บทที่ 4

ตัวอย่างการวิเคราะห์

4.1 บทนำ

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของทฤษฎีและคอมพิวเตอร์โปรแกรม โดยทำการทดสอบกับตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง ซึ่งประกอบไปด้วยการวิเคราะห์ทางทฤษฎีเทียบกับวิธีการของ Dilger(2) 2 ตัวอย่าง และการประยุกต์ในการใช้งานจริงโดยตรวจสอบกับสะพานคู่ขนานสะพานพระราม 6 ซึ่งจะก่อสร้างแบบปลายยื่นสมดุลย์ (Free cantiliver method) ในตัวอย่างที่ 1 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงการปรับกระจายของแรงภายใน เนื่องจากผลของการคืบส่วนตัวอย่างที่ 2 ชี้ให้เห็นถึงผลของขั้นตอนการก่อสร้างที่มีต่อการปรับกระจายของแรงภายใน และตัวอย่างสุดท้ายเป็นการวิเคราะห์ให้เห็นถึงการปรับกระจายของแรงภายใน และการแอ่นตัวของโครงสร้างที่เวลาต่าง ๆ โดยพิจารณาถึงขั้นตอนการก่อสร้างลำดับการดึงลวดอัดแรง และผลของการลดเสื่อมของแรงอัดที่เกิดขึ้นด้วย

4.2 ตัวอย่างที่ 1

ตัวอย่างนี้เป็นโครงข้อแข็งแบบพอร์ทอล (Portal Frame) ซึ่งพิจารณาโดย Dilger(2)โครงสร้างนี้ประกอบไปด้วยคานคอนกรีตและเสาเหล็ก ดังรูปที่ 4.1 มีน้ำหนักบรรทุกตายตัว 509.7 กก./ม (5 kN./m.) กระทำที่เวลา t_o จนถึงเวลา $t\infty$ (30 ปีให้หลัง) โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การคืบ (Creep coefficient), $\phi(t\infty,t_o)$ = 2.5 และค่าสัมประสิทธิ์อายุ (Aging coefficient),$\chi(t , t_o)$ = 0.82 คุณสมบัติของวัสดุแสดงในตารางที่ 4.1 ส่วนข้อมูลอื่นๆ มีดังนี้

ช่วงยาว = 12.0 เมตร ฐานรองรับแบบจุดหมุน (Hinge support)

ความสูง = 4.0 เมตร

คานคอนกรีต

I_c = 0.01 เมตร^4

$E_c(28)$ = 2.548×10^9 กก./เมตร^2 (25×10^3 MPa)

เสาเหล็ก

I_s = 0.00018 เมตร.^{4}

E_s = 2.04×10^{10} กก./เมตร^2 (200×10^3 MPa)

ผลของโมเมนต์ลบที่ปลายคานซึ่งคำนวณได้โดยงานวิจัยนี้, แสดงไว้ในตารางที่ 4.2, แตกต่างจาก Digler ประมาณ 0.6 % ทั้งนี้เนื่องมาจาก Digler ใช้ทศนิยมเพียง 2 ตำแหน่ง ในการคำนวณ สังเกตว่าโมเมนต์ลบภายหลังเวลา 30 ปี มีการปรับกระจายเพิ่มขึ้นจากค่าโมเมนต์ลบอีลาสติกถึง 84 % ในขณะที่โมเมนต์บวกลดลง 30 % (ดูรูปที่ 4.2) ซึ่งชี้ให้เห็นอย่างเด่นชัดถึงผลของการคืบที่มีผลต่อโครงสร้างซึ่งประกอบไปด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติทางการคืบต่างกันมาก ๆ รูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นการแอ่นตัวของโครงสร้างที่เวลาต่างๆ

4.3 ตัวอย่างที่ 2

ในตัวอย่างนี้เราต้องการศึกษา 3 สิ่ง คือ

1. ความถูกต้องของทฤษฎีและโปรแกรมคอมพิวเตอร์
2. ผลของขั้นตอนการก่อสร้างที่มีต่อการปรับกระจายของแรงภายใน
3. เปรียบเทียบผลการคำนวณเมื่อใช้แบบจำลองการคืบของ คณะกรรมการ ACI 209(17) กับของ CEB-FIP(21)

ตัวอย่างนี้เป็นคานต่อเนื่องสามช่วง (จาก Dilger(2)) แบ่งการก่อสร้างเป็น 3 ขั้นตอน ดังรูปที่ 4.4 โครงสร้างรับน้ำหนักบรรทุกตายตัวแผ่กระจายสม่ำเสมอ 15.29 ตัน/เมตร กระทำตามลำดับขั้นตอนการก่อสร้าง กล่าวคือการก่อสร้างขั้นที่ 1 ถอดค้ำยันเมื่อคอนกรีตมีอายุได้ 10 วัน หลังจากนั้นอีก 20 วันจึงทำการหล่อโครงสร้างขั้นที่ 2 ซึ่งค้ำยันถูกถอดออกอีก 10 วันให้หลัง สำหรับโครงสร้างส่วนสุดท้ายถูกหล่อ 20 วันถัดมา และค้ำยันถอดออกเมื่อคอนกรีตของโครงสร้างส่วนนี้มีอายุได้ 10 วัน คุณสมบัติของวัสดุแสดงในตารางที่ 4.3 ส่วนข้อมูลต่าง ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับเวลาจากหนังสือ Digler(2) ใช้ตามข้อกำหนดของ CEB-FIP(21) (ดูตารางที่

4.4 และ 4.5)

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยข้อมูล 2ชุด คือ ชุดแรกทำการวิเคราะห์โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์และข้อมูลต่าง ๆ เหมือนของ Digler(2) ชุดหลังวิเคราะห์โดยให้โปรแกรมสร้างข้อมูลต่าง ๆ ที่ขึ้นกับเวลาตาม ACI-CODE(17) โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การคืบสุดท้าย 2.35 ผลการคำนวณเสนอไว้ในตารางที่ 4.6 ,4.7 และ รูปที่ 4.5 จะเห็นว่าจากผลการวิจัยนี้โมเมนต์ที่ฐานหมายเลข 2 ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเวลา 70 วันได้ค่าใกล้เคียงกับผลของ Dilger มาก คิดเป็นความคลาดเคลื่อนเพียง 0.1 % เมื่อเวลา 30 ปี การเปลี่ยนแปลงของโมเมนต์ที่ฐานจากการศึกษานี้คลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับวิธีของ Digler ไม่เกิน 5 % ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของแนวความคิดทางด้านเวลา วิธีของ Digler ต้องคิดจากจุดเริ่มต้นเสมอ แต่งานวิจัยนี้คิดเป็นช่วง ๆ เวลาถัดไปเรื่อย ๆ

ผลการเปรียบเทียบการปรับกระจายของโมเมนต์สุดท้าย เมื่อใช้แบบจำลองการคืบตามข้อกำหนด CEB-FIP(21) และ ACI(17) ได้แสดงไว้ด้วยในตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.5 โดยเทียบกับผลการคำนวณอีลาสติกซึ่งพิจารณาขั้นตอนการก่อสร้างจะเห็นว่า ผลของขั้นตอนการก่อสร้างทำให้โมเมนต์ที่ฐานหมายเลข 2 เมื่อเวลา 30 ปีเพิ่มขึ้นประมาณ 20 % และโมเมนต์ที่ฐานหมายเลข 4 เพิ่มขึ้นประมาณ 40 %เมื่อใช้ข้อกำหนดของ CEB-FIP ส่วนข้อกำหนดของ ACI ให้ค่าการปรับกระจายเพิ่มขึ้น 14% และ 32% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากขั้นตอนการก่อสร้าง ทำให้อายุของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วนไม่เท่ากัน และถูกแรงกระทำในเวลาที่แตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อเวลาผ่านไป จึงเกิดการปรับกระจายของแรงไปยังส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้าง โดยขนาดของแรงที่ปรับกระจายขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การคืบ และ ความแตกต่างของการคืบในแต่ละชิ้นส่วน ซึ่งค่าทั้งสองนี้คำนวณได้ไม่เท่ากันเมื่อใช้ข้อกำหนดที่แตกต่างกัน ทำให้ขนาดของแรงปรับประจายต่างกันออกไป ดังนั้นผลการคำนวณจะใกล้เคียงความจริงมากน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับแบบจำลองการคืบ (21) (Creep Model) เป็นสำคัญ

4.4 ตัวอย่างที่ 3

การวิเคราะห์ในตัวอย่างนี้มีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบ ผลการวิจัย กับ วิธีวิเคราะห์ที่ใช้ในการออกแบบจริง และ วิเคราะห์การหดตัวของคอนกรีตที่มีผลต่อแรงภายในของโครงสร้าง โดยใช้สะพานพระรามหกใหม่เป็นโครงสร้างตัวอย่าง สะพานนี้เป็นสะพานต่อเนื่องแบบโครงข้อ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แข็ง 3 ช่วง,มีช่วงกลางยาว 120 ช่วงริมยามช่วงละ 85 เมตร ก่อสร้างแบบช่วงยื่นสมดุล โดยแบ่งการก่อสร้างออกเป็น 11 ขั้นตอน ระยะเวลาการก่อสร้างคาดว่าประมาณ 3 เดือน (250 วัน) ตารางที่ 4.8 แสดงคุณสมบัติของชิ้นส่วนต่าง ๆ และเสริมเหล็กอัดแรงดังในตาราง ที่ 4.9 และใช้ค่าสัมประสิทธิ์การคืบสุดท้าย 2.35 ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.10, 4.11,4.12 และรูปที่ 4.7

จากตารางที่ 4.10 พบว่าในกรณีที่คิดเฉพาะน้ำหนักตายตัวของโครงสร้างโดยแสดงเปรียบเทียบกับผลของ ดร.มานะ (วิศวกรของกรมโยธาธิการซึ่งได้ทำการวิเคราะห์สะพานดังกล่าว) โมเมนต์อีลาสติกทางด้านซ้ายของตอม่อมีค่าเท่ากับ -42297 ตัน-เมตร ทางด้านขวามีค่า -39901 ตัน-เมตร ส่วนงานวิจัยนี้เท่ากับ -43055 ตัน-เมตร และ -39671 ตัน-เมตร ตามลำดับ สาเหตุที่ทำให้โมเมนต์อีลาสติกแตกต่างกันมี 2 ประการ คือ ค่าโมดูลัสแตกต่างกัน งานวิจัยนี้ใช้ค่าโมดูลัสจริงที่เปลี่ยนตามเวลาของแต่ละชิ้นส่วนโดยคำนวณจากข้อกำหนดของ ACI(17) ส่วนวิธีการของดร.มานะใช้ค่าโมดูลัสคงที่ (โมดูลัสที่ 28 วัน) และ เหตุผลประการที่สอง คือ ในการวิเคราะห์โครงสร้าง ดร.มานะนิจารณาสติฟเนสของฐานรากกับดินด้วย แต่งานวิจัยนี้คิดว่าฐานรากถูกยึดแน่น

เมื่อเวลา 30 ปีโมเมนต์ทางด้านซ้ายของตอม่อมีค่าเท่ากับ -34207 ตัน-เมตร ทางด้านขวาของตอม่อมีค่า -34679 ตัน-เมตร สำหรับวิธีของ ดร.มานะ และสำหรับงานวิจัยนี้เท่ากับ -40342 ตัน-เมตร กับ -37889 ตัน-เมตร คิดเป็นเปอร์เซ็นการปรับกระจายเทียบกับโมเมนต์อีลาสติกเท่ากับ 16 % และ 5.4 % ตามลำดับ ความแตกต่างที่เกิดขึ้นเนื่องจากแนวความคิดในการวิเคราะห์แตกต่างกัน วิธีของดร.มานะคำนวณแรงที่เวลา 30 ปีจากการรวมกันโดยใช้แฟคเตอร์ปรับแก้(Weight facter)ระหว่างแรงที่เกิดกับโครงสร้างเมื่อเป็นโครงสร้างปลายยื่นกับ แรงที่เกิดขึ้นเมื่อระบบแรงเดียวกันกระทำกับโครงสร้างสุดท้าย และแฟคเตอร์ปรับแก้คำนวณโดยถือว่าทุกๆชิ้นส่วนเกิดการคืบเท่ากัน(ใช้สัมประสิทธิ์การคืบ = 2)เมื่อการคืบเริ่มเกิดขึ้นหลังจากที่โครงสร้างต่อกันสมบูรณ์ แต่งานวิจัยนี้คิดไปเป็น ขั้นๆ ซึ่งเมื่อโครงสร้างต่อกัน การคืบส่วนใหญ่เกิดขึ้นเกือบหมดแล้วดังนั้นการปรับกระจายของแรงจึงมีน้อยทำให้โมเมนต์ลบที่ตอม่อที่เวลา 30 ปี มีค่าสูงกว่าผลของ ดร.มานะ

และในกรณีคิดรวมผลของการอัดแรงและแรงลดเสื่อมเข้าไปด้วย(ดูตารางที่ 4.11) โมเมนต์ที่ตอม่อที่เวลา 30 ปีสำหรับงานวิจัยนี้ เทียบกับ วิธีของ ดร.มานะมีค่าเท่ากับ -8408 ตัน-เมตร กับ -6350 ตัน-เมตร สำหรับทางด้านซ้ายของตอม่อ และ มีค่าเท่ากับ -6002

ตัน-เมตร กับ -6243.7 ตัน-เมตร สำหรับทางขวาของตอม่อ สาเหตุที่ทำให้แรงแตกต่างกันถึง 32 % เนื่องจากงานวิจัยนี้คิดว่าชิ้นส่วนต่าง ๆ มีคุณสมบัติคงที่ตลอดความยาว แต่จริง ๆ ความลึกของชิ้นส่วนไม่คงที่ เมื่อเป็นเช่นนี้ระยะเยื้องศูนย์ของชิ้นส่วนจึงผิดไปทำให้ค่าโมเมนต์ออกมาไม่ตรงกันซึ่งสามารถแก้ไขโดยแบ่งจำนวนชิ้นส่วนให้มากขึ้น

ส่วนตารางที่ 4.12 แสดงให้เห็นถึงการปรับกระจายของแรงภายในเนื่องจากผลของการหดตัวของคอนกรีต เทียบกับการปรับกระจายของแรงภายในเนื่องจากผลของคืบ ซึ่งเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นแล้วการหดตัวของคอนกรีตมีผลต่อการปรับกระจายของแรงภายใน ประมาณ 20 % เมื่อเทียบกับผลเนื่องจากการคืบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย