บทที่ 2

วัตถุดิบและการต่อเรือไฟเบอร์กลาส

ปัจจุบันพลาสติคนับว่าได้มีบทบาทต่อมวลมนุษย์มากขึ้น ดังจะสังเกตเห็นได้จากสิ่งแวดล้อมต่างๆ ของเราจะต้องมีพลาสติคเข้ามาเกี่ยวพันด้วยทั้งนั้น เนื่องจากการที่ได้มีการปรับปรุงทางด้านเทคนิค และการนำไปใช้ให้เป็นประโยชน์ให้ถูกทาง พลาสติคถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากคุณสมบัติที่คงทนต่อการผุกร่อนหรือเป็นสนิม น้ำหนักเบา สามารถออกแบบเพื่อนำไปใช้งานได้อย่างถูกต้องตามความต้องการได้ดีและสวยงาม ฯลฯ

การปรับปรุงทางด้านการเสริมความแข็งแรงของพลาสติคให้ใช้งานได้ดีทัดเทียมกับโลหะนั้นทำได้โดยการใช้วัสดุซึ่งมีคุณสมบัติที่เรียกได้ว่าทั้ง "แข็ง" และ "เหนียว" มาเสริมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน พลาสติคที่ได้รับการปรับปรุงดังกล่าวจึงเรียกว่า พลาสติคเสริมกำลัง (Reinforced Plastics) และพลาสติคเสริมกำลังนี้จะมีการเรียกชื่อกันหลายแบบเช่น Glass - Fiber หรือ Glass Reinforced Plastic หรือใช้คำย่อว่า GRP ซึ่งเป็นคำที่นิยมเรียกกันในประเทศอังกฤษ หรือแถบทางประเทศในยุโรป ส่วนในประเทศสหรัฐอเมริกาก็จะเรียกชื่อกันอีกแบบหนึ่งเช่น Fiberglass หรือ Glass - Fiber หรือ Fiberglass Reinforced Plastic หรือใช้คำย่อว่า FRP เหล่านี้เป็นต้น ซึ่งการเรียกชื่อที่แตกต่างกันเหล่านี้ก็จะให้ความหมายที่เหมือนกัน นั่นก็คือหมายความถึงวัสดุที่โดยทั่วไปจะใช้ เส้นใยแก้ว (Glass Filaments) ผสมกับพลาสติคเรซินเหลว (Liquid Plastic Resin) รวมทั้งตัวทำปฏิกิริยา (Catalyst) อื่น ๆ

แล้วเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่เรียกว่า โพลิเมอร์ไรเซชั่น (Polymerization) ตามรูป 2.1 ด้วยการเกิดปฏิกิริยาเคมีดังกล่าวจะทำให้เกิดการเปลี่ยนสภาพจากพลาสติกเหลวเป็นพลาสติคแข็งที่ไม่สามารถจะคืนรูปกลับสู่สภาพเดิมได้อีก

2.1 ข้อดีข้อเสียของไฟเบอร์กลาส

วัสดุทุกชนิดย่อมมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ซึ่งวัสดุไฟเบอร์กลาสสามารถแบ่งแยกข้อและข้อเสียได้ดังนี้คือ

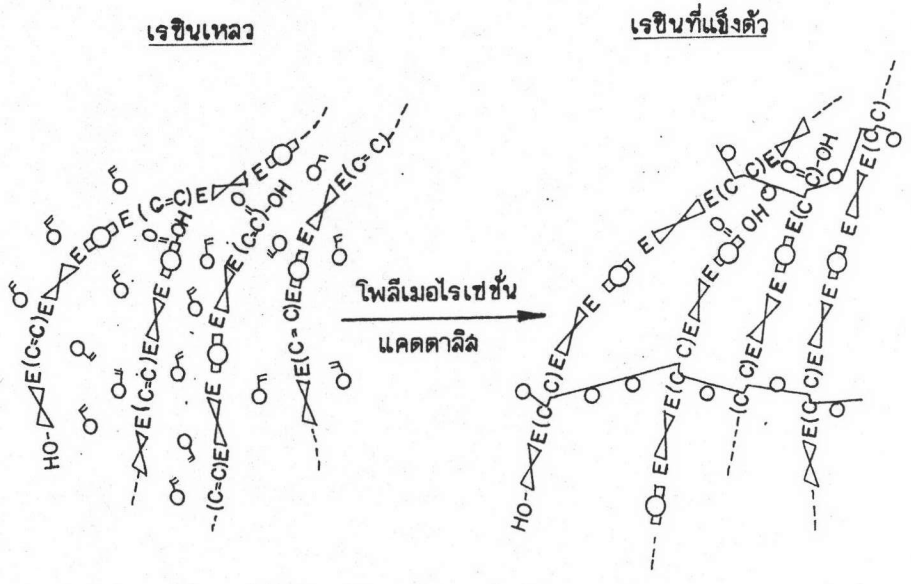
2.1.1 ข้อดีของไฟเบอร์กลาส

1) มีน้ำหนักเบาและความแข็งแรงสูง
2) มีขบวนการในการผลิตที่ง่ายและมีอิสระในการออกแบบ
3) มีจุดคุ้มทุนในการผลิตที่ต่ำ
4) มีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อนและทนต่อสารเคมี
5) มีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนได้ดี
6) มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี
7) มีคุณสมบัติทางโปร่งใสสามารถให้แสงลอดผ่านได้
8) ชิ้นงานมีผิวเรียบสวยงาม ทั้งยังสามารถทำให้มีสีต่าง ๆ ได้โดยผสมอยู่ในตัวของมันเอง หรือจะทาสีภายนอกได้

2.1.2 ข้อเสียของไฟเบอร์กลาส

1) มีความเหนียวต่ำ (Low Stiffness)
2) ทนทานต่อแรงเฉือนได้ต่ำ (Low Shear Strength)
3) ทนทานความร้อนได้ต่ำ (Lower Heat Resistance)
4) ทนทานต่อการขีดข่วนได้ต่ำ (Scratch Strength)

018545



รูปที่ 2.1 การเกิดโพลีเมอไรเซชั่น

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบและคุณสมบัติของแก้วชนิดต่าง ๆ

องค์ประกอบ (โดยน้ำหนัก)	"E"GLASS	"C"GLASS	"A"GLASS	"S"GLASS
SiO_2	55.2	65.0	72.0	65.0
Al_2O_3	14.8	4.0	2.5	25.0
B_2O_3	7.3	5.0	0.5	-
MgO	3.3	3.0	0.9	10.0
CaO	18.7	14.0	9.0	-
Na_2O	0.3	8.5	12.5	-
K_2O	0.2	-	1.5	-
Fe_2O_3	0.3	0.5	0.5	-
F_2	0.3	-	-	-
จุดหลอมเหลว	1140 °C	1140 °C	1140 °C	1140 °C
ความแข็งแรงทางแรงดึงของเส้นใยไฟเบอร์, 25 °ซ, กก./มม.^{2}	370	310	310	430
ความแข็งแรงทางแรงดึงของผืนไฟเบอร์, 25 °ซ, กก./มม.^{2}	175-275	160-235	160-235	210-320
ความคงทนต่อการเปลี่ยนรูป, 25 °ซ, กก./มม.^{2}	7700	7400	7400	8800
ความหนาแน่น, ก./มม.^{3}	2.53	2.46	2.46	2.45
ดัชนีการหักเห	1.550	1.550	1.542	1.542
ส้มประสิทธิขยายตัวตามเส้นต่อองศาเซลเซียสคูณด้วย 10^6	5	8	9	5
ค่าคงที่ทางฉนวนไฟฟ้าที่ 25 °ซ, ที่ความถี่ 10^{10} Hz	6.11	6.11	6.11	6.11
ความต้านทานต่อโอม-ซม.	10^{15}	10^{15}	10^{10}	10^{10}

แก้วชนิด"อี" เป็นแก้วชนิดธรรมดาที่ใช้ในการผลิตไฟเบอร์ เนื่องจากมีส่วนประสมที่ทนต่อกระแสไฟฟ้า จึงใช้ตัวย่อ E ซึ่งหมายถึง ELECTRICAL

แก้วชนิด"ซี" เป็นแก้วที่มีส่วนประสมที่ทนต่อสารเคมีซึ่งใช้สำหรับการผลิตไฟเบอร์

แก้วชนิด"เอ" เป็นแก้วที่มีส่วนประสมของด่างซึ่งนำไปใช้ผลิตไฟเบอร์เป็นครั้งคราว

แก้วชนิด"เอส" เป็นแก้วที่มีส่วนประสมที่ทำให้ใยแก้วมีความแข็งแรงสูง

ซึ่งทั้งข้อดีและข้อเสียนั้น เกิดเนื่องมาจากแฟคเตอร์ต่างๆดังนี้

1) เรซินที่ใช้เป็น Unsaturated Polyester, Epoxy Resin

2) วัสดุเสริมแรงใช้ Glass Fiber, Carbon Fiber

3) ชนิดของ Filler

4) วิธีการผลิต และข้อจำกัดในการผลิต

5) วัตถุดิบบางตัวมีกลิ่น และมีพิษ หากสัมผัสโดยตรง

เมื่อพิจารณาถึงข้อดีและข้อเสียดังกล่าวข้างต้น ไฟเบอร์กลาสนับว่ามีประโยชน์ต่อกิจการอุตสาหกรรมทุกประเภท ทั้งในด้านความแข็งแรง ราคาต้นทุนการผลิต เมื่อเทียบกับวัสดุชนิดอื่น รวมทั้งเทคนิคต่าง ๆ ในการผลิตก็ไม่ยุ่งยากซับซ้อนมากนัก

2.2 วัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตงานไฟเบอร์กลาสนั้นมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน ดังนั้นจึงควรที่จะทราบในรายละเอียดของวัตถุดิบแต่ละชนิด เพื่อที่จะได้มีพื้นฐานในการเลือกนำวัตถุดิบแต่ละชนิดมาใช้ในการผลิตชิ้นงานต่าง ๆ ได้ตรงตามต้องการ

2.2.1 เส้นใยไฟเบอร์กลาส,ใยแก้ว(Fiberglass Filaments, Glass Fibre) เส้นใยไฟเบอร์กลาสที่ใช้กันโดยทั่ว ๆ ไปนั้นจะไม่เป็นเส้นใยเดี่ยวแต่ละเส้น ๆ (Monofilament) แต่จะนำมาถักทอรวมกันเป็นในรูปลักษณะต่าง ๆ กันเพื่อให้มีความสามรถในการใช้งาน โดยเส้นใยเหล่านี้จำเป็นต้องมีน้ำยาเคลือบผิวเพื่อให้ (1) แต่ละเส้นใยสามารถถักรวมกันได้ดี (2) หล่อลื่นเส้นใยแต่ละเส้นเพื่อหลีกเลี่ยงและลดการแตกหักของตัวมันเอง ซึ่งจะมีผลให้ลดความแข็งแรงของเส้นใย (3) เพิ่มพื้นที่สัมผัสของผิวระหว่างไฟเบอร์กับเรซินนั่นคือจะเพิ่มความสามารถในการซึมซับเรซินได้อย่างรวดเร็ว(Wettability) ซึ่งก่อนที่จะเคลือบ

ผิวจะต้องผ่านขบวนการทำความสะอาดเส้นใย (Cleaning Processes or Finishes) เสียก่อน ซึ่งก็มีวิธีการทำความสะอาดได้หลายวิธี แต่สำหรับในงานผลิตเรือนั้นจะมีวิธีการเพียง 2 วิธีคือ (1) Chrome และ (2) Silane ซึ่งหลังจากผ่านวิธีทำความสะอาดแล้ว เส้นใยจะมีลักษณะสีขาวขุ่น (White Translucent) ดังนั้นถ้าหากใยแก้วที่ไม่ได้ผ่านวิธีการทำความสะอาดแล้วก็จะมีความสกปรกรวมทั้งฝุ่นและน้ำมันซึ่งไม่เหมาะสมที่จะนำมาผลิตงานที่มีคุณภาพ

เส้นใยแก้วจะผลิตจากการดึงแก้วที่หลอมเหลวในเตาหลอมออกมาเป็นเส้นใยแก้ว และจะผ่านขบวนการผลิตขั้นตอนต่าง ๆ เพื่อผลิตเป็นเส้นใยแก้วชนิดต่าง ๆ แก้วที่มีส่วนประกอบแตกต่างกันก็จะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน โดยทั่ว ๆ ไป แก้วที่นำมาผลิตเส้นใยแก้ว จะมีด้วยกัน 4 ชนิด คือ (1) "E" Glass (2) "C" Glass (3) "A" Glass (4)"S" Glass ดังแสดงรายละเอียดถึงคุณสมบัติพื้นฐานต่าง ๆ ในตารางที่ 2.1 และด้วยคุณสมบัติพิเศษหลายประการของใยแก้วที่ทำมาจาก "E" Glass (E-Glass Fiber) ดังนั้นจึงนิยมนำมาใช้ทำพลาสติคเสริมแรง (FRP) ด้วยเหตุผลดังนี้

1) ผลิตจากวัตถุดิบที่หาได้ง่าย
2) มีความแข็งแรงทางแรงดึงสูง
3) มีความคงทนต่อรูปร่างเมื่อได้รับแรงสูง
4) ไม่เปลี่ยนแปลงรูปร่าง
6) ไม่เกิดการ Creep
7) ทนอุณหภูมิได้สูงถึง 55 °C
8) ทนต่อสารเคมีและสารละลาย
9) ทนต่อสภาวะอากาศภาพแวดล้อม
10) ไม่ดูดซึมซับความชื้น
11) มีคุณสมบัติต่าง ๆ ทางไฟฟ้าได้ดี

เนื่องจากเพื่อความสะดวกในการใช้งาย ใยแก้วจิงได้ผลิตเป็นรูปแบบต่างๆ ซึ่งในการผลิตใยแก้วนี้จะแบ่งกรรมวิธีการผลิตเป็น 3 ขั้นตอน ดังรูปที่ 2.2 ดังนี้ คือ

1) ขั้นตอนการผลิตแก้ว (Glass Manufacture)

2) ผลิตเส้นใยแก้ว (Fibre Drawing, The Conversation of GlasS into Glass Fibres)

3) ผลิตเส้นใยที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 เป็นรูปแบบต่าง ๆ ตามต้องการ

ตามรูปที่ 2.3 - 2.11 ในขบวนการผลิตโดยทั่ว ๆ ไปใยแก้วจะผลิตเป็นรูปร่างต่าง ๆ กันได้ดังนี้ คือ

1) ใยแก้วชนิดผืนเส้นสั้น (Chopped Strands Mat, CSM) ทำจากเส้นใยแก้วที่มีความยาว 1 - 2 นิ้ว นำมายึดติดกันอย่างไม่เป็นระเบียบ และติดกันเป็นผืนด้วยตัวยึดคล้ายยางเหนียว (Resinous Binder) ใยแก้วชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้กันทั่ว ๆ ไปรวมทั้งการต่อเรือด้วย การบอกขนาดของใยแก้วจะบอกเป็นเบอร์ ซึ่งส่วนมากก็จะเป็น น้ำหนักของใยแก้วเป็นกรัมต่อหนึ่งตารางเมตร เช่น CSM # 300 หมายถึงใยแก้วชนิดผืนเส้นสั้น ซึ่งมีน้ำหนักของใยแก้ว 300 กรัมต่อตารางเมตร เป็นต้น และ CMS นี้มีคุณสมบัติที่จะซึมซับเรซินได้ดี รวมทั้งเกาะติดระหว่างชั้นของใยแก้วชนิดต่าง ๆ ได้ดี

2) ใยแก้วชนิดผืนเส้นเล็กยาว (Continuous Strand Mat) ใยแก้วชนิดนี้เสริมให้ชิ้นงานแข็งแรงกว่าชนิดผืนเส้นสั้น โดยเส้นใยที่ที่ในการผลิตจะยาวเป็นเส้นเดียวกันตลอด นำมายึดติดกันอย่างไม่เป็นระเบียบโดยมากจะนิยมใช้เบอร์ 450 - 700

3) ใยแก้วชนิดผืนทอเส้นยาว (Woven Roving, WR) ใยแก้วชนิดนี้เมื่อใช้ในการผลิตชิ้นงานจะได้ผิวงานที่ไม่เรียบ และตัวใยแก้วนี้เองก็มีน้ำหนักมาก แต่ให้ความแข็งแรงสูงดังนั้นในงานสำคัญ ๆ ที่ต้องการความแข็งแรงทางโครงสร้าง

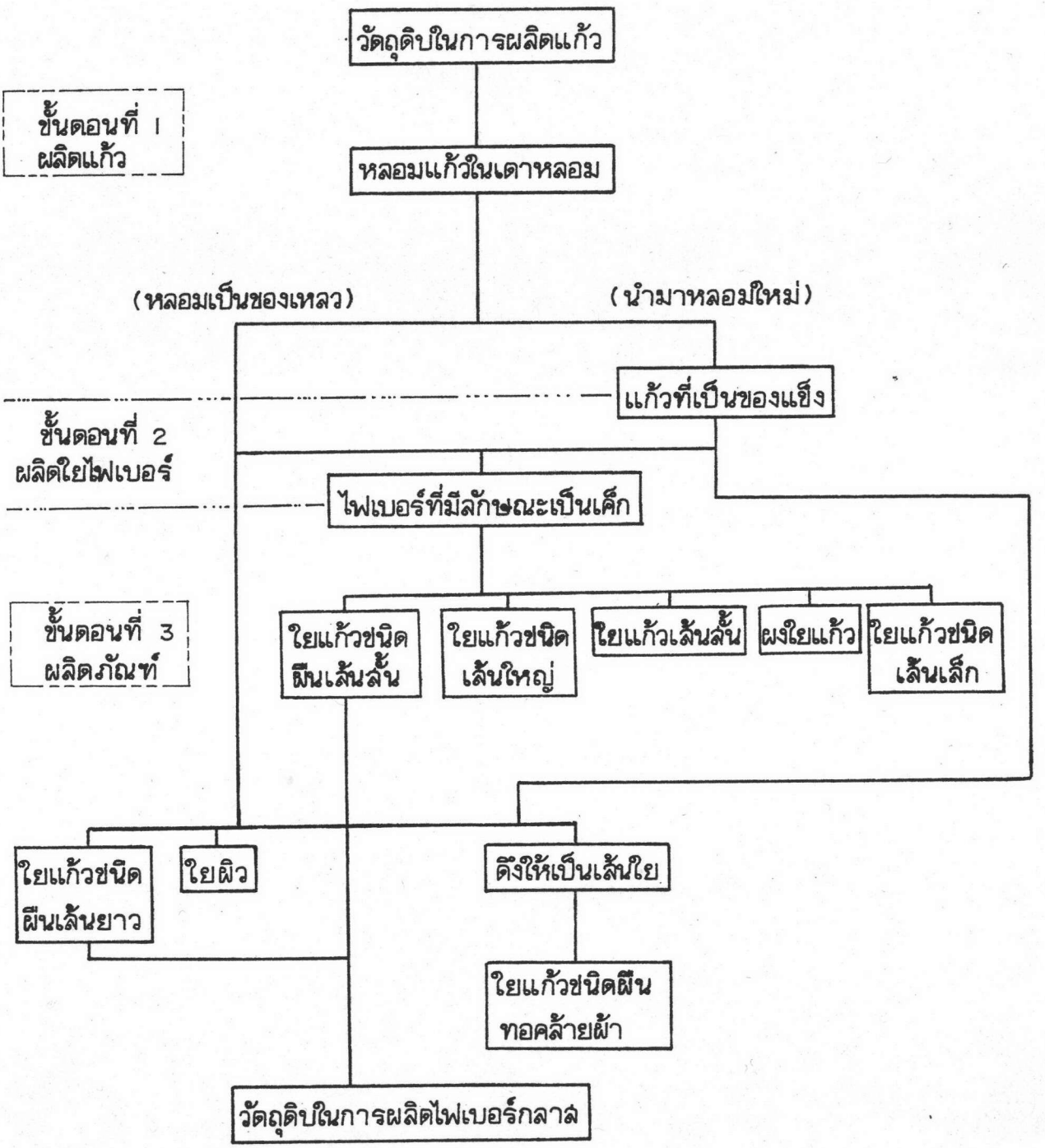
สูง และค่าใช้จ่ายต่ำจึงมักนิยมใช้ใยแก้วชนิดนี้ ซึ่งมีขนาดที่นิยมใช้กันคือ เบอร์ 600 และ เบอร์ 800

4) ใยแก้วชนิดเส้นสั้น (Chopped Strands) ทำจากเส้นใยที่มีขนาดความยาวเพียง 3 และ 6 มม. ลักษณะคล้ายผงใยแก้วซึ่งใยแก้วชนิดนี้จะใช้กับการผลิตแบบอัดเหลว (Premix Molding) กล่าวคือ ใยแก้วชนิดเส้นสั้นผสมไปกับเรซินเสียก่อน แล้วจึงเทอัดลงไปในแม่แบบ

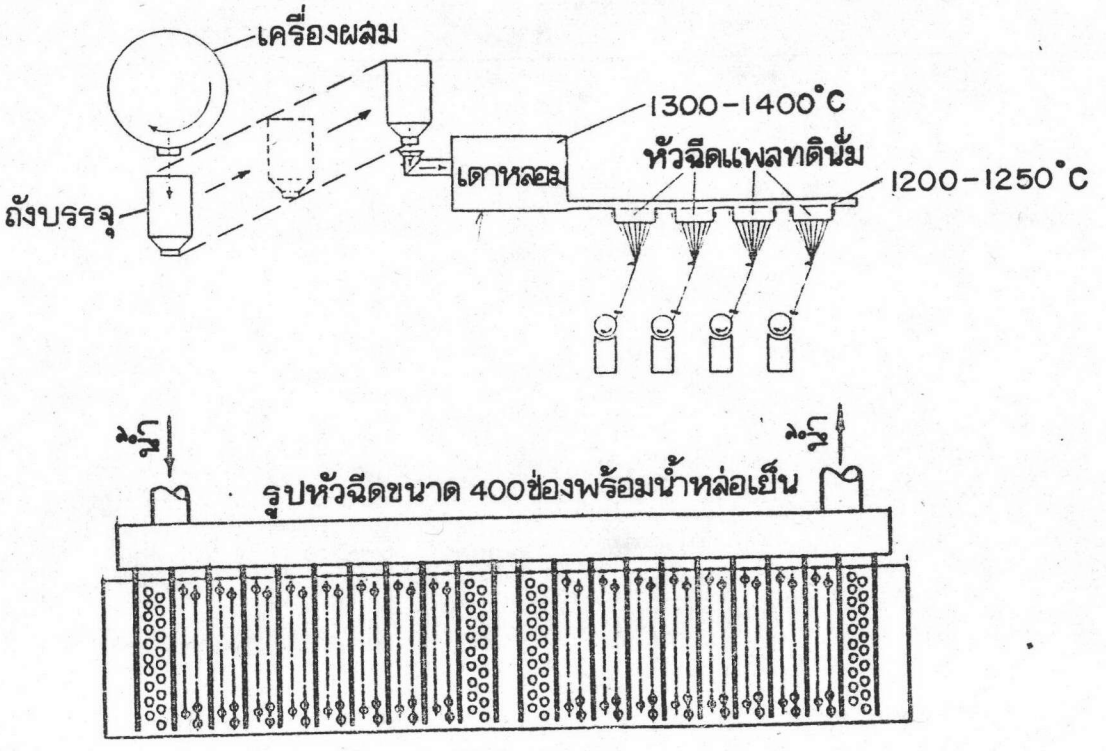
5) ใยแก้วชนิดผืนทอคล้ายผ้า (Roving Cloth) มีลักษณะคล้าย WR แต่ใช้เส้นใยขนาดเล็กทอขึ้นเป็นผืนผ้า ซึ่งมีตารางของใยที่ขัดกันขนาดเล็ก ซึ่งนิยมใช้กับงานที่มีขนาดเล็กแต่ต้องการความแข็งแรงเป็นพิเศษ ขนาดที่นิยม คือเบอร์ 200 และ 300

6) ใยแก้วชนิดเป็นเส้น (Yarn) จะเป็นใยแก้วชนิดเส้นยาวด้วยเส้นเชือกหรือเส้นด้ายม้วนเป็นม้วน ๆ ซึ่งนิยมใช้ในการผลิตแบบใช้เครื่องพ่น (Spray up Machine) แบบผันท่อ (Filament Winding) ฯลฯ

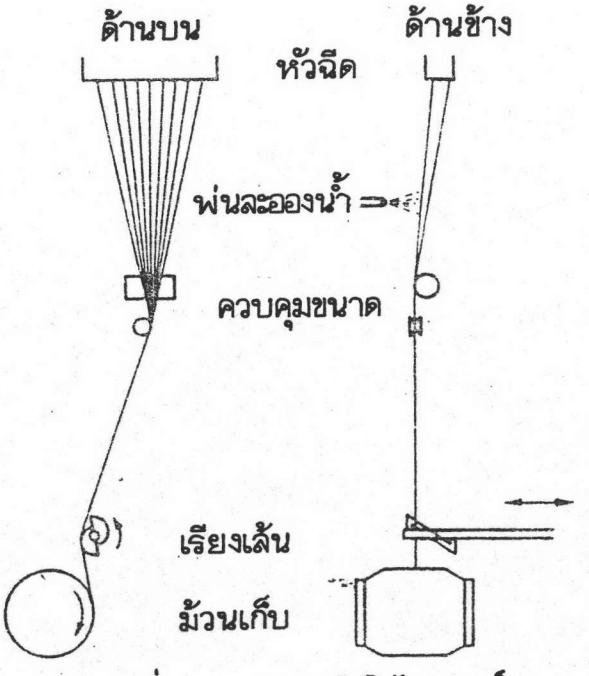
รูปที่ 2.2 ขบวนการผลิตใยแก้วชนิดต่างๆ



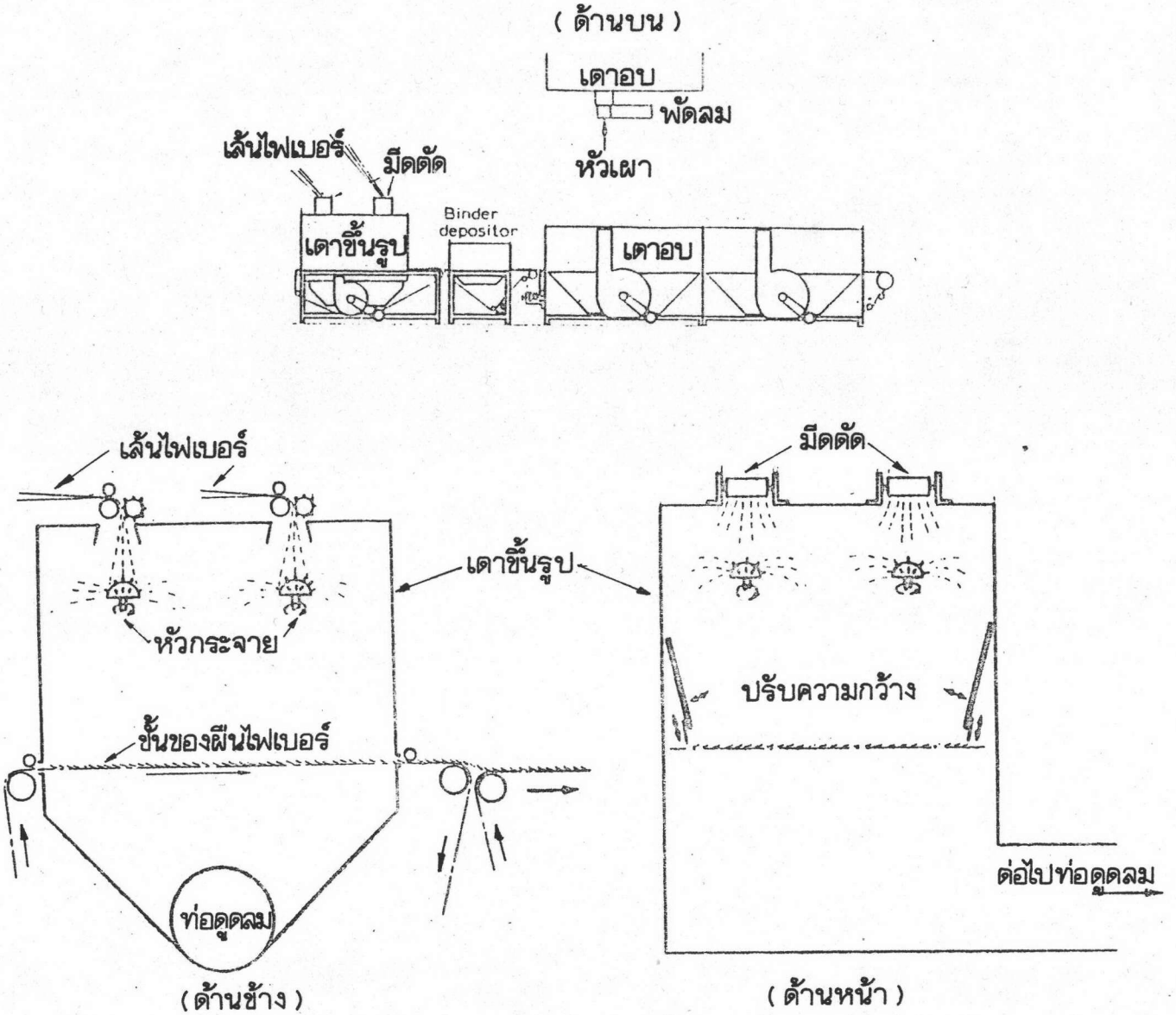
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



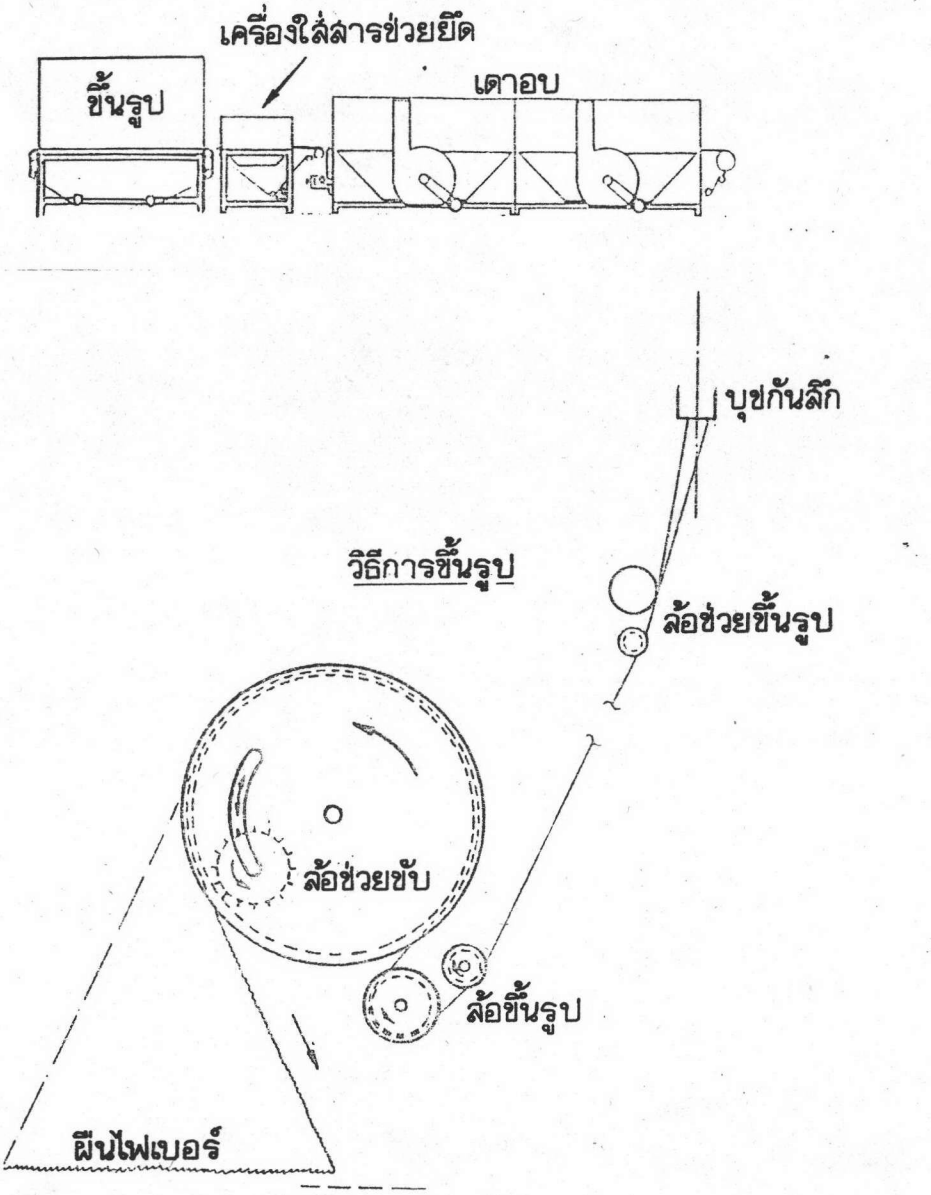
รูปที่ 2.3 การผลิตแก้ว



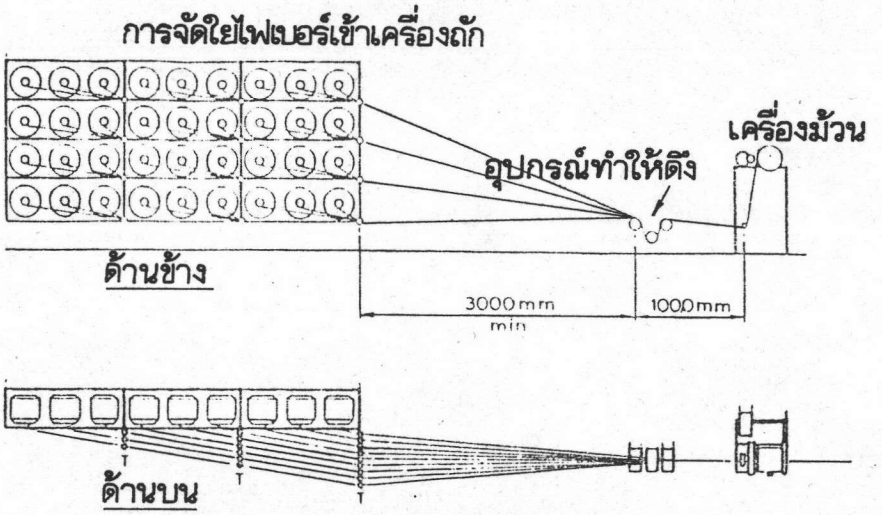
รูปที่ 2.4 การผลิตใยไฟเบอร์

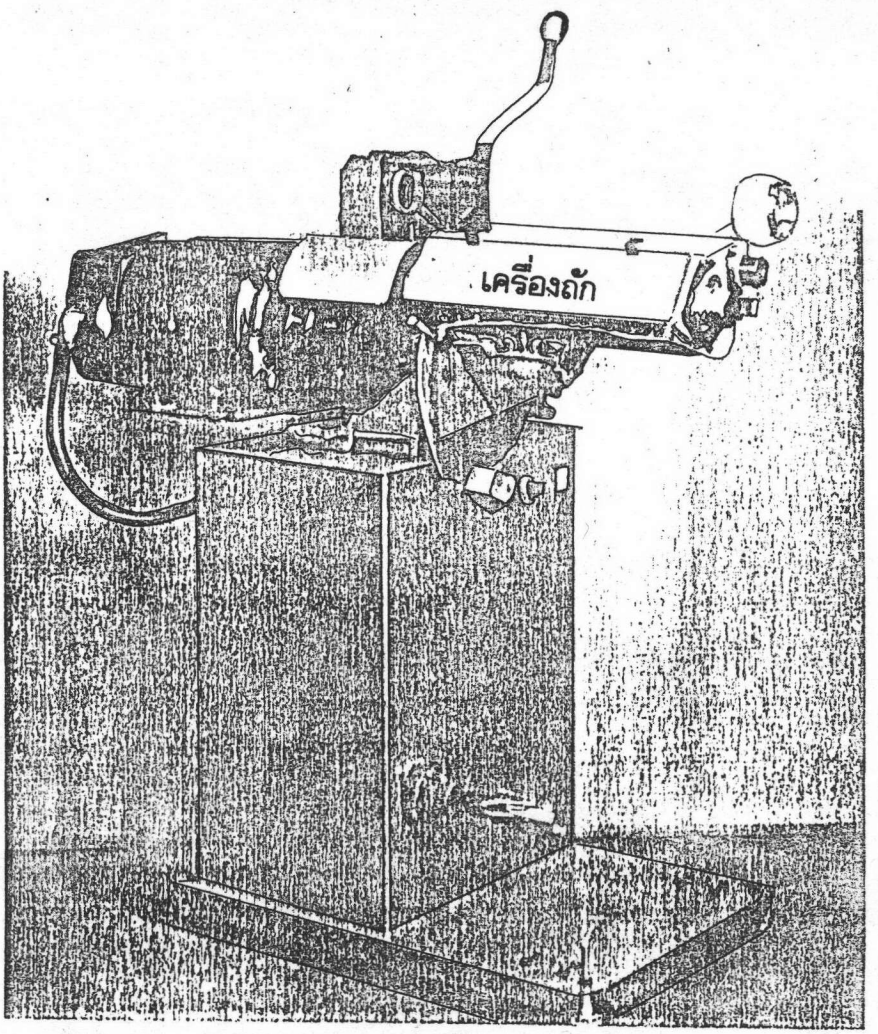


รูปที่ 2.5 การผลิตใยแก้วชนิดผืนเส้นสั้น (CSM)

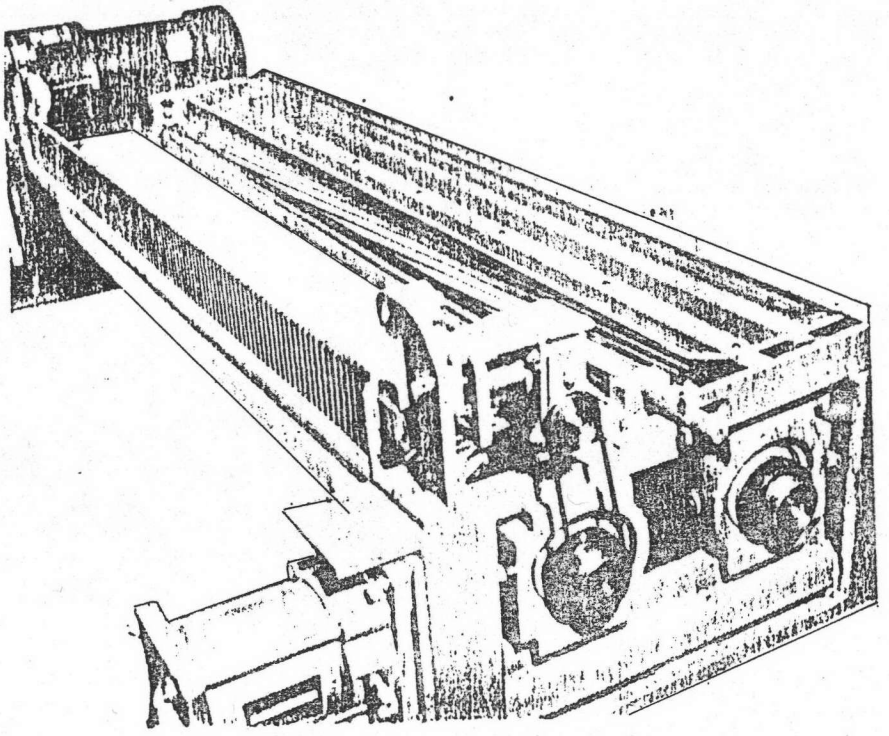


รูปที่ 2.6 การผลิตใยแก้วชนิดผืนเส้นเล็กยาว (CONT STND MAT)

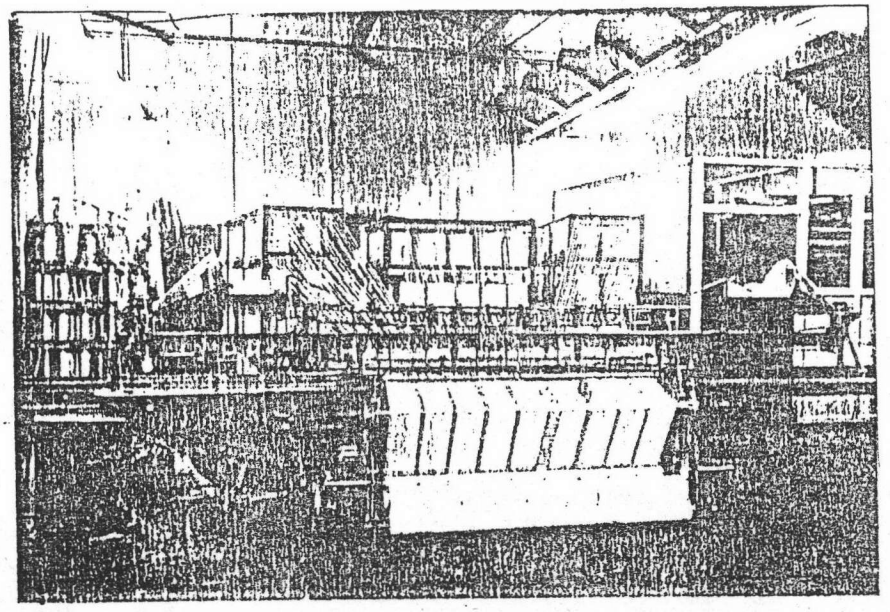




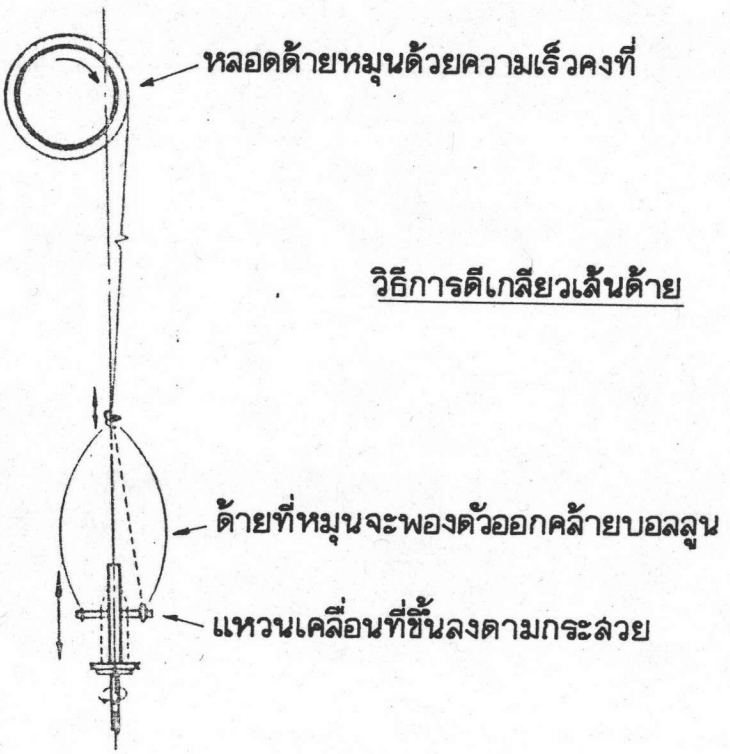
รูปที่ 2.7 การถักเส้นไฟเบอร์

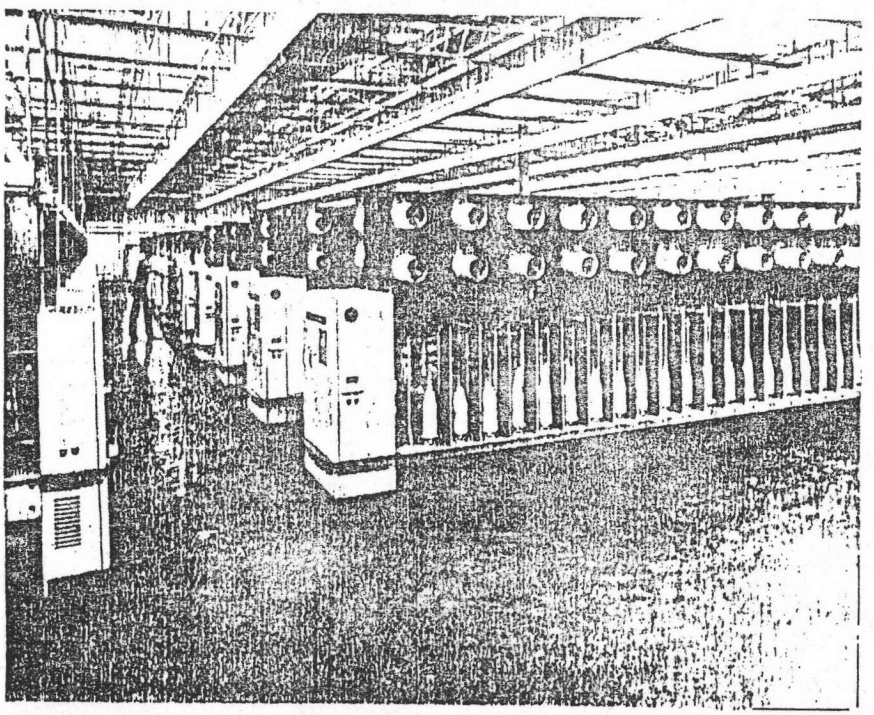


รูปที่ 2.8 การผลิตใยแก้วชนิดเส้นสั้น (CHOPPED STRAND)

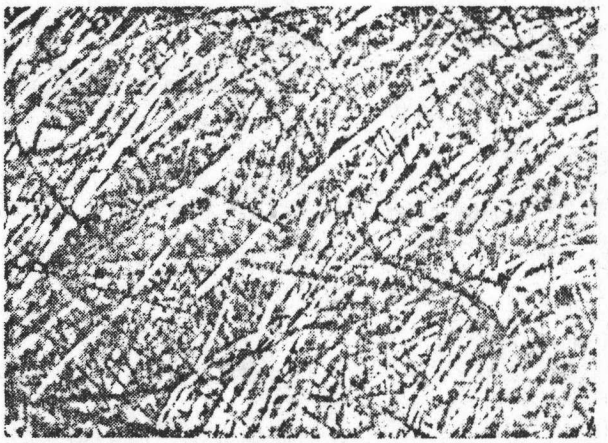


รูปที่ 2.9 การผลิตใยแก้วชนิดผืนทอเส้นยาว (ROVING CLOTH)



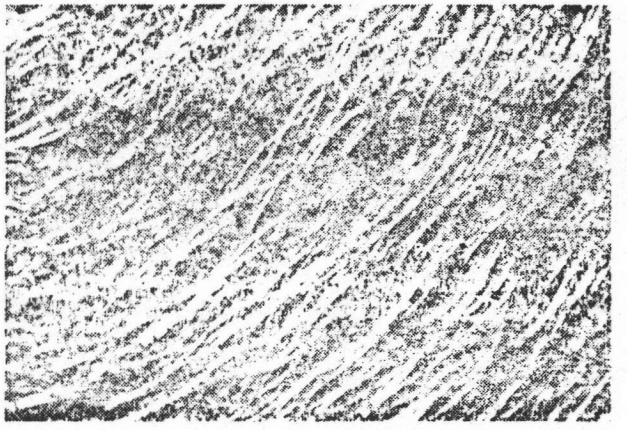


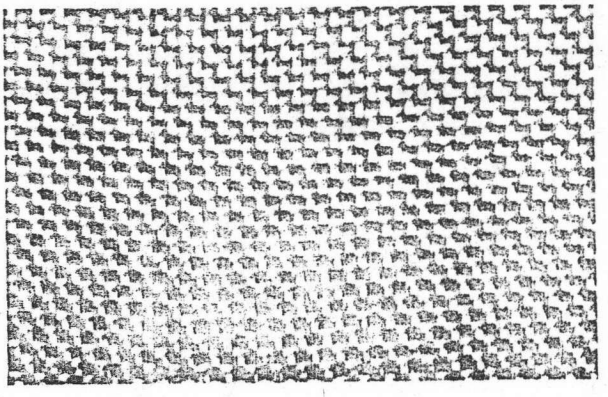
รูปที่ 2.10 การผลิตเส้นด้ายไฟเบอร์ (YARN)



ใยแก้วชนิดผืนเส้นสั้น

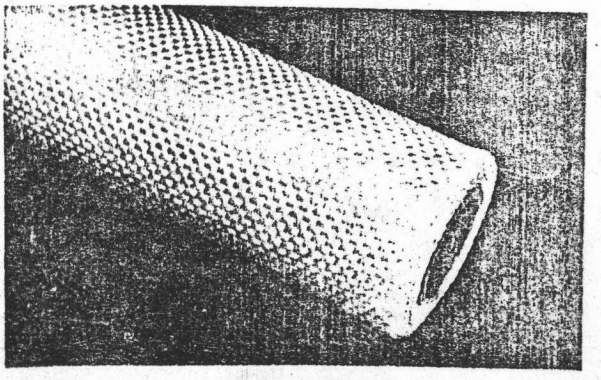
ใยแก้วชนิดผืนเส้นยาว



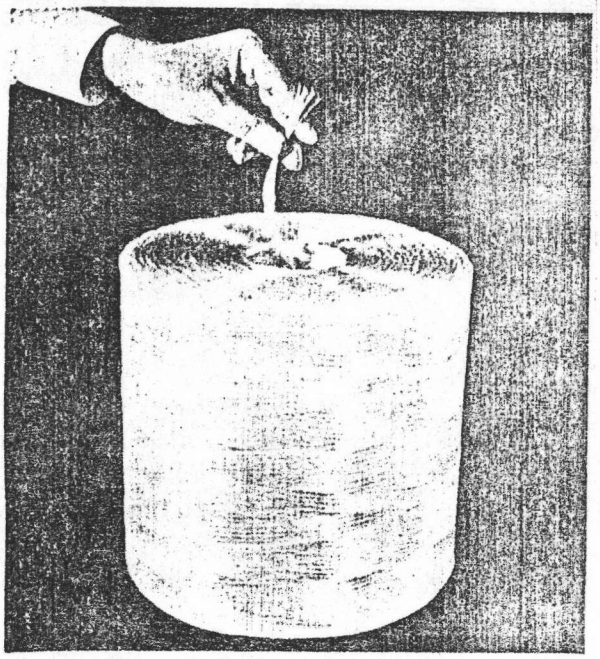


ใยแก้วชนิดผืนทอเส้นยาว

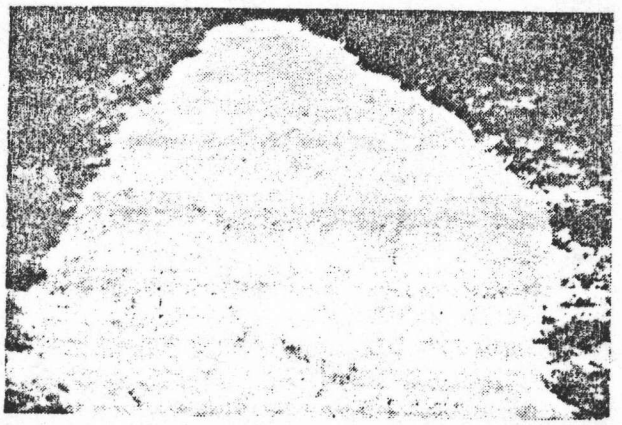
ม้วนใยแก้วชนิดผืนทอเส้นยาว



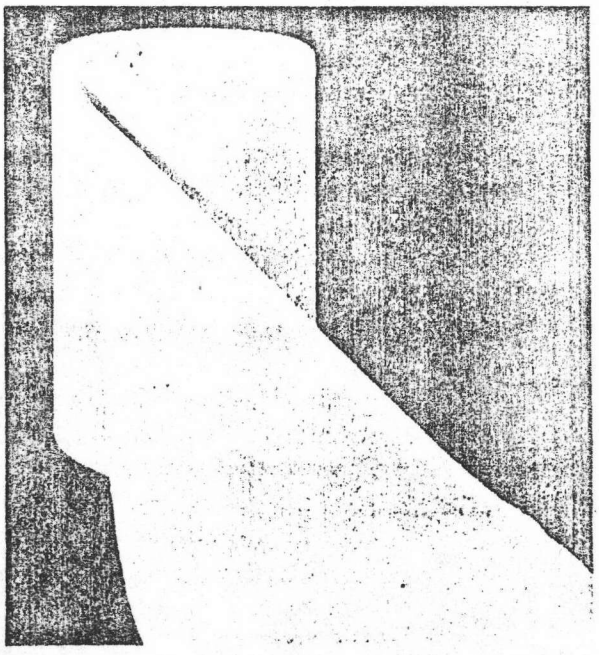
รูปที่ 2.11 แสดงใยแก้วชนิดต่างๆ

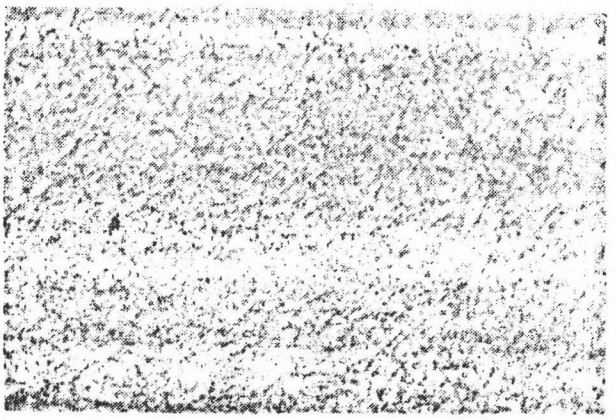


ใยแก้วชนิดเส้นยาว



ใยแก้วชนิดเส้นสั้น





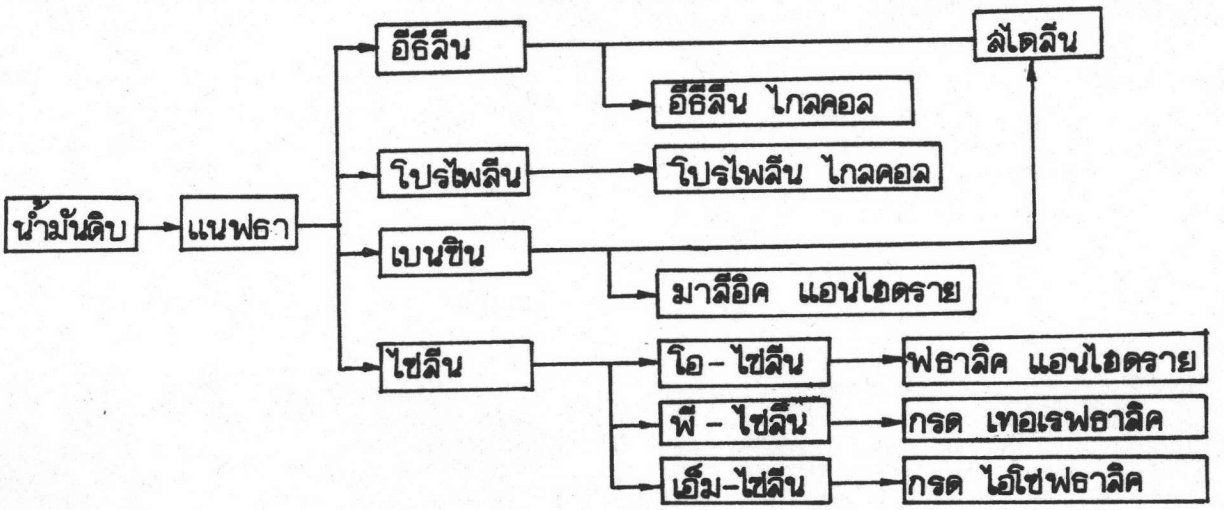
ใยแก้วชนิดผืนเส้นใยละเอียด (ใยผิว)

รูปที่ 2.11 (ต่อ)

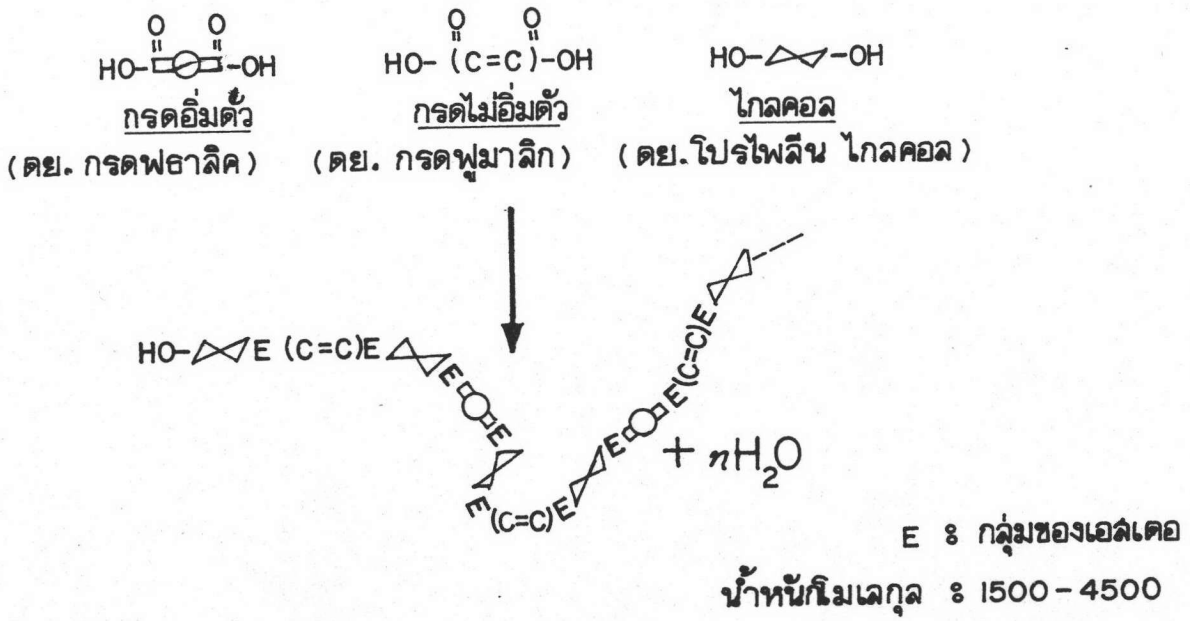
2.2.2 เรซิน (Resin) การที่จะให้ใยแก้วชนิดต่าง ๆ ประสานติดกันขึ้นเป็นรูปร่างของชิ้นงานได้นั้น นอกจากใยแก้วแล้วจำเป็นต้องมีวัสดุสำคัญอีกตัวหนึ่ง ซึ่งได้แก่ เรซิ่น ซึ่งเรซิ่นนั้นสามารถแบ่งออกตามลักษณะในการขึ้นรูปทางกายภาพได้เป็น 2 ชนิด คือชนิดที่หนึ่ง Thermo Plastic Resins และ ชนิดที่สอง Thermosetting Resins ซึ่ง Resin ทั้ง 2 ชนิดนี้จะมีข้อแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดคือ Thermoplastic Resins จะหลอมละลายเมื่อถูกความร้อนและละลายได้ (Soluble) ในตัวทำละลาย (Solvent) ส่วน Thermosetting Resins จะไม่หลอมละลายด้วยความร้อนหรือตัวทำลายใด ๆ พร้อมกันนั้นเวลาแข็งตัวก็จะเกิดความร้อนขึ้นในตัวของมันเองด้วย

เรซิ่นที่ใช้ในการทำเรือมีอยู่ 2 ชนิด คือ (1) Epoxy Resin และ (2) Polyester Resin แต่ Epoxy Resin นั้นมักจะไม่ค่อยนิยมใช้กันทั่วไปเพราะเนื่องจากมีราคาสูง และความยุ่งยากในการทำงานถึงแม้จะมีข้อดีหลายอย่าง เช่น มีความแข็งแรงในการยึดติด (Greater Bonding Strength) มีการหดตัวน้อย (Less Shrinkage) ดูดซึมซับน้ำน้อย,ทนต่อการขูดขีดได้สูง และรวมทั้งมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ดีกว่า Polyester Resin ก็ตาม Epoxy Resin นั้นประกอบด้วยส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ ส่วน A ซึ่งเป็นตัว Resin และส่วน B เป็นตัวทำให้แข็ง (Hardener) ซึ่งอัตราส่วนประสมระหว่าง Resin กับ Hardenerนั้นมีอัตราส่วนตั้งแต่ 1:1 จนกระทั่งถึง 5:1 ส่วน Polyester Resin นั้นเป็นเรซินที่นิยมใช้ในการผลิตเรือไฟเบอร์กลาสและการหุ้มชิ้นงานด้วยไฟเบอร์กลาส (SHEATING) มากที่สุด ถึงแม้จะมีคุณสมบัติต่าง ๆ ต่ำกว่า Epoxy Resin ก็ตามแต่ก็ไม่ใช้เป็น แฟคเตอร์ที่สำคัญมากนัก ถ้าหากพิจารณาถึงค่าใช้จ่าย และราคาต้นทุนก็ทำให้ต้องหันมาใช้ Polyester Resin กันเป็นส่วนมาก เพราะว่าราคานั้นต่ำกว่า Epoxy Resin มาก

วัตถุดิบสำหรับโพลเอสเตอเรซินที่ไม่อิ่มตัว



การจับยึดของโพลีเอสเตอเรซินที่ไม่อิ่มตัว



รูปที่ 2.12 แสดงโพลีเอสเตอเรซินที่ไม่อิ่มตัว

โพลีเอสเตอร์เป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็น Petro - Chemical Based ซึ่งได้มาจากการกลั่น น้ำมันดิบ ดังแสดงในรูป ที่ 2.12

ในขบวนการผลิตเรซิน จะนำเอา Anhydrides ต่าง ๆ , Clycols และ Styrene ซึ่งได้มาจากขบวนการผลิต Benzene, Propylene , Etelene นำมาผสมกันในถังปฏิกิริยา (Reactor) เมื่อทำปฏิกิริยากันจนได้โพลีเอสเตอร์แล้วก็จะใส่ อินฮิบบิเตอร์ (Inhibitor) เป็นตัวป้องกันไม่ให้โพลีเอสเตอร์แข็งตัว ยืดอายุของโพลีเอสเตอร์และช่วยลดความร้อนที่เกิดขึ้นในขณะที่โพลีเอสเตอร์แข็งตัวด้วย หลังจากนั้นก็นำมาเจือจางด้วย Styrene เพื่อให้มีความเหลวพอเหมาะในการใช้ ซึ่งปกติจะใช้ Styrene ตั้งแต่ 1 ใน 3 ถึงครึ่งหนึ่งของโพลีเอสเตอร์ที่ได้เป็น Final Product

โพลีเอสเตอร์เรซินมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับการนำไปใช้ ซึ่งปกติจะมีสีเหลืองข้นใสหรือสีฟ้าข้นใส นอกจากนั้นยังแบ่งออกเป็น 2 พวกด้วยกัน คือ (1) พวกผสมขี้ผึ้ง คือ โพลีเอสเตอร์พวกนี้เมื่อแข็งแล้วผิวจะไม่เหนียวเหนอะ มักนิยมใช้กับการเลย์ไฟเบอร์ในชั้นนอกสุด ส่วนอีกพวกหนึ่งคือ (2) พวกไม่ผสมขี้ผึ้งซึ่งเป็นโพลีเอสเตอร์ที่เมื่อแข็งแล้วก็ยังมีผิวเหนียวอยู่ ซึ่งจะช่วยในการยึดเกาะของโพลีเอสเตอร์เรซินในแต่ละชั้นได้ดี

การเก็บรักษาโพลีเอสเตอร์เรซินนั้น ควรที่จะจัดเก็บในที่เย็น (ต่ำกว่า 70F) แห้งไม่ถูกแสงแดดและอยู่ห่างไกลจากเปลวไฟเพราะเป็นวัสดุที่ติดไฟได้ และไม่ควรเก็บไว้นานจะทำให้เรซินแข็งเสียได้ ปกติทั่วไปจะมี Shelf Life เพียง 6 เดือน เท่านั้น

2.2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยา และตัวทำให้แข็ง (Accelerators & Catalysts) ในการแข็งตัวของตัวเรซินด้วยปฏิกิริยาของตัวมันเอง นั้นจะใช้เวลานานมากซึ่งไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้งาน จึงจำเป็นต้องเพิ่มตัวประกอบ

อีก 2 ตัว คือ

1) ตัวเร่งปฏิกิริยา (Accelerator, Promotor, Activator) และตัวทำให้แข็ง (Catalyst, Hardener) ซึ่งจะต้องใช้ด้วยกัน ซึ่งที่จริงแล้วตัวทำให้แข็งจะเป็นตัวทำให้เกิดความร้อนเพื่อทำให้เรซินแข็งตัว (Cure) ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้เกิดการแข็งตัว (Cure) ได้ในอุณหภูมิการทำงานปกติโดยไม่ต้องใช้ความร้อนจากภายนอกเข้ามาช่วย และหลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุดก็จะไม่เกิด By - Products และอัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยากับตัวทำให้แข็ง กับ เรซิ่น ที่แตกต่างกันรวมทั้งอุณหภูมิของอากาศขณะที่ทำงานแตกต่างกันก็มีผลให้ Gel Time และ Cure Time แตกต่างกันด้วย ซึ่งปกติการแข็งตัวของเรซินจะเป็น 2 ช่วง คือ เจลไทม์ (Gel Time) จะเป็นช่วงแรกที่หลังจากเติม ถ้าทำให้แข็งลงไปทำให้เรซินเริ่มแข็งตัวเป็นคล้ายวุ้น หลังจากนั้นช่วงเวลาที่เรซินแข็งตัวเต็มที่เรียกว่า เคียวไทม์ (Cure Time)

ตัวเร่งปฏิกิริยานั้นมีหลายชนิด แต่โดยที่วไปที่ใช้กับโพลีเอสเตอร์เรซิน นั้นจะเรียกชื่อทางเทคนิคว่า โคบอล์ นาพทาเนท (Cobalt Napthanate) ซึ่งเป็นของเหลวสีม่วง (Purple-Coldred Fluid) ซึ่งโดยทั่วไปจะเรียกย่อ ว่า โคบอล์ หรือ ตัวม่วง โดยในทางปฏิบัติจะใช้ตัวเร่ง (ตัวม่วง) ปริมาณ 1 - 2 % โดยน้ำหนักผสมลงในโพลีเอสเตอร์เรซิน เสียก่อน ดังนั้นเรซินจะมีสีม่วงอ่อน แทนสีเหลืองจึงเป็นสีของโปลีเอสเตอร์เรซิน

2) ตัวทำปฏิกิริยา ซึ่งปกติแล้วจะใช้ Organic Peroxide เป็นตัวทำปฏิกิริยาซึ่งมีอยู่หลายตัวแต่ที่นิยมใช้คือ Methyl Ethyl Ketone Peroxide โดยนิยมเรียกย่อ ๆ ว่า MEKP หรือตัวแข็ง ตัวทำปฏิกิริยานี้จะลักษณะเป็นของเหลวได้ไม่มีสี มีกลิ่นฉุนมากเป็นอันตรายต่อเยื่อจมูกและตาห้ามสัมผัสกับผิวโดยตรง โดยทางปฏิบัติจะใช้ตัวทำปฏิกิริยา ประมาณ 0.5 - 2 % โดยน้ำหนัก

ข้อควรระวังในการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวแข็งคือ ห้ามผสมทั้ง 2 ตัวเข้าด้วยกันโดยตรง เพราะจะเกิดปฏิกิริยาเคมีรุนแรง ทำให้เกิดไฟและระเบิดได้ และต้องเก็บรักษาให้ตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวแข็งให้ห่างกันหากน้ำยาทั้ง 2 ตัวดังกล่าวเข้าตา ควรล้างด้วยน้ำสะอาดมาก ๆ โดยทันทีแล้วรีบไปหาแพทย์เพราะเป็นอันตรายอย่างมาก

2.2.4 เจลโค๊ต (Gel Coat) เป็นโพลีเอสเตอร์ เรซิน ที่เป็นสี (Pigmented Polyester Resins) ปกติมี 2 ชนิด คือ ชนิดโค้งงอได้ (Flexible) และชนิดกึ่งโค้งงอ (Semi - Flexible) เจลโค๊ตนี้จะเป็นผิวงานชิ้นแรกที่ปิดอยู่ด้านหน้าของชิ้นงานทำให้ชิ้นงานมีผิวสีสวยเป็นมันเงา ทั้งยังปกปิดไม่ให้เห็นรอยเส้นใยแก้ว (Fiberglass Texture) และฟองอากาศ (Air Bubbles) ในใยแก้วที่ยังไล่ออกไม่หมด รวมทั้งสิ่งปกเปื้อนอื่น ๆ อีกด้วย เจลโค๊ต สามารถจะทำจากเรซินที่มีฐานเป็น Ortho, Iso หรือ Neopentyl Glycol (Neo) ก็ได้ แต่ชนิดที่เป็น ไอโส หรือ นีโอ จะนิยมใช้มากกว่า เนื่องจากมีความแข็งแรงและทนทานมาก

การที่ทำให้เจลโค๊ตมีสีต่าง ๆ นั้นจำเป็นต้องใช้แม่สี (Pigment) ผสมลงไปใน เจลโค๊ต และยังมีผลทำให้การแข็งตัวของเจลโค๊ตเปลี่ยนไปด้วยแม่สีบางสีจะทำให้แข็งตัวเร็วขึ้น (Accelerate) และบางสีทำให้ช้าลง (Decelerate) อัตราส่วนผสมของแม่สีที่ผสมลงไปเจลโค๊ตจะอยู่ประมาณ 15 - 20 % โดยน้ำหนักขึ้นอยู่กับชนิดของสีและความเข้มข้นของสี ที่สำคัญแม่สีที่ใช้ผสมต้องเป็นแม่สีเฉพาะที่ใช้กับโพลีเอสเตอร์ เรซิน เท่านั้น

2.2.5 โมโนสไตรีน และ อาซีโทน (Monostyrene & Acetone) โมโนสไตรีน เป็นตัวทำละลายหรือทำให้เหลวเพื่อสะดวกในการทำงานจะระเหย

และเหนียวกว่า อะซีโทน ปกติจะผสมในโฟลีเอสเตอร์ เรซิน และเจลโค๊ตประมาณ 10 - 20 % โดยน้ำหนัก ส่วนอะซีโทนเป็นตัวละลาย ละเหยง่าย เป็นของเหลวใสไม่มีสี ไวไฟมาก ใช้ทำความสะอาดอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆที่เปื้อนโฟลีเอสเตอร์เรซินได้ดี แต่มีราคาค่อนข้างสูง แต่ใช้ทินเนอร์ก็ได้แต่ใช้แล้วร้อนมือและใช้ได้ไม่ดี

2.2.6 ขี้ผึ้ง (Wax) ขี้ผึ้งที่ใช้ในงานไฟเบอร์กลาสมีอยู่ด้วยกันมากมายหลายแบบหลายยี่ห้อ หลายราคา ที่นิยมใช้กันมาก ๆ มี 2 ชนิด คือ

1) ขี้ผึ้งขัดผิว (Rubbing Compound) มีลักษณะเหลวนุ่มใช้ขัดผิวแม่แบบให้สะอาดเป็นมันวาว

2) ขี้ผึ้งถอดแบบ (Mold Release Wax) เป็นขี้ผึ้งที่ช่วยอุดรูขนาดเล็ก ๆ บนผิวแม่แบบรวมทั้งช่วยลดแรง ดูดผิว (Surface Adhesion) ระหว่างชิ้นงานกับแม่แบบเพื่อง่ายในการถอดแบบ

ปัจจุบันมีผู้สนใจนำเอาไฟเบอร์กลาสไปผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย เช่น แท้งค์น้ำ โคมหลังคา ท่อส่งเคมี แม่พิมพ์แบบหล่อคอนกรีต ถังต่าง ๆ รางน้ำ อุปกรณ์รถ เก้าอี้ หมวกนิรภัย และอื่น ๆ ทำให้มีผู้สนใจเป็นตัวแทนจำหน่ายรวมทั้งจัดตั้งโรงงานผลิตเคมีภัณฑ์ และอุปกรณ์ไฟเบอร์กลาสเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดการแข่งขันกันในการจำหน่าย ยังผลให้ราคาเคมีภัณฑ์และอุปกรณ์ไฟเบอร์กลาสต่ำลง อีกทั้งการนำเสนอเคมีภัณฑ์ตัวใหม่ ๆ ที่ทำให้การผลิตงานไฟเบอร์กลาสรวดเร็วและสวยงามดียิ่งขึ้น

i17231493

2.3 ขั้นตอนในการต่อเรือไฟเบอร์กลาส

การต่อเรือไฟเบอร์กลาสนั้นโดยทั่วไปส่วนใหญ่ ๆ จะมีอยู่ 6 ขั้นตอน คือ

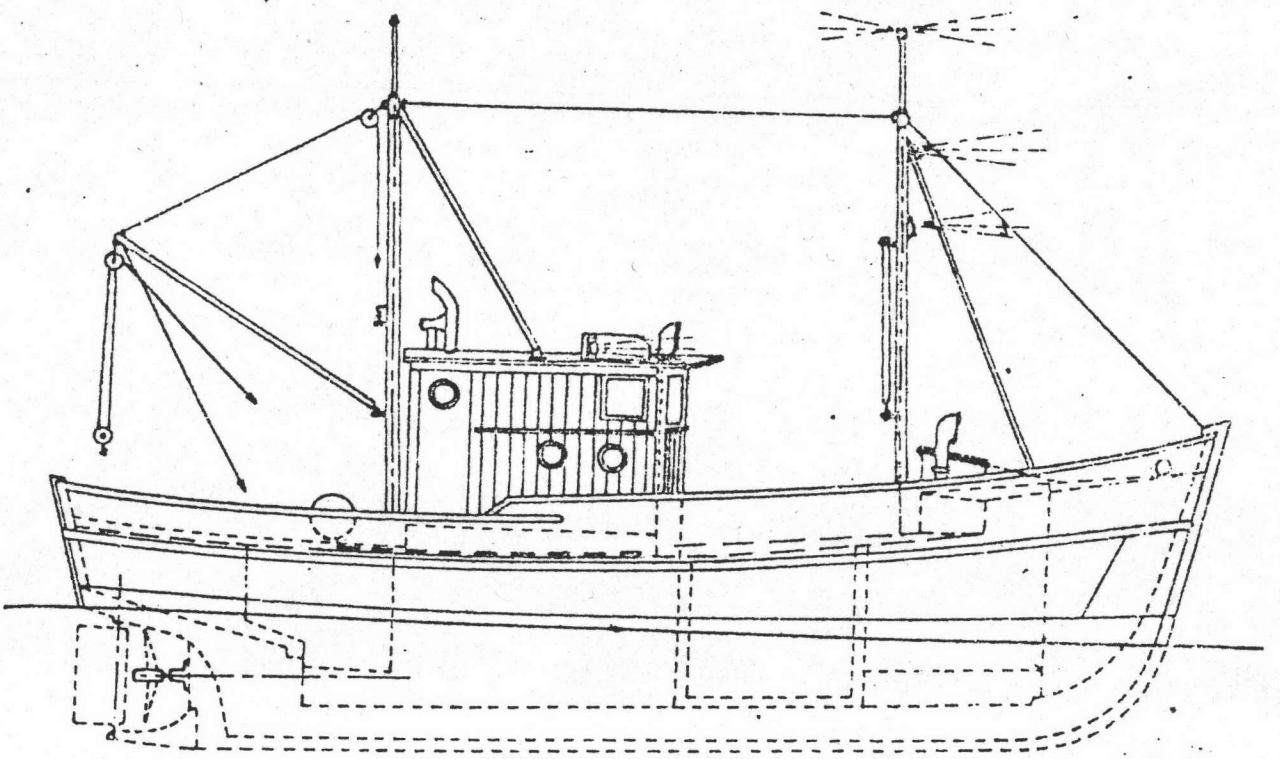
2.3.1 การออกแบบแปลนเรือ (Design) เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการต่อเรือ เพราะเรือจะมีสมรรถนะเหมาะสมตามความต้องการ หรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับขั้นตอนนี้ ซึ่งในประเทศไทยนับว่ายังมีความขาดแคลนบุคลากรในด้านนี้อยู่อีกมาก ผู้ที่อยากศึกษาโดยตรงทางด้าน Naval Architect ก็ยังมีอยู่น้อยมากอีกเช่นกันแบบเรือ และสิ่งที่จำเป็นที่ต้องแสดงในแบบเพื่อให้ผู้ทำการต่อเรือจะได้เข้าใจ และต่อได้ถูกต้องตามแบบนั้นจะต้องประกอบไปด้วยแบบต่าง ๆ ดังนี้

1) แบบด้านข้างเรือ (Profile) แผนผังเรือ (Deck Arrangment) และแผนผังชั้นล่างของเรือ (Under Deck Arrangment) ตามรูปที่ 2.13 ซึ่งจะแสดงจุดต่าง ๆ ของเก๋งเรือ ทางลงชั้นล่างของเรือ และส่วนอื่น ๆ รวมทั้งจุดต่าง ๆ ของเครื่องมือ เครื่องใช้ในตัวเรือ

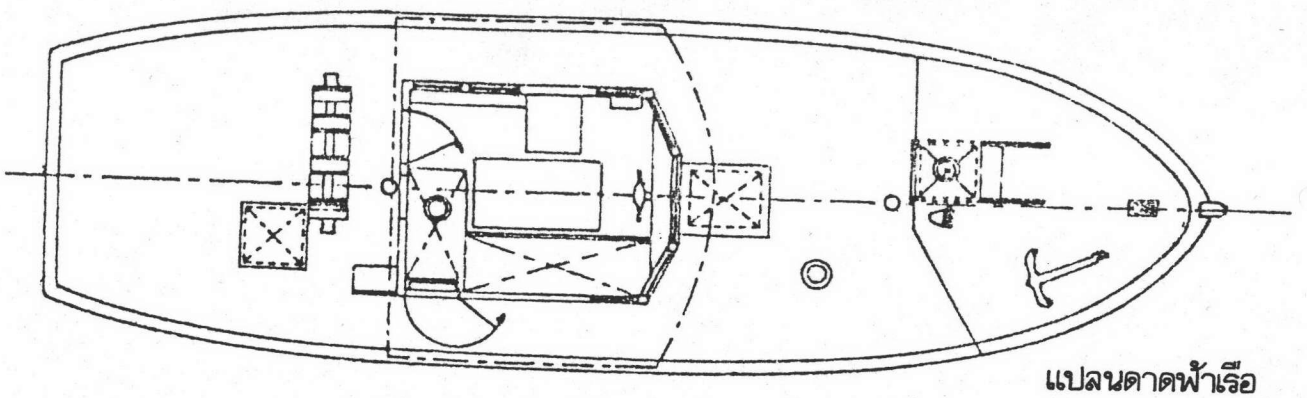
2) แบบลายเส้นและตารางแบบลายเส้น (Lines Drawing And Offset Table) ตามรูปที่ 2.14 - 2.16 เป็นแบบที่สำคัญที่สุดของการเขียนแบบเรือ ซึ่งจะแสดงและกำหนดสัดส่วนต่าง ๆ ของเรือตามความต้องการของผู้ออกแบบเรือที่ได้คำนวณไว้แล้ว

3) รูปตัดตามยาว และตามขวาง (Construction Profile and Section) ตามรูปที่ 2.17 - 2.18 เป็นแบบแสดงรายละเอียดของโครงสร้าง และส่วนประกอบต่าง ๆ เพื่อให้เกิดความเข้าใจ และสะดวกในการสร้างเรือ

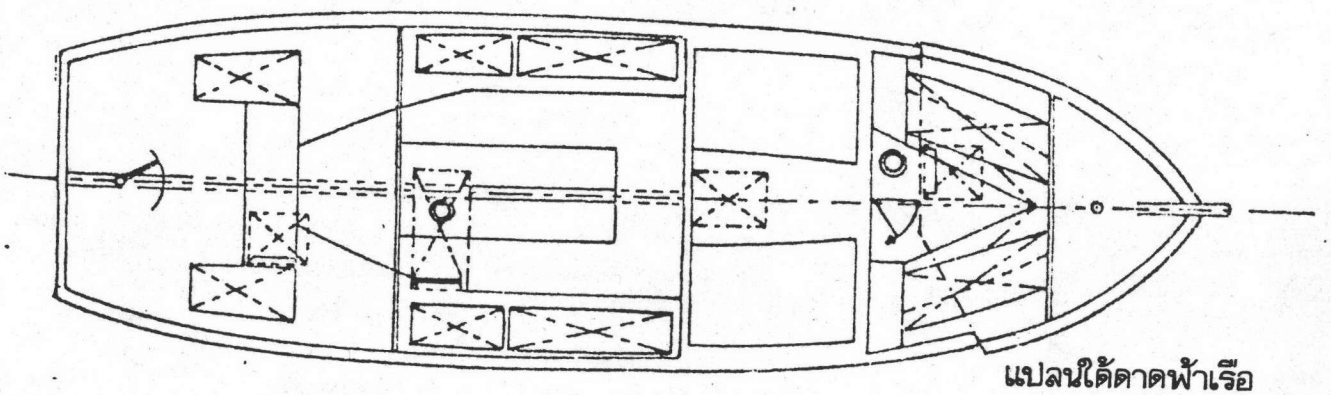
4) แบบขยายส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้าง (Joinery and Other Details) เนื่องจากแบบที่ได้จากข้อ 3 นั้นมีขนาดเล็ก ช่วงต่อเรือบางจุดที่สลับซับซ้อนก็จะนำมาขยายในรายละเอียดในแบบขยายนี้



ด้านข้างเรือ

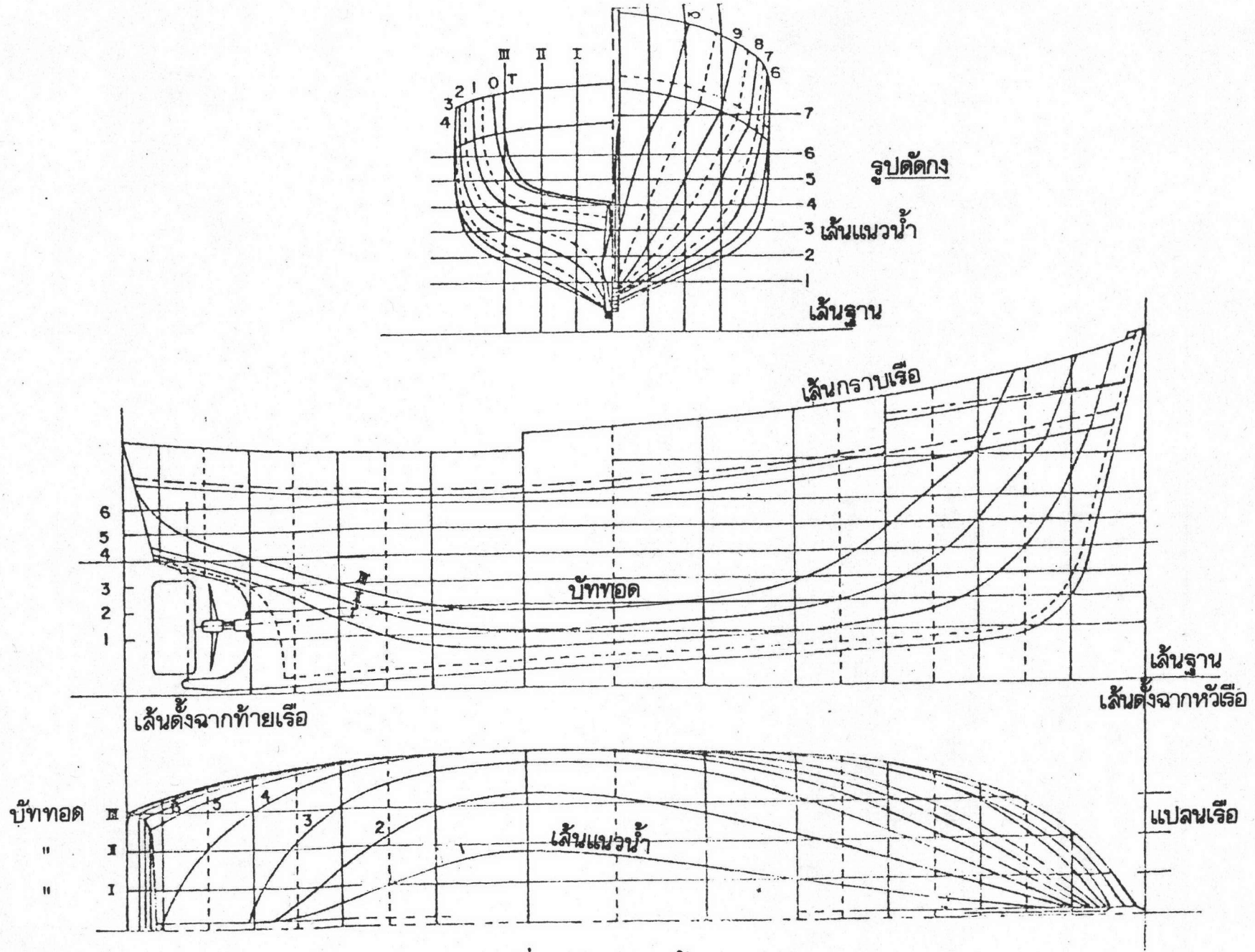


แปลนดาดฟ้าเรือ

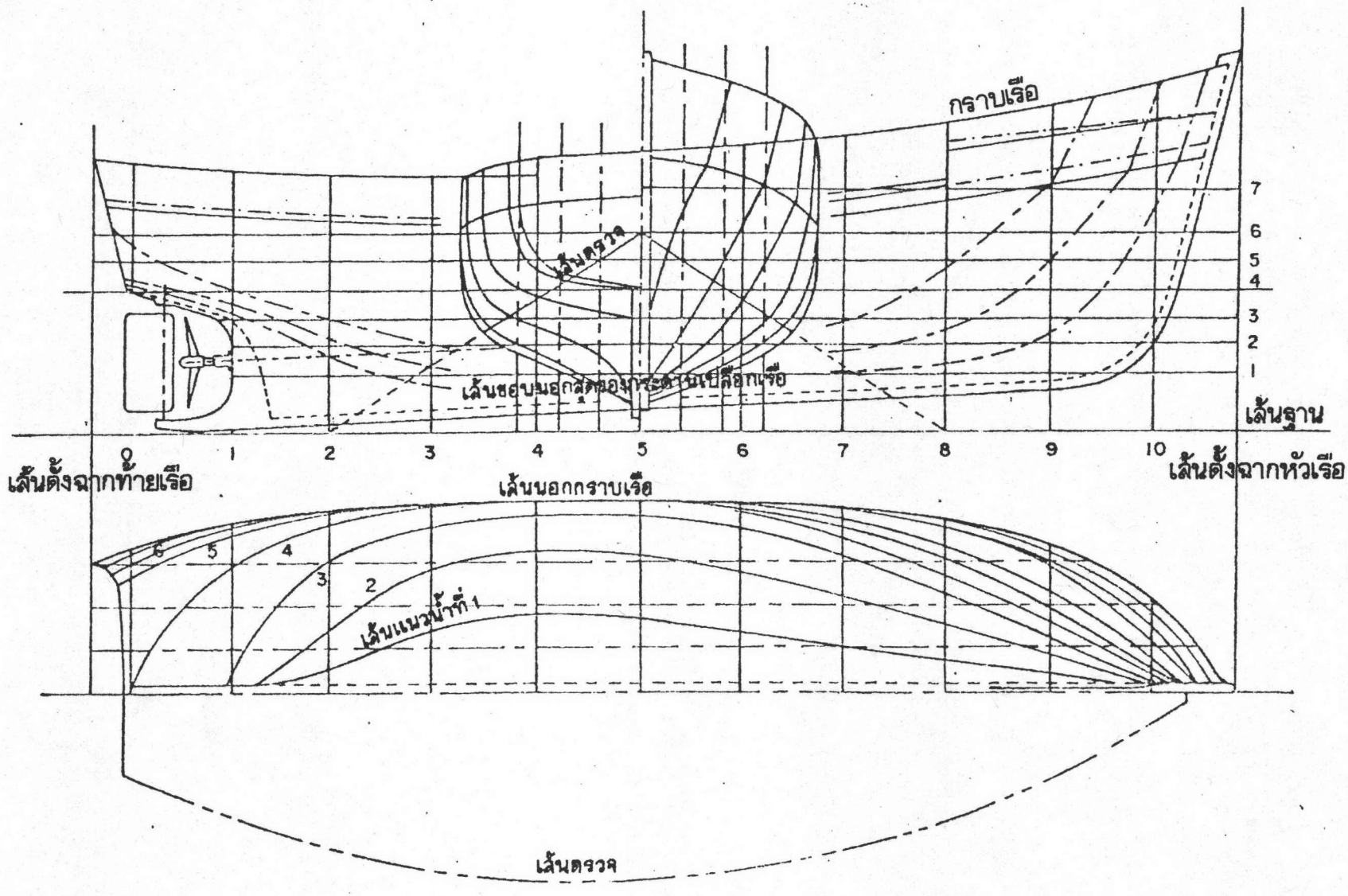


แปลนใต้ดาดฟ้าเรือ

รูปที่ 2.13 การจัดแผนผังของเรือ



รูปที่ 2.14 แบบลายเส้น

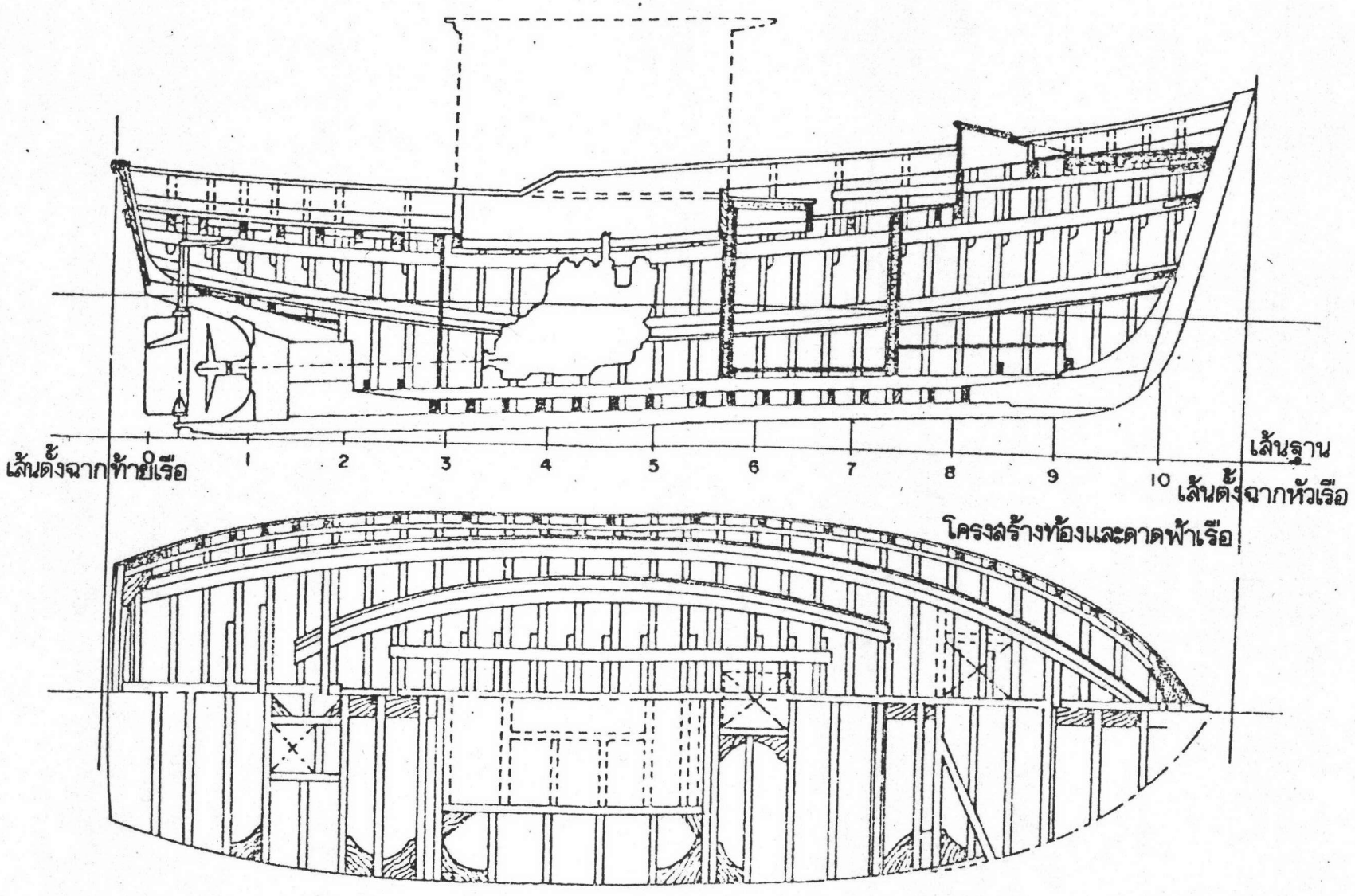


รูปที่ 2.15 แบบลายเส้นแสดงเส้นตรวจ

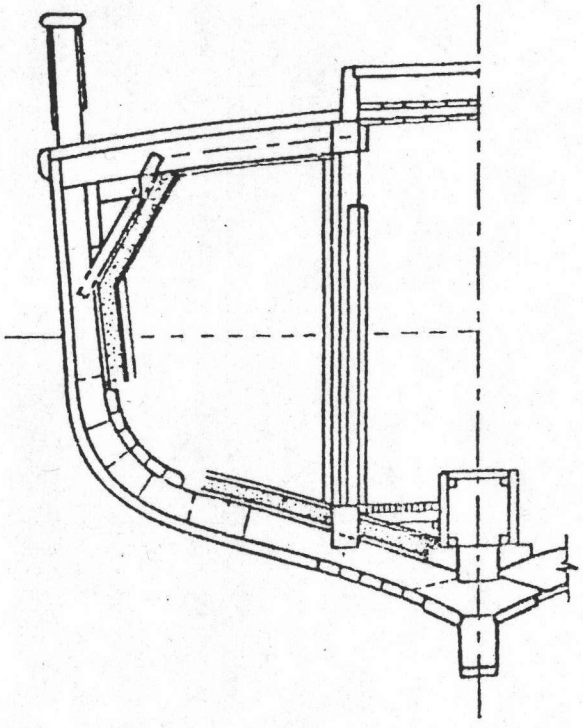
เส้นดัด		T	O	½	1	1½	2	2½	3	4	5	6	7	7½	8	8½	9	9½	10
ระนาบขวางครึ่งลำ	1					5.0	10.0	13.0	26.2	32.3	30.0	24.6	18.3	15.2	12.1	8.7	6.1		
	2					10.2	25.7	41.3	51.1	59.3	57.1	50.2	40.0	34.2	28.2	21.4	15.0	8.3	
	3				-7.4	38.0	54.6	64.7	70.1	73.6	72.5	67.6	56.2	49.3	40.8	31.7	22.6	13.4	4.1
	4		1.0	35.4	52.4	63.3	70.1	74.1	76.3	77.4	77.0	73.7	64.1	57.5	49.1	39.5	29.1	18.2	6.2
	5	46.0	50.0	58.3	65.3	70.3	74.4	76.5	78.0	78.0	77.5	75.5	68.3	63.0	55.4	46.2	35.2	23.7	9.6
	6	51.5	56.0	63.0	68.6	72.6	75.5	77.1	78.0	78.0	78.0	77.2	72.2	67.4	61.1	52.3	41.6	29.0	13.4
	7										78.0	78.0	75.4	72.7	68.5	62.3	52.5	39.0	21.2
	Sheer (deck)	54.0	58.4	65.0	70.0	73.2	75.7	77.3	78.0	——	——	78.0	75.2	72.4	68.4				
	Raised deck														70.6	65.7	58.4	47.7	32.7
	Knuckle											78.0	75.0	72.1	68.4	62.0	54.0	43.0	27.3
	Top of b'works	54.0	59.5	65.5	70.0	——	——	—— as sheer ——		——	——	——	77.0	75.1	72.3	67.6	61.4	51.6	38.1
ระนาบขวางครึ่งท้าย	Keel bottom		0.0	——	——	——	——	straight line		——	——	——	——	——	14.6	15.5	17.0	21.0	35.0
	Rabbet		60.6	54.5	47.3	6.2	——	—— straight line ——		——	——	——	——	——	18.2	19.1	20.4	25.0	43.4
	Sheer	96.0	94.5	92.4	90.6	89.1	88.1	87.5	87.3	88.1	90.0	93.1	97.5	100.1	13	106.3	110.0	113.4	117.7
	Raised deck														119.3	122.0	124.6	127.4	130.0
	Knuckle											87.1	91.5	94.1	97.1	99.3	104.0	107.4	111.7
	Top of b'works	114.0	112.7	111.1	110.0	108.6	107.7	107.0	106.5	115.7	117.0	119.7	124.2	127.0	130.0	133.6	137.6	142.4	148.0
	Buttock I	63.3	62.3	56.7	50.1	41.0	31.3	24.0	19.5	17.2	18.5	20.7	23.7	25.5	28.0	33.2	40.4	58.4	95.1
	II	66.7	65.5	60.1	54.3	47.1	40.2	33.5	28.7	25.3	26.4	29.1	33.7	37.3	43.3	54.1	73.1	98.1	141.2
	III	96.0	78.5	67.0	61.0	54.1	47.6	41.7	37.2	33.3	34.4	37.7	45.7	53.6	66.6	87.5	104.0		

ขนาดเป็น "นิ้ว"

รูปที่ 2.16 ตารางแบบลายเส้น

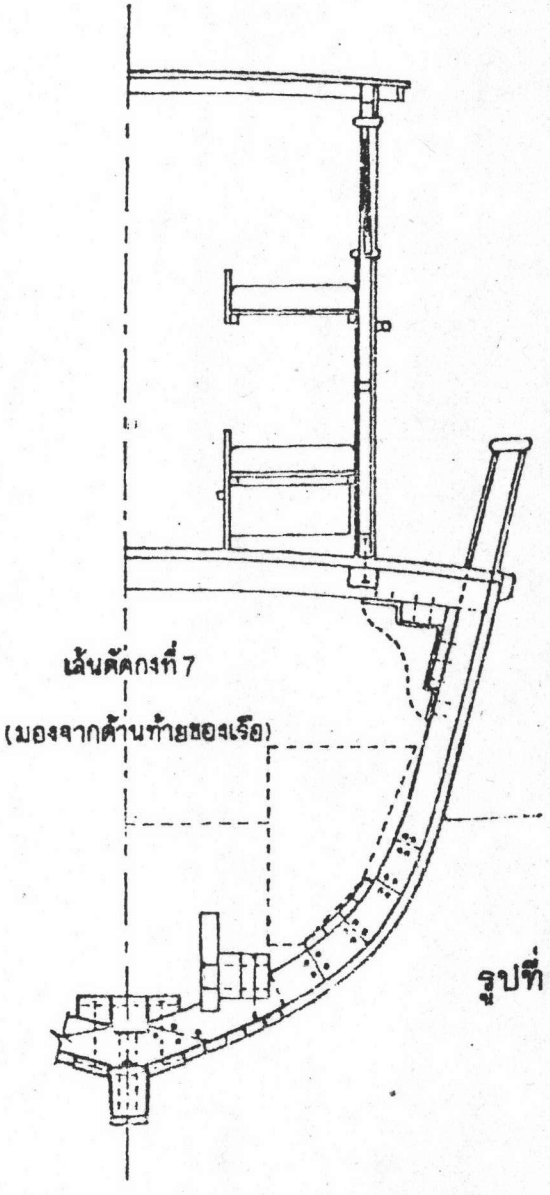


รูปที่ 2.17 แบบแสดงโครงสร้างของเรือ



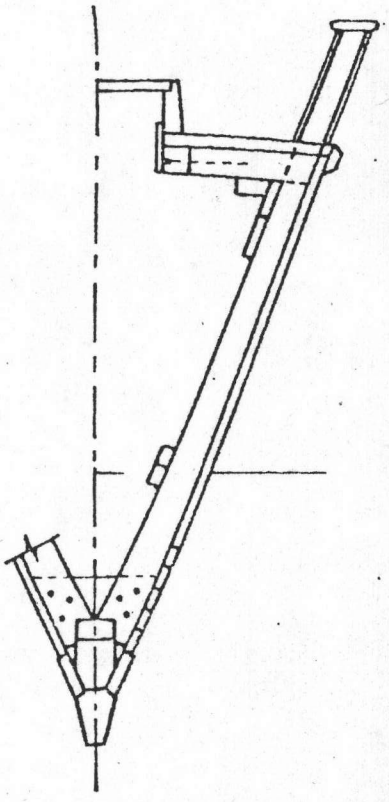
เส้นตัดกงที่ 4

(มองจากด้านท้ายของเรือ)



เส้นตัดกงที่ 7

(มองจากด้านท้ายของเรือ)



เส้นตัดกงที่ 9

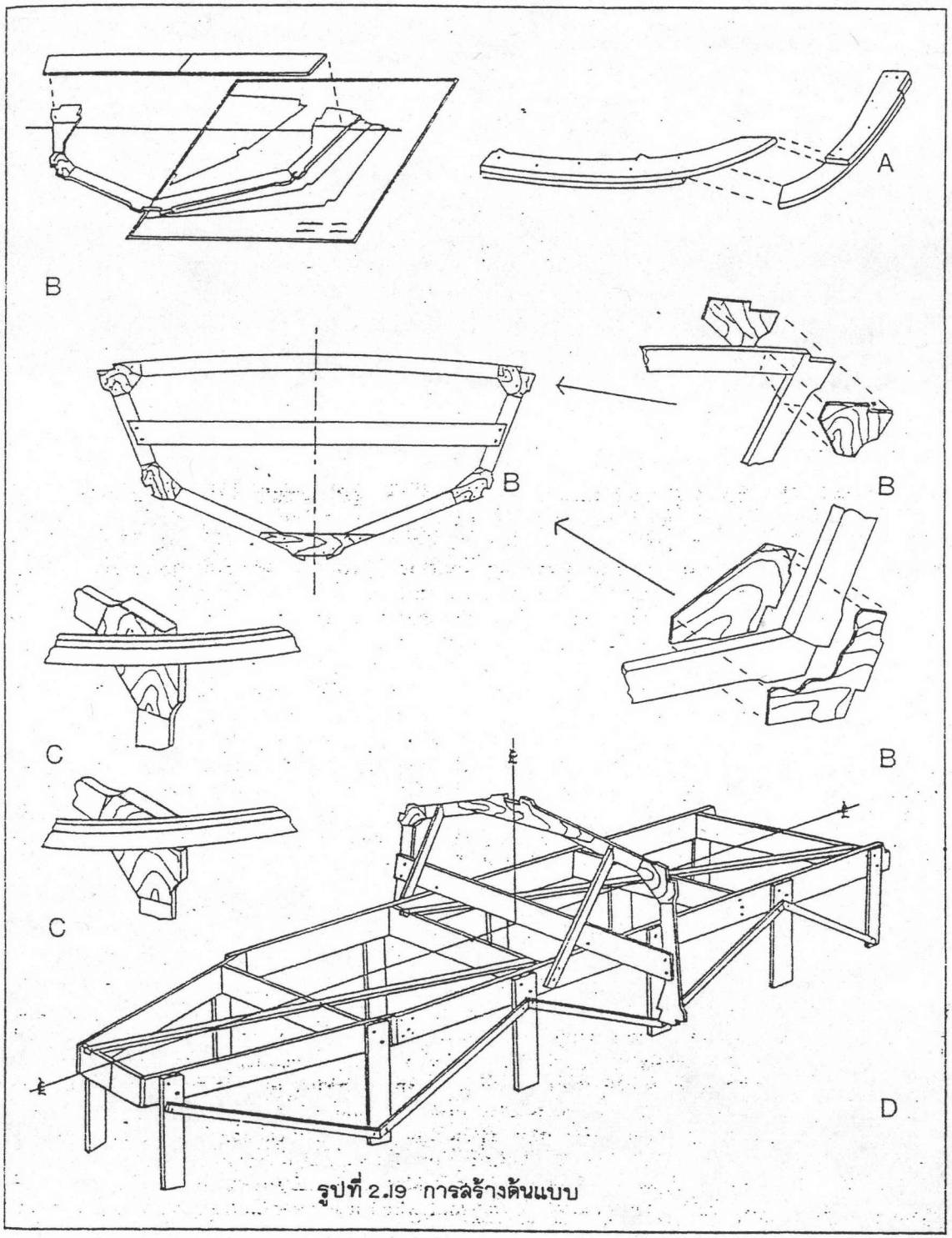
(มองจากด้านท้ายของเรือ)

รูปที่ 2.18 รูปตัดแสดงโครงสร้างของเรือ

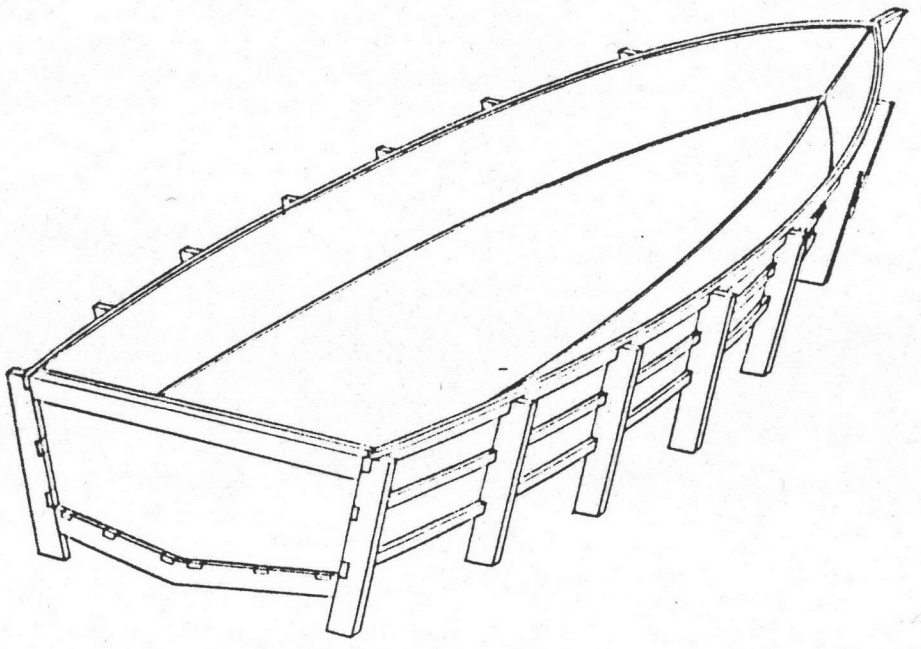
5) แบบรายละเอียดแสดงระบบต่าง ๆ เช่น ไฟฟ้า ประปา เดินท่อระบายอากาศ ซึ่งจะเป็นต้องแสดงรายละเอียดในการเดินระบบต่าง ๆ เหล่านี้ไว้เพื่อให้การทำงานได้มีการวางแผนที่ดีและสอดคล้องกัน ซึ่งส่วนมากจะไม่ค่อยมีแบบแสดงรายละเอียดเหล่านี้ ทำให้การทำงานต้องยุ่งยาก และงานที่ได้ก็จะไม่เรียบร้อยสวยงาม

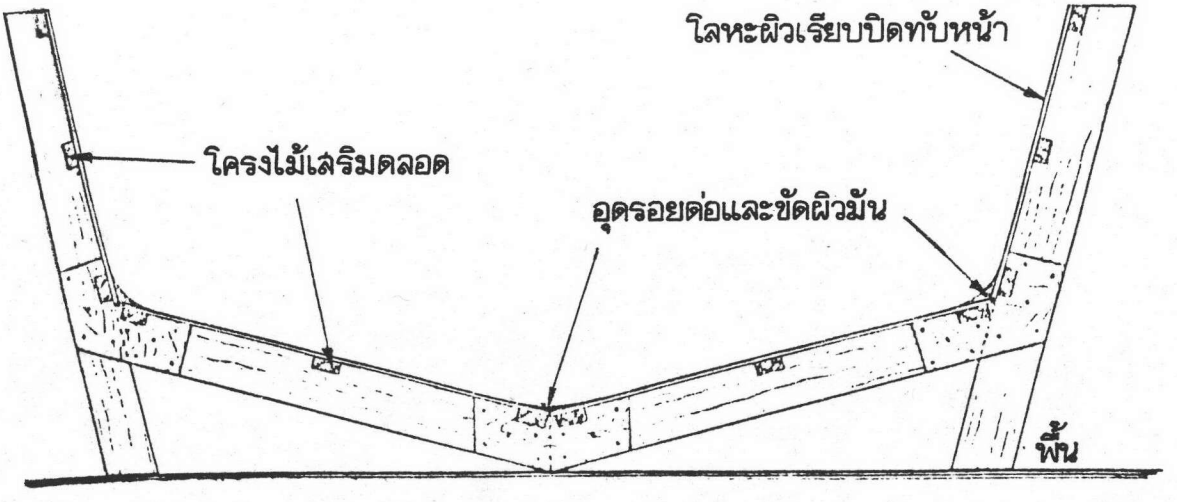
2.3.2 การสร้างต้นแบบ (Making Plug) การสร้างต้นแบบ มักจะใช้ไม้อัดไม้เนื้อแข็งหรือวัสดุอื่น ๆ ที่เหมาะสม ทั้งส่วนด้านล่างของเรือ (Hull) และส่วนบนของเรือ (Deck) รวมทั้งส่วนประกอบต่าง ๆ เช่น ห้องน้ำ, หน้าปัด, คอนโซล ฯลฯ ซึ่งส่วนมากจะไม้อัดมาขึ้นต้นแบบ เนื่องจากเป็นไม้ที่มีราคาถูก มีน้ำหนักเบา แข็งแรง โค้งงอได้ ง่ายต่อการขึ้นรูป การสร้างต้นแบบดังแสดงในรูปนั้นจำเป็นต้องมีโครงยึดที่แข็งแรงซึ่งส่วนมากจะทำด้วยไม้เนื้อแข็ง ตามรูปที่ 2.19 ซึ่งโครงดังกล่าวนี้นิยมเรียกว่า ม้า ส่วนตัวต้นแบบจะนั่งอยู่บนม้าด้านบน การสร้างต้นแบบต้องยึดชิ้นส่วนและเสริมส่วนต่าง ๆ ให้แข็งแรงไม่บิดงอ เพราะจะต้องมีการขัดผิวด้านแบบซึ่งต้องใช้เวลานาน รวมทั้งต้องใช้น้ำในการขัดแบบ ทำให้เกิดความชื้นบิดตัวได้ หากต้นแบบไม่แข็งแรงจะทำให้เรือที่ได้ออกมาบิดเบี้ยวเสียรูปร่างและสมรรถนะการทรงตัวได้

2.3.3 การสร้างแม่แบบ (Making Mold) การสร้างแม่แบบจากต้นแบบไม้ก็จะนำมาเคลือบด้วยไฟเบอร์ เพื่อให้เป็นแม่แบบเรือใช้ในการสร้างตัวเรือจริง ๆ ได้ ซึ่งเป็นแม่แบบชนิดตัวเมีย (Female Mold) ก็จำเป็นต้องมีต้นแบบไม้ แต่ถ้าเป็นแม่แบบตัวผู้ (Male Mold) ก็ไม่จำเป็นต้องสร้างแม่แบบจะใช้ต้นแบบไม้นั้นเป็นชิ้นงานที่ต้องการเลย ตามรูปที่ 2.20 - 2.22

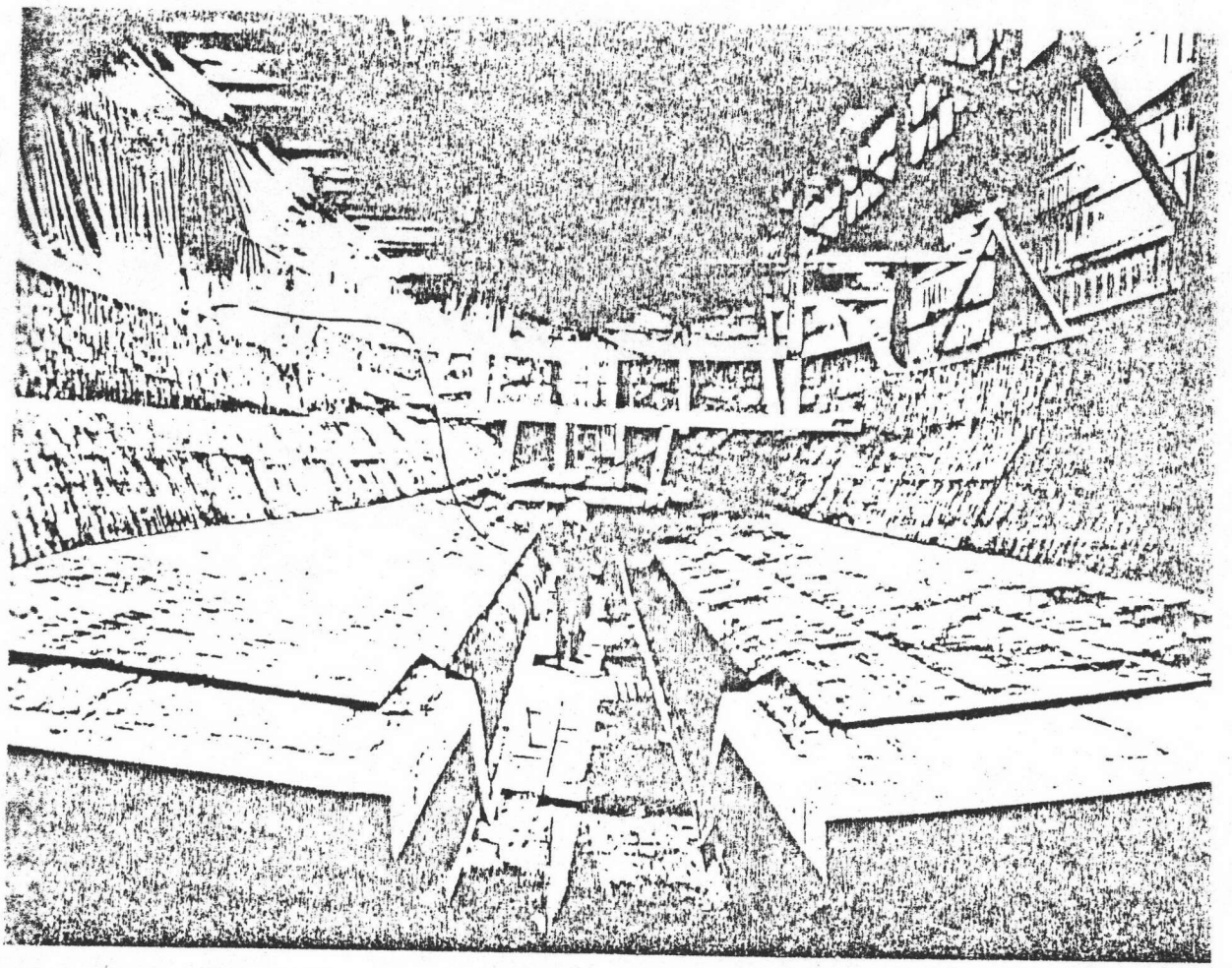


รูปที่ 2.19 การสร้างต้นแบบ

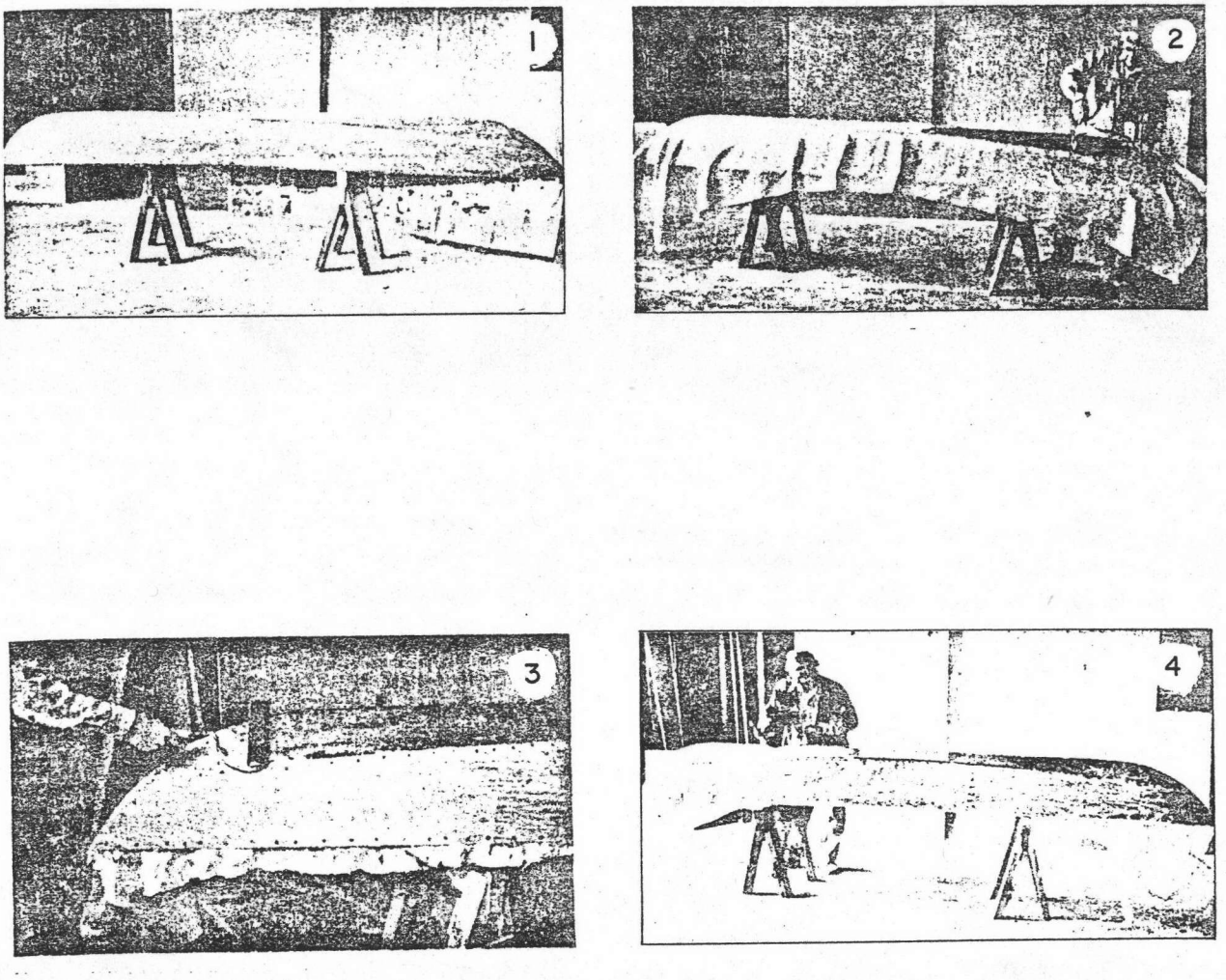




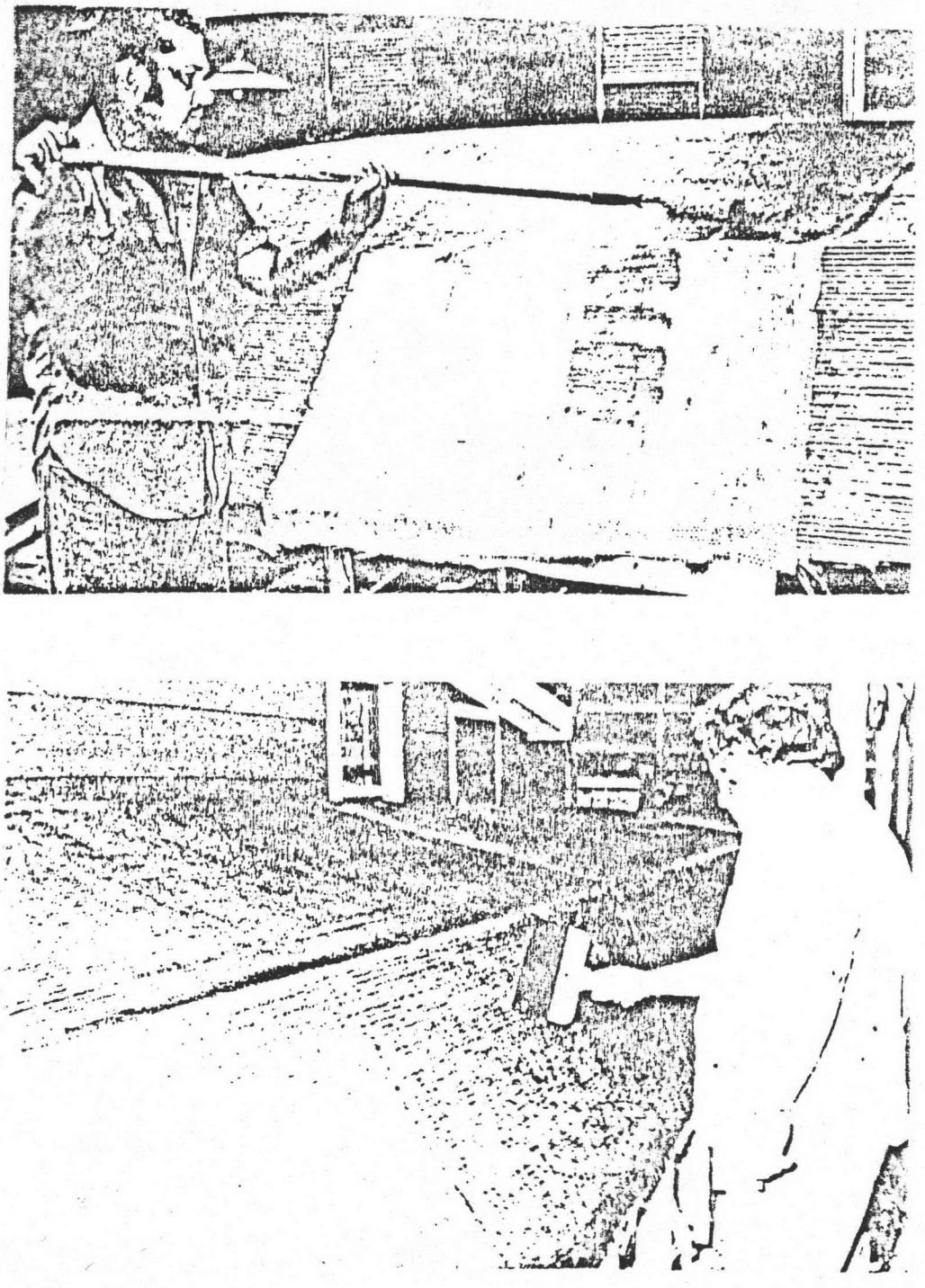
รูปที่ 2.20 แสดงแม่แบบตัวเมีย (FEMALE MOLD)



รูปที่ 2.21 แสดงแม่แบบตัวเมียชนิดแยกส่วน (SPLIT FEMALE MOLD)



รูปที่ 2.22 แสดงแม่แบบตัวผู้ (MALE MOLD)



รูปที่ 2.23 แสดงการเลย์ไฟเบอร์กลาส (FRP LAMINATE)

2.3.4 การเลย์ไฟเบอร์ (FRP Laminate) เป็นการเคลือบไฟเบอร์ลงไปในแม่แบบตามจำนวนชั้น และตามความหนาตามที่ได้คำนวณไว้แล้วในแบบ ก็จะได้เป็นตัวเรือที่คำนวณไว้ตามต้องการ ตามรูปที่ 2.23

2.3.5 ถอดชิ้นส่วนจากแม่แบบ และประกอบ (De-Molding and Assembling) เมื่อทิ้งไว้ให้ตัวเรือและชิ้นส่วนทั้งหมดออกจากแม่แบบ แล้วนำชิ้นส่วนไฟเบอร์มาประกอบกันเป็นตัวเรือ

2.3.6 ติดตั้งเครื่องยนต์และอื่น ๆ (Engine Installation and ASSEMBLING) เป็นการติดตั้งเครื่องยนต์ รวมทั้งอุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่าง ๆ จนกระทั่งเรือเสร็จสมบูรณ์ จากนั้นก็จะนำลงน้ำเพื่อทดสอบสมรรถนะและอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้สมบูรณ์ ซึ่งควรจะทดสอบกับเรือทุกลำที่ได้ทำการต่อเสร็จเรียบร้อยแล้ว