั้งคอนกรีตและเหล็กเสริมที่เกี่ยวกับอุณหภูมิจะกล่าวอย่างละเอียดในบทที่ 2

ในการวิเคราะห์เพื่อศึกษาพฤติกรรมทั้งในระยะสั้นและระยะยาวตามข้อกำหนดของ BS 4975 สำหรับถังความดันคอนกรีตอัดแรง[7] เนื่องจากความเครียดที่จุดใด ๆ ของโครงสร้างขึ้นกับหน่วยแรงและอุณหภูมิที่จุดนั้นในอดีต และหน่วยแรงที่เวลาใด ๆก็ขึ้นกับกิริยาทางกลและอุณหภูมิ (mechanical and thermal loading) ในอดีตเช่นกัน การวิเคราะห์จึงต้องทำตามลำดับเหตุการณ์คือ

1. การอัดแรง

2. การเกิดแรงดันภายในจากของเหลวหรือก๊าซที่บรรจุ

3. การเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. กิริยา (action) ของแรงดันและอุณหภูมิที่กระทำคงที่ต่อเนื่องกัน ในขณะใช้งานจนกระทั่งหน่วยแรงปรับการกระจายอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady State)

5. การหยุดใช้งานหลาย ๆ เดือน ซึ่งอุณหภูมิจะกลับคืนสู่สภาพปกติตลอดทั้งโครงสร้าง ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมินี้จะทำให้หน่วยแรงอัดที่ผิวในของผนังลดลงจนอาจกลายเป็นหน่วยแรงดึงได้

การวิเคราะห์โครงสร้างถังความดันคอนกรีตอัดแรง อาจทำได้หลายวิธี เช่น ไฟไนต์เอเลเมนต์ (finite element) ไฟไนต์ดิฟเฟอร์เรนซ์ (finite difference) ไดนามิครีแลกเซชั่น (dynamic relaxation) หรือ ทฤษฎีโครงสร้างเปลือกบาง (thin shell theory) แต่ต้องตรวจสอบความถูกต้องโดยเปรียบเทียบกับผลการทดลองจากตัวอย่างที่เหมาะสม

การวิเคราะห์โดยทฤษฎีอีลาสติกเพียงอย่างเดียวไม่อาจทำนายพฤติกรรมของโครงสร้าง ซึ่งมีคุณสมบัติคืบตามเวลาได้[8,9] ทฤษฎีที่นิยมนำมาใช้ในกรณีนี้คือ ทฤษฎีวิสโคอีลาสติก (viscoelasticity) ซึ่งมีวิธีการในรายละเอียดแตกต่างกันหลายอย่าง

Rashid และ Rockenhauser[10] ใช้วิธีไฟไนต์เอเลเมนต์ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของถังปฏิกรณ์คอนกรีตอัดแรง ในการวิเคราะห์สำหรับชิ้นส่วนย่อยคอนกรีต ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นวิสโคอีลาสติกเชิงเส้นตรง ได้ใช้ฟังก์ชันการผ่อนคลายของหน่วยแรง (relaxation function) จากผลการทดลองการคืบของคอนกรีตที่อายุคอนกรีตและอุณหภูมิต่าง ๆ กัน สำหรับเหล็กเสริมธรรมดาและเหล็กเสริมอัดแรงนั้น ถือว่ามีคุณสมบัติเป็นวัสดุอีลาสติก จากสมมุติฐานนี้และหลักการพลังงานสามารถสร้างสมการในรูปสมการไวเตอร์ราอินทิกรัลชนิดที่สอง (Volterra integral equation of the second kind) ซึ่งใช้บรรยายพฤติกรรมของโครงสร้างได้ การหาคำตอบต้องพิจารณาเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ ต่อเนื่องกัน ความเที่ยงตรงของคำตอบขึ้นกับความห่างของช่วงเวลา แต่เมื่อแบ่งให้ละเอียดก็ยิ่งเสียเวลาทำการคำนวณโดยคอมพิวเตอร์เพิ่มมากขึ้น[11,12,13]

England และ Macleod[14] เสนอการวิเคราะห์อย่างประมาณ ซึ่งสามารถเลือกได้ว่าจะต้องการคำตอบที่ละเอียดมากน้อยเท่าใด หลักการคือหาฟังก์ชันของหน่วยแรงที่เหมาะที่สุด (optimum) ซึ่งประกอบด้วยฟังก์ชันย่อยของหน่วยแรงและตัวประกอบ (factor) ซึ่งเป็นตัวไม่รู้ค่า โดยแก้สมการดิฟเฟอร์เรนเชียลเชิงเส้นอันดับที่สอง (Second order linear differential equation) อย่างไรก็ตาม England และ Macleod[14] วิเคราะห์วัสดุ

เนื้อเดียวกันเท่านั้น และให้ตัวอย่างไว้ในช่วงอุณหภูมิไม่เกิน 75° เซลเซียส

Jordaan และ Khalifa[15] วิเคราะห์ผลการคืบของคอนกรีตในโครงสร้างที่มีการกระจายของอุณหภูมิคงที่ (constant temperature distribution) โดยอาศัยคำตอบจากการวิเคราะห์อีลาสติก และใช้หลักการสมนัย (correspondence principle) คำตอบของหน่วยแรง ความเครียดและการเปลี่ยนตำแหน่งให้ไว้เป็นฟังก์ชันของเวลาเสมือน (pseudo time) ซึ่งทำให้สามารถใช้ฟังก์ชันของความเครียดซึ่งคืนกลับไม่ได้ (irrecoverable strain) ทุกรูปแบบ

1.3 <u>วัตถุประสงค์และขอบข่ายของการวิจัย</u>

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำถังคอนกรีตอัดแรงที่หลังมาใช้เป็นถังเก็บความร้อนในกระบวนการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ ซึ่งผนังคอนกรีตสัมผัสน้ำมันร้อนประมาณ 250-300° เซลเซียสโดยตรง

2. เพื่อศึกษาการส่งผ่านความร้อนผ่านผนังคอนกรีต จากการทดลองเทียบกับทางทฤษฎี

3. เพื่อศึกษาผลการคืบของคอนกรีต ซึ่งมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของโครงสร้างถังเก็บความร้อนในช่วงระยะเวลานาน

1.4 <u>ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย</u>

ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัยนี้ที่สำคัญ ๆ คือ

1. ทำให้เข้าใจพฤติกรรมของถังและสามารถประเมินความเป็นไปได้ของการใช้ถังคอนกรีตอัดแรงที่หลังสำหรับเก็บความร้อน

2. ทำให้รู้ความถูกต้องของอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ และเรียนรู้เทคนิคการทดลองโครงสร้างภายใต้สภาวะที่มีอุณหภูมิสูง

3. ทำให้สามารถประมาณความคลาดเคลื่อนของทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิสูง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย