สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

T042446

การออกแบบโฮเวอร์คราฟ

DESIGN OF HOVERCRAFT

โดย

นาย ทรงศักดิ์ พนาวงศ์รุ่งโรจน์

นาย วรศักดิ์ แซ่หลี

นาย ศรัณย์ ณัฐพูลวัฒน์

นาย สุรินทร์ มธุรสพงศ์พันธ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. ชินรักษ์ เธียรพงษ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42446
วัน, เดือน, ปี 3 ม.ค. 2545

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบยานโฮเวอร์คราฟ

DESIGN OF HOVERCRAFT

ผู้จัดทำ

1.	นาย ทรงศักดิ์	พนาวงศ์รุ่งโรจน์	รหัสประจำตัว	41013500
2.	นาย วรศักดิ์	แซ่หลี	รหัสประจำตัว	41013512
3.	นาย ศรัณย์	ณัฐพูลวัฒน์	รหัสประจำตัว	41013514
4.	นาย สุรินทร์	มธุรสพงศ์พันธ์	รหัสประจำตัว	41013518

ชินรักษ์ เธียรพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. ชินรักษ์ เธียรพงษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบยานโฮเวอร์คราฟท์

นาย ทรงศักดิ์ พนาวงศ์รุ่งโรจน์ 41013500
นาย วรศักดิ์ แซ่หลี 41013512
นาย ศรัณย์ ณัฐพูลวัฒน์ 41013514
นาย สุรินทร์ มธุรสพงศ์พันธ์ 41013518
ดร. ชินรักษ์ เธียรพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาและออกแบบยานพาหนะที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานลม (Hovercraft) โดยอาศัยสมรรถนของเครื่องยนต์และน้ำหนักบรรทุกมาเป็นตัวแปรสำหรับการคำนวณหาขนาดของยานพาหนะและขนาดของใบพัดไม้ที่จะใช้กับตัวขับเคลื่อนนี้ ยานเบาะอากาศ (Hovercraft) จะเคลื่อนที่ได้โดยอาศัยลมเป่ายกให้ตัวยานลอยขึ้นเหนือพื้น ผิวจากนั้นจะใช้ลมอีกส่วนหนึ่งเป่าเพื่อให้ตัวยานเคลื่อนที่ไปได้ ดังนั้น ยานพาหนะรูปแบบนี้สามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งทางน้ำและทางบก ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานเกษตรกรรม ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ชื้นแฉะได้อย่างดี หรืออาจจะนำมาเป็นยานพาหนะสำหรับการบรรทุกและการลำเลียงขนส่งก็ได้เช่นกัน โดยอุปกรณ์ทั้งหมดสามารถหาซื้อและทำขึ้นเองได้ภายในประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN OF HOVERCRAFT

Mr. Songsak Panawongrungroj
Mr. Vorasak Salee
Mr. Saran Natpulwat
Mr. Surin Mathurosphongphan
Dr. Chinaruk Thianpong Advisor

ABSTRACT

This thesis is a study of wind powered vehicle, called "Hovercraft". Ability of the vehicle and loading capacity are the main things to find the calculation of the size of the vehicle and the propeller. Hovercraft is moved by cushion and propelling air flow. The cushion air lifts the hovercraft above surface and the propelling air propels the hovercraft. Therefore, hovercraft is a perfect vehicle for transportation in both land and water. Moreover, it also can be used in agricultural land where most of the terrain is swampy. In this project, all parts of the hovercraft were bought and produced in Thailand.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ อาจารย์ วรเทพ บุญยัง วิทยาลัยเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมการต่อเรือพระนครศรีอยุธยา ที่ช่วยเหลือทางด้านเอกสาร และ ให้คำแนะนำในการสร้าง Hovercraft และอาจารย์ ชินรักษ์ เธียรพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญภาพ VII

บทที่ 1 บทนำ **1**

1.1 ความเป็นมา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1

1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.5 ขั้นตอนการค้นคว้า 2

บทที่ 2 ทฤษฎี **3**

2.1 ปรากฏการณ์ Ground Effect 3

2.2 การทำงานเบื้องต้นของโฮเวอร์คราฟท์ 3

2.3 การกระจายอากาศและการเก็บอากาศ แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ 4

2.4 ถุงลม (Skirt) ที่ใช้แบ่งเป็น 5 ชนิด 7

2.5 ทฤษฎีใบพัด 8

2.6 Airfoil 10

2.8 Momentum theory for a rotating wake 13

2.9 Blade element theory 14

2.10 ระบบลอยตัว (Lift system) 17

2.10.1 กำลังงานที่ต้องการสำหรับระบบลอยตัว 17

2.10.2 อัตราการไหลของอากาศที่ต้องการให้ใบพัดผลิตได้ 18

2.10.2 ขนาดช่องลม 19

2.8 ระบบขับเคลื่อน (Thrust System) 19

2.9 การควบคุมทิศทางของยานเบาะอากาศ 19

2.10 การขับเคลื่อนขึ้นเนินหรือเจอลมพัดขณะขับเคลื่อน 22

2.11 การขับเคลื่อนบนน้ำ 23

2.12 การหยุด 23

2.13 โครงสร้างลำตัวยาน (Hull) 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การคำนวณและการออกแบบ **25**

3.1 การออกแบบขั้นพื้นฐาน 25

3.1.1 การกำหนดขนาดและน้ำหนักบรรทุก 25

3.1.2 คำนวณหากำลังงานที่ต้องการ 25

3.2 การคำนวณระบบขับเคลื่อน 25

3.3 การคำนวณขนาดช่องลม 29

บทที่ 4 ขั้นตอนการผลิต **30**

4.1 ขั้นตอนการสร้างตัวเรือ 30

4.1.1 ขั้นตอนการเตรียม mold (ตัวเรือ ช่องลม ช่องใบพัด) 30

4.1.2 การลงใยแก้ว 31

4.1.3 แท่นเครื่อง 33

4.2 ขั้นตอนการทำใบพัด 34

4.3 ขั้นตอนการสร้างระบบบังคับเลี้ยว 36

4.4 เครื่องยนต์ 37

4.5 การประกอบตัวเรือ Hovercraft 37

บทที่ 5 การทดสอบและปรับปรุง **39**

5.1 การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ 39

5.2 การทดสอบสมรรถนะยานเบาะอากาศ 39

5.3 สรุปผลการทดสอบ 39

บทที่ 6 สรุปและบทวิจารณ์ **40**

6.1 สมรรถนะของยานเบาะอากาศ 40

ภาคผนวก ก. **41**

เอกสารอ้างอิง **47**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง ที่ 3-1 แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณใบพัด 27
ตารางที่ 3-2 ค่าตัวแปรที่อยู่ในช่วงการออกแบบ 28
ตารางที่ 3-3 ค่าตัวแปรที่ปรับค่าแล้ว 28
ตารางที่ 3-4 Stations and ordinates given in per cent of airfoil chord 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่ 2-1 ปรากฏการณ์ Ground Effect 3

รูปที่ 2-2 ถุงลมเปลือกแข็งแบบกล่องลม 4

รูปที่ 2-3 ถุงลมเปลือกแข็งแบบใช้ระบบฉีดลำอากาศรอบยาน 4

รูปที่ 2-4 ถุงลมระบบ ลาบาลิน 5

รูปที่ 2-5 ถุงลมระบบไม่ใช้พลังงานย้อนกลับ 5

รูปที่ 2-6 ถุงลมระบบใช้พลังงานย้อนกลับด้านใน 6

รูปที่ 2-7 ถุงลมระบบใช้พลังงานย้อนกลับด้านนอก 6

รูปที่2-8 แสดงการทำงานของถุงลมแบบยืดหยุ่นได้ 6

รูปที่ 2-9 แสดงชนิดของถุงลมแบบยืดหยุ่น 7

รูปที่ 2-9 แสดงชนิดของถุงลมแบบยืดหยุ่น (ต่อ) 8

รูปที่ 2-10 ชนิดของใบพัด 10

รูปที่ 2-11 ลักษณะของ Airfoil และแรงที่กระทำ 11

รูปที่ 2-12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_L กับ α และ C_L กับ C_D 11

รูปที่ 2-13 การหา Local speed ratio 12

รูปที่ 2-14 แสดงลักษณะของใบพัดที่นำมาคำนวณ 13

รูปที่ 2-15 Blade element ที่ใช้ในการคำนวณ 15

รูปที่ 2-16 ภาพแสดงความเร็วและแรงบนหน้าตัดของใบพัด 15

รูปที่ 2-17 ลักษณะของชาย Skirt เมื่อยานลอยตัว 17

รูปที่ 2-18 แสดงอุปกรณ์แบ่งปริมาณอากาศ 19

รูปที่ 2-19 แสดงลักษณะหางเสือ a) แผ่นเดียว b) หลายแผ่น 20

รูปที่ 2-20 Thrust Reverse 20

รูปที่ 2-21 วิธีควบคุมทิศทางของยาน Hovercraft 21

รูปที่ 2-22 การเลี้ยวของยาน Hovercraft โดยมีมุม Yaw 21

รูปที่ 2-23 ลักษณะการขับเคลื่อนแบบต่าง ๆ 22

รูปที่ 2-24 แสดงตัวอย่างการว่างตำแหน่งอุปกรณ์และน้ำหนักต่าง ๆ 24

รูปที่ 3-1 กราฟคุณสมบัติ NACA 4412 26

รูปที่ 3-2 เส้น Chord ที่ได้จากตาราง 3-1 28

รูปที่ 3-3 ภาพแสดงขนาดมาตรฐานของ Airfoiol NACA4412 28

รูปที่ 4-1 การสร้าง Mold ส่วนท้องยาน 30

รูปที่ 4-2 Mold ที่ทาอีฟอกซี่แล้ว 31

รูปที่ 4-3 อุปกรณ์ต่าง ๆ 31

รูปที่ 4-4 การลงชั้นของ Fiber glass 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4-5 แสดงการใช้อุปกรณ์ในการลงเรซิน 32
รูปที่ 4-6 แท่นเครื่อง 33
รูปที่ 4-7 ไม้เมปิ้ล 34
รูปที่ 4-8 ใช้ C-Clamp อัดใบพัด 35
รูปที่ 4-9 ใบพัด 35
รูปที่ 4-10 แสดงการเจียรใบพัด 36
รูปที่ 4-11 เครื่องยนต์ 37
รูปที่ 4-12 แสดงยานเบาะอากาศที่สร้างเสร็จแล้ว 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ในปัจจุบัน ได้มีการใช้เทคโนโลยีในการออกแบบสร้างยานพาหนะทางน้ำซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่ายานพาหนะในอดีต เช่น เรือ, ไฮโดรฟรอยด์ เป็นต้น เนื่องจากเรือนั้นมีแรงฉุดจากน้ำมาก ส่วนไฮโดรฟรอยด์ไม่มีปัญหากับแรงต้านของน้ำ แต่ยังมีปัญหาเนื่องจากคลื่นในการขับเคลื่อน จึงมีการพัฒนายานพาหนะอีกชนิดหนึ่ง เพื่อแก้ปัญหาแรงเสียดทานและคลื่นที่กระทำกับยานพาหนะทางน้ำ เรียกว่ายานเบาะอากาศ (Hovercraft) หรือ A.C.V. (Air Cushion Vehicle) ซึ่งหลักการของยานเบาะอากาศ มีลักษณะเดียวกับ Air cushion

Air cushion เป็นอุปกรณ์ยกของโดยใช้พลังลมในการยกตัวโดยอาศัยหลักการของ Pressure ที่กระทำต่อพื้นที่ใต้ท้องยาน เพื่อผลักดันให้ตัวยานลอยขึ้น จากคุณสมบัติของอากาศจะทำให้ Pressure ใต้ท้องยานมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ Static pressure จะต่างกันโดยบริเวณใกล้ จะมีการรั่วไหลของอากาศสูง ทำให้ Static pressure ลดลงบ้าง จากกรณีนี้จะทำให้แรงที่กดบนพื้นที่ยานวิ่งกระจายเต็มพื้นที่ใต้ท้องยาน (Distribution load) เมื่อใช้เคลื่อนย้ายวัสดุสิ่งของ พื้นที่วิ่งผ่านจึงไม่จำเป็นต้องแข็งแรง เพียงแต่ให้มีผิวเรียบก็ใช้ได้ ทำให้สามารถเคลื่อนย้ายได้บนพื้นผิวที่เป็นโคลนเลนหรือผิวน้ำ จากคุณสมบัตินี้ จึงมีการติดตั้งระบบขับเคลื่อนเพื่อเป็นยานขนส่ง ซึ่งเรียกว่ายานเบาะอากาศ หรือ Hovercraft

ยานเบาะอากาศเป็นยานพาหนะชนิดหนึ่ง ที่สามารถใช้งานได้ในภูมิประเทศที่เป็นชายฝั่ง คือ สามารถเคลื่อนที่ไปได้บนผิวน้ำและพื้นดิน ซึ่งยานพาหนะนี้สามารถเคลื่อนที่ได้เร็วบนผิวน้ำและไม่จำเป็นต้องมีท่าเทียบ ซึ่งยานพาหนะชนิดนี้ที่มีใช้งานอยู่ในประเทศล้วนแต่ได้รับการนำเข้าจากภายนอกประเทศทั้งสิ้น จึงทำให้มีราคาสูง และเป็นเทคโนโลยีปิด

ดังนั้นการศึกษาหาข้อมูล ทฤษฎี ออกแบบ และทดลองสร้างยานเบาะอากาศจึงเป็นก้าวหนึ่งของการพัฒนาทางเทคโนโลยียานยนต์ของประเทศไทย ที่พิสูจน์ให้เห็นว่าด้วยวิชาการที่มีอยู่ เราสามารถที่จะสร้างยานพาหนะชนิดนี้ได้และยังสามารถพัฒนาขึ้นมาใช้งานในเชิงพาณิชย์ได้ต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. ศึกษาการทำงาน และสร้างยาน ยานเบาะอากาศ
2. ศึกษาการขึ้นรูปโดยใช้ Fiber glass
3. ศึกษาการสร้างใบพัดไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ 180 กิโลกรัม
2. สร้างใบพัดไม้ให้มีสมรรถนะที่สามารถยกตัวยานและน้ำหนักบรรทุกอีก 180 กิโลกรัม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงการหล่อหรือต่อยานเบาะอากาศ ด้วย Fiber glass
2. ทราบถึงระบบการทำงานของยานเบาะอากาศ
3. ได้ค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีในการออกแบบยานเบาะอากาศ
4. เป็นแนวทางพัฒนายานเบาะอากาศ เพื่อนำไปใช้งานและผลิตเป็นเชิงพาณิชย์

1.5 ขั้นตอนการค้นคว้า

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการทำงานของยานเบาะอากาศ
2. คำนวณและออกแบบ
3. เตรียมอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้พร้อมที่จะลงมือทำ
4. สร้างจริงตามแบบที่ได้คำนวณและออกแบบไว้
5. ทดสอบสมรรถนะของยานเบาะอากาศ พร้อมปรับปรุงและแก้ไข
6. สรุป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

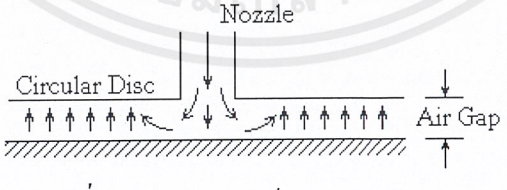
ทฤษฎี

ยานพาหนะขับเคลื่อนด้วยพลังลมหรือยานเบาะอากาศ (Hovercraft) ใช้หลักการอัดอากาศเข้าไปภายในใต้ท้องยานเพื่อเป็นเบาะลม (Air Cushion) สำหรับยกตัวยานโฮเวอร์คราฟ ให้ลอยพ้นพื้นเพื่อลดความเสียดทานในขณะที่มีการเคลื่อนที่ ตัวยานโฮเวอร์คราฟ ลอยขึ้นได้จะใช้หลักการ Ground Effect

2.1 ปรากฏการณ์ Ground Effect

หลักการเบาะอากาศถูกค้นพบโดย คริสโตเฟอร์ คอคเคอร์เรล (Christopher Cockerell) ขณะที่พิจารณาเรื่องการลดแรงต้านทานจากน้ำและคลื่นที่กระทำกับเรือแบบ 2 ลำตัว เขาสร้างตัวเรือที่ผอมและยาว แรงต้านจากคลื่นก็ลดลง แต่แรงเสียดทานจากน้ำยิ่งเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากพื้นที่ด้านข้างตัวเรือมากขึ้น ดังนั้นเขาจึงต้องหาทางลดแรงฉุดของน้ำที่กระทำต่อตัวเรือ

คอคเคอร์เรล คิดว่ามี 2 วิธี ที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ คือ การกลิ้ง และ การสไลด์ ยกตัวอย่างเช่น รถใช้ล้อกลิ้ง แต่สเกตน้ำแข็งใช้สไลด์ และ เขาได้สังเกตว่าการสไลด์ของสเกตน้ำแข็งนั้นมีน้ำเป็นตัวหล่อลื่น น้ำนี้มาจากการละลายของน้ำแข็งเพราะแรงเสียดทานของใบมีดสเกตและน้ำแข็ง คอคเคอร์เรลคิดว่าอากาศจะหล่อลื่นได้ดีกว่าน้ำ โดยทำเป็นฟิล์มหรือเบาะลมของอากาศระหว่างอากาศกับน้ำ ปรากฏการณ์นี้รู้จักกันในชื่อ Ground Effect ซึ่งอธิบายได้ โดยรูปที่ 2.1 อากาศถูกเป่าผ่านรูของแผ่นโลหะไปยังพื้น แผ่นโลหะจะยกตัวสูงขึ้นเนื่องจากแรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อแผ่นโลหะ แรงปฏิกิริยาของปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายด้วยเหตุผล 2 ข้อคือ กระแสเจทได้เกิดการย้อนกลับ ทำให้เกิดแรงระหว่าง Nozzle และ Plate ยก Plate ให้ลอยขึ้นอากาศของส่วนที่พื้นและย้อนกลับไปยก Plate ขึ้น



รูปที่ 2-1 ปรากฏการณ์ Ground Effect

2.2 การทำงานเบื้องต้นของโฮเวอร์คราฟท์

ยานเบาะอากาศ เป็นยานพาหนะซึ่งเคลื่อนที่โดยอาศัยความดันภายใต้ตัวยานเป็นตัวยกให้ตัวยานลอยเหนือพื้นผิวที่มันเคลื่อนที่ไป โดยอากาศจะถูกกเป่าอย่างต่อเนื่องโดยพัดลมในอัตราที่จะรักษาความดันภายใต้ตัวยานและชดเชยอากาศที่รั่วออกไปรอบ ๆ ตัวยานความดันที่เกิดขึ้นภายใต้ตัวยานและยกตัวยานให้ลอยสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกว่า Cushion pressure (P_c) ซึ่งทำหน้าที่คล้ายเป็น เบาะอากาศ (Air cushion) ให้กับตัวยาน หน้าที่ของเบาะอากาศที่สำคัญคือ

1. ยกตัวยานขึ้นจากพื้นผิว
2. ทำหน้าที่ลดแรงเสียดทานระหว่างตัวยานและพื้นผิวสัมผัส
3. ทำหน้าที่กระจายน้ำหนักของตัวยาน
4. ทำหน้าที่คล้ายสปริงช่วยลดการสั่นสะเทือน เมื่อเคลื่อนที่ผ่านผิวขรุขระ

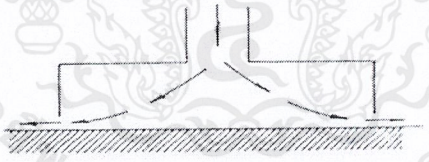
2.3 การกระจายอากาศและการเก็บอากาศ แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

1. ถุงลมแบบเปลือกแข็ง (Non-skirted)
2. ถุงลมแบบยืดหยุ่นได้ (Flexible-skirted)

2.3.1 ถุงลมแบบเปลือกแข็ง (Non-skirted)

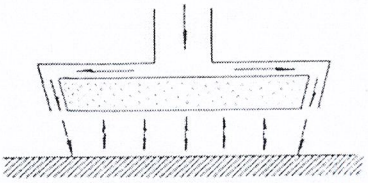
ซึ่งแบบนี้จะยกตัวยานเบาะอากาศ ได้ไม่มาก เพราะถ้ายกตัวมากอากาศจะรั่วออกมากและจะกินกำลังของครื่องอัดอากาศมากแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

1. แบบกล่องลม (Plenum chamber) เป็นแบบที่ง่ายที่สุดคือ อากาศจะถูกอดผ่านรูจ่ายลม (Orifice) ทางด้านบน และอากาจะรั่วออกทางขอบด้านล่างของกล่องลมซึ่งอากาศจะไหลเป็นแบบการไหลผ่านคอคอด ถ้าช่องว่างที่รอบขอบด้านล่างของกล่องลมมีช่องขนาดใหญ่อากาศก็จะรั่วออกด้วยอัตราสูงมากและเครื่องอัดอากาศจะต้องใช้กำลังในการอัดอากาศมากขึ้น แบบนี้จึงไม่นิยมใช้



รูปที่ 2-2 ถุงลมเปลือกแข็งแบบกล่องลม

2. แบบใช้ระบบฉีดลำอากาศรอบยาน (Peripheral jet system) ซึ่งจะเป็นแบบม่านอากาศ วิธีนี้อากาศจะถูกอัดผ่านหัวฉีดแบบวงแหวน ซึ่งเป็นช่องเล็ก ๆ ตรงของด้านข้างรอบตัวยานซึ่งม่านอากาศนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวกันรอยรั่ว (Seal) ไม่ให้อากาศซึ่งอยู่ระหว่างใต้ตัวยานโฮเวอร์คราฟ กับพื้นดินซึ่งทำหน้าที่เป็นเบาะลม (Air cushion) รั่วออกไป

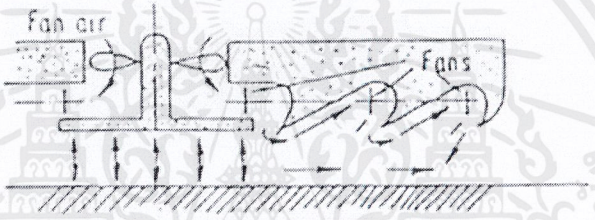


รูปที่ 2-3 ถุงลมเปลือกแข็งแบบใช้ระบบฉีดลำอากาศรอบยาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

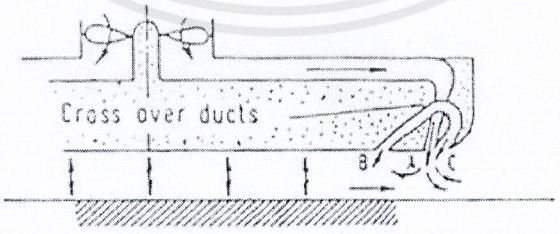
การทำงานในตอนแรกเมื่อเริ่มทำการอัดอากาศ อากาศจะถูกอัดเข้าสู่ใต้ท้องของยานเบาะอากาศ และจะทำหน้าที่เป็นเบาะลม ยกพื้นด้านใต้ท้องของยานเบาะอากาศ ทำให้ตัวยานลอยสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนความดันของเบาะลม เท่ากับความดันที่เครื่องอัดอากาศ สร้างได้มันก็จะหยุดยก และอากาศที่อัดเข้ามาอีกจะทำหน้าที่เป็นม่านอากาศกันไม่ให้อากาศในเบาะลม มีการรั่วออกไป ซึ่งแบบนี้แบ่งออกเป็น 4 แบบคือ

2.1 ระบบลาบาลิน (The labyrinth system) แบบนี้เมื่ออากาศไหลออกจากเบาะลมไปยังขอบด้านนอกมันจะถูกทำให้หมุนเวียนกลับโดยพัดลมซึ่งเรียงกันอยู่จนถึงขอบนอกซึ่งจะทำให้อากาศไหลแบบปั่นป่วน ซึ่งอากาศที่ไหลแบบนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวกั้นการรั่วป้องกันไม่ให้อากาศของเบาะลมลดลง ซึ่งแบบนี้จะทำให้การรั่วของอากาศที่ขอบด้านล่างของถุงลม (Skirt) น้อยมากเพราะพัดลมจะทำให้อากาศไหลกลับไปทางเดิมซึ่งแบบนี้เมื่อเทียบกับแบบอื่นที่มีขนาดเท่ากัน แบบนี้จะใช้กำลังในการอัดอากาศน้อยกว่าและการสูญเสียความดันน้อยมาก



รูปที่ 2-4 ถุงลมระบบ ลาบาลิน

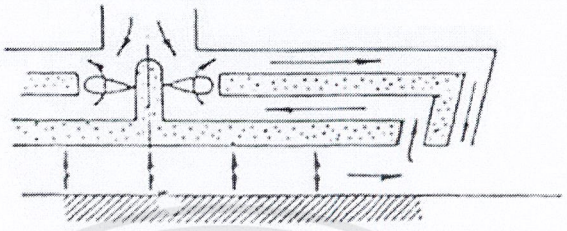
2.2 ระบบไม่ต้องใช้พลังงานในการย้อนกลับ (Non-energized recirculation) แบบนี้อากาศจากใบพัดจะเข้าไปเป็นเบาะลมโดยตรงและม่านอากาศขั้นต้น (Primary air curtain) จะเกิดที่จุด A อากาศนี้ประมาณ 80% ที่ผ่านเครื่องอัดอากาศจะไหลเข้าที่จุด B และไหลออกที่จุด C และก็จะเกิดเป็นม่านอากาศอีกชั้นที่จุด C ซึ่งจะมีส่วนหนึ่งไปเสริมม่านอากาศที่จุด A ให้หนาขึ้นและอีกส่วนจะรั่วออกไปตรงขอบล่างของถุงลม (Skirt)



รูปที่ 2-5 ถุงลมระบบไม่ใช้พลังงานย้อนกลับ

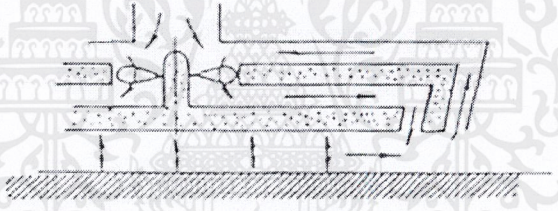
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ระบบใช้พลังงานย้อนกลับทางด้านใน (The energized recirculation inward system) แบบนี้จะมีอากาศบางส่วนจากเบาะลม (Air cushion) ไหลวนกลับมายังใบพัดซึ่งการไหลวนที่จะทำให้ความดัน สูงขึ้นกว่าปกติ ดังนั้นม่านอากาศที่จะทำหน้าที่กั้นลมในเบาะลม จึงต้องมีความแข็งแรงพอมิฉะนั้นอากาศจะรั่วออกไปมาก



รูปที่ 2-6 ถุงลมระบบใช้พลังงานย้อนกลับด้านใน

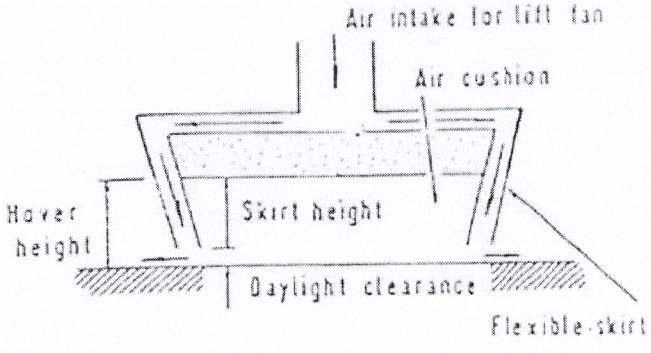
2.4 ระบบใช้พลังงานย้อนกลับทางด้านนอก (The energized recirculation outward system) แบบนี้อากาศจากเบาะลมจะไหลในทิศทางตรงกันข้ามกับแบบที่แล้วแต่ให้ผลเหมือนกัน



รูปที่ 2-7 ถุงลมระบบใช้พลังงานย้อนกลับด้านนอก

2.3.2 ถุงลมแบบยืดหยุ่นได้ (Flexible-skirted)

แบบนี้ใช้ผ้าใบต่อเป็นถุงลม (Skirt) รอบยานเบาะอากาศ โดยต่อลงมาจากขอบด้านบนทำให้สามารถยกพื้นของยานเบาะอากาศได้สูงมากขึ้นจึงนิยมใช้สร้างกัน



รูปที่2-8 แสดงการทำงานของถุงลมแบบยืดหยุ่นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของแบบนี้คือ

1. ช่วยเสริมให้ม่านอากาศแข็งแรงพอที่จะกั้นการรั่ว (Seal) ของอากาศในเบาะลม
2. ช่วยกั้นการรั่ว (Seal) ช่องว่างระหว่างพื้นใต้ทองของยานเบาะอากาศ กับพื้นดินซึ่งทำให้การรั่วของอากาศในเบาะลม (Air cushion) ลดลงซึ่งจะทำให้กำลังที่ใช้ยกลดลง
3. ช่วยทำให้พื้นของยานเบาะอากาศ สูงมากพอที่จะผ่านสิ่งกีดขวางที่ไม่สูงมากนักไปได้อย่างสบายโดยไม่เสียการทรงตัว

2.4 ถุงลม (Skirt) ที่ใช้แบ่งเป็น 5 ชนิด

1. ถุงลมแบบทรังค์ (Trunked skirt) มีลักษณะเป็นถุงลมคู่ ซึ่งประกอบด้วยถุงลมที่ยืดหยุ่นได้ 2 ชั้น คือ ชั้นในและชั้นนอกและมีเชือกดึงตรงปลายด้านล่างให้โค้งกลับซึ่งอากาศจะไหลผ่านลงระหว่างถุงลมทั้งสอง

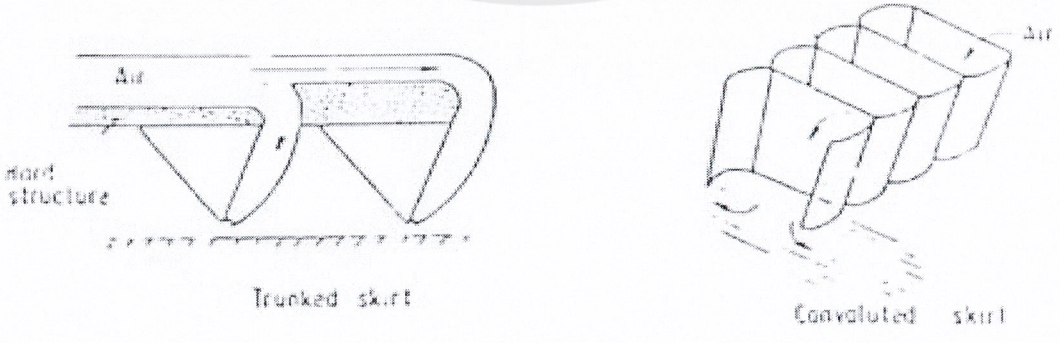
2. ถุงลมแบบคอนโวลูเต็ด (Convoluted skirt) เป็นถุงลมที่ยืดหยุ่นได้มีลักษณะเป็นช่องเท่า ๆ กันวางในแนวตั้งซึ่งมันจะคงรูปอยู่ได้และอากาศจะไหลผ่านถุงนี้ลงในสู่เบาะลม

3. ถุงลมแบบถุงลมแบบหัวฉีด (Jetted skirt) จะติดหัวฉีดลำอากาศไว้ใต้ถุงลมแบบยืดหยุ่นได้ซึ่งอากาศจะถูกป้อนโดยตรงจากตัวอัดอากาศสู่ถุงเก็บลม (Bag skirt) โดยไม่ต้องผ่านช่องแคบ ๆ ในโครงสร้างแต่ในทางปฏิบัติจะมีอากาศจากเบาะลมรั่วออกที่ขอบซึ่งทำให้แบบนี้ใช้งานไม่ได้

4. ถุงลมแบบแยกชิ้น (Segmented skirt) แบบนี้จะทำเป็นชิ้น ๆ แล้วมาประกอบกันโดยจะให้ติดอยู่กับระดับเดียวกันกับโครงขอบด้านล่างซึ่งจะยึดไว้ด้วยห่วงโลหะกับขอบซึ่งเมื่อติดแล้วจะเป็นลักษณะเอียงเข้า (Slop inward) และรัศมีความโค้งของตัวลูป (Loop) ที่หัวเรือจะลดลงมากถ้าวิ่งผ่านคลื่นหรือสิ่งกีดขวาง

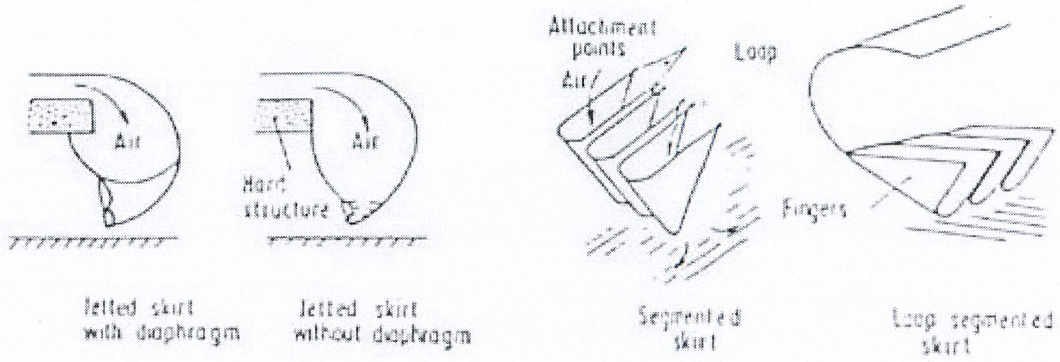
5. ถุงลมแบบม้วนเป็นรูปนิ้ว (Bag skirt with finger extension) แบบนี้อากาศจากเครื่องอัดอากาศจะไหลผ่านมาเข้าถุงลม และด้านล่างของถุงลมจะตัดไว้เป็นช่อง ๆ อากาศจะไหลผ่านช่องนี้แล้วผ่านไปสู่ถึงรูปนิ้ว (Finger) แต่ละอันซึ่งเป็นอิสระกันและก็จะไหลเข้าสู่เบาะลมต่อไป

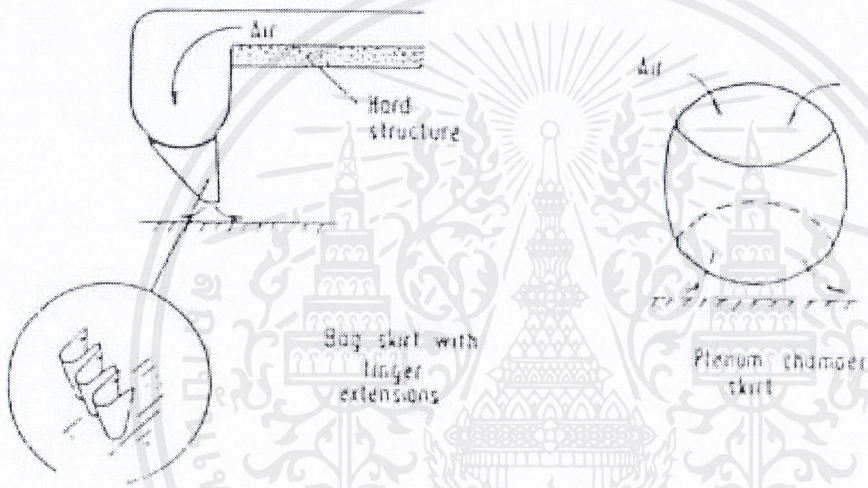
6. ถุงลมแบบห้องลม (Plenum chamber skirt) แบบนี้ถ้าจะใช้งานต้องใช้อย่างน้อย 8 ชิ้นซึ่งจะนำไปติดอยู่ที่ขอบนอกทางด้านล่างของยานเมื่อลมถูกอัดผ่านมันจะพองลมออกเป็นรูปทรงกระบอกเรียวบาง ๆ



รูปที่ 2-9 แสดงชนิดของถุงลมแบบยืดหยุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 2-9 แสดงชนิดของถุงลมแบบยืดหยุ่น (ต่อ)

2.5 ทฤษฎีใบพัด

จุดมุ่งหมายของพัดลมคือเคลื่อนย้ายหรือส่งถ่ายอากาศอย่างต่อเนื่อง ในขณะเดียวกันก็สามารถสร้างความดันได้ตามที่ต้องการ ในบางเหตุการณ์ก็สามารถทำการอัดอากาศได้บ้างเล็กน้อย แต่ในการพิจารณานั้นถือว่าอากาศไม่สามารถอัดตัวได้

2.5.1 พัดลมแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal fan)

พัดลมที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่เป็นชนิดแบบแรงเหวี่ยงกับไหลตามแนวรัศมี พัดลมแบบนี้ประกอบด้วยชุดใบพัดที่หมุนอยู่ในโครงพัดลมแบบโพรงกระรอก (Spiral case) และอากาศที่เข้าสู่ชุดใบพัดในทิศทางตามแนวแกนและจะจ่ายอากาศในทิศทางตามแนวรัศมี จำนวนงานที่กระทำกับอากาศนั้นคือความดันที่เกิดจากพัดลม ขึ้นอยู่กับมุมของใบพัดซึ่งต้องเจาะจงตามทิศทางการหมุนและใบพัดสมสามารถแบ่งออกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นสามชนิดคือ 1.) ใบพัดแบบกลับหลัง (Backward Bladed) ซึ่งปลายใบเอียงออกห่างจากทิศทางการหมุนและมุมใบ β_2 มีค่าน้อยกว่า 90 องศา 2.) ใบพัดแบบรัศมี (Radial bladed) ปลายของใบพัดมีการทำมุม 90 องศา 3.) ใบพัดแบบกลับหน้า (Forward curve) ปลายของใบพัดเอียงทำมุมไปตามทิศทางการหมุนของใบพัด มุมของ β_2 มีค่ามากกว่า 90 องศา ความดันถูกทำให้เพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มจำนวนของใบพัด จะทำให้อัตราการไหลของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย แต่ใบพัดแบบใบกลับหน้าสามารถผลิตความดันได้สูงกว่าในขณะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดเท่ากันและมีความเร็วที่เท่ากัน และยังเป็นพัดลมที่สามารถผลิตอัตราการไหลได้สูง

2.5.2 พัดลมแบบพร็อพเพลเลอร์ (Propeller fan)

เป็นใบพัดที่มีรูปแบบที่เบื้องต้นที่สุดประกอบด้วยมอเตอร์ต้นกำลังขับตรงและใบพัดทำด้วยเหล็กแผ่น ในระหว่างที่ทำการหมุนจะมีช่องว่างระหว่างใบพัดค่อนข้องมาก ซึ่งในการใช้งานส่วนมากนิยมใช้เป็นพัดลมตั้งโต๊ะหรือพัดลมติดเพดาน

2.5.3 พัดลมแบบไหลตามแนวขวาง (Cross flow fan)

หรือพัดลมที่มีการไหลตามแนวเส้นสัมผัส (Tangentail fan) มีรูปร่างของตัวใบพัดคล้ายกับตัวใบพัดของใบพัดแบบแรงเหวี่ยง การไหลมีการไหลโดยผ่านจากขอบด้านหนึ่งทะลุผ่านไปยังขอบใบอีกด้านหนึ่ง นั้นคือการไหลจะสัมผัสเส้นขอบของใบพัดและความดันถูกสร้างอยู่ในรูปของความดันจลน์ แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของใบพัดชนิดนี้มีค่าต่ำ

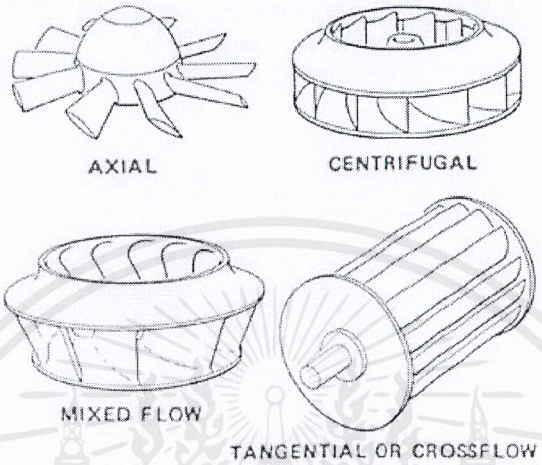
2.5.4 พัดลมแบบไหลตามแนวแกน (Axial flow fan)

พัดลมแบบไหลตามแนวแกนคือพัดลมที่มีการขนานไปตามแกนของใบพัดซึ่งปลายใบพัดมีลักษณะเป็นรูปผิวโค้ง (Airfoil) มีการหมุนอยู่ในโครงเป็นรูปทรงกระบอกลมที่เข้าจะไหลเข้าตามแนวแกนแต่เมื่อออกจากพัดลมจะมีลักษณะเป็นการหมุนวน อันเนื่องมาจากงานที่กระทำกับอากาศเป็นงานที่เกิดจากแรงบิดของตัวใบพัดลม ดังนั้นความเร็วสัมบูรณ์ของอากาศที่ออกจากใบพัดจะมีค่ามากกว่าความเร็วตามแนวแกน ด้วยผลนี้จึงทำให้ความดันรวมที่เกิดจากตัวพัดลมไม่ใช่ความเร็วลมที่ปรากฏในการใช้งานทั่ว ๆ ไป จึงมีการออกแบบโดยให้มีการใช้ใบพัดแก้ทางลม (Guide vanes) ติดตั้งทางด้านปลายลมออกเพื่อแก้การหมุนวนของลมที่ออกจากใบพัด เป็นผลให้เกิดการลดความเร็วของอากาศที่ออกจากใบพัดทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของพลังงาน จากความดันจลน์ที่เกิน เป็นความดันสถิตย์อีกทางหนึ่งที่จะให้ได้ความดันสูงสุดคือ ติดใบพัดแก้ทางลมก่อนเข้าสู่ใบพัด การหมุนวนของอากาศจะกลับทางกับการหมุนของตัวใบพัดที่ใช้งานและการติดใบพัดแก้ทางลมต้องติดอย่างระมัดระวังเพื่ออากาศที่ออกจากใบพัดมีทิศทางการไหลตามแนวแกน ใบพัดของพัดลมแบบไหลตามแนวแกนแบ่งออกเป็น 3 ชนิดหลัก ๆ คือ

1. ใบพัดแบบอิสระ (Air circulator) เป็นพัดลมที่ใช้งานทั่ว ๆ ไป เช่นพัดลมตั้งโต๊ะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. พัดลมระบายอากาศ (Diaphragm mounted fan) เป็นพัดลมที่ใช้ส่งถ่ายอากาศจากบริเวณกว้าง ๆ ไปสู่อีกที่หนึ่ง
3. พัดลมปรับอากาศ (Ducted fan) อากาศที่ถูกอัดจะถูกบังคับให้ไหลตามท่อและเป้าออกตามแนวแกน



รูปที่ 2-10 ชนิดของใบพัด

2.6 Airfoil

คือ ผิวพื้นที่มีอากาศไหลผ่านแล้วทำให้เกิดแรง 2 แรง คือ แรงยกและแรงต้าน โดยที่มีนิยามว่าแรงยก คือ แรงที่วัดตั้งฉากกับทิศทางการไหลของอากาศ (มิใช่ตั้งฉากกับตัว Airfoil) ส่วนแรงต้านนั้น เป็นแรงที่วัดในทิศทางขนานกับการไหลของอากาศ

Airfoil ทุกชนิดต้องนำมาใช้งานในลักษณะที่ทำมุมกับการไหลของอากาศ เพื่อทำให้เกิดแรงยก แรงยกที่ต้องการมากเท่าใดก็ต้องการมุมนี้มากเท่านั้น

Chord คือระยะจากสันด้านหน้าของปีกมายังด้านหลัง แต่มี Airfoil บางชนิดที่อาจมีการกำหนดหาขนาด Chord แตกต่างกันไป มุมที่ทำให้เกิดแรงยกของตัว Airfoil นี้ เรียกว่า มุมปะทะ (Attack angle) ใช้สัญลักษณ์ α มุมนี้วัดจากทิศทางอากาศที่ปะทะมายังแนว Chord line

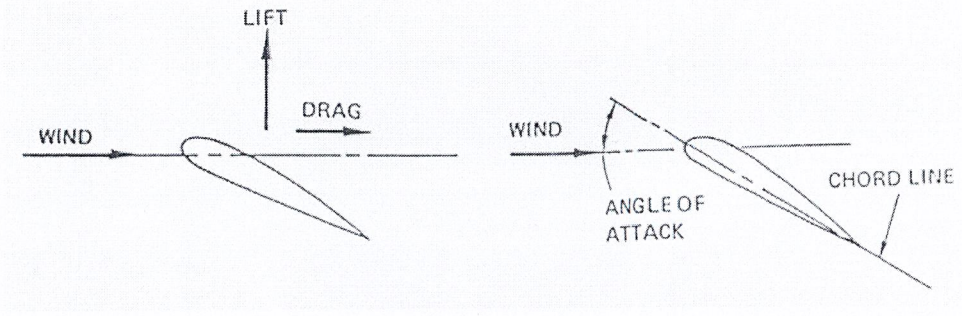
Airfoil แต่ละแบบแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ซึ่งมีการกำหนดเป็นค่า สัมประสิทธิ์ (Coefficient) ของแต่ละแบบ โดยนำค่าแรงยก (L) และแรงต้าน (D) หารด้วย $\frac{1}{2}\rho V^2 A$

เมื่อ ρ = Air density

V = Flow velocity

A = Blade area (Chord x Blade length)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



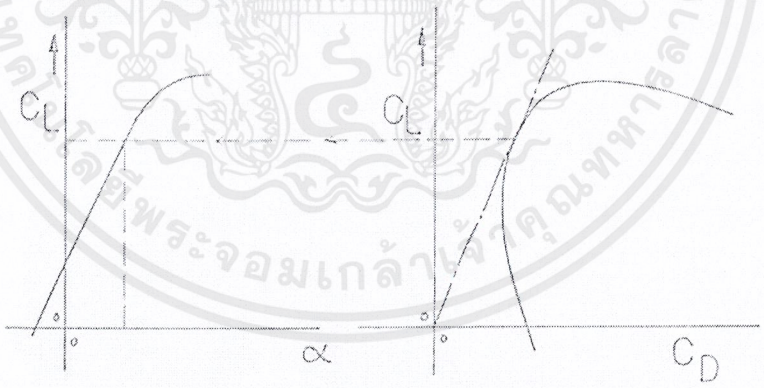
รูปที่ 2-11 ลักษณะของ Airfoil และแรงที่กระทำ

เราเรียกค่าตัวเลขทั้งสองว่า Lift Coefficient (C_L) และ Drag Coefficient (C_D)

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad (2.1)$$

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad (2.2)$$

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า แรงยกและแรงต้านนั้น มีผลมาจากค่ามุมปะทะ จึงทำให้เราได้ลักษณะของค่าแรงยกและแรงต้านของ Airfoil เป็นกราฟระหว่าง C_L กับ α



รูปที่ 2-12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_L กับ α และ C_L กับ C_D

กราฟทั้งสองนี้ เป็นกราฟจาก NACA-Airfoil ซึ่งมีความสำคัญมากในการเลือกใช้ เพื่อนำมาสร้างใบพัด ค่า C_L และ α ที่จะนำมาใช้ ควรที่จะให้ค่า $\frac{C_D}{C_L}$ น้อยที่สุด ซึ่งเรามีมีวิธีการเลือกค่า C_L และ α จากกราฟ NACA-Airfoil ได้ดังนี้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟของ $\frac{C_D}{C_L}$ นั้น ให้ลากเส้นตรงจากจุด Origin ไปสัมผัสกับเส้นกราฟ เส้นตรงที่ได้นี้จะให้ค่า $\frac{C_D}{C_L}$ น้อยที่สุด จากค่า C_L ในกราฟนี้ก็นำมาหาค่า α จากกราฟ C_L และ α ที่ได้นี้ เราเรียกว่า C_L-design และ α-design

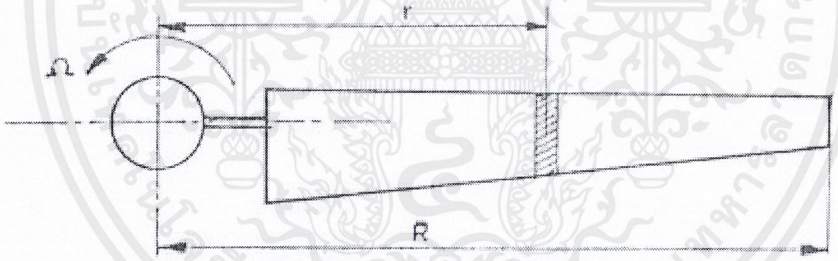
ค่าของมุม ที่ได้นี้มิใช่ค่ามุมปะทะของ Airfoil ขณะกังหันหมุนหรืออยู่กับที่ แต่ต้องเป็นค่ามุมที่ได้จากทิศทางสัมพัทธ์ (Relative angle) ที่ลมกระทำกับ Airfoil (Chord line) นั้น ๆ

การออกแบบใบพัดนั้นเราได้มีการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ และตัวคงที่ต่าง ๆ หลายตัวเพื่อให้สะดวกและเป็นแนวทางให้ตัดสินใจออกแบบใบพัดได้ว่าควรจะมีรูปร่าง ขนาด หรือความเร็วเชิงมุมเพียงใด ในขณะที่ต้องการความเร็วลมนั้น ๆ

$$C_P = \frac{P}{\frac{1}{2}\rho A V_\alpha^3} \tag{2.3}$$

และเพื่อเป็นการกำหนดความเร็วการหมุนที่สะดวกในการคำนวนและเข้าใจง่าย เราก็กำหนดค่าสัดส่วนความเร็วใบพัดต่อความเร็วลม

$$\lambda = \frac{U}{V_\alpha} = \frac{\Omega R}{V_\alpha} \tag{2.4}$$



รูปที่ 2-13 การหา Local speed ratio

ที่ r ระยะต่าง ๆ นั้นเรียกว่า Local speed ratio

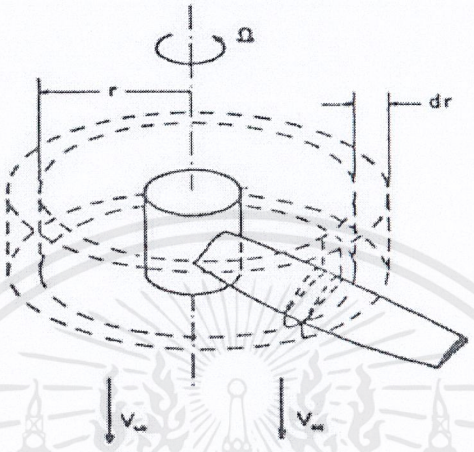
$$\lambda_r = \frac{\Omega r}{V_\alpha} \tag{2.5}$$

จากความสัมพันธ์ระหว่างสมการ (2.4) และ (2.5) จะได้ $\lambda_r = \lambda r/R$ (2.6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 Momentum theory for a rotating wake

ในข้อสมมุติฐานขั้นต้นของ Momentum theory พิจารณาว่าการหมุนวนของอากาศนั้นไม่มี ซึ่งเป็นไปได้ที่จะพัฒนาถ้าพิจารณาความเร็วเชิงมุมของลม (ω) โดยให้ Slipstream มีจำนวนน้อยมากเมื่อเทียบกับความเร็วเชิงมุมของใบพัด (Ω) และให้ความดันในอากาศที่หมุนวนมีค่าเท่ากับกระแสอากาศอิสระ



รูปที่ 2-14 แสดงลักษณะของใบพัดที่นำมาคำนวณ

กระแสอากาศที่ไหลผ่านใบพัด พื้นที่ ΔA รัศมี r จะมีค่า $\Delta A=2\pi r\Delta r$ โดยการเปลี่ยนของ Momentum ของอากาศที่ไหลผ่าน แรงในแนวสัมผัสเส้นรอบวงของใบพัดจะได้ว่า

$$\Delta F_t = \dot{m}(\Delta V)$$
$$= \rho U \Delta A \omega r$$
$$= 2\pi\rho\omega U r^2 \Delta r$$

และ Torque ที่ได้โดยรัศมี Δ r

$$\Delta Q = 2\pi\rho\omega U r^3 \Delta r$$

แต่ Power = Torque x Angular speed

$$\Delta P = 2\Omega\pi\rho\omega U r^3 \Delta r$$

เราจะได้

$$Q = 2\pi\rho \int_0^R U\omega r^3 dr \qquad (2.7)$$

$$P = 2\pi\rho\Omega \int_0^R U\omega r^3 dr \qquad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่าง Ω และ U

$$U(V_\alpha - U) = \frac{1}{2}\omega r(\Omega + \omega)r \quad (2.9)$$

ให้

$$a = 1 - \frac{U}{V_\alpha} \quad (2.10)$$

และให้ $a' = \frac{\text{ความเร็วเชิงมุมของลมที่ใบพัด}}{\text{ความเร็วเชิงมุมของใบพัด}} = \frac{\omega}{2\Omega}$

$$\omega = 2a'\Omega \quad (2.11)$$

จากสมการ (2.4) (2.5) (2.8) (2.9) (2.10) และ(2.11)

$$C_P = \frac{8}{\lambda^2}\int_0^\lambda (1-a)a'\lambda_r^3 d\lambda_r \quad (2.12)$$

และ

$$(1-a)a = a'(1+a')\lambda_r^2 \quad (2.13)$$

เมื่อ Integrate สมการ (2.12) โดยใช้ (2.13) ช่วย จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง a และ a' คือ

$$a' = \frac{(1-3a)}{4a-1} \quad (2.14)$$

ซึ่งสมการนี้จะใช้ในการออกแบบใบพัดต่อไป

2.9 Blade element theory

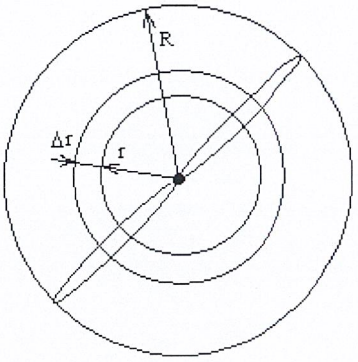
เนื่องจากการใช้ทฤษฎี Momentum ในการหาพลังงานที่แยกออกจากลมได้ก็จริง แต่ทฤษฎีนี้ยังไม่สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับ

- ความกว้างของใบพัดและมุมบิด
- อิทธิพลจากแรงเสียดทาน
- อิทธิพลจากจำนวนใบพัด

ซึ่งวิธีที่สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับสัดส่วนของใบพัด เรียกว่า Blade element theory ซึ่งมีข้อสมมติฐาน คือ ใบพัดแต่ละใบ ถือว่ามีอิสระแก่กันไม่มีผลรบกวนจากใบข้างเคียง และแรงที่กระทำบนใบ มี 2 แรงคือ แรงยกและแรงหน่วง

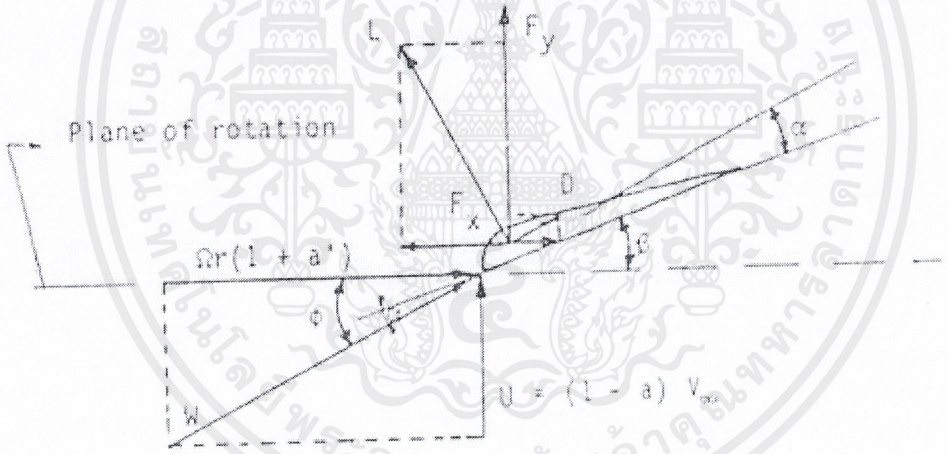
การไหลของอากาศผ่านชิ้นส่วน Δr นั้นถือว่าเป็น 2 มิติ ทำให้เราสามารถใช้คุณสมบัติของ Airfoil ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-15 Blade element ที่ใช้ในการคำนวณ

ที่รัศมี r จากรูป Blade element สามารถแสดงได้ดังรูปด้านล่าง ซึ่งความเร็วเชิงมุมของกังหันลมได้ถูกสมมติค่าให้เป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วของกระแสอากาศที่หมุนวน ($\Omega = \frac{1}{2}\omega$)



รูปที่ 2-16 ภาพแสดงความเร็วและแรงบนหน้าตัดของใบพัด

จากรูปเราจะได้ว่า

$$\alpha = \phi - \beta \tag{2.15}$$

และ

$$\tan\phi = \frac{(1-a)V_\alpha}{(1-a')\Omega r} \tag{2.16}$$

โดยที่ a' = Tangential interference factor = $\frac{\omega}{2\Omega}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (2.5)ได้ $\lambda_r = \frac{\Omega r}{V_\alpha}$

ดังนั้น $\quad \text{Tan}\phi = \frac{(1-a)}{(1-a')(\lambda_r)}$ (2.17)

2.9 การออกแบบใบพัดให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

จากสมการ (2.13)และ (2.14) เรามีสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง a และ a' คือ

$$a(1-a) = a'(1+a')\lambda_r^2 \quad (2.13)$$

$$a' = (1-3a)/(4a-1) \quad (2.14)$$

และจากสมการ (2.16) สามารถนำตัวแปร a, a' และ λ_r มารวมเขียนให้อยู่ในรูปฟังก์ชันของ ϕ ได้

$$a = \frac{\cos\phi}{2\cos\phi+1} \quad (2.18)$$

$$a' = \frac{1-\cos\phi}{2\cos\phi-1} \quad (2.19)$$

$$\lambda_r = \frac{\sin\phi(2\cos\phi-1)}{(1-\cos\phi)(2\cos\phi+1)} = \cot\frac{3\phi}{2} \quad (2.20)$$

และจากนิยามของสมการ (2.11) เราจะได้สมการ

$$\frac{a}{1-a} = \frac{\sigma C_L(1-\cos\phi)}{4\sin^2\phi} \quad (2.21)$$

โดยที่ $\sigma = \frac{BC}{2\pi r}$, B คือจำนวนใบพัด

ดังนั้น ขนาด Chord มีค่า $\quad C = \frac{8\pi r(1-\cos\phi)}{BC_L}$ (2.22)

เราจะสามารถหาขนาดและมุมบิดของใบพัดได้โดยใช้สมการ (2.6) (2.15) (2.20) และ(2.22)ได้แก่

$$\lambda_r = \frac{\lambda r}{R} \quad (2.6)$$

$$\alpha = \phi - \beta \quad (2.15)$$

$$\lambda_r = \cot\frac{3\phi}{2} \quad (2.20)$$

$$\text{Chord} = \frac{8\pi r(1-\cos\phi)}{BC_L} \quad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.10 ระบบลอยตัว (Lift system)

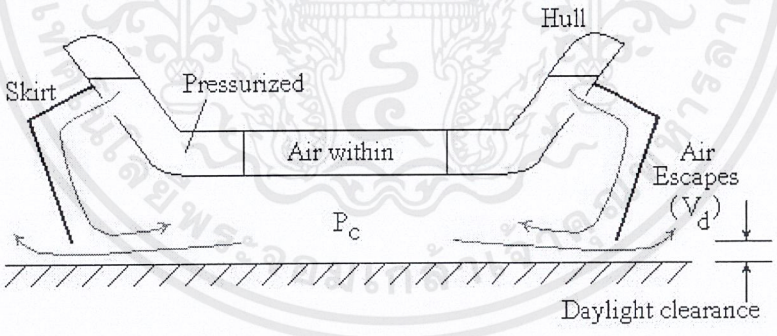
ประกอบด้วย เครื่องยนต์ ใบพัด และท่อดักลมต่าง ๆ ซึ่งจะจ่ายลมให้กับ Skirt และเบาะลม วิธีจ่ายลมให้กับระบบลอยตัวมีหลายวิธี ระบบที่ง่ายที่สุดเพื่อให้เกิดการยกตัวและการขับเคลื่อนคือใช้เครื่องยนต์เครื่องเดียว แต่อย่างไรก็ตาม ระบบนี้ให้ประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ การควบคุมยุ่งยาก และถ้าเครื่องยนต์เสียยานก็ไม่เคลื่อนที่

เครื่องยนต์สองเครื่องแยกจากกัน เพื่อยกตัวและการขับเคลื่อนจะเพิ่มค่าใช้จ่ายและน้ำหนัก แต่ควบคุมได้ง่าย ประสิทธิภาพดีขึ้น และไว้ใจได้ เมื่อใช้แต่ระบบยกตัวจะสามารถเคลื่อนที่ไปได้โดยการเอียงตัวยาน เมื่อระบบยกตัวเสียขณะที่อยู่ในน้ำ เราสามารถใช้ระบบขับเคลื่อนเพียงอย่างเดียวก็สามารถกลังถึงฝั่งได้ แต่อาจจะช้ากว่าปรกติบ้าง

พัดลมสำหรับระบบยกตัวสามารถใช้ได้ทั้งแบบ Axial flow หรือ Centrifugal flow แต่อย่างไรก็ตาม ในยานขนาดเล็กจะใช้ระบบ Axial flow เนื่องจากระบบ Centrifugal flow มีน้ำหนักมาก ทำให้ยานไม่สามารถมีขนาดเล็กได้

2.10.1 กำลังงานที่ต้องการสำหรับระบบลอยตัว

กำลังงานที่ต้องการนี้ใช้ในการสร้างปริมาณอากาศเพื่อยกยานให้ลอยขึ้น ซึ่งกำลังงานนี้จะแปรผันตาม น้ำหนักยาน และพื้นที่ที่อากาศรั่วออกจากระบบลอย พื้นที่นี้เป็นผลมาจากความสูงของชาย Skirt รอบตัวยานขณะที่ยานลอยตัว เนื่องจากภายใต้สภาวะ Steady state อากาศที่เข้าสู่ระบบลอยตัวก็เพียงเพื่อทดแทนอากาศที่รั่วออก ทางช่องว่างระหว่างพื้นกับตัวยาน (Daylight clearance)



รูปที่ 2-17 ลักษณะของชาย Skirt เมื่อยานลอยตัว

การหากำลังงานเริ่มจากการหาความดันที่ใช้ในการยกน้ำหนักยานให้ลอยขึ้นได้ คือ

$$\text{Cushion Pressure } (P_C) = \frac{\text{craft weight}}{\text{cushion area}} \quad (N/m^2) \qquad (2.23)$$

$$p_c = \frac{1}{2}\rho V_\alpha^2 \qquad (2.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

42446

เมื่อ P_C = Cushion Pressure (N/m^2)

ρ = Air Density (1.23 kg/m^3)

V_α = Velocity of Air Gap (m/s)

Cushion Area ที่คำนวณได้จากขนาดของตัวยานยังไม่ใช่ค่าที่แม้จริง เนื่องจากขอบของ Skirt หดเข้ามาข้างใน จึงทำให้พื้นที่จริงเป็นเพียง 90% ของพื้นที่ที่คำนวณได้ตอนแรก

อัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในระบบลอยตัวสามารถหาได้จาก ผลคูณระหว่างความเร็วของอากาศที่ไหลออกจาก Skirt กับพื้นที่โดยรอบที่อากาศไหลออก

$$\text{Lift Air Volume } (Q_L) = V_\alpha \times A_{gap} \quad (m^3/s) \qquad (2.25)$$

โดยที่ A_{gap} = Hull Perimeter x Air Gap Height

ดังนั้น

$$\text{Horsepower Requirement for Lift System } (Hp_{LT}) = \frac{Q_L \times P_c}{746} \qquad (2.26)$$

เนื่องจากใช้เครื่องยนต์และใบพัดชุดเดียวจะเกิดการสูญเสียจาก Intake loss, Ducting loss, Diffusion และประสิทธิภาพใบพัดมากกว่าใช้เครื่องยนต์ 2 เครื่อง การสูญเสียสามารถแก้ไขได้โดยคูณตัวประกอบประสิทธิภาพของระบบลอยตัว แต่เป็นการยากที่จะทำนายได้เนื่องจากอาจเป็นผลมาจากความโครงของช่องลมหรือแรงเสียดทานของอากาศ ซึ่งยานแต่ละลำที่สร้างมีค่าไม่เท่ากัน จึงต้องใช้ค่าประมาณ ซึ่งค่าตัวประกอบอยู่ระหว่าง 25-60% เราก็จะได้ กำลังงานของเครื่องยนต์ที่ต้องการจริง (Hp_{LA})

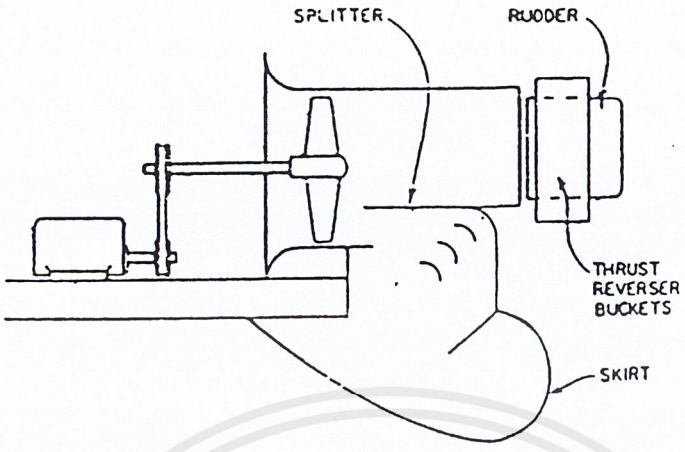
กำลังงานสำหรับระบบลอยตัวมีค่าเพียง 30% ของกำลังงานที่เครื่องยนต์ผลิตได้ เป็นผลเนื่องจากการแบ่งปริมาณลมที่เข้าสู่ระบบลอยตัว ดังนั้นสามารถหาค่ากำลังงานของเครื่องยนต์ได้จาก

$$Hp_{LA} = 0.3 \times Hp_{Total} \qquad (2.27)$$

2.10.2 อัตราการไหลของอากาศที่ต้องการให้ใบพัดผลิตได้

โดยปรกติอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในระบบลอยตัว มีค่าเป็น 30 % ของอัตราการไหลที่ใบพัดผลิตได้ ในส่วนของการแบ่งประมาณอากาศเข้าสู่ระบบลอยตัวใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Splitter จากรูปที่ 2-16 Single axial fan ดูดลมผ่านปากรูประฆัง (Duct fan) ส่วนล่างของ Duct fan ด้านท้ายของใบพัดจะมีตัว Splitter เพื่อแยกอากาศเข้าสู่ Bag skirt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-18 แสดงอุปกรณ์แบ่งปริมาณอากาศ

ดังนั้นอัตราการไหลของอากาศที่ต้องการให้พัดลมผลิตได้หาได้จากสมการ

$$Q_L = 0.3Q_{Total} \quad (2.28)$$

เราก็สามารถนำอัตราการไหลของอากาศนี้ไปออกแบบใบพัดได้

2.10.2 ขนาดช่องลม

ขนาดของช่องรอบลำเรือ หาได้จากพื้นที่ใต้ Splitter หารด้วย จำนวนช่องทั้งลำเรือ จะได้พื้นที่ของช่องแต่ละช่อง เนื่องจากพื้นที่ทางเข้าของอากาศในระบบลอยตัวต้องเท่ากับพื้นที่ทางออกของอากาศ (รูรอบลำเรือ) โดยพื้นที่ใต้ Splitter ซึ่งมีค่า 1/3 ของพื้นที่ Duct

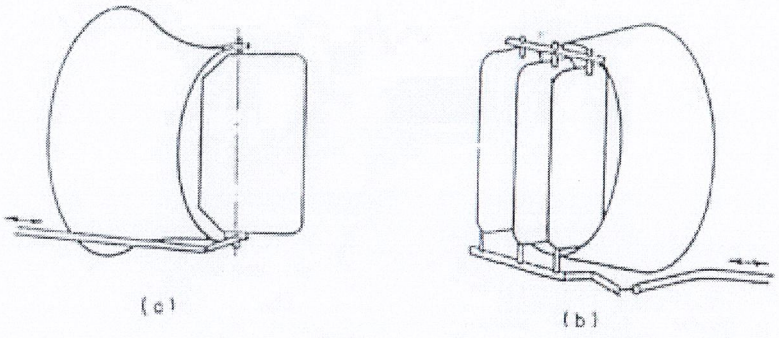
2.8 ระบบขับเคลื่อน (Thrust System)

เนื่องจากยาน Hovercraft ใช้การเคลื่อนที่จากพลังงานลม ดังนั้นระบบขับเคลื่อนของยาน Hovercraft ก็คือเครื่องมือที่สามารถสร้างพลังงานลมและบังคับทิศทางลมได้ ซึ่งได้แก่ใบพัดและหางเสืออากาศนั่นเอง สำหรับใบพัดสามารถเลือกได้ทั้ง แบบ Centrifugal fan หรือแบบ Axial flow fan ขึ้นอยู่กับ ขนาดตัวยาน เนื่องจาก แบบ Centrifugal fan มีน้ำหนักมากจะเหมาะกับยานขนาดใหญ่ แต่ก็ให้ปริมาณลมได้มากกว่าแบบ Axial flow fan

2.9 การควบคุมทิศทางของยานเบาะอากาศ

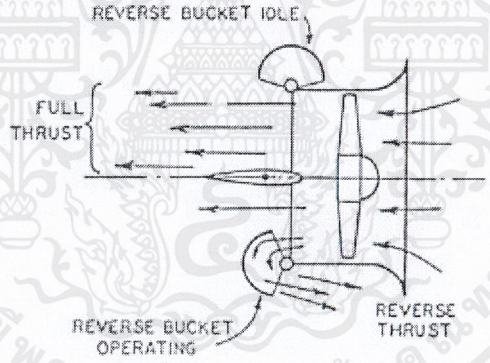
การควบคุมทิศทางของยาน Hovercraft อย่างพื้นฐานทำได้โดยใช้ Rudder หันซ้าย-ขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-19 แสดงลักษณะหางเสือ a) แผ่นเดียว b) หลายแผ่น

การเพิ่มอุปกรณ์กลับทิศทางแรงขับ แบบง่ายทำได้โดยใช้ Buckets ซึ่งจะแกว่งไปหาลำอากาศ ที่ด้านหลัง Thrust duct เมื่อถูกดึง ซึ่งจะทำให้แรงขับทิศนั้นลดลงหรือเหลือศูนย์ ถ้าผู้ขับขี่มีความชำนาญในการควบคุม Bucket จะทำให้การควบคุมทิศทางมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

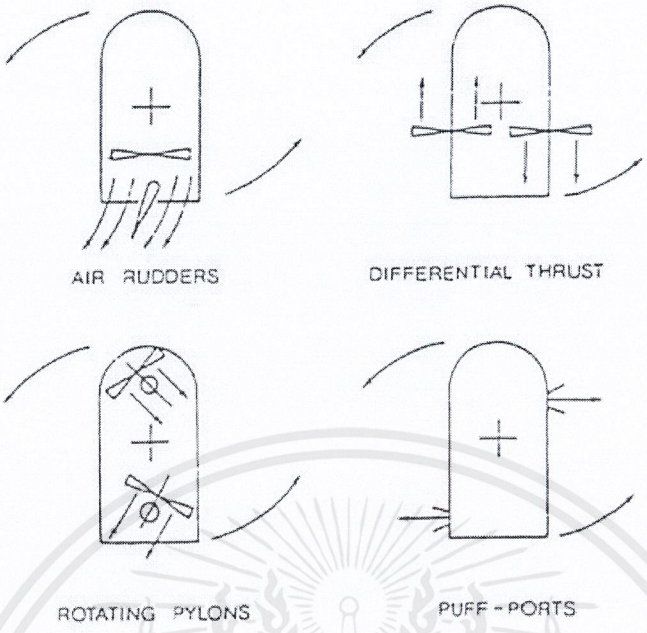


รูปที่ 2-20 Thrust Reverse

โดยทั่วไปการที่ตัวยานลอยอยู่บนผิวพื้นรองรับอย่างเป็นอิสระเป็นปัญหาเฉพาะของยานชนิดนี้ ที่จะทำให้ไม่สามารถควบคุมทิศทางได้โดยสะดวก วิธีการที่นำมาใช้ควบคุมทิศทางสมารถแบ่งได้เป็น 4 กรณีใหญ่ๆ คือ

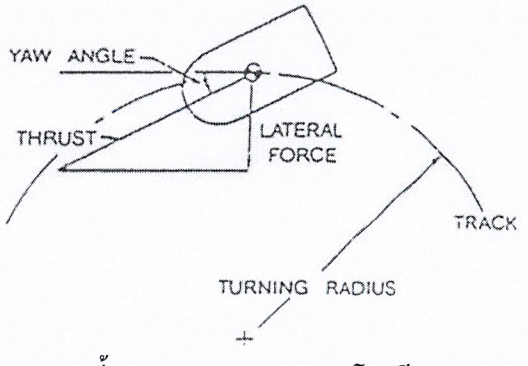
1. พื้นผิวควบคุมทางอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics control surface)
2. แรงขับที่แตกต่าง (Differential trust)
3. การเปลี่ยนเวคเตอร์แรงขับ (Trust vectoring)
4. การควบคุมช่องลม (Puff port)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-21 วิธีควบคุมทิศทางของยาน Hovercraft

การใช้พื้นผิวควบคุมทางแอโรไดนามิกส์ เช่นหางเสืออากาศ (Rudders) กับลมที่เป่าออกมาจากใบพัดอากาศ สามารถทำให้เกิดผลในการควบคุมทิศทางได้กับยานเบาะอากาศโดยทั่วไป อย่างไรก็ตามผลที่ได้จะลดลงเมื่อลมที่เป่าออกมามีความเร็วต่ำแรงขับน้อย ๆ และที่ตัวของพื้นผิวควบคุม จะทำให้เกิดโมเมนต์ต้านทานการหมุน (Rolling moment) ถ้าจุดศูนย์กลางแรงดันของพื้นผิวควบคุมมีความสัมพันธ์สูง (High relative) กับจุดศูนย์กลางแรงโน้มถ่วงของยาน องศาของการควบคุมทิศทาง (Adequate degree) อาจจะควบคุมโดยอาศัยแรงขับที่แตกต่างซึ่งเกิดจากใบพัด 2 ชุด ติดตั้งถาวรอยู่แต่ละฝั่งของตัวยาน แรงขับที่แตกต่างกันเกิดจากการที่ควบคุมมุมของใบพัดหรือความเร็วรอบใบพัด ซึ่งอย่างไรก็ตามการลดลงของแรงขับในใบพัดตัวใดตัวหนึ่งก็จำทำให้ลดแรงขับรวมที่ไปข้างหน้า และลดความเร็วลงด้วย แรงขับที่ได้จะขนานกับแนวของตัวยาน ซึ่งจะทำให้เกิดแรงแนวขวางเพื่อที่จะสมดุลย์กับแรงสู่ศูนย์กลางในระหว่างการเลี้ยวเพื่อจะทำให้เกิดมุมเลี้ยว (Yaw angle)



รูปที่ 2-22 การเลี้ยวของยาน Hovercraft โดยมีมุม Yaw

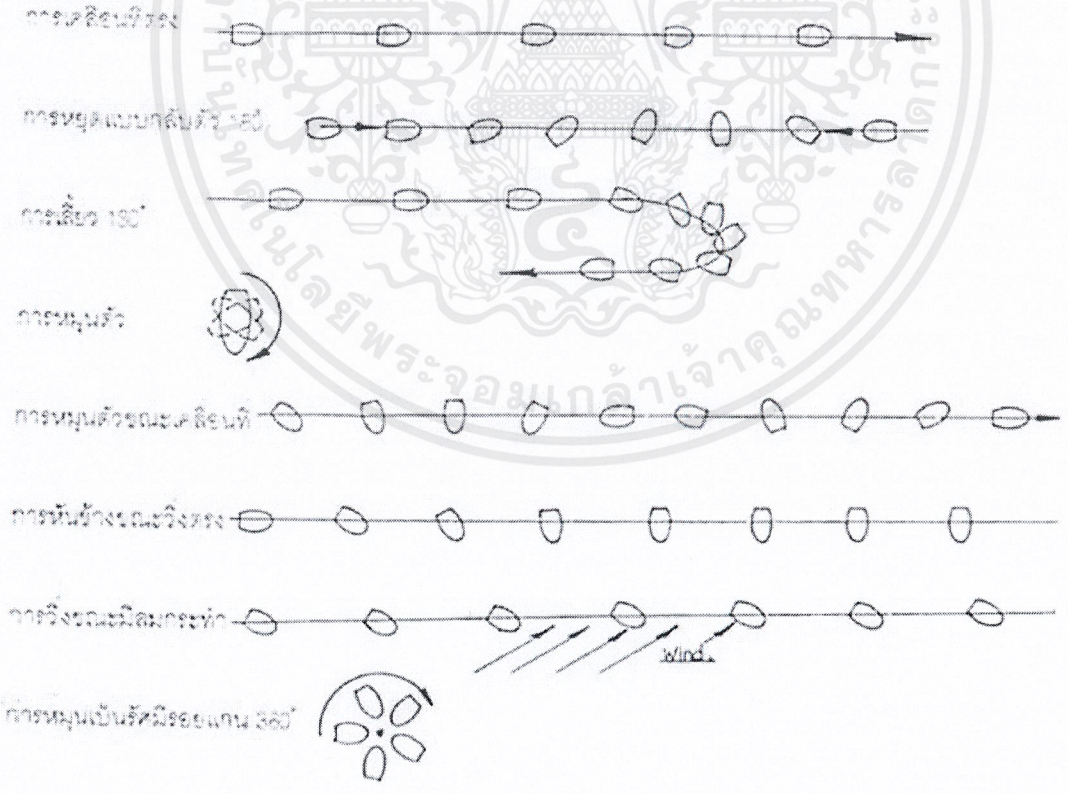
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ใบพัดที่ยึดติดกับยานโครงสร้างที่หันได้ (Swiveling pylonmounted propellers) บริเวณด้านหน้าและหลังของตัวยาน (Fore and craft) สำหรับบางแบบในปัจจุบันมุมหันจะอยู่ประมาณ 30 องศา บนด้านทั้งสองในแนวขนานกับตัวยานมีขอบเขตแนวขนานของ Moment ต้านทานการหมุน เปรียบเทียบกับแบบตายตัวที่อยู่ฝั่งซ้ายฝั่งขวา แบบใบพัดหันได้สามารถที่จะสร้าง Yawing moment ได้สูงกว่า เพราะใบพัดสามารถติดตั้งได้ห่างจากจุดศูนย์กลางแรงโน้มถ่วงของตัวยาน และมีการสูญเสียแรงขับไปข้างหน้าน้อยกว่าในการที่สร้าง Yawing moment เท่า ๆ กัน

โดยวิธีการปล่อยอากาศที่มีความดันจากท่อ ที่เรียกว่า Puff-ports ซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณแต่ละมุมของตัวยาน Yawing moment จะเกิดจากแรงขับด้านข้าง ซึ่งมักจะถูกใช้เป็นอุปกรณ์ช่วยเหลือระบบควบคุมอื่น ๆ อีกทีหนึ่ง

2.10 การขับเคลื่อนขึ้นเนินหรือเจอลมพัดขณะขับเคลื่อน

การขึ้นเนินนั้นสามารถทำได้ง่าย เริ่มเร่งความเร็วจากพื้นราบเรียบด้านล่างก่อน แล้วเคลื่อนที่ไปบนเนินอย่างมั่นคงและรักษาระดับการเคลื่อนที่ไว้ การลงจากเนินจะควบคุมได้ยาก จะต้องใช้แรงยกตัวน้อยและต้องพยายามลดความเร็วขณะเคลื่อนที่ลง ถ้าเนินชันมากให้ถอยหลังลงโดยใช้การเร่งเครื่องช่วยเบรก



รูปที่ 2-23 ลักษณะการขับเคลื่อนแบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิ่งตามลมเป็นอันตรายได้ โดยเฉพาะในน้ำ ถ้าแรงขับยังไม่มาก การควบคุมก็จะทำได้ไม่ยาก แต่ความเร็วจะสามารถเพิ่มขึ้นได้อย่างรวดเร็วจึงต้องคอยระวังไว้ การพยายามที่จะเลี้ยวอาจทำให้หัวยานมุดลงได้ และถ้าความเร็วสูงยานอาจพลิกคว่ำได้ การพยายามที่จะลดแรงยกตัวทำให้การทรงตัวไม่เสถียร ซึ่งจะทำให้พลิกคว่ำได้ การวิ่งตามลมควรวิ่งในลักษณะขวางลมอย่าต่อเนื่อง

2.11 การขับเคลื่อนบนน้ำ

เมื่อ สตาร์ทเครื่องยนต์ขณะอยู่ในน้ำ ยานจะถูกยกขึ้นอย่างช้า ๆ พร้อมกับแรงขับต่ำ ทำให้น้ำพุ่งออกจากหัวยาน จนกระทั่งน้ำถูกระบายจาก Skirt จนหมด จะทำให้แรงยกตัวเพิ่มขึ้น และการเพิ่มแรงขับจะเพียงพอที่จะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้

เมื่อจะเลี้ยวในน้ำต้องลดความเร็วลงเล็กน้อย และเลี้ยวด้วยความเร็วคงที่เพื่อให้มีความเร็วมากกว่า Hump speed ถ้าลดความเร็วมากเกินไปและต่ำกว่า Hump speed เรือจะพุ่งลงน้ำ และความเร่งของตัวยานจะลดลงอย่างทันทีทันใด ถ้าเกิดขณะเลี้ยวจะทำให้มุมด้านนอกมุดลงไปในน้ำ และอาจทำให้พลิกคว่ำได้ นอกจากนี้การเลี้ยวต้องการความราบเรียบและลื่นไหล ดังนั้นต้องการเวลามาก

2.12 การหยุด

จะเห็นได้ว่าการปรับค่าให้แรงยกตัวต่ำลง แรงฉุดของ Skirt น้อย จะทำให้ยานบินช้าลงด้วย เมื่อเคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่ว่าบนบกหรือในน้ำ ต้องกำหนดไว้ก่อนว่าจะหยุดตรงไหน แล้วค่อย ๆ ลดแรงขับลงก่อนล่วงหน้า หลังจากนั้นลดการยกตัวและลงจอดอย่างนิ่มนวล ถ้าเกิดมีลมหรือพื้นเป็นทางชัน จะต้องบังคับให้วิ่งไปตามลมไปยังที่ ๆ ต้องการหยุด และเมื่อเข้าใกล้จุดนั้นก็เปลี่ยนทิศทางเป็นทวนลมอย่างช้า ๆ ลดความเร็วลงเรื่อย ๆ จนลงจอดได้แล้วดับเครื่อง

ถ้าต้องการรีบหยุด ให้หมุน 180 องศา โดยเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (ท้ายยานเมื่อกลับหัวแล้ว) ช้า ๆ ขณะใช้แรงยกตัวเต็มที่ โดยปรับหางเสือเพื่อให้ยานหมุนกลับทางแล้วเร่งคันเร่งช่วยให้แรงดันของลมที่ใช้ขับเคลื่อนเป็นตัวช่วยหยุด และเมื่อยานหมุนกับทางแล้วให้ปรับหางเสือให้ทิศทางตรงกันข้ามเพื่อให้ยานหยุดหมุน และใช้การเร่งเครื่องช่วยให้ยานหยุดหมุน ซึ่งจะทำให้ยานเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (ด้านหัวยานเมื่อกลับหัวแล้ว) แล้วปรับหางเสือให้ตรงพร้อมกับเร่งเครื่องเต็มที่จนกระทั่งยานหยุดนิ่ง

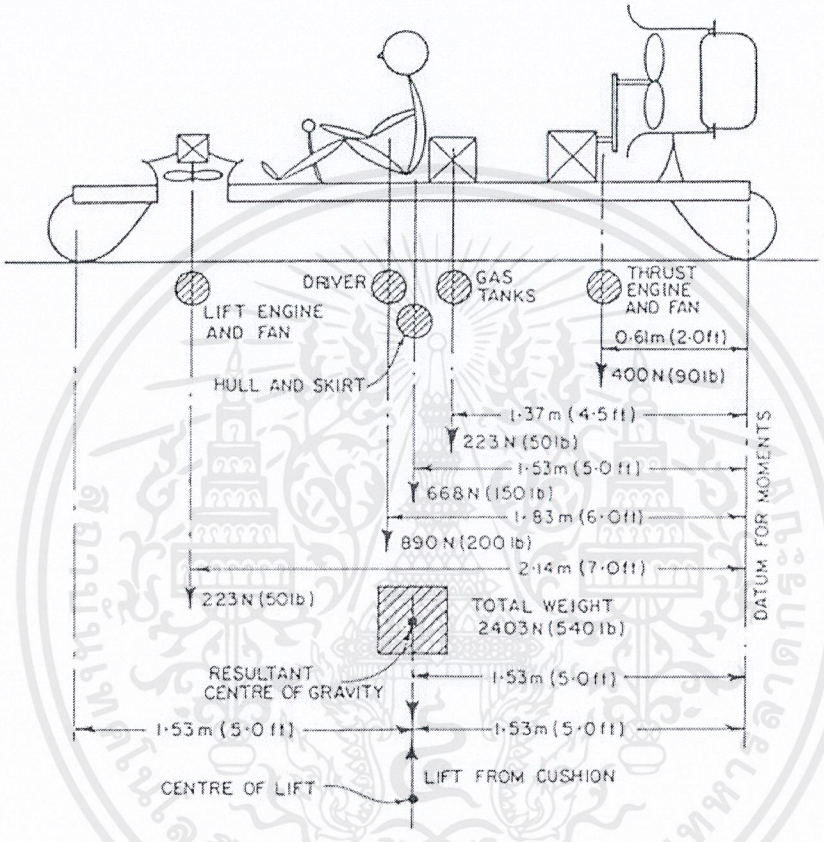
2.13 โครงสร้างลำตัวยาน (Hull)

Hull มีหน้าที่หลายอย่าง 1) เป็นโครงที่จะยึดส่วนประกอยต่าง ๆ ทั้งหมด 2) เป็น Airtight top สำหรับ Air cushion cavity 3)เป็นช่องสำหรับลอยตัว 4) เป็นเรือเมื่อเครื่องยนต์ดับในน้ำ 5) สามารถเลื่อนได้บ้างบนพื้นดินแม้ไม่ติดเครื่อง มันต้องการรวมทุกส่วนไว้และต้องการน้ำหนักเบาที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวางแบบส่วนประกอบต่าง ๆ ถ้าทราบน้ำหนักและขนาดส่วนประกอบต่าง ๆ และขนาดทั้งหมดของยาน จะช่วยให้การตัดสินใจในการวางตำแหน่งส่วนประกอบ เพื่อให้เกิดความสมดุยล์ระหว่างด้านหัวเรือและท้ายเรือ โดยใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ช่วยคือใช้วิธี Take Moment รอบจุดศูนย์กลางเรือ

ตำแหน่งของคนขับและถังเชื้อเพลิงควรอยู่ใกล้กับจุดศูนย์ถ่วง (CG) มากที่สุด เพื่อว่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป จะมีผลต่อ Trim ของยานน้อยที่สุด



รูปที่ 2-24 แสดงตัวอย่างการว่างตำแหน่งอุปกรณ์และน้ำหนักต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและการออกแบบ

3.1 การออกแบบขั้นพื้นฐาน

การออกแบบยาน Hovercraft ทำได้ 2 แนวทางด้วยกันคือ

1. เลือกเครื่องยนต์ก่อน เมื่อทราบกำลังงานของเครื่องยนต์แล้วจึงนำไปกำหนดขนาดของตัวยานและพิกัดบรรทุก
2. กำหนดขนาดตัวยาน และน้ำหนักบรรทุก เพื่อนำไปคำนวณหากำลังงานที่ต้องการแล้วเลือกเครื่องยนต์ที่มีกำลังงานมากพอกับที่คำนวณไว้

3.1.1 การกำหนดขนาดและน้ำหนักบรรทุก

สำหรับโครงงานนี้เลือกใช้วิธีที่ 2 โดยกำหนดขนาดตัวยานให้ ยาว 3.4 เมตร กว้าง 2 เมตร ดังนั้นพอที่จะประมาณน้ำหนักของตัวยาน Hovercraft ที่สร้างจาก Fiber Glass ได้ น้ำหนักประมาณ 180 กิโลกรัม ส่วนน้ำหนักบรรทุกกำหนด 180 กิโลกรัม

3.1.2 คำนวณหากำลังงานที่ต้องการ

1. เริ่มจากคำนวณหา Cushion pressure ซึ่งจากสมการ (2.23) คำนวณได้ 553 N/m^2
2. กำหนดความสูงของชาย Skirt ให้สูง 1.5 เซนติเมตร
3. คำนวณหาอัตราการไหลของอากาศในระบบลอยตัวโดยใช้สมการ (2.24) และ (2.25) ได้อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 5.3 m^3/sec
4. คำนวณกำลังงานที่ใช้สำหรับระบบลอยตัว โดยใช้สมการ(2.26) ได้ 9.83 แรงม้า
5. จากข้อ 4. และสมการ (2.27) จะทำให้ทราบกำลังงานของเครื่องยนต์ที่ใช้กับยาน Hovercraft คือ 32.76 แรงม้า ซึ่งสามารถนำไปหาเครื่องยนต์ที่มีกำลังงานไม่ต่ำกว่าที่คำนวณได้ ในโครงงานนี้เลือกเครื่อง Honda VFR 400 ซึ่งมีกำลังงานสูงสุด 53 แรงม้า

3.2 การคำนวณระบบขับเคลื่อน

การออกแบบกังหันลม เลือกรูปร่างของ Airfoil โดยใช้ NACA 4412 ดังรูปที่ 3-1 ซึ่งทำให้ได้มุม α, C_D และ C_L ที่จะนำไปคำนวณ กำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดเท่ากับ 1 เมตร และจากการคำนวณในระบบลอยตัวซึ่งเราได้อัตราการไหลของอากาศทั้งระบบ ดังนั้นจึงสามารถหาความเร็วลมที่ต้องการได้เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

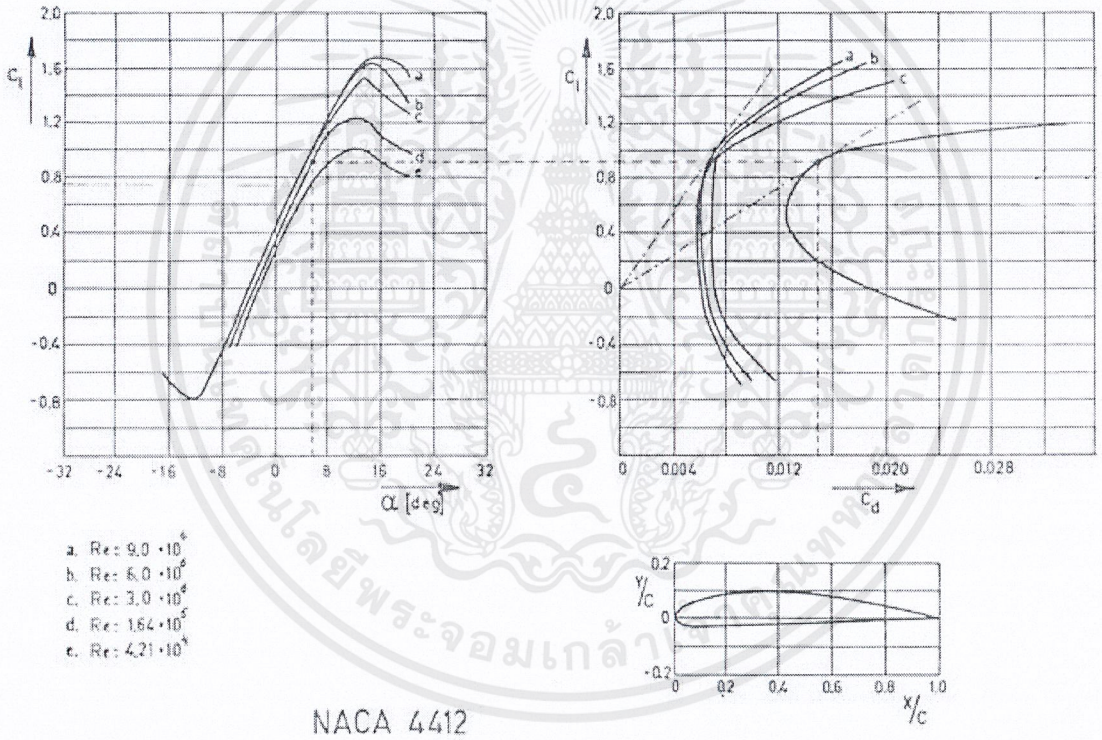
กับ22.49 m/s และจากความเร็วรอบใบพัด ใช้อัตราทด 1:3 จากเครื่องยนต์ ดังนั้นจึงได้สัดส่วนความเร็วใบพัดต่อความเร็วลม(λ หรือ $\frac{\Omega R}{V_\alpha}$) จากสมการ (2.4) เท่ากับ 6.2 และเราจะสามารถหาขนาดและมุมบิดของใบพัดได้โดยใช้สมการ (2.6) (2.15) (2.20) และ(2.22)ได้แก่

$$\lambda_r = \frac{\lambda r}{R} \quad (2.6)$$

$$\alpha = \phi - \beta \quad (2.15)$$

$$\lambda_r = \cot\frac{3\phi}{2} \quad (2.20)$$

$$\text{Chord} = \frac{8\pi r(1-\cos\phi)}{BC_L} \quad (2.22)$$



รูปที่ 3-1 กราฟคุณสมบัติ NACA 4412

จากรูปที่ 3-1 เราได้

$C_L = 0.9$ $\alpha = 5.5^\circ$

กำหนดจำนวนใบพัด B = 4 ใบ รัศมีของใบพัดเท่ากับ 0.5 เมตร (ส่วนที่เป็นใบกังหันเริ่มตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.5 เมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่จากกราฟคุณสมบัติ NACA 4412 จะเห็นว่า $\alpha = 5^\circ - 6^\circ$ มีค่า $\frac{C_D}{C_L}$ แตกต่างกันน้อยมาก จึงสามารถคำนวณหาขนาดใบกังหันใหม่ได้โดยให้ขนาด Chord และมุมบิดแปรตามรัศมี จะทำให้ขนาด Chord เล็กพอเหมาะ

ที่มุม 5° $C_L = 0.86$ ที่ปลายใบ

ที่มุม 6° $C_L = 0.98$ ที่โคนใบ

$\Delta R = 0.5 - 0.1 = 0.4$ เมตร

$\Delta C_L = 0.86 - 0.98 = -0.12$

$\Delta\alpha = 5 - 6 = -1^\circ$

$$\frac{0.5 - r}{0.4} = \frac{0.86 - C_L}{-0.12}$$

$$C_L = 1.01 - 0.3r \quad (3.1)$$

และ

$$\frac{0.5 - r}{0.4} = \frac{5 - \alpha}{-1}$$

$$\alpha = 6.25 - 2.5r \quad (3.2)$$

ใช้สมการ (2.6) (2.15) (2.20) (2.22) (3.1) และ(3.2) คำนวณจะได้ค่าดังตาราง

R (m)	λ_r	ϕ	C_L	Chord (m)	α	β
0.1	1.24	25.92	0.98	0.065	6	19.92
0.2	2.48	14.64	0.95	0.043	5.75	8.89
0.3	3.72	10.03	0.92	0.031	5.5	4.53
0.4	4.96	7.60	0.89	0.025	5.25	2.35
0.5	6.2	6.11	0.86	0.021	5	1.11

ตาราง ที่ 3-1 แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณใบพัด

จากการคำนวณที่ได้จะเห็นได้ว่ารูปทรงของใบพัดนั้นยากต่อการสร้าง จึงควรเปลี่ยนรูปร่างใบพัดเสียใหม่ให้มีรูปทรงที่ง่ายต่อการสร้าง จึงควรทำให้ใบพัดมีสันเป็นเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3-2 เส้น Chord ที่ได้จากตาราง 3-1

เนื่องจากพื้นที่รับลมของใบพัดมากกว่า 75 % อยู่ระหว่าง 0.5 r ถึง 0.875 r

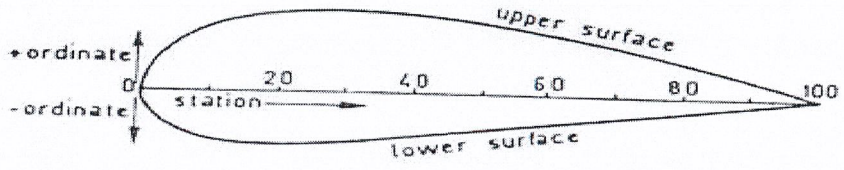
R (m)	λ_r	ϕ	C_L	Chord (m)	α	β
0.25	3.1	11.92	0.94	0.036	5.62	6.29
0.437	5.42	6.96	0.88	0.023	5.15	1.81

ตารางที่ 3-2 ค่าตัวแปรที่อยู่ในช่วงการออกแบบ

สร้างความสัมพันธ์ใหม่ได้ตังตารางที่ 3-3 แต่เนื่องจากใบพัดที่ได้จากสมการดังกล่าวมีประสิทธิภาพของเพียง 50 % เท่านั้นจึงควรปรับขนาด Chord ให้ใหญ่ขึ้นเป็น 2 เท่า นำค่าจากตารางที่ 3-3 และตารางที่ 3-4 ไปสร้างใบพัด

r (m)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
C (cm)	0.046	0.039	0.032	0.025	0.018
β	9.873	7.484	5.095	2.706	0.317
C New (cm)	0.093	0.079	0.065	0.051	0.037

ตารางที่ 3-3 ค่าตัวแปรที่ปรับค่าแล้ว



รูปที่ 3-3 ภาพแสดงขนาดมาตรฐานของ Airfoiol NACA4412

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Upper surface		Lower surface	
Station	Ordinate	Station	Ordinate
0	0	0	0
1.25	2.44	1.25	-1.43
2.5	3.39	2.5	-1.95
5	4.73	5	-2.49
7.5	5.76	7.5	-2.74
10	6.59	10	-2.86
15	7.89	15	-2.88
20	8.80	20	-2.74
30	9.76	30	-2.26
40	9.80	40	-1.80
50	9.19	50	-1.40
60	8.14	60	-1.00
70	6.69	70	-0.65
80	4.89	80	-0.39
90	2.71	90	-0.22
95	1.47	95	-0.16
100	(0.13)	100	(-0.13)
100	.....	100	0
L.E. radius: 1.58 Slope of radius through L.E.: 0.20			

ตารางที่ 3-4 Stations and ordinates given in per cent of airfoil chord

3.3 การคำนวณขนาดช่องลม

ถุงลมเลือกใช้แบบหลายถุง (Segment Skirt) ทำจากผ้าใบหรือผ้าร่ม ใช้ความกว้างแต่ละถุง 15 เซนติเมตร ดังนั้นทั้งลำเรือจะใช้ถุงลม 64 ถุง

เนื่องจาก ใช้ใบพัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร พื้นที่ใต้ Splitter หาได้จากสมการ $0.3(\pi r^2)$ มีค่าเท่ากับ 0.235 ตารางเมตร ดังนั้นขนาดของช่องลมเท่ากับ 2356.2/64 = 36.8 ตารางเซ็นติเมตร หรือ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.9 เซ็นติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ขั้นตอนการผลิต

4.1 ขั้นตอนการสร้างตัวเรือ

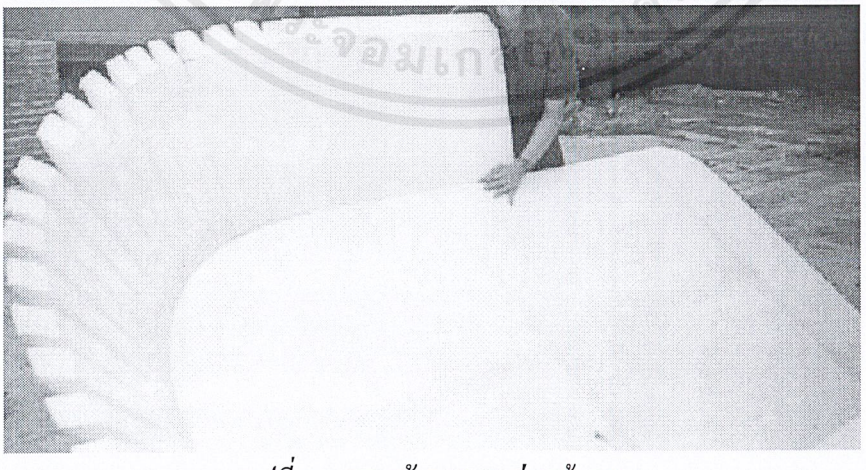
4.1.1 ขั้นตอนการเตรียม mold (ตัวเรือ ช่องลม ช่องใบพัด)

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้าง

1. โฟม
2. อีฟอกซี่
3. กระดาษกาว
4. กระดาษทรายเบอร์ 100
5. คัตเตอร์

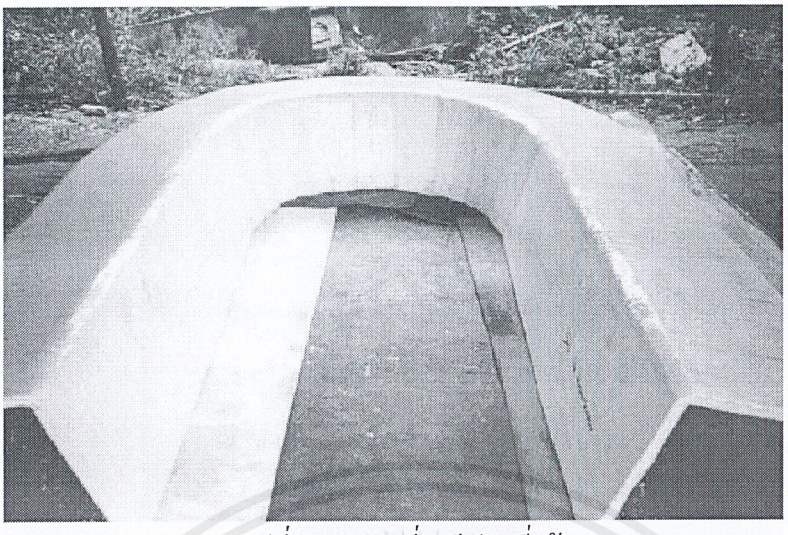
ขั้นตอนในการทำ

1. นำโฟมมาทำการตัดแต่งให้ได้ขนาดและรูปร่างตามที่ได้ออกแบบเอาไว้
2. นำโฟมที่ได้ตัดแต่งแล้วมาประกอบกันเป็นรูปแบบโดยใช้อีฟอกซี่เป็นตัวประสานกัน
3. นำกระดาษทรายเบอร์ละเอียดมาขัดแต่งแบบให้ได้รูปร่างที่ต้องการ
4. นำกระดาษกาวมาติดให้ทั่วแบบ
5. นำอีฟอกซี่มาทาทับกระดาษกาวอีกชั้นหนึ่งทิ้งไว้จนแห้งสนิท
6. นำกระดาษทรายเบอร์ละเอียดมาขัดแต่งแบบให้ได้รูปร่างที่ต้องการอีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 4-1 การสร้าง Mold ส่วนท้องยาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

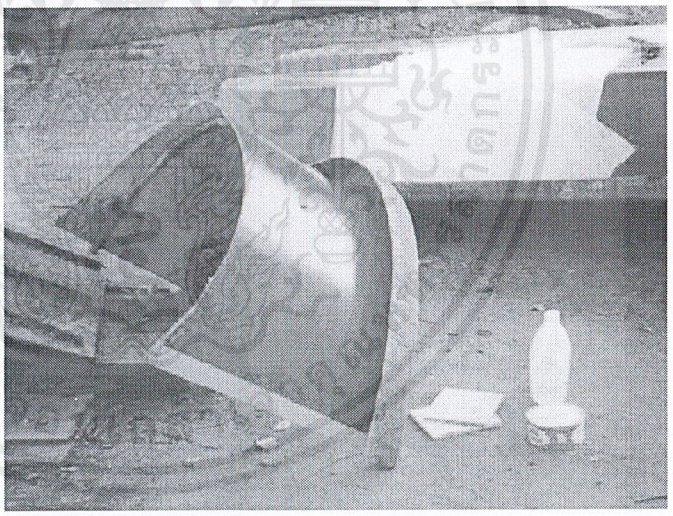


รูปที่ 4-2 Mold ที่ทาอีฟอกซี่แล้ว

4.1.2 การลงใยแก้ว

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้าง

1. ใยแก้วเบอร์ 300
2. เรซิน
3. น้ำยาเร่ง
4. แบบ (Mold)
5. ลูกกลิ้งทาสี
6. แปรงทาสี
7. แวกซ์
8. น้ำยาถอดแบบ
9. กระดาษทรายเบอร์ 60
10. คัตเตอร์



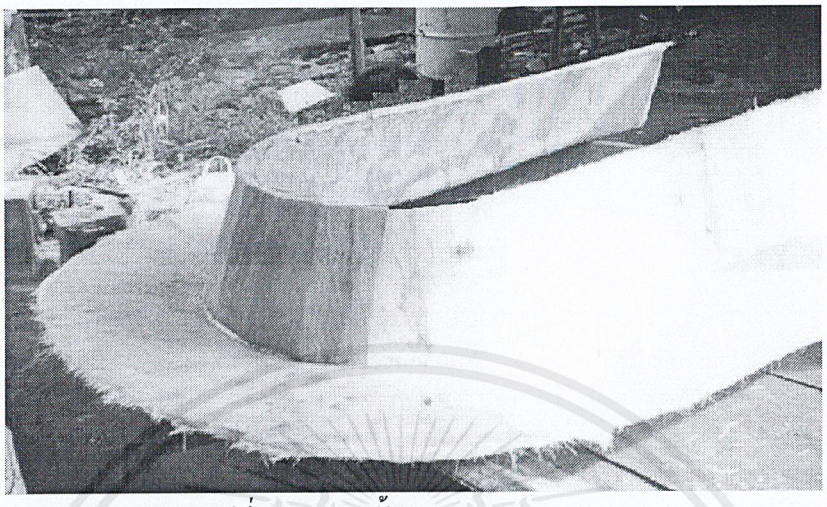
รูปที่ 4-3 อุปกรณ์ต่าง ๆ

ขั้นตอนในการทำ

1. นำแบบที่ได้มาทาแวกซ์เพื่อให้ผิวลื่นเป็นมันและง่ายต่อการถอดแบบ
2. นำน้ำยาถอดแบบมาทาทับอีกชั้นหนึ่งแล้วทิ้งไว้จนแห้ง
3. ตัดใยแก้วให้ได้ขนาดที่ต้องการแล้วนำมาวางลงบนแบบโดยให้แนบกับแบบเพื่อให้ง่ายต่อการลงน้ำยาเรซินและการไล่ฟองอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำน้ำยาเรซินและน้ำยาเร่งมาผสมกันในอัตราส่วน 200:1 คนให้เข้ากันแล้วต้องรีบทาน้ำยาลงบนใยแก้วทันทีก่อนที่น้ำยาจะแข็งตัว



รูปที่ 4-4 การลงชั้นของ Fiber glass

5. นำลูกกลิ้งที่เตรียมเอาไว้ชุบน้ำยาแล้วทาลงบนใยแก้วแล้วทำการไล่ฟองอากาศส่วนแปรงใช้ในกรณีที่ลูกกลิ้งเข้าไปไม่ได้

รูปที่ 4-5 แสดงการใช้อุปกรณ์ในการลงเรซิน

6. ทิ้งไว้กลางแดดจนใยแก้วแห้งสนิทประมาณ 30 นาที
7. เมื่อใยแก้วแห้งดีแล้วให้นำกระดาษทรายมาขัดผิวพอเรียบแล้วทำการลงใยแก้วชั้นต่อไป
8. ย้อนกลับไปทำขั้นตอนที่ 3 ถึงขั้นตอนที่ 7 จนได้ขนาดความหนาตามที่ต้องการ
9. ทำการถอดใยแก้วออกจากแบบแล้วทำการแต่งขอบให้เรียบร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

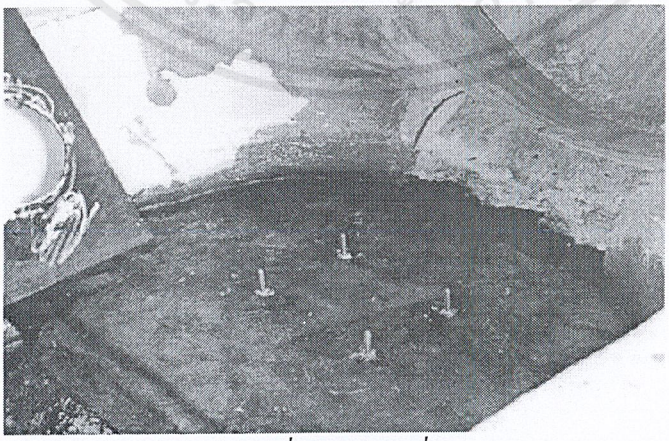
4.1.3 แท่นเครื่อง

วัสดุและอุปกรณ์

1. เหล็กแผ่นความหนา 5 มม. ขนาดเท่ากับความกว้างของตัวเรือ
2. เหล็กฉาก
3. เหล็กท่อขนาด ¾”
4. เหล็กเส้น
5. เครื่องเชื่อม
6. ไม้อัด ขนาดเท่ากับความกว้างของตัวเรือ
7. น๊อตสแตนเลส 4 ตัว
8. ใยแก้ว
9. แปรงทาสี
10. ลูกกลิ้งทาสี
11. กระดาษทราย

ขั้นตอนในการทำ

1. นำเหล็กแผ่นมาทำการเชื่อมกับน๊อตทั้ง 4 ตัวเพื่อเป็นตัวยึดแท่นเครื่องกับตัวเรือ
2. นำเหล็กแผ่นที่ได้มาทำการเจาะรูเพื่อลดน้ำหนักโดยคำนึงถึงความแข็งแรงด้วย
3. นำเหล็กแผ่นยึดแท่นเครื่องมาวางบนตัวเรือส่วนของแท่นวางเครื่อง แล้วทำการลงใยแก้ว 2 ชั้น
4. นำไม้อัดที่เตรียมเอาไว้ วางซ้อนอีก 1 ชั้น แล้วทำการลงใยแก้วอีก 2 ชั้น เพื่อลดการสั่นสะเทือนขณะที่เครื่องยนต์ทำงาน



รูปที่ 4-6 แท่นเครื่อง

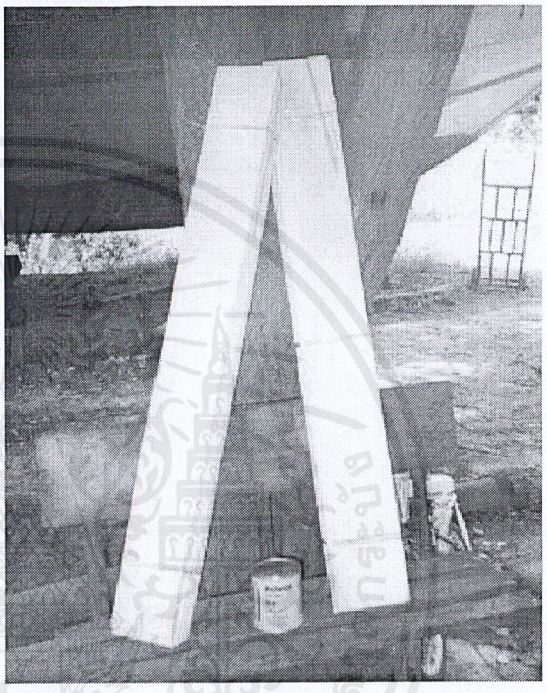
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ขั้นตอนการทำใบพัด

วัสดุที่ใช้ทำใบพัดนั้นมีด้วยกันหลายชนิด เช่น ไม้ พลาสติก โลหะ เป็นต้น สำหรับโครงงาน Hovercraft นี้ เลือกใช้ไม้เพราะเป็นวัสดุที่หาง่าย ทำง่าย และต้นทุนต่ำ ซึ่งไม้ที่ใช้ทำใบพัดมีด้วยกันหลายชนิด แต่ไม้ชนิดให้ความปลอดภัยสูงต้องเป็นชนิดที่มีความเหนียว เนื้อไม้ละเอียด ซึ่งได้แก่ ไม้เมเปิ้ล (Maple) ซึ่งอุปการณ์ และขั้นตอนการทำมีดังนี้

วัสดุอุปกรณ์

1. ไม้เมเปิ้ล (Maple)
2. กาว Well Wood + น้ำ
3. สิ่ว
4. เลื่อย
5. C-Clamp
6. ไม้บรรทัดวาด Curve
7. ไม้ฉาก
8. เครื่องเจียรมือ
9. แผ่นขัดกระดาษทราย เบอร์ 40,60
10. แล็กเกอร์

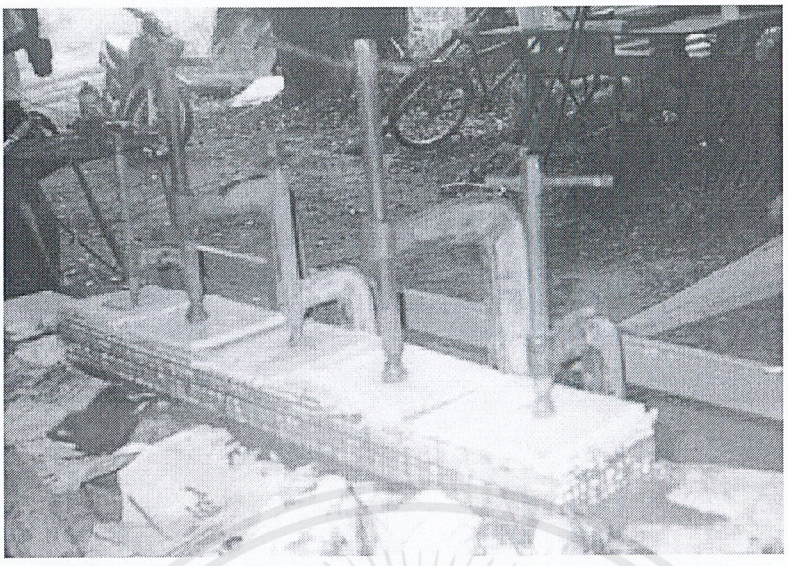


รูปที่ 4-7 ไม้เมเปิ้ล

ขั้นตอนการทำ

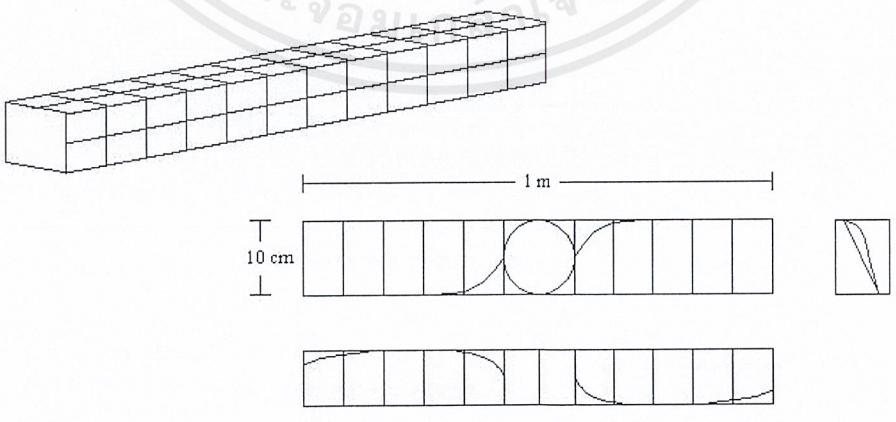
1. นำไม้เมเปิ้ลมาซอยให้ได้ตามขนาดและจำนวนที่ต้องการ (15 x 120 x 0.8 cm.)
2. คัดเลือกไม่ที่มีความเรียบไม่มีรอบแตกไม่มีตาไม้ ให้ได้ 16 แผ่น (2 ใบ)
3. นำกาว ผสมกับน้ำคนให้เข้ากันจนมีสีน้ำตาล และผสมให้ได้ความเหนียวพอเหมาะ
4. นำกระดาษหนังสือพิมพ์รองพื้นที่เรียบจากนั้นนำไม้แผ่นแรกวางลง
5. ทากาวลงบนไม้ให้ทั่วทั้งแผ่น
6. นำไม้แผ่นถัดไปมาทากาวโดยให้เสี้ยนไม้อยู่ในทิศทางตรงข้ามกับไม้แผ่นแรกแล้วทากาวให้ทั่ววางทับลงบนแผ่นแรกให้ทุก ๆ ด้านเสมอกัน
7. นำไม้แผ่นถัดไปมาทากาวแล้วทำเหมือนข้อที่ 6 จนครบ 8 แผ่น
8. นำ C-Clamp ขนาดใหญ่ 8 คัวมาจับให้ระยะห่างเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-8 ใช้ C-Clamp อัดใบพัด

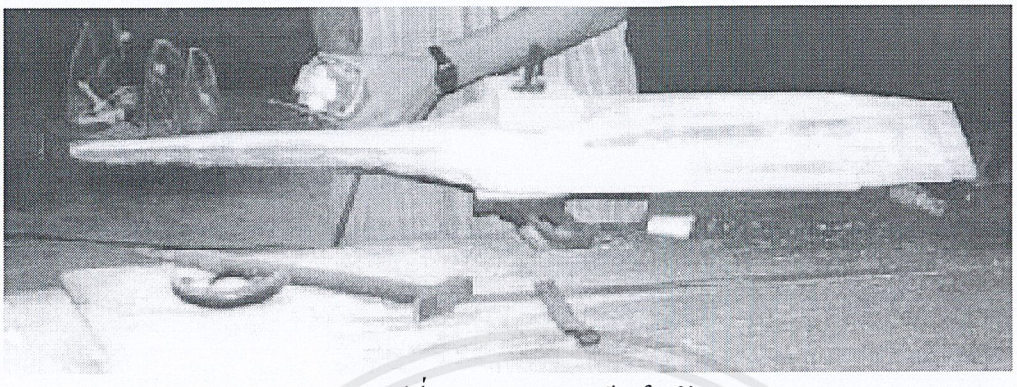
9. ขัน C-Clamp ให้แน่นจากตัวกลางไปหาตัวนอก
10. สังเกตระยะห่างระหว่างแผ่นไม้ว่าแนบสนิทกันทั้งหมดหรือไม่ ถ้ายังไม่แนบสนิทเท่ากันให้ขัน C-Clamp ไปเรื่อย ๆ จนแน่นดีแล้ว หรือช่วยโดยการเพิ่มจำนวน C-Clamp
11. ทิ้งไว้ให้กาวแห้งใช้เวลาประมาณ 8-10 ชม. ขึ้นกับความชื้นของอากาศ
12. ทำใบพัดอันที่ 2 ขั้นตอนเหมือนเดิม
13. เมื่อกาวแห้งสนิท เรานำแท่งไม้ทั้ง 2 ไปไสปรับให้ได้ฉากและได้ขนาดที่จะสร้าง
14. นำไม้ที่ปรับแต่งแล้วมาวาดแบ่งระยะจากกลางไม้ไปยังด้านข้างช่องละ 5 cm. ตลอดทั้งแท่งไม้
15. จากนั้นเขียนวงกลมที่จุดศูนย์กลางไม้และเส้นต่าง ๆ ดังรูปเพื่อให้ได้ขนาดมุมบิดตามที่คำนวณ ต้องพิจารณาด้วยว่าด้านไหนเป็นหน้าใบหรือหลังใบเพื่อป้องกันการเหลาใบพัดผิดทางทำให้ใบพัดกินลมผิดทิศ



รูปที่ 4-9 ใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. ใช้สิ่วเซาะเนื้อไม้ที่ไม่ต้องการออกให้ได้ลักษณะตามเส้นที่วาดไว้
17. นำเครื่องเจียรมือที่ใส่ใบขัดกระดาษทรายแล้ว มาตกแต่งใบพัดที่เซาะเนื้อไม้ออกแล้ว ให้เรียบ



รูปที่ 4-10 แสดงการเจียรใบพัด

18. นำใบพัดทั้ง 2 มาเซาะร่องตรงกลางเป็นสี่เหลี่ยมเพื่อทำการประกบเข้าหากัน
19. ทาอีพอกซี ที่ร่องของใบพัดที่จะนำมาประกบกันแล้วใช้ C-Clamp ขันให้แน่น
20. นำใบพัดมาหาความสมดุลย์ เพื่อไม่ให้ใบพัดแกว่งขณะหมุน
21. ทาเนื้อไม้ด้วยแล็กเกอร์ เพื่อความสวยงานและรักษาเนื้อไม้
22. นำใบพัดไปเจาะรูเพื่อยึดเข้ากับพูเลย์เพื่อใช้ในการขับจากเครื่องยนต์

4.3 ขั้นตอนการสร้างระบบบังคับเลี้ยว

เนื่องจากยาน Hovercraft เป็นยานพาหนะที่ไม่มีล้อ และตัวยานนั้นลอยอยู่เหนือพื้นผิว ดังนั้นจึงต้องใช้ระบบบังคับเลี้ยวแบบหางเสืออากาศ (Rudder) ซึ่งใช้การบังคับทิศทางลมที่ออกจาก Duct Fan เพื่อช่วยในการบังคับทิศทาง ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างได้แก่

1. แผ่นอลูมิเนียม
2. เหล็กกลวงขนาด 1 นิ้วครึ่ง
3. สายมอส (Moss) ยาว 4 เมตร (สายบังคับเลี้ยว)
4. เหล็กแบนเป็นตัวจับยึด
5. พลาสติกแท่ง
6. Rivet
7. น๊อต เบอร์ 10
8. สีสเปรย์
9. ตะไบ, เลื่อยเหล็ก และกรรไกรตัดเหล็ก

ขั้นตอนการทำ

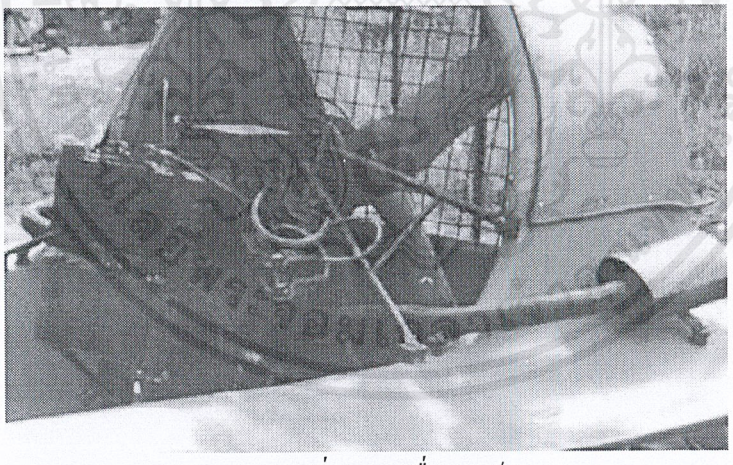
1. นำแผ่นอลูมิเนียมมาตัดแบ่งขนาด 40 x 60 cm จำนวน 3 แผ่น
2. ตัดเหล็กกลมยาว 80 cm 3 ท่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำแผ่นอลูมิเนียมที่ตัดแล้วไปพับแบ่งครึ่ง ทั้ง 3 แผ่น
4. นำแท่งเหล็กสอดเข้าไปในอลูมิเนียม เจาะรูแล้วยึดด้วย Rivet
5. ทำทั้ง 3 แผ่น
6. ทำโครงสร้างหางเสือยึดกับ Duct Fan นำแผ่นเหล็กทั้ง 3 มาประกอบติดด้วย
7. นำสาย มอส ต่อเข้ากับโครง link สอดสายมอสเข้าไปทางช่องลมข้างตัวเรือต่อไปยัง Hand บังคับเลี้ยวด้านหน้า
8. ทดสอบการหักเลี้ยวของหางเสือ ปรับระยะได้จากน๊อตที่สาย มอส

4.4 เครื่องยนต์

1. ได้ทำการผ่าชุดเกียร์ออกเพื่อลดน้ำหนักและนำกำลังของเครื่องยนต์มาจากเพลาข้อเหวี่ยงโดยตรง
2. เพิ่มหม้อน้ำอีก 1 ลูก เพื่อป้องกันการโอเวอร์ฮีทของเครื่องยนต์
3. ติดตั้งชุดระบบส่งกำลังโดยใช้มู่เล่ย์ในการส่งกำลัง โดยใช้อัตราทด 3 : 1 โดยใช้สายพานร่องวี 4 เส้น
4. ดัดแปลงท่อไอเสียใหม่



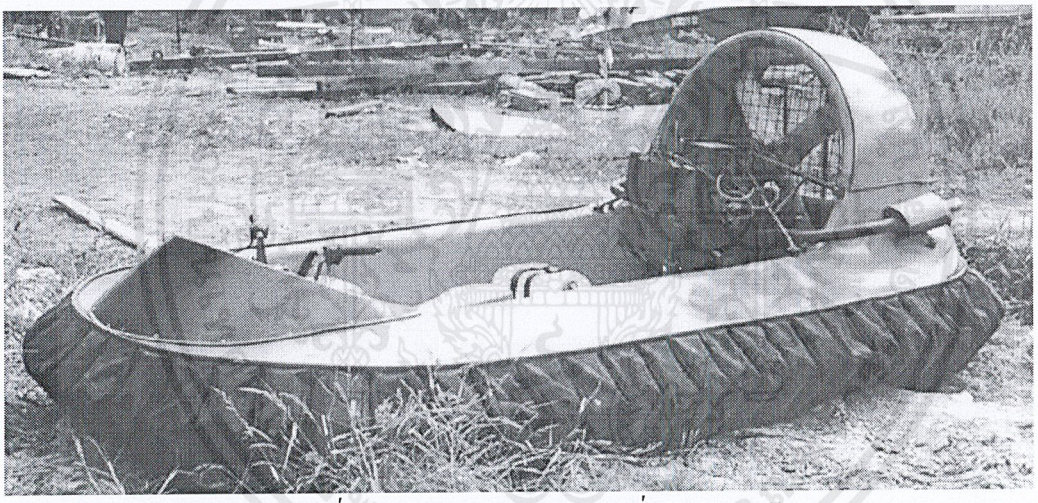
รูปที่ 4-11 เครื่องยนต์

4.5 การประกอบตัวเรือ Hovercraft

1. นำส่วนของตัวเรือไฟเบอร์กลาสและส่วนของช่องลม มาประกอบกันโดยใช้ไฟเบอร์กลาสเป็นตัวประสานให้เป็นชุดเดียวกัน
2. ทำการเจาะรูใต้ตัวเรือ ตามจำนวนและขนาดที่ได้ออกแบบเอาไว้และเจาะรูในส่วนของอุปกรณ์บังคับเลี้ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำส่วนของช่องใบพัด มาประกอบกับตัวเรือโดยใช้น๊อตเป็นตัวยึด
4. นำตัวเรือที่ได้มาทำการโป๊วสี และขัดด้วยกระดาษทรายจนเรียบ
5. พ่นสีรองพื้นและขัดด้วยกระดาษทรายน้ำอีกครั้งหนึ่งก่อนทำการพ่นสีจริง
6. ทำการพ่นสีจริง
7. นำชุดแท่นเครื่องมาประกอบกับตัวเรือ
8. นำเครื่องยนต์มาประกอบกับชุดแท่นเครื่อง
9. นำใบพัดที่ได้ทำการเหลามาติดกับชุดส่งกำลัง
10. ติดอุปกรณ์บังคับเลี้ยว
11. นำถุงลมที่ได้เย็บเตรียมไว้แล้วมาติดรอบลำเรือแล้วทำการยึดด้วยกระดูกงู
12. ต่อถังน้ำมันและแบตเตอรี่
13. นำเหล็กท่อมายึดส่วนของเครื่องยนต์กับตัวเรืออีกทีหนึ่งเพื่อป้องกันการสั่นสะเทือน



รูปที่ 4-12 แสดงยานเบาะอากาศที่สร้างเสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดสอบและปรับปรุง

5.1 การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

โดยขั้นแรกเราได้ให้ภาระ (Load) แก่เครื่องยนต์ ซึ่งทำให้เราทราบว่าเครื่องยนต์มีการตอบสนองไม่เร็วพอ เมื่อเราบิดคันเร่ง และได้ความเร็วรอบสูงสุดประมาณ 6500 rpm. ซึ่งรอบไม่สูงพอที่จะสร้างพลังงานลมให้เกิดการลอยตัวของยานเบาะอากาศ เราจึงได้ทำการปรับปรุงและแก้ไขโดยการเปลี่ยนขนาดของนมหนูเดิมจากเบอร์ 99 cc. เป็น 120 cc. แล้วทำการทดสอบอีกครั้ง แต่ก็ยังได้ความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงสุดเพียง 7000 rpm และการตอบสนองต่อการบิดคันเร่งก็ยังไม่เร็วพอ เราจึงเปลี่ยนขนาดนมหนูอีกครั้งเป็น เบอร์ 140 cc แล้วทำการทดสอบอีกแต่ผลก็ยังไม่ดีพอ จึงเพิ่มขนาดเป็นเบอร์ 160 cc และเบอร์ 170 cc แต่สำหรับเบอร์ 170 cc นั้นกลับทำให้เครื่องยนต์สมรรถนะตกลงกว่าเบอร์ 160 cc จากการทดสอบทั้งหมดแล้วปรากฏว่าที่ขนาดนมหนูเบอร์ 160 cc นี้ มีสมรรถนะดีที่สุด ได้ความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงสุด 8000 Rpm

เมื่อทำการปรับขนาดนมหนูแล้ว ได้ทำการทดสอบที่ความเร็วรอบสูงเป็นระยะเวลาหนึ่งปรากฏว่าความร้อนของเครื่องยนต์สูงมาก (Over heat) จึงทำการเพิ่มหม้อน้ำให้กับเครื่องยนต์อีก 1 ใบ ความร้อนของเครื่องยนต์จึงเป็นปรกติ

5.2 การทดสอบสมรรถนะยานเบาะอากาศ

ขั้นแรกเราได้นำยานไปทดสอบที่สนามฟุตบอล เห็นว่าขณะที่ยานขับเคลื่อนอยู่นั้นเราได้สังเกตว่า ในส่วนท้ายของตัวยานลอยไม่สูง เราจึงนำมาปรับปรุงแก้ไขโดยวิธีที่ 1 คือ ลดน้ำหนักด้านท้ายยาน เช่น ลดน้ำหนักแท่นเครื่อง ลดน้ำหนักชุดมูเลย์ วิธีที่2 คือ ขยายขนาดช่องลมที่ส่วนท้ายของตัวยาน จากเดิม 7 เซนติเมตร เป็น 8 เซ็นติเมตร จึงนำไปทดสอบอีกครั้งปรากฏว่า ตัวยานลอยสูงขึ้นกว่าเดิม

5.3 สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบ การแก้ไขขั้นต้นที่ผ่านมาเป็นการแก้ไขที่จำกัดด้วยงบประมาณและประสบการณ์ที่น้อย ซึ่งมีวิธีแก้ไขหลายวิธีที่ให้ผลดีกว่านี้ ทั้งการเลือกวัสดุอุปกรณ์ที่มีคุณภาพสูงหรือปรับปรุงวิธีการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปและบทวิจารณ์

จากที่เราได้ทำการทดสอบสมรรถนะของยานเบาะอากาศขั้นต้นเราได้เห็นปัญหาต่าง ๆ มากมายให้แก่

1. เครื่องยนต์ มีประสิทธิภาพต่ำกว่ามาตรฐานของเครื่องยนต์นั้น เมื่อมีภาระ (Load) ทำให้การตอบสนองต่อการเร่งไม่เร็วพอเป็นปัญหาในการขับขี่ เพราะลักษณะการขับขี่ของยานเบาะอากาศต้องการความเร็วในการตอบสนองของรอบเครื่องสูง น้ำหนักของเครื่องยนต์ยังเบาไม่เพียงพอทำให้น้ำหนักตัวยานไม่สมดุลย์กันระหว่างด้านหน้าและด้านท้ายยาน โดยวิธีแก้ไขที่ดีที่สุดคือหาเครื่องยนต์ใหม่ที่มีกำลังงานสูงแต่มีน้ำหนักเบา เช่น เครื่องยนต์ Rotax

2. น้ำหนักของแท่นเครื่อง ตอนแรกที่ทำการสร้างเราเลือกเหล็กเป็นวัสดุที่ใช้ มีน้ำหนักมาก และการออกแบบโครงสร้างไม่ดีพอ วิธีแก้ไขคือเลือกวัสดุที่เบา แข็งแรง และออกแบบโครงแท่นเครื่องให้มีชิ้นส่วนน้อยแต่ยังคงความแข็งแรงอยู่

3. ขนาดช่องลม ค่าที่ได้จากการคำนวณไว้ไม่สามารถนำมาใช้ในทางปฏิบัติได้ เนื่องจากปริมาณลมที่ออกน้อยเกินไป ทำให้การลอยตัวของยานเบาะอากาศสูงไม่สุด Skirt วิธีแก้ไขมีหลายวิธี เช่นเปลี่ยนใบพัดมาใช้เป็นแบบ Multi swing เพราะเป็นแบบที่สามารถปรับมุมใบพัดในการกินลมได้ และเป็นแบบที่สามารถสร้างปริมาณอากาศได้มาก หรือวิธีขยายขนาดช่องลมให้ใหญ่กว่าที่คำนวณเล็กน้อย

4. น้ำหนักตัวเรือ มีความสำคัญในการสร้างยานเบาะอากาศ เพราะยานเบาะอากาศนี้ต้องการน้ำหนักที่เบาที่สุด จึงจำเป็นที่ต้องใช้วัสดุที่แข็งแรงแต่มีน้ำหนักเบา เช่น Carbon fiber แต่มันก็มีทำให้งบประมาณสูงขึ้นด้วย

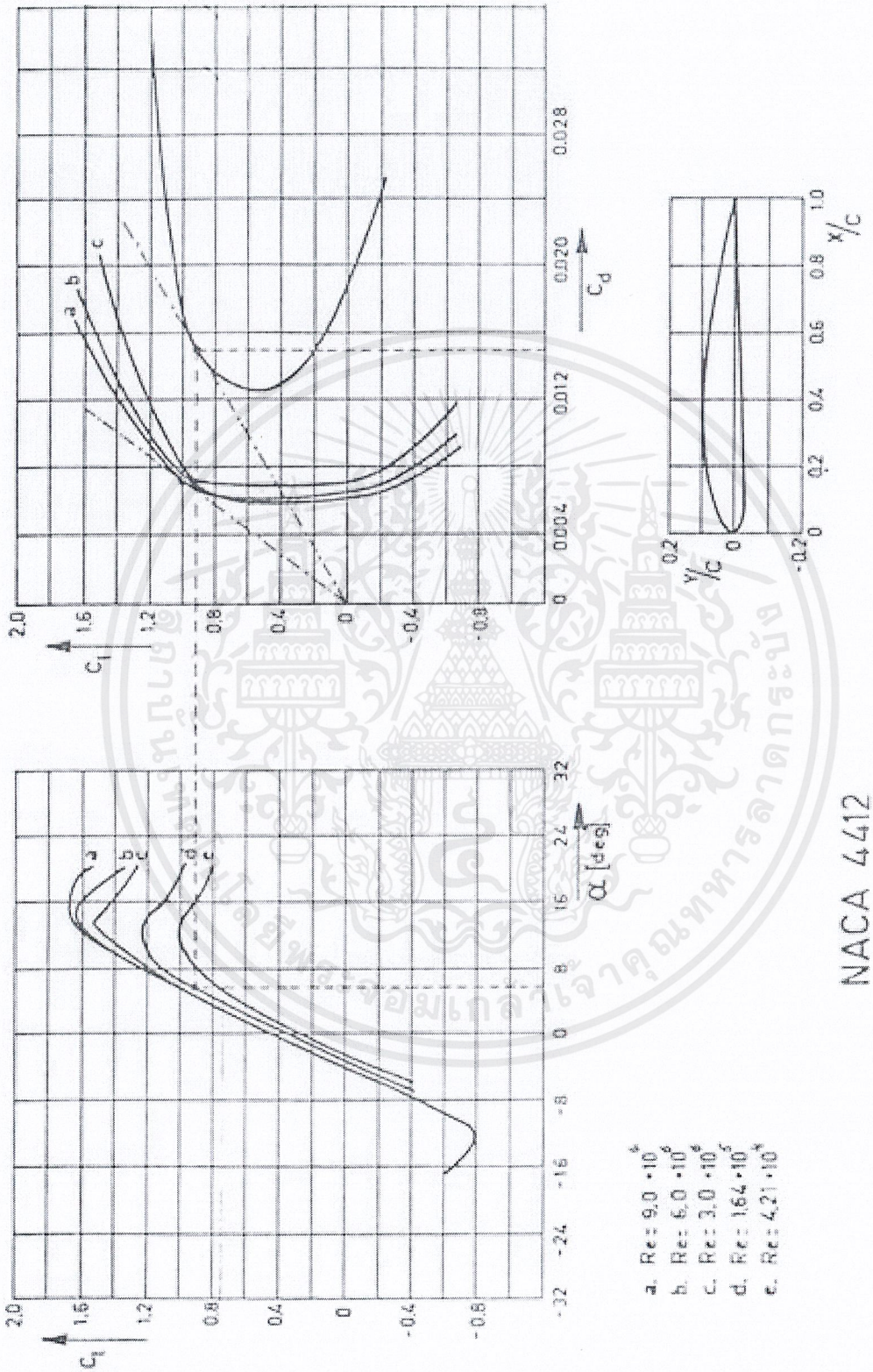
6.1 สมรรถนะของยานเบาะอากาศ

1. สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ 60 กิโลกรัม
2. ลอยตัวและออกตัวที่เครื่องยนต์มีความเร็วรอบเท่ากับ 6500 rpm
3. ความเร็วสูงสุดประมาณ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์เท่ากับ 8000 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

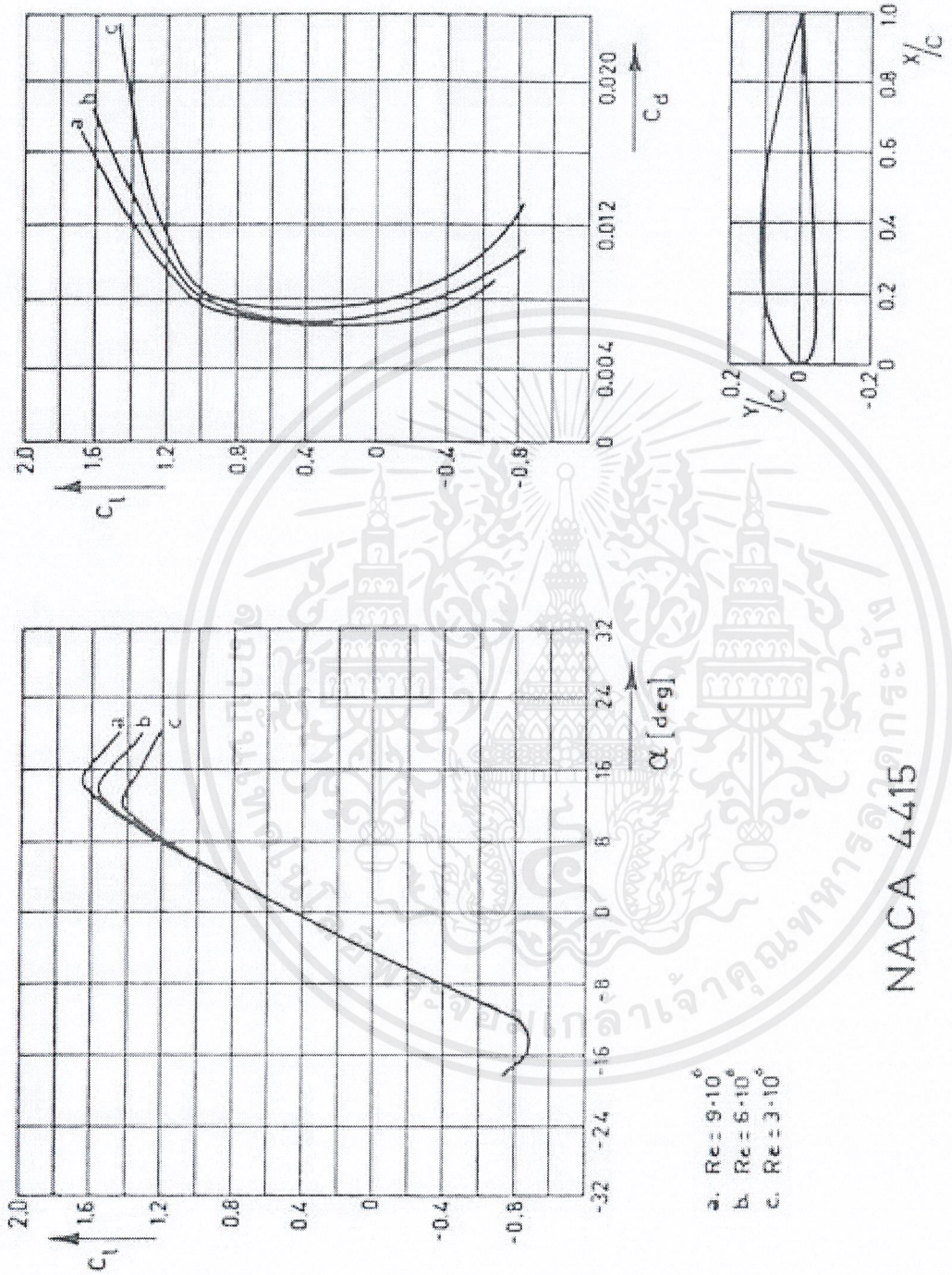
ภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



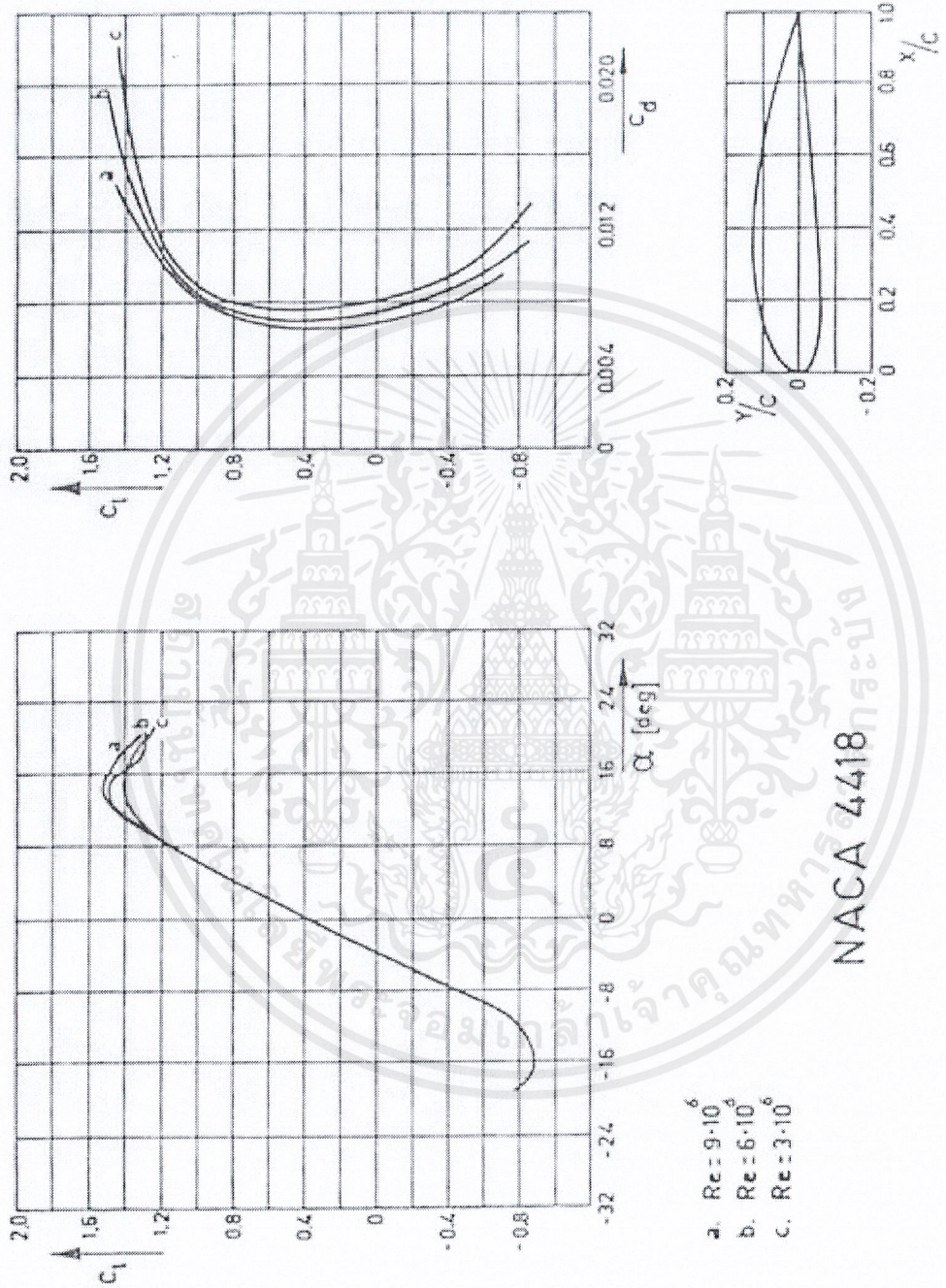
กราฟคุณสมบัติ NACA 4412

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



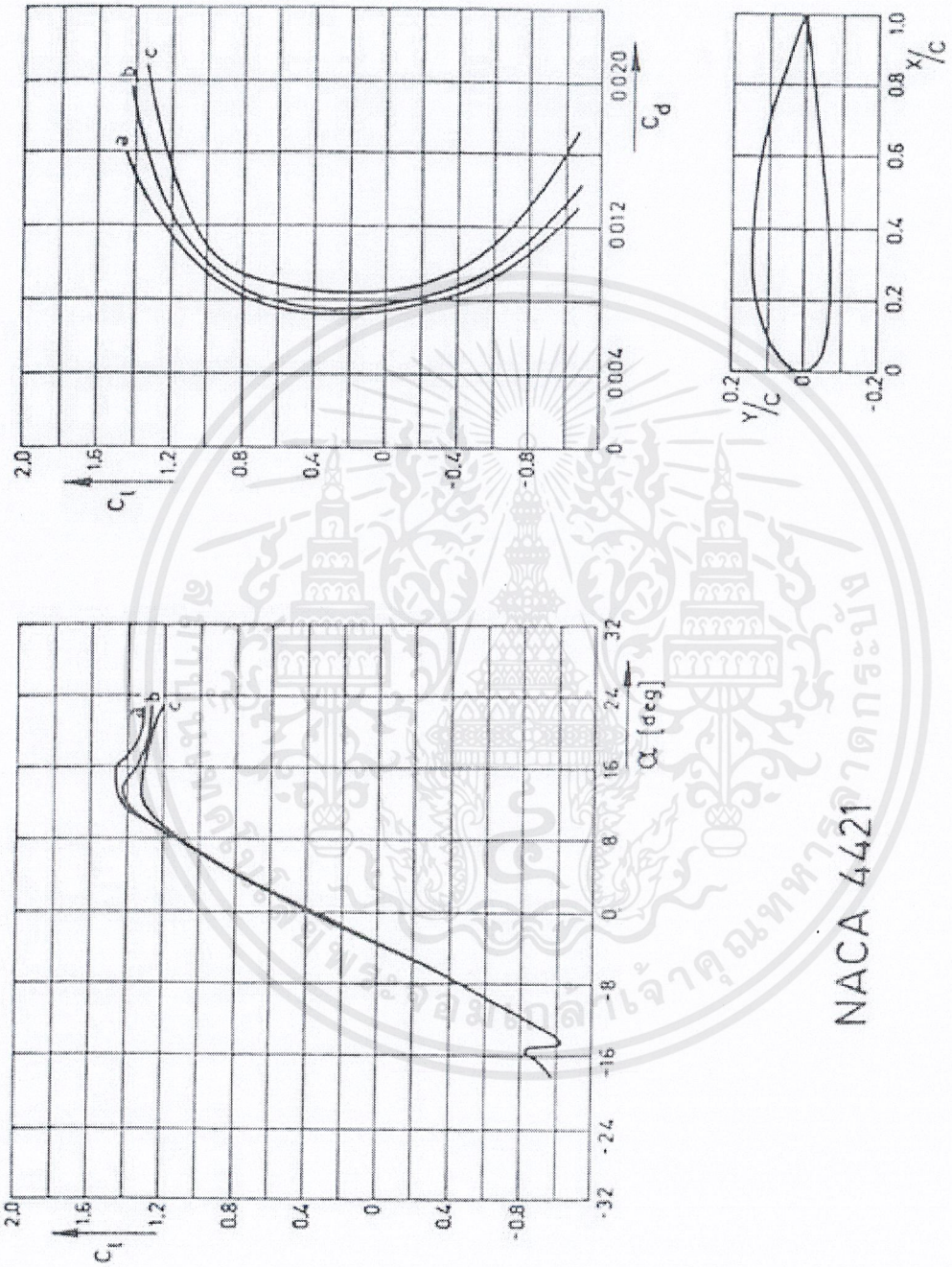
กราฟคุณสมบัติ NACA 4415

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



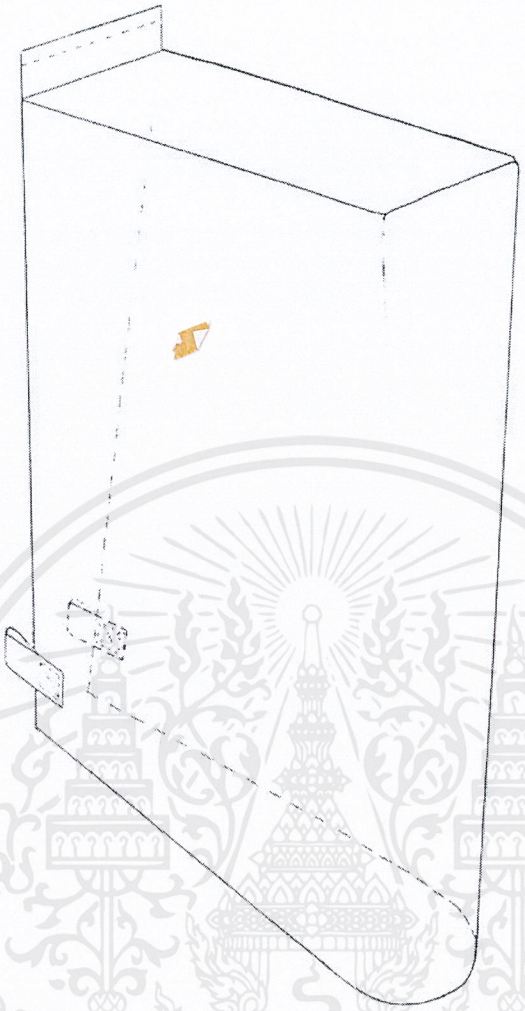
กราฟคุณสมบัติ NACA 4418

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟคุณสมบัติ NACA 4421

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SKIRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] James Perozzo, "*Hovercrafting as a Hobby*", Maverick Publications, 1995.

[2] Robert L. Trillo, "*Mine Hovercraft Technology*", Leonard Hill Books, London 1971.

[3] Ire H. Abbott and Albert E. Von Doenhoff, "Theory of Wing Sections", New York Inc.. June 1959.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้