



การวิเคราะห์การออกแบบโครงสร้างยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติ  
Analysis Design Body Autonomous Underwater Vehicle



นายโกสินทร์ เกียรติภูพานุสรณ์	รหัส 54363101
นายฉันท เวียงบรรพต	รหัส 54363125
นายปัญญา แนวชัยเหล็ก	รหัส 54363378

1-6894194

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร  
ปีการศึกษา 2557



## ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ : การวิเคราะห์การออกแบบโครงสร้างยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติ  
(Analysis Design Body Autonomous Underwater Vehicle)

ผู้ดำเนินโครงการ : นายโกสินทร์ เกียรติกุลานุสรณ์ รหัส 54363101  
นายฉันท เวียงบรรพต รหัส 54363125  
นายปัญญา แนวชัยเหล็ก รหัส 54363378

ที่ปรึกษาโครงการ : อาจารย์ชูพงศ์ ช่วยเพ็ญ

ที่ปรึกษาร่วมโครงการ : ผศ.ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล


ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล


ปีการศึกษา : 2557

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงการ

  
..... ประธานกรรมการ  
(อาจารย์ชูพงศ์ ช่วยเพ็ญ)

  
..... รองประธานกรรมการ  
(ผศ.ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์สุรเชษฐ์ สุขไชยพร)

ชื่อหัวข้อโครงการ	: การวิเคราะห์การออกแบบโครงสร้างยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติ	
ผู้ดำเนินโครงการ	: นายโกสินทร์ เกียรติกุลานุสรณ์	รหัส 54363101
	: นายชนันท์ เวียงบรรพต	รหัส 54363125
	: นายปัญญา แนวชัยเหล็ก	รหัส 54363378
ที่ปรึกษาโครงการ	: อาจารย์ชูพงศ์ ช่วยเพ็ญ	
ที่ปรึกษาร่วมโครงการ	: ผศ.ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว	
สาขาวิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล	
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล	
ปีการศึกษา	: 2557	

### บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติเพื่อสะดวกปลอดภัยในการสำรวจสิ่งมีชีวิตใต้น้ำ การสำรวจพื้นที่ใต้น้ำในส่วนที่มนุษย์เข้าถึงไม่ได้และการซ่อมแซมอุปกรณ์ใต้น้ำ โดย ออกแบบให้ยานสำรวจใต้น้ำสามารถเคลื่อนที่ได้ 5 แนวแกน สามารถอยู่ภายใต้แรงดันน้ำที่ระดับน้ำลึก 10 เมตร น้ำหนักรวมของยานสำรวจจะต้องมีน้ำหนักเบาที่สุด และสุดท้ายต้องสามารถสั่งทำได้จริง

การดำเนินงานออกแบบนั้นจะเริ่มจากการศึกษาข้อมูลทางทฤษฎีจากนั้นจึงทำการออกแบบโดยยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติที่ได้ออกแบบจะมีขนาดความยาว 700 มิลลิเมตร กว้าง 400 มิลลิเมตร สูง 300 มิลลิเมตร น้ำหนักโดยรวม 25 กิโลกรัม โครงสร้างส่วนใหญ่ใช้วัสดุ Aluminum 5086 เป็นหลักเพราะเป็นวัสดุที่รับแรงดันใต้น้ำได้มากมีความเหนียวรับแรงกระแทกได้ดีไม่เป็นสนิมไม่นำไฟฟ้า ใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่ใต้น้ำโดยทั่วไป ชิ้นส่วนทั้งหมดประกอบด้วยถังเก็บของจรวดที่มีความจุทั้งหมด 10 ลิตร แบ่งเป็นส่วนที่เก็บแบตเตอรี่ 8 ลิตร และส่วนที่เก็บของจรวด 2 ลิตร โครงหลัก ปีก 2 ปีก ติดตั้งด้านข้างซ้ายและขวาของโครงหลัก ฝาหน้า ฝาหลัง ใช้ถังอัดอากาศในกรณีที่เกิดความเสียหายจนมีน้ำเข้าไปในถังเก็บของจรวด ใช้ตัวขับเคลื่อน 6 ตัว ขนาด 42 วัตต์ ต่อกับแบตเตอรี่ ขนาด 12 โวลต์ ต่อแบบขนานกัน จำนวน 8 ลูก บรรจุในแมกกาซีนเพื่อให้สามารถถอดหรือติดตั้งได้ง่าย และขาที่มีช่องสามารถติดตั้งชุดอุปกรณ์เสริมได้หลากหลาย เช่น แขนกล ท่อยิงตอปิโต ถังอัดแรงดัน ตัวขับเคลื่อนเพื่อเพิ่มแรงขับหรือทิศทางการเคลื่อนที่

Project title :Analysis Design Body Autonomous Underwater Vehicle  
Name :Gosin keatkulanuson code 54363101  
Kanut Waingbunpod code 54363125  
Panya Naewkhilek code 54363378  
Project advisor :Choopong Chauypen  
Project advisor :Assist.Prof.Dr. Ananchai Ukaew  
Major :Mechanical Engineering  
Department :Mechanical Engineering  
Academic year :2557

---

### Abstract

This project aims to study and design the autonomous underwater vehicle to safe explore life underwater and repair of underwater equipment. Determine the autonomous underwater vehicle can move 5 axes direction of motion, can be under pressure at a water depth of 10 meters, an autonomous underwater vehicle must be light weight and can actually be done.

The design begins with a study of the theory, and then designed to have a length 700 mm wide 400 mm high 300 mm overall weight of 25 kg, Most structural use materials Aluminum 5086. Because the Aluminum 5086 can use in under water high pressure, good toughness, good impact ,not rust, non-conductive electric this use with any device electronic. Parts included electronic box has a volume of 10 liters of storage batteries is 8 liters and 2 liters of electrical circuit, main structure, 2 wings mounted left and right side of the main structure, lid front, lid back, use compressed air tank In the event that water into the electronic box, use thrusters 42-watt 6 unit is connected to a 12 volt batteries, batteries connected in parallel of 8 unit pack in the magazine for easy reload, easel with slots can be installed a variety of accessories such as robot Arm, torpedo tubes, compressed air tank, Thrusters to increase thrust and direction of motion.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้เสร็จได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือในด้านการให้คำแนะนำในการทำโครงการจาก อาจารย์ ชูพงศ์ ช่วยเพ็ญ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการคณะผู้จัดทำจึงกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ดร. ทศพล ตีรจิราภาพงศ์ และ ดร.นฤมล สีพลไกร ที่คอยให้คำแนะนำเกี่ยวกับวัสดุและกระบวนการผลิตยานสำรวจใต้น้ำ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มัทนี สงวนเสริมศรี ซึ่งกรุณาสละเวลา ให้ความรู้ความช่วยเหลือและคำแนะนำตลอดการทำโครงการ

ขอขอบพระคุณ นายเกดิษฐ์ กว้างตระกูล ที่ช่วยหาอุปกรณ์คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการทำแบบทดสอบ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่สนับสนุนสถานที่ในการทำโครงการ

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจตลอดมาและผู้ที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่านให้ความช่วยเหลือในการโครงการ

คณะผู้ดำเนินโครงการ

นายโกสินทร์ เกียรติภูพานุสรณ์

นายฉันท เวียงบรรพต

นายปัญญา แนวชี้เหล็ก

พฤษภาคม 2558

## สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท..... ก	ก
บทคัดย่อภาษาไทย..... ข	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ค	ค
กิตติกรรมประกาศ..... ง	ง
สารบัญ..... จ	จ
สารบัญรูปภาพ..... ฉ	ฉ
สารบัญตาราง..... ฎ	ฎ
สารบัญสัญลักษณ์..... ฐ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ..... 1	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ..... 1	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา..... 1	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 1	1
1.4 ขอบเขตของโครงการ..... 2	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน..... 3	3
1.6 แผนการดำเนินงาน..... 4	4
1.7 งบประมาณที่ใช้..... 5	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 6	6
2.1 หลักกายภาพของน้ำ..... 6	6
2.1.1 หลักของอาร์คิมิดีส..... 6	6
2.1.2 การพองลอยตัว..... 6	6
2.1.3 โมเมนต์ของแรง..... 7	7

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.1.4 โมเมนต์ของการพยุลงลอยตัว.....	8
2.1.5 ความหนืด.....	8
2.1.6 ความดันอุทกสถิต.....	9
2.2 การเคลื่อนที่ผ่านน้ำ.....	10
2.2.1 การไหลแบบแนวกระแส.....	10
2.2.2 การไหลแบบววน.....	11
2.2.3 ความต้านทานที่เกิดเพราะความฝืด.....	11
2.2.4 ความต้านทานที่เกิดจากควาต้านเนื่องที่กระทำต่อผิว.....	13
2.2.5 พลศาสตร์ของไหล.....	15
2.2.6 สมการแบร์นูลลี.....	18
2.3 ความจุความร้อน.....	20
2.4 เรือ.....	21
2.5 หุ่นยนต์ใต้น้ำ.....	24
2.6 หลักการออกแบบ.....	39
2.6.1 ความกลมกลื่น.....	32
2.6.2 หน้าที่ใช้สอย.....	32
2.6.3 ความปลอดภัย.....	33
2.6.4 ความแข็งแรง.....	33
2.6.5 ความสะดวกสบายในการใช้.....	34
2.6.6 ความสวยงาม.....	34
2.6.7 ราคาพอสมควร.....	35
2.6.8 การซ่อมแซมง่าย.....	35

## สารบัญ(ต่อ)

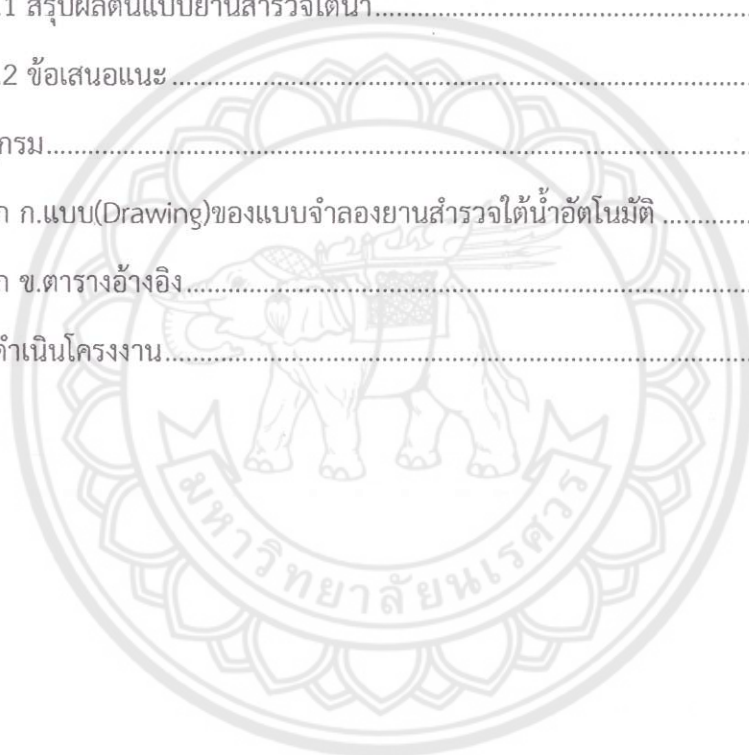
หน้า

2.6.9 วัสดุและวิธีการผลิต .....	35
<b>บทที่ 3 การออกแบบโครงสร้างยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติ .....</b>	<b>37</b>
3.1 การสร้างชุดทดสอบแนวคิดการทำงานของยานสำรวจใต้น้ำ.....	37
3.1.1 ความต้องการพื้นฐานที่ใช้ในการสร้างยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติ .....	37
3.1.2 การจัดสร้างชุดยานสำรวจใต้น้ำ .....	37
3.1.3 ขั้นตอนการทำกล่องวงจร.....	38
3.1.4 ติดตั้งอุปกรณ์ถ่วงน้ำหนัก.....	40
3.1.5 ติดตั้งตัวขับเคลื่อน .....	41
3.1.6 วัสดุและบันทึกผลการทดสอบ .....	41
3.2 สิ่งที่ได้จากการสร้างชุดทดสอบแนวความคิด.....	41
3.3 การออกแบบยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติ .....	42
3.3.1 ออกแบบถังวงจร.....	42
3.3.2 ออกแบบการติดตั้งแบตเตอรี่ .....	43
3.3.3 ออกแบบช่องเปิด .....	44
3.3.4 ออกแบบจุดต่อสายไฟ.....	44
3.3.5 ออกแบบระบบความปลอดภัย .....	44
3.3.6 ออกแบบระบบขับเคลื่อน.....	45
3.3.7 ออกแบบโครงและจุดเชื่อมต่ออุปกรณ์ .....	46
3.3.8 การติดตั้งแต่ละชิ้นส่วน .....	48
3.4 การวัดและบันทึกผลการทดสอบของแบบจำลอง .....	51
3.5 การประเมินราคาในการสร้าง.....	52



## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	53
4.1 การทดสอบความสามารถในการรับแรง .....	53
4.2 การทดสอบการไหลของของไหลผ่านยานสำรวจใต้น้ำ.....	54
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ .....	62
5.1 สรุปผลต้นแบบยานสำรวจใต้น้ำ.....	62
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	63
บรรณานุกรม.....	64
ภาคผนวก ก.แบบ(Drawing)ของแบบจำลองยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติ .....	65
ภาคผนวก ข.ตารางอ้างอิง.....	98
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	122



## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงภาพการณ้อยู่นิ่ง (สมดุล).....	7
รูปที่ 2.2 ภาพการณ้หมุนไปมา ไม่สมดุลเกิดโมเมนต์ของการหมุน .....	7
รูปที่ 2.3 แสดงค่าโมเมนต์ของแรงพุงลอยตัวที่ตำแหน่งต่าง ๆ กัน .....	8
รูปที่ 2.4 แรงดึงดูดเกาะกันระหว่างโมเลกุลของน้ำเช่นชนิดเดียวกันและต่างชนิดกัน.....	9
รูปที่ 2.5 แรงดันกระทำต่อวัตถุขณะที่จมและลอย .....	9
รูปที่ 2.6 แสดงการไหลแบบแนวกระแส.....	10
รูปที่ 2.7 แสดงการไหลแบบววน.....	10
รูปที่ 2.8 แสดงการเกิดระลอกน้ำและกระแสน้ำวน Eddies .....	11
รูปที่ 2.9 วัตถุปลายบานกว้างวัตถุปลายแคบเล็กเรียว เมื่อเคลื่อนผ่านน้ำจะแยกน้ำ .....	12
รูปที่ 2.10 วัตถุปลายแคบเล็กเรียว.....	12
รูปที่ 2.11 ความเค้นในแนวเส้นรอบวงและความเค้นในแนวแกน .....	14
รูปที่ 2.12 drag force ที่เกิดกับผิวเรือ .....	14
รูปที่ 2.13 การไหลของของไหลผ่านรถยนต์ .....	15
รูปที่ 2.14 การไหลแบบสายกระแส.....	16
รูปที่ 2.15 การไหลอุดมคติไหลในท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนแปลง .....	17
รูปที่ 2.16 ความดันของของไหลในท่อที่ตำแหน่งต่าง ๆ.....	18
รูปที่ 2.17 Venturi meter .....	20
รูปที่ 2.18 ลักษณะของเรือโดยทั่วไป(a)และลักษณะของเรือดำน้ำ(b) .....	21
รูปที่ 2.19 เรือดำน้ำธรรมดาที่ใช้ระบบขับเคลื่อนจากมอเตอร์ไฟฟ้าและแบตเตอรี่ .....	22
รูปที่ 2.20 ระบบขับเคลื่อนด้วยพลังงานนิวเคลียร์ในเรือดำน้ำ.....	22
รูปที่ 2.21 ใบจักรเรือดำน้ำ .....	23
รูปที่ 2.22 หุ่นยนต์ทำงานใต้น้ำขนาดใหญ่.....	24

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.16 โครงหลัก .....	48
รูปที่ 3.17 ติดตั้งขาหรือจุดติดตั้งอุปกรณ์เสริม .....	49
รูปที่ 3.18 ติดตั้งถังวงจร .....	49
รูปที่ 3.19 ติดตั้งปีก .....	49
รูปที่ 3.20 ติดตั้งแบตเตอรี่ .....	50
รูปที่ 3.21 ปิดฝาป้องกันน้ำ .....	50
รูปที่ 3.22 ติดตั้งถังอากาศ .....	50
รูปที่ 3.23 ติดตั้งตัวขับเคลื่อน .....	51
รูปที่ 3.24 ติดตั้งตัวขับเคลื่อน(ต่อ) .....	54
รูปที่ 4.1 การไหลจากด้านหน้าไปด้านหลังมุมมอง isometric .....	54
รูปที่ 4.2 การไหลจากด้านหน้าไปด้านหลังมุมมองด้านหน้า .....	55
รูปที่ 4.3 การไหลจากด้านหน้าไปด้านหลังมุมมองด้านหลัง .....	55
รูปที่ 4.4 การไหลจากด้านหลังไปด้านหน้ามุมมอง isometric .....	56
รูปที่ 4.5 การไหลจากด้านหลังไปด้านหน้ามุมมองด้านหน้า .....	57
รูปที่ 4.6 การไหลจากด้านหลังไปด้านหน้ามุมมองด้านหลัง .....	57
รูปที่ 4.7 การไหลจากด้านบนลงด้านล่างมุมมอง isometric .....	58
รูปที่ 4.8 การไหลจากด้านบนลงด้านล่างมุมมองด้านข้าง .....	58
รูปที่ 4.9 การไหลจากด้านบนลงด้านล่างมุมมองด้านหน้า .....	59
รูปที่ 4.10 การไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบนมุมมอง isometric .....	59
รูปที่ 4.11 การไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบนมุมมองด้านข้าง .....	60
รูปที่ 4.12 การไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบนมุมมองด้านหน้า .....	60
รูปที่ 4.13 การไหลจากข้างซ้ายไปข้างขวามุมมองด้านบน .....	61
รูปที่ 4.14 การไหลจากข้างซ้ายไปข้างขวามุมมองด้านหน้า .....	61

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน .....	4
ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของตัวขับเคลื่อนขนาดต่าง ๆ จากบริษัท SE AFLO .....	45
ตารางที่ 3.2 ราคาชิ้นส่วนต่าง ๆ ของยานสำรวจใต้น้ำ .....	52
ตารางที่ 4.1 การทดสอบความสามารถในการรับแรง .....	53



## สารบัญสัญลักษณ์

### ความหมาย

D	แรงต้านทานการเคลื่อนที่
$C_D$	สัมประสิทธิ์ความต้านทานการเคลื่อนที่
P	ความหนาแน่นของน้ำ
A	พื้นที่รับแรงต้าน
V	ความเร็วของยาน
RE	Reynold Number
$C_f$	Friction Coefficient
V	ความเร็วของยานใต้น้ำ
L	ความยาวของยานใต้น้ำ
$\gamma$	Kinematics Viscosity of Fluid
Q	flow rate
$V_{1,2}$	Velocity vector distributions 1,2



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในอดีตการสำรวจระบบนิเวศวิทยาของสิ่งมีชีวิตใต้ทะเล การค้นหาทรัพยากรใต้ทะเล การตรวจสอบและซ่อมบำรุงอุปกรณ์หรือสิ่งก่อสร้างที่อยู่ใต้ทะเลเหล่านี้จะให้มนุษย์เป็นผู้ลงไปสำรวจ ในบางครั้งอาจเกิดอันตรายกับผู้ลงไปสำรวจ ดังนั้นจึงมีการคิดค้นสิ่งที่จะช่วยทำให้การสำรวจใต้น้ำมีความสะดวกและปลอดภัยมากขึ้น สิ่งนั้นก็คือยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติ (Autonomous Underwater Vehicle; AUV) ในปัจจุบันมีการนำยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติมาใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยการนำยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติมาใช้มีประโยชน์ในการเก็บข้อมูลต่าง ๆ เช่นการบันทึกภาพสภาพแวดล้อม การวัดค่าต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังปฏิบัติการใต้น้ำได้ยาวนานกว่ามนุษย์ และสามารถดำน้ำลงไปในระดับลึกกว่าที่มนุษย์จะสามารถดำน้ำลงไปได้อีกด้วย

ยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติ ใช้ทฤษฎีภาชนะความดันผนังบางและทฤษฎีแรงลอยตัว ทฤษฎีแรงต้าน การเคลื่อนที่ในการออกแบบชุดขับเคลื่อนในแนวตั้งและแนวระดับ ใช้ความสัมพันธ์ในการเคลื่อนที่ของระนาบอ้างอิง ในการระบุตำแหน่ง การควบคุมทิศทาง การเคลื่อนที่ของยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติ

ในปี 2014 Anuphon Pimchuai สร้างยานต้นแบบสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.16 เมตร ยาว 0.46 เมตร สามารถดำน้ำได้ด้วยความลึก 1.5 เมตร เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงสุด 0.2 เมตร/วินาที สามารถทำงานใต้น้ำได้ 30 นาที ควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยคอมพิวเตอร์ เป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติในอนาคต

ในปี 2014 Yodyium Tipsuwan สร้างยานต้นแบบสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติที่สามารถดำน้ำได้มากกว่า 10 เมตร ควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยคอมพิวเตอร์ สามารถเคลื่อนที่ได้ 6 แนวแกน โดยใช้ตัวขับเคลื่อนเพียง 8 ตัว

จากงานวิจัยที่ทำการศึกษามาจะนำมาเป็นแนวทางในการสร้างยานต้นแบบสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติ ซึ่งต่อไปในรายงานนี้จะใช้คำว่า ยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติ โดยออกแบบ จากนั้นสร้างและทดสอบการทำงานยานดำน้ำ โดยงานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางในการศึกษา และพัฒนายานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติที่จะสามารถนำไปใช้ในสภาพแวดล้อมจริงได้ในอนาคต

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อสร้างแบบจำลองยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติ

1.2.2 เพื่อหาตัวแปรทางกายภาพที่เกี่ยวข้องและส่งผลกระทบต่อารออกแบบ และการทำงานของยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติ

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 แบบของยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติเพื่อใช้สร้างและพัฒนา ยานสำรวจใต้น้ำจริงในอนาคต

1.3.2 มีความรู้และความเข้าใจในการออกแบบยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติ

## 1.4 ขอบเขตของโครงการ

1.4.1 ทำการออกแบบยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติเพื่อใช้ในการสำรวจแบบอัตโนมัติที่ระดับความลึก 10 เมตรเป็นอย่างน้อยโดยใช้โปรแกรมช่วยในการออกแบบอย่างเช่น โปรแกรม Solid Works เป็นต้น

1.4.2 รายการชิ้นส่วนและอุปกรณ์เพื่อใช้ในการสร้างยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติ

1.4.3 ยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติมีข้อจำเพาะในการออกแบบดังนี้คือ

- เป็นการออกแบบสำหรับใช้งานได้ในสภาวะที่ไม่มีการเกิดคลื่นในน้ำ (น้ำนิ่ง) โดยบวกค่าตัวคูณเพื่อความปลอดภัยเพื่อใช้ในน้ำที่สภาวะจริง
- ออกแบบให้ยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติสามารถติดตั้งอุปกรณ์เสริมได้อย่างน้อยหนึ่งในสี่ของน้ำหนักของตัวยานสำรวจฯ เอง โดยมีจุดยึดภายนอกอย่างต่ำ 2 จุด
- ออกแบบให้ยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติมีขนาดที่เหมาะสมต่อการเคลื่อนย้ายได้ง่าย และมีน้ำหนักเบา

## 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

### 1.5.1 ศึกษาข้อมูลงานวิจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับ

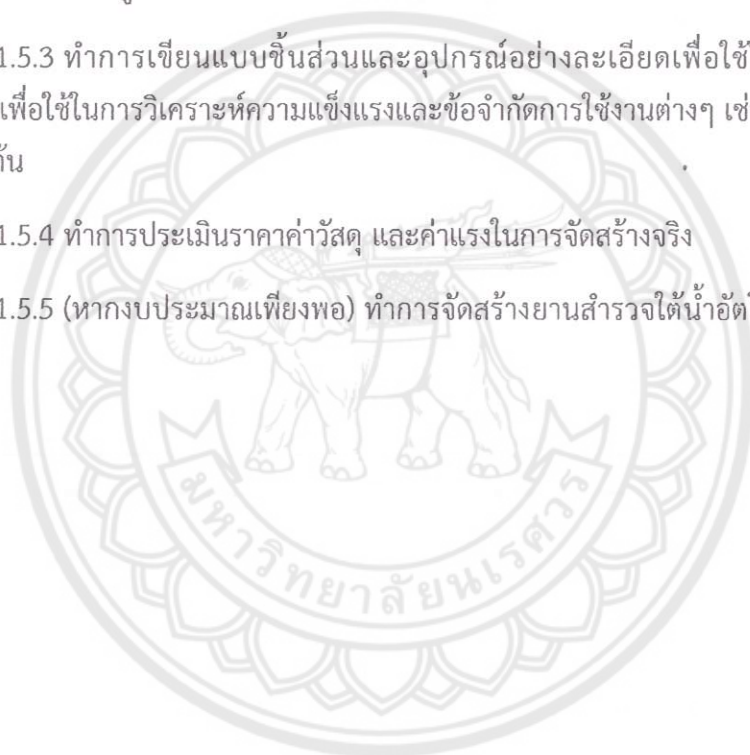
- ข้อมูลการออกแบบยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติที่ได้เคยออกแบบและสร้างมาแล้ว เช่น ยานสำรวจของ Anuphon Pimchuai และยานสำรวจของ Yodyium Tipsuwan
- ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่อการออกแบบ และการทำงานของยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติ

### 1.5.2 เขียนแบบโครงสร้างอย่างคร่าวๆ (Conceptual design) ของยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติ เพื่อให้เห็นรูปร่าง และแบบการทำงานและใช้งานของยานสำรวจฯ

### 1.5.3 ทำการเขียนแบบชิ้นส่วนและอุปกรณ์อย่างละเอียดเพื่อใช้ในการสั่งสร้างได้จริง ตลอดจนเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงและข้อจำกัดการใช้งานต่างๆ เช่นวงเลี้ยว องศาการก้มเงย เป็นต้น

### 1.5.4 ทำการประเมินราคาค่าวัสดุ และค่าแรงในการจัดสร้างจริง

### 1.5.5 (หากงบประมาณเพียงพอ) ทำการจัดสร้างยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติ และทดสอบการทำงาน





## 1.6. แผนการดำเนินงาน

### ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

กิจกรรม	2556					2557				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.ศึกษารูปแบบ ทฤษฎีและหลักการทำงานของยานสำรวจใต้น้ำ										
2. เขียนแบบโครงสร้างอย่างคร่าวๆ ของยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติ										
3. ทำการเขียนแบบชิ้นส่วนและอุปกรณ์อย่างละเอียด										
4. ทำการประเมินราคาค่าวัสดุและค่าแรงในการจัดสร้างจริง										
5. สร้างยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติ										
6. ทดสอบการทำงานของยานสำรวจใต้น้ำ และเก็บข้อมูล										
7. วิเคราะห์ผลการทดลอง และสรุปผล จัดทำรายงาน										

## 1.7 งบประมาณที่ใช้

1.7.1 กระดาษ 500 บาท

1.7.2 จัดทำรูปเล่ม 500 บาท

1.7.3 ค่าอุปกรณ์อื่นๆ 2,000 บาท

หมายเหตุ ถัวเฉลี่ยทุกรายการ



## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 หลักกายภาพของน้ำ

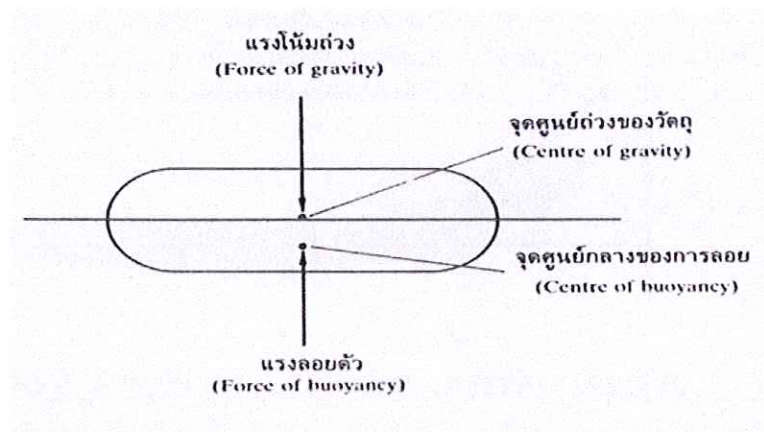
การออกแบบยานสำรวจใต้น้ำจะต้องคำนึงถึงแรงต่างๆที่มากระทำกับยานสำรวจใต้น้ำเมื่อยานสำรวจใต้น้ำมีการเคลื่อนที่ไปในน้ำแรงต่างๆที่กระทำกับยานสำรวจใต้น้ำทั้งซึ่งเกิดขึ้นจากกายภาพของน้ำและตัวยานสำรวจใต้น้ำ ปัจจัยเหล่านี้ได้แก่

##### 2.1.1 หลักของอาร์คิมิดีส (Archimedes' principle)

การที่วัตถุสามารถจมนิ่งอยู่ในของเหลว ไม่ว่าจะทั้งหมดหรือแต่เพียงบางส่วนเกิดได้จากการดันในทิศทางขึ้น (Up thrust) หรือแรงพยุงลอยตัวของเหลว (Force of Buoyancy) ซึ่งจะมีค่าเท่ากับน้ำหนักหรือปริมาณแรงที่เกิดจากมวลของของเหลว ที่ถูกวัตถุแทนที่ด้วยวัตถุนั้น ๆ ในกรณีของเหลวนั้นคือน้ำ ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) เท่ากับ 1 จะได้ว่า 1. ถ้าวัตถุมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1 วัตถุจะลอย โดยมีบางส่วนจมอยู่ใต้น้ำ เนื่องจากน้ำหนักของวัตถุน้อยกว่าน้ำหนักของน้ำที่ถูกแทนที่ 2. ถ้าวัตถุมีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1 วัตถุจะจม เนื่องจากน้ำหนักของวัตถุมากกว่าน้ำหนักของน้ำที่ถูกแทนที่ 3. ถ้าวัตถุมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1 วัตถุจะลอยอยู่เสมอกับผิวน้ำ ปรากฏการณ์ของการลอยตัวของวัตถุซึ่งสัมพันธ์กับความถ่วงจำเพาะของวัตถุและของเหลวนั้น ก็คือหลักการของอาร์คิมิดีส นั่นเอง

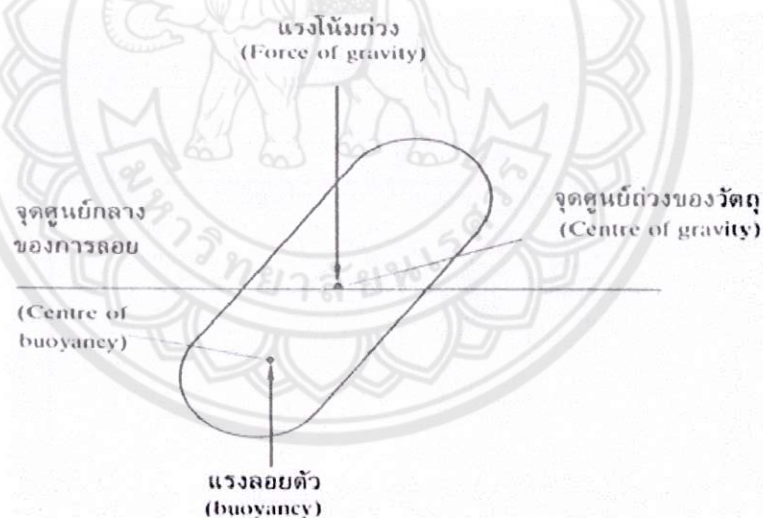
##### 2.1.2 การพยุงลอยตัว

สถานะที่ของเหลวออกแรงพยุงดันวัตถุที่จมอยู่ในของเหลว แรงนี้มีแนวโน้มในการยกวัตถุที่จมในของเหลวให้ลอยอยู่เหนือผิวของของเหลว โดยเกิดจาก แรงดันขึ้น (Upward force หรือ up thrust) ที่กระทำต่อวัตถุนั้น ๆ ซึ่งกระทำในทิศทางตรงข้ามกับ แรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity) อาร์คิมิดีส กล่าวว่า เมื่อสสารจมในของเหลวทั้งหมดหรือบางส่วน ขนาดปริมาณของความดันพยุงลอยตัว (Up thrust buoyancy) จะเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่ถูก แทนที่ เมื่อเราพิจารณาแรงที่เกิดขึ้นในวัตถุที่จมในน้ำจะมีแรง 2 แรงกระทำตรงข้ามกันคือ 1.แรงโน้มถ่วงของโลก ที่มีทิศทางลงในแนวตั้งกระทำผ่านจุดศูนย์กลางของก้อนวัตถุนั้น (Center of gravity) ซึ่งเข้าสู่ศูนย์กลางของโลก 2.การพยุงลอยตัว (Buoyancy) เกิดจากแรงพยุงที่ของเหลวพยุงวัตถุนั้นไว้ มีทิศทางพุ่งขึ้นในแนวตั้งกระทำผ่านจุดศูนย์กลางของการลอย (Center of buoyancy) คือจุดศูนย์กลางของของเหลวที่ถูกแทนที่นั่นเอง แรงนี้มีค่าเท่ากับมวลของของเหลวที่ถูกวัตถุนั้นแทนที่ เมื่อน้ำหนักของวัตถุที่กำลังลอย (Floating body) เท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่ถูกแทนที่ โดยส่วนที่จมของวัตถุนั้น และจุดศูนย์กลางของการลอย (Center of buoyancy) และจุดศูนย์กลางของวัตถุ (Center of gravity) อยู่ในเส้นตรงแนวตั้งเส้นเดียวกัน (Vertical line) วัตถุจะอยู่ในสภาพสมดุลเสถียร (Stable equilibrium)



รูปที่ 2.1 แสดงภาวะการณ้อยู่นิ่ง (สมดุล)

จากรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงตำแหน่งที่แรงลอยตัว และ แรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงกระทำต่อวัตถุในขณะที่วัตถุอยู่ในสภาวะสมดุล ถ้าจุดศูนย์กลางทั้งสองไม่อยู่ในแนวตั้งเส้นเดียวกัน แรงทั้งสองที่กระทำบนวัตถุจะทำให้วัตถุพลิก ไปมา (Roll over) เกิดโมเมนต์ของการหมุน จนกระทั่งวัตถุอยู่ในสภาวะสมดุล ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ภาวะการณ้หมุนไปมา ไม่สมดุลเกิดโมเมนต์ของการหมุน

### 2.1.3 โมเมนต์ของแรง (Moment of force)

เมื่อแรงกระทำต่อวัตถุ ผลที่อาจเกิดขึ้นได้คือ การหมุนรอบจุดหนึ่งที่ตรึงอยู่กับที่อาจเรียกกันทั่วไปว่า ผลการหมุนของแรง (Turning effect of force) หรือโมเมนต์ของแรงซึ่งเป็นปริมาณที่ใช้สำหรับวัดผลหมุนของแรงที่เกิดขึ้นบนวัตถุที่ถูกแรงนั้นกระทำ กฎของโมเมนต์ กล่าวว่า “โมเมนต์ของแรงใดแรงหนึ่ง ณ รอบจุดใดจุดหนึ่งซึ่งตรึงอยู่กับที่ คือผลคูณของแรงที่กระทำกับระยะทางที่ลากจากจุดหมุนไปตั้งฉากกับแนวทิศของแรงที่กระทำ”

### 2.1.4 โมเมนต์ของการพยุงลอยตัว (Moment of Buoyancy)

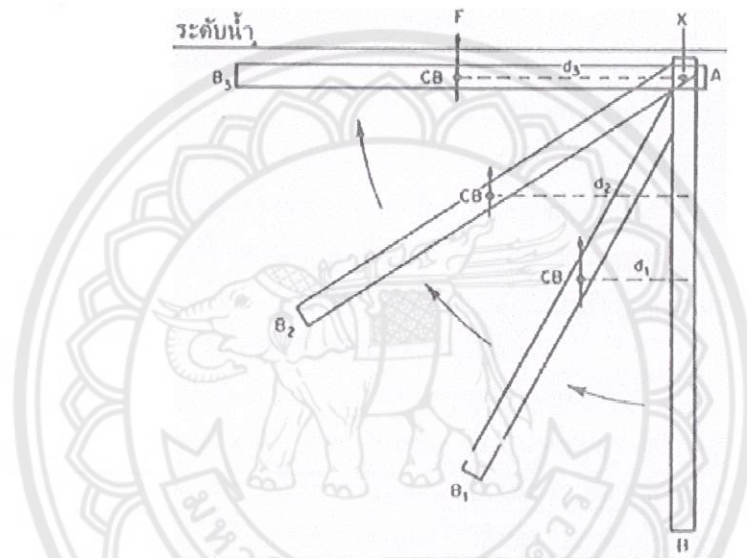
เนื่องจากแรงพยุงลอยตัวเป็นแรงชนิดหนึ่ง จึงสามารถใช้กับกฎข้างต้นนี้ได้ เพราะฉะนั้น

$$B = F \times d \quad (2.1)$$

F = แรงพยุงลอยตัว (Force of Buoyancy)

d = คาน คือ ระยะทางตั้งฉากจากจุดหมุนถึงแนวแรง

B = โมเมนต์ของแรงพยุงลอย

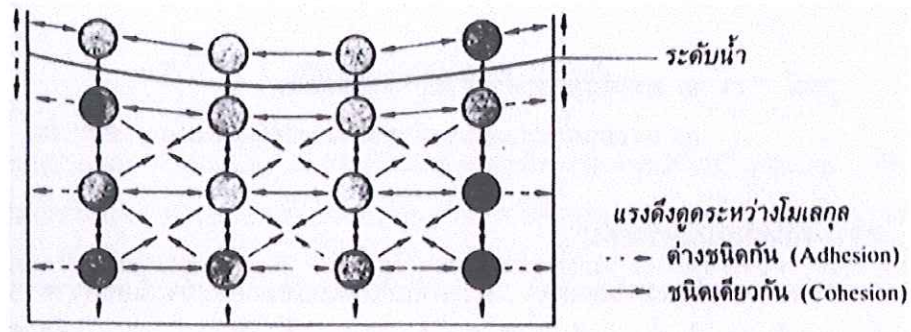


รูปที่ 2.3 แสดงค่าโมเมนต์ของแรงพยุงลอยตัวที่ตำแหน่งต่าง ๆ กัน

จากรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นระยะทางตั้งฉากถึงแนวแรงที่เปลี่ยนไปโดยมี จุด A เป็นจุดหมุน และจุดศูนย์กลางของการพยุงลอย (Central of buoyancy, CB) ซึ่งจะมีผลทำให้โมเมนต์ของแรงพยุงลอยเปลี่ยนค่าไป

### 2.1.5 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของของเหลว เป็นความเสียดทานชนิดหนึ่ง (Friction) ที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของของเหลว โดยเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในของเหลวที่มีการเคลื่อนที่หรือมีการไหล ความหนืดนี้จะต้านทานต่อการไหลของของเหลวที่มีความหนืดสูงเช่นน้ำมันจะไหลได้ช้าและให้ความต้านทานมาก ความหนืดจะทำตัวต้านการไหลเนื่องจากโมเลกุลของของเหลวจะพยายามยึดติดกับวัตถุหรือ ร่างกายที่เคลื่อนที่ผ่านจนเกิดการรบกวน (Turbulence) ที่ความเร็วระดับหนึ่งและมีความต้านทานมากต่อการเคลื่อนที่เคลื่อนไหว

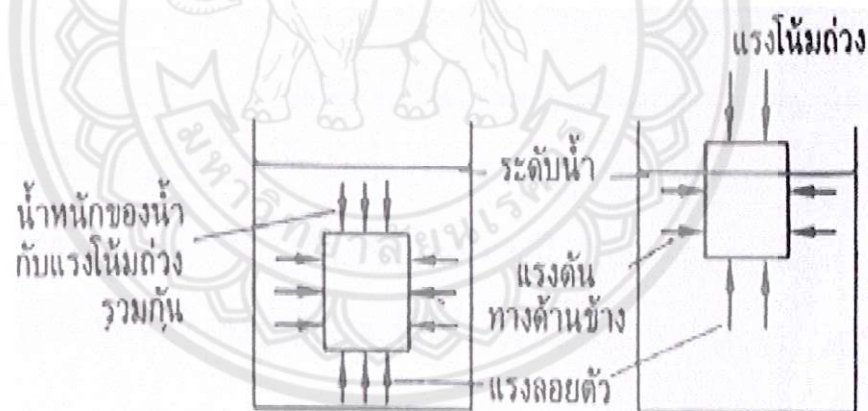


รูปที่ 2.4 แรงดึงดูดเกาะกันระหว่างโมเลกุลของน้ำเช่นชนิดเดียวกันและต่างชนิดกัน

จากรูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นว่าโมเลกุลต่างชนิดกันจะมีแรงดึงดูดเกาะกันระหว่างโมเลกุลส่งออกจากโมเลกุลเพียงชนิดเดียวโดยโมเลกุลอีกชนิดหนึ่งนั้นจะไม่ส่งแรงดึงดูดเกาะกลับไป ซึ่งจะทำให้สองโมเลกุลนี้เกาะกันไม่แน่น

### 2.1.6 ความดันอุทกสถิต (Hydrostatic Pressure)

โมเลกุลของของเหลวจะออกแรงดันต่อทุกๆ จุดทุกส่วนบนผิววัตถุที่จมอยู่ใต้น้ำ แรงดันที่กระทำขึ้นต่อหน่วยพื้นที่ที่ของเหลวนั้นสัมผัส คือความดันของของเหลว



รูปที่ 2.5 แรงดันกระทำต่อวัตถุขณะที่จมและลอย

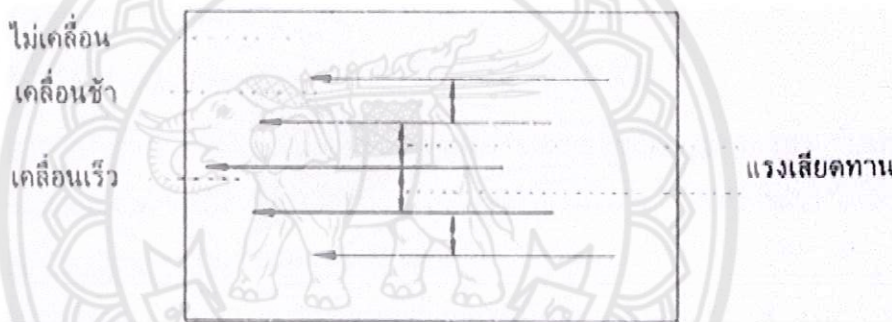
จากรูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นว่าวัตถุที่จมน้ำจะมีแรงกระทำในทุกจุดที่มากกว่าวัตถุที่มีบางส่วนลอยน้ำซึ่งเป็นจริงตามกฎของนิวตัน ความดันของของเหลวจะขึ้นอยู่กับระดับความลึกและความหนาแน่น ดังนี้

- ความดันที่จุดต่าง ๆ ซึ่งอยู่ในระดับเดียวกันย่อมมีค่าเท่ากัน
- ความดันมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามความลึก
- ของเหลวย่อมรักษาระดับเสมอ

- ของเหลวยอมออกแรงดันตั้งฉากกับผิวที่ของเหลวสัมผัสอยู่
- กฎของปาสคาล (Pascal's Law) เป็นกฎเกี่ยวกับการส่งกระจายความดันในของเหลวกล่าวว่า “ความดันของของเหลวที่กระทำต่อพื้นที่ผิวของร่างกายหรือ วัตถุที่จมใต้น้ำขณะอยู่ที่ระดับความลึกหนึ่งที่กำหนดให้จะกระจายไปโดย สมำเสมอและมีค่าเท่ากันตลอด”

## 2.2 การเคลื่อนที่ผ่านน้ำ (Movement through water)

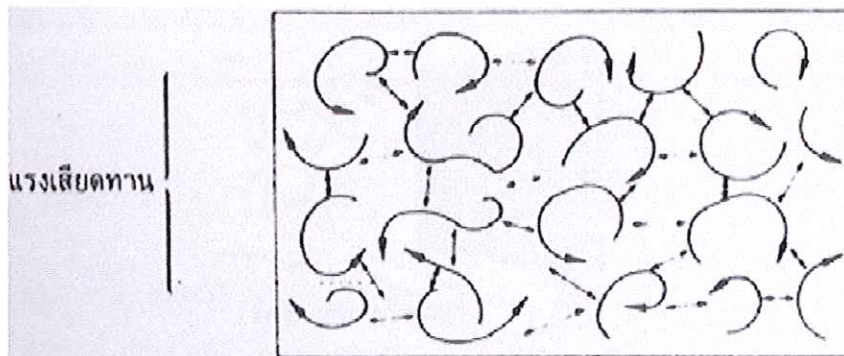
Professor Osborne Reynolds (ค.ศ.1849-1912) ได้กล่าวว่า การไหลของของเหลวอาจเป็นแบบแนวกระแส (Streamlined) และแบบววน (Turbulent) ซึ่งเป็นคุณสมบัติของของเหลวซึ่งถูกควบคุมโดยธรรมชาติและอัตราการไหลจัดเป็น Hydrodynamics



รูปที่ 2.6 แสดงการไหลแบบแนวกระแส

### 2.2.1 การไหลแบบแนวกระแส (Streamlined)

เป็นการเคลื่อนที่ของของเหลวที่ดำเนินต่อเนื่องอย่างช้า ๆ ด้วยความเร็วคงที่ของเหลวเปรียบเสมือนแผ่นชั้นบางๆ หลายๆ ชั้นเรียงซ้อนขนานกัน และชั้นบางแต่ละชั้นนี้จะเคลื่อนที่ไปซึ่งกันและกัน ชั้นที่อยู่ด้านในจะเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วกว่าชั้นนอก ชั้นนอกสุดจะอยู่กับที่ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.7 แสดงการไหลแบบววน

### 2.2.2 การไหลแบบวากวน (Turbulent flow)

เป็นการเคลื่อนที่ของของเหลวที่ไม่เป็นระเบียบมีความเร็วจนถึงจุดความเร็ววิกฤต การเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงเรื่อย ๆ ที่ตำแหน่งจุดใดจุดหนึ่ง จนเกิดการหมุนวนของน้ำแบบ Eddies โดยจะเห็นลักษณะหมุนวนอย่างเร็วไม่เป็นระเบียบของโมเลกุล ของของเหลว ดังแสดงในรูปที่ 2.8

### 2.2.3 ความต้านทานที่เกิดเพราะความฝืด (Frictional resistance)

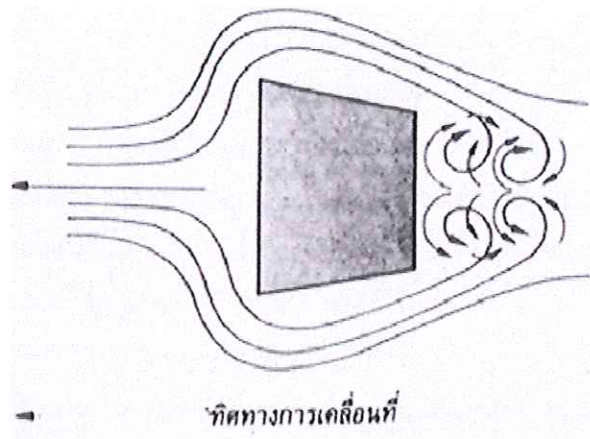
เนื่องจากการไหลแบบวากวนจะมีความฝืดมากกว่าที่เกิดจากการไหลแบบแนวกระแส เพราะการไหลแบบวากวนจะเกิดความฝืดระหว่างผิวของโมเลกุลของเหลว 2 ชนิด และที่ผิวของเหลวกับภาชนะร่วมด้วยเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ผ่านน้ำ ความดันของน้ำจะเกิดขึ้นแตกต่างกันทางด้านหน้าและด้านหลังของวัตถุ โดยจะเพิ่มขึ้นทางด้านหน้าและลดลงทางด้านหลัง เกิดการไหลของน้ำไปยังที่ความดันต่ำเรียกว่า ะลอกน้ำ (Wake) ทำให้เกิด Eddies ขึ้นจากน้ำที่อยู่รอบ ๆ และน้ำที่อยู่หลังวัตถุ การไหลวนในระลอกน้ำจะมีแนวโน้มทำให้วัตถุถูกลากดึงไปด้านหลัง ยิ่งเคลื่อนที่เร็วจะมีแรงดึงลากมากและ ก่อให้เกิดความต้านทานมากขึ้น ถ้าการเคลื่อนที่เปลี่ยนทิศทางทันทีจะถูกต้านทานโดยความเฉื่อยของน้ำและมีผลเกิดการไหลแบบวากวน (Turbulence)



รูปที่ 2.8 แสดงการเกิดระลอกน้ำและกระแสน้ำวน Eddies

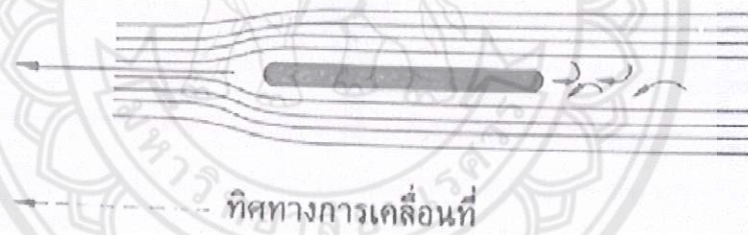
จากรูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างของการเกิดระลอกน้ำและกระแสน้ำวน (Eddies) ที่เกิดขึ้นกับวัตถุรูปตัดขวางเป็นรูปสามเหลี่ยม ซึ่งจะมีลักษณะการเกิดระลอกน้ำและกระแสน้ำวนเช่นเดียวกับวัตถุที่มีปลายบานกว้างออก เมื่อเคลื่อนที่ผ่านน้ำทำให้กระแสน้ำกระจายออกจากผิว และก่อให้เกิดคลื่นซึ่งเคลื่อนไปตามด้านข้างของวัตถุ และค่อย ๆ อ่อนแรงลง ทำให้มีคลื่นและก่อให้เกิดแรงต้านต่อการเคลื่อนที่มาก





รูปที่ 2.9 วัตถุปลายบานกว้างวัตถุปลายแคบเล็กเรียว เมื่อเคลื่อนผ่านน้ำจะแยกน้ำออกเล็กน้อย

จากรูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างของการเกิดระลอกน้ำ และกระแสน้ำวนที่เกิดขึ้นกับวัตถุรูปตัดขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ซึ่งจะมีลักษณะการเกิดระลอกน้ำและกระแสน้ำวนเช่นเดียวกับวัตถุหน้าบานปลายหดเข้า เนื่องจากการไหลดังกล่าวจะเกิดการแยก (separation) ที่ขอบที่มีสันคมทั้งสองด้าน และจะเกิดการไหลย้อนกลับที่บริเวณด้านหลังจึงก่อให้เกิดแรงต้านต่อการเคลื่อนที่มาก



รูปที่ 2.10 วัตถุปลายแคบเล็กเรียว

จากรูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างของการเกิด Von Karman Vortex ขึ้นของการไหลผ่านภาคตัดขวางรูปทรงกระบอก ซึ่งจะมีผลของการเกิดปรากฏการณ์แยก ซึ่งทำให้เกิดกระแสการไหลด้านหลังเป็นบริเวณที่มีความดันน้อย (wake) ก่อให้เกิดค่าแรงหน่วงจากความดัน

ความต้านทานของน้ำที่ความเร็วต่าง ๆ ของยานมีผลต่อการเลือกขนาดของมอเตอร์ขับเคลื่อน การคำนวณค่าความต้านทานขึ้นต้นเพื่อนำผลไปใช้ในการกำหนดขนาดหลักของยานกระทำโดยใช้สูตรที่ 2.2

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

$D$  = แรงต้านการเคลื่อนที่

$C_D$  = สัมประสิทธิ์ความต้านทานการเคลื่อนที่

$\rho$  = ความหนาแน่นของน้ำ

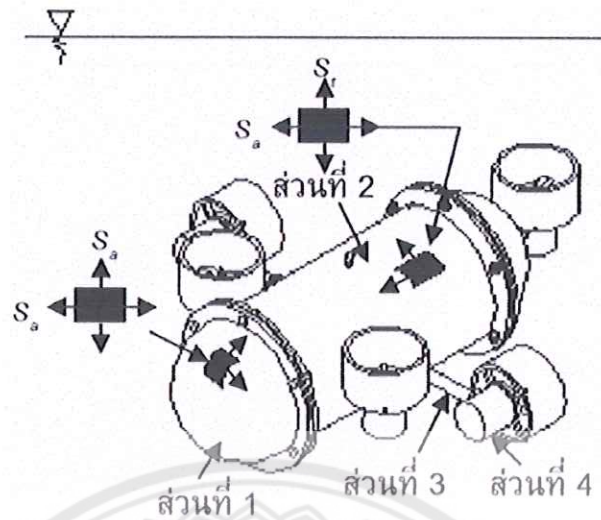
$A$  = พื้นที่รับแรงต้าน

$V$  = ความเร็วของยาน

#### 2.2.4 แรงต้านที่เกิดจากความดันเนื่องที่กระทำต่อผิว (Drag Force)

เคลื่อนที่ของของไหลถ้าความดันเพิ่มขึ้นในเส้นทางการไหล แรงต้านการเคลื่อนที่จะต้านการเคลื่อนที่ซึ่งขึ้นอยู่กับทิศทางการไหล และในตำแหน่งนั้น ๆ ทิศทางตรงกันข้ามจะช่วยให้ของไหลสามารถเคลื่อนที่เอาชนะความต้านทานได้ แรงต้านการเคลื่อนที่โดยปกติแล้วจะต้านการเคลื่อนที่ของของไหลซึ่งเกิดจากความเค้นเฉือนที่กระทำบนพื้นผิวจะทำให้ไม่เกิดการเลื่อนไหลของชั้นของไหลบริเวณผิวสัมผัสของแผ่นราบ ผลของความเค้นเฉือนทำให้เกิดแรงต้านการเคลื่อนที่ของของไหลและทำให้ความเร็วสัมพัทธ์บริเวณนั้นมีค่าเป็นศูนย์โดยปกติแล้วความเค้นเฉือนจะกระทำในทิศทางตรงข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของของไหลถ้าปริมาตรควบคุม และพื้นผิวอยู่ในสภาวะสมดุล ผลรวมของแรงที่กระทำกับพื้นผิวของปริมาตรและของไหลจะเท่ากับศูนย์ แรงนี้เรียกว่า “ drag force”

จากรูปที่ 2.11 แสดงให้เห็นถึงส่วนที่มีผลกระทบต่อการไหลและการเคลื่อนที่ในของไหลของยานดำน้ำ ซึ่งจะเป็นไปตามหลักทฤษฎีที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้แล้วทั้งหมดในหัวข้อความต้านทานที่เกิดเพราะความเสียด (Frictional resistance)



รูปที่ 2.11 ความเค้นในแนวเส้นรอบวงและความเค้นในแนวแกน

drag force หมายถึงปริมาณแรงที่คงเหลืออยู่บนพื้นผิวของแผ่นราบ เนื่องจากความเร็วสัมพัทธ์ของของไหลบนพื้นผิว และมีทิศทางเดียวกับความเร็วสัมพัทธ์ของของไหล ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 drag force ที่เกิดกับผิวเรือ

ความเค้นเฉือนเนื่องจากความหนืดในของไหลที่อยู่ใกล้พื้นผิวทำให้เกิดความหนืดหรือความเสียดทาน (friction drag) เมื่อมันไหลผ่านบนพื้นผิวของของแข็งถ้าแรงกระจายความดันในทิศทางที่เกิดการไหลจะทำให้บนขอบเขตของผิวแผ่นราบมีแรงดันที่แตกต่างกันซึ่งแรงดันดังกล่าวจะช่วยให้เกิด drag force กระทำบนผิวแผ่นราบซึ่งแรงนี้เรียกว่า(แรงต้านเนื่องจากความดัน “Pressure drag”) โดยค่า Friction Coefficient หาจากสูตรสำเร็จของ ITTC (International Towing Tank Conference

$$C_f = \frac{0.075}{\log_{10}(RE-2)^2} \quad (2.3)$$

$$RE = \text{Reynold Number} = \frac{VL}{\gamma}$$

$C_f$  = Friction Coefficient

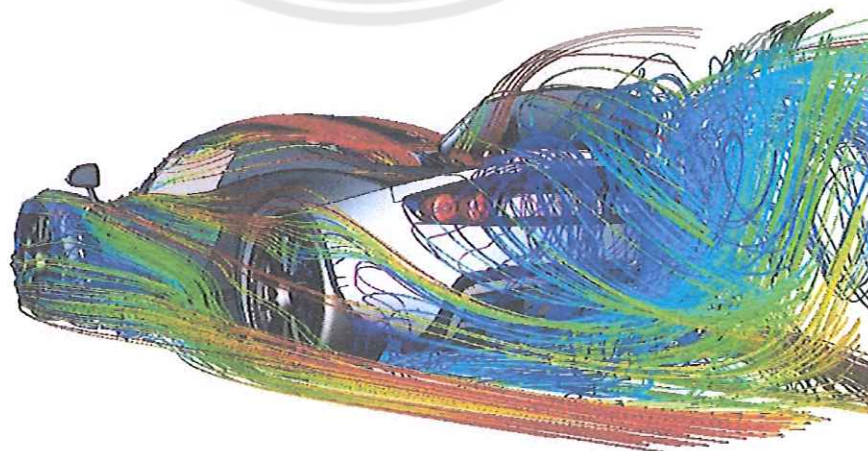
$V$  = ความเร็วของยานใต้น้ำ

$L$  = ความยาวของยานใต้น้ำ

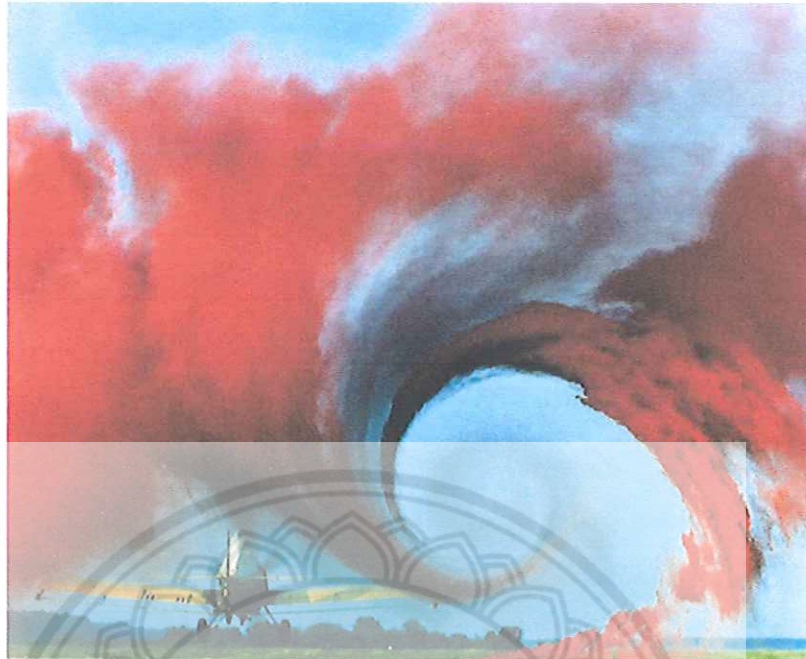
$\gamma$  = Kinematics Viscosity of Fluid

### 2.2.5 พลศาสตร์ของไหล (Fluid Dynamics)

เมื่อของไหลเคลื่อนที่คุณสมบัติบางประการของของไหลจะเปลี่ยนไป ตัวอย่างเช่น ความดัน แม้จะอยู่ในระดับเดียวกันในภาชนะเดียวกัน ค่าความดันก็อาจจะไม่เท่ากันที่เป็นเช่นนี้แสดงว่ามันเกี่ยวข้องกับพลังงานจลน์ของของไหลขณะกำลังเคลื่อนที่ เช่น การไหลของของไหลผ่านรถยนต์ ดังรูปที่ 2.13 การไหลของกระแสน้ำในแม่น้ำหรือกระแสน้ำหลากหรือการเคลื่อนที่ของควันทันหรือ อนุภาคของน้ำหรือควันทันที่เคลื่อนที่จริงๆย่อมมีความสลับซับซ้อนยากที่จะคาดคะเนได้ถูกต้องสมบูรณ์ของไหลที่ไหลอย่างไม่เป็นระเบียบกระแสน้ำของการไหลจะสลับซับซ้อนอลวนแต่ในสภาวะที่เหมาะสมกระแสน้ำของการไหลจะเป็นระเบียบไม่เกิดการอลวนซึ่งในสภาวะเช่นนี้เราเรียกว่าการไหลแบบสายกระแส (Streamline flow)



รูปที่ 2.13 การไหลของของไหลผ่านรถยนต์

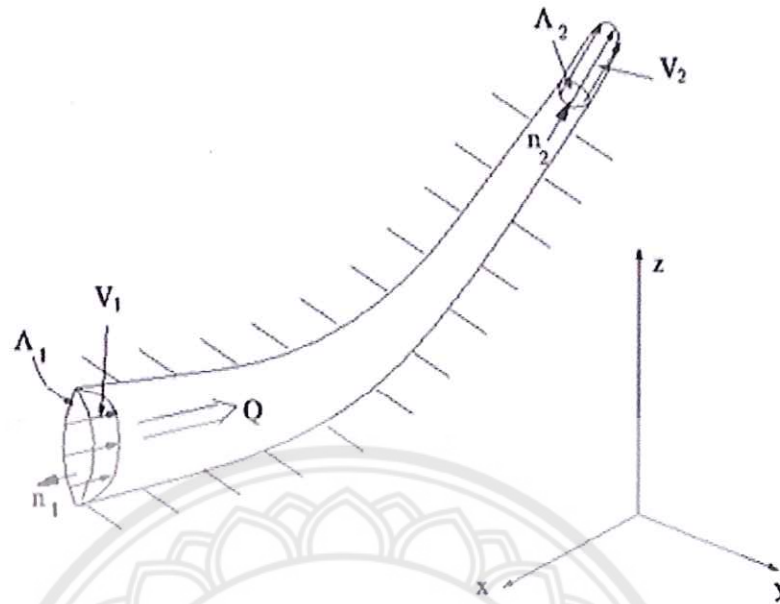


รูปที่ 2.14 การไหลแบบสายกระแส

จากรูปที่ 2.13 แสดงตัวอย่างของการไหลของอากาศที่ไหลผ่านรถยนต์ขณะเคลื่อนที่และ รูปที่ 2.14 แสดงตัวอย่างของการไหลของอากาศที่ปลายปีกเครื่องบินซึ่งเป็นการไหลแบบสายกระแส การไหลในลักษณะเช่นนี้ สายกระแสแต่ละสายจะไม่พันหรือไขว้กันแต่จะไหลคู่ไปตามกัน อนุภาคที่ประกอบเป็นของไหลในแต่ละสายจะอยู่ในสายเดิมตลอดเวลา และทุกอนุภาคที่เคลื่อนที่ในสายใดสายหนึ่งเมื่อเคลื่อนที่ผ่านจุดตรงจุดหนึ่งในสายนั้นๆ ความเร็วของทุกอนุภาคจะเท่ากันหมด ในกรณีพิเศษ ถ้าถือว่าของไหลนี้เป็นชนิดที่แรงกดดันไม่ทำให้ปริมาตรของมันเปลี่ยนแปลง (Incompressible fluid) ในขณะที่ไหลไม่มีแรงเสียดทานระหว่างสายกระแสหรือไม่มีความหนืด ซึ่งเราจะเรียกว่า ของไหลอุดมคติ (ideal fluid) แก๊สที่มีความดันคงที่หรือมีผลต่างความดัน ณ บริเวณใกล้เคียงไม่มากเกินไป ก็ถือว่าเป็นของไหลอุดมคติได้ แรงเสียดทานภายในระหว่างชั้นขณะกำลังไหลจะก่อให้เกิดความเค้นเฉือน ดังนั้น ของไหลในอุดมคติมีสมบัติดังนี้

1. ไม่มีความหนืด (non viscous)
2. ไหลแบบสายกระแส (laminar)
3. ไม่มีการบีบอัด (incompressible)
4. ไม่มีการหมุน (no rotational)

สมมติของไหลอุดมคติไหลในท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 2.15 มวลของของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่ภาคตัดขวางใดๆ ในเวลาเท่ากันจะมีค่าเท่ากันเสมอ ถ้าของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่ภาคตัดขวาง  $A_1$  มีอัตราเร็ว  $V_1$  และไหลผ่านพื้นที่ภาคตัดขวาง  $A_2$  มีอัตราเร็ว  $V_2$  ในเวลา  $dt$  มวลของของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่  $A_1$  และ  $A_2$  ให้เป็น  $dm_1$  และ  $dm_2$  ตามลำดับ



รูปที่ 2.15 การไหลอุดมคติไหลในท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนแปลง

$Q$  : flow rate

$V_{1,2}$  : velocity vector distributions at 1,2

$n_{1,2}$  : unit normal vectors at 1,2

$A_{1,2}$  : sectional areas at 1,2

$$dm_1 = \rho A_1 ds_1 = \rho A_1 v_1 dt \quad (2.4)$$

$$dm_2 = \rho A_2 ds_2 = \rho A_2 v_2 dt \quad (2.5)$$

เมื่อ  $\rho$ ,  $ds_1$  และ  $ds_2$  เป็นความหนาแน่นของของไหลระยะทางที่ของไหล ไหล-ไหล ผ่านพื้นผิว

$A_1$  และ  $A_2$  ในเวลา  $dt$  ตามลำดับ

ดังนั้น  $dm_1 = dm_2$

หรือ  $\rho A_1 v_1 dt = \rho A_2 v_2 dt$

หรือ  $A_1 v_1 = A_2 v_2 =$  คงที่

เรียกสมการนี้ว่า สมการความต่อเนื่อง (Continuity equation) ปริมาณ  $Av$  ก็คืออัตราการไหลของปริมาตรจึงสามารถกล่าวได้ว่าของไหลอุดมคติเมื่อไหลในท่ออัตราการไหลของปริมาตรจะมีค่าคงที่

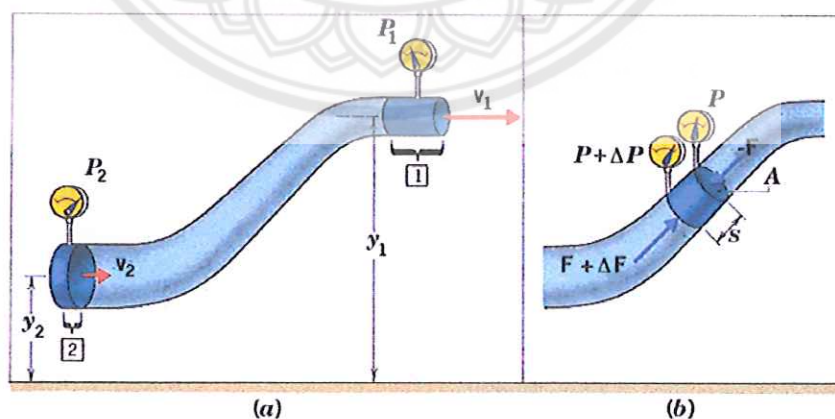
$$\frac{dV}{dt} = Av \quad \text{ค่าคงที่}$$

เมื่อ  $\frac{dV}{dt}$  เป็นอัตราปริมาตรของของไหลที่ไหลผ่านภาคตัดขวางของท่อเมื่อพื้นที่

ภาคตัดขวางใหญ่ขึ้นอัตราเร็วของสายกระแสจะลดลงน้ำที่ไหลในแม่น้ำเมื่อไหลผ่านบริเวณที่แคบ กระแสน้ำจะไหลเร็วในขณะที่เมื่อไหลผ่านบริเวณแม่น้ำที่กว้างกระแสน้ำจะไหลช้าหรือถ้าแม่น้ำกว้างสม่ำเสมอบริเวณน้ำตื้นกระแสน้ำจะไหลเร็วบริเวณน้ำลึกกระแสน้ำจะไหลช้าแต่อัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านทั้งสองบริเวณจะเท่ากัน (ตามอุดมคติ)

### 2.2.6 สมการของแบร์นูลลี (Bernoulli's Equation)

จากสมการต่อเนื่องเมื่อของไหลอุดมคติไหลในท่อที่มีพื้นที่ภาคตัดขวางเปลี่ยนไปอัตราเร็วของการไหลจะเปลี่ยนไปด้วยทำให้พลังงานจลน์ต่อหนึ่งหน่วยมวลของของไหลเปลี่ยนไปด้วยและถ้าท่อไม่อยู่ในแนวระดับพลังงานศักย์ต่อหนึ่งหน่วยมวลของของไหลก็เปลี่ยนไปด้วยดังนั้นความดันของของไหลในท่อที่ตำแหน่งต่างๆก็จะเปลี่ยนไปด้วยนั่นหมายความว่าความดันของของไหลขณะที่กำลังไหลในท่อจะขึ้นอยู่กับอัตราเร็วของสายกระแสและขึ้นอยู่กับตำแหน่งความสูง ณ ภาคตัดขวางนั้น ๆ ด้วย



รูปที่ 2.16 ความดันของของไหลในท่อที่ตำแหน่งต่าง ๆ

จากรูปที่ 2.16(a) เมื่อของไหลไหลขึ้นตามท่อ ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น  $y_1$  มีภาคตัดขวาง  $A_1$  ของไหลมีอัตราเร็ว  $v_1$  และ ณ ตำแหน่งสูงจากพื้น  $y_2$  ภาคตัดขวางของท่อเป็น  $A_2$  ของไหลมีอัตราเร็ว  $v_2$  เมื่อ  $A_1$  และ  $A_2$  ไม่เท่ากัน  $v_1$  และ  $v_2$  ก็ย่อมไม่เท่ากัน ดังนั้นมวลของของไหลในช่วงนี้ก็จะไหลด้วยอัตราเร่ง แสดงว่าแรงลัพธ์ที่กระทำต่อมวลของไหลในช่วงนี้ไม่เป็นศูนย์ ณ ภาคตัดขวางของท่อเสมือนมีแผ่นลูกสูบบางๆ ซึ่งมีขนาดเปลี่ยนแปลงได้ตามภาคตัดขวางของท่อ ดังนั้นของไหลที่อยู่ทางด้านซ้ายของพื้นที่  $A_1$  จะออกแรงดันลูกสูบ  $A_1$  ด้วยขนาดของแรง  $P_1A_1$  ไปทางขวา ในขณะที่เดียวกันของไหลที่อยู่ทางด้านขวามือพื้นที่  $A_2$  ก็จะออกแรงดันลูกสูบ  $A_2$  มาทางซ้ายมือด้วยขนาดของแรง  $P_2A_2$  นั่นก็คือแรงที่กระทำต่อของไหลจึงมาจากของไหลด้านข้างเคียงดังแสดงในรูปที่ 2.16(b) เมื่อแรง  $P_1A_1$  ไม่เท่ากับ  $P_2A_2$  มวลก็เคลื่อนที่มีความเร่ง ถ้าเวลาของการไหลผ่านไปเพียงเล็กน้อย  $dt$  ปริมาตรของของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่  $A_1$  และ  $A_2$  ย่อมเท่ากันให้เป็น  $dV$  โดยที่  $dV = A_1ds_1 = A_2ds_2$  เมื่อ  $ds_1$  และ  $ds_2$  เป็นระยะทางที่ลูกสูบ  $A_1$  และ  $A_2$  เคลื่อนที่ เมื่อใช้กฎอนุรักษ์พลังงาน ณ ตำแหน่งสูง  $y_1$  และ  $y_2$  ที่ว่างงานผลลัพธ์ของแรงภายนอกที่กระทำต่อมวลจะเท่ากับผลต่างของพลังงานกลของมวล ณ ตำแหน่งทั้งสอง แรงภายนอก  $P_1A_1$  ทำงานและได้งานเท่ากับ  $P_1A_1ds_1$  แต่แรง  $P_2A_2$  ทำงาน แต่เสียงาน(ถอยหลัง) เท่ากับ  $P_2A_2ds_2$  ดังนั้นงานผลลัพธ์ในช่วงเวลา  $dt$  ให้เป็น  $d$

$$\begin{aligned} dW &= P_1A_1ds_1 - P_2A_2ds_2 = P_1dV - P_2dV \\ &= (P_1 - P_2)dV \end{aligned}$$

ผลต่างของพลังงานกลในช่วงเวลา  $dt$  ให้เป็น  $dE$

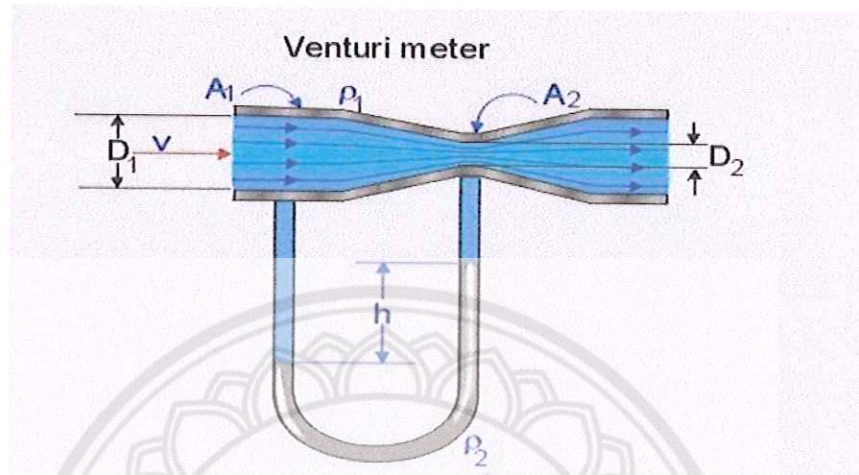
$$\begin{aligned} dE &= \frac{1}{2}dmv_2^2 + dmgy_2 - \frac{1}{2}dmv_1^2 - dmgy_1 \\ p_1 - p_2 &= \frac{1}{2}\rho(v_2^2 - v_1^2) + \rho g(y_2 - y_1) \end{aligned}$$

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gy_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gy_2$$

$$\text{ดังนั้น } p_1 + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gy = p_2 + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gy = \text{ค่าคงที่}$$



นี่คือสมการของแบร์นูลลีซึ่งอาจกล่าวได้ว่างานต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของของไหล ( $P_1 - P_2$ ) มีค่าเท่ากับผลบวกของพลังงานจลน์และพลังงานศักย์ที่เปลี่ยนไปต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรที่เกิดขึ้นขณะที่กำลังไหล



รูปที่ 2.17 Venturi meter

จากรูปที่ 2.17 แสดงการวัดอัตราการไหลด้วยท่อเวนจูรีโดยอาศัยหลักการวัดความดันแตกต่าง ระหว่างจุด 2 จุดที่ของไหลไหลผ่าน และคำนวณหาอัตราการไหลโดยใช้ทฤษฎีของแบร์นูลลี โดยผลบวกของความดัน พลังงานจลน์และพลังงานศักย์ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรจะมีค่าคงที่เสมอ

### 2.3 ความจุความร้อน

ความจุความร้อนของน้ำ (Heat capacity) น้ำมีความร้อนจำเพาะเท่ากับ 4.184 จูล/กรัม/องศาเซลเซียส นั้นหมายถึง การที่จะทำให้ น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส จะต้องใช้พลังงานเท่ากับ 4.184 จูล ถ้าต้องการให้น้ำจำนวน 1 กิโลกรัม (1,000 กรัม) มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส จะต้องใช้พลังงานถึง 4,184 จูล ดังนั้นการ ที่จะทำให้อุณหภูมิของน้ำทะเลสูงขึ้นได้ จะต้องอาศัยพลังงานมหาศาลจากดวงอาทิตย์ นั้นเป็นเหตุให้อุณหภูมิของน้ำทะเลต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศเวลากลางวัน

## 2.4 เรือ



(a)



(b)

รูปที่ 2.18 ลักษณะของเรือโดยทั่วไป(a) และลักษณะของเรือดำน้ำ(b)

เรือเป็นยานพาหนะที่ใช้เดินทางทางน้ำใน รูปที่ 2.18(a) แสดงให้เห็นถึงลักษณะของเรือ โดยทั่วไปโครงสร้างประกอบด้วยตัวเรือเป็นโครงสร้างที่สามารถลอยน้ำได้ (ซึ่งอาจเป็นส่วนเดียวหรือสองส่วนขนาดกันก็ได้แต่ไม่รวมถึงแพซึ่งปกติโครงสร้างลอยน้ำจะทำจากกระบอกกลางหลายๆท่อนผูกติดกัน) กับส่วนที่เป็นการขับเคลื่อนของเรือ เช่น ไม้พาย เครื่องยนต์ ใบเรือ เป็นต้น

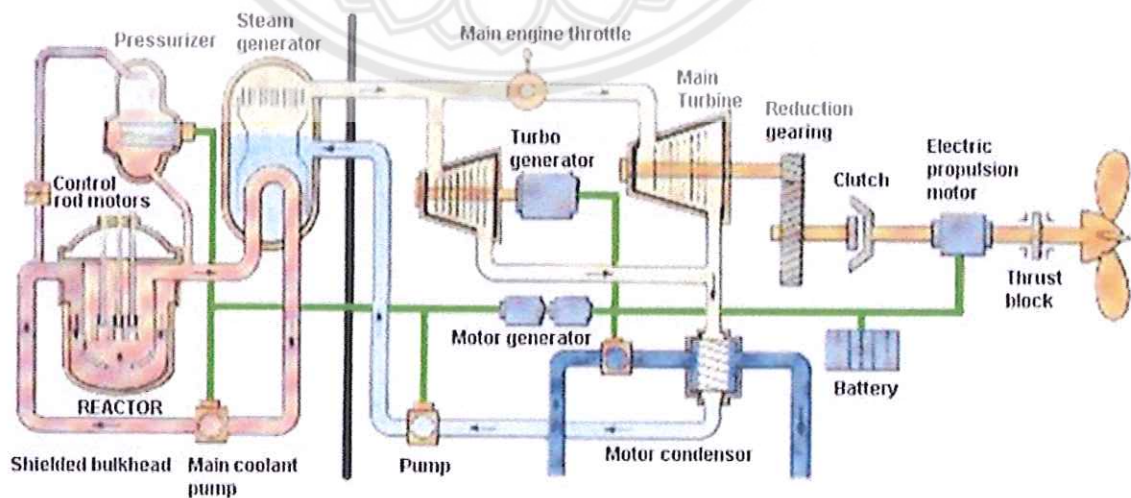
อาร์คิมิดีส ค้นพบหลักที่ทำให้สิ่งต่างๆลอยได้ เริ่มต้นจากเขาโดดลงอ่างอาบน้ำ และสังเกตว่า น้ำจะกระฉ่อนออกไป ขณะที่เรือลอยอยู่ในน้ำ เรือก็"แทนที่"น้ำในรูปแบบเดียวกัน และยังค้นพบอีกว่า น้ำส่วนที่เรือเข้าไปแทนที่จะดันกลับด้วยแรงที่เท่ากับน้ำหนักของเรือ ความหนาแน่นของเรือเป็นสิ่งสำคัญ ความหนาแน่นคือ น้ำหนักวัตถุที่วัดได้ต่อหนึ่งปริมาตรของวัตถุนั้น หากเรือหรือวัตถุใดๆก็ตาม มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำสิ่งนั้นจะลอยได้ แต่หากวัตถุมีความหนาแน่นมากกว่าก็จะจม

เรือดำน้ำเป็นเรือชนิดหนึ่งที่มีความสามารถในการเคลื่อนที่ภายใต้ผิวน้ำเรือดำน้ำถูกนำมาใช้ในการสงครามและการค้นคว้าสำรวจใต้ทะเลลึกในบริเวณที่มนุษย์เราไม่สามารถดำลงไปได้ด้วยการสวมเพียงชุดดำน้ำ ด้วยคุณสมบัติที่พิเศษเหนือกว่ายานพาหนะชนิดอื่นคือมันสามารถที่จะอยู่ใต้ทั้งบนผิวน้ำและใต้น้ำ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.18(b) นับตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1620 ที่เรือดำน้ำลำแรกถูกสร้างขึ้นมา ขณะนั้นเรือดำน้ำสามารถจุคนได้เพียง 12 คน ดำน้ำได้ลึกเพียง 4.5 เมตร และเคลื่อนที่ใต้น้ำได้เพียง 8 กิโลเมตรก่อนที่จะต้องขึ้นสู่ผิวน้ำ ปัจจุบันเรือดำน้ำสามารถจุคนได้ถึง 150 คน สามารถอยู่ใต้น้ำได้นานนับเดือนด้วยขนาดที่ใหญ่โตจนสามารถจุคนได้มากขนาดนี้เรือดำน้ำมีวิธีการอย่างไรที่จะทำให้ตัวมันดำลงใต้น้ำได้และกลับขึ้นสู่ผิวน้ำได้อีกเรือดำน้ำถูกออกแบบมาเพื่อให้สามารถอยู่ในน้ำลึกได้ ด้วยตัวลำเรือที่ถูกออกแบบให้มีผนังสองชั้นเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ลูกเรือสามารถอยู่ในเรือได้อย่างปกติแม้จะอยู่ในระดับความลึกมากเพียงใดก็ตาม และสามารถอยู่ใต้นานจนกว่าอากาศและอาหารจะไม่เพียงพอ



รูปที่ 2.19 เรือดำน้ำธรรมดาที่ใช้ระบบขับเคลื่อนจากมอเตอร์ไฟฟ้าและแบตเตอรี่

เรือดำน้ำธรรมดาเมื่อวิ่งบนผิวน้ำหรือวิ่งใต้น้ำโดยใช้ท่อหายใจจะขับเคลื่อนโดยเครื่องยนต์ดีเซลโดยขับเพลลาใบจักรโดยตรง หรือผ่านทางระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า-แบตเตอรี่ - มอเตอร์ไฟฟ้า แล้วขับเพลลาใบจักร ในรูปที่ 2.19 แสดงเรือดำน้ำธรรมดาที่ใช้ระบบขับเคลื่อนจากมอเตอร์ไฟฟ้าและแบตเตอรี่เนื่องจากว่าเมื่อเรือดำน้ำเดินทางใต้น้ำจะใช้พลังขับเคลื่อนจากแบตเตอรี่เพียงอย่างเดียว โดยป้อนกระแสไฟฟ้าขับมอเตอร์และขับเพลลาใบจักรอีกต่อหนึ่ง การขับเคลื่อนโดยแบตเตอรี่นี้หากใช้ความเร็วต่ำเรือจะสามารถวิ่งไปได้นานมาก เช่น ความเร็ว 2.5 - 3 นอต ไปได้นานถึง 10 ชั่วโมง แต่ถ้าใช้ความเร็วสูงขึ้นแบตเตอรี่จะหมดลงอย่างรวดเร็ว เช่น ใช้ความเร็วสูงสุด 18 - 20 นอต จะไปได้เพียง 30 นาที ถึง 1 ชั่วโมงเท่านั้น หลังจากนั้นจะต้องโผล่ขึ้นผิวน้ำและเดินเครื่องจักรดีเซลเพื่อประจุแบตเตอรี่ใหม่



รูปที่ 2.20 ระบบขับเคลื่อนด้วยพลังงานนิวเคลียร์ในเรือดำน้ำ

สำหรับเรือดำน้ำขับเคลื่อนด้วยพลังงานนิวเคลียร์มีหลักการอย่างกว้าง ๆ คือเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ซึ่งติดตั้งอยู่ในห้องม่นคงป้องกันกัมมันตภาพรังสีจะเผา้ำหรือของเหลวในระบบวงจร ซึ่งเรียกว่า Primary circuit ให้ความร้อน น้ำหรือของเหลวดังกล่าวจะไหลไปยังเครื่องถ่ายความร้อนที่เรียกว่า Heat exchanger เพื่อถ่ายความร้อนให้น้ำในระบบวงจร Secondary circuit จนกลายเป็นไอน้ำ เพื่อนำไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำ ซึ่งขับเคลื่อนใบจักรอีกต่อหนึ่ง ระบบขับเคลื่อนด้วยพลังงานนิวเคลียร์ในเรือดำน้ำในรูปที่ 2.20 ที่ต้องมีวงจรของเหลวหรือน้ำ 2 วงจร ก็เพื่อป้องกันมิให้กัมมันตภาพรังสีรั่วออกมาจากห้องม่นคงและเป็นอันตรายต่อพลประจำเรือได้ ข้อเสียของการขับเคลื่อนแบบนี้ก็คืออันตรายจากกัมมันตภาพรังสีประการหนึ่งและอีกประการหนึ่งคือ เรือดำน้ำจะมีเสียงดังมากและถูกตรวจจับได้โดยง่ายโดยเครื่องมือแบบ passive ข้อดีที่สำคัญที่สุดก็คือสามารถดำใต้น้ำได้เกือบไม่จำกัดระยะเวลา หากพลประจำเรือสามารถทนได้นอกจากนี้ยังมีความเร็วสูงอีกด้วย

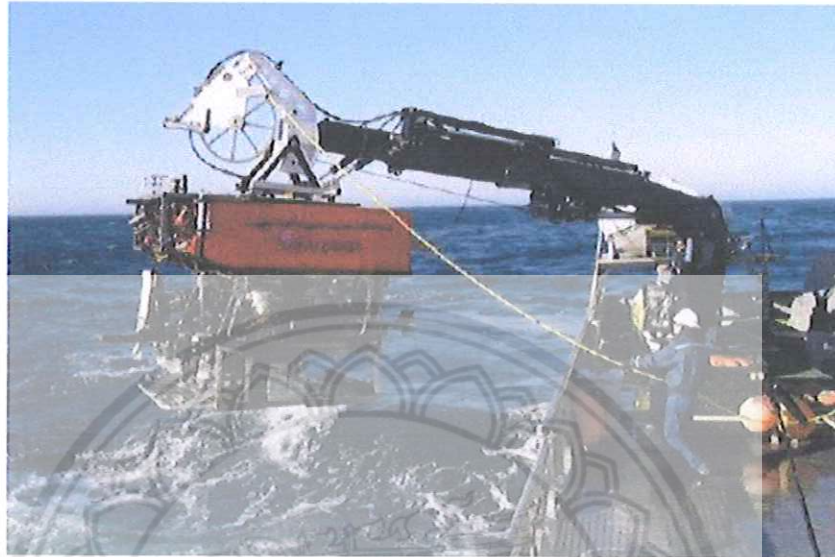
ระบบขับเคลื่อน 2 แบบข้างต้น ยังมีข้อเสียอยู่หลายประการดังที่ได้กล่าวแล้ว จึงได้มีการค้นคว้าวิจัยระบบขับเคลื่อนแบบอื่นที่ดีกว่า เช่น ให้สามารถเดินทางใต้น้ำได้นานโดยไม่ต้องอาศัยอากาศจากภายนอกและปราศจากอันตรายจากกัมมันตภาพรังสี เป็นต้น ปัจจุบันเทคโนโลยีก้าวไกลจนสามารถออกแบบสร้างเครื่องยนต์ดีเซลแบบใช้อากาศหมุนเวียน (Air-Independent Propulsion System; AIP System) ซึ่งมีออกซิเจนและเชื้อเพลิงอยู่ในตัวเอง ระบบขับเคลื่อนดังกล่าวจะทำให้เรือดำน้ำมีความเงียบ มีความเร็วสูงพอสมควรและสามารถเดินทางใต้น้ำได้เป็นเวลาหลายสัปดาห์



รูปที่ 2.21 ใบจักรเรือดำน้ำ

สิ่งที่เกี่ยวข้องกับระบบขับเคลื่อนอีกประการหนึ่งคือ ใบจักรเรือ รูปที่ 2.21 แต่เดิมใบจักรเรือดำน้ำจะเป็นขนาดเล็ก และมี 2 พวงใช้รอบสูง ในปัจจุบันได้เปลี่ยนแปลงเป็นใบจักรเดี่ยวแทบทั้งหมด โดยเป็นใบจักรขนาดใหญ่และมีใบหลายใบ (ประมาณ 5 - 7 ใบ) ติดตั้งท้ายเรือสุด เหตุผลที่สำคัญในการเปลี่ยนแปลงก็คือจะทำให้เสียงของเรือดำน้ำเงียบลงอย่างมาก

## 2.5 หุ่นยนต์ใต้น้ำ



รูปที่ 2.22 หุ่นยนต์ทำงานใต้น้ำขนาดใหญ่

นอกจากหุ่นยนต์จะถูกใช้งานตามโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตอย่างแพร่หลายอยู่ในขณะนี้ หุ่นยนต์ยังช่วยงานสำรวจระยะไกลอย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย ในรูปที่ 2.22 เป็นหนึ่งในหุ่นยนต์สำรวจที่มนุษย์พัฒนาขึ้นมาซึ่งสามารถทำงานได้ในใต้น้ำลึก นอกจากนี้หุ่นยนต์ยังทำงานประเภทสำรวจอวกาศนอกโลก การเข้าถึงแหล่งอันตราย อาทิเช่น โรงไฟฟ้าปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่มีสารอันตรายรั่วไหลอยู่ หรือแม้กระทั่งห้างสรรพสินค้าที่มีการวางระเบิดก่อวินาศกรรม หุ่นยนต์กู้ภัยที่ทำงานร่วมกับเจ้าหน้าที่ตำรวจหน่วยสวต (S.W.A.T Unit) นั้นสามารถเอ็กรเบย์วัตถุในกล่องปิดจนถึงการใช้ปืนฉีดน้ำความเร็วสูงทะลุผ่านผนังกล่องตัดสายชนวนระเบิดได้

“หุ่นยนต์ดำน้ำ” หรือ Remotely Operated Underwater Robotic Vehicles ดังในรูปที่ 2.23 ถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อใช้ในการสำรวจใต้ท้องทะเลลึก ผศ.ดร.จักรกฤษณ์ ศุทธากรณ์ จากมหาวิทยาลัยมหิดล หัวหน้าทีมจัดสร้าง ThaiXPole – An Underwater Robot for Antarctica Exploration รูปที่ 2.24 หุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำตัวแรกของไทยที่ได้ไปทำงานจริงสำหรับเก็บข้อมูลบริเวณขั้วโลกใต้ร่วมกับทีมนักวิทยาศาสตร์ไทย



รูปที่ 2.23 หุ่นยนต์ทำงานใต้น้ำขนาดเล็ก

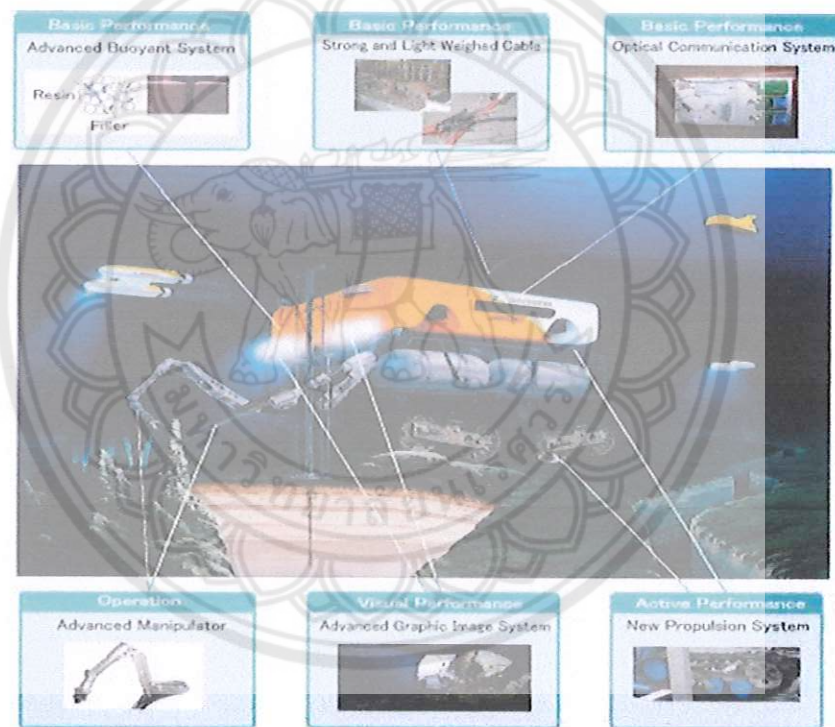
หุ่นยนต์ดำน้ำประเภทนี้ใช้การควบคุมระยะไกล (Teleoperation) เป็นหุ่นยนต์ที่มีความชาญฉลาดต่ำสุดเพราะต้องอาศัยการตัดสินใจของมนุษย์เป็นหลัก ทั้งนี้ถือเป็นเรื่องจำเป็นเพราะการสำรวจใต้ทะเล ส่วนใหญ่เราไม่ทราบว่าจะต้องเผชิญกับอะไรบ้าง จะปล่อยให้หุ่นยนต์ทำอะไรลงไปโดยพลการไม่ได้



รูปที่ 2.24 หุ่นยนต์ ThaiXPole

อย่างไรก็ตามในระยะหลังนักวิจัยได้ใส่ความสามารถในการคำนวณทำให้หุ่นยนต์สามารถว่ายหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้บ้าง โดยติดตั้งระบบการรับรู้ (Perception) เช่น Video Camera, Sonar, Inertial sensor, Magnetometer และ GPS โดยจะต้องมีสายควบคุม (Tether) เชื่อมต่อสัญญาณระหว่างหุ่นยนต์กับศูนย์บังคับการบนเรือที่ลอยอยู่บนผิวน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากระบบสัญญาณไร้สายยัง

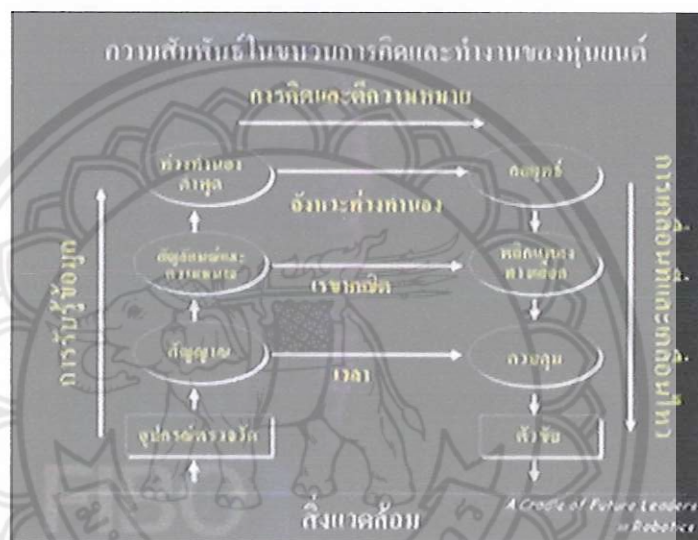
ทำงานผ่านน้ำได้ไม่ตื้นัก สายดังก่อด้วยรวมเอาสายไฟฟ้าส่งกำลังในบางกรณีที่หุ่นยนต์ต้องทำงานหนักใต้น้ำเราจะใช้ท่อไฮดรอลิก ส่งกำลังลงไปด้วยแม้จะได้ประโยชน์จากแรงลอยตัว (Buoyancy force) กระทำต่อวัตถุใต้น้ำทำให้หุ่นยนต์ไม่ต้องออกแรงมากนักในการพยุงน้ำหนักตัวเอง น้ำเองก็มีแรงเสียดทาน (Damping) ค่อนข้างสูงการออกแรงทำงานใต้น้ำนั้นอาจใช้พลังงานมากขึ้น 2-3 เท่าเมื่อเทียบกับการทำงานบนบกเรื่องนี้เป็นประสบการณ์จริงของทีมพัฒนาจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีได้ออกแบบและสร้างเรือจัดเก็บผักตบชวาขนาดใหญ่ (40 ตัน) สามารถปฏิบัติการกิจได้อย่างมีประสิทธิภาพจนकुคลองหลายแห่งในกรุงเทพมหานครปลอดจากผักตบชวาได้ในระยะต้นของการพัฒนานั้นจะส่งไปเรื่อยความเร็วสูงไปตัดรากผักตบชวาได้ผิวน้ำผลลัพธ์คือต้องใช้พลังงานมหาศาลจึงต้องเปลี่ยนแนวคิดเป็นอุตุลากผักตบชวามาตัดบนบกแทน



รูปที่ 2.25 หุ่นยนต์ใต้น้ำที่ออกแบบมาเพื่อสำรวจน้ำมันใต้ทะเล

หุ่นยนต์ดำน้ำถือกำเนิดขึ้นเช่นเดียวกับเทคโนโลยีอื่น ๆ คือมาจากวงการทหารตั้งแต่ ปี 1960 จนพัฒนาเรื่อยมาสู่อุตสาหกรรมการสำรวจน้ำมันใต้ทะเลดังแสดงในรูปที่ 2.25 หุ่นยนต์ดำน้ำในปัจจุบันมีระยะทำงานลึกถึง 3,000 เมตร นอกจากเรื่องสำรวจแล้วหุ่นยนต์เหล่านี้ยังมีหน้าที่ตรวจจับการรั่วไหลของน้ำมัน การลงไปสำรวจใต้น้ำด้วยคลื่นเสียง การตรวจวัดความลึกของทะเล การตรวจหาชั้นตะกอน การตรวจวัดระบบท่อส่งน้ำมันใต้ทะเล ดูแลและบำรุงรักษา (O&M: Operation and Maintenance) ระบบท่อส่งแก๊ส - น้ำมันใต้ทะเลอีกด้วย

การออกแบบหุ่นยนต์สำรวจเหล่านี้ สามารถดูได้จากหลักสูตรหุ่นยนต์ระดับบัณฑิตศึกษา: ปริญญาโท - เอก ที่สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม (FIBO) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี นอกจากนี้จะเน้นเรื่องการวิจัยและพัฒนาวิทยาการหุ่นยนต์ที่จะเกิดขึ้นในระยะ 10 ปีข้างหน้าแล้ว ยังเน้นความสามารถในการออกแบบและสร้างขึ้นมาใช้งานในภาคสนามได้จริง ในศาสตร์เรื่องหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ (Mobile Robotics) หลักการออกแบบหุ่นยนต์ด้านนี้มีดังต่อไปนี้ (1) ข้อจำกัดเรื่องพลังงานในการขับเคลื่อน (2) สายเชื่อมต่อสัญญาณ และ (3) ระดับการควบคุม: Degree of Autonomy



รูปที่ 2.26 ขบวนการคิดและการทำงานของหุ่นยนต์

ในรูปที่ 2.26 เป็นการตรวจวัดในส่วนการรับรู้ข้อมูลใช้หาค่า ความลึก ทิศทาง อุณหภูมิ ความดัน และอื่น ๆ ตลอดจนตำแหน่งและมุมการเคลื่อนที่และการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์และสิ่งกีดขวาง มีหลายประเภทใช้ได้ทั้งระยะสั้นและระยะไกล เช่น ระบบจีพีเอส Laser Range Finder, อินฟราเรด, Inertial sensor หรือจนกระทั่งมีการใช้ ระบบกล้อง Stereo Vision ที่เลียนแบบการมองเห็นของสองตามนุษย์

สิ่งที่มีความสำคัญมากในวงการหุ่นยนต์คือระดับการควบคุมวิทยาการหุ่นยนต์ปัจจุบัน ครอบคลุมการทำงานของฟังก์ชันสำคัญของหุ่นยนต์สามส่วนคือ ส่วนการรับรู้ข้อมูล (Perception) จากสิ่งแวดล้อมแล้วส่งข้อมูลที่รับมาไปที่ส่วนการคิดและตีความหมาย (Cognition) หลังจากประมวลผลแล้วก็จะส่งการไปที่ส่วนการเคลื่อนที่ เคลื่อนไหว (Mobility Movement) ให้หุ่นยนต์นั้นสามารถทำงานในสิ่งแวดล้อมได้อย่างถูกต้องและมีสมรรถนะสูงโปรดสังเกตว่าวงจรการทำงานของหุ่นยนต์มาบรรจบที่สิ่งแวดล้อมที่เขাপฏิสัมพันธ์กับสิ่งต่างๆรวมทั้งมนุษย์





รูปที่ 2.27 หุ่นยนต์ดำน้ำที่มีการรับรู้ได้ในระยะสั้น

หุ่นยนต์ดำน้ำที่มีการรับรู้ได้ในระยะสั้นเป็นหุ่นยนต์ที่มีความชาญฉลาดต่ำสุด เพราะต้องอาศัยการตัดสินใจของมนุษย์เป็นหลักทั้งนี้ถือเป็นเรื่องที่น่าเป็นห่วงเพราะการสำรวจใต้ทะเล ส่วนใหญ่เราไม่ทราบว่าจะต้องเผชิญกับอะไรบ้าง จะปล่อยให้หุ่นยนต์ทำอะไรลงไปโดยพลการไม่ได้ อย่างไรก็ตามในระยะหลังนักวิจัยได้ใส่ความสามารถในการคำนวณทำให้หุ่นยนต์สามารถหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางได้บ้าง ดังแสดงในรูปที่ 2.27

Degree of Autonomy แบ่งเป็นชั้นๆบนพื้นฐานระดับความคิดและการตีความหมายของหุ่นยนต์ต่ำที่สุด คือการนำค่าต่างที่ตรวจวัดได้ไปคำนวณเชิงสัมพันธ์กับเวลาเพื่อสร้างสัญญาณไปที่ตัวขับเคลื่อน เช่นมอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อนำคอมพิวเตอร์มาช่วยประมวลผลตามโปรแกรมที่เขียนไว้หุ่นยนต์จึงทำงานได้รวดเร็วและละเอียด สมรรถนะมีความเพี้ยน (Error) น้อยลง เนื่องจากมีการควบคุมป้อนกลับของสัญญาณ (Feedback Control) ทั้งจากข้อต่างๆของหุ่นยนต์และจากสิ่งแวดล้อม หุ่นยนต์อุตสาหกรรมที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายในขณะนี้ มีระดับความคิดเพียงเท่านั้นเอง การควบคุมหุ่นยนต์ประเภทนี้จึงต้องอาศัยความสามารถของมนุษย์เข้าช่วยตัดสินใจในบางกรณีที่อยู่ นอกเหนือไปจากสิ่งที่เราโปรแกรมไว้ เราเรียกการควบคุมแบบนี้ว่า Supervisory หรือ Semi Autonomous ซึ่งถือว่ามีความเหมาะสมกับงานประยุกต์ในอุตสาหกรรมเพราะเป็นการผสมผสานของสมรรถนะหุ่นยนต์ด้านความละเอียดและความเร็วกับความรอบรู้ของมนุษย์ผู้ควบคุมหุ่นยนต์นั่นเอง นอกจากนี้สิ่งแวดล้อมในสายการผลิตเรารู้จะอะไรอยู่ตรงไหนบ้าง (Structured Environment) และสามารถนำตัวจับยึด (Fixtures) มาช่วยลดความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งทำให้ขบวนการผลิตแม่นยำขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับหุ่นยนต์ดำน้ำควบคุมโดยสาย ถือว่าอยู่ในระดับ Tele-Operation ที่มนุษย์ต้องใช้ความพยายามในการบังคับหุ่นยนต์อย่างมาก ระบบควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรมมีความซับซ้อนกว่ามาก



รูปที่ 2.28 หุ่นยนต์ที่วิจัยเพื่อเอาตัวรอดในสถานการณ์ที่คาดไม่ถึง

ในกรณีที่หุ่นยนต์ต้องทำงานโดยที่ไม่รู้ข้อมูลล่วงหน้ามากนักเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมจะใช้หุ่นยนต์ที่วิจัยเพื่อเอาตัวรอดในสถานการณ์ที่คาดไม่ถึง แสดงในรูปที่ 2.28 ช่วยในการทำงาน เช่น Dante II ที่ทีมนักวิจัยของมหาวิทยาลัยคาร์เนกีเมลลอนสร้างขึ้นเพื่อสำรวจขั้วโลกใต้ระดับความคิดและการประมวลผลต้องฉลาดพอให้หุ่นยนต์ทำงานหรือ เอาตัวรอดในสถานการณ์ที่คาดไม่ถึง โดยเฉพาะอย่างยิ่งหุ่นยนต์ที่องค์การนาซ่าส่งขึ้นไปสำรวจดวงจันทร์ดาวอังคารนั้นไม่รู้เลยว่าเจออะไรบ้าง อีกทั้งระยะทางระหว่างดวงดาวที่หุ่นยนต์กำลังปฏิบัติการอยู่กับศูนย์บังคับการที่สุสานเท็กซัสบนโลกมนุษย์นั้นอยู่ห่างกันมาก การสื่อสารในลักษณะ ของ Supervisory Mode จึงไม่เหมาะสม ดังนั้นสัญญาณภาพของหุ่นยนต์ที่ส่งกลับมาเพื่อรายงานสถานการณ์ว่าเขากำลังยืนอยู่หน้าหลุมอุกกาบาตขนาดใหญ่เดินหน้าต่อไม่ได้และขอความเห็นว่าจะให้ทำอย่างไรต่อไปดี ความเป็นจริงคือหุ่นยนต์อาจตกลงไปนอนแฉ่งแฉ่งที่ก้นหลุมแล้วก็ได้



รูปที่ 2.29 หุ่นยนต์ที่สามารถทำงานได้เอง

หุ่นยนต์ที่สามารถทำงานได้เอง ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.29 คือหุ่นยนต์ที่มันสามารถทำงานได้ด้วยตัวของมันเองมีอิสระในการทำงาน โดยปราศจากการควบคุมของมนุษย์ มันมีโปรแกรมที่ป้อนไว้ในหน่วยความจำของหุ่นยนต์ ที่สามารถทำให้มันทำงานได้ และเมื่อเจออุปสรรคก็คิดวางแผนการทำงาน มันก็สามารถหลบ หลีก หรือแก้ปัญหา ถ้าเทคโนโลยีของหุ่นตัวนั้นสามารถทำได้

Autonomous หุ่นยนต์ต้องตัดสินใจได้เอง เราได้ผนวกปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) เข้าไปเพื่อให้หุ่นยนต์เข้าใจข้อมูลทางสัญลักษณ์หรือภาพทางเรขาคณิตที่เห็นจนสามารถพลิกแพลงทางเลือกต่างๆได้

ตรรกะความคิดหุ่นยนต์ขั้นสูงสุดในปัจจุบันคือการเข้าใจท่วงทำนองการพูดของภาษามนุษย์ (Semantics) แยกแยะได้ระหว่างประโยค “พ่อชื่ควาย-แม่หาบหญ้า” กับ “พ่อชื่ควายแม่-หาบหญ้า” โดยเข้าใจได้ทันทีว่าในประโยคหลังนั้นมีเพียงคุณพ่อคนเดียวชื่ควายตัวแม่และหาบหญ้าไปด้วย หุ่นยนต์รุ่นนี้จึงสามารถปฏิสัมพันธ์กับมนุษย์ได้เป็นอย่างดี

## 2.6 หลักการออกแบบ

การออกแบบมีหลักการพื้นฐาน โดยอาศัยส่วนประกอบขององค์ประกอบศิลป์ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในบทเรียนเรื่อง “องค์ประกอบศิลป์” คือ จุด เส้น รูปร่าง รูปทรง น้ำหนัก สี และพื้นผิว นำมาจัดวางเพื่อให้เกิดความสวยงามโดยมีหลักการ ดังนี้

- ความเป็นหน่วย (Unity) ในการออกแบบ ผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงงานทั้งหมดให้อยู่ในหน่วยงานเดียวกันเป็นกลุ่มก้อน หรือมีความสัมพันธ์กันทั้งหมดของงานนั้นๆ และพิจารณาส่วนย่อยลงไปตามลำดับในส่วนย่อยๆ ก็คงต้องถือหลักนี้เช่นกัน

- ความสมดุลหรือความถ่วง (Balancing) เป็นหลักทั่วไปของงานศิลปะที่จะต้องดูความสมดุลของงานนั้นๆ ความรู้สึกทางสมดุลของงานนี้เป็นความรู้สึกที่เกิดขึ้นในส่วนของความคิดในเรื่องของความงามในสิ่งนั้นๆ มีหลักความสมดุลอยู่ 3 ประการ

- ความสมดุลในลักษณะเท่ากัน (Symmetry Balancing) คือมีลักษณะเป็นซ้าย-ขวา บน-ล่าง เป็นต้น ความสมดุลในลักษณะนี้ดูและเข้าใจง่าย

- ความสมดุลในลักษณะไม่เท่ากัน (Nonsymmetry Balancing) คือมีลักษณะสมดุลกันในตัวเองไม่จำเป็นจะต้องเท่ากันแต่ดูในด้านความรู้สึกแล้วเกิดความสมดุลกันในตัวลักษณะการสมดุลแบบนี้ผู้ออกแบบจะต้องมีการประลองดูให้แน่ใจในความรู้สึกของผู้พบเห็นด้วยซึ่งเป็นความสมดุลที่เกิดในลักษณะที่แตกต่างกันได้ เช่น ใช้ความสมดุลด้วยผิว (Texture) ด้วยแสง-เงา (Shade) หรือด้วยสี (Colour)

- จุดศูนย์ถ่วง (Gravity Balance) การออกแบบใดๆที่เป็นวัตถุสิ่งของและจะต้องใช้งานการทรงตัวจำเป็นที่ผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงจุดศูนย์ถ่วงได้แก่ การไม่โยกเอียงหรือให้ความรู้สึกไม่มั่นคงแข็งแรง ดังนั้นสิ่งใดที่ต้องการจุดศูนย์ถ่วงแล้วผู้ออกแบบจะต้องระมัดระวังในสิ่งนี้ให้มาก ตัวอย่างเช่น แก้วจะต้องตั้งตรงยึดมั่นทั้งสี่ขาเท่าๆกัน การทรงตัวของคนถ้ำยืน 2 ขา ก็จะต้องมีน้ำหนักลงที่เท้าทั้ง 2 ข้างเท่าๆกัน ถ้ายืนเอียงหรือพิงฝา น้ำหนักตัวก็จะลงเท้าข้างหนึ่งและส่วนหนึ่งจะลงที่หลังพิงฝา รูปปั้นคนในท่าวิ่งจุดศูนย์ถ่วงจะอยู่ที่ใด ผู้ออกแบบจะต้องรู้และวางรูปได้ถูกต้องเรื่องของจุดศูนย์ถ่วงจึงหมายถึงการทรงตัวของวัตถุสิ่งของนั่นเอง

- ความสัมพันธ์ทางศิลปะ ( Relativity of Arts) ในเรื่องของศิลปะนั้น เป็นสิ่งที่จะต้องพิจารณากันหลายขั้นตอนเพราะเป็นเรื่องความรู้สึกที่สัมพันธ์กัน อันได้แก่

- การเน้นหรือจุดสนใจ (Emphasis or Centre of Interest) งานด้านศิลปะผู้ออกแบบจะต้องมีจุดเน้นให้เกิดสิ่งที่ประทับใจแก่ผู้พบเห็น โดยมีข้อบอกล่าวเป็นความรู้สึกที่เกื้อหนุนเองจากตัวของศิลปกรรมนั้นๆ ความรู้สึกนี้ผู้ออกแบบจะต้องพยายามให้เกิดขึ้นเหมือนกัน

- จุดสำคัญรอง ( Subordinate) คงคล้ายกับจุดเน้นนั่นเองแต่มีความสำคัญรองลงไปตามลำดับ ซึ่งอาจจะเป็นรองส่วนที่ 1 ส่วนที่ 2 ก็ได้ ส่วนนี้จะช่วยให้เกิดความลดหล่นทางผลงานที่แสดงผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงสิ่งนี้ด้วย

- จังหวะ ( Rhythem) โดยทั่ว ๆ ไปสิ่งที่สัมพันธ์กันในสิ่งนั้นๆย่อมมีจังหวะ ระยะเวลาหรือความถี่ห่างในตัวมันเองก็ดีหรือสิ่งแวดล้อมที่สัมพันธ์อยู่ก็ดีจะเป็นเส้น สี เงา หรือช่วงจังหวะของการตกแต่งแสงไฟ ลวดลาย ที่มีความสัมพันธ์กันในที่นั้นเป็นความรู้สึกของผู้พบเห็นหรือผู้ออกแบบจะรู้สึกในความงามนั่นเอง

- ความต่างกัน ( Contrast) เป็นความรู้สึกที่เกิดขึ้นเพื่อช่วยให้มีการเคลื่อนไหวไม่ซ้ำซากเกินไปหรือเกิดความเบื่อหน่าย จำเจ ในการตกแต่งก็เช่นกัน ปัจจุบันผู้ออกแบบมักจะหาทางให้เกิดความรู้สึกขัดกันต่างกันเช่น แก้วชุดสมัยใหม่แต่ขณะเดียวกันก็มีแก้วสมัยรัชกาลที่ 5 อยู่ด้วย 1 ตัว เช่นนี้ผู้พบเห็นจะเกิดความรู้สึกแตกต่างกันทำให้เกิดความรู้สึก ไม่ซ้ำซาก รสชาติแตกต่างออกไป

### 2.6.1 ความกลมกลืน ( Harmonies)

ความกลมกลืนในที่นี้หมายถึงพิจารณาในส่วนรวมทั้งหมดแม้จะมีบางอย่างที่แตกต่างกันการใช้สีที่ตัดกันหรือการใช้ผิว ใช้เส้นที่ขัดกัน ความรู้สึกส่วนน้อยนี้ไม่ทำให้ส่วนรวมเสียก็ถือว่าเกิดความกลมกลืนกันในส่วนรวม ความกลมกลืนในส่วนรวมนี้ถ้าจะแยกก็ได้แก่ความเน้นไปในส่วนมูลฐานทางศิลปะอันได้แก่ เส้น แสง-เงา รูปทรง ขนาด ผิว สี นั้นเอง

ผลิตภัณฑ์ที่ดีย่อมเกิดมาจากการออกแบบที่ดีในการออกแบบผลิตภัณฑ์ นักออกแบบต้องคำนึงถึงหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เป็นเกณฑ์ในการกำหนดคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาว่าควรจะมีองค์ประกอบอะไรบ้างแล้วใช้ความคิดสร้างสรรค์ วิธีการต่างๆ ที่ได้กล่าวมาเสนอแนวคิดให้ผลิตภัณฑ์มีความเหมาะสมตามหลักการออกแบบโดยหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่นักออกแบบควรคำนึงนั้นมีอยู่ 9 ประการ คือ

### 2.6.2 หน้าที่ใช้สอย

หน้าที่ใช้สอยถือเป็นหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่สำคัญที่สุดเป็นอันดับแรกที่ต้องคำนึง ผลิตภัณฑ์ทุกชนิดต้องมีหน้าที่ใช้สอยถูกต้องตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ คือสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและสะดวกสบาย ผลิตภัณฑ์นั้นถือว่าเป็นประโยชน์ใช้สอยดี (HIGH FUNCTION) แต่ถ้าหากผลิตภัณฑ์ใดไม่สามารถสนองความต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพผลิตภัณฑ์นั้นก็ถือว่าเป็นประโยชน์ใช้สอยไม่ดีเท่าที่ควร (LOW FUNTION)

สำหรับคำว่าประโยชน์ใช้สอยดี (HIGH FUNCTION) นั้น ดลต์ รัตนทัศนีย์ ( 2528 : 1) ได้กล่าวไว้ว่า เพื่อให้ง่ายแก่การเข้าใจขอให้ดูตัวอย่างการออกแบบมีดหั่นผักแม้ว่ามีดหั่นผักจะมีประสิทธิภาพในการหั่นผักให้ขาดได้ตามความต้องการ แต่จะกล่าวว่า มีดนั้นมีประโยชน์ใช้สอยดี (HIGH FUNCTION) ยังไม่ได้จะต้องมีองค์ประกอบอย่างอื่นร่วมอีกเช่น ด้ามจับของมีดนั้นจะต้องมีความโค้งเว้าที่สัมพันธ์กับขนาดของมือผู้ใช้ ซึ่งจะเป็นส่วนที่ก่อให้เกิดความสะดวกสบายในการหั่นผักด้วย และภายหลังจากการใช้งานแล้วยังสามารถทำความสะอาดได้ง่าย การเก็บและบำรุงรักษาจะต้องง่ายสะดวกด้วย ประโยชน์ใช้สอยของมีดจึงจะครบถ้วนและสมบูรณ์

เรื่องหน้าที่ใช้สอยนับว่าเป็นสิ่งที่ละเอียดอ่อนซับซ้อนมาก ผลิตภัณฑ์บางอย่างมีประโยชน์ใช้สอยตามที่ผู้คนที่ทั่วไปทราบเบื้องต้นว่า มีหน้าที่ใช้สอยแบบนี้ แต่ความละเอียดอ่อนที่นักออกแบบได้คิดออกมานั้นได้ตอบสนองความสะดวกสบายอย่างเต็มที่ เช่น มีดในครัวมีหน้าที่หลักคือใช้ความคมช่วยในการหั่น สับ แต่เราจะเห็นได้ว่าการออกแบบมีดที่ใช้ในครัวอยู่มากมายหลายแบบหลายชนิดตามความละเอียดในการใช้ประโยชน์เป็นการเฉพาะที่แตกต่างเช่น มีดสำหรับปอกผลไม้ มีดแล่เนื้อสัตว์ มีดสับกระดูก มีดบะช่อ มีดหั่นผัก เป็นต้น ซึ่งก็ได้มีการออกแบบลักษณะแตกต่างกันออกไปตามการใช้งาน ถ้าหากมีการใช้มีดอยู่ชนิดเดียวแล้วใช้กันทุกอย่างตั้งแต่แล่เนื้อ สับบะช่อ สับกระดูก

หั่นผัก ก็อาจจะใช้ได้ แต่จะไม่ได้ความสะดวกเท่าที่ควร หรืออาจได้รับอุบัติเหตุขณะที่ใช้ได้ เพราะไม่ใช่ประโยชน์ใช้สอยที่ได้รับการออกแบบมาให้ใช้เป็นการเฉพาะอย่าง

การออกแบบเก้าอี้ก็เหมือนกัน หน้าที่ใช้สอยเบื้องต้นของเก้าอี้ คือใช้สำหรับนั่ง แต่นั่งในกิจกรรมใดนั่งในท้องรับแขก ขนาดลักษณะรูปแบบเก้าอี้ก็เป็นความสะดวกในการนั่งรับแขก พุดคุยกัน นั่งรับประทานอาหาร ขนาดลักษณะเก้าอี้ก็เป็นความเหมาะสมกับโต๊ะอาหาร นั่งเขียนแบบบนโต๊ะเขียนแบบ เก้าอี้ก็จะมีขนาดลักษณะที่ใช้สำหรับการนั่งทำงานเขียนแบบ ถ้าจะเอาเก้าอี้รับแขกมานั่งเขียนแบบ ก็คงจะเกิดการเมื่อยล้า ปวดหลัง ปวดคอ แล้วนั่งทำงานได้ไม่นาน ตัวอย่างดังกล่าวต้องการที่จะพูดถึงเรื่องของหน้าที่ใช้สอยของผลิตภัณฑ์ว่าเป็นสิ่งที่สำคัญและละเอียดอ่อนมาก ซึ่งนักออกแบบจำเป็นต้องศึกษาข้อมูลอย่างละเอียด

### 2.6.3 ความปลอดภัย

สิ่งที่อำนวยความสะดวกได้มากเพียงใดย่อมจะมีโทษเพียงนั้น ผลิตภัณฑ์ที่ให้ความสะดวกต่าง ๆ มักจะเกิดจากเครื่องจักรกลและเครื่องใช้ไฟฟ้า การออกแบบควรคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ใช้ ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ก็ต้องแสดงเครื่องหมายไว้ให้ชัดเจนหรือมีคำอธิบายไว้

ผลิตภัณฑ์สำหรับเด็ก ต้องคำนึงถึงวัสดุที่เป็นพิษเวลาเด็กเอาเข้าปากกัดหรืออม นักออกแบบจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ใช้เป็นสำคัญ มีการออกแบบบางอย่าง ต้องใช้เทคนิคที่เรียกว่าแบบธรรมดา แต่คาดไม่ถึงช่วยในการให้ความปลอดภัย เช่น การออกแบบหัวเกลียววาล์ว ถึงแก๊สหรือปั๊มเกลียว ถ้อคใบพัดของพัดลม จะมีการทำเกลียวเปิดให้ย้อนศรตรงกันข้ามกับเกลียวทั่ว ๆ ไป เพื่อความปลอดภัย สำหรับคนที่ไม่ทราบหรือเคยมือไปหมุนเล่นคือ ยิ่งหมุนก็ยิ่งขันแน่นเป็นการเพิ่มความปลอดภัยให้แก่ผู้ใช้

### 2.6.4 ความแข็งแรง

ผลิตภัณฑ์จะต้องมีความแข็งแรงในตัวของผลิตภัณฑ์หรือโครงสร้างเป็นความเหมาะสมในการที่นักออกแบบรู้จักใช้คุณสมบัติของวัสดุและจำนวน หรือปริมาณของโครงสร้าง ในกรณีที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่จะต้องมีการรับน้ำหนัก เช่น โต๊ะ เก้าอี้ ต้องเข้าใจหลักโครงสร้างและการรับน้ำหนัก อีกทั้งต้องไม่ทิ้งเรื่องของความสวยงามทางศิลปะ เพราะมีปัญหาว่า ถ้าใช้โครงสร้างให้มากเพื่อความแข็งแรงจะเกิดสวนทางกับความงาม นักออกแบบจะต้องเป็นผู้ดึงเอาสิ่งสองสิ่งนี้เข้ามาอยู่ในความพอดีให้ได้

ส่วนความแข็งแรงของตัวผลิตภัณฑ์เองนั้นก็ขึ้นอยู่กับที่การออกแบบรูปร่างและการเลือกใช้วัสดุ และประกอบกับการศึกษาข้อมูลการใช้ผลิตภัณฑ์ว่า ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวต้องรับน้ำหนักหรือกระทบกระแทกอะไรหรือไม่ในขณะที่ใช้งานก็จะต้องทดลองประกอบการออกแบบไปด้วย แต่อย่างไรก็ตาม

ความแข็งแรงของโครงสร้างหรือตัวผลิตภัณฑ์ นอกจากเลือกใช้ประเภทของวัสดุ โครงสร้างที่เหมาะสมแล้วยังต้องคำนึงถึงความประหยัดควบคู่กันไปด้วย

### 2.6.5 ความสะดวกสบายในการใช้

นักออกแบบต้องศึกษาวิชากายวิภาคเชิงกลเกี่ยวกับสัดส่วน ขนาด และขีดจำกัดที่เหมาะสมสำหรับอวัยวะส่วนต่างๆ ในร่างกายของมนุษย์ทุกเพศ ทุกวัย ซึ่งจะประกอบด้วยความรู้ทางด้านขนาดสัดส่วนมนุษย์ (ANTHROPOMETRY) ด้านสรีรศาสตร์ (PHYSIOLOGY) จะทำให้ทราบ ขีดจำกัดความสามารถของอวัยวะส่วนต่างๆ ในร่างกายมนุษย์ เพื่อใช้ประกอบการออกแบบ หรือศึกษาด้านจิตวิทยา (PSYCHOLOGY) ซึ่งความรู้ในด้านต่างๆ ที่กล่าวมานี้ จะทำให้นักออกแบบ ออกแบบและกำหนดขนาด (DIMENSIONS) ส่วนโค้ง ส่วนเว้า ส่วนตรง ส่วนแคบของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้อย่างพอเหมาะกับร่างกายหรืออวัยวะของมนุษย์ที่ใช้ ก็จะทำให้เกิดความสะดวกสบายในการใช้การไม่เมื่อยมือหรือเกิดการล้าในขณะที่ใช้ไปนานๆ ผลิตภัณฑ์ที่จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องศึกษาวิชาดังกล่าว ก็จะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้ใช้ต้องใช้อวัยวะร่างกายไปสัมผัสเป็นเวลานาน เช่น แก้ว อี ด้าม เครื่องมือ อุปกรณ์ต่าง ๆ การออกแบบภายในห้องโดยสารรถยนต์ ที่มีจับรถจักรยาน ปุ่มสัมผัสต่าง ๆ เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่ยกตัวอย่างมานี้ถ้าผู้ใช้ผู้ใดได้เคยใช้มาแล้วเกิดความไม่สบายร่างกายขึ้น ก็แสดงว่าศึกษาวิชากายวิภาคเชิงกลไม่ดีพอแต่ทั้งนี้ก็ต้องศึกษาผลิตภัณฑ์ดังกล่าวให้ดีกว่า จะไปเหมาะว่าผลิตภัณฑ์นั้นไม่ดี เพราะผลิตภัณฑ์บางชนิดผลิตมาจากประเทศตะวันตก ซึ่งออกแบบโดยใช้มาตรฐานผู้ใช้ของชาวตะวันตก ที่มีรูปร่างใหญ่โตกว่าชาวเอเชีย เมื่อชาวเอเชียนำมาใช้อาจจะไม่พอดีหรือหลวม ไม่สะดวกในการใช้งาน นักออกแบบจึงจำเป็นต้องศึกษาสัดส่วนร่างกายของชนชาติหรือเผ่าพันธุ์ที่ใช้ผลิตภัณฑ์เป็นเกณฑ์

### 2.6.6 ความสวยงาม

ผลิตภัณฑ์ในยุคปัจจุบันนี้ความสวยงามนับว่ามีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าหน้าที่ใช้สอยเลย ความสวยงามจะเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดการตัดสินใจซื้อเพราะประทับใจ ส่วนหน้าที่ใช้สอยจะดีหรือไม่ต้องใช้เวลาอีกกระยะหนึ่งคือใช้ไปเรื่อยๆ ก็จะทำให้เกิดข้อบกพร่องในหน้าที่ใช้สอยให้เห็นภายหลัง ผลิตภัณฑ์บางอย่างความสวยงามก็คือ หน้าที่ใช้สอยนั่นเอง เช่น ผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก ของโหวตแตกต่างกัน ซึ่งผู้ซื้อเกิดความประทับใจในความสวยงามของผลิตภัณฑ์ ความสวยงามจะเกิดมาจากสิ่งสองสิ่งด้วยกันคือ รูปร่าง (FORM) และสี (COLOR) การกำหนดรูปร่างและสี ในงานออกแบบผลิตภัณฑ์ไม่เหมือนกับการกำหนด รูปร่าง สี ได้ตามความนึกคิดของจิตรกรที่ต้องการ แต่ในงานออกแบบผลิตภัณฑ์เป็นในลักษณะศิลปะอุตสาหกรรมจะทำตามความชอบ ความรู้สึกนึกคิดของนักออกแบบแต่เพียงผู้เดียวไม่ได้จำเป็นต้องยึดข้อมูลและกฎเกณฑ์ผสมผสานรูปร่างและสีสันทให้เหมาะสมด้วยเหตุของความสำคัญของรูปร่างและสีที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ นักออกแบบจึงจำเป็นต้องอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาวิชา ทฤษฎีหรือหลักการออกแบบและวิชาทฤษฎีสี ซึ่งเป็นวิชาทางด้านของศิลปะแล้วนำมาประยุกต์ผสมผสานใช้กับศิลปะทางด้านอุตสาหกรรมให้เกิดความกลมกลืน

### 2.6.7 ราคาพอสมควร

ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นมาขายนั้นย่อมต้องมีข้อมูลด้านผู้บริโภคและการตลาดที่ได้ค้นคว้าและสำรวจแล้ว ผลิตภัณฑ์ย่อมจะต้องมีการกำหนดกลุ่มเป้าหมายที่จะใช้ว่าเป็นคนกลุ่มใด อาชีพฐานะเป็นอย่างไร มีความต้องการใช้สินค้าหรือผลิตภัณฑ์นี้เพียงใด นักออกแบบก็จะเป็นผู้กำหนดแบบผลิตภัณฑ์ ประมาณราคาขายให้เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมายที่จะซื้อได้การจะได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีราคาเหมาะสมกับผู้ซื้อนั้น ก็อยู่ที่การเลือกใช้ชนิดหรือเกรดของวัสดุ และเลือกวิธีการผลิตที่ง่าย รวดเร็ว เหมาะสม

อย่างไรก็ดี ถ้าประมาณการออกมาแล้ว ปรากฏว่า ราคาค่อนข้างจะสูงกว่าที่กำหนดไว้ ก็อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงหรือพัฒนาองค์ประกอบด้านต่าง ๆ กันใหม่ แต่ก็ยังต้องคงไว้ซึ่งคุณค่าของผลิตภัณฑ์นั้น เรียกว่าเป็นวิธีการลดค่าใช้จ่าย

### 2.6.8 การซ่อมแซมง่าย

หลักการนี้คงจะใช้กับผลิตภัณฑ์ เครื่องจักรกล เครื่องยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ที่มีกลไกภายในซับซ้อน ะไหล่บางชิ้นย่อมต้องมีการเสื่อมสภาพไปตามอายุการใช้งานหรือการใช้งานในทางที่ผิด นักออกแบบย่อมที่จะต้องศึกษาถึงตำแหน่งในการจัดวางกลไกแต่ละชิ้นตลอดจนถอดสกรูเพื่อที่จะได้ออกแบบส่วนของฝารอบบริเวณต่างๆ ให้สะดวกในการถอดซ่อมแซมหรือเปลี่ยนอะไหล่

### 2.6.9 วัสดุและวิธีการผลิต

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ผลิตด้วยวัสดุสังเคราะห์ อาจมีกรรมวิธีการเลือกใช้วัสดุและวิธีผลิตได้หลายแบบ แต่แบบหรือวิธีใดถึงจะเหมาะสมที่สุด ที่จะไม่ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงกว่าที่ประมาณ ฉะนั้น นักออกแบบคงจะต้องศึกษาเรื่องวัสดุและวิธีผลิตให้ลึกซึ้ง โดยเฉพาะวัสดุจำพวกพลาสติกในแต่ละชนิด จะมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ต่างกันออกไป เช่น มีความใส ทนความร้อน ผิวมันวาว ทนกรดต่างได้ดี ไม่สิ้น เป็นต้น ก็ต้องเลือกให้คุณสมบัติดังกล่าวให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่พึงมีอยู่ในยุคสมัยนี้ มีการรณรงค์ช่วยกันพิทักษ์สิ่งแวดล้อมด้วยการใช้วัสดุที่นำกลับมาเวียนมาใช้ใหม่ ก็ยิ่งทำให้นักออกแบบย่อมต้องมีบทบาทเพิ่มขึ้นอีกคือ เป็นผู้ช่วยพิทักษ์สิ่งแวดล้อมด้วยการเลือกใช้วัสดุที่หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ ที่เรียกว่า รีไซเคิล

### 2.6.10 การขนส่ง

นักออกแบบต้องคำนึงถึงการประหยัดค่าขนส่ง การขนส่งสะดวกหรือไม่ ระยะใกล้หรือระยะไกลกินเนื้อที่ในการขนส่งมากน้อยเพียงใด การขนส่งทางบกทางน้ำหรือทางอากาศต้องทำการบรรจุหีบห่ออย่างไร ถึงจะทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เกิดการเสียหายชำรุด ขนาดของตู้คอนเทนเนอร์บรรจุสินค้าหรือเนื้อที่ที่ใช้ในการขนส่งมีขนาด กว้าง ยาว สูง เท่าไร เป็นต้น หรือในกรณีผลิตภัณฑ์ที่ทำ



การออกแบบมีขนาดใหญ่โตยาวมาก เช่น เตียง หรือพัดลมแบบตั้งพื้น นักออกแบบก็ควรที่จะคำนึงถึงเรื่องการขนส่ง ตั้งแต่ขั้นตอนของการออกแบบกันเลยทีเดียว คือ ออกแบบให้มีชิ้นส่วนสามารถถอดประกอบได้ง่าย สะดวก เพื่อให้หีบห่อมีขนาดเล็กที่สุดสามารถบรรจุได้ในลังที่เป็นขนาดมาตรฐาน เพื่อการประหยัดค่าขนส่ง เมื่อผู้ซื้อซื้อไปก็สามารถที่จะขนส่งได้ด้วยตนเองนำกลับไปบ้านก็สามารถประกอบชิ้นส่วนให้เข้ารูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้โดยสะดวกด้วยตนเอง

เรื่องหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ได้กล่าวมาทั้ง 9 ข้อนี้เป็นหลักการที่นักออกแบบผลิตภัณฑ์ต้องคำนึงถึงเป็นหลักการทางสากลที่ได้กล่าวไว้ในขอบเขตอย่างกว้าง ครอบคลุมผลิตภัณฑ์ไว้ทั่วทุกกลุ่มทุกประเภทในผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดนั้น อาจจะไม่ต้องคำนึงหลักการดังกล่าวครบทุกข้อก็ได้ ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของผลิตภัณฑ์หรือผลิตภัณฑ์บางชนิดก็อาจจะต้องคำนึงถึงหลักการดังกล่าวครบถ้วนทุกข้อ เช่น ออกแบบผลิตภัณฑ์ไว้อาบน้ำ ก็คงจะเน้นหลักการด้านประโยชน์ใช้สอย ความสะดวกในการใช้และความสวยงามเป็นหลัก คงจะไม่ต้องไปคำนึงถึงด้านการซ่อมแซม เพราะไม่มีกลไกซับซ้อนอะไร หรือการขนส่ง เพราะขนาดจำกัดตามประโยชน์ใช้สอยบังคับ เป็นต้น ในขณะที่ผลิตภัณฑ์บางอย่าง เช่น ออกแบบผลิตภัณฑ์รถยนต์ ก็จำเป็นที่นักออกแบบจะต้องคำนึงถึงหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ครบทั้ง 9 ข้อ เป็นต้น

## บทที่ 3

### การออกแบบโครงสร้างยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติ

#### หลักการทํางาน

การทำงานของยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติ จะเริ่มจาก กล้อง เช่น เซอร์และไจโรสโคปแจ้งสถานะการทำงานตำแหน่งและสภาพแวดล้อมไปยังวงจรควบคุม จากนั้นวงจรควบคุมจะสั่งให้ตัวขับเคลื่อนหรืออุปกรณ์อื่น ๆ ให้ทำงาน โดยดึงพลังงานจากแบตเตอรี่มาใช้

#### หลักการเคลื่อนที่

เคลื่อนที่นั้นจะต้องคำนวณแรงขับเคลื่อนที่ใช้ใน การเคลื่อนที่ของยาน เพื่อนำมาหาค่าพลังงานที่ต้องใช้ในการขับเคลื่อนและเลือกขนาดของชุดใบพัดขับเคลื่อน

#### 3.1 การสร้างชุดทดสอบแนวคิดการทํางานของยานสำรวจใต้น้ำ

ก่อนที่จะทำดำเนินการออกแบบยานสำรวจใต้น้ำทางกลุ่มผู้พัฒนาได้จัดสร้างชุดทดสอบแนวคิดการทํางานของยานสำรวจใต้น้ำเพื่อใช้ในการทดสอบสมมติฐานต่างๆ ตัวอย่างเช่น สมดุลการทรงตัว ความเสถียรต่อกระแส น้ำ การเกิดการจมและลอย การเชื่อมยึดชิ้นงาน การป้องกันการรั่วซึม เป็นต้น

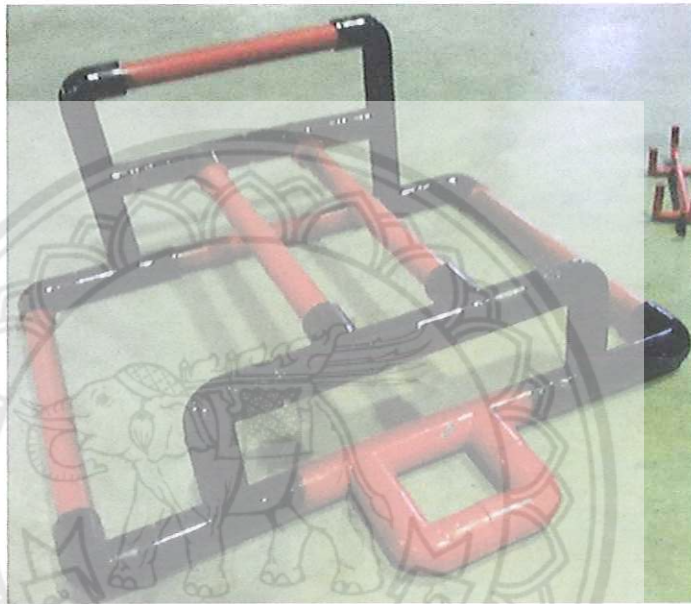
##### 3.1.1 ความต้องการพื้นฐานที่ใช้ในการสร้างยานสำรวจใต้น้ำ

- ราคาถูกและหาได้ง่าย
- มีความเสถียรเมื่อมีแรงมากระทำ
- มีความแข็งแรง
- ทนแรงดันน้ำได้ที่ระดับน้ำลึก 1 เมตร
- ถอดประกอบและติดตั้งง่าย
- มีพื้นที่ถึงวงจร 15x15x30 เซนติเมตร

##### 3.1.2 การจัดสร้างชุดยานสำรวจใต้น้ำ

- ดีไซน์ชุดยานสำรวจใต้น้ำโดยคำนึงถึงความต้องการพื้นฐาน
- เลือกท่อ PVC ขนาด ¾ นิ้ว ข้อต่อ 3 ทางและข้องอ 90° ในการทำโครง
- ทำการตัดท่อ PVC ให้ได้ขนาดความยาวตามที่ต้องการ

- ทำความสะอาดท่อและข้อต่อข้องอแล้วนำมาประกอบกันให้ได้ตามแบบที่ตีไซน์ไว้โดยในการประกอบท่อแต่ละอันใช้กาวสำหรับติดท่อ PVC ในการติด
- ทำการพ่นสีให้มีความสวยงาม
- ติดกล่องวงจรเข้ากับตัวโครง



รูปที่ 3.1 โครงชิ้นงานทดสอบยานสำรวจใต้น้ำ

จากรูปที่ 3.1 แสดงโครงชิ้นงานทดสอบยานสำรวจใต้น้ำประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นช่องสำหรับติดตั้งกล้องใต้น้ำ กล้องเก็บวงจร บริเวณที่จะติดตั้งตัวขับเคลื่อนและส่วนที่จะติดตั้งตัวถ่วงน้ำหนัก โครงสร้างดังกล่าวเน้นความแข็งแรงมีความเสถียรในการทรงตัวสูง

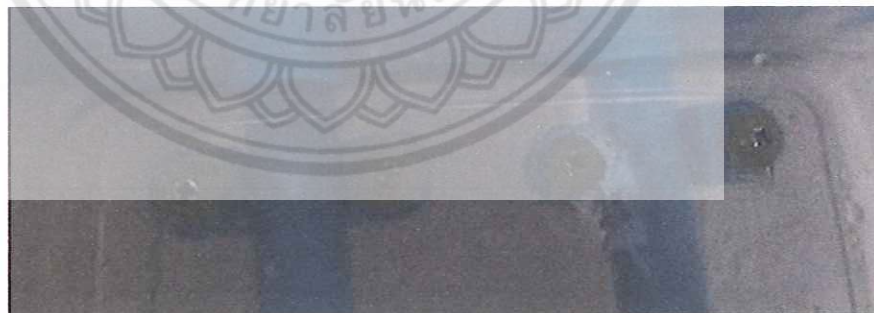
### 3.1.3 ขั้นตอนการทำกล่องวงจร

- เจาะรูทำจุดยึดติด
- ทำกาวกันร้อนและสารเคลือบกันน้ำเพื่อป้องกันน้ำเข้า
- ตรวจสอบเช็ครอยร้าวและจุดที่ติดกาวไม่สนิท
- ใส่ไฟแล้วทิ้งไว้สักระยะหนึ่งเพื่อดูว่ามีการซึมของน้ำหรือไม่



รูปที่ 3.2 กล่องวงจร

กล่องวงจรใน รูปที่ 3.2 เป็นกล่องที่ทำจากวัสดุพลาสติกทนความร้อนสำหรับเก็บอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปขนาด 5 ลิตร มีฝาทำเป็นร่อง 2 ชั้น มีตัวล็อคทั้ง 4 ด้าน เพื่อกันน้ำ นอกจากนี้ยังมีการป้องกันน้ำเข้าด้วยประเก็นยางกันน้ำหนา 2 มิลลิเมตร ในรูปคือบริเวณที่มีสีน้ำเงินเข้ม ผิวกล่องมีลักษณะใสแสงผ่านเข้าออกได้จึงสามารถติดตั้งกล่องรับภาพไว้ด้านในกล่องได้



รูปที่ 3.3 กล่องวงจรบริเวณที่เจาะน็อต

การเจาะน็อตเพื่อเป็นจุดเชื่อมต่อกับโครงหลักจะเจาะทั้งหมด 6 รู มีการป้องกันน้ำด้วยกาวยาวและสารเคลือบกันน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 นอกจากนี้ยังมีการทดสอบการรั่วซึมจากจุดที่เจาะน็อตโดยการใส่น้ำแล้ววัดปริมาณน้ำจากนั้นทิ้งไว้ สักระยะหนึ่งแล้วดูว่าปริมาณน้ำลดลงหรือไม่ ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ทดสอบการรั่วซึมของกล่องวงจร

### 3.1.4 ติดตั้งอุปกรณ์ถ่วงน้ำหนัก

- ใช้แท่งเหล็กตันถ่วงบริเวณกลางลำตัวใต้กล่องวงจร



รูปที่ 3.5 ชิ้นงานทดสอบที่ติดตั้งอุปกรณ์ถ่วงน้ำหนักแล้ว

จากรูปที่ 3.5 อุปกรณ์ถ่วงน้ำหนักที่ทำจากเหล็กตันมีการจัดเก็บเป็นอย่างดีถูกติดตั้งบริเวณใต้กล่องวงจรโดยน้ำหนักของเหล็กมีค่ามากพอที่จะถ่วงให้ชุดยานสำรวจได้น้ำจมนลงในระดับปริ่มน้ำ

### 3.1.5 ติดตั้งตัวขับเคลื่อน

ใช้ตัวขับเคลื่อนที่แปลงจากปั้มน้ำติดตั้งที่บริเวณสวนท้ายของชุดยานสำรวจใต้น้ำ



รูปที่ 3.6 ติดตั้งตัวขับเคลื่อน

ตัวขับเคลื่อน 2 ตัวที่ติดตั้งบริเวณสวนท้ายของชุดยานสำรวจใต้น้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.6 เป็นตัวขับเคลื่อนที่แปลงมาจากปั้มน้ำขนาดประมาณ 48 วัตต์ จึงจะมีกำลังมากพอที่จะขับเคลื่อนชุดยานสำรวจใต้น้ำไปได้

### 3.1.6 วัดและบันทึกผลการทดสอบของชิ้นงานทดสอบ

- ทดสอบสมดุลการทรงตัวและความเสถียร
- ทดสอบระยะเวลาการจม
- ทดสอบการรั่วซึม

## 3.2 สิ่งที่ได้จากการสร้างชุดทดสอบแนวความคิด

3.2.1 การปรับสมดุลของยาน เมื่ออยู่ในน้ำไม่ว่ายานจะหมุนทำมุมกี่องศา ยานต้องสามารถหมุนกลับมาที่จุดสมดุลเดิมได้เอง

3.2.2 แรงลอยตัว ยานต้องไม่จมลงจนถึงจุดลึกสุดและไม่โผล่ขึ้นเหนือน้ำ

3.2.3 การรั่วซึม กล่องวงจรต้องไม่มีการรั่วซึมของน้ำเข้าสู่ภายใน

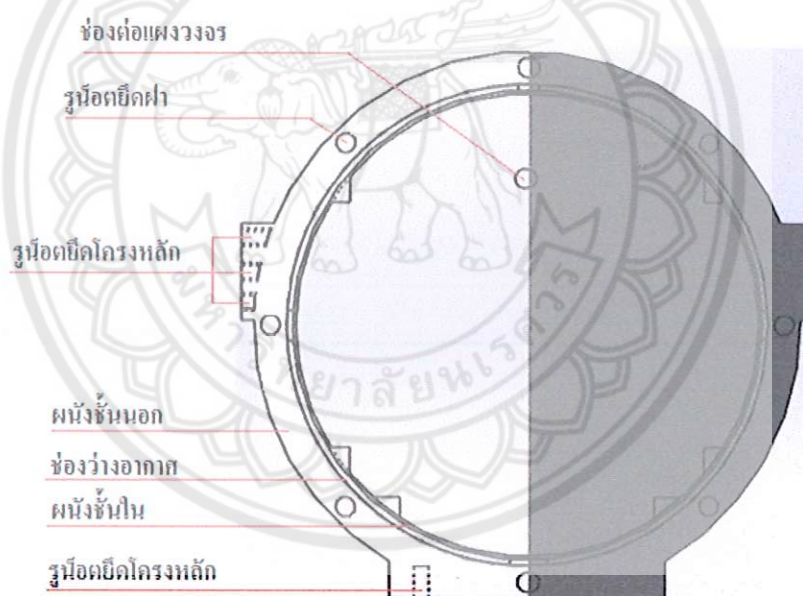
3.2.4 การ seal เมื่อมีการการเจาะรูจะมีการรั่วซึมของน้ำ การ seal เป็นการป้องกันน้ำเข้าสู่กล่องวงจร โดยใช้ซิลิโคน กาวร้อนและสารเคลือบกันน้ำในการ seal

### 3.3 การออกแบบยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติ

หลังจากที่ผู้พัฒนาได้ทำการออกแบบยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติแล้วทางกลุ่มจึงนำความรู้ที่ได้ และสังเกตพฤติกรรมที่เกิดขึ้น มาใช้ในการออกแบบยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติที่จะใช้ในการจัดสร้างจริงเพื่อใช้งานต่อไป

#### 3.3.1 ออกแบบถังวงจรถ

การออกแบบในส่วนนี้จะเน้นที่ความแข็งแรงเพื่อต้านทานกับแรงดันน้ำโดยออกแบบเป็นทรงกระบอกเนื่องจากการกระจายแรงได้ดีสามารถรับแรงดันและแรงกระแทกได้มาก ความง่ายในการติดตั้ง การป้องกันน้ำรั่วซึมโดยทำบ่าและใช้ประเก็นยางหนา 2 mm และระบบความปลอดภัยเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินโดยทำเป็นถัง 2 ชั้นมีช่องอากาศอยู่ระหว่างถังชั้นนอกและถังชั้นใน



รูปที่ 3.7 ถังวงจรถที่มี 2 ชั้น

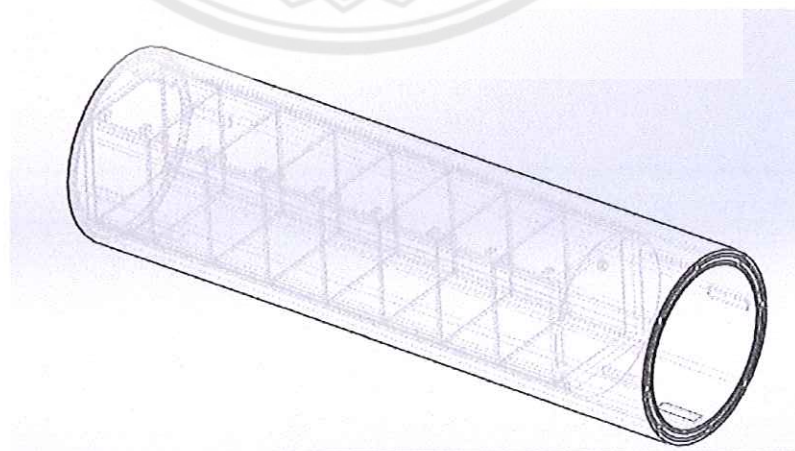
จากรูปที่ 3.7 จะเห็นถังชั้นนอกซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 170 mm หนา 10 mm เจาะรูสำหรับยึดน็อต ขนาด 4 mm ยาว 25 mm จำนวน 8 รู ถังชั้นในเส้นผ่านศูนย์กลาง 146 mm หนา 1 mm ช่องว่างระหว่างถังชั้นนอกและถังชั้นในจะเป็นช่องอากาศสำหรับระบบรักษาความปลอดภัย วัสดุที่สามารถทำเป็นถัง วงจรถ ได้แก่ Aluminum 5086, Acrylic, wood balsa , melamine resin และ Polyethylene

### 3.3.2 ออกแบบการติดตั้งแบตเตอรี่

จากความต้องการใช้พลังงานในการควบคุมการเคลื่อนที่ ซึ่งกลุ่มผู้พัฒนาคาดหวังต้องการใช้งานเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ทางกลุ่มผู้พัฒนาจึงออกแบบชุดบรรจุแบตเตอรี่ เพื่อรองรับแบตเตอรี่ขนาด 12 VDC จำนวน 8 ลูก ให้มีลักษณะเป็นกล่องแมกกาซีนซึ่งข้อดีของการออกแบบเป็นกล่องแมกกาซีนนั่นก็คือ ผู้ใช้สามารถจัดเตรียม แมกกาซีนแบตเตอรี่สำรองไว้ภายนอกและนำมาเปลี่ยนกับแมกกาซีนแบตเตอรี่ที่ใช้งานหมดไปได้ รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะการจัดวางแบตเตอรี่ในแมกกาซีน และรูปที่ 3.9 แสดงลักษณะของการบรรจุแมกกาซีนแบตเตอรี่เข้าไปในถังวงจร



รูปที่ 3.8 แบตเตอรี่ที่อยู่ในแมกกาซีนและช่องเสียบด้านท้ายของถังวงจร



รูปที่ 3.9 แบตเตอรี่ที่บรรจุอยู่ในถังวงจร



### 3.3.3 ออกแบบช่องเปิด

ช่องเปิดและฝาปิดจะต้องติดตั้งหลอดประกอบง่ายสามารถป้องกันน้ำได้ดีแม้จะมีการเปิดปิดหลายครั้ง เนื่องจากมีกล่องจับภาพอยู่ด้านหน้าฝาปิดด้านหน้าจะต้องโปร่งใสที่สุดที่สามารถใช้ทำฝาปิดด้านหน้าคือ Acrylic หรือ Melamine resin แบบใส

### 3.3.4 ออกแบบจุดต่อสายไฟ

จุดต่อสายไฟจะต้องมีผิวเรียบมีการป้องกันจากแรงกระแทกเพราะเป็นอุปกรณ์ที่อ่อนไหวต่อแรงที่เข้ามากกระทำ มีการ seal ป้องกันดังรูปชุดจุดเชื่อมต่อมีลักษณะเป็นตัวผู้และตัวเมียมี seal ป้องกันน้ำเมื่อมีการจับยึดเข้าด้วยกัน รูปที่ 3.10 แสดงตัวอย่างของจุดเชื่อมต่อ (socket) แบบ USB ของบริษัท OEM China ทางฝั่งของตัวผู้หรือตัวเมียที่ยึดติดที่ตัวหุ่นเองก็มี seal ป้องกัน



รูปที่ 3.10 ซ็อกเก็ต USB กันน้ำจากบริษัท OEM China

### 3.3.5 ออกแบบระบบความปลอดภัย

ทางผู้ออกแบบได้ออกแบบให้ถังเก็บขมามีลักษณะเป็นชั้นซ้อนกัน 2 ชั้น ซึ่งออกแบบไว้เพื่อใช้ในการเติมอากาศจากถังอากาศอัดที่จะเปิดใช้งานหรือเติมอากาศเข้ามา เมื่อเกิดการรั่วซึมเกิดขึ้นจากถังชั้นนอก ซึ่งจะสามารถหน่วงเวลาไม่ให้น้ำไหลเข้าสู่ถังชั้นในได้ ในขณะที่เดียวกันระบบจะต้องทำการลอยตัวขึ้นสู่น้ำได้ทันทีก่อนที่อากาศเต็มนี้จะหมด

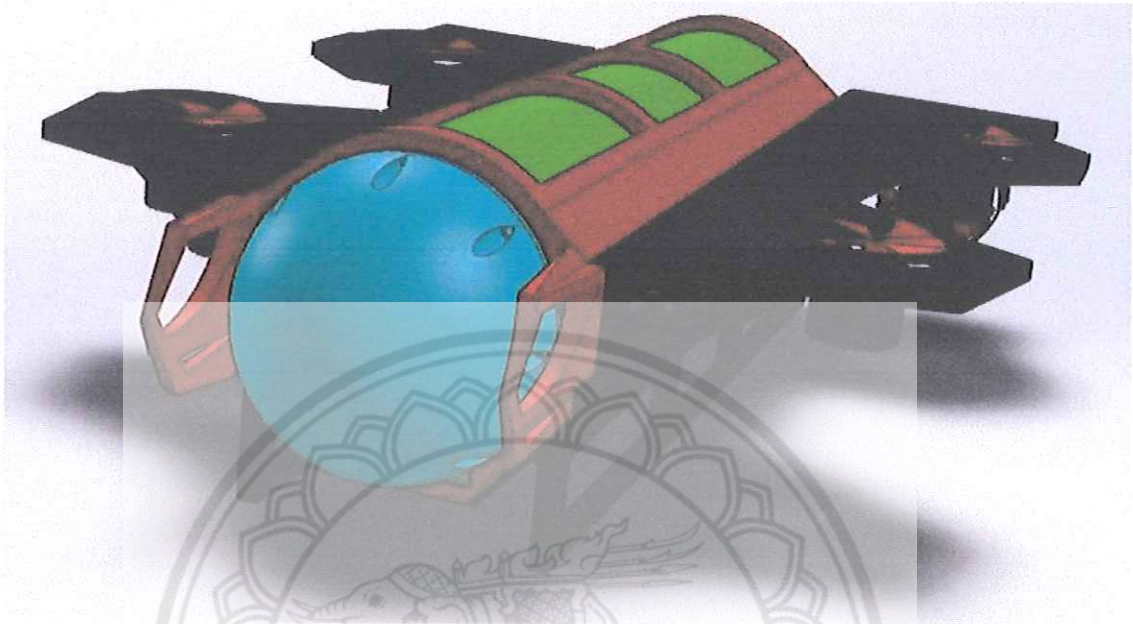
### 3.3.6 ออกแบบระบบขับเคลื่อน

การขับเคลื่อนของยานสำรวจได้นำนี้ออกแบบให้ใช้ thruster ขนาด 1100 GPH จำนวน 6 ตัว เพื่อใช้ในการอัดเครื่องขึ้นลงจำนวน 4 ตัว เดินหน้าถอยหลังและเลี้ยวซ้ายเลี้ยวขวาจำนวน 2 ตัว มี implies ที่เป็นอุปกรณ์เสริมสามารถเพิ่มได้อีกจำนวน 2 ตัวแล้วแต่ความต้องการ โดยจุดยึด thruster นี้สามารถปรับลด ขยายขนาดได้เพื่อใช้ในการติดตั้ง thruster ขนาดอื่นได้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 148 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 70 มิลลิเมตร ดังแสดงตัวอย่างของ thruster ที่เลือกใช้ในการออกแบบในตารางที่ 3.1 โดยจะแสดงรายละเอียดของตัวขับเคลื่อนขนาดต่าง ๆ จากบริษัท SEAFLO ซึ่งเป็นบริษัทที่มีขนาด thruster ให้เลือกใช้ได้อย่างหลากหลาย

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของตัวขับเคลื่อนขนาดต่าง ๆ จากบริษัท SEAFLO

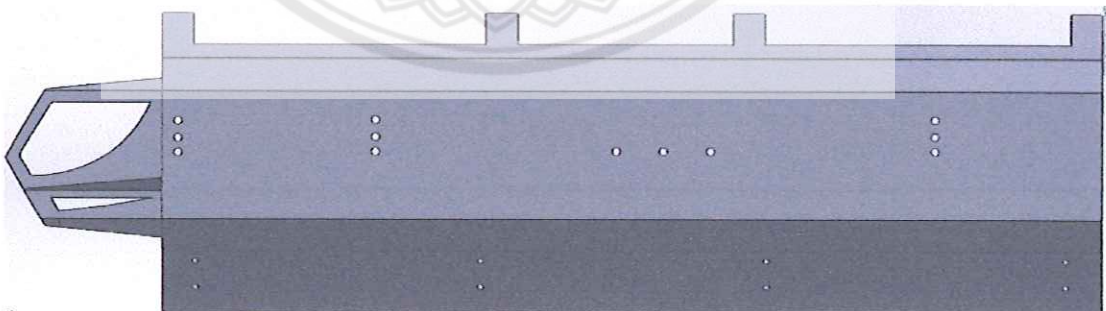
Model	Flow rate	Volts (v)	Current (A)	Outlet Dia	W(kg)	Power (W)	Time (hr)	Velocity (knot)
SFBP1-G350-01	350 GPH	12	1.8	70	0.4	21.6	17	12
SFBP1-G500-01	500 GPH	12	2.2	70	0.4	26.4	14	13
SFBP2-G500-01	500 GPH	24	1.2	70	0.4	28.8	13	13
SFBP1-G750-01	750 GPH	12	2.5	70	0.4	30	12	14
SFBP2-G750-01	750 GPH	24	1.5	70	0.4	36	10	15
SFBP1-G1100-01	1100 GPH	12	3.5	107	0.44	42	9	16
SFBP2-G1100-01	1100 GPH	24	1.5	107	0.44	36	10	15
SFBP1-G1500-01	1500 GPH	12	7	107	1.21	84	4	23
SFBP2-G1500-01	1500 GPH	24	5	107	1.21	120	3	27
SFBP1-G2000-01	2000 GPH	12	9	107	1.21	108	3	26
SFBP2-G2000-01	2000 GPH	24	5.5	107	1.21	132	3	29
SFBP1-G3000-01	3000 GPH	12	12	148	2.37	144	3	30
SFBP2-G3000-01	3000 GPH	24	7	148	2.37	168	2	32
SFBP1-G3500-01	3500 GPH	12	13	148	2.37	156	2	31
SFBP2-G3500-01	3500 GPH	24	8	148	2.37	192	2	35

### 3.3.7 ออกแบบโครงและจุดเชื่อมต่ออุปกรณ์เสริม



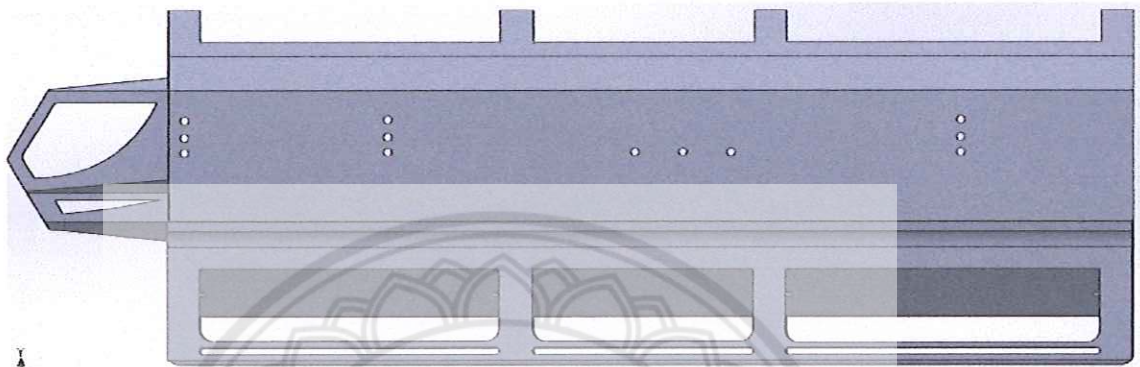
รูปที่ 3.11 ยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติที่สมบูรณ์

1. ออกแบบโครงหลัก โครงส่วนนี้จะทำหน้าที่ป้องกันการกระแทกที่จะกระทำกับถังจรรวมทั้งยังเป็นส่วนที่จะติดตั้งปีกและอุปกรณ์เสริมโครงหลักจึงต้องแข็งแรงทนต่อแรงกระทำภายนอกได้ดี



รูปที่ 3.12 โครงหลัก

2. ออกแบบจุดต่ออุปกรณ์เสริม อุปกรณ์เสริมจะติดตั้งกับขาซึ่งอยู่ด้านล่างของโครงหลัก สามารถติดตั้งง่ายโดยสามารถยึดกับขาผ่านช่องว่างที่เตรียมไว้ ยานสำรวจใต้น้ำสามารถใช้งานกับอุปกรณ์ได้หลากหลาย ได้แก่ แขนกลดังรูปที่ 3.14 เครื่องเจาะ ตัด เชื่อมใต้น้ำ เป็นต้น

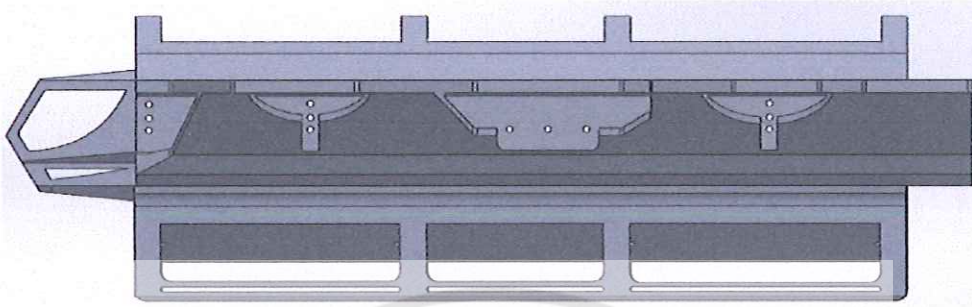


รูปที่ 3.13 โครงหลักที่ติดตั้งจุดติดตั้งอุปกรณ์เสริม



รูปที่ 3.14 แขนกล

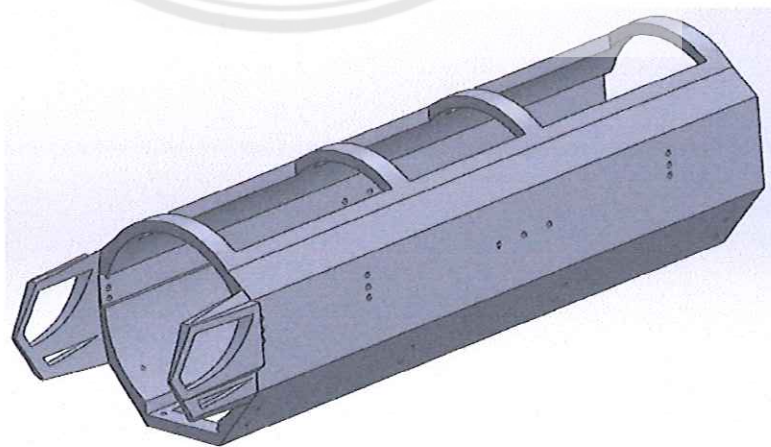
3. ออกแบบปีก เป็นส่วนที่จะติดตั้งตัวขับเคลื่อนจึงต้องทนแรงปฏิกิริยาที่จะเกิดเมื่อตัวขับเคลื่อนทำงานได้รวมถึงจะต้องรับน้ำหนักของยานสำรวจได้น้ำทั้งหมดได้ลักษณะการติดตั้งปีกสามารถดูได้จาก รูปที่ 3.15



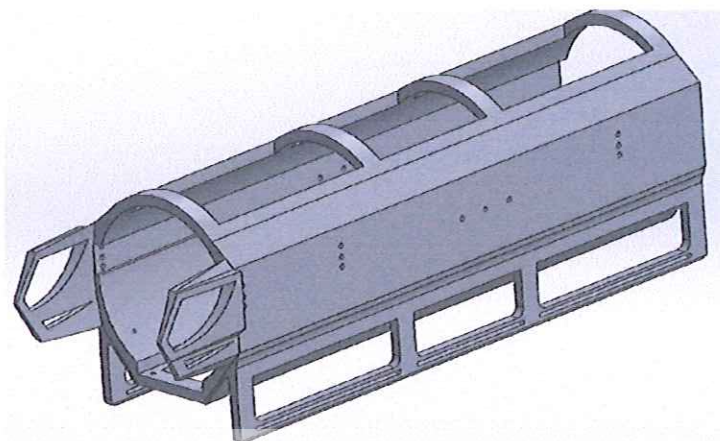
รูปที่ 3.15 โครงหลักที่มีการติดตั้งปีกและจุดติดตั้งอุปกรณ์เสริม

### 3.3.8 การติดตั้งแต่ละชิ้นส่วน

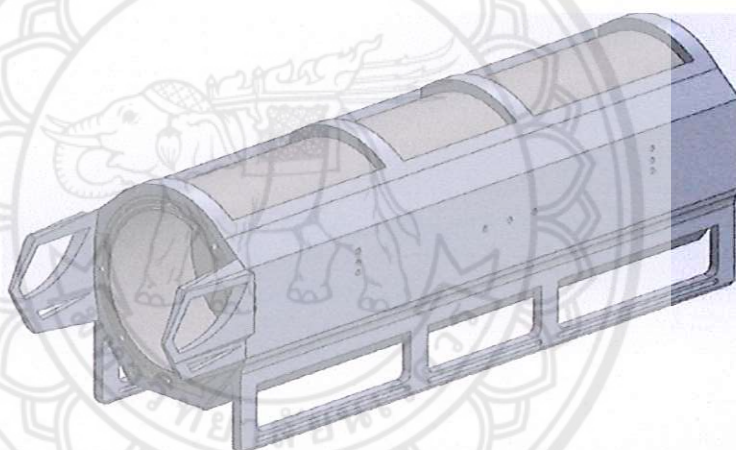
การติดตั้งแต่ละชิ้นส่วนจะเริ่มจากส่วนที่เป็นโครงหลัก รูปที่ 3.16 ติดตั้งกับส่วนที่เป็นขาทางด้านล่างของโครงหลักจะได้ออกมาก ดังรูปที่ 3.17 จากนั้นติดตั้งถังวงจรซึ่งจะอยู่ภายในโครงหลัก ดังรูปที่ 3.18 ติดตั้งปีกด้านข้างของโครงหลักรูปร่างของปีกและโครงหลักจะเชื่อมไปกับถังวงจรด้วย ดังรูปที่ 3.19 จากนั้นนำแบตเตอรี่บรรจุในแมกกาซีนจำนวน 8 ลูกแล้วเสียบที่ด้านท้ายของถังเก็บวงจรตามรางลึอกภายในถังวงจร ดังรูปที่ 3.20 ปิดแผ่นยางป้องกันน้ำแล้วปิดฝาทั้งด้านหน้าและด้านหลังของถังวงจรดังรูปที่ 3.21 ตรวจสอบเช็คว่ฝาปิดสนิทหรือไม่ ถังอัดอากาศจะติดตั้งบริเวณช่องว่างระหว่างปีกโดยจะมีรูสำหรับน็อตล็อคบริเวณใต้ปีก ดังรูปที่ 3.22 ตำแหน่งตัวขับเคลื่อนและชิ้นส่วนต่าง ๆ จะแสดงในรูปที่ 3.23 และรูปที่ 3.24



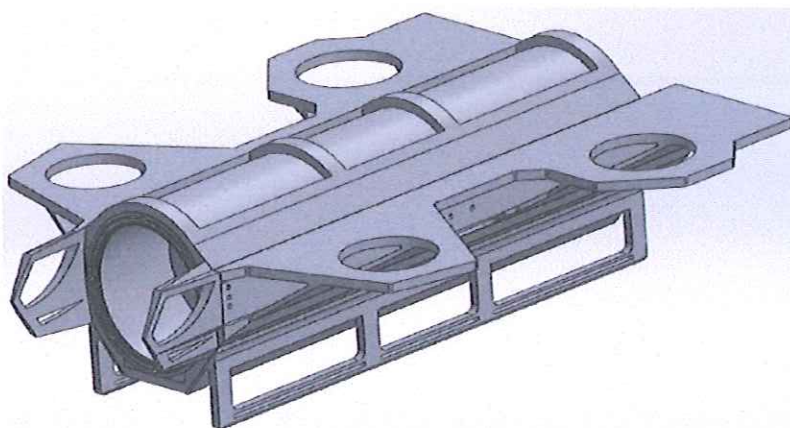
รูปที่ 3.16 โครงหลัก



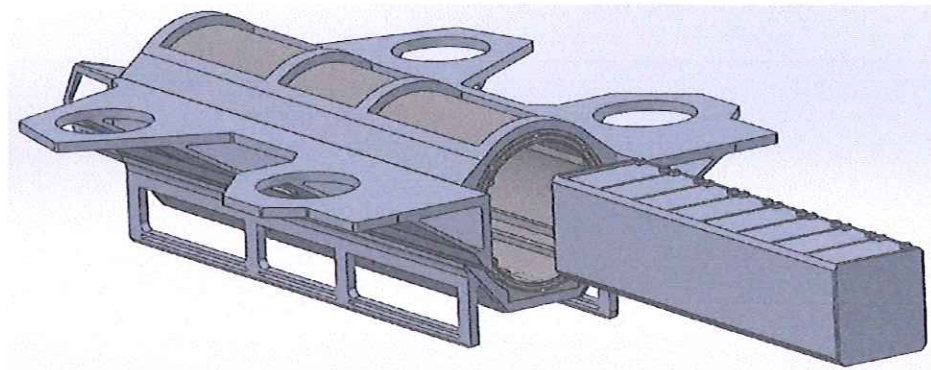
รูปที่ 3.17 ติดตั้งขาหรือจุดติดตั้งอุปกรณ์เสริม



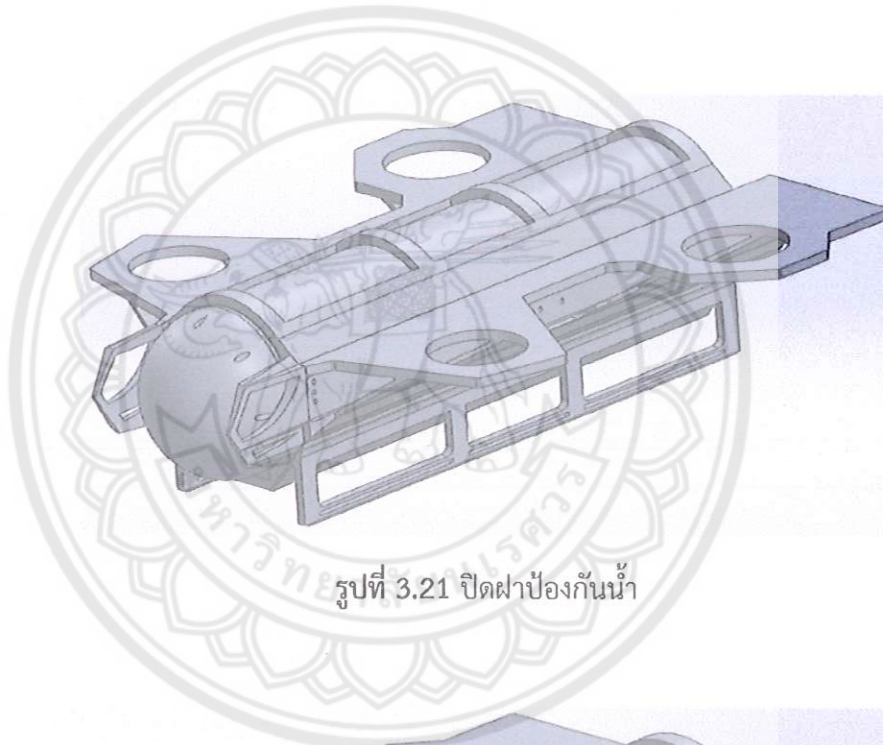
รูปที่ 3.18 ติดตั้งถังวางจร



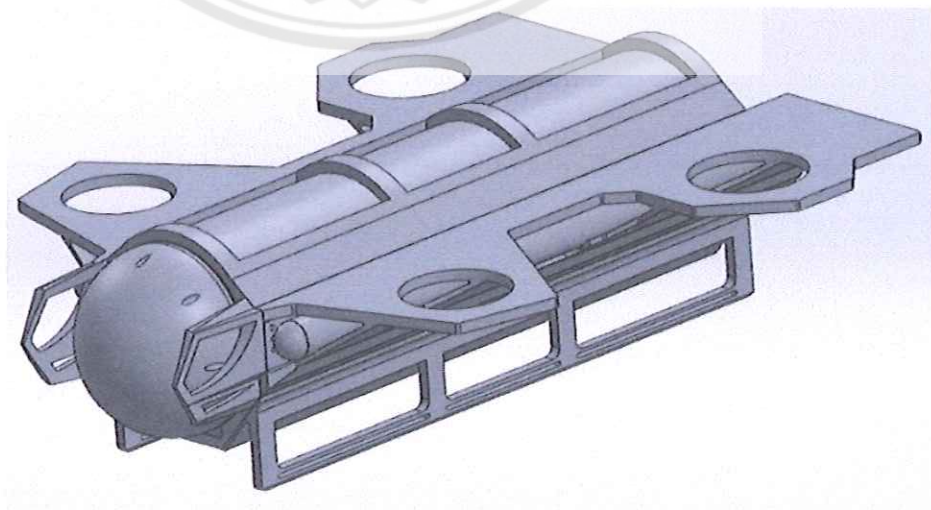
รูปที่ 3.19 ติดตั้งปีก



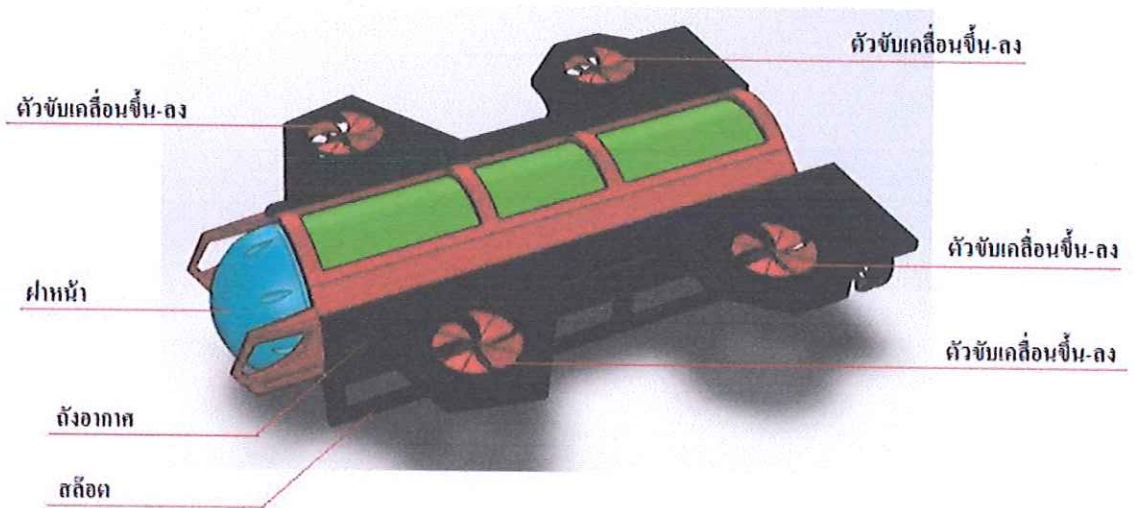
รูปที่ 3.20 ติดตั้งแบตเตอรี่



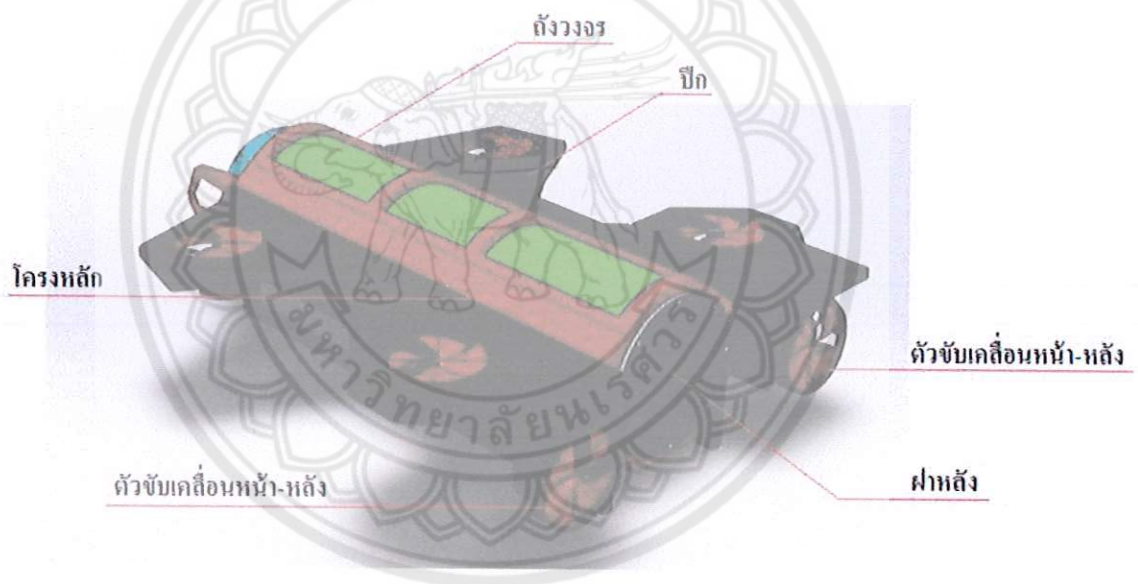
รูปที่ 3.21 ปิดฝาป้องกันน้ำ



รูปที่ 3.22 ติดตั้งถังอัดอากาศ



รูปที่ 3.23 ติดตั้งตัวขับเคลื่อน



รูปที่ 3.24 ติดตั้งตัวขับเคลื่อน(ต่อ)

### 3.4 วัดและบันทึกผลการทดสอบของแบบจำลอง

3.4.1 การทดสอบความสามารถในการรับแรงโดยใช้โปรแกรม solidwork

3.4.2 การทดสอบการไหลของของไหลผ่านแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Solidwork



### 3.5 การประเมินราคาในการสร้าง

เป็นการประเมินราคาโดยประมาณโดยผู้ประกอบการที่รับผลิตชิ้นส่วนในอุตสาหกรรมจากนั้นนำราคาที่ได้มาเปรียบเทียบกับ ราคาที่ผู้พัฒนาได้ทำการประเมินไว้แล้ว โดยผู้พัฒนาได้วิเคราะห์จากราคาวัสดุในท้องตลาด ค่าความยากง่ายและค่าแรงในการบวนการผลิตทั่วไปเพื่อให้ราคาที่ได้มีความเหมาะสมคุ้มค่าที่จะลงทุนซึ่งราคาที่แสดงในตารางที่ อาจมีความคลาดเคลื่อนเปลี่ยนไปเนื่องจากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการผลิตในอนาคต ต้นทุนของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงในอนาคตข้อมูลในตารางจึงเหมาะสำหรับใช้ในการประมาณการเป็นขั้นต่ำเท่านั้น

ชิ้นส่วน	วัสดุ	ราคา(บาท)	ชิ้นส่วน	วัสดุ	ราคา(บาท)
ถังเก็บบวจ	Aluminum 5086	15,000	ขาx2	Aluminum 5086	4,000
	Acrylic	6,900		Acrylic	2,000
	wood balsa	9,000		wood balsa	2,500
	melamine resin	6,000		melamine resin	1,576
	Polyethylene	7,400		Polyethylene	1,600
โครงหลัก	Aluminum 5086	10,000	ฝาหน้า		1,300
	Acrylic	4,500	ฝาหลัง		500
	wood balsa	6,000	แบตเตอรี่x8		4,800
	melamine resin	4,000	ตัวขับเคลื่อนx6		2,700
	Polyethylene	5,000	อื่น ๆ		7,000
ปีกx2	Aluminum 5086	5,000			
	Acrylic	2,300			
	wood balsa	3,000			
	melamine resin	2,000			
	Polyethylene	2,500			

ตารางที่ 3.2 ราคาชิ้นส่วนต่าง ๆ ของยานสำรวจใต้น้ำ

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

การทดสอบของยานสำรวจได้นำที่ได้ออกแบบโดยใช้โปรแกรมทางวิศวกรรมเพื่อช่วยในการออกแบบและใช้โปรแกรม SolidWork ในการทดสอบความสามารถในการรับแรงและทดสอบการไหลของของไหลผ่านยานสำรวจได้นำ

#### 4.1 การทดสอบความสามารถในการรับแรง

##### 4.1.1 จุดประสงค์การทดสอบ

1. เพื่อศึกษาและทดสอบความสามารถในการรับแรงในแต่ละชิ้นส่วน
2. เพื่อหาวัสดุที่เหมาะสมสำหรับใช้ในแต่ละชิ้นส่วน

##### 4.1.2 ขั้นตอนการทดสอบ

1. ทดสอบความสามารถในการรับแรงโดยใช้โปรแกรม Solidwork ที่ค่าแรงต่าง ๆ โดยใช้คุณสมบัติของวัสดุต่าง ๆ ตามฐานข้อมูลที่มีในโปรแกรม
2. บันทึกผลการทดสอบ

##### 4.1.3 ผลการทดสอบ

ตาราง 4.1 การทดสอบความสามารถในการรับแรง

ชิ้นส่วน	แรงที่กระทำ(N)	วัสดุ				
		Aluminum 5086	Acrylic	wood balsa	melamine resin	Polyethylene
ถังเก็บวงจร	103,300(10m)	รับแรงได้ดี	รับแรงได้ดี	รับแรงได้ดี	พอรับแรงได้	พอรับแรงได้
	153,300(15m)	รับแรงได้ดี	พอรับแรงได้	พอรับแรงได้	รับแรงไม่ได้	รับแรงไม่ได้
	203,300(20m)	รับแรงได้ดี	รับแรงไม่ได้	รับแรงไม่ได้	รับแรงไม่ได้	รับแรงไม่ได้
	303,300(30m)	รับแรงได้ดี	รับแรงไม่ได้	รับแรงไม่ได้	รับแรงไม่ได้	รับแรงไม่ได้
	403,300(30m)	รับแรงได้ดี	รับแรงไม่ได้	รับแรงไม่ได้	รับแรงไม่ได้	รับแรงไม่ได้
โครงหลัก	7000	รับแรงได้ดี	รับแรงได้ดี	รับแรงได้ดี	รับแรงได้ดี	รับแรงได้ดี
ปีก	4000	รับแรงได้ดี	รับแรงได้ดี	รับแรงได้ดี	พอรับแรงได้	พอรับแรงได้
ขา	8000	รับแรงได้ดี	พอรับแรงได้	พอรับแรงได้	รับแรงไม่ได้	รับแรงไม่ได้

##### 4.1.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากการทดสอบโดยโปรแกรมจะเห็นว่าชิ้นส่วนที่ทำจาก Aluminum 5086 จะรับแรงได้มากสามารถใช้งานได้ทุกสภาวะ แต่จะมีน้ำหนักและราคาที่สูงมาก สามารถทดแทนได้ด้วยวัสดุอื่นในบางชิ้นส่วน

## 4.2 การทดสอบการไหลของของไหลผ่านยานสำรวจใต้น้ำ

### 4.2.1 จุดประสงค์การทดสอบ

1. เพื่อศึกษาและทดสอบลักษณะการไหลของของไหลที่ไหลผ่านยานสำรวจใต้น้ำในทิศทางต่าง ๆ

2. เพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากกระแสการไหลของของไหลที่ไหลผ่านแบบจำลองในทิศทางต่าง ๆ เมื่อยานสำรวจใต้น้ำมีการเคลื่อนที่

### 4.2.2 ขั้นตอนการทดสอบการไหลของของไหลผ่านแบบจำลอง

1. ทดสอบการไหลของของไหลผ่านยานสำรวจใต้น้ำโดยใช้โปรแกรม Solidwork
2. บันทึกผลการทดสอบ

### 4.2.3 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

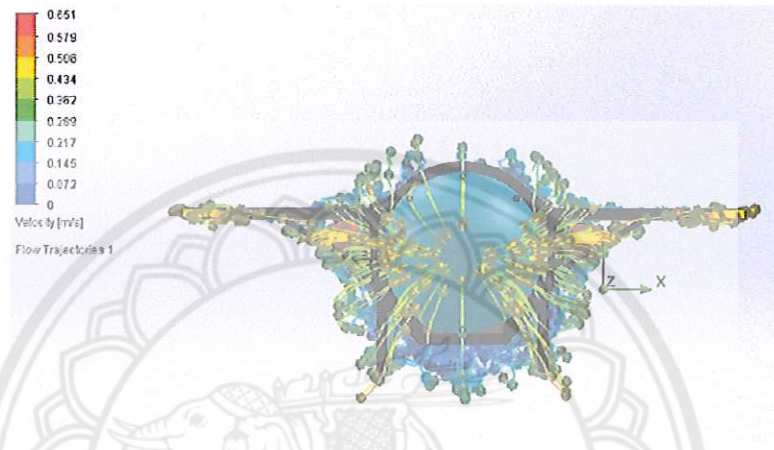
ไหลด้านหน้าไปด้านหลัง

การทดสอบนี้จะให้ของไหลซึ่งแทนด้วยน้ำไหลผ่านยานสำรวจใต้น้ำจากด้านหน้าไปด้านหลังของยานสำรวจใต้น้ำด้วยความเร็ว 1 เมตรต่อวินาที เพื่อสังเกตลักษณะกระแสของการไหลที่เกิดขึ้นกับยานสำรวจใต้น้ำโดยแสดงใน รูปที่ 4.1 เป็นการให้ของไหลไหลจากด้านหน้าไปด้านหลังของยานสำรวจใต้น้ำแสดงเป็นมุมมอง isometric รูปที่ 4.2 เป็นการให้ของไหลไหลจากด้านหน้าไปด้านหลังของยานสำรวจใต้น้ำแสดงเป็นมุมมองด้านหน้าและ รูปที่ 4.3 เป็นการให้ของไหลไหลจากด้านหน้าไปด้านหลังของยานสำรวจใต้น้ำแสดงเป็นมุมมองด้านหลัง



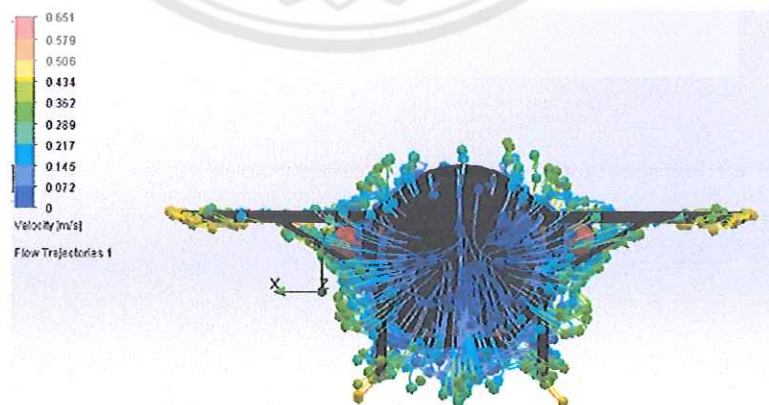
รูปที่ 4.1 การไหลจากด้านหน้าไปด้านหลังมุมมอง isometric

จากรูปที่ 4.1 ที่แสดงให้เห็นการไหลของของไหลจากด้านหน้าไปด้านหลังของยานสำรวจใต้น้ำ โดยแสดงเป็นมุมมอง isometric กระแสของการไหลบริเวณปีกของยานสำรวจใต้น้ำมีอัตราเร็วของของไหลอยู่ในช่วงเดียวกันถือได้ว่าการไหลอย่างสม่ำเสมอบนพื้นที่หน้าตัดเดียวกันและถือว่าความเร็วของของไหลมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกัน



รูปที่ 4.2 การไหลจากด้านหน้าไปด้านหลังมุมมองด้านหน้า

จากรูปที่ 4.2 ที่แสดงให้เห็นการไหลของของไหลจากด้านหน้าไปด้านหลังของยานสำรวจใต้น้ำ โดยแสดงเป็นมุมมองด้านหน้า กระแสของของไหลที่ปะทะยานสำรวจใต้น้ำกระจายออกด้านข้างด้านบนและด้านล่างมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยทำให้แรงที่เกิดจากการไหลที่แตกต่างกันมีค่าน้อยด้วยเหตุนี้เมื่อยานสำรวจใต้น้ำเคลื่อนที่จะไม่ทำให้ส่ายมากนัก

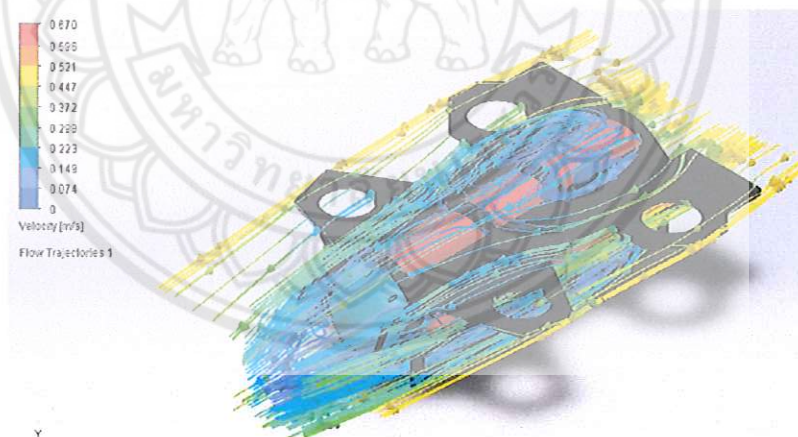


รูปที่ 4.3 การไหลจากด้านหน้าไปด้านหลังมุมมองด้านหลัง

จากรูปที่ 4.2 ที่แสดงให้เห็นการไหลของของไหลจากด้านหน้าไปด้านหลังของยานสำรวจใต้น้ำ โดยแสดงเป็นมุมมองด้านหลังจะเห็นได้ว่าการไหลปั่นป่วนบริเวณด้านหลังของยานสำรวจใต้น้ำ โดยเกิดจากการที่กระแสของของไหลที่ปะทะยานสำรวจใต้น้ำกระจายออกด้านข้าง ด้านบนและด้านล่างทำให้ด้านหลังของยานสำรวจใต้น้ำมีกระแสของการไหลเบาบางลงความเร็วของของไหลมีค่าลดลงจึงเกิดแรงดูดของไหลให้เข้ามาแทนที่อย่างรวดเร็ว เนื่องจากความเร็วของของไหลที่ไหลปั่นป่วนมีค่าใกล้เคียงกับของไหลโดยรอบทำให้มีแรงที่ทำให้เกิดการส่ายน้อยยานสำรวจใต้น้ำยังสามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้อย่างราบเรียบ

#### ไหลจากด้านหลังไปด้านหน้า

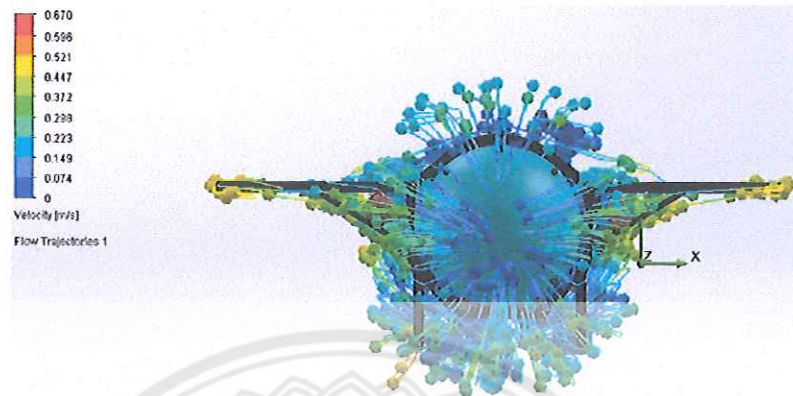
การทดสอบนี้จะให้ของไหลซึ่งแทนด้วยน้ำไหลผ่านยานสำรวจใต้น้ำจากด้านหลังไปด้านหน้าของยานสำรวจใต้น้ำด้วยความเร็ว 1 เมตรต่อวินาที เพื่อสังเกตลักษณะกระแสของการไหลที่เกิดขึ้นกับยานสำรวจใต้น้ำโดยแสดงใน รูปที่ 4.4 เป็นการให้ของไหลไหลจากหลังไปด้านหน้าของยานสำรวจใต้น้ำแสดงเป็นมุมมอง isometric รูปที่ 4.5 เป็นการให้ของไหลไหลจากหลังไปด้านหน้าของยานสำรวจใต้น้ำแสดงเป็นมุมมองด้านหน้าและ รูปที่ 4.6 เป็นการให้ของไหลไหลจากหลังไปด้านหน้าของยานสำรวจใต้น้ำแสดงเป็นมุมมองด้านหลัง



รูปที่ 4.4 การไหลจากด้านหลังไปด้านหน้ามุมมอง isometric

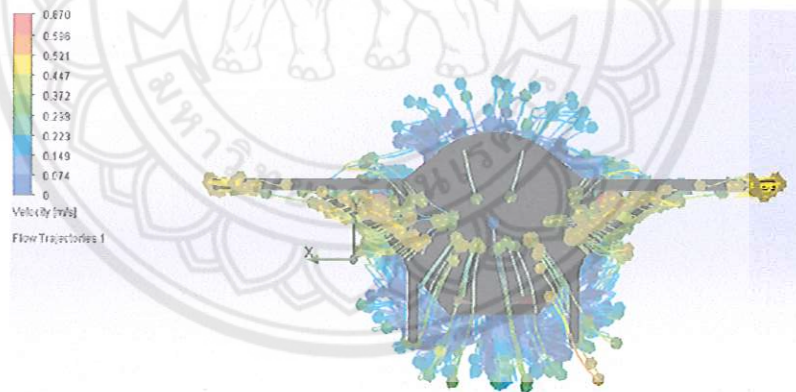
จากรูปที่ 4.4 ที่แสดงให้เห็นการไหลของของไหลจากด้านหลังไปด้านหน้าของยานสำรวจใต้น้ำ โดยแสดงเป็นมุมมอง isometric จะเห็นได้ว่าการไหลปั่นป่วนบริเวณด้านบน ด้านล่างและด้านหน้าของยานสำรวจใต้น้ำ โดยเกิดจากการที่กระแสของของไหลที่ปะทะยานสำรวจใต้น้ำกระจายออกด้านข้าง ด้านบนและด้านล่างทำให้ด้านบน ด้านล่างและด้านหน้าของของยานสำรวจใต้น้ำมีกระแสของการไหลเบาบางลงความเร็วของของไหลมีค่าลดลงจึงเกิดแรงดูดของไหลให้เข้ามาแทนที่อย่างรวดเร็ว เนื่องจากความเร็วของของไหลที่ไหลปั่นป่วนมีค่าใกล้เคียงกับของไหลโดยรอบทำให้มีแรงที่ทำให้เกิดการส่ายน้อย นอกจากนี้กระแสของการไหลบริเวณปีกของยานสำรวจใต้น้ำมีอัตราเร็ว

ของของไหลอยู่ในช่วงเดียวกันถือได้ว่าการไหลอย่างสม่ำเสมอบนพื้นที่หน้าตัดเดียวกันและถือว่าความเร็วของของไหลมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกัน



รูปที่ 4.5 การไหลจากด้านหลังไปด้านหน้ามุมมองด้านหน้า

จากรูปที่ 4.5 ที่แสดงให้เห็นการไหลของของไหลจากด้านหลังไปด้านหน้าของยานสำรวจได้น้ำ โดยแสดงเป็นมุมมองด้านหน้า จะเห็นได้ว่ากระแสของของไหลที่ปะทะยานสำรวจได้น้ำกระจายออก ด้านบนและด้านล่างมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยทำให้แรงที่เกิดจากการไหลที่ต่างกันมีค่าน้อย

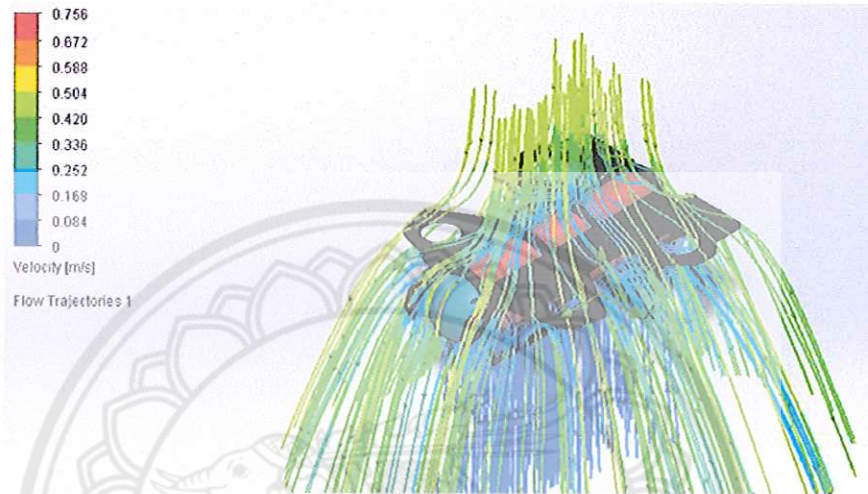


รูปที่ 4.6 การไหลจากด้านหลังไปด้านหน้ามุมมองด้านหลัง

จากรูปที่ 4.6 ที่แสดงให้เห็นการไหลของของไหลจากด้านหลังไปด้านหน้าของยานสำรวจได้น้ำ โดยแสดงเป็นมุมมองด้านหลัง จะเห็นได้ว่ากระแสของของไหลที่ปะทะยานสำรวจได้น้ำกระจายออก ด้านข้าง มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยบริเวณใต้ปีกและบนปีกทำให้เกิดแรงจากการไหลที่ต่างกันแต่แรงดังกล่าวที่เกิดขึ้นมีค่าไม่มากนักด้วยเหตุนี้เมื่อยานสำรวจได้น้ำเคลื่อนที่จะไม่ทำให้เกิดการส่ายมากนัก

### ไหลจากด้านบนลงด้านล่าง

การทดสอบนี้จะให้ของไหลซึ่งแทนด้วยน้ำไหลผ่านยานสำรวจได้นำจากด้านบนลงด้านล่างของยานสำรวจได้นำด้วยความเร็ว 1 เมตรต่อวินาที เพื่อสังเกตลักษณะกระแสน้ำของการไหลที่เกิดขึ้นกับยานสำรวจได้นำ



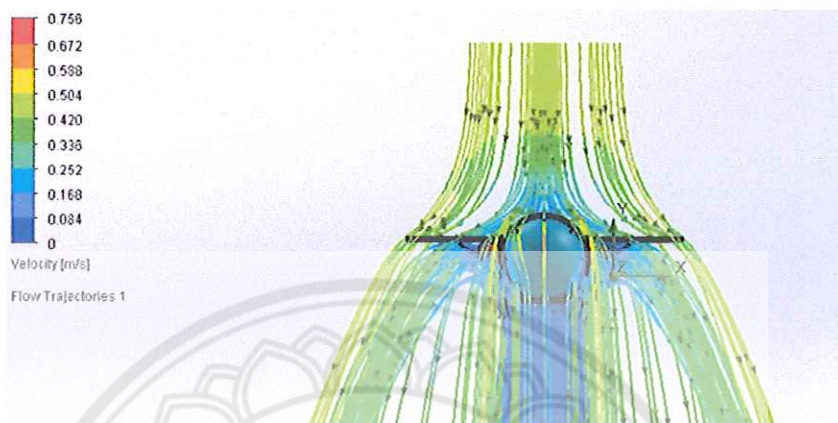
รูปที่ 4.7 การไหลจากด้านบนลงด้านล่างมุมมอง isometric

จากรูปที่ 4.7 ที่แสดงให้เห็นการไหลของของไหลจากด้านบนลงด้านล่างของยานสำรวจได้นำ โดยแสดงเป็นมุมมอง isometric รูปที่ 4.8 ที่แสดงให้เห็นการไหลของของไหลจากด้านบนลงด้านล่างของยานสำรวจได้นำโดยแสดงเป็นมุมมองด้านข้างและ รูปที่ 4.9 ที่แสดงให้เห็นการไหลของของไหลจากด้านบนลงด้านล่างของยานสำรวจได้นำโดยแสดงเป็นมุมมองด้านหน้า จะเห็นได้ว่าการไหลปั่นป่วนบริเวณด้านล่างโดยเกิดจากการที่กระแสน้ำของไหลที่ปะทะยานสำรวจได้นำกระจายออกด้านข้างเห็นได้จาก รูปที่ 4.9 ด้านหน้าและด้านหลังเห็นได้จาก รูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 การไหลจากด้านบนลงด้านล่างมุมมองด้านข้าง

ลักษณะการไหลนี้ทำให้ของไหลด้านล่างของของยานสำรวจใต้น้ำมีกระแสของการไหลเบาบางลงความเร็วของของไหลมีค่าลดลงจึงเกิดแรงดูดของไหลให้เข้ามาแทนที่อย่างรวดเร็วทิศทางการไหลของของไหลปั่นป่วนไหลจากล่างขึ้นบน



รูปที่ 4.9 การไหลจากด้านล่างลงด้านล่างมุมมองด้านหน้า

ผลของการไหลปั่นป่วนนี้จะทำให้เกิดแรงยกเล็กน้อยแต่ความเร็วของของไหลปั่นป่วนยังมีความเร็วใกล้เคียงกับของไหลโดยรอบทำให้มีแรงที่เกิดขึ้นจากการไหลปั่นป่วนมีค่าไม่มากนักด้วยเหตุนี้จะทำให้ยานสำรวจใต้น้ำเกิดการส่ายเล็กน้อย เนื่องจากขนาดของยานต้นแบบมีขนาดใหญ่และยังมีปีกคอยพุงตัวอยู่ซึ่งจะคอยรักษาความเสถียรของยานสำรวจใต้น้ำ

ไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบน

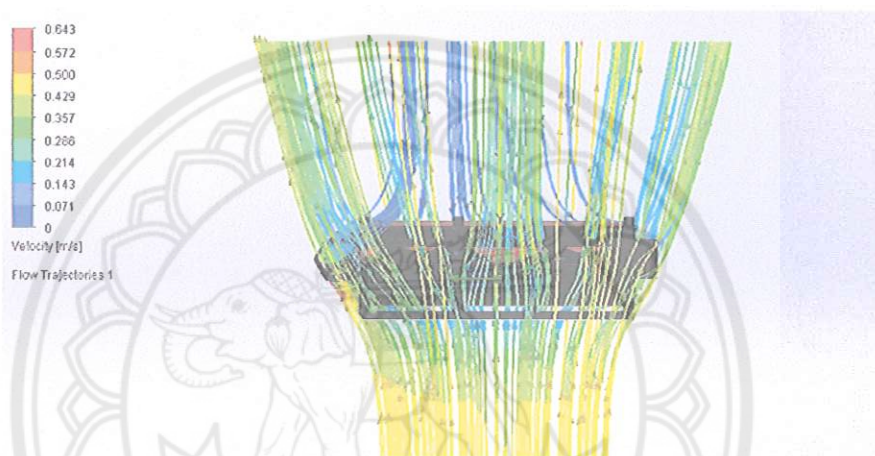
การทดสอบนี้จะให้ของไหลซึ่งแทนด้วยน้ำไหลผ่านยานสำรวจใต้น้ำจากด้านล่างขึ้นด้านบนของยานสำรวจใต้น้ำด้วยความเร็ว 1 เมตรต่อวินาที เพื่อสังเกตลักษณะกระแสของการไหลที่เกิดขึ้นกับยานสำรวจใต้น้ำ



รูปที่ 4.10 จากไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบนมุมมอง isometric

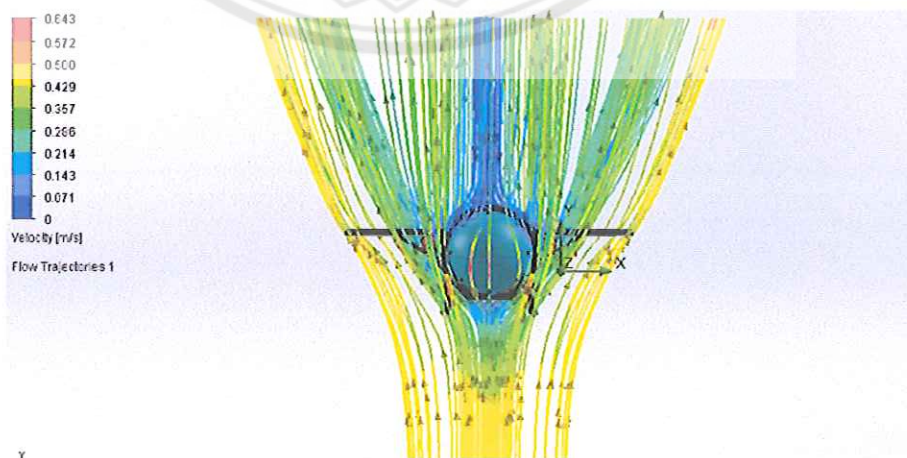


จากรูปที่ 4.10 ที่แสดงให้เห็นการไหลของของไหลจากด้านบนลงด้านล่างของยานสำรวจใต้น้ำโดยแสดงเป็นมุมมอง isometric รูปที่ 4.11 ที่แสดงให้เห็นการไหลของของไหลจากด้านบนลงด้านล่างของยานสำรวจใต้น้ำโดยแสดงเป็นมุมมองด้านข้างและ รูปที่ 4.12 ที่แสดงให้เห็นการไหลของของไหลจากด้านบนลงด้านล่างของยานสำรวจใต้น้ำโดยแสดงเป็นมุมมองด้านหน้า จะเห็นได้ว่าการไหลปั่นป่วนบริเวณด้านบนเกิดจากการที่กระแสของของไหลที่ปะทะยานสำรวจใต้น้ำกระจายออกด้านข้างเห็นได้จาก รูปที่ 4.12 ด้านหน้าและด้านหลังเห็นได้จาก รูปที่ 4.11 กระแสการไหลของของไหลดังกล่าวคล้ายกับลักษณะการไหลของของไหลจากด้านบนลงด้านล่างแต่เป็นการไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบน



รูปที่ 4.11 จากไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบนมุมมองด้านข้าง

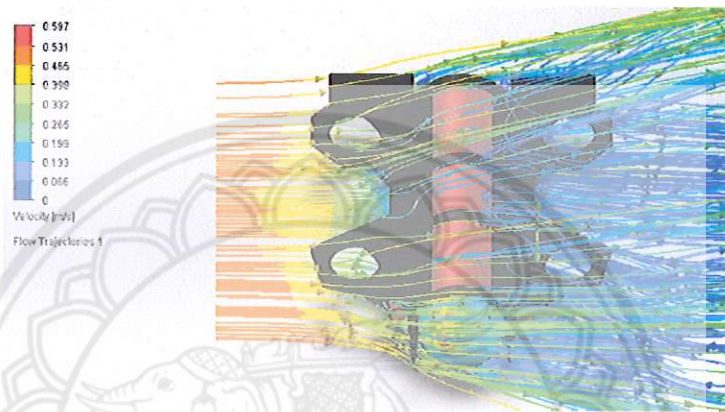
ด้วยรูปทรงของยานสำรวจใต้น้ำทำให้เกิดการไหลปั่นป่วนน้อยกว่าการไหลปั่นป่วนที่เกิดขึ้นในการไหลจากด้านบนลงด้านล่าง จากขนาดของยานต้นแบบที่มีขนาดใหญ่และยังมีปีกคอยพุงตัวอยู่ทำให้ยานสำรวจใต้น้ำคอยรักษาความเสถียรของยานไว้ได้



รูปที่ 4.12 จากไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบนมุมมองด้านหน้า

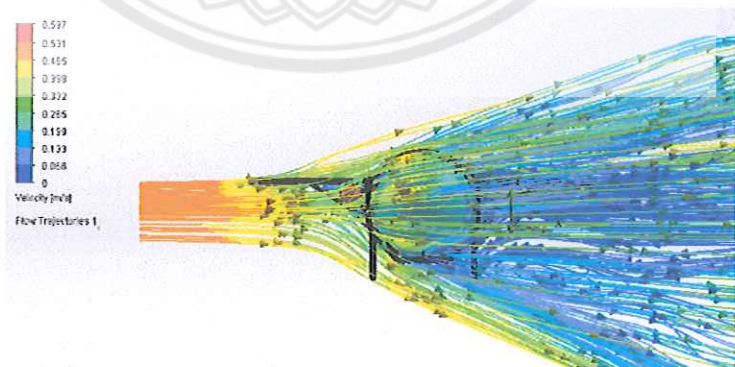
### ไหลจากด้านข้าง

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าการไหลปั่นป่วนบริเวณด้านตรงข้ามกับการไหลค่อนข้างมาก โดยเกิดจากการกระจายของของไหลมีมุมต่างกันมากทำให้บริเวณด้านตรงข้ามกับการไหลมีกระแสของการไหลเบาบางลงความเร็วของของไหลมีค่าลดลงเป็นบริเวณกว้างจึงเกิดแรงดูดของไหลให้เข้ามาแทนที่อย่างรวดเร็วดังแสดงใน รูปที่ 4.13 บริเวณด้านขวาของยานสำรวจใต้น้ำลักษณะการไหลนี้จะทำให้การเคลื่อนที่ของยานสำรวจใต้น้ำเสียสมดุลเล็กน้อย



รูปที่ 4.13 การไหลจากข้างซ้ายไปข้างขวามุมมองด้านบน

นอกจากนี้ใน รูปที่ 4.13 ยังแสดงถึงรูปแบบและความเร็วของของไหลด้านบนและด้านล่างของยานสำรวจใต้น้ำ ลักษณะการไหลดังกล่าวของไหลยังมีความเร็วอยู่ในช่วงเดียวกันในพื้นที่หน้าตัดเดียวกันรูปแบบและความเร็วของของไหลด้านหน้าและด้านหลังของยานสำรวจใต้น้ำยังมีค่าใกล้เคียงกันจึงทำให้เกิดการส่ายเล็กน้อยลักษณะดังกล่าวสามารถดูเพิ่มเติมใน รูปที่ 4.14 บริเวณด้านขวาของยานสำรวจใต้น้ำ



รูปที่ 4.14 การไหลจากข้างซ้ายไปข้างขวามุมมองด้านหน้า

เนื่องจากยานสำรวจใต้น้ำมีปีกและลักษณะของโครงที่คอยรักษาสมดุลและความเสถียรของยานจึงสามารถลดผลกระทบจากการส่ายนี้ ทำให้การเคลื่อนที่ด้านข้างราบเรียบหรืออาจจะมีการส่ายบางเล็กน้อย

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลต้นแบบยานสำรวจใต้น้ำ

การทำยานสำรวจใต้น้ำเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างและพัฒนายานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติในอนาคตโดยยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติมีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจระบบนิเวศวิทยาของสิ่งมีชีวิตใต้น้ำ การค้นหาทรัพยากรใต้น้ำ การตรวจสอบ ซ่อมบำรุงอุปกรณ์หรือสิ่งก่อสร้างที่อยู่ใต้น้ำและเพื่อให้การทำงานใต้น้ำให้มีความสะดวกปลอดภัยมากขึ้น โดยได้ทำการออกแบบยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติให้มีขนาดความยาว 700 มิลลิเมตร กว้าง 400 มิลลิเมตร สูง 300 มิลลิเมตร น้ำหนักโดยรวม 25 กิโลกรัม โครงสร้างส่วนใหญ่ใช้วัสดุ Aluminum 5086 เป็นหลักเพราะเป็นวัสดุที่รับแรงดันใต้น้ำได้มากมีความเหนียวรับแรงกระแทกได้ดีไม่เป็นสนิมไม่นำไฟฟ้าใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่ใต้น้ำโดยทั่วไป ชิ้นส่วนทั้งหมดประกอบด้วยถังเก็บบรรจุซึ่งมีความจุทั้งหมด 10 ลิตร แบ่งเป็นส่วนที่เก็บแบตเตอรี่ 8 ลิตร และส่วนที่เก็บบรรจุ 2 ลิตร โครงหลัก ปีก 2 ปีก ติดตั้งด้านข้างซ้ายและขวาของโครงหลัก ฝาหน้า ฝาหลัง ใช้ถังอัดอากาศในกรณีที่เกิดความเสียหายจนมีน้ำเข้าไปในถังเก็บบรรจุ ใช้ตัวขับเคลื่อน 6 ตัว ขนาด 42 วัตต์ ต่อกับแบตเตอรี่ ขนาด 12 โวลต์ ต่อแบบขนานกัน จำนวน 8 ลูก บรรจุในแมกกาซีนเพื่อให้สามารถถอดหรือติดตั้งได้ง่าย และขาที่มีช่องสามารถติดตั้งชุดอุปกรณ์เสริมได้หลากหลาย เช่น แขนกล ท่อยิงตอปิโด ถังอัดแรงดัน ตัวขับเคลื่อนเพื่อเพิ่มแรงขับหรือทิศทางการเคลื่อนที่ เป็นต้น

การทดสอบของยานสำรวจใต้น้ำที่ได้ออกแบบโดยใช้โปรแกรมทางวิศวกรรมเพื่อช่วยในการออกแบบและใช้โปรแกรม SolidWork ในการทดสอบความสามารถในการรับแรงและทดสอบการไหลของของไหลผ่านยานสำรวจใต้น้ำ เมื่อนำแบบจำลองไปทดสอบด้วยโปรแกรม SolidWork ผลการทดสอบที่ได้มีดังนี้

- ชิ้นส่วนที่ทำจาก Aluminum 5086 จะรับแรงได้ดีสามารถใช้งานได้ทุกสภาวะ แต่จะมีน้ำหนักและราคาที่สูงมาก สามารถทดแทนได้ด้วยวัสดุอื่นในบางชิ้นส่วน เช่น ใช้ปีกและขาที่ทำจากไม้หรืออคริลิก แมกกาซีนสามารถใช้พอลิเอทิลีนทดแทนได้
- ถึงแม้จะการไหลแบบที่ไม่ราบเรียบในบางจุดต้นแบบยานสำรวจใต้น้ำยังสามารถทำงานได้เนื่องจากรูปทรงที่ได้ออกแบบมีความเสถียรเมื่อมีแรงมารบกวนจากภายนอกทำให้ยานสำรวจใต้น้ำเสถียรขณะเมื่อแรงที่เข้ามารบกวนมีค่าลดลง ยานยังสามารถกลับมาอยู่ในสภาวะสมดุลได้

จากการประเมินราคาโดยประมาณโดยผู้ประกอบการราคาที่ได้คือ 50300 บาท ซึ่งใกล้เคียงกับราคาที่คุณพัฒนาได้ทำการประเมินไว้ล่วงหน้าแล้ว โดยผู้พัฒนาได้วิเคราะห์จากราคาวัสดุในท้องตลาด ระยะเวลาในการจัดทำรวมแล้วไม่ต่ำกว่า 30 วัน ชิ้นงานที่คุณประกอบการได้ผลิตมาให้เรา แล้วนั่นสิ่งที่สำคัญคือต้องมีการตรวจสอบชิ้นงานว่ามีความสมบูรณ์ผิดพลาดส่วนไหนหรือไม่โดยสามารถตรวจสอบว่ามีรอยแตกร้าว รอยบิ่น ตำหนิอื่น ๆ และตรวจสอบขนาดว่าตรงตามแบบที่กำหนดหรือไม่

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1 ควรปรับปรุงแบตเตอรี่ให้สามารถใช้งานได้นานขึ้นจะช่วยลดน้ำหนักได้มาก
- 5.2.2 ควรปรับให้มีขนาดเล็กลง
- 5.2.3 ควรปรับรูปทรงให้สามารถเคลื่อนที่คล่องตัวมากขึ้น
- 5.2.4 ควรปรับรูปทรงให้เพื่อลดต้นทุนในการผลิต

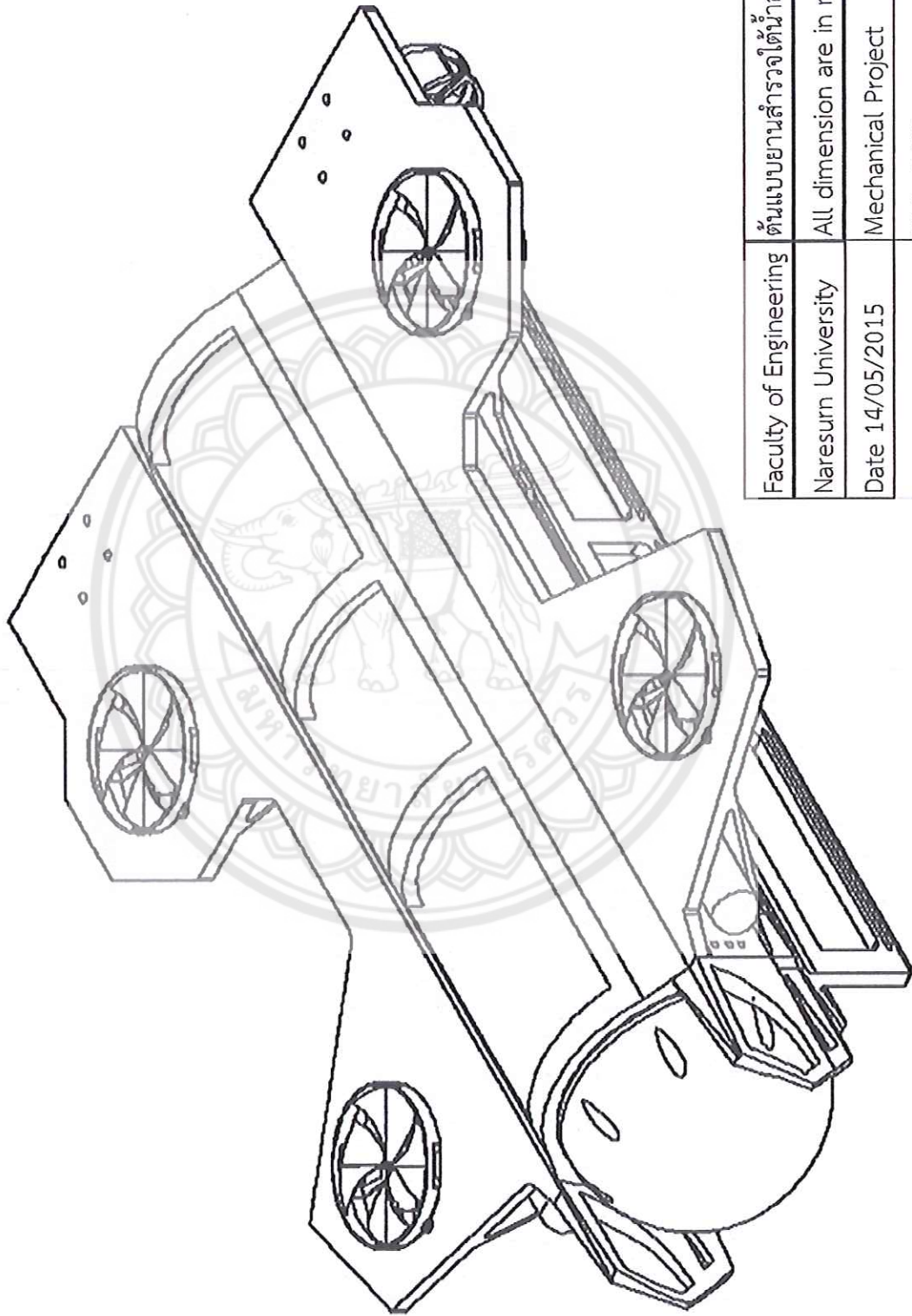


## บรรณานุกรม

- [1]รศ.บรรเลง ศรีนิล,ตารางคู่มืองานโลหะ, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,2554
- [2]Sadraey M., Aircraft Performance Analysis, VDM Verlag Dr. Müller, 2009
- [3]A Textbook for the Students of B.E. / B.Tech.,U.P.S.C. (Engg. Services); Section 'B' of A.M.I.E. (I)] 2005
- [4]Handbook of Electrical Installation Practice, Fourth Edition,Eur Eng Geoffrey Stokes BSc(Hons), CEng, FIEE, FCIBSE,2008
- [5] <http://www.engr.uky.edu/~acfd/me330-lctrs.pdf> (สืบค้นเมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2558)
- [6]<http://francesa.phy.cmich.edu/people/andy/physics110/book/Chapters/Chapter9.htm>(สืบค้นเมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2558)
- [7]<http://library.tru.ac.th/images/academic/book/b48424/07chap02.pdf>(สืบค้นเมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2558)
- [8][http://www.tpa.or.th/writer/read\\_this\\_book\\_topic.php?pageid=5&bookID=1004&read=true&count=true](http://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php?pageid=5&bookID=1004&read=true&count=true)(สืบค้นเมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2558)
- [9]<https://www.google.co.th/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#>(สืบค้นเมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2558)



แบบ(Drawing)ของแบบจำลองยานสำรวจได้น้ำอัตโนมัติ

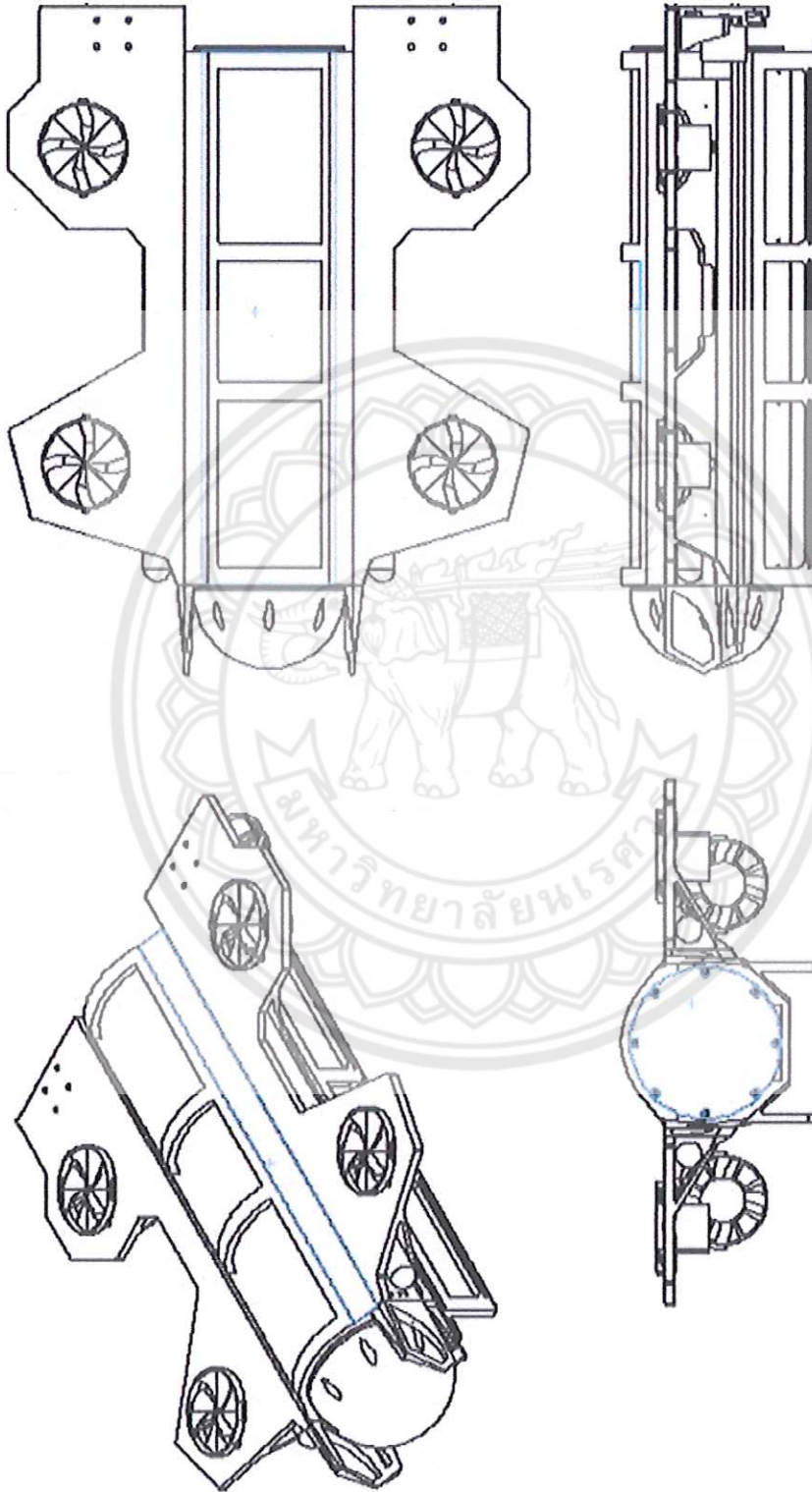


Faculty of Engineering	ต้นแบบยานสำรวจใต้น้ำอัตโนมัติ
Naresuan University	All dimension are in millimetres
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 1/32

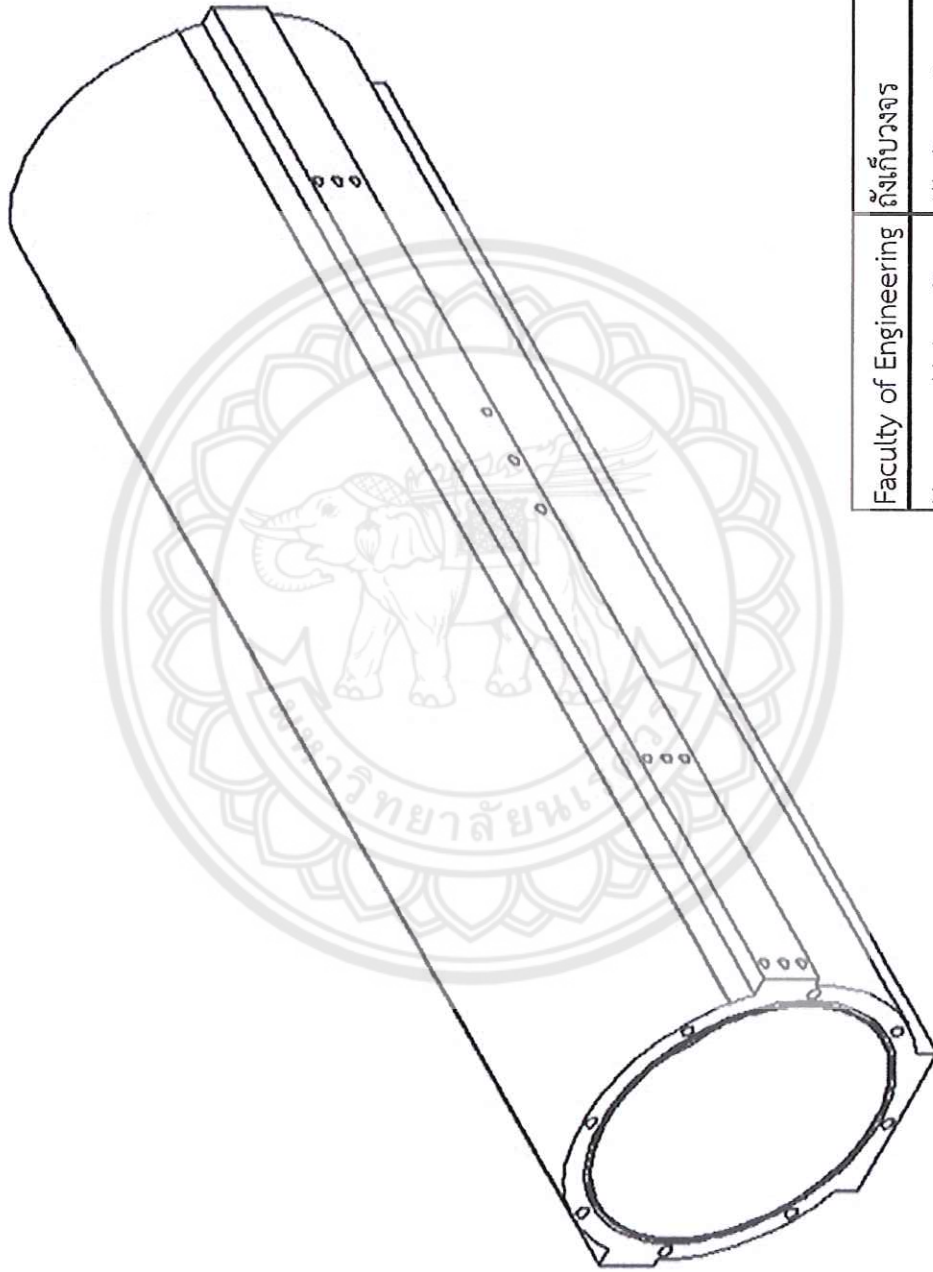
Part List			
Item	Qty	Name	Material
1	6	ตั้งเก็บบางจอร์	Aluminum 5086
2	5	โครงหลัก	Polyethylene
3	6	ปีก	wood balsa
4	5	ขา	Aluminum 5086
5	3	ฝาปิดหน้าและฝาหลัง	Acrylic , Aluminum 5086
6	5	แม่พิมพ์	Polyethylene

Faculty of Engineering	Part List
Naresuan University	-
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 2/32

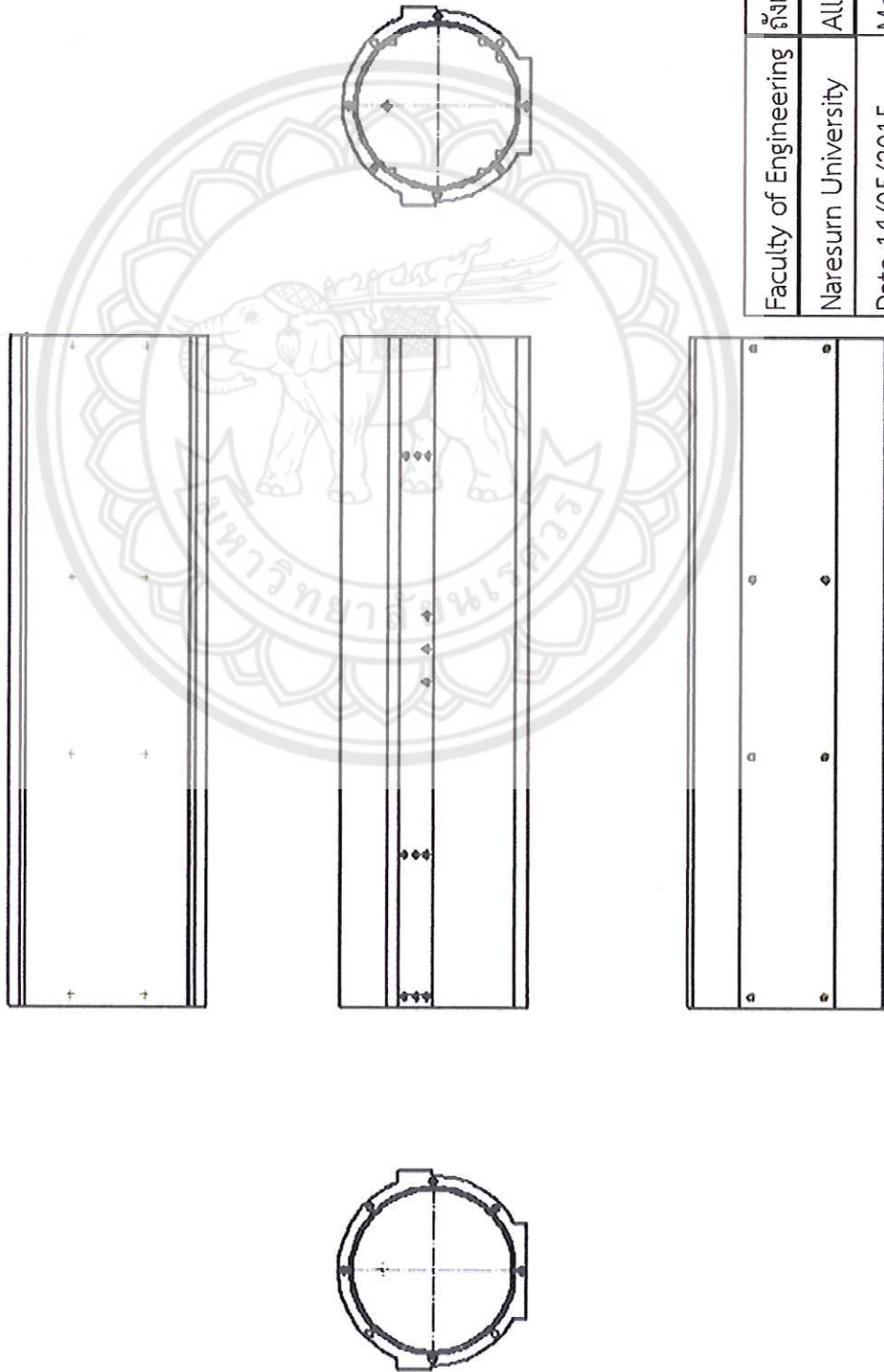




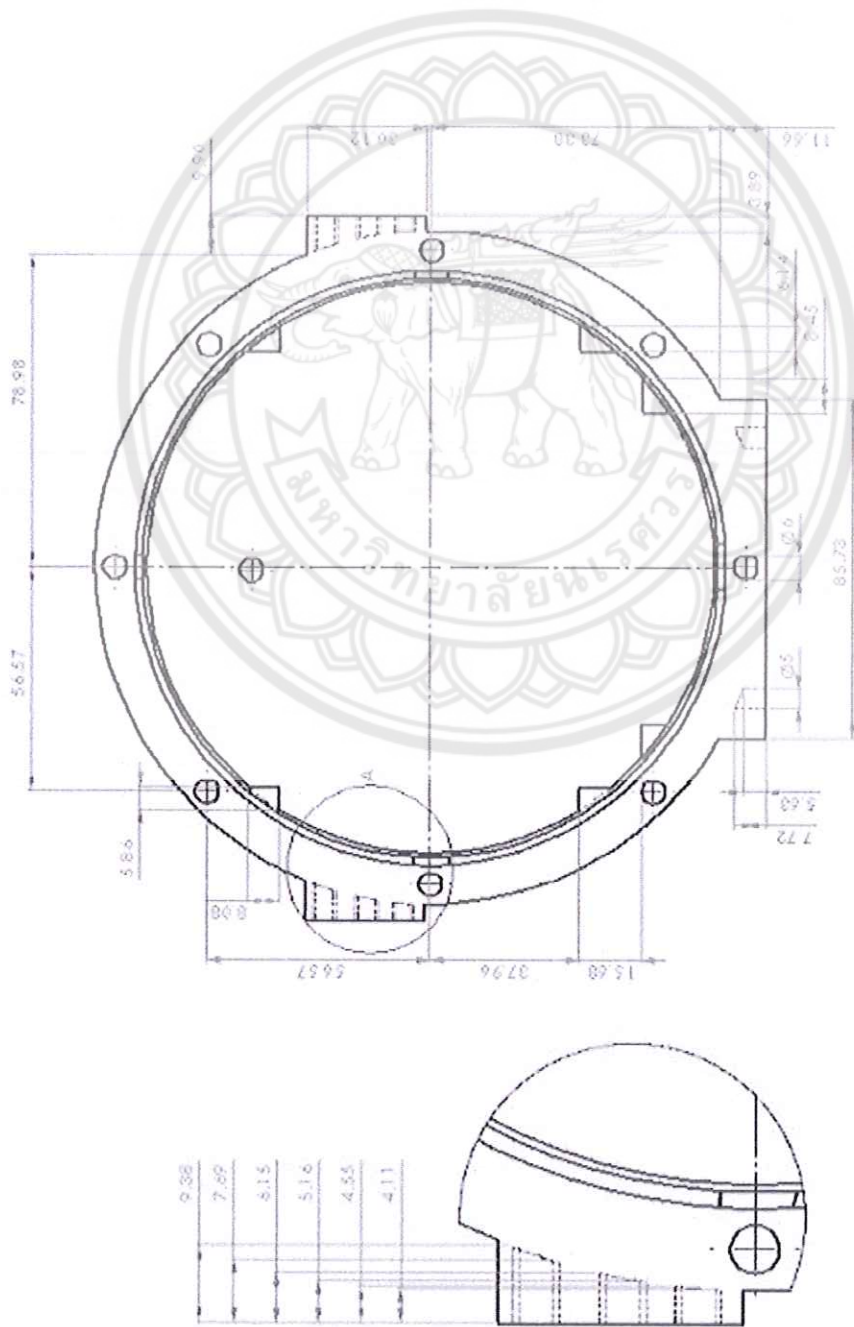
Faculty of Engineering	Faculty of Engineering
Naresuan University	All dimension are in millimetres
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 3/32



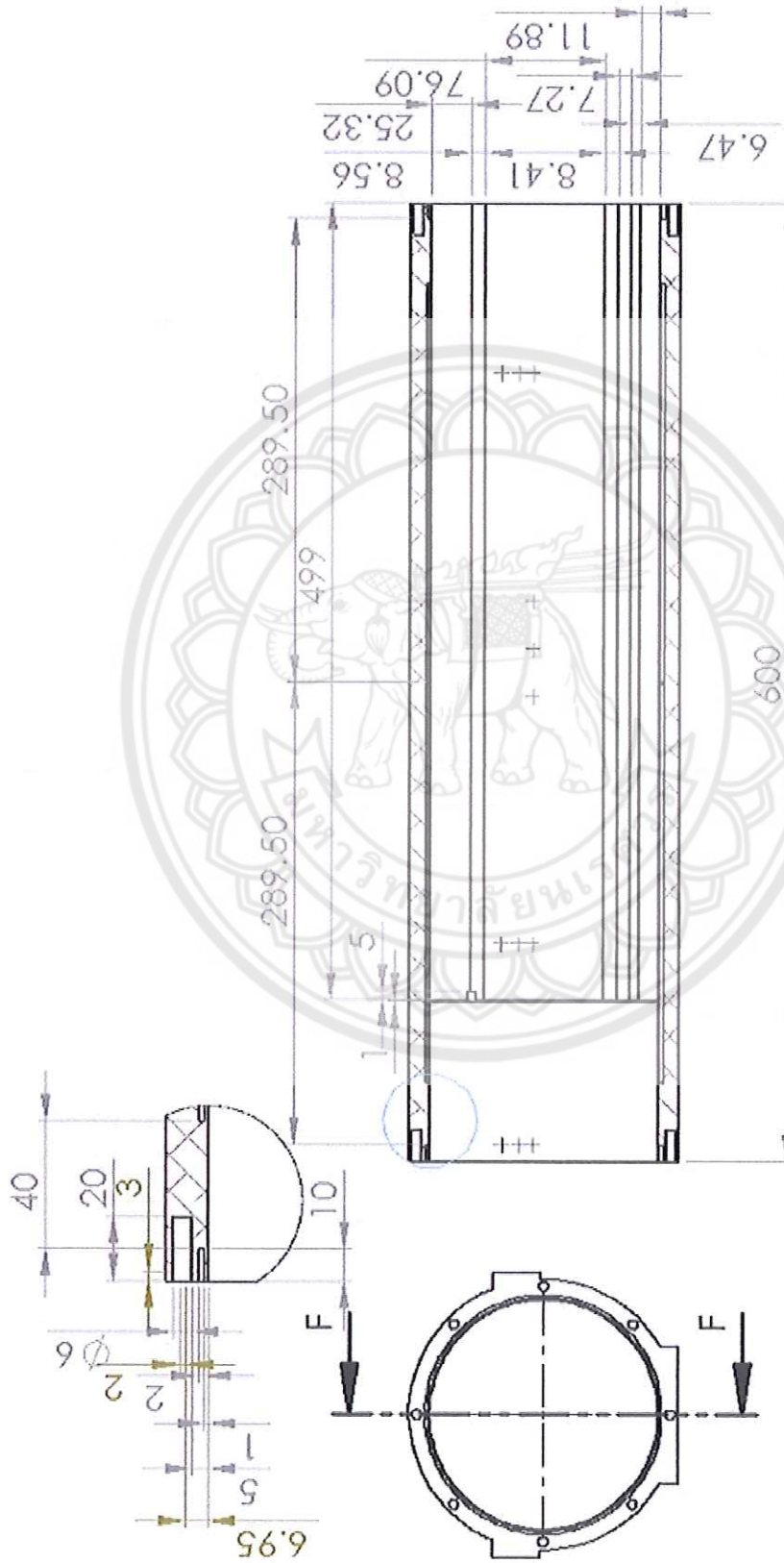
Faculty of Engineering	ตั้งเก็บวงจร
Naresuan University	All dimension are in millimetres
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 4/32



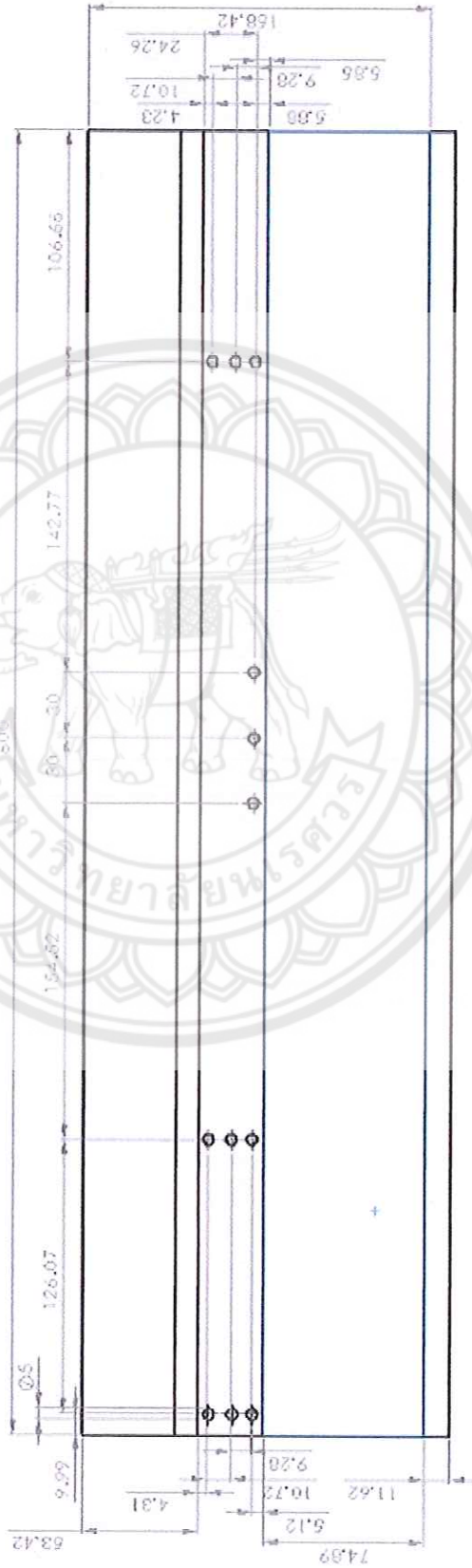
Faculty of Engineering	ถึงแก่บังจอร์
Naresuan University	All dimension are in milimetres
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 5/32



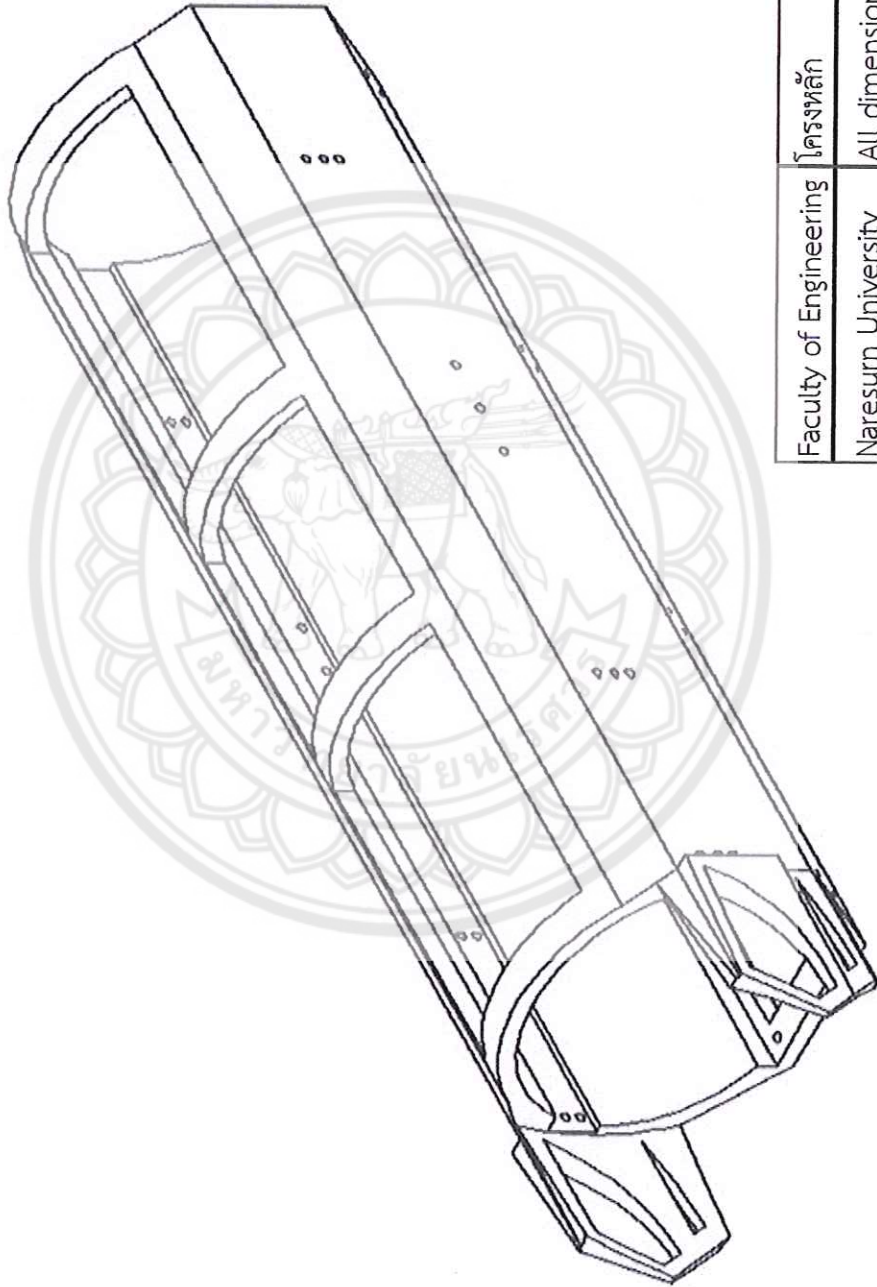
Faculty of Engineering	ตั้งเก็บวงจร
Naresuan University	All dimension are in millimetres
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 6/32



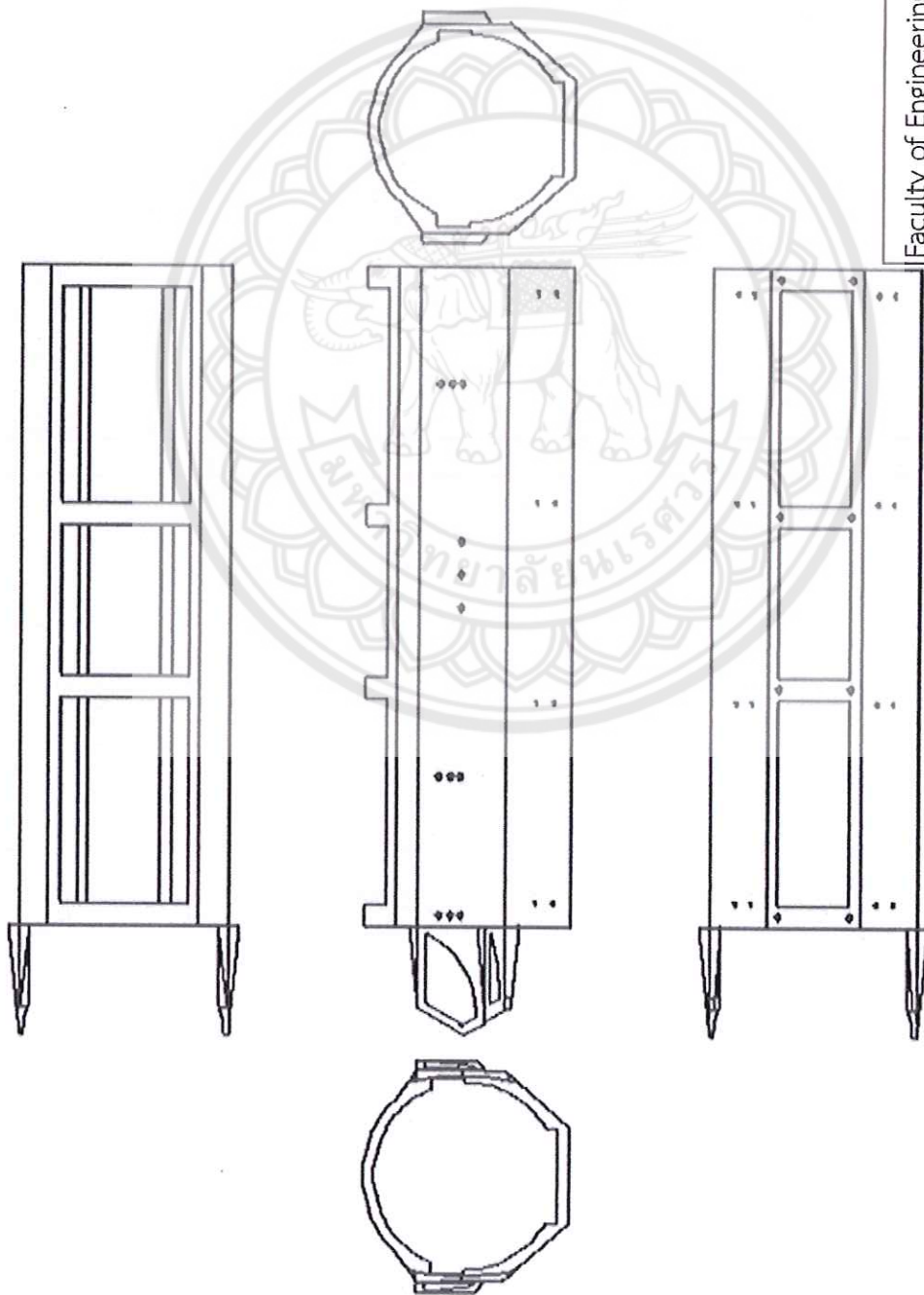
Faculty of Engineering	ตั้งเกียรติวงจร
Naresuan University	All dimension are in millimetres
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 7/32



Faculty of Engineering	ถึงเก็บวงจร
Naresorn University	All dimension are in millimetres
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 8/32

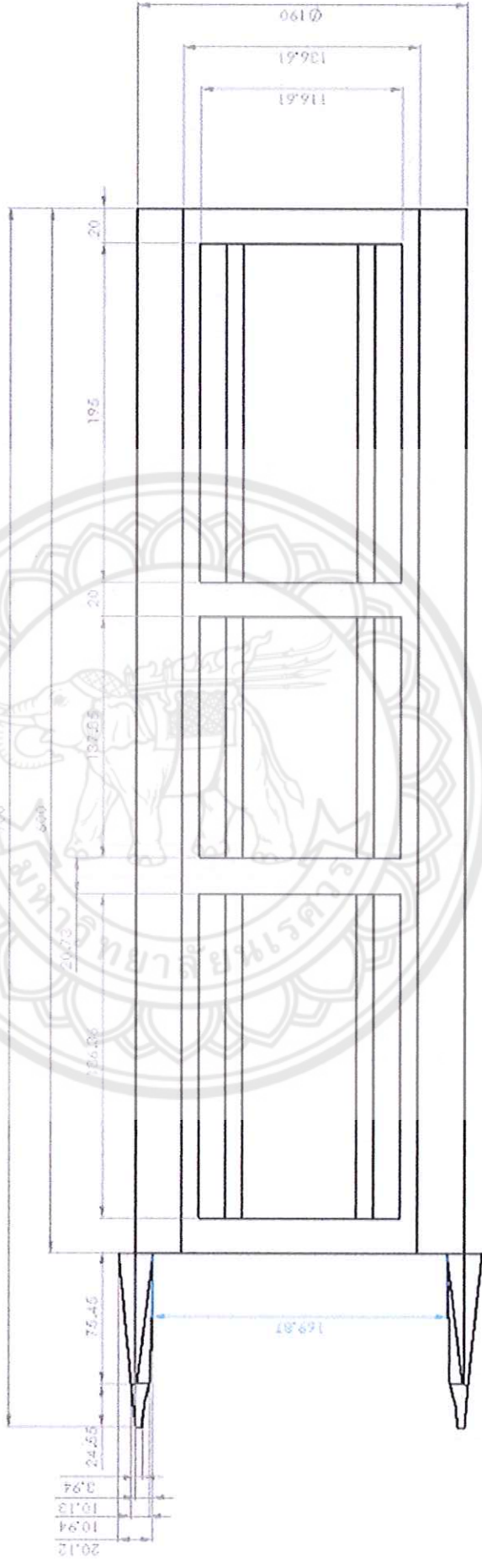


Faculty of Engineering	โครงการ
Naresuan University	All dimension are in milimetres
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 9/32



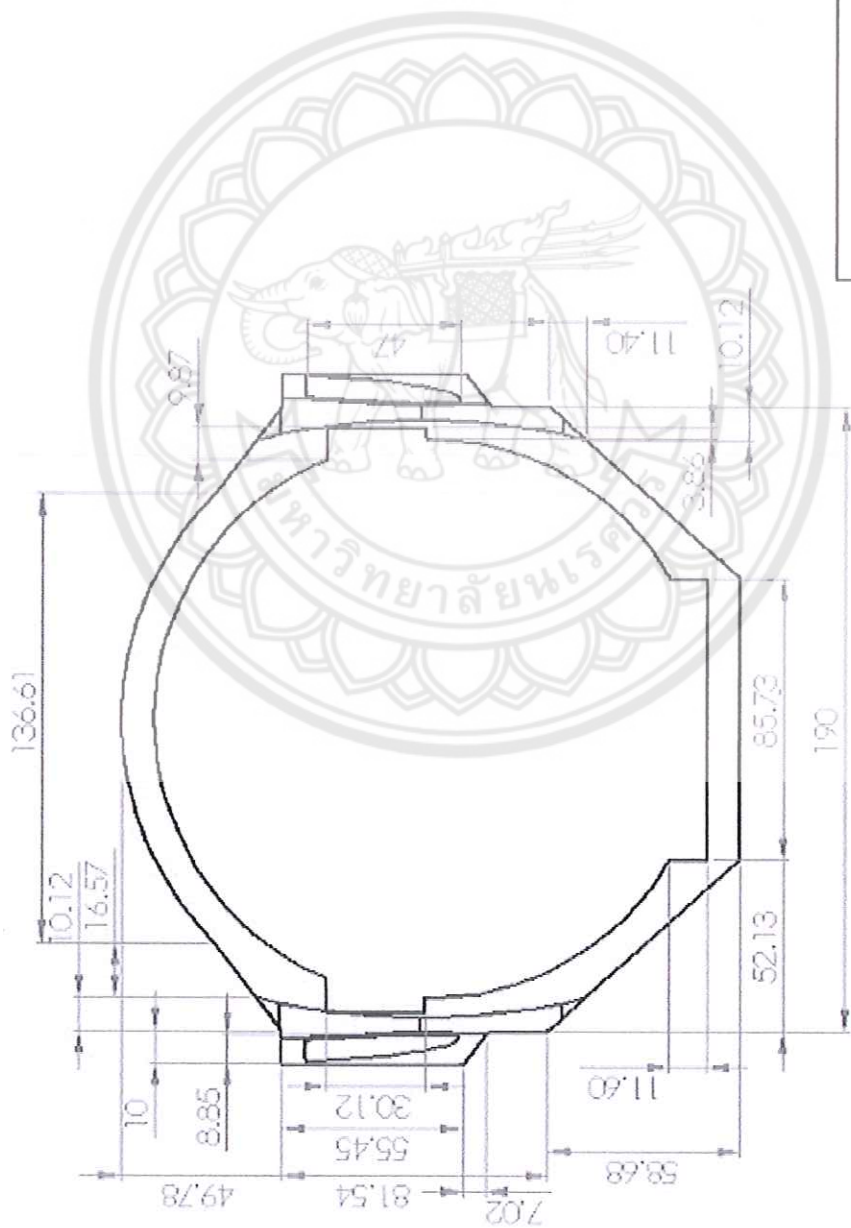
Faculty of Engineering	วิศวกรรมศาสตร์
Naresuan University	All dimension are in millimetres
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 10/32





Faculty of Engineering	โครงการ
Naresuan University	All dimension are in millimetres
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 11/32

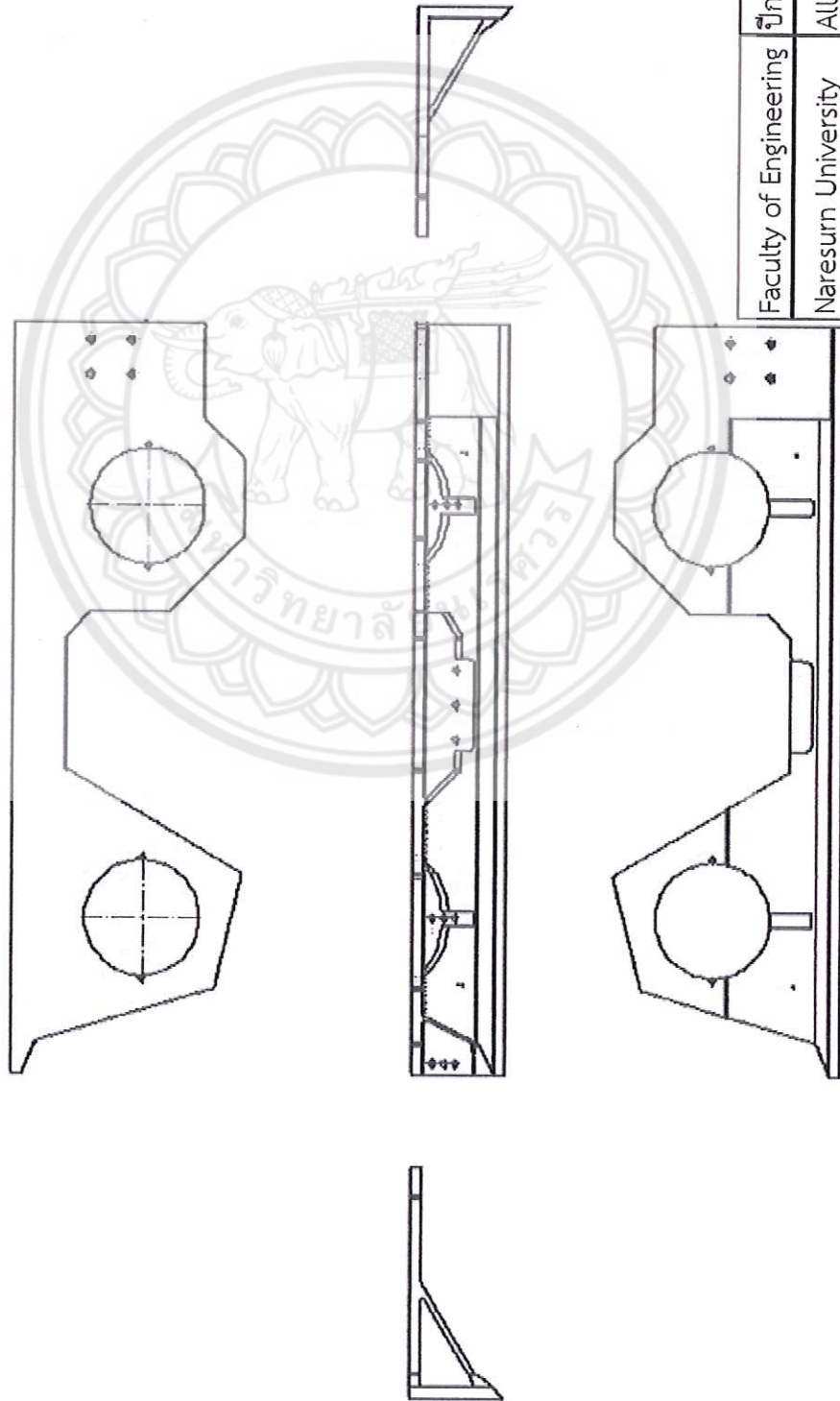




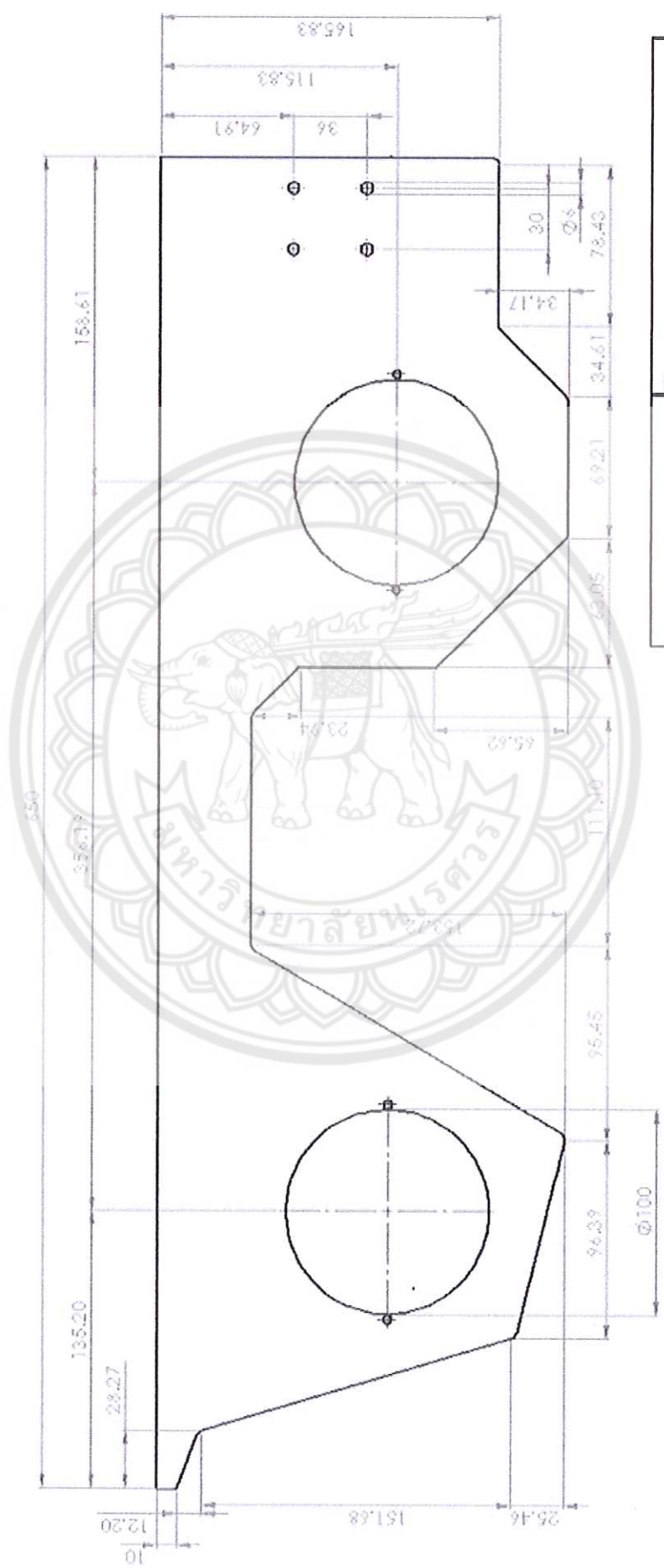
Faculty of Engineering	วิศวกรรมศาสตร์
Naresuan University	มหาวิทยาลัยนเรศวร
Date 14/05/2015	14/05/2015
	โครงการหลัก
	All dimension are in millimetres
	Mechanical Project
	Plate 13/32



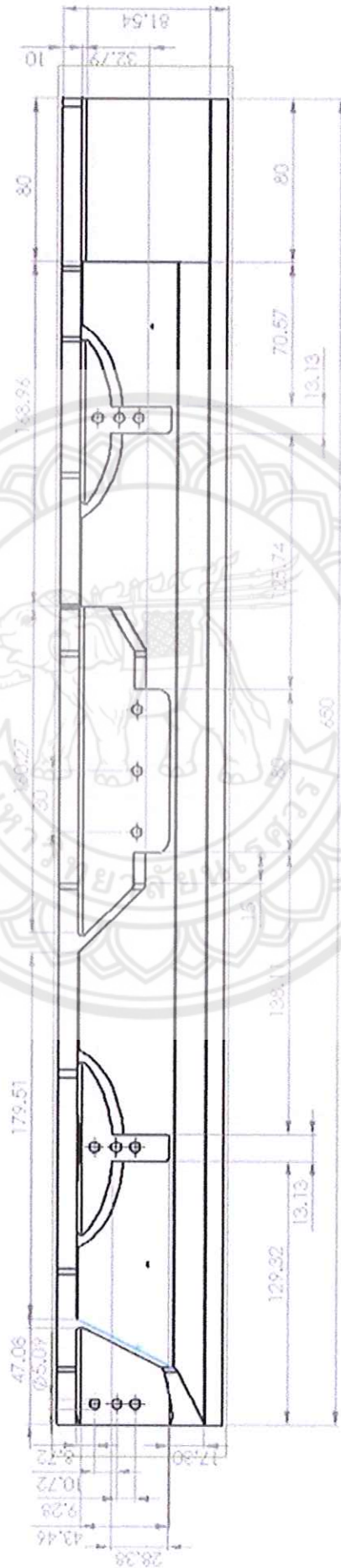
Faculty of Engineering	ubin
Naresuan University	All dimension are in millimetres
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 14/32



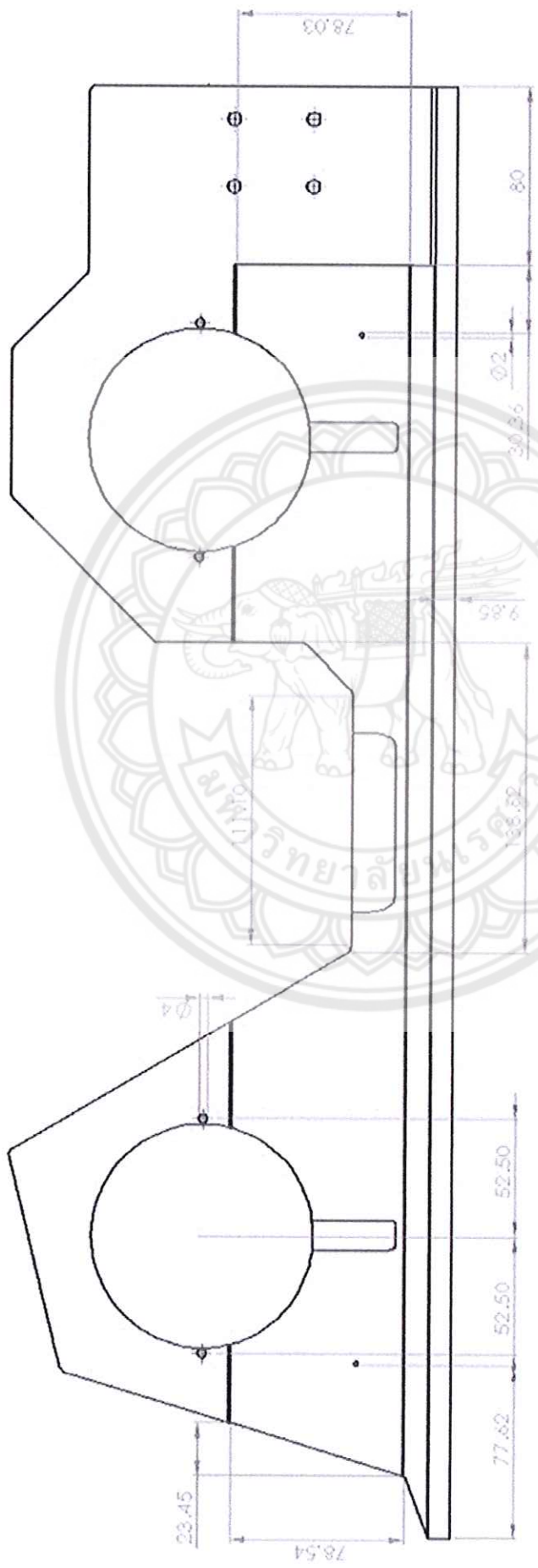
Faculty of Engineering	ฝึก
Naresuan University	All dimension are in millimetres
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 15/32



Faculty of Engineering	ปิ่น
Naresuan University	All dimension are in millimetres
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 16/32

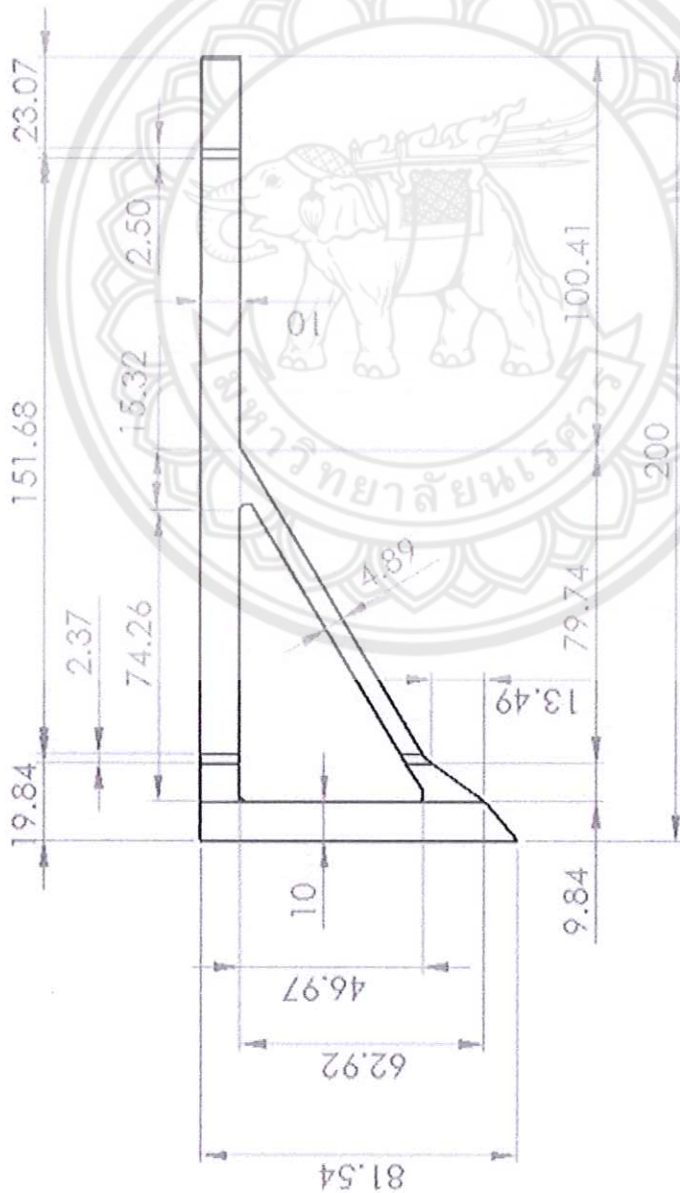


Faculty of Engineering	บัณฑิต
Naresuan University	All dimension are in millimetres
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 17/32

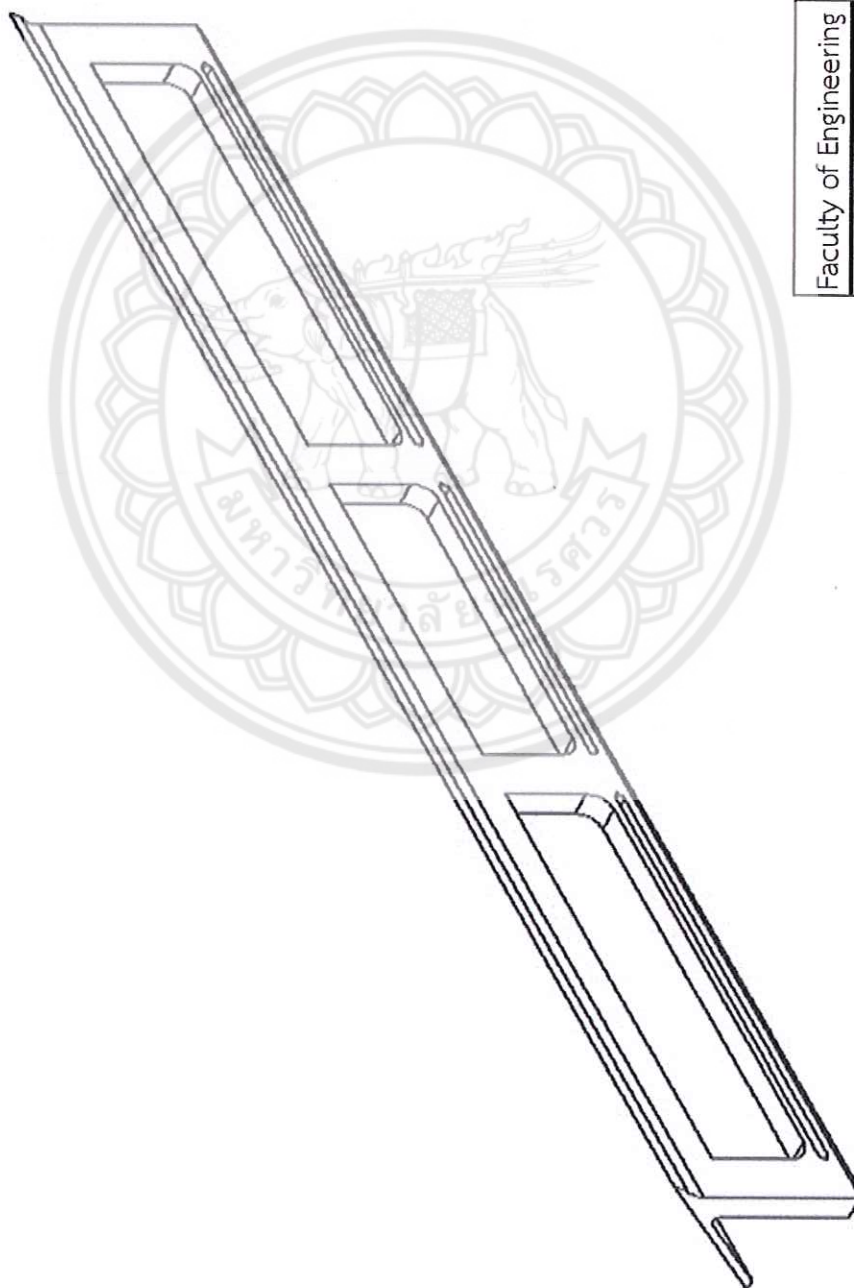


Faculty of Engineering	ฝึก
Naresuan University	All dimension are in milimetres
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 18/32

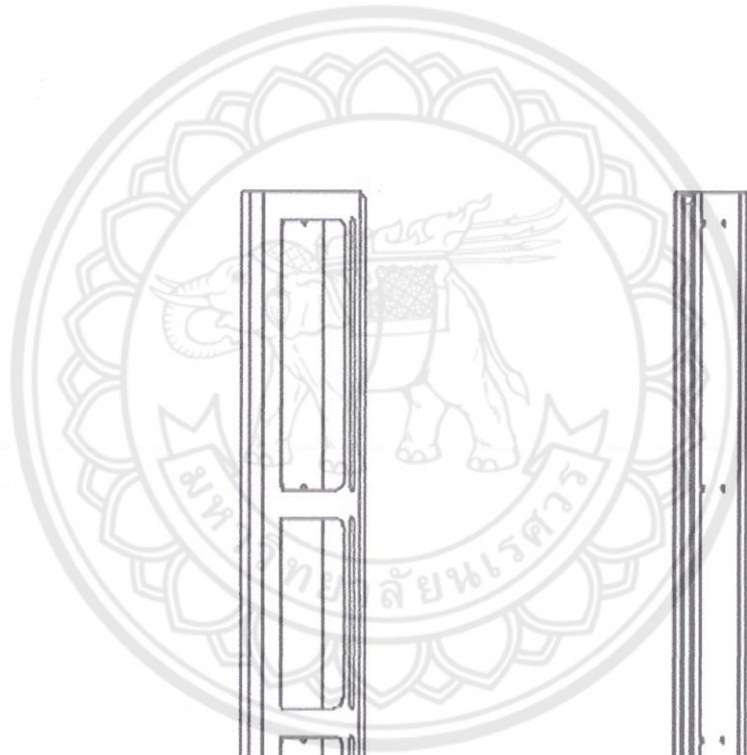




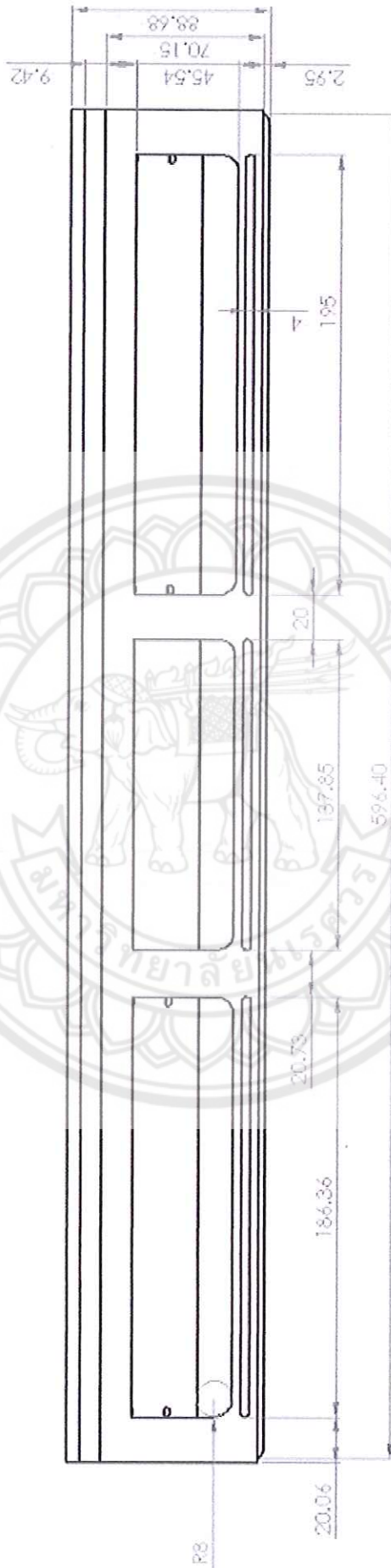
Faculty of Engineering	ฝึก
Naresuan University	All dimension are in milimetres
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 19/33



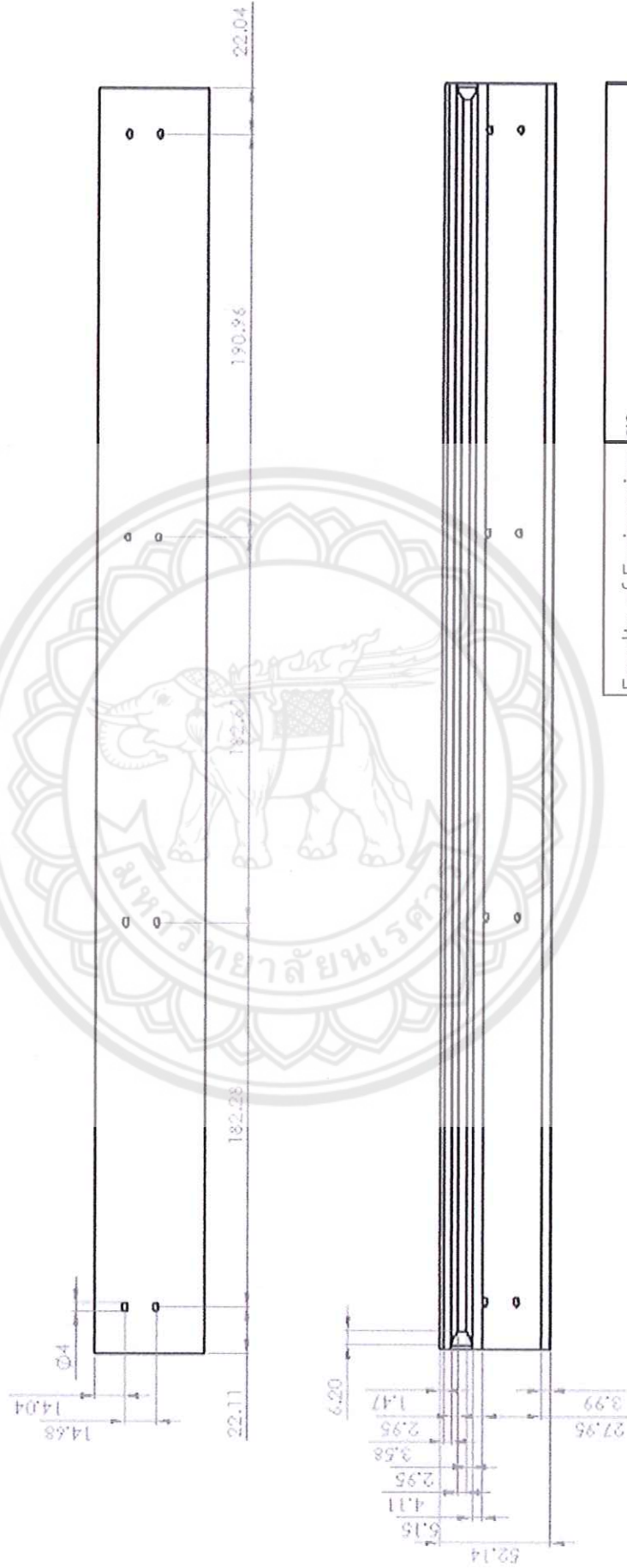
Faculty of Engineering	๗๗
Naresuan University	All dimension are in millimetres
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 20/32



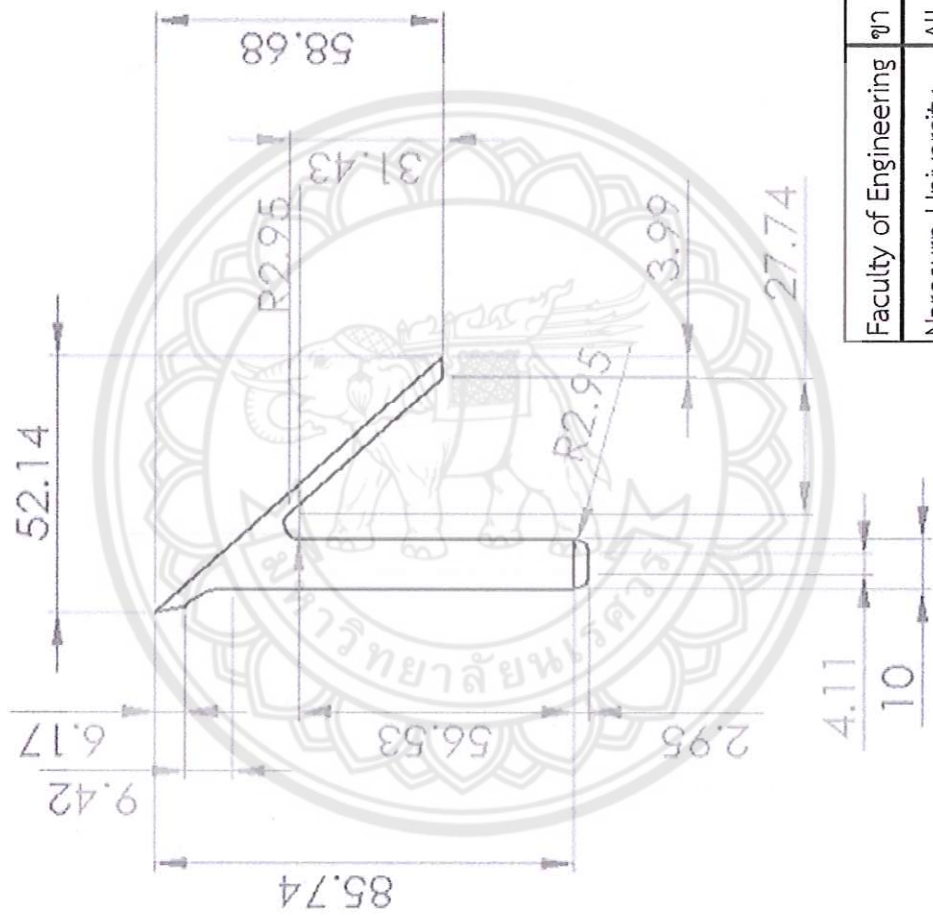
Faculty of Engineering	๗๓
Naresuan University	All dimension are in millimetres
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 21/33



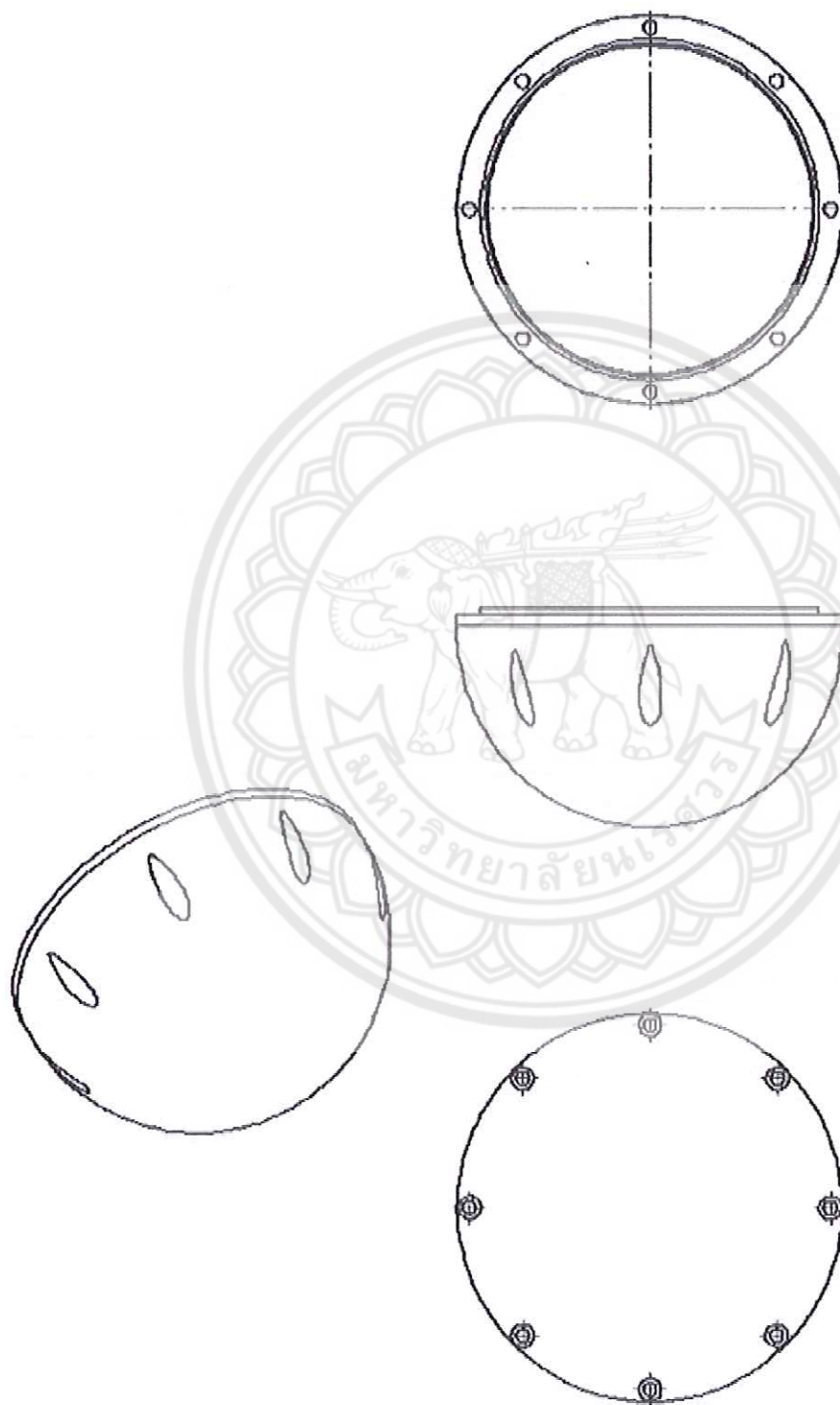
Faculty of Engineering	๗๗
Naresuan University	All dimension are in millimetres
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 22/32



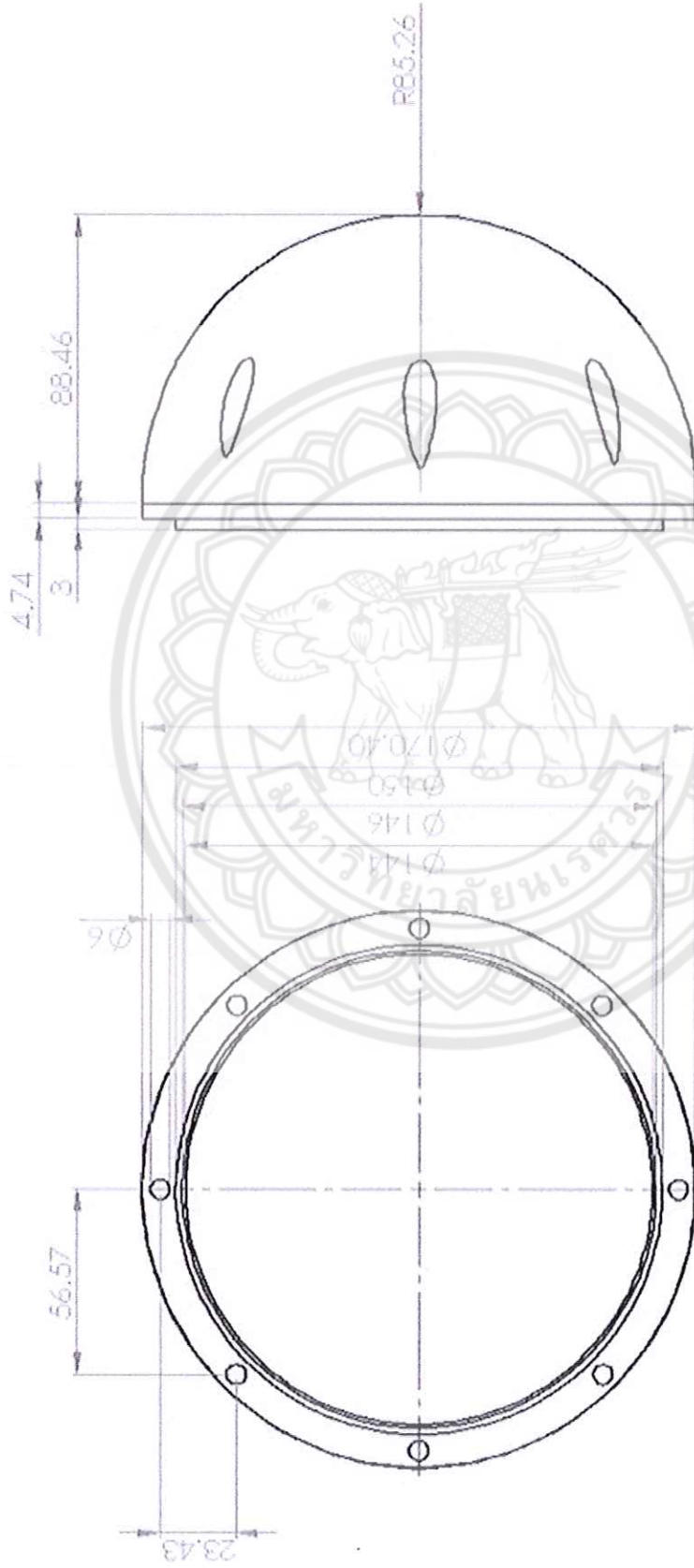
Faculty of Engineering	๗๓
Naresuan University	All dimension are in millimetres
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 23/32



Faculty of Engineering	๗๗
Naresuan University	All dimension are in millimetres
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 24/32

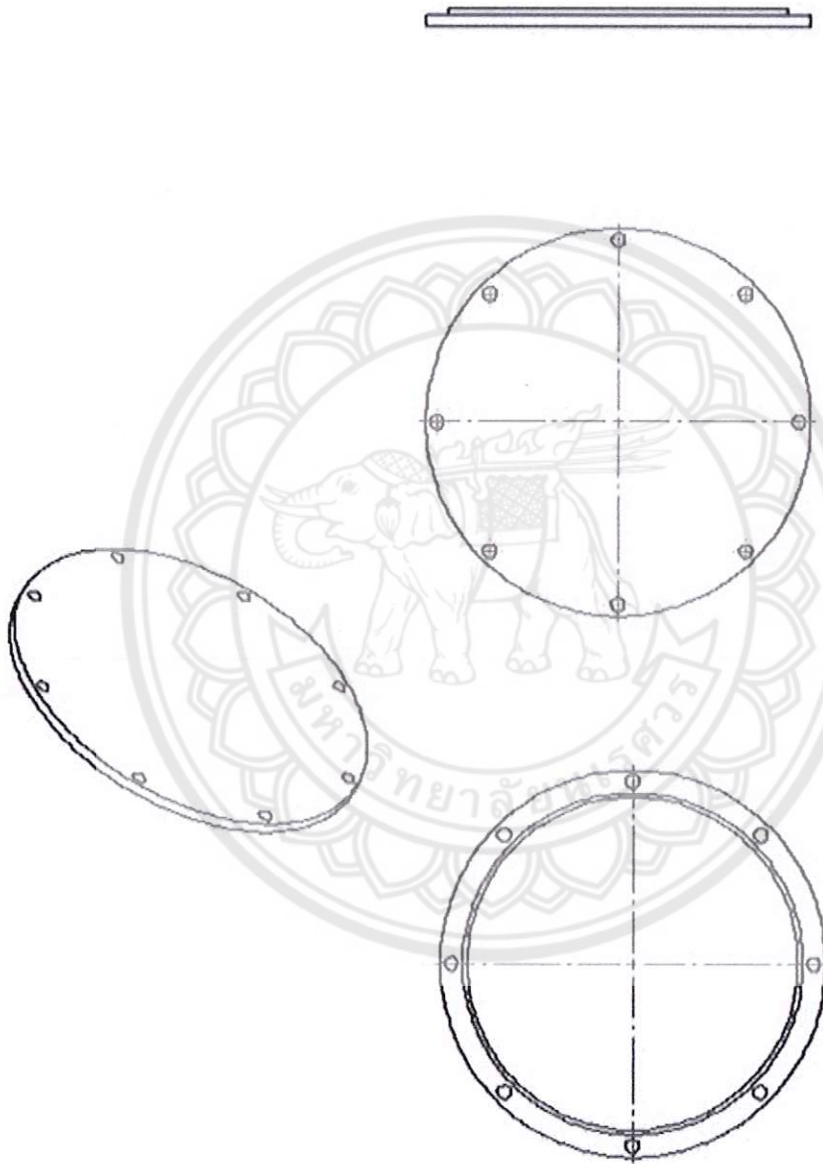


Faculty of Engineering	ไฟฟ้าหน้าและฟ้าหลัง
Naresuan University	All dimension are in millimetres
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 25/32

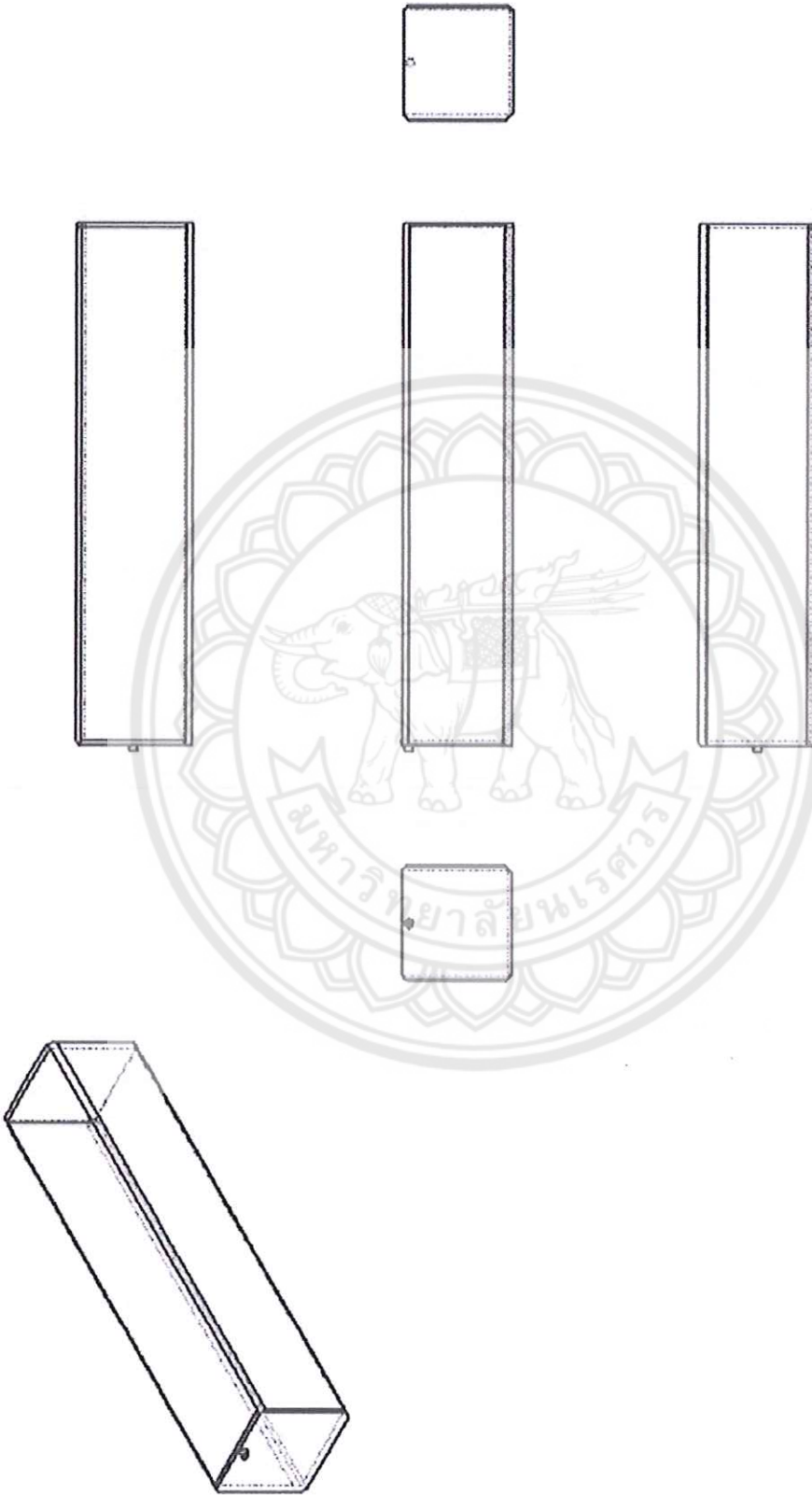


Faculty of Engineering	ภาปิดหน้าและฟาทลิ่ง
Naresurn Universtity	All dimention are in millimetres
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 26/32

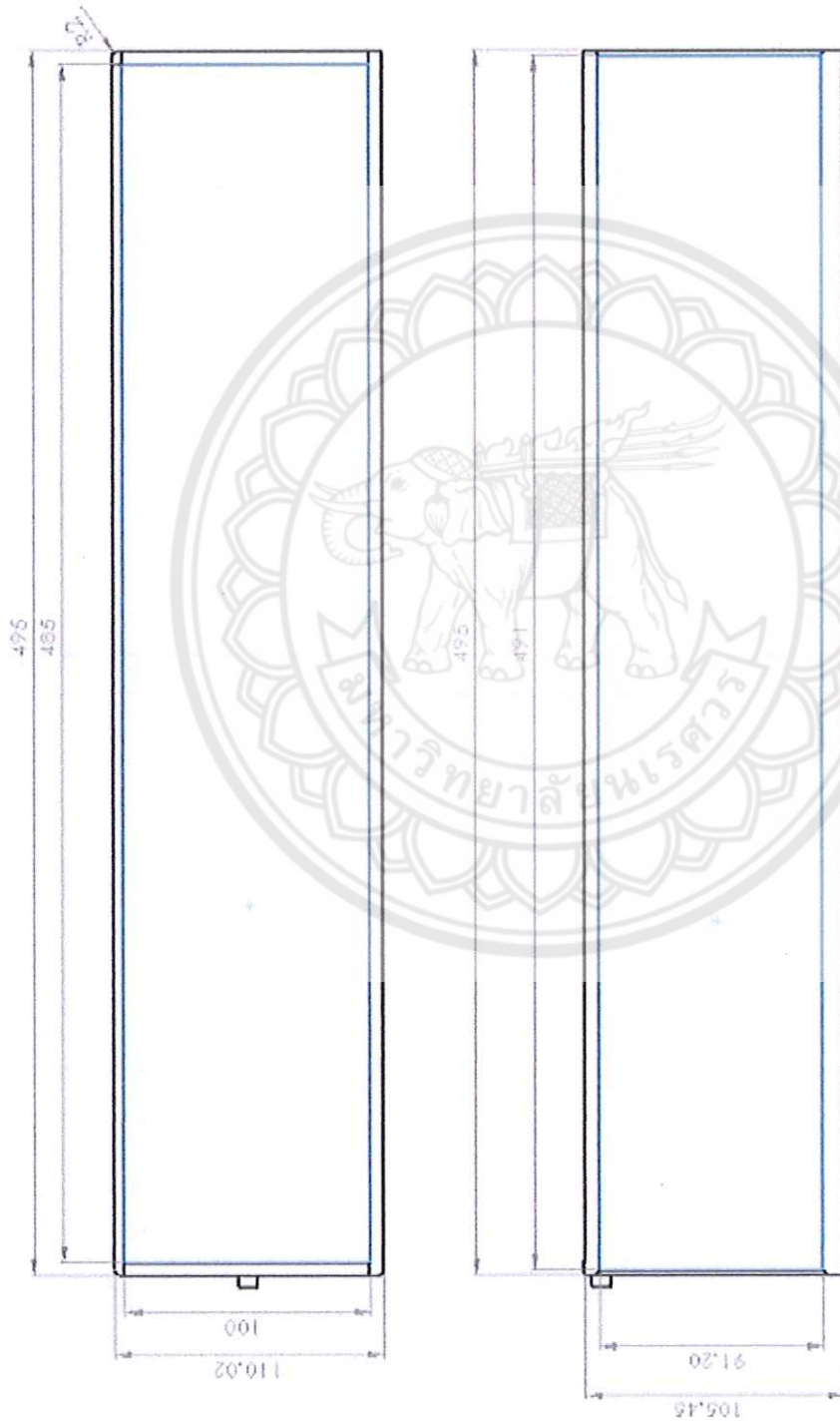




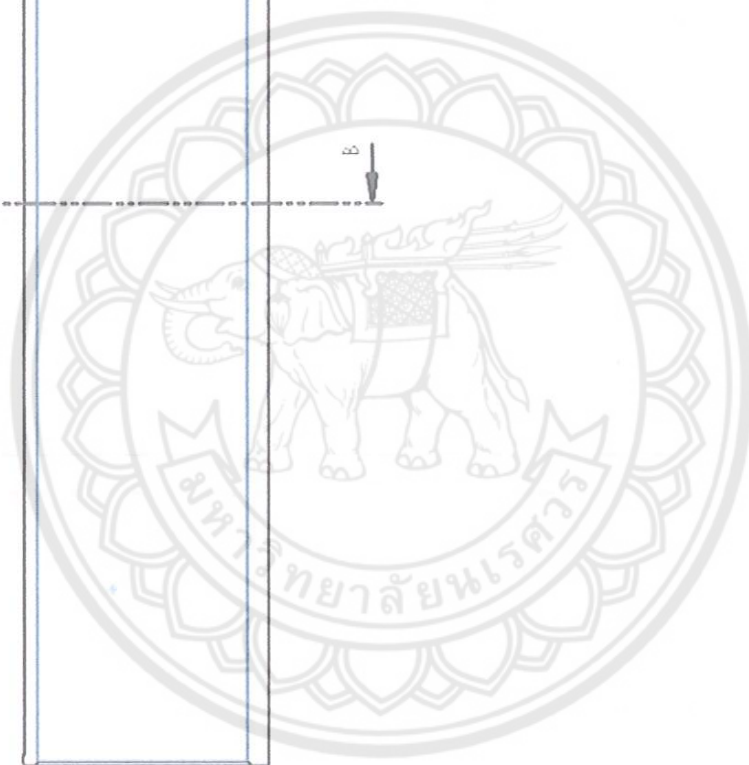
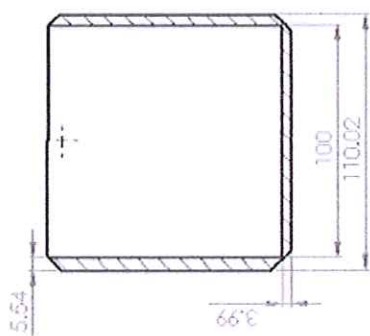
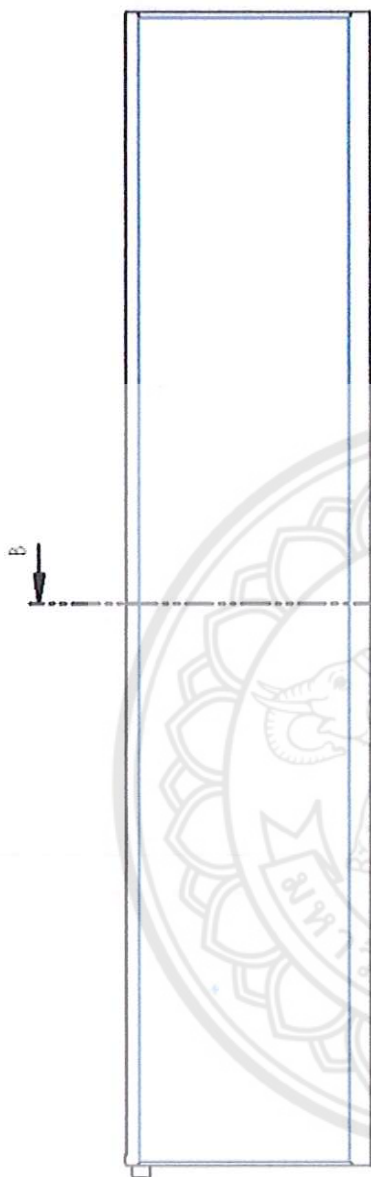
Faculty of Engineering	ภาพิตหน้าและฟาหลัง
Naresum University	All dimension are in milimetres
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 27/32



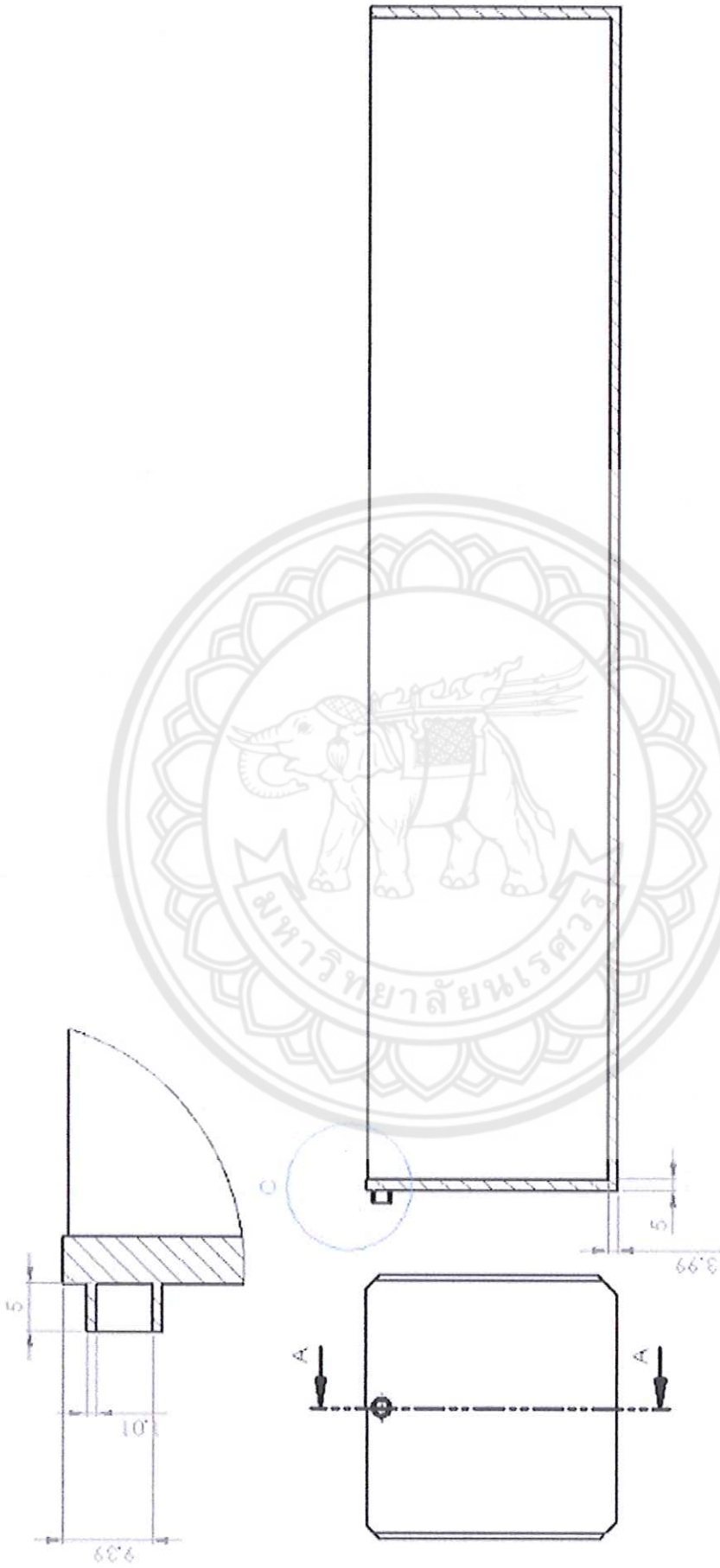
Faculty of Engineering	แม็กกาซีน
Naresuan University	All dimension are in millimetres
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 28/32



Faculty of Engineering	แม็กกาซีน
Naresuan University	All dimension are in milimetres
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 29/32

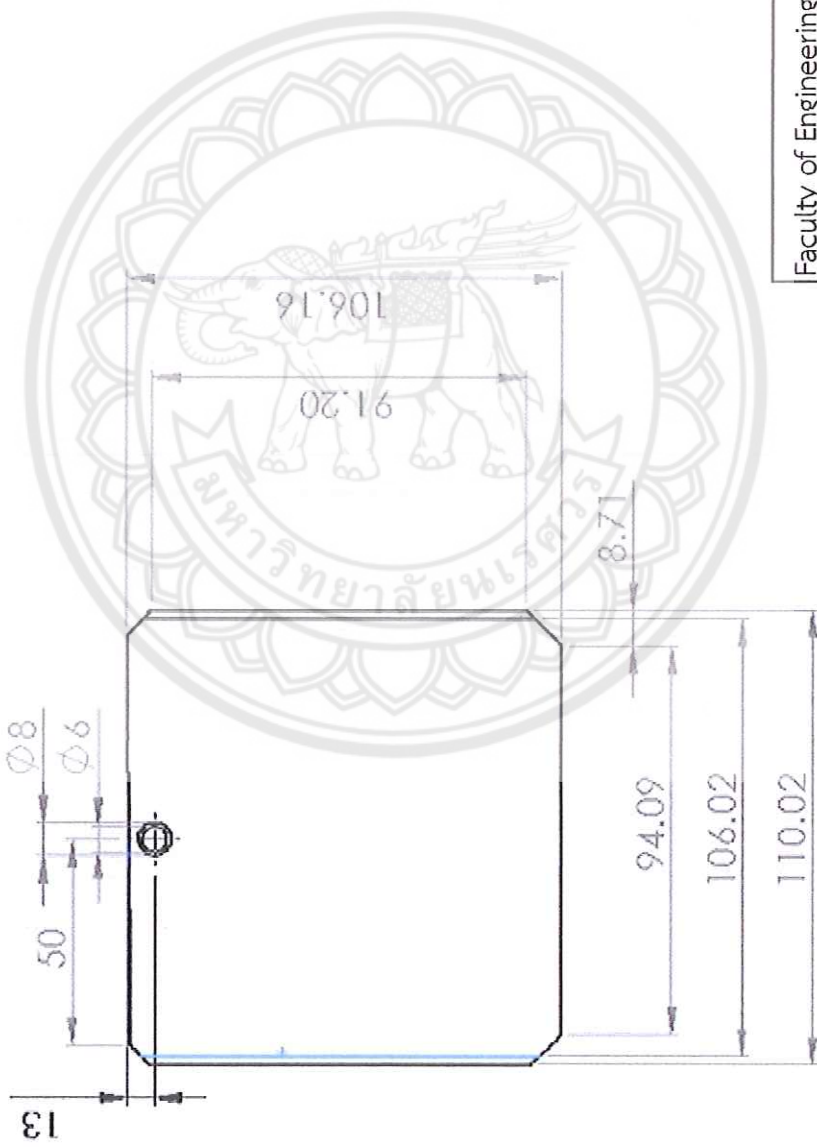


Faculty of Engineering	แม็กกาซีน
Naresuan University	All dimension are in milimetres
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 30/32



Faculty of Engineering	แม็กกาซีน
Naresuan University	All dimension are in milimetres
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 31/32







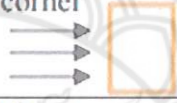





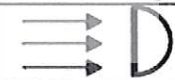




Faculty of Engineering	แม็กกาซีน
Naresuan University	All dimension are in milimetres
Date 14/05/2015	Mechanical Project
	Plate 32/32



ตารางที่ ข.1 Drag coefficient values for various geometries and shapes

No	Body	Status	Shape	$C_D$
1	Square rod	Sharp corner		2.2
		Round corner		1.2
2	Circular rod	Laminar flow		1.2
		Turbulent flow		0.3
3	Equilateral triangular rod	Sharp edge face		1.5
		Flat face		2
4	Rectangular rod	Sharp corner	 L/D = 0.1	1.9
			L/D = 0.5	2.5
			L/D = 3	1.3
		Round front edge	 L/D = 0.5	1.2
			L/D = 1	0.9
			L/D = 4	0.7
5	Elliptical rod	Laminar flow	 L/D = 2	0.6
			L/D = 8	0.25
		Turbulent flow	L/D = 2	0.2
			L/D = 8	0.1
6	Symmetrical shell	Concave face		2.3
		Convex face		1.2
7	Semicircular rod	Concave face		1.2
		Flat face		1.7

(ที่มา Sadraey M., Aircraft Performance Analysis, VDM Verlag Dr. Müller, 2009)

























ตารางที่ ข.1 Drag coefficient values for various geometries and shapes (ต่อ)

No	Body	Laminar/turbulent	Status	$C_D$
1	Cube	$Re > 10,000$		1.05
2	Thin circular disk	$Re > 10,000$		1.1
3	Cone ( $\theta = 30^\circ$ )	$Re > 10,000$		0.5
4	Sphere	Laminar $Re \leq 2 \times 10^5$		0.5
		Turbulent $Re \geq 2 \times 10^6$		0.2
5	Ellipsoid	Laminar $Re \leq 2 \times 10^5$		0.3-0.5
		Turbulent $Re \geq 2 \times 10^6$		0.1-0.2
6	Hemisphere	$Re > 10,000$	Concave face	0.4
		$Re > 10,000$	Flat face	1.2
7	Rectangular plate	$Re > 10,000$	Normal to the flow	1.1 - 1.3
8	Vertical cylinder	$Re \leq 2 \times 10^5$	$L/D = 1$	0.6
			$L/D = \infty$	1.2
9	Horizontal cylinder	$Re > 10,000$	$L/D = 0.5$	1.1
			$L/D = 8$	1
10	Parachute	Laminar flow		1.3

(ที่มา Sadraey M., Aircraft Performance Analysis, VDM-Verlag Dr. Müller, 2009)

ตารางที่ ข.2 Drag on basic shapes with laminar flow

SHAPE	REF.	$C_{D_0}$	SHAPE	REF.	$C_{D_0}$
		0.47 <sub>y</sub>		—	1.17 <sub>y</sub>
	(c)	0.38		(a)	1.20
	(c)	0.42		(g)	1.16
	(e)	0.59 <sub>y</sub>		(d)	1.60 <sub>y</sub>
	(f)	0.80 <sub>y</sub>		(e)	1.55
	(d)	0.50		(a)	1.55
		1.17			1.98
	(c)	1.17		(a)	2.00
	(b)	1.42		(a)	2.30
	(a)	1.38		(b)	2.20
	(f)	1.05 <sub>y</sub>		(a)	2.05 <sub>y</sub>

(ที่มา Sadraey M., Aircraft Performance Analysis, VDM Verlag Dr. Müller, 2009)

### ตารางที่ ข.3 Average properties of common Engineering Materials

SI Units											
Material	Density, Mg/m <sup>3</sup>	Ultimate strength, MPa			Yield strength, <sup>1</sup> MPa		Modulus of elasticity, GPa	Modulus of rigidity, GPa	Coefficient of thermal expansion, 10 <sup>-6</sup> /°C	Elongation in 50 mm, %	Poisson's ratio
		Tension	Compression**	Shear	Tension	Shear					
Steel											0.27-0.3
Structural, ASTM-A36	7.86	400	—	—	250	145	200	79	11.7	30	
High strength, ASTM-A242	7.86	480	—	—	345	210	200	79	11.7	21	
Stainless (302), cold rolled	7.92	860	—	—	520	—	190	73	17.3	12	
Cast iron											0.2-0.3
Gray, ASTM A-48	7.2	170	650	240	—	—	70	28	12.1	0.5	
Malleable, ASTM A-47	7.3	340	620	330	250	—	165	64	12.1	10	
Wrought iron	7.7	350	—	240	210	130	190	70	12.1	35	0.3
Aluminium											0.33
Alloy 2014-T6	2.8	480	—	290	410	220	72	28	23	13	
Alloy 6061-T6	2.71	300	—	185	260	140	70	26	23.6	17	
Brass, yellow											0.34
Cold rolled	8.47	540	—	300	435	250	105	39	20	8	
Annealed	8.47	330	—	220	105	65	105	39	20	60	
Bronze, cold rolled (510)	8.86	560	—	—	520	275	110	41	17.8	10	0.34
Copper, hard drawn	8.86	380	—	—	260	160	120	40	16.8	4	0.33
Magnesium alloys	1.8	140-340	—	165	80-280	—	45	17	27	2-20	0.35
Nickel	8.08	310-760	—	—	140-620	—	210	80	13	2-50	0.31
Titanium alloys	4.4	900-970	—	—	760-900	—	100-120	19-44	8-10	10	0.33
Zinc alloys	6.6	280-390	—	—	210-320	—	83	31	27	1-10	0.33
Concrete											0.1-0.2
Medium strength	2.32	—	28	—	—	—	24	—	10	—	
High strength	2.32	—	40	—	—	—	30	—	10	—	
Timber <sup>3</sup> (air dry)											
Douglas fir	0.54	—	55	2.6	—	—	12	—	4	—	
Southern pine	0.55	—	60	10	—	—	11	—	4	—	
Glass, 98% silica	2.19	—	50	—	—	—	65	28	80	—	0.2-0.27
Graphite	0.77	20	240	35	—	—	70	—	7	—	
Rubber	0.91	14	—	—	—	—	—	—	162	600	0.45-0.5

\*Properties may vary widely with changes in composition, heat treatment, and method of manufacture.

\*\*For ductile metals the compression strength is assumed to be the same as that in tension.

<sup>1</sup>Offset of 0.2%.

<sup>3</sup>Loaded parallel to the grain.

(ที่มา A Textbook for the Students of B.E. / B.Tech., U.P.S.C. (Engg. Services);  
Section 'B' of A.M.I.E. (I)] 2005)

## ตารางที่ ข.4 mechanical properties of grey cast iron

U.S. Customary Units

Material	Specific weight, lb/in. <sup>3</sup>	Ultimate strength, ksi			Yield strength, <sup>1</sup> ksi		Modulus of elasticity, 10 <sup>6</sup> psi	Modulus of rigidity, 10 <sup>6</sup> psi	Coefficient of thermal expansion, 10 <sup>-6</sup> /F	Elongation in 2 in., %	Poisson's ratio
		Tension	Compression**	Shear	Tension	Shear					
Steel											0.27-0.3
Structural, ASTM-A36	0.284	58	—	—	36	21	29	11.5	6.5	30	
High strength, ASTM-A242	0.284	70	—	—	50	30	29	11.5	6.5	21	
Stainless (302), cold rolled	0.286	125	—	—	75	—	28	10.6	9.6	12	
Cast iron											0.2-0.3
Gray, ASTM-A-48	0.260	25	95	35	—	—	10	4.1	6.7	0.5	
Malleable, ASTM-A-47	0.264	50	90	48	33	—	24	9.3	6.7	10	
Wrought iron	0.278	50	—	35	30	18	27	10	6.7	35	0.3
Aluminum											0.33
Alloy 2014-T6	0.101	70	—	42	60	32	10.6	4.1	12.8	13	
Alloy 6061-T6	0.098	43	—	27	38	20	10.0	3.8	13.1	17	
Brass, yellow											0.34
Cold rolled	0.306	78	—	43	63	36	15	5.6	11.3	8	
Annealed	0.306	48	—	32	15	9	15	5.6	11.3	60	
Bronze, cold rolled (510)	0.320	81	—	—	75	40	16	5.9	9.9	10	0.34
Magnesium alloys	0.065	20-49	—	—	11-40	—	6.5	2.4	15	2-20	0.35
Copper, hard drawn	0.320	55	—	—	38	23	17	6	9.3	4	0.33
Nickel	0.320	45-110	—	—	20-90	—	30	11.4	7.2	2-50	0.31
Titanium alloys	0.160	130-140	—	—	110-130	—	15-17	5.6-6.4	4.5-5.5	10	0.33
Zinc alloys	0.240	40-57	—	—	30-46	—	12	4.5	15	1-10	0.33
Concrete											0.1-0.2
Medium strength	0.084	4	—	—	—	—	3.5	—	5.5	—	
High strength	0.084	6	—	—	—	—	4.3	—	5.5	—	
Timber <sup>3</sup> (air dry)											
Douglas fir	0.020	—	7.9	1.1	—	—	1.7	—	2.2	—	
Southern pine	0.021	—	8.6	1.4	—	—	1.6	—	2.2	—	
Glass, 98% silica	0.079	—	7	—	—	—	9.6	4.1	44	—	0.2-0.27
Graphite	0.028	1	35	5	—	—	10	—	3.9	—	
Rubber	0.033	2	—	—	—	—	—	—	90	600	0.45-0.5

\*Properties may vary widely with changes in composition, heat treatment, and method of manufacture.

\*\*For ductile metals the compression strength is assumed to be the same as that in tension.

<sup>1</sup>Offset of 0.2%.

<sup>3</sup>Loaded parallel to the grain.

(ที่มา A Textbook for the Students of B.E. / B.Tech., U.P.S.C. (Engg. Services);  
Section 'B' of A.M.I.E. (I) 2005)

ตารางที่ ข.4 mechanical properties of grey cast iron (ต่อ)

ASTM class*	Ultimate strength $S_u$ , MPa	Compressive strength $S_{uc}$ , MPa	Modulus of elasticity, GPa		Brinell hardness $H_B$	Fatigue stress concentration factor $K_f$
			Tension	Torsion		
20	150	575	66–97	27–39	156	1.00
25	180	670	79–102	32–41	174	1.05
30	215	755	90–113	36–45	201	1.10
35	250	860	100–120	40–48	212	1.15
40	295	970	110–138	44–54	235	1.25
50	365	1135	130–157	50–54	262	1.35
60	435	1295	141–162	54–59	302	1.50

\*Minimum values of  $S_u$  (in ksi) are given by the class number.

Note: To convert from MPa to ksi, divide given values by 6.895.

(ที่มา A Textbook for the Students of B.E. / B.Tech., U.P.S.C. (Engg. Services);  
Section 'B' of A.M.I.E. (I) [2005])

ตารางที่ ข.5 Mechanical properties of some hot-rolled and cold-down steel

UNS number	AISI/SAE number	Processing	Ultimate strength* $S_u$ , MPa	Yield strength* $S_y$ , MPa	Elongation in 50 mm, %	Reduction in area, %	Brinell hardness $H_B$
G10060	1006	HR	300	170	30	55	86
		CD	330	280	20	45	95
G10100	1010	HR	320	180	28	50	95
		CD	370	300	20	40	105
G10150	1015	HR	340	190	28	50	101
		CD	390	320	18	40	111
G10200	1020	HR	380	210	25	50	111
		CD	470	390	15	40	131
G10300	1030	HR	470	260	20	42	137
		CD	520	440	12	35	149
G10350	1035	HR	500	270	18	40	143
		CD	550	460	12	35	163
G10400	1040	HR	520	290	18	40	149
		CD	590	490	12	35	170
G10450	1045	HR	570	310	16	40	163
		CD	630	530	12	35	179
G10500	1050	HR	620	340	15	35	179
		CD	690	580	10	30	197
G10600	1060	HR	680	370	12	30	201
G10800	1080	HR	770	420	10	25	229
G10950	1095	HR	830	460	10	25	248

SOURCE: 1986 SAE Handbook, p. 2.15.

\*Values listed are estimated ASTM minimum values in the size range 18 to 32 mm.

Note: To convert from MPa to ksi, divide given values by 6.895.

(ที่มา A Textbook for the Students of B.E. / B.Tech., U.P.S.C. (Engg. Services);  
Section 'B' of A.M.I.E. (I)] 2005)

ตารางที่ ข.6 Mechanical properties of selected heat-treated steels

AISI number	Treatment	Temperature, °C	Ultimate strength $S_u$ , MPa	Yield strength $S_y$ , MPa	Elongation in 50 mm, %	Reduction in area, %	Brinell hardness $H_B$
1030	WQ&T	205	848	648	17	47	495
	WQ&T	425	731	579	23	60	302
	WQ&T	650	586	441	32	70	207
	Normalized	925	521	345	32	61	149
	Annealed	870	430	317	35	64	137
1040	OQ&T	205	779	593	19	48	262
	OQ&T	425	758	552	21	54	241
	OQ&T	650	634	434	29	65	192
	Normalized	900	590	374	28	55	170
	Annealed	790	519	353	30	57	149
1050	WQ&T	205	1120	807	9	27	514
	WQ&T	425	1090	794	13	36	444
	WQ&T	650	717	538	28	65	235
	Normalized	900	748	427	20	39	217
	Annealed	790	636	365	24	40	187
1060	OQ&T	425	1080	765	14	41	311
	OQ&T	540	965	669	17	45	277
	OQ&T	650	800	524	23	54	229
	Normalized	900	776	421	18	37	229
	Annealed	790	626	372	22	38	179
1095	OQ&T	315	1260	813	10	30	375
	OQ&T	425	1210	772	12	32	363
	OQ&T	650	896	552	21	47	269
	Normalized	900	1010	500	9	13	293
	Annealed	790	658	380	13	21	192
4130	WQ&T	205	1630	1460	10	41	467
	WQ&T	425	1280	1190	13	49	380
	WQ&T	650	814	703	22	64	245
	Normalized	870	670	436	25	59	197
	Annealed	865	560	361	28	56	156
4140	OQ&T	205	1770	1640	8	38	510
	OQ&T	425	1250	1140	13	49	370
	OQ&T	650	758	655	22	63	230
	Normalized	870	870	1020	18	47	302
	Annealed	815	655	417	26	57	197

SOURCE: ASM Metals Reference Book, 2nd ed. Metals Park, OH: American Society for Metals, 1983.

Notes: To convert from MPa to ksi, divide given values by 6.895.

Values tabulated for 25-mm round sections and of gage length 50-mm. The properties for quenched and tempered steel are from a single heat: OQ&T = oil-quenched and tempered; WQ&T = water-quenched and tempered.

(ที่มา A Textbook for the Students of B.E. / B.Tech., U.P.S.C. (Engg. Services);  
Section 'B' of A.M.I.E. (I) 2005)

ตารางที่ ข.7 Mechanical properties of some annealed and cold-worked wrought stainless steels

AISI type	Ultimate strength $S_u$ , (MPa)		Yield strength $S_y$ , (MPa)		Elongation in 50 mm, %		Izod impact J (N · m)	
	An.	CW	An.	CW	An.	CW	An.	CW
Austenitic								
302	586	758	241	517	60	35	149	122
303	620	758	241	552	50	22	115	47
304	586	758	241	517	60	55	149	122
347, 348	620	758	241	448	50	40	149	—
Martensitic								
410	517	724	276	586	35	17	122	102
414	793	896*	620*	862	20	15*	68	—
431	862	896*	655*	862*	20	15*	68	—
440 A, B, C	724	796*	414	620*	14	7*	3	3*
Ferritic								
430, 430F	517	572	296	434	27	20	—	—
446	572	586	365	483	23	20	3	—

SOURCES: *Metal Progress Databook 1980*, Vol. 118, no. 1, Metals Park, OH: American Society for Metals (June 1980); *ASME Handbook Metal Properties*, New York: McGraw-Hill, 1954.

Note: To convert from MPa to ksi, divide given values by 6.895.

\*Annealed and cold drawn.

(ที่มา A Textbook for the Students of B.E. / B.Tech., U.P.S.C. (Engg. Services); Section 'B' of A.M.I.E. (I)] 2005)



ตารางที่ ข.8 Mechanical properties of some aluminum alloys

Alloy	Ultimate strength $S_u$		Yield strength $S_y$		Elongation in 50 mm, %	Brinell hardness $H_B$
	MPa	(ksi)	MPa	(ksi)		
Wrought:						
1100-H14	125	(18)	115	(17)	20	32
2011-T3	380	(55)	295	(43)	15	95
2014-T4	425	(62)	290	(42)	20	105
2024-T4	470	(68)	325	(47)	19	120
6061-T6	310	(45)	275	(40)	17	95
6063-T6	240	(35)	215	(31)	12	73
7075-T6	570	(83)	505	(73)	11	150
Cast:						
201-T4*	365	(53)	215	(31)	20	—
295-T6*	250	(36)	165	(24)	5	—
355-T6*	240	(35)	175	(25)	3	—
-T6**	290	(42)	190	(27)	4	—
356-T6*	230	(33)	165	(24)	2	—
-T6**	265	(38)	185	(27)	5	—
520-T4*	330	(48)	180	(26)	16	—

SOURCES: ASM Metals Reference Book, Metals Park, OH: American Society for Metals, 1981; 1981 Materials Selector, vol. 92, no. 6, Cleveland: Materials Engineering, Penton/IPC, (December 1980).

\*Sand casting.

\*\*Permanent-mold casting.

(ที่มา A Textbook for the Students of B.E. / B.Tech., U.P.S.C. (Engg. Services);  
Section 'B' of A.M.I.E. (I) 2005)

ตารางที่ ข.10 Mechanical properties of some copper alloys

Alloy	UNS number	Ultimate strength $S_u$ , MPa	Yield strength $S_y$ , MPa	Elongation in 50 mm, %
Wrought:				
Leaded				
Beryllium copper	C17300	469–1379	172–1227	43–3
Phos bronze	C54400	469–517	393–434	20–15
Aluminum				
Silicon-bronze	C64200	517–703	241–469	32–22
Silicon bronze	C65500	400–745	152–414	60–13
Manganese bronze	C67500	448–579	207–414	33–19
Cast:				
Leaded				
Red brass	C83600	255	117	30
Yellow brass	C85200	262	90	35
Manganese bronze	C86200	655	331	20
Bearing bronze	C93200	241	124	20
Aluminum bronze	C95400	586–724	241–372	18–8
Copper nickel	C96200	310	172	20

SOURCE: 1981 materials reference issue, *Machine Design*, 53, no. 6 (March 19, 1981).

Note: To convert from MPa to ksi, divide given values by 6.895.

(ที่มา A Textbook for the Students of B.E. / B.Tech., U.P.S.C. (Engg. Services);  
Section 'B' of A.M.I.E. (I) [2005])

ตารางที่ ข.11 Mechanical properties of some common plastics

Plastic	Ultimate strength $S_u$		Elongation in 50 mm, %	Izod impact strength	
	MPa	(ksi)		J	(ft · lb)
Acrylic	72	(10.5)	6	0.5	(0.4)
Cellulose acetate	14–18	(2–7)	—	1.4–9.5	(1–7)
Epoxy (glass-filled)	69–138	(10–20)	4	2.7–41	(2–30)
Fluorocarbon	23	(3.4)	300	4.1	(3)
Nylon (6/6)	83	(12)	60	1.4	(1)
Phenolic (wood-flour filled)	48	(7)	0.4–0.8	0.4	(0.3)
Polycarbonate	62–72	(9–10.5)	110–125	16–22	(12–16)
Polyester (25% glass filled)	110–90	(16–23)	1–3	1.4–2.6	(1.0–1.9)
Polypropylene	34	(5)	10–20	0.7–3.0	(0.5–2.2)

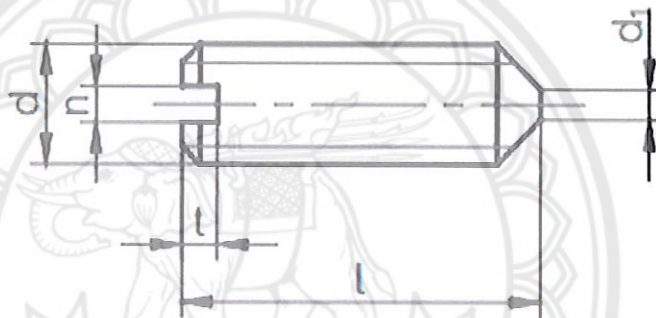
SOURCES: 1981 materials reference issue, *Machine Design*, 53, no. 6 (March 19, 1981); 1981 materials selector issue, *Materials Engineering*, 92, no. 6 (December 1980).

(ที่มา A Textbook for the Students of B.E. / B.Tech., U.P.S.C. (Engg. Services);  
Section 'B' of A.M.I.E. (I) 2005)

ตารางที่ ข.12 แสดงรูเจาะสำหรับร้อยสกรู (DIN 69)

เกลียวมดริก	d	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30
รูเจาะสำหรับ ร้อยสกรู (DIN69)	กะเอียง	4.3	5.3	6.4	8.4	10.5	13	17	21	25	31
	ปานกลาง	5.3	5.5	6.6	9	11	14	18	22	26	33
	หยาบ	4.8	5.8	7	10	12	15	19	24	28	36
ขนาดความยาวรูสั้นที่สุด (DIN76)		3.4	3.6	4.5	5	5.5	6	6.5	7.5	8.5	10

แกนเกลียวมีร่อง ตาม ISO 7434



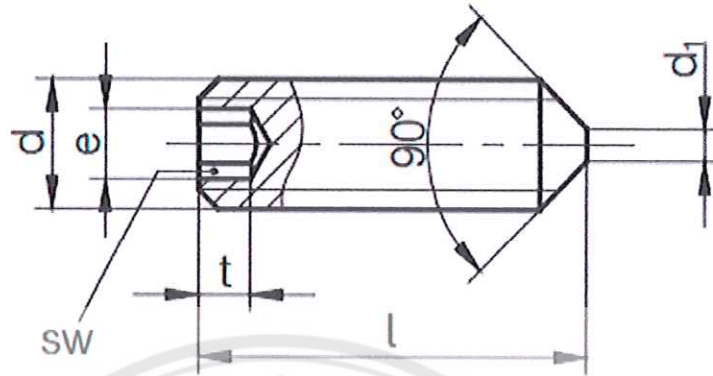
ตารางมาตรฐานแกนเกลียวมีร่อง ตาม ISO 7434

d	M1.2	M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12
n	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.6	2
t ≈	0.5	0.7	0.8	1	1.1	1.4	1.6	2	2.5	3	3.6
d <sub>max</sub>	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	1.5	2	2.5	3
1 จก	2	2	3	3	4	6	8	8	10	12	16
ถึง	6	8	10	12	16	25	30	35	40	55	60
ความยาว กำหนด	2,2.5,3,4,5,6,8,10,12,16,20,25,30...50,55,60 มม.										

สัญลักษณ์ แกนเกลียวมีร่อง ISO 7434 – M10x55 · 14H ความโดเกลียว d = M6, ความยาว L = 25 มม. ,  
ความแข็งแรง 14 H

(ที่มา ตารางคู่มืองานโลหะ,รศ.บรรเลง ศรีนิล,กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระ  
จอมเกล้าพระนครเหนือ,2554)

ตารางที่ ข.13 มาตรฐานแกนเกลียวมีหัวทกเหลี่ยมใน ตาม DIN 914



ตารางมาตรฐานแกนเกลียวมีหัวทกเหลี่ยมใน ตาม DIN 914

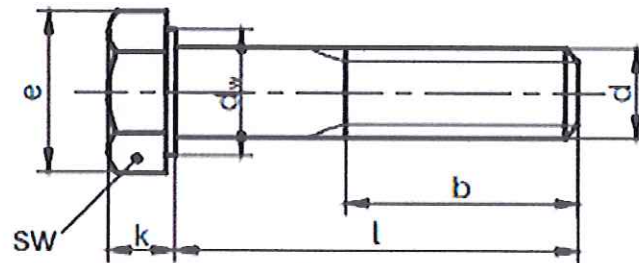
d	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20
SW	0.9	1.3	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10
$e \approx$	1	1.4	1.7	2.3	2.9	3.4	4.6	5.7	6.9	9.2	11.4
$l_{min}$	0.8	1.2	1.2	1.5	2	2	3	4	4.8	6.4	8
$d_{max}$	-	-	-	-	-	1.5	2	2.5	3	4	5
l จาก	3	4	4	5	6	8	10	12	16	20	20
ถึง	10	10	20	20	25	35	40	40	40	40	50
ความยาว กำหนด	3,4,5,6,8,10,12,16,20,25,30,35,40,45,50 มม.										

สัญลักษณ์ แกนเกลียวมีหัวทกเหลี่ยมใน DIN 914 – M6x25-45H ความโตเกลียว  $d = M6$ , ความยาว  $L = 25$  มม. , ความแข็งแรง 45 H

(ที่มา ตารางคู่มืองานโลหะ,รศ.บรรเลง ศรีนิล,กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,2554)

ตารางที่ ข.14 มาตรฐานสลักเกลียวหัวหกเหลี่ยมพร้อมแกนกลม ตาม DIN EN ISO 4014

สลักเกลียวหัวหกเหลี่ยมพร้อมแกนกลม ตาม DIN EN ISO 4014



ตารางมาตรฐานสลักเกลียวหัวหกเหลี่ยมพร้อมแกนกลม ตาม DIN EN ISO 4014

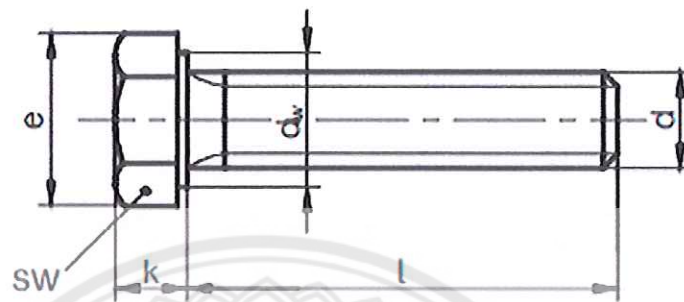
d	M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10
SW	3.2	4	5	5.5	7	8	10	13	16
$k_{max}$	1.1	1.4	1.7	2	2.8	3.5	4	6.3	6.4
$d_w$	2.3	3.1	4.1	4.6	5.9	6.9	8.9	11.6	14.6
e	3.4	4.3	5.5	6	7.7	8.8	11.1	14.4	17.8
b	9	10	11	12	14	16	18	22	26
L จาก ถึง	12 16	16 20	16 25	20 30	25 40	25 50	30 60	40 80	45 100
d	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56
SW	18	24	30	36	46	55	65	75	85
$k_{max}$	7.5	10	12.5	15	18.7	22.5	26	30	35
$d_w$	16.6	22	27.7	33.3	42.8	51.1	60	69.5	78.7
e	20	26.2	33	39.6	50.9	60.8	71.3	82.6	93.6
b1)	30	38	46	54	66	-	-	-	-
b2)	-	44	52	60	72	84	96	108	-
b3)	-	-	-	73	85	97	109	121	137
L จาก ถึง	50 120	65 160	80 200	90 240	110 300	140 360	160 440	180 480	220 500
ความยาวกำหนด	12, 16, 20, 25, 30, 35, ... 60, 65, 70, 80, 90, ... 140, 150, 160, 180, 200, ... 460, 480, 500 มม.								

สัญลักษณ์ สลักเกลียวหัวหกเหลี่ยม ISO 4014 • M20x80 – 10.9 ความโตเกลียว  $d = M20$ , ความยาว  $L = 80$  มม., เกรดความแข็งแรง 10.9

(ที่มา ตารางคู่มืองานโลหะ, รศ.บรรเลง ศรีนิล, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2554)

ตารางที่ ข.15 มาตรฐานสลักเกลียวหัวหกเหลี่ยมที่มีเกลียวจนถึงหัว ตาม DIN EN ISO 4017

สลักเกลียวหัวหกเหลี่ยมที่มีเกลียวจนถึงหัว ตาม DIN EN ISO 4017



ตารางมาตรฐานสลักเกลียวหัวหกเหลี่ยมที่มีเกลียวจนถึงหัว ตาม DIN EN ISO 4017

d	M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10
SW	3.2	4	5	5.5	7	8	10	13	16
k	1.1	1.4	1.7	2	2.8	3.5	4	5.3	6.4
d <sub>w</sub>	2.3	3.1	4.1	4.6	6	6.9	8.9	11.6	14.6
e	3.4	4.3	5.5	6	7.7	8.8	11.1	14.4	17.8
L จาก หัว	2	4	5	6	8	10	12	16	20
	16	20	25	30	40	50	60	80	100
d	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56
SW	18	24	30	36	46	55	65	75	85
k	7.5	10	12.5	15	18.7	22.5	26	30	35
d	16.6	22.5	27.7	33.3	42.8	51.1	60	69.5	78.7
e	20	26.2	33	39.6	50.9	60.8	71.3	82.6	93.6
l จาก หัว	25	30	40	50	60	70	80	100	110
	120	200	200	200	200	200	200	200	200
ความยาวทั้งหมด	2,3,4,5,6,8,10,12,16,20,25,30,35,...60,65,70,80,90...140,150,160,180, 200 มม.								

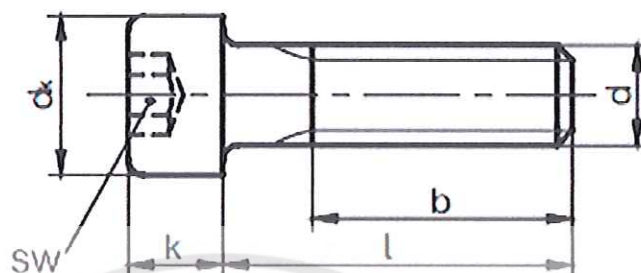
สัญลักษณ์สลักเกลียวหัวหกเหลี่ยม ตาม ISO 4017 -M8x40-10.9

d = M8, l = 40 เกรดความแข็งแรง 10.9

(ที่มา ตารางคู่มืองานโลหะ, รศ.บรรเลง ศรีนิต, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2554)

ตารางที่ ข.16 มาตรฐานสลักเกลียวทรงกระบอกมีหัวหกเหลี่ยมใน ตามDIN EN ISO 4762

สลักเกลียวทรงกระบอกมีหัวหกเหลี่ยมใน ตามDIN EN ISO 4762



ตารางมาตรฐานสลักเกลียวทรงกระบอกมีหัวหกเหลี่ยมใน ตามDIN EN ISO 4762

d	M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10
SW	1.5	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8
dk	3	3.8	4.5	5.5	7	8.5	10	13	16
k	1.6	2	2.5	3	4	5	6	8	10
b <sup>1)</sup>	15	16	17	18	20	22	24	28	32
สำหรับ	16	20	25	≥25	≥30	≥30	≥35	≥40	≥45
l จาก	2.5	3	4	5	6	8	10	12	20
ถึง	16	20	25	30	40	50	60	80	100
d	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56
SW	10	14	17	19	22	27	32	36	41
dk	18	24	30	36	45	54	63	72	84
k	12	16	20	24	30	36	42	48	56
b <sup>1)</sup>	36	44	52	60	72	84	96	108	124
สำหรับ	≥45	≥65	≥80	≥90	≥110	≥120	≥140	≥160	≥180
l จาก	20	25	30	35	40	45	60	70	8
ถึง	120	160	200	200	200	200	300	300	300
ความยาวกำหนด (NL)	2,3,4,5,6,8,10,12,16,20,25,30,35,... 65,70,80,90... 150,160,180,200... 280,300 มม.								

สัญลักษณ์สลักเกลียวทรงกระบอก ตาม ISO 4762 - M10x55 - 10.9

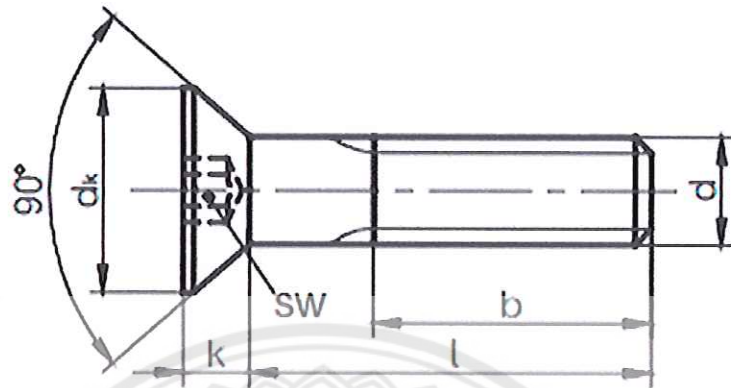
d = M10, l = 55 เกรดความแข็งแรง 10.9

(ที่มา ตารางคู่มืองานโลหะ,รศ.บรรเลง ศรีนิล,กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,2554)



ตารางที่ ข.17 มาตรฐานสลักเกลียวฝักบัวแบบผ่า ตาม DIN EN ISO 10642

สลักเกลียวฝักบัวแบบผ่า ตาม DIN EN ISO 10642



ตารางมาตรฐานสลักเกลียวฝักบัวแบบผ่า ตาม DIN EN ISO 10642

d	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20
SW	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12
dk	5.5	7.5	9.4	11.3	15.2	19.2	23.1	29	36
k	19	2.5	3.1	3.7	5	6.2	7.4	8.8	10.2
b <sup>1)</sup>	18	20	22	24	28	32	36	44	52
l จาก	8	8	8	8	10	12	20	30	35
ถึง	30	40	50	60	80	100	100	100	100
ความยาวกำหนด	8,10,12,16,20,25... 65,70...80,90,100 มม.								

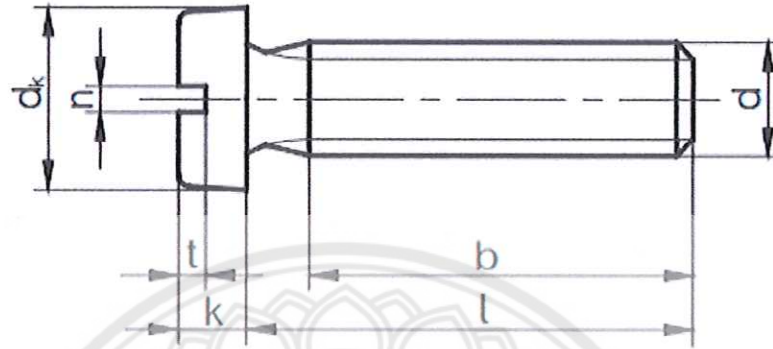
สัญลักษณ์ สลักเกลียวฝักบัวแบบผ่า ISO 10642- M5x30- 8.8

d = M5, l = 30 เกรดความแข็งแรง 10.9

(ที่มา ตารางคู่มืองานโลหะ,รศ.บรรเลง ศรีนิล,กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,2554)

ตารางที่ ข.18 มาตรฐานสลักเกลียวหัวทรงกระบอกมีร่อง ตาม DIN EN ISO 1207

สลักเกลียวหัวทรงกระบอกมีร่อง ตาม DIN EN ISO 1207



ตารางมาตรฐานสลักเกลียวหัวทรงกระบอกมีร่อง ตาม DIN EN ISO 1207

d	M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10
$d_k$	3	3.8	4.5	5.5	7	8.5	10	13	16
k	1.1	1.4	1.8	2	2.6	3.3	3.9	5	6
n	0.4	0.5	0.6	0.8	1.2	1.2	1.6	2	2.5
t	0.5	0.6	0.7	0.9	1.1	1.3	1.6	2	2.4
l จาก ถึง	2 16	3 20	3 25	4 30	5 40	6 50	8 60	10 80	12 80
b	สำหรับ $l < 45$ มม. $b \approx l$ ; สำหรับ $l \geq 45$ มม. $b = 38$ มม.								
ความยาวกำหนด	2,3,4,5,6,8,10,12,16,20,25,... 45,50,60,70,80 มม.								

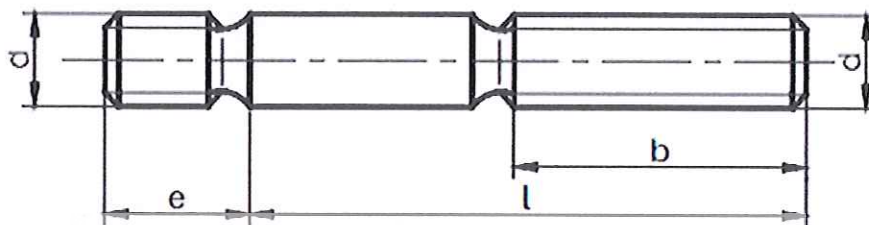
สัญลักษณ์สลักเกลียวหัวทรงกระบอก ตาม ISO 1207- M6x25 - 5.8

$d = M5$ ,  $l = 25$  เกรดความแข็งแรง 5.8

(ที่มา ตารางคู่มืองานโลหะ,รศ.บรรเลง ศรีนิล,กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,2554)

ตารางที่ ข.19 มาตรฐานสลักแกนเกลียว ตาม DIN 835,938,939

สลักแกนเกลียว ตาม DIN 835,938,939



ตารางมาตรฐานสลักแกนเกลียว ตาม DIN 835,938,939

d	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	20
					M8x1	M10x1.25	M12 x1.25	M16 x1.5	M20 x1.5
l < 125	12	14	16	18	22	26	30	38	46
l > 125	18	20	22	24	28	32	36	44	52
e DIN 835	-	8	10	12	16	20	24	32	40
e DIN 938	3	4	5	6	8	10	12	16	20
e DIN 939	-	5	6.5	7.5	10	12	15	20	25
l จาก	20	20	25	25	30	35	40	50	60
ถึง	30	40	50	60	80	100	120	170	200
ความยาว กำหนด	20,25,30...75,80,90,...180,190,200 มม.								

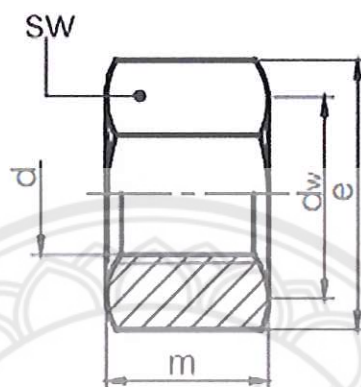
สัญลักษณ์สลักแกนเกลียว ตาม DIN 939 - M10x65 - 8.8

d = M10 , l = 65 เกรดความแข็งแรง 8.8

(ที่มา ตารางคู่มืองานโลหะ,รศ.บรรเลง ศรีนิล,กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,2554)

ตารางที่ ข.20 มาตรฐานแป้นเกลียวหัวทกเหลี่ยมตาม DIN EN ISO 8673,8674

แป้นเกลียวหัวทกเหลี่ยม ตาม DIN EN ISO 8673,8674



ตารางมาตรฐานแป้นเกลียวหัวทกเหลี่ยมตาม DIN EN ISO 8673,8674

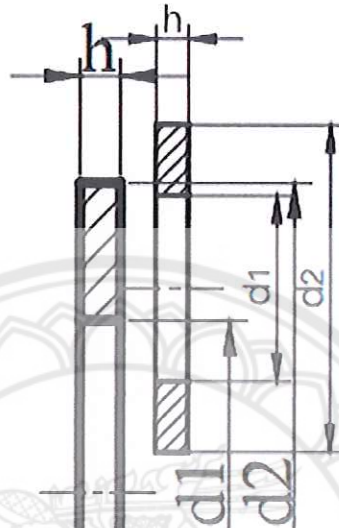
d	M8x1	M10x1.5	M12 x1.5	M16 x1.5	M20 x1.5	M24 x2	M30 x2	M36 x3
SW	13	16	18	24	30	36	46	55
d <sub>w</sub>	11.6	14.6	16.6	22.5	27.7	33.3	42.8	51.1
c	14.4	17.8	20	26.8	33	39.6	50.9	60.8
m <sup>1)</sup>	6.8	8.4	10.8	14.8	18.0	21.5	25.6	31.0
m <sup>2)</sup>	7.5	9.3	12	16.4	20.3	23.9	28.6	34.7

แป้นเกลียวหัวทกเหลี่ยม ISO 8673 - M20x1.5-8 ; d = M20x1.5 = 65 เกรดความแข็งแรง 8.8

(ที่มา ตารางคู่มืองานโลหะ,รศ.บรรเลง ศรีนิล,กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,2554)

ตารางที่ ข.21 มาตรฐานแหวนรอง DIN EN ISO 7091

แหวนรอง ตาม DIN EN ISO 7091



สำหรับเกลียว	M2	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12
ความโตกำหนด	2	3	4	5	6	8	10	12
$d_1, \text{mm}^{2)}$	2.4	3.4	4.5	5.5	6.6	9.0	11.0	13.5
$d_2, \text{max}^{2)}$	5.0	7.0	9.0	10.0	12.0	16.0	20.0	24.0
$h^{2)}$	0.3	0.5	0.8	1.0	1.6	1.6	2	2.5
สำหรับเกลียว	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M64
ความโตกำหนด	16	20	24	30	36	42	48	64
$d_1, \text{min}^{2)}$	17.5	22.0	26.0	33.0	39.0	45.0	52.0	70.0
$d_2, \text{max}^{2)}$	30.0	37.0	44.0	56.0	66.0	78.	92.0	115.0
$h^{2)}$	3	3	4	4	5	8	8	10













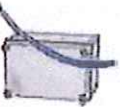




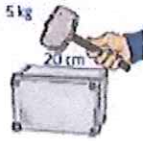
ตารางมาตรฐานแหวนรอง DIN EN ISO 7091

สัญลักษณ์แหวนรอง DIN EN ISO 7091-12-100HV ความโตกำหนด (=  $\emptyset$  - กำหนดของเกลียว)

$d = 12$  มม. เกรดความแข็งแรง 100HV

(ที่มา ตารางคู่มืองานโลหะ,รศ.บรรเลง ศรีนิล,กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,2554)

ตารางที่ ข.22 มาตรฐานที่ใช้วัดความสามารถในการปกป้องสิ่งที่อยู่ภายในของอุปกรณ์

FIRST NUMBER Protection against solid objects		SECOND NUMBER Protection against liquids		IK CODE Protection against mechanical impacts	
IP	TEST	IP	TEST	IK	TEST
0	 no protection	0	 no protection	00	 no protection
1	 protected against solid objects over 50 mm e.g. accidental touch by hands	1	 protected against vertically falling drops of water	01-05	 impact < 1 joule
2	 protected against solid objects over 12 mm e.g. fingers	2	 protected against direct sprays of water up to 15° from the vertical	06	 impact 1 joule
3	 protected against solid objects over 2,5 mm (tools + small wires)	3	 protected against sprays to 60° from the vertical	07	 impact 2 joule
4	 protected against solid objects over 1 mm (tools + small wires)	4	 protected against water sprayed from all directions - limited ingress permitted	08	 impact 5 joule
5	 protected against dust - limited ingress permitted (no harmful deposit.)	5	 protected against low pressure jets of water from all directions - limited ingress permitted	09	 impact 10 joule

(ที่มา Handbook of Electrical Installation Practice, Fourth Edition, Eur Eng  
Geoffrey Stokes BSc(Hons), CEng, FIEE, FCIBSE, 2008)

## ประวัติผู้จัดทำโครงการ

ชื่อ-นามสกุล นายโกสินทร์ เกียรติกุลานุสรณ์

ภูมิลำเนา 8 ม.7 ต.ตลิ่งชัน อ.เมือง จ. สระบุรี 18000

ประวัติการศึกษา

- จบชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนนวมิถุราชินูทิศ สตรีวิทยา พุทธมณฑล
- กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัย  
นเรศวรจังหวัดพิษณุโลก

ชื่อ-นามสกุล นายฉันท เวียงบรรพต

ภูมิลำเนา 400/18 ซ.3 ต.หัวรอ อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

ประวัติการศึกษา

- จบชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคมจังหวัดพิษณุโลก
- กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัย  
นเรศวรจังหวัดพิษณุโลก

ชื่อ-นามสกุล นายปัญญา แนวซ์เหล็ก

ภูมิลำเนา 124/1 ม.1 ต.หนองบัว อ.เมืองหนองบัวลำภู จ.หนองบัวลำภู 39000

ประวัติการศึกษา

- จบชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนหนองบัวพิทยาคาร
- กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัย  
นเรศวรจังหวัดพิษณุโลก