หอสมุดกลาง
จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลของการวิเคราะห์

ผลของการวิเคราะห์ที่ประมวลได้

ผลของการวิเคราะห์พฤติกรรมทางโครงสร้างระหว่างข้าวเปลือกและไซโลที่บรรจุโดยวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์ โดยใช้ข้อมูลจากการทดลองและวิธีการตามขั้นตอนดังได้กล่าวมาทั้งหมดในบทที่ 3 และ 4 ตามลำดับนั้น ที่ประมวลได้และจะได้แยกกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อต่อ ๆ ไป ก็คือ ลักษณะการยุบตัวของมวลข้าวเปลือก หน่วยแรงดันด้านข้างและในแนวดิ่งที่เกิดในไซโล รวมทั้งความหนาแน่นของมวลข้าวเปลือกที่ระดับความลึกต่าง ๆ ทั้งนี้เป็นผลจากการวิเคราะห์โดยจำลองสภาพของมวลข้าวเปลือกบรรจุในไซโลคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดถ่ายมวลบรรจุออกทางด้านบน รวม 5 ขนาด คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6, 8, 10, 15 และ 20 เมตร ตามลำดับ และทั้งหมดมีความสูง 25 เมตร ความหนาของผนัง 12 เซนติเมตร

ในตารางที่ 11 ได้แสดงความจุของไซโลทั้ง 5 ขนาดดังกล่าว โดยแสดงในรูปของน้ำหนักมวลข้าวเปลือกที่บรรจุเพิ่มขึ้นเป็นชั้น ๆ น้ำหนักของมวลข้าวเปลือกที่เพิ่มขึ้นแต่ละชั้นจะไม่เท่ากันเพราะว่าในการบรรจุชั้นถัดไปนั้นได้กำหนดความหนาที่จุดศูนย์กลาง ส่วนจุดที่ห่างออกไปจากจุดศูนย์กลางซึ่งลาดลงเป็นมุมลาดชันปกติของมวลข้าวเปลือกจะมีความหนาเปลี่ยนแปลงไป ไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งชั้น ทั้งนี้เพราะการยุบตัวของมวลข้าวเปลือกในชั้นเดิมไม่สม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 20

ลักษณะการยุบตัวของมวลข้าวเปลือก

ผลของการวิเคราะห์ลักษณะการยุบตัวของมวลข้าวเปลือกของไซโลทั้ง 5 ขนาด พบว่าขนาดของการยุบตัวขึ้นอยู่กับขนาดของไซโลโดยตรง กล่าวคือ มวลข้าวเปลือกในไซโลที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าจะมีการยุบตัวมากกว่าในไซโลขนาดเล็ก แม้ว่าจะกำหนด

ขนาดความหนาของชั้นข้าวเปลือกที่บรรจุลงเท่า ๆ กันก็ตามที่เป็นเช่นนี้อาจกล่าวได้ว่าเนื่องมาจากสาเหตุ 2 ประการ คือ

1. <u>สาเหตุจากอิทธิพลของปรากฏการณ์ความฝืดระหว่างมวลข้าวเปลือกกับผนังไซโล</u> จากผลของการวิเคราะห์สังเกตได้ชัดเจนว่าการยุบตัวของมวลข้าวเปลือกทุก ๆ ชั้น จะเกิดที่บริเวณแกนศูนย์กลางของไซโลมากกว่าจุดอื่น ๆ ที่ห่างออกไป ทั้งนี้เพราะพฤติกรรมการเกิดความฝืดที่ผิวผนังไซโลดังกล่าวได้ช่วยรั้งการยุบตัวของมวลข้าวเปลือกในบริเวณใกล้กับผิวสัมผัสคือผิวผนังไซโลไว้ เพราะฉะนั้นในไซโลขนาดใหญ่ความฝืดที่ผิวผนังไซโลจึงส่งผลไปยังแกนศูนย์กลางได้น้อยเนื่องจากมีระยะมากกว่าทำให้การยุบตัวของมวลข้าวเปลือกเกิดขึ้นได้มากกว่าเมื่อเทียบกับไซโลขนาดเล็ก

2. <u>สาเหตุจากการยืดขยายตัวออกของผนังไซโลตามแนวรัศมี</u> โดยที่ **Stiffness** ของ **Hoop Element** (ซึ่งเป็นอีลีเมนต์ของผนังไซโลที่จำลองให้มีลักษณะเสมือนที่รองรับยืดหยุ่นอีลาสติค) เป็นอัตราส่วนกลับกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไซโล ดังนั้นผนังของไซโลขนาดใหญ่จึงมี **Stiffness** น้อย และขยายตัวออกได้มากกว่าเมื่อถูกแรงกระทำขนาดเดียวกันเมื่อเทียบกับไซโลขนาดเล็ก ผลที่ตามมาก็คือขนาดการยุบตัวของมวลข้าวเปลือกเนื่องจากสาเหตุนี้ในไซโลขนาดใหญ่จะมีมากกว่าในไซโลขนาดเล็กกว่า

ในรูปที่ 21 ถึง 23 เป็นตัวอย่างแสดงลักษณะการยุบตัวของมวลข้าวเปลือกตามที่กล่าวข้างต้นในไซโลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6, 10 และ 20 เมตร ตามลำดับ ซึ่งได้จากการวิเคราะห์โดยทางด้านซ้ายมือของแกนศูนย์กลางแสดงระดับของมวลข้าวเปลือกแต่ละชั้นเมื่อยังไม่มีการยุบตัว ส่วนทางด้านขวามือเป็นระดับของแต่ละชั้นที่ยุบตัวลงแล้ว เมื่อได้บรรจุจนชั้นสุดท้าย

<u>ความหนาแน่นของมวลข้าวเปลือก</u>

ในการวิเคราะห์ได้กำหนดให้มวลข้าวเปลือกแต่ละชั้นที่เติมลงในไซโลมีความหนาแน่นเริ่มต้นเท่ากับความหนาแน่นในสภาพหลวมตัวปกติที่ทำการทดลองตรวจสอบได้ แต่การยุบ

ตัวของมวลข้าวเปลือกทำให้ความหนาแน่นนี้เพิ่มสูงขึ้น จากลักษณะของคอนทัวร์แสดงความหนาแน่นให้ข้อสังเกตุว่า ความหนาแน่นของมวลข้าวเปลือกจะเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอเป็นชั้นตามความลึกวัดจากผิวลงไป และที่บริเวณศูนย์กลางจะมีค่าสูงกว่าบริเวณที่อยู่ใกล้ผนังไซโลในระดับความลึกเดียวกัน อันเป็นผลจากน้ำหนักทั้งหมดของมวลข้าวเปลือกที่อยู่ตอนบนจะถ่ายลงสู่มวลข้าวเปลือกซึ่งไม่มีการลื่นไถลที่อยู่ตอนล่าง เพราะไม่มีแรงเสียดทานจากความฝืดที่ผิวผนังไซโลช่วยรั้งน้ำหนักเอาไว้ มวลข้าวเปลือกบริเวณศูนย์กลางจึงมีการยุบตัวและอัดตัวแน่นมากกว่าบริเวณอื่น ๆ รูปที่ 24 ถึง 26 เป็นรูปแสดงคอนทัวร์ความหนาแน่นของข้าวเปลือกในไซโลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6, 10 และ 20 เมตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบลักษณะกันแล้วจะให้ข้อสังเกตอีกประการหนึ่งว่า สำหรับไซโลที่มีความสูงเท่ากันเมื่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่มากขึ้นเท่าใด ความหนาแน่นของมวลข้าวเปลือกที่ระดับความลึกต่าง ๆ ก็จะสูงมากขึ้นและมีอัตราการเพิ่มสม่ำเสมอดีขึ้นเท่านั้น โดยเฉพาะที่บริเวณผนังไซโลเนื่องจากการยุบตัวเกิดขึ้นได้ค่อนข้างสม่ำเสมอดีกว่าในมวลข้าวเปลือกแต่ละชั้นเพราะอิทธิพลของแรงเสียดทานจากความฝืดลดน้อยลงดังได้กล่าวมาแล้ว

นอกจากนั้นถ้าเปรียบเทียบคอนทัวร์ของความหนาแน่นกับลักษณะการกระจายหน่วยแรงกันด้านข้างของมวลข้าวเปลือกที่กระทำต่อผนังไซโลซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป ก็จะพบว่ามีลักษณะสอดคล้องซึ่งกันและกันกล่าวคือ ที่บริเวณผนังไซโลอันเป็นผิวสัมผัสระหว่างมวลข้าวเปลือกกับผนังไซโลนั้นถ้าระดับความลึกใดมวลข้าวเปลือกมีความหนาแน่นต่ำหน่วยแรงกันด้านข้างก็จะต่ำลงด้วย

หน่วยแรงกันด้านข้างเนื่องจากมวลข้าวเปลือก

รูปที่ 27 เป็นกราฟแสดงขนาดและลักษณะการกระจายของหน่วยแรงกันด้านข้างของมวลข้าวเปลือกที่มีต่อผนังไซโลทั้ง 5 ขนาด ที่เป็นผลจากการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์ ซึ่งแสดงให้เห็นความแตกต่างจากผลที่ได้โดยสูตรสำเร็จ ความแตกต่างที่กล่าวนี้ก็คือตำแหน่งของหน่วยแรงกันด้านข้างสูงสุด ผลการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์แสดงตำแหน่งของหน่วยแรงกันด้านข้างสูงสุดของมวลข้าวเปลือกที่ระดับความสูงเหนือพื้นไซโลเล็กน้อย แต่ในกรณี

ของสูตรสำเร็จหน่วยแรงดันสูงสุดจะเกิดที่ระดับพื้นไซโล ความแตกต่างนี้มีเหตุผลอธิบายได้กล่าวคือ การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์อีลีเมนต์ได้พิจารณาสภาพความฝืดระหว่างพื้นไซโลและมวลข้าวเปลือกไว้ด้วย โดยกำหนดให้สภาพเงื่อนไขที่ผิวพื้นไซโลเป็นชนิดตรึงแน่น (Restraint Condition) มวลข้าวเปลือกไม่มีการลื่นไถลตามพื้นไซโล ทั้งนี้เพราะในสภาพที่เป็นจริงเงื่อนไขของการลื่นไถลตามสมการ (4-12) มีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อยมากที่บริเวณดังกล่าว ดังนั้นจากสภาพเงื่อนไขที่กำหนดจึงทำให้ผลการวิเคราะห์แรงดันด้านข้างซึ่งกระทำกับผนังไซโลมีค่าเป็นศูนย์ที่ระดับพื้นและมีค่าสูงสุดที่เหนือระดับพื้นเล็กน้อย

ข้อน่าสังเกตสำหรับกราฟแสดงขนาดและลักษณะการกระจายหน่วยแรงดันด้านข้างตามรูป 27 นี้ก็คืออัตราการเพิ่มขึ้นของหน่วยแรงดันเทียบกับความลึกวัดจากผิวของมวลข้าวเปลือกจะค่อย ๆ สูงขึ้นจากไซโลที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กไปสู่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ทั้งนี้เมื่อไซโลมีขนาดความสูงเท่ากันหรือกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าค่าอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง, H/D จะมีผลต่ออัตราการเพิ่มขึ้นของหน่วยแรงดันด้านข้างเทียบกับความลึกวัดจากผิวของมวลข้าวเปลือก โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนจากการวิเคราะห์ว่าไซโลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6, 8 และ 10 เมตร ทั้งหมดความสูง 25 เมตร อัตราส่วน H/D เท่ากับ 4.17, 3.13 และ 2.5 ตามลำดับ มีอัตราการเพิ่มของหน่วยแรงดันด้านข้างจากผิวของมวลข้าวเปลือกจนถึงระยะความลึกประมาณ 20 เมตร น้อยมาก เปรียบเทียบกับไซโลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 และ 20 เมตร ความสูง 25 เมตร เท่ากัน และมีอัตราส่วน H/D เท่ากับ 1.67 และ 1.25 ตามลำดับ (ซึ่งตามเงื่อนไขการแบ่งประเภทโครงสร้างของ Dishinger ไซโลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เมตร จะมีลักษณะเกือบเป็น Shallow Bin หรือ Bunker ส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เมตร จะเป็น Bunker เลยทีเดียว) จะเห็นว่าอัตราการเพิ่มของหน่วยแรงดันด้านข้างมีสูงมากนับแต่ผิวของมวลข้าวเปลือกลงมาเกือบถึงระดับพื้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อธิบายได้ว่าไซโลที่มีอัตราส่วน H/D สูง การช่วยถ่ายน้ำหนักของมวลข้าวเปลือกโดยผนังผ่านแรงเฉือนเนื่องจากความฝืดมีได้มากกว่าในไซโลที่มีอัตราส่วน H/D ต่ำ เมื่อเทียบกับน้ำหนักของมวลข้าวเปลือกทั้งหมด เพราะฉะนั้นน้ำหนักของมวลข้าวเปลือกตอนบนที่จะถ่ายลงสู่มวลตอนล่างจึงมีน้อยกว่าอัตราการเพิ่มของหน่วยแรงดันในแนวดิ่ง

จึงมีน้อย เป็นเหตุให้อัตราการเพิ่มของหน่วยแรงกันด้านข้างเทียบกับระยะความลึกในไซโลที่อัตราส่วน H/D สูงมีน้อยกว่าในไซโลที่มีอัตราส่วน H/D ต่ำไปด้วย

เพราะฉะนั้นจากผลการวิเคราะห์ที่บรรยายมานี้จึงสรุปได้ว่าถ้าค่าอัตราส่วน H/D ของไซโลมีมากขึ้นเท่าใด ขนาดของแรงกันด้านข้างสูงสุดที่กระทำกับผนังก็มีโอกาสเกิดขึ้นตลอดความสูงของไซโลมากขึ้นเท่านั้น จึงเป็นข้อควรคำนึงในการคำนวณออกแบบที่วิเคราะห์หาขนาดแรงกันด้านข้างโดยอาศัยสูตรสำเร็จต่าง ๆ ซึ่งให้ค่าหน่วยแรงกันด้านข้างลดลงตามลำดับสูงจากพื้นไซโลขึ้นไปจนเป็นศูนย์ที่ระดับผิวบนของมวลข้าวเปลือกหรือวัสดุอื่นใดที่บรรจุ นอกจากนี้สำหรับไซโลที่มีขนาดความสูงเท่ากันเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้นหน่วยแรงกันด้านข้างเนื่องจากมวลวัสดุที่บรรจุก็จะมีขนาดสูงขึ้นด้วย

หน่วยแรงกันในแนวดิ่งภายในไซโลเนื่องจากมวลข้าวเปลือก

นอกจากคอนทัวร์ของความหนาแน่นจะสอดคล้องกับลักษณะการกระจายของหน่วยแรงกันด้านข้างแล้วยังสอดคล้องกับลักษณะการกระจายของหน่วยแรงกันในแนวดิ่งที่เกิดในไซโลอีกด้วย กล่าวคือบริเวณที่มีความหนาแน่นสูงก็จะมีขนาดของหน่วยแรงกันในแนวดิ่งสูง รูปที่ 32 เป็นกราฟแสดงหน่วยแรงกันในแนวดิ่งที่เกิดเนื่องจากมวลข้าวเปลือกกระทำกับพื้นไซโลขนาด 6, 8, 10, 15 และ 20 เมตร และทั้งหมดมีความสูง 25 เมตร จากการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ซึ่งยืนยันลักษณะการกระจายของหน่วยแรงกันในแนวดิ่งที่กล่าว โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าแรงกันในแนวดิ่งที่บริเวณแกนศูนย์กลางไซโลซึ่งมวลข้าวเปลือกมีความหนาแน่นสูงจะมีขนาดสูงกว่าบริเวณถัดออกไปใกล้กับผนังซึ่งมวลข้าวเปลือกมีความหนาแน่นน้อยกว่า การที่พื้นไซโลบริเวณแกนศูนย์กลางต้องรับขนาดของหน่วยแรงกันในแนวดิ่งสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ นั้น มีสาเหตุเช่นเดียวกับที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อก่อน ๆ คือผิวผนังไซโลซึ่งเป็นผิวสัมผัสระหว่างมวลข้าวเปลือกกับผนังไซโลจะเกิดแรงฝืดต้านทานน้ำหนักและการยุบตัวของมวลข้าวเปลือกได้มากกว่าบริเวณใด ๆ ซึ่งอยู่ห่างออกไปและจะมีแรงต้านทานดังกล่าวได้ก็ด้วยการส่งถ่ายผ่านแรงเฉือนเท่านั้น

สำหรับรูปที่ 34ก. เป็นกราฟแสดงขนาดหน่วยแรงกันในแนวดิ่งที่บริเวณแกนศูนย์

กลางเทียบกับระดับความลึกในไซโลทั้ง 5 ขนาดที่ได้จากการวิเคราะห์เช่นเดียวกัน จะสังเกตเห็นว่ามีลักษณะคล้ายคลึงกับกราฟแสดงลักษณะการกระจายของหน่วยแรงดันด้านข้าง คือ อัตราการเพิ่มของหน่วยแรงดันในแนวดิ่งในไซโลที่มีอัตราส่วน H/D สูง เช่นข้างน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากสาเหตุเช่นเดียวกับอัตราการเพิ่มขึ้นของหน่วยแรงดันด้านข้างนอกจากนั้นยังเป็นเพราะการที่มวลข้าวเปลือกมีความหนาแน่นขึ้นจะทำให้ด้านทานแรงอัดตัวได้ดีขึ้นด้วย นอกจากที่ระดับความลึกประมาณ 20 เมตร วัดจากผิวบนสุดจนถึงพื้นไซโลเท่านั้นที่มีอัตราการเพิ่มของหน่วยแรงดันค่อนข้างสูง ซึ่งก็เนื่องมาจากในขั้นตอนของการบรรจุชั้นนั้นมวลข้าวเปลือกตอนบนมีการลื่นไถลซึ่งก็จะทำให้ทั้งหน่วยแรงดันแนวดิ่งและด้านข้างเพิ่มมากขึ้น ในทำนองเดียวกันเมื่อไซโลมีอัตราส่วน H/D ต่ำ อัตราการเพิ่มของหน่วยแรงดันในแนวดิ่งก็สูงขึ้นเพราะการช่วยถ่ายน้ำหนักมวลข้าวเปลือกของผนังโดยผ่านแรงเฉือนมีน้อยดังกล่าวแล้ว