บทที่ 5

ผลการทดลอง

ผลการทดลองที่จะกล่าวในบทนี้คือผลการอัดแรงและผลการทดลองให้อุณหภูมิภายในถังสูงขึ้นอย่างช้า ๆ

5.1 ผลการอัดแรง

กำลังรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. ซึ่งทดสอบที่เวลาใกล้เคียงกับคอนทำการอัดแรงถังทดลองมีค่าเท่ากับ 462 กก./ซม.^{2} ส่วนโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าเท่ากับ 448,000 กก./ซม.^{2} ผลการอัดแรงปรากฏว่าได้แรงอัดเกิดขึ้นน้อยกว่าที่คิดไว้ในการออกแบบทั้งในแนวดิ่งและแนวเส้นรอบวง เพราะแรงดึงจากเครื่องดึงต่ำกว่าการออกแบบ 1 ตัน เนื่องจากความคลาดเคลื่อนในการเซทเครื่องดึง และการดึงไม่ได้ดึงซ้ำแล้วสอดแผ่นเหล็ก (Shimming) ชดเชยการเซทตัวของลิ่มยึด เนื่องจากปลายเหล็กเสริมอัดแรงแนวดิ่งที่เผื่อไว้สั้นเกินไป

5.1.1 ผลการอัดแรงในแนวดิ่ง (เส้นที่ติดกระบอกวัดแรงอัด)

จากการดึงขั้นที่ 1

แรงดึงจากเครื่องดึง	11,300	กก.
แรงดึงที่วัดได้จากกระบอกวัดแรงอัด ณ ปลายที่ดึง	6,100	กก.

เมื่อไม่คิดการสูญเสียแรงดึงเนื่องจากผลวอเบิล (wobble effect) ของท่อหุ้ม (เพราะเป็นการดึงในแนวตรงและท่อหุ้มมีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าเหล็กเสริมอัดแรงถึง 6 มม.) จึงเป็นการสูญเสียแรงดึง เนื่องจากการเซทตัวของลิ่มยึด 5200 กก. ซึ่งเทียบเท่ากับเป็นการเซทตัวของลิ่มยึด 4.03 มม.

จากการดึงขั้นที่ 4

แรงดึงจากเครื่องดึง	13,900	กก.
แรงดึงที่วัดได้จากกระบอกวัดแรงอัด ณ ปลายที่ดึง	7,880	กก.

ลักษณะการดึงเหมือนขั้นที่ 1 จึงเป็นการสูญเสียแรงดึงเนื่องจากการเซทตัวของลิ่มยึด 6020 กก. ซึ่งเทียบเท่ากับเป็นการเซทตัวของลิ่มยึด 4.67 มม.

5.1.2 ผลการอัดแรงในแนวเส้นรอบวง (เส้นที่ 4 นับจากข้างล่างขึ้นมาซึ่งติดกระบอก

วัดแรงอัด)

จากการดึงขั้นที่ 2 ซึ่งดึง เส้นละ 1 ครั้งที่ปลายข้างหนึ่ง ส่วนปลายอีกข้างถือ เป็นปลายยึดตาย (dead end)

แรงดึงจาก เครื่องดึง (ดึงปลายที่ไม่ติดกระบอกวัดแรงอัด)	11,300	กก.
แรงดึงที่วัดได้จากกระบอกวัดแรงอัด ณ ปลายยึดตาย ซึ่งอยู่ตรงข้ามกับปลายที่ดึง	8,500	กก.
คิด เป็นการสูญ เสียแรงดึง เนื่องจากความฝืด	2,800	กก.

จากการดึงขั้นที่ 3 เป็นการดึงที่ปลายอีกข้างหนึ่งซึ่งตรงข้ามกับการดึงขั้นที่ 2

แรงดึงจาก เครื่องดึง (ปลายที่ติดกระบอกวัดแรงอัด)	13,900	กก.
แรงดึงที่วัดได้จากกระบอกวัดแรงอัด ณ ปลายที่ดึง	11,750	กก.
คิด เป็นการสูญ เสียแรงดึง เนื่องจากการ เซทตัวของลิ่มยึด	2,150	กก.
ซึ่ง เทียบ เท่ากับ เป็นการ เซทตัวของลิ่มยึด	0.8	มม.

จากการดึงขั้นที่ 5

แรงดึงจาก เครื่องดึง (ดึงที่ละข้างทั้ง 2 ปลาย)	13,900	กก.
แรงดึงที่ได้จากกระบอกวัดแรงอัด	11,200	กก.
คิด เป็นการสูญ เสียแรงดึง เนื่องจากการ เซทตัวของลิ่มยึด	2,700	กก.
ซึ่ง เทียบ เท่ากับ เป็นการ เซทตัวของลิ่มยึด	1.0	มม.

ผลการอัดแรงนี้สรุปได้ว่า

1. การสูญ เสียแรงดึง เนื่องจากการ เซทตัวของลิ่มยึดมีค่าสูง 46 เปอร์ เซนต์ สำหรับแนวดึง เพราะ เป็นการดึงแบบธรรมดา ปกติการ เซทตัวของลิ่มยึดมีขนาดประมาณ 4-6 มม. ซึ่งจะมีผลต่อการสูญ เสียแรงดึง เนื่องจากการ เซทตัวของลิ่มยึดแตกต่างกันขึ้นกับความยาวของ เหล็ก ถ้าความยาวของ เหล็กยิ่งน้อย การ เซทตัวยิ่งทำให้ เกิดการสูญ เสียแรงดึงมาก ดัง เช่น เหล็ก เสริมอัดแรงในแนวดึงซึ่งยาว เพียง 1.55 เมตร การ เซทตัวของลิ่มยึด 1 มม. ทำให้สูญ เสียแรงดึงถึง 1264 กก. สำหรับกรณีนี้จำ เป็นต้องใช้วิธีดึงซ้ำ ให้หัวยึดถอยออกมาแล้วใช้แผ่น เหล็กบาง ๆ สอดไว้ระหว่างหัวยึดและแผ่น เหล็กรองหัวยึด การดึงวิธีนี้จะช่วยให้แรงดึงใน เหล็ก เพิ่มขึ้นได้ ในการออกแบบควรกำหนดแรงดึงขณะถ่ายแรงให้ต่ำ (ประมาณ 60-70 เปอร์ เซนต์ของกำลังรับแรงดึงประลัย) เมื่อทำการดึงซ้ำถึง 80 เปอร์ เซนต์ของกำลังรับแรงดึงประลัยจะได้ระยะถอยของหัวยึด เพียงพอสอดแผ่น เหล็ก เข้าได้ ผลสุดท้ายจะได้แรงดึงใน เหล็ก เสริมขณะถ่ายแรงตามต้องการ

2. การดึงเหล็กเสริมอัดแรงในแนวเส้นรอบวงซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่มีรัศมีความโค้งน้อย ๆ เช่นในการทดลองนี้จะมีการสูญเสียแรงดึงเนื่องจากความฝืดเกิดขึ้นค่อนข้างสูง ค่าที่วัดได้จากการทดลองเท่ากับ 2800 กก. (จากการคำนวณจะได้ 3095 กก.) หรือประมาณ 25 เปอร์เซนต์ของแรงที่ดึงในการทดลองนี้ได้ทาจารบีกันสนิมตัวเหล็กเสริม และได้ใช้แผ่นสังกะสีรองระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีต จึงช่วยลดความฝืดลงไปได้มาก

3. จากค่าแรงอัดในแนวดิ่งและแนวเส้นรอบวงที่ได้จริง ๆ จากการทดลองนำมาคำนวณค่าหน่วยแรงอัดเฉลี่ยได้ 25.89 และ 33.68 กก./ซม. ตามลำดับ จะได้ความเครียดในแนวดิ่งและแนวเส้นรอบวงประมาณ -45 และ -64×10^{-6} ซม./ซม. ตามลำดับ แต่จากการวัดความเครียดบนผิวคอนกรีตของผนังถังไม่สามารถแสดงผลจากการอัดแรงได้ เพราะขณะที่มีการอัดแรงนั้นตัวถังไม่มีฉนวนหุ้มทำให้ความเครียดบนผิวคอนกรีตในช่วงกลางวันมีการเปลี่ยนแปลงประมาณ 30×10^{-6} ซม./ซม. ประกอบกับการอัดแรงในแต่ละขั้นตอนเสียเวลาถึง 2 ชั่วโมงและความเครียดจากการอัดแรงมีขนาดไม่มากนัก

5.2 <u>ผลการทดลองทำให้อุณหภูมิภายในถังสูงขึ้น</u>

ผลการทดลองนี้ได้นำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณโดยทฤษฎีพื้นฐานของการส่งผ่านความร้อนผ่านผนังท่อทรงกระบอกกลม ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับถังที่มีความสูงมาก ๆ ผลการทดลองและการเปรียบเทียบสรุปได้ดังนี้

5.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของถังกับเวลา

ถ้าสมมุติไม่มีความร้อนสูญเสียออกมานอกถังเลย แท่งทำความร้อนซึ่งมีกำลัง 7920 วัตต์ สามารถทำให้ถังทดลองมีอุณหภูมิสูงขึ้น 4.7° ซ/ชั่วโมง ส่วนในสภาวะที่มีความร้อนสูญเสียโดยการถ่ายผ่านผนังถังและฉนวน สามารถคำนวณหาอุณหภูมิของถังโดยประมาณภายใต้สมมุติฐานว่า อุณหภูมิของถังทดลองรวมทั้งน้ำมันซึ่งมีค่าเท่ากันทุกจุดมีค่าคงที่และการสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีมีค่าน้อย สำหรับช่วงเวลาให้แบ่งเวลาเป็นช่วงสั้น ๆ ในแต่ละช่วงนี้พิจารณาว่าความร้อนที่ได้จากแท่งทำความร้อนเท่ากับความร้อนที่สูญเสีย เนื่องจากความร้อนผ่านฉนวนโดยรอบถังบวกกับความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิของถังทดลองและน้ำมันสูงขึ้น

รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของถังกับเวลาโดยเปรียบเทียบให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ จากรูปนี้จะเห็นได้

ว่ายิ่ง เวลามากขึ้นความแตกต่างของอุณหภูมิจากการทดลองและการคำนวณยิ่งมีค่ามากขึ้น แสดงว่าการสูญเสียความร้อนของถังทดลองมีค่ามากกว่าจากการคำนวณ เหตุผลหนึ่งคือในขณะที่น้ำมันมีอุณหภูมิสูงถึง 100° เซลเซียส จะมีไอน้ำระบายออกมาทางท่ออากาศ ทำให้สูญเสียความร้อนไป เป็นจำนวนมากพอสมควร และหลังจากที่ไอน้ำหมดไปปรากฏว่ามีไอของน้ำมันระเหยออกมาทางท่อระบายอากาศอีกตลอดเวลาที่เปิดสวิทช์แท่งทำความร้อนจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง

5.2.2 การกระจายของอุณหภูมิตามหน้าตัดของผนังถังทดลอง

เมื่อเปิดสวิทช์แท่งทำความร้อนอุณหภูมิภายในถังจะค่อย ๆ สูงขึ้นทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิผิวในและผิวนอกมีค่ามากขึ้น รูปที่ 5.2 แสดงการกระจายของอุณหภูมิ เมื่อเวลาเริ่มเปิดและปิดสวิทช์ แท่งทำความร้อนในวันที่ 10 ของการทดลอง เพิ่มอุณหภูมิ ส่วนอุณหภูมิแตกต่างมากที่สุดเท่ากับ 17° เซลเซียสในวันที่ 8 ของการทดลองนี้ หลังจากปิดสวิทช์แท่งทำความร้อน 1 คืน รุ่งขึ้นตอนเช้าเป็นช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไม่มาก การกระจายของอุณหภูมิที่วัดได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับที่คำนวณ โดยทฤษฎีการส่งผ่านความร้อนของท่อทรงกระบอกที่สภาวะคงตัว (ดูรูปที่ 5.3 และ 5.4) ยกเว้น เทอร์โมคัปเปิลหมายเลข T13 ซึ่งค่าที่วัดได้ต่ำกว่าปกติมาก

5.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับอุณหภูมิที่ผิวนอกของผนังถังทดลอง

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถังจะมีการขยายตัวในทุกทิศทาง ทั้งในแนวรัศมีแนวเส้นรอบวงและแนวดึง ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับอุณหภูมิมีความใกล้เคียงกับเส้นตรงมาก (ดูรูปที่ 5.5 ถึง 5.11) เนื่องจากความเครียดส่วนใหญ่ (ประมาณ 90 เปอร์เซนต์) เกิดจากการขยายตัวตามอุณหภูมิ ความเครียดส่วนที่เหลือเกิดจากหน่วยแรงภายในคอนกรีตซึ่งขึ้นกับความแตกต่างของอุณหภูมิผิวในและผิวนอกของผนังถังทดลอง ความเครียดบนผิวนอกของผนังถังจากการทดลองและการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกัน ค่าความเครียดจากการทดลองนี้ใช้ค่าที่จดตอนเช้าในแต่ละวัน ซึ่งเป็นเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้อย ส่วนการคำนวณความเครียดใช้ค่าแรงอัดและอุณหภูมิที่วัดได้จากการทดลองโดยอาศัยทฤษฎีอีลาสติก [24]

5.2.4 แรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรง

แรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรงขณะทำการทดลองเพิ่มอุณหภูมิแสดงไว้ในรูปที่ 5.12 เนื่องจากแรงดึงที่วัดได้ไม่สม่ำเสมอแต่เปลี่ยนแปลงขึ้นลงในช่วงแคบ ๆ จึงไม่สามารถหาการเสื่อมสูญจากการผ่อนคลายแรงดึง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I18205409

5.2.5 การสำรวจรอยร้าวที่ผิวนอกของผนังถังทดลอง

หลังจากหยุดการทดลอง เพิ่มอุณหภูมิแล้ว 36 ชั่วโมง ได้เปิดฉนวนกันความร้อนด้านหนึ่งออกดู เพื่อสำรวจรอยร้าว จากการสำรวจด้วยตา เปล่าไม่พบรอยร้าว แต่พบรอยน้ำมันเปรอะที่ผิวนอก เนื่องจากน้ำมันที่ล้นออกมาทางฝาบนได้ไหลลงตามข้างผนังและมีบางส่วนที่ซึมอยู่ในรูฟองอากาศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย