บทที่ 3

การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

ในการออกแบบไซโล เก็บข้าวเปลือก เพื่อให้มีประสิทธิภาพนั้นมักจะประสบปัญหายุ่งยากอยู่เสมอโดย เหตุที่มีปัจจัยหลายด้านและเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากสภาพการณ์ต่าง ๆ หลายอย่างทางธรรมชาติที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ อาทิ ลักษณะของภูมิอากาศในแต่ละท้องถิ่น เป็นต้น จากสภาพการณ์ดังกล่าว จึงจำเป็นที่ต้องหาข้อมูลและวิธีการที่ถูกต้องอันหนึ่ง เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการออกแบบส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบไซโลให้เกิดความประหยัดและมีประสิทธิภาพสูงสุด เหมาะสมกับ เกษตรกร

การศึกษาวิจัยนี้จะมุ่งศึกษาวิธีการและ เครื่องมืออันหนึ่งที่จะช่วย เป็นพื้นฐานในการออกแบบระบบต่าง ๆ ของไซโล ให้มีประสิทธิภาพและประหยัด โดยอาศัยการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่นักวิจัยหลายคนได้เคยศึกษาไว้แล้วในอดีตมาใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาหารูปแบบของไซโลขนาดเล็กสำหรับ เกษตรกรต่อไป

3.1 ทฤษฎี เกี่ยวกับด้านโครงสร้างของไซโล [2]

Gray และ Manning ได้จำแนกโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างที่นำมาใช้ เก็บรักษา เมล็ดพืชทาง เกษตรกรรมออก เป็น 2 ลักษณะคือ แบบบังเกอร์ (Bunkers) และแบบไซโล (Silos) โดยพิจารณาจากระนาบ เอียงหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า ระนาบของแรงดัน อันเนื่องจากมวลเมล็ดพืชที่กระทำต่อผนังโครงสร้าง (Plane of Rupture) ถ้าระนาบดังกล่าวตัดกับผิวบนสุดของวัสดุที่บรรจุอยู่เต็มโครงสร้างนี้ จะจัดเป็นประ เภทบังเกอร์ ในทางตรงข้าม หากระนาบดังกล่าวตัดกับผนังด้านตรงข้ามก่อนจะถึงระดับผิวบนสุดของวัสดุที่บรรจุ จะจัด เป็น ประ เภทไซโล (ดูรูปที่ 3.1 ประกอบ)

เพื่อให้ง่ายและถูกต้องยิ่งขึ้น Sargis S. Safarian ได้แนะนำให้พิจารณา เงื่อนไขทาง เรขาคณิต 2 เงื่อนไขต่อไปนี้ประกอบการจัดประ เภทโครงสร้างดังกล่าว คือ

1) เงื่อนไขของ Dishinger :

$$H > 1.5/\overline{A}$$

2) เงื่อนไขตามข้อกำหนดของ Soviet Code :

$H > 1.5\ D$ สำหรับไซโลหน้าตัดกลม

$H > 1.5\ a$ สำหรับไซโลหน้าตัดสี่เหลี่ยม

โดยที่ H คือ ความสูงของโครงสร้าง

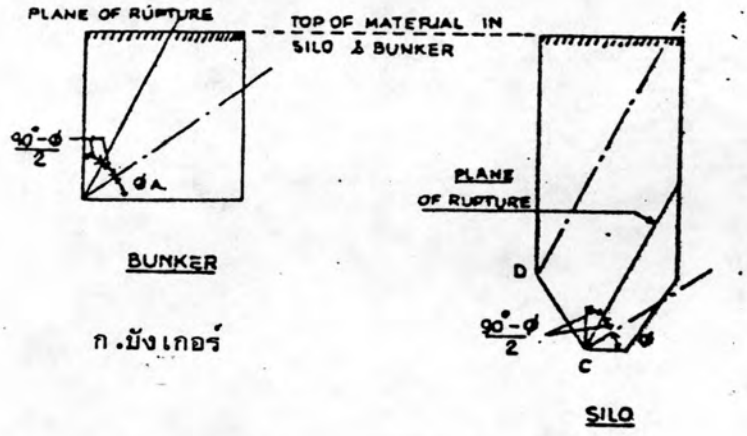
A คือ พื้นที่หน้าตัด

D คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหน้าตัดวงกลม

a คือ ระยะที่ยาวที่สุดของหน้าตัดที่เป็นสี่เหลี่ยม

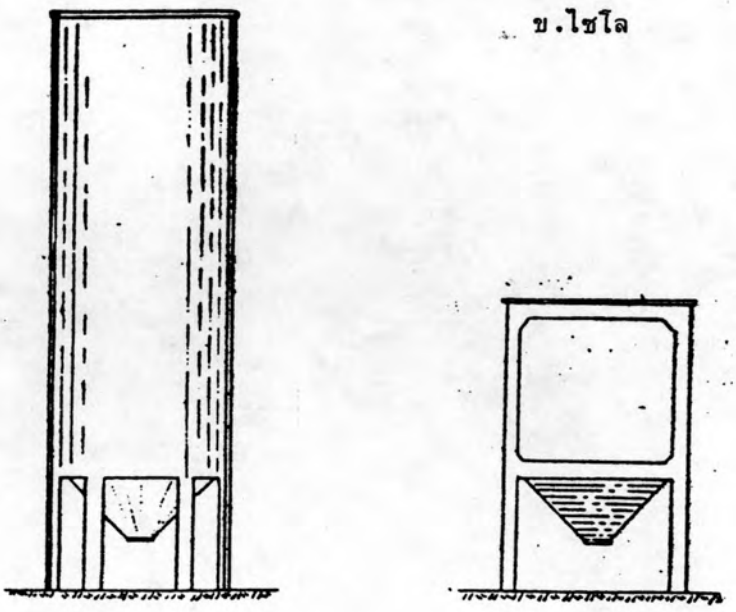
โครงสร้างใดก็ตามที่เป็นไปตาม เงื่อนไขข้อใดข้อหนึ่งที่กล่าวข้างต้น จะจัดว่าเป็นโครงสร้างประเภทไซโลทั้งหมดแต่ถ้านอกเหนือจากนี้จัดเป็นโครงสร้างประเภทบังเกอร์ทั้งหมดเช่นกัน

รูปที่ 3.1 แสดงการแบ่งประเภทของโครงสร้างที่ใช้บรรจุวัสดุมวลเมล็ด



ก.บังเกอร์

ข.ไซโล



ไซโล

บังเกอร์

3.1.1 น้ำหนักบรรทุกและแรงดันภายในไซโล

การหาขนาดและลักษณะน้ำหนักบรรทุกและแรงดันที่เกิดขึ้นกับผนังและพื้นของโครงสร้างแบบบังเกอร์นั้น มักใช้สมมุติฐานว่าวัสดุที่บรรจุในบังเกอร์นั้นเป็นของเหลว ที่มีความหนาแน่นเท่ากับน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุนั้น ๆ มาวิเคราะห์น้ำหนักบรรทุก และแรงดันที่กระทำต่อพื้นผนังหรือกำแพง แต่สำหรับกรณีของไซโลไม่อาจนำเอาทฤษฎีการวิเคราะห์แรงดัน ที่เกิดขึ้นในลักษณะของเหลวมาใช้ได้ เนื่องจากน้ำหนักส่วนใหญ่จะถูกรับไว้ด้วยความฝืด ระหว่างผนังกับมวลเมล็ด น้ำหนักของวัสดุส่วนที่เหลือซึ่งน้อยมาก เมื่อเทียบกับน้ำหนักส่วนที่ถูกรับไว้โดยความฝืด จะตกลงบนพื้นของไซโล ฉะนั้นจึงไม่สามารถนำเอาการวิเคราะห์แรงดันของเหลวมาใช้ได้ เนื่องจากการวิเคราะห์ดังกล่าวมิได้คำนึงถึงความฝืดระหว่างผนังกับมวลวัสดุด้วย

ก. น้ำหนักบรรทุกของไซโล

น้ำหนักบรรทุกที่จะต้องนำมาพิจารณาออกแบบไซโลโดยทั่วไปจะประกอบด้วย

1) น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead load) ซึ่งได้แก่น้ำหนักของโครงสร้างเองรวมกับน้ำหนักของเครื่องมืออุปกรณ์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้และติดตั้งอยู่บนโครงสร้างนั้น ๆ

2) น้ำหนักบรรทุกจร (Live load) เป็นน้ำหนักของวัสดุที่บรรจุรวม ทั้งแรงที่กระทำหรือแรงส่วนเพิ่ม (Impact or Overpressure) ที่เกิดในขณะใช้บรรจุ ซึ่งมีผลทำให้แรงดันในไซโลเพิ่มขึ้นอย่างมาก นอกจากนี้แรงที่เกิดจากธรรมชาติ อาทิเช่น แรงลมหรือแรงสั่นสะเทือนต่าง ๆ ก็จัดว่าเป็นน้ำหนักบรรทุกจรด้วย

3) แรงที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (Thermal Stress) เป็นแรงที่เกิดขึ้นอันเนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของวัสดุในไซโลกับบรรยากาศภายนอก

ข. แรงดันภายในไซโล

แรงดันทั้งด้านข้างที่กระทำกับผนังและแรงแนวดิ่งที่กระทำกับพื้นของไซโล เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกของวัสดุนั้นเป็นน้ำหนักบรรทุกจรที่สำคัญที่สุดที่จำเป็นต้องทราบก่อนการคำนวณออกแบบไซโล ซึ่งลักษณะของการกระจายตัวและขนาดของแรงดันนี้จะเปลี่ยนแปลง ไปตามคุณสมบัติทางกลหรือคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของวัสดุที่บรรจุนั้น อาทิเช่น ความหนาแน่น ความฝืดภายในระหว่างเมล็ดวัสดุและความฝืดระหว่างผนังของไซโลกับมวลวัสดุ เป็นต้น รวมทั้งภาวะต่าง ๆ ของมวลวัสดุในระหว่างบรรจุอยู่ในไซโลด้วย ซึ่งได้แก่

1) ลักษณะและสภาพของเมล็ดวัสดุ

จากการศึกษาพบว่า เมล็ดวัสดุที่แห้งจะมีความฝืดระหว่างเมล็ดต่ำกว่าวัสดุที่เปียกชื้นและความชื้นจะมีส่วนทำให้ความหนาแน่นของมวลวัสดุเปลี่ยนแปลงอีกด้วย ขณะเดียวกันมวลเมล็ดที่มีขนาดเมล็ดเป็นเหลี่ยมหรือมุมมาก จะมีความฝืดในการเกาะตัวกันดีกว่า วัสดุกลมเกลี้ยงและมีผลต่อการแทรกตัวบรรจุในช่องว่างและความหนาแน่นของมวลวัสดุนั้น

2) ลักษณะของการบรรจุวัสดุลงในไซโล

วัสดุมวลเมล็ด ที่มีลักษณะค่อนข้างหยาบ และค่อนข้างคงตัว ในทางเคมี (Chemically Stable Materials) มักจะไม่เกิดปัญหาเรื่องแรงดันภายในไซโลเมื่อจำเป็นต้องบรรจุในไซโลเป็นระยะเวลานาน ๆ แต่สำหรับวัสดุที่มีมวลเมล็ดค่อนข้างละเอียด เมื่อถูกบรรจุทิ้งไว้นาน ๆ จะเกิดการทับถมและแทรกตัวเข้าแทนที่โพรงอากาศ ทำให้ความหนาแน่นและความฝืดระหว่างเมล็ดสูงขึ้นตลอดเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุที่ไม่คงตัวทางเคมี เมื่ออยู่ในสภาพเช่นเดียวกันนี้ หรือมีความชื้นเพิ่มขึ้นอาจทำให้วัสดุอัดตัวกันเป็นก้อนได้

ในขณะบรรจุมวลเมล็ดลงในไซโล หากการบรรจุเป็นไปอย่างช้า ๆ จะพบว่าความหนาแน่นและความฝืดระหว่างเมล็ดวัสดุสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ในทางตรงข้าม หากการบรรจุกระทำอย่างเร็วจะทำให้วัสดุที่บรรจุแล้วอยู่ในสภาพหลวมตัวกว่า เนื่องจากอากาศที่แทรกตัวอยู่และการเรียงตัวของเมล็ดวัสดุไม่หนาแน่น จึงทำให้ความหนาแน่นและความฝืดระหว่าง มวลเมล็ดต่ำกว่านอกจากนี้การใช้เครื่องมือประเภทอากาศช่วย เป่าหรือดูดวัสดุ (Pneumatically) เพื่อบรรจุในไซโล ก็มีผลต่อความหนาแน่นและความฝืดของมวลเมล็ดด้วย เมื่อเทียบกับการใช้เครื่องมือกล (Mechanically) แล้วจะพบว่าแบบแรกจะมีผลต่อความหนาแน่นและความฝืดมากกว่าแบบหลัง

3.1.2 <u>การวิเคราะห์ลักษณะและขนาดของแรงภายในไซโลโดยสูตรสำเร็จ</u>

จากผลงานวิจัยของ อาจารย์การุณ จันทรางศุ [2] ได้เสนอสูตรในการคำนวณหาแรงดันที่เกิดขึ้นอันเนื่องจากมวลเมล็ดพืชที่บรรจุในไซโลของผู้เชี่ยวชาญหลายท่าน เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้ดังนี้

ก. วิธีของแจนเสน (Jansen's method)

แจนเสนให้สูตรสำหรับคำนวณแรงดันในแนวดิ่งต่อหน่วยพื้นที่ (Qy) อันเนื่องจาก

การบรรจุมวลเมล็ดเป็นระยะในแนวดิ่งมาก ๆ ได้ดังนี้คือ

$$Q'y = \frac{\gamma.R}{\mu'.k}\left[1 - e^{-\mu'.k.y/R}\right] \qquad (1)$$

โดยที่ γ = ความหนาแน่นของข้าวเปลือก ($p = \gamma.y$)

μ' = ค่าสัมประสิทธิ์ความฝืดระหว่างผนังของไซโลกับมวลเมล็ด

P = แรงดันด้านข้างที่จะเกิดกับผนังไซโล

y = ระยะที่วัดจากผิวบนสุดของวัสดุ (ในกรณีผิวบนวัสดุอยู่ในรูปกรวยคว่ำ ให้วัดระยะจากจุดศูนย์ถ่วงของกรวย)

K = ค่าคงที่ของวัสดุที่บรรจุ โดยที่

$$K = \frac{1 - \sin \rho}{1 + \sin \rho} \qquad (2)$$

ρ = มุมแห่งความฝืดระหว่างเมล็ดวัสดุ ซึ่งมีค่าเทียบเท่ากับมุมลาดชันของวัสดุ

R = รัศมีไฮโดรลิค โดยที่

$R = \frac{D}{4}$ สำหรับไซโลหน้าตัดกลม

$R = \frac{Dc}{4}$ ใช้สำหรับไซโลหน้าตัดเป็นรูปหลายเหลี่ยมเมื่อ Dc เป็นรัศมีของวงกลมที่มีพื้นที่เทียบเท่าพื้นที่ภายในรูปเหลี่ยม

สำหรับแรงดันด้านข้างต่อหน่วยพื้นที่ (Py) และแรงแนวดิ่งอันเนื่องจากแรงเสียดทาน (Vy) สามารถคำนวณได้จาก สมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับ คือ

$$Py = Qy.K \qquad (3)$$

$$Vy = (y - 0.8\ Qy)\ R \qquad (4)$$

ข. วิธีของเร็มเบิร์ท (Reimbert's method)

ลักษณะการคำนวณของเร็มเบิร์ท จะคล้ายคลึงกับของแจนเสน เพียงแต่ใช้มิติในการวิเคราะห์ส่วนต่าง ๆ ของไซโลที่ต่างกันออกไป สูตรสำเร็จของเร็มเบิร์ทในการใช้คำนวณหาแรงดันในแนวดิ่งต่อหน่วยพื้นที่ (Qy) คือ

$$Qy = \gamma\left[y\left(\frac{y}{c} + 1\right)^{-1} + \frac{hs}{3}\right] \qquad (5)$$

โดยที่ c = Characteriatic abscissa ของไซโลซึ่งขึ้นอยู่กับรูปหน้าตัดของไซโลสามารถคำนวณได้ดังนี้

ไซโลหน้าตัดรูปวงกลม : $$c = \frac{D}{4\,\mu' k} - \frac{h_s}{3} \qquad (6)$$

ไซโลหน้าตัดรูปหลายเหลี่ยม : $$c = \left[\frac{L}{\P} \cdot \frac{1}{4\,\mu\, k}\right] - \frac{h_s}{3} \qquad (7)$$

สำหรับสูตรที่ใช้ในการคำนวณหาแรงดันด้านข้างต่อหน่วยพื้นที่ (Py) และแรงในแนวดิ่ง เนื่องจากความเสียดทาน (Vy) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (8) และ (9) ดังนี้

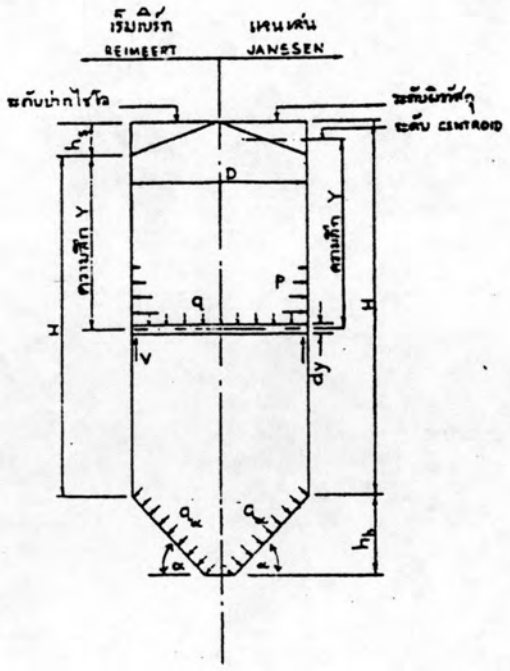
$$Py = P_{max}\left[1-\left(\frac{Y}{c}+1\right)^{-2}\right] \qquad (8)$$

โดยที่ $P_{max} = \gamma . h_{max}$ ซึ่งเป็นแรงดันด้านข้างสูงสุดที่เกิดขึ้นกับผนังไซโล

$$Vy = (y - Qy)\, R \qquad (9)$$

โดยที่ R = Hydraulic radius ของไซโลรูปหน้าตัดต่าง ๆ เช่นเดียวกับวิธีของแจนเสน (ดูรูปที่ 3.2)

รูปที่ 3.2 แสดงมิติต่าง ๆ ของไซโลที่ใช้ในการวิเคราะห์สูตรสำเร็จของแจนเสนและเร็มเบิร์ท



ค. วิธีของ ACI (ACI Method)

สถาบันคอนกรีตอเมริกัน (American Concrete Institute, ACI)ได้สร้างสูตรสำเร็จโดยใช้ผลการวิเคราะห์แรงดันในไซโลตามวิธีของแจนเสนและเร็มเบิร์ท ในลักษณะการบรรจุมวลเมล็ดอยู่ในสภาพไม่เคลื่อนตัว และใช้แฟคเตอร์ (Cd) หรือ (Ci) ซึ่งเป็นแฟคเตอร์ชดเชยแรงดันที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเคลื่อนตัวหรือกระแทกตัวของวัสดุที่บรรจุในไซโลตามข้อเสนอแนะของ ACI Committee 313 ได้สูตรสำเร็จดังนี้

สูตรสำหรับแรงดันในแนวดิ่งที่กระทำกับพื้นไซโลที่ใช้เพื่อการออกแบบ คือ

$$(Qy)\ design = Cd \cdot Qy \qquad (10)$$

หรือ $$(Qy)\ design = Ci \cdot Qy \qquad (11)$$

และสูตรสำหรับแรงดันด้านข้างที่กระทำกับผนังไซโลที่ใช้เพื่อการออกแบบคือ

$$(Py)\ design = Cd \cdot Py \qquad (12)$$

หรือ $$(Py)\ design = Ci \cdot Py \qquad (13)$$

กำหนดให้เลือกใช้ค่าที่มากกว่าระหว่างสมการที่ (10) กับ (11) และสมการที่ (12)กับ (13) ในการออกแบบ

ค่าแฟคเตอร์ชดเชยแรงดันเพิ่มอันเนื่องจากการเคลื่อนตัว (Overpressure Correction factor, Cd) และค่าแฟคเตอร์ชดเชยแรงดันเพิ่มอันเนื่องจากการกระแทกตัวของวัสดุ (Impoet Correction factor, Ci) สามารถหาได้จากตารางที่ 3.1และ 3.2 จากตารางดังกล่าวจะพบว่าค่า Cd นั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อขนาดความกว้างหรือเส้นผ่าศูนย์กลาง (H/D) ของไซโลและเปลี่ยนแปลงไปตามความลึกจากผิววัสดุที่บรรจุโดยจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความลึกมากขึ้น และจะสังเกตุเห็นว่า ค่า Cd ซึ่งใช้กับหน่วยของแรงแรงดันที่คำนวณโดยวิธีแจนเสน จะสูงกว่าที่ใช้กับหน่วยของแรงที่คำนวณได้โดยวิธีของเร็มเบิร์ท ทั้งนี้ก็เนื่องจากวิธีของแจนเสนจะให้ค่าของหน่วยแรงดันที่คำนวณได้ต่ำกว่าวิธีของเร็มเบิร์ทนั่นเอง สำหรับค่า Ci นั้น จะขึ้นอยู่กับปริมาตรของวัสดุที่ใช้บรรจุ ในแต่ละครั้ง โดยให้ค่าที่ใช้กับไซโลชนิดที่มีพื้นเป็นเหล็กและคอนกรีตแตกต่างกัน

ตารางที่ 3.1 ค่า Overpressure factor, Cd โดย ACI-313

OVERPRESSURE FACTOR C_d																			
		$\frac{H}{D} < 2$		$2 = \frac{H}{D} < 3$		$3 = \frac{H}{D} < 4$		$4 = \frac{H}{D} < 5$		$\frac{H}{D} \geq 5$									
OVERPRESSURE FACTOR C_d สำหรับการออกแบบพื้นด้านล่างของไซโล		JANSSEN		REIMBERT		JANSSEN		REIMBERT		JANSSEN		REIMBERT		JANSSEN		REIMBERT		JANSSEN	
คอนกรีต	เหล็ก	1,35	1,45	1,10	1,20	1,47	1,55	1,20	1,30	1,50	1,60	1,25	1,35	1,60	1,70	1,30	1,40	1,65	1,75
1,35	1,50	1,55	1,65	1,45	1,65	1,65	1,75	1,55	1,75	1,75	1,85	1,60	1,85	1,80	1,90	1,70	1,90	1,90	2,00
1,50	1,75	1,65	1,75	1,55	1,75	1,75	1,85	1,60	1,85	1,85	1,90	1,70	1,90	1,90	2,00	1,75	2,00	2,00	2,00
1,35	1,50	1,55	1,65	1,45	1,65	1,65	1,75	1,55	1,75	1,75	1,85	1,60	1,85	1,80	1,90	1,70	1,90	1,90	2,00
1,50	1,75	1,65	1,75	1,55	1,75	1,75	1,85	1,60	1,85	1,85	1,90	1,70	1,90	1,90	2,00	1,75	2,00	2,00	2,00
1,36	1,50	1,55	1,65	1,45	1,65	1,65	1,75	1,55	1,75	1,75	1,85	1,60	1,85	1,80	1,90	1,70	1,90	1,90	2,00
1,50	1,75	1,65	1,75	1,55	1,75	1,75	1,85	1,60	1,85	1,85	1,90	1,70	1,90	1,90	2,00	1,75	2,00	2,00	2,00
1,36	1,50	1,55	1,65	1,45	1,65	1,65	1,75	1,55	1,75	1,75	1,85	1,60	1,85	1,80	1,90	1,70	1,90	1,90	2,00
1,50	1,75	1,65	1,75	1,55	1,75	1,75	1,85	1,60	1,85	1,85	1,90	1,70	1,90	1,90	2,00	1,75	2,00	2,00	2,00
1,50	1,75	1,65	1,75	1,55	1,75	1,75	1,85	1,60	1,85	1,85	1,90	1,70	1,90	1,90	2,00	1,75	2,00	2,00	2,00
1,56	1,75	1,65	1,75	1,55	1,75	1,75	1,85	1,60	1,85	1,85	1,90	1,70	1,90	1,90	2,00	1,75	2,00	2,00	2,00
1,50	1,75	1,65	1,75	1,55	1,75	1,75	1,85	1,60	1,85	1,85	1,90	1,70	1,90	1,90	2,00	1,75	2,00	2,00	2,00

ตาราง 3.2 ค่าต่ำสุดของ IMPACT FACTOR C_i โดย ACI-313

อัตราส่วนของปริมาตรที่บรรจุเทลงต่อน้ำหนักไซโลทั้งหมด		1:2	1:3	1:4	1:5	1:6 และน้อยกว่า
IMPACT FACTOR C_1	พื้นคอนกรีต	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0
	พื้นเหล็ก	17	1660	1.50	1.33	1.25

3.1.3 การวิเคราะห์พฤติกรรมระหว่างมวลเมล็ดและไซโลโดยวิธีไฟไนท์เอลลิเมนท์

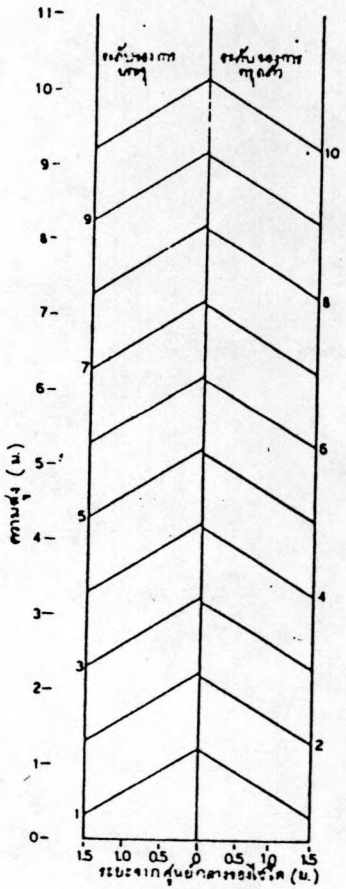
โดยเหตุที่ความหนาแน่นของมวลเมล็ดในไซโล มีความแตกต่างกัน ทุกระดับความสูงของไซโล ดังได้กล่าวแล้ว จึงทำให้มุมแห่งความฝืดภายในและแรงเสียดทาน ระหว่างมวลเมล็ดที่บรรจุกับผนังของไซโลเปลี่ยนแปลงไปด้วย ในการคำนวณแรงดันในไซโล โดยวิธีของแจนเสนหรือของเร็มเบิร์ท จะพบว่าค่าของความหนาแน่น สัมประสิทธิ์ ความเสียดทานหรือความฝืดระหว่างมวลเมล็ดบรรจุกับผนังของไซโล ตลอดจนอัตราส่วนของแรงดันด้านข้าง ต่อแรงดันในแนวดิ่ง จะใช้เป็นเพียงค่าประมาณและคงที่ตลอดความลึกของไซโล จึงทำให้ผลการ คำนวณแรงดันไม่ถูกต้องตามลักษณะที่เป็นจริงได้

การวิเคราะห์พฤติกรรมทางโครงสร้างระหว่างมวลบรรจุและไซโล ที่ใช้เก็บโดยวิธีไฟไนท์เอลลิเมนท์นี้ เป็นวิธีที่ค่อนข้างละเอียด วิธีหาผลลัพธ์ ใช้การเปลี่ยนรูปสมการดิฟเฟอเรนเชียล ไปอยู่ในรูปของสมการเชิงเส้น โดยทำการวิเคราะห์ไซโล 3 ขนาดคือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3, 6 และ 12 เมตร ผนังของไซโลทำด้วยเหล็กหนา 3 มิลลิเมตรมวลเมล็ดที่ใช้ในการวิเคราะห์ เป็นข้าวเปลือกจ้าว พันธุ์ กข. 1 ขนาดของเมล็ดยาวโดยเฉลี่ย 7.1 มิลลิเมตร กว้าง 2.3 มิลลิเมตร และหนา 1.9 มิลลิเมตร ในสภาพหลวมตัวตรวจสอบได้ค่าประมาณ 615 - 618 กิโลกรัม ต่อลูกบาศก์เมตร ที่ความชื้นประมาณ 13- 15 เปอร์เซนต์ การวิเคราะห์พฤติกรรมต่าง ๆ สรุปได้ คือ

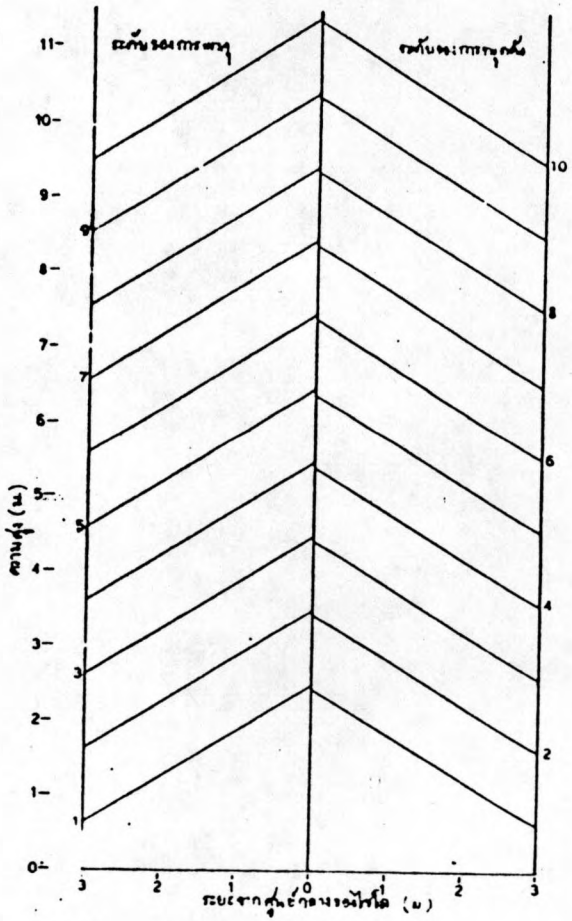
ก. การทรุดตัวของมวลเมล็ดบรรจุ

รูปที่ 3.3 แสดงผลการวิเคราะห์การทรุดตัวของมวลเมล็ดบรรจุครั้งสุดท้ายของแต่ละชั้นสำหรับไซโล ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3, 6 และ 12 เมตรตามลำดับ โดยด้านซ้ายมือของเส้นผ่าศูนย์กลางแสดงระดับของมวลบรรจุแต่ละชั้นขณะเมื่อยังไม่มีการทรุดตัว ส่วนทางด้านขวามือเป็นระดับของแต่ละชั้นที่มวลบรรจุทรุดตัวลง เมื่อได้บรรจุจนถึงชั้นสุดท้ายแล้ว พบว่าที่บริเวณจุดศูนย์กลางมวลเมล็ดบรรจุมีการทรุดตัวมากกว่าจุดอื่น ๆ ที่ห่างออกไป และจุดสัมผัสกับผนังไซโลจะมีการทรุดตัวน้อยที่สุด ทั้งนี้สรุปได้ว่า เพราะพฤติกรรมการเกิดความฝืดระหว่างมวลบรรจุและผนังของไซโลได้ช่วยรั้งการทรุดตัวของมวลเมล็ดในบริเวณใกล้กับผิวสัมผัสไว้และยังสรุปได้ว่าการทรุดตัวของมวลที่บรรจุจะยิ่งมากขึ้น เมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้นด้วย

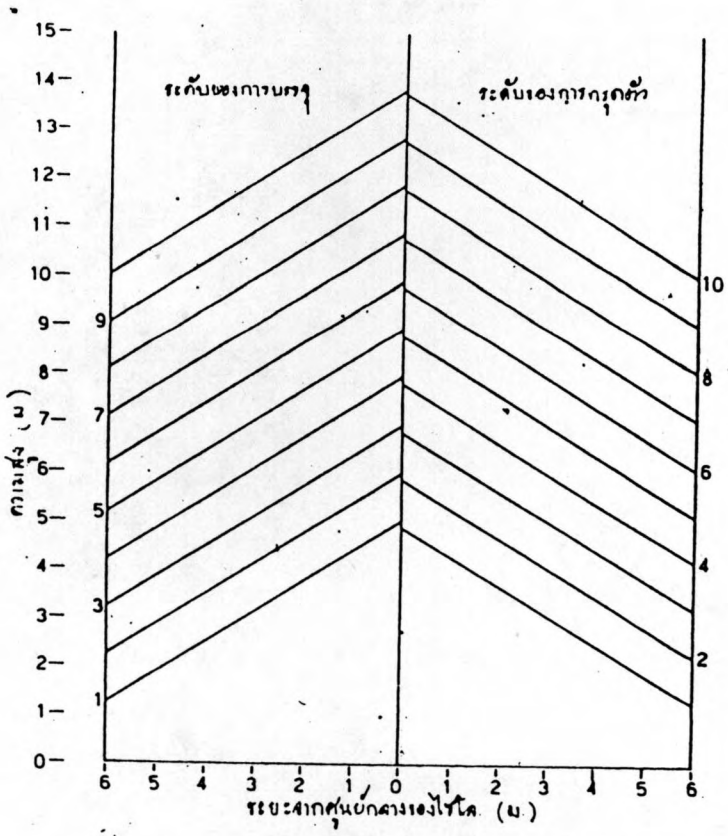
รูปที่ 3.3 แสดงผลการวิเคราะห์การทรุดตัวของมวลเบล็ดในไซโล โดยวิธีไฟไนท์เอลลิเมนท์



ก.การทรุดตัวของข้าวเปลือกในไซโลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เมตร



ข.การทรุดตัวของข้าวเปลือกในไซโลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 เมตร



ค. การทรุดตัวของข้าวเปลือกในไซโลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 เมตร

ข. แรงดันด้านข้างของมวลบรรจุต่อผนังไซโล

รูปที่ 3.4 แสดงการกระจายของหน่วยแรงดันด้านข้างของมวลเมล็ดบรรจุที่มีต่อผนังของไซโล โดยแสดงไว้ทุกขั้นตอนการบรรจุ เส้นที่ใช้แสดงหน่วยแรงดันด้านข้างนั้นประกอบด้วยเส้นประ และเส้นทึบ ช่วงเส้นประหมายความว่า ในช่วงดังกล่าวมวลบรรจุมีการลื่นไถลในขั้นตอนการบรรจุในชั้นนั้น ส่วนเส้นทึบหมายถึงไม่มีการลื่นไถล ซึ่งเป็นผลของความฝืดเกิดขึ้นระหว่างมวลบรรจุและผนังไซโล

แรงดันด้านข้างของมวลบรรจุ จะมีค่ามากที่สุดที่ระดับความสูงจากพื้นของไซโลเล็กน้อย โดยจะให้ผลที่แตกต่างจากวิธีการวิเคราะห์ โดยใช้สูตรสำเร็จซึ่งให้ค่าแรงดันด้านข้างมากที่สุดที่ตำแหน่งพื้นของไซโล ความแตกต่างนี้อธิบายได้ดังนี้ คือ ในการวิเคราะห์ ด้วยวิธีไฟไนท์เอลสิเมนท์ ได้จำลองสภาพความฝืดระหว่างพื้นของไซโลและมวลบรรจุเข้าไว้ด้วยทำให้ใกล้เคียงกับสภาพเป็นจริง โดยผลการวิเคราะห์แรงดันด้านข้างที่พื้นไซโลเป็นศูนย์ และจะเพิ่มขึ้นจนมากที่สุด ที่ระดับสูงจากพื้นไซโลเล็กน้อย บริเวณขอบระหว่างพื้นและผนัง จึงเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า มุมอับขึ้น

สภาพการกระจายของแรงดันด้านข้างของมวลเมล็ดบรรจุต่อผนังไซโลตลอดความสูงจากรูป 3.4 ให้ข้อสังเกตุว่า ไซโลที่มีความสูงมากและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็ก จะทำให้แรงดันด้านข้างมีค่ามากที่สุด เกือบตลอดความสูงของไซโล ซึ่งอาจสรุปได้ว่า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมีอิทธิพลต่อการเพิ่มขนาดของหน่วยแรงดันเป็นอย่างมาก

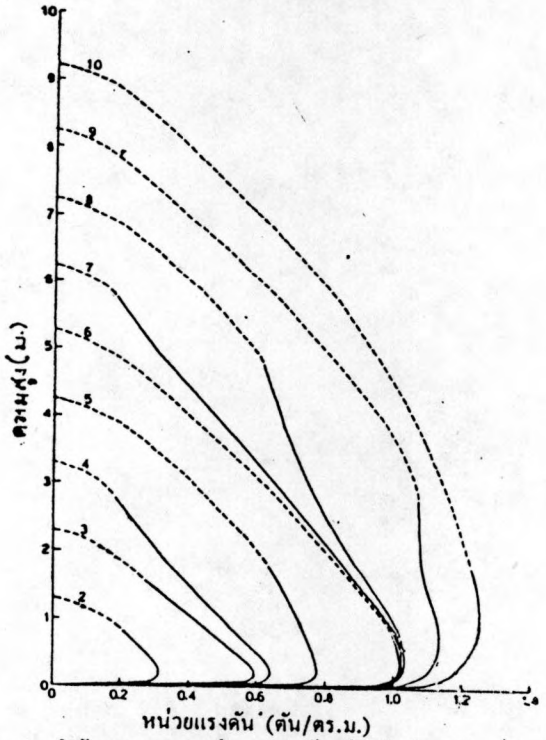
ค. ความหนาแน่นของมวลเมล็ดที่บรรจุ

รูปที่ 3.5 แสดงคอนทัวร์ ระดับความหนาแน่นของมวลเมล็ดบรรจุภายในไซโล การทรุดตัวของมวลบรรจุทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ลักษณะของคอนทัวร์ให้ข้อสังเกตุว่า มวลบรรจุจะมีการเพิ่มความหนาแน่นสม่ำเสมอเป็นชั้น ๆ ตามความลึกของผิวบนลงไปจนถึงระดับซึ่งมวลบรรจุได้มีการลื่นไถลเทียบกับผนังไซโลในระหว่างขั้นตอนของการบรรจุ

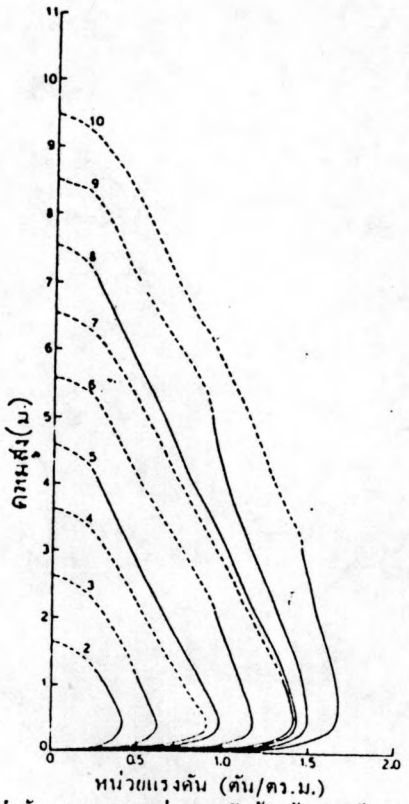
ความหนาแน่นของมวลบรรจุบริเวณศูนย์กลางไซโล จะมีค่าสูงกว่าของมวลที่บรรจุอยู่ใกล้บริเวณผนังไซโลที่ระดับความลึกเดียวกัน อันเป็นผลเนื่องจากน้ำหนักทั้งหมดของมวลบรรจุที่อยู่ตอนบน จะถ่ายลงสู่มวลบรรจุตอนล่าง ซึ่งไม่มีการลื่นไถล เพราะไม่มีแรงฝืดที่บริเวณ ผิวสัมผัสช่วยรั้งน้ำหนักเอาไว้ ทำให้บริเวณศูนย์กลางทรุดตัวได้ มากกว่าบริเวณอื่น

i17480926

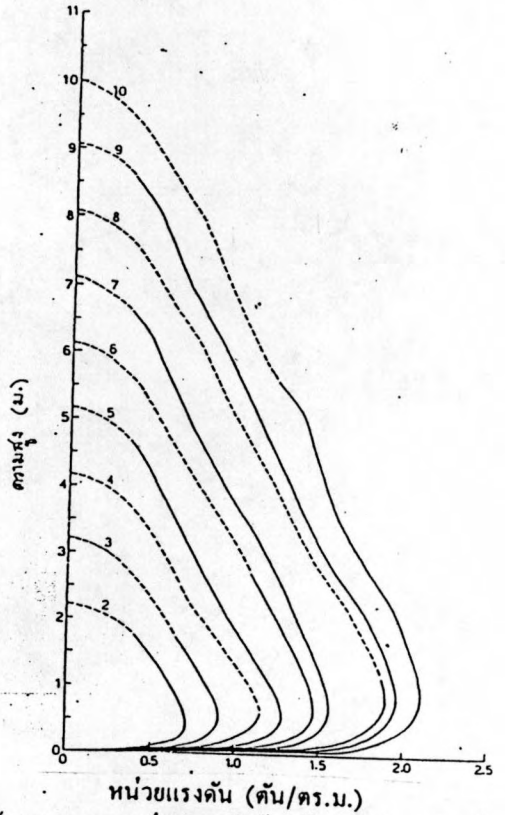
รูปที่ 3.4 แสดงการกระจายของหน่วยแรงดันด้านข้างของมวลเมล็ดต่อผนังไซโล โดยวิธีไฟไฟท์เอลลิเมนท์



ก. ลำดับการกระจายหน่วยแรงดันด้านข้างของข้าวเปลือกที่กระทำต่อผนังไซโล ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เมตร

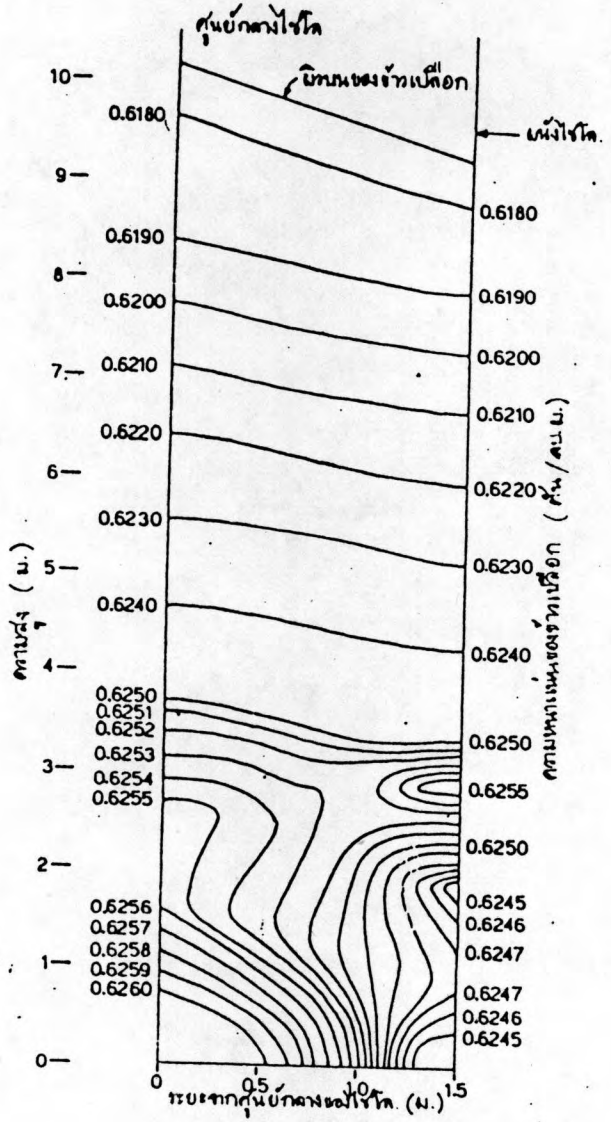


ข. ลำดับการกระจายหน่วยแรงดันด้านข้างของข้าวเปลือกที่กระทำต่อผนังไซโล ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 เมตร

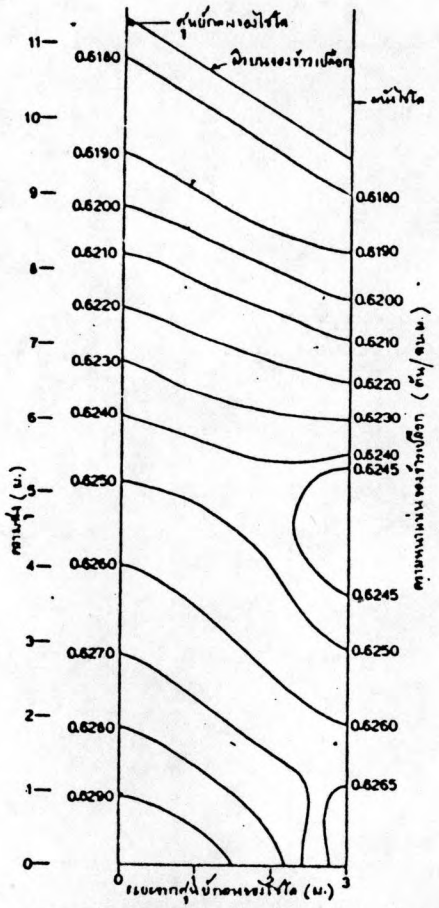


ค. ลำดับการกระจายหน่วยแรงดันด้านข้างของข้าวเปลือกที่กระทำในไซโล ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 เมตร

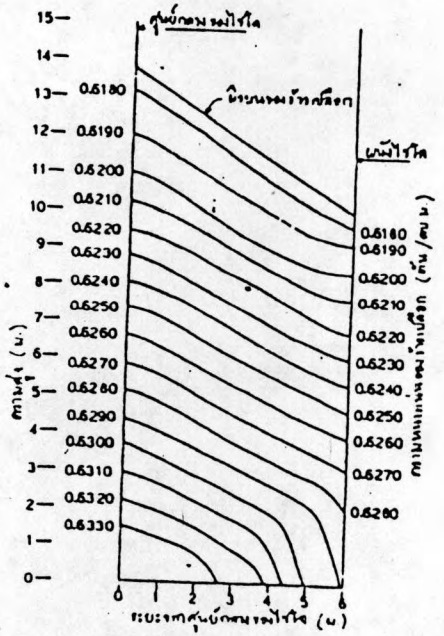
รูปที่ 3.5 แสดงคอนทัวร์ระดับความหนาแน่นของข้าวเปลือกในไซโล โดยวิธีไฟไนท์เอลลิเมนท์



ก คอนทัวร์ระดับความหนาแน่นของข้าวเปลือกใน
ไซโลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เมตร



ข คอนทัวร์ระดับความหนาแน่นของข้าวเปลือกใน
ไซโลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 เมตร



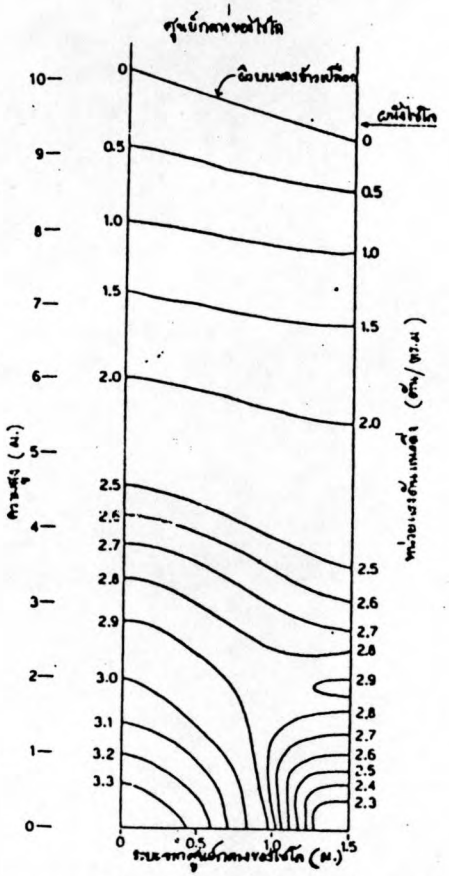
ค คอนทัวร์ระดับความหนาแน่นของข้าวเปลือกใน
ไซโลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 เมตร

ถ้าเอาคอนทัวร์ความหนาแน่นของมวลบรรจุเปรียบเทียบกับการกระจายหน่วยแรงดันของมวลบรรจุต่อผนังไซโล จะพบว่าที่บริเวณตามผิวสัมผัสระหว่างมวลบรรจุกับผนังไซโล ความหนาแน่นและหน่วยแรงดันด้านข้างจะคล้อยตามกัน กล่าวคือหากความหนาแน่นต่ำ หน่วยแรงดันด้านข้างจะต่ำลงด้วย และสำหรับไซโลที่มีความสูงเท่ากัน ความหนาแน่นจะแปรผันตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของไซโล

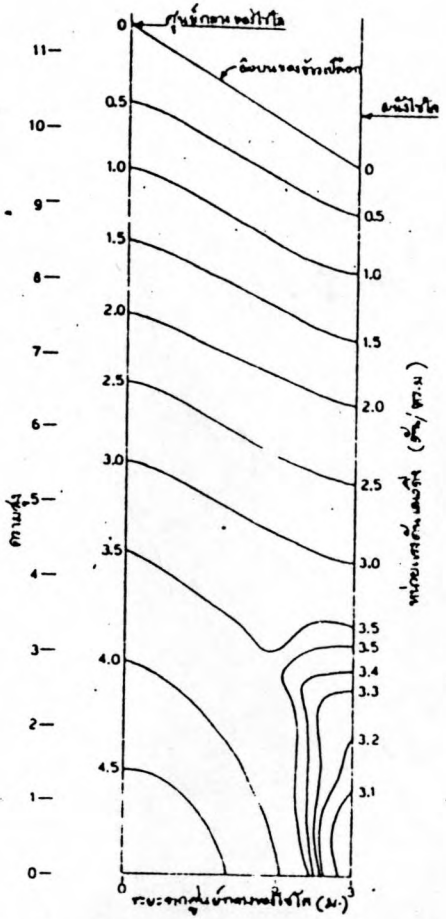
ง. แรงดันแนวดิ่งของมวลบรรจุภายในไซโล

ในระหว่างขั้นตอนการบรรจุ อัตราการเพิ่มของหน่วยแรงดันแนวดิ่งที่บริเวณศูนย์กลางไซโลจะมากกว่าบริเวณอื่น ๆ นอกจากนี้อัตราการเพิ่มของหน่วยแรงดันแนวดิ่งของการบรรจุมวลวัสดุในแต่ละชั้นจะค่อย ๆ ลดลง ทั้งนี้เพราะมวลบรรจุจะมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ทำให้วัสดุต้านทานแรงอัดตัวได้ดีขึ้นด้วย สำหรับบางชั้นเท่านั้นที่มีอัตราการเพิ่มของหน่วยแรงดันแนวดิ่งสูงขึ้น เนื่องจากในขั้นตอนการบรรจุชั้นนั้นในตอนบนมีการลื่นไถล ซึ่งจะทำให้ทั้งหน่วยแรงดันแนวดิ่งและด้านข้างเพิ่มขึ้นอย่างมากมายหลังการบรรจุเสร็จสิ้นแล้ว จะพบว่า แรงดันแนวดิ่งที่จุดศูนย์กลางไซโลมีค่ามากกว่าที่จุดผนังไซโลหลายเท่า ซึ่งเป็นข้อที่ต้องควรคำนึงในการออกแบบ พื้นไซโลด้วย รูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7 แสดงคอนทัวร์ ระดับหน่วยแรงดันแนวดิ่งของมวลที่บรรจุและสภาพการกระจายหน่วยแรงดันแนวดิ่งที่กระทำต่อพื้นไซโล ขนาดต่าง ๆ

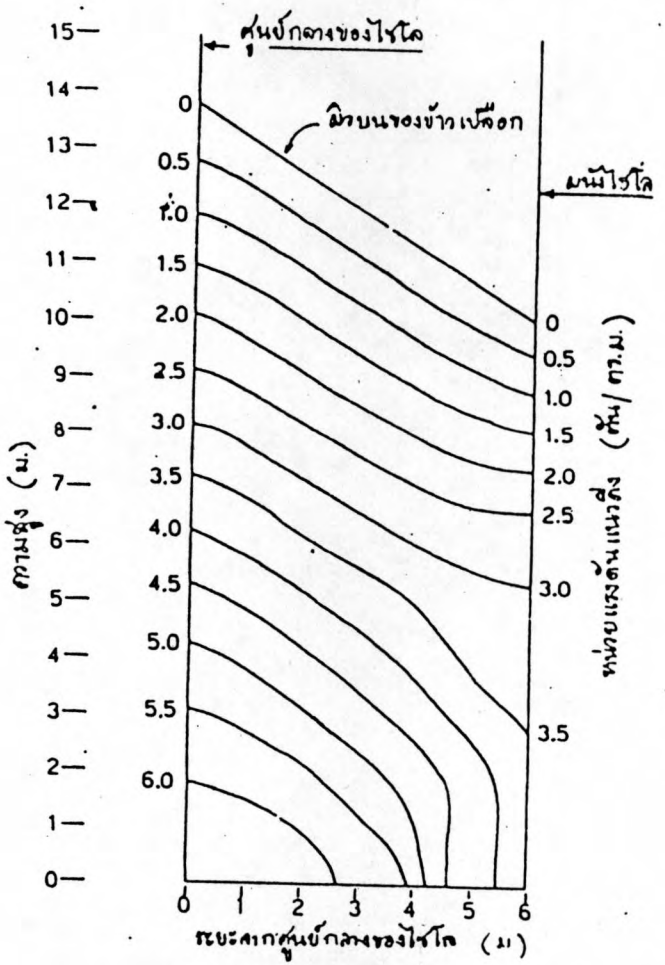
รูปที่ 3.6 แสดงคอนทัวร์ระดับหน่วยแรงดันแนวดิ่งของข้าวเปลือกในไซโล โดยวิธีไฟไนท์เอลลิเมนท์



ก. คอนทัวร์ระดับหน่วยแรงดันแนวดิ่งของข้าวเปลือก ในไซโลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เมตร

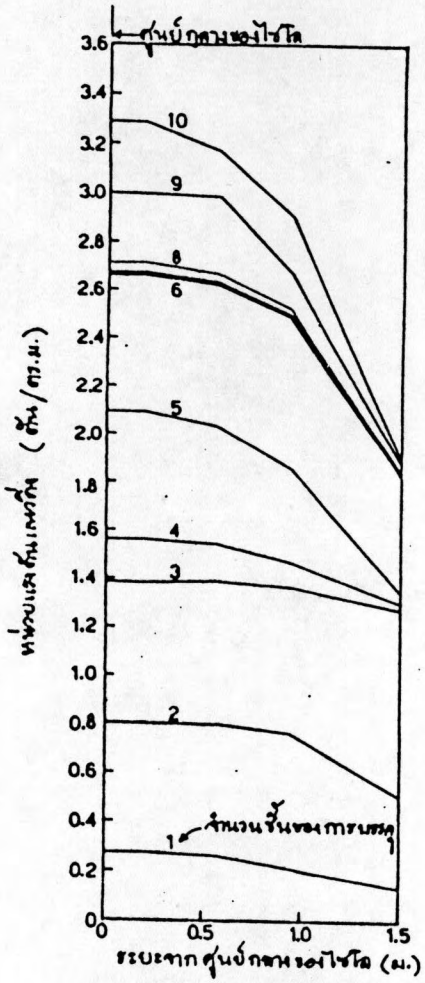


ข. คอนทัวร์ระดับหน่วยแรงดันแนวดิ่งของข้าวเปลือก ในไซโลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 เมตร

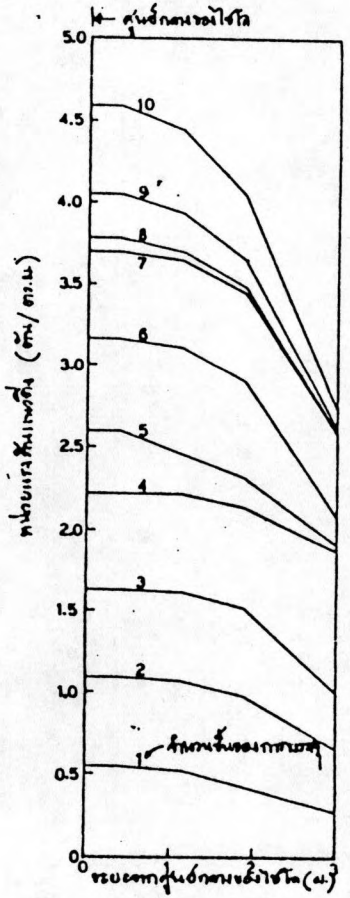


ค. คอนทัวร์ระดับหน่วยแรงดันแนวดิ่งของข้าวเปลือก ในไซโลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 เมตร

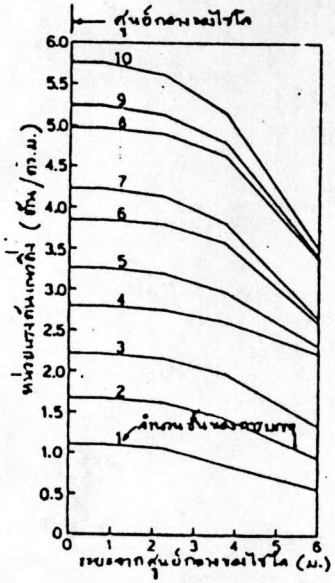
รูปที่ 3.7 แสดงสภาพการกระจายหน่วยแรงดันแนวดิ่งของข้าว เปลือกที่กระทำต่อพื้นที่ในไซโล



ก. สภาพการกระจายหน่วยแรงดันแนวดิ่งของข้าวเปลือก ที่กระทำต่อพื้นไซโลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เมตร



ข. ลำดับการกระจายหน่วยแรงดันแนวดิ่งของข้าวเปลือก ที่กระทำต่อพื้นไซโลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 เมตร



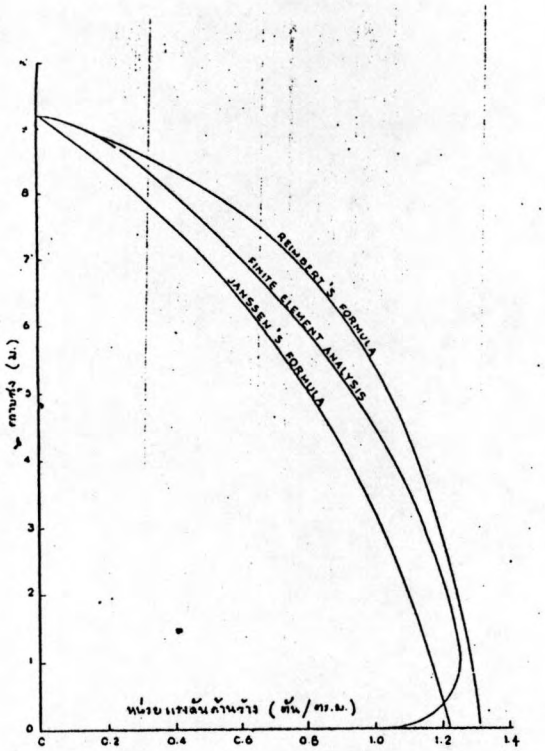
ค. ลำดับการกระจายหน่วยแรงดันของข้าวเปลือกที่ กระทำต่อพื้นไซโลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 เมตร

3.1.4 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนท์เอลสิเมนท์กับสูตรสำเร็จ

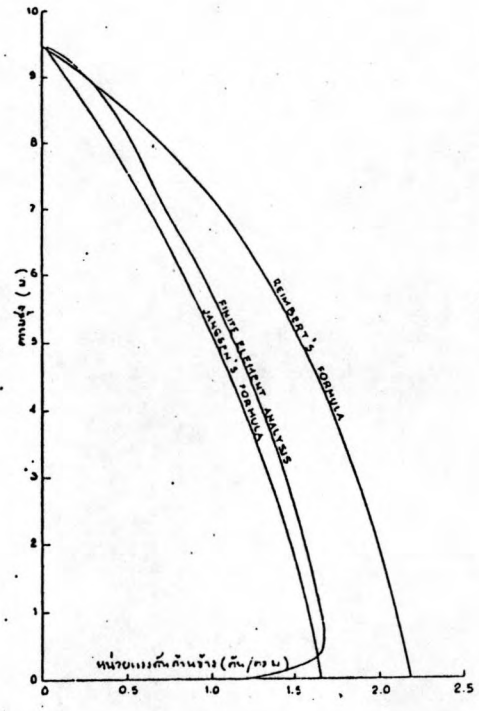
รูปที่ 3.8 แสดงการกระจายหน่วยแรงดันด้านข้างของมวลเมล็ดบรรจุที่กระทำต่อผนังไซโล โดยเปรียบเทียบจากวิธีไฟไนท์เอลสิเมนท์กับสูตรสำเร็จของแจนเสนและเร็มเบิร์ท

ACI ได้แนะนำให้ใช้สูตรสำเร็จในการคำนวณหาหน่วยแรงดันด้านข้างของมวลบรรจุที่กระทำต่อผนังไซโล และเป็นสูตรที่นิยมใช้กันมาก ข้อสังเกตุในการใช้สูตรสำเร็จทั้งสองคือ การใช้สูตรของเร็มเบิร์ทจะให้หน่วยแรงดันด้านข้างมากกว่าวิธีไฟไนท์เอลสิเมนท์ ในขณะที่ของแจนเสนให้ค่าที่ใกล้เคียงกับวิธีไฟไนท์เอลสิเมนท์ที่ค่า μ เท่ากัน

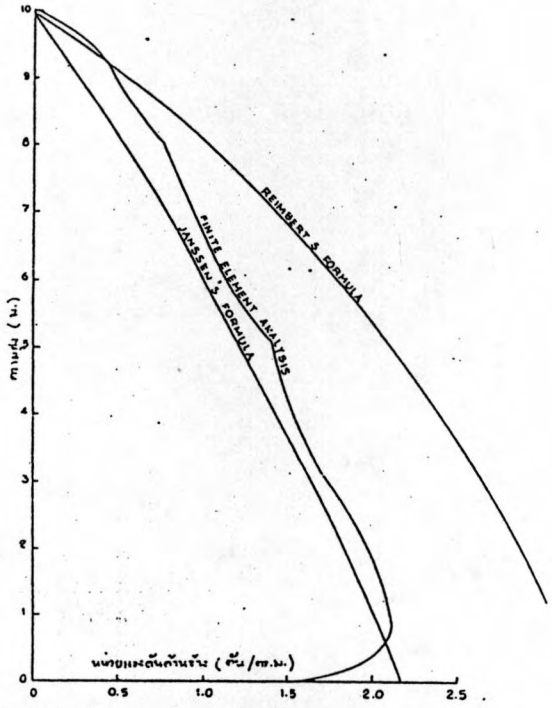
รูปที่ 3.8 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายหน่วยแรงดันด้านข้างของมวลเมล็ดต่อผนังไซโล



ก. การเปรียบเทียบการกระจายหน่วยแรงดันด้านข้างของไซโลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เมตร โดยวิธีไฟไนท์เอลลิเมนต์และการใช้สูตรสำเร็จสำหรับข้าวเปลือก



ข. การเปรียบเทียบการกระจายหน่วยแรงดันด้านข้างของไซโลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 เมตร โดยวิธีไฟไนท์เอลลิเมนต์และการใช้สูตรสำเร็จสำหรับข้าวเปลือก



ค. การเปรียบเทียบการกระจายหน่วยแรงดันด้านข้างของไซโลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 เมตร โดยวิธีไฟไนท์เอลลิเมนต์และการใช้สูตรสำเร็จสำหรับข้าวเปลือก

3.2 ทฤษฎี เกี่ยวกับความชื้นและสมดุลย์ความชื้นใน เมล็ดพืช

ในการ เก็บรักษาผลิตผลทาง เกษตรกรรม ให้คงสภาพอยู่ได้นานมากน้อย เพียงใด นั้น สามารถกล่าวได้ว่ามีความชื้น เป็นตัวกำหนดที่สำคัญมากตัวหนึ่ง เพราะปฏิกริยาทางชีววิทยา ที่จะ เกิดขึ้นกับผลผลิตได้ ก็ต่อ เมื่อมีความชื้นที่ เอื้ออำนวย ซึ่งจะมีผลแตกต่างกันออกไป ตามระดับความชื้นที่มีอยู่ อาทิ ที่ระดับความชื้นสูงก็อาจ เกิดการงอกของ เมล็ดได้ หรือรองลงมา ก็ เป็นสา เหตุให้ เกิด เชื้อราหรือแบคทีเรีย ตลอดจนการ เจริญ เติบโตของแมลงที่กัดกินต่าง ๆ อีกด้วย

3.2.1 ความชื้นและสมดุลย์ของความชื้น

ความชื้นที่มีอยู่ใน เมล็ดนั้น แยก เป็น 2 ชนิดด้วยกัน คือ ชนิดที่ เป็นน้ำ อยู่ภายในของ เมล็ด ซึ่ง เป็นส่วนประกอบของ เซล เมล็ดพืช และอีกส่วนหนึ่งคือ น้ำที่อยู่ผิวนอกของ เมล็ด ซึ่งถูกดูดซับไว้ที่ผิวของ เมล็ด ความชื้นประ เภทหลังนี้มีความสำคัญที่ทำให้คุณภาพและระยะ เวลาใน การ เก็บรักษา เมล็ดถูกกำหนดในขอบ เขตจำกัด

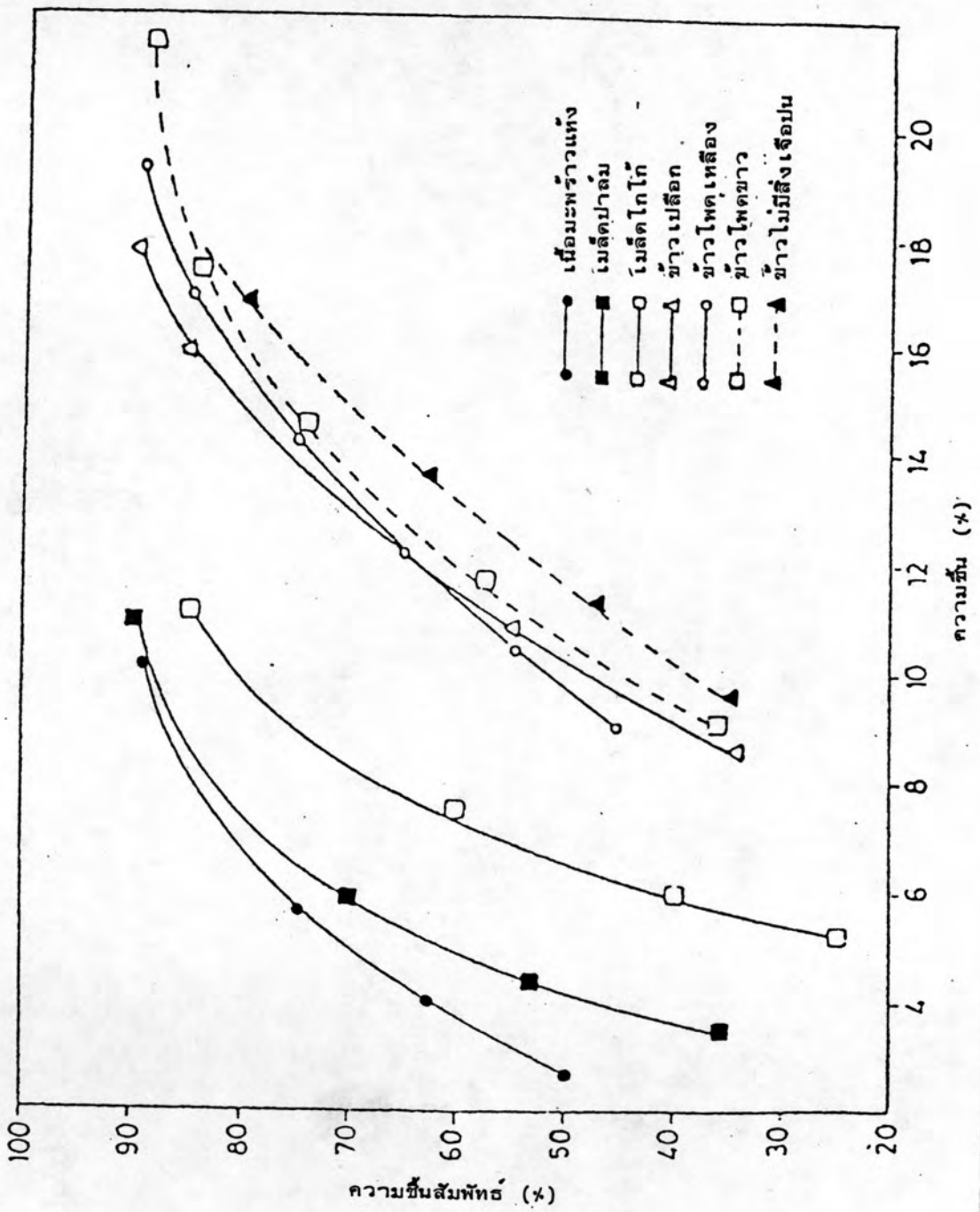
ส่วนความชื้นสัมพัทธ์นั้น จะหมายถึงอัตราส่วนของปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ เมื่อ เทียบกับปริมาณไอน้ำสูงสุดที่จะมีในอากาศขณะนั้น คูณด้วย 100 เป็น เปอร์ เซนต์ ดังนั้น อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง ก็จะรับไอน้ำได้อีกไม่มาก

เมล็ดพืชมีคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่แสดงความสมดุลย์ระหว่างความชื้นภายใน เมล็ดกับไอน้ำในบรรยากาศรอบข้าง คุณสมบัตินี้ เรียกว่า ความสมดุลย์ของปริมาณความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์ ดังนั้น เมล็ดพืชที่มีความชื้นสัมพัทธ์มาก มาสัมผัสกับอากาศ ความชื้นจะถูกถ่าย เท เคลื่อนจาก เมล็ดพืชสู่อากาศ จนกระทั่ง เกิดความสมดุลย์ของความชื้นนั้น เหตุการณ์จึงหยุดลง จากการทดลองพบว่า การ เปลี่ยนแปลงความชื้นนั้น ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วยและปริมาณที่ เกิดจะมาก หรือน้อย จะขึ้นอยู่กับชนิดของ เมล็ดพืช ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิในขณะนั้น

การที่ เมล็ดพืชจะ เข้าสู่สมดุลย์ของความชื้นได้นั้น ขึ้นอยู่กับสภาวะการณ์ หลายอย่าง เช่น ถ้าหาก เมล็ดถูก เก็บไว้ในที่ที่ไม่มีอากาศไหลผ่าน อากาศส่วนที่สัมผัสอยู่กับ เมล็ดพืชจะ เข้าสู่สมดุลย์ทางความชื้นโดยขึ้นอยู่กับความชื้นของ เมล็ดพืช เองอย่าง เดียว แต่ถ้าหากว่ามีอากาศไหลผ่าน เมล็ดพืชนั้น มีอากาศไหลผ่านปริมาณความชื้นของ เมล็ดพืชจะถูกกำหนดด้วยความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ไหลผ่าน และ เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ถูกกำหนดไว้ด้วยอุณหภูมิ และความชื้นในอากาศ ดังนั้นถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นขณะที่ความชื้นถูกรักษาให้คงที่ จะพบว่าความชื้นสัมพัทธ์ จะลดลง

ดังนั้น การนำเอาอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำมาใช้ จะได้ผลดีที่สุด ในการรักษาระดับความชื้นในเมล็ดพืช รูปที่ 3.9 แสดงให้เห็นการลดค่าความชื้นสัมพัทธ์เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป

รูปที่ 3.9 กราฟเปอร์เซนต์ความชื้นกับความชื้นสัมพัทธ์ เมื่ออุณหภูมิตามปกติ



3.2.2 สมดุลย์ความชื้นของเมล็ด

การที่นำเอาเมล็ดออกผึ่งลมหรือเป่าลมแห้งผ่านกองของเมล็ด (ข้าวเปลือกหรือข้าวโพด เป็นต้น) จะทำให้เมล็ดคายความชื้นในเมล็ดให้กับอากาศที่ผ่านไปเรื่อย ๆ จนถึงระดับหนึ่ง จุดที่เมล็ดหยุดคายความชื้นในเมล็ดนี้ เรียกว่า จุดสมดุลย์ความชื้นของเมล็ดจุดสมดุลย์ความชื้นของเมล็ดนี้ จะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของลมที่เป่าผ่าน ซึ่งวัดได้โดยค่าของ ความชื้นสัมพัทธ์ ได้มีผู้ทำการทดลองพบว่า ความชื้นสัมพัทธ์มีอิทธิพลต่อการทำให้เมล็ดคายความชื้น มากกว่าอุณหภูมิของอากาศ ดังนั้นในการที่จะพยายามทำให้เมล็ดแห้งจนถึงจุดสมดุลย์ ความชื้นของเมล็ด จึงมักจะไม่นิยมนำอุณหภูมิมาเกี่ยวข้องโดยตรงต่อจุดสมดุลย์ดังกล่าว ตารางที่ 3.3 แสดงผลการทดลอง สมดุลย์ความชื้นของเมล็ดข้าวโพด ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนแปลง

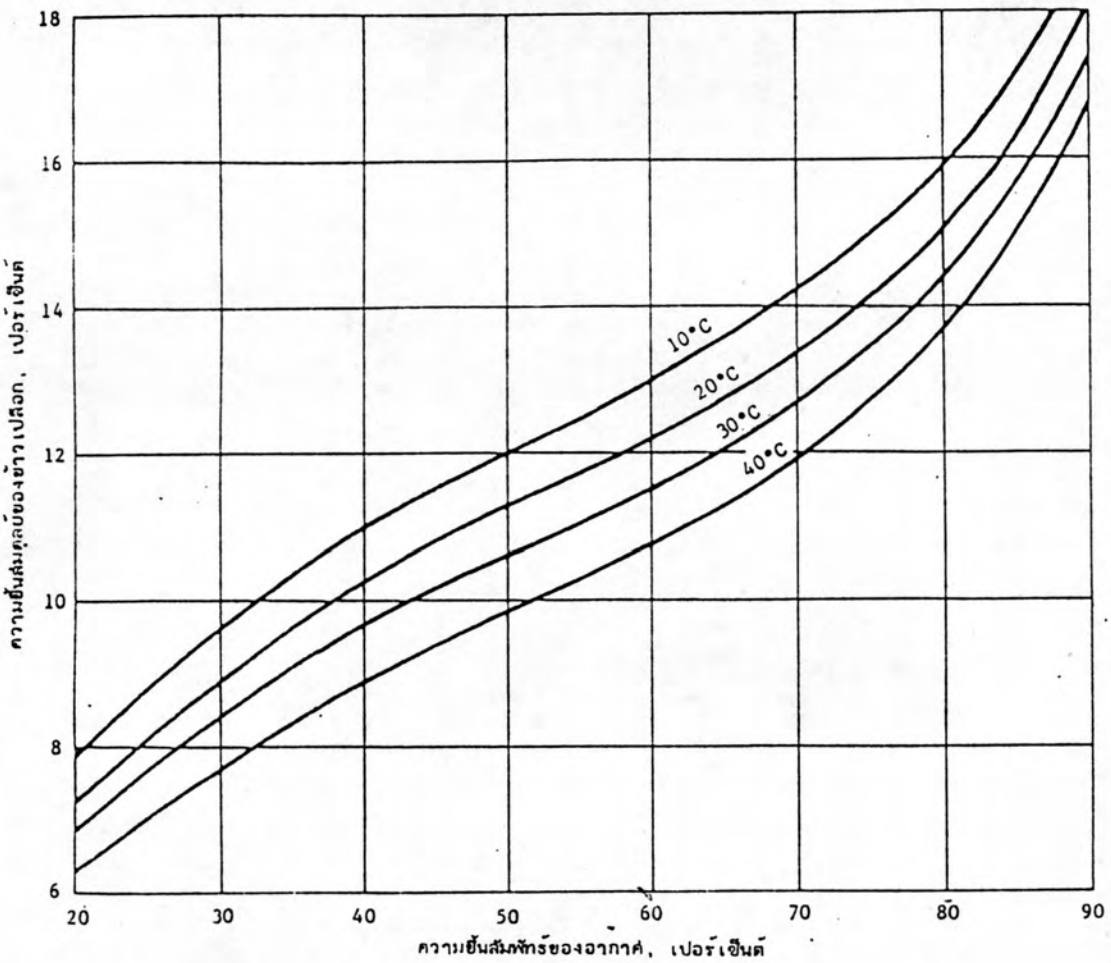
ตาราง 3.3 แสดงสมดุลย์ความชื้นของเมล็ดข้าวโพด

ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	20	30	40	50	60	70	80	90
สมดุลย์ความชื้นของเมล็ดข้าวโพด (%)	7	8	10	11	13	14	15	19

จากผลการทดลองข้างต้น อธิบายได้ดังนี้คือ ถ้านำเมล็ดออกผึ่งลมไว้ที่ ๆ อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ 60 % ในที่สุดความชื้นในเมล็ดข้าวโพดก็จะมีค่าเป็น 13 % ข้อที่น่าสังเกตุคือ จุดสมดุลย์นี้จะมีผลทั้งทางบวกและทางลบ กล่าวคือในทางบวก เมล็ดที่มีความชื้น สูงกว่า 13 % ทิ้งผึ่งลมไว้ก็จะลดความชื้นจนเหลือ 13 % ในที่สุด ในทางลบ จะเกิดขึ้นในกรณีเมล็ดมีความชื้นต่ำกว่า 13 % อยู่แล้วการผึ่งลมหรือเป่าเข้าไปในไซโลเก็บ จะมีผลทำให้ เมล็ดกลับดูดความชื้นสะสมเข้าไปในเมล็ดจนถึง 13 % จึงจะหยุดสะสม ซึ่งเป็นข้อเสียที่ต้องตรวจสอบความชื้นของเมล็ดกับความชื้นสัมพัทธ์ของเมล็ดก่อนที่จะทำการอบแห้งใด ๆ

ในกรณีข้าวเปลือก สมดุลย์ความชื้นของข้าวเปลือกจะเปลี่ยนแปลง ไปตามอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ รูปที่ 3.10 เป็นกราฟแสดงสมดุลย์ความชื้น ของข้าวเปลือกที่เปลี่ยนแปลงตามความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ

รูปที่ 3.10 กราฟแสดงสมดุลย์ความชื้นในข้าว เปลือก ที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ



3.2.3 ระดับปริมาณความชื้นสำหรับการเก็บเมล็ดพืช

โดยทั่วไปแล้ว การเก็บเมล็ดพืชมีเป้าหมายที่แตกต่างกันออกไป ในกรณีของข้าวเปลือก พอแยกออกเป็น 3 ประเด็นคือ

1) เก็บไว้เพื่อรอการขาย

ในกรณีนี้ เกรดของข้าวเปลือกเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ราคาขายสูงหรือต่ำ เกรดของข้าวเปลือกอาจตกลงได้ ในระหว่างการเก็บ เนื่องจากความชื้นที่ระดับต่าง ๆ กัน ถ้าข้าวเปลือกมีความชื้นสูงกว่า 24 % และอุณหภูมิสูงกว่า 10°c ขึ้นไปเมื่อเก็บไว้ 1 วัน เกรดคุณภาพของข้าวจะตกลง จึงควรต้องอบหรือตากให้แห้งภายใน 24 ชั่วโมง ถ้าข้าวเปลือกมีความชื้น 21 - 24 % อุณหภูมิตั้งแต่ 10°c ขึ้นไปจะเก็บไว้ได้เพียง 3 วัน เกรดก็จะตกลง หรือที่ความชื้น 15 - 21 เปอร์เซนต์ อุณหภูมิสูงกว่า 10°c จะเก็บได้เพียง 5 วันเช่นกันหลังจากนั้นควรมีการอบหรือตาก

2) เก็บไว้เพื่อนำไปทำพันธุ์

ในกรณีนี้ เปอร์เซนต์ความงอกของเมล็ดข้าวเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง ข้าวเปลือกที่มีความชื้นตั้งแต่ 15 % อุณหภูมิสูงกว่า 30°c ความงอกของเมล็ดจะลดลงภายใน 5 วัน จึงควรทำการอบหรือตากโดยเร็ว ถ้ามีความชื้นตั้งแต่ 21 % ขึ้นไปที่ 25°c ขึ้นไปความงอกจะลดลงในวันที่ 3 หรือที่ความชื้น 15 - 21 % ที่ 25°c ความงอกจะลดลงหลังจากเก็บไว้ได้ 1 สัปดาห์

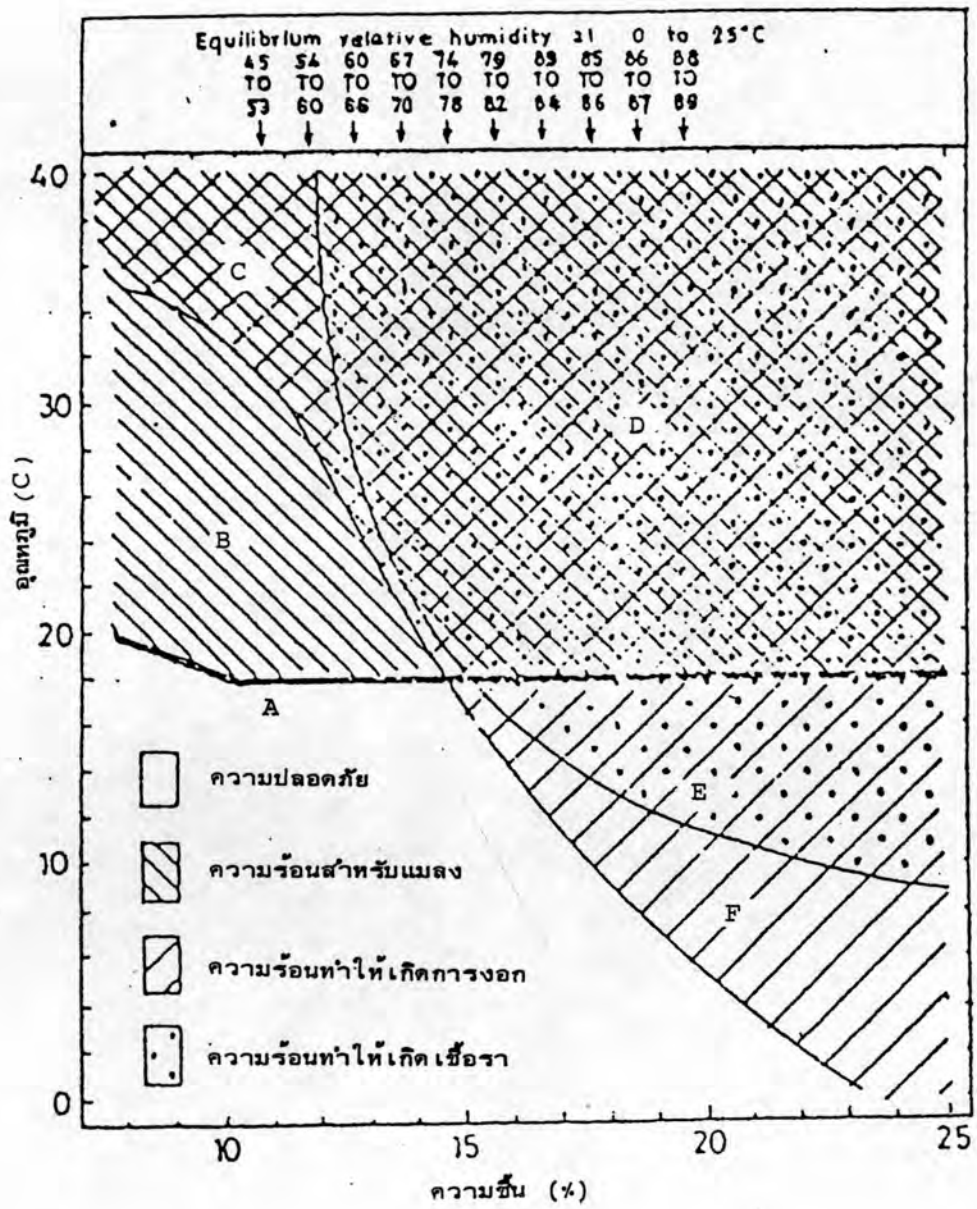
3) เก็บไว้เพื่อรอการแปรรูป

ถ้าต้องการเก็บข้าวเปลือกไว้สีเป็นข้าวสาร สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ เปอร์เซนต์ต้นข้าวหรือข้าวเต็มเมล็ด (Head Rice) ข้าวเปลือกที่ความชื้นสูงกว่า 24 % จะให้ข้าวเต็มเมล็ดลดลงอย่างรวดเร็วในระยะ 1 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิเก็บตั้งแต่ 10°c ขึ้นไป ข้าวเปลือกที่ความชื้น 21 - 24 % อุณหภูมิ 25°c จะให้ข้าวเต็มเมล็ดลดลงภายใน 3 สัปดาห์และข้าวเปลือกที่ความชื้น 15 - 21 % ที่ 25°c ขึ้นไปจะให้เปอร์เซนต์ข้าวเต็มเมล็ดลดลงเล็กน้อย แต่ถ้าที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20°c ที่ความชื้น 15 - 21 % นี้จะให้เปอร์เซนต์ข้าวเต็มเมล็ดอย่างสม่ำเสมอ ในช่วงระยะเวลา 3 เดือน

ในการเก็บรักษาเมล็ดพืชในที่เก็บใด ๆ นั้น จำเป็นต้องทราบถึงปริมาณความชื้นที่เมล็ดมีอยู่ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของเมล็ดไปในทางที่เสื่อมคุณภาพลงนั้น ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบความชื้นในเมล็ดพืชเป็นสำคัญ

เนื่องจากความชื้นที่สะสมจนถึงระดับหนึ่ง จะเป็นบ่อเกิดของการเจริญเติบโตของเชื้อราหรือแบคทีเรีย หรือไข่แมลงต่าง ๆ ได้ ทั้งนี้โดยได้รับอิทธิพลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศช่วยสนับสนุน ดังนั้นสิ่งที่ต้องควบคุมเพื่อให้เมล็ดพืชถูกเก็บรักษาได้อย่างปลอดภัย จึงอยู่ที่อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และเปอร์เซนต์ความชื้น รูปที่ 3.11 แสดงความสัมพันธ์ดังกล่าว

รูปที่ 3.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิและความชื้นของเมล็ดพืช



จากรูปที่ 3.11 โซน A เป็นโซนที่ปลอดภัยจากผลกระทบของสภาวะการถูกทำลายด้านโครงสร้างของเมล็ดจากพวกแมลงต่าง ๆ และด้านโครงสร้างทางเคมีจากพวกเชื้อราและการงอกของเมล็ด จะเกิดขึ้นเมื่อการเก็บเมล็ดสามารถควบคุมให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิในการเก็บให้ต่ำกว่า 20 องศาเซนเซียส และความชื้นในเมล็ดให้ต่ำกว่า 20 เปอร์เซนต์ลงมา ในโซน B เป็นโซนของการเกิดการแพร่ทำลายของแมลงเล็ก ๆ ในเมล็ดพืช เนื่องจากอุณหภูมิในกองของเมล็ดพืชสูงกว่า 20 องศาเซนเซียสขึ้นไป ถึงแม้ว่าความชื้นในเมล็ดจะอยู่ในเกณฑ์ต่ำก็ตาม ในโซน C จะเป็นโซนที่เมล็ดพืชถูกรบกวนจากแมลงเล็ก ๆ และเกิดการงอกของเมล็ดระหว่างที่เก็บมากที่สุด เนื่องจากอุณหภูมิและความชื้นเอื้ออำนวย ส่วนใหญ่มักเกิดในเมล็ดพืชที่มีความชื้นต่ำกว่า 15 เปอร์เซนต์ลงมา แต่อุณหภูมิการเก็บอยู่ในเกณฑ์ที่สูงกว่า 35 องศาเซนเซียส ในโซน D เป็นโซนที่เมล็ดที่มีการเก็บที่อุณหภูมิค่อนข้างสูงขณะที่ความชื้นในเมล็ดมีสูงด้วย โซนนี้จะเป็นโซนที่เป็นอันตรายที่สุดของการเก็บ เพราะนอกจากจะถูกรบกวนจากแมลงและเกิดการงอกของเมล็ดแล้ว ยังเกิดการแพร่ของเชื้อราเพิ่มขึ้นอีกด้วย ซึ่งเป็นโซนที่ควรหลีกเลี่ยงอย่างยิ่งในการเก็บ โซน E และ F เป็นโซนที่เมล็ดถูกเก็บในสภาวะที่เมล็ดมีความชื้นค่อนข้างสูงคือสูงกว่า 15 เปอร์เซนต์ขึ้นไป แต่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 20 องศาเซนเซียสได้ เมล็ดจะถูกรบกวนจากแมลงและเชื้อราเป็นส่วนใหญ่

ดังนั้นโดยสรุป ในการเก็บรักษาเมล็ดพืชโดยสภาพการเก็บของประเทศไทยซึ่งจะมีอุณหภูมิของอากาศค่อนข้างสูงคือเฉลี่ย 20-38 องศาเซนเซียส ดังนั้น ในการหลีกเลี่ยงผลกระทบต่าง ๆ อันอาจจะเกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด การเก็บรักษาจึงควรควบคุมความชื้นของเมล็ดพืชให้อยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่า 15 เปอร์เซนต์ลงมาจึงจะถูกรบกวนและเสียหายน้อยที่สุด ซึ่งหลักการนี้จะได้นำไปพิจารณาประกอบการออกแบบไซโลต่อไป