



จักรยานเฟินน้ำ

โดย

นายนิกร คีลประชาวังศ์ 35104218

นายวิโรจน์ โหมจิตสกุล 35104395

นายสุธี รัตนากิรัต 35104483

นายอรรถพล มั่นไทรทอง 35104539

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. จำลอง ปราบแก้ว)

(อ. กรรณชัย กัลยาศิริ)

วัน เดือน ปี ๓๑ ๑๐ ๒๕๖๐
เลขทะเบียน ๐๓๗๐๐๕
เลขเรียกหนังสือ T ๓๘๐๙๘ ๒๕๖๑ ๑

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

037005

จักรยานเหินน้ำ

HYDRO BIKE

นักศึกษา	นิกร	ศีลประชาวศ์	อาจารย์ที่ปรึกษา	อ. จำลอง	ปราบแก้ว
	วิโรจน์	โมฆิตสกุล		อ. กรรณชัย	กัลยาศิริ
	สุธี	รัตนกริธ			
	อรรถพล	มันไทรทอง			

บทคัดย่อ

จักรยานเหินน้ำมีลักษณะโครงสร้างตอนบนคล้ายจักรยานทั่วไป ซึ่งประกอบด้วย ตัวถัง อาน แฮนด์ จานโซ่ และโซ่ แต่โครงสร้างตอนล่างมีลักษณะแตกต่างออกไปคือ จะมีท่อนสตรัทหน้า สตรัทหลัง ฟอยล์หน้า ฟอยล์หลัง อุปกรณ์บังคับเฟลปของฟอยล์หน้า และใบจักร หรือเรียกอีกนัยหนึ่งว่า ไฮโดรฟอยล์ที่ใช้กำลังงานมนุษย์

จุดประสงค์ของการสร้างจักรยานเหินน้ำเพื่อเป็นพาหนะที่สามารถลดความเสียหายจากน้ำให้มากที่สุดโดยใช้มนุษย์เป็นตัวขับเคลื่อนกำลัง และใช้ในการออกกำลังกายทางน้ำ การทำงานนั้นเริ่มถีบจักรยานส่งกำลังขับเคลื่อนด้วยระบบเฟืองและโซ่ไปขับเคลื่อนเฟลปใบจักรและใบจักรตามลำดับ การเลี้ยวจะใช้การบังคับจากแฮนด์โดยส่งผ่านลวดสลิงไปบังคับสตรัทหน้าให้ปรับไปมาได้ ซึ่งทำหน้าที่เป็นหางเสือ เมื่อออกแรงถีบจักรยานให้เล่นจนถึงความเร็วที่สามารถยกตัวเองขึ้นด้วยแรงยกจากฟอยล์หน้าและฟอยล์หลัง จะทำให้โครงสร้างของยานเหินน้ำนั้นนับตั้งแต่ท่อนขึ้นไปลอยอยู่เหนือผิวน้ำ โดยฟอยล์หน้า ฟอยล์หลัง และใบจักรอยู่ใต้น้ำ

Abstract

Hydro bike is a vehicle riding on the water by pushing its pedals with feet. Its structure is divided into 2 parts (sections) upper part and lower part.

Its upper part is similar to an ordinary bicycle (bike) which basically consists of frame, saddle, handlebar, pedals and chain. Its lower part assembles some special components, such as pontoon, front and main struts, front and main foils, controlling flap equipment and propeller.

The objective of this invention is to build a human powered hydro bike which is more energy efficient, can reduce friction against water more efficient when riding, and can be used as marine exercise equipment.

The operation of the hydro bike will start when the pedals are pushed. Through the gear and chain system, the power will be transmitted. Consequently, a propeller shaft and the propeller will start moving, respectively. The steering of the hydro bike is done by controlling handlebar through which the front strut can be manipulated to turn left and right. This front strut is, therefore, functioning as a "Rudder".

When the pedals are pushed and the hydro bike is moved and speeded up to a high speed, its lift force from forward and main foils can raise its body up. Then, the lower part from the pontoon up, except its forward foil, main foils and propeller, will emerge from the water. It is, therefore, called "Hydrofoil" or "Human Powered Hydrofoil".

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	
Abstract	
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณสร้างจักรยานเหินน้ำ	
2.1 หลักการของไฮโดรฟอยล์	6
2.2 การคำนวณชิ้นส่วนประกอบของจักรยานเหินน้ำ	14
บทที่ 3 การสร้างชิ้นส่วนและการประกอบจักรยานเหินน้ำ	
3.1 การสร้างชิ้นส่วนต่าง ๆ	87
3.2 การประกอบจักรยานเหินน้ำ	107
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบ	
4.1 การทดสอบ	113
4.2 ผลการทดสอบ	114
บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบและวิจารณ์	118
เอกสารอ้างอิง	120
กิตติกรรมประกาศ	121

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ประวัติความเป็นมา

จกัรยานเฝินน้ำเกิดจากความคิดของ ALEC N. BROOK และ ALLAN V. ABBOTT ที่ต้องการสร้างพาหนะทางน้ำขึ้น เพื่อทำลายสถิติเรือพายที่เร็วที่สุด ซึ่งมีความเร็ว 12 นี้อด จากการใช้เรือพายแบบ SLENDER SHELL โดยใช้คนพาย 8 คน

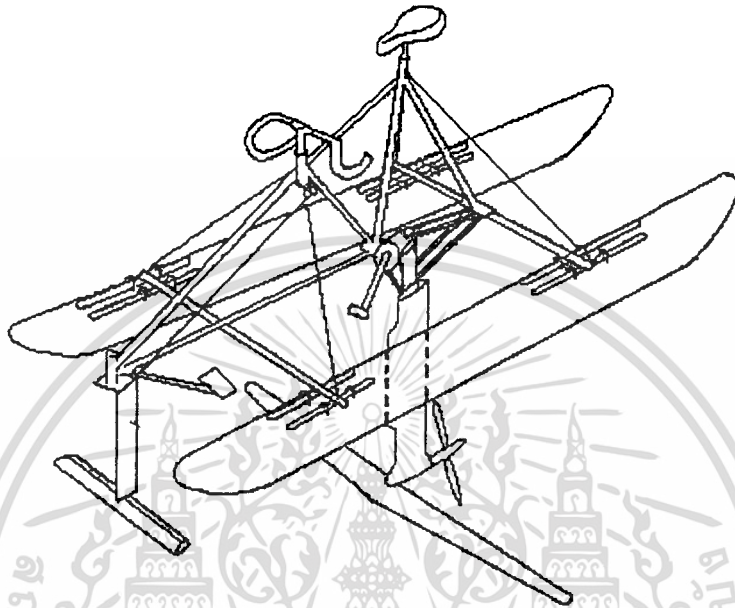
โครงสร้างที่ใช้จะเป็นโครงสร้างจกัรยานในส่วนบน แต่เพิ่มท่อนใบจกัรและฟอยล์ในส่วนที่อยู่ด้านล่างโดยการปั่นแบบจกัรยานส่งกำลังไปยังใบจกัร เมื่อความเร็วถึงจุด ๆ หนึ่งแรงยกที่เกิดจากฟอยล์ก็จะยกโครงสร้างจกัรยานและตัวท่อนให้ลอยอยู่เหนือผิวน้ำ โดยที่ฟอยล์หน้าและหลังจะอยู่ใต้น้ำ เพื่อลดแรงเสียดทานที่เกิดจากผิวท่อนทำให้ความเร็วที่ได้เพิ่มขึ้น จากการสร้างจกัรยานเฝินน้ำขึ้นมอลำแรก ซึ่งผู้สร้างให้ชื่อว่า “FLYING FISH 1” ทำความเร็วได้ประมาณ 12 นี้อด แต่มีปัญหาในเรื่องความเร็วที่ต้องทำให้ถึงความเร็วที่จะเกิดแรงยกที่ฟอยล์ (TAKE-OFF SPEED) จึงได้มีการสร้างลำที่สอง “FLYING FISH 2” ขึ้นมา โดยทำให้น้ำหนักเบาขึ้น สามารถมีแรงยกได้จากจุดหยุดนิ่ง โดยใช้อุปกรณ์ควบคุมแฟลป และทำความเร็วได้ขณะเฝินน้ำ 13 นี้อด

สำหรับในประเทศไทย พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงมีพระราชดำริให้ กรมอุตสาหเรือเป็นผู้สร้างขึ้นเป็นลำแรกในประเทศไทย โดยลำดับแรกไม่ประสบความสำเร็จในการเฝินของจกัรยานจึงได้มีการพัฒนาทำขึ้นใหม่เป็นลำที่สอง สามารถทำความเร็วขณะเฝินน้ำได้ 5.64 นี้อด สำหรับในการพัฒนาขึ้นเป็นลำที่สาม สามารถทำความเร็วขณะเฝินน้ำได้ 6.3 นี้อด และในที่สุดลำสุดท้ายสามารถทำความเร็วได้ 7.12 นี้อด ซึ่งเป็นความเร็วสูงสุดที่ได้จากการที่กำลังของคนไทยให้กำลังได้สูงสุด 0.3 แรงม้า

1.2 จุดประสงค์การสร้างจกัรยานเฝินน้ำ

1. เพื่อสร้างยานพาหนะทางน้ำที่สามารถลดความเสียดทานจากน้ำได้มากที่สุด โดยใช้กำลังงานจากมนุษย์
2. เพื่อใช้ในการออกกำลังกายทางน้ำ

1.3 ลักษณะรูปร่างและการทำงาน



รูปที่ 1.1 ลักษณะรูปร่างจักรยานเดินน้ำ

ลักษณะรูปร่างจักรยานเดินน้ำแสดงดังรูปที่ 1.1 โดยแบ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญได้ดังนี้

1. โครงจักรยานและระบบขับเคลื่อน โครงจักรยานจะมีลักษณะโดยทั่วไปคล้ายจักรยานแต่จะไม่มีล้อ ส่วนหน้าของจักรยานที่ยื่นค่อออกไป โดยติดสตรัทหน้าและฟอยล์เข้าไปพร้อมกับดัดที่บังคับเลี้ยว ในการออกแบบจะพยายามให้น้ำหนักทั้งหมดที่ผ่านบริเวณสตรัทหลัง ส่วนระบบขับเคลื่อนจะใช้ชุดของงานโซ่ และโซ่ไปขับเพลลาไบจักร โดยมีอัตราทด 1 : 11.7 นั่นคือความเร็วที่ไบพัด 585 รอบต่อนาที
2. ท่อน เพื่อช่วยในการพยุงในการลอยตัวและเป็นที่ยึดของอุปกรณ์ชิ้นส่วนจักรยาน โดยวัสดุที่ใช้ทำคือ fiber glass
3. สตรัทและฟอยล์ จะมีอยู่ 2 ชุด ชุดแรกจะอยู่ที่ส่วนหน้าและอีกชุดจะอยู่ที่ส่วนหลัง โดยฟอยล์จะเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดแรงยกเป็นชิ้นส่วนหลักสำคัญเป็นที่มาของจักรยานเดินน้ำ วัสดุที่ใช้ทำจะเป็นอลูมิเนียมอัลลอย เพราะน้ำหนักเบาและกันสนิมได้ เนื่องจากเป็นลำต้นแบบจึงได้ทดลองใช้ไม้เนื้อแข็งทำแทนเพื่อประหยัดงบประมาณ

สตรีทเป็นตัวที่จะยึดฟอยล์กับโครงสร้างจักรยาน และยังทำหน้าที่เป็นหางเสือด้วย โดยจะมีโซ่ขับใบจักรอยู่ภายใน การออกแบบสตรีทจะคล้ายกับฟอยล์แต่สตรีทจะมีลักษณะสมมาตร

4. **ใบจักร** ช่วยในการถ่ายทอดกำลังจากการปั่นสู่น้ำ เพื่อที่จะทำให้เกิดการขับเคลื่อน โดยใบจักรที่ใช้เป็นใบจักรความเร็วรอบต่ำ (585 รอบต่อนาที) ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้ใบจักรที่ขายในท้องตลาดได้ เนื่องจากในท้องตลาดเป็นใบจักรความเร็วรอบสูง

ลักษณะการทำงาน

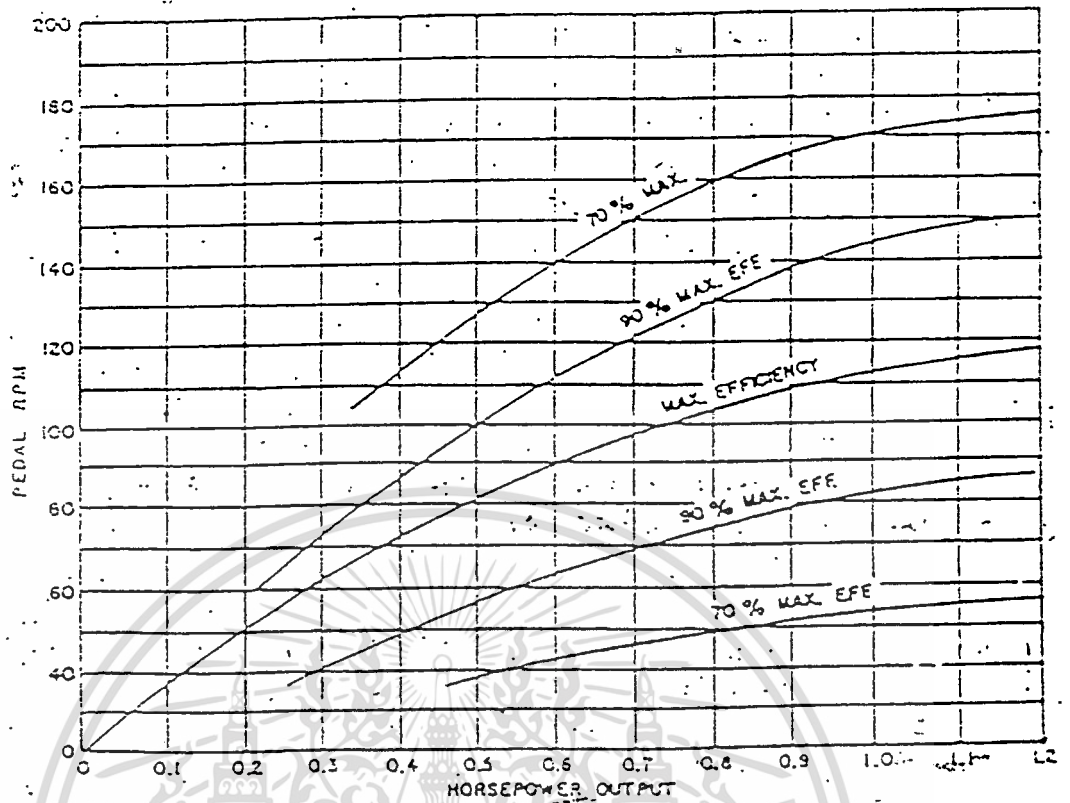
การทำงานของจักรยานเดินน้ำนั้นจะเริ่มขับเคลื่อนโดยใช้ต้นกำลังจากการปั่นของมนุษย์ แล้วถ่ายทอดกำลังผ่านชุดจานโซ่และโซ่จักรยาน ไปขับเพลลาใบจักรและใบจักรตามลำดับ เมื่อขับเคลื่อนจักรยานเดินน้ำให้มีความเร็วถึงความเร็วที่มันสามารถยกตัวเองให้ลอยขึ้นได้เนื่องจากแรงยกจากฟอยล์ที่อยู่ใต้น้ำ ตัวจักรยานก็จะถูกยกให้ลอยขึ้นพ้นน้ำ โดยในการยกตัวนั้นจะออกแบบให้ส่วนหน้ามีการยกตัวก่อน แล้วส่วนหลังของจักรยานจึงค่อยยกตัวตาม

1.4 ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ

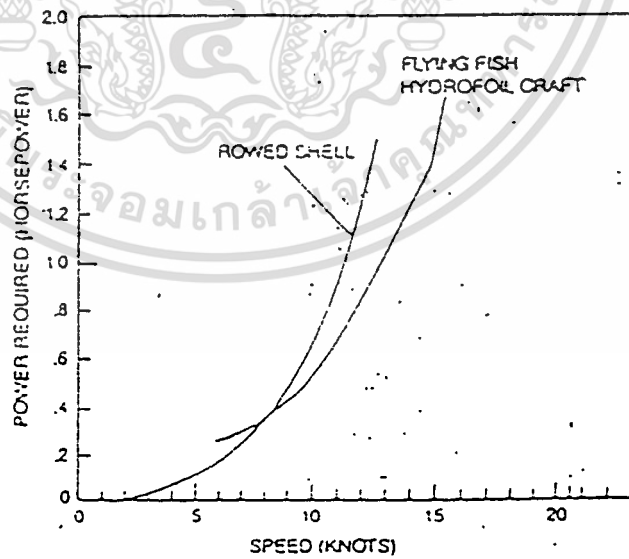
การออกแบบลักษณะจักรยานเดินน้ำ จำเป็นต้องทราบจำนวนรอบของบันไดถีบปกติที่มนุษย์ใช้ในการปั่นและกำลังที่ได้จากการปั่น โดยข้อมูลเหล่านี้จะเอามาจากผลการทดสอบของ จักรยานเดินน้ำลำที่สร้างแล้วของอเมริกา พบว่า

- จำนวนรอบปกติที่มนุษย์ใช้ในการปั่น จากข้อมูลพบว่า จำนวนรอบปกติอยู่ในช่วง 50 - 60 รอบต่อนาที ที่อัตราทด 1 : 11.7

- กำลังที่ได้จากการปั่น จากกราฟรูปที่ 1.2 เลือกจำนวนรอบที่ใช้ปั่น 60 รอบต่อนาที จะได้ที่ กำลังที่เกิดจากการปั่น 0.285 แรงม้า ที่ maximum efficiency ซึ่งใกล้เคียงกับผลการทดสอบของกรมอุทกหารเรือธนบุรี ที่ลงในหนังสือ “100 ปี กรมอุทกหารเรือธนบุรี” ว่าได้ส่งคนไปทดสอบที่ศูนย์วิทยาศาสตร์การกีฬาพบว่า มนุษย์ (คนไทย) สามารถปั่นให้เกิดแรงม้าสูงสุด 0.3 แรงม้า ภายในเวลา 2 นาที



รูปที่ 1.2 แสดงจำนวนรอบในการปั่นจักรยานกับกำลังที่ได้ที่ประสิทธิภาพต่างๆ



รูปที่ 1.3 แสดงกำลังที่ต้องการกับความเร็วของจักรยานเคียนน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความเร็วของจักรยานเหินน้ำ จากผลการทดสอบของจักรยานเหินน้ำลำจริงของอเมริกา แสดงได้ดังรูปที่ 1.3 พบว่า กำลังที่ 0.3 แรงม้า จะได้ความเร็วของจักรยานเหินน้ำถึง 7 นี้อต (3.5 เมตรต่อวินาที)

ดังนั้น ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบจักรยานเหินน้ำจะใช้

จำนวนรอบในการปั่น	60	รอบต่อนาที
แรงม้าที่ต้องการ	0.3	แรงม้า
ความเร็วของจักรยานเหินน้ำ	3	เมตรต่อวินาที



๙๙



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีใช้ในการคำนวณสร้างจักรยานใต้น้ำ

2.1 หลักการของไฮโดรฟอยล์

1. What is Hydrofoil : ปกติระบบขนส่งเพื่อเคลื่อนย้ายจากตำแหน่ง A มา B นี้ เรือถือว่าแล่นได้ช้าที่สุด และถูกกำหนดว่ามีประสิทธิภาพต่ำมาก เพราะเรือทำหน้าที่เหมือนลิ้ม 2 ด้าน ที่ต้องทำให้ตัวมันเองแล่นไปโดยผลักดันน้ำจำนวนมหาศาล (ผลักไปเท่ากับระวางขับน้ำของเรือ แรงงานจำนวนมากได้สูญหายไปใผิวน้ำ ในลักษณะของการกลายเป็นคลื่นและน้ำที่กระเด็นมาบนเรือ)

ความหมายตอนแรก ๆ ที่จะประหยัดพลังงานโดยการแล่นไปให้พื้นน้ำแทนที่จะแล่นไปในน้ำ คือ พยายามใช้ท้องเรือให้เกิดอาการเหาะ ความคิดนี้เป็นความคิดของเรือยนต์เร็วสูง แต่ข้อเสียคือท้องเรือกระแทกน้ำเมื่อทะเลมีคลื่น

ได้มีการทดลองออกแบบรูปท้องเรือกันหลายแบบของเรือความเร็วสูง และพบว่าท้องเรือรูปตัววีก็ลดแรงกระแทกดี ท้องเรือที่ทำ step หรือขั้น หรือ double hull ก็ได้สร้างขึ้นเพื่อให้เรือวิ่งอยู่ในอากาศหรือวิ่งอยู่เหนือพื้นน้ำ

สำหรับ Hydrofoil ถูกออกแบบ foil ให้เกิดแรง lift ยกตัวเรือทั้งหมดให้พ้นน้ำ โดยตัวเรือก็เป็นรูปแบบของเรือทั่วไป หรือ Hydrofoil เป็นผิวพื้นที่เกิดแรงลิฟท์เท่านั้นไม่ใช่ตัวเรือ ดังนั้นเราจึงเรียกพาหนะชนิดนี้ว่าเรือ Hydrofoil

หรือ Hydrofoil ก็คือ Foil หรือปีกที่ถูกออกแบบให้ยกเรือทั้งลำขึ้นมาพ้นน้ำได้

2. หลักการของ Hydrofoil

ปกติที่ระดับน้ำทะเล ความหนาแน่นของอากาศคือ น้อยกว่า 1 ounce เล็กน้อยใน 1 ลบ.ฟุต แต่น้ำนั้นหนัก 62 1/2 ปอนด์ต่อ 1 ลบ.ฟุต หรือน้ำนั้นหนักเป็น 800 เท่าของอากาศ แต่ความหนาแน่นของน้ำไม่กระทบกระเทือนต่อหลักการของแรงที่กระทำบนวัตถุที่เคลื่อนที่ไปในของไหล แรงที่เกิดขึ้นอยู่กับขนาดของวัตถุ รูปร่าง และความเร็วที่แล่นผ่านไปของไหล

สรุปได้ว่าแรงขึ้นกับ factor 4 ประการ คือ ขนาด รูปร่าง ความเร็ว ความหนาแน่นของไหล

แรงยกลิฟท์ส่วนใหญ่มาจากคอนบนของปีก (ทฤษฎีของ Bernoulli : การไหลที่มีความเร็วสูงบนด้านบนของพื้นผิวที่ทำให้เกิดความดันลดลง) และแน่นอนเราไม่สามารถใช้ปีกที่อยู่ใต้น้ำได้ เพราะมันจะจมลงใต้น้ำทันที (ทฤษฎีของ Bernoulli : การไหลที่มีความเร็วสูงบนด้านบนของพื้นผิวที่ทำให้เกิดความดันลดลง) และแน่นอนเราไม่สามารถใช้ปีกที่อยู่ใต้น้ำได้ เพราะมันจะจมลงใต้น้ำทันที

ได้นำ มีขนาดใหญ่เท่ากับปีกเครื่องบิน เพราะความหนาแน่นของน้ำมากกว่าอากาศถึง 800 เท่า ถ้าเราใช้ Hydrofoil เหมือนปีกเครื่องบิน ความเร็วใช้ก็เท่ากัน เราก็จะได้แรงยกลิฟท์เท่ากัน โดยใช้เนื้อที่ foil เพียง 1/800 ของเนื้อที่ปีกเครื่องบิน และเราสามารถได้แรงลิฟท์มากมายจากเนื้อที่ foil เล็ก ๆ

3. รูปร่างหน้าตัดของ foil

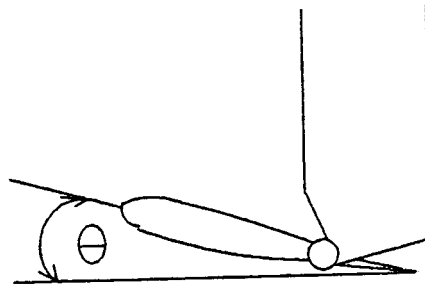
เมื่อพิจารณาถึง cross section และ plan form ทั้ง 2 อย่างนี้มีการเลือกกันหลายแบบ ไม่มีข้อจำกัด เพราะมีความเป็นไปได้ทั้งนั้น สำหรับหน้าตัดปีกสมัยใหม่ด้านหน้าหรือ lower surface มีลักษณะแบนหรือมนน้อย ส่วนด้านหลัง (upper surface) ค่อนข้างมนมาก โดยถือหลักทั่ว ๆ ไปว่า ด้านบนยิ่งมนเท่าใด lift ที่เกิดก็มากเท่านั้น (กรณีให้ความเร็วและมุมปะทะเท่ากัน) แต่ drag หรือความต้านทานก็มากขึ้นหรือเพื่อให้เข้าใจถึงแรงยก dL และแรงลาก dD ขอให้พิจารณารูปที่ 2.1 ซึ่งเป็นรูปหน้าตัดของปีกใบจักรวางขนานกับกระแส น้ำ ๆ จะแยกตัวออกเมื่อไหลมาถึงขอบนำ (Leading edge) และจะไหลมารวมกันอีกครั้งขอบตาม (Trailing edge) ครั้นเมื่อปีกใบจักรนี้หันทำมุมกับทิศทางของกระแส น้ำเป็นมุมซึ่งเรียกว่า มุมปะทะ (Angle of attack) จากรูปที่ 2.2 กระแส น้ำที่ไหลมาจะปะทะกับด้านหน้าของปีกใบจักร ทำให้เกิดแรงกด (Pressure) ส่วนด้านหลังของปีกใบจักร กระแส น้ำไหลไม่แรงและเป็นด้านที่น้ำผ่านไปเท่านั้นและเกิดแรงดูด (Suction) ผลรวมของแรงที่กระทำอยู่บนปีกใบจักรในทางเวกเตอร์ (Vector) จะได้รับเป็นแรง dP ซึ่งเป็นแรงกดตั้งฉากอยู่กับปีกใบจักร



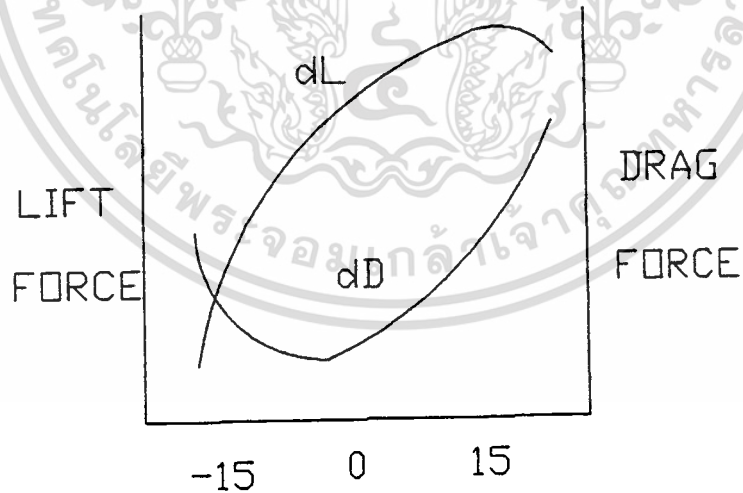
ANGLE OF ATTACK

รูปที่ 2.1 แสดงมุมปะทะของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ANGLE OF INCIDEENCE



THE IMPACT OF ANGLE OF ATTACK TO THE LIFT AND DRAG FORCE

รูปที่ 2.3 กราฟแสดงแรงลิฟท์กับแรงแดรก ขึ้นอยู่กับมุมปะทะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.3 เป็นเส้นโค้งแสดงการเปลี่ยนแปลงของแรงยก dL และแรงลาก dD ซึ่งขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของมุมปะทะ (Angle of attack)

รูปหน้าตัดปีกใบจักรแอร์ฟอยล์ที่ออกแบบอย่างดีจะมีแรงยกมากที่สุดและแรงลagn้อยที่สุด

แรงยก Lift force : $dL = C_L A \rho / 2 V_r^2$

แรงลาก Drag force : $dD = C_D A \rho / 2 V_r^2$

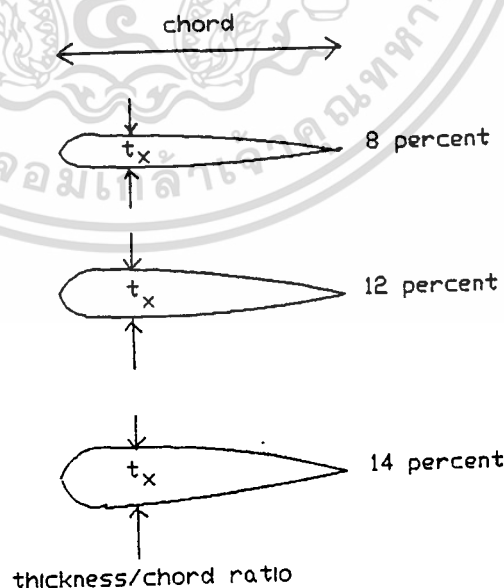
โดยที่ C_L = สัมประสิทธิ์แรงยก (Lift coefficient)

C_D = สัมประสิทธิ์แรงลาก (Drag coefficient)

V_r = ความเร็วของของไหล

เราต้องการให้ได้แรง lift มาก ๆ แต่ให้แรง drag น้อย ๆ ซึ่งก็คือให้อัตราส่วน lift ต่อ drag มีค่าที่ดี ซึ่งวิธีที่ดีที่สุดคือ การ compromise และใช้ความหนูนปานกลาง

ลักษณะที่สำคัญอีกอย่างของ cross section คือ ความหนาที่สุด (t_x) เมื่อเทียบกับความยาวคอร์ด (c) ซึ่งเรียกว่า ratio ความหนา/คอร์ด = t_x/c



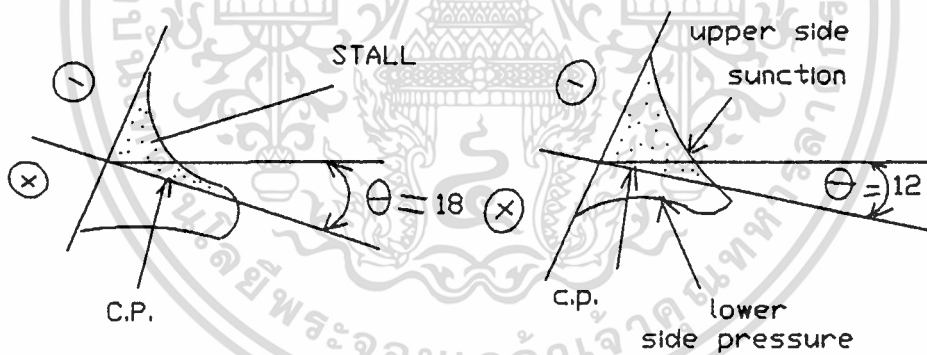
รูปที่ 2.4 Thickness / chord ratio ; t_x/c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย ratio c_x/c นี้บอกความสำคัญ 2 อย่างคือ 1) บอกประสิทธิภาพของ foil และ 2) บอกความแข็งแรงของ foil โดยตอนที่เรือทั้งลำถูกยกให้พื้นน้ำแล้วนั้น อาจมี foil 2 มีหรือ 3 ตัว load ที่ foil จะได้รับสูงมาก ซึ่งแม้ในเรือบินสมัยใหม่ความเร็วสูงความกดดันบนปีกเรือบินเพียง 100 ปอนด์ต่อตารางฟุต ก็ถือว่าเป็นความกดดันสูงมากแล้ว แต่สำหรับใน foil ของเรือ Hydrofoil นั้น ความกดดันเป็นต้นต่อตารางฟุต หรือมากกว่านั้น ฉะนั้นจึงต้องมีการชดเชยหรือประณีประนอมอย่างแน่นอนก็คือ ถ้าใช้ foil ขนาดเล็กต้องใช้โลหะที่มีหน้าตัดเป็นแท่งคันท้าปีก

4. จุดศูนย์กลางความกด ซี.พี. (Center of Pressure)

จากที่ได้ทราบแล้วว่าแรงลิฟท์บน Hydrofoil นั้นเป็นผลที่เกิดมาจากการลดลงของความดันที่ด้านบนของหน้าตัด Hydrofoil และสิ่งที่ต้องศึกษาต่อ คือ ความดันนี้แผ่กระจายอย่างไรบนด้านบนและด้านล่างของ Hydrofoil



รูปที่ 2.5 จุดศูนย์กลางความกด

จากรูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นแรงรวม อันเป็นผลจากการแผ่กระจายความกด แรงรวมนี้กระทำขึ้นเฉียงไปทางหลัง แรงกระทำขึ้นคือ lift และแรงที่กระทำไปทางหลังคือ drag

เมื่อมุมปะทะเปลี่ยนแปลงไป การแผ่กระจายความกดก็เปลี่ยนแปลงไปมากเช่นกัน

ทำให้จุดศูนย์กลางความกด c.p. เลื่อนไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากเกิดอาการ stall แล้ว การไหลของน้ำด้านบนของ foil จะแตกตัวเป็นฟองที่มุมปะทะ 18 degree รูปร่างของเส้นโค้งความดันเปลี่ยนไปหมด ทำให้จุดศูนย์กลางความกดเคลื่อนตัวไปทางหลัง (ตามขอบ) แต่ที่สำคัญคือ ถ้ามุมปะทะเป็นลบน้อย ๆ (very small angle of attack) ผลที่เกิดขึ้นคือ การแผ่กระจายความกดยิ่งแคบมากขึ้นคือกลายเป็นแรงกดทางด้านหน้า (ขอบหน้า) และแรงกดลงทางด้านหลัง (ขอบตาม) ซึ่งหมายถึง จุดศูนย์กลางความกด C.P. เคลื่อนไปอยู่ทางหลัง หรือชิดกับขอบตามมากขึ้น ทำให้เกิดแรงที่จะทำให้โนสของ foil หรือขอบหน้าของ foil จมลงไปอีก ทำให้มุมปะทะเป็นลบมากขึ้นอีก จึงเป็นสภาพที่เรือมีความทรงตัวไม่ดี จึงเป็นเรื่องที่ต้องพิจารณาอย่างยิ่ง

การเคลื่อนตัวของจุดศูนย์กลางความกด C.P. ยังสำคัญในเรื่องอื่น ๆ อีกที่ว่า บางทีเราต้องการเปลี่ยนมุม incidence ให้สัมพันธ์กับตัวเรือ คือ พอแต่งมุม Hydrofoil และจุดศูนย์กลางความกด C.P. เคลื่อนตัวทำให้เกิดแรงกดบน mechanic ที่บังคับ ทำให้เกิดแรงกดบนเครื่องบังคับอย่างไม่มีประโยชน์ ด้วยเหตุนี้ การค้นคว้าจึงกระทำตรงไปยังการหารูปร่างหน้าตัดของ Hydrofoil ที่เกิดการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางความกดน้อย หรือไม่มีการเคลื่อนที่เลย เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงมุมปะทะ

5. เนื้อที่ของ foil ที่ต้องการ

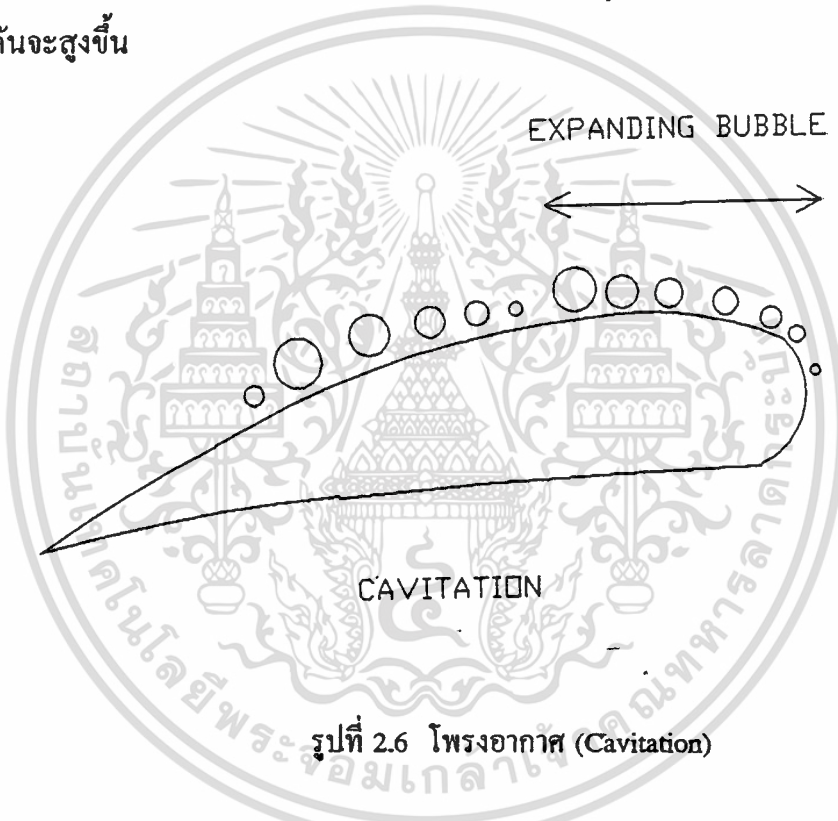
จะเห็นว่า lift ของ foil นั้นขึ้นอยู่กับรูปร่าง cross section ความเร็วกำลังสอง ความหนาแน่นของน้ำและมุมปะทะ พฤติกรรมที่สมดุลย์ของเรือที่กล่าวจะได้ ตลอดช่วงของความเร็วขึ้นอยู่กับเนื้อที่ของ foil และกำลังแรงม้าของเครื่อง เนื้อที่ของ foil ขนาดใหญ่ ทำให้เรือถึง พฤติกรรมฟอยล์-บอร์น เร็วตั้งแต่ความเร็วเรื่อน้อย ๆ แต่เนื้อที่ของ foil ใหญ่นี้ก็ทำให้เกิดความต้านทานสูง อันจะทำให้ได้ความเร็วสูง ๆ จำกัดส่วนเนื้อที่ foil ขนาดเล็กก็ต้องวิ่งให้ได้ความเร็วจึงจะ take-off ได้ และสามารถวิ่งได้ความเร็วสูง ๆ ขึ้นไปอีก แต่ข้อเสียคือ เรือมีความทรงตัวไม่ดี ซึ่งในการออกแบบก็ต้องใช้การประนีประนอมคือ ขึ้นกับการกำหนดความเร็ว take-off ที่ดี โดยความเร็ว take-off ก็ขึ้นกับน้ำหนักของเรือและกำลังแรงม้าของเครื่อง

มุมปะทะ 3 degree นี้ถูกเลือกเป็นมุมที่ใช้เพื่อการเดินทาง เพราะให้ ratio lift/drag สูงสุด เพื่อพิจารณามุมปะทะ 12 degree ซึ่งถือว่าค่อนข้างมาก จะเห็นว่าด้านบนของปีก streamline ชิดกัน ความเร็วของ flow สูง ความดันต่ำ และที่ด้านล่าง streamline ห่างกัน ความเร็วของ flow ช้า โดยเฉพาะด้านบนจะผลิต lift ได้ถึง 2/3 ของลิฟท์ทั้งหมด และ lift ที่เกิดจากทั้งด้านบนและด้านล่าง ตำแหน่งที่ lift กระทำนั้นอยู่ทางภาคหัว (front portion) หมายความว่า จุดศูนย์กลางความ

กค C.P. อยู่ไปทางหัว (ด้านขอบนำ) ที่มุมปะทะ 12 degree จุดศูนย์กลางความกดอยู่ระหว่าง 1/4 ถึง 1/3 ของความยาวคอร์ด (จากขอบนำ)

6. โพรงอากาศ (Cavitation)

สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดโพรงอากาศนั้นมาจากความดันที่ลดลง ณ ตำแหน่งสูงสุดของ camber หรือความนูนด้านบนของ foil ถ้าความดันนี้ต่ำมากการไหลของน้ำผ่าน camber นี้จะไหลแบบ turbulent คือ เกิดฟองอากาศหรือโพรง หรือ cavity อาการนี้จะหายไปเมื่อจมลงในน้ำลึก ความดันจะสูงขึ้น



รูปที่ 2.6 โพรงอากาศ (Cavitation)

จากรูปที่ 2.6 ฟองอากาศเกิดขึ้นครั้งแรกที่ความดันลดลงจากขอบนำของ foil จนถึงจุดที่มีความนูนสูงสุด ทันทีที่เกิด bubble มันก็ขยายตัวเพื่อป้องกันไม่ให้ความดันต่ำลงไปอีก ลักษณะของการขยายตัวนี้เป็นการแยกตัวออกจากอนุของน้ำ การขยายตัวของ bubble จะหยุด เมื่อความดันเริ่มเพิ่มในตอนนี้น้ำไหลลงไปตามท้ายของ foil สรุปคือ การเกิดของ bubble เนื่องจากความดันต่ำ และการ collapse หรือการหายไปของ bubble ขณะผ่านไปที่ปลายปีกนั้น เรียก โพรงอากาศ หรือ cavitation

7. ไบจักร

จุดประสงค์ของไบจักร คือ ต้องการผลักกระแสน้ำให้ไปทางท้าย แล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาหลักเรือให้แล่นไปทางหน้า (foreward reaction = thrust) หน้าคัปปีกไบจักรก็คล้ายกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าตัดของ Hydrofoil ปีกใบจักรนี้นำมาจัดเข้าเพื่อให้หมุนได้ตามจำนวนรอบที่ออกแบบไว้ ถ้าเรือแล่นไปด้วยความเร็วที่ต้องการ ใบจักรมาพ่นน้ำด้วยมุมปะทะที่เหมาะสม ทำให้เกิดการผลักดัน (thrust) เหมือน Hydrofoil ทำให้เกิด lift เส้นผ่านศูนย์กลางใบจักร จำนวนปีก เนื้อที่ทั้งหมด รูปร่าง plan รูปร่าง section ของใบจักร มุมพิชต์ที่ปีกใบจักรถูกตั้งไว้ เป็นคุณลักษณะของใบจักร ซึ่งต้องกำหนดว่าจะใช้กำลังเครื่องเท่าใด เพื่อให้เรือวิ่งได้ตามความเร็วที่ต้องการ ประสิทธิภาพสูง และประหยัด

ความกดดันลดลงบนด้านบนและความกดดันที่เพิ่มขึ้นทางด้านล่างขณะที่ใบจักรแล่นในน้ำด้วยความเร็ว ความดันที่ลดลงบนด้านบนอาจลดลงถึงความดันอันหนึ่งที่ไอน้ำจะกลายเป็นไอที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้น cavitation จะเป็นปัญหาที่แท้จริงในการออกแบบใบจักรกับเรือความเร็วสูง โดยเมื่อเกิด cavitation จะทำให้แรงผลักดันหรือ thrust ลดลง เกิดการสั่น เกิด pitting และ erosion ซึ่งไม่สามารถเลี่ยงได้หมด แต่อาจทำให้น้อยลงได้ โดยการทำให้เกิดโหลดที่ใบจักรต่ำ ๆ โดยการใช้ปีกใบจักรกว้าง ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางใบจักรเล็ก ๆ เพื่อลดความเร็วปีก (tip speed) โดยใช้หน้าตัดที่มีการแผ่กระจายความดันสม่ำเสมอ เหมือนที่ใช้ใน Hydrofoil

ปัญหาอีกเรื่องของการขับเคลื่อนคือ torque ของใบจักร (propellor torque) ใบจักรจะพยายามให้เรือเลี้ยวไปในทิศทางข้ามกับทางหมุนของใบจักร แรง torque หรือแรงบิดนี้ (twisting reaction) เกิดจากปีกใบจักรแล้วส่งอาการไปยังเพลลา ทำให้เกิดแรงเครียดขึ้นในระบบส่งกำลัง ทำให้ส่วนต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กันเกิดการหลอม ถ้าปฏิกิริยาของใบจักรนี้ทำให้โยงโยนไปมา การถือท้ายจะยุ่งยากมาก ดังนั้นถ้าใส่ universal joint ก็จะช่วยกำจัดแรงนี้ได้ไม่ให้กระทบกระเทือนการถือท้าย

2.2 การคำนวณชิ้นส่วนประกอบของจักรยานเฟินน้ำ

2.2.1 ฟอยล์ (Foil)

ฟอยล์เป็นอุปกรณ์ที่มนุษย์ได้คิดค้นออกแบบเพื่อให้เกิดแรงยกตัว (Lift force) โดยแรงยกจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อฟอยล์วิ่งผ่านน้ำหรือผ่านอากาศ ซึ่งหลักการดังกล่าวนี้จึงได้นำฟอยล์มาเป็นส่วนประกอบของปีกเครื่องบินและเรือไฮโดรฟอยล์ การเกิดแรงยกของฟอยล์นั้นก็เนื่องจากรูปร่างหน้าตัดของฟอยล์ซึ่งเป็นผิวโค้ง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วของของไหล เมื่อของไหลไหลผ่านฟอยล์ และเกิดการไหลวนของของไหลที่ผ่านฟอยล์ก็ทำให้เกิดแรงยกได้ แต่ในขณะที่ของไหลไหลผ่านฟอยล์นั้นจะเกิดการไหล 2 แบบ คือ “แบบ turbulent” และ “แบบ laminar” โดยการไหลแบบ turbulent ของของไหลที่ผ่านฟอยล์นั้นจะส่งผลให้เกิดแรงต้านทานต่อฟอยล์ ดังนั้นการออกแบบฟอยล์จึงต้องให้ของไหลที่ผ่านฟอยล์มีการไหลแบบ laminar ให้ได้มากที่สุด เพื่อจะทำให้เกิดแรงยกต่อฟอยล์มากกว่าแรงต้านที่มีต่อฟอยล์

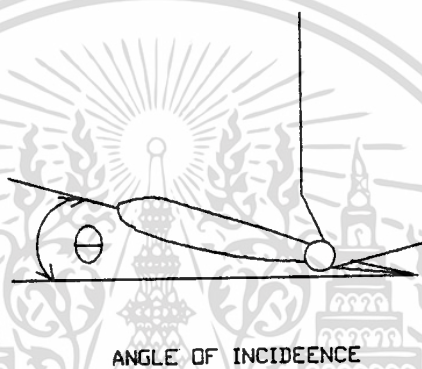
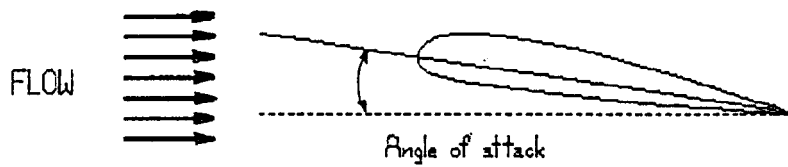
เนื่องจากแรงยกของฟอยล์จะเกิดจากการที่ฟอยล์วิ่งผ่านของไหลหรือของไหลวิ่งผ่านฟอยล์ โดยแรงยกนั้นจะขึ้นกับรูปร่างของฟอยล์และความเร็วของของไหลที่ผ่านฟอยล์ ตามสมการ

$$F_L = \frac{1}{2} \rho V^2 A_F C_L$$

โดย F_L : แรงยก
 ρ : ความหนาแน่นของของไหล
 A_F : พื้นที่ของฟอยล์
 C_L : สปส. การยกตัว

จากสมการจะเห็นได้ว่า แรงยกนั้นจะแปรผันโดยตรงกับความเร็วกำลังสองที่ผ่านของไหล พื้นที่ของฟอยล์ และความหนาแน่นของของไหล เช่น ถ้าความเร็วเพิ่มเป็น 2 เท่า แรงยกจะเพิ่มเป็น 4 เท่า เป็นต้น และจากสมการแรงยกจะเห็นได้ว่า แรงยกนั้นขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การยกตัวด้วย (C_L) โดย C_L (Lift Coefficients) จะเป็นฟังก์ชันต่อ Reynold Number และมุมปะทะของฟอยล์ ซึ่งมุมปะทะของฟอยล์จะเป็นมุมที่ฟอยล์เคลื่อนที่ตัดเข้าไปในของไหล เช่น ถ้าเป็นฟอยล์ที่เป็นปีกเครื่องบิน มุมปะทะคือ มุมที่ฟอยล์เคลื่อนที่ตัดเข้าไปในอากาศ หรือถ้าเป็นฟอยล์ของเรือไฮโดรฟอยล์ มุมปะทะก็จะเป็นมุมที่ฟอยล์เคลื่อนที่ตัดเข้าไปในน้ำ โดยมุมปะทะจะวัดจากมุมที่

เอกสารนี้ได้รับอนุญาตให้ใช้แบบที่อาจารย์ได้แจกจ่ายเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 มุมปะทะน้ำ

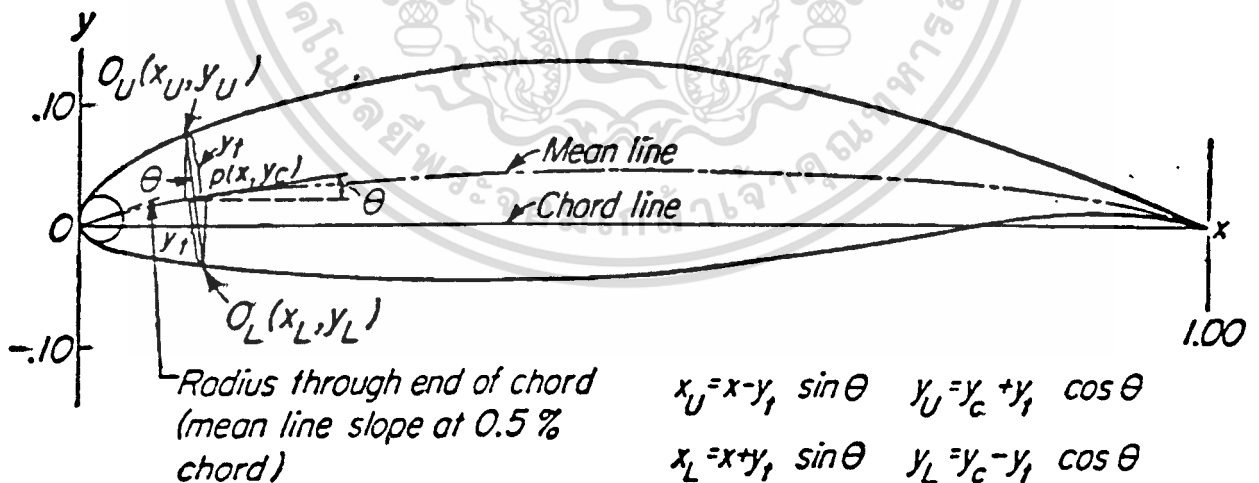
จากการที่หลักการของฟอยล์นั้นนำไปสร้างเป็นปีกเครื่องบิน และสร้างเป็นฟอยล์ของเรือไฮโดรฟอยล์ ดังนั้นจึงมีสิ่งที่น่าสนใจเกี่ยวกับฟอยล์ของพาหนะทั้ง 2 แบบ คือ ในพาหนะ ทั้ง 2 แบบ ฟอยล์นั้นทำให้เกิดแรงยก แต่พิจารณาฟอยล์ที่เป็นปีกเครื่องบินนั้น แรงยกจะเกิด จากการที่ฟอยล์เคลื่อนที่ผ่านอากาศ ส่วนฟอยล์ของเรือไฮโดรฟอยล์ แรงยกเกิดจากการที่ฟอยล์ไหลผ่านน้ำ ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ฟอยล์ของพาหนะทั้ง 2 แบบนั้น แรงยกที่เกิดขึ้นจะมีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากความหนาแน่นของของไหลที่แตกต่างกัน คือ น้ำและอากาศ โดยน้ำจะมีความหนาแน่นมากกว่าอากาศ 800 เท่า ดังนั้นถ้าต้องการให้เรือไฮโดรฟอยล์มีแรงยกเท่ากับแรงยกที่เกิดขึ้นในปีกเครื่องบินนั้น จะต้องสร้างฟอยล์ที่มีขนาด $1/800$ เท่า ของขนาดฟอยล์ของปีกเครื่องบิน โดยจะต้องใช้ความเร็วเท่ากัน แต่ในความเป็นจริงเรือไฮโดรฟอยล์ไม่ต้องการให้มีแรงยกเท่ากับเครื่องบิน อีกทั้งความเร็วก็ไม่สูงเท่ากับเครื่องบินด้วย เนื่องจากเรือไฮโดรฟอยล์มีหลักการที่ว่า ต้องการยกเรือให้พ้นน้ำเพื่อให้ลดแรงต้านทานที่เกิดจากตัวเรือเคลื่อนที่ในน้ำ โดยแรงยกนั้นจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อเรือเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วค่าหนึ่ง

รูปร่างหน้าตัดของฟอยล์

เนื่องจากฟอยล์เป็นอุปกรณ์หลักที่ทำให้เกิดแรงยก โดยผลมารูปร่างหน้าตัดและพื้นผิวโค้งของฟอยล์ ที่เมื่อมีการไหลของของไหลผ่านแล้วสามารถทำให้เกิดแรงยกได้ ดังนั้นในการที่จะเลือกรูปร่างหน้าตัดของฟอยล์ให้ดีขึ้น จำเป็นที่จะต้องศึกษาและค้นคว้าในเรื่องของปีกเครื่องบิน เพราะเหตุว่า ปีกเครื่องบินเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดแรงยกต่อตัวเครื่องบินโดยตรง โดยในการพิจารณารูปร่างของฟอยล์นั้นจะพิจารณา 2 อย่าง

1. รูปร่างหน้าตัด (Cross Section)
2. รูปร่างแปลน (Plan Form)

ในการพิจารณารูปร่างหน้าตัดนั้นจะพิจารณาจากหน้าตัดของปีกเครื่องบิน ซึ่งจากการพิจารณาหน้าตัดของปีกเครื่องบินนั้นจะเห็นได้ว่า ส่วนบนของปีกเครื่องบินจะมีลักษณะที่นูนมากกว่าส่วนล่าง ซึ่งถ้าด้านบนยิ่งนูนมากก็จะมีผลทำให้เกิดแรงยกมาก แต่ก็ต้องเกิดแรงต้านทานมากตามด้วยเช่นกัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่า จุดประสงค์หลักในการเลือกฟอยล์นั้นคือ ต้องการให้ฟอยล์มีแรงยกมาก แต่ให้มีแรงต้านทานน้อย ๆ นั่นก็คือ ต้องการอัตราส่วนของแรงยกต่อแรงต้านทานให้มีความมาก คือ ต้องการ RATIO OF LIFT FORCE AND DRAG FORCE มีความมากนั่นเอง ดังนั้นในการเลือกฟอยล์นั้นจะต้องพิจารณาถึงอัตราส่วนดังกล่าวนี้ด้วย



รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบของฟอยล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปของฟอยล์จะเห็นได้ว่า ส่วนประกอบของฟอยล์นั้นประกอบด้วย Chord line คือ เส้นที่ลากเป็นเส้นตรงจากปลายด้านหนึ่งของฟอยล์ไปยังปลายอีกด้านหนึ่ง ส่วน Mean line เป็น เส้นโค้งแสดงถึงความหนาของฟอยล์โดยจะอยู่กึ่งกลางระหว่างผิวด้านบนและผิวด้านล่างของ หน้า คัดของฟอยล์ ความหนาของฟอยล์นั้นจะวัดจากส่วนหนามากที่สุดของฟอยล์โดยวัดระยะระหว่างผิวบน และผิวล่างของหน้าคัด

ในการพิจารณาถึงประสิทธิภาพของฟอยล์นั้นว่าจะมีแรงยกมากน้อยเพียงใดนั้นจะ พิจารณาจากลักษณะของฟอยล์ที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ RATIO OF THICKNESS AND CHORD คือ อัตราส่วนความหนามากที่สุดต่อความยาวคอร์ด ซึ่งจะมีค่าแปรไปตามรูปร่างหน้าคัดของฟอยล์ แบบต่าง ๆ ซึ่งได้มีการนำค่าต่าง ๆ ของ RATIO OF THICKNESS AND CHORD มา PLOT เป็นกราฟ โดยจะเปรียบเทียบกับค่า C_L และ C_D

คุณสมบัติของฟอยล์

จากฟอยล์เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดแรงยก ดังนั้นในการคำนวณฟอยล์แบบใดแบบหนึ่ง นั้นจะต้องพิจารณาแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับฟอยล์ ดังนี้

$$\text{แรงยก} : F_L = \frac{1}{2} \rho V^2 A_F C_L$$

$$\text{แรงต้าน} : F_D = \frac{1}{2} \rho V^2 A_F C_D$$

ในขณะที่มีแรงต่าง ๆ คือ แรงยกและแรงต้านทานกระทำต่อฟอยล์นั้น จะเกิดโมเมนต์ ค่าหนึ่งที่เกิดกระทำต่อฟอยล์ เรียก โมเมนต์ค่าที่เกิดขึ้นว่า Pitching Moment ซึ่งมีค่าดังนี้คือ

$$M = \frac{1}{2} \rho V^2 A_F C_M$$

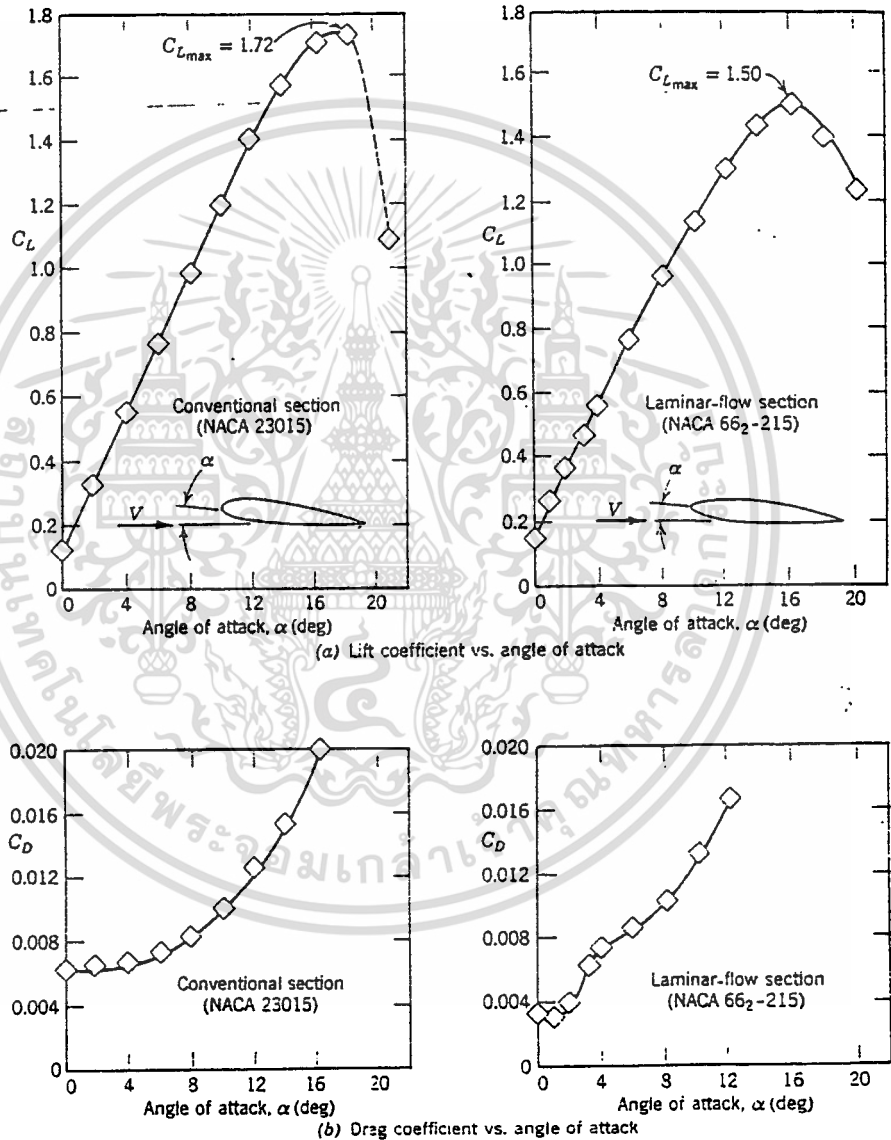
จากสมการ แรงยก แรงต้าน และ Pitching Moment จะเห็นว่า ค่าทั้งสามจะเป็นฟังก์ชัน ที่ขึ้นกับตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

- รูปร่างหน้าคัดของฟอยล์
- พื้นที่ของฟอยล์
- ความเร็วของของไหลที่ผ่านฟอยล์
- ความหนาแน่นของของไหลที่ผ่านฟอยล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

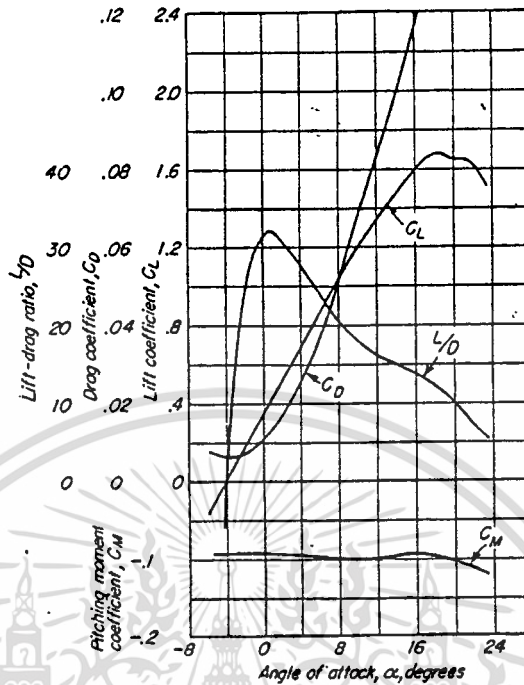
- สัมประสิทธิ์แรงยก แรงต้านทาน และโมเมนต์ (C_L , C_D , C_M)

จะเห็นได้ว่าสัมประสิทธิ์ทั้ง 3 ค่าที่อยู่ในสมการทั้ง 3 ข้างต้นนั้น จะขึ้นอยู่กับรูปร่างหน้าตัดของฟอยล์ โดยฟอยล์ที่มีรูปร่างแตกต่างกันก็จะมีค่าสัมประสิทธิ์ต่างกันด้วย ซึ่งก็ได้มีการนำค่าสัมประสิทธิ์แรงยก แรงต้านทานของฟอยล์แบบต่าง ๆ มา Plot เป็นกราฟที่มุมปะทะต่าง ๆ ดังรูป



รูปที่ 2.9 Lift and drag coefficient versus angle of attack

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

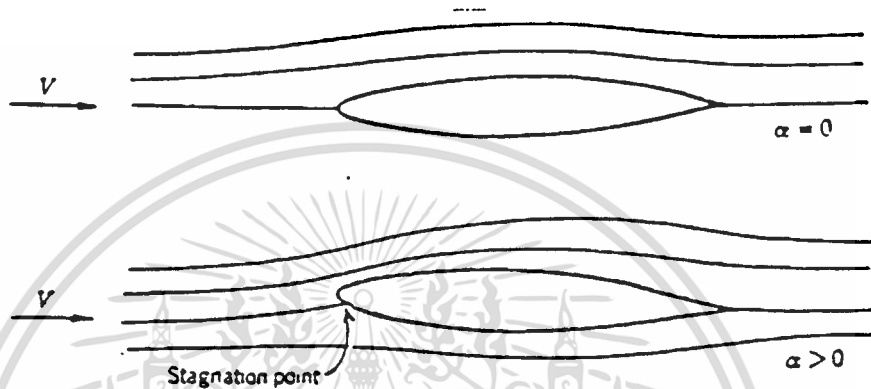


รูปที่ 2.10 Typical wing characteristics

จากกราฟจะเห็นได้ว่า สัมประสิทธิ์แรงยกจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามมุมปะทะที่เพิ่มขึ้น โดยจะมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในค่าของมุมปะทะน้อย ๆ จนกระทั่งที่มุมปะทะประมาณ 16 องศา การเพิ่มของสัมประสิทธิ์แรงยกจะเป็นไปอย่างช้า ๆ จนถึงค่าสูงสุดที่มุมปะทะประมาณ 18 องศา หลังจากนั้นสัมประสิทธิ์แรงยกจะมีค่าลดลงเมื่อมุมปะทะมีค่าสูงขึ้น ซึ่งจุดที่ทำให้เกิดการลดต่ำลงของสัมประสิทธิ์แรงยกอย่างทันทีทันใดนั้น เรียกว่า “STALL” ส่วนสัมประสิทธิ์แรงดันทานนั้นก็จะมีพฤติกรรมคล้ายกับสัมประสิทธิ์แรงยก โดยจะมีรูปร่างของเส้นกราฟเป็นแบบพาราโบลาที่ มุมปะทะต่ำกว่ามุมปะทะที่เกิด STALL การเกิด STALL เกิดขึ้นเนื่องจากของไหลที่ไหลผ่านฟอยล์เกิดการแตกตัวบริเวณผิวด้านบนของฟอยล์ ซึ่งจะทำให้เกิดการไหลแบบ Turbulent บริเวณด้านบนของผิวฟอยล์ เมื่อเพิ่มมุมปะทะให้สูงขึ้น Stagnation Point ที่เกิดขึ้นบนฟอยล์ก็จะมี การเคลื่อนที่ไปด้านหลังของผิวด้านล่างของฟอยล์ ซึ่งจะส่งผลให้ของไหลที่ผิวด้านบนของฟอยล์มีความเร่งเพิ่มสูงขึ้นอย่างรุนแรงรอบ ๆ จมูกของฟอยล์ ซึ่งจะทำให้เกิดความดันเพิ่มสูงขึ้นที่ผิวด้านบนของฟอยล์ ส่วนที่ผิวด้านล่างจะมีความดันต่ำลง เพราะเหตุว่า Stagnation Point ได้มีการเคลื่อนไปบริเวณผิวด้านล่างของฟอยล์ ดังนั้นเมื่อความดันที่ผิวด้านบนของฟอยล์เพิ่มขึ้น ก็จะทำให้เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มี

แรงกดต่อฟอยล์ ทำให้เมื่อมุมปะทะเพิ่มขึ้นสัมประสิทธิ์ของแรงยกก็จะลดลง ซึ่งก็จะส่งผลถึงประสิทธิภาพของฟอยล์ที่จะทำให้เกิดแรงยกลดลงตามไปด้วย ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่ามุมปะทะที่จะทำให้ฟอยล์มีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 2 - 5 องศา เนื่องจากว่าสัมประสิทธิ์แรงยกจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่มุมปะทะประมาณ 2 - 5 องศา



รูปที่ 2.11 แสดงการไหลและ Stagnation point

The National Advisory Committee for Aeronautics (NACA Number)

เป็นตัวเลขแสดงรหัสแทนรูปร่างหน้าตัดของฟอยล์แบบต่าง ๆ ที่ได้มีการทดสอบในอุโมงค์ลมจนเป็นค่ามาตรฐาน และ Plot กราฟเพื่อใช้อ้างอิง โดยจะกำหนดเป็น Four digit, Five digit, Four and Five digit, Six digit เช่น

NACA 23012

2 - จะมีสัมประสิทธิ์แรงยกออกแบบ $= \frac{3 \times 0.2}{2} = 0.3$

30 - maximum camber $= \frac{1 \times 30}{2} = 15 \text{ percent chord}$

12 - section thickness $= 12 \%$

NACA 66₂ - 215

6 - เป็นเลขแสดงกลุ่มว่าเป็นแบบ laminar flow

6 - แสดงตำแหน่งของความดันต่ำสุด $= \frac{X}{C} = 0.6$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับแสดงสัมประสิทธิ์แรงยกสูงสุดที่ความแตกต่างความดันที่เหมาะสม การคำนวณค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2 - แสดงสัมประสิทธิ์แรงยกออกแบบ = 0.2
 15 - Section thickness = 15 %

ผลของ Aspect Ratio ที่มีต่อฟอยล์

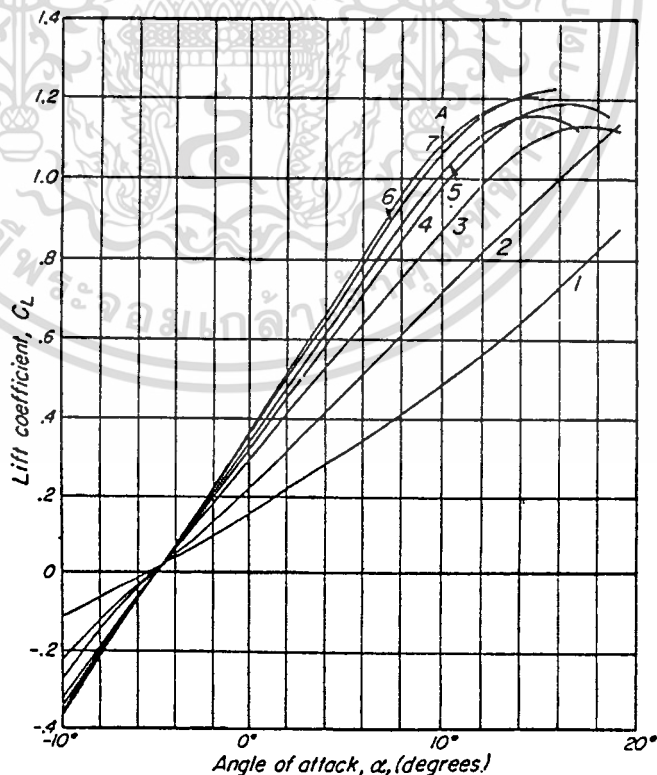
Aspect Ratio เป็นอัตราส่วนระหว่าง span กำลังสองต่อพื้นที่ฟอยล์ คือ

$$A = \frac{b^2}{S}$$

จาก $S = b \cdot c$

$$A = \frac{b^2}{b \cdot c} = \frac{b}{c}$$

ดังนั้นอาจจะกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า Aspect Ratio คือ อัตราส่วนระหว่างความยาว span ต่อความยาว chord จากการทดสอบในอุโมงค์ลมของฟอยล์ จะพบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านที่เกิดขึ้นกับฟอยล์นั้น จะขึ้นอยู่กับมุมปะทะของฟอยล์กับของไหล และค่า Aspect Ratio ของฟอยล์นั้น โดยผลจากมุมปะทะจะมีมากกว่าผลของ Aspect Ratio ซึ่งจากผลการทดสอบดังกล่าวได้มีการนำการเปลี่ยนแปลงของค่าต่าง ๆ มา plot เป็นกราฟดังรูป



รูปที่ 2.12 Lift coefficients plotted as function of angle of attack

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่า ฟอยล์ที่มีค่าของ Aspect Ratio สูง จะมีค่าสัมประสิทธิ์แรงยก สูงกว่าฟอยล์ที่มีค่า Aspect Ratio ต่ำ และจะมีสัมประสิทธิ์แรงต้านที่ต่ำกว่าอีกด้วย

การเลือกฟอยล์

จากกราฟแสดง C_L , C_D ที่แปรไปตามมุมปะทะ (α) จะเห็นว่า C_{Lmax} , C_{Dmax} จะเกิดขึ้นที่ค่าของมุมปะทะ ดังนั้นในการที่จะเลือกฟอยล์เพื่อให้ทำงานได้ประสิทธิภาพมากที่สุดจะต้องเลือกจุดที่ทำให้อัตราส่วน C_L/C_D มีค่ามากที่สุด ซึ่งถ้าฟอยล์มีรูปร่างต่างกันค่าของ C_L, C_D ก็จะต่างกันด้วย ซึ่งในการที่จะเลือกฟอยล์รูปร่างแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับภาระออกแบบ เพื่อนำไปใช้งานของฟอยล์นั้น ๆ โดยจากกราฟจะเห็นได้ว่า เมื่อมุมปะทะเพิ่มขึ้นน้อย ๆ จนถึงประมาณ 16 องศา แรงยกจะเพิ่มอย่างคงที่และรวดเร็ว และจะค่อย ๆ เพิ่ม ช้าลง จนถึง ค่ามุมปะทะ ประมาณ 18 องศา แรงยกจะมีค่าสูงสุดหลังจากนั้น เมื่อเพิ่มมุมปะทะ แรงยกจะตกลงเป็นลักษณะมุมชัน ที่เรียกว่าการเกิด STALLING ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ในการเลือกฟอยล์เพื่อนำไปใช้งานนั้น จะต้องพิจารณาตัวแปรต่าง ๆ หลายอย่าง เช่น รูปร่างของฟอยล์ที่เหมาะสมกับการออกแบบ, ค่า C_L และ C_D ค่ามุมปะทะที่จะทำให้เกิดอัตราส่วน C_L/C_D มากที่สุด เป็นต้น

การออกแบบและกาแบ่งภาระของฟอยล์

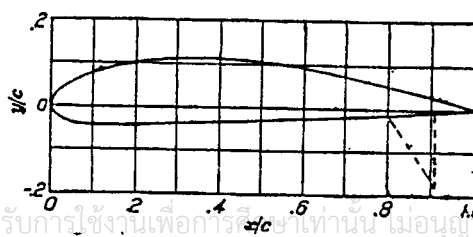
ในการสร้างจักรยานเดินน้ำจะมีการใช้ฟอยล์ 2 อัน ได้แก่

- ฟอยล์หน้า มีขนาดเล็ก อยู่ด้านหน้า
- ฟอยล์หลัง มีขนาดใหญ่ อยู่ด้านหลัง

โดยในการออกแบบ จะให้ฟอยล์หลัง รับแรงไปประมาณ 75% ส่วนฟอยล์หน้ารับแรงไปประมาณ 25% เพราะเหตุว่า ในการออกแบบ โดยจักรยานเดินน้ำนั้น จะให้จุด c.g. ก่อนไปทางด้านหลัง และลักษณะการยกตัวของจักรยาน เมื่อเคลื่อนที่นั้น ฟอยล์หน้าจะเริ่มยกตัวก่อน จากนั้นฟอยล์หลังจึงจะยกตัวตาม

ในการออกแบบจะสมมุติให้น้ำหนัก = 100 kg ทั้งฟอยล์ทั้งหมด จะต้องรับแรงไว้ และความเร็วของจักรยานประมาณ 6 knot (ประมาณ 3 m/s)

กำหนดให้ฟอยล์ทั้งหน้าและหลัง ใช้เป็นรูปร่างแบบ NACA 4415



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 สัมประสิทธิ์แรงยก สัมประสิทธิ์แรงต้าน และสัมประสิทธิ์โมเมนต์ของฟอยล์

- Cross section NACA 4415

lift coefficient, Drag coefficient, and Pitching moment coefficient of Foil cross section NACA 4415

angle of attack	Cl	Cd	Cm	Cl/Cd
-13.000	-0.875	0.013	-	-67.302
-12.000	-0.825	0.013	-	-63.953
-11.000	-0.700	0.012	-	-60.870
-10.000	-0.625	0.011	-0.010	-58.962
- 9.000	-0.500	0.010	-0.099	-51.546
- 8.000	-0.400	0.009	-0.098	-44.444
- 7.000	-0.300	0.009	-0.097	-35.294
- 6.000	-0.180	0.008	-0.095	-22.222
- 5.000	-0.100	0.008	-0.094	-12.658
- 4.000	0.030	0.008	-0.093	3.846
- 3.000	0.100	0.008	-0.94	13.158
- 2.000	0.200	0.008	-0.095	26.667
- 1.000	0.340	0.007	-0.094	45.946
0.000	0.420	0.007	-0.093	57.534
1.000	0.550	0.007	-0.092	75.342
2.000	0.640	0.007	-0.090	68.486
3.000	0.750	0.008	-0.089	100.000
4.000	0.830	0.008	-0.088	109.211
*****5.000*****	0.950	0.008	-0.086	121.795
6.000	0.990	0.008	-0.083	120.732
7.000	1.110	0.010	-0.079	116.842
8.000	1.190	0.011	-0.077	106.250

angle of attack	Cl	Cd	Cm	Cl/Cd
9.000	1.250	0.013	-0.075	96.154
10.000	1.330	0.015	-0.072	87.333
11.000	1.380	0.019	-0.067	72.632
12.000	1.430	0.023	-0.055	62.374
13.000	1.420	-	-0.058	
14.000	1.400	-	-0.073	
15.000	1.370	-	-0.075	
16.000	1.330	-	-0.076	
17.000	1.390	-	-0.077	
18.000	1.270	-	-0.080	
19.000	1.250	-	-0.089	
20.000	1.220	-	-0.092	

หมายเหตุ ข้อมูลจากรูปที่ 3.1 (ภาคผนวก ง.) NACA 4415 ที่ $Re\ 3.0 \times 10^4$

โดยตารางจะเห็นได้ว่า มีมุมปะทะ (α) 5 องศาจะทำให้อัตราส่วน $C_L/C_D = 121.795$
เมื่อ $C_L = 0.95$ และ $C_D = 0.008$

ตัวแปรต่าง ๆ ในสมการมีค่าดังนี้

ρ = ความหนาแน่นเฉลี่ยของน้ำ = 1000 kg/m^3
 V = ความเร็วของจักรยาน = 3 m/s (6 knot)

แทนค่าในสมการจะได้

$100 \times 9.81 = \frac{1}{2} (1000) (3)^2 S (0.95)$
 $S = \frac{981 \times 2}{1000 \times 9 \times 0.95} = 0.229\text{ m}^2$

เนื่องจากฟอยล์น้ำรับแรง 25%

$\therefore$ ฟอยล์น้ำจะมีพื้นที่ $0.229 \times 25\% = 0.057\text{ m}^2$

ส่วนฟอยล์หลังรับแรง 75 %

$\therefore$ ฟอยล์หลังจะมีพื้นที่ $0.229 \times 75\% = 0.172\text{ m}^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 (1) \text{ ฟอยล์หน้า จาก } S &= b \times c \\
 \text{โดย } b &= S_{pcn} \\
 c &= \text{chord} \\
 \text{กำหนดให้ } c &= 9 \text{ cm.} = 0.09 \text{ m.} \\
 \therefore b &= s/c \\
 &= \frac{0.057}{0.09} = 63.8 \text{ m.}
 \end{aligned}$$

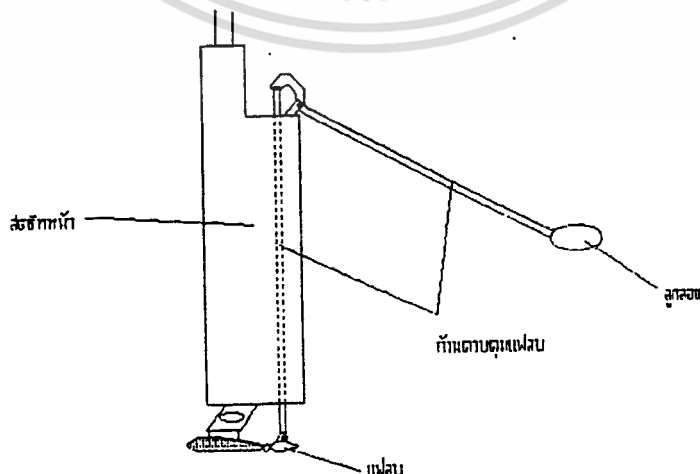
$\therefore$ ขนาดของฟอยล์หน้าจะได้

$$\begin{aligned}
 \text{ความยาว คอร์ด} &= 9 \text{ cm.} \\
 \text{ความยาว } S_{pcn} &= 63.8 \text{ cm.}
 \end{aligned}$$

แฟลป (Flap)

แฟลป จะเป็นส่วนประกอบของฟอยล์หน้า โดยจะมีพื้นที่ประมาณ 25% ของพื้นที่ทั้งหมดของฟอยล์ โดยแฟลปนั้น จะเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการยกตัวของฟอยล์ ในขณะที่ฟอยล์เริ่มเคลื่อนที่ โดยจะทำให้มุมปะทะน้ำของแฟลปมีค่าสูงขึ้นขณะเริ่มเคลื่อนที่ ซึ่งจากคุณสมบัติของแฟลป คือ เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการยกตัวของฟอยล์นั้น โดยลักษณะการทำงานของแฟลปนั้น แฟลปจะเพิ่มมุมปะทะของฟอยล์ในการเคลื่อนที่ อีกทั้งจะเป็นการเพิ่ม Comber ของฟอยล์ในมากขึ้น ถ้าแฟลปของปีกเครื่องบินนั้นจะมีประโยชน์ในการขึ้นและลงของเครื่องบิน ส่วนในการออกแบบแฟลปเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ช่วยในการยกตัวของจรวดยานเหินน้ำ ก็ใช้หลักการเดียวกับแฟลปที่ใช้ในปีกเครื่องบิน

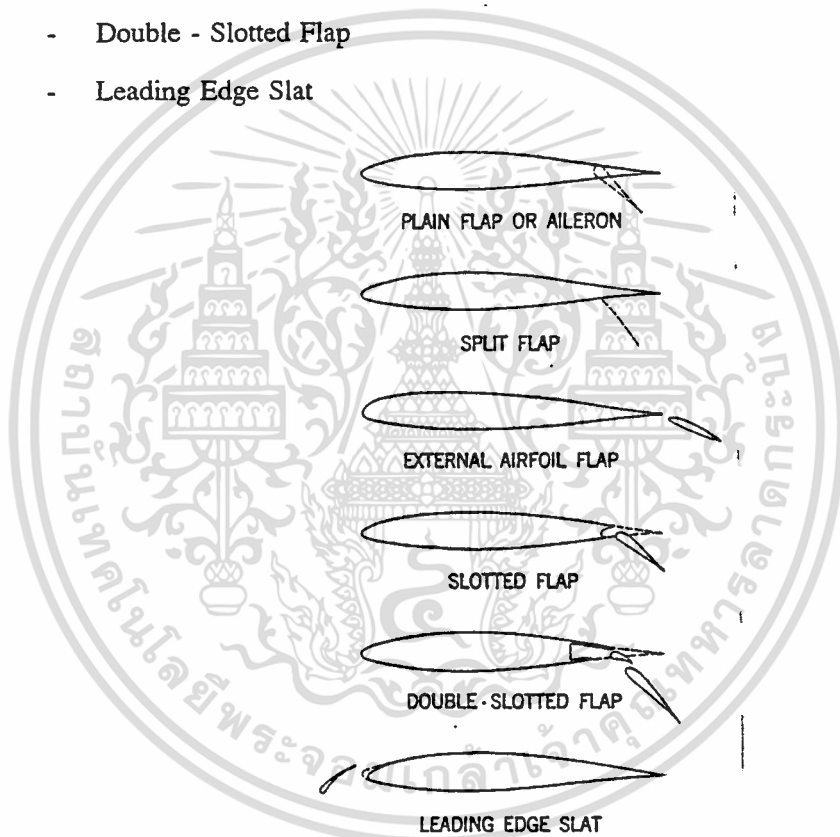
การทำงานของแฟลปในจรวดยานเหินน้ำ จะถูกควบคุมด้วยก้านควบคุมที่ทำงานอย่างอัตโนมัติจากระดับน้ำที่แตกต่างกัน โดยมีลูกกลอยและผิวน้ำอยู่ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ โดยรูปที่ 2.13 ส่วนประกอบของแฟลปในจรวดยานเหินน้ำ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเมื่อระดับน้ำต่ำ แพลปจะทำมุมน้อยแรงยกจะน้อย แต่เมื่อจักรยานเหินน้ำเริ่มเคลื่อนที่ และเริ่มยกตัว จะทำให้แพลปทำมุมมากขึ้น แรงยกก็จะมากขึ้นด้วย
 แพลปที่ใช้จะมีอยู่หลายประเภท เช่น (อ้างอิงจากแพลปของปีกเครื่องบิน)

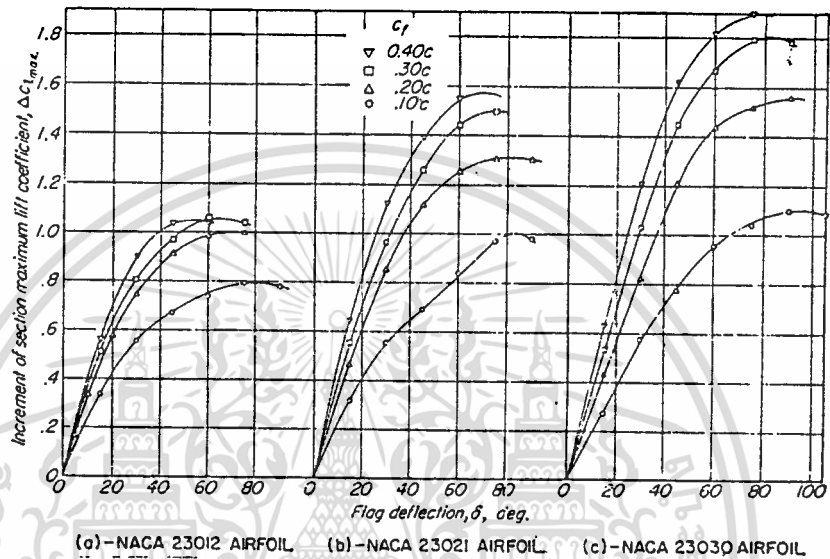
- plain Slap or aileron
- External Airfoil Slap
- Split Flap
- Slotted Flap
- Double - Slotted Flap
- Leading Edge Slat



รูปที่ 2.14 Typical high-lift devices

จากการที่แพลปเป็นอุปกรณ์ช่วยในการยกตัวนั้น แพลปแต่ละแบบจะมีผลในการยกตัวแตกต่างกัน คือ แพลปแต่ละแบบจะให้สัมประสิทธิ์ แรงยก และสัมประสิทธิ์แรงต้านแตกต่างกัน โดยตัวแปรที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์ทั้งสองคือ มุมปะทะที่แพลปทำกับทิศทางการเคลื่อนที่ผ่านไปของไหล เรียกว่า Flap Keflection ซึ่งได้มีการนำไป Plot กราฟ เพื่อเปรียบเทียบกับค่า C_L และ C_D ที่เกิดขึ้น สำหรับฟอยล์ที่ NACA Number ต่างกันดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

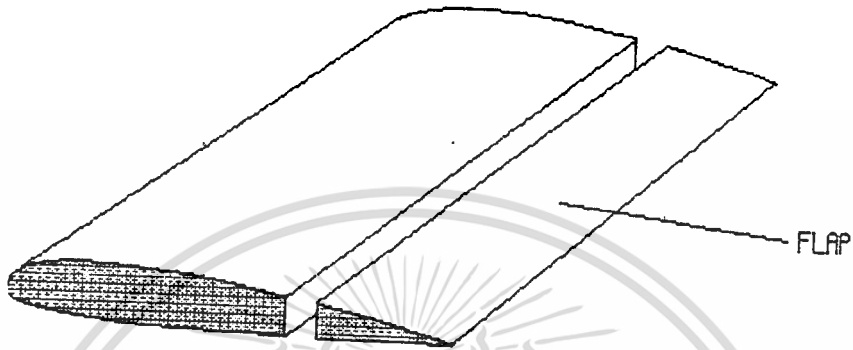


รูปที่ 2.15 Effect of flap deflection on increment of maximum lift coefficient

จากรูปจะเห็นได้ว่า เมื่อ Flap Deflection เพิ่มขึ้น ค่า C_L ก็จะเพิ่มสูงขึ้นอีกทั้ง C_D ก็มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน แต่จะเพิ่มน้อยกว่า C_L

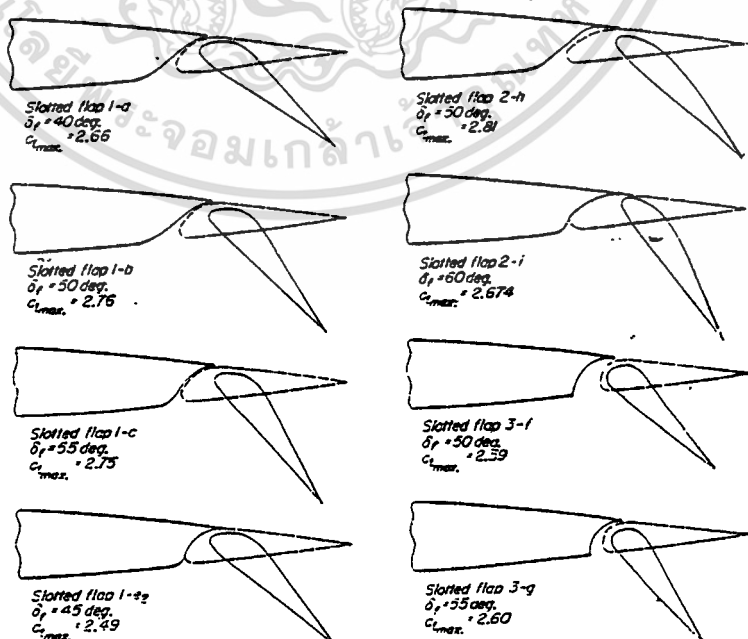
นอกจากนี้ ประสิทธิภาพในการยกตัวของ แพลปที่มีต่อฟอยล์ จะขึ้นอยู่กับตัวแปรที่สำคัญอีกตัวแปรหนึ่ง คือ พื้นที่ของแพลปเมื่อเทียบกับพื้นที่ของฟอยล์ โดยจะเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ ซึ่งถ้าแพลปมีเปอร์เซ็นต์มากเมื่อเทียบกับฟอยล์ ผลของการเพิ่มแรงยกต่อฟอยล์ ก็จะมีมากตามไปด้วย แต่ส่วนมากแพลปโดยทั่วไป จะมีพื้นที่ประมาณ 25% ของพื้นที่ฟอยล์ ซึ่งในการออกแบบจักรยานเหินน้ำก็ได้ใช้ค่านี้นี้เช่นเดียวกัน

ในการออกแบบได้ใช้แพลปแบบ Slotted Flap เนื่องจากง่ายต่อการสร้าง โดยในการสร้างจะแบ่งฟอยล์หน้าของจักรยานออกเป็น 25% เพื่อเป็นส่วนของแพลปดังรูป



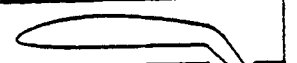
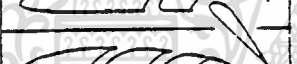
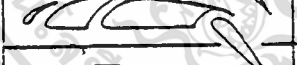
รูปที่ 2.16 การแบ่งพื้นที่แฟลปในพอยล์หน้า

โดยจะเป็น Slot Combination type 5th ดังรูป ซึ่งจากค่าอัตราส่วนของ สัมประสิทธิ์แรงยกต่อสัมประสิทธิ์แรงต้าน จะเห็นได้ว่า แฟลปแบบนี้จะให้ค่าอัตราส่วนสูงสุด อีกทั้งง่ายต่อการสร้างด้วย



รูปที่ 2.17 ชนิดของ Slotted flap

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Slot combination	$C_{L_{max}}$	$C_{D_{min}}$	$\frac{C_{L_{max}}}{C_{D_{min}}}$	$\alpha_{C_{L_{max}}}$ degrees
	1.950	0.0152	128.2	12
	2.182	0.0240	91.0	19
	2.235	0.0278	80.3	20
	2.200	0.0340	64.7	21
	2.210	0.0270	81.3	20
	1.980	0.0164	120.5	12
	1.770	0.0164	108.0	14
	2.442	0.0208	117.5	16
	2.500	0.0258	96.8	18
	2.135	0.0214	102.0	18
	2.261	0.0243	93.2	19
	2.320	0.0319	72.7	20
	2.535	0.0363	69.8	20
	2.600	0.0298	87.3	20
	2.035	0.0298	68.3	21

รูปที่ 2.18 แสดงค่า C_L และ C_D ของแฟลปชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ฟอยล์หลัง เนื่องจากฟอยล์หลังมีพื้นที่ค่อนข้างมาก คือ แบ่งส่วนรับโหลดมาถึง 72 เปอร์เซ็นต์ และโหลดส่วนมากจะตกลงตรงกลางฟอยล์ ซึ่งเป็นตำแหน่งยึดฟอยล์ติดกับสตรัทหลัง ดังนั้นรูปร่างที่เหมาะสมคือรูปแบบรีเวอ ดังในรูปที่ คือขอบนำสู่ไปข้างหลังเล็กน้อย แต่ไม่ใช่ SWEEPBACK เพราะขอบตามไม่ได้ด้วย เพราะ SWEEPBACK จะมีผลดีต่อการมีฟอยล์ใช้งานที่ความเร็วสูงมากเช่น SONIC SPEED เท่านั้น เช่น พวกเครื่องบินความเร็วเหนือเสียงแต่จักรยานเหินน้ำมีความเร็วต่ำมาก เมื่อเทียบกับเครื่องบิน ดังนั้นการออกแบบฟอยล์หลังให้ขอบหน้าสู่เล็กน้อย ก็เพียงพอจะเป็นผลดีต่อการที่ฟอยล์จะเคลื่อนผ่านไปในน้ำ และด้านปลายฟอยล์ก็รับโหลดน้อยกว่าบริเวณตรงกลางอยู่แล้ว ขณะเดียวกันเราต้องการฟอยล์ที่มีขนาดเล็กที่สุด เท่าที่จะทำได้ เพื่อให้มีแรงต้านน้ำขณะเคลื่อนที่น้อยที่สุด ปลายฟอยล์จึงออกแบบให้รีเวอเล็กน้อยไปเรื่อย ๆ แต่ก็จะมีข้อจำกัดทางด้านความแข็งแรงของวัสดุที่ใช้ทำฟอยล์ว่าจะให้ปลายสุดของฟอยล์ (TIP CHORD, C) เล็กได้มากเท่าใด

อนึ่ง แม้จะสามารถใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบาแต่ความแข็งแรงสูง เช่น อลูมิเนียมอัลลอยด์ก็ตาม ปลายฟอยล์ก็ไม่ควรจะทำให้เล็กเกินไป เพราะถ้าหากคิดที่พื้นที่ของฟอยล์เท่ากัน และความกว้างโคนฟอยล์เท่ากันแล้ว หากกำหนดปลายฟอยล์เล็กมากก็หมายความว่า เราจะได้ฟอยล์ที่แคบแต่ยาวมากเกินไป ซึ่งจะทำให้มันเกาะเกาะไม่สะดวกในการใช้งานในพื้นที่แคบ ๆ เช่น ขณะเข้าเทียบฝั่งเพื่อให้คนลงไปทดสอบ เป็นต้น และฟอยล์ที่ยาวมากเกินไป ยังอาจเกิดการโค้งได้เนื่องจากแรงยกบนฟอยล์ทั้งสองข้าง แต่ฟอยล์หลังก็ไม่ควรจะทำให้สั้นเกินไปเพราะจะมีผลต่อการทรงตัวขณะจักรยานเหินน้ำลอยส่วนบนพื้นน้ำ ก็มันจะทรงตัวไม่ดีถ้าฟอยล์สั้นมาก นอกจากนี้ฟอยล์ที่สั้นก็ยังทำให้มีขนาดของคอร์คามาก (เมื่อต้องการพื้นที่เท่ากันกับฟอยล์ยาว) ความกว้างตรงส่วนที่หนที่สุดก็จะมากเกินไป ทำให้ใช้เนื้อวัสดุมากโดยได้ความแข็งแรงมากเกินความจำเป็น ทำให้น้ำหนักมาก อันเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์อย่างยิ่งในการออกแบบจักรยานเหินน้ำ ซึ่งเน้นให้มีน้ำหนักเบาที่สุด เท่าที่จะทำได้

ฟอยล์หลังจึงใช้รูปแบบสองข้างสามาตรโดยแต่ละข้างเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

จากตารางคำนวณ ต้องใช้พื้นที่ฟอยล์หลัง = $S = 0.172$ ตารางเมตร

เมื่อ $C = \text{ROOT CHORD}$, $B = \text{SPAN (ของครึ่งฟอยล์)}$

จากพื้นที่ของฟอยล์หลัง $S = 0.172 \text{ m}$

พื้นที่แต่ละครึ่งของฟอยล์ $= 1/2 (b) (C_1 + C_2)$

$\therefore$ พื้นที่รอบของฟอยล์ $= 2 [1/2 (b) (C_1 + C_2)]$

$= b (C_1 + C_2)$

TAPER RATIO ที่เลือก $= 0.4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\therefore C_t / C_r = 0.4$$

$$\text{กำหนดให้ } C_t = 5 \text{ cm.}$$

$$\therefore C_r = C_t / \text{TAPER RATIO} = 5 / 0.4 = 12.5 \text{ cm.}$$

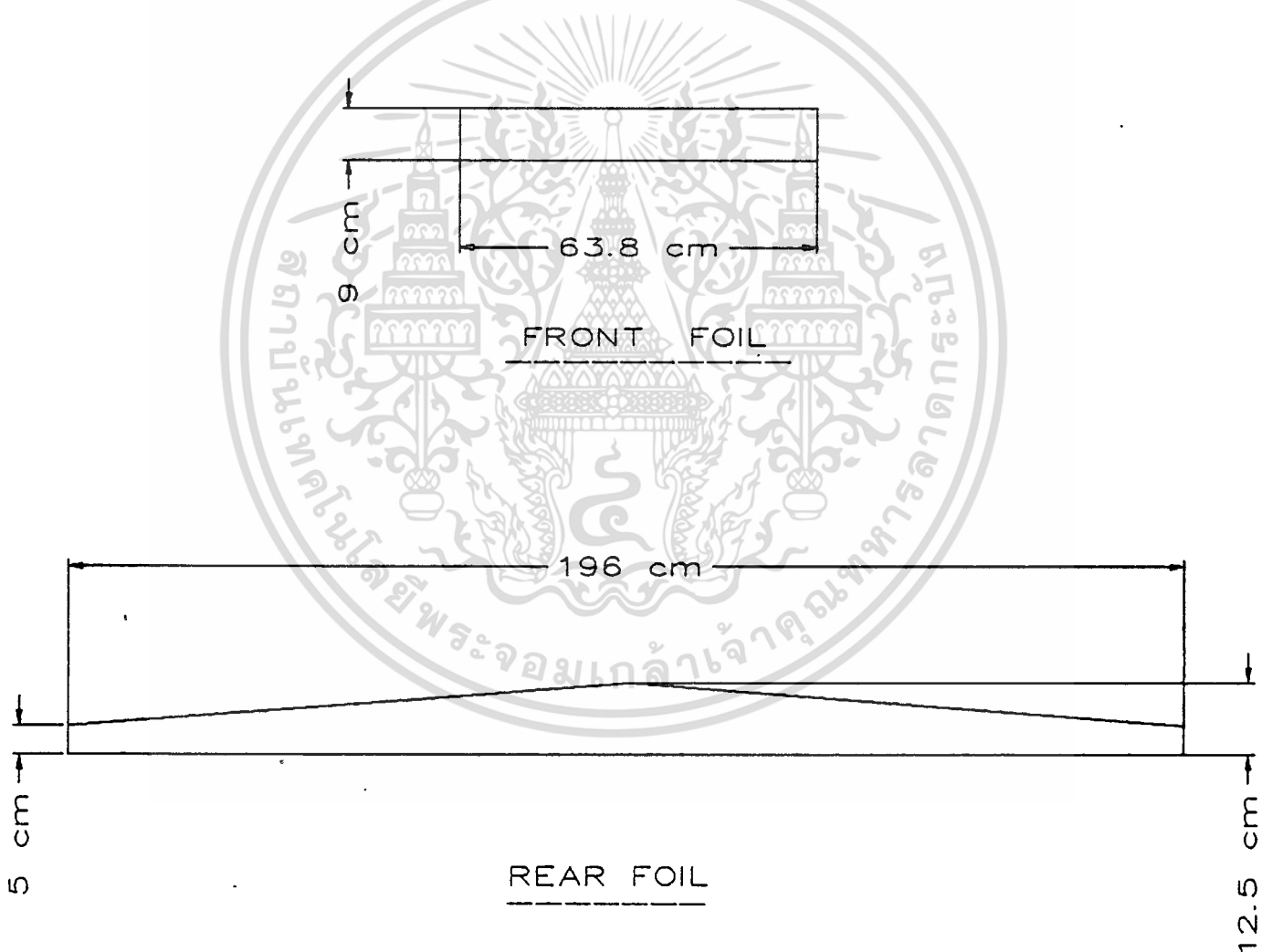
$$\text{จาก } S = b (C_t + C_r)$$

$$b = S / (C_t + C_r)$$

$$= 0.172 / (0.05 + 0.125)$$

$$= 0.98 \text{ m.}$$

$$\text{จากความยาวของฟอยล์} = 2b = 2 \times 0.98 = 1.96 \text{ m.}$$



รูปที่ 2.19 ฟอยล์ที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ท่อน

ท่อนที่ใช้ในจักรยานเดินน้ำจะมีอยู่ 2 ท่อน มีหน้าที่ช่วยในการพยุงตัวจักรยานในขณะที่ยังลอยอยู่ในน้ำ และเป็นตัวยึดโครงจักรยาน โดยวัสดุที่ใช้ทำท่อนจะใช้ไฟเบอร์กลาสมีความหนาประมาณ 2.5 มิลลิเมตร และอัดลมเข้าไปเพื่อช่วยในการลอยตัว และทำให้ท่อนมีความคงรูปเมื่อโดนกระแทกหรือกด ซึ่งลมที่ใช้อัดมีความดันประมาณ 3.0 บาร์ เหตุผลที่ใช้ไฟเบอร์กลาสในการทำท่อน คือ

- (1) มีน้ำหนักเบา
- (2) มีความแข็งแรง
- (3) ทนต่อการกัดกร่อน

ในการออกแบบท่อนจะใช้โปรแกรม-UG GRAPHIC ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปที่ใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมทั่วไป ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบท่อนได้ โดยในการออกแบบต้องทำตามขั้นตอน ดังนี้

1. กำหนดปริมาตรส่วนที่จมน้ำของท่อน

กำหนดให้น้ำหนักของจักรยานเดินน้ำเมื่อมีคนขึ้นไปขี่ มีน้ำหนักทั้งหมด 120 kg. เนื่องจากตัวจักรยานเดินน้ำมี 2 ท่อน ดังนั้นแต่ละท่อนจะรับน้ำหนัก 60 kg.

จาก แรงลอยตัว (Bouyancy Force) : B

$$B = \rho g V$$

โดย V : ปริมาตรส่วนที่จมน้ำ

$$\rho : \text{ความหนาแน่นของน้ำ} = 1,000 \text{ kg/m}^3$$

$$g : \text{แรงโน้มถ่วงของโลก} = 9.81 \text{ m/s}^2$$

แทนค่าจะได้

$$60 \times 9.81 = 1000 \times 9.81 \times V$$

$$V = 0.06 \text{ m}^3$$

$$\text{ดังนั้นปริมาตรส่วนที่จมน้ำ} = 0.06 \text{ m}^3$$

2. กำหนดให้แต่ละท่อนมีความยาว 2.5 m. และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 cm.

นำข้อมูลในข้อ (1) และ (2) ใส่ในโปรแกรม UG GRAPHIC เพื่อออกแบบก็จะได้ ท่อนที่มีขนาดยาว 2.5 m. สูง 20 cm. และเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 cm. โดยตัวโปรแกรม UG GRAPHIC ที่ใช้ในการออกแบบจะบอกข้อมูลของตัวท่อนที่ออกแบบได้ ดังนี้

$$\nabla = \text{ปริมาตรส่วนที่จมน้ำ} = 0.06 \text{ m}^3$$

$$L = \text{ความยาวแนวน้ำ} = 220 \text{ cm.}$$

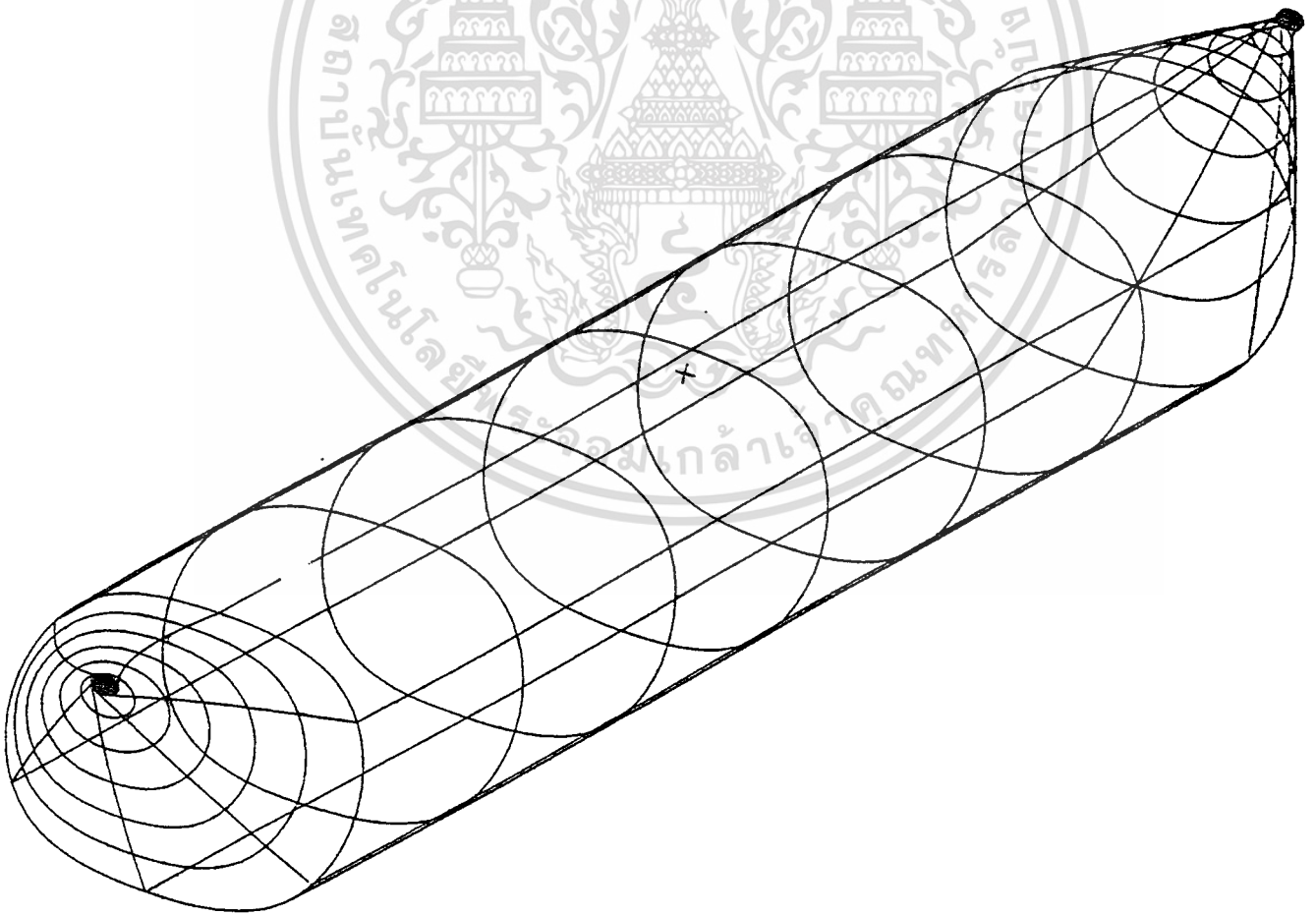
$$T = \text{ระดับกินน้ำลึก} = 15 \text{ cm.}$$

$$A_m = \text{พื้นที่หน้าตัด ณ ระดับกินน้ำลึกกึ่งกลางท่อน} = 0.0285 \text{ m}^2$$

$$A_{wp} = \text{พื้นที่หน้าตัดที่มองจากด้านบนของท่อน ณ ระดับกินน้ำลึก}$$

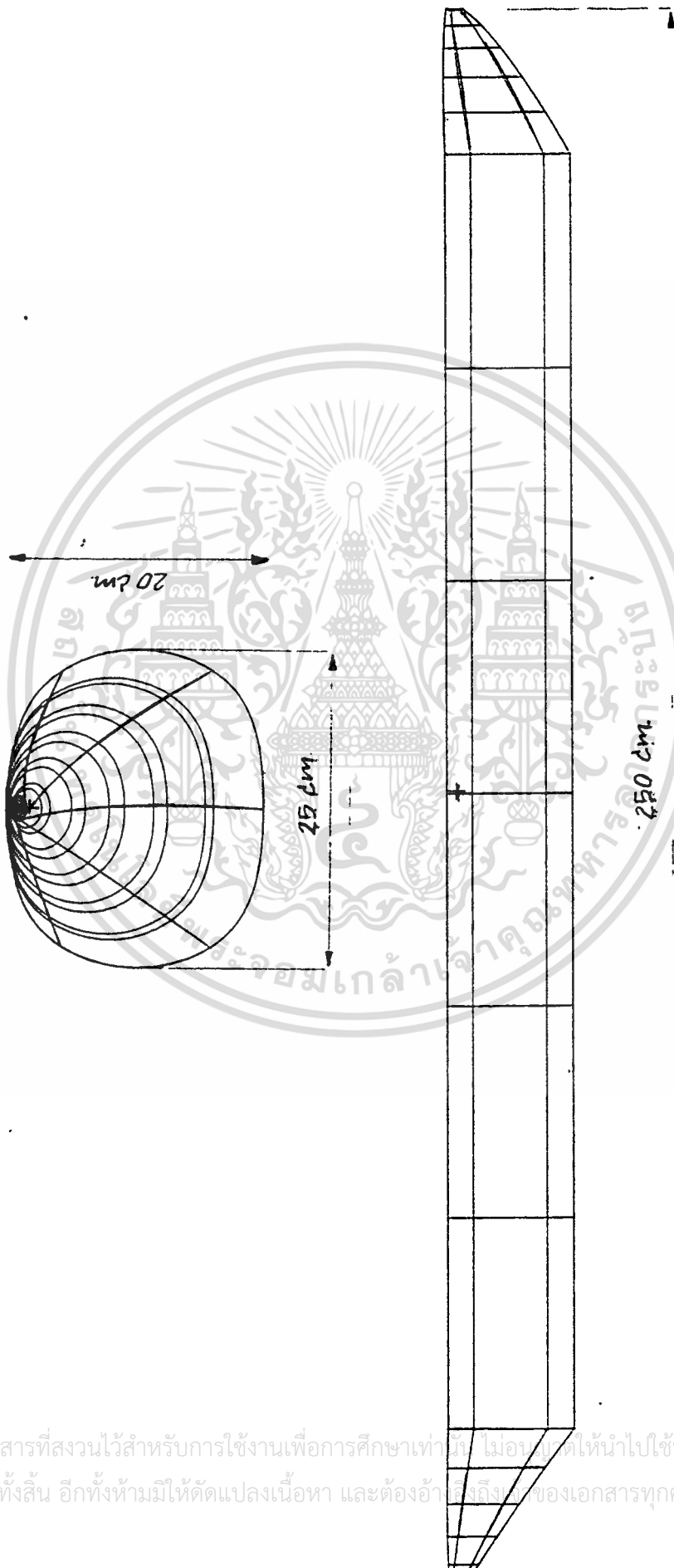
$$= 0.374 \text{ m}^2$$

โดยข้อมูลดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ในการออกแบบในเรื่องอื่น ๆ ต่อไป



รูปที่ 2.20 A ท่อนที่ออกแบบจาก UG Graphic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 B ภาพภายนอกของท่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 สตรัท (Strut)

สตรัท เป็นส่วนประกอบสำคัญอีกส่วนหนึ่งของจักรยานเดินน้ำ โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

1. สตรัทหน้า เป็นส่วนที่ยึดฟอยล์หน้ากับโครงจักรยาน และมีกลไกกันบังคับแฟลปอัตโนมัติ ซึ่งติดกับลูกลอยที่ตะแฉิวน้ำตลอดเวลาอยู่ภายในด้วย
2. สตรัทหลัง เป็นส่วนที่หุ้มระบบโซ่ขับเคลื่อนส่งกำลังจากเพลาจักยานตัวบนลงไปยังเพลาลับจักรที่อยู่ด้านล่างยาวลงไปประมาณ 80 ซม. โดยโซ่ขบนี้จะบิดตัวไป 90° เพื่อเปลี่ยนระนาบของเฟืองขับ ซึ่งวางอยู่ในทิศทางตั้งฉากกันอยู่ระหว่างตัวบนกับตัวล่าง นอกจากนี้สตรัทหลังยังเป็นส่วนที่ใช้ยึดฟอยล์หลังด้วย

รูปที่ 2.21 แสดงระนาบเพลาลับจักรตัวบนกับตัวล่าง ที่วางทำมุมกัน 90 องศา

ลักษณะทั่วไปของสตรัท

เนื่องจากสตรัททั้งสองจะต้องเคลื่อนที่ติดไปกับน้ำ โดยอยู่ในลักษณะที่สตรัทอยู่ในแนวตั้งตลอดเวลา รูปหน้าตัดของสตรัทซึ่งควรเป็นแบบที่จะทำให้เคลื่อนที่ติดไปในน้ำได้ดีมีแรงต้านน้อยที่สุด



แบบที่ 1 สมมาตรสองแกน



แบบที่ 2 สมมาตรแกนเดียว

รูปที่ 2.22 รูปลักษณะหน้าตัดของสตรัท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทฤษฎีแล้ว แบบที่ 2 จะมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบที่ 1 เพราะเกิด wake น้อยกว่า อีกทั้งข้อสำคัญของรูปแบบสตรัทที่จะเลือกใช้ คือ ขนาดของสตรัทจะต้องเล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อให้หน้าหนักเบาและแรงต้านน้อยที่สุด และรูปร่างต้องเหมาะสมที่จะเคลื่อนตัดผ่านไปในน้ำได้ดี แต่ต้องไม่ลืมว่าขนาดสตรัทจะเล็กลงได้ในขอบเขตจำกัดในด้านความแข็งแรงของวัสดุที่ใช้ทำ

ลักษณะเฉพาะของสตรัทแต่ละตัว

1. **สตรัทหน้า** ต้องมีหน้าตัดที่ไม่ยาวเกินไป แต่จะต้องให้มีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้ และมีพื้นที่ว่างเป็นช่องภายในไม่ต่ำกว่า 10×12 มม. เพื่อเป็นช่องสอดก้านบังคับแฟลป ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. และให้มันเคลื่อนได้สะดวก โดยจะมีการเคลื่อนในแนวคืบและแนวราบด้วยเล็กน้อย ส่วนความยาวประมาณ 40 ซม. โดยได้มีการเผื่อความยาวในขณะที่จักรยานเดินน้ำยกตัวไว้แล้ว

2. **สตรัทหลัง** หน้าตัดต้องยาวที่สุดและเล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่ภายในมีเนื้อที่ช่องว่างเพียงพอที่จะเป็นทางวิ่งของโซ่ขับเพลลาใบจักร ตัวบังคับโซ่ ตลอดจนความกว้างของแบร้งของเพลลาใบจักรด้านล่างสุดด้วย ความยาวของสตรัทหลังจะยาวกว่าสตรัทหน้าประมาณ 40 ซม. ดังนั้นสตรัทหลังจะยาวประมาณ 80 ซม. ทั้งนี้ความยาวที่กำหนดได้มีการเผื่อไว้สำหรับการยกตัวเช่นเดียวกับสตรัทหน้าแล้ว และยังมีความสำคัญมากกว่าอีกคือ ต้องมีระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของเฟืองโซ่จักรยานตัวบนกับเพลลาใบจักรด้านล่างมากพอที่จะทำการบิดโซ่ได้ถึง 90° และไม่ทำให้โซ่หลุดเมื่อเวลาใช้งาน

นอกจากนี้ขนาดความยาวสตรัทหลังที่ยาวกว่าสตรัทหน้ายังมีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะให้ระดับความลึกของฟอยล์หลังอยู่ลึกกว่าฟอยล์หน้า เพราะขณะที่จักรยานเดินน้ำเคลื่อนที่ไปนั้น ฟอยล์ทั้งสองจะเคลื่อนที่ผ่านไปในน้ำโดยฟอยล์หน้าเคลื่อนผ่านไปก่อน ฟอยล์หลังเคลื่อนตามมา หากฟอยล์ทั้งสองอยู่ในระดับความลึกเท่ากันแล้วก็จะทำให้ streamline ของการไหลของน้ำที่ผ่านฟอยล์หน้ามาใหม่ ๆ และยังมี wake หรือ vortex รวมทั้งลักษณะของการถูกรบกวนเหลืออยู่มาไหลผ่านฟอยล์หลังทำให้รูปแบบการปะทะกับ streamline ของฟอยล์หลังได้มุมปะทะที่ไม่ถูกต้องตามจุดออกแบบที่ควรจะเป็นมีผลทำให้สัมประสิทธิ์แรงยกน้อยลงกว่าปกติ

สตรัทหลัง จะต้องได้รับการซีลอย่างดีโดยรอบทั้งหมดทุกด้าน เพื่อป้องกันน้ำเข้าไปในสตรัท เพราะมีระบบเฟืองโซ่ขับ โซ่ และแบร้ง อยู่ภายในที่หมุนอยู่ตลอดเวลาที่ใช้งานและไม่ทนต่อน้ำ ถ้าหากมีน้ำเข้าไปในสตรัทอาจทำให้เกิดสนิมที่เม็ดลูกปืนของแบร้ง ทำให้แตกและติดได้ รวมทั้งน้ำที่เข้าไปในสตรัทก็จะไปเพิ่มน้ำหนักให้แก่สตรัทด้วย

2.1.4 การคำนวณความต้านทานของเรือ

ความต้านทานของเรือ (RESISTANCE OF SHIP)

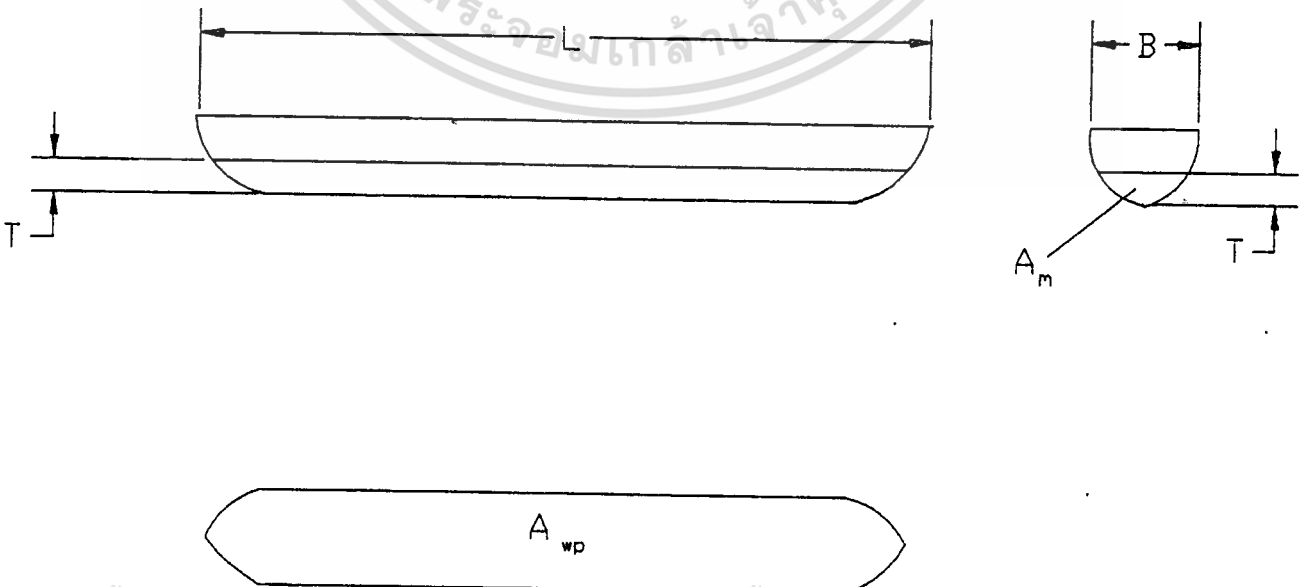
เมื่อพยายามจะดึงหรือดันวัตถุอย่างหนึ่งให้ผ่านไปบนของเหลว เช่น เรือให้แล่นไปในน้ำจะพบว่า จะต้องออกแรงจำนวนหนึ่งเพื่อเอาชนะความต้านทานของน้ำ

ความต้านทานทั้งหมดของเรือ (Total resistance of a ship) จะประกอบด้วยความต้านทานต่าง ๆ ดังสมการ

$$R_{\text{total}} = R_F (1 + k_I) + R_{\text{App}} + R_W + R_A$$

- โดย R_{total} : ความต้านทานทั้งหมด
 R_F : ความต้านทานความฝืด
 R_{App} : ความต้านทานของส่วนที่ยื่นลงไป
 (Resistance of Appendage)
 R_W : ความต้านทานคลื่น (Wave - Making Resistance)
 R_A : ความต้านทานของรูปทรงเรือ (Model - Ship Resistance)

จากข้อมูลของหุ่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \nabla &= \text{ปริมาตรส่วนที่จมน้ำ} = 0.06 \text{ m}^3 \\
 L &= \text{ความยาวแนวน้ำ} = 2.2 \text{ m.} \\
 T &= \text{ระดับกินน้ำลึก} = 0.15 \text{ m.} \\
 A_m &= 0.0285 \text{ m}^2 \\
 A_{wp} &= 0.374 \text{ m}^2 \\
 B &= 0.22 \text{ m}
 \end{aligned}$$

หมายเหตุ ข้อมูลที่ได้ข้างต้นมาจากการใช้ UG GRAPHIC ในการออกแบบท่อน

จากสมการแสดงความต้านทานรวมจะเห็นว่ามี factor $(1 + k_1)$ คูณอยู่กับ R_F ซึ่งค่าของ factor นี้หาได้จาก

$$\begin{aligned}
 1 + k_1 &= C_{13}^{0.92497} \left(0.93 + C_{12} (B/L_R)^{0.6906} (0.95 - C_p)^{-0.521448} \right) \\
 &\quad (1 - C_p + 0.0225 I_{cb})^{0.6906} \dots\dots\dots(1)
 \end{aligned}$$

โดย (1) C_p : Prismatic coefficient

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\nabla}{LA_m} \\
 &= \frac{0.06}{(2.2)(0.0285)} = 0.957
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (2) \quad C_{12} &= (T/L)^{0.2228446} \quad \text{เมื่อ } T/L > 0.05 \\
 &= 48.2 (T/L - 0.02)^{2.078} + 0.47998 \quad \text{เมื่อ } 0.02 < T/L < 0.05 \\
 &= 0.479948 \quad \text{เมื่อ } T/L < 0.02
 \end{aligned}$$

จากข้อมูลของท่อน $T/L = 0.068$

$$\begin{aligned}
 \therefore C_p &= (T/L)^{0.2228446} \\
 &= 0.549
 \end{aligned}$$

$$(3) \quad C_{13} = 1 + 0.03 C_{stem}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย C_{stem} หาได้จากตาราง

Afterbody form	C_{stem}
V - Shaped section	-10
Normal section shape	0
U - Shaped section with Hogner stern	+10

จากข้อมูลของท่อน $C_{stem} = 0$

$\therefore C_{I3} = 1$

(4) $L_R/L = 1 - C_p + [0.06 C_p I_{Co}/(4C_p - 1)]$
 $= 1 - 0.957 + 0.06 (0.957)(0.5)(2.2)/[4(0.957) - 1]$
 $= 0.0653$
 $\therefore L_R = 0.0653 \times 2.2$
 $= 0.14366 \text{ m.}$

แทนค่าตัวแปรต่าง ๆ ใน (1) จะได้

$1 + k_1 = 1.7443$

การหา Resistance of Appendage (RAPP)

$R_{APP} = 0.5 \rho V^2 S_{APP} (1 + k_2)_{eq} C_F \dots\dots\dots(2)$

- โดย (1) $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$
(2) $V = 2 \text{ knot} = 2 \times 0.515 = 1.03 \text{ m/s}$
(3) $S_{APP} =$ พื้นที่ส่วนที่ขุ่นลงไปได้น้ำ
 $=$ [พื้นที่ของ Strut + พื้นที่ของ foil] หน้าและหลัง

โดย พ.ท. foil หน้า = 0.05742 m²
พ.ท. foil หลัง = 0.1715 m²
พ.ท. strut หน้า = 0.121 m²
พ.ท. strut หลัง = 0.374 m²

∴ S_{APP} = 0.121 + 0.374 + 0.05742 + 0.1715
= 0.72392 m²

CF = 0.75/(log₁₀ R_n - 2)²
= 0.75/[log₁₀ (1000 × 1.03 × 2.2) - 2]²
= 0.75/[log₁₀ 1.005 × 10⁻³ - 2]²
= 0.03957

(4) (1 + k₂) เป็น factor ที่ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่ขึ้นลงไปได้น้ำ ดังตาราง

Approximate 1 + k ₂ values	
rudder behind skeg	1.5 - 2.0
rudder behind stern	1.3 - 1.5
twin - screw balance rudders	2.8
shaft brackets	3.0
skeg	1.5 - 2.0
strut bossing	3.0
hull bossing	2.0
shafts	2.0 - 4.0
stabilizer fins	2.8
dome	2.7
bilge keels	1.4

โดยค่าของ $(1 + k_2)_{eq}$ สำหรับส่วนที่ยื่นลงไปได้น้ำทั้งหมด หาได้จาก

$$\begin{aligned}
 (1 + k_2)_{eq} &= \frac{\sum (1 + k_2) S_{APP}}{\sum S_{APP}} \\
 &= \frac{(3.0)(0.121) + (3.0)(0.374) + (2.8)(0.1715) + (2.8)(0.05742)}{0.121 + 0.374 + 0.1715 + 0.05742} \\
 &= 2.9368
 \end{aligned}$$

แทนค่าตัวแปรทั้งหมดลงใน (2) จะได้

$$S_{APP} = 44.625 \text{ N.}$$

การหาค่า Wave - Making Resistance (R_w)

$$R_w = C_1 C_2 C_3 \nabla \rho g \exp [m_1 F_n^{-0.9} + m_2 \cos(\lambda f_n^{-2})] \dots (3)$$

$$\text{โดย (1) } C_1 = 2223105 C_7^{3.78613} (T/B)^{1.07961} (90 - i_E)^{-1.37565}$$

$$1.1 \quad C_7 = 0.229577 (B/L)^{0.33333} \text{ เมื่อ } B/L < 0.11$$

$$= B/L \text{ เมื่อ } 0.11 < B/L < 0.25$$

$$= 0.5 - 0.0625 L/B \text{ เมื่อ } B/L > 0.25$$

จากข้อมูลของหุ่น $B/L = 0.1$

$$= 0.229577 (B/L)^{0.33333}$$

$$= 0.1066$$

$$\begin{aligned}
 1.2 \quad i_E &= 1 + 89 \exp [-(L/B)^{0.80856} (1 - C_{wp})^{0.30484} \\
 &\quad (1 - C_p - 0.0225 i_{cb})^{0.6367} (L_R/B)^{0.34574} \\
 &\quad (100/L)^{0.16302}]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{จากสมการ } C_{WP} &= \frac{A_{WP}}{LB} \\ &= 0.7727\end{aligned}$$

แทนค่าตัวแปรต่าง ๆ ลงในสมการ เพื่อหาค่า i_E จะได้

$$i_E = 77.1607$$

แทนค่า i_E , C_7 ลงในสมการหาค่า C_1 จะได้

$$C_1 = 9.1492$$

$$(2) \quad C_2 = 1$$

$$(3) \quad C_5 = 1$$

$$\begin{aligned}(4) \quad \lambda &= 1.446 C_p - 0.03 L/B \quad \text{เมื่อ } L/B < 12 \\ &= 1.446 C_p - 0.36 \quad \text{เมื่อ } LB > 12\end{aligned}$$

$$\text{จากข้อมูล } L/B = 10$$

$$\begin{aligned}\therefore &= 1.446 C_p - 0.03 L/B \\ &= 1.446 (0.957) - 0.03 (10) \\ &= 1.0838\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(5) \quad m_1 &= 0.0140407 L/T - 1.75254 \nabla^{1.3} / L - 4.79323 B/L - C_{16} \\ \text{โดย } D16 &= 8.07981 C_p - 13.8673 C_p^2 + 6.984388 C_p^3 \quad \text{เมื่อ } C_p < 0.8 \\ &= 1.73014 - 0.7067 C_p \quad \text{เมื่อ } C_p > 0.8\end{aligned}$$

$$\text{จากข้อมูล } C_p \text{ ที่คำนวณได้} = 0.957$$

$$\begin{aligned}\therefore C_{16} &= 1.73014 - 0.767 C_p \\ &= 1.73014 - 0.7067 (0.957) \\ &= 1.0538\end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าจะได้

$$m_1 = -1.6391$$

$$(6) \quad m_2 = C_{15} C_p^2 \exp(-0.1 F_n^{-2})$$

$$\text{โดย 6.1) } C_{15} = -1.69385 \quad \text{เมื่อ } L^3/\nabla < 512$$

$$= 0 \quad \text{เมื่อ } L^3/\nabla > 1727$$

$$\text{จากข้อมูล } L^3/\nabla = 177.47$$

$$\therefore C_{15} = -1.69385$$

$$6.2) \quad F_n = \frac{V}{\sqrt{gL}}$$

$$= 1.03 \quad = 0.2217$$

แทนค่า จะได้

$$m_2 = -0.2119$$

แทนค่าตัวแปรทั้งหมดลงใน (3) จะได้

$$R_w = 7.657 \text{ N.}$$

การหาค่า Model - Ship Resistance (R_A)

$$R_A = 1/2 \rho V^2 S C_A \quad \dots\dots\dots (4)$$

โดย (1) S = พื้นที่ผิวเปียก

$$= L(2T + B) \sqrt{C_M (0.453 + 0.4425 C_B - 0.2862 C_M - 0.003467 B/T + 0.3696 C_{WP})}$$

โดย 1.1) C_M = Midship section coefficient

$$= \frac{A_m}{BT}$$

$$= \frac{0.0285}{(0.22)(0.15)} = 0.8636$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2) C_B = Block coefficient

$$= \frac{\nabla}{LBT}$$

$$= \frac{0.06}{(2.2)(0.22)(0.15)} = 0.8264$$

1.3) C_{WP} = Waterplane area coefficient

$$= \frac{A_{WP}}{LB}$$

$$= \frac{0.374}{(2.2)(0.22)} = 0.7727$$

แทนค่าตัวแปรต่าง ๆ จะได้

$$S = 0.9058 \text{ m}^2$$

$$(2) C_A = 0.006 (L + 100)^{-0.16} - 0.00205 + 0.003 \sqrt{L/7.5} C_B^4 C_2 (0.04 - C_4)$$

โดย 2.1) $C_2 = 1$

$$\begin{aligned} 2.2) C_4 &= T/L \quad \text{เมื่อ } T/L \leq 0.04 \\ &= 0.04 \quad \text{เมื่อ } T/L > 0.04 \end{aligned}$$

จากข้อมูลของท่อน $T/L = 0.068$

$$\therefore C_4 = 0.04$$

แทนค่าจะได้

$$C_A = 0.000812$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าตัวแปรต่าง ๆ ลงใน (4) จะได้

$$R_A = 0.39 \text{ N.}$$

การหาค่า Frictional Resistance (R_F)

$$R_F = [0.00871 + 0.053/(8.8 + L)] S.V^{1.825}$$

โดย R_F มีหน่วยเป็น lbf

จาก $L = 2.2 \text{ m}$

$$= 2.2 \times 3.28 = 7.216 \text{ ft}$$

$$S = 0.9058 \text{ m}^2$$

$$= 0.9058 \times 10.7584 = 9.745 \text{ ft}^2$$

$$V = 2 \text{ knot}$$

$$= 2 \times 0.515 = 1.03 \text{ m/s}$$

แทนค่าจะได้

$$R_F = [0.00871 + 0.053/(8.8 + 7.216)] \times 9.745 \times 1.03^{1.825}$$

$$= 0.124 \text{ lbf}$$

$$= 0.124 \times 4.45 = 0.5518 \text{ N.}$$

เนื่องจากค่า R_F , R_w และ R_A ที่คำนวณได้นั้นเป็นค่าของทุ่นเพียง 1 ทุ่น แต่ตัวจักรยานเดินน้ำมีทุ่น 2 ทุ่น ดังนั้นค่าที่คำนวณได้จึงต้องนำมาคูณ 2 จะได้

$$R_F = 2 \times 0.5518 = 1.1036 \text{ N}$$

$$R_w = 2 \times 7.657 = 15.314 \text{ N}$$

$$R_A = 2 \times 0.39 = 0.78 \text{ N}$$

นำค่า Resistance ที่คำนวณได้มาหาค่า R_{total} จะได้

$$R_{total} = (1.1036 \times 1.7443) + 44.625 + 15.314 + 0.78$$

$$= 62.644 \text{ N.}$$

คำนวณ R_{total} ที่ได้เป็นแรงม้า จะได้

$$R_{\text{total}} = \frac{62.644 \times 1.03}{746} \approx 0.1 \text{ แรงม้า}$$

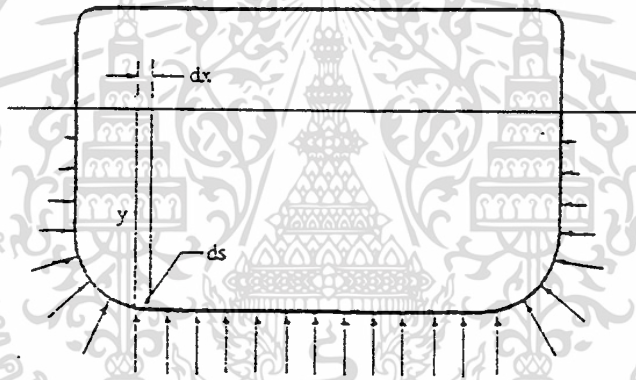
จากกำลังคนที่ใช้ในการปั่นจักรยานเหินน้ำ มีค่า 0.25 แรงม้า ดังนั้นกำลังคนจะสามารถขับเคลื่อนให้ขับเคลื่อนได้ เนื่องจากกำลังคนสามารถเอาชนะแรงเสียดทานได้



2.1.5. การคำนวณสมดุลของเรือ

การลอยตัว

วัตถุสามารถอยู่นิ่งได้ จะต้องมีความกระทำอย่างน้อย 2 แรง คือ แรงที่มีขนาดเท่ากับน้ำหนักและมีทิศทางตรงข้ามกัน เมื่อวัตถุลอยอยู่ในของเหลว แรงลอยตัวจะทำให้วัตถุอยู่ในสภาพสมดุลกับน้ำหนัก แรงลอยตัวเป็นแรงเนื่องจากความดันของของเหลวที่กระทำกับผิวของวัตถุที่อยู่ใต้ระดับผิวของเหลว ผลรวมความดันของของเหลวในทิศทางตั้งขึ้นและมีขนาดเท่ากับน้ำหนักของวัตถุ คือ ความลอย (buoyancy)



รูปที่ 2.23 แรงเนื่องจากความดันของเหลว

พิจารณาวัตถุที่ลอยในของเหลวต่อ 1 หน่วยความยาว ความดันของของเหลวที่กระทำกับพื้นผิวของของวัตถุที่ตำแหน่ง ds ซึ่งอยู่ในระดับความลึก y คือ

$$P = \rho gy$$

แรงที่ผิวในช่วงระยะ ds

$$df = \rho gy ds$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ θ เป็นมุมเอียงของเส้นสัมผัสที่ตำแหน่ง ds พื้นที่ทางราบ ds คือ $dx = ds \cos \theta$

$$df = \rho g y ds = \frac{\rho g y dx}{\cos \theta}$$

แตกแรงให้อยู่ในแนวตั้ง จะได้

$$df_y = \rho g y \frac{dx}{\cos \theta} \times \cos \theta = \rho g y dx$$

$$f_y = \rho g \int y dx = \rho g A$$

$$B = \rho g V = \rho g \int A dz$$

ดังนั้นความลอยของวัตถุซึ่งมีขนาดเท่ากับน้ำหนักของวัตถุ จะมีค่าเท่ากับความหนาแน่น
โดยน้ำหนักของของเหลวคูณด้วยปริมาตรของวัตถุส่วนที่อยู่ใต้ระดับผิวของเหลว

$$\text{ความหนาแน่นของน้ำจืด (FW)} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{ความหนาแน่นของน้ำทะเล (SW)} = 1025 \text{ kg/m}^3$$

ศูนย์ถ่วงของเรือ

ศูนย์ถ่วง (C center of gravity) เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวัตถุ หมายถึง ศูนย์รวมของมวลที่แนวแรงโน้มถ่วง หรือน้ำหนักของวัตถุมีแนวผ่านจุดนี้เสมอ ไม่ว่าวัตถุวางอยู่ในลักษณะใด วัตถุที่มีเนื้อสม่ำเสมอ หรือมีความหนาแน่นเท่ากันทุกจุด เช่นทอรอยด์ของปริมาตรวัตถุจะอยู่ในตำแหน่งเดียวกับตำแหน่งศูนย์ถ่วง และวัตถุที่แสดงในรูปพื้นที่ โดยมีมวลต่อหน่วยพื้นที่เท่ากันทุกจุดแล้ว เช่นทอรอยด์ของพื้นที่ก็จะอยู่ตำแหน่งเดียวกับตำแหน่งศูนย์ถ่วงด้วย

การสมดุลตามขวาง

มีแรงและโมเมนต์ต่าง ๆ ที่มีกระทำกับเรือ ซึ่งได้แก่ แรงและโมเมนต์ภายนอก น้ำหนัก และโมเมนต์ เนื่องจากการเคลื่อนย้ายน้ำหนัก การเพิ่มน้ำหนัก ถ้ามีแรงภายนอกมากกระทำแล้ว เรือไม่สามารถปรับสมดุลได้ เรือก็จะพลิกคว่ำ

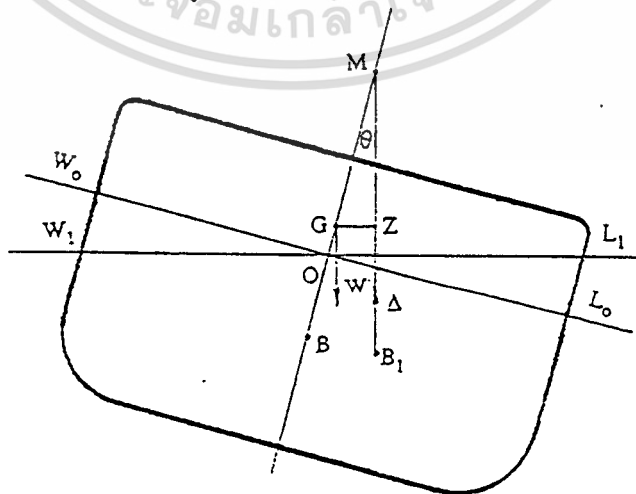
ศูนย์เสถียร (Metacentre) คือ แนวความลอยในแนวดิ่งและผ่านศูนย์กลางความลอย โดยตัดกับเส้นกลางลำเรือ

กำหนดให้

B	=	ศูนย์กลางความลอย
M	=	ศูนย์เสถียร
GM	=	ความสูงศูนย์เสถียร
GZ	=	Righting Arm ที่เกี่ยวกับสมดุลของเรือ

ในการออกแบบนั้นจะให้ GZ ที่ด้านแรงภายนอกที่มากกระทำกับเรือ แบ่งตามตำแหน่งของ G และ M เป็น 3 กรณี

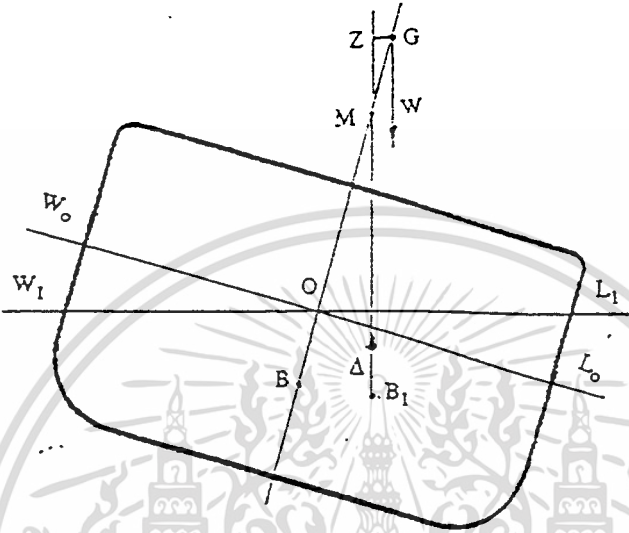
1. จุด G ต่ำกว่าจุด M ที่จุดนี้เมื่อเรือโคลงเนื่องจากแรงภายนอกตามรูปจะเกิดโมเมนต์แขน GZ ด้านเพื่อให้สมดุล ในกรณีที่เรือโคลงมาก ๆ จนกระทั่ง G อยู่แนวเดียวกับ B แขน GZ จะมีค่าเป็นศูนย์ ทำให้เรือไม่ปรับไปยังตำแหน่งเดิม และคงลักษณะนั้นไว้ แต่ถ้าโคลงมากกว่านี้เรือก็ไม่สามารถทรงตัวอยู่ได้



รูปที่ 2.24 โมเมนต์ด้านการเอียงของเรือมีค่าเป็นบวก

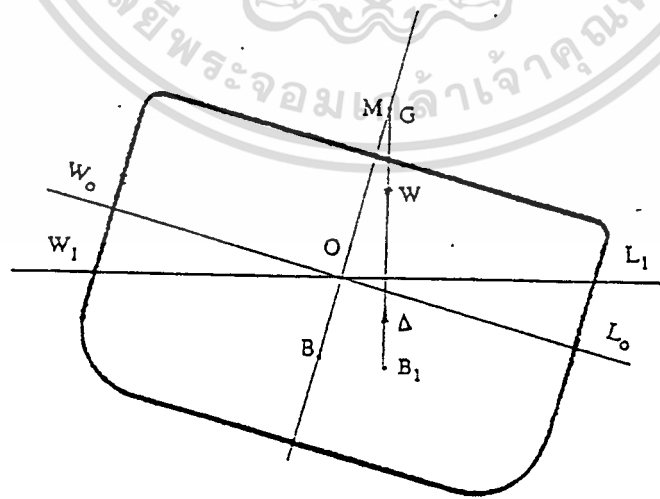
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. จุด G อยู่สูงกว่าจุด M เมื่อเรือโคลงจะมีโมเมนต์ แขน GZ หมุนเรือในทิศเดียวกับการโคลง ทำให้เรือไม่สามารถทรงตัวได้



รูปที่ 2.25 โมเมนต์ของความลอยมีค่าเป็นลบ

3. จุด G และจุด M อยู่จุดเดียวกัน เมื่อเรือโคลง เรือจะไม่ปรับไปยังลักษณะแรกเริ่ม เนื่องจากไม่มีโมเมนต์ช่วยในการคืนตัว



รูปที่ 2.26 โมเมนต์ความลอยมีค่าเป็นศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณสมดุล

หา G

ชื่อ	ITEM (kg)	VCG (cm)	Moment
ตัวจักรยาน	1.75	58	1015
สตรัทหน้า	2	10	20
สตรัทหลัง	4	30	120
ใบจักร	1.5	70.75	106.125
ท่อน 2 ท่อน	15	10	150
ฟอยล์หน้า	1.3	30.75	40
ฟอยล์หลัง	1.7	70.75	120
W1	43	M1	1571.4

กรณีไม่มีคน

$$G_1 = \frac{\sum M_1}{\sum W_1}$$

$$= 36.54 \text{ cm}$$

กรณีที่มีคน (ให้น้ำหนักคน 60 kg)

$$G_2 = \frac{\sum M_2}{\sum W_2}$$

$$= \frac{5471.4}{103} = 53.12 \text{ cm}$$

$$B_1 = \frac{W_1}{2} = 11.4 \text{ kg}$$

$$B_2 = \frac{W_2}{2} = 21.5 \text{ kg}$$

ในการออกแบบเราได้กำหนดให้ค่า

$$B = 60 \text{ kg} \quad \text{เป็นแรงลอยตัวขณะที่ท่อนจมนิด ใช้ในการคำนวณ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เนื่องจากขณะที่ท่อนโครงตัว แรงยกตัวที่มากที่สุดจะเท่ากับแรงยกตัวในการคำนวณ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 W_1 \times CG \sin \theta &= B_1 L_1 \cos \theta \\
 43 \times 26.54 \sin \theta &= (60)(60) \cos \theta \\
 \theta &= 72.41
 \end{aligned}$$

∴ มุมเอียงสูงสุดก่อนพลิกคว่ำ = 72.41 องศา

กรณีมีคนขึ้นไปน้ำหนักตกที่ท่อนข้างเดียว



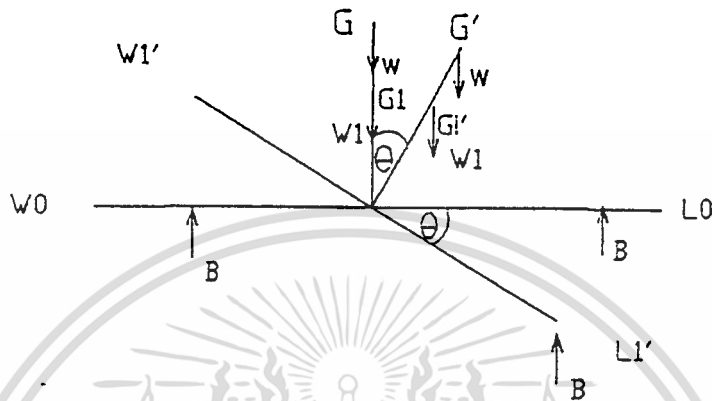
รูปที่ 2.28 Bending Diagram กรณีที่มีคนเหยียบขึ้นไป

$$W_1 \times CG \sin \theta + WL \cos \theta = B L_1 \cos \theta$$

$$\begin{aligned}
 43 \times 26.54 \sin \theta + (60)(60) \cos \theta &= (60)(60) \cos \theta \\
 \theta &= 0 \text{ องศา}
 \end{aligned}$$

จากการคำนวณนี้ทำให้ทราบว่า ตัวจักรยานเคลื่อนน้ำจะไม่พลิกคว่ำเมื่อมีน้ำหนัก
60 kg ขณะที่กำลังขึ้นไปจับซี่

กรณีที่คนขึ้นไปนั่ง



รูปที่ 2.29 Bending Diagram กรณีที่มีคนนั่งบนตัวจักรยานเหินน้ำ

$$\begin{aligned}
 W_2 \times (CG \sin \theta) &= (2BL \cos \theta) \\
 103 \times 43.12 \sin \theta &= (120)(60) \cos \theta \\
 \cos \theta &= 58.33
 \end{aligned}$$

∴ มุมเอียงสูงสุดก่อนพลิกคว่ำขณะมีคนขับขี่ 58.33 องศา

จากค่ามุมที่คำนวณได้นี้แสดงว่า ถ้ามีแรงกระทำหรือมีคลื่นซัดตัวจักรยานเหินน้ำจน ทำให้เสียสมดุลไปเป็นมุม 58.33 องศา ตัวจักรยานเหินน้ำก็จะเริ่มมีโอกาสพลิกคว่ำได้ แต่การพลิกคว่ำก็อาจจะไม่เกิดขึ้น ถ้าตัวจักรยานสามารถรักษาสมดุล หลังจากแรงกระทำที่ทำให้ตัวจักรยานเสียสมดุลหมดไป แต่ถ้าการเสียสมดุลมีมุมมากกว่า 58.33 องศา โอกาสที่จะเกิดการพลิกคว่ำก็จะมีสูงมาก เนื่องจากตัวจักรยานจะไม่สามารถรักษาสมดุลให้กลับมาเหมือนเดิมได้ ดังนั้นถ้าในการขับเคลื่อนจักรยานเหินน้ำ มีการเสียสมดุลไม่เกินมุม 58.33 องศา การพลิกคว่ำของจักรยานก็จะไม่เกิดขึ้นเลย

2.1.8. การคำนวณขนาดของใบจักร

ระบบขับเคลื่อนเรือ ซึ่งเป็นระบบหลักระบบหนึ่งที่เป็นตัวที่จะนำพาเรือให้เคลื่อนที่ไป ระบบนี้จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ เครื่องต้นกำลังขับเคลื่อน (Prime Mover) อุปกรณ์เคลื่อนเรือ (Propelling Devices) และระบบส่งถ่ายกำลัง (Transmission System) อุปกรณ์ขับเคลื่อนเรือซึ่งอาจเป็นได้หลายลักษณะ เช่น ใบจักรเรือ (Propeller)

เมื่อกล่าวถึงใบจักรเรือ คงจะสามารถนึกเห็นภาพของลักษณะรูปร่างได้ไม่ยาก แต่เมื่อพิจารณาในรายละเอียดแล้ว การกำหนดรูปทรงของใบจักรเรื่อนั้นมีความยุ่งยาก และมีรายละเอียดที่จะต้องพิจารณามาก เพราะเป็นอุปกรณ์ที่ได้รับการส่งถ่ายกำลังจากเครื่องยนต์มาเป็นการหมุนแล้ว ทำให้เกิดแรงผลักดันให้เรือเดินไปข้างหน้า หรือถอยหลัง ซึ่งมีผลโดยตรงจากคุณลักษณะทางไฮโดรไดนามิกส์ (Hydrodynamic) จำเป็นที่จะต้องมียูปร่างที่ถูกต้องและเหมาะสม อันจะทำให้ระบบขับเคลื่อนเรือสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้เรือมีสมรรถนะด้านการขับเคลื่อนที่ถูกต้องตามความต้องการของผู้ออกแบบ

ในการออกแบบเพื่อเลือกใบจักรที่มีขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมนั้น จะต้องคำนึงถึงสิ่งประกอบต่าง ๆ เช่น รูปร่างตัวเรือ ขนาดของเครื่องยนต์ และความเร็วที่ต้องการเพื่อหาใบจักรที่เหมาะสม ซึ่งใบจักรเรื่อนั้นจะมีลักษณะเฉพาะของรูปทรงในแต่ละชุดของใบจักรประเภทต่าง ๆ

อุปกรณ์ขับเคลื่อนและเครื่องต้นกำลัง จะต้องสามารถทำงานร่วมกันได้อย่างเหมาะสม ซึ่งจะทำให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานของระบบขับเคลื่อน ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องจักรและใบจักรเรือที่ต้องทำงานร่วมกันได้อย่างดี เรียกว่า Engine and Propeller Matching

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการที่เรือจะสามารถแล่นไปได้ด้วยตัวมันเองนั้น จะต้องประกอบด้วยระบบขับเคลื่อนที่ประกอบด้วย 3 ส่วนสำคัญ ในที่นี้จะขอกล่าวแนะนำทั้งสามส่วนพอสังเขป ดังนี้

เครื่องต้นกำลังขับเคลื่อน (Prime Mover) เป็นอุปกรณ์หรือเครื่องยนต์ที่สามารถแปลงพลังงานเคมีหรือนิวเคลียร์ให้เป็นพลังงานกล เพื่อเป็นแหล่งกำเนิดของพลังงานที่จะใช้ในการขับเคลื่อนเรือ

ระบบส่งถ่ายกำลัง (Transmission System) ประกอบด้วย เกียร์ คลัทช์ เฟลลาใบจักร แบริงกันรูน และแบริงรองรับเพลลา ตลอดจนกระบอกตีฟุต หรือกระบอกท้ายเรือ (Stern tube) ที่ป้องกันน้ำจากภายนอกเรือที่เข้าในแนวแกนเพลลา เกียร์ทำหน้าที่ที่ครอบระหว่างเครื่องต้นกำลังขับเคลื่อนและใบจักร คลัทช์เป็นตัวต่อทางหมุนของเครื่องต้นกำลังขับเคลื่อนเข้ากับเฟลลาใบจักร ในการหมุน

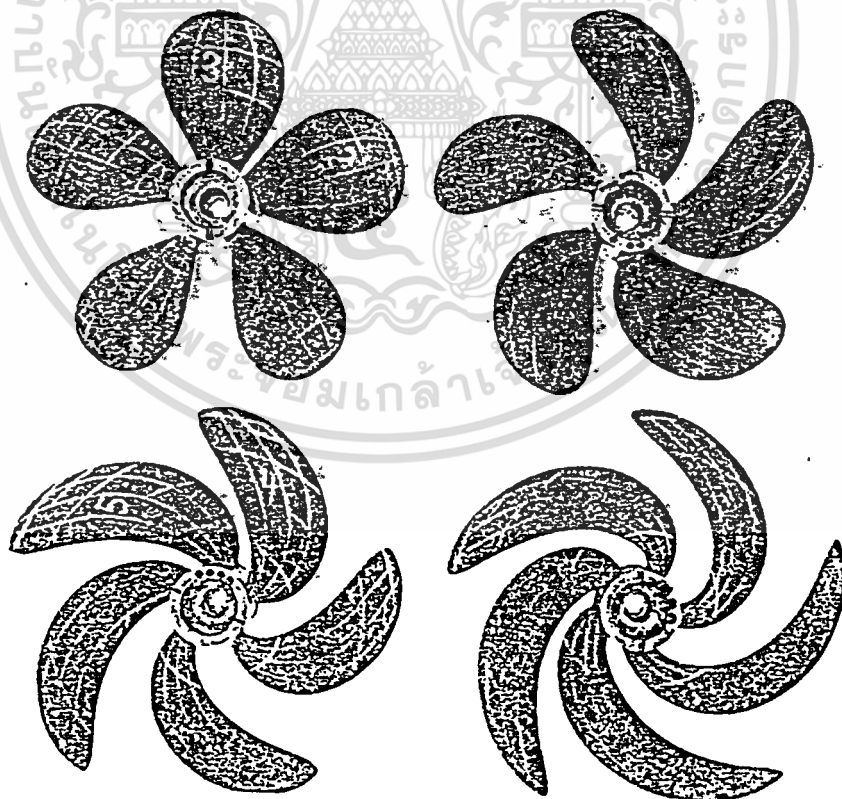
เอกสารนี้เป็นเอกสารหลวงวิสาขการใชงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเพลลาใบจักรจะทำให้ใบจักรเรือเกิดแรงผลักในแนวแกนเพลลา ถ่ายทอดแรงผลักให้กับตัวเรือ โดยผ่านแบร์ริงกันรุน

อุปกรณ์ขับเคลื่อนเรือ (Propelling Devices) เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนทิศทางการหมุนของเพลลาใบจักร เพื่อบังคับทิศทางให้เกิดแรงผลักในทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของเรือ เช่น ใบจักรเรือ

ในที่นี้เราจะใช้ใบจักรเรือปีกคงที่ (Fixed Pitch Propeller) เป็นใบจักรทั่วไปที่ประกอบด้วยคุมใบจักรเป็นแกนกลาง และมีปีกใบจักรที่หล่อติดกับคุมใบจักรในลักษณะที่แผ่ออกทางรัศมี ไม่สามารถเคลื่อนตัวได้ การหมุนของใบจักรจะทำให้เรือเดินหน้าหรือถอยหลัง และเมื่อเปลี่ยนทิศทางการหมุนจะทำให้เรือเคลื่อนที่ในทิศทางตรงข้าม โดยใบจักรชนิดนี้อาจมีจำนวนปีกเริ่มจาก 2 ปีก และอาจสูงถึง 5 หรือ 6 ปีก (ดูภาพที่ 2.30)



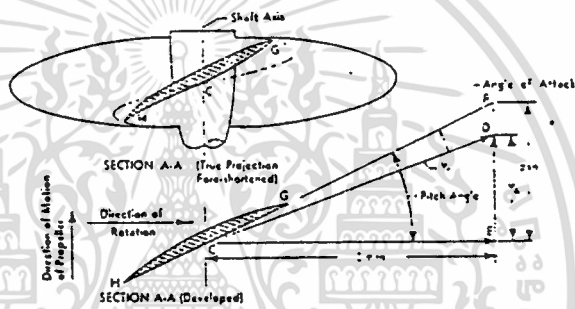
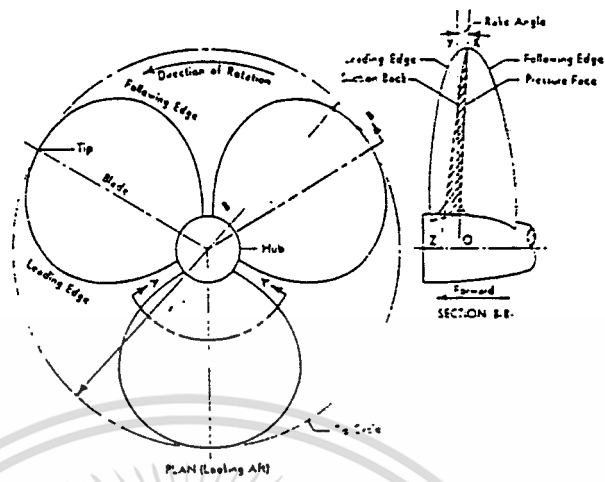
รูปที่ 2.30 ใบจักรเรือปีกคงที่ (Fixed Pitch Propeller)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

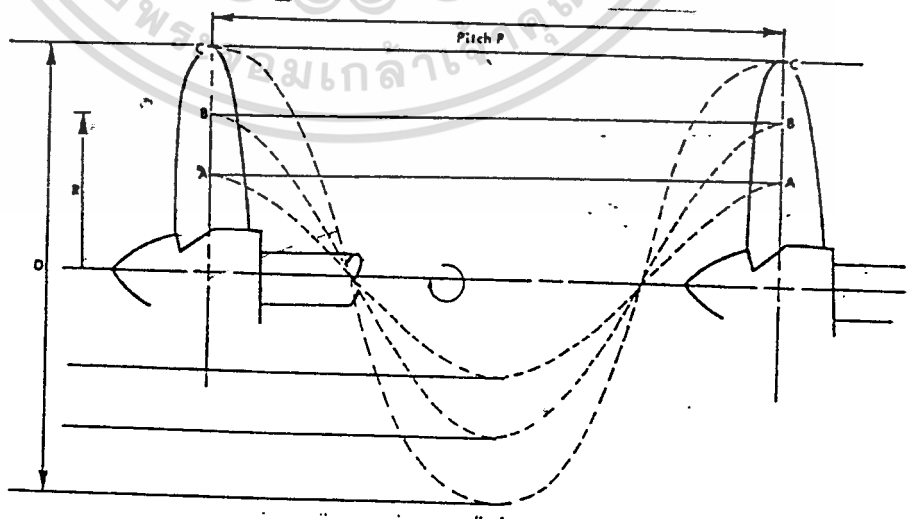
คุณลักษณะใบจักรเรือ

1. คุณลักษณะทั่วไปของใบจักรเรือ แต่ละใบจะมีคุณลักษณะเฉพาะกับการใช้งาน จากการคำนวณเพื่อการเลือกใบจักรที่เหมาะสม ซึ่งจะกล่าวในภายหลัง จะขอแนะนำคำจำกัดความของคุณลักษณะทั่วไปของใบจักรเรือ ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องใช้ศัพท์ภาษาอังกฤษประกอบคำบรรยายภาษาไทย เพื่อความเข้าใจที่ถูกต้องดังนี้ (ดูภาพที่ 2.31)

- Right - handed propeller ใบจักรหมุนขวา มีทิศทางการเข้มนาฬิกาเมื่อมองจากทางท้ายเรือไปยังหัวเรือ
- Left - handed propeller ใบจักรหมุนซ้าย มีทิศทางการเข้มนาฬิกาเมื่อมองจากทางท้ายเรือไปยังหัวเรือ
- Pressure face ผิวของปีกใบจักรด้านกำลังดัน โดยปกติจะเกิดที่ผิวของปีกด้านที่อยู่ทางด้านท้ายเรือในขณะที่เรือเดินหน้า
- Suction back ผิวของปีกใบจักรด้านกำลังดูด โดยปกติจะเกิดที่ผิวของปีกด้านที่อยู่ทางด้านหัวเรือ หรือด้านตรงข้ามกับ Pressure face
- Tip ปลายปีก เป็นตำแหน่งของจุดที่ปลายปีกที่ห่างจากแกนใบจักรมากที่สุด
- Leading edge (L.E.) ขอบนำของปีกใบจักร ขณะที่ใบจักรหมุนจะเป็นขอบที่หมุนเข้าตัดน้ำก่อนในทิศทางการหมุนเดินหน้า
- Following or trailing edge (T.E.) ขอบตามของปีกใบจักร เป็นขอบด้านตรงข้ามกับ Leading edge
- Diameter (D) เส้นผ่านศูนย์กลางใบจักร คือ 2 เท่าของระยะที่วัดจากแกนเพลมาถึงปลายปีก หรือระยะที่วัดจากปลายปีกด้านหนึ่งถึงแนวปลายปีกด้านตรงข้าม
- Helicoidal surface พื้นผิวที่เกิดขึ้นจากการที่ปีกของใบจักรหมุนรอบแกน พื้นผิวนี้จะมีระยะทางหน้าในแนวแกนเพล ในลักษณะเดียวกับพื้นเกลียวของสกรูจะเป็นลักษณะของ helicoidal surface เมื่อหมุนนัตเข้ากับสกรู จะได้ระยะทางหน้าในแนวแกนเช่นกัน
- Pitch (P) ระยะทางหน้าในแนวแกนใบจักร ได้จากการที่ใบจักรหมุนทำให้เกิด Helicoidal surface เมื่อวัดระยะในแนวแกนใบจักรของการเคลื่อนที่ของจุดบนใบจักรเมื่อใบจักรหมุน 1 รอบ (ดูภาพที่ 2.32)



รูปที่ 2.31 คุณสมบัติทั่วไปของใบจักรเรือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 2.32 ระยะทางหน้าในแนวแกนใบจักรเรือ โยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 คุณสมบัติเปรียบเทียบอัตราส่วนของใบจักรเรือ จะแสดงโดยการเปรียบเทียบอัตราส่วนที่ไม่มีหน่วย (Nondimensional ratio) ในลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

Propeller pitch

$$\text{Pitch ratio} = \frac{\text{Propeller pitch}}{\text{Propeller diameter}} = \frac{P}{D}$$

- Expanded - area ratio = expanded area of all blades, outside hub disk area

$$= \frac{A_E}{A_O}$$

developed area of all blades, outside hub

- Developed - area ratio = $\frac{\text{developed area of all blades, outside hub}}{\text{disk area}}$

$$= \frac{A_D}{A_O}$$

projected area of all blades, outside hub

- Project - area ratio = $\frac{\text{projected area of all blades, outside hub}}{\text{disk area}}$

$$= \frac{A_P}{A_O}$$

mean developed or expanded width of one blade

- Mean - width ratio = $\frac{\text{mean developed or expanded width of one blade}}{\text{diameter}}$

area of one blade outside hub/length of blade outside hub

$$= \frac{\text{area of one blade outside hub/length of blade outside hub}}{\text{diameter}}$$

maximum width of blade of blade

- Blade - width ratio = $\frac{\text{maximum width of blade of blade}}{\text{diameter}}$

$$\text{Disk area } (A_O) = \frac{\pi D^2}{4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนพื้นที่วงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับใบจักรเรือ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Expanded area of all blades, outside hub
พื้นที่ผิวจริงตามความโค้งของปีกใบจักรทั้งหมดที่อยู่นอกคุมใบจักร
- Developed area of all blades, outside hub
พื้นที่ผิวของปีกใบจักรในแนวมุมบิดปีกที่อยู่นอกคุมใบจักร
- Projected area of all blades, outside hub
พื้นที่จากการถ่ายทอดเส้นในแนวแกนเพลลาของปีกทั้งหมดที่อยู่นอกคุมใบจักร
- Mean developed or expanded width of one blade
ความกว้างเฉลี่ยของปีกใบจักรของหนึ่งปีก

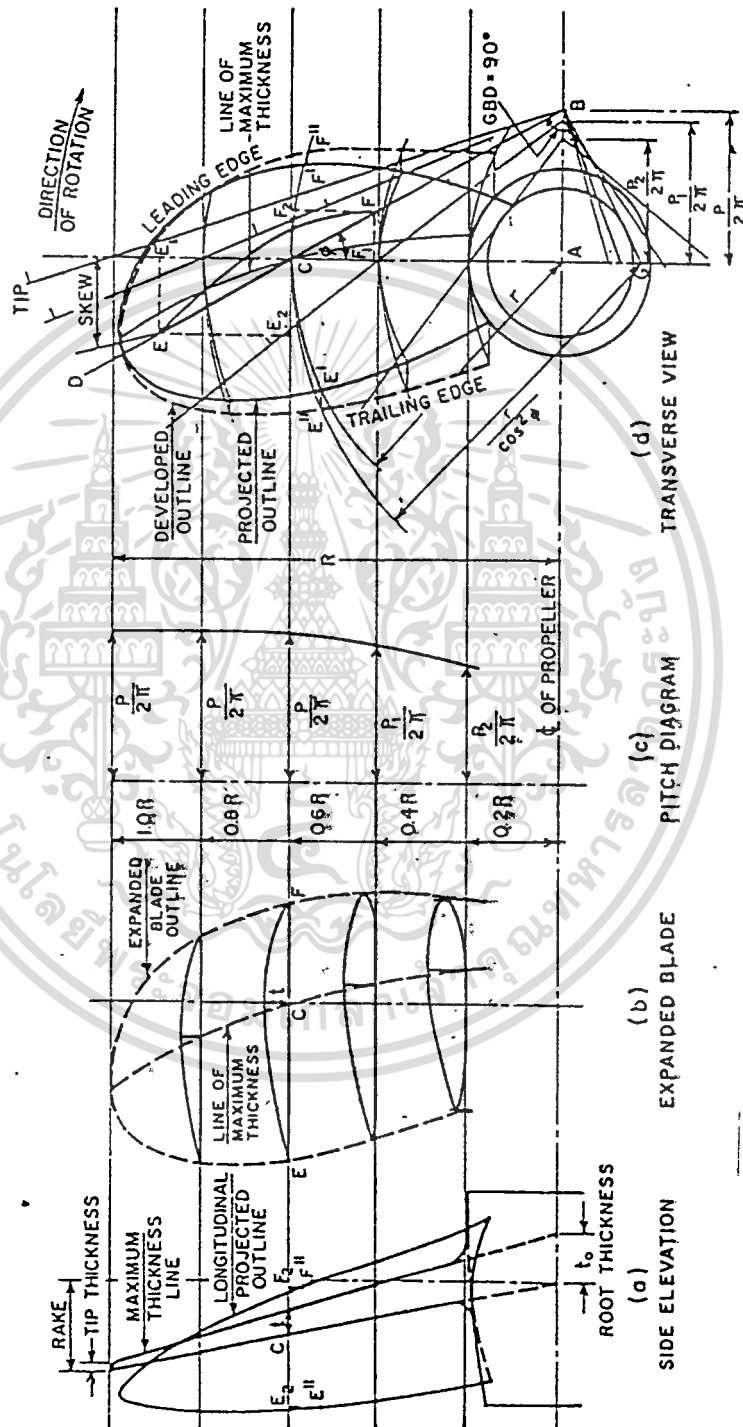
3. คุณสมบัติของแบบใบจักรเรือ (Propeller Drawing) ผลที่ได้จากการออกแบบใบจักรเรือ โดยปกติจะแสดงแบบใน 4 ลักษณะ ตามที่แสดงในภาพที่ 2.33 ตามลำดับดังนี้ รูปด้านข้าง (Side elevator), รูปปีกใบจักรประกอบด้วยรายละเอียดรูปร่างของหน้าตัดของปีก (Expanded blade), รูปแสดงลักษณะการบิดของปีก (Pitch diagram) และรูปตัดขวางของปีก (Transverse view) แบบของใบจักรนี้จะมีขั้นตอนในการคำนวณเพื่อเลือกใบจักรที่เหมาะสม การคำนวณรูปทรงของใบจักรจะกล่าวถึงในภายหลัง ในที่นี้จะกล่าวถึงข้อมูลที่แสดงในแบบของใบจักรเรือดังนี้ (ดูภาพที่ 2.33)

3.1 รูปด้านข้าง (Side elevator) แสดงในรูป (a) ถ้า rake ที่ เป็น slope ของมุมเอียงของปีกในแนวหัวเรือ - ท้ายเรือ และความหนาของปีกใบจักรจากโคนปีกถึงปลายปีก รวมถึงแสดงเส้นขอบของปีกใบจักรในแนวหน้าตัดกึ่งกลางทางยาว

3.2 รูปร่างปีก (Section shapes) แสดงในรูป (b) เป็นปีกแนวระนาบไม่มีการบิดของปีก แสดงรูปร่างของปีกที่ระยะของรัศมีต่าง ๆ พร้อมกับรูปทรงความหนาของปีกที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดความกว้างของปีก รูปตัดขวางดีแฟใบจักรในแนวระนาบนี้เรียกว่า Expanded blade outline

3.3 แนวพิช (Pitch line) แสดงในรูป (c) กำหนดค่าพิชหรือมุมบิดของปีกที่เปลี่ยนแปลงตามรัศมีจากแนวแกนใบจักร โดยปกติมุมบิดของใบจักรจากแนวรัศมีที่มากกว่า 0.6 ของรัศมี มุมบิดของปีกจะคงที่ และมุมบิดของปีกจะลดลงจากรัศมีที่มีค่าน้อยกว่า 0.6 ของรัศมี

3.4 รูปตัดขวาง (Transverse view) แสดงในรูป (d) เป็นภาคตัดขวางแสดงแนวของขอบปีกใบจักร (Projected outline) โดยมองจากท้ายเรือ และพื้นของขอบปีกใบจักรที่มีมุมบิด



รูปที่ 2.33 แบบใบจักรเรือ (Propeller Drawing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คงที่ในแนวปีกใบจักรด้านนอก (รัศมีมากกว่า 0.6) ในลักษณะแนวเกลียวของสกรู (Developed Area) และแสดงแนวของความหนาสูงสุดของปีก

4. คุณสมบัติของหน้าตัดปีกใบจักร เมื่อใช้ทรงกระบอกที่มีแนวแกนทับแกนของคุมใบจักรที่มีรัศมี r จะได้หน้าตัดของปีกใบจักร (ดูภาพที่ 2.34) ที่มีลักษณะหน้าตัดเช่นเดียวกับหน้าตัดของปีกเครื่องบิน (Airfoil) ส่วนของปีกใบจักรที่เรียกว่า Leading และ Tailing edge มีชื่ออีกชื่อเรียกว่า nose และ tail (ดูภาพที่ 2.35)

4.1 Chord length (C) คือ เส้นตรงระหว่าง leading และ tailing edge ของหน้าตัดปีกใบจักร หรือเรียกว่า nose - tail line

4.2 Thickness distribution $t(x)$ คือ ค่าความหนาของหน้าตัดปีกใบจักรที่ตำแหน่งต่าง ๆ บน chord length ที่ตำแหน่งความหนาสูงสุด จะใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิงที่จะกล่าวถึงการคำนวณรูปทรงใบจักร

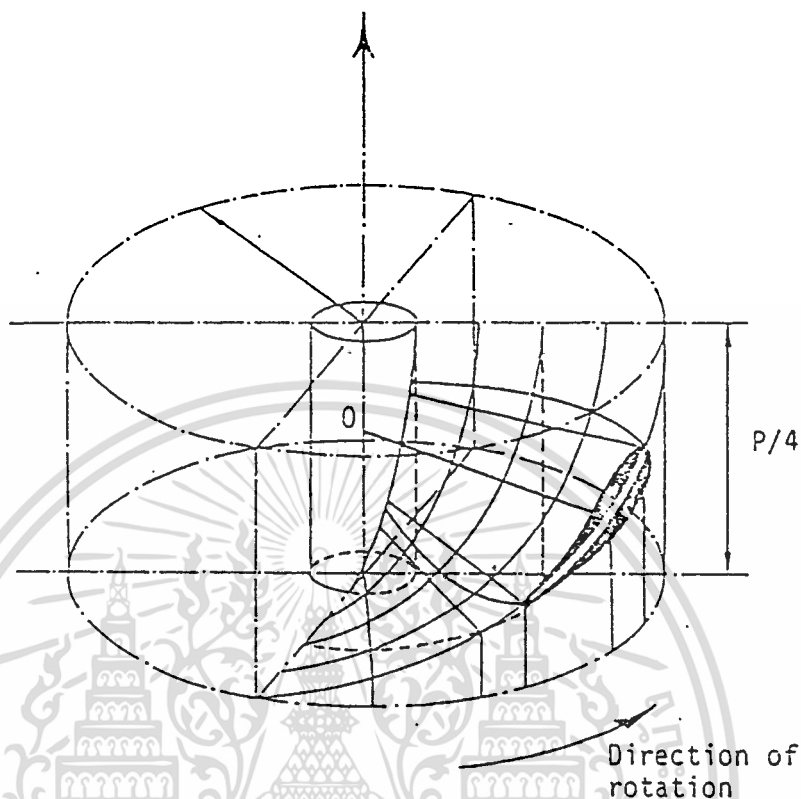
4.3 Camber Line คือ เส้นที่ลากผ่านแนวกึ่งกลางของความหนาของหน้าตัดปีกใบจักร

การเลือกใบจักรเรือที่เหมาะสมในการติดตั้ง เพื่อใช้กับเรือในแต่ละลำ หรือแต่ละประเภทของเรือนั้น ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะและรูปร่างของเรือที่จะก่อให้เกิดค่าความต้านทานของตัวเรือที่ความเร็วต่าง ๆ ตามความต้องการของการออกแบบ ซึ่งในขั้นตอนของการคำนวณเพื่อเลือกใบจักรนั้น จะมีรายละเอียดคุณสมบัติเฉพาะตัวของใบจักรแต่ละชุดที่เป็นค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ที่มีพื้นฐานของการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ในลักษณะเดียวกัน แต่จะแตกต่างกันในรายละเอียดของค่าสัมประสิทธิ์ของใบจักรแต่ละชุด

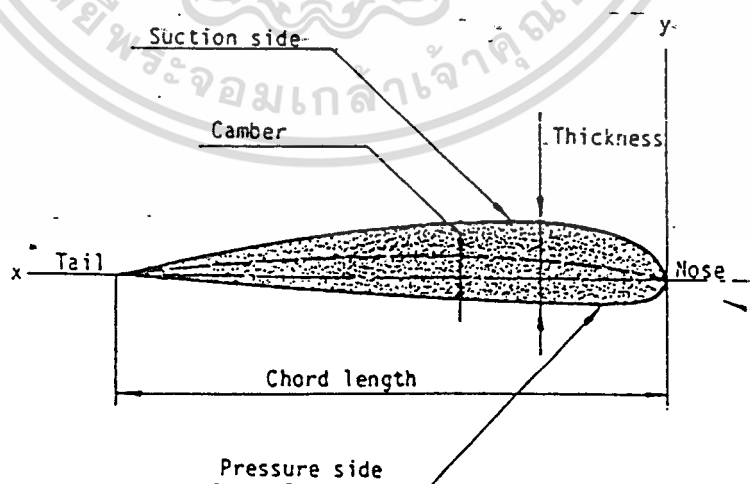
ข้อมูลที่ใช้ในการเลือกใบจักร

ตัวเรือจะเป็นตัวกำหนดค่าของความต้านทานของเรือลำนั้น ๆ ค่าความต้านทานของเรือที่ความเร็วต่าง ๆ คือ แรงที่ต้องการที่จะลากเรือลำนั้นให้มีความเร็วตามที่ต้องการ โดยกระทำการลากเรือในน้ำนิ่ง ความต้านทานรวมเกิดจากส่วนประกอบต่าง ๆ ที่มีสาเหตุจากองค์ประกอบ (factor) ที่หลากหลาย และที่มีผลการกระทำซึ่งกันและกัน อันมีความสลับซับซ้อน เพื่อตอบปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ในอินเทอร์เน็ตเพื่อการศึกษารายงาน เมื่อผู้รู้เห็นประโยชน์ของเอกสารนี้ กรุณาอย่าเผยแพร่เอกสารนี้ไปยังผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.34 หน้าตัดทรงกระบอกปีกใบจักร (Cylinder cross section of a propeller blade)



รูปที่ 2.35 รูปทรงหน้าตัดปีกใบจักร (Geometry of a propeller blade section)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปแบบที่สามารถทำความเข้าใจได้ง่าย ค่าความต้านทานรวมนี้มีส่วนประกอบหลักที่รวมกันอยู่ 4 ส่วน คือ ความต้านทานที่เกิดจากแรงเสียดทานระหว่างตัวเรือกับน้ำ (Friction Resistance) ความต้านทานที่เกิดจากตัวเรือสร้างคลื่น (Wave making resistance) ความต้านทานที่เกิดจากการวนของกระแสน้ำ (Eddy Resistance) ความต้านทานที่เกิดจากอากาศ (Air Resistance)

1. ความต้านทานที่เกิดจากแรงเสียดทานระหว่างตัวเรือกับน้ำ (Friction Resistance) จากการมองลงมาที่ผิวน้ำเมื่ออยู่บนคาค่าเรือที่เคลื่อนที่ จะสังเกตเห็นลักษณะการเคลื่อนที่แบบปั่นป่วน (Turbulent Motion) ของน้ำที่อยู่ใกล้ติดกับตัวเรือ และบริเวณที่เกิดการปั่นป่วนนั้นจะเพิ่มมากขึ้นจากแนวหัวเรือไปยังท้ายเรือ ในความเป็นจริงหมายถึง พลังงานได้มีการสูญเสียไปกับความต้านทานที่เกิดจากความฝืด จากผลของการทดลองกับเรือที่มีผิวของเปลือกเรือที่เรียบของเรือต่อใหม่ มีค่าความต้านทานที่เกิดจากความฝืดคิดเป็น 80 ถึง 85 เปอร์เซ็นต์ ของความต้านทานรวมสำหรับเรือความเร็วต่ำ และจะมีค่าประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของความต้านทานรวมสำหรับเรือความเร็วสูง ความขรุขระของพื้นผิวจะเป็นการเพิ่มค่าความต้านทานที่เกิดจากความฝืดอย่างมาก และในขณะที่เปลือกเรือเกิดสนิมและเกิดเพสียงก็จะเป็นการเพิ่มค่าความต้านทานนี้อย่างมากเช่นกัน ไม่เพียงแต่การเกิดผลทางธรรมชาติบนพื้นผิวที่จะมีผลต่อแรงต้าน (Drag) ของเรือ แต่จะมีผลกระทบถึงกระแสน้ำไหลของน้ำที่ผ่านใบจักรและสมรรถนะของการขับเคลื่อนเรือ ก็จะมีการเปลี่ยนแปลง ความต้านทานที่เกิดจากความฝืดของน้ำนี้จะมีค่าสูงที่สุดของความต้านทานรวมของเรือ

2. ความต้านทานที่เกิดจากตัวเรือสร้างคลื่น (Wave - Making Resistance) เป็นผลลัพธ์ของแรงที่กระทำกับเรือในแนวหัวเรือ - ท้ายเรือ อันเป็นผลจากการก่อกวนของของเหลวที่กระทำตลอดตัวเรือ ในลักษณะเดียวกับความต้านทานที่เกิดจากความฝืด ซึ่งเป็นผลของแรงที่ของเหลวกระทำในแนวสัมผัส ในกรณีที่ส่วนที่จมน้ำในระดับลึก ห่างจากผิวน้ำน้ำมากพอสมควร สำหรับการเดินทางในแนวระดับด้วยความเร็วคงที่ จะไม่มีการก่อตัวของคลื่น แต่กำลังคั่นจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดความยาวเรือ การที่รูปทรงใด ๆ เดินทางบนหรือใกล้กับผิวน้ำ จะทำให้เกิดมีการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังคั่นอันเป็นสาเหตุของการเกิดคลื่น ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงของกำลังคั่นที่กระจายตลอดตัวเรือ และผลของแรงสุทธิในแนวหัว - ท้ายนี้คือ ความต้านทานที่เกิดจากตัวเรือสร้างคลื่น

3. ความต้านทานที่เกิดจากการวนของกระแสน้ำ (Eddy Resistance) จากลักษณะการไหลของกระแสน้ำ เมื่อผ่านตัวเรือหรือส่วนประกอบของตัวเรือจะเกิดการวนของกระแสน้ำ ซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารทงส่วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยฐานาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเกิดด้านหลังในทิศทางตรงข้ามกับด้านที่กระแสน้ำวิ่งเข้าหา เช่น บริเวณท้ายเรือ ยางโยรับเพลลาทางเสือ เพลลาใบจักร ถ้าอุปกรณ์เหล่านี้ไม่ได้ถูกออกแบบให้มีรูปร่างเหมาะสมกับกระแสการไหล (Streamline) และอยู่ในแนวของทิศทางการไหล ในทำนองเดียวกันถ้าท้ายของเรือป้านเกินไป ทำให้กระแสน้ำไม่สามารถไหลตามความโค้งและเกิดการขาดของการไหลผ่านตัวเรือ ทำให้ค่าความต้านทานที่เกิดจากการ่วนของกระแสน้ำเพิ่มมากขึ้น

4. ความต้านทานที่เกิดจากอากาศ (Air Resistance) เป็นความต้องการที่เกิดขึ้นกับส่วนที่อยู่เหนือผิวน้ำของตัวเรือและกังเรือ (Superstructures) ขึ้นอยู่กับการเคลื่อนที่ของเรือผ่านมวลอากาศหรือลม ความต้านทานนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วเรือ พื้นที่ และรูปทรงของตัวเรือ ส่วนเหนือผิวน้ำ รวมถึงความเร็วและทิศทางสัมพันธ์ของกระแสลม

ความต้านทานที่เกิดขึ้นตามที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น จะเป็นผลที่เกิดขึ้นโดยตรงจากรูปร่างตัวเรือและความเร็วของเรือแต่ละลำ ข้อมูลโดยทั่วไปที่เกี่ยวกับการคำนวณเพื่อประมาณค่าความต้านทานเรือนั้นจะประกอบด้วย ความยาว ความกว้าง ระดับกินน้ำลึก ระวังขับน้ำ ความเร็วมุมหัวเรือ ตำแหน่งแรงกระทำของน้ำหนักเรือ ตำแหน่งแรงกระทำของแรงลอยตัว อุปกรณ์ประกอบตัวเรือ (Appendage) เป็นต้น

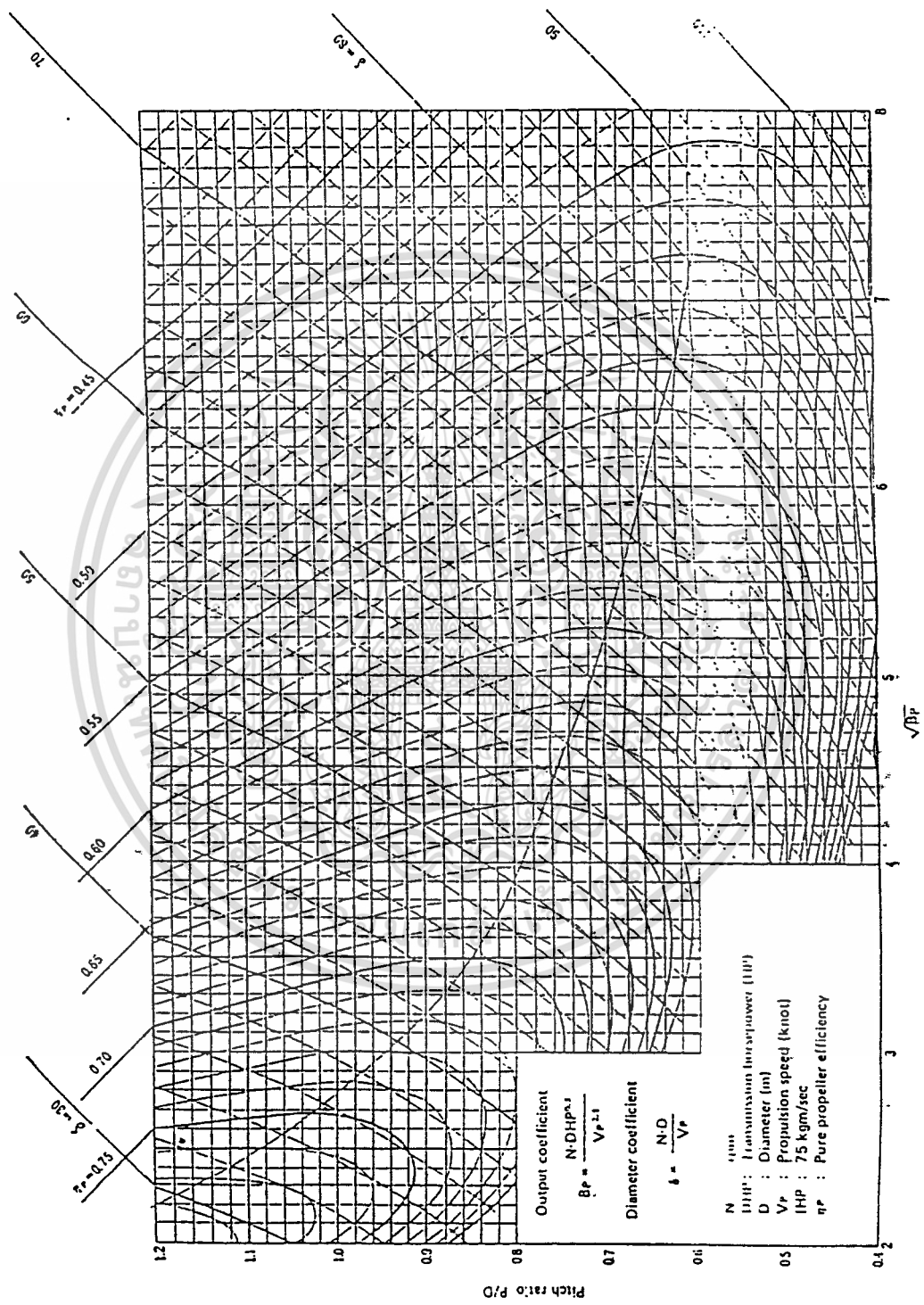
การคำนวณหาความต้านทานของเรือด้วยกรรมวิธีและข้อมูลของเรือมีขั้นตอนที่มีความยุ่งยากและสลับซับซ้อนมากพอสมควร โดยจะเป็นการคำนวณคุณสมบัติต่าง ๆ ประกอบกับผลของการทดลองตัวเรือลักษณะต่าง ๆ เพื่อหาค่าโดยประมาณของความต้านทานเรือนั้น ๆ (Approximate Power Prediction) โดยจะนำไปใช้ในการกำหนดขีดความสามารถของระบบขับเคลื่อน

การคำนวณขนาดใบจักรเรือสามารถคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมาะสม (Optimum Diameter) จาก $B_p - \delta$ Chart ซึ่งประกอบด้วยเส้นแนว (Contours) ของประสิทธิภาพใบจักรคงที่ (Constant Propeller Efficiency, η_0), ค่าสัมประสิทธิ์ทางหน้าคงที่ (Constant advance coefficient, δ) โดยสร้างอยู่บนแกนตั้งที่เป็นอัตราส่วนระหว่างพิช (Pitch) และเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter) ในแกนนอนเป็นค่าของ B_p ดูภาพที่ 2.36 สัมประสิทธิ์ที่ใช้คำนวณเรียกว่า Taylor Propeller Coefficients

$$B_p = \frac{n (PD)^{0.5}}{(VA)^{2.5}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\sqrt{B/P} : P/D : J : \eta_r$ (UB 3 - 35) (Propeller calculation material : Development area ratio (An) 0.35)



ที่มา : Yanmar Marine Engine Hand Book, Tokyo, 1989.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ทางเทคนิคเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\delta = \frac{nD}{V_A}$$

เมื่อ n = revolution per minute

P_D = delivered power at propeller

V_A = speed of advance

D = propeller diameter

วิธีการคำนวณเพื่อเลือกใบจักรที่เหมาะสม

ในการคำนวณเพื่อเลือกใบจักรที่เหมาะสม สำหรับที่จะติดตั้งกับเรือแต่ละลำนั้น จะมีคุณลักษณะเฉพาะที่จะแสดงดังนี้ ประเภทของใบจักร ค่าเส้นผ่าศูนย์กลาง (D) อัตราส่วนพีช (P/D) จำนวนปีก (Z) อัตราส่วนพื้นที่ (A_E/A_O) ซึ่งก่อนที่จะหาคุณลักษณะเหล่านี้ได้จะต้องนำค่าที่ได้จากการคำนวณค่าความต้านทาน ความเร็วรอบใบจักรที่กำหนดโดยเครื่องต้นกำลังขับและเกียร์

1. ค่าทางการคำนวณที่ไม่มีหน่วย (Dimensionless Parameters) ที่ใช้ในการคำนวณออกแบบใบจักรและใช้เปรียบเทียบสมรรถนะของใบจักรแต่ละใบที่มีคุณลักษณะต่าง ๆ กัน ค่าทางการคำนวณเพื่องานการออกแบบใบจักรแสดงในลักษณะเดียวกัน สำหรับใบจักรในชุดต่าง ๆ โดยแสดงด้วยค่าสัมประสิทธิ์ดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์แรงผลัก (Thrust Coefficient)

$$K_T = T / \rho n^2 D^4$$

ค่าสัมประสิทธิ์แรงบิด (Torque Coefficient)

$$K_Q = Q / \rho n^2 D^5$$

ค่าสัมประสิทธิ์ก้าวหน้า (Advance Coefficient)

$$J = V_A / nD$$

ค่าสัมประสิทธิ์ใบจักร (Propeller efficiency)

$$\eta = (J/2\pi) \times (K_T/K_Q) \\ = TV_A/2\pi nQ$$

เมื่อ T = Thrust

ρ = Mass density of water

D = Propeller Diameter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Q = Torque

V_A = Speed of Advance

n = revolution (rps)

$$K_T / J^2 = T / \rho n^2 D^2$$

$$K_T / J^4 = T n^2 / \rho v^4$$

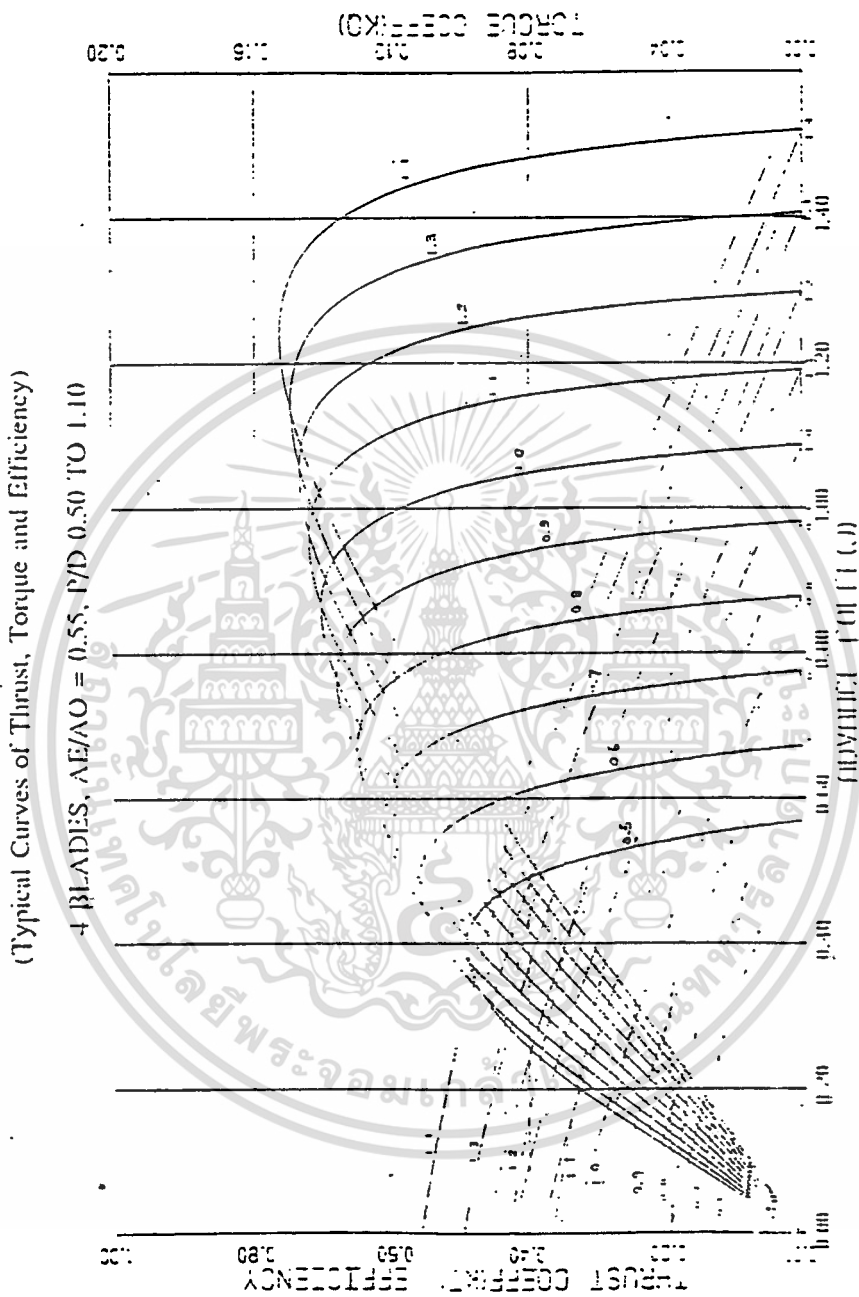
$$K_T / J^5 = \rho_{dn}^2 / \rho v_A^4$$

ค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ของใบจักรแต่ละใบดังกล่าวสามารถแสดงในลักษณะของเส้นโค้ง ความสัมพันธ์ ตามภาพที่ 2.37 ของใบจักรชนิด 4 ปีก อัตราส่วนพื้นที่ปีก (A_E/A_O) 0.55

ในการคำนวณเพื่อเลือกใบจักรจากค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ นี้มีรายละเอียดและความยุ่งยาก โดยจะต้องทำการคำนวณตามขั้นตอนที่ละเอียดขึ้น ที่ค่อนข้างจะต้องใช้เวลาในการดำเนินการมากเมื่อเสร็จสิ้นการคำนวณก็จะได้ใบจักรตามที่กำหนดคุณสมบัติเบื้องต้น แต่ในกรณีที่ผลของการคำนวณออกมาได้ใบจักรที่ไม่เหมาะสม จำเป็นที่จะต้องทำการคำนวณใหม่ซ้ำไปเรื่อย ๆ ทำให้สิ้นเปลืองเวลาในการดำเนินการเพื่อเลือกใบจักรมากขึ้น การคำนวณขนาดของใบจักรในขั้นต้นสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูล เพื่อช่วยในการลดรอบการคำนวณเพื่อเลือกใบจักรที่เหมาะสมที่จะติดตั้งกับเรือแต่ละลำ

2. การพัฒนาการคำนวณเพื่อเลือกใบจักรจากเส้นโค้งที่มีความสับสนของสัมประสิทธิ์ใบจักร (K_T , K_Q , J , η_O) นั้น ในอดีตที่ผ่านมาจำเป็นต้องใช้อ่านค่าจากเส้นโค้งความสัมพันธ์ (ดูภาพที่ 2.37) ซึ่งอาจมีความผิดพลาดขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้ใช้ จึงได้มีการพัฒนานำข้อมูลการคำนวณมาใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ ช่วยในการคำนวณเพื่อเลือกใบจักรที่มีประสิทธิภาพเหมาะสม (Optimisation) โดย MARIN Institute ประเทศเนเธอร์แลนด์ ได้สร้างโปรแกรม PSP ที่มีขีดความสามารถช่วยลดขั้นตอนของการคำนวณให้สะดวกมากขึ้น จากการกำหนดค่าเริ่มต้นของการคำนวณ เพื่อเลือกใบจักรที่เหมาะสม

ผลการคำนวณเพื่อเลือกใบจักรจะได้คุณสมบัติของใบจักรที่มีความเหมาะสมที่จะติดตั้งกับเรือลำนั้น ๆ โดยผลการคำนวณที่ได้โดยทั่วไปจะกำหนดคุณสมบัติของใบจักรที่จะใช้เข้าไปคำนวณหาค่าของรูปทรงใบจักร จะประกอบด้วยข้อมูลดังนี้ ชุดของใบจักรซึ่งในการคำนวณนี้ใช้ใบจักร WANGENINGEN B - SERIES ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) อัตราส่วนพิชกับเส้นผ่าน



ที่มา : K_t , K_q and Efficiency Curve for Wageningen Propeller B - Series, Michigan, 1981.

รูปที่ 2.37 เส้นโค้งสัมประสิทธิ์ แรงผลัก แรงบิด และประสิทธิภาพใบจักร (Typical Curves of Thrust , Torque and Efficiency)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศูนย์กลาง (P/D) อัตราส่วนพื้นที่ปีก (Blade area ratio, A_E/A_O) และจำนวนปีกใบจักร อัตราส่วนพื้นที่ปีกของใบจักร B - SERIES ได้กำหนดไว้ดังนี้

Blade number Z		Blade area ratio A_E/A_O				
2	0.30					
3	0.35	0.50	0.65	0.80		
4	0.40	0.55	0.70	0.85	1.00	
5	0.45	0.60	0.75		1.05	
6	0.50	0.65	0.80			
7	0.55	0.70	0.85			

เนื่องจากผลการคำนวณด้วยโปรแกรม PSP ยังมิได้มีการคำนวณกำหนดรูปทรงของใบจักรที่จะสามารถนำไปเขียนแบบเพื่อการผลิตใบจักร เพราะฉะนั้นเราจึงต้องศึกษาขั้นตอนการคำนวณรูปทรงของใบจักร ซึ่งจะต้องมีรายละเอียดของการคำนวณแนวหลักของหน้าตัด ส่วนปีกนำ - ปีกตาม ความหนาของปีกใบจักร

แนวหลักของหน้าตัดปีกใบจักร (Blade Contour)

แนวหลักของหน้าตัดปีกใบจักรของ B - SERIES ถูกกำหนดจากพื้นฐานของ Expanded Blade Area ratio, EAR และจำนวนของปีกใบจักร ความยาวของแนวแกนหลัก (Chord Length) ที่หน้าตัดของระยะรัศมีต่าง ๆ จะถูกกำหนดดังนี้

$$C(r) = \frac{K(r) \times D \times EAR}{Z}$$

เมื่อ $C(r)$ = Chord Length

$K(r)$ = Contant as function of the radius

D = Diameter of Propeller

EAR = Expanded Blade area ratio

Z = Number of blades

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าของ $K(r)$ เป็นค่าที่เลือกจากตารางที่ตำแหน่งของรัศมีต่าง ๆ ที่จะกำหนดแนวหลักของหน้าตัดขอบปีกใบจักรที่สามารถใช้ได้กับทุกค่าของ Expanded Blade area ratio ที่กำหนด ค่าของ $K(r)$ และ $Skew/Cr$ กำหนดในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 Blade Contour

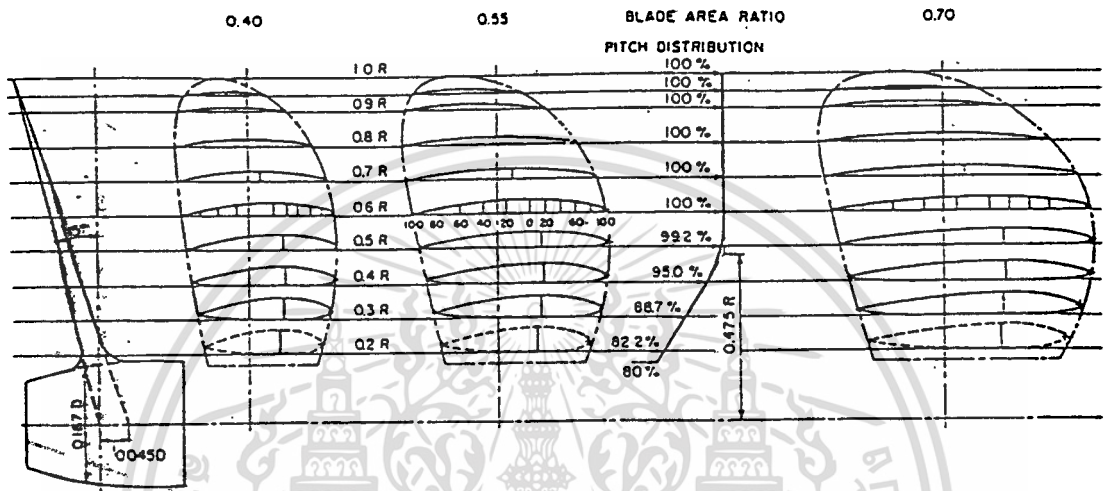
r/R	$K(r)$	$skew/Cr$
0.2	1.662	0.617
0.3	1.882	0.613
0.4	2.050	0.601
0.5	2.152	0.586
0.6	2.187	0.561
0.7	2.144	0.524
0.8	1.970	0.463
0.9	1.582	0.351

จากตารางที่ 2 ที่สามารถคำนวณค่า Chord Length (Cr) ที่รัศมีต่าง ๆ และยังมีค่าของ skew ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่แสดงถึงระยะห่างระหว่าง Leading Edge กับ Generator Line ตามที่แสดงในภาพที่ 2.38 โดยผลการคำนวณค่า skew ที่มีค่าเป็นบวกเสมอ

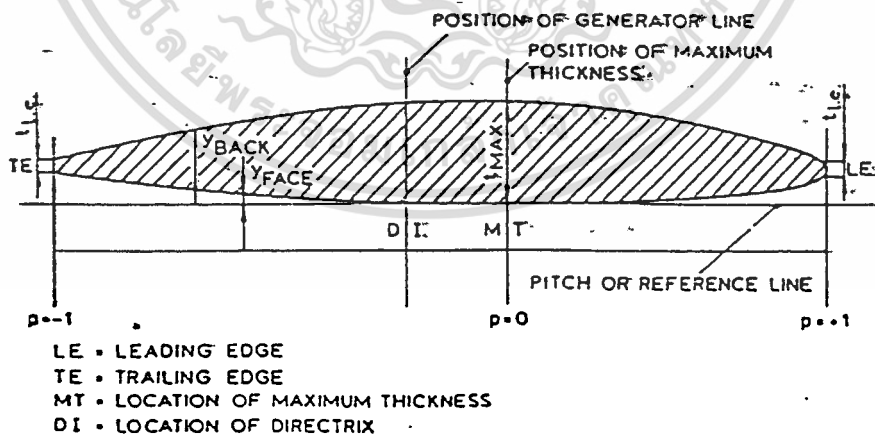
ความหนาของปีกใบจักร (Blade Thickness)

ความหนาของปีกใบจักรนี้จะเป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ในการกำหนดตำแหน่งของการคำนวณความหนาของขอบปีกใบจักร (Blade Thickness) ตลอดหน้าตัดของใบจักรที่รัศมีต่าง ๆ (r/R) ในขั้นตอนการคำนวณความหนาสูงสุดของปีกใบจักรนี้จะประกอบด้วยสองค่า คือ ค่าความหนาสูงสุดของหน้าตัดปีกใบจักร (Maximum thickness, t_{max}) และตำแหน่งของความหนาสูงสุดของหน้าตัดปีกใบจักร (Position of maximum thickness, $X_{t_{max}}$) ตามที่แสดงในภาพที่ 10 จะแสดงให้เห็นถึงลักษณะของหน้าตัดปีกใบจักรที่ประกอบด้วยเส้นอ้างอิง (Reference line) ความหนาสูงสุดของปีกใบจักรใช้สัญลักษณ์ t_{max} และตำแหน่งอ้างอิงตลอดความยาว (Lord Length) โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.38 รูปทรงของปีกและหน้าตัดของใบจักร (Blade Form and Section of B4 Series)



ที่มา: Principle Naval Architecture, Vol. II, New York, 1988.

รูปที่ 2.39 ตำแหน่งอ้างอิงรูปทรงหน้าตัดปีกใบจักร (Geometry Blade Section Parameter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่าความหนาสูงสุดของขอบปีกใบจักรที่กล่าวข้างต้น สามารถคำนวณโดยใช้สูตรการคำนวณที่มีฟังก์ชันของจำนวนปีกใบจักรเข้ามาเกี่ยวข้อง และมีฟังก์ชัน A_r และ B_r ที่แสดงในตารางที่ 3 สูตรการคำนวณมีดังนี้คือ

$$\frac{t_r}{D} = A_r - B_r Z$$

- เมื่อ t_r = ความหนาของหน้าตัดปีกใบจักรที่รัศมีต่าง ๆ
 Z = จำนวนปีกใบจักร
 A_r = Thickness Coefficient
 B_r = Thickness Coefficient
 D = Diameter

ตารางที่ 3 Coefficients for thickness distribution of B-series propellers

Radius	A_r	B_r
0.2	0.0526	0.0040
0.3	0.0464	0.0035
0.4	0.0402	0.0030
0.5	0.0340	0.0025
0.6	0.0278	0.0020
0.7	0.0216	0.0015
0.8	0.0154	0.0010
0.9	0.0092	0.0005
1.0	0.0030	0.0000

ส่วนปีกนำ - ปีกตามของใบจักร (Blade Section)

การกำหนดรูปทรงของปีกใบจักรสำหรับ B - SERIES เป็นการกำหนดความสัมพันธ์ของตำแหน่งจากส่วนที่มีความหนามากที่สุดของหน้าตัดปีกใบจักร โดยจะมีเส้นอ้างอิง (Reference Line) หรือจะเรียกว่า Pitch ที่เป็นเส้นตรงลากสัมผัสผิวของปีกด้าน Pressure Side การกำหนดความหนาของปีกนำและปีกตามจะต้องอ้างอิงจากเส้นนี้ ในภาพที่ 9 จะแสดงถึงรูปหน้าตัดของปีกใบจักรที่มีการกำหนดตำแหน่งต่าง ๆ ในการคำนวณรูปทรงของปีกใบจักรในแต่ละหน้าตัดที่แบ่งตามตำแหน่งรัศมีต่าง ๆ กันนั้น จะแบ่งหน้าตัดออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

- ด้านกำลังดันต่ำระหว่างแนวความหนาสูงสุดกับขอบปีกนำ (Suction side between maximum thickness and leading edge)
- ด้านกำลังดันต่ำระหว่างแนวความหนาสูงสุดกับขอบปีกตาม (Suction side between maximum thickness and trailing edge)
- ด้านกำลังดันสูงระหว่างแนวความหนาสูงสุดกับขอบปีกนำ (Pressure side between maximum thickness and leading edge)
- ด้านกำลังดันสูงระหว่างแนวความหนาสูงสุดกับขอบปีกตาม (Pressure side between maximum thickness and trailing edge)

การคำนวณกำหนดรูปทรงของหน้าตัดปีกใบจักรนี้มีลักษณะเป็นส่วนโค้งจากขอบปีกนำถึงขอบปีกตาม โดยจะใช้ตารางที่ 4 ถึง 7 แสดงค่าของ V_1 และ V_2 ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของปีกใบจักรเพื่อใช้กับสมการ (1) ถึง (4) เพื่อใช้คำนวณหาค่า Y_{face} และ Y_{back} ซึ่งเป็นแนวของขอบปีกนำและปีกตามที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนขอบหน้าตัดของปีกใบจักร

$$\text{เมื่อ } P > 0 \quad Y_{face} = V_1 (t_{max} - t_{le}) \quad \text{.....(1)}$$

$$Y_{back} = (V_1 + V_2)(t_{max} - t_{le}) + t_{le} \quad \text{.....(2)}$$

$$P \leq 0 \quad Y_{face} = V_1 (t_{max} - t_{le}) \quad \text{.....(3)}$$

$$Y_{back} = (V_1 + V_2)(t_{max} - t_{le}) + t_{le} \quad \text{.....(4)}$$

เมื่อ Y_{face} , Y_{back} เป็นระยะในทางตั้งของจุดต่าง ๆ บนขอบหน้าตัดของปีกที่ Pressure face และ Suction back ถึงเส้นอ้างอิง (Reference line)

V_1 , V_2 tabulate functions ขึ้นกับค่า r/R และ P (ตาราง 4,5,6,7)

t_{max} ความหนาสูงสุดของขอบปีกใบจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$t_{e.} \cdot t_{l.e.}$ ความหนาของขอบปีกใบจักรที่ trailing และ leading edge ตามลำดับ

ตารางที่ 4 Coefficients V1 of section geometry between of maximum thickness and leading edge

r/R/P	20%	40%	50%	60%	70%	80%	85%	90%	85%	L.E.
.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.6	0	0	0	0	0	.0006	.0022	.0067	.0169	.0382
.5	0	0	.0008	.0034	.0085	.0211	.0328	.0500	.0778	.1278
.4	0	.0033	.0090	.0189	.0357	.0637	.0833	.1088	.1467	.2181
.3	.0027	.0148	.0300	.0503	.0790	.1191	.1445	.1760	.2186	.2923
.25	.0031	.0024	.0417	.0669	.1008	.1465	.1747	.2068	.2513	.3256
.20	.0049	.0304	.0520	.0804	.1180	.1685	.2000	.2353	.2821	.3560
.15	.0096	.0615	.0615	.0920	.1320	.1870	.2230	.2642	.3150	.3860

ตารางที่ 5 Coefficients V1 of section geometry between point of maximum thickness and trailing edge

r/R/P	T.E.	95%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	20%
.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.5	.0522	.420	.0330	.0190	.0100	.0040	.0012	0	0
.4	.1467	.1200	.0972	.0630	.0395	.0214	.0116	.0044	0
.3	.2306	.2040	.1790	.1333	.0943	.0623	.0376	.0202	.0033
.25	.2598	.2372	.2115	.1651	.1246	.0899	.0579	.0350	.0084
.20	.2826	.2630	.2400	.1967	.1570	.1207	.0880	.0592	.0172
.15	.3000	.2824	.2650	.2300	.1950	.1610	.1280	.0955	.0365

ตารางที่ 8 Coefficients V_2 of section geometry between point of maximum thickness and leading edge

r/R/P	20%	40%	50%	60%	70%	80%	85%	90%	95%
.9	.9600	.8400	.75	.6400	.5100	.3600	.2775	.1900	.0975
.85	.9615	.8450	.7550	.6455	.5160	.3660	.2830	.1950	.1000
.80	.9635	.8520	.7635	.6545	.5265	.3765	.2925	.2028	.1050
.70	.9675	.8660	.7850	.6840	.5615	.4140	.3300	.2337	.1240
.6	.9690	.8790	.8090	.7200	.6060	.4620	.3775	.2720	.1485
.5	.9710	.8880	.9710	.8880	.8275	.7478	.6430	.5039	.1750
.4	.9725	.8933	.8345	.7593	.6590	.5220	.4335	.3235	.1935
.3	.9750	.8920	.8315	.7520	.6505	.5130	.4265	.3197	.1890
.25	.9751	.8899	.8259	.7415	.6359	.4982	.4108	.3042	.1750
.20	.9750	.8170	.8170	.7277	.6190	.4777	.3905	.2840	.1560
.15	.9760	.8825	.8055	.7105	.5995	.4520	.3605	.2600	.1300

ตารางที่ 7 Coefficient V_2 of section geometry between point of maximum thickness and trailing edge

r/R	T.E.	95%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	20%
7	0	.0975	.19	.36	.51	.64	.75	.84	.96
.6	0	.0965	.1885	.3585	.5110	.6415	.7530	.8426	.9613
.5	0	.0950	.1865	.3569	.5140	.6439	.7580	.8456	.9639
.4	0	.0905	.1810	.3500	.5040	.6353	.7525	.8415	.9645
.3	0	.0800	.1670	.3360	.4885	.6195	.7335	.8265	.9583
.25	0	.0725	.1567	.3228	.4740	.6050	.7184	.8139	.9519
.20	0	.0640	.1455	.3060	.4535	.5842	.6995	.7984	.9446
.15	0	.0540	.1325	.2870	.4280	.5585	.6770	.7805	.9360

การคำนวณหาขนาดใบจักรเรือ

จากข้อมูลที่ได้ทำการคำนวณไว้แล้ว

$$\begin{aligned} \nabla &= \text{ปริมาตรส่วนที่จมน้ำ} = 0.06 \text{ m}^3 \\ L &= \text{ความยาวแนวน้ำ} = 2.0 \text{ m.} \\ T &= \text{ระยะกินน้ำลึก} = 0.15 \text{ m.} \\ V_s &= \text{ความเร็วเรือ} = 2 \text{ knot} \end{aligned}$$

จากที่ได้คำนวณในเรื่องค่าความต้านทาน

$$R_{\text{total}} = 62.644 \text{ N.}$$

คิดเป็นแรงม้าที่จะต้องเอาชนะความต้านทานรวมนี้เท่ากับ $\frac{62.644 \times 1.03}{746} = 0.1 \text{ แรงม้า}$

แต่ที่เราสมมุติไว้ว่า กำลังของคนเท่ากับ 0.25 แรงม้า เพราะฉะนั้นตามตัวเลขดังกล่าวนี้ จะเห็นว่า เรือจะสามารถเคลื่อนที่ไปได้

$$\frac{V_s}{\sqrt{L_{WL}}} = \frac{2}{\sqrt{2.2}} = 1.348$$

จากเส้นโค้งความสัมพันธ์ $\frac{HP}{\Delta} : \frac{V_s}{\sqrt{L_{WL}}}$

จะได้ว่า $\frac{BHP}{\Delta} = 0.55$

$$\begin{aligned} BHP &= 0.55 \times 0.66 \\ &= 0.033 \text{ แรงม้า} \end{aligned}$$

เมื่อคิดรวมทั้งสองท่อน

$$BHP = 0.033 \times 2 = 0.066 \text{ แรงม้า}$$

ซึ่งค่า BHP ที่คำนวณได้นี้เป็นการคำนวณอย่างคร่าว ๆ เท่านั้น เพราะฉะนั้นเราจึงเลือก
เอาค่า EHP. เท่ากับ 0.1 แรงม้า มาใช้จะถูกต้องมากกว่า

สมมติว่า ประสิทธิภาพของการส่งถ่ายกำลังงานผ่านชุดเกียร์ต่าง ๆ เท่ากับ 0.95

$$\begin{aligned} \text{DHP} &= \text{BHP} \times 0.95 \\ &= 0.25 \times 0.95 \\ &= 0.2375 \text{ แรงม้า} \end{aligned}$$

$$I = \frac{N_1}{N} = \frac{50}{585} = 8.547 \times 10^{-2}$$

จาก $V_s = 1.348$ ได้ค่า Wake factor = 0

$$\sqrt{L_{WL}}$$

$$\begin{aligned} V_p &= (1 - W)V_s \\ &= (1 - 0)2 \\ &= 2 \text{ lenot} \end{aligned}$$

$$\text{BP} = \frac{N \times \text{DHP}}{V_p^{2.5}}$$

$$= \frac{585 \times \sqrt{0.2375}}{2^{2.5}}$$

$$= 50.3979$$

$$\sqrt{B_p} = 7.0991$$

จากเส้นโค้งความสัมพันธ์ $\sqrt{B_p} : P/D : \delta : \eta_p$

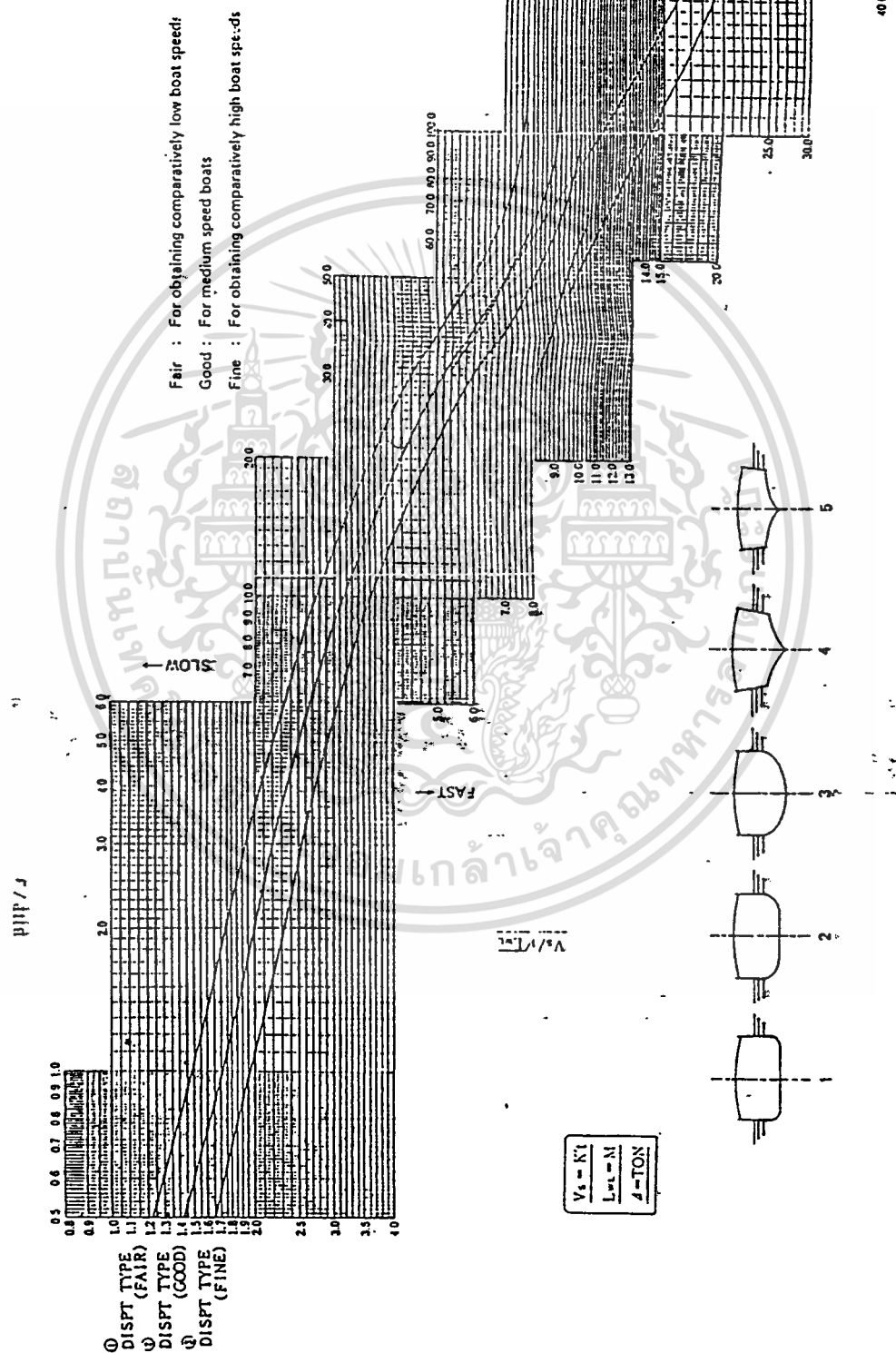
จะได้ค่า $P/D = 0.6$ และ $\delta = 85$

Diameter ของใบจักรเรือ หาได้จาก

$$D = \frac{V_p \times \delta}{N}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

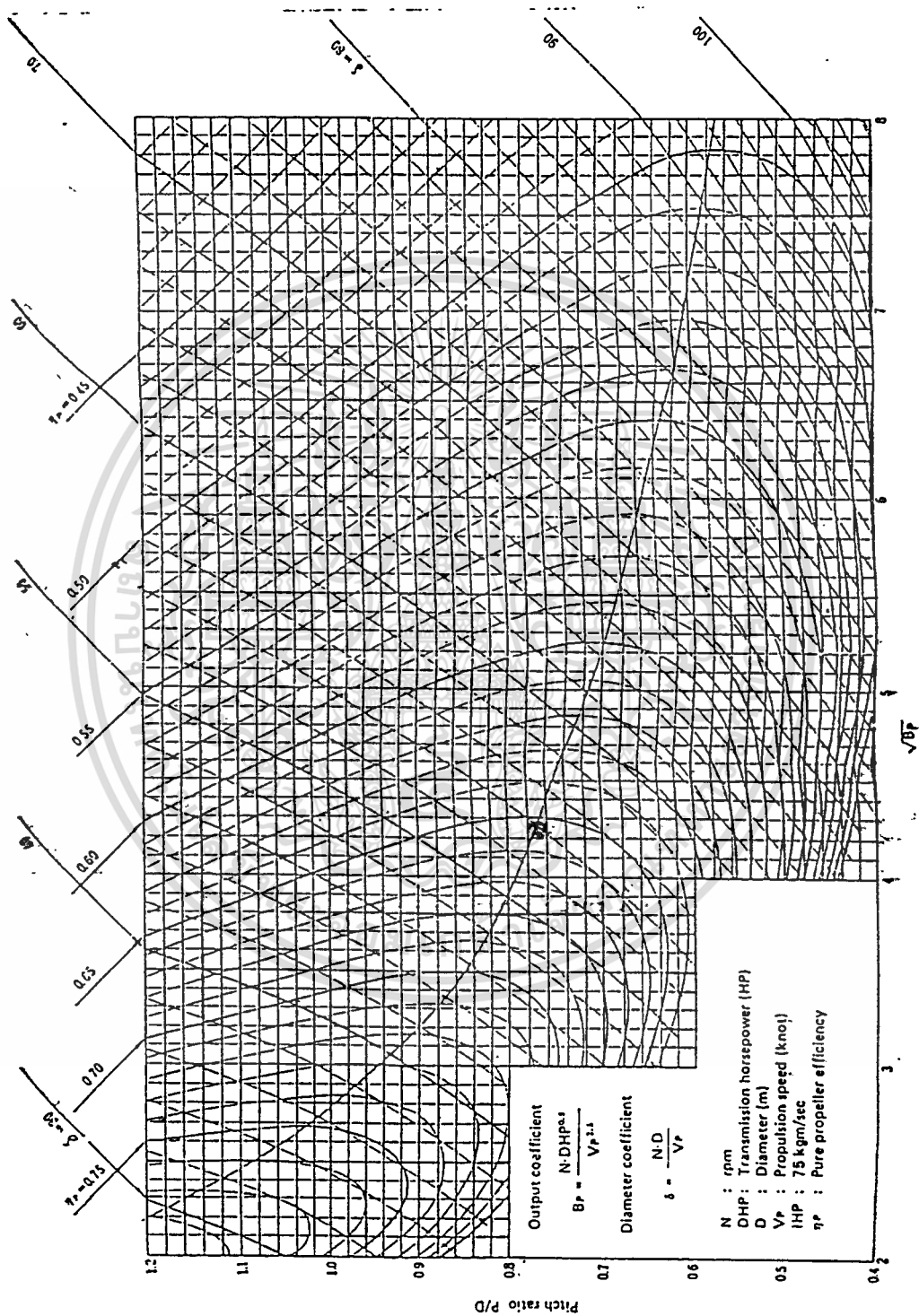
11P - $\frac{V_s}{\sqrt{L_{wl}}}$ CURVE (Boat speed calculation material)



ที่มา : Principle Naval Architecture, Vol. II, New York, 1988.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\sqrt{B_P} : P/D : \delta : \eta_P$ (UB 3 - 35) (Propeller calculation material : Development area ratio (A_n) 0.35)



ที่มา : Principle Naval Architecture, Vol. II, New York, 1988.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{2 \times 85}{585}$$

$$= 0.2905 \text{ m.}$$

ซึ่งโดยปกติแล้วมักจะนิยมใช้ใบจักร WANGENINGEN B - SERIES แต่เมื่อนำค่า B_p ไปเปิดในกราฟเส้นโค้งความสัมพันธ์ ปรากฏว่าไม่สามารถอ่านค่าได้ นั่นก็หมายความว่า ในกรณีนี้เราไม่สามารถใช้ใบจักรมาตรฐานที่มีผลิตทั่วไปได้ แต่เราจะต้องใช้ใบจักรที่สั่งทำขึ้นเป็นพิเศษ โดยที่เราจะต้องกำหนดรายละเอียดของใบจักร เช่น Diameter, P/D, RPM, A_B/A_O , Blade No., Open Water Coefficient, BHP required เพื่อส่งให้ผู้ผลิตใบจักรทำการผลิตใบจักรตามคุณสมบัติที่เราต้องการต่อไป



2.1.7. การคำนวณขนาดโซ่และจานโซ่

โซ่ส่งกำลังที่ใช้ในจักรยานเดินน้ำ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. โซ่จักรยานธรรมดา เป็นโซ่ที่ใช้ส่งกำลังช่วงแรก จากจานโซ่มายังเฟืองขับตัวตามช่วงแรก จึงใช้โซ่ธรรมดา โดยอาจใช้แบบธรรมดาหรือแบบ Stainless steel ก็ได้เพราะมีความสามารถรับ load ได้เพียงพอสำหรับแรงคนปั่น

2. โซ่ขับเพลลาและส่งกำลังขับไปยังเพลลาใบจักร ต้องเป็นโซ่ขนาดเล็กที่ทนแรงดึงสูง เหตุที่ต้องใช้โซ่ขนาดเล็กเพราะโซ่เส้นนี้ต้องบิดเป็นมุมถึง 90 องศา ในระยะห่างระหว่างเพลลา 75 cm. เพื่อเปลี่ยนระนาบการหมุนของเพลลาทั้งสองที่วางในทิศทางตั้งฉากกัน แต่โซ่ก็ต้องไม่เล็กจนเกินไปเพราะต้องทนแรงดึง ไม่เพียงพอกับการปั่นและส่งกำลังขับใบจักร

เราจะตั้งสมมุติฐานว่า กำลังของคนเท่ากับ 0.25 แรงม้า
สามารถปั่นจักรยานได้ด้วยความเร็วรอบ 50 rpm.
แขนบันไดถีบจักรยานยาว 0.2 เมตร

เราสามารถคำนวณขนาด TORQUE ได้จากสมการ

$$P = TW$$

$$T = \frac{P}{W} = \frac{0.25 \times 746 \times 60}{2 \pi \times 50} = 35.618 \text{ Nm}$$

เราที่ใช้ในการถีบจักรยานหาได้จาก

$$T = FR$$

$$F = \frac{T}{R} = \frac{35.618}{0.2} = 178.09 \text{ N.}$$

เลือกใช้จานโซ่ขับขนาด 52 ฟัน และจานโซ่ตามขนาด 10 ฟัน โดยตามสมมุติฐานข้างต้น กำลังของคนสามารถปั่นจักรยานได้ด้วยความเร็วรอบ 50 rpm. เพราะฉะนั้นเราสามารถทด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอบขึ้นจาก 50 rpm. เป็น $50 \times \frac{52}{10}$ เท่ากับ 260 rpm

ในส่วนของโซ่ชุดแรกนี้ เราเลือกใช้โซ่ขนาดเบอร์ 41 ซึ่งมีระยะพิชเท่ากับ 12.70 mm. และมีค่า Minimum tensile strength 6670 N.

ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของจานโซ่ เราสามารถคำนวณได้จาก

$$\propto = \frac{P}{\frac{\sin(180)}{N}}$$

ดังนั้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานโซ่ขับ

$$= \frac{1.27}{\frac{\sin(180)}{52}} = 21.033 \text{ cm.}$$

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานโซ่ตาม

$$= \frac{1.27}{\frac{\sin(180)}{10}} = 4.109 \text{ cm.}$$

ซึ่งในตัวชิ้นงานจริงนั้น เราจะเลือกใช้จานโซ่ขับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง = 20 cm.

จานโซ่ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง = 3 cm.

คำนวณหาแรงดึงในเส้นโซ่

$$F = T = \frac{35.618}{\frac{(20 \times 10^{-2})}{2}} = 356.18 \text{ N.}$$

จะเห็นได้ว่า ค่าแรงดึงในเส้นโซ่ที่คำนวณได้มีค่าต่ำกว่า Minimum tensile strength ของโซ่ แสดงให้เห็นว่า โซ่ขนาดเบอร์ 41 นี้สามารถใช้ได้ ซึ่งทั้งงานโซ่ขับและงานโซ่ตามต่างก็ได้รับแรงดึงเท่า ๆ กัน มีขนาดเท่ากับแรงดึงในเส้นโซ่ที่คำนวณได้

$$\text{ค่า TORQUE บนเพลลาของงานโซ่หลัง} = \frac{356.18 \times 3 \times 10^{-2}}{2} = 5.342 \text{ N.m}$$

บนเพลลาของงานโซ่หลัง จะมีงานโซ่อีกตัวหนึ่ง ซึ่งต่อไปขับที่เพลลาใบจักรอีกต่อหนึ่ง โดยโซ่ชุดที่สองนี้ทำการบิดมุมโซ่ไป 90 องศา ดังนั้นจึงเลือกใช้โซ่ขนาดเล็ก ในที่นี้เลือกใช้โซ่ขนาดเบอร์ 25 ซึ่งมีระยะพิชเท่ากับ 6.35 mm. และมีค่า Minimum tensile strength เท่ากับ 3470N.

กำหนดให้งานขับของโซ่ชุดสองมีขนาด 45 ฟัน และงานตามของโซ่ชุดสองมีขนาด 20 ฟัน เนื่องจากงานขับของโซ่ชุดสองอยู่บนเพลลาเดียวกันกับงานตามของโซ่ชุดหนึ่ง จึงส่งผลให้หมุนด้วยความเร็วรอบเท่ากัน คือ 260 rpm. และมีค่า TORQUE เท่ากัน คือ 5.342 N.m เราสามารถหาความเร็วรอบของงานตามของโซ่ชุดสองได้เป็น $260 \times \frac{45}{20}$ เท่ากับ 585 rpm ซึ่งก็คือ

ความเร็วรอบของเพลลาใบจักรด้วย

ดังนั้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของงานขับของโซ่ชุดที่สอง

$$= \frac{0.635}{\sin(180)} = 9.103 \text{ cm.}$$

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของงานตามของโซ่ชุดที่สอง

$$= \frac{0.635}{\sin(180)} = 9.103 \text{ cm.}$$

ซึ่งในตัวขึ้นจริงจริง เราเลือกใช้งานโซ่ขับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง = 8.4 cm.

งานโซ่ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง = 3.6 cm.

คำนวณหาแรงดึงที่กระทำบนโซ่ชุดที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F = T = \frac{5.342}{\frac{(8.4 \times 10^{-2})^2}{2}} = 127.19 \text{ N.}$$

จะเห็นว่า ค่าแรงดึงในเส้นโซ่ที่คำนวณได้มีค่าต่ำกว่า Minimum tensile strength ของโซ่ เพราะฉะนั้นโซ่ขนาดเบอร์ 25 สามารถใช้ได้ และงานตามของโซ่ชุดที่สองก็จะรับแรงขนาดนี้ด้วย ดังนั้น TORQUE บนงานตามบนเพลลาใบจักรมีค่าเป็น $127.19 \times 3.6/2 \times 10^{-2}$ เท่ากับ 2.289 N.m.

คำนวณหาความยาวของโซ่ โดยการหาเป็นจำนวนฟิช (จำนวนข้อ) และควรเป็นเลขคู่ซึ่งหาได้โดยวิธีประมาณจาก

$$\frac{L}{P} = \frac{2C}{P} + \frac{(N_1 + N_2)}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 \left(\frac{C}{P}\right)}$$

โดยที่ L = ความยาวโซ่
 P = ระยะฟิชของโซ่ = 0.635 cm.
 C = ระยะจุดศูนย์กลางระหว่างเพลลา = 75 cm.
 N_1 = จำนวนฟันของจานโซ่ตัวเล็ก = 20 ฟัน
 N_2 = จำนวนฟันของจานโซ่ตัวใหญ่ = 45 ฟัน

แทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการข้างต้น

$$\frac{L}{0.635} = \frac{2(75)}{0.635} + \frac{(45 + 20)}{2} + \frac{(45 - 20)^2}{4\pi^2 (75)}$$

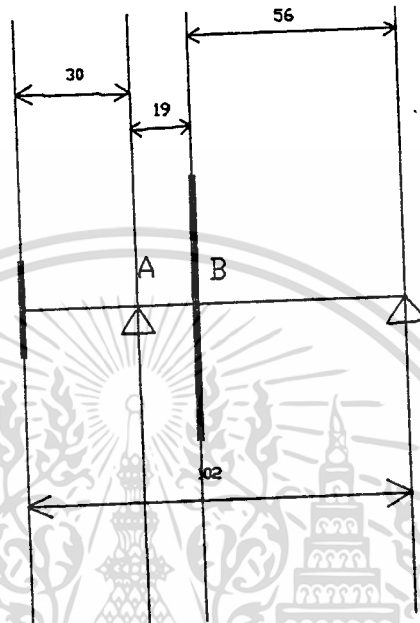
$$\frac{L}{0.635} = 268.854 \text{ ฟิช}$$

$$L = (268.854)(0.635) = 170.72 \text{ cm.}$$

เพราะฉะนั้น ความยาวของโซ่เบอร์ 25 ที่ต้องใช้เท่ากับ 170.72 cm.

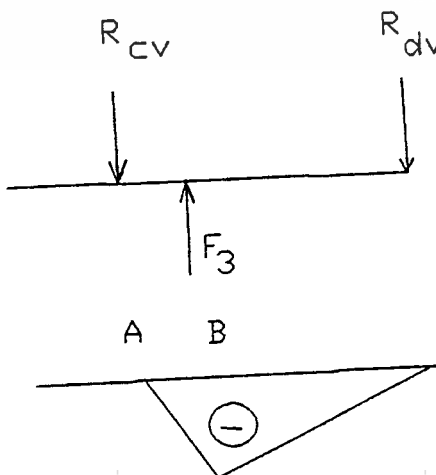
2.1.8. การคำนวณขนาดเพลา

เพลาชุดที่ 1



รูปที่ 2.40 แสดงขนาดของเพลาชุดที่ 1

แรงและโมเมนต์ตัดในแนวดิ่ง



$$\text{ตัดแนวดิ่ง } 0 = (R_{cv} \cdot 75) - (F_3 \cdot 56)$$

$$\text{และ } F_3 = 127.19 \text{ N.}$$

$$\text{ได้ } R_{cv} = 94.96 \text{ N.}$$

$$\text{จาก } R_{cv} + R_{dv} = F_3$$

$$R_{dv} = 127.19 - 94.96$$

$$= 32.23 \text{ N.}$$

หาโมเมนต์ตัดในแนวดิ่ง

$$M_{bv} = R_{dv} \cdot 56$$

$$= 32.23 \cdot 56$$

$$= 1084.88 \text{ N.mm.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{กิดแนวราบ } 0 = (R_{CH} * 75) - (F_2 * 105)$$

แรงและโมเมนต์คัตในแนวราบ

$$\text{และ } F_2 = 356.18 \text{ N.}$$

$$\text{ได้ } R_{CH} = 498.652 \text{ N.}$$

$$\text{จาก } R_{CH} + R_{DH} = F_2$$

$$R_{DH} = 356.18 - 498.652$$

$$= -142.472 \text{ N.}$$

$$\text{ดังนั้นโมเมนต์คัตในแนวราบที่ A} = F_2 * 30$$

$$M_{AH} = 356.18 * 30$$

$$= 10685.4 \text{ N.mm.}$$

หาโมเมนต์คัตสูงสุดที่ A.

$$M_A = \sqrt{M_{AV}^2 + M_{BV}^2}$$

$$= \sqrt{0 + (1084.88)^2}$$

$$= 1084.88 \text{ N.mm.}$$

หาโมเมนต์คัตสูงสุดที่ B.

$$M = \sqrt{M_{AH}^2 + M_{BH}^2}$$

$$= \sqrt{(10685.4)^2 + 0}$$

$$= 10685.4 \text{ N.mm.}$$

$$\text{ดังนั้นโมเมนต์คัตสูงสุดเกิดมากที่สุดที่ B.} = 10685.4 \text{ N.mm.}$$

$$\text{และมี Torque ที่เพลา, } T = 5.342 \text{ N.m.}$$

$$= 5342 \text{ N.mm.}$$

$$\text{จากตารางค่าตัวประกอบความถี่ ได้ } C_m = 1.5, C_t = 1.0$$

$$\text{และกรณีนี้เพลาไม่มีร่องลิ้น ใช้ } \tau_t = 55 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{จาก } d^3 = 16/(\pi \times \tau) * [(C_t * T)^2 + (C_m * M_B)^2]^{1/2}$$

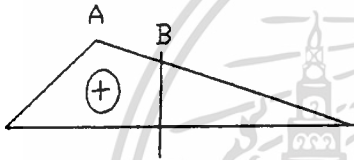
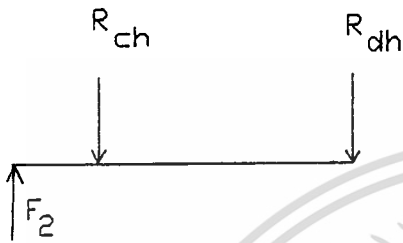
$$d^3 = 16/(\pi \times 55) * [(1 * 5432)^2 + (1.5 * 10685.4)^2]^{1/2}$$

$$d^3 = 1564.45$$

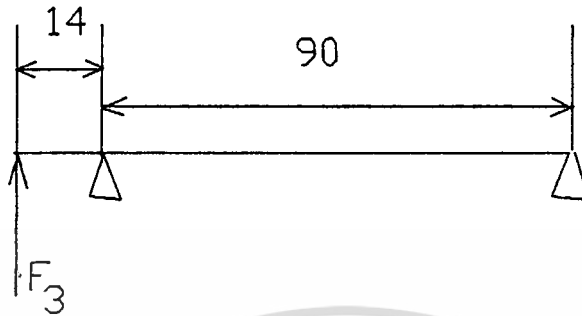
$$d = 11.608 \text{ mm.}$$

จากขนาดระบุของเพลามาตรฐาน ISO/R 775-1969

$$\text{เลือก } d = 12 \text{ mm.}$$

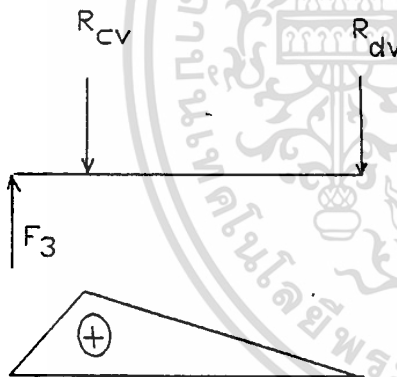


เพลาคูที่สอง



รูปที่ 2.41 แสดงขนาดของเพลาคูที่ 2

แรงและโมเมนต์คัตแนวตั้ง



$$\text{คิดแนวตั้ง } 0 = (F_3 * 104) - (R_{cv} * 90)$$

$$\text{และ } F_3 = 127.19 \text{ N.}$$

$$R_{cv} = 146.975 \text{ N.}$$

$$\text{จาก } R_{dv} + R_{cv} = F_3$$

$$\text{ได้ } R_{dv} = 127.19 - 146.975$$

$$= -19.785 \text{ N.}$$

$$\text{ดังนั้นโมเมนต์คัตที่เกิดขึ้น} = F_3 * 14$$

$$= 1780.66 \text{ N.mm.}$$

$$\text{Torque ที่เกิดจากใบจักร} = 2.289 \text{ N.m.}$$

$$= 2289 \text{ N.mm.}$$

$$\tau_d = 55 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{จาก } d^3 = 16/(\pi \times \tau) * [(C_t * T)^2 + (C_m * M_s)^2]^{1/2}$$

$$= 16/(\pi \times 55) * [(1 * 2289)^2 + (1.5 * 1780.66)^2]^{1/2}$$

$$d^3 = 325.729$$

$$d = 6.88 \text{ mm.}$$

จากขนาดระบุตามมาตรฐาน ISO/R 775-1969

เลือกขนาดเพลากับ 7 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การสร้างชิ้นส่วนและการประกอบจักรยานพื้นน้ำ

3.1 การสร้างชิ้นส่วนต่าง ๆ

3.1.1 ขั้นตอนการทำหุ่น แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน

1. ขั้นตอนทำต้นแบบหุ่น
2. ขั้นตอนทำแม่แบบหุ่น
3. ขั้นตอนทำชิ้นงานหุ่น

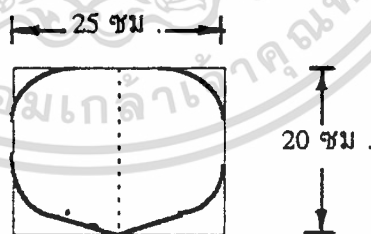
ขั้นตอนการทำต้นแบบหุ่น

วัสดุที่ใช้

1. ไม้แบบขนาด 1" x 8" x 300 ม.
2. โฟมกั๊สขาว
3. ตะปู 1 1/2"
- ตะปู 3/4"

วิธีทำต้นแบบหุ่น

นำไม้แบบขนาด 1" x 8" x 3.00 ม. ในแต่ละแผ่นมาตัดตามแบบหุ่นตามขนาดหุ่น กว้าง 25 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร และมีส่วนมนโค้งตามลักษณะดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดงหน้าตัดของหุ่น

เมื่อได้แบบขนาดดังรูปข้างบนดังกล่าว นำมาวางลงบนไม้แบบ แล้วนำไปดำเนินการ ดังนี้

- ตัดไม้แบบตามที่วาดให้ได้ จำนวน 10 ชิ้น
- นำแบบทั้ง 10 ชิ้น มาวางซ้อน โดยให้จุดตำแหน่ง และขนาดวางให้เท่ากัน แล้วใช้ตะปู 1 นิ้ว ตอกแบบแต่ละชิ้นให้ติดกันทั้งหมด 10 ชิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แบบทั้ง 10 ชั้นที่ใช้ตะปูตอกติดกันจะเป็นแบบ 1 ชั้น ติดกัน หาขนาดโดยขีดตำแหน่งตามความหนาทั้ง 10 ชั้น เพื่อใส่ไม้โครงสร้างยึดโฟเมก้า ไม้ยึดโครงสร้างขนาด $1/2" \times 1" \times 3.00$ ม. โดยแบ่งซอยตัดขนาดดังกล่าวบนไม้แบบ

- เมื่อขีดตำแหน่งบนแบบทั้ง 10 ชั้น โดยตำแหน่งที่ขีด คือขนาดลึก $1/2"$ กว้าง 1 นิ้ว แล้วตัดเจาะตามขนาดดังกล่าว

- แยกแบบทั้ง 10 ชั้น ออกจากกัน จากที่ได้นำตะปูตอกติดไว้ จะมีร่องขนาดโครงสร้าง มีความลึก ความกว้างตามแบบ อยู่รอบแบบ 9 จุด

- นำแบบทั้ง 10 ชั้นมาวาง โดยหาระยะวาง จาก 10 ชั้น ในความยาว 2 เมตร โดยใช้ไม้ระแนงที่จัดไว้ ขนาด เท่ากับ ร่องตามแบบ มาตียึดติดบนแบบให้รอบ โดยยึดตะปู 1 นิ้ว

- ทำแบบหัวท้าย โดยมีลักษณะ แหลมมน โดยขนาดหัวแหลมมน 25 ซม. และท้ายแหลมมน 25 ซม.

- เมื่อปั้นแบบหัว และท้าย แหลมมน ยาว 25 ซม. ดังนั้นความยาวรวมทั้งหัวและท้าย ยาว 50 เมตร นำมาต่อติดกับโครงสร้าง 2.00 เมตร เป็นความยาว 2.50 เมตร

เมื่อขึ้นโครงสร้างรูปท่อน ยาว 2.50 เมตร โดยมีหัวและท้าย แหลมมน ด้านละ 25 ซม. จากระยะของโครงสร้างจุดกึ่งกลาง ไม่รวมจุดหัวท้าย คือ ระยะ 2.00 เมตร นำโฟเมก้ามาหุ้มให้รอบ โดยใช้ตะปู $1/2$ นิ้ว มาตียึดติด ให้เรียบแน่น จะได้รูปต้นแบบที่เกือบสมบูรณ์ แต่ขาดการโป๊วแต่ง ด้วยสีโป๊ว

การโป๊วแต่งท่อนด้วยสีโป๊ว

วัสดุที่ใช้

1. สีโป๊วรถยนต์
2. ทรายหยาบเบอร์ 60 และทรายหยาบน้ำ เบอร์ 150, 240, 320, 600

วิธีทำ

นำสีโป๊วมาโป๊วบนต้นแบบให้ตลอดท่อน โป๊วแต่งให้ได้รูป และตามขนาดของแบบให้ใกล้เคียงที่สุด จากนั้น

- นำทรายหยาบ เบอร์ 60 จัดแต่งให้เรียบใกล้เคียงแบบที่สุด
- ขัดด้วยทรายหยาบน้ำทั้งท่อน โดยขัดเรียงตาม เบอร์ คือ 150, 240, 320, 600 ตามลำดับ จะได้ท่อนที่มีความเรียบร้อย ผิวมันเรียบ จะได้ต้นแบบสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแบ่งดินแบบทูน

การแบ่งดินแบบทูน โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน หรือ 2 ซีก แบ่งกันตามความยาวของทูน โดยแบ่งครึ่งทูนจากแนวด้านบนตลอดรอบไปยังด้านล่าง โดยใช้ไม้ กว้าง 2 นิ้ว หนาตามความเหมาะสม กันตามเส้นแบ่งครึ่งรูปทูน ตลอดตามยาวรูปทูน

ขั้นตอนการทำแม่แบบทูน

วัสดุที่ใช้

1. เจลโคติต
2. แม่สีแดง
3. โมโนสไตรีน
4. อาซิโตน
5. ขี้ผึ้งแว็ค
6. น้ำยาถอดแบบ (P.V.A)
7. ใยแก้วอัดเป็นผืน เบอร์ 450
8. โคบ้อล
9. ตัวทำแข็ง
10. เรซิน

วิธีการทำแม่แบบทูนจักรยานเดินน้ำ

เมื่อได้ดินแบบพร้อมกับแบ่งดินแบบเป็น 2 ส่วน แล้ว ดำเนินการดังต่อไปนี้

- ใช้ผ้าจุ่มขี้ผึ้งแว็ค แล้วทาลงบนดินแบบ ซีกที่จะถอดก่อน โดยทาแล้วขัดให้ทั่วลูกทูน (ซีกที่จะถอดดินแบบ) แล้วขัดด้วยผ้าสาลีสะอาด ประมาณไม่ต่ำกว่า 3 เที้ยว
- จากนั้นใช้แปรงทาน้ำยาถอดแบบ (P.V.A) 1 เที้ยว ปล่อยให้แห้ง
- ผสมเจลโคติต กับ โคบ้อล (1-2%)

เจลโคติต + โคบ้อล (1-2%) + แม่สีแดง (15-20%) ส่วนผสมเจลโคติตดังกล่าวข้างต้น ปริมาณเท่ากับพื้นที่งาน เมื่อจะลงส่วนผสมบนผิวงาน ก็ต้องผสมตัวทำแข็งอีก 0.5-2% ไม่เกิน 4% จากนั้นคนให้เข้ากัน ทาบนดินแบบซีกที่ต้องการถอด ทาประมาณ 0.5 มม. ปล่อยให้แห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อแข็ง กิ่งใยแก้ว โดยปูใยแก้ว 1 ชั้น แล้วนำเรซินผสมตัวทำแข็ง ทาลงบนใยแก้ว ปลดปล่อยทิ้งให้แข็ง คอยนำมีดคัทเตอร์กีดตัดตามแบบที่กั้น ตอนเริ่มแข็งใหม่ ๆ เพราะว่าถ้าแข็งเต็มที่จะตัดไม่เข้า

- จากนั้นลงใยแก้ว พร้อมทาเรซิน ผสมตัวทำแข็งติดต่อกันอีก 4 ชั้น ทำติดต่อกันให้แข็งพร้อมกันทั้ง 4 ชั้น พร้อมกีดตัดตามแบบที่กั้นแบ่งครึ่งเช่นกัน จะได้แม่แบบ หนา 5 ชั้น ครึ่งซีกของท่อนจักรยานเหินน้ำ

เมื่อทำแม่แบบซีกที่หนึ่งเสร็จ แข็งพอที่จะถอดแบบไม้กั้นแบ่งครึ่งลูกของต้นแบบออก ก็ถอดหรือแบบไม้กั้นครึ่งลูกหรือครึ่งซีกออกได้โดยถอดหรือออกให้หมด แล้วก็ปฏิบัติขั้นตอนการถอดแม่แบบ เหมือนซีกที่ทำมาเช่นกัน คือ

- ซีกหรือครึ่งลูกอีกด้านหนึ่ง ทำความสะอาด พร้อมทั้งทาสีฟุ้งกึ่ง โดยทาแล้วขัดออก ไม่ต่ำกว่า 3 เทียว หรือ 3 ครั้ง

- ทาหน้ายาถอดแบบ (P.V.A) 1 เทียว แล้วปลดปล่อยทิ้งไว้ให้แห้ง

- ผสมเจลโค้ด จากการผสมเหมือนซีกแรก โดยผสมกับตัวทำแข็ง เพื่อทาเจลโค้ด คือ

เจลโค้ด + โคบอล + แมสซีแดง + ตัวทำแข็ง - ผสมให้เข้ากัน แล้วทาบนต้นแบบอีกซีกหนึ่ง ให้เจลโค้ดมีความหนา 0.5 มม. โดยประมาณ แล้วปลดปล่อยให้แข็ง

- ลงใยแก้ว หรือปูใยแก้ว 1 ชั้น พร้อมลงเรซิน โดยเรซินผสมตัวทำแข็ง แล้วปลดปล่อยชั้นแรกให้แข็ง พร้อมกีดด้วยคัทเตอร์ ส่วนเกินออก

- ลงใยแก้ว พร้อมลงเรซินผสมตัวทำแข็ง อีก 4 ชั้น โดยทำติดต่อกันทั้ง 4 ชั้น ปลดปล่อยให้แข็ง แล้วตัดกีดตามรูปร่าง รวมเป็น 5 ชั้น

จะได้แม่แบบที่แบ่งครึ่งซีกตามยาว 2 ซีก หนา 5 ชั้น ทั้ง 2 ซีก จากนั้นก็ใช้เครื่องขัดใบกระดาษทรายขัดแต่งแม่แบบให้เรียบ ไม่ให้มีรอยขรุขระบนแม่แบบงาน จากนั้น

- ใช้สว่าน เจาะรู ขนาด 2 1/2 หุน รอบปิกที่กั้นแบ่งครึ่งแบบ โดยเจาะให้รอบปิกทั้งหมด โดยแต่ละรูห่างกันประมาณ 10 ซม.

- แยกแม่แบบออกจากกัน จะได้แม่แบบ 2 ซีก โดยงานท่อน 1 ท่อน

- ตกแต่ง หรือขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ละเอียดที่สุด แล้วล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ ปลดปล่อยทิ้งให้แห้ง เพื่อพร้อมหล่อชิ้นงานต่อไป

หมายเหตุ การล้างเครื่องมือ เช่น แปรง ภาชนะ ฯลฯ ของการทำงานแต่ละครั้ง ใช้อาซิโตน ล้างทำความสะอาด ถ้าเจลโค้ดขึ้นเหนียว และเรซิน ขึ้นเหนียว ให้ใช้ โมโนสไตรน ใส่ละลายความขึ้นเหนียว

ขั้นตอนการทำงานทันตกรรมฟันน้ำ

เมื่อได้แม่แบบทั้ง 2 ซีกแล้ว ก็พร้อมที่จะหล่องานได้ต่อไป

วัสดุที่ใช้

1. เจลโค้ด
2. แม่สีขาว
3. โมโนสไตรน
4. อาซิโตน
5. ขี้ผึ้งแว็ค
6. น้ำยาถอดแบบ (P.V.A)
7. โยแก้วอัดฟัน เบอร์ 300
8. โยแก้วทอลอะเอ็ค เบอร์ 210
9. โคบอล
10. ผงทลคัม
11. คิวทำแข็ง
12. เรซิน

วิธีการหล่อชิ้นงานทันตกรรมฟันน้ำ

เมื่อได้ต้นแบบ 2 ซีก วางหงายทั้ง 2 ซีก ให้มันคง หรือให้หงายเพื่อหล่อชิ้นงาน

ต่อไป

- ลงขี้ผึ้งแว็ค บนแม่แบบให้ทั่วทั้ง 2 ซีก โดยขัดแล้วทาแล้วขัด ไม่ต่ำกว่า 3 ครั้ง ด้วยผ้าสำลีสะอาด

- ทาน้ำยาถอดแบบ (P.V.A) 1 ครั้ง ทิ้งไว้ให้แห้ง ทั้ง 2 ซีก

- เตรียมผสมเจลโค้ดดังนี้

เจลโค้ด + โคบอล (1-2%) + แม่สีขาว (15-20%) ยังไม่ผสมคิวทำแข็ง (0.5-2%)

- ผสมคิวทำแข็ง เมื่อต้องการใช้งาน คนให้ทั่ว แล้วทาลงในแม่แบบ ทั้ง 2 ซีก โดยทาบาง ๆ ด้วยแปรงเพื่อนำหนักจะได้เบา ปลดทิ้งให้แข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากบริษัทฯ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และข้อมูลไปยังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปูใยแก้ว 1 ครั้ง พร้อมทาเรซินผสมตัวทำแข็ง พร้อมปูใยแก้วทอละเอียดอีก 1 ครั้ง รวมเป็นเจลโค้ต 1 ชั้น ใยแก้วอัด 1 ชั้น ใยแก้วทอละเอียดอีก 1 ชั้น รวมเป็น 3 ชั้น ต่อ 1 ซีก เมื่อแข็งก็ตัดด้วยคัทเตอร์ ตามแนวแบ่งครึ่งทั้ง 2 ซีก

- นำผงทัลคัม ผสมเรซิน กวนให้ขึ้นเหนียวเข้ากัน นำมาป้ายประกบ 2 ซีก แม่แบบ ให้ชิ้นงานติดกัน โดยนำผงทัลคัมผสมเรซินที่กวนผสมเข้ากันให้ขึ้นแล้วผสมตัวทำแข็ง ป้ายรอยต่อของชิ้นงาน ตามรอยต่อแบ่งแม่แบบทั้ง 2 ซีก เมื่อป้ายทัลคัมผสมแล้วก็นำแม่แบบทั้ง 2 ซีก มาประกบกัน โดยใช้สลักน๊อต 2 1/2 ชุด ยาว 1 นิ้ว ร้อย ขึ้นให้แน่น เพื่อให้ชิ้นงานติดกัน ปลดออกทิ้งให้แห้ง 24 ชั่วโมง

- ถอดสลักออกให้หมด พร้อมทั้งแยกแม่แบบให้ออกจากกัน แต่ชิ้นงานข้างใน จะติดกันเป็นลูกทูน 1 ลูกกลม จะได้ทูนจักรยานเฟินน้ำ 1 ลูก

- เพื่อให้รอยต่อแข็งแรง จึงใช้ใยแก้ว ปูแนวรอยต่ออีก 1 ครั้ง พร้อมทาเรซิน ปลดปล่อยให้แข็ง แล้วขัดแต่งผิวให้เรียบร้อย ตลอดแนวรอยต่อทั้งลูกจะได้ทูน 1 ลูก สำหรับอีก 1 ลูก ก็ปฏิบัติหรือวิธีการทำเหมือนกับลูกแรกเช่นกัน

การติดตั้งรางยึดทูนกับตัวจักรยาน

รางยึดทูน ใน 1 ลูก จะมีอยู่ 8 จุด ดังนั้น 2 ลูก จะมี 16 จุด รางยึดแต่ละจุดจะยาว 10 ซม. โดยจะมีขายึดเกาะกับทูนอีกข้างละ 5 ซม. รวมยาวทั้งหมด 20 ซม. จุดที่ติดตั้งรูป โดยใช้อลูมิเนียมกลม ϕ 1 นิ้ว ตัดตามขนาดดังกล่าว



รางยึดทูนกับโครงจักรยาน

รูปที่ 3.2 แสดงตำแหน่งติดตั้งรางยึดทูน

การเกาะยึดรางยึดท่อนกับตัวท่อน

เมื่อวางตำแหน่งได้แล้ว ก็ใช้ทลคัมผสมกับเรซิน แล้วนำตัวทำแข็งผสม มาป้าย เกาะวางยึดท่อนให้ติดทุกจุด เพื่อให้ยึดแน่นกับท่อน จากนั้น

- หุ้มด้วยใยแก้วทับอลูมิเนียมที่ทำรางยึดทุกจุด โดยใช้เรซินทาทัбыใยแก้ว เรซิน ต้องผสมตัวทำแข็ง หุ้มใยแก้ว และทาเรซินผสมตัวทำแข็ง ทุก ๆ จุด ทั้งหมด 2 ลูก 16 จุด ปลอ่ยทิ้งให้แห้ง

- เมื่อแข็งดีแล้ว ก็ขัดด้วยเครื่องขัดให้เรียบ ไม่ให้มีรอยต่อ รอยหุ้มไว้ ขัดให้ กลมกลืนกับท่อน

- นำมาโป๊วแต่งท่อนด้วยสีโป๊ว ตรงจุดที่ยังไม่เรียบ พร้อมทั้งขัดด้วยกระดาษทราย น้ำ เพื่อจะพ่นสีต่อไป

การพ่นสี

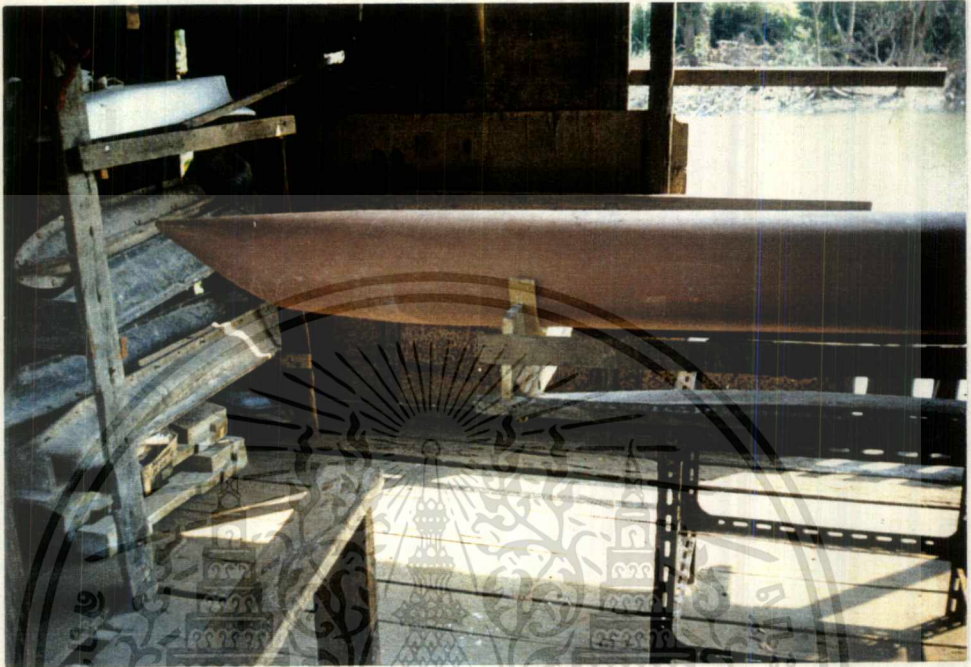
นำท่อน 2 ลูก หรือแขวนไว้ เพื่อจะพ่นสี โดยปฏิบัติดังนี้

- พ่นสีรองพื้นท่อน ด้วยสีรองพื้น 1 เทียว ปลอ่ยให้แห้ง

- ตรวจสอบจุดไหน ตำแหน่งใด เป็นจุดที่เป็นหลุม เป็นบ่อ ก็โป๊ว แต่ง แล้วจัดให้ เรียบร้อย

- พ่นสีน้ำมัน สีขาว คือ สีงานจริง พ่นให้ทั่วทั้ง 2 ลูก ทั้งให้แห้งสนิท

- พ่นซ้ำเป็นเทียวที่ 2 ให้ทั่ว ทั้ง 2 ลูก เช่นกัน การพ่นแต่ละครั้ง พ่นซ้ำ ๆ บาง ๆ ให้ทั่ว ทั้งไว้ให้แห้งสนิท



รูปที่ 3.3 ต้นแบบที่ได้จากการสร้าง



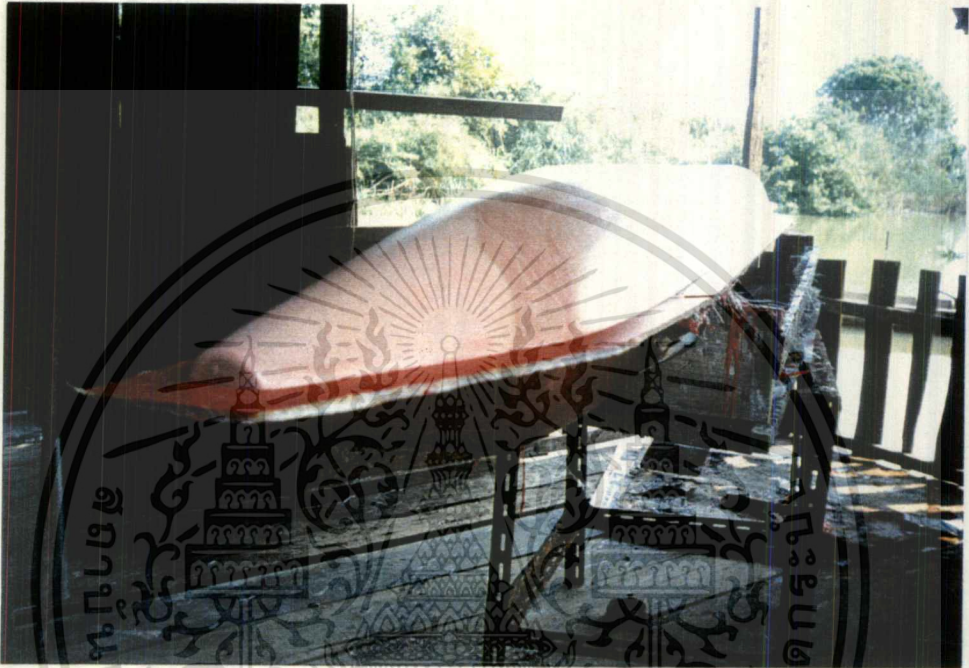
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดรูปที่ 3.4 ต้นแบบของทุน ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



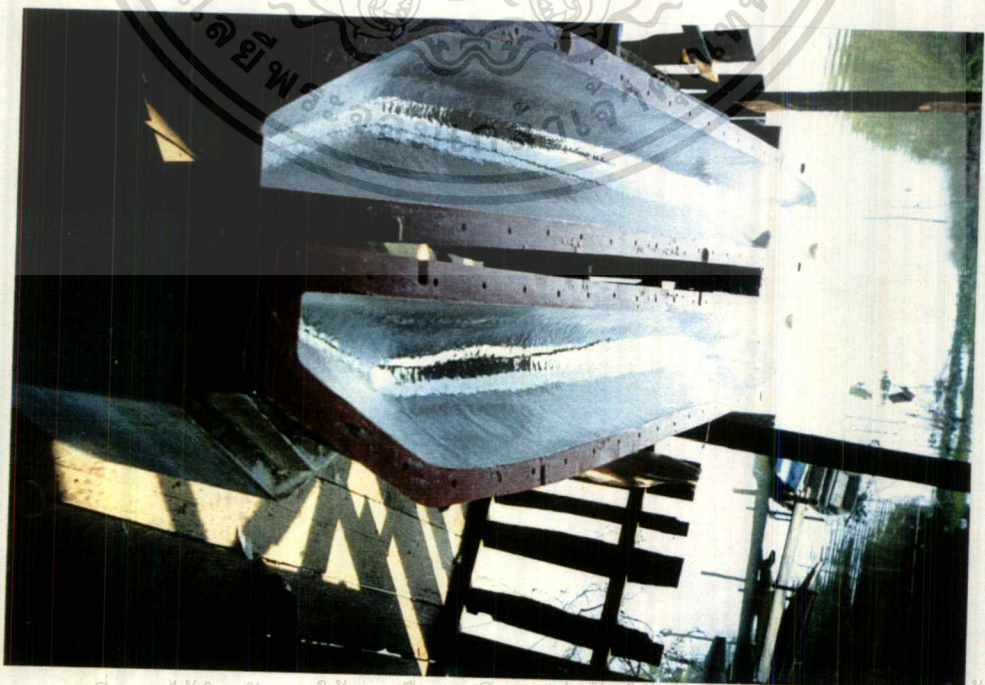
รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของต้นแบบ



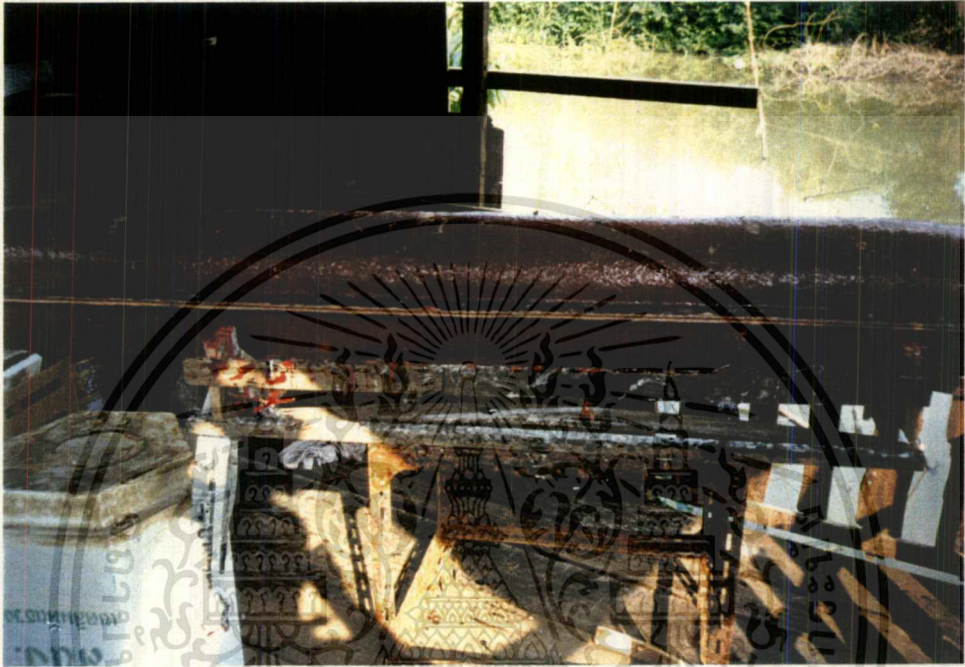
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงรูปที่ 3.6 แสดงการสร้างแม่แบบของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แม่แบบที่ได้จากต้นแบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดรูปที่ 3.8 แม่แบบที่เสร็จสมบูรณ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงการสร้างตัวท่อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดรูปที่ 3.10 ตัวท่อนที่เสร็จสมบูรณ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.1.2. ขั้นตอนการสร้างฟอยล์ของจักรยานเดินน้ำ

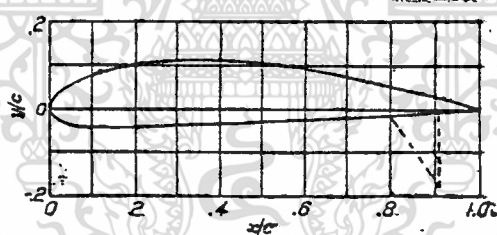
ฟอยล์หน้า

วัสดุที่ใช้

1. ไม้ระยมหอม ขนาด 1" x 4 x 70 cm.
2. เรซินผสมโคบ็อล
3. คั่วทำแข็ง
4. ใยแก้วสานละเอียด เบอร์ 210
5. บานพับขนาด 1" 5 อัน

วิธีทำ

ไสไม้ให้ได้ขนาดหนา 1.5 ซม. กว้าง 9 ซม. ยาว 63.8 ซม. โดยไสแต่งส่วนหน้าให้โค้งมนทั้งด้านล่างและด้านบน ส่วนด้านหลังให้ทำการไสด้านบนให้ความหนาของด้านหลังเสมอด้านล่าง โดยในการไสต้องไสให้หน้าตัดของฟอยล์เป็นแบบ NACA 4415 ดังรูป



รูปที่ 3.3 หน้าตัดฟอยล์แบบ NACA 4415

จากนั้น ตัดด้านหลังออกเพื่อทำเป็นแฟลป โดยความยาวหน้าตัดของส่วนที่จะตัดออกเพื่อทำเป็นแฟลปนั้นคิดเป็น 25% ของความยาวหน้าตัดทั้งหมด ดังนั้นส่วนที่ตัดออกจะยาวประมาณ 2.5 ซม. โดยในการตัดจะต้องตัดตลอดความยาวของฟอยล์ทั้งหมด เสร็จแล้วขัดแต่งให้เรียบร้อยทั้ง 2 ชั้น จากนั้นหุ้มด้วยใยแก้วสานละเอียด เบอร์ 210 ตลอดทั้ง 2 ชั้น โดยใช้เรซินผสมโคบ็อลและผสมกับคั่วทำแข็ง ทาบนใยแก้วสานละเอียดแล้วทิ้งไว้ให้ส่วนผสมที่ทาแข็ง โดยในการทาส่วนผสมนั้นจะทาทัບประมาณ 2 ชั้น เพื่อให้เรซินปิดทัບใยแก้วให้สนิทและเรียบเสมอกันตลอดทั้งอัน หลังจากนั้นใช้กระดาษทรายน้ำเบอร์ 60 และ 150 ขัดชิ้นงานให้เรียบเพื่อเตรียมพ่นสีต่อไป

ฟอยล์หลัง

วัสดุที่ใช้ เหมือนกับฟอยล์หน้า

วิธีทำ

ตัดไม้ให้ได้ขนาดตามรูป จากนั้นไสไม้ที่ตัดไว้แล้วให้มีหน้าตัดแบบ NACA 4415 แล้วขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 60 ให้เรียบ เพื่อเตรียมหุ้มใยแก้ว โดยในการหุ้มด้วยใยแก้วนั้น จะต้องหุ้มทั้ง 2 ด้าน แล้วใช้เรซินผสมโคบอลต์ และตัวทำแข็ง ทาบนใยแก้วสานละเอียดประมาณ 2 ชั้น เพื่อให้ส่วนผสมที่ทาไว้ปิดทับใยแก้วสนิท และเรียบเสมอกัน จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อชิ้นส่วนแห้งสนิทดีแล้ว ให้ใช้กระดาษทรายเบอร์ 60 และ 150 ขัดให้เรียบเพื่อเตรียมพ่นสีต่อไป

การพ่นสีฟอยล์หน้าและฟอยล์หลัง

นำชิ้นส่วนฟอยล์หน้าและฟอยล์หลังที่ทำเสร็จเรียบร้อยแล้วมาทำความสะอาด แล้วพ่นสีจริงด้วยสีขาวประมาณ 2 ครั้ง โดยไม่ต้องพ่นสีรองพื้น จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้ง

3.1.3. ขั้นตอนการสร้างสตรีทของจักรยานمينน้ำ

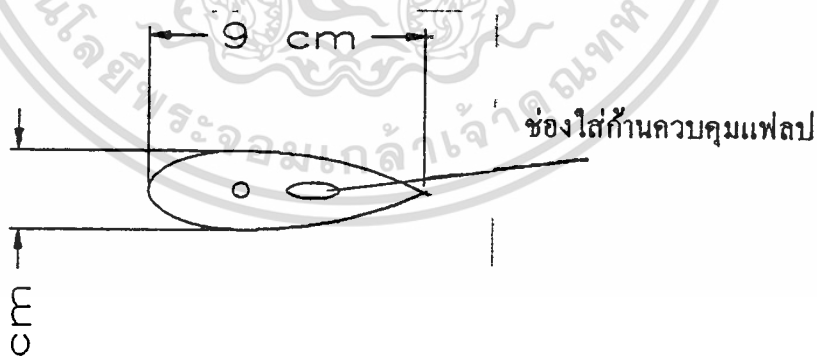
สตรีทหน้า	ขนาด	หนา	2.5	ซ.ม.
	กว้าง		9	ซ.ม.
	สูง		40	ซ.ม.

วัสดุที่ใช้

1. เหล็กกลม ϕ 3 หล ยาว 50 ซ.ม.
2. เรซิน ผสมโคบอล
3. ตัวทำแข็ง
4. โยแก้วสานละเอียด เบอร์ 450
5. ผงทลคัม
6. โฟม PVC

วิธีทำ

นำโฟม PVC มาตัดให้ได้ตามขนาดดังกล่าวข้างต้น โดยจะแบ่งให้ด้านหนึ่งกลมมน และอีกด้านหนึ่งแหลมเรียว ตามรูป



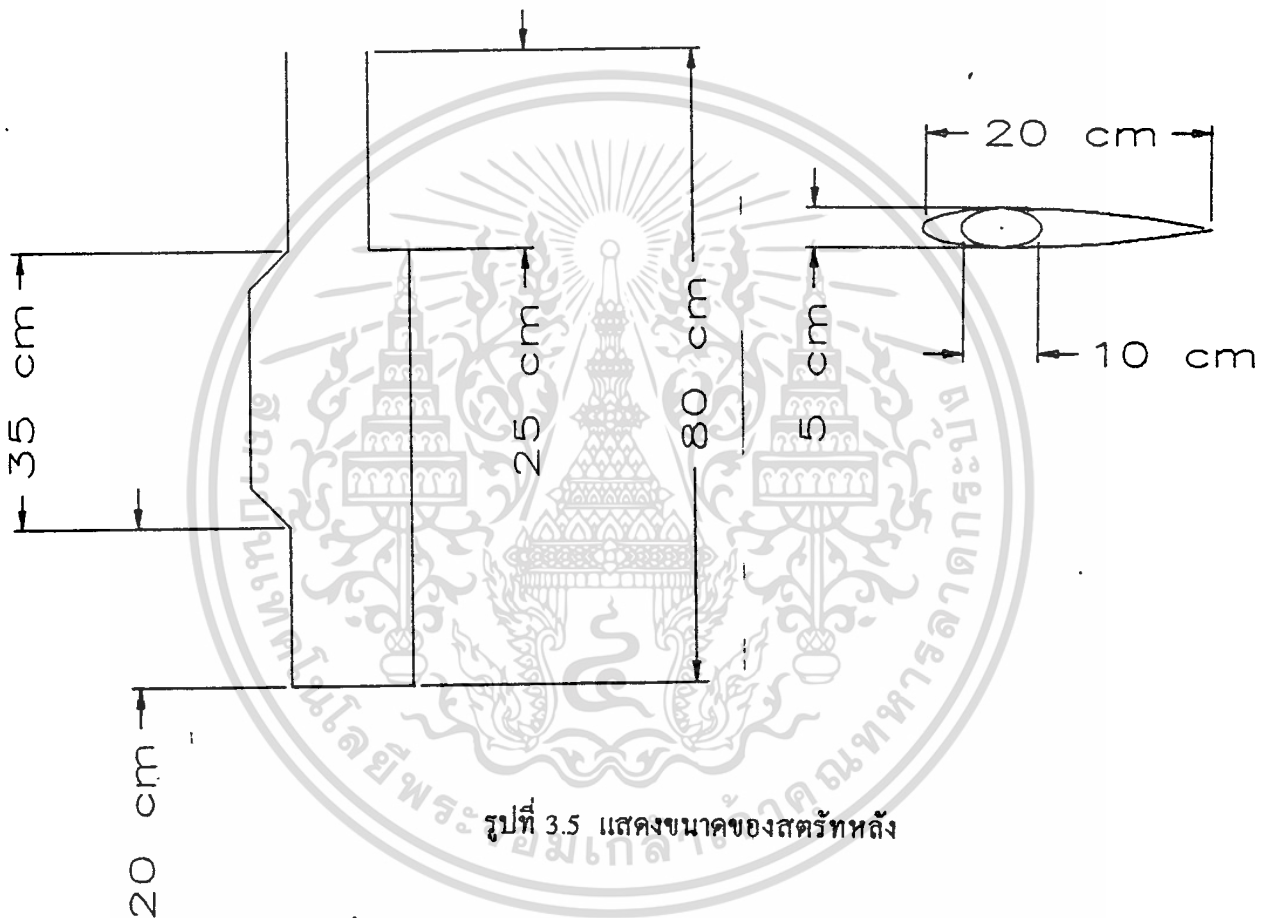
รูปที่ 3.4 แสดงหน้าตัดของสตรีทหน้า

นำโฟม PVC ที่ตัดตามขนาดมาเจาะรูขนาด ϕ 3 หล และช่องสำหรับใส่ก้านควบคุมแฟลป จากนั้นขัดแต่งโฟมให้เรียบ หุ้มด้วยโยแก้วสานละเอียด เบอร์ 450 จากนั้นใช้ส่วนผสมเรซิน ผสมโคบอล และตัวทำแข็งทาให้ทั่ว 1 ชั้น แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง เมื่อชิ้นงานแห้งแล้ว ใช้ส่วนผสมของเรซินทาแต่งทับโยแก้วให้เรียบอีกครั้ง แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นใช้กระดาษทรายน้ำ เบอร์ 60 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ จังหวัดปทุมธานี
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

150 ซัดให้เรียบ แล้วจึงทำความสะอาด จากนั้นพ่นด้วยสีขาวประมาณ 2 ครั้ง ทิ้งไว้ให้แห้ง ก็จะได้
สตรัทหน้าที่เสร็จสมบูรณ์

สตรัทหลัง



รูปที่ 3.5 แสดงขนาดของสตรัทหลัง

วัสดุที่ใช้

1. ไม้แบบ ขนาด 2" x 8" x 80 ซม.
2. เรซินผสมโคบอลต์
3. ตัวทำแข็ง
4. ใยแก้วสานละเอียดเบอร์ 450
5. เจลโค้ตผสมโคบอลต์
6. แม่สีขาวและแดง
7. อาชีโทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. แวกซ์ผึ้ง

10. น้ำยาลอกแบบ P.V.A.

วิธีทำ แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน

1. การทำต้นแบบ
2. การทำแม่แบบ
3. การหล่อชิ้นงาน

การทำต้นแบบ

ตัดแต่งไม้ให้ได้ขนาดดังรูป โดยไม้ที่ตัดได้จะถือว่าเป็นต้นแบบ จากนั้นนำผงทัลคัมผสมกับเรซิน, โคบอล และตัวทำแข็ง นำส่วนผสมที่ได้มาแต่งผิวไม้ที่เป็นต้นแบบให้เรียบตลอดทั้งอัน จากนั้นขัดแต่งด้วยกระดาษทรายเบอร์ 60 และกระดาษทรายน้ำเบอร์ 150, 320 และ 600 ให้เรียบยิ่งขึ้น และเมื่อได้ชิ้นงานที่เรียบแล้วนำมาแบ่งเป็น 2 ซีก ตามความยาว เพื่อใช้สำหรับทำแม่แบบต่อไป

การทำแม่แบบ

นำต้นแบบที่แบ่งเป็น 2 ซีก ตามความยาวของชิ้นงานมาทาคัวยี่ผึ้งแว็ค โดยใช้ผ้าทาแล้วขัดออกประมาณ 3 ครั้ง จากนั้นทาน้ำยาลอกแบบ P.V.A. ให้ทั่วต้นแบบทั้ง 2 ซีก แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง นำเจลโคคัสผสมโคบอล, ตัวทำแข็ง และแม่สีแดง ทาลงบนต้นแบบแต่ละซีก แล้วทิ้งไว้ให้แข็ง จากนั้นนำใยแก้วสานเบอร์ 450 ทาคัวย่น้ำยาเรซินผสมโคบอลและตัวทำแข็ง 1 ชั้น แล้วตัดแต่งให้เป็นตามแบบ ทิ้งไว้ให้แข็งตัว แล้วจึงนำใยแก้วสานเบอร์ 450 ทาคัวย่น้ำยาเรซินอีก 3 ชั้น แล้วทิ้งไว้ให้แข็ง จากนั้นตัดแต่งให้เรียบร้อยตามต้นแบบ แล้วลอกแบบออกมา ก็จะได้เป็นแม่แบบที่พร้อมที่จะหล่อเป็นชิ้นงาน

การหล่อชิ้นงาน

ขัดแม่แบบด้วยกระดาษทรายน้ำเบอร์ 600 ให้เรียบ แล้วล้างทำความสะอาดด้วยน้ำทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นลงยี่ผึ้งแว็คที่แม่แบบทั้ง 2 ซีก แล้วขัดออก ทำประมาณ 3 ครั้ง เสร็จแล้วลงน้ำยาลอกแบบ P.V.A. 1 ครั้ง แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง แล้วทาเจลโคคัสผสมโคบอล และตัวแข็งทาลงแม่แบบทั้ง 2 ซีก หนาประมาณ 0.5 มิลลิเมตร จากนั้นปูด้วยใยแก้วเบอร์ 450 แล้วทาคัวย่น้ำยาเรซินผสมโคบอล และตัวทำแข็ง 1 ชั้น ทิ้งไว้ให้แห้ง แล้วตัดแต่งให้เรียบร้อยทั้ง 2 ซีก จากนั้นนำใย

แก้วเบอร์ 450 และส่วนผสมเรซินมาทาซ้ำอีก 2-3 ชั้น ติดต่อกัน แล้วตัดแต่งให้เรียบร้อย ทิ้งไว้ให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อแห้งแล้วถอดชิ้นงานออกจากแม่แบบทั้ง 2 ซีก แล้วนำมาประกอบกับโครงสร้างของสตรัทหลังด้วยน็อต โดยจะยึดรอยต่อของชิ้นงานด้วยไขแก้ว และทำด้วยส่วนผสมเรซิน เพื่อกันน้ำเข้า จากนั้นขัดแต่งชิ้นงานด้วยกระดาษทรายเบอร์ 60 และกระดาษทรายน้ำเบอร์ 150 ให้เรียบตลอดชิ้นงาน แล้วพ่นด้วยสีขาวประมาณ 2 ชั้น ก็เสร็จเรียบร้อย



3.1.4. การออกแบบโครงจักรยานเดินน้ำ

ในการออกแบบโครงสร้างจักรยานเดินน้ำนั้น มีสิ่งที่ควรพิจารณาในอันดับแรกคือ

1. น้ำหนักของวัสดุ และการรับน้ำหนัก
2. หน้าที่ยึดส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน
3. การออกแบบส่วนควบคุม และการส่งกำลัง

1. น้ำหนักของวัสดุ และการรับน้ำหนัก น้ำหนักวัสดุที่ใช้ควรจะมีน้ำหนักเบาที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่เนื่องจากผลของราคา จึงทำให้ต้องเปลี่ยนไปใช้วัสดุที่มีราคาถูกลง และสามารถหาได้ง่าย ในเรื่องของการรับน้ำหนักนั้น ตัวโครงจะต้องรับน้ำหนักของคนที่จะขี่ได้ โดยที่วัสดุจะไม่เกิดการบิดงอหรือบิดงอ อีกทั้งโครงนี้จะต้องถูกสรีระในการขี่อีกด้วย

2. หน้าที่ยึดส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน โดยที่ท่อน ฟอยล์ และสตรัท ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง ระบบส่งกำลัง ระบบบังคับเลี้ยว ต่างต้องได้รับการยึดติดกับโครง ซึ่งจะมีรูปแบบการยึดที่แตกต่างกัน

3. การออกแบบส่วนควบคุม และระบบส่งกำลัง ในการออกแบบส่วนควบคุมน้ำหนักจะต้องออกแบบให้ผู้ขี่ สามารถที่จะควบคุมตัวจักรยานเดินน้ำได้ง่ายเป็นสำคัญ และส่วนของระบบส่งกำลังนั้นจะต้องมีการออกแบบให้จุดที่เชื่อมยึดให้แข็งแรง เพราะจุดนี้เมื่อฟอยล์หลังทำงานแล้ว จุดนี้จะรับน้ำหนักของผู้ขี่โดยตรง

การออกแบบ

1. การออกแบบโครง จะใช้การออกแบบจากโครงจักรยานเป็นหลัก โครงจักรยานที่ใช้เป็นโครงจักรยานเสือหมอบ แล้วจึงทำการออกแบบให้เป็นก้านยื่นออกไป เชื่อมต่อกับส่วนอื่น ๆ ซึ่งเราจะใช้เหล็กหนา 1 นิ้ว เพื่อทำเป็นโครงสร้าง
2. การออกแบบโครงกับตัวท่อน - โครงที่ออกแบบแล้วจะทำการออกแบบในส่วนที่ไว้พาดกับท่อน โดยจะทำการออกแบบ จุดที่รับ นน. ของท่อน แล้วจึงทำการออกแบบหุรับน้ำหนักของท่อนต่อไป
3. การออกแบบเพื่อรับน้ำหนักของสตรัทและฟอยล์หลัง ส่วนนี้จะมีน้ำหนักมาก จึงต้องนำส่วนนี้มาพิจารณาร่วมกับขั้นตอน ข้อ 1 และ 2 อีกครั้ง แต่เนื่องจากเรายังไม่ทราบค่าของน้ำหนักในส่วนนี้ จึงต้องออกแบบให้ตัวโครงสามารถเลื่อนไปมาได้กับท่อน เพื่อหาจุด C.G. ที่เหมาะสมในการปฏิบัติงานจริง

4. การออกแบบการเชื่อมยึดกับส่วนต่าง ๆ

การยึดกับท่อน ตัวท่อนที่สร้างขึ้นนั้นจะทำหู เพื่อให้ยึดต่อตามจุดต่าง ๆ และท่อที่ถูกยึดในท่อน จะใช้ลวดมึนนิยมนเพื่อให้มีน้ำหนักเบา และส่วนนี้จะรับน้ำหนักของเหล็กที่พาดจากตัวโครงที่ส่งมา รูปแบบการยึดจะใช้ยูแคลป์ สองตัวยึดกับแผ่นเหล็กทำหน้าที่ยึดในแนวกากบาท

การยึดกับระบบส่งกำลัง เพื่อใช้ส่งกำลังจากขาปั่นไปยังใบจักร จะมีก้านเหล็กขนาด 4 นิ้ว 2 เส้น ในส่วนของโครงจักรยาน ซึ่งจะมีช่วงว่างไว้วางห้องแบร์ริง

การยึดกับสตรัทและฟอยล์หน้า ในส่วนโครงที่ยื่นไปด้านหน้า จะทำคอเพื่อยึดกับสตรัท และฟอยล์หน้า และยังเป็นตัวควบคุมทิศทางของจักรยานเดินน้ำด้วย

การยึดกับสตรัทและฟอยล์หลัง โดยที่จะทำโครงคิงลงไปยังห้องเพลาด้านล่าง แล้วจะเป็นที่ยึดของสตรัทและฟอยล์หลัง

5. ทำการวาดและแก้ไขแบบอีกครั้ง เพื่อทำการสร้างชิ้นงานจริง

การสร้าง

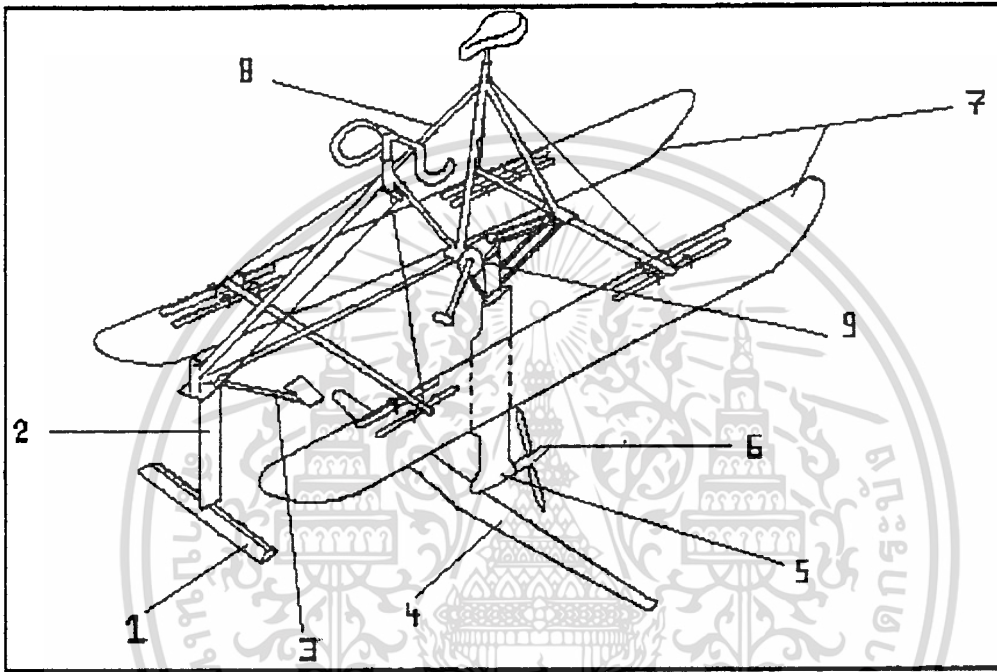
ในการสร้างจริง จะใช้โครงจักรยาน แล้วทำการเชื่อมต่อส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน โดยใช้เหล็กท่อกกลม ขนาด 1 นิ้ว ตามแบบที่ได้ทำไว้ และจะใช้เหล็กขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อย เพื่อเชื่อมในส่วนบังคับเลี้ยวด้านหน้า และคอหลังที่ไว้สอดเหล็กพาดท่อนด้านหลัง แล้วจึงทำการติดตั้งระบบส่งกำลัง หลังจากนั้น ก็จะทำการยึดติดกับท่อน โดยใช้ ยู แคลมป์ แล้วใช้สลึงยึดระหว่างคอหน้าได้แฮนด์คนขับ โดยยึดลงไปยังตัวท่อน ทั้ง 2 ข้าง และจะทำการเชื่อมยึดจากบริเวณไค้ที่นั่งไปยังท่อนด้านหลัง ทั้ง 2 ข้าง และจึงนำสลึงอีก 2 เส้น เชื่อมยึดกับส่วนบังคับเลี้ยวด้านหน้า เพื่อให้สามารถควบคุมทิศทางได้

3.1.5. การสร้างใบจักร

ในการคำนวณหาขนาดของใบจักร ได้ปรากฏผลว่า เราไม่สามารถใช้กราฟเส้นโค้งความสัมพันธ์ของใบจักร WAGENINGEN B-SERIES มาประกอบในการคำนวณได้ เนื่องจากจักรยานแผ่นน้ำเป็นพาหนะทางน้ำที่มีลักษณะแตกต่างจากพาหนะทางน้ำโดยทั่วไป จึงไม่ปรากฏค่าในกราฟ นั่นก็หมายความว่า ใบจักรมาตรฐานที่มีการผลิตโดยทั่วไปไม่สามารถใช้กับจักรยานแผ่นน้ำนี้ได้ เราจะต้องใช้ใบจักรซึ่งหล่อขึ้นเป็นพิเศษ โดยที่เราต้องกำหนดรายละเอียดของใบจักร เช่น Diameter, P/D, RPM, A_g/A_o , Blade No, Open Water Efficiency, BHP required เพื่อส่งให้ผู้ผลิตทำการผลิตใบจักรให้ได้ตามคุณสมบัติที่เราต้องการต่อไป

ซึ่งในส่วน of ใบจักรนี้ ก็ได้รับการสนับสนุนจากกรมอุทกหารเรือ ในการให้คำแนะนำและเอื้อเพื่อ ใบจักรที่จะสามารถให้ประสิทธิภาพในการทำงานแก่จักรยานแผ่นน้ำได้

3.2. การประกอบจักรยานเฟินน้ำ



ส่วนประกอบที่สำคัญของจักรยานเฟินน้ำ

- | | |
|-------------------|-----------------------|
| 1. ฟอยล์หน้า | 6. ใบจักร |
| 2. สตรัทหน้า | 7. ท่อน |
| 3. ก้านควบคุมแฟลป | 8. โครงจักรยานเฟินน้ำ |
| 4. ฟอยล์หลัง | 9. ระบบส่งกำลัง |
| 5. สตรัทหลัง | |

การประกอบจักรยานเฟรนน้ำ

ก่อนอื่นเราจะมาทำความรู้จักกับส่วนประกอบต่างๆ ดังรูป

1. โครง
2. ท่อน
3. ฟอยล์และสตรัทหน้า
4. ฟอยล์และสตรัทหลัง
5. ระบบส่งกำลัง
6. ไบจักร

ในการประกอบส่วนต่างๆเข้าด้วยกัน จำเป็นต้องมีขั้นตอนในการประกอบหรือการ
สร้างชิ้นงานขึ้นมา เนื่องจากมีอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องอยู่หลายชิ้น เราจึงแบ่งขั้นตอนการประกอบชิ้น
ส่วนดังนี้

1 สร้างส่วนประกอบต่างๆขึ้นมาก่อน

1.1 สร้างส่วนหน้า(ส่วนสตรัท,ฟอยล์,แฟลปด้านหน้า) โดยจะทำการสร้างก้าน
และห้องควบคุมแฟลป แล้วทำการหุ้มสตรัท จากนั้นจึงทำการยึดติดกับฟอยล์

1.2 สร้างส่วนระบบส่งกำลัง ในส่วนระบบส่งกำลังจำเป็นต้องแข็งแรงสูง เราจึง
สร้างติดกับโครงให้แข็งแรง โดยเราจะทำการสร้างห้องเกียร์เพื่อเพิ่มอัตราทดและปรับกำลัง โดย
จะส่งลงไปยังเพลาต่างได้ด้วยการสร้างก้านจากโครงไปยึดกับห้องเพลาโดยตรง

1.3 สร้างท่อน ในการสร้างท่อน เราจะต้องทำการสร้างต้นแบบ เพื่อทำแม่แบบ
หลังจากนั้นทำการหล่อชิ้นงานจากแม่แบบและตกแต่งให้ผิวเรียบและสร้างหูไว้รองรับโครง

1.4 โครง ทำการสร้างโครงเพื่อให้รับกับอุปกรณ์ต่างๆตามความเหมาะสม และ
ใช้โครงจักรยานเพื่อให้ถูกตามหลักสรีระ

2 ประกอบส่วนต่างๆเข้าด้วยกัน โดยเน้นที่การประกอบเข้ากับตัวโครงเป็นหลัก

2.1 การประกอบส่วนหน้า(ส่วนสตรัท,ฟอยล์,แฟลปด้านหน้า) จะนำก้านควบคุม
การเลี้ยวมาทำการติดกับติดกับส่วนหน้าของโครงคล้ายคอจักรยาน เพื่อผลการควบคุมทิศทาง

2.2 การหุ้มสตรัทและติดฟอยล์หลัง

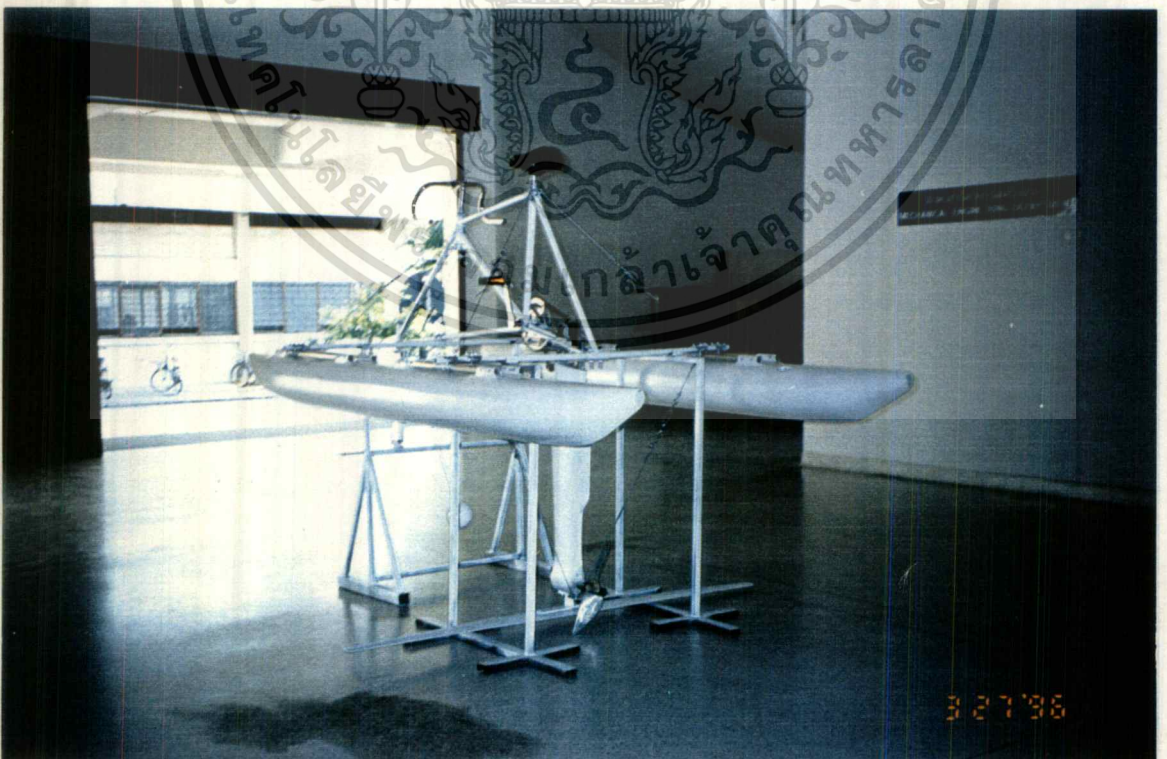
2.3 การประกอบท่อนเข้ากับโครง จะใช้รูปการยึดที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ โดยเรา
จะใช้ยูแคลมป์เป็นตัวจับยึด

3 หลังจากประกอบในขั้นตอน 1 และ 2 จะต้องทำการแก้ไขให้เหมาะสมในแต่ละส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
อื่นๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

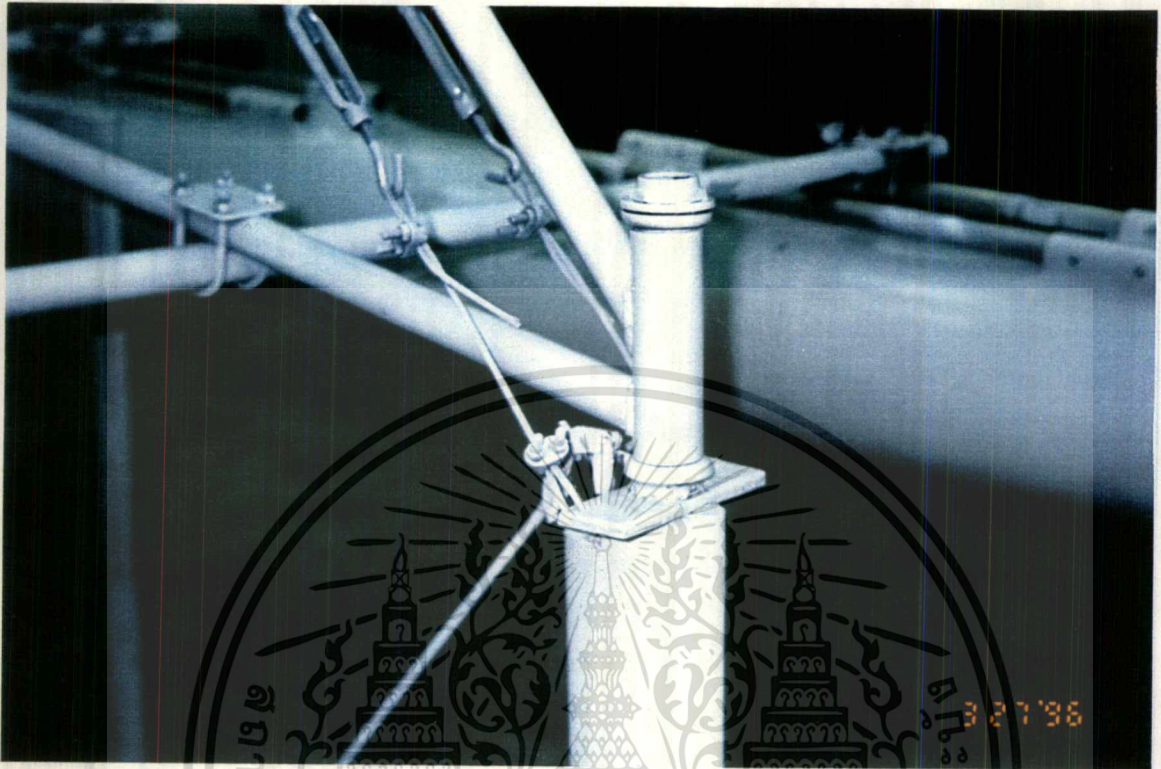


รูปที่ 3.6 จักรยานเดินน้ำด้านหน้า

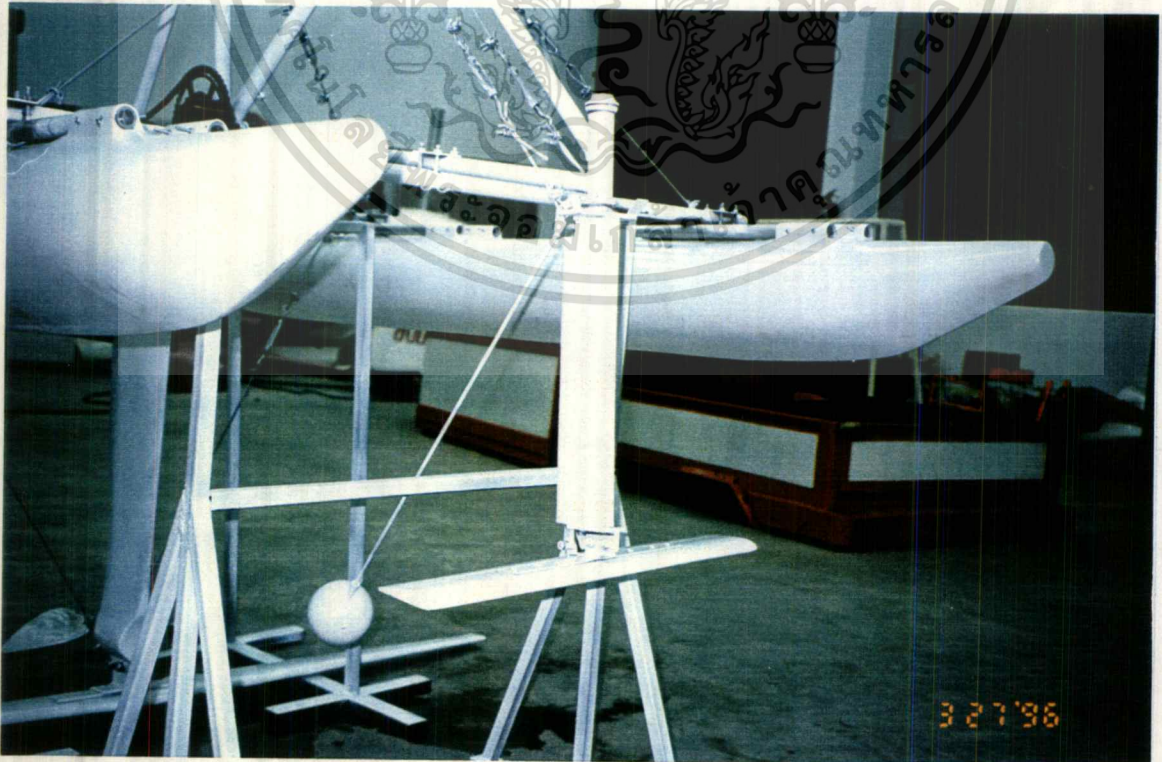


รูปที่ 3.7 จักรยานเดินน้ำด้านหลัง

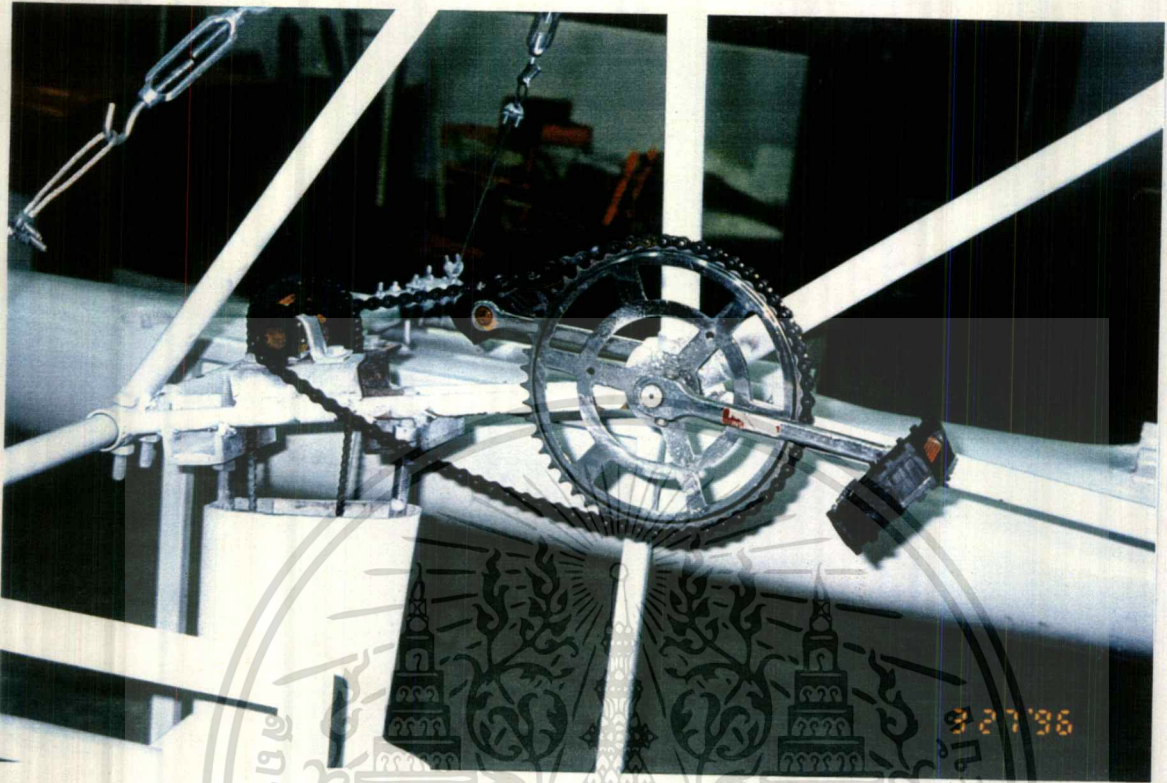
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



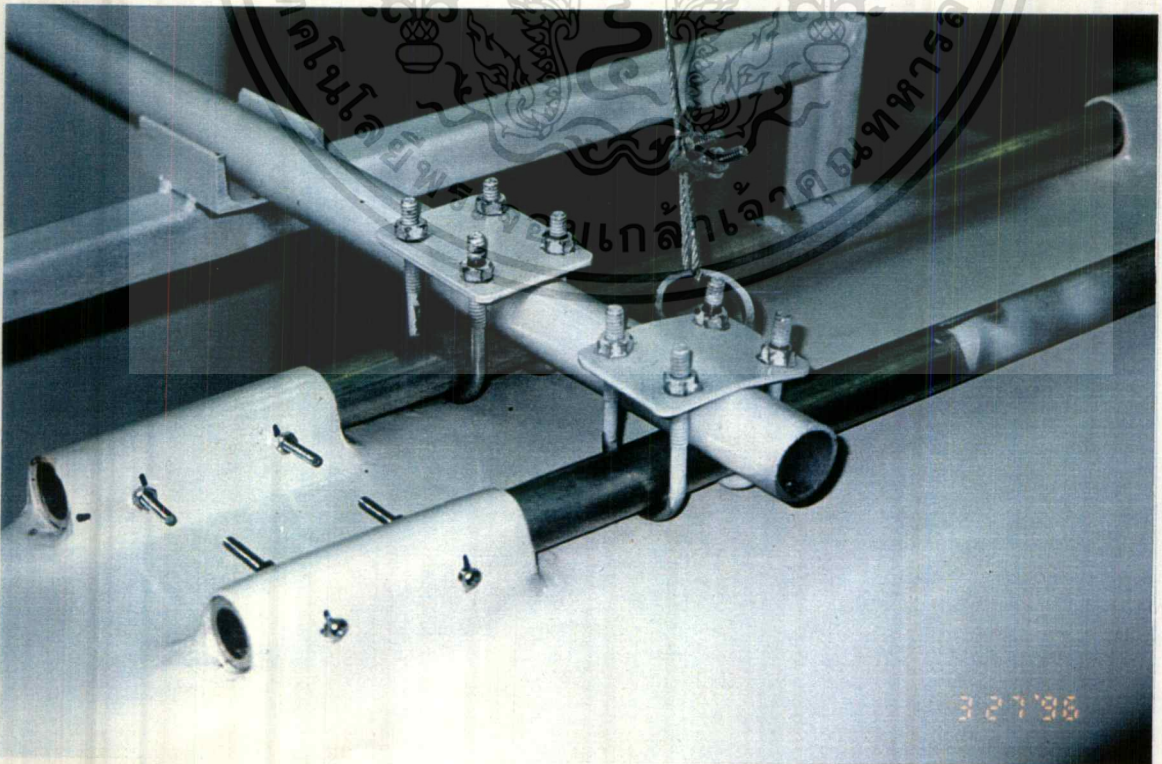
รูปที่ 3.8 แสดงส่วนบังคับใบ



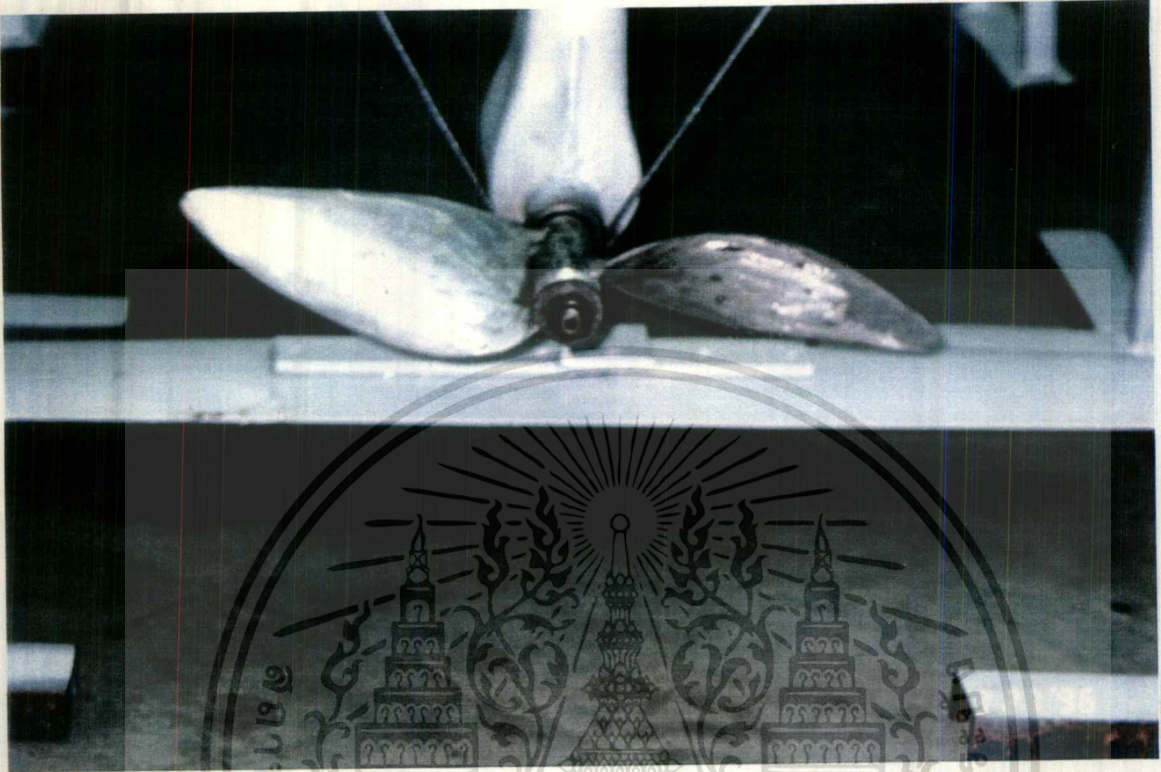
เอกสารนี้เป็นรูปที่ 3.9 แสดงส่วนของสตรัทหน้า ฟอยล์หน้า และก้านควบคุมแฟลป์ ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



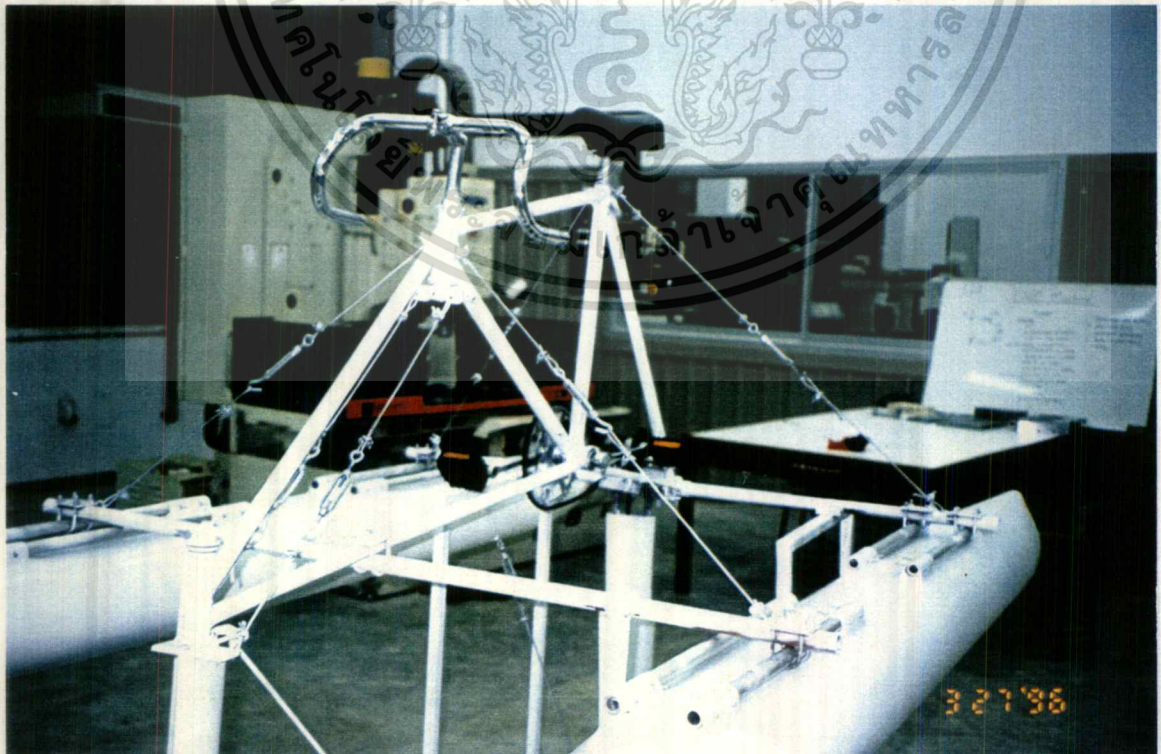
รูปที่ 3.10 แสดงระบบส่งกำลัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 3.11 แสดงการยึดโครงติดกับท่อน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 ใบจักร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ที่ 3.13 แสดงการติดตั้งสลิงที่โครงจักรยาน่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดสอบ

4.1 การทดสอบ

ข้อมูลที่ต้องการ

1. ความเร็วของจักรยานผิวน้ำ
2. ข้อมูลต่างๆเกี่ยวกับการขับเคลื่อน
 - 2.1 วงเลี้ยวแคบสุดของจักรยาน
 - 2.2 ระยะจมของตัวจักรยาน ทั้งขณะที่มีคนปั่นและไม่มีคนปั่น

อุปกรณ์การทดสอบ

ผู้ทดสอบควรมีสภาพร่างกายแข็งแรง เพราะต้องอาแรงปั่นจักรยานมากพอสมควรอย่างต่อเนื่อง น้ำหนักคนไม่ควรเกิน 60 กิโลกรัม บริเวณที่จะทำการทดสอบต้องมีเนื้อที่กว้างขวางเพียงพอ น้ำลึกไม่ต่ำกว่า 1.2 เมตร ไม่มีวัสดุ ห่อ หรือสิ่งกีดขวางใดๆทั้งบนผิวน้ำและใต้น้ำ

อุปกรณ์ต่างๆมีดังนี้

1. จักรยานผิวน้ำ
2. สายวัดและตลับเมตร
3. นาฬิกาจับเวลา
5. ชูชีพ
6. กล้องถ่ายรูป

เนื่องจากสถานที่ทดสอบคือบริเวณสระน้ำหน้าอาคารคณะบดีมีระดับกั้นน้ำลึกไม่เพียงพอต่อการทดสอบ คือ เมื่อนำจักรยานผิวน้ำลงทำการทดสอบแล้วไบจกรจะไม่สามารถทำงานได้เนื่องจากติดกั้นสระ ดังนั้นการทดสอบที่เตรียมไว้จึงไม่สามารถทำได้เพราะเหตุว่าจักรยานผิวน้ำไม่สามารถขับเคลื่อนได้ จึงต้องเปลี่ยนการทดสอบเป็น

1. ทดสอบความสมดุลของตัวจักรยาน
2. ทดสอบระยะกั้นน้ำลึกของตัวจักรยาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดสอบ

1. การทดสอบความสมดุลย์ของตัวจักรยาน

ในการทดสอบใช้ผู้ขี่ที่มีน้ำหนัก 55 kg. ขึ้นขี่จักรยานโดยการเหยียบปั่นเพียง 1 ทวน เพื่อที่จะขึ้น ผลปรากฏว่า จักรยานเอนน้ำสามารถรักษาสถิตได้อยู่ในขั้นดีมาก โดยมีระยะกินน้ำลึกของทวนที่เหยียบอยู่ที่ระยะประมาณ 15.3 cm. อีกทั้งเมื่อขึ้นขี่แล้วจักรยานจะอยู่ในสภาวะที่สมดุลย์โดยไม่มีการโน้มเอียงไปข้างหน้าหรือข้างหลัง

ถ้ามีการเปลี่ยนผู้ขี่ให้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเป็น 60 kg. ขึ้นไป ซึ่งในการทดสอบจะใช้ผู้ขี่ที่มีน้ำหนัก 62 kg. พบว่า ในการขึ้นขี่โดยการเหยียบปั่นเพียง 1 ทวน จักรยานเอนน้ำจะเริ่มมีการเสียสมดุลย์คือ ระยะกินน้ำลึกของทวนจะมีลักษณะจมทั้งทวน ส่วนในการขยับขึ้น จักรยานยังคงรักษาสถิตได้อยู่ เพียงแต่ระยะกินน้ำลึกของทวนจะมีมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

รูปที่ 4.1 การขึ้นขี่ของผู้ทดสอบน้ำหนัก 55 kg.



รูปที่ 4.2 การนั่งขับจักรยานใต้น้ำของผู้ทดสอบหนัก 55 kg.



รูปที่ 4.3 การทดสอบสมดุ้ยเมื่อเปลี่ยนน้ำหนักผู้ขับที่ เป็น 62 kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 การขี่ของผู้ทดสอบน้ำหนัก 62 kg.

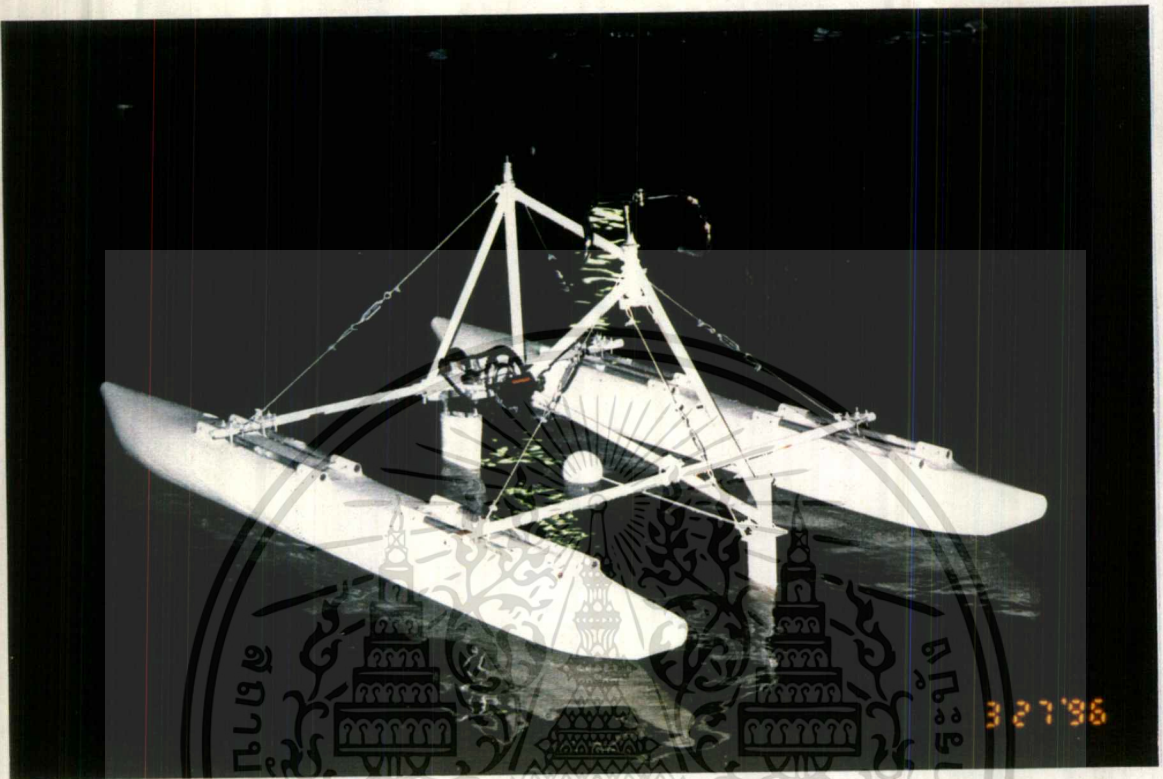
2. การทดสอบระยะกินน้ำลึกของตัวจักรยาน

น้ำหนักของจักรยานผิวน้ำประมาณ 43.5 กิโลกรัม

ตารางแสดงผลการทดสอบ

	ระยะกินน้ำลึก (cm.)
ขณะไม่มีผู้ขี่	6.3
ผู้ขี่น้ำหนัก 55 kg.	8.8
ผู้ขี่น้ำหนัก 58 kg.	10.6
ผู้ขี่น้ำหนัก 62 kg.	13.3
ผู้ขี่น้ำหนัก 65 kg.	15.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(A)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน (B) ปรึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งรูปที่ 4.5 แสดงการลอยของจักรยานเหินน้ำในขณะที่ไม่มีผู้ขับขี่ สารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและวิจารณ์

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบสามารถสรุปได้ว่า ในการขึ้นขับจีกรยานจักรยานจะรักษามวลได้ถ้าผู้ขับที่มีน้ำหนัก 55-60 กิโลกรัม ถ้าเกินจากนี้จักรยานจะเริ่มมีการเสียสมดุล ส่วนการลอยตัวของทุ่นจะอยู่ในเกณฑ์คือจะไม่มีการเสียสมดุลในการลอยของตัวทุ่นแต่ละทุ่น นอกจากนี้ ระยะกินน้ำลึกของตัวทุ่นยังมีการเปลี่ยนแปลงตามน้ำหนักของผู้ขับด้วย โดยถ้าน้ำหนักของผู้ขับที่มากเท่าไรระยะกินน้ำลึกของทุ่นก็จะมากตาม ซึ่งถ้าระยะกินน้ำลึกของทุ่นมีค่ามากความเสี่ยงทานของจักรยานเหินน้ำที่จะเกิดขึ้นในการขับเคลื่อนก็จะมากด้วย ดังนั้นในการขับจีกรยานเหินน้ำจะต้องคำนึงถึงน้ำหนักของผู้ขับ รวมถึงความแข็งแรงของตัวผู้ขับเองในการขับจีกรยานเหินน้ำให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นสิ่งสำคัญ

5.2 วิจารณ์

จากการทดสอบและผลข้างต้นข้างต้นจะเห็นได้ว่าไม่สามารถทดสอบได้ครบถ้วนเนื่องจากหาสถานที่ที่ใช้ทดสอบไม่ได้ ซึ่งสถานที่ที่ใช้ทดสอบนั้นจำเป็นที่จะต้องมียอดประกอบที่สำคัญดังนี้

1. มีความลึกประมาณ 1.5 เมตร เนื่องจากตัวจักรยานเหินน้ำมีสตรัทหลังซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ใต้น้ำประมาณ 1 เมตร
 2. บริเวณใต้พื้นน้ำควรปราศจากต้นไม้ กอสาละ ถ้ามีก็ควรจะต้องต่ำกว่าสตรัทหลัง 0.5-1 เมตร
 3. บริเวณที่ใช้ทดสอบจะต้องไม่มีคลื่นรบกวนการขับ
 4. น้ำที่ใช้ทดสอบควรมีความใส เพื่อจะได้ศึกษาลักษณะต่างๆที่อยู่น้ำ เช่น การขับน้ำของใบจักร การไหลของน้ำผ่านทุ่น ฟอยล์ และสตรัท เพื่อปรับปรุงให้เหมาะสม
- สถานที่ที่เหมาะสมกับการทดสอบ เช่น สระว่ายน้ำ บ่อน้ำนิ่ง และแหล่งน้ำที่เข้าข่ายองค์ประกอบข้างต้น

ในการปฏิบัติการทดสอบ เราได้เลือกใช้สระว่ายน้ำ แต่ทางเจ้าหน้าที่เกรงว่าจะก่อให้เกิดมลภาวะจากสารเคมีที่ใช้ทำตัวจักรยานเหินน้ำ จึงเปลี่ยนสถานที่เป็นสระน้ำ สิ่งที่เกิดขึ้นคือสระตื้นเกินไปกับการทดสอบ จึงทำให้ได้ค่าเพียงบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไข

1. น้ำหนักจักรยานเหินน้ำ 43.5 kg. นั้นมากเกินไป เนื่องจากโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นเหล็ก จึงควรเปลี่ยนเป็นวัสดุอื่นที่มีน้ำหนักเบาและแข็งแรงสูง เช่นอลูมิเนียมอัลลอยด์รีดบาง
2. น้ำหนักของทุ่นจากการทดสอบปรากฏว่าทุ่นจมไม่หมด แสดงว่าขนาดของทุ่นใหญ่เกินไป จึงควรที่ลดขนาดของทุ่น ทำให้น้ำหนักโดยรวมลดลง
3. ผิวของจักรยานเหินน้ำในส่วนที่อยู่ใต้น้ำ ควรจะทำให้ผิวเป็นมัน เพื่อลดแรงเสียดทาน
4. พยายามลดขนาดของสตรัททั้งสองให้มีความกว้างน้อยที่สุด เพื่อลดแรงต้านน้ำ โดยสตรัทหลังนั้นจะลดขนาดได้โดยการใช้ระบบส่งกำลังที่เหมาะสม
5. สตรัทหลังควรจะทำให้ไม่สามารถเข้าไปในระบบส่งกำลังได้ เพราะจะทำให้อุปกรณ์ภายในเกิดการเสียหาย



เอกสารอ้างอิง

- 1) Ira H, Abbot and Albert E. Von Doenhoff, 1959, The Theory of Wing Section
- 2) Rebert W. Fox and Alan T. Mc Donald, 1985, Introduction to Fluid Mechanic
- 3) Joseph Edward Shigley, First Metric Edition, 1986, Mechanical Engineering Design
- 4) John P Comstock, Published by The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1967, Principle of Naval Architecture
- 5) G. Kuiper, Marine Publication 92-001, May 1992, The Wageningen Propeller Series
- 6) วิเชียร ปิ่นกุลบุตร, วิชาต่อเรือ เล่ม 2, ความต้านทานและแรงม้าของเรือ ใบจักร และการออกแบบ, กองทัพเรือ
- 7) วิเชียร ปิ่นกุลบุตร, วิชาต่อเรือ เล่ม 6, เรือไฮโดรฟอยล์, กองทัพเรือ
- 8) คร. วรวิทย์ อิงภากรณ์และชาญ ถนัดงาน, การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2, ซีเอ็ดยูเคชั่น
- 9) เจริญ ไหมด้วง, Associate Member The Institute of Marine Engineers, Associate The Royal Institution of Naval Architects, สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตภาคใต้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนช่วยให้โครงการนี้สำเร็จไปด้วยดี

1. ขอขอบคุณ อ.จำลอง ปรานแก้ว (อ.ที่ปรึกษา) ที่คอยดูแลในทุก ๆ ด้าน
2. ขอขอบคุณ อ.วรรณชัย กัลยาศิริ (อ.ที่ปรึกษา) ที่ให้คำแนะนำในทุกสิ่ง
3. ขอขอบคุณ คุณมณฑา เทียมเมือง ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาด้านงานฝีมือ ตลอดจนการยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ
4. ขอขอบคุณ นาวาโท สราวุธ วงศ์เงินยวง เจ้าหน้าที่กรมอุทหาเรื่อ ที่ให้คำแนะนำและข้อมูลเพิ่มเติมในด้านวิชาการ และการออกแบบ
5. ขอขอบคุณ นาวาเอก วัชรา เอี่ยมสะอาด เจ้าหน้าที่กรมอุทหาเรื่อ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านวิชาการและการปฏิบัติงาน
6. ขอขอบคุณ นาวาเอก ประสิทธิ์ ปักมีเลิศ เจ้าหน้าที่กรมอุทหาเรื่อ ที่คอยอำนวยความสะดวกในการใช้สถานที่ และศึกษาข้อมูลภายในกรมอุทหาเรื่อ
7. ขอขอบคุณ นายวิชัย ชาญยุทธศาสตร์ และนายกิตติพัฒน์ วิชญวิเชียร เพื่อนรุ่น "31" ภาคเครื่องกล ที่ให้ความช่วยเหลือในการออกแบบทุน