บทที่ 4

วิธีการวิเคราะห์

การวิเคราะห์เพื่อศึกษาหาค่าความปลอดภัยและค่าตัวคูณ สำหรับน้ำหนักบรรทุกของอาคาร ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นขั้นตอนหลัก 5 ขั้นตอน คือ

ก. วิเคราะห์เพื่อหาค่าน้ำหนักบรรทุกคงที่

ข. วิเคราะห์เพื่อหาค่าน้ำหนักบรรทุกจร

ค. วิเคราะห์หาลักษณะการกระจายของน้ำหนักบรรทุก

ง. วิเคราะห์เพื่อหาค่าตัวคูณสำหรับน้ำหนักบรรทุกของอาคารโดยกำหนดค่าความปลอดภัยตามมาตรฐานสากล

จ. วิเคราะห์เพื่อหาค่าความปลอดภัย โดยใช้ค่าตัวคูณสำหรับน้ำหนักบรรทุกของอาคารตามมาตรฐานที่กำหนดโดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

4.1 การวิเคราะห์เพื่อหาค่าน้ำหนักบรรทุกคงที่

น้ำหนักบรรทุกคงที่ในที่นี้จะพิจารณาน้ำหนักบรรทุก เนื่องจากคาน เสา พื้นของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กและผนังก่ออิฐเท่านั้น จะคำนึงถึงเพียงแต่น้ำหนักบรรทุกที่เกิดขึ้นจากคอนกรีตซึ่งไม่รวมปูนฉาบและปูนที่เททับหน้า โดยจะทำการคำนวณน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่เกิดจากการออกแบบกับน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่เกิดขึ้นจริงในลักษณะของน้ำหนักบรรทุกต่อหน่วยพื้นที่ ซึ่งหลักในการคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่เกิดจากการออกแบบ และที่เกิดขึ้นจริงนั้นจะคำนวณโดยอาศัยข้อมูลบางส่วนจากแบบก่อสร้าง และข้อมูลที่เก็บได้จากในสถานที่ก่อสร้างจริงหลาย ๆ แห่ง ดังนี้ คือ

4.1.1 คำนวณหาปริมาตรของคอนกรีตจากแบบก่อสร้าง โดยพิจารณาต่อพื้นที่ใช้งาน เช่น

กรณีของพื้น ถ้าบนพื้นที่ใช้งานที่พิจารณาประกอบไปด้วยความหนาพื้นหลาย ๆ ขนาด ก็จะคำนวณหาปริมาตรของคอนกรีตโดยแบ่งพื้นที่ออกเป็นส่วน ๆ

กรณีของคานและเสา จะคำนวณหาปริมาตรของคอนกรีตโดยแยกปริมาตรของคานและเสาตามขนาดของหน้าตัด

4.1.2 คำนวณหาน้ำหนักบรรทุกคงที่ต่อหน่วยพื้นที่ โดยนำปริมาตรของคอนกรีตที่คำนวณได้จากในข้อ 4.1.1 ทั้งกรณีของพื้นซึ่งรวมทุกความหนา กรณีของคานและเสาซึ่งรวมทุกหน้าตัดของคานและเสา คูณกับความหนาแน่นของคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ในการออกแบบ (2,400 กก. ต่อลูกบาศก์เมตร) และหารด้วยพื้นที่ใช้งานที่พิจารณาจะได้น้ำหนักบรรทุกคงที่ต่อหน่วยพื้นที่ตามการออกแบบของพื้น คาน และเสา

กรณีของน้ำหนักบรรทุกคงที่อันเนื่องจากกำแพงก่ออิฐ จะคำนวณหาพื้นที่ของกำแพงต่อพื้นที่ใช้งาน โดยใช้น้ำหนักของกำแพงก่ออิฐเต็มแผ่น = 360 กก.ต่อตารางเมตร และใช้น้ำหนักของกำแพงก่ออิฐครึ่งแผ่น = 180 กก.ต่อตารางเมตร คำนวณออกมาเป็นน้ำหนักบรรทุกคงที่ต่อหน่วยพื้นที่ของกำแพงตามการออกแบบ

ส่วนน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่เกิดขึ้นจริงจะสามารถคำนวณได้ในลักษณะเช่นเดียวกับที่คำนวณหาน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่ได้จากการออกแบบ โดยให้มีสมมติฐาน คือ

1. พื้นที่ใช้งานที่พิจารณา ในการคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่เกิดขึ้นจริงมีพื้นที่เท่ากันกับพื้นที่ใช้งานที่พิจารณาในการคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่ได้จากการออกแบบ

2. ความยาวของคาน และความสูงของเสา ในการคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่เกิดขึ้นจริงมีขนาดเท่ากันกับขนาดของความยาวของคาน และความสูงของเสาที่ใช้ในการคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่ได้จากการออกแบบ

แต่ความหนาของพื้น ขนาดหน้าตัดของคานและเสาตลอดจนความหนาแน่นของคอนกรีตจะใช้ค่าเฉลี่ยก็คำนวณได้จากข้อมูลที่เก็บมานำมาคำนวณได้เป็นค่าเฉลี่ยของน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่เกิดขึ้นจริง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่เกิดขึ้นจริง

ดูตัวอย่างการคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกคงที่จากภาคผนวกในตัวอย่างที่ 1.1 - 1.2

4.2 การวิเคราะห์เพื่อหาค่าน้ำหนักบรรทุกจร

เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรรวมนั้นประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ น้ำหนักบรรทุกจรถาวรและน้ำหนักบรรทุกจรเพิ่มชั่วขณะ การวิเคราะห์จึงแบ่งออกเป็นส่วนย่อย ๆ 3 ส่วน ดังนี้

ก. วิเคราะห์หาน้ำหนักบรรทุกจรถาวรเฉลี่ยที่มีค่ามากที่สุดตลอดอายุการใช้งานของอาคาร

ข. วิเคราะห์หาน้ำหนักบรรทุกจรเพิ่มชั่วขณะเฉลี่ยที่มีค่ามากที่สุดตลอดอายุการใช้งานของอาคารและภายในช่วงที่น้ำหนักบรรทุกจรถาวรมีค่ามากที่สุด

ค. วิเคราะห์หาน้ำหนักบรรทุกจรรวมที่เกิดขึ้น

4.2.1 วิเคราะห์หาน้ำหนักบรรทุกจรถาวรเฉลี่ยที่มีค่ามากที่สุดตลอดอายุการใช้งานของอาคาร

ข้อมูลน้ำหนักบรรทุกจรของอาคารที่มีลักษณะการใช้งานต่าง ๆ ที่เก็บรวบรวมมาได้นั้นเป็นข้อมูลของน้ำหนักบรรทุกจรถาวรทั้งสิ้นซึ่งอยู่ในลักษณะของน้ำหนักบรรทุกต่อหน่วยพื้นที่ นำข้อมูลทั้งหมดมาทำการแยกออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ตามลักษณะการใช้งานของอาคาร เช่น อาคารเรียน อาคารสำนักงาน อาคารสาธารณะ เป็นต้น จากนั้นถ้าข้อมูลเพียงพอในแต่ละกลุ่มของอาคารที่มีลักษณะการใช้งานเช่นเดียวกันก็จะทำการแบ่งกลุ่มของข้อมูลย่อยลงไปอีกตามลักษณะการใช้งานย่อย จะได้เป็นกลุ่มของชุดของข้อมูลจำนวนหนึ่งซึ่งจะนำไปวิเคราะห์เพื่อหาน้ำหนักบรรทุกจรถาวรเฉลี่ยที่มีค่ามากที่สุดตลอดอายุการใช้งานของอาคารในแต่ละชุดของข้อมูล โดยมีขั้นตอนดังนี้คือ

1. คำนวณหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลแต่ละชุด โดยใช้สมการที่ (3.1) และ (3.3)

2. นำข้อมูลแต่ละชุดไปทดสอบเพื่อหาลักษณะการกระจายของข้อมูลว่าสามารถแทนการกระจายของข้อมูลด้วยการกระจายแบบแกมม่าหรือไม่ โดยใช้วิธีทดสอบที่เรียกว่า วิธีเคอโมโกรอฟ [ดูในภาคผนวก] ซึ่งถ้าการกระจายของข้อมูลไม่เป็นแบบแกมม่า จะไม่สามารถหาน้ำหนักบรรทุกจรถาวรเฉลี่ยที่มีค่ามากที่สุดได้

3. นำข้อมูลแต่ละชุดมาแบ่งช่วงของพื้นที่ใช้งาน และคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกต่อหน่วยพื้นที่เฉลี่ยรวมทั้งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละช่วงของพื้นที่ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1– 4.8

4. นำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละช่วงของพื้นที่ของแต่ละชุดไปสร้างเส้นกราฟ โดยให้แกนตั้งเป็นแกนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และแกนนอนเป็นช่วงของพื้นที่ ดังแสดงในรูปที่

4.7 - 4.14

5. จากเส้นกราฟที่ได้จะทำการคำนวณหาค่าคงที่ 2 ค่า คือ σ^2 σ_s^2 เพื่อใช้สร้างเป็นเส้นกราฟใหม่แทนเส้นกราฟที่ได้จากข้อมูล โดยค่าคงที่ทั้ง 2 ค่า สามารถหาได้โดยพิจารณาเส้นกราฟที่ได้จากข้อมูลและสมการ (2.10c) เมื่อพื้นที่ (A) มีค่ามาก ๆ เทอม σ_s^2/A จะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับ σ^2 ฉนั้นจะได้ $Var(U) = \sigma^2$ และเมื่อพื้นที่ (A) มีค่าน้อยจะได้ $Var(U) = \sigma^2 + \sigma_s^2/A$ เมื่อทราบ σ^2 , σ_s^2 ก็จะสามารถหาค่าความแปรปรวนของน้ำหนักบรรทุกจรถาวรต่อหน่วยพื้นที่ได้ ดังสมการ (2.10c) และค่าความแปรปรวนของน้ำหนักสมมูลย์แบบแผ่กระจายอย่างสม่ำเสมอของน้ำหนักบรรทุกจรถาวรต่อหน่วยพื้นที่ ดังสมการ (2.21b) สำหรับพื้นที่ใช้งานค่าหนึ่งที่พิจารณา

6. หาระยะเวลาอายุการใช้งานของอาคารตามที่ได้ออกแบบ และพื้นที่ใช้งานประสิทธิผล (Influence area, A_I)

7. หาระยะเวลาเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงอย่างมากของน้ำหนักบรรทกจรถาวร

ข้อมูลในข้อ 6, 7 นั้นต้องอาศัยการเก็บข้อมูลและศึกษาอย่างมาก ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลจากผู้ซึ่งเคยเก็บและศึกษามาก่อน [6] ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.9 – 4.10

8. คำนวณหาค่าน้ำหนักบรรทุกจรถาวรเฉลี่ยที่มีค่ามากที่สุดตลอดอายุการใช้งานของอาคาร ได้จากสมการ (2.21) และสมการที่ (2.22) ดังแสดงในตัวอย่างที่ 2.1

4.2.2 <u>วิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกจรเพิ่มชั่วขณะเฉลี่ยที่ได้มากที่สุดตลอดอายุการใช้งานของอาคารและภายในช่วงที่น้ำหนักบรรทุกจรถาวรเฉลี่ยมีค่ามากที่สุด</u>

เนื่องจากข้อมูลส่วนนี้ได้มีผู้ศึกษาค้นคว้าและวิจัยมาก่อน [6] อีกทั้งเวลาให้เก็บข้อมูลในการทำวิจัยนี้ค่อนข้างสั้นเมื่อเทียบกับอายุการใช้งานของอาคาร ผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลส่วนนี้จากผู้อื่นเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักบรรทุกจรเพิ่มชั่วขณะ ตามสมการ (2.14) ซึ่งข้อมูลดังกล่าวแสดงไว้ในตารางที่ 4.9 – 4.10

ในการวิเคราะห์เพื่อหาน้ำหนักบรรทุกจรเพิ่มชั่วขณะเฉลี่ยที่มีค่ามากที่สุดในระยะเวลาที่พิจารณานั้น จะคำนวณได้จากสมการที่ (2.21) และ (2.22) ซึ่งระยะเวลาที่พิจารณาต่างกันจะเป็นผลทำให้น้ำหนักบรรทุกจรเพิ่มชั่วขณะเฉลี่ยที่มีค่ามากที่สุดแตกต่างกันไป ดังแสดงในตัวอย่างที่ 2.2

4.2.3 วิเคราะห์หาน้ำหนักบรรทุกจรรวมที่เกิดขึ้น

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ถึงวิธีการหาน้ำหนักบรรทุกจรรวม ซึ่งได้แบ่งกรณีของการเกิดน้ำหนักบรรทุกจรรวมได้เป็น 3 กรณี ในการวิเคราะห์ก็จะทำการหาน้ำหนักบรรทุกจรรวมทั้ง 3 กรณีจากน้ำหนักบรรทุกจรที่คำนวณได้ในหัวข้อ 4.2.1 และ 4.2.2 ได้เป็นค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักบรรทุกจรรวมในแต่ละกรณี จากนั้นโดยอาศัยสมการที่ (2.20) จะสามารถคำนวณหาฟังก์ชันการกระจายสะสมของน้ำหนักบรรทุกจรรวมที่เกิดขึ้น และอาศัยสมการพื้นฐานของความน่าจะเป็นจากสมการที่ (3.9-3.15) ก็จะสามารถหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของฟังก์ชันการกระจายสะสมนี้ ดังแสดงในตัวอย่างที่ 2.3

4.3 วิเคราะห์หาลักษณะการกระจายของน้ำหนักบรรทุก

4.3.1 น้ำหนักบรรทุกคงที่ เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ของพื้น คาน และเสานั้นประกอบไปด้วยตัวแปรสุ่มหลายตัว เช่น กรณีของพื้น ตัวแปรสุ่มคือหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็กและความหนาพื้น กรณีของคานและเสา ตัวแปรสุ่มคือหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็กและหน้าตัดของคานและเสา ดังนั้นในการจะหาลักษณะการกระจายของฟังก์ชันที่มีตัวแปรสุ่มหลาย ๆ ตัวได้ จะต้องทราบลักษณะการกระจายของแต่ละตัวแปรสุ่มก่อน ซึ่งในที่นี้ได้ใช้วิธีการทดสอบแบบไคสแควร์ (Chi-square) [7] เมื่อทราบลักษณะการกระจายของแต่ละตัวแปรสุ่มแล้วก็จะทำการสร้างข้อมูลของน้ำหนักบรรทุกคงที่ ได้แก่ น้ำหนักของพื้นและน้ำหนักของคานและเสา โดยอาศัยวิธีจำลองแบบมอนติ คาร์โล (Monte Carlo Simulation) [ดูในภาคผนวก] ซึ่งวิธีนี้จะเป็นการสร้างตัวเลขข้อมูลสุ่มขึ้นจากลักษณะการกระจายของตัวแปรสุ่มที่ทราบอยู่แล้ว

จากนั้นจะใช้วิธีการทดสอบแบบไคสแควร์ ทำการทดสอบหาลักษณะการกระจายของข้อมูลน้ำหนักบรรทุกคงที่

อาจสรุปเป็นขั้นตอนได้คือ

1. หาลักษณะการกระจายของข้อมูลต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้คำนวณหาน้ำหนักบรรทุกคงที่ เช่น ความหนาพื้น หน้าตัดของคานและเสา เป็นต้น
2. ใช้วิธีมอนติคาร์โล สร้างข้อมูลต่าง ๆ ในข้อ 1 ใหม่ โดยอาศัยลักษณะการกระจายของข้อมูลที่คำนวณได้จากข้อ 1 นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณเพื่อให้ได้น้ำหนักบรรทุกคงที่ตามแต่ละลักษณะ

3. ทดสอบหาลักษณะการกระจายของข้อมูลน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่ได้จากข้อ 2 โดยใช้วิธีทดสอบแบบไคสแควร์

4.3.2 น้ำหนักบรรทุกจร ในการหาลักษณะการกระจายของน้ำหนักจรนั้น จะใช้วิธีที่แตกต่างจากการหาลักษณะการกระจายของน้ำหนักบรรทุกคงที่ เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรที่มีค่ามากที่สุดเฉลี่ยตลอดอายุการใช้งาน หาได้จากสมการที่ (2.20) ซึ่งสมการนี้จะอยู่ในรูปของลักษณะการกระจายแบบสะสม ฉนั้น ถ้าทราบลักษณะการกระจายของสมการนี้ก็จะทราบลักษณะการกระจายของน้ำหนักบรรทุกจร ในที่นี้จึงใช้วิธีโคโมโกรอฟทดสอบหาลักษณะการกระจายสะสมของสมการที่ 2.20

4.4 การวิเคราะห์เพื่อหาค่าตัวคูณสำหรับน้ำหนักบรรทุกของอาคารโดยกำหนดค่าความปลอดภัยตามมาตรฐานสากล

ค่าตัวคูณสำหรับน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ตามมาตรฐานที่กำหนดขึ้นในประเทศไทยนั้นแตกต่างไปจากมาตรฐานสากลและค่าตัวคูณสำหรับน้ำหนักบรรทุกที่ใช้อยู่ ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการพิจารณาจากปริมาณเหล็กเสริมตามทฤษฎีกำลังใช้งานของน้ำหนักบรรทุก และกำลังวัสดุที่เหมือนกันมิได้เป็นค่าที่ได้จากข้อมูลจริง ฉะนั้นในการวิเคราะห์ก็จะทำการวิเคราะห์หาค่าตัวคูณสำหรับน้ำหนักบรรทุกโดยอาศัยค่าความปลอดภัยตามมาตรฐานสากล ซึ่งค่าความปลอดภัยตามมาตรฐานสากลขององค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กนี้จะแตกต่างกันตามประเภทขององค์อาคาร เช่น องค์อาคารรับแรงดัดจะใช้ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 3 องค์อาคารรับแรงกดและแรงดัดจะใช้ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 3.5 [10] เป็นต้น

การวิเคราะห์จะใช้ทฤษฎีทางด้านความน่าเชื่อถือ และกำหนดค่าความปลอดภัยขององค์อาคาร แล้วทำการคำนวณหาค่าตัวคูณสำหรับน้ำหนักบรรทุกขององค์อาคารต่าง ๆ ออกมา ดูตัวอย่างการคำนวณได้จากตัวอย่างที่ 3.2 และนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าตัวคูณสำหรับน้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐานสากล

4.5 <u>การวิเคราะห์เพื่อหาค่าความปลอดภัย โดยใช้ค่าตัวคูณสำหรับน้ำหนักบรรทุกของอาคารตามมาตรฐานที่กำหนดโดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย</u>

ในการวิเคราะห์นี้จะกำหนดค่าตัวคูณสำหรับน้ำหนักบรรทุก และค่าตัวคูณสำหรับกำลัง ซึ่งจะใช้ค่าตัวคูณทั้งสองจากที่ได้กำหนดไว้ในมาตรฐานของประเทศไทย คือ

ตัวคูณสำหรับน้ำหนักบรรทุก แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนของน้ำหนักบรรทุกคงที่จะใช้ค่าตัวคูณสำหรับน้ำหนักบรรทุก = 1.7 และส่วนของน้ำหนักบรรทุกจรจะใช้ค่าตัวคูณสำหรับน้ำหนักบรรทุก = 2.0

ส่วนตัวคูณสำหรับกำลังจะเปลี่ยนไปตามลักษณะขององค์อาคาร เช่น ถ้าพิจารณาองค์อาคารรับแรงดัดจะใช้ตัวคูณสำหรับกำลัง = 0.9 ถ้าพิจารณาองค์อาคารรับแรงเฉือนจะใช้ตัวคูณสำหรับกำลัง = 0.85 เป็นต้น

ซึ่งผลที่ได้จะเป็นค่าความปลอดภัยขององค์อาคารหลาย ๆ ส่วนแต่ละอาคาร ดูตัวอย่างการคำนวณหาค่าความปลอดภัยขององค์อาคารได้จากตัวอย่างที่ 3.1