หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ 6

การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์กับผลจากการคำนวณโดยสูตรสำเร็จ และการใช้หน่วยแรงดันที่วิเคราะห์ได้สำหรับการคำนวณออกแบบ

การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์กับสูตรสำเร็จ

1. หน่วยแรงดันด้านข้างกระทำกับผนังไซโล

รูปที่ 28 ถึง 30 แสดงขนาดและลักษณะการกระจายหน่วยแรงดันด้านข้างของมวลข้าวเปลือกที่กระทำต่อผนังไซโล 5 ขนาด ที่คำนวณจากสูตรสำเร็จของแจนเสน เร็มเบิร์ท และแอร์ย์ ตามลำดับ โดยใช้ความหนาแน่นของมวลข้าวเปลือกเท่ากับ 617.9 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และอัตราส่วนหน่วยแรงดันด้านข้างต่อหน่วยแรงดันในแนวดิ่ง, k ที่คำนวณได้จากสูตร $k = (1 - \sin \phi)(1 + \sin \phi)$ โดยสมมุติให้มุมแห่งความฝืดภายใน (ϕ, Angle of Internal Friction) มีค่าเท่ากับมุมลาดชันปกติ (ϕ, Angle of Repose) ส่วนสัมประสิทธิ์ของความฝืดระหว่างมวลข้าวเปลือกกับผนังไซโล (μ') ซึ่งทำด้วยคอนกรีตได้ใช้ค่าเท่ากับ 0.44 ซึ่งเป็นค่าอยู่ในระหว่างกลางที่ ACI Committee 313[5] กำหนดไว้

เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์ซึ่งแสดงไว้ตามรูปที่ 27 จะพบว่าหน่วยแรงดันด้านข้างที่คำนวณจากสูตรสำเร็จทั้ง 3 มีค่าสูงกว่าที่ได้จากวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์ในทุก ๆ ระดับความลึกและขนาดแรงดันสูงสุดจะมีค่าสูงกว่าถึงประมาณเกือบหนึ่งเท่าตัวในไซโลขนาดเดียวกัน นอกจากนั้นในรูปที่ 31 ยังเป็นการแสดงเปรียบเทียบให้เห็นอย่างชัดเจนอีกขั้นหนึ่งสำหรับไซโลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เมตร โดยเส้นกราฟหน่วยแรงดันด้านข้างที่คำนวณโดยสูตรสำเร็จของแจนเสนและเร็มเบิร์ทได้คำนวณโดยใช้ค่าของ ต่าง ๆ กัน คือ 0.4, 0.6 และ 0.8 ซึ่งทำให้เห็นว่าในการใช้สูตรสำเร็จทั้งสองแม้จะประมาณค่าของ μ' มากเกินไป ค่าของหน่วยแรงดันด้านข้างก็ยังสูงกว่าค่าที่ได้จากการ

วิเคราะห์โดยไฟไนท์อีลีเมนต์ นอกจากนั้นยังได้แสดงเส้นกราฟหน่วยแรงดันด้านข้างโดยสูตรสำเร็จของ ACI - 714[3] เพื่อการเปรียบเทียบไว้ในรูปดังกล่าวด้วย ซึ่งจะเห็นว่าสูตรสำเร็จของ ACI - 714 นี้ ให้ค่าของหน่วยแรงดันด้านข้างและอัตราการเพิ่มสูงมากตลอดระยะความลึกวัดจากผิวของวัสดุที่บรรจุ ทั้งนี้เพราะเป็นสูตรสำเร็จที่กำหนดขึ้นจากเส้นกราฟแสดงขนาดและลักษณะการกระจายตัวของแรงดันด้านข้างที่ได้จากการทดลองวัดจากไซโลจริงขนาดต่าง ๆ ที่ใช้บรรจุวัสดุมวลเม็ดชนิดต่าง ๆ กันดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2

2. <u>หน่วยแรงดันในแนวดิ่งที่แกนศูนย์กลางของไซโล</u>

รูปที่ 33 และ 34 เป็นกราฟของหน่วยแรงดันในแนวดิ่งที่จุดศูนย์กลางไซโลบรรจุข้าวเปลือก เทียบกับระดับความลึกวัดจากผิวมวลข้าวเปลือกจนถึงพื้นที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์ และสูตรสำเร็จของแจนเสน เร็มเบิร์ท และแอร์ย์ ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกันก็จะเห็นว่าผลจากวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์ให้ค่าหน่วยแรงดันในแนวดิ่งที่ระดับความลึกในช่วง 7 – 20 เมตร ต่ำกว่าที่คำนวณโดยสูตรสำเร็จทั้งสามประมาณ 15 – 20 เปอร์เซนต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในไซโลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6, 8 และ 10 เมตร ข้อที่น่าสังเกตประการหนึ่งของหน่วยแรงดันในแนวดิ่งที่คำนวณโดยสูตรสำเร็จของแอร์ย์ ก็คือขนาดของหน่วยแรงสูงสุดจะเกิดขึ้นที่บริเวณความลึกวัดจากผิวระยะหนึ่งเท่านั้นคือที่ระยะลึกประมาณ 2 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เมื่อลึกจากนี้ไปหน่วยแรงดันในแนวดิ่งจะค่อย ๆ ลดลงเพราะฉะนั้นในกรณีที่ไซโลมีอัตราส่วนความสูงต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง H/D มากกว่า 2.00 ขึ้นไป เมื่อบรรจุมวลข้าวเปลือกเต็มขนาดของแรงดันในแนวดิ่งสูงสุดจะไม่อยู่ที่พื้นไซโล ที่เป็นเช่นนี้เป็นเพราะเหตุว่ายิ่งระดับลึกมากขึ้นเท่าใดอิทธิพลของความฝืดระหว่างผนังกับมวลข้าวเปลือกซึ่งช่วยพยุงน้ำหนักของมวลข้าวเปลือกไว้ก็ยิ่งทวีมากขึ้นนั่นเอง

การเปรียบเทียบขนาดและลักษณะการกระจายของหน่วยแรงดันทั้งทางด้านข้างและในแนวดิ่งที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์กับที่ได้จากการคำนวณโดยสูตรสำเร็จดังกล่าวมาแล้วนั้น แสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์หน่วยแรงต่าง ๆ ซึ่งเกิดในไซโลเนื่องจากวัสดุมวลเม็ดที่บรรจุเพื่อใช้ในการออกแบบก่อสร้างไซโลที่มีประสิทธิภาพจะต้องคำนึงถึงข้อมูล

เกี่ยวกับคุณสมบัติของมวลวัสดุที่จะนำมาบรรจุและวิธีการที่จะวิเคราะห์ ACI Committee 313 (5) ได้เสนอข้อมูลของวัสดุมวลเม็ดไว้หลายชนิดและกล่าวเสริมว่าควรจะใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองตรวจสอบ ส่วนการวิเคราะห์โดยใช้สูตรสำเร็จต่าง ๆ ยังมีข้อบกพร่อง คือไม่ได้พิจารณาถึงลักษณะการยุบตัว การลื่นไถล และความหนาแน่นของวัสดุมวลเม็ดที่เปลี่ยนแปลงไปขณะที่บรรจุไว้ในไซโล รวมทั้งสภาพเงื่อนไขต่าง ๆ ที่จะมีอิทธิพลต่อหน่วยแรงที่จะเกิดขึ้น ดังนั้นการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์ในงานวิจัยนี้จะให้ผลที่ถูกต้องกับความเป็นจริงมากกว่าเพราะเป็นวิธีที่สามารถจำลองระบบโครงสร้างอันซับซ้อนได้ดีที่สุด

การใช้หน่วยแรงกันที่วิเคราะห์ได้สำหรับการคำนวณออกแบบ

การเปรียบเทียบหน่วยแรงในไซโลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์กับที่ได้จากการวิเคราะห์โดยสูตรสำเร็จตามที่บรรยายมาแล้ว ทำให้ตระหนักได้ว่าหากยังคงยึดถือสูตรสำเร็จเป็นวิธีวิเคราะห์หน่วยแรงสำหรับการคำนวณออกแบบไซโล นอกจากจะไม่เป็นการประหยัดแล้วยังไม่ตรงกับลักษณะของพฤติกรรมทางโครงสร้างที่เป็นจริงในธรรมชาติ และเนื่องด้วยการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์นั้น เราสามารถพิจารณาข้อมูลและองค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อขนาดและลักษณะการกระจายของหน่วยแรงที่เกิดในไซโลได้ค่อนข้างละเอียดถูกต้องกว่า จึงทำให้แน่ใจได้ว่าผลที่ได้จะนำไปใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาคำนวณออกแบบไซโลได้ดีกว่า แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ประกอบด้วยการคำนวณที่ยุ่งยาก จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องคำนวณคอมพิวเตอร์เข้าช่วยในการคำณวณผล ซึ่งจะไม่เป็นการสะดวกในการคำนวณออกแบบไซโลแต่ละครั้ง เพราะฉะนั้นในที่จะกล่าวต่อไปนี้จึงเป็นการเสนอผลของการวิเคราะห์ในรูปของเส้นกราฟที่สามารถนำไปใช้ในการหาค่าหน่วยแรงสำหรับการคำนวณออกแบบได้ทันที ทั้งนี้ใช้ได้เฉพาะกับการคำนวณออกแบบไซโลคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ ϕ 6–ม. ถึง ϕ 20–ม. และความสูงไม่เกิน 25 เมตร โดยวัสดุมวลเม็ดที่บรรจุนั้นเป็นเมล็ดข้าวเปลือกหรือธัญญาหารอื่นใดที่มีคุณสมบัติทางฟิสิคส์ เช่นน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรใกล้เคียงกัน

1. หน่วยแรงดันสำหรับการคำนวณออกแบบผนังไซโล

รูปที่ 35 – 39 เป็นเส้นกราฟแสดงหน่วยแรงดันด้านข้างกระทำกับผนังไซโลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6, 8, 10, 15 และ 20 เมตร ตามลำดับ โดยแต่ละขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแสดงให้เห็นขนาดและลักษณะการกระจายของหน่วยแรงดัน รวมทั้งตำแหน่งของหน่วยแรงดันสูงสุดในทุก ๆ ชั้นของการบรรจุตั้งแต่ชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 10 เพราะฉะนั้นจึงทำให้สามารถหาค่าหน่วยแรงดันด้านข้างสำหรับการคำนวณออกแบบไซโลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เมตร ถึง 20 เมตร ที่มีความสูงไม่เกิน 25 เมตร ได้โดยสะดวก ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการหาค่าหน่วยแรงดันในไซโลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เมตร ความสูง 10 เมตร เราจะอ่านค่าได้จากเส้นกราฟที่ระบุค่าระดับความสูงของมวลบรรจุที่แกนศูนย์กลางเท่ากับ 10 เมตร ในรูปที่ 35 เป็นต้น

2. หน่วยแรงดันในแนวดิ่งสำหรับคำนวณออกแบบพื้นไซโล

ลักษณะการกระจายของหน่วยแรงดันในแนวดิ่งที่คำนวณโดยสูตรสำเร็จจะเท่ากันตลอดทั้งพื้นไซโล แต่ผลจากการวิเคราะห์โดยไฟไนท์อีลีเมนต์แสดงให้เห็นว่าพื้นของไซโลบริเวณแกนศูนย์กลางจะรับหน่วยแรงดันสูงกว่าบริเวณรอบ ๆ ที่อยู่ถัดออกไป โดยบริเวณที่ชิดผนังจะรับหน่วยแรงดันน้อยที่สุด ในรูปที่ 40 ถึง 44 เป็นเส้นกราฟแสดงลักษณะการกระจายของหน่วยแรงที่กล่าวนี้ในไซโลตั้งแต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6, 8, 10, 15 และ 20 เมตร โดยแสดงให้เห็นทุก ๆ ชั้นของการบรรจุ ดังนั้นจึงสามารถอ่านค่าหน่วยแรงดันในแนวดิ่งกระทำกับพื้นไซโลตั้งแต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เมตร ถึง 20 เมตร และมีขนาดความสูงไม่เกิน 25 เมตร ในลักษณะเดียวกับกราฟแสดงหน่วยแรงดันด้านข้างกระทำกับผนังที่กล่าวในข้อ 1.

อนึ่ง เส้นกราฟแสดงขนาดและลักษณะการกระจายของหน่วยแรงดันทั้งสองชุดที่กล่าวข้างต้นอันเป็นผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในการวิจัยนี้ มิได้พิจารณาถึง **Dynamic Effect** ซึ่งวิศวกรผู้คำนวณออกแบบควรจะคำนึงถึงเพราะเป็นผลทำให้มวลวัสดุที่บรรจุไว้มีการยุบตัวได้

มากขึ้น และส่งผลให้เกิดการเพิ่มขนาดของหน่วยแรงดันได้อย่างมากมาย ในกรณีเช่นนี้อาจนำค่าของ **Overpressure Factor** และ **Impact Factor** ที่ ACI - 313[5] กำหนดไว้มาพิจารณาใช้โดยคูณเข้ากับค่าหน่วยแรงดันที่อ่านได้จากเส้นกราฟเหล่านี้ เพื่อเป็นค่าสำหรับการคำนวณออกแบบต่อไป