บทที่ 4

การออกแบบถังพลาสติกเสริมแรง

4.1 ในการออกแบบพลาสติกเสริมแรง มีปัจจัยต่าง ๆ ที่จะต้องพิจารณากำหนดไว้ล่วงหน้าดังต่อไปนี้ คือ

4.1.1 กำหนดความต้องการของการใช้งาน

การกำหนดความต้องการของการใช้งานตั้งแต่เริ่มแรกของการออกแบบเป็นเรื่องที่สำคัญยิ่ง ข้อพิจารณาเหล่านี้มีดังต่อไปนี้

คุณสมบัติทางกล เช่น แรงดึง แรงดัน แรงดัด ความยืดตัว การทนต่อการกระแทก ความแข็ง ความหนาแน่น

คุณสมบัติทางความร้อน เช่น การนำความร้อน การบิดงอเนื่องจากความร้อน สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน

คุณสมบัติทางไฟฟ้า เช่น ไดอิเลกทริก การทนต่อการอาร์ค

คุณสมบัติทางเคมี เช่น การทนต่อกรด ด่าง หรือ สารละลายอินทรีย์ การดูดซึมน้ำ การทนต่อแสงเหนือม่วง การทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ

คุณสมบัติอย่างอื่น ๆ เช่น ความเรียบของผิว สี ความสวยงาม ฯ

4.1.2 กำหนดความประหยัด

ขั้นที่สองของการออกแบบ คือการตั้งเป้าของต้นทุน เมื่อพิจารณาถึงความประหยัดของการใช้งาน แล้ว วัสดุที่ทำจากพลาสติกเสริมแรงเปรียบเทียบกับวัสดุอื่นที่นำมาทำผลิตภัณฑ์ที่เอามาใช้งานอย่างเดียวกัน ควรจะมีต้นทุนเปรียบเทียบที่ได้เปรียบกว่า

การพิจารณาควรจะดูถึงต้นทุนของเครื่องมือ ต้นทุนการตกแต่ง ต้นทุนการประกอบ การเก็บ การขนส่ง การหีบห่อ การควบคุมคุณภาพ การควบคุมสินค้าคงคลัง

การประเมินผลที่ออกมาจะมีประโยชน์อยู่ 3 อย่าง คือ

1. จะบอกให้ทราบถึงต้นทุนทั้งหมด เพื่อจะทำให้การออกแบบต่อไป

มีความได้เปรียบทางด้านต้นทุน

2. จะแสดงให้เห็นช่องทางที่จะประหยัดได้แต่เริ่มต้น

3. จะสามารถทำให้ผู้ที่กำหนดได้ว่า วัสดุนี้มีการใช้งานเหมาะกับที่จะเสียเงินซื้อหรือไม่ เมื่อเปรียบคุณสมบัติของการใช้งานกับราคาขายในปัจจุบัน กับพิจารณาทางด้านการตลาดด้วย

4.1.3 การกำหนดวัสดุและขบวนการผลิต

เมื่อได้ความต้องการทางด้านการใช้งานและความประหยัดแล้ว ผู้ออกแบบก็สามารถที่จะเลือก

1. ชนิดของใยแก้วที่นำมาเสริมแรงที่จะทำให้ได้คุณสมบัติทางกลที่ต้องการ โดยเป็นสัดส่วนกับปัจจัยทางด้านประหยัด

2. สูตรของเรซินที่จะให้คุณสมบัติทางด้านเคมี ไฟฟ้า และความร้อนที่ต้องการให้ผลิตภัณฑ์มี โดยที่มีความประหยัดเป็นหลัก

3. ขบวนการผลิตและเครื่องมือที่จะให้ผลที่ประหยัดที่สุด โดยใช้ใยแก้วที่นำมาเสริมที่เลือกไว้ สูตรของเรซิน ก็จะให้ข้อจำกัดของรูปร่างของผลิตภัณฑ์ ขนาด น้ำหนัก และอัตราการผลิต

4.1.4 ร่างแบบเบื้องต้น

การร่างแบบเบื้องต้นจะช่วยให้ผู้ออกแบบและวิศวกรมองเห็นแนวความคิดและรูปร่างของ ผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปใช้งาน การออกแบบต้องคำนึงถึงพื้นฐานลักษณะของพลาสติกเสริมแรง เพื่อหลีกเลี่ยงการลอกแบบรูปร่างชิ้นส่วนที่ออกแบบมาแล้ว แต่เป็นชิ้นงานที่ทำโลหะ หรือวัสดุอื่น และไม่เหมาะสำหรับเป็นรูปร่างที่พลาสติกเสริมแรง

4.1.5 เขียนแบบรายละเอียด

ขั้นนี้เป็นการเขียนแบบที่มีมาตราส่วน พร้อมกับรายละเอียดต่าง ๆ รายละเอียดบางอย่าง เช่น ผิว สี การเสริมสันในตัว รัศมีของมุมหรือขอบ โดยต้องรับการปรึกษาจากผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในขบวนการผลิตในแต่ละแบบ ส่วนของการออกแบบที่ต้องพิจารณาอีกอย่างก็คือ การลดความเค้นที่เกิดขึ้นให้น้อยที่สุด ซึ่งส่วนใหญ่จะทำได้โดยการเลือกวัสดุและขบวนการผลิตที่เหมาะสม

4.1.6 การวิเคราะห์ทางด้านความประหยัด และความเป็นไปได้

เมื่อแบบรายละเอียดได้รับการเขียนเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ก็ควรจะวิเคราะห์ทางด้านความประหยัดอีกครั้ง เพื่อเทียบกับครั้งแรกที่ทำไว้ โดยคำนวณการลงทุน การคืนทุน และหาต้นทุนทั้งหมด

การสร้างรูปจำลองของผลิตภัณฑ์ออกมาพิจารณา เป็นสิ่งที่ช่วยให้การศึกษาความเป็นไปได้ง่ายและสะดวกขึ้น รูปจำลองนี้ยังจะช่วยให้มองเห็นชิ้นงานที่สมบูรณ์ว่าจะมีหน้าตา รูปร่างลักษณะ เป็นอย่างไร มีส่วนไหนที่ควรจะแก้ไขดัดแปลงอีกบ้าง มีความสัมพันธ์กับชิ้นส่วนอื่น ๆ ที่จะนำเข้ามาประกอบกันอย่างไร เพื่อจะได้เห็นปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในส่วนของเครื่องมือ การประกอบ การตรวจสอบ หรือการเคลื่อนย้ายวัสดุ แล้วหาทางแก้ปัญหาเหล่านี้โดยที่ใช้ต้นทุนให้เหมาะสมที่สุด

4.1.7 การพัฒนาต้นแบบ

ขั้นต่อไปก็คือ การสร้างต้นแบบที่ใกล้เคียงกับชิ้นส่วนที่ออกแบบไว้ และมีการใช้งานเหมือนกับผลิตภัณฑ์ที่จะผลิตออกมา เพื่อจะตรวจสอบขนาด จะได้แก้ไขแม่แบบให้เป็นไปได้ตามที่ต้องการ

4.1.8 การเตรียมการผลิต

เมื่อสามารถสร้างแม่แบบที่ใช้ผลิตชิ้นส่วนพลาสติกเสริมแรงเรียบร้อยแล้ว ก็เตรียมเพื่อให้เข้าสายการผลิต โดยจัดเตรียมทางด้านอุปกรณ์ การดำเนินการในขั้นตอนผลิต การเคลื่อนย้ายวัสดุ การตรวจสอบ การหีบห่อ การขนส่ง

4.2 การออกแบบถังพลาสติกเสริมแรง

ในการออกแบบถังพลาสติกเสริมแรงนั้น ก็ต้องยึดขั้นตอนต่าง ๆ ที่ได้กล่าวถึงแล้ว แต่ถังเก็บน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ในท้องตลาดแล้ว แต่ได้ใช้วัสดุอื่นมาผลิต ดังนั้น เมื่อใช้พลาสติกเสริมแรงมาผลิตเป็นถัง จึงต้องใช้ข้อได้เปรียบต่าง ๆ ของพลาสติกเสริมแรงเหนือวัสดุนั้นมาเป็นข้อพิจารณาเปรียบเทียบด้วย

ตารางที่ 4.1 ถังเก็บน้ำชนิดต่าง ๆ ขนาด รูปทรง และราคา

วัสดุ	ขนาดบรรจุ (ลิตร)	รูปทรง	ราคา (บาท)
เหล็กอาบสังกะสี	1000	เหลี่ยม	2,400
	2000	เหลี่ยม	2,600
โพลีเอทธิลีน	500	ทรงกระบอกตั้ง	1,700
	1000	ทรงกระบอกตั้ง	2,800
	2000	ทรงกระบอกตั้ง	5,000
	4000	ทรงกระบอกตั้ง	14,000
เหล็กไร้สนิม	1000	ทรงกระบอกตั้ง (ก้นเรียบ)	4,500
	1200	ทรงกระบอกตั้ง (ก้นเรียบ)	4,750
	1500	ทรงกระบอกตั้ง (ก้นเรียบ)	5,500
เหล็กไร้สนิม	1000	ทรงกระบอกตั้ง (ก้นนูน)	4,750
	1200	ทรงกระบอกตั้ง (ก้นนูน)	5,000
	1500	ทรงกระบอกตั้ง (ก้นนูน)	5,750

4.2.1 ก่อนที่จะคำนวณความแข็งแรงของพลาสติกเสริมแรง ต้องทราบคุณสมบัติทางกลที่มีมาตรฐานกำหนดไว้ โดยดูจากตารางที่ 4.2 เป็นมาตรฐานจาก NBS standard PS 15-69 Custom contack molded reinforced polyester chemical-resistant process equipment

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางกลตามมาตรฐาน NBS PS 15-69 ของพลาสติกเสริมแรง

Property at 23 C	Thickness, inches 1/8 to 3/16, psi	1/4, psi	5/16, psi	3/8 and up, psi
Ultimate tensile strength minimum	9,000	12,000	13,500	15,000
Flexural strength, minimum	16,000	19,000	20,000	22,000
Flexural modulus of elasticity (tangent), minimum....................	700,000	800,000	900,000	1,000,000

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติทางกลตามตารางที่ 4.2 แต่แปลงหน่วยจากนิ้วเป็นมิลลิเมตร และ psi เป็น ksc

คุณสมบัติที่ 23 ซ	ความหนา, มม 3.2 ถึง 4.8 ksc	6.4 ksc	8.0 ksc	9.5 ขึ้นไป ksc
ความต้านแรงดึง, อย่างน้อย	630	850	950	1100
ความต้านแรงดัด, อย่างน้อย	1100	1300	1400	1500
โมดูลัสของแรงดัด, อย่างน้อย	49000	56000	63000	70000

4.2.2 แฟคเตอร์ของความปลอดภัยก็เป็นเรื่องที่ต้องพิจารณาก่อนที่จะออกแบบ แฟคเตอร์ของความปลอดภัยเป็นอัตราส่วนของความแข็งแรงสูงสุดของวัสดุกับความเค้นที่ใช้งาน

แฟคเตอร์ของความปลอดภัยที่จะใช้ในการออกแบบ ต้องพิจารณา

1. ความแม่นยำของการประมาณแรงที่กระทำ ถ้าประมาณแรงได้ใกล้เคียง ก็จะทำให้แฟคเตอร์ของความปลอดภัยที่ใช้ต่ำลง

2. ความถูกต้องในการวิเคราะห์และกำหนดความเค้น ถ้าทำได้ถูกต้อง แฟคเตอร์ของความปลอดภัยก็ต่ำ ถ้าไม่สามารถทำได้ ก็ต้องใช้แฟคเตอร์ความปลอดภัยที่มีค่าสูง

3. ความเป็นเนื้อเดียวกัน และความสม่ำเสมอของพฤติกรรมของวัสดุ ก็เป็นตัวกำหนดแฟคเตอร์ของความปลอดภัย โลหะเป็นวัสดุที่มีพฤติกรรมสม่ำเสมอ แต่พลาสติกเสริมแรง ถึงแม้จะอยู่ภายใต้การควบคุมอย่างดี บางทีจะมีพฤติกรรมไม่สม่ำเสมอ

4. สภาพการใช้งานที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีการเสื่อมสลายเร็ว ก็ต้องใช้แฟคเตอร์ของความปลอดภัยสูงขึ้น

5. สภาพของการถูกแรงกระทำ แรงกระทำบางอย่างจะมีผลต่อชิ้นงานมากกว่าอีกแบบ ผลต่อความแข็งแรงสูงสุดของวัสดุที่ถูกกระทำด้วยแรงต่าง ๆ ชนิดกัน จะทำให้ต้องใช้แฟคเตอร์ของความปลอดภัย ต่างกัน

แฟคเตอร์ความปลอดภัยต่อไปนี้สำหรับแรงแบบต่าง ๆ ที่กระทำต่อโครงสร้างพลาสติกเสริมแรง

ก. แรงคงที่ในช่วงเวลาสั้น ๆ (static short term loads) ควรมีแฟคเตอร์ของความปลอดภัยอย่างน้อย = 2

ข. แรงคงที่ในช่วงเวลานาน (static long term loads) ควรมีแฟคเตอร์ของความปลอดภัยอย่างน้อย = 4

ค. แรงที่แปรเปลี่ยน (variable or changing loads) ควรมีแฟคเตอร์ของความปลอดภัยอย่างน้อย = 4

ง. แรงที่กระทำซ้ำ ๆ (repeated loads) ควรมีแฟคเตอร์ของความปลอดภัยอย่างน้อย = 6

จ. ความล้าหรือแรงที่กระทำในทิศทางกลับกัน (fatigue or reversal) ควรมีแฟคเตอร์ของความปลอดภัยอย่างน้อย = 6

ฉ. แรงกระแทกซ้ำ ๆ กัน (impact loads-repeated) ควรมีแฟคเตอร์ของความปลอดภัยอย่างน้อย = 10

6. ความต้องการของการใช้งาน ในที่ซึ่งอาจมีอันตรายต่อบุคคล หรือเครื่องมือที่มีราคาแพง ควรจะใช้แฟคเตอร์ของความปลอดภัยที่มีค่าสูง

นอกจากนี้ ยังมีสิ่งที่ควรพิจารณาเกี่ยวกับแฟคเตอร์ของความปลอดภัย คือขบวนการผลิตที่ใช้ ขบวนการผลิตพลาสติกเสริมแรงประเภทไหนที่ให้ความเชื่อถือของความสม่ำเสมอของเนื้อวัสดุมากที่สุด ซึ่งจะทำให้การรับแรงกระทำและพฤติกรรมของวัสดุเป็นเหมือนกันในทุกชิ้นงาน ขบวนการผลิตพลาสติกเสริมแรงที่ใช้แรงงานคน เช่น hand lay-up หรือ spray-up จะให้ความสม่ำเสมอของเนื้อชิ้นงาน น้อยกว่าขบวนการผลิตที่ใช้เครื่อง

อุณหภูมิของการใช้งาน ก็มีส่วนเกี่ยวข้องกับการพิจารณาค่าของแฟคเตอร์ของความปลอดภัย เพราะเมื่ออุณหภูมิสูงมากขึ้น เนื้อพลาสติกและวัสดุเสริมแรงจะมีกำลังลดลง ในการออกแบบพลาสติกเสริมแรงต้องคำนึงถึงอุณหภูมิด้วย ถ้าละเลยไป และในการใช้การจริง ชิ้นงานอยู่ในอุณหภูมิที่สูงเกินไป อาจทำให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงานได้

วิธีการบ่มผลิตภัณฑ์หลังจากถอดจากแบบแล้ว ก็เป็นตัวหนึ่งที่ใช้พิจารณาหาค่าแฟคเตอร์ของความปลอดภัย เพราะพลาสติกเสริมแรงที่ถอดจากแม่แบบมาใหม่จะยังไม่มีกำลังความแข็งแรงสูง ต้องรอจนถึงช่วงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งแล้วแต่ชนิดของเรซิน ขบวนการผลิต ถ้าหลังจากถอดแบบแล้วมีวิธีการที่บ่ม ทำให้ชิ้นงานเข้าสู่สภาพที่มีกำลังแข็งสูงสุดเท่าที่ต้องการก็อาจทำให้แฟคเตอร์ของความปลอดภัยที่จะใช้ลดลง

ทั้งหมดที่ได้กล่าวมา เกี่ยวกับค่าของแฟคเตอร์ของความปลอดภัยที่จะได้มา ต้องพิจารณาสิ่งอื่นที่มาประกอบด้วย

4.2.3 การพิจารณารูปทรงของถัง

รูปทรงของถังบรรจุของเหลวโดยทั่วไปแล้ว พอแบ่งได้เป็น 3 ประเภทตามรูปทรงเรขาคณิต คือ

1. รูปทรงเหลี่ยม (rectangular)
2. รูปทรงกระบอก (cylindrical)
3. รูปทรงกลม (spherical)

ถังเก็บน้ำในท้องตลาดปัจจุบันนี้ มีหลายรูปทรง และทำจากวัสดุหลายประเภท เช่น เหล็กชุบสังกะสี ส่วนใหญ่จะทำเป็นรูปทรงเหลี่ยม ถ้าเป็นถังพลาสติกที่ทำจากโพลีเอทธิลีน จะทำเป็นรูปทรงกระบอกตั้ง ในตารางที่ 4.1 จะแสดงชนิดของถัง ความจุ และราคา

การออกแบบถังพลาสติกเสริมแรง สามารถออกแบบให้มีรูปร่างลักษณะตามรูปทรงเรขาคณิต หรือรูปทรงอื่นใดที่เหมาะสมกับการใช้งานก็ได้ แต่ในที่นี้จะใช้ทรงเรขาคณิตเป็นหลักในการออกแบบ โดยเลียนรูปทรงของถังเก็บน้ำที่มีอยู่ในท้องตลาดปัจจุบัน

นอกจากรูปทรงของถังแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงความจุของถังอีกด้วย ความจุของถังตามตารางที่ 4.1 จะมีขนาดเล็กที่สุด 500 ลิตร และขนาดใหญ่ที่สุด 4000 ลิตร เมื่อพิจารณาจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 435-2525 ถังเก็บน้ำปลาสติกเสริมแรง หน้าที่ 2 จะแบ่งถังออกเป็น 8 ขนาดตามความจุระบุ (nominal capacity) คือ 500, 1000, 1500 2000, 2500, 3000, 3500 และ 4000 ลูกบาศก์เดซิเมตร (ลิตร)

ความจุของถังที่ทุกชนิดมีเหมือนกันคือ ถังขนาด 1000 ลิตร ดังนั้นในการออกแบบขั้นต่อไป จึงใช้ขนาดบรรจุ 1000 ลิตร เป็นหลักในการพิจารณา โดยใช้รูปทรงเรขาคณิตรูปทรงเหลี่ยม รูปทรงกระบอก และรูปทรงกลม เป็นลำดับไป

4.2.4 การออกแบบถังเหลี่ยม

ถังเหลี่ยมสามารถออกแบบให้มีลักษณะความกว้าง ยาว สูง แตกต่างกันมากมาย โดยที่ให้มีความจุเท่ากัน ดังนั้นจึงต้องมีหลักเกณฑ์ในการหาความกว้าง ยาว และสูง

ถังเหลี่ยมจะมีความดันภายในที่ผนังด้านข้าง เป็นสัดส่วนกับความสูงของของเหลวที่บรรจุอยู่ ดังนั้นการคำนวณหาความหนาของผนังให้ถูกต้องจึงเป็นเรื่องที่ซับซ้อน โครงสร้างของถังเหลี่ยมยังแบ่งการออกแบบเป็น

1. อยู่ด้วยตัวเอง มีผนังเนื้อเดียว (self supporting. single skin)

2. อยู่ด้วยตัวเอง มีผนังแบบสอดไส้ (self supporting. sandwich construction)

3. ผนังเนื้อเดียว มีสันเสริมความแข็งทางแนวตั้ง (single skin. vertical stiffeners)

4. ผนังเนื้อเดียว มีสันเสริมความแข็งทางแนวนอน (single skin, horizontal stiffeners)

5. ผนังเนื้อเดียว มีสันเสริมความแข็งทั้งทางแนวตั้งและแนวนอน (single skin, vertical and horizontal stiffeners)

6. แบบแยกชิ้น แล้วนำมาประกอบกัน (sectional tank from panel modules)

เมื่อพิจารณาโครงสร้างของถังเหลี่ยมแบบต่าง ๆ แล้ว และเพื่อให้การคำนวณความแข็งแรงของถังเพื่อหาความหนาไม่ซับซ้อนยุ่งยากเกินไป จึงใช้โครงสร้างแบบที่ 1 คือ แบบอยู่ด้วยตัวเอง มีผนังเนื้อเดียว ไม่มีวัสดุอื่นใดมาช่วยเสริมความแข็ง เช่น เหล็ก ไม้ นอกจากพลาสติกเสริมแรงเอง

การคำนวณความแข็งแรงของถังเหลี่ยม จะใช้สูตรการคำนวณของแผ่นแบน (flat plates) มาช่วย ดังนี้

$$s_b = k_1\frac{wb^2}{t^2} \qquad (4.1)$$

$$y = k_2\frac{wb^4}{Et^3} \qquad (4.2)$$

เมื่อ s_b เป็น ความต้านแรงดัด

w เป็น แรงต่อหน่วยพื้นที่

a เป็น ความยาวของด้านยาว

b เป็น ความยาวของด้านสั้น

t เป็น ความหนาของแผ่นแบน

y เป็น ระยะโก่งของแผ่นแบน

E เป็น โมดูลัสของแรงดัด

k_1 เป็น ค่าจากตาราง 4-4

k_2 เป็น ค่าจากตาราง 4-4

ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับแผ่นแบนที่มีด้านทั้งสี่ยึดแน่น และมีแรงกระทำสม่ำเสมอทั้งแผ่น

a/b	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	∞
k_1	0.3078	0.3834	0.4356	0.4680	0.4872	0.4974	0.500
k_2	0.0138	0.0188	0.0226	0.0251	0.0267	0.0277	0.0284

สูตรข้างบน เป็นสูตรสำหรับแผ่นแบนที่มีขอบทั้งสี่ด้านยึดแน่น (fixed) และมีแรงกระทำอย่างสม่ำเสมอ บนพื้นที่ทั้งหมดของแผ่น

ในการผลิตชิ้นงานใด ๆ การใช้วัตถุในการผลิตในน้อยที่สุดเป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง ดังนั้นในการออกแบบถังเหลี่ยม การใช้วัตถุในการผลิตน้อยที่สุด คือ ต้องมีพื้นที่ผิวทั้ง 6 ด้านของถังน้อยที่สุด ซึ่ง ลักษณะของถังที่มีพื้นที่ผิวน้อยที่สุด คือ ถังทรงลูกบาศก์ (ดูภาคผนวก ก)

สำหรับความจุของถังที่กำหนดไว้ 1000 ลิตร นั้น ตามมาตรฐาน มอก. 435-2525 เป็นความจุระบุ (nonimal capacity) หมายถึงปริมาตรสูงสุดที่กำหนดให้สำหรับใช้งาน ดังนั้นจึงต้องใช้ความจุทั้งหมด (total capacity) ซึ่งหมายถึง ปริมาตรภายในของถังคิดจากปริมาตรของน้ำที่บรรจุเต็มถัง เป็นหลักในการคิดขนาดของถัง และจากมาตรฐานฉบับเดียวกันนี้กำหนดไว้ว่า ความจุทั้งหมดของถัง เมื่อบรรจุน้ำเต็มถังและวัดที่อุณหภูมิห้อง ต้องมากกว่าความจุระบุไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 โดยปริมาตร ดังนั้นความจุทั้งหมดที่ต้องนำมาคิดขนาดของถัง คือ 1050 ลิตร

ตามมาตรฐาน NBS PS 15-69 ข้อ 3.6.3.3 กำหนดความโก่งของผนังด้านข้างของถังเหลี่ยมจะต้องไม่เกิน 1/2 เปอร์เซนต์ ของช่วงความกว้างที่ตำแหน่งใด ๆ เมื่อทดสอบด้วยการใส่น้ำ

แรงดันของน้ำที่กระทำต่อผนังด้านข้างของถังโดยเฉลี่ย เท่ากับ ความถ่วงจำเพาะของน้ำ × กว้าง × ยาว × ความสูง × ความหนาแน่นของน้ำ / 2

สรุปข้อมูลทั้งหมดก็สามารถหาความหนาของผนังถังที่ต้องการได้ดังนี้

ความกว้าง × ความยาว × ความสูง = 102 x 102 x 102 cm

แรงดันของน้ำที่ผนังด้านข้างโดยเฉลี่ย = 1×1×1×102×.001/2

= 0.051 ksc

กำหนดให้แฟคเตอร์ของความปลอดภัย = 6

และจากมาตรฐานในหัวข้อ 4.2.1 กับสมการ 4.1 และ 4.2 จะได้ความหนาของผนังของถัง = 12.88 mm

(ดูภาคผนวก ก สำหรับโปรแกรมคอมพิวเตอร์)

4.2.5 การออกแบบถังทรงกระบอก

ถังทรงกระบอกมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ ถังทรงกระบอกตั้งและถังทรง-กระบอกนอน (vertical and horizontal cylindrical container) ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะถังทรงกระบอกตั้งแบบเดียว

ถังทรงกระบอกตั้งสามารถออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และความสูง ได้มากมาย โดยที่มีความจุเท่ากัน แต่ที่พื้นที่ผิวของถังทรงกระบอกน้อยที่สุดนั้น จะได้ความยาวของเส้นผ่าศูนย์กลาง เท่ากับ ความสูงของถัง

การคำนวณความแข็งแรงของถังจะใช้สูตรของความแข็งแรงของวัสดุของถังทรงกระบอก คือ

$$s = \frac{pd}{2t} \tag{4.3}$$

เมื่อ	s	เป็น	ความเค้นใช้งาน
	p	เป็น	แรงดันภายใน
	d	เป็น	เส้นผ่าศูนย์กลางของถัง
	t	เป็น	ความหนาของผนังถัง

ข้อมูลสำหรับคำนวณความหนาของถัง มีดังนี้

ความจุทั้งหมดของถัง	=	1050 ลิตร
เส้นผ่าศูนย์กลางของถัง	=	110.2 cm
ความสูงของถัง	=	110.2 cm
แฟคเต้อร์ของความปลอดภัย	=	6
แรงดันภายในที่ก้นถัง	=	1×1×1×110.2×.001
	=	0.1102 ksc

และจากมาตรฐานในหัวข้อ 4.2.1 กับสมการ 4.3 จะได้ความหนาของผนังของถัง = 0.6 mm

(ดูโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในภาคผนวก ก)

4.2.6 การออกแบบถังทรงกลม

เมื่อทราบความจุทั้งหมดของถัง ก็จะสามารถหาเส้นผ่าศูนย์กลางของถังทรงกลมได้ เพราะสูตรปริมาตรของถังทรงทางเรขาคณิต จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางเป็นตัวแปรเพียงตัว ไม่เหมือนกับถังเหลี่ยม ที่มีด้านกว้าง ด้านยาว และด้านสูง เป็นตัวแปร 3 ตัว และถังทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง และความสูง เป็นตัวแปร 2 ตัว

สูตรความแข็งแรงของวัสดุสำหรับถังทรงกลม คือ

$$s = \frac{pd}{4t} \qquad (4.4)$$

เมื่อ s เป็น ความเค้นใช้งาน

p เป็น แรงดันภายใน

t เป็น ความหนาของผนัง

ข้อมูลสำหรับคำนวณความหนาของถัง มีดังนี้

ความจุทั้งหมดของถัง	=	1050 ลิตร
เส้นผ่าศูนย์กลางของถัง	=	126.1 cm
แรงดันภายในที่ก้นถัง	=	1×1×1×126.1×.001
	=	.1261 ksc
แฟคเตอร์ของความปลอดภัย	=	6

และจากมาตรฐานในหัวข้อ 4.2.1 กับสมการ 4.4 จะคำนวณความหนาได้ดังนี้

$$t = .1261 \times 126.1/4/(630/6)$$

$$= .38 \text{ mm}$$

ตัวเลขความหนาของถังกลมจากการคำนวณ ได้ความหนาเพียง 0.38 มิลลิเมตร เท่านั้น สำหรับความหนาที่จะใช้งานจริง ๆ จะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อ ๆ ไป

4.3 การเปรียบเทียบข้อมูลของถังที่ได้ออกแบบมาทั้ง 3 ชนิด

เมื่อได้ผ่านการคำนวณหาขนาดของถังทั้ง 3 ชนิด คือ แบบเหลี่ยม แบบทรงกระบอกตั้ง และ แบบทรงกลมแล้ว สามารถนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกันในตารางที่ 4.4

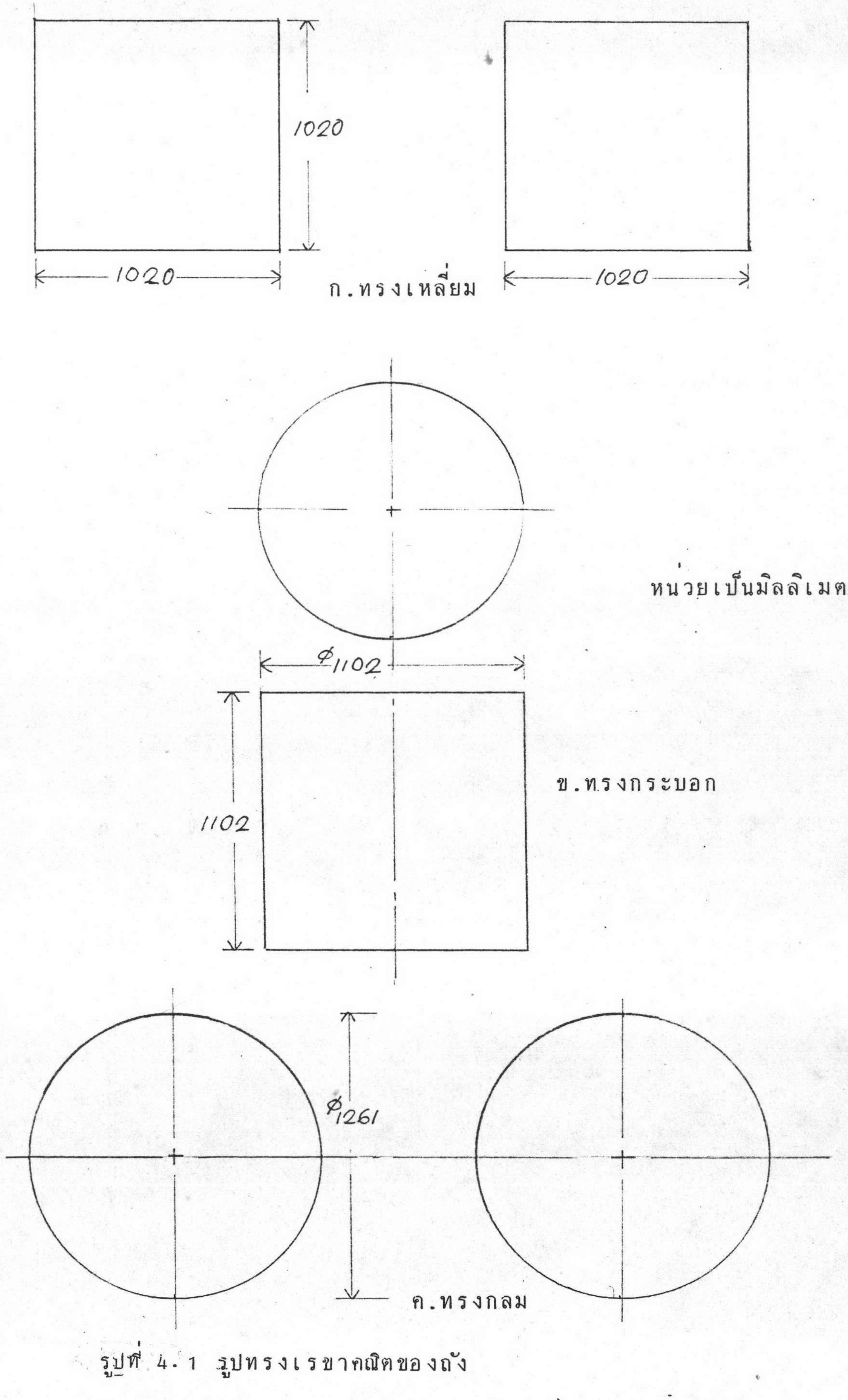
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบข้อมูลจากการออกแบบถังเหลี่ยม ถังทรงกระบอกตั้ง และถังกลม ที่ความจุ 1050 ลิตร

รูปทรงของถัง	ขนาดของถัง,cm		ความหนา,mm	พื้นที่ผิว,m^2
เหลี่ยม	กว้าง	102	12.88	6.12
	ยาว	102		
	สูง	102		
ทรงกระบอกตั้ง	เส้นผ่าศูนย์กลาง	110.2	0.6	5.72
	ความสูง	110.2		
ทรงกลม	เส้นผ่าศูนย์กลาง	126.1	0.38	5.00

ข้อมูลเปรียบเทียบในตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นเป็นข้อมูลเบื้องต้นว่า ถังเหลี่ยมเป็นถังที่มีความหนามากที่สุด ทั้งยังมีพื้นผิวมากที่สุด เมื่อมีความจุของถังเท่ากับถังทรงกระบอก และถังทรงกลม หมายความว่า เป็นถังที่ต้องใช้วัตถุดิบในการผลิตมากที่สุด

ถังทรงกระบอก และถังทรงกลม จะเห็นความหนาจากการคำนวณเป็นตัวเลขที่ไม่ถึง 1 มิลลิเมตร และจากตัวเลขพื้นที่ผิว โดยที่ยังไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยอื่น ๆ นอกจากปริมาณของวัสดุที่นำมาผลิตเพียงอย่างเดียว ก็จะบอกได้ว่า การผลิตถังทรงกลม เป็นลักษณะของถังที่จะประหยัดที่สุด ในบรรดาถังที่มีรูปทรงต่าง ๆ กัน และมีความจุเท่ากัน

รูปทรงของถังอย่างสังเขป จะดูได้จากรูปที่ 4.1 ซึ่งเป็นรูปทรงทางเรขาคณิต โดยยังไม่มีการออกแบบสิ่งประกอบเพิ่มเติม



รูปที่ 4.1 รูปทรงเรขาคณิตของถัง

4.4 การพิจารณาถึงปัจจัยอื่น ๆ ในการออกแบบถัง

ปัจจัยอื่น ๆ นอกจากความแข็งแรงของถังแล้ว โดยที่ไม่ได้คิดถึงราคาของถังเลย ยังมีอีกหลายประการที่พอจะแจกแจงเพื่อเป็นการตัดสินใจหารูปทรงของถังที่เหมาะสมที่สุดต่อไป

4.4.1 ในขบวนการผลิตแต่ละแบบ จะมีข้อจำกัดต่าง ๆ ไม่เหมือนกัน ดังนั้นจึงมีข้อแนะนำหรือกฎในการออกแบบชิ้นงานสำหรับพลาสติกเสริมแรงที่เหมาะกับขบวนการผลิตต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.5

ก่อนอื่นจะพิจารณาดูว่า ขบวนการผลิตแบบใดที่สามารถใช้ผลิตถังที่มีลักษณะดังที่ได้กล่าวมาแล้วได้

ถังรูปทรงเหลี่ยมจะสามารถใช้ขบวนการผลิตดังต่อไปนี้ได้

ก. hand lay-up

ข. spray-up

ค. resin injection

ง. cold press

จ. hot press

ถังรูปทรงกระบอกจะสามารถใช้ขบวนการผลิตดังต่อไปนี้ได้

ก. hand lay-up

ข. spray-up

ค. resin injection

ง. cold press

จ. hot press

ฉ. centrifugal casting

ช. filament winding

ถังรูปทรงกลมจะสามารถใช้ขบวนการผลิตดังต่อไปนี้ได้

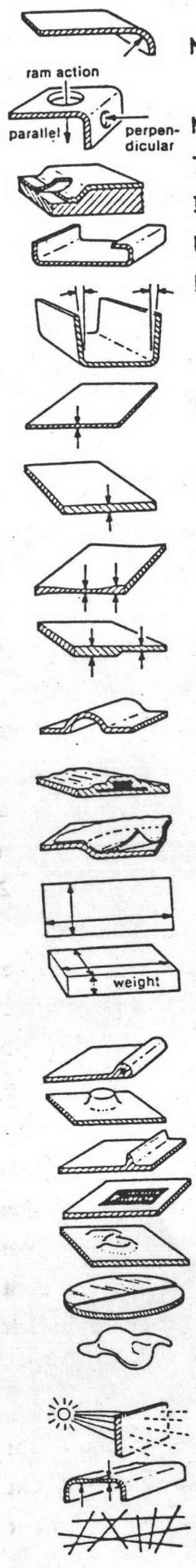
ก. hand lay-up

ข. spray-up

ค. resin injection

ง. cold press

ตารางที่ 4.5 กฎเกณฑ์ในการออกแบบชิ้นงานสำหรับพลาสติกเสริมแรงในขบวนการผลิตต่าง ๆ



	Hand lay-up	Spray-up	Pressure bag	Resin injection	Cold press moulding	Hot press moulding (preform)	Hot press moulding (premix) (BMC)	Hot press moulding (prepreg) (SMC)	Filament winding	Contiuous pultrusion
Minimum inside radius (mm)	6.35	6.35	12.7	6.35	6.35	3.175	1.5875	1.5875	3.175	NA
Moulded-in holes	large	large	large	no	no	yes	yes	yes	NR	NA
Trimmed-in mould	no	no	no	no	yes	yes	yes	yes	yes	yes
Built-in cores	yes	yes	yes		no	no	yes	yes	yes	NA
Undercuts	yes	yes	no	yes	no	no	yes	yes	no	no
Minimum draft recommended (degree)	0	0	5	2 3	2 3	6 to 150 mm depth: 1 to 3 150 mm depth and over: 3 or as required			2-3	NA
Minimum practical thickness (mm)	1.524	1.524	1.524	2.032	2.032	0.762	1.524	1.27	0.254	0.9398
Maximum practical thickness (mm)	no limit	no limit	25.4	12.7	12.7	6.35	25.4	25.4	76.2	25.4
Normal thickness variation (mm)	0.508	0.508	0.508	0.254	0.254	0.2032	0.127	0.127	0.254	0.127
Maximum thickness buildup	as desired	as desired	as desired	2-to-1 max.	2-to-1 max.	2-to-1 max.	as required	as required	as required	NA
Corrugated sections	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	circumferential only	in longitudinal direction
Metal inserts	yes	yes	yes	yes	yes	NR	yes	yes	yes	no
Surfacing mat	yes	yes	yes	yes	yes	yes	no	no	yes	yes
Maximum size part to date (sq.m)	279	279	186		5	19	2	5	139	NA
Limiting size factor	mould size	mould size	bag size		press capacity	press dimension	press capacity, flow	press capacity	lathe bed length & swing	pull capacity
Metal edge stiffness	yes	yes	NR		no	yes	yes	no	yes	no
Bosses	yes	yes	NR	yes	NR	yes	yes	yes	no	no
Ribs	yes	yes	yes	yes	NR	NR	yes	as required	no	NR
Moulded in labels	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
Raised numbers	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	no	no
Gel coat surface	yes	yes	yes		yes	yes	no	no	yes	no
Shape limitation	none	none	flexibility of bag		mouldable	mouldable	mouldable	mouldable	surface of revolution	constant cross section
Translucency	yes	yes	yes		yes	yes	no	no	yes	yes
Finished surfaces	one	one	one	two	two	two	two	two	one	two
Strength orientation	random	random	ply orient.		random	random	random	random	depend on wind	directional
Typical glass ldg. % by wt.	20-30	20-30	45-65		20-35	25-40	10-35	15-35	75-90	25-70

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จ. hot press

แต่เพื่อทำให้ขั้นตอนที่จะพิจารณาต่อไปไม่ต้องมีประเด็นมากขึ้น จึงตัดถังรูปทรงเหลี่ยมออกจากการพิจารณา เพราะเหตุผลประการสำคัญจากหัวข้อที่ 4.3 คือ จากการคำนวณ ถังเหลี่ยมจะมีความหนามากกว่าถังทรงอื่นกว่า 10 เท่า ทั้งยังมีพื้นที่ผิวมากกว่าอีก ซึ่งก็หมายความว่า จะมีต้นทุนในการผลิตมากกว่าถังทรงอื่นอย่างแน่นอน จึงสมควรที่จะตัดออกไป

ส่วนขบวนการผลิตบางขบวนการสำหรับพลาสติกเสริมแรง เป็นขบวนการที่ต้องใช้เทคโนโลยีสูง บางอย่างต้องซื้อหรือมีการร่วมมือเพื่อให้ทราบเทคนิคการผลิตจากต่างประเทศ (technical know-how) ดังนั้นจึงเลือกขบวนการผลิตที่สามารถค้นคว้า และพัฒนาขึ้นเองได้ บางอย่างเป็นขบวนการผลิตอย่างธรรมดา ดังนั้นขบวนการผลิตที่จะพิจารณา คือ hand-lay-up, spray-up, cold press และ hot press

4.4.2 ชิ้นส่วนและการประกอบ ชิ้นส่วนของถังทรงกระบอกสามารถทำเป็นชิ้นส่วน 2 ชิ้น คือ ตัวถังและฝาถัง ตัวถังสามารถผลิตขึ้นมาได้ครั้งเดียวจากแม่แบบตัวเดียว ส่วนถังกลมนั้นต้องมี 3 ชิ้นส่วน คือ ตัวถังชิ้นล่าง ตัวถังชิ้นบน ฝาถัง ตัวถังชิ้นบนและและชิ้นล่างต้องผ่านขั้นตอนประกอบเพื่อให้เป็นตัวถังที่สมบูรณ์ แม่แบบก็ต้องมีทั้งแบบชิ้นบนและชิ้นล่าง ดังรูปที่ 4.2

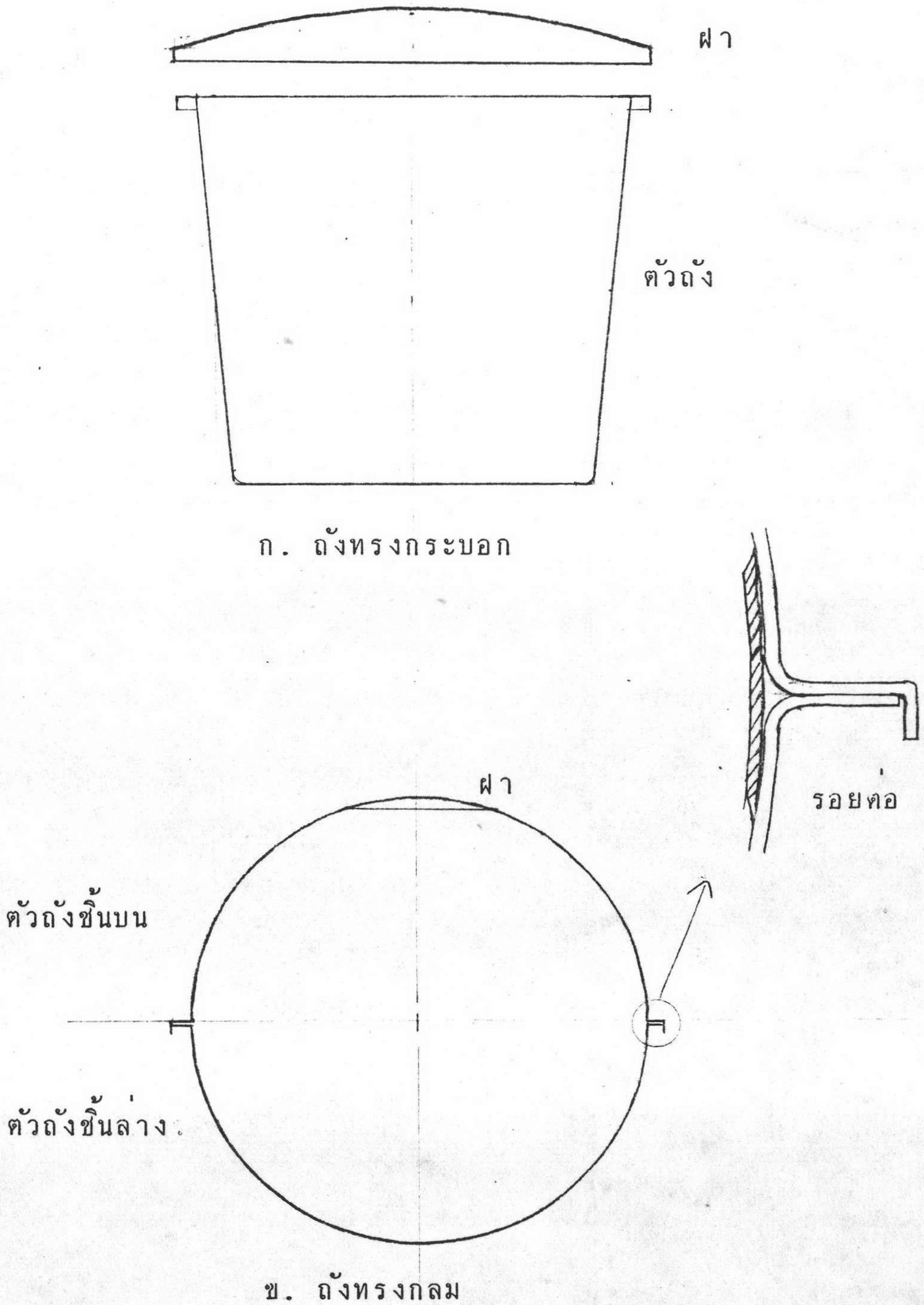
การประกอบถังกลมก็ต้องใช้วัตถุดิบในการประกอบ อาจเป็นชิ้นยางกันน้ำ ใส่ระหว่างปีกตัวถังบนและล่าง แต่ในที่นี้จะใช้ตัวพลาสติกเสริมแรงเองเป็นตัวเชื่อม พื้นที่ที่จะต้องใช้สำหรับพลาสติกเสริมแรงในการเชื่อม ต้องห่างจากรอยต่อออกไปข้างละ 5 เซนติเมตร ดังนั้น พื้นที่ที่ต้องใช้ คือ

เส้นรอบวงของถังกลม × .10 = 3.1416×1.261×.10

= .40 ตร.เมตร

ความหนาของรอยต่อ อย่างน้อยเท่ากับความหนาของถัง

เมื่อรวมพื้นที่ผิวของถังกลม กับพื้นที่ที่ใช้สำหรับรอยต่อถังชิ้นบนและล่างแล้ว = 5.0+0.40 = 5.40 ตร.เมตร



รูปที่ 4.2 แบบของถังทรงกระบอกและทรงกลมอย่างสังเขป

4.4.3 การติดตั้งถังก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ควรพิจารณา ถังทรงกระบอกนั้น สามารถนำไปวางบนพื้นที่เรียบที่ใดก็ได้ อาจวางบนขา หรือบนพื้นธรรมดาที่มีระดับสม่ำเสมอ ส่วนถังกลมนั้น ส่วนล่างจะกลม ถ้าไม่ได้ออกแบบให้ชิ้นส่วนล่างมีส่วนเรียบสำหรับวางบนพื้นได้แล้ว ต้องมีขาสำหรับรองรับ ขาสำหรับรองรับนี้ก็ต้องออกแบบให้มีแรงกระทำสม่ำเสมอกับผิวของถัง หรืออาจกระทำเป็นจุดกับถัง แต่ถังต้องออกแบบเฉพาะจุดที่ต้องรับแรงนั้นเป็นพิเศษ โดยมากเป็นการเสริมความหนาบริเวณนั้นขึ้นมาอีก เพราะความหนาที่ออกแบบมานั้น สำหรับถังกลมเป็นความหนาที่ทนแรงเฉพาะภายในเท่านั้น

4.4.4 การขนส่งสินค้าไปยังที่ต่าง ๆ นั้น การที่มีค่าขนส่งต่ำก็ย่อมสามารถทำให้แข่งขันกับคู่ต่อสู้ได้ทางหนึ่ง ถังทรงกระบอกนั้น ถ้าออกแบบให้มีปากกว้างก้นแคบ โดยมีมุม ๆ หนึ่ง อาจประมาณ 5 องศา ก็สามารถที่นำถังมาซ้อนกันได้หลาย ๆ ใบ เพื่อวางในรถเพื่อขนไปยังในที่ต่าง ๆ หรือนำส่งลูกค้าได้ ส่วนถังกลมนั้น ในขณะที่ถังทรงกระบอกซ้อนกันได้ อาจเป็น 4 หรือ 5 ใบ แต่ถังกลมที่ประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะสามารถขนไปได้เพียงใบเดียวเท่านั้น แสดงว่า ในที่พื้นที่เท่า ๆ กัน ถังกลมจะเสียค่าขนส่งมากกว่าถังทรงกระบอกถึง 4-5 เท่า

การแก้ปัญหานี้ อาจกระทำโดยยังไม่ต้องประกอบถังกลม แต่นำไปประกอบที่ลูกค้า ก็สามารถนำชิ้นส่วนทั้งบนและล่างซ้อนกันไปได้ ทางนี้ก็เกิดปัญหาทางด้านที่จะต้องพนักงานติดตามไปประกอบถังนั้นอีก ไม่ได้ส่งชิ้นงานที่สำเร็จรูปไป เกิดการใช้จ่ายเพิ่มขึ้นอีก

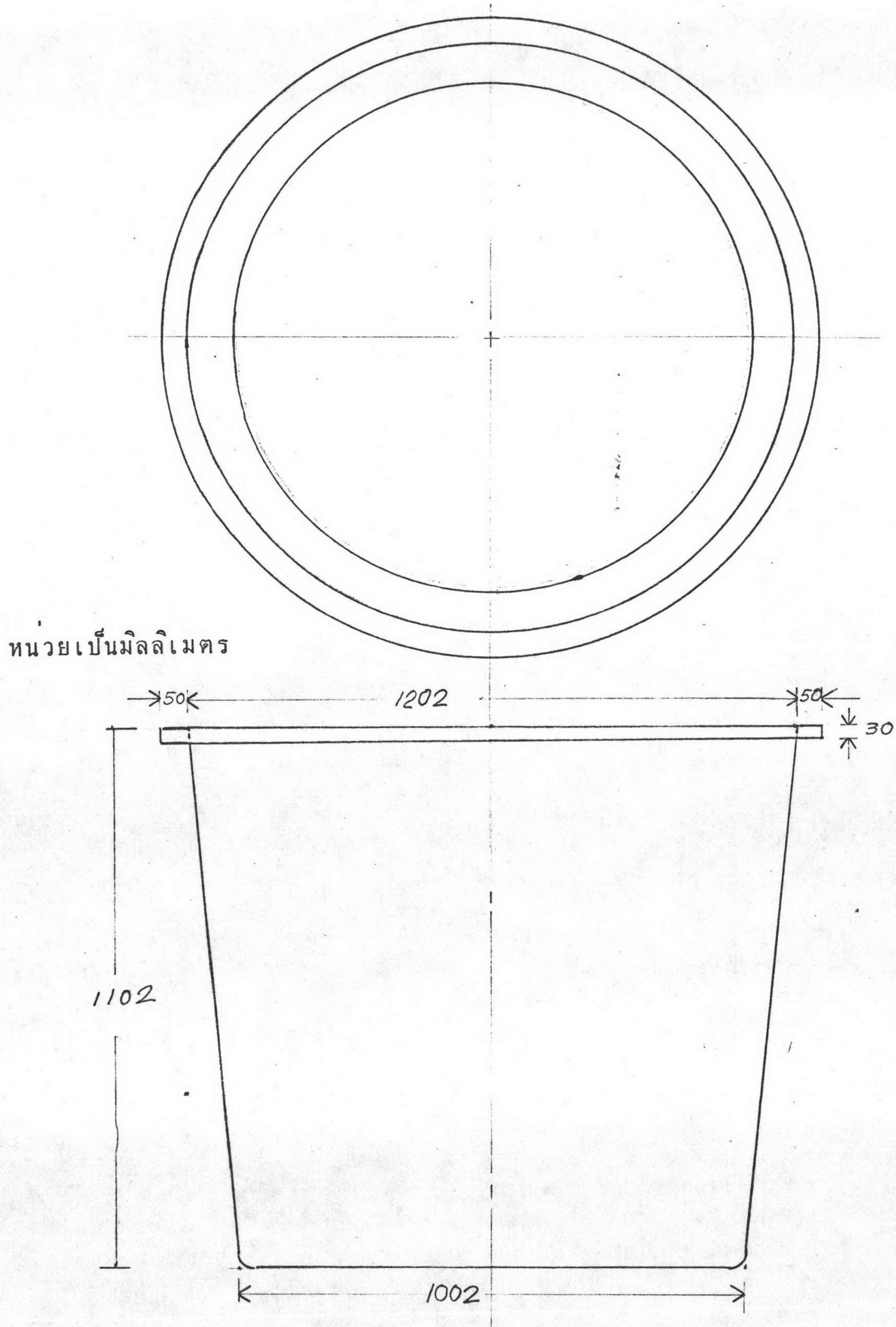
4.4.5 การใช้งานถัง เพื่อใส่น้ำนั้น เมื่อใช้งานไปนาน ๆ แล้ว จะเกิดมีตะกอนติดอยู่ที่ก้นถัง และอาจมีคราบหรือเมือกที่ผนังด้านในของถัง จะต้องมีการล้างถังให้สะอาด ถังทรงกระบอกนั้น ไม่มีปัญหาในการล้าง เพราะคนล้างสามารถเปิดฝาของถังออก แล้วเข้าไปทำความสะอาด ถ้าเป็นถังกลมที่ออกแบบให้ฝามีขนาดเล็ก คนไม่สามารถลอดผ่านเข้าออกแล้ว ก็จะไม่สามารถที่จะเข้าไปทำความสะอาดได้ อีกประการหนึ่ง ถ้าสามารถเข้าไปทำความสะอาดได้ แต่ในที่พื้นที่ที่จำกัด และไม่สามารถจะยืนได้ ก็อาจจะไม่ได้รับความสะดวก

4.5 การตัดสินใจเลือกรูปทรงถัง

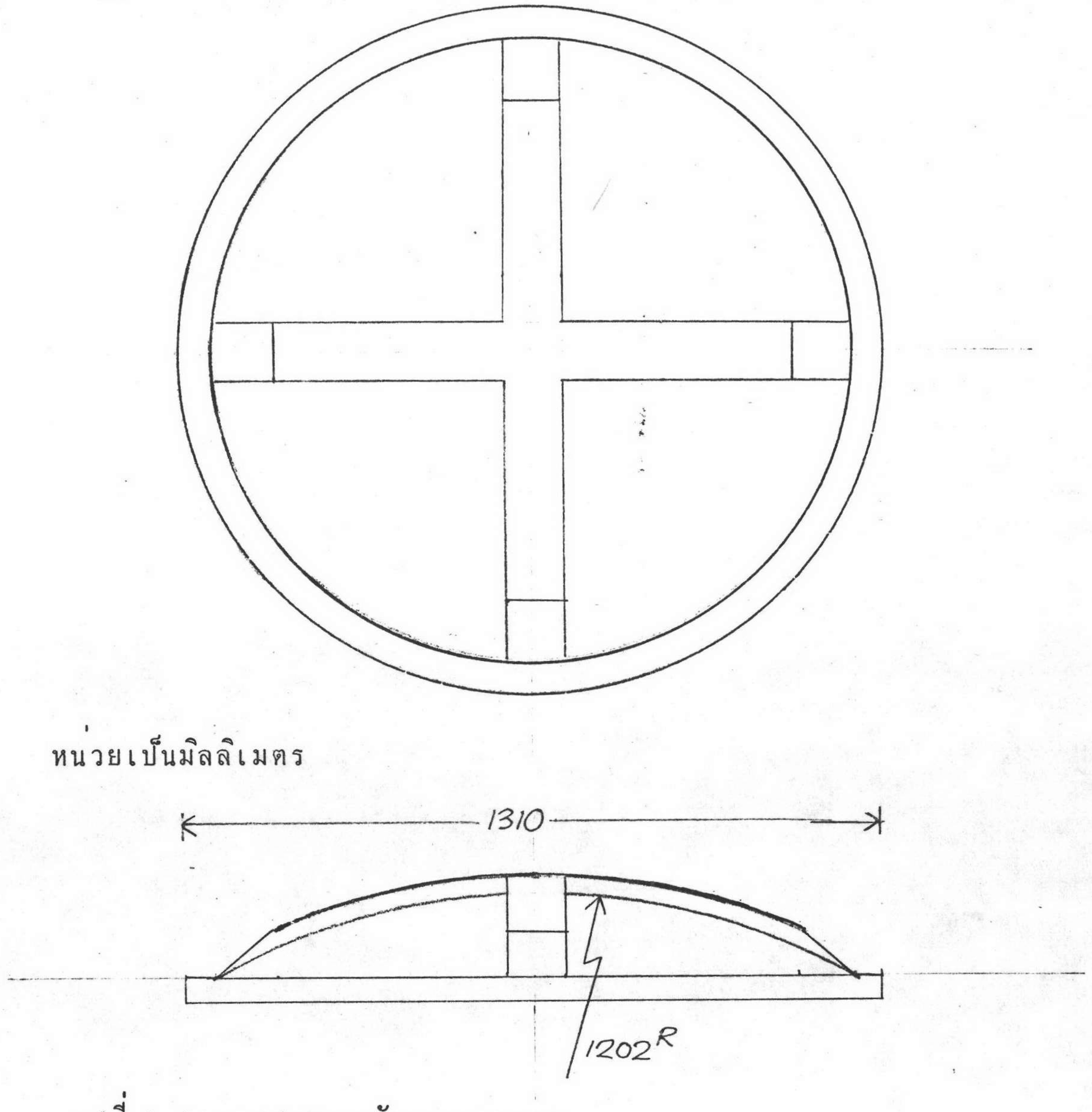
จากปัจจัยต่าง ๆ และข้อมูลที่ได้วิเคราะห์มา จึงตัดสินใจเลือกถังทรงกระบอก สำหรับใช้ในการผลิต ถึงแม้ว่าจะใช้ปริมาณวัตถุดิบในการผลิตมากกว่า แต่ปัจจัยอื่น ๆ เช่น การประกอบ การขนส่ง ความสะดวกในการติดตั้ง การใช้งาน ถังทรงกระบอกจะดีกว่าถังทรงกลม

เมื่อเขียนแบบสำหรับถังทรงกระบอกออกมาจะได้ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 โดยมีพื้นที่ผิวรวมทั้งตัวถังและฝา 6.2 ตารางเมตร ความหนาที่กำหนดคือ 2.0 มิลลิเมตร เพราะจากตารางที่ 4.5 จะเห็นว่า ความหนาของชิ้นงานที่ทำได้จริงต่ำสุด (minimum practical thickness) จะเป็นของของขบวนการผลิตแบบ hot press แต่ในขบวนการผลิตต่าง ๆ ก็จะมีความสม่ำเสมอของผิวไม่เท่ากัน เมื่อทำเป็นชิ้นงานจะมีส่วนที่บางและหนาไม่เท่ากันถันทั้งถัง จึงบวกเผื่อไว้อีก เช่น ในขบวนการผลิตแบบ hand lay-up มีความหนาของชิ้นงานที่ทำได้จริง 1.524 มิลลิเมตร จะมีความไม่สม่ำเสมอของชิ้นงานอยู่ในช่วง -.508 ถึง +.508 มิลลิเมตร เมื่อรวมกันแล้ว จะได้ความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงในความหนา 2.0 มิลลิเมตร ในการผลิต ถึงแม้ความหนาที่คำนวณได้จะเป็น 0.6 มิลลิเมตร ก็ตาม

อีกประการหนึ่ง ความหนาที่คำนวณได้สำหรับถังขนาดเล็ก คือ 1 ลูกบาศก์เมตร สำหรับถังรูปทรงกลมและถังทรงกระบอก ได้ค่าที่เห็นว่าน้อย แต่เมื่อเป็นถังขนาดใหญ่ขึ้น ค่าความหนาจะมากขึ้น



รูปที่ 4.3 แบบของถังทรงกระบอก (ตัวถัง)



รูปที่ 4.4 แบบฝาของถังทรงกระบอก