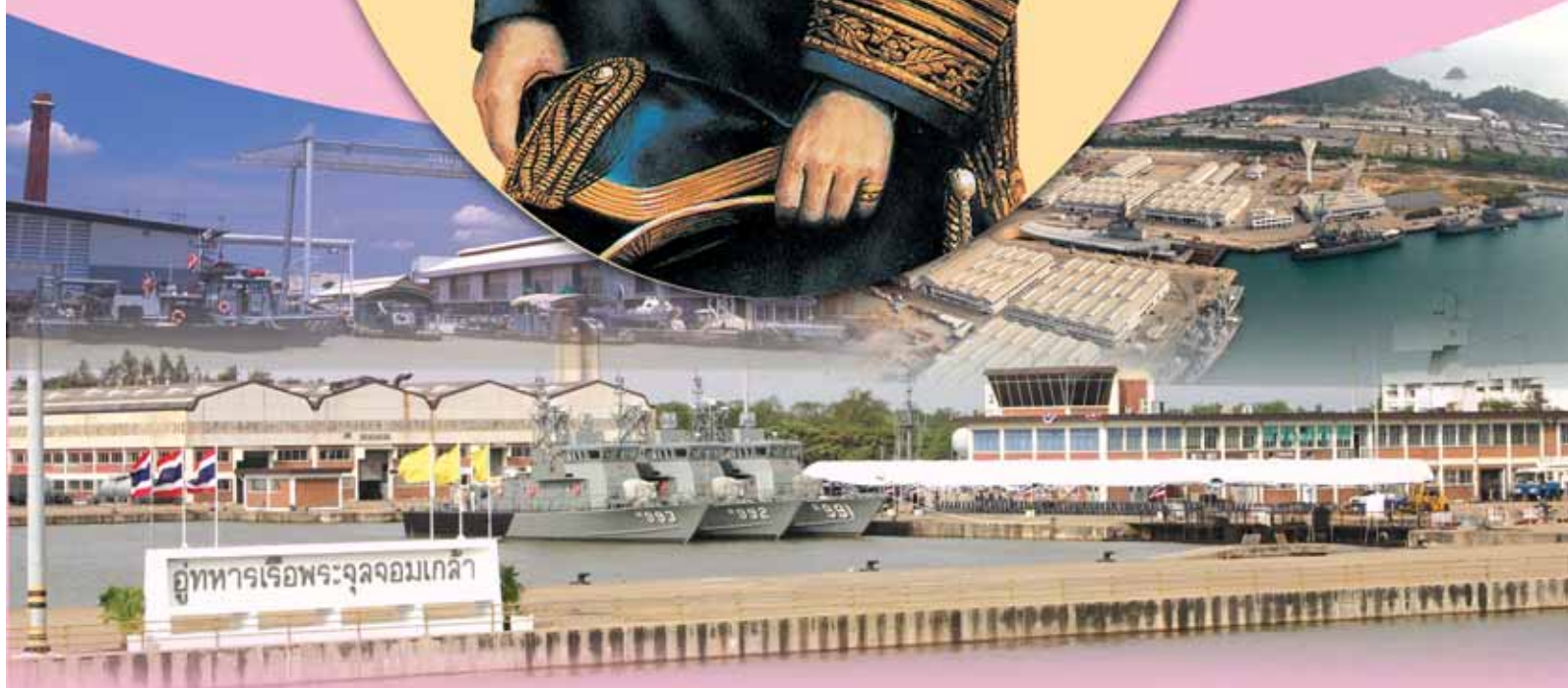


# วารสารกรมอุทกศาสตร์เรือ

ISSN : 0857-4766

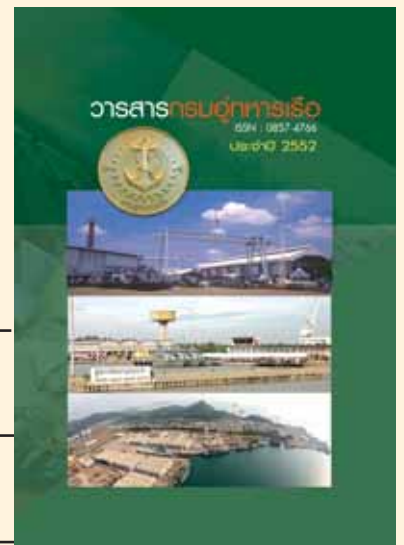
ปี-ต่าง 2552





**วันที่ ๙ มกราคม พุทธศักราช ๒๔๓๓**

พระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว เสด็จพระราชดำเนินทรงกระทำพิธีเปิดอุเรือหลวง  
ในปัจจุบันก็คือ กรมอุทหารเรือ ทางราชการได้ถือเอาวันที่ ๙ มกราคม ของทุกปี  
เป็นวันคล้ายวันสถาปนากกรมอุทหารเรือ  
นับถึงปัจจุบันรวม ๑๑๙ ปี



## วารสารกรมอุทการเรือ

ISSN : 0857 4766 ประจำปี 2552

## ประธานที่ปรึกษา

พลเรือโท ฉลอง พัฒนโสภณ เจ้ากรมอุทการเรือ

## คณะที่ปรึกษา

พลเรือตรี อรรถพงษ์	ณ นคร	รอง เจ้ากรมอุทการเรือ (1)
พลเรือตรี บงกช	ผาสุข	รอง เจ้ากรมอุทการเรือ (2)
พลเรือตรี สุภวัฒน์	สมุทรสาคร	รอง เจ้ากรมอุทการเรือ (3)
พลเรือตรี ฉัตรชัย	ทัตตะวาร	ผู้อำนวยการอุทการเรือธนบุรี กรมอุทการเรือ
พลเรือตรี มานิตย์	สุนนาคำ	ผู้อำนวยการอุทการเรือวิมหิทธลุดลยเดช กรมอุทการเรือ
พลเรือตรี ทวีศักดิ์	ดิรอด	รองผู้อำนวยการอุทการเรือพระจุลจอมเกล้า กรมอุทการเรือ
พลเรือตรี ชรศักดิ์	สมบูรณสุข	เจ้ากรมแผนการช่าง กรมอุทการเรือ
พลเรือตรี พิทักษ์	พิบูลทิพย์	ผู้ช่วยผู้อำนวยการฝ่ายแผน อุทการเรือพระจุลจอมเกล้า กรมอุทการเรือ
พลเรือตรี อนันต์	สุขณียุทธ	ผู้ช่วยผู้อำนวยการฝ่ายผลิต อุทการเรือพระจุลจอมเกล้า กรมอุทการเรือ

## บรรณาธิการ

พลเรือตรี รองศาสตราจารย์ (พิเศษ) พงศ์สรร ถวิลประวีติ เจ้ากรมพัฒนาการช่าง กรมอุทการเรือ

## ผู้ช่วยบรรณาธิการ

นาวาเอก ธีระ	กรลักษณ์	นาวาเอก จักรชัย	ชินวาริน
นาวาเอก ธวัชชัย	ควรประดิษฐ์	นาวาเอก พิสุทธิ	ไข่มุขวรรณ
นาวาเอก ประดิษฐ์	ลำอังก์อินทร์	นาวาเอก ไพศาล	เฮงจิตตระกูล

## ประจำกองบรรณาธิการ

นาวาเอกหญิง ผ่องผิว	วิมุขตานนท์	นาวาเอก ทินกร ทัศนากาศ	นาวาเอก สมัย	ใจอินทร์
นาวาเอก ศราวุธ	วงศ์เงินยวง	นาวาเอก วัชรินทร์ เครือดำรงค์	นาวาเอกหญิง กาญจนา	ทรงวรวิทย์
นาวาเอก เรืองชัย	ประเสริฐจตุตถิมณี	นาวาเอกหญิง สุภัทรา ธีรพงษ์พิสุทธิ	นาวาเอกหญิง กัทธาภรณ์	พัฒนพันธุ์
นาวาเอก วัฒนชัย	อิมเอม	นาวาเอก กรินชัย ทองดีแท้	นาวาเอก จตุพล	โถมทองดี
นาวาโท พิสิฎฐ์	นิลชัง	เรือเอก กิรติ เทศเจริญ		

## สำนักงาน

กองวิจัยและพัฒนา กรมพัฒนาการช่าง กรมอุทการเรือ  
 2 ถนนอรุณอมรินทร์ แขวงศิริราช เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700  
 โทร. 0 2475 4040, 0 2475 4041 โทรสาร 0 2475 4041

## ออกแบบ - ถ่ายภาพประกอบ - จัดพิมพ์

หจก. นายวิทย์ พรินตังแอนต์มีลดีมีเดีย 19/37 อ.บางบัวทอง จ.นนทบุรี  
 โทร. 0 2597 5874, 08 1924 0473 โทรสาร 0 2597 5876  
 E-mail : witpm@yahoo.com

ขอคิดเห็นในบทความที่นำลงวารสารกรมอุทการเรือ เป็นของผู้เขียน มิใช่ขอคิดเห็นหรือนโยบาย  
 ของหน่วยงานใดของรัฐ และมีได้ผูกพันต่อทางราชการแต่อย่างใด การกล่าวถึงคำสั่ง กฎ ระเบียบ  
 เป็นเพียงข่าวสารเบื้องต้น เพื่อประโยชน์และการค้นคว้าเท่านั้น




## คำปรารภของเจ้ากรมอุทหารเรือ

วารสารกรมอุทหารเรือฉบับนี้ นับเป็นอีกวาระหนึ่งของการรวบรวมเรื่องราว ผลงานสำคัญที่ผ่านมากในรอบปีของกรมอุทหารเรือ อาทิ การสนับสนุนงานวิจัยพัฒนายานใต้น้ำไร้คนขับซึ่งปิดโครงการไปแล้วอย่างสมบูรณ์ การขับเคลื่อนโครงการสร้างยานใต้น้ำขนาดเล็กร่วมกับบริษัท อุกรุงเทพ จำกัด การเตรียมการสร้างเรือ 2 โครงการ ได้แก่ โครงการเรือตรวจการณ์ไกลฝั่งชุดเรือ ต.994 และโครงการเรือตรวจการณ์ไกลฝั่งหรือเรือ OPV ซึ่งจะเป็นเรือที่มีขนาดใหญ่ที่สุดเท่าที่กรมอุทหารเรือเคยสร้าง

นอกจากนี้กรมอุทหารเรือในนามของกองทัพเรือ ยังได้เข้าร่วมในเหตุการณ์สำคัญครั้งประวัติศาสตร์ นั่นคือ พระราชพิธีพระราชทานเพลิงพระศพ สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ โดยกรมอุทหารเรือ ได้จัดส่งเจ้าหน้าที่ไปจัดสร้างนั่งร้านให้แก่ สำนักงานช่างสิบหมู่ในการซ่อมทำราชรถ รวมทั้งได้จัดทำเชือกชักจตุรราชรถ อัญเชิญพระศพ ซึ่งถือเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการประกอบขบวนพระเกียรติยศที่ปวงชนชาวไทยจะได้น้อมถวายในการส่งเสด็จสู่สวรรคาลัยครั้งนี้

ทั้งหมดที่กล่าวมา ตลอดจนบทความทางวิชาการที่น่าสนใจอีกหลายเรื่อง ได้เรียบเรียงไว้แล้วในวารสารกรมอุทหารเรือ ประจำปี 2552 ซึ่งเสร็จสมบูรณ์ด้วยการร่วมแรงร่วมใจของเจ้าหน้าที่ประจำกองบรรณาธิการ ตลอดจนหน่วยงานภายนอกที่ให้การสนับสนุนในการจัดทำ เพื่อให้วารสารอันทรงคุณค่าที่กรมอุทหารเรือจะจัดทำขึ้นเป็นประจำทุกปีฉบับนี้ดำรงอยู่ได้ตลอดไป

พลเรือโท   
(ฉลอง พัฒนโสภณ)  
เจ้ากรมอุทหารเรือ



## บรรณาธิการแถลง

วารสารกรมอุทหาเรือ นอกจากเป็นสื่อเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการช่าง วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการซ่อมและสร้างเรือแล้ว ยังเป็นเวทีสำหรับข้าราชการและลูกจ้างของกรมอุทหาเรือที่จะนำเสนอผลงานที่ได้ดำเนินการในรอบปีงบประมาณที่ผ่านมา ตลอดจนถ่ายทอดความรู้และแนวคิดเชิงวิชาการสู่สังคมภายนอก ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการสร้างวัฒนธรรมการเขียนในสังคมกรมอุทหาเรือเพื่อนำไปสู่สังคมแห่งการเรียนรู้ในอนาคต จึงเป็นเรื่องน่ายินดีที่มีผู้สนใจเขียนบทความส่งมาลงในวารสารฉบับนี้เพิ่มขึ้น โดยกองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะมีนักเขียนหน้าใหม่ ๆ เพิ่มขึ้นอีกในฉบับต่อไป

ขอขอบคุณผู้ให้การสนับสนุนการจัดทำวารสารกรมอุทหาเรือทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือในการดำเนินงานต่าง ๆ ด้วยดีเสมอมา

*บรรณาธิการ*

# สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ผลงานในปีงบประมาณ 2551 .....	8
การพัฒนาเรือตรวจการณ์ใกล้ฝั่ง ต.994.....	32
การออกแบบโครงสร้างตัวเรือที่ทำด้วย Composite โดย Genetic Algorithm.....	51
การพัฒนาแบบลายเส้นตัวเรือที่เหมาะสม.....	69
เทคนิคที่นำไปสู่การซ่อมบำรุงตามสภาพ (Technical Approach to Condition Based Maintenance).....	83
ระบบนำเรือขึ้นซ่อมทำฐานทัพเรือพังงา ทัพเรือภาคที่ 3.....	101
การใช้ไบโอดีเซลในเครื่องยนต์เรือ.....	114
แนวทางการสร้างเครื่องสร้างภาระ (Load Bank) ขนาด 1,200 กิโลวัตต์.....	136
การหากรณีชีวิตแบบทำนายของอุปกรณ์ไฟฟ้าในเรือเพื่อการซ่อมบำรุง หรือซ่อมทำในเชิงรุก.....	155
การป้องกันการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการเสียดสีของโลหะทองเหลือง โดยวิธีการเติมธาตุผสม.....	168
“ไครทอน” ยานใต้น้ำไร้คนขับของกองทัพเรือ.....	177
การผลิตกำลังพลช่างระดับกลาง (FOREMAN) ของกรมอุทการเรือ.....	188

## ผลงานในปีงบประมาณ 2551



ภารกิจหลักของกรมอุทกหารเรือ คือ การซ่อม สร้าง ดัดแปลงเรือและยุทโธปกรณ์ เพื่อให้สามารถสนองภารกิจในการเตรียมกำลังของกองทัพเรือ นอกจากนี้กรมอุทกหารเรือยังมีภารกิจด้านอื่นๆ ที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศอีกเช่นกัน อาทิ การวิจัยและพัฒนา และการเข้าร่วมกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์แก่ส่วนรวม

### ภารกิจการซ่อมสร้าง

#### การซ่อมทำเรือตามแผน ประจำปีงบประมาณ 2551

อุทกหารเรือธนบุรี กรมอุทกหารเรือ ซ่อมทำเรือ	จำนวน 52 ลำ แบ่งเป็น
ซ่อมทำตามระยะเวลา	จำนวน 4 ลำ
ซ่อมจำกัดประจำปี	จำนวน 48 ลำ
อุทกหารเรือพระจุลจอมเกล้า กรมอุทกหารเรือ ซ่อมทำเรือ	จำนวน 39 ลำ แบ่งเป็น
ซ่อมทำคืนสภาพ	จำนวน 8 ลำ
ซ่อมทำตามระยะเวลา	จำนวน 7 ลำ



ซ่อมจำกัดประจำปี	จำนวน 3 ลำ
ว่าจ้างซ่อมทำ	จำนวน 6 ลำ
ซ่อมจำกัดฉุกเฉิน จำนวน 15 ลำ และถอดถอนอุปกรณ์ของเรือที่ปลดระวางประจำการ	จำนวน 15 ลำ
<b>อุราชนาวีมหิตตลอดดุขยเดช กรมอุทกหารเรือ ซ่อมทำเรือ</b>	จำนวน 8 ลำ แบ่งเป็น
ซ่อมทำคืนสภาพ	จำนวน 2 ลำ
ซ่อมทำตามระยะเวลา	จำนวน 4 ลำ
ซ่อมจำกัดประจำปี	จำนวน 2 ลำ
<b>กรมโรงงาน ฐานทัพเรือสัตหีบ ซ่อมทำเรือ</b>	จำนวน 16 ลำ แบ่งเป็น
ซ่อมทำคืนสภาพ	จำนวน 1 ลำ
ซ่อมทำตามระยะเวลา	จำนวน 1 ลำ
ซ่อมจำกัดประจำปี	จำนวน 14 ลำ
<b>กองโรงงาน ฐานทัพเรือสงขลา ซ่อมทำเรือ</b>	จำนวน 23 ลำ แบ่งเป็น
ซ่อมทำคืนสภาพ	จำนวน 1 ลำ
ซ่อมทำตามระยะเวลา	จำนวน 9 ลำ
ซ่อมจำกัดประจำปี	จำนวน 13 ลำ
<b>กองโรงงาน ฐานทัพเรือพังงา ซ่อมทำเรือ</b>	จำนวน 6 ลำ แบ่งเป็น
ซ่อมทำตามระยะเวลา	จำนวน 1 ลำ
ซ่อมจำกัดประจำปี	จำนวน 5 ลำ



## ความร่วมมือทางวิชาการ



### พิธีลงนามบันทึกข้อตกลงความร่วมมือการวิจัยและพัฒนา

โครงการวิจัยความเสถียรของน้ำมันไบโอดีเซลและการทดสอบการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในเรือ ระหว่าง กองทัพเรือ โดย พล.ร.ท.วรพจน์ วินิตานนท์ เจ้ากรมอุทกหารเรือ กับ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) โดย นายสงเกียรติ ทานสัมฤทธิ์ ผู้ช่วยกรรมการใหญ่สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ปตท.

ในวันอังคารที่ 23 กันยายน 2551 ณ ห้องชมพรเขตอุดมศักดิ์ อาคารกองบังคับการ กรมอุทกหารเรือ

## โครงการศึกษาวิจัยความเสถียรของน้ำมันไบโอดีเซลเมื่อนำมาใช้ในเรือ

กรมอุทกหารเรือ โดยคณะกรรมการอำนวยการวิจัยและพัฒนาการทหารของกรมอุทกหารเรือ ได้แต่งตั้งคณะทำงานศึกษาวิจัยปัญหาความเสถียรของน้ำมันไบโอดีเซล เพื่อศึกษาและเตรียมวางแผนในการนำน้ำมัน ไบโอดีเซลไปใช้ในเรืออย่างเป็นทางการตามพระราชกระแสรับสั่งของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ซึ่งทรงมีพระราชกระแสรับสั่งกับ พลเรือเอก สามภพ อัมระपाल ผู้บัญชาการทหารเรือ ในขณะนั้น ระหว่างเข้าเฝ้าถวายรายงานการสร้างเรือตรวจการณ์ใกล้ฝั่งเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา ณ วังไกลกังวล อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ทรงให้กองทัพเรือสร้างเรืออีก 1 ลำ โดยไม่ต้องติดตั้งระบบอาวุธ และใช้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง เพื่อใช้เป็นเรือสำหรับช่วยเหลือผู้ประสบภัยตามพื้นที่ชายฝั่งทะเล

น้ำมันไบโอดีเซลที่ถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเรือ นั้น จะถูกนำมาบรรจุในถังเก็บน้ำมันสำรองในเรือ ซึ่งจะอยู่ในสภาวะแวดล้อมซึ่งแตกต่างจากถังเก็บน้ำมันสำรองบนบก ทั้งในเรื่องของอุณหภูมิ ความชื้น และการเคลื่อนตัวของน้ำมันเมื่อเรือปฏิบัติการอยู่ในทะเลหรือจอดอยู่ที่ชายฝั่งทะเล ทำให้การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลเมื่ออยู่ในเรืออาจแตกต่างจากเมื่ออยู่บนบกโดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติในเรื่องของเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ (Oxidation Stability), ค่าความเป็นกรด (Total Acid Number, TAN) และการเกิดน้ำเจือปน (Water Content) ซึ่งอาจส่งผลให้น้ำมันไบโอดีเซลซึ่งเก็บอยู่ในเรือมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปจนไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานสากล สำหรับนำมาใช้กับเครื่องยนต์เรือ



ห้องเก็บน้ำมันสำรอง ร.ล.หัวหิน



ถังเก็บน้ำมันบนดาดฟ้าเรือ ร.ล.หัวหิน



ถังเก็บน้ำมัน บริเวณหน้าท่าเทียบเรือ กรมอุทกหารเรือ

ถังเก็บน้ำมัน บริเวณหน้าท่าเทียบเรือ ฐานทัพเรือสัตหีบ

กรมอุทกหารเรือจึงได้กำหนดเป็นโครงการศึกษาวิจัยความเสถียรของน้ำมันไบโอดีเซลเมื่อนำมาใช้ในเรือ และดำเนินการทดสอบโดยนำถังบรรจุน้ำมันไบโอดีเซลไปติดตั้งในเรือ ในทะเล และในแม่น้ำ และทำการเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลตามระยะเวลาที่กำหนด โดยได้รับการสนับสนุนน้ำมันไบโอดีเซลที่ใช้ในการทดสอบ จำนวน 400 ลิตร และการตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติสำคัญของน้ำมันไบโอดีเซล จากบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ตลอดระยะเวลาการดำเนินโครงการ ซึ่งเป็นไปตามบันทึกข้อตกลงความร่วมมือการวิจัยและพัฒนาระหว่างกองทัพเรือโดย กรมอุทกหารเรือและบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)

การศึกษาวินิจฉัยเสถียรภาพของน้ำมันไบโอดีเซลเมื่อนำมาใช้ในเรือนี้จะแบ่งกลุ่มตัวอย่างของน้ำมันไบโอดีเซล ออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 คือน้ำมันไบโอดีเซลที่ไม่เติมสาร Anti-Oxidant<sup>1</sup> มีจำนวน 4 ใบ และกลุ่มที่ 2 คือน้ำมันไบโอดีเซลที่เติมสาร Anti-Oxidant มีจำนวน 2 ใบ การเติมสาร Anti-Oxidant เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของกลุ่มตัวอย่างที่เติมสาร และไม่เติมสาร Anti-Oxidant โดยมีการจัดวางตำแหน่งของถังเก็บน้ำมันไบโอดีเซลที่แตกต่างกัน ระยะเวลาการดำเนินโครงการ 1 ปี ตั้งแต่ เม.ย.51 - เม.ย.52

<sup>1</sup> สาร Anti-Oxidation เป็นสารที่ต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ระหว่างน้ำมันกับออกซิเจนในอากาศ



### โครงการทดสอบการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในเรือ

กรมอุทกหารเรือได้รับมอบน้ำมันปาล์มของกลางจากกรมศุลกากร จำนวน 37,000 ลิตร สำหรับสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนของกรมอุทกหารเรือ จึงได้พิจารณาขยายผลโครงการวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนของกรมอุทกหารเรือ สนองพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ในการนำน้ำมันไบโอดีเซลมาใช้กับเครื่องยนต์ในเรือ โดยกรมอุทกหารเรือได้กำหนดเป็นโครงการทดสอบการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในเรือ มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลการใช้ น้ำมันไบโอดีเซลในเรือโดยเฉพาะทั้งในเรื่องของประสิทธิภาพการใช้งาน และผลกระทบต่าง ๆ ต่อระบบเครื่องยนต์ โดยการนำน้ำมันปาล์มดังกล่าวมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลให้เรืออังสนาทดลองใช้งานอย่างต่อเนื่อง เพื่อประเมินผลการใช้ น้ำมันไบโอดีเซลต่อเครื่องยนต์และระบบเครื่องยนต์ของเรืออังสนา การดำเนินโครงการเป็นการดำเนินการร่วมกันอีก 1 โครงการ ตามบันทึกข้อตกลงความร่วมมือการวิจัยและพัฒนา ระหว่างกองทัพเรือ โดยกรมอุทกหารเรือและบริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน) โดยมีระยะเวลาการดำเนินโครงการ 15 เดือน ตั้งแต่ มิ.ย.51 - ส.ค.52



### การซ่อมทำเรือยนต์หลวง

โดยปกติ ระบบขับเคลื่อนเพลลาใบจักรจะต้องมี Thrust Block เพื่อรับน้ำหนักแรงดันของใบจักร ถ่ายลงตัวเรือ เพื่อให้เรื่อนั้นแล่นไปข้างหน้าได้ แต่เรือยนต์หลวงไม่ได้มีการติดตั้ง Thrust Block ไว้ ดังนั้น กรมอุทกหารเรือ จึงได้ออกแบบและติดตั้ง Thrust Block ให้กับเรือยนต์หลวง ได้แก่ เรือยนต์หลวงกุซงศ์จำแลง เรือยนต์หลวงคำแหงวายุบุตร เรือยนต์หลวงกระบี่เต็ร็จไตรภพ เรือยนต์หลวงครุฑเหิรเห็จ เรือยนต์หลวงส่วสดีประวาส เรือยนต์หลวงนารายณ์ทรงสุบรรณ และเรือยนต์หลวงวชิรชล



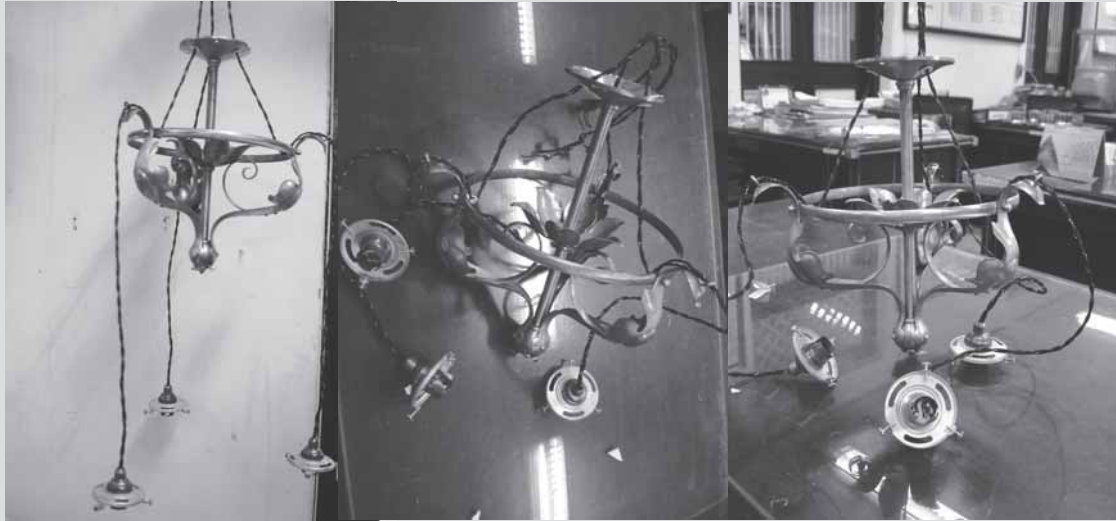
### เรือใบซูเปอร์มดเฉลิมพระเกียรติ เฉลิมพระชนมพรรษา 80 พรรษา

โครงการเรือใบซูเปอร์มดเฉลิมพระเกียรติ เกิดขึ้นในวโรกาสที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ทรงเจริญพระชนมพรรษา 80 พรรษา เมื่อวันที่ 5 ธันวาคม 2550 กองบัญชาการกองทัพไทย กองทัพเรือ สมาคมแข่งเรือใบแห่งประเทศไทยฯ และมูลนิธิคุณพุ่ม ได้ร่วมกันจัดทำโครงการเรือใบซูเปอร์มดเฉลิมพระเกียรติขึ้น โดยมี ทูลกระหม่อมหญิงอุบลรัตนราชกัญญา เป็นองค์ประธานที่ปรึกษาโครงการฯ กิจกรรมสำคัญของโครงการนี้ กองทัพเรือได้มอบหมายให้กรมอู่ทหารเรือจัดอบรมความรู้ และสอนขั้นตอนการต่อเรือใบซูเปอร์มดให้กับครูจากวิทยาลัยต่างๆ ในสังกัด กรมอาชีวศึกษา จากทั่วทุกภูมิภาค โดยมีผู้เข้ารับการฝึกอบรมรวม 80 คน รุ่นละ 2 สัปดาห์

สำหรับโครงการอบรมนั้นแบ่งออกเป็นทั้งหมด 8 ชุด ชุดละ 10 คน ผู้รับการอบรมทุกคนจะได้รับการฝึกฝน ช่วยกันสร้างเรือใบในทุก ๆ ขั้นตอนจนสำเร็จ เมื่อการฝึกอบรมสิ้นสุดลงแล้ว ครูแต่ละท่านก็จะนำทักษะความรู้กลับไปถ่ายทอด แก่ลูกศิษย์ในสถาบันของตน และช่วยกันสร้างเรือใบซูเปอร์มดลำใหม่ขึ้นมา เพื่อนำมาประกวดอีกครั้งหนึ่ง



การประกวดเรือใบซูเปอร์มดเฉลิมพระเกียรตินั้น จัดขึ้นระหว่างวันที่ 12-16 ธันวาคม 2550 ณ หน่วยบัญชาการนาวิกโยธิน อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี โดยมีสถาบันอาชีวศึกษาต่างๆ และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา รวม 42 สถาบัน ส่งเรือใบซูเปอร์มดเข้าร่วมประกวดโดยมีอุทกหารเรือชลบุรี กรมอุทกหารเรือ เป็นกรรมการตัดสินการประกวด ซึ่งเกณฑ์ในการตัดสินให้คะแนนแบ่งออกเป็น สถานีทั้งหมด 5 สถานี ได้แก่ วัสดุ ที่ใช้ต่อ, รูปร่าง ส่วนประกอบ ความแข็งแรง, ความประณีตในการพ่นสีตัวเรือ ความเรียบร้อย สวยงามของสี การทรงตัวของเรือ น้ำหนักตัวเรือ (ไม่รวมอุปกรณ์ในการเล่นใบ) และอื่น ๆ ซึ่งผลการประกวดต่อเรือใบซูเปอร์มดที่ออกมานั้นปรากฏว่า รางวัลชนะเลิศ ได้แก่ วิทยาลัยเทคนิคอุดรธานี ส่วนรองชนะเลิศอันดับ 1, 2 และ 3 ได้แก่ วิทยาลัยเทคนิคตราด, วิทยาลัยเทคนิคสุพรรณบุรี และวิทยาลัยเทคนิคเพชรบูรณ์ ตามลำดับ



### โคมไฟวังสระปทุม

สำนักพระราชวังได้ต่อเติมอาคารของวังสระปทุม จึงขอรับการสนับสนุนจากกรมอุทยานรีโอ ให้จัดทำโคมไฟเพิ่มเติม และได้นำตัวอย่างของเดิมซึ่งเป็นโคมไฟชนิดช่อ ทำด้วยทองเหลือง ใน 1 ช่อจะมีโคมไฟ 3 ดวง และให้ทางกรมอุทยานรีโอจัดทำจำนวน 4 ช่อ โคมไฟดังกล่าวเป็นของเก่า ตามรูปแบบแล้วไม่มีผลิตจำหน่ายทั่วไป อุทยานรีโอธนบุรี กรมอุทยานรีโอ จึงได้จัดทำขึ้นโดยแยกชิ้นส่วนประกอบต่าง ๆ ออกเป็นส่วน ๆ และดำเนินการสร้างแต่ละส่วน ให้เหมือนกับของเดิมให้มากที่สุด ขั้นตอนในการดำเนินการสร้างนั้นมีความสลับซับซ้อน ต้องอาศัยความรู้ความชำนาญของช่างในการจัดทำ จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี มีความสวยงาม เทียบเคียงของเดิมทุกประการ



### ราวบันไดทองเหลือง วังไกลกังวล อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

สำนักพระราชวังได้ขอรับการสนับสนุนกรมอุทยานรีโอ ดำเนินการเปลี่ยนราวบันได วังไกลกังวล ที่ทำด้วยไม้ เป็นทองเหลือง กรมอุทยานรีโอได้ถอดแบบและหล่อด้วยทองเหลือง พร้อมทั้งจัดทำแบบลวดลายให้เหมือนกับของเดิมโดยร่วมกับ บริษัท วรวัฒน์การช่าง จำกัด



ต่อมาทางสำนักพระราชวังได้ติดตั้งลิฟท์ บริเวณบันไดใต้ดินจนถึงห้องบรรทม ซึ่งทางบริษัท ศรีไทย จำกัด ได้รื้อถอนราวบันไดทั้งหมดออกเพื่อติดตั้งตู้ลิฟท์ และขอให้กรมอุทกหารเรือ ขยายราวบันไดให้ห่างจากตู้ลิฟท์ทุกด้าน ระยะห่างจากตู้ลิฟท์ประมาณ 7 ซม. กรมอุทกหารเรือจึงได้ติดตั้งแนวราวลูกกรงใหม่ทั้งหมด พร้อมทั้งประกอบราวบันไดซึ่งต้องตัดต่อของเดิมบริเวณ หน้าห้องบรรทม ซึ่งเป็นทางเข้าประตูลิฟท์ และสร้างราวบันไดบริเวณหน้าตู้ลิฟท์ให้มีความ สะดวกในการใช้งานขึ้น

ต่อมาทางสำนักพระราชวังได้ให้กรมอุทกหารเรือออกแบบและติดตั้งราวบันไดบริเวณ ทางลงศาลาเริงอีกแห่งหนึ่ง โดยทำราวดัดโค้งรูปตัวยูมีครอบทองเหลืองทอปลิงเหมือนกับ ครอบราวบันได ด้านบนหล่อด้วยทองเหลือง โดยทางเจ้าหน้าที่โรงงานช่างท่อ แผนกโรงงาน เรือเหล็ก กองโรงงาน อุทกหารเรือธนบุรี กรมอุทกหารเรือ เป็นผู้ดำเนินการตัดต่อทองเหลือง และประกอบทอปลิงเข้ากับราวบันได

ในส่วนของการปรับปรุงต่อเติมศาลาเริง วังไกลกังวล ได้มีการกำหนดให้ใช้กลอนลูกบิด รูปแบบเดียวกับที่กรมอุทกหารเรือ เคยจัดทำให้สำหรับใช้กับพระตำหนักเปี่ยมสุข วังไกลกังวล ดังนี้

กลอนลูกบิดประตู	60 ชุด		
กลอนสันชนิดฝัง	ขนาดยาว 8 นิ้ว	จำนวน	40 ชุด
บานพับทองเหลือง	ขนาด 4 นิ้ว	จำนวน	100 ชุด
บานพับปีก	ขนาด 4 นิ้ว	จำนวน	100 ชุด
ชุดขอสับ	ขนาด 3 นิ้ว	จำนวน	40 ชุด





### งานสีล้นแห่งสายน้ำ มหกรรมลอยกระทงปี 2550

การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย (ททท.) กำหนดจัดงาน “สีล้นแห่งสายน้ำ มหกรรมลอยกระทง” ประจำปี 2550 ระหว่างวันที่ 21-24 พฤศจิกายน 2550 โดยมีวัดอุปพระเสด็จในการจัดงานเพื่อเป็นกิจกรรมเฉลิมพระเกียรติเนื่องในโอกาสมหามงคลเฉลิมพระชนมพรรษา 80 พรรษา 5 ธันวาคม 2550 ซึ่งมีกำหนดพิธีเปิดงานในวันที่ 21 พฤศจิกายน 2550 ณ หอประชุมกองทัพเรือ โดยทางการท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย (ททท.) ขอรับการสนับสนุนจากกรมอุทกหารเรือ ในการปักเสาและจัดวางหุ่นสำหรับจอดเรือประดับไฟฟ้า จำนวน 20 ลำ นอกจากนี้ กรมอุทกหารเรือได้จัดทำเรือประดับไฟฟ้าส่งเข้าประกวดโดยเป็นเรือเฉลิมพระเกียรติเนื่องในโอกาสมหามงคลเฉลิมพระชนมพรรษา 80 พรรษา 5 ธันวาคม 2550 ภายใต้แนวคิด “80 พรรษา เจ้าพระยาสดใส เทิดไท้องค์ราชันย์” ในงาน สีล้นแห่งสายน้ำ มหกรรมลอยกระทง ประจำปี 2550 ณ แม่น้ำเจ้าพระยา (จากสะพานพระราม 9 ถึงสะพานกรุงธน) กรุงเทพมหานคร โดยทางกรมอุทกหารเรือ ส่งเข้าประกวดในนามของกองทัพเรือ

ในชื่อเรือ “น้ำพระราชหฤทัยตั้งมหานที พระบารมีคุ้มครองไทย” ซึ่งผลการประกวดได้รับรางวัลรองชนะเลิศอันดับ 2

## พระราชพิธีพระราชทานเพลิงพระศพ

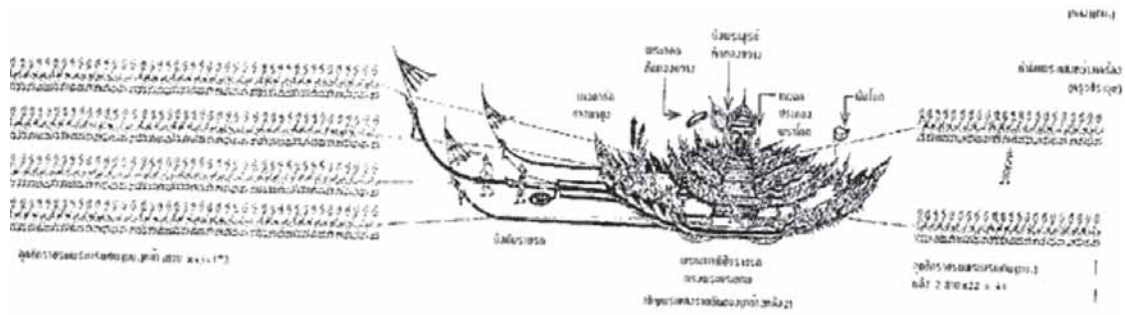
### สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์

ดวงใจทุกดวงของปวงชนชาวไทยทุกหมู่เหล่าทั่วประเทศ ต่างร่วมส่งแรงอธิษฐาน ภายหลังทราบข่าวพระอาการประชวรของสมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ ให้ทรงหายจากพระอาการประชวรโดยเร็ว แต่แล้วดวงใจทุกดวงแทบแตกสลาย ต้องประสบกับความสูญเสียครั้งยิ่งใหญ่ที่ปวงชนชาวไทยทุกคนต้องจดจำไปตราบนานเท่านาน เมื่อสำนักพระราชวังออกแถลงการณ์ถึงการสิ้นพระชนม์ของพระองค์ เมื่อวันที่ 2 มกราคม 2551 ยังความเศร้าโศกสลดแก่ปวงชนชาวไทยทั่วประเทศ

ภายหลังการสิ้นพระชนม์ สำนักพระราชวังได้จัดให้มีการบำเพ็ญกุศลสวดพระอภิธรรม พระศพอย่างสมพระเกียรติพร้อมทั้งเริ่มดำเนินการเตรียมพระราชพิธีพระราชทานเพลิงพระศพฯ ในการนี้กองทัพเรือโดยกรมอุทการเรือได้รับเกียรติอย่างใหญ่หลวง โดยมีส่วนร่วมในการเตรียมขบวนราชรถ ตามหนังสือจากกรมศิลปากร ที่ วธ.0414/387 ลง 29 ม.ค.51 เรื่อง ขอความอนุเคราะห์จากกรมอุทการเรือ เพื่อดำเนินการจัดทำเชือกชักจตุรราชรถและเครื่องประกอบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องในงานพระราชพิธีฯ

### รายการที่กรมอุทการเรือดำเนินการจัดทำ

1. เชือกชักจตุรพระมหาพิชัยราชรถ จำนวน 1 องค์ องค์ละ 1 ชุด ชุดละ 6 เส้น ประกอบด้วย  
เชือกหน้า (เชือกชักลาก) จำนวน 4 เส้น ชนิดเส้นละ 43 ห่วง (43 คน)  
เชือกหลัง (เชือกจูด) จำนวน 2 เส้น ชนิดเส้นละ 22 ห่วง (22 คน)
2. เชือกชักจตุรเวษยันตราราชรถ จำนวน 1 องค์ องค์ละ 1 ชุด ชุดละ 6 เส้น ประกอบด้วย  
เชือกหน้า (เชือกชักลาก) จำนวน 4 เส้น ชนิดเส้นละ 43 ห่วง (43 คน)  
เชือกหลัง (เชือกจูด) จำนวน 2 เส้น ชนิดเส้นละ 22 ห่วง (22 คน)
3. เชือกชักจตุรราชรถน้อย จำนวน 3 องค์ องค์ละ 1 ชุด ชุดละ 6 เส้น ประกอบด้วย  
เชือกหน้า (เชือกชักลาก) จำนวน 4 เส้น ชนิดเส้นละ 14 ห่วง (14 คน)  
เชือกหลัง (เชือกจูด) จำนวน 2 เส้น ชนิดเส้นละ 9 ห่วง (9 คน)
4. เชือกชักจตุรเกรินบันไดนาค จำนวน 2 องค์ องค์ละ 1 ชุด ชุดละ 2 เส้น
5. เชือกหามพระเสลี่ยงแว่นฟ้า จำนวน 1 ชุด ( 2 เส้น)
6. เชือกประกอบคานหามพระศรีวิภาการ จำนวน 1 ชุด (8 เส้น)



### พระมหาพิชัยราชรถ

เชือกชักจุดพระมหาพิชัยราชรถ จำนวน 1 องค์กร องค์กรละ 1 ชุด ชุดละ 6 เส้น (หน้า 4 เส้น, หลัง 2 เส้น)

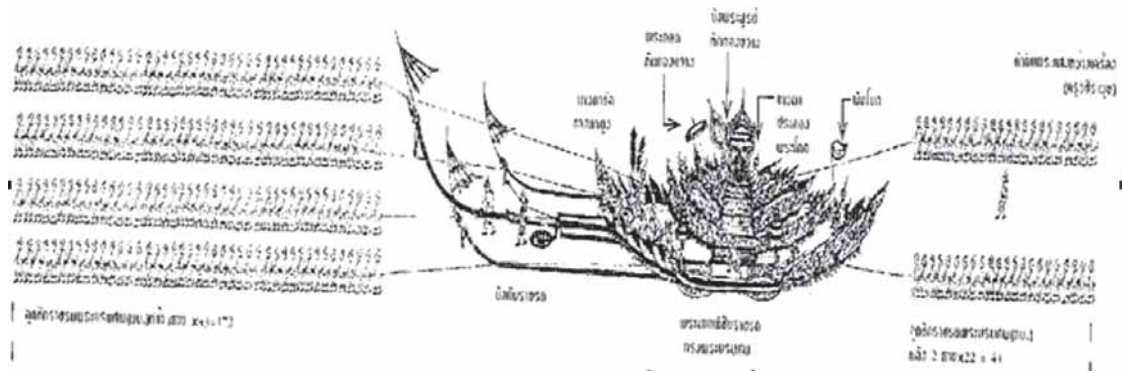
**เชือกหน้า (เชือกชักลาก)** จำนวน 4 เส้น ชนิดเส้นละ 43 ห่วง (43 คน)

- ขนาดเชือก
- เชือกชักลาก ขนาดเส้นรอบวง 4.5 นิ้ว ยาวเส้นละ 40.20 ม.
  - เชือกห้วงคล้องไหล่ ขนาดเส้นรอบวง 2 นิ้ว จำนวน 43 ห่วง
- ห้วงสุดท้ายห่างจากตัวห้วงของราชรถฯ 8.00 ม. ปลายเชือกด้านติดกับราชรถฯ มีห้วงเหล็ก 2 ห่วง

**เชือกหลัง (เชือกจุด)** จำนวน 2 เส้น ชนิดเส้นละ 22 ห่วง (22 คน)

- ขนาดเชือก
- เชือกจุด ขนาดเส้นรอบวง 4.5 นิ้ว ยาวเส้นละ 19.75 ม.
  - เชือกห้วงคล้องไหล่ ขนาดเส้นรอบวง 2 นิ้ว จำนวน 22 ห่วง
- ห้วงสุดท้ายห่างจากตัวห้วงของราชรถฯ 3.50 ม. ปลายเชือกด้านติดกับราชรถฯ มีห้วงเหล็ก 2 ห่วง





### เวชยันตราซรด

เชือกชักจุดเวชยันตราซรด จำนวน 1 องค์กร องค์กรละ 1 ชุด ชุดละ 6 เส้น (หน้า 4 เส้น, หลัง 2 เส้น)

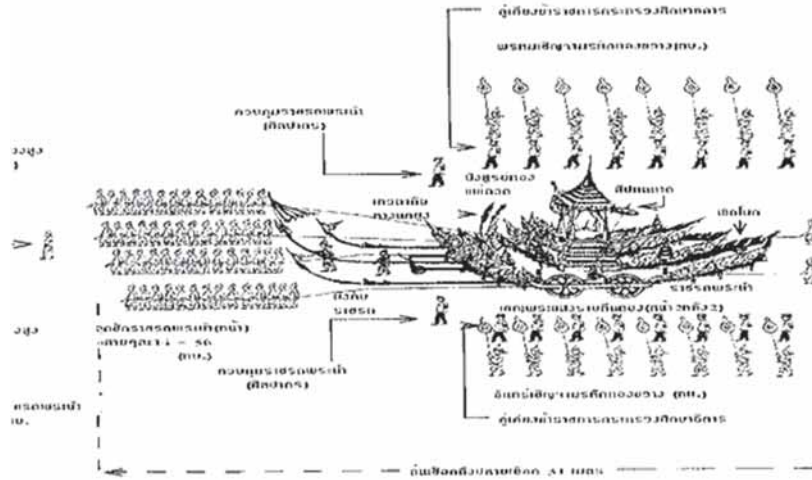
เชือกหน้า(เชือกชักลาก) จำนวน 4 เส้น ชนิดเส้นละ 43 ห่วง (43 คน)

- ขนาดเชือก
- เชือกชักลาก ขนาดเส้นรอบวง 4.5 นิ้ว ยาวเส้นละ 40.20 ม.
  - เชือกห้วงคล้องไหล่ ขนาดเส้นรอบวง 2 นิ้ว จำนวน 43 ห่วง
- ห้วงสุดท้ายห่างจากตัวห้วงของราซรดฯ 8.00 ม. ปลายเชือกด้านติดกับราซรดฯ มีห้วงเหล็ก 2 ห่วง

เชือกหลัง (เชือกจุด) จำนวน 2 เส้น ชนิดเส้นละ 22 ห่วง (22 คน)

- ขนาดเชือก
- เชือกจุด ขนาดเส้นรอบวง 4.5 นิ้ว ยาวเส้นละ 19.75 ม.
  - เชือกห้วงคล้องไหล่ ขนาดเส้นรอบวง 2 นิ้ว จำนวน 22 ห่วง
- ห้วงสุดท้ายห่างจากตัวห้วงของราซรดฯ 3.50 ม. ปลายเชือกด้านติดกับราซรดฯ มีห้วงเหล็ก 2 ห่วง





### ราชรถน้อย

เชือกชักจุดราชรถน้อย จำนวน 3 องค์ องค์ละ 1 ชุด ชุดละ 6 เส้น (หน้า 4 เส้น, หลัง 2 เส้น)

**เชือกหน้า (เชือกชักลาก)** จำนวน 4 เส้น ชนิดเส้นละ 14 ห่วง (14 คน)

ขนาดเชือก - เชือกชักลาก ขนาดเส้นรอบวง 4.5 นิ้ว ยาวเส้นละ 16.85 ม.  
- เชือกห่วงคล้องไหล่ ขนาดเส้นรอบวง 2 นิ้ว จำนวน 14 ห่วง  
ห่วงสุดท้ายห่างจากตัวห่วงของราชรถฯ 6.50 ม. ปลายเชือกด้านติดกับราชรถฯ มีห่วงเหล็ก 2 ห่วง

**เชือกหลัง (เชือกจุด)** จำนวน 2 เส้น ชนิดเส้นละ 9 ห่วง (9 คน)

ขนาดเชือก - เชือกจุด ขนาดเส้นรอบวง 4.5 นิ้ว ยาวเส้นละ 9.00 ม.  
- เชือกห่วงคล้องไหล่ ขนาดเส้นรอบวง 2 นิ้ว จำนวน 9 ห่วง  
ห่วงสุดท้ายห่างจากตัวห่วงของราชรถฯ 2.45 ม. ปลายเชือกด้านติดกับราชรถฯ มีห่วงเหล็ก 2 ห่วง





### เกรินบันไดนาค

เชือกชักจุดเกรินบันไดนาค จำนวน 2 องค์กร องค์กรละ 1 ชุด ชุดละ 2 เส้น รวม 4 เส้น  
เชือกขนาดเส้นรอบวง 2.75 นิ้ว ยาวเส้นละ 8.90 ม.



เชือกสำหรับชักจุดเกรินบันไดนาค



เชือกด้านติดกับเกรนบันไดนาค



ปลายเชือกด้านติดกับเกรนบันไดนาค



เชือกด้านเจ้าหน้าที่ซักลาก ๑

### เชือกหามพระเสลี่ยงแว่นฟ้า



เชือกหามพระเสลี่ยงแว่นฟ้า จำนวน 1 ชุด ชุดละ 2 เส้น ทำจากด้ายป่าน ยาวเส้นละ 1.60 ม.



### เชือกประกอบคานหามพระศรีวิภาการ



เชือกประกอบคานหามพระศรีวิภาการ จำนวน 1 ชุด ชุดละ 8 เส้น ทำจากเชือกมะนิลา ขนาดเส้นรอบวง 1 นิ้ว ยาวเส้นละ 4.80 ม.

### ขนาด และชนิดของเชือก



เชือกชักจูดราชรถ ขนาดเส้นรอบวง 4.5 นิ้ว

เชือกห้วงคล้องไหล่ขนาดเส้นรอบวง 2 นิ้ว



เชือกชักจูดราชรถฯ ขนาดเส้นรอบวง 4.5 นิ้ว  
แรงดึงขาด 4,650 KGF.

เชือกห้วงคล้องไหล่ขนาดเส้นรอบวง 2 นิ้ว  
แรงดึงขาด 4,650 KGF.

เชือกชักจูดราชรถฯ กับเชือกห้วงคล้องไหล่  
แรงดึงขาด 1,400 KGF.



### ขั้นตอนการทำเชือกสำหรับใช้ในการชักจูดราซรถฯ





การทำห่วงเหล็กเชือกชักจุดด้านติดกับราชมรท



**ตรวจสอบห่วงเหล็ก- เชือกชักจุดด้านติดกับราชรถ**



**พิธีบวงสรวงราชรถที่โรงเก็บราชรถ พิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ**

พล.ร.ต.มานิตย์ สุนนาคำ และคณะ ร่วมพิธีบวงสรวงราชรถ เมื่อ 5 ก.พ.51



ติดต่อฝ่ายโฆษณา

www.jsl.co.th

0 2731 0630

ต่อ 300-304



# TV PROGRAM 2008



"คืนนี้ วันนั้น" อังคาร 4 ทุ่ม / "เจาะใจ" พฤหัสบดี 4 ทุ่ม /  
"คริส เดลิเวอรี่" ศุกร์ 3 ทุ่ม 20 / "กลมทีก" อาทิตย์ 6 โมงเย็น



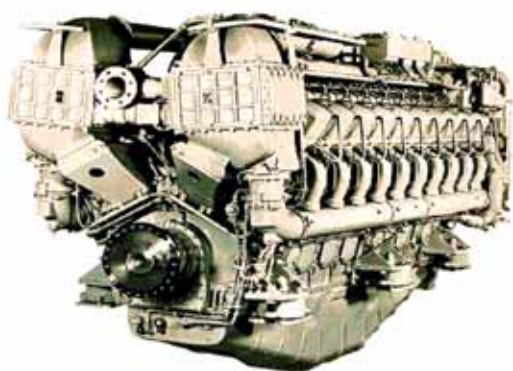
"จันทร์พันดาว" จันทร์ 4 ทุ่ม 20 /  
/ "07 โข่ว" อาทิตย์ บ่าย 3 โมง 50



"คนค้นคน" อังคาร 4 ทุ่ม 15 / "กบนอกทะเล" ศุกร์ 2 ทุ่ม 45 /  
/ "สุริวิภา" ศุกร์ 4 ทุ่ม 15 / "จุดเปลี่ยน" เสาร์ บ่ายโมง



## Complete Power Range for Naval and Governmental Vessels



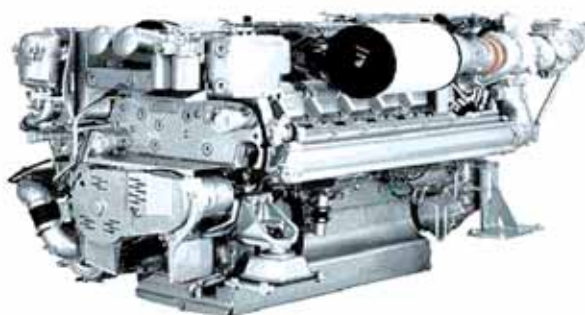
Series 1163



Series 4000



Series 60



Series 2000



Distributor for:



**DETROIT DIESEL**



Powertech 2004 Co., Ltd.  
731/9-10 Trok Wat Channai,  
Ratchadaphisek Rd,  
Bangphong phang, Yannawa,  
Bangkok 10120, Thailand  
Tel: +66 (0) 26836991  
Fax: +66 (0) 26836992  
Email: [info@powertech2004.com](mailto:info@powertech2004.com)  
[www.powertech2004.com](http://www.powertech2004.com)

## การพัฒนา เรือตรวจการณ์ใกล้ฝั่ง ต.994



**นาวาเอก ศรารุท วงศ์เงินยวง**

ผู้อำนวยการกองออกแบบต่อเรือ กรมแผนการช่าง กรมอุทกหารเรือ

2 ถนนอรุณอมรินทร์ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700

โทร 0 2475 4251 โทรสาร 0 2475 4387

E-mail: swny1976@yahoo.com

**นาวาเอก นิพนธ์ มุสสิน**

หัวหน้าออกแบบโครงสร้างตัวเรือ กองออกแบบต่อเรือ กรมแผนการช่าง กรมอุทกหารเรือ

2 ถนนอรุณอมรินทร์ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700

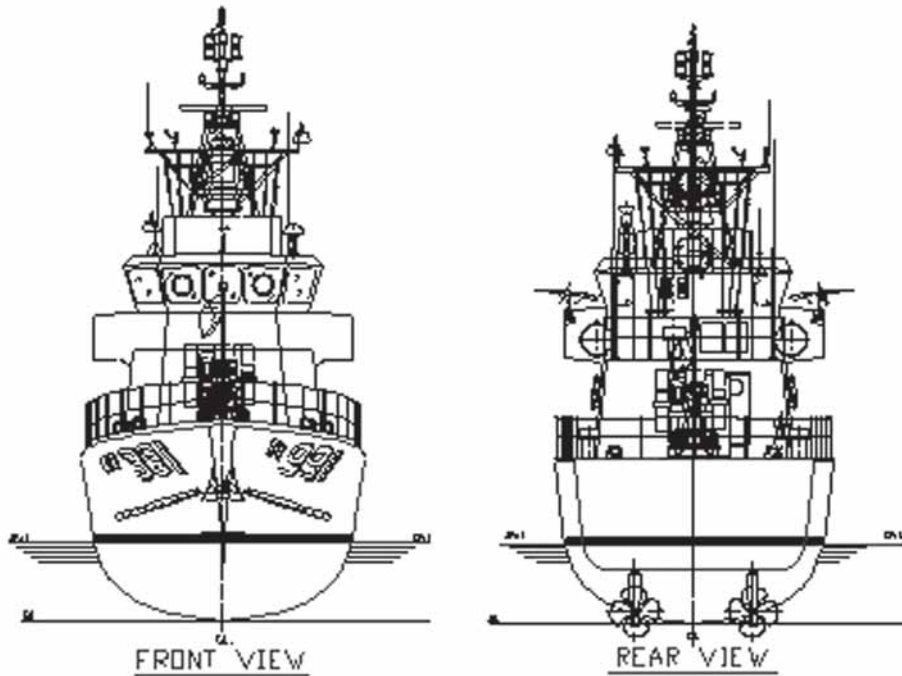
โทร 0 2475 4253 โทรสาร 0 2475 4387

E-mail: nibhon1962@yahoo.com

## บทคัดย่อ

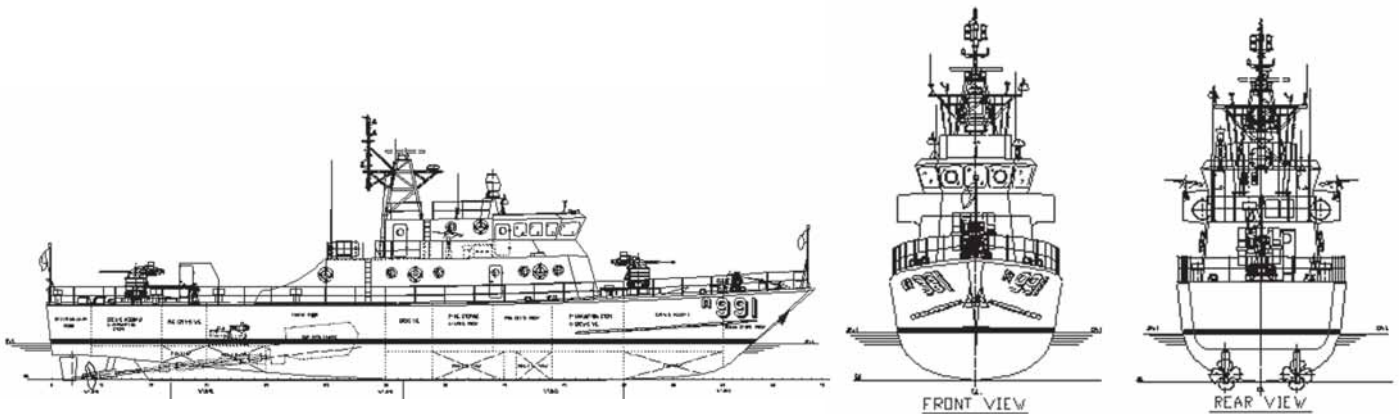
จากความสำเร็จในโครงการจัดสร้างเรือตรวจการณ์ใกล้ฝั่งเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา ชุดเรือ ต.991 จำนวน 3 ลำ ซึ่งดำเนินตามกระแสพระราชดำริของ พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เมื่อวันที่ 15 เมษายน พ.ศ. 2545 ความตอนหนึ่งว่า **“เรือรบขนาดใหญ่มีราคาแพงและมีค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานสูง กองทัพเรือจึงควรใช้เรือที่มีขนาดเหมาะสมและสร้างได้เองซึ่งเมื่อสร้างเรือตรวจการณ์ใกล้ฝั่งชุดเรือ ต.91 ได้แล้ว ควรขยายแบบเรือให้ใหญ่ขึ้นและสร้างเพิ่มเติม”** กองทัพเรือจึงได้ดำเนินการพัฒนาแบบลายเส้นเรือจากชุดเรือ ต.99 เดิม โดยขยายแบบให้ใหญ่ขึ้นในการออกแบบเรือนั้น กองทัพเรือได้รับพระราชทานพระบรมราชวโรกาสให้เข้าเฝ้า กราบบังคมทูลถวายแบบเรือและข้อมูลการออกแบบเบื้องต้น เมื่อวันที่ 19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2547 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ทรงพระกรุณาพระราชทานพระบรมราชวินิจฉัยในเรื่อง ขนาด รูปทรงของเรือ น้ำหนัก และการออกแบบ บัดนี้โครงการจัดสร้างเรือชุดเรือ ต.991 จำนวน 3 ลำ ประสบความสำเร็จเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ซึ่งในปีงบประมาณ 52 กองทัพเรือมีแผนที่จะจัดหาเรือตรวจการณ์ใกล้ฝั่งเพิ่มอีก จำนวน 3 ลำ กรมอุทกศาสตร์เรือจึงได้แต่งตั้งคณะทำงานเตรียมการสร้างเรือตรวจการณ์ใกล้ฝั่งชุดเรือ ต.994 โดยยึดถือพระราชดำริเป็นแนวทางในการทำงานโดยดำเนินการพัฒนาแบบเรือให้มีคุณลักษณะที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น การพัฒนาปรับปรุงแบบเรือจะใช้รายงานปัญหา ข้อขัดข้องของเจ้าหน้าที่ผู้ใช้เรือ และหน่วยเทคนิคต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยแบบที่ได้นั้นให้คงไว้ซึ่งระวางขับน้ำใกล้เคียงของเดิม สามารถใช้ระบบขับเคลื่อนเดิมทำความเร็วเรือไม่ต่ำกว่า 27 นอต และพัฒนาขีดความสามารถด้าน Seakeeping และ Maneuvering ให้ดีกว่าเดิม





### บทนำ

การพัฒนาเรือตรวจการณ์ใกล้ฝั่งชุด เรือ ต.994 เป็นการพัฒนาแบบเรือให้มีคุณลักษณะที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น โดยการพิจารณาจากปัญหาข้อขัดข้องที่เกิดขึ้นในหลาย ๆ ส่วน ประการแรกคือปัญหาที่ผู้ออกแบบตรวจพบระหว่างการออกแบบ เช่นระหว่างการทำวงรอบการออกแบบ (Design Spiral) การขาดข้อมูลสำคัญที่จะนำมาพิจารณาเป็นปัจจัยหนึ่ง การขาดการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ได้สิ่งที่ดีที่สุดในการใช้เป็นข้อมูลในการสร้างเรือ เช่นการคำนวณต่าง ๆ จะนำมาซึ่งการออกแบบที่มีลักษณะ Lack of Design or Over Design ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงและพึงระมัดระวังให้มากที่สุด ประการที่สองเป็นปัญหาระหว่างการสร้าง การประกอบเครื่องจักรอุปกรณ์ ซึ่งส่วนใหญ่อาจมีการแก้ไขหน้างาน ต้องตรวจสอบกับฝ่ายผลิตว่ามีการบันทึกอุปสรรคที่เกิดขึ้นระหว่างการสร้างอย่างไรบ้าง และนำเสนอฝ่ายแผนเพื่อให้มีการใช้ข้อมูลในการวิเคราะห์แก้ไขต่อไป ประการที่สามเป็นการวิเคราะห์จากรายงานปัญหา ข้อขัดข้องของเจ้าหน้าที่ผู้ใช้เรือ และหน่วยเทคนิคต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นเพื่อให้การพัฒนาเรือให้มีคุณลักษณะที่สมบูรณ์ จึงต้องวิเคราะห์ปัญหาในประเด็นดังกล่าวข้างต้น และแก้ไขให้เรียบร้อยก่อน จะทำให้การพัฒนาเรือนั้นมีคุณลักษณะที่เหมาะสมและตอบสนองต่อภารกิจได้ดีขึ้น ในที่นี้จะเริ่มจากการพิจารณาคุณลักษณะเรือ ต.991 จากนั้นพิจารณาการทดสอบสมรรถนะเรือที่ผ่านามีผลเป็นอย่างไร จากนั้นพิจารณาในการใช้งานเรือ และข้อเสนอแนะของหน่วยผู้ใช้และหน่วยเทคนิค นำปัญหาข้อขัดข้องทั้งหมดมาตรวจสอบ และพัฒนาแบบเรือใหม่ที่สามารถแก้ปัญหาต่าง ๆ ให้ได้มากที่สุด



รูปที่ 1 แบบเรียบเรียงทั่วไป เรือ ต.991

## 2. เรือตรวจการณ์ใกล้ฝั่งชุด เรือ ต.991

### 2.1 คุณสมบัติทั่วไป

กองทัพเรือจัดสร้างเพื่อทดแทนเรือตรวจการณ์ใกล้ฝั่งชุดเรือ ต.11 สังกัดกองเรือตรวจอ่าว กองเรือยุทธการ มีภารกิจลาดตระเวน ป้องกันการแทรกซึม คุ่มครองเรือประมง ป้องกันและคุ้มครองทรัพยากรธรรมชาติในอ่าวไทยและทะเลอันดามัน รักษากฎหมายในทะเลตามอำนาจหน้าที่ที่กองทัพเรือได้รับมอบหมาย รวมถึงการถวายความปลอดภัยแด่พระบรมวงศานุวงศ์ โดยมี

#### คุณลักษณะที่สำคัญ

- ความยาวตลอดลำ 38.7 เมตร
- ความกว้าง 6.49 เมตร กรอบเรือสูง 3.80 เมตร
- กินน้ำลึก 1.92 เมตร
- ระวังขับน้ำเต็มที (Full Load) 205 ตัน
- ความเร็วสูงสุดต่อเนื่อง ไม่น้อยกว่า 27 นอต ที่ Full Load
- ระยะปฏิบัติการไม่น้อยกว่า 1,500 ไมล์ทะเล

- ระยะเวลาปฏิบัติการในทะเลต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 7 วัน

- ความทนทะเล Sea State 3 (Significant Wave Height 1.2 m.)

- กำลังพลประจำเรือ 29 นาย (นายทหาร 5 พันจ่า 4 จ่า/พลทหาร 20) ระบบขับเคลื่อน

- เครื่องจักรใหญ่ดีเซล (Marine Diesel Engine) จำนวน 2 เครื่อง ตราอักษร MTU 16V 4000 M90

- ใบจักรแบบ Fixed Pitch จำนวน 2 พวง

ระบบไฟฟ้า

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลขนาด 140 กิโลวัตต์ จำนวน 2 เครื่อง

ระบบอาวุธ

- ปืนกลขนาด 30 มิลลิเมตร รุ่น DS-30M ของบริษัท MSI-DSL จำนวน 2 กระบอก

- ปืนกลขนาด .50 นิ้ว จำนวน 2 กระบอก

- เครื่องควบคุมการยิงแบบ Optronic รุ่น Mirador จำนวน 1 ระบบ

**2.2 การทดสอบสมรรถนะเรือ**

เป็นการทดสอบ 2 ลักษณะ คือ การทดลองเรือหน้าท่า (HAT) และในทะเล (SAT) เป็นการทดสอบสมรรถนะเรือในด้านต่าง ๆ เช่น การทดลองเอียงเรือเพื่อหาค่าความสูงศูนย์เสถียร (GM) เพื่อนำค่ามาคำนวณหาการทรงตัวของเรือ การหาความเร็วเรือ การหันเลี้ยววงกวาง การแล่นซิกแซก การหาระดับความดังของเสียง การหาระดับการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรและอุปกรณ์ รวมทั้งการส่งถ่ายการสั่นสะเทือนไปยังตัวเรือ การทำงานของเครื่องจักรใหญ่ การหาความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง การหารัศมีทำการ การทำงานของเครื่องยนต์ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

**การทดลองเอียงเรือ**

ระวางขับน้ำ (ตัน)	169	188	200
GM (m.)	0.597	0.644	0.684
KG (m.)	2.78	2.64	2.56

ค่าความสูงศูนย์เสถียรที่ระวางขับน้ำต่าง ๆ ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน IMO (GM : Not Less Than 0.15 m.)

**การหันเลี้ยววงกวาง**

การหันเลี้ยว	ความเร็วเรือ (นอต)	มุมหางเสือ (องศา)	เส้นผ่าศูนย์กลางวงหัน (เมตร)	มุมเอียงของเรือ (องศา)	อัตราส่วน (เส้นผ่าศูนย์กลางวงหัน / ความยาวเรือ)
เลี้ยวขวา	27	35	260	10-15	7.18
เลี้ยวซ้าย	27	35	279	10-15	7.70

**การหาความเร็วเรือ**

ความเร็วรอบเครื่องจักรใหญ่ (รอบ/นาที)	525	1050	1575	2100
ความเร็วเรือ (นอต)	7.6	14.1	19.6	29.5

การทำความเร็วของเรือเป็นไปตามความต้องการของการออกแบบ โดยเรือต้องทำความเร็วสูงสุดไม่น้อยกว่า 27 นอต (Design Target Speed 29 Knots)

**การหันเลี้ยววงกวาง**

การหันเลี้ยววงกวางทั้งกราบขวาและกราบซ้าย เรือมีสภาพความคล่องตัวขณะแล่นในทะเลอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้

**การแล่นซิกแซก**

เรือสามารถแล่นซิกแซกได้อย่างคล่องตัว โดยที่เรือมีความเร็ว 27 นอตสามารถแล่นเลี้ยวขวาและเลี้ยวซ้ายด้วยมุมหางเสือสูงสุด 35 องศา ได้อย่างปลอดภัย โดยตัวเรือจะเอียงประมาณ 10-15 องศา

**การหาโมเมนต์**

เมื่อหยุดเครื่องจักรใหญ่ ที่ความเร็วสูงสุด เรือจะมีระยะโมเมนต์ ประมาณ 554 เมตร

### การทำ Crash Stop

เมื่อหยุดเครื่องจักรใหญ่ ที่ความเร็วสูงสุด และใช้เครื่องจักรลอยหลัง เรือจะมีระยะ Crash Stop ประมาณ 272 เมตร หรือใช้เวลา ประมาณ 29 วินาที

จากผลการทดสอบเรือแสดงให้เห็นว่าการออกแบบและการสร้างเรือ สามารถให้สมรรถนะของเรือตามที่ต้องการ

### 2.3 การใช้งานเรือ และข้อเสนอแนะ

เรือได้ขึ้นระวางเป็นเรือประจำการตั้งแต่วันที่ 27 พฤศจิกายน พ.ศ. 2550 จากการใช้งานเรือมาเป็นระยะเวลาหนึ่ง จึงได้รวบรวมผลการใช้งานเรือ ปัญหา ข้อขัดข้องที่ตรวจพบ เพื่อนำมาตรวจสอบวิเคราะห์หาวิธีในการแก้ไขหรือปรับปรุงในการสร้างเรือลำต่อไป โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตัวเรือและเครื่องประกอบตัวเรือ

- ห้องเครื่องมีพื้นที่น้อยและอุปกรณ์ภายในห้องเครื่องมีจำนวนมาก ไม่สัมพันธ์กับขนาดของห้อง ทำให้เกิดอุปสรรคในการปฏิบัติงาน การเข้าไปปฏิบัติงานรอบอุปกรณ์ต่าง ๆ ทำได้ลำบาก

- สมอของเรือเป็นแบบชักหย่อนโดยหลักเดวิด ทำให้ยากต่อการปฏิบัติงานในสภาพความสูงของคลื่นตั้งแต่ 1 เมตร โดยใช้เวลาในการหะเบสสมอประมาณ 15 นาที เพื่อให้เหมาะสมต่อการปฏิบัติงานของเรือ ควรใช้การปล่อยจากรูสมอ

- ห้องต่าง ๆ ภายในเรือไม่สมดุลกับการปฏิบัติงานจริงของเรือ ควรปรับขนาดห้องได้แก่ ห้องศูนย์ยุทธการ สะพานเดินเรือ ห้องพักอาศัย ห้องเก็บของ ห้องเมส เป็นต้น

- ขณะรับ นม.ชพ. และ น้ำจืดเต็มทีเรือจะมีอาการเอียงซ้าย 3 องศา

- ถังเก็บน้ำจืดที่เพียงพอต่อการปฏิบัติงาน 7 วัน ควรมีความจุไม่ต่ำกว่า 7 ตัน

- ถังเก็บ นมล. ที่เหมาะสมกับการปฏิบัติงานของเรือ ตกฝ. ควรมีความจุถังเก็บและถัง นมล. เสียไม่ต่ำกว่าถังละ 700 ลิตร

- เนื่องด้วยความสูงของ Superstructure ทำให้เรือมีอาการโคลงมากที่บริเวณคลื่นสูง เรือมีอาการโคลงทางข้างถึง 30 องศา ทำให้การปฏิบัติงานไม่ได้เต็มประสิทธิภาพ

- ด้วยคุณสมบัติและลักษณะการปฏิบัติงานของเรือประเภทนี้ ควรมียะยะเวลาปฏิบัติการในทะเล 5 วัน และมีระยะปฏิบัติการ 1,000 ไมล์ทะเล

- โครงสร้าง Mast ขนาดใหญ่ มีผลต่อการทรงตัวของเรือ

- แผ่นปิด Mirador มีผลต่อความต้านทานจากกระแสลม

- ห้อง CIC & Radio และห้องแบตเตอรี่ มีอุปกรณ์น้ำหนักมากและอยู่สูง จึงมีผลต่อการทรงตัวของเรือ

- ตำแหน่งถังน้ำมันหัวเรือไม่เหมาะสม อาจเกิดอันตรายขณะเรือเกยหรือโดนกัน และยังมีผลต่อทริมเรือ

- สะพานเดินเรือมีมุมมองท้ายเรือจำกัด (เดิมมีกระจกมองหลัง แต่ถูกช่องอากาศปิด)

- ตำแหน่ง CO<sub>2</sub> แบบท่วมห้องอยู่ในบริเวณที่พิก หากรั่วจะเป็นอันตรายต่อกำลังพล

- ฝ้าเพดานมีขนาดใหญ่ มีระบบท่อทางอยู่ภายในทำให้การ ปคส. ยาก ควรปรับปรุงฝ้าเพดานให้เป็นแบบตะแกรง

- การใช้งานทางเลี้ยวขณะลอยหลังมีปฏิกริยาน้อย

ระบบขับเคลื่อนและเครื่องจักรช่วย

- เครื่องจักรใหญ่และเครื่องจักรช่วย เรียบร้อย

- เพลลาใบจักรเป็นแบบหมุนเข้ากึ่งกลางลำ ทำให้ยากต่อการนำเรือเข้าเทียบหรือออกจากเทียบ

- เครื่องปรับอากาศ ไม่สามารถทำอุณหภูมิได้ตามเกณฑ์ในบางจุด ได้แก่ สะพานเดินเรือ และคลังสรรพาวุธหัว-ท้าย

- ตู้แช่เสบียงไม่สามารถทำอุณหภูมิได้ตามเกณฑ์

เครื่องถือท้ายและเครื่องหางเสือ

- เครื่องถือท้ายและเครื่องถือท้ายอะไหล่เรียบร้อย

- เครื่องหางเสือ เกิดสัญญาณเตือนระดับน้ำมันเมื่อเรือมีอาการเอียงเกินกว่า 10 องศา ตลอดเวลา

ระบบอาวุธและเครื่องสรรพาวุธ

- มุมกระดกปืน 30 มม. (-20° ถึง +65°) แต่ใช้งานได้ที่มุมมากกว่า 0° เกิดจากตำแหน่งฐานปืน และอุปกรณ์ประกอบตัวเรือ ควรเพิ่มความสูงฐานปืน หรือ ปรับลดความสูงอุปกรณ์ประกอบตัวเรือ

- อาวุธปืน 30 มม. ตรวจพบการบิ่นของปลอกกลดแรงอยู่ในเรือ ต.991 และเรือ ต.992

- อาวุธปืน .50 นิ้วเรียบร้อย

- ระบบ คคย. เรียบร้อย ความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ 80%

- คลังอmunition อุณหภูมิไม่ได้ตามเกณฑ์ ขาดชั้นเก็บลูกปืน .50 นิ้ว และเครื่องสรรพาวุธอื่น ๆ ได้แก่ หมวกเหล็ก เลื่อยเกราะ และเครื่องมือเครื่องอะไหล่

ระบบเดินเรือและเครื่องมือเดินเรือ

- ระบบแผนที่อิเล็กทรอนิกส์เดินเรือ ECDIS ตรวจพบปัญหาเกี่ยวกับโปรแกรมบ่อยครั้ง ยังไม่สามารถหาสาเหตุได้

- เครื่องมือเดินเรือเรียบร้อย

- ไฟฉายค้นหาไม่เพียงพอต่อการใช้งาน เนื่องจากไม่มีไฟฉายค้นหาหลักนอกจากคอมไฟบังคับทิศที่ติดตั้งบริเวณปีกนกสะพานเดินเรือ อาจเกิดปัญหาในการปฏิบัติงานหรือตรวจค้นในเวลากลางคืน

อุปกรณ์การสื่อสารและอิเล็กทรอนิกส์

- อุปกรณ์สื่อสารเรียบร้อย

- อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เรียบร้อย

- อุปกรณ์ป้องกันความเสียหาย

- ขนาดของอุปกรณ์ไม่สัมพันธ์กับขนาดเรือทำให้ยากต่อการใช้งานและบางชิ้นไม่สามารถใช้งานได้

เรือเล็กประจำเรือ

- ขนาดแรงม้าของเครื่องน้อยเกินไปไม่สามารถทำความเร็วเพื่อใช้ในการตรวจค้นได้ ควรทำความเร็วได้ไม่ต่ำกว่า 15 นอต

- กว้านที่ใช้ในการยกเรือเล็กควรเป็นแบบไฮดรอลิกส์เพื่อความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน

### 3. เรือตรวจการณ์ใกล้ฝั่งชุด เรือ ต.994

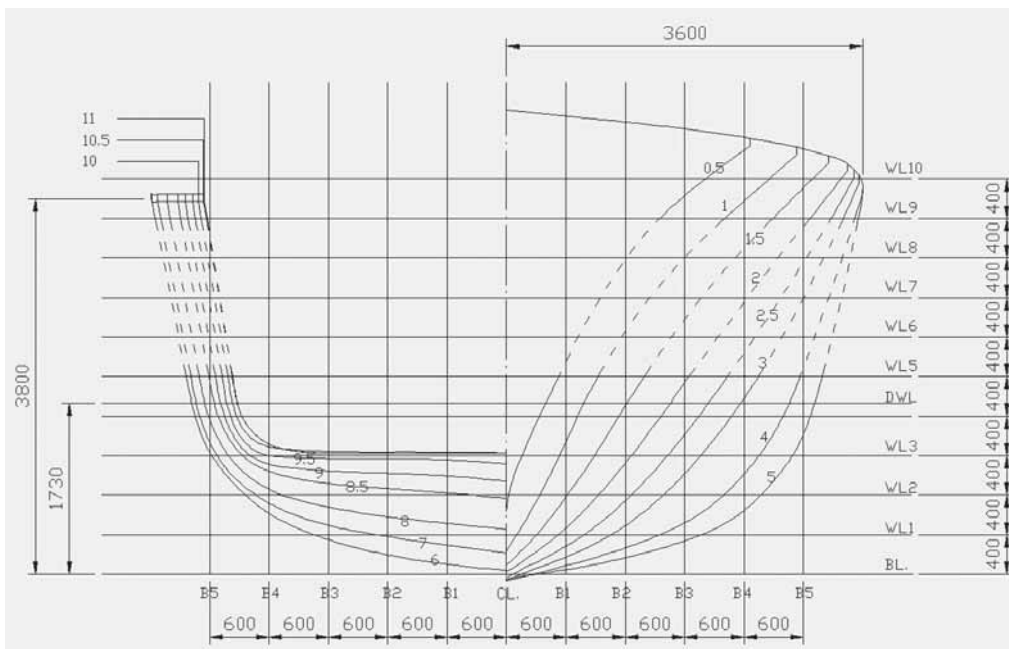
#### 3.1 การพัฒนารูปทรงตัวเรือ (Lines Development)

จากผลการใช้งานเรือ การพิจารณาปัญหาและข้อขัดข้องที่เกิดขึ้น พบว่าเกิดจากการขาดข้อมูลสำคัญหลายประการ เช่น ระบบอาวุธที่จะใช้กับเรือคือระบบใด มีตั้งแต่ปืน 40 มม. หรือ ปืน 30 มม. ข้อมูลรุ่น ข้อมูลระบบควบคุมการยิง การเลือกเครื่องจักรใหญ่ เครื่องขับเคลื่อนกำเนิด เครื่องกำเนิดไฟฟ้า อุปกรณ์สำคัญต่าง ๆ ที่ใช้งานเรือ การระบุดราอักษรของเครื่องจักร อุปกรณ์ บางอย่างมากว่า 1 รายการ ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ สิ่งดังกล่าวข้างต้น

จึงเป็นผลนำมาซึ่งการออกแบบเรือและการออกแบบระบบ ยังไม่สามารถทำให้ได้เรือที่ออกมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

การแก้ไข หรือปรับปรุงในการออกแบบเรือเป็นการขยายขนาดเรือ (Scale Up) โดยขนาดที่เหมาะสมที่สุดต้องสามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ให้ผลเป็นที่น่าพอใจมากที่สุด ด้วยสมมุติฐานที่จะคงไว้ซึ่ง ระยะเวลาของเรือประมาณ 205 วัน คงขนาดของระบบขับเคลื่อนเดิม รักษาความเร็วเรือไม่ต่ำ

กว่า 27 นอต (Design Target Speed 29 Knots) พัฒนาสมรรถนะด้านการทรงตัวของเรือและการหันเลี้ยว โดยขยายขนาดลายเส้นเรือชุดเรือ ต.991 ขึ้น 8% ในทุกมิติ จากนั้นขยายความกว้างเรือส่วนที่อยู่เหนือแนวน้ำเพิ่มขึ้น โดยขยายลายเส้นออกไปยังความกว้างกราบเรือที่เพิ่มขึ้นเป็น 7.2 เมตร (Lines Fairing) ในขณะที่คงความยาวและรูปทรงส่วนที่อยู่ใต้น้ำ



รูปที่ 2 การปรับปรุงลายเส้นเรือ

คุณลักษณะทั่วไปของเรือชุด ต.994

- ความยาวตลอดลำ 41.70 เมตร
- ความกว้าง 7.20 เมตร
- กราบเรือสูง 3.80 เมตร
- กินน้ำลึก 1.80 เมตร
- ระยะเวลาขี้น้ำเต็มที (Full Load)

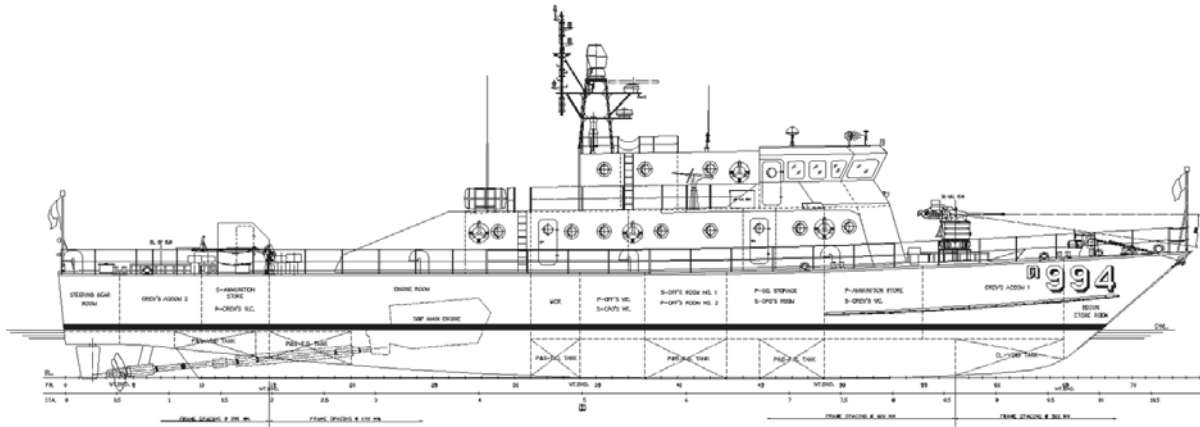
215 วัน

- ความเร็วสูงสุดไม่น้อยกว่า 27 นอต ที่ Full Load

- ระยะปฏิบัติการไม่น้อยกว่า 1,500 ไมล์ทะเล

- ระยะเวลาปฏิบัติการในทะเล ต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 7 วัน

- ความทนทะเล Sea State 3 (Significant Wave Height 1.20 m.)



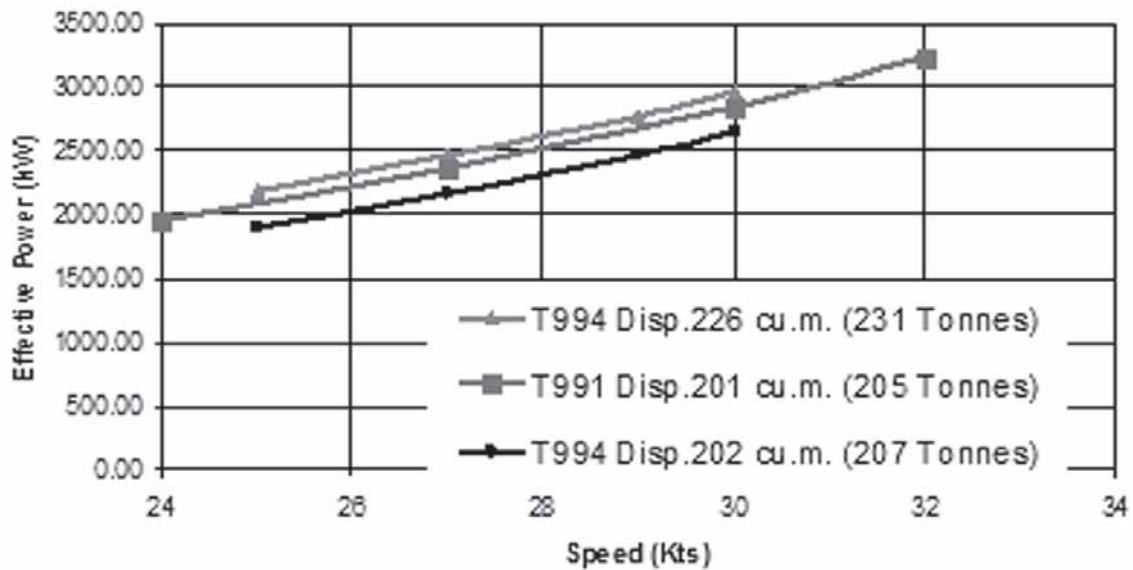
รูปที่ 3 แบบเรียบเรียงทั่วไป เรือ ต.994

### 3.2 การออกแบบด้านกำลังขับเคลื่อน (Power Calculation)

ในขั้นตอนของการออกแบบเป็นการศึกษาถึงผลการทำ Model Test กับการคำนวณโดยใช้ Linear Scale Ratio 7.844 จากความยาวเรือ 38.7 เมตร กินน้ำลึก 1.695 เมตร ระวังขับน้ำโดยปริมาตร 162 ลูกบาศก์เมตร ได้ค่า  $P_e$  1,797.62 kW ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ได้จาก Model Test คือ 1,880 kW ทำการปรับค่า Linear Scale Ratio เป็น 8.452 ทำให้เรือใหม่มีความยาวเรือ 41.70 เมตร กินน้ำลึก 1.826 เมตร ระวังขับน้ำโดยปริมาตร 202.67 ลูกบาศก์เมตร ได้ค่า  $P_e$  2,263.563kW หากกำหนดให้เพิ่มค่าการสูญเสียจาก Appendage 15% การสูญเสียจากกระแสลม 10% และประสิทธิภาพใบจักร 65% จะได้ค่า  $P_b$  4,405.24 kW ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่าระบบขับเคลื่อนเดิม (5,440 kW) เรือยังมีความสามารถทำความเร็วได้ไม่น้อยกว่า 27 นอต การเปลี่ยนแปลง Linear Scale Ratio มากกว่า 8.452 จะมีผลทำให้ความยาวเรือเพิ่มขึ้น ระวังขับน้ำเพิ่มขึ้น มากกว่า 202.67 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีผลทำให้ระบบขับเคลื่อนเดิมที่ใช้อาจมีกำลังไม่เพียงพอ

Model Test	T991	T994
Loa (m)	38.700	41.700
Lwl (m)	35.260	37.993
T (m)	1.695	1.826
Displ Vol (m <sup>3</sup> )	162.000	202.670
S (m <sup>2</sup> )	218.000	253.108
cb	0.466	0.466
Ramda	7.844	8.452
V (kts)	27.000	27.000
Fn	0.747	0.719
Rns	447027921.49	444101841.44
Ctm	0.006973	0.007240
Cfs	0.001696	0.001697
Vm (m/s)	4.932	4.751
Rnm	20020177.97	19286587.36
Cfm	0.002669	0.002685
Cts	0.006000	0.006252
Rts (N)	129429.432	156586.46
Pe (kW) : Calculation	1797.619	2174.798
Pe (kW) : Model Test	1880	2263.563
Pb (kW)	3658.77	4405.24

รูปที่ 4 ตารางคำนวณกำลังขับเคลื่อนเรือที่ความเร็ว 27 นอต



รูปที่ 5 เส้นโค้งเปรียบเทียบค่าความต้านทาน เรือ ต. 991 และ ต. 994

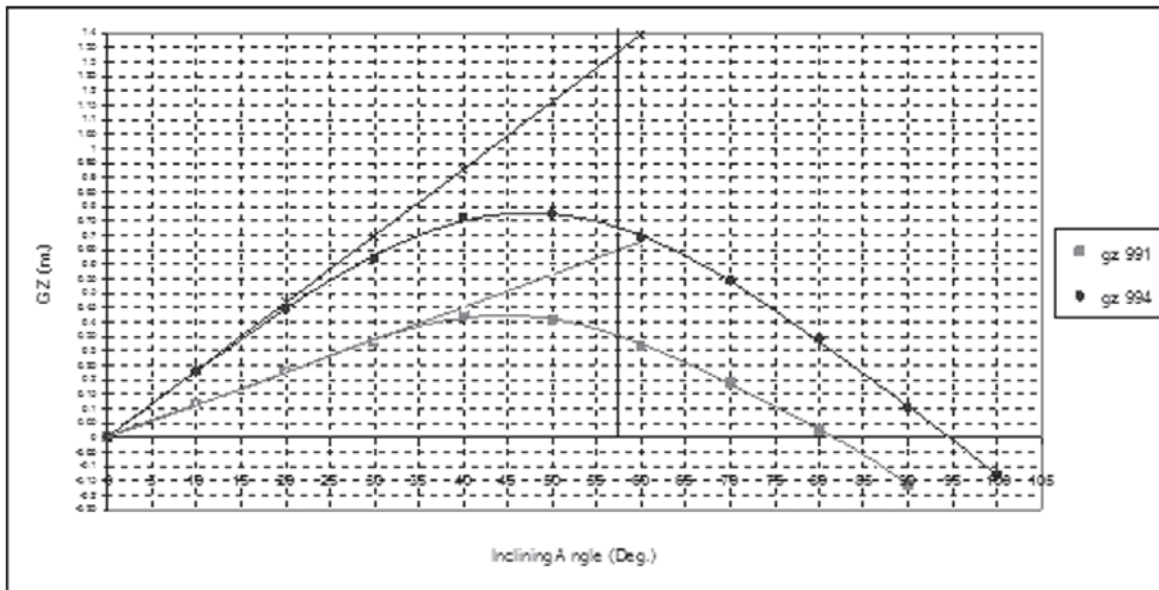
### 3.3 การออกแบบด้านการทรงตัวของเรือ (Statical Stability)

ภายหลังจากการพัฒนาสายเรือ ต.994 เสร็จแล้ว ได้ทำการประมาณค่าระวางขับน้ำเรือลำใหม่ และหาจุดศูนย์ร่วมน้ำหนัก ทำให้ทราบว่าเรือตรวจการณ์ลำใหม่มีระวางขับน้ำประมาณ 210 ตัน ระยะ KG 2.46 เมตร เมื่อนำสายเรือไปดำเนินการหาค่าการทรงตัวของเรือ โดยโปรแกรมช่วยการออกแบบเรือ ให้ค่าตรวจสอบต่าง ๆ ของ Statical Stability ทุกค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน IMO โดยระยะ GM 1.338 เมตร ซึ่งมากกว่า เรือ ต.991 (0.684 เมตร) ระยะแขนการค้ำตัวมากที่สุด GZ 0.775 เมตรที่มุม 47.5 องศา มากกว่า เรือ ต.991 (0.425 เมตรที่มุม 45 องศา) ระยะการทรงตัวของเรือ

สามารถให้ค่าโมเมนต์ค้ำตัวถึงมุม 94 องศา มากกว่า เรือ ต.991 (82 องศา) ในส่วนการหาค่ามุมเอียงของเรือขณะหันเลี้ยววงกว้าง และกำหนดให้เส้นผ่าศูนย์กลางวงหันเป็น 5 เท่าของความยาวแนวน้ำเรือ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ของ IMO เรือลำใหม่ที่ความเร็วเรือ 27 นอต เรือเอียงเป็นมุม 13.3 องศา ซึ่งเป็นค่าที่ดีกว่า เรือ ต.991 โดยในวันทดสอบสมรรถนะ (SAT) เรือ ต.991 ใช้เส้นผ่าศูนย์กลางวงหัน 7.7 เท่าของความยาวแนวน้ำเรือที่ความเร็วเรือ 27 นอต เรือเอียงเป็นมุม 15 องศา ทำให้การทรงตัวของเรือโดยรวมทั้งหมดสำหรับเรือ ต.994 ตามเกณฑ์มาตรฐานการตรวจสอบต่าง ๆ ดีขึ้นกว่า เรือ ต.991



	Disp. (ton)	KG (m.)	GM (m.)	GZ Maz.	Range of Stability	Tactical Diameter due to turn	Heel due to turn
T991	205	2.56	0.684	0.425 @ 45°	82°	5 * LBP 7.7 * LBP	10 deg. @ 15 kn. 15 deg. @ 27 kn.
T994	210	2.46	1.338	0.775 @ 47.5°	94°	5 * LBP 5 * LBP	9.6 deg. @ 23 kn. 13.3 deg. @ 27 kn.



รูปที่ 6 ตารางและกราฟเปรียบเทียบค่าการทรงตัวของเรือ ต.991กับเรือ ต.994

### 3.4 การออกแบบเรียบเรียงทั่วไป (General Arrangement)

การปรับปรุงแบบเรือ มีรายการ ดังนี้

- ขยายขนาดเรือชุดเรือ ต.991 ทำให้ได้แบบเรือที่มีขนาดความยาวและความกว้างมากขึ้น เพื่อเพิ่มพื้นที่ใช้สอย และยังเป็นผลทำให้การทรงตัวของเรือดีขึ้น

- เปลี่ยนตำแหน่งฝากั้นห้องเครื่อง ห้องกลาสีหัว ห้อง Bosun Store เพื่อเพิ่มพื้นที่ห้องเครื่องในการเข้าไปตรวจสอบ และบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยยังคงความปลอดภัยในเรื่องการผนึกน้ำของเรือ (Subdivision for Floodable Length)

- ปรับปรุงชั้น Tank Top โดยเพิ่มทั้งปริมาณถังน้ำมันเชื้อเพลิงและถังน้ำจืด ซึ่งจะพิจารณาปรับปริมาณให้เหมาะสมตามความต้องการจริง

- ปรับปรุงชั้น Lower Deck เช่น ห้องกลาสีท้าย โดยเปลี่ยนตำแหน่งห้องคลังกระสุนท้ายให้มาอยู่ด้านหลังปืนเพื่อสะดวกในการลำเลียงกระสุน เปลี่ยนฝา Hatch ช่องทางลำเลียงกระสุนจากแบบสี่เหลี่ยมเป็นแบบกลม และมีการลดขนาดห้องน้ำลงเพื่อเพิ่มพื้นที่พักอาศัย ให้มีความเหมาะสมกับจำนวนเจ้าหน้าที่ประจำเรือ

- ย้ายห้อง MCR ไปทางด้านหน้าของห้องเครื่องบริเวณกึ่งกลางลำ ซึ่งเดิมมีขนาดพื้นที่ 5.76 ตารางเมตร โดยห้องใหม่มีขนาดพื้นที่ 8.1 ตารางเมตร ขนาดห้องเครื่องขยายให้มีขนาดใหญ่ขึ้นจากความยาวเดิม 9.0 เมตร เป็น 11.4 เมตร ปรับปรุงตำแหน่งการวางของท่อแก๊สเสียที่ทำให้เกิดปัญหา Back Pressure โดยตำแหน่งของเครื่องจักรใหญ่และเครื่องไฟฟ้ายังคงอยู่ตำแหน่งเดิม และเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของอุปกรณ์บางชนิดในห้องเครื่อง เพื่อให้การเข้าถึงอุปกรณ์เป็นไปอย่างสะดวก

- ปรับปรุงห้องพักอาศัย ห้องน้ำของ CPO และ Officer เจาะ Bulkhead ใช้ประตุน้ำสำหรับเชื่อมต่อกับห้องกลาสีเป็นการลดจำนวนบันไดที่ลงมาจากชั้น Main Deck เพื่อให้พื้นที่พักอาศัยมีความเหมาะสมกับจำนวนเจ้าหน้าที่ประจำเรือ

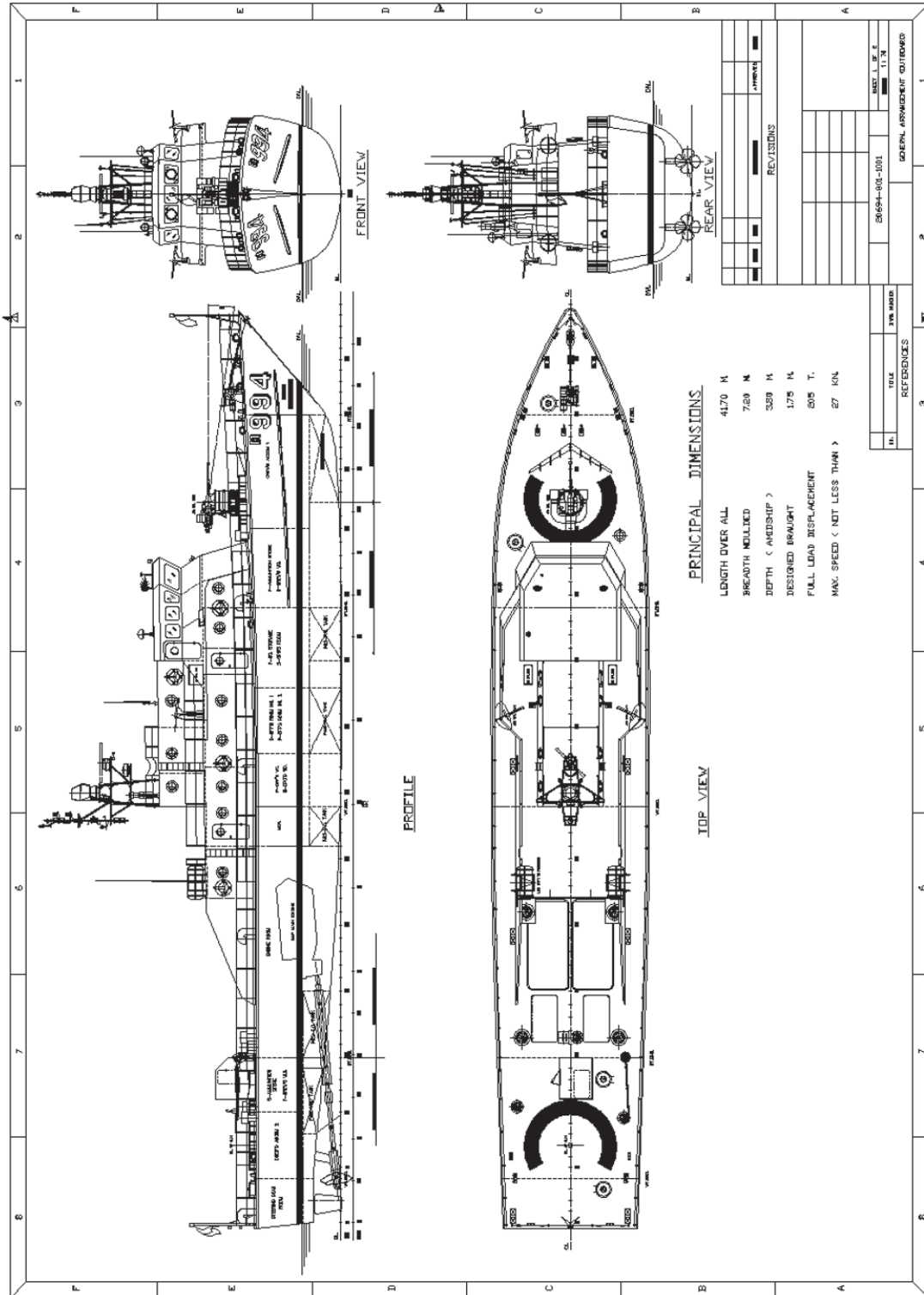
- ปรับปรุงห้องกลาสีหัว ย้ายช่องลำเลียงกระสุนมาอยู่บริเวณท้ายปืนหัวเรือ เพื่อสะดวกในการขนย้าย ซึ่งเดิมลำเลียงผ่านจากห้องกลาสี เปลี่ยนฝา Hatch ลำเลียงกระสุนจากแบบสี่เหลี่ยมเป็นแบบกลม และปรับปรุงเตียงนอน เพื่อให้พื้นที่พักอาศัยมีความเหมาะสมกับจำนวนเจ้าหน้าที่ประจำเรือ

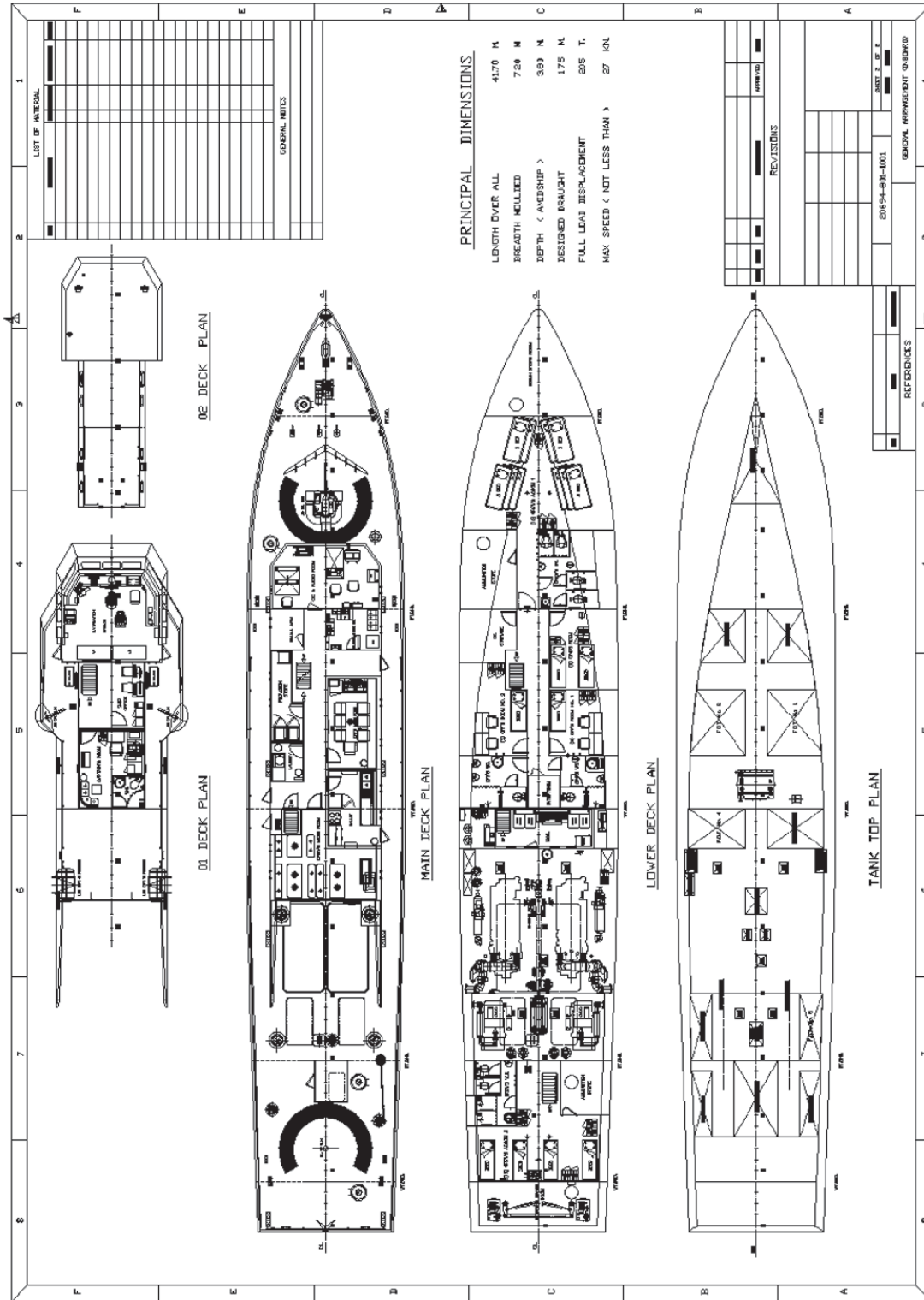
- การปรับปรุงชั้น Main Deck ปรับเปลี่ยนช่อง Removable Route ให้เป็นสองช่อง เสริมความแข็งแรงให้กับดาดฟ้าหลักในบริเวณที่โครงสร้างถูกตัด

- ปรับปรุงห้อง Mess ปรับย้ายห้องน้ำออก ย้ายห้อง Ship Office และห้อง Captain's Room ไปแทนที่ ห้อง CIC & Radio Rm และห้อง DC Panel & Batt. Rm. บนชั้น 01 Deck การปรับเปลี่ยนห้องที่มีอุปกรณ์น้ำหนักมากจากชั้น 01 Deck ลงมาเพื่อเป็นการเพิ่มการทรงตัวของเรือ

- ปรับปรุงแผ่นปิด Mirador ให้เป็นราวลวดธรรมดาโดยไม่ใช่แผ่นเหล็กกันสามารถลดแรงต้านทานลม (Wind Resistance) เปลี่ยนตำแหน่งการติดตั้ง Optronics เพื่อการทำงานที่ครอบคลุมยิ่งขึ้น

- ปรับปรุง Main Mast โดยการลดขนาดและอุปกรณ์บนเสา ซึ่งจะต้องตรวจสอบต่อไป เป็นการลดน้ำหนักบนชั้น 02 Deck เพื่อให้การทรงตัวของเรือดีขึ้น





#### 4. การเปรียบเทียบคุณลักษณะเรือ ตรวจการณ์ใกล้ฝั่ง

คุณลักษณะ	ต.91	ต.92-99	ต.991-993	ต.994-996
ความยาวตลอดลำ เมตร	31.80	34.00	38.70	41.70
ความกว้าง เมตร	5.36	5.70	6.49	7.20
ความลึก เมตร	3.20	3.40	3.80	3.80
กินน้ำลึกเฉลี่ย เมตร	1.66	1.50-1.60	1.92	1.75
ระวางขับน้ำ (ตัน)	115	117-130	205	205-215
	Maybach	MTU	MTU	MTU
	Mercedes	12V 538 TB 80-82	16V 4000 M 90	16V 4000 M 90
เครื่องจักรใหญ่	Benz	1650, 1870, 2044	3650 HP x 2	3650 HP x 2
	1,650 HP x 2	& 2215 HP x 2		
ความเร็วสูงสุด (นอต)	22 @ Half Load	26 @ Half Load	29 @ Full Load	29 @ Full Load
กำลังพล (นาย)	25	25 - 27	29	32

รูปที่ 8 ตารางการเปรียบเทียบคุณลักษณะเรือตรวจการณ์ใกล้ฝั่งชุดต่าง ๆ

#### 5. การโคลงของเรือ (Rolling of Ships)

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ การโคลงของเรือ

ก. คาบเวลาการโคลง (The Period of Ship's Roll)

ข. ขนาดการโคลงหรือมุมการโคลง (Amplitude or Angle of Ship's Roll) ต้องคำนึงถึงทั้ง 2 อย่าง ในการคำนวณความเร่งเชิงมุม ซึ่งความเร่งเชิงมุมนี้เองเป็นสาเหตุหลักทำให้คนประจำเรือทำงานได้ลำบาก และเกิดความเค้นโย้ (Racking Stress) บนเรือโดย

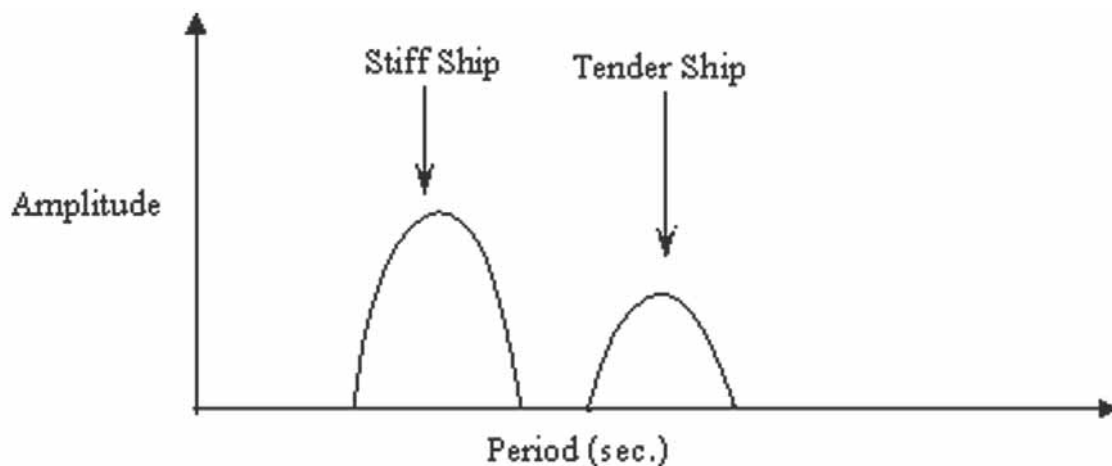
$$\text{Force (Racking Stress)} = \text{Mass} \times \text{Acceleration}$$

กรณีเรือมีการเคลื่อนที่เชิงมุม 3 แบบ (Roll Pitch Yaw) ก็จะเกิดแรงกระทำเชิงมุมทั้ง 3 แบบเช่นกันในเวลาเดียวกัน อีกทั้งเรือยังมีการเคลื่อนที่เชิงเส้น 3 แบบ (Heave Sway Surge) ก็จะให้แรงกระทำเชิงเส้นต่อเรือ 3 แบบเช่นกัน เมื่ออยู่ในทะเลความรู้สึที่แรงต่าง ๆ มากกระทำจะเป็นแรงลัพธ์ของการเคลื่อนที่ทั้ง 6 แบบ แต่การเคลื่อนที่ในลักษณะ Roll มีผลมากที่สุด ดังนั้นเพื่อลดความลำบากในการปฏิบัติงานบนเรือ และแรงเค้นโย้ จึงต้องพยายามลดขนาดของความเร่งเชิงมุมที่เกิดจากการ Rolling ให้น้อยลง

ผลกระทบของค่า GM ต่อการโคลงของเรือ

เรือที่มีค่า GM มาก เรียกว่า Stiff Ship โดยเรือจะมีอาการโคลงเร็ว หรือมีคาบเวลาการโคลงน้อยและมีขนาดการโคลงหรือมุมการโคลงมากในทางกลับกันเรือที่มีค่า GM น้อย เรียกว่า Tender Ship โดยเรือจะมีอาการโคลงช้า หรือมีคาบเวลาการโคลงมาก และขนาดการโคลงหรือมุมการโคลงน้อย

จะเกิดกับเรือที่มีค่า GM มาก ควรหลีกเลี่ยงประสบการณ์เป็นสิ่งดีที่สุดในรู้ว่าค่า GM ใดเหมาะในการปฏิบัติงานบนเรือ และถึงระดับใดต้องใช้อุปกรณ์ Anti-Rolling เพิ่มให้กับเรือ แต่สิ่งที่ต้องพึงระวังมากกว่าคือ Synchronous Rolling ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากคาบเวลาการเคลื่อนตัวของคลื่นและคาบเวลาการโคลงของเรือเกิดขึ้นในเวลาเดียวกันและมีขนาดเท่ากัน ทำให้เกิดการเสริมกันของการเอียงและจะเป็นอันตรายกับเรือได้



รูปที่ 9 กราฟแสดงค่าคาบเวลาการโคลงกับขนาดการโคลงของเรือที่มี GM 2 ลักษณะ

พิจารณาความเร่งเชิงมุมของเรือที่มีค่า GM มาก เปรียบได้กับแพ ซึ่งให้ค่าต่าง ๆ ใกล้เคียง Stiff Ship จะคืนตัวเร็ว และทันทีที่คลื่นกระทำต่อต้านข้างเรือหรือท้องเรือจะมีการลอยลำคล้ายจุกขวดที่เบาตรงข้ามกับเรือที่มีค่า GM น้อย เรือจะมีการคืนตัวช้า คลื่นลูกต่อไปอาจซัดขึ้นดาดฟ้าเปิด ทำอันตรายต่อคน อุปกรณ์ และโครงสร้างเรือ ค่า GM ของเรือที่เหมาะสมคือค่าที่ทำให้การโคลงของเรือมีคาบเวลาและขนาดที่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด การเกิดความเค้นโย้

ในความเป็นจริงตรวจพบว่าคาบเวลาการเคลื่อนตัวของคลื่นในมหาสมุทรทั่วไป มีค่าใกล้เคียงคาบเวลาการโคลงของเรือ GM มาก หรืออีกนัยหนึ่งคือคาบเวลาการโคลงของเรือประมาณ 9-10 วินาที สอดคล้องกับเรือที่มีค่า GM มาก และคาบเวลาการโคลงของเรือประมาณ 15-16 วินาที สอดคล้องกับเรือที่มีค่า GM น้อย ซึ่งพบยากที่จะเท่ากับคาบเวลาการเคลื่อนตัวของคลื่นในมหาสมุทร

PGM	Displacement (ton)	Sea State	GM (m)	Bwl (m)	Rolling Period (sec)	Kempf's Factor	Ship Motion
T991	205	3	0.684	6.02	5.82	7.43	Stiff (<8)
T994	215	3	1.257	6.429	4.59	5.67	Stiff (<8)

รูปที่ 10 ตารางเปรียบเทียบค่าคาบเวลาการโคลงของเรือ

ส่วนปัญหาเกี่ยวกับขนาดการโคลงของเรือขณะใช้งานที่ Sea State 3 ซึ่งมีค่าความสูงคลื่นประมาณ 1.83 เมตร ความยาวคลื่น 21.64 เมตร ความเร็วลม 16 นอต เรือชุด ต.994 จะเอียงเป็นมุม 1° ความชัน

คลื่น 9.6° หากเรือหันเลี้ยวฉากด้วยความเร็ว 27 นอต เรือจะเอียงเป็นมุม 13.3° รวมมุมเอียงของเรือทั้งหมดได้ 23.9° ซึ่งค่าจะน้อยกว่าเรือชุด ต.991 (30°) เป็นผลทำให้การปฏิบัติงานบนเรือมีประสิทธิภาพดีขึ้น

### บทสรุป

จากผลการปรับปรุงแบบจาก ชุดเรือ ต.991 เป็นแบบชุดเรือ ต.994 และผลการคำนวณในด้านต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น ทำให้ทราบว่าแบบชุดเรือ ต.994 ที่ได้นั้นมีคุณลักษณะที่สมบูรณ์มากกว่าแบบชุดเรือ ต.991 เป็นไปตามความต้องการของหน่วยผู้ใช้เรือ และทำให้การจัดวางอุปกรณ์ของหน่วยเทคนิคต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง มีความสะดวกในการปฏิบัติหรือง่ายต่อการเข้าบำรุงรักษา สามารถตอบสนองความต้องการของหน่วยต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังคงไว้ซึ่งค่าระวางขั้นต่ำที่ใกล้เคียงของเดิมประมาณ 205-215 ตัน สามารถใช้ระบบขับเคลื่อนเดิมและเรือทำความเร็วได้ไม่ต่ำกว่า 27 นอต (Design Target Speed 29 Knots) และพัฒนาขีดความสามารถด้าน Seakeeping และ Maneuvering ได้ดีกว่าเดิม

# The distributor of the year

Top sales for South East Asia region Award

## WE ARE SPECIALIST

ด้วยประสบการณ์และการพัฒนามากกว่า 20 ปี เราพร้อมเสมอที่จะให้คำปรึกษา และช่วยแก้ไขปัญหา ทำให้เราได้รับความเชื่อมั่นและไว้วางใจจากลูกค้าอย่างต่อเนื่อง

## WE ARE THE MEGA STORE

เรามีสินค้าที่หลากหลายและครบครัน และระบบการบริหารจัดการคลังสินค้า และการจัดส่งที่ทันสมัย จึงสามารถรองรับความต้องการของลูกค้าได้ทุกประเภท



### Valves & Actuators

Gate, Globe, Check, Ball, Butterfly Valves  
Pneumatic & Electric Actuators



### Fittings

Elbow, Tee, Reducer, Cap



### Flanges

Slip-On, Welding Neck, Blind, Socket Weld, Threaded



### BAS / BMS

Balancing & Control Valves, TAC VISTA, HVAC, CCTV & DVMS, Access & Lighting Controls

The Official Distributor of ...

**KITZ SHORITSU**

**ASK**

**SUMITOMO METALS**

**HYSCO**

**SēAH**  
SeAH Steel Corporation

**ULMA**  
Forging

**TA TA AutoFlow**

**t.ac**

**Awaji**



**ECHELON**

**INTEGRAL Technologies**  
Making Smarter for IT



**WE ARE THE ONE STOP SERVICES!!**



Rojpaiboon

## Rojpaiboon Equipment Co., Ltd.

303, 305, 307, 309 SIRINTHORN RD., BANGBUMRHU, BANGPLAD, BANGKOK 10700

Tel : 0-2434-3747, 0-2424-0939, 0-2881-8511 (Auto 30 Lines)

Fax : 0-2434-3752, 0-2424-6165, 0-2881-8515; BAS Division Fax: 0-2881-8520

http://www.rojpaiboon.co.th E-mail : sales@rojpaiboon.co.th, sales\_bas@rojpaiboon.co.th





# บริษัท อาร์. พี. เอส. ซัพพลาย จำกัด

## R. P. S. SUPPLY CO., LTD.

www.rpssupply.com



● **ศูนย์บริการซ่อมเครื่องเชื่อมและเครื่องตัดทุกชนิด**  
บริการซ่อมเครื่องเชื่อมทุกระบบ โดยช่างผู้มีประสบการณ์  
มากกว่า 15 ปี รับปรึกษาปัญหางานเชื่อมทุกชนิด

● **จำหน่ายลวดเชื่อมชนิดต่างๆ** รวมไปถึงลวดเชื่อมพิเศษ  
ลวดเชื่อมเหล็ก ลวดเชื่อมสแตนเลส ลวดเชื่อมอลูมิเนียม  
ลวดเชื่อมเหล็กหล่อ ลวดเชื่อมทองเหลือง ลวดเชื่อมซีโอลู  
ลวดเชื่อมฟลักคอร์ ลวดเชื่อมซินเนอร์ ลวดเชื่อมทั้งสแตน  
และลวดเชื่อมเกรดพิเศษทุกชนิด

● **ศูนย์รวมอะไหล่วัสดุสิ้นเปลือง**  
เรามีอะไหล่สำหรับงานเชื่อมอาร์กอน, ซีโอลู  
และงานตัดพลาสมา ไส้คอกมากกว่า 500 รุ่น  
ไว้คอยบริการลูกค้า ตลอด 24 ชั่วโมง

● **อุปกรณ์สำหรับงานบัด-เจียร์ลote:**  
**ชนิดต่างๆ** ไมค์ด โบเจียร์ ฟ้ายกรายนิ้วมแกน  
ล้อกรายนิ้วมแกน ล้อขัดสก็อตโบร์ คินมัด  
ฟ้ายกรายสายพาน น้ำยาล้างงานโลหะทุกประเภท

● **จำหน่ายเครื่องเชื่อม เครื่องตัดพลาสมา ทุกระบบ**  
อาทิเช่น ระบบอินเวอร์เตอร์สำหรับงานอาร์กอน (TIG)  
งานซีโอลู (MIG), งานเชื่อมไฟฟ้า (RUP), งานตัดพลาสมา  
มีถิ่นสาธิตโดยช่างเชื่อมที่มีประสบการณ์ และบริการหลังการขาย

● **จำหน่ายงานเชื่อม-ตัดโลหะด้วยแก๊ส**  
ชุดตัดแก๊ส เกจวัดแรงดัน วาวล์กับไฟย้อนกลับ  
สายลม สายแก๊ส นมหนู หัวตัดแก๊ส ทุกยี่ห้อ  
เครื่องตัดเดินตามราง ชนิดตัดตามแบบ ตัดวงกลม  
ตัดเหลี่ยม ตัดท่อ

● **อุปกรณ์ป้องกันความปลอดภัยทุกชนิด**  
หน้ากากเชื่อม แวนตาเชื่อม กุญมือทุกชนิด  
เย็บหนัง ปกอกแขน อุปกรณ์ป้องกันระบบหายใจ  
อุปกรณ์ป้องกันเสียง อุปกรณ์ป้องกันสายตา  
เข็มขัดกันตกจากที่สูง



17 ซอยเทอดไท 16 ถนนตลาดพลู แขวงตลาดพลู เขตธนบุรี กรุงเทพฯ 10600  
TEL : 0-2891-3114-5, 08-1988-1141 FAX : 0-2891-3128

# การออกแบบโครงสร้างตัวเรือ ที่ทำด้วย Composite โดย Genetic Algorithm

นาวาตรี คมสันต์ มณีพันธ์

ประจำแผนกทดสอบโครงสร้าง กองควบคุมคุณภาพ

อุทการเรือพระจุลจอมเกล้า กรมอุทการเรือ

ถนนสุขสวัสดิ์ ตำบลแหลมฟ้าผ่า อำเภอพระสมุทรเจดีย์ สมุทรปราการ 10290

โทร 0 2475 6686 โทรสาร 0 2475 6683

E-mail : maneepan@gmail.com

## บทคัดย่อ

การออกแบบโครงสร้างตัวเรือที่ทำด้วย Composite มีความยุ่งยากมากกว่าเรือเหล็กเนื่องจากตัวแปรที่เพิ่มมากขึ้นและมีความยุ่งยากในการวิเคราะห์ ดังนั้นบทความนี้จึงขอแนะนำเสนอวิธีการออกแบบที่เหมาะสมซึ่งประกอบไปด้วยการวิเคราะห์โครงสร้างที่ทำด้วย Composite โดยการหาคำตอบด้วย Genetic Algorithm ซึ่งสามารถจัดการกับตัวแปรจำนวนมากและคำตอบหลายค่าได้เป็นอย่างดี

## 1. บทนำ

สำหรับการสร้างเรือโดยใช้โลหะเช่น เหล็กและอะลูมิเนียม นั้นมี กฎการออกแบบมาตรฐาน และ ทฤษฎี ที่ถูกสร้างขึ้นมาอย่างดีแล้ว แตกต่างจากการใช้โลหะอย่าง Composite ซึ่งกล่าวถึงในที่นี้คือ FRP (Fibre Reinforced Plastic) สิ่งเหล่านั้นยังไม่สมบูรณ์และต้องมีการศึกษาและวิจัยอีกมาก อย่างไรก็ตาม FRP กำลังได้รับความนิยมในการนำมาใช้สร้างเรือมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างความแข็งแรงกับน้ำหนักที่มีค่าสูง ไม่กระตุนอำนาจแม่เหล็ก และคุณสมบัติของ FRP ยังสามารถออกแบบได้ เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ นักออกแบบเรือจึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือที่สามารถพิจารณาผลกระทบบของตัวแปรทั้งหมดได้โดยทั่วไป จำนวนของตัวแปรจะมากกว่าของการสร้างเรือที่ทำด้วยโลหะ เพื่อที่จะได้มาซึ่งผลลัพธ์ของการออกแบบที่ดีที่สุด จากการศึกษา Transaction of Royal Institute of Naval

Architecture ซึ่งเป็นวารสารทางวิชาการด้านวิศวกรรมต่อเรือจากเล่มแรกจนถึงเล่มปัจจุบัน พบว่ามีการนำเสนอวิธีทางคณิตศาสตร์และหลักการการออกแบบของเรือเหล็ก ตัวอย่างเช่น Moe<sup>1</sup> ออกแบบโครงสร้างตามแนวยาวของเรือ Tanker ด้วย Non Linear Programming เพื่อให้ได้มาซึ่งน้ำหนักที่เบาที่สุดและราคาที่ถูกที่สุด นอกจากนี้ผู้เขียนยังได้ศึกษาจากแหล่งข้อมูลอื่น ๆ เช่น Proceeding of the International Ship and Offshore Structure Congress (ISSC) แต่ไม่พบการนำเสนอเกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างเรือที่ทำด้วย FRP โดยใช้ Genetic Algorithm ดังนั้นผู้เขียนจะนำเสนอบทความ โดยเน้นไปที่โครงสร้างแผ่นที่เสริมความแข็งแรงด้วย Stiffener

## 2. วิธีออกแบบโครงสร้างเรือที่ทำด้วย Composite

จากการศึกษาและวิเคราะห์สถิติการ สร้างเรือด้วย FRP ของ Mouritz<sup>2</sup> พบว่า เรือที่มีความยาว 160 เมตร อาจจะถูกสร้าง ด้วย FRP ได้ ด้วยเหตุนี้จึงอาจเกินขอบเขต ของกฎการออกแบบเรือที่มีอยู่ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องออกแบบโดยการใช่วิธีการ โครงสร้างโดยตรง (First Principle Designs) มีข้อสังเกตอยู่ว่าในขั้นตอนเริ่มต้นการ ออกแบบนั้นใช้สูตรสำเร็จ มากกว่าการใช้วิธี การเชิงตัวเลข Numerical Methods เพราะ ขั้นตอนนี้ต้องการคำตอบในเวลาอันรวดเร็ว ดังนั้นหัวข้อต่อไปนี้จะนำเสนอวิธีที่ใช้ วิเคราะห์โครงสร้างทั้งหมด

## 3. วิธีการเชิงวิเคราะห์โดยทฤษฎีโครงสร้าง (Structural Theory)

โดยทั่ว ๆ ไป การออกแบบโครงสร้าง จะแบ่งเป็น 3 ระดับคือ ลำตัวเรือ (Hull Girder) แผ่น เปลือกเรือเสริมความแข็งแรง (Stiffened Plate) และโครงสร้างแผ่นไม่ เสริมความแข็งแรง (Unstiffened Plate) ซึ่ง สูตรการคำนวณต่าง ๆ เหล่านี้จะอยู่บนพื้น ฐานของ ทฤษฎีคาน ทฤษฎีโครงสร้างแผ่น และการรวมกันทั้งสองอย่าง

วิธีที่อยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีคาน ดังเช่น Forced Method (FM) เป็นวิธีที่ใช้ ในการคำนวณพฤติกรรมของแผ่นเปลือกเรือ ที่เสริมความแข็งแรงด้วย Stiffener โดยสมมุติ ให้อยู่ในลักษณะของโครงสร้างคานประสาน กัน (Beam System) หลักการคือ เขียน สมการสมดุลของแรงที่จุดตัดของคาน แล้ว คำนวณหาการโก่งงอที่จุดตัดจากทฤษฎีคาน โดยใช้ตัวแปรแรงปฏิกิริยา (Reaction Force) เป็นตัวเชื่อมสมการ ส่วน Displacement Method (DM) จะเป็นการสร้างกลุ่มสมการ โดยใช้ตัวแปรความโก่งงอเป็นตัวเชื่อม สมการแทน วิธี DM จะคำนวณเปรียบ เทียบกับผลการทดลองโดย Clarkson<sup>3</sup> ซึ่ง ให้ผลที่ดี ทั้งสองวิธีนี้จะให้คำตอบที่แน่นอน (Exact Solution) สำหรับระบบคาน เนื่องจากไม่มีการประมาณในการคำนวณ แต่ จะมีปัญหาเมื่อจำนวนจุดตัดของคานเพิ่มขึ้น มากเนื่องจากจำนวนสมการจะเพิ่มขึ้นตาม ดังนั้นเพื่อที่จะหลีกเลี่ยงปัญหานี้ Vedeler<sup>4</sup> ใช้วิธีการสมดุลทางพลังงาน Energy Method (EM) ในการคำนวณหาค่าความโก่งงอ โดย สร้างสมการจากการให้พลังงานในการยึดตัว ของคานทั้งหมดเท่ากับพลังงานจากงานที่ กระทำบนแผ่นเสริมความแข็งแรงนั้น ดังนั้นจะมี เพียงแค่สมการเดียวที่จะต้องแก้ อย่างไรก็ตาม

ก็ตามวิธีเหล่านี้มีการใช้เฉพาะกับแผ่นเหล็กเท่านั้น

วิธีการวิเคราะห์โครงสร้างที่ทำด้วย FRP ที่อยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีโครงสร้างแบบแผ่นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ Equivalent Single Layer (ESL) สำหรับ Laminated Plate ที่ไม่มีการเสริมความแข็งแรงโดย Stiffener และ Equivalent Orthotropic Plate Method (EOPM) สำหรับ Laminated Plate ที่มีการเสริมความแข็งแรงโดย Stiffener

Equivalent Single Layer (ESL) โดย Reddy<sup>5</sup> เป็นการพิจารณาพฤติกรรมของ Laminated Plate ให้เป็นเสมือน Statically Equivalent Single Layer ที่มีสมการพฤติกรรมที่ซับซ้อน ESL ประกอบไปด้วย Classical Laminated Plate Theory (CLPT), First order Shear Deformation Theory (FSDT) และ Higher Order Shear Deformation Theory (HSDT) CLPT นั้นใช้สมมติฐานของ Kirchhoff คือการสมมุติว่าเส้นตรงที่ตั้งฉากกับหน้าตัดของโครงสร้างแผ่นยังคงตั้งฉากอยู่หลังจากมีการโก่งงอ ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดและใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับการวิเคราะห์แบบหยาบ ๆ จะได้คำตอบที่ถูกต้องก็ต่อเมื่อเป็นแผ่นที่บางมากเท่านั้น เนื่องจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแนวเฉือนมีน้อยมาก สำหรับแผ่นที่มีความหนาจากบางมากจนถึงหนาปานกลางจะใช้ FSDT ซึ่งได้รวมผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแนวเฉือนในรูปแบบของค่าแก้ (Shear Correction Factor) แต่ค่าแก้ที่ง่ายที่จะได้มาเพราะต้องพิจารณาจากคุณสมบัติชั้นของไฟเบอร์และการเรียงตัวของชั้น เพื่อขจัดปัญหาเหล่านี้ HSDT ได้ถูกสร้างขึ้นโดยมีสมการการเปลี่ยนแปลง

รูปของโครงสร้างแผ่นที่มีรูปแบบเป็น Polynomial ซึ่งนำเสนอการยึดตัวของโครงสร้างแผ่นที่สมจริงที่สุดจึงทำให้ค่าออกมาถูกต้องกว่าสองวิธีที่ผ่านมา

การที่จะใช้ทฤษฎีโครงสร้างแบบแผ่นกับแผ่นที่เสริมความแข็งแรงด้วย Stiffener แผ่นที่ทำด้วยโลหะที่มีเนื้อแบบเดียวกันทุกทิศทางจะใช้ Orthotropic Plate Method (OPM) ซึ่ง Stiffener จะถูกตัดออกแล้วเพิ่มค่าความแข็งแรงเสมือนลงไปในพื้นที่เป็นฐาน หลังจากนั้นแผ่นอาจจะมีคุณสมบัติของโลหะไม่เท่ากันในสองทิศทาง จึงต้องคำนวณหาความยืดหยุ่น (Flexural Rigidity) ของแผ่นตามแนวแกน x และ y เพื่อที่จะแทนเข้าไปในสมการของทฤษฎีโครงสร้างแบบแผ่น แล้วจะสามารถหาค่าความโค้งงอและความเค้นที่จุดต่าง ๆ ได้ Bedair<sup>6</sup> ได้กล่าวถึงวิธีนี้จะได้อันดับที่ถูกต้องถ้าแผ่นมี Stiffener วางแบบถี่และช่องว่างระหว่าง Stiffener ต้องเท่ากัน ไม่เช่นนั้นจะพบความยุ่งยากในการสร้างสูตร สำหรับแผ่นที่เสริมความแข็งแรงด้วย Stiffener ที่ทำด้วย FRP ซึ่งในแต่ละส่วนของแผ่นอาจมีคุณสมบัติที่ต่างกันเนื่องจากการวางชั้นไฟเบอร์ต่างกัน Smith<sup>7</sup> นำเสนอสูตรคำนวณความแข็งแรงของ Composite ซึ่งรวมเอาผลกระทบความยืดหยุ่นตามแนวแกนและความยืดหยุ่นตามขวางของหน้าตัดของ Stiffener เข้าไปในสมการของทฤษฎีโครงสร้างแบบแผ่นซึ่งวิธีนี้เรียกว่า Equivalent Orthotropic Plate Method (EOPM)

เพื่อให้ได้คำตอบที่ถูกต้องมากขึ้น แผ่นที่เสริมความแข็งแรงด้วย Stiffener ควรวิเคราะห์ด้วย Folded Plate Method (FPM) เป็นการใช้อุทกศาสตร์คานและทฤษฎีโครงสร้างแบบแผ่นร่วมกัน โดยแทนโครงสร้างแผ่น

นั้นด้วย คานตามยาวและแผ่นที่อยู่ระหว่างคาน ถ้าเป็นแผ่นที่เสริมด้วย Stiffener ทั้งสองทิศทาง แผ่นที่อยู่ระหว่างคาน จะนำเสนอด้วย Equivalent Orthotropic Plates สำหรับการหาความโค้งงอของคาน จากการแก้สมการจำนวน  $4n_B$  เมื่อ  $n_B$  คือจำนวนของคาน ตามยาวโดยอาศัยเงื่อนไขความต่อเนื่องของแรงต่าง ๆ ระหว่าง Element แล้วความโค้งงอของแผ่นก็จะหาได้ Smith<sup>๑</sup> ได้กล่าวถึงวิธีนี้ว่า มันสะดวกที่จะนำไปใช้กับแผ่นที่เสริมความแข็งแรงด้วย Stiffener ในทิศทางเดียวและมีจุดรองรับหัวท้ายคู่เดียวเท่านั้นนอกเหนือจากนี้คาดว่าจะพบความยุ่งยากในการสร้างสูตร วิธีนี้จะใช้เวลาในการคำนวณมากและซับซ้อนเมื่อจำนวนส่วนประกอบของแผ่นเพิ่มขึ้นเพราะหนึ่ง คาน มีถึง 4 สมการสมดุล

#### 4. วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดในการออกแบบ (Optimization Techniques)

ส่วนมากของวิธีการหาคำตอบ เช่น Newton Method, Sequential Quadratic Programming และ Simplex Method จะใช้ผลต่างเชิงอนุพันธ์และความสัมพันธ์ระหว่างจุดในพื้นที่ผิวกราฟของการออกแบบและคำตอบยังขึ้นอยู่กับจุดเริ่มต้นที่เหมาะสมด้วย ดังนั้นวิธีเหล่านี้อาจไม่สามารถหาคำตอบที่ถูกต้องได้ถ้าโจทย์การออกแบบมีตัวแปรที่ไม่ต่อเนื่อง หรือมีหลายจุดที่สามารถเป็นคำตอบได้ (Local Optimum) สำหรับการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด (Global Optimum) เราจำเป็นต้องใช้วิธีที่อาศัยหลักการความน่าจะเป็น เช่น Simulated Annealing (SA) และ Genetic Algorithm (GA)

SA สร้างมาจากการจำลองพฤติกรรมของอนุภาคในความสมดุลทางอุณหภูมิจนอุณหภูมิลดลง โดยเลียนแบบเทคนิคการอบอ่อนเพื่อให้เหนียวและไม่เปราะของโลหะ โดยมีตัวแปรอุณหภูมิตัวควบคุม แต่การใช้งาน SA ก็กับการออกแบบโครงสร้างที่ทำด้วย FRP นั้นมีน้อยมาก เนื่องจากประสิทธิภาพการหาคำตอบไม่ชัดเจน ในทางตรงข้าม GA เป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้ในเรื่องนี้เนื่องจากรวดเร็ว ง่ายในการใช้ และสามารถจัดการกับตัวแปรที่ไม่ต่อเนื่อง ตัวอย่างเช่น Kim กับ Lee<sup>๑</sup> ใช้ GA เพื่อออกแบบโครงสร้างแผ่นที่ทำด้วย Laminated Composite เพื่อให้ได้มาซึ่งภาระการดุ้งที่สูงที่สุด

#### 5. โครงสร้างของโปรแกรมออกแบบที่นำเสนอ

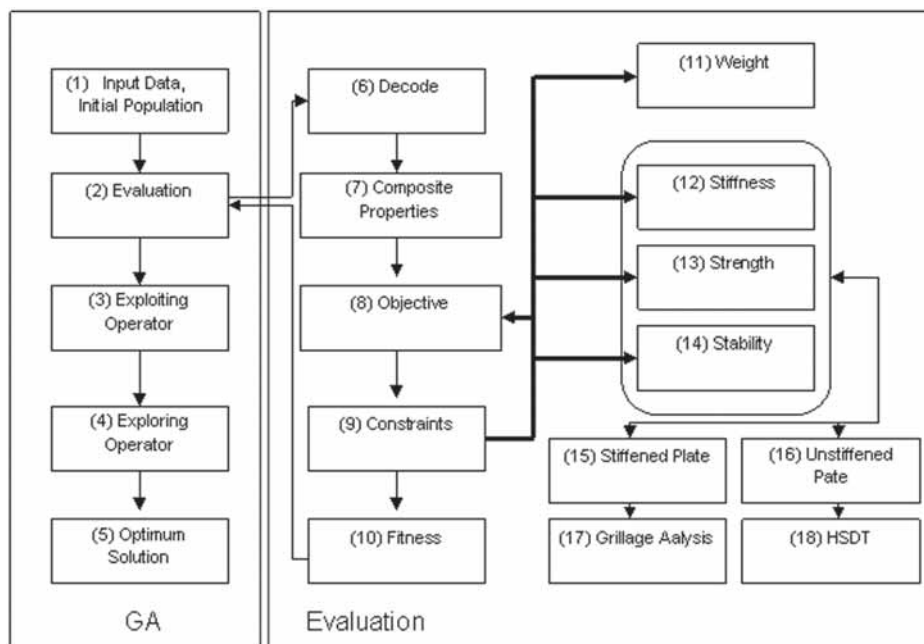
แผ่นลามิเนตที่เสริมความแข็งแรงด้วย Stiffener แบบ Tophat เป็นจุดสนใจของงานนี้เพราะเป็นส่วนประกอบสำคัญของตัวเรือและยังขาดงานวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างนี้ด้วย โปรแกรมที่นำเสนอนี้จะสามารถใช้ได้กับแผ่นทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ แผ่นลามิเนตที่ไม่เสริม Stiffener แผ่นลามิเนตที่เสริม Stiffener ทิศทางเดียว และ แผ่นลามิเนตที่เสริม Stiffener ทั้งสองทิศทาง

สำหรับแผ่นลามิเนตที่เสริมความแข็งแรงด้วย Stiffener นั้น ผู้เขียนดัดแปลงวิธีการวิเคราะห์ระบบคาน (Grillage Analysis) ด้วยวิธีทางพลังงาน ที่ใช้กับโครงสร้างแผ่นที่ทำด้วยโลหะเท่านั้น เพื่อใช้วิเคราะห์แผ่นที่ทำด้วย FRP เพราะให้คำตอบในเวลาอันรวดเร็วซึ่งรายละเอียดจะกล่าวในหัวข้อต่อไป ส่วนแผ่นลามิเนตที่ไม่เสริมความแข็งแรงด้วย Stiffener จะใช้ Higher Order Shear

Deformation Theory (HSDT) ในการวิเคราะห์หาค่าความโก่งงอสูงสุด ความเค้นสูงสุด และภาระสูงสุดของการดุ้ง เพราะวิธีนี้ให้คำตอบที่ถูกต้องและสามารถใช้กับแผ่นที่ค่อนข้างหนาได้ด้วย ส่วนวิธีในการหาคำตอบการออกแบบคือ Genetic Algorithm เพราะสามารถจัดการตัวแปรที่ไม่ต่อเนื่องของ FRP และรูปร่างของแผ่นได้ ยังหาคำตอบที่ดีที่สุด (Global Optimum) ได้ดีโดยไม่ติดอยู่ที่จุดที่ดีที่สุดเฉพาะที่ (Local Optimum)

จากรูปที่ 2 คือโครงสร้างของโปรแกรม ซึ่งจะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ GA และส่วนการคำนวณและวิเคราะห์ หลังจากแปลความหมายของโครโมโซม ค่าของตัวแปรของการออกแบบ FRP จะถูกส่งไปที่โมดูลในการคำนวณหาคุณสมบัติ เช่น  $E_1$ ,  $E_2$ ,

$\nu_{12}$ ,  $G_{12}$  และ คุณสมบัติความแข็งแรง (Strength Properties) หลังจากนั้นคุณสมบัติและค่าตัวแปรของรูปร่างโครงสร้างจะถูกส่งไปคำนวณเพื่อวิเคราะห์หาความโก่งงอ ความเค้น และ ภาระสูงสุด ซึ่งค่าเหล่านี้อาจจะใช้ได้ทั้งโมดูลจุดประสงค์และโมดูลเงื่อนไขทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจุดมุ่งหมายของผู้ออกแบบ จากนั้นค่าความแข็งแรงของโครโมโซมจะถูกคำนวณและนำไปใช้ในขบวนการ GA ลามิเนทซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของแผ่นพวกนี้จะแทนด้วย Binary Number ดังรูปที่ 3 แต่ละลามิเนทจะประกอบไปด้วย 8 ชั้นแต่เราจะแทนด้วย Binary Number เพียงครึ่งหนึ่งของจำนวนชั้นนั้น หนึ่งชั้นจะแทนด้วย 7 บิต ยกเว้นชั้นแรกที่จะคงไว้เสมอ



รูปที่ 1 : แผนผังแสดงส่วนประกอบของโปรแกรมออกแบบโครงสร้างแผ่นที่ทำด้วย Laminated Composite

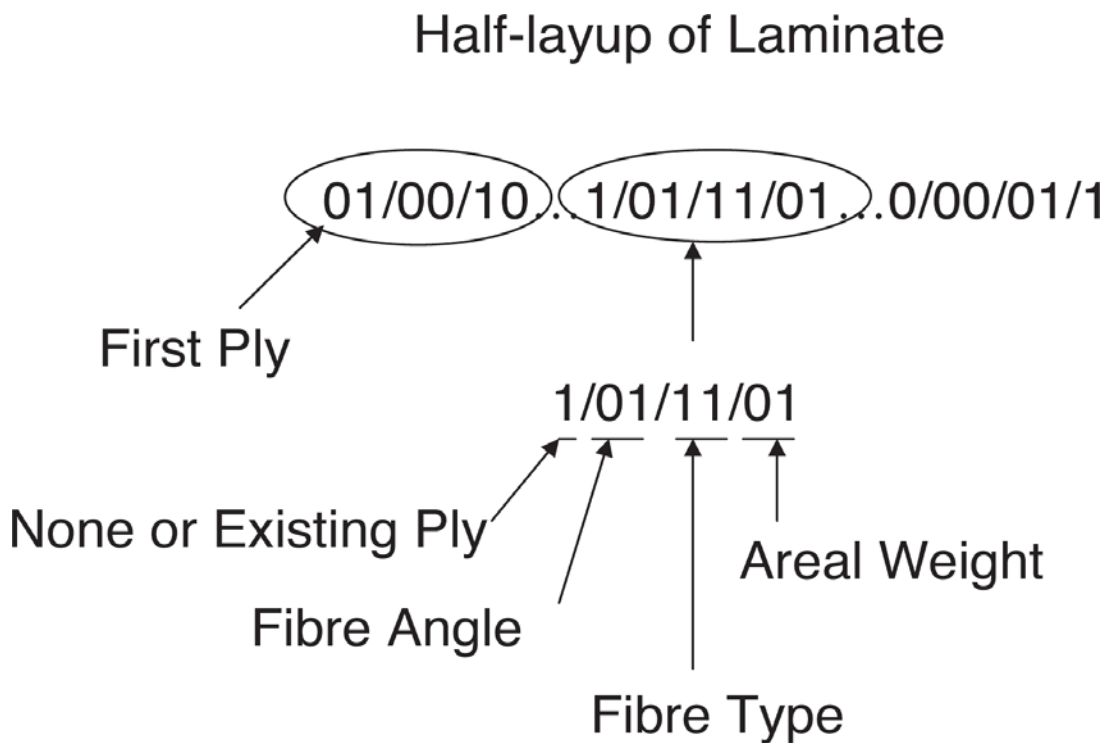
**6. วิธีวิเคราะห์แผ่นเรือที่ทำด้วย Composite**

**6.1 แผ่นที่เสริมความแข็งด้วย Stiffener**

จากการศึกษาวิธีวิเคราะห์ของแผ่นประเภทนี้พบว่ามีสองวิธีคือ EOPM และ FPM ซึ่งทั้งสองวิธีมีข้อเสียอยู่ดังได้กล่าวมาแล้ว แม้แต่การใช้วิธีการเชิงตัวเลข Numerical Methods เช่น Finite Element Analysis ไม่สามารถทำให้บรรลุเป้าหมายได้คือ ความต้องการที่จะได้คำตอบของการ

สมดุลทางพลังงานแต่เดิมถูกใช้กับโครงสร้างที่ทำด้วยโลหะเท่านั้นจาก Vedeler<sup>4</sup> โดยการแทน Equivalent Elastic Properties ลงใน Grillage Analysis

เมื่อพิจารณาโครงสร้างแผ่นที่เสริมความแข็งด้วย Stiffener โดยการแทนด้วยระบบคานดังรูปที่ 3 ซึ่งประกอบไปด้วย Stiffener แนวขวางระยะห่างเท่า ๆ กันจำนวน b Stiffener ตามแนวยาวระยะห่างเท่า ๆ กันจำนวน g จะเห็นได้ว่าโครงสร้างเหล่านั้นเป็น



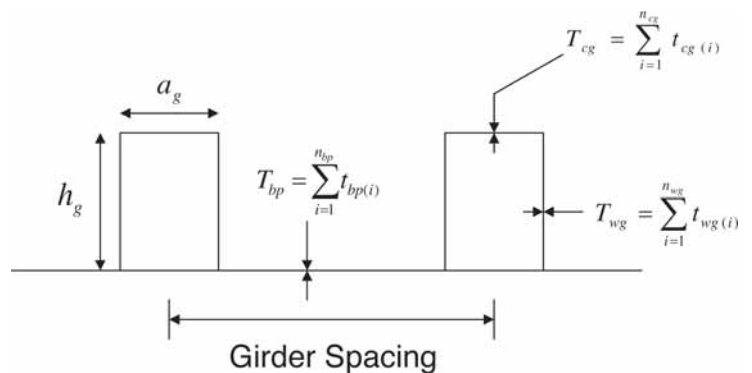
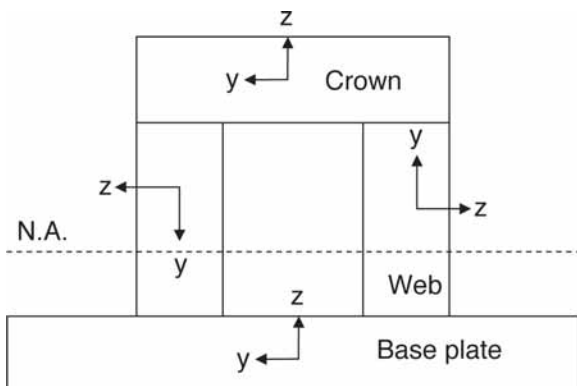
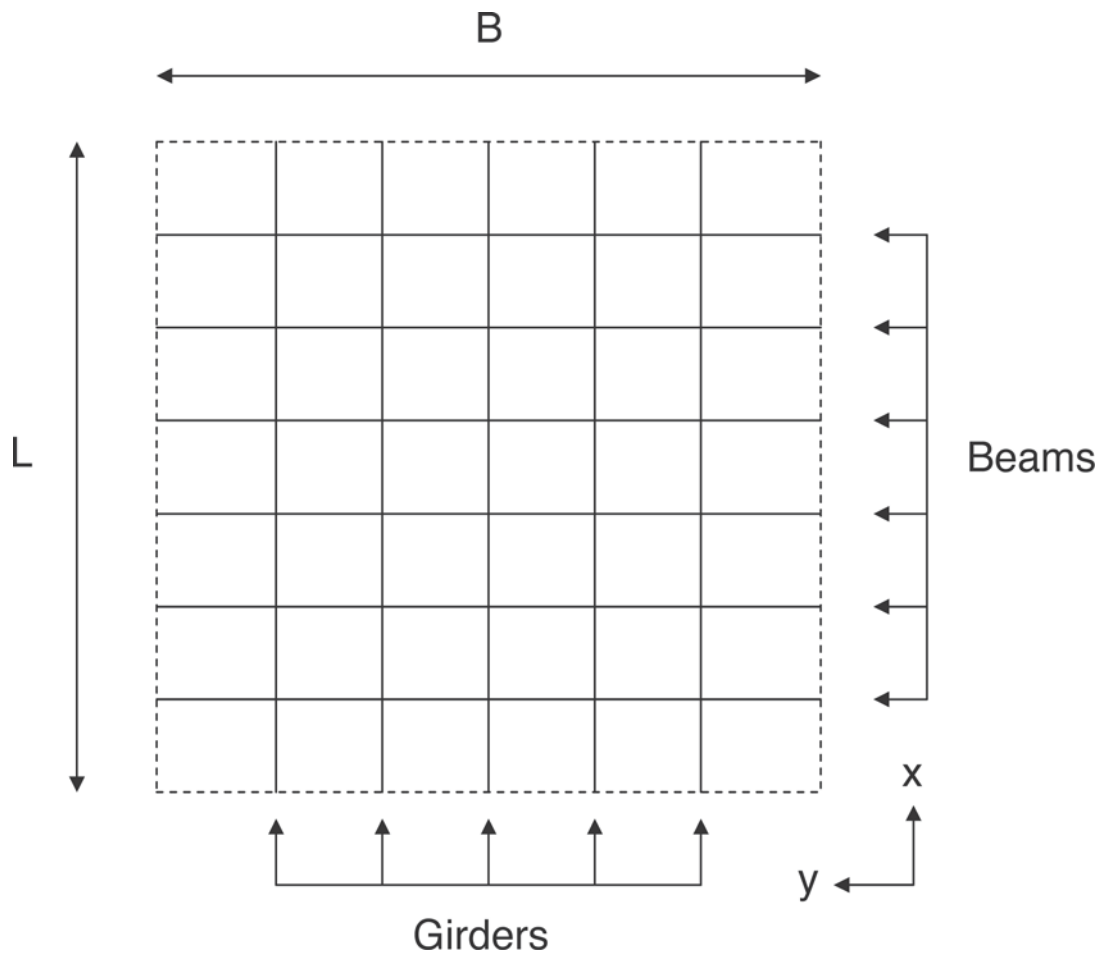
รูปที่ 2 : การนำเสนอตัวแปรด้วย Binary Number

ออกแบบในเวลาอันรวดเร็วเพื่อประหยัดเวลาในช่วงของการออกแบบเบื้องต้น ดังนั้นผู้เขียนจึงได้ตัดสินใจที่จะตัดแปลงวิธีการ

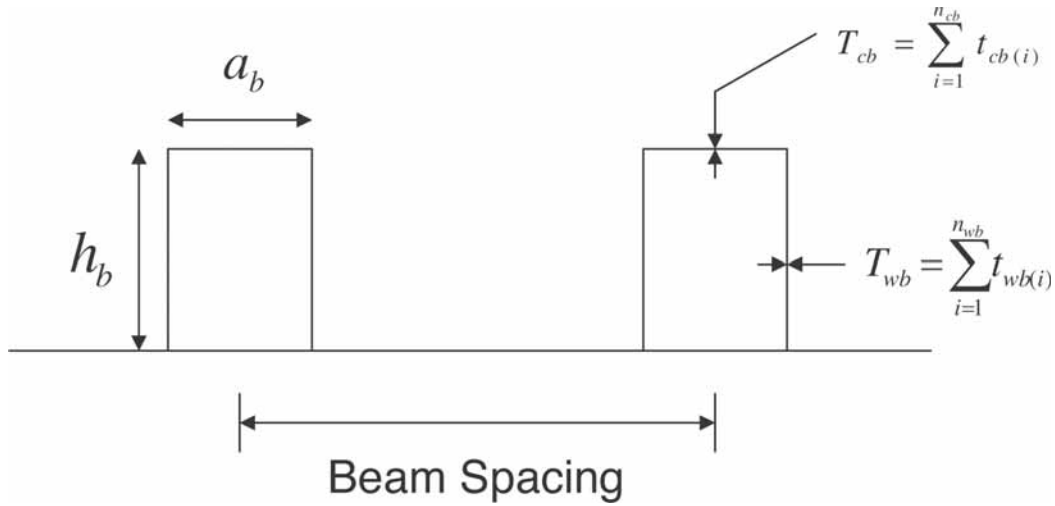
Laminated Composite ดังนั้นแต่ละส่วนประกอบของ Stiffener จึงมีคุณสมบัติที่ต่างกัน ตัวอย่างเช่น Web, Based Plate, Crown และ Core

เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาจากการบิดตัวของหน้าตัด Stiffener จึงทำการกำหนดหน้าตัดให้สมมาตร และแต่ละ Element จะต้องเป็นลามิเนทที่สมมาตรด้วย อีกทั้งต้องมีคุณสมบัติ Especially Orthotropic ใน Membrane Mode เพื่อที่จะจัดผลกระทบ

จาก Coupling Terms [B] และ Shear Coupling  $A_{16}$ ,  $A_{26}$  จาก Dato<sup>10</sup> ค่าของ Membrane Equivalent Young's Modulus ของลามิเนทในทิศทางตามแนวแกน Element ที่  $i^{\text{th}}$







รูปที่ 3: แสดงการนำเสนอแผ่นที่ เสริมความแข็งแรงด้วย Stiffener แทนโดยระบบคาน และ Element ย่อย ของหน้าตัด Stiffener

$$E_i = \frac{(A_{11}A_{22} - A_{12}^2)}{A_{22}t} \quad (1)$$

t คือความหนาทั้งหมดของ Element นั้นและ Extension Stiffness [A] ของ Element จะแสดงได้ดังนี้

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^N t_k (\bar{Q}_{ij})_k \quad (2)$$

N คือจำนวนทั้งหมดของชั้นใน Element นั้นและ  $t_k$  เป็นความหนาของชั้นที่  $K^{\text{th}}$  สำหรับ  $i, j = 1, 1, 2$  และ  $2, 2$   $Q_{ij}$  (the Transformed Reduced Stiffness) ของชั้นที่  $K^{\text{th}}$  จะเขียนได้ดังนี้

$$\bar{Q}_{11} = c^4 Q_{11} + s^4 Q_{22} + 2c^2 s^2 Q_{12} + 4c^4 s^2 Q_{66} \quad (3)$$

$$\bar{Q}_{12} = c^2 s^2 Q_{11} + c^2 s^2 Q_{22} + (c^4 + s^4) Q_{12} - 4c^2 s^2 Q_{66} \quad (4)$$

$$\bar{Q}_{22} = s^4 Q_{11} + c^4 Q_{22} + 2c^2 s^2 Q_{12} + 4c^4 s^2 Q_{66} \quad (5)$$

โดย  $c$  และ  $s$  นั้นย่อมาจาก  $\cos \theta$  และ  $\sin \theta$  และ  $\cos \theta$  คือ มุมไฟเบอร์ในแต่ละชั้น  
The Reduced Stiffness Terms ( $Q_{ij}$ ) เมื่อ  $i,j=1, 2, 6$  สามารถแสดงได้ดังนี้

$$Q_{11} = \frac{E_1}{(1 - \nu_{12}\nu_{21})}, Q_{22} = \frac{E_2}{(1 - \nu_{12}\nu_{21})} \quad (6)$$

$$Q_{12} = \frac{\nu_{21}E_1}{(1 - \nu_{12}\nu_{21})}, Q_{66} = G_{12}$$

ถ้า Stiffener ตามยาวและ Stiffener ตามขวางประกอบไปด้วยจำนวน Element  $N_g$  และ  $N_b$  และ ตามลำดับ Flexural Rigidity ของ Stiffener ตามยาวและ Stiffener ตามขวาง สามารถเขียนได้ดังนี้

$$D_g = \sum_{i=1}^{N_g} E_{x(i)} I_{g(i)}, \quad D_b = \sum_{i=1}^{N_b} E_{y(i)} I_{b(i)} \quad (7)$$

$E_{x(i)}$  และ  $E_{y(i)}$  คือ Membrane Equivalent Young's Modulus ในทิศทางตามแนวแกนของ Element ที่  $i^{\text{th}}$  ของ Stiffener ตามยาวและ Stiffener ตามขวางตามลำดับ  $I_{g(i)}$  และ  $I_{b(i)}$  คือ โมเมนต์ที่สองของพื้นที่ของ Element ที่  $i^{\text{th}}$  รอบแกนสะเทินของหน้าตัด Stiffener ตามยาว และตามขวางตามลำดับ

ความโค้งงอของจุดใด ๆ ของระบบ Stiffener สามารถแสดงโดย Double Summation of Trigonometric Series เรียกว่า Navier's Method ดังนี้

$$w(x, y) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} a_{mn} \sin \frac{m\pi x}{L} \sin \frac{n\pi y}{B} \quad (8)$$

$m$  และ  $n$  คือ เลขคลื่น และ  $a_{mn}$  คือ Coefficients ซึ่งสามารถพิจารณาโดยเงื่อนไข ความสมดุลทางพลังงาน กราฟความโค้งงอของ Stiffener ตามขวางที่  $q^{\text{th}}$  ได้จากการให้  $x$  มีค่าเป็น  $x = x_q = \frac{qL}{(b+1)}$

$$V = \int_{y=y_p}^t \frac{D_g}{2} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 dx + \int_{x=x_q}^p \frac{D_b}{2} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)^2 dy \quad (9)$$

ในทำนองเดียวกัน กราฟความโค้งงอของ Stiffener ตามยาวที่  $p^{\text{th}}$  ได้จากการให้  $y$  มีค่าเป็น  $y_p = \frac{pB}{(g+1)}$

$$(w)_{y=y_p} = \sum_{m=1}^{\infty} c_{pm} \sin \frac{m\pi x}{L}, c_{pm} = \sum_{n=1}^{\infty} a_{mn} \sin \frac{n\pi y}{(g+1)} \quad (10)$$

พลังงานจากความเครียดของ Stiffener ทั้งหมดสามารถเขียนได้ดังนี้

$$V = \int_a^L \frac{D_g}{2} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)_{y=y_p}^2 dx + \int_0^b \frac{D_b}{2} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)_{x=x_q}^2 dy \quad (11)$$

งานที่เกิดจาก Uniform Pressure Load สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\int_0^L \int_0^b P \sum \sum a_{mn} \sin \frac{m\pi x}{L} \sin \frac{n\pi y}{B} dx dy \quad (12)$$

ให้พลังงานจากความเครียดของ Stiffener ทั้งหมดเท่ากับ งานที่เกิดจาก Uniform Pressure Load เราจะสามารถแก้สมการได้ Coefficients ของความโค้งงอ ดังนี้

$$a_{mn} = \frac{16PL^4 B}{\pi^6 mn \left\{ m^4 (g+1) \frac{D_g}{L^3} + n^4 (b+1) \frac{D_b}{B^3} \right\}} \quad (13)$$

เมื่อเราได้ความโค้งงอแล้ว เราก็จะได้ความเค้นและความเค้นเฉือนบนจุดต่าง ๆ ของ Stiffener

### 6.2 แผ่นที่อยู่ระหว่าง Stiffener

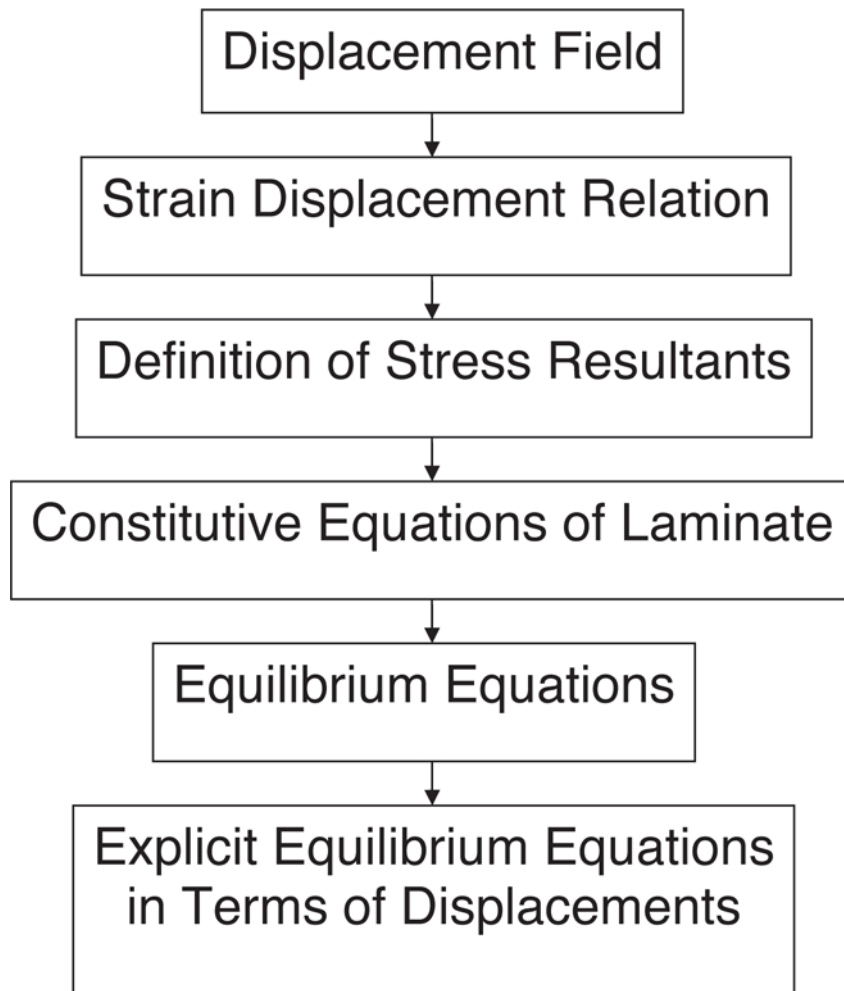
เนื่องจากผู้เขียนเลือกใช้วิธี HSDT จาก Reddy<sup>5</sup> ซึ่งไม่ได้ตัดแปดแปลงใด ๆ เริ่มต้นด้วยการสมมุติการยึดตัวของแผ่นด้วย Cubic Function ดังนี้

$$u(x, y, z, t) = u_0(x, y, t) + z\phi_x(x, y, t) - c_1 z^3 \left( \phi_x + c_0 \frac{\partial w_0}{\partial x} \right) \quad (14)$$

$$v(x, y, z, t) = v_0(x, y, t) + z\phi_y(x, y, t) - c_1 z^3 \left( \phi_y + c_0 \frac{\partial w_0}{\partial y} \right) \quad (15)$$

$$w(x, y, z, t) = w_0(x, y, t) \quad (16)$$

ขั้นตอนการหาสูตรสุดท้ายตามแผนผังในรูปที่ 4



รูปที่ 4: แผนผังแสดงขั้นตอนการหาสูตรสุดท้ายของ การวิเคราะห์แบบ Equivalent Single Layer (ESL)

ท้ายสุดก็จะได้ Matrix ที่สามารถหาความโก่งงอของแผ่นได้ดังนี้

$$[C][\Delta] = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ Q_{mn} \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}, \quad [\Delta] = \begin{Bmatrix} U_{mn} \\ V_{mn} \\ W_{mn} \\ X_{mn} \\ Y_{mn} \end{Bmatrix} \quad (17)$$

เมื่อ [C] คือ Stiffness Matrix และ Q คือแรงกระจายแบบต่อเนื่องสม่ำเสมอที่กระทำบนแผ่น อีกครั้งเมื่อได้การยึดตัวของแผ่นก็จะได้ความเค้นตามมา ส่วนภาระสูงสุดที่ทำให้เกิดการดึงจะได้จากสมการนี้

$$([C] - \lambda[G])[\Delta] = [0] \quad (18)$$

เมื่อ [G] คือ Stiffness Matrix เนื่องจากแรงตามแนวระนาบ และ  $\lambda$  คือ Buckling Parameter

### 7. Genetic Algorithm (GA)

จาก Coley<sup>11</sup> GA คือวิธีในการหาคำตอบที่ดีที่สุดที่อาศัยหลักการของความน่าจะเป็นและขบวนการพัฒนาทางกรรมพันธุ์ GA ประกอบด้วย 6 ขั้นตอนคือ การนำเสนอตัวแปร การสร้างกลุ่มของโครโมโซม การหาค่าความเข้มแข็งของโครโมโซม ขบวนการการใช้ประโยชน์จากความเข้มแข็งของโครโมโซม ขบวนการการสุ่มสำรวจ และเงื่อนไขในการหยุดการค้นหาคำตอบ

ขบวนการค้นหาคำตอบ เริ่มต้นด้วยการสุ่มสร้างกลุ่มของโครโมโซมซึ่งประกอบไปด้วยหลาย Gene ซึ่ง Gene นี้สามารถที่จะแทนได้ทั้ง Binary Digit, Real Numbers เลขจำนวนเต็ม ตัวอักษร หรือ สัญลักษณ์ที่นิยมมากที่สุด และใช้กับการออกแบบโครงสร้างคือ Binary Digit ส่วนในขบวนการหาความเข้มแข็งของโครโมโซม จะต้องเปลี่ยนจาก Gene Type เป็นค่าจริง ๆ ของตัวแปร เช่น จำนวนจริง (Real Number) แล้วคำนวณหาค่าของสมการจุดประสงค์ หลังจากนั้นจึงเปลี่ยนเป็นค่าความเข้มแข็งของโครโมโซม

ในกระบวนการเลือกโครโมโซมโครโมโซมที่แข็งแรงที่สุดจะมีโอกาสถูกเลือกมากที่สุด ในขณะที่โครโมโซมที่อ่อนแอที่สุดจะมีโอกาสถูกเลือกน้อยสุดหรืออาจถูกตัดออกจากกลุ่ม กระบวนการเลือกมีหลายประเภทเช่น Roulette Wheel Tournament Elistism และ Ranking Selection โดยสองชนิดแรกนั้นได้ถูกนำมาใช้ในบทความนี้

หลักการทำงานของ Roulette Wheel Selection คือในการหมุน Roulette Wheel หนึ่งครั้ง โครโมโซมจะถูกเลือกจากกลุ่มโดยพิจารณาจาก Survival Probability ถ้าโครโมโซมอันไหนมีค่าความเข้มแข็งสูงสุด จะมีโอกาสถูกเลือกมากที่สุด Roulette Wheel จะถูกหมุนจนกระทั่งมีจำนวนโครโมโซมที่ถูกเลือกเท่ากับขนาดของกลุ่ม

Tournament Selection คือการที่โครโมโซมที่ดีที่สุดถูกเลือกออกมาจากกลุ่มย่อย ซึ่งจะเป็นการสุ่มสร้างขึ้นมา ลักษณะการเลือกจะถูกปรับแต่งโดยการเปลี่ยนขนาดของกลุ่มย่อย (Tournament Size) ถ้าขนาดนั้นใหญ่ โครโมโซมที่อ่อนแอจะมีโอกาสถูกเลือกน้อย

โครโมโซมที่ถูกเลือกจะถูกสุ่มจับคู่เพื่อที่จะนำไปใช้ในกระบวนการสำรวจพันธุภาพออกแบบนั้นคือ Crossover และ Mutation Crossover เป็นกระบวนการในการผลิตโครโมโซมขึ้นมาใหม่โดยการรวมกันของแต่ละคู่ สำหรับโครโมโซมที่นำเสนอโดย Binary Number นั้น Crossover มีหลายชนิดด้วยกัน ตัวอย่างเช่น

- Single Point Crossover : มีจุดผสมระหว่างสองโครโมโซมนั้นเพียงจุดเดียว ซึ่งจะถูกสุ่มเลือกจากตำแหน่งของบิตบนโครโมโซมนั้น แต่ละโครโมโซมจะถูกแบ่ง

ออกเป็นสองส่วน ที่จุดตัดดังกล่าวส่วนแรก จะถูกส่งไปสู่ลูกและส่วนหลังจะสลับกัน

- Uniform Crossover : การผสมกันของโครโมโซม 2 ตัวจะทำในระดับ Gene กล่าวคือ Gene ในแต่ละตำแหน่งมีโอกาสเท่ากันที่จะสลับกันระหว่างโครโมโซมสองตัวนั้น โดยการสุ่มเลือก Gene

กระบวนการ Mutation เป็นกระบวนการที่ใช้ในการสำรวจคำตอบของพื้นที่ผิวของการออกแบบโดยทำการสุ่มหา Gene ที่จะเปลี่ยน โดยจำนวนโดย Gene ที่จะถูกเปลี่ยน จะต้องไม่ทำให้กลุ่มของโครโมโซมสูญเสีย ด้วยเหตุนี้ทำให้ไปค้นหาในพื้นที่ใหม่โดยไม่ติดอยู่ที่เดิม ตัวอย่างที่ใช้ในงานนี้ ด้วยค่า Mutation Probability ทุก ๆ Gene ในกลุ่มนั้นจะมีโอกาสเท่า ๆ กันที่จะเปลี่ยนจาก 0 เป็น 1 และ เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0

หลังจากผ่านกระบวนการ Mutation แล้วกระบวนการ Elitism จะถูกนำมาใช้เพื่อป้องกันการสูญเสียโครโมโซมที่ดีที่สุดจากวงจรที่แล้ว (Last Generation) โดยเก็บอย่างน้อยหนึ่งโครโมโซมจากโครโมโซมที่ดีที่สุด เพื่อใช้ในวงจรต่อไป การค้นหาคำตอบนี้จะหยุดก็ต่อเมื่อเข้าข่ายเงื่อนไขการหยุด

## 8. ผลการใช้งาน

ก่อนการใช้งานโปรแกรมออกแบบที่สร้างขึ้นด้วยภาษาพื้นฐานที่ชื่อ FORTRAN นี้ ได้มีการนำโปรแกรมย่อยไปตรวจสอบความถูกต้องก่อน โดยนำวิธีวิเคราะห์แผ่นที่เสริมด้วย Stiffener ซึ่งเป็นการดัดแปลงจากวิธีที่ใช้กับแผ่นโลหะจึงต้องเปรียบเทียบคำตอบการวิเคราะห์กับผลการวิเคราะห์ Steel Grillage ของ Clarkson<sup>3</sup>, Equivalent

Elastic Properties และ ความเค้นเฉือนบน Web ของ Dato<sup>10</sup> สำหรับ HSDT จะเปรียบเทียบกับ Reddy<sup>5</sup> นอกจากนี้ ยังได้นำ GA ไปทดลองใช้กับฟังก์ชันคณิตศาสตร์ที่ให้พื้นผิวลักษณะต่าง ๆ ที่มีหลายจุดที่ให้ค่าที่ดีที่สุดเฉพาะที่ (Local Optimum) อีกทั้งได้ทดลองสลับคู่ของขบวนการค้นหาคำตอบของ GA ผลคือในการหาคำตอบเราต้องทดลองใช้หลายคู่สลับกันจนกระทั่งได้คำตอบที่ดีที่สุด

ผู้เขียนได้นำโปรแกรมที่สร้างขึ้นไปใช้กับโครงสร้างแผ่นทั้งสามชนิดนั้นคือ Unstiffened Laminated Plate, Unidirectional Stiffened Laminated Plate และ Cross Stiffened Laminated Plate แต่เนื่องจากต้องเรียบเรียงให้กระชับรัด ดังนั้นจึงขอเสนอเพียงตัวอย่างการออกแบบดังนี้

โครงสร้างแผ่นทั้งหมดจะรองรับด้วย Simply Supported Condition ซึ่งจะรับภาระแบบกระจายทั่วแผ่นเท่า ๆ กันซึ่งมีค่าเท่ากับ  $0.05 \text{ N/mm}^2$  ลามิเนตที่ใช้เป็นลามิเนตแบบสมมาตร Resin ที่ใช้คือ Epoxy และอัตราส่วนของปริมาตรของไฟเบอร์ต่อปริมาตรทั้งหมด (Fibre Volume Fraction) เท่ากับ 0.6 Foam Core ที่ใช้คือ Airex © C70.90 โดยมี  $E = 84 \text{ MPa}$ ,  $\nu = 0.32$  และ ความหนาแน่นเท่ากับ  $100 \text{ kg/m}^3$  ในแต่ละลามิเนตมีตัวแปรดังนี้

- จำนวนชั้นของลามิเนตซึ่งมีให้เลือกดังนี้ 2,4,6 หรือ 8

- มุมของไฟเบอร์สามารถเป็น 0,45,-45 หรือ 90 สำหรับแผ่นที่อยู่ระหว่าง Stiffener มุมที่ให้เลือกคือ 0 หรือ 90 ถ้ามุมเท่ากับศูนย์นั้นหมายถึงไฟเบอร์วางตามแนวแกน x

● ชนิดของไฟเบอร์ที่มีให้เลือกมีดังนี้ E-glass (Eg), High Strength Carbon (HS), High Modulus Carbon (HM) และ Ultra High Modulus Carbon (UHM)

● น้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่หรือ Areal Weight (Aw),  $\text{kg/m}^2$  ของผืนผ้าไฟเบอร์ของแต่ละชั้นสามารถเป็นได้ดังนี้ สำหรับ E-glass 0.25, 0.5, 0.8 หรือ 1.6, สำหรับ Carbon ทุกชนิด 0.2, 0.3, 0.4 หรือ 0.5

สำหรับแผ่นที่เสริมด้วย Stiffener ความสูงของ Web และความกว้างของ Crown จะถูกตั้งให้เท่ากับ  $\frac{1}{4}$  ของระยะห่างระหว่าง Stiffener

### กรณีศึกษาที่ 1

ออกแบบแผ่นที่เสริมความแข็งแรงด้วย Stiffener แบบ Tophat ทั้งสองทิศทางซึ่งมีขนาด  $L = 6,096 \text{ mm}$ . และ  $B = 2,540 \text{ mm}$ . Stiffener ตามยาวสามารถเป็น 158.75, 211.67, 254 และ 423.33 Stiffener ตามขวางสามารถเป็น 381.0, 508.0, 609.6 และ 1,016.0 จะทดลองกับ 4 กรณี

กรณี-wc1 : ทำการออกแบบโดยปราศจากเงื่อนไขของ Stiffness และ Strength  
กรณี-wc2 : ทำการออกแบบโดยมีเงื่อนไข Stiffness,  $\delta_{\text{max}} < 25.4 \text{ mm}$  และ Strength  $FI < 1.0$

กรณี-wc3 : ทำการออกแบบโดยมีเงื่อนไข Stiffness,  $\delta_{\text{max}} < 25.4 \text{ mm}$  และ Strength  $FI < 0.1$

กรณี-wc4 : ทำการออกแบบโดยมีเงื่อนไข Stiffness,  $\delta_{\text{max}} < 2.54 \text{ mm}$  และ Strength  $FI < 1.0$

จุดประสงค์ของการออกแบบคือต้องการแผ่นที่มีน้ำหนักที่เบาที่สุด ซึ่งได้ผลการออกแบบตามที่ปรากฏในตารางที่ 1 และสามารถสรุปได้ดังนี้

● กรณีที่ไม่มีเงื่อนไข (wc1) จะพบว่าทุก ๆ Element จะทำจากเพียงแค UHM และมีเพียง 2 ชั้นเท่านั้นเนื่องจากทำให้เบาที่สุด

● ด้วยเงื่อนไขในกรณี (wc2) ผลของน้ำหนักจะสูงกว่า กรณี-wc1 โดยเพิ่มขึ้น 38.32 % นอกจากนี้ความโค้งงอลดลงมาที่ 24.96 mm. ลดลง 98.54 %

● จะเห็นได้ว่าเงื่อนไขของ Stiffness จะมีผลต่อน้ำหนักมากกว่าเงื่อนไขของ Strength นั่นคือเมื่อค่าจำกัดของ FI ลดลงไปที่ 10 % ของกรณี-wc2 ทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้น 6.62 % และเมื่อค่าจำกัดของความโค้งงอลดลงไปที่ 10 % ของกรณี-wc3 ส่วนค่าจำกัดของ FI ให้เท่ากับของ กรณี-wc3 ทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้น 66.8 %

### กรณีศึกษาที่ 2

แผ่นลามิเนตที่อยู่ระหว่าง Stiffener ที่มีขนาด  $L = 400 \text{ mm}$ . และ  $B = 200 \text{ mm}$ . จะทดลองใช้กับ 3 กรณีดังนี้

● กรณี-MD1 : ตัวแปรคือ มุมของไฟเบอร์ ชนิดของไฟเบอร์ให้เป็น E-glass และมวลไฟเบอร์ต่อพื้นที่เท่ากับ  $0.5 \text{ kg/m}^2$

● กรณี-MD2 : ตัวแปรคือ มุมของไฟเบอร์ ชนิดของไฟเบอร์ และมวลไฟเบอร์ต่อพื้นที่เท่ากับ  $0.5 \text{ kg/m}^2$

● กรณี-MD3 : ตัวแปรคือ มุมของไฟเบอร์ ชนิดของไฟเบอร์ และมวลไฟเบอร์ต่อพื้นที่

ตารางที่ 1: หนาแน่นที่สุดของแผ่นที่เสริมด้วย Stiffener ในสองทิศทาง ภายใต้เงื่อนไข Stiffness และ Strength

		Case-WC1	Case-WC2	Case-WC3	Case-WC4
Constraints	$\delta_{max}$ (mm)	$\infty$	25.4	25.4	2.54
	$FI_{max}$	$\infty$	1.0	0.1	0.1
Girder Spacing (mm)		158.75	158.75	158.75	158.75
Beam Spacing (mm)		381.75	609.60	608.00	1016.00
Base Plate	Fibre Angle	[0]s	[90]s	[90]s	[90]s
	Fibre Type	[UHM]s	[UHM]s	[UHM]s	[UHM]s
	$A_w$	[0.2]s	[0.2]s	[0.2]s	[0.2]s
Web of Girders	Fibre Angle	[0]s	[0]s	[90]s	[90]s
	Fibre Type	[UHM]s	[UHM]s	[UHM]s	[UHM]s
	$A_w$	[0.2]s	[0.2]s	[0.2]s	[0.2]s
Crown of Girders	Fibre Angle	[0]s	[90]s	[90]s	[0]s
	Fibre Type	[UHM]s	[HM]s	[UHM]s	[UHM]s
	$A_w$	[0.2]s	[0.2]s	[0.2]s	[0.4]s
Web of Beams	Fibre Angle	[45]s	[90]s	[-45]s	[-45]s
	Fibre Type	[UHM]s	[UHM/HS/HS]s	[Eg/HS/Eg]s	[Eg/HS/Eg/Eg]s
	$A_w$	[0.2]s	[0.2]s	[0.2]s	[0.2]s
Crown of Beams	Fibre Angle	[-45]s	[45/45/45]s	[0/0/0]s	[-45/-45/-45/45]s
	Fibre Type	[UHM]s	[UHM/HS/HS]s	[Eg/HS/Eg]s	[Eg/HS/Eg/Eg]s
	$A_w$	[0.2]s	[0.2/0.3/0.5]s	[0.8/0.2/1.6]s	[1.6/0.3/1.6/1.6]s
Weight (kg)		69.84	95.91	102.21	160
$\delta_{max}$ (mm)		1707.42	24.96	18.42	2.48
FI-CS1		3.1130	0.0298	0.0223	0.0034
FI-CS2		18.8227	0.4219	0.0824	0.0571
FI-CS3		1.2466	0.0063	0.0004	0.0008
FI-CS4		2.5404	0.1191	0.0883	0.0146
FI-CS5		18.5840	0.0314	0.0726	0.0368

จากตารางที่ 2 สามารถสรุปได้ดังนี้

- พบว่ามุมไฟเบอร์คือ  $90^0$  (วางตามแนวที่สั้นที่สุดของแผ่น) จะทำให้ความโค้งงอน้อยที่สุด
- เมื่อให้ชนิดไฟเบอร์เป็นตัวแปรที่เพิ่มเข้ามา ไฟเบอร์ที่มีค่า Young's Modulus สูง ๆ จะปรากฏอยู่ในผลลัพธ์

โดยเฉพาะ กรณี-MD2 ที่ตัวแปรมวลไฟเบอร์ต่อพื้นที่คงที่เท่ากับ  $0.5 \text{ kg/m}^2$  จะพบว่ามีเพียง UHM เท่านั้นที่ถูกเลือก

- กรณี-MD3 จะได้คำตอบเฉพาะเมื่อค่ามวลไฟเบอร์ต่อพื้นที่มีค่าสูงสุดเพราะให้ความหนาของชั้นสูงสุด

ตารางที่ 2 หาคความโค้งงอน้อยที่สุดของแผ่นที่อยู่ระหว่าง Stiffener

	Case-MD1	Case-MD2	Case-MD3
Fibre Angle	[90/90/90/90]s	[90/90/90/90]s	[90/90/90/90]s
Fibre Type	-	[UHM/UHM/HS/HM]s	[UHM/Eg/Eg/Eg]s
$A_w$ (kg/m <sup>2</sup> )	-	-	[0.5/1.6/1.6/1.6]s
Deflection	289.63	15.51	4.09



## บทสรุป

โปรแกรมย่อยที่สำคัญของโปรแกรมออกแบบที่สร้างขึ้นด้วยภาษา FORTRAN ได้ถูกตรวจสอบ โดยการเปรียบเทียบคำตอบกับข้อมูลที่ได้และได้มีการทดลองนำไปใช้กับหลายตัวอย่าง ผลการออกแบบ ที่ได้มีความสอดคล้องกับความรู้เกี่ยวกับผลกระทบของตัวแปรกับโครงสร้างเหล่านั้น เช่น ต้องวางไฟเบอร์ ในแนวด้านที่สั้นที่สุดของแผ่น ทำให้ความโค้งงอของแผ่นสลิเลียมผืนผ้าน้อยที่สุด

วิธีที่นำเสนอนี้ถ้าได้รับการพัฒนาจนสมบูรณ์อาจจะใช้ได้ดีและสะดวกกับการออกแบบเบื้องต้นของ โครงสร้างที่ทำด้วย Composite ซึ่งมีความยืดหยุ่นในการออกแบบสูงและจำนวนตัวแปรที่มาก เนื่องจาก สามารถให้คำตอบในการออกแบบแผ่นที่เสริมด้วย Stiffener ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรต่างๆ เช่น ความหนาของแต่ละ Element ขนาดของ Stiffener มุมไฟเบอร์ในแต่ละชั้น ชนิดของไฟเบอร์ และมวลไฟเบอร์ต่อพื้นที่ เพื่อให้ ได้มาซึ่งแผ่นที่เบาที่สุด ผลลัพธ์เหล่านี้สามารถเป็นจุดเริ่มต้นของการออกแบบอย่างละเอียดต่อไป ซึ่งการ วิเคราะห์จะใช้วิธีที่ละเอียดและใช้เวลานานในการคำนวณเช่น FEA จากที่กล่าวมาทั้งหมด สามารถสรุป ประโยชน์ของวิธีที่นำเสนอ ดังนี้

- สามารถใช้ได้กับโครงสร้างเรือที่ทำด้วย Composite ทั้งแบบ Secondary และ Tertiary ซึ่งตัวแปรของโครงสร้างเหล่านี้มีทั้งแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องและมีพื้นผิวกราฟออกแบบที่มีหลายมิติ
- เนื่องจากการใช้ร่วมกันระหว่าง GA กับวิธีวิเคราะห์โครงสร้างแบบปิด (Closed Form) ทำให้ ได้คำตอบในเวลาอันรวดเร็ว ถึงแม้ว่าโดยธรรมชาติของ GA จะต้องการการคำนวณอย่างมากต่อหนึ่งรอบการค้นหาคำเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยต่อไป
- ควรรวมเงื่อนไข Stability เข้าไปในการออกแบบแผ่นที่เสริมความแข็งแรงด้วย Stiffener เพื่อควบคุม ตัวแปรที่ Base Plate
- ในงานนี้ได้นำไฟเบอร์ที่มีราคาแพงมาใช้ ซึ่งถ้าต้องการจะหลีกเลี่ยงมูลค่าการผลิตที่สูงควรรวม สมการจุดประสงค์ด้านราคาการผลิตเข้าไปด้วย

## เอกสารอ้างอิง

1. Moe, J. and Svere, L. "Cost and Weight Minimization of Structures with Special Emphasis on Longitudinal Strength Members of Tankers" Transactions of RINA. 1968, vol.110, P 43-70.
2. Mouritz, A.P. and Other. "Review of Advanced Composite Structures for Naval Ships and Submarines" Composite Structures. 2001, vol.53, P 21-42.
3. Clarkson, J. The Elastic Analysis of Flat Grillages. Cambridge, Cambridge University, 1965.
4. Vedeler, G. Grillage Beams in Ships and Similar Structures. Oslo, Grondahl & Son, 1945.
5. Reddy, J.N. Mechanics of Laminated Composite Plates. London, CRC, 1997.
6. Bedair, O.K. "Analysis of Stiffened Plates Under Lateral Loading Using Sequential Quadratic Programming (SQP)" Computers & Structures. 1997, vol.62, P 63-80.
7. Smith, C.S. Design of Marine Structures in Composite Materials. London, Elsevier Applied Science, 1990.
8. Smith, C.S. "Elastic Analysis of Stiffened Plating Under Lateral Loading" Transactions of RINA. 1966, vol.108, P 113-131.
9. Kim, C.W. and Lee, J.S. "Optimal Design of Laminated Composite Plates for Maximum Buckling Load Using Genetic Algorithm" Proc. IMechE Part C. 2005, vol.219, P 869-878.
10. Dato, M.H. Mechanics of Fibrous Composites. Essex, Elsevier Science, 1991.
11. Coley, D.A. An Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers. Singapore, World Scientific, 1999.

# SEAT BOAT



The best fiberglass boat in THAILAND



**MERCURY**  
MERCUISER

**QUICKSILVER**



- ✚ ผู้ผลิตและจำหน่ายเรือไฟเบอร์กลาส เรืออลูมิเนียม และเรือยางท้องไฟเบอร์กลาส
- ✚ ตัวแทนจำหน่ายเครื่องเรือ OUTBOARDS ยี่ห้อ MERCURY และเครื่อง MERCUISER STERNDRIVES & INBOARDS พร้อมบริการด้านอะไหล่ และซ่อมบำรุง ทั้งในและนอกสถานที่ โดยทีมช่างที่ผ่านการอบรมจากโรงงานผู้ผลิต
- ✚ จำหน่ายเรือยางนำเข้าจากต่างประเทศ
- ✚ จำหน่ายอุปกรณ์เรือ และอุปกรณ์กีฬาทางน้ำ
- ✚ บริการซ่อมบำรุง และตรวจสอบสภาพเรือ



บริษัท ซีท โบ๊ต จำกัด 63/2 หมู่ 10 ถ.พญาใต้ ต.หนองปรือ อ.บางละมุง จ.ชลบุรี 20150

SEAT BOAT CO., LTD. 63/2 Moo 10, South Pattaya Rd., Nongprue, Banglamung, Choburi 20150, THAILAND

Tel : (038) 421-072-3, 373-552 Fax : (038) 421-372

[www.seatboat.com](http://www.seatboat.com)

# THAILAND EXCLUSIVE DISTRIBUTOR



- SEWAGE TREATMENT
- ENGINE ROOM PUMP SYSTEM



HIGH SPEED  
DIESEL ENGINES



- AIR COMPRESSOR
- STEERING GEAR

## Raychem

- ELECTRICAL CABLE
- DEFENCE STANDARD

## Chockfast

- EPOXY RESIN GROUTING
- FOUNDATION SYSTEM

## Cruisair

- MARINE AIR CONDITIONING SYSTEM



## WESTERBEKE

Engines & Generators



- REVERSE OSMOSIS  
DESALINATORS

## WISKA

- MARINE LIGHTING  
EQUIPMENT
- EXPLOSION PROOF  
MATERIAL



## WÄRTSILÄ

- DEEP SEA SEALS
- LIPS - CPP
- ENGINE
- WATER JET
- SHAFT LINES
- PROPELLERS



## Rolls-Royce

PARTS & SERVICES

- KAMEWA CPP / WATERJET
- BROWN BROTHERS
- TENFJORD

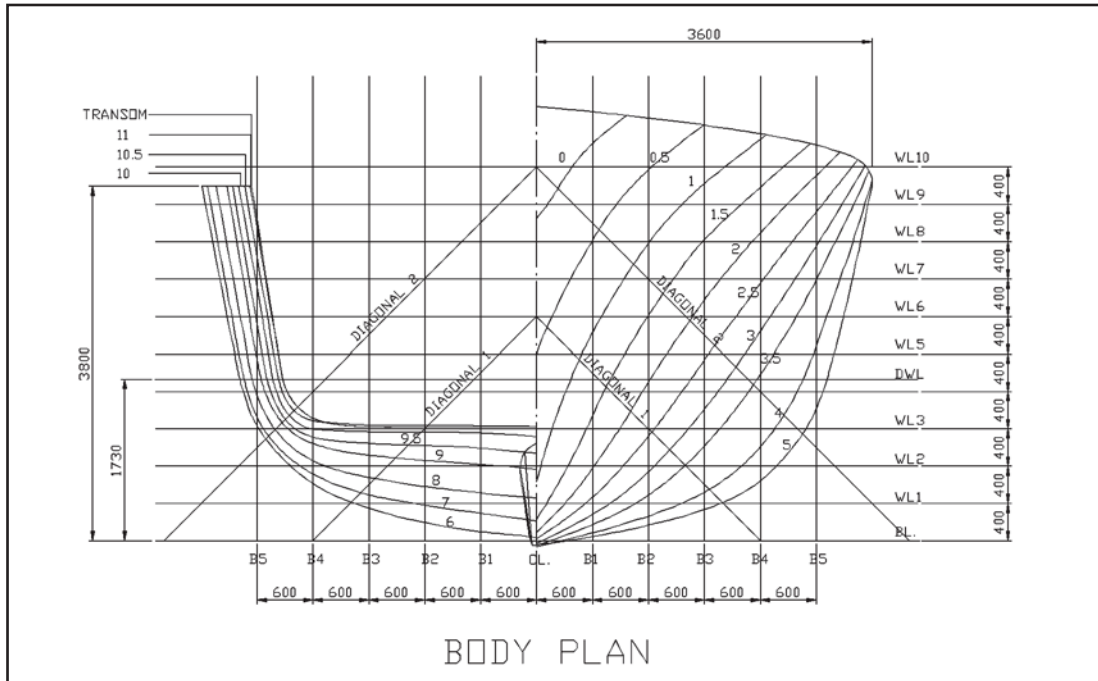


**THAI KOLON CO.,LTD. since 1984**

**Head office :** 1093/78 16<sup>th</sup> Floor Central City Tower, Moo12  
Bang-Trad Road, Bangna, Bangkok 10260

**Tel:** 66-2-7456468-76 **Fax:** 66-2-7456152 **Email:** thaikolon@thaikolon.co.th

# การพัฒนาแบบลายเส้นตัวเรือที่เหมาะสม



นาวาเอก ศราวุธ วงศ์เงินวง

ผู้อำนวยการกองออกแบบต่อเรือ กรมแผนการช่าง กรมอุทกหารเรือ  
2 ถนนอรุณอมรินทร์ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700

โทร. 0 2475 4251 โทรสาร 0 2475 4387 E-mail: swny1976@yahoo.com

นาวาตรี ณัฐกร สุพัฒนะกรกิจ

รกร. นายช่างแผนกออกแบบผังเรือ กองออกแบบต่อเรือ กรมแผนการช่าง  
กรมอุทกหารเรือ 2 ถนนอรุณอมรินทร์ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700

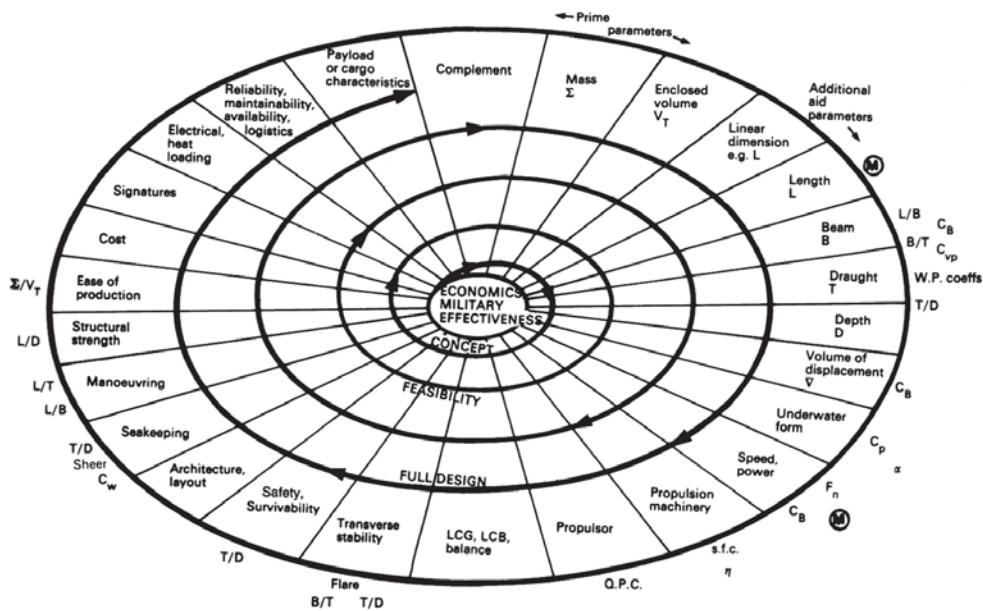
โทร. 0 2475 4254 โทรสาร 0 2475 4387 E-mail: natthakorn\_kit@yahoo.com

## บทคัดย่อ

การออกแบบลายเส้นตัวเรือ (Lines Plan) ให้มีคุณลักษณะที่เหมาะสมกับภารกิจของเรือตามความต้องการของผู้ใช้งาน ประกอบด้วยปัจจัยหลายอย่างที่ต้องนำมาพิจารณา เช่น การทรงตัวของเรือ ความคงทนทะเล พลังงานขับเคลื่อน และขนาดของพื้นที่ใช้งานสำหรับเรือแต่ละประเภท เป็นต้น นอกจากนี้การออกแบบลายเส้นตัวเรือที่ดียังเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับความสามารถต่อการตอบสนองภารกิจและสมรรถนะของเรือให้ได้ตามที่กำหนด โดยเริ่มจากการคัดเลือกตัวเรือต้นแบบ (Parent Ship) ตามประเภทการใช้งานของเรือ และนำมาพัฒนาเพื่อให้ได้ตัวเรือตามความต้องการของผู้ใช้ โดยในขั้นต้นอาจต้องประยุกต์ใช้งานร่วมกับโปรแกรมช่วยในการคำนวณคุณสมบัติทาง Hydrostatic และ Hydrodynamic เพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมของลายเส้นตัวเรือที่ออกแบบไว้ ก่อนที่จะนำตัวเรือที่ออกแบบเรียบร้อยแล้วไปทำการทดลองลากแบบจำลองเรือ (Model Test) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดก่อนการสร้างเรือจริง

## 1. บทนำ

การออกแบบรูปทรงตัวเรือ (Hull Form) เพื่อให้ได้เรือที่ต้องการใช้งานตามภารกิจที่ถูกกำหนดไว้จากผู้ใช้นั้นมีองค์ประกอบหลายปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ประเภทการใช้งานของเรือ มิติของเรือ ความเร็วเรือ การทรงตัวของเรือ ความคงทนทะเล ความน่าเชื่อถือ และราคา เป็นต้น ซึ่งทุกปัจจัยที่กล่าวมามีส่วนในการออกแบบรูปทรงตัวเรือ ดังนั้นในขั้นตอนการออกแบบรูปทรงตัวเรือ จึงต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลอย่างใกล้ชิดเมื่อตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งทำให้เรือที่ออกแบบไม่อยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้ก็จำเป็นที่จะต้องดำเนินการแก้ไขตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องใหม่ ดังรูปที่ 1 ประกอบ



รูปที่ 1 Design Spiral

นอกจากการออกแบบรูปทรงตัวเรือเพื่อให้ได้เรือตามคุณสมบัติที่กำหนดไว้แล้วนั้น ความสวยงามของ Hull Form ก็เป็นอีกหนึ่งองค์ประกอบที่สำคัญ ดังนั้นนาวาสถาปนิก (Naval Architect) จึงต้องมีทักษะ (Skill) ในการออกแบบเรือทั้งศาสตร์และศิลป์ (Science & Art) รวมทั้งมีข้อมูลสถิติผลการใช้งานของเรือ ซึ่งเป็นที่ยอมรับในการใช้งาน (Well Proven) และด้วยพัฒนาการทางด้านเทคโนโลยีการออกแบบเรือในปัจจุบัน โปรแกรมช่วยการออกแบบเรือ จึงมีส่วนสำคัญในการวิเคราะห์หาความเหมาะสม

ของลายเส้นตัวเรือตามแต่ละประเภทการใช้งานของเรือ ซึ่งจะช่วยให้การออกแบบเรือมีความรวดเร็วและเรือมีคุณลักษณะใกล้เคียงกับความต้องการมากยิ่งขึ้น

## 2. การออกแบบลายเส้นตัวเรือ

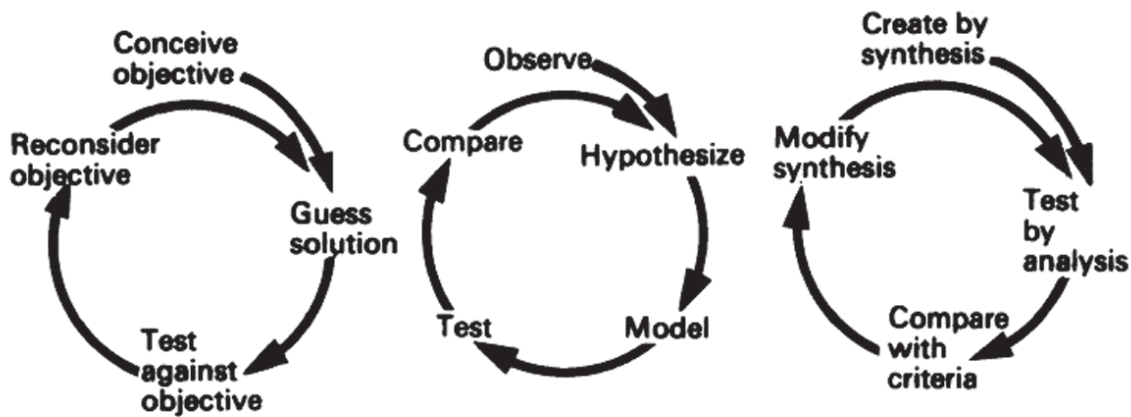
การดำเนินการออกแบบเพื่อให้ได้เรือตามที่ต้องการนั้นเป็นกระบวนการออกแบบที่ดำเนินการซ้ำแล้วซ้ำอีก (Iterative Process) ซึ่งมีขั้นตอนหลักการของการออกแบบเรือประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอน โดยเริ่มจากการออกแบบขั้นพื้นฐาน (Basic Design) ซึ่ง

ประกอบไปด้วยการออกแบบเชิงแนวคิด (Conceptual Design) และการออกแบบเบื้องต้น (Preliminary Design) ก่อนที่จะนำไปสู่การออกแบบสำหรับประกอบการทำสัญญา (Contract Design) และการออกแบบรายละเอียดสำหรับการสร้างเรือ (Detail Design) โดยในบทความนี้จะกล่าวถึงเฉพาะการออกแบบลายเส้นตัวเรือ (Lines Plan) ซึ่งอยู่ในขั้นตอนของการออกแบบขั้นพื้นฐาน (Basic Design) พร้อมทั้งยกตัวอย่างการออกแบบลายเส้นเรือ

ขั้นตอนของการออกแบบลายเส้นตัวเรือ (Lines Plan) ซึ่งเป็นตัวกำหนดรูปทรงตัวเรือ (Hull Form) สามารถแยกเป็นหัวข้อได้ดังนี้

### 2.1 Feasibility Study

ทำการศึกษา เก็บข้อมูล และสำรวจความต้องการของกองเรือยุทธการ เพื่อให้ทราบถึงภารกิจ (Missions) และความต้องการในการใช้งานเรือของกองเรือยุทธการ (User's Requirements) โดยมีหัวข้อที่น่าสนใจสำหรับการออกแบบรูปทรงตัวเรือดังนี้



รูปที่ 2 Iteration in Design

ตรวจการณ์ใกล้ฝั่ง (ต.994) และเรือตรวจการณ์ปืนประกอบ เพื่อให้สามารถมองเห็นภาพของการดำเนินการออกแบบลายเส้นตัวเรือได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น รูปที่ 2 เป็นวงรอบการดำเนินการแบบซ้ำแล้วซ้ำอีกของงานออกแบบเรือ ที่เริ่มด้วยการกำหนดภารกิจเบื้องต้น (Conceive Objective) การสังเกตการณ์โดยการทดสอบ (Observe) และการออกแบบตามข้อมูลที่สังเคราะห์แล้ว (Create by Synthesis)

- เป็นเรือประเภทใด เช่น เรือตรวจการณ์ใกล้ฝั่ง เรือตรวจการณ์ไกลฝั่ง หรือเรือตรวจการณ์ปืน เป็นต้น
- มีภารกิจในการปฏิบัติงานอย่างไรบ้าง
- ต้องการความเร็วสูงสุดในการปฏิบัติงานเท่าใด
- ความเร็วในการเดินทางเป็นเท่าใด
- ระยะปฏิบัติการไกลเท่าใด
- กำลังพลประจำเรือมีอัตราเท่าใด
- ฯลฯ

ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะนำมาใช้ในการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะตามความต้องการของฝ่ายเสนาธิการ (Staff Requirements, SR) โดยที่นาวาสถาปนิก (Naval Architect) จะต้องดำเนินการออกแบบรูปทรงตัวเรือให้สามารถปฏิบัติภารกิจตาม SR ที่กำหนดไว้ให้ถูกต้องครบถ้วน

โดยในการออกแบบลายเส้นตัวเรือนั้น นิยมนำเรือที่ผ่านการทดลองใช้งานมาเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้วและมีประวัติการใช้งานที่ดี (Well Proven) มาเป็นเรือต้นแบบ (Parent Ship or Sister Ship) เพื่อมาพัฒนาเป็น Hull Form ที่เหมาะสมกับภารกิจของเรือที่เรากำลังดำเนินการออกแบบ นอกจากนี้คำแนะนำหรือข้อเสนอแนะ (Feed Back) จากผู้ใช้งานเรือ ก็เป็นปัจจัยที่ต้องนำมาประกอบในการพิจารณาตัดสินใจเพื่อพัฒนาลายเส้นตัวเรือ

## 2.2 Parametric Study

เมื่อทราบความต้องการของผู้ใช้เรือแล้ว นาวาสถาปนิก (Naval Architect) จะต้องทำการกำหนดขนาดหรือมิติที่สำคัญของเรือ (Principal Dimensions) และจะต้องให้รูปทรงตัวเรือมีความเหมาะสมกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ เช่น ความเร็ว (Speed) ความคงทนทะเล (Seaworthiness) ระยะเวลาปฏิบัติการ (Range) ความแข็งแรง (Strength) การทรงตัว (Stability) Endurance Seakeeping Manoeuvrability ราคา (Cost) ความสวยงาม (Architecture) ความเป็นอยู่อาศัย (Habitability) และการลดรังสีสะท้อน (Signature Suppression) เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับค่า Parameter และค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ

ของตัวเรือ เช่น ค่า

$$C_B \quad C_w \quad C_p \quad \frac{L}{B} \quad \frac{L}{D} \quad \text{และ} \quad \frac{B}{T} \quad \text{ เป็นต้น}$$

โดยจะขอยกตัวอย่างความสำคัญของค่า Parameter และค่าสัมประสิทธิ์ของตัวเรือที่มีผลต่อการออกแบบรูปทรงตัวเรือประกอบดังนี้

### 2.2.1 ความยาว (Length)

: เป็นความต้องการที่สำคัญสำหรับการกำหนดขนาดเรือเพื่อตอบสนองการปฏิบัติการของเรือแต่ละประเภท เรือที่มีลักษณะเพรียว (Long Narrow Ship) หรือเรือที่มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง (L/B) สูง จะสามารถทำความเร็วได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานขับเคลื่อนที่เท่ากัน แต่จะมีข้อด้อยกว่าในเรื่องการทรงตัวเรือและการหันเลี้ยว “*More difficulty in achieving high manoeuvrability and stability*” นอกจากนี้ยังคงต้องเสริมความแข็งแรงทางยาว (Longitudinal Structure) ให้มากขึ้นด้วย

### 2.2.2 สัมประสิทธิ์แท่งตัน

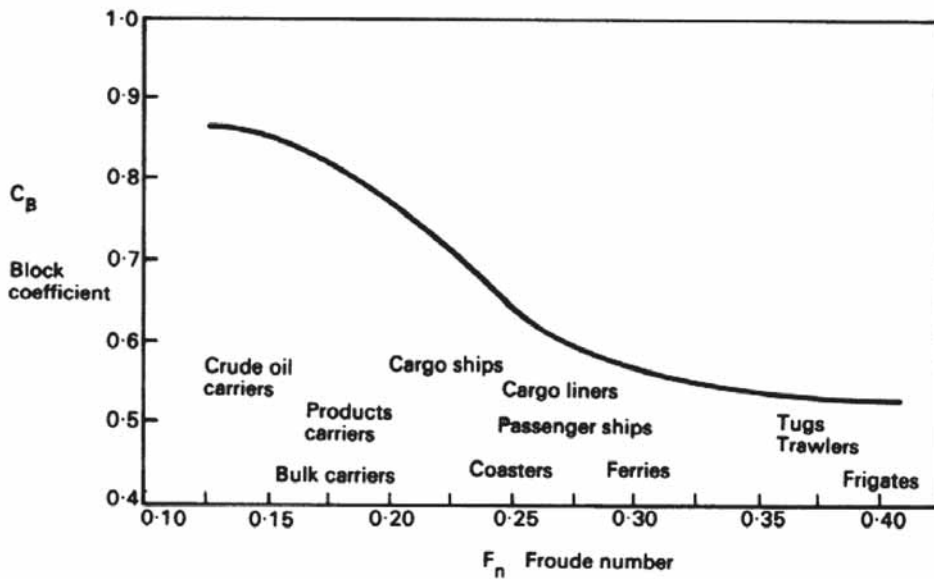
(Block Coefficient,  $C_B$ )

$$\text{ค่า } C_B \left( C_B = \frac{\nabla}{L \times B \times D} \right)$$

จะแปรผันตามค่า Froude Number

$$\left( F_n = \frac{V}{\sqrt{gL}} \right)$$

ดูรูปที่ 3 ประกอบ โดยที่เรือเร็ว (High Speed Ship) จะมีค่า  $C_B$  ต่ำและเรือที่มีความเร็วต่ำ จะมีค่า  $C_B$  สูง โดยจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ นั้นเป็นตัวบ่งบอกถึงรูปทรงของตัวเรือ



รูปที่ 3 Block Coefficient

ที่มา: Rawson K.J. & Tipper E.C. Basic Ship Theory Fifth Edition Volume 2 Chapter 15 Ship Design, page 649, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2001

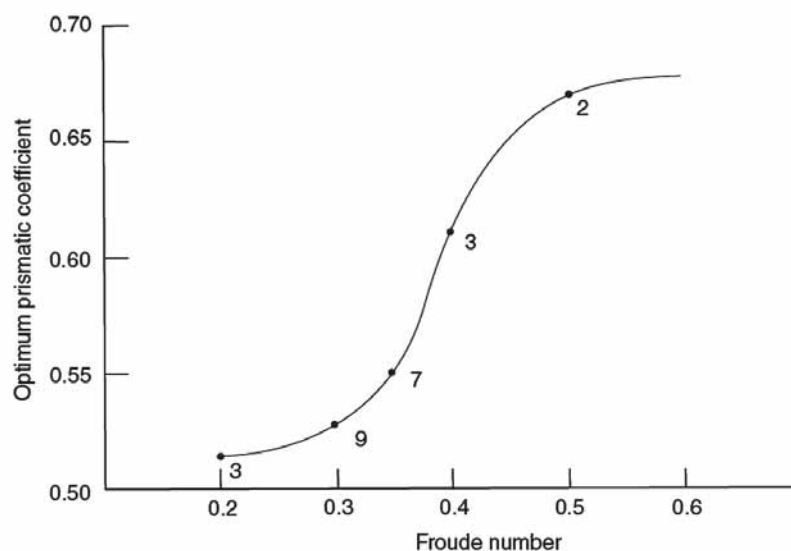
### 2.2.3 สัมประสิทธิ์ปริซึม

ทางยาว (Prismatic Coefficient,  $C_p$ ) : เมื่อทำการพล็อตค่าความต้านทานเทียบกับค่า

$$C_p \left( C_p = \frac{\nabla}{A_m \times L_{pp}} \right)$$

และค่า Froude Number  $\left( F_n = \frac{V}{\sqrt{gL}} \right)$

จะพบว่าเรือที่ต้องการใช้ความเร็วสูงซึ่งมีค่า  $F_n$  สูงและจะมีค่า Optimum  $C_p$  สูง ส่งผลให้ค่าความต้านทาน Residuary Resistance สูงตามไปด้วย ตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 Curve of Optimum Prismatic Coefficient

ที่มา: Rawson K.J. & Tipper E.C. Basic Ship Theory Fifth Edition Volume 2 Chapter 11 Powering of ship, page 461, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2001



**2.2.4 สัมประสิทธิ์พื้นที่แนวน้ำ**

**น้ำ (Waterplane Coefficient,  $C_w$ ) :**

ค่า  $C_w$   $\left( C_w = \frac{A_w}{L_{wl} \times B_{wl}} \right)$  ที่สูงจะช่วยในเรื่องของ Seakeeping เมื่อมุมปะทะน้ำของทวนหัวมีค่าที่เหมาะสมจะช่วยให้มี Hydrodynamic Flow ที่ดี และช่วยลดค่า

ขวาง (Transverse Stability) และคาบของการโคลง (Natural Period of Roll) ดูตารางที่ 1 ประกอบ โดยที่ค่าความต้านทานจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อค่า B/T มีค่าสูงขึ้น และอัตราส่วนของการกินน้ำลึกต่อความลึกของเรือ (T/D) ก็มีผลสำคัญต่อเรื่องของ Large Angle Stability

*Typical warship type dimension ratios*

Warship type	$\nabla$ $10^3 m^3$	$L/\nabla^{1/3}$	$L/B$	$L/D$	$B/D$	$B/T$	$F_{\nabla}$ $[U_s/\sqrt{(g \cdot \nabla^{1/3})}]$
WW2 battleship	40-60	7	7	14	1.8	2.5-3	0.8
WW2 destroyer	2-3	8-9	10	16	1.8	3-3.5	1.5
Minehunter	0.5	5-6.5	5-6	8	1.4	3.2-4	0.8
Corvette	1-2	7-8	7-8	11	1.5	3.5	1.3
Frigate	3-5	7-8.5	8-9.5	13	1.5	2.8-3.5	1.2
Cruiser	7-10	7-8.5	8-10	12	1.4	2.5-3.2	1.1
A/C Carrier	13-90	6-7.5	6-8	9	1.3	3.3-4.1	0.8

$U_s$  = Ship speed  
 $F_{\nabla}$  = Froude Displacement Number

**ตารางที่ 1 Dimension Ratios**

ที่มา: Rawson K.J. & Tipper E.C. Basic Ship Theory Fifth Edition Volume 2 Chapter 15 Ship Design, page 651, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2001

ความต้านทานที่เกิดขึ้น รวมทั้งช่วยในเรื่องของการลดเสียงที่เกิดจากตัวเรือปะทะกับคลื่นด้วย

หมายเหตุ: ค่า  $C_w$  ที่เหมาะสมสำหรับเรือรบขนาดเล็กมีค่าเท่ากับ  $C_w = 0.44 + 0.52 C_p$

**2.2.5 Dimensional**

**Ratios:** อัตราส่วนความกว้างต่ออัตรากินน้ำลึก (B/T) มีผลสำคัญต่อการทรงตัวทาง

เมื่อทำการศึกษาข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องแล้ว จึงนำข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นมาทำการเปรียบเทียบกับเรือที่เราสนใจจะนำมาทำเป็นเรือต้นแบบ (Parent Ship) โดยข้อกำหนดสำหรับการคัดเลือกเรือต้นแบบนั้นคือ ควรมีข้อมูลของลายเส้นตัวเรือต้นแบบเพื่อนำมาพัฒนาลายเส้นต่อไป

คุณลักษณะ	ชุด ต.991	ชุด ร.ล.ปราบปรักษ์	ชุด ร.ล. สัตหีบ	ชุด ต.994
ความยาวตลอดลำ (ม.)	38.7	44.9	50.14	41.7
ความกว้าง(ม.)	6.49	7	7.27	7.2
กินน้ำลึกเต็มที่ (ม.)	1.89	2.1	หัว 1.8 ท้าย 2.8	1.73
ความเร็วสูงสุด (นอต)	29	37	22	27
ระวางขับน้ำเต็มที่ (ตัน)	205	263	300	215
เครื่องจักรใหญ่	MTU 16 V 4000 M90 จำนวน 2 X 2,720 kW	MTU 16 V 538 TB 96 จำนวน 4 X 2,543 kW	MTU 16 V 538 TB 91 จำนวน 2 X 2,550 kW	จำนวน 2 X 2,720 kW
จำนวนเพลลาใบจักร (เพลลา)	2	4	2	2
กำลังพล (นาย)	30	44	51	30
ระยะปฏิบัติการ (ไมล์)	600 ไมล์ @ 29.5 นอต 1,500 ไมล์ @ 15.1 นอต	1,000 ไมล์ @ 24 นอต 5,000 ไมล์ @ 16 นอต	1400	1500
L/B	5.96	6.41	6.89	5.79
L/D	10.18	11.51	12.1	10.97
B/T	3.43	3.33	3.16	4.16

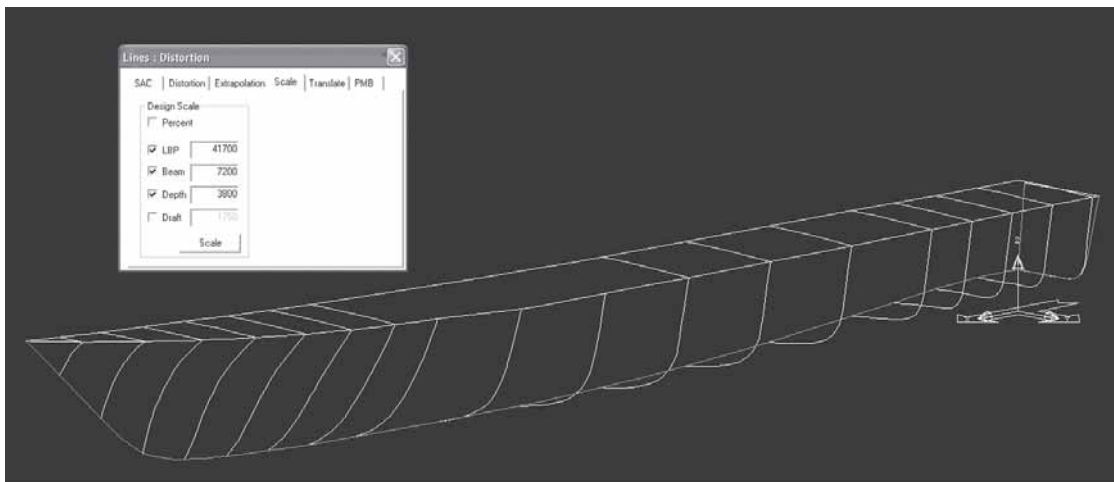
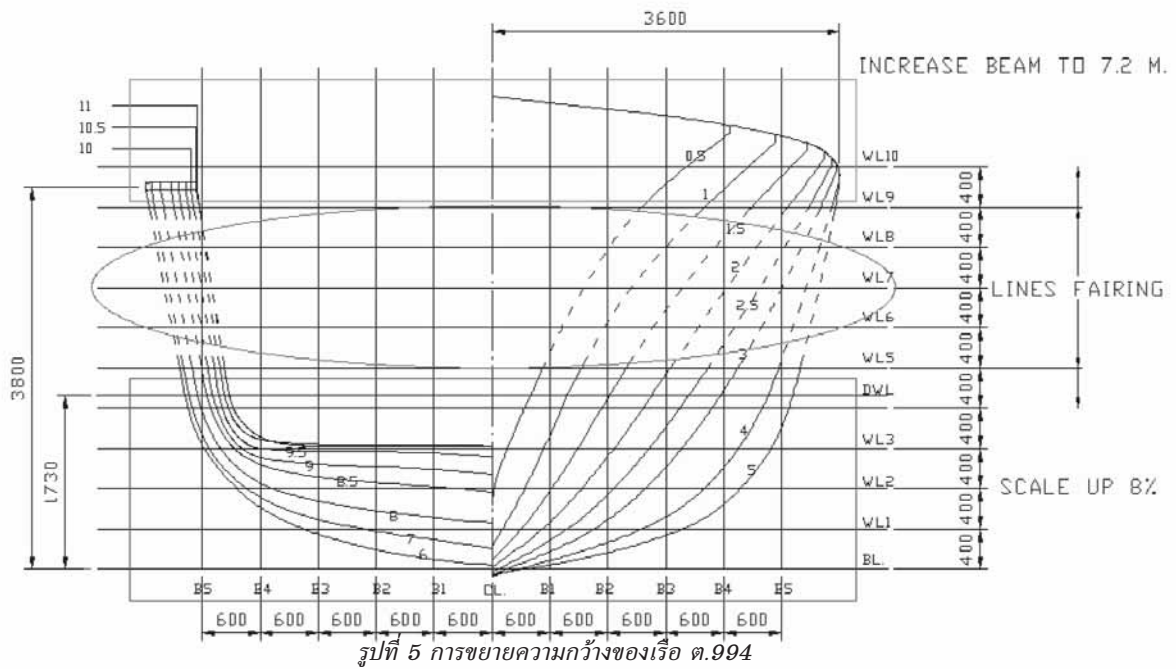
**ตารางที่ 2 ตัวอย่างตารางเปรียบเทียบคุณลักษณะของเรือ  
ที่มีขนาดใกล้เคียงกันกับเรือ ต.994**

### 2.3 Hull Lines Design

เมื่อทำการคัดเลือกเรือต้นแบบ (Parent Ship) ได้แล้ว จึงนำข้อมูล Offset ของตัวเรือต้นแบบมาประยุกต์ใช้กับโปรแกรมช่วยออกแบบเรือ (Computer Aided Design) ซึ่งสามารถทำการปรับปรุงพัฒนาลายเส้น โดยการขยายขนาดเรือ (Scale Up) หรือลดขนาดเรือ (Scale Down) ได้

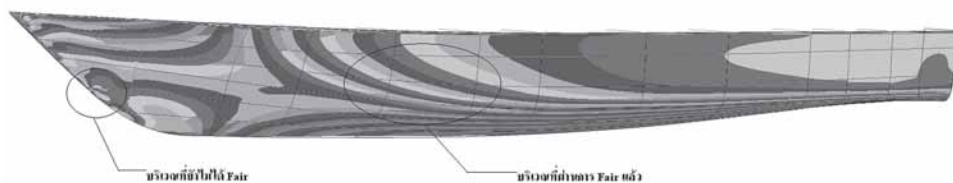
สำหรับเรือ ต. 994 นั้น กองออกแบบต่อเรือ ได้ทำการขยายขนาดเรือ ต.991 ขึ้น 8 % ในทุกมิติ จากนั้นขยายความกว้างเรือส่วนที่อยู่เหนือแนวน้ำเพิ่มขึ้น โดยขยาย

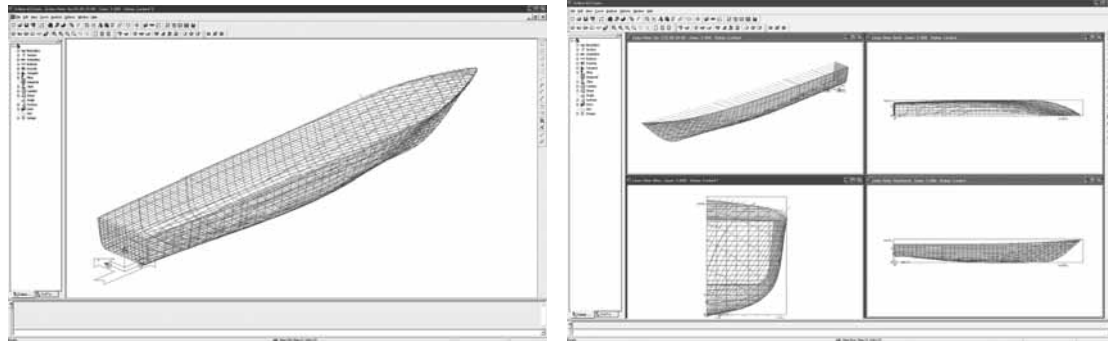
เส้นออกไปยังความกว้างกราบเรือที่เพิ่มขึ้นเป็น 7.2 เมตร (Lines Fairing) ตามรูปที่ 5 ในขณะที่คงความยาวและรูปทรงส่วนที่อยู่ใต้น้ำเพื่อให้สมมุติฐานที่จะคงไว้ซึ่งระวางขับน้ำของเรือประมาณ 205 ตัน คงขนาดของระบบขับเคลื่อนเดิม รักษาความเร็วเรือไม่ต่ำกว่า 27 นอต (Design Target Speed 29 Knots) โดยใช้โปรแกรมช่วยออกแบบเรือทำการคำนวณเปรียบเทียบ ค่าความต้านทานของลายเส้นตัวเรือที่ทำการขยายหรือลดขนาด ตามรูปที่ 6



เมื่อทำการออกแบบลายเส้นตัวเรือแล้วก็ต้องดำเนินการในขั้นตอนของการ Fair ลายเส้น เพื่อให้ตัวเรือ Smooth ตามรูปที่ 7 และ 8 ซึ่งเป็นการลดความต้านทานระหว่าง

ตัวเรือกับน้ำที่จะเกิดขึ้น ก่อนนำไปทำการคำนวณตรวจสอบความเหมาะสมของรูปทรงตัวเรือต่อไป





รูปที่ 8 ลายเส้นที่สร้างจากโปรแกรม Tribon

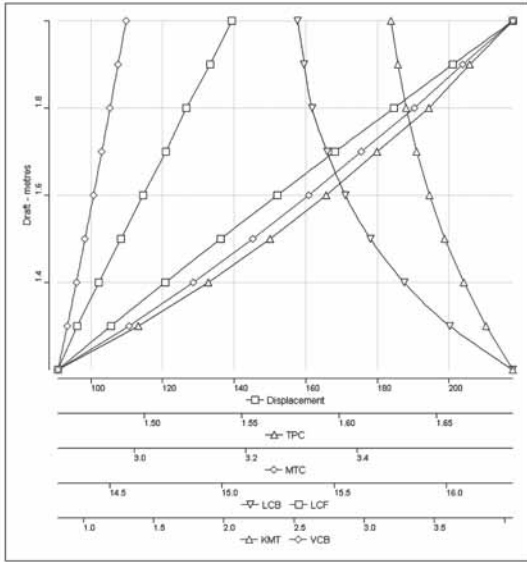
### 2.4 Design Analysis

เมื่อทำการออกแบบลายเส้นตัวเรือเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการตรวจสอบความเหมาะสมของรูปทรงตัวเรือ (Hull Form) ที่ได้ทำการออกแบบไว้ว่ามีสมรรถนะตามที่กำหนดไว้ได้หรือไม่ ซึ่งในปัจจุบันกรมอุทกหารเรือได้จัดหาโปรแกรม Tribon ที่มีความสามารถในการคำนวณหาคุณลักษณะและสมรรถนะของตัวเรือในด้านต่าง ๆ ได้ดังนี้

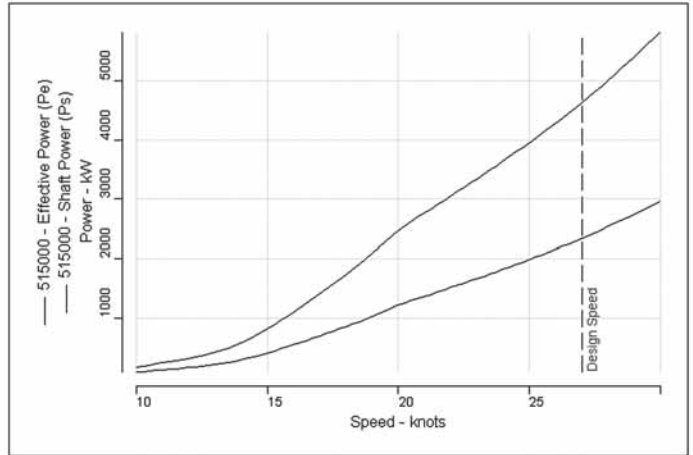
- Powering โดยการคำนวณหา Resistances และ Power-Speed Curve
- Manoeuvring โดยการคำนวณหาคุณลักษณะต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับความคล่องตัวของตัวเรือและการบังคับเรือ เช่น Crash Stop, Zig-Zag Manoeuvring และ Turning Circle
- Seakeeping โดยการคำนวณหาคุณลักษณะทางด้าน Seakeeping ต่าง ๆ ของเรือ เช่น Wave Response ในการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ ของเรือ

Speed (Knots)	PE (kW) ต.991 B=6.49 ม.	PE (kW) ต.991 B=7.2 ม.	PE (kW) ต.991+8% B=7.0 ม.	PE (kW) ต.991+8% B=7.2 ม.	PE (kW) ต.991+8% B=7.5 ม.
15	352.32	423.38	341.92	362.96	387.04
18	983.84	1146.66	946.27	985.4	1031.83
21	1558.33	1803.91	1546.95	1598.76	1653.96
24	1988.01	2266.32	2009.15	2072.37	2140.91
27	2456.57	2782.7	2540.36	2613.61	2689.19
30	2662.29	3128.2	2880.52	2967.8	3056.4

ตารางที่ 3 แสดงผลการคำนวณค่าความต้านทานเรือที่ความเร็วต่าง ๆ และเปลี่ยนแปลงขนาดเรือในลักษณะต่าง ๆ ตามการออกแบบลายเส้นตัวเรือ โดยกระวางชั้นน้ำไว้ที่ 205 ตัน



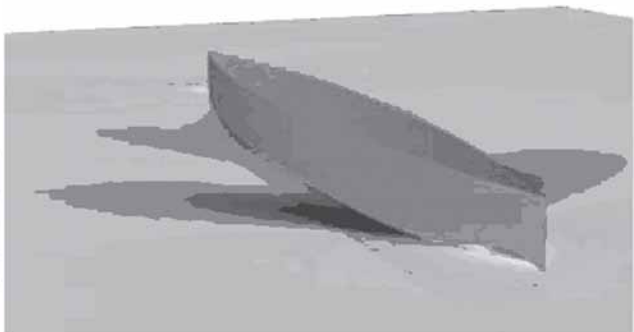
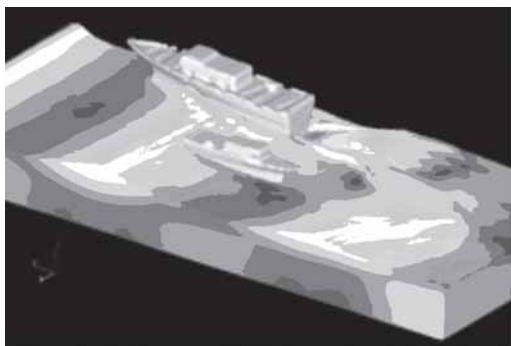
รูปที่ 9 Hydrostatic



รูปที่ 10 Power-Speed Curve

นอกจากนี้การตรวจสอบความเหมาะสมของรูปทรงตัวเรือสามารถใช้โปรแกรม CFD (Computational Fluid Dynamics) ที่ใช้งานในรูปแบบ Free Surface (ปัจจุบันกรมอุทกหารเรือยังไม่ได้ดำเนินการจัดหา ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงเป็นการยกตัวอย่างประกอบเพียงเท่านั้น) ซึ่ง

เป็นการวิเคราะห์รูปทรงตัวเรือโดยการสร้างแบบจำลองโครงตาข่าย (Mesh Modelling) ของตัวเรือให้เคลื่อนที่ผ่านของไหลสองชนิด (Liquid-Air Interfaces) ในพื้นที่ควบคุม (Control Volume) ที่สามารถจำลองความเร็ว (Speed) ความดัน (Pressure) และ อุณหภูมิ (Temperature) ได้ เพื่อทำการตรวจสอบการไหลของน้ำผ่านตัวเรือ

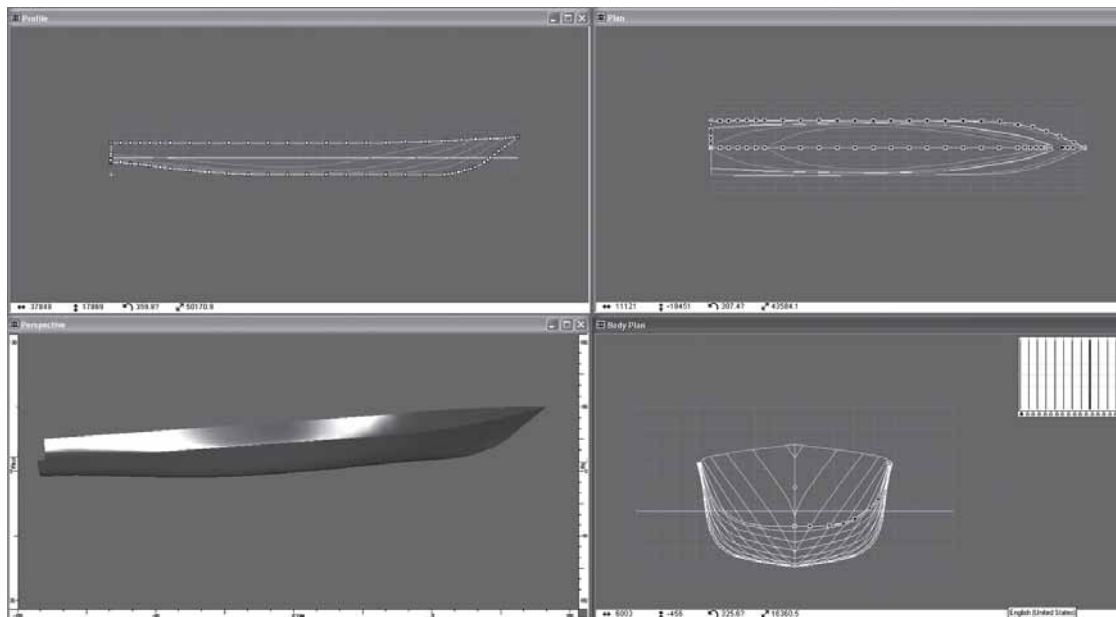


รูปที่ 11 การวิเคราะห์ Hull Form โดยใช้โปรแกรม CFD

เมื่อผลการตรวจสอบในเบื้องต้นพบว่า รูปทรงตัวเรือที่ได้ออกแบบมานั้น ไม่มีสมรรถนะตามที่กำหนดไว้ จำเป็นต้องกลับไปปรับแก้ค่า Parameter บางตัว (เป็นกระบวนการทำงานแบบซ้ำแล้วซ้ำอีก Iterative Process) ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า Parameter แต่ละตัวมีผลกระทบกับค่าอื่น ๆ เช่น การเพิ่มความยาวของเรือจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงระวางขับน้ำ (Displacement) และอัตรากินน้ำลึก เป็นต้น ดังนั้นชาวสถาปนิกจึงจำเป็นต้องดำเนินการทบทวนการคำนวณ วิเคราะห์ ออกแบบซ้ำใหม่อีกจนกระทั่งการออกแบบเป็นไปตามที่ต้องการ ทั้งจะต้องกำกับดูแลค่า Parameter ต่าง ๆ ให้มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด

### 3. การออกแบบลายเส้นเรือตรวจการณ์ปืน 50 เมตร

ในการออกแบบลายเส้นตัวเรือ (Lines Plan) ของเรือตรวจการณ์ปืน ความยาวประมาณ 50 เมตร กองออกแบบต่อเรือได้ใช้หลักการและทฤษฎีดังกล่าวข้างต้น อีกทั้งได้พิจารณาถึงขนาดเรือที่เหมาะสมกับพื้นที่ปฏิบัติการ เรือที่กองทัพเรือมีใช้อยู่ในปัจจุบัน และเรือตรวจการณ์ชั้น 1905 ของรัสเซีย เพื่อทำการพัฒนาลายเส้นตัวเรือของเรือลำใหม่ และได้ทำการปรับปรุงรูปทรงส่วนหัวเรือ ให้มีลักษณะเดียวกับชุดเรือ ต.991 ซึ่งมีความสามารถการกระจายคลื่นที่ดีสำหรับเรือขนาดเล็ก เพื่อให้ได้ลายเส้นตัวเรือที่มีประสิทธิภาพดี และมีความเหมาะสมสำหรับใช้เป็นเรือตรวจการณ์ปืนความเร็ว 25 นอต มีมิติความยาว 50 เมตร ความกว้าง 7.37 เมตร ความสูงกราบเรือ 4.63 เมตร



รูปที่ 12 การพัฒนาลายเส้นตัวเรือของเรือตรวจการณ์ปืน 50 เมตร

คุณลักษณะ	เรือ รัสเซีย	ชุด ร.ล. สัตหีบ	ตกล. ใหม่ 50 ม.
ความยาวตลอดลำ (ม.)	49.5	50.14	50
ความกว้าง (ม.)	9.2	7.27	7.37
L/B	5.38	6.89	6.78
B/T	3.68	3.16	3.56
Pe (kW) @ 25 นอต	N/A	N/A	2,976
27 นอต			3,616
ความเร็ว (นอต)	31-32	22	25
ระวางขับน้ำ (ตัน) เครื่องจักรใหญ่	390 MB520 3 เครื่อง	300 2 x 2,550 kW	350 $\approx 2 \times 3,000 \text{ kW}$

ตารางที่ 4 ตัวอย่างตารางเปรียบเทียบคุณลักษณะของเรือที่มีขนาดใกล้เคียงกันกับเรือ ตกล.

### บทสรุป

การออกแบบลายเส้นตัวเรือ (Lines Plan) ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้รูปทรงตัวเรือ (Hull Form) ที่ถูกต้องหรือดีที่สุด (Optimization) นั้นเป็นเรื่องที่ทำได้ค่อนข้างยาก จำเป็นที่จะต้องใช้ทั้งศาสตร์และศิลป์ (Science & Art) ของนาวาสถาปนิก (Naval Architect) เพื่อให้รูปทรงตัวเรื่อนั้นอยู่ในย่านที่ดีที่สุดสำหรับการใช้งานเรือประเภทนั้น ๆ ซึ่งการดำเนินงานในขั้นตอนต่าง ๆ จำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์และการนำเอาความรู้มาประยุกต์ใช้ร่วมกับโปรแกรมช่วยในการวิเคราะห์รูปทรงตัวเรือ เพื่อให้ได้เรือตามความต้องการของผู้ใช้เรือและตอบสนองต่อภารกิจของเรือที่ถูกกำหนดขึ้น

### บรรณานุกรม

- ทินกร ตัณฑาทาศ, นาวาเอก. รายละเอียดคุณลักษณะซอฟต์แวร์ช่วยการออกแบบและสร้างเรือ (เอกสาร). กรุงเทพฯ ๑, ม.ป.ท., ม.ป.ป.
- ศราวุธ วงศ์เงินยวง, นาวาเอก. “เรือตรวจการณ์ใกล้ฝั่ง เฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา” กระดุกงู. ๖.ค.48.
- ศราวุธ วงศ์เงินยวง, นาวาเอก, ณีรัฐกร สุพัฒนะกรกิจ, เรือเอก และ พงศ์สรร ถวิลประวีติ, พลเรือตรี. “นวัตกรรมการออกแบบเรือ” ใน เอกสารการประชุมวิชาการเรือชายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18. ม.ป.ท., 2547.
- Lamb, Thomas, Editor. Ships Design and Construction. New York, The Society of Naval Architecture and Marine Engineers, 2004.
- Rawson, K.J. and Tupper, E.C. Basic Ship Theory Volume 2. 5 th. ed. Oxford, Butterworth-Heinemann, 2001.
- Tupper, E.C. Introduction to Naval Architecture. 3 rd. ed. Oxford, Butterworth-Heinemann, 1996.
- Watson, D.G.M. Practical Ship Design Elsevier Ocean Engineering Book Series Volume 1. Oxford, Elsevier, 1998.

สนใจรายละเอียดเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ:

เจ้าหน้าที่การตลาด ฝ่ายซ่อมเรือ

โทร 66 (0) 3840 7000

โทรสาร 66 (0) 3840 7005

เจ้าหน้าที่การตลาด ฝ่ายต่อเรือ

โทร 66 (0) 3840 7000

โทรสาร 66 (0) 3840 7007

e-mail [info@unithai.com](mailto:info@unithai.com)



## อู่เรือที่ใหญ่ที่สุดอันดับหนึ่งในประเทศไทย

บริษัท ยูนิไทย ชิปปาร์ต แอนด์ เอนจิเนียริง จำกัด อู่เรือที่ใหญ่ที่สุด  
อันดับหนึ่งในประเทศไทย ตั้งอยู่ในเขตท่าเรือน้ำลึกแหลมฉบัง บนพื้นที่  
352 ไร่ มีขีดความสามารถในการซ่อมเรือ ขนาด 150,000 เดทเวทตัน

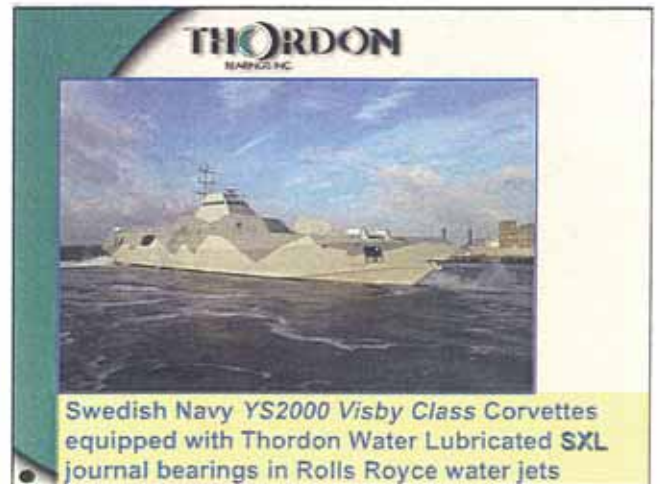
และต่อเรือที่มีขนาดความยาว 120 เมตร รวมถึงงานดัดแปลง  
และแปรรูปเรือ ตลอดจนงานด้านวิศวกรรมก่อสร้างและติดตั้ง  
แท่นขุดเจาะน้ำมันและก๊าซนอกชายฝั่ง

[www.unithai.com](http://www.unithai.com)



# THORDON

ผู้นำแห่งแบร์ริงรองรับเพลลาใบจักรและหางเสือเรือ



บริษัท เสรีสรรพกิจ จำกัด

305/15 ถนนพิจัย แขวงถนนนครไชยศรี เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300

โทรศัพท์ 0-2241-5269, 0-2241-5305 โทรสาร 0-2243-2362

e-mail address : seri\_ent@truemail.co.th

# เทคนิคที่นำไปสู่การซ่อมบำรุงตามสภาพ (Technical Approach to Condition Based Maintenance)

นาวาโท รัฐนิษฐ์ เมธีวัชรพัฒน์

นายช่างแผนกออกแบบเครื่องกล กองออกแบบกลจักร กรมแผนการช่าง กรมอุทการเรือ

2 ถนนอรุณอมรินทร์ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700

โทร. 0 2475 4261 โทรสาร 0 2475 4260 E-mail : m.ratthanin@yahoo.com

## บทคัดย่อ

โดยปกติก่อนที่เครื่องจักรกลจะชำรุดเสียหาย มักจะมีสิ่งบอกร่องเหตุเกิดขึ้นสามารถสัมผัสหรือรู้สึกได้ล่วงหน้าเกี่ยวกับสภาพของเครื่องจักรกลหากผู้ใช้หรือผู้ดูแลเครื่องจักรกลปล่อยปละละเลยไม่ตรวจสอบแก้ไข ย่อมเป็นที่แน่นอนว่าเครื่องจักรกลนั้นจะต้องชำรุดเสียหายอย่างแน่นอน การรอนจนกระทั่งให้ถึงจุดที่เราสัมผัสหรือรู้สึกได้ถึงสิ่งผิดปกติของเครื่องจักรกลแล้วนั้น ย่อมหมายความว่าเครื่องจักรกลนั้นเกิดการชำรุดหรือสึกหรอแล้ว ดังนั้นถ้าผู้ใช้หรือผู้ดูแลเครื่องจักรกลสามารถระบุ หรือวินิจฉัยสภาพของเครื่องจักรกลได้เป็นระยะ ๆ ก่อนที่เครื่องจักรกลจะเกิดอาการผิดปกติ ก็จะทำให้ผู้ใช้หรือผู้ดูแลเกิดความเชื่อมั่นได้ว่าเครื่องจักรกลที่ใช้อยู่่นั้นจะไม่เกิดการชำรุดเสียหายในขณะที่ใช้งานหรือสามารถวางแผนในการซ่อมบำรุงเครื่องจักรกลได้

การซ่อมบำรุงตามสภาพ (Condition Based Maintenance; CBM) ถูกคิดค้นขึ้นมาเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเครื่องจักรกลลง ในขณะที่ความพร้อมใช้งานและความน่าเชื่อถือในการใช้งานของเครื่องจักรกลยังคงมีอยู่หรือมีเพิ่มมากขึ้น โดยอาศัยเทคโนโลยี อาทิ Wear Debris Analysis, Non-Destructive Testing และ Vibration Analysis เป็นต้น ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการตรวจสอบสภาพเครื่องจักรกลมาใช้ในการตรวจสอบและวิเคราะห์สภาพทางกายภาพของเครื่องจักรกล ทั้งในขณะที่เครื่องจักรกลทำงานและไม่ทำงาน เพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์สภาพและแนวโน้มการชำรุดเสียหายของเครื่องจักรกล ทำให้ทราบสภาพที่แท้จริงของเครื่องจักรกล ซึ่งจะช่วยให้สามารถป้องกันการชำรุดเสียหายของเครื่องจักรกลที่จะเกิดขึ้นได้ก่อนเวลาดังนั้นการกำหนดแผนในการซ่อมบำรุง และการจัดเตรียมอะไหล่และอุปกรณ์สำหรับการซ่อมบำรุง จึงสามารถทำได้เหมาะสมก่อนล่วงหน้า นอกจากนี้การทราบสภาพของเครื่องจักรกลว่าจะมีแนวโน้มการชำรุดเสียหายเมื่อใดนั้น จะทำให้สามารถกำหนดแผนการซ่อมบำรุงสอดคล้องกับแผนการใช้งานเครื่องจักรกล เพื่อว่าช่วงเวลาของการใช้งานเครื่องจักรกลจะได้ไม่สูญเสียไป ด้วยปรัชญาการซ่อมบำรุงแบบนี้ จะทำให้เครื่องจักรกลมีความพร้อมใช้งานที่สูง และสิ่งที่ตามมาคือ Downtime ของเครื่องจักรกลและค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงโดยรวมลดลง

## บทนำ

การซ่อมบำรุงเครื่องจักรกล มีวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายของการปฏิบัติเพื่อให้เครื่องจักรกลที่ใช้ มีสภาพที่มีความพร้อมใช้งานที่ดี มีความน่าเชื่อถือในการใช้งาน และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานคุ้มค่า หรือเกินกว่าค่าของการลงทุนจัดหาเครื่องจักรกลนั้น ๆ มาใช้งาน ดังนั้นความพร้อมใช้งาน (Operational Availability) และความน่าเชื่อถือในการใช้งาน (Operational Reliability) จึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการซ่อมบำรุง (Maintenance) กล่าวคือหากเครื่องจักรกลได้รับการซ่อมบำรุงที่มีประสิทธิภาพแล้ว จะส่งผลให้เครื่องจักรกลนั้นมีความพร้อมใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพได้เป็นระยะเวลาอันยาวนาน และมีความน่าเชื่อถือในการใช้งาน

การดำเนินการซ่อมบำรุงเครื่องจักรกล เพื่อให้บรรลุถึงเป้าหมายดังกล่าวมานั้น เป็นเรื่องยาก เนื่องจากความซับซ้อนของเครื่องจักรกลต่าง ๆ ที่มักก่อให้เกิดข้อขัดข้องในการดำเนินการซ่อมบำรุง เช่น เมื่อเปิดเครื่องจักรกลทำการซ่อมแล้วพบว่ามีส่วนประกอบอื่นของเครื่องชำรุดเสียหายเพิ่มขึ้นมาจากที่ได้เตรียมการไว้ก็จะต้องจัดหาอะไหล่เพิ่มเติมเพื่อการซ่อมทำ ซึ่งจะทำให้เกิดการล่าช้าและต้องเลื่อนระยะเวลาการซ่อมทำเครื่องจักรกลให้แล้วเสร็จออกไป ทำให้การใช้เวลาซ่อมบำรุงเครื่องจักรกลเกินระยะเวลาที่กำหนดไว้ตามแผน ส่งผลกระทบต่อแผนการใช้งานของเครื่องจักรกลของผู้ใช้อีกด้วย ดังนั้นหากสามารถดำเนินการใด ๆ ที่จะคาดการณ์ล่วงหน้าได้ว่าเครื่องจักรกลนั้น จะเกิดการชำรุดเสียหาย หรือควรต้องเข้ารับการซ่อมบำรุง หรือ เปลี่ยนชิ้นส่วนอะไหล่เมื่อใดแล้ว จะทำให้สามารถเตรียมการในเรื่องต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการซ่อมบำรุงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ระยะเวลาการซ่อมบำรุงลดลง และจะทำให้เครื่องจักรกลมีความพร้อมและมีความน่าเชื่อถือในการใช้งาน ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้เกิดความมั่นใจในการใช้งานเครื่องจักรกลนั้น ๆ เพิ่มขึ้น

การซ่อมบำรุงตามสภาพ (Condition Based Maintenance; CBM) เป็นวิทยาการซ่อมบำรุงเครื่องจักรกลที่ได้มีการพัฒนาขึ้นมาต่อจากการซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) หรือ การซ่อมบำรุงตามระยะเวลา (Time Based Maintenance) หรือ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “การซ่อมบำรุงตามแผน” (Planned Maintenance) เพื่อแก้ไขข้อด้อยของการซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน โดยหาหนทางที่จะลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเครื่องจักรกลลงในขณะที่ความพร้อมใช้งานและความน่าเชื่อถือในการใช้งานของเครื่องจักรกลยังคงมีอยู่หรือมีเพิ่มมากขึ้น โดยอาศัยเทคโนโลยีการตรวจสอบสภาพเครื่องจักรกลมาใช้ในการตรวจสอบสภาพทางกายภาพของเครื่องจักรกล ทั้งในขณะที่เครื่องจักรกลทำงานและไม่ทำงาน เพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์สภาพและแนวโน้มการชำรุดเสียหายของเครื่องจักรกล ทำให้ทราบสภาพที่แท้จริงของเครื่องจักรกล ซึ่งจะช่วยให้สามารถป้องกันการชำรุดเสียหายของเครื่องจักรกลที่จะเกิดขึ้นได้ก่อนเวลา ดังนั้นการกำหนดแผนการซ่อมบำรุงและการจัดเตรียมอะไหล่และอุปกรณ์สำหรับการซ่อมบำรุง จึงสามารถทำได้เหมาะสมก่อนล่วงหน้า นอกจากนี้ การทราบสภาพของเครื่องจักรกลว่าจะมีแนวโน้มการชำรุดเสียหายเมื่อใดนั้น จะทำให้สามารถกำหนดแผนการซ่อมบำรุงได้สอดคล้องกับแผนการใช้งานเครื่องจักรกลเพื่อว่าช่วงเวลาของการใช้งานเครื่องจักรกลจะได้ไม่สูญเสียไป ด้วยแนวความคิดของการซ่อมบำรุงแบบนี้ จะ

ทำให้เครื่องจักรกลมีความพร้อมใช้งานที่สูง และสิ่งที่ตามมาคือ ช่วงระยะเวลาที่เครื่องจักรกลไม่อยู่ในสถานะที่สามารถทำงานได้ตามปกติ (Downtime) และค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงของเครื่องจักรกลโดยรวมลดลง

การซ่อมบำรุงตามสภาพ หรือ CBM ได้เข้ามามีบทบาทในการซ่อมบำรุงเครื่องจักรกลและอุปกรณ์ต่าง ๆ ทั้งในวงการอุตสาหกรรม วงการการบิน และวงการเดินเรือทั่วโลก โดยได้มีการศึกษาวิจัยแล้วว่า การนำเอาวิธีการซ่อมบำรุงตามสภาพมาใช้ในการซ่อมบำรุงเครื่องจักรกลนั้นมีข้อดีดังนี้ คือ

- ทำให้สามารถทราบสภาพการทำงานของเครื่องจักรกลได้ตลอดเวลา
- ทำให้ผู้ใช้งานเกิดความมั่นใจได้ว่าเครื่องจักรกลที่ใช้งานอยู่จะทำงานได้อย่างปกติไม่ชำรุดเสียหายในขณะใช้งาน
- สามารถบ่งบอกหรือแสดงความผิดปกติของเครื่องจักรกลได้ก่อนที่ความผิดปกตินั้นจะทำให้เครื่องจักรกลเกิดความเสียหายร้ายแรง
- เพิ่มประสิทธิภาพการซ่อมทำ เนื่องจากสามารถจะระบุได้ว่าชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลส่วนใดเป็นปัญหา และต้องทำการเปลี่ยนหรือแก้ไขซ่อมทำ
- ลดจำนวนการเปิดเครื่องจักรกลออกเพื่อทำการตรวจซ่อม ซึ่งทำให้สามารถยืดอายุการใช้งานและเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักรกล
- ทำให้สามารถบริหารงานการซ่อมบำรุงได้ทั้งในด้านแรงงาน และอะไหล่เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด
- ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงและการจัดหาอะไหล่

จากที่กล่าวนำมาข้างต้น จะเห็นได้ว่า การซ่อมบำรุงตามสภาพ นั้นเป็นปรัชญาการซ่อมบำรุงเครื่องจักรกลที่ดีมาก ถ้าวิธีหรือหนทางการนำไปประยุกต์ใช้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการศึกษาวิจัยว่าเทคโนโลยีใดสามารถใช้ในการตรวจสอบและวิเคราะห์สภาพเครื่องจักรกลได้อย่างถูกต้องแม่นยำ มีความเหมาะสม มีความเป็นไปได้ และยอมรับปฏิบัติได้ที่จะนำมาใช้ รวมทั้งเทคโนโลยีนั้นมีความคุ้มค่าในการลงทุนหรือไม่หากนำมาใช้งานจริง

### การประเมินค่าความพร้อมใช้งาน (Operational Availability: Ao)

ตามที่ได้กล่าวมาในตอนต้นว่า ความพร้อมใช้งาน (Operational Availability) มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการซ่อมบำรุง หากเครื่องจักรกลได้รับการซ่อมบำรุงที่มีประสิทธิภาพแล้วจะส่งผลให้เครื่องจักรกลนั้นมีความพร้อมใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพได้เป็นระยะเวลานาน ดังนั้นจึงควรกล่าวถึงเรื่องความพร้อมใช้งาน เพื่อให้มีความเข้าใจเพิ่มมากขึ้น

ความพร้อมใช้งาน คือตัววัดสภาพของเครื่องจักรกลว่ามีสถานะที่ใช้งานได้ตามปกติ และมีสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ระดับใด เมื่อเครื่องจักรกลนั้นถูกต้องการใช้งาน ดังนั้นความพร้อมใช้งานจึงถูกใช้ในการพิจารณาตัดสินใจว่า เครื่องจักรกลจะสามารถปฏิบัติงานได้อย่างเหมาะสมภายใต้สถานะของงานและเวลาที่กำหนดได้หรือไม่ เนื่องจากในเครื่องจักรกลที่ต้องทำงานอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างเช่น เครื่องจักรกลดีเซลที่ใช้งานในเรือรบ ความพร้อมใช้งานเป็นปัจจัยที่สำคัญ

ที่จะตัดสินระดับความพร้อมใช้งานของเครื่องจักรกลว่าจะทำงานที่ได้อย่างถูกต้องตามภารกิจที่รับมอบหมาย ความพร้อมใช้งานไม่เพียงเป็นปัจจัยที่จำเป็นที่สุดสำหรับทำให้มั่นใจในความสำเร็จของภารกิจ แต่ยังเป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดวงจรชีวิตของเครื่องจักรกลด้วย นอกจากนี้ความพร้อมใช้งานยังมีผลกระทบต่อการปฏิบัติงาน (Operations) ช่วงเวลาที่เครื่องจักรกลไม่มีความพร้อมใช้ (Downtime) ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง (Maintenance Costs) และความปลอดภัย (Safety) ด้วย

โดยทั่วไปการวัดความพร้อมใช้งานนั้นจะถูกวัดอยู่ในรูปของความน่าจะเป็น (Probability) ที่เมื่อผู้ใช้มีความต้องการที่จะใช้เครื่องจักรกลแล้วเครื่องจักรกลนั้นจะไม่อยู่ในสภาพที่ชำรุดเสียหายหรือทำงานผิดพลาดหรือกำลังได้รับการซ่อมทำ ในการประเมินความพร้อมใช้งานนั้นจะมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง คือ ระยะเวลาของ Uptime (ช่วงระยะเวลาที่เครื่องจักรกลสามารถทำงานได้) และ ระยะเวลาของ Downtime (ช่วงระยะเวลาที่เครื่องจักรกลไม่สามารถทำงานได้) ซึ่งสามารถแสดงได้ในรูปสูตรทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$A_o = \frac{(Uptime)}{(Uptime + Downtime)}$$

เมื่อ  $A_o$  คือ Operational Availability (ความพร้อมใช้งาน)

Uptime คือ ช่วงระยะเวลารวมทั้งหมดที่เครื่องจักรกลทำงานและเตรียมพร้อม (Standby Time) รวมทั้งช่วงระยะเวลาที่ไม่ได้ใช้งานเครื่องจักรกลไม่ว่าด้วยเหตุผลใด ๆ ก็ตามทั้ง ๆ ที่เครื่องจักรกลนั้นอยู่ในสภาพที่ดี

Downtime คือ ช่วงระยะเวลาเฉลี่ยที่เครื่องจักรกลไม่สามารถทำงานได้อันเนื่องมาจากการชำรุดเสียหายของเครื่องจักรกลนั้น และช่วงระยะเวลาที่เครื่องจักรกลอยู่ในระหว่างการซ่อมทำและเวลาที่ล่าช้า (Delays) อันเนื่องมาจากกระบวนการจัดซื้อ จัดหาพัสดุ และอะไหล่ต่าง ๆ ที่ใช้ในการซ่อมทำ

นอกจากที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว การประเมินความพร้อมใช้งานของเครื่องจักรกลในมุมมองของผู้ใช้ ยังสามารถที่จะประเมินได้จากความสัมพันธ์ของ Mean Time Between Maintenance (เวลาเฉลี่ยระหว่างที่กระทำการซ่อมทำเครื่องจักรกล) กับ Mean Downtime (เวลาเฉลี่ยที่เครื่องจักรกลไม่อยู่ในสภาพที่สามารถใช้งานได้) ซึ่งสามารถแสดงได้ในรูปสูตรทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$A_o = \frac{(MTBM)}{(MTBM + MDT)}$$

เมื่อ  $A_o$  คือ Operational Availability (ความพร้อมใช้งาน)

MTBM คือ Mean Time Between Maintenance

MDT คือ Mean Downtime

ความพร้อมใช้งานของเครื่องจักรกลนั้นมีความสำคัญต่อการใช้งานเป็นอย่างมาก ผู้ใช้ทุกคนต่างปรารถนาให้เครื่องจักรกลของตนมีความพร้อมใช้งานสามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์แบบตลอดระยะเวลาที่ปฏิบัติการที่ได้รับมอบหมาย ดังนั้นการปรับปรุงความพร้อมใช้งานของเครื่องจักรกลจึงกลายเป็นปัจจัยที่สำคัญเป็นอย่างยิ่ง จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นในตอนต้น การซ่อมบำรุงตามสภาพ สามารถทำให้ความพร้อมใช้งาน

ของเครื่องจักรกลเรือเพิ่มสูงขึ้นได้ เนื่องจากสามารถระบุสภาพของเครื่องจักรกลได้ในสภาวะก่อนที่เครื่องจักรกลเรือจะเกิดการชำรุดทำให้สามารถกำหนดเวลาการซ่อมบำรุงได้ถูกต้องและเหมาะสมโดยที่ไม่กระทบกระเทือนต่อการปฏิบัติงาน ผลที่ตามมาทั้ง Uptime และ Downtime หรือ MTBM และ MDT สามารถถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ ซึ่งผลสุดท้ายที่ตามมาคือ ความพร้อมใช้งานของเครื่องจักรกลที่สูงขึ้น

### การซ่อมบำรุงตามสภาพ (Condition Based Maintenance: CBM)

ด้วยการซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ซึ่งเป็นแนวความคิดที่ว่า การชำรุดเสียหายของเครื่องจักรกลสามารถป้องกันได้ หรือควรได้รับการป้องกัน เพื่อมิให้เกิดการชำรุดเสียหาย หรือเพื่อหลีกเลี่ยงการชำรุดของเครื่องจักรกลในขณะที่ใช้งาน โดยหลักการของการซ่อมบำรุงแบบนี้ คือ จะต้องถอดเปลี่ยนชิ้นส่วน หรือส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องจักรกลก่อนที่ชิ้นส่วนหรือส่วนประกอบนั้นจะเกิดการชำรุดเสียหาย โดยกำหนดช่วงระยะเวลาการถอดเปลี่ยนชิ้นส่วน หรือส่วนประกอบนั้นเมื่อเครื่องจักรกลทำงานถึงชั่วโมงที่กำหนดตามหลักการในการกำหนดชั่วโมงใช้งานของชิ้นส่วน หรือส่วนประกอบนั้น ส่วนใหญ่จะได้ข้อมูลจากผู้ผลิตเครื่องจักรกล ซึ่งผู้ผลิตแต่ละรายจะมีเทคนิคการกำหนดที่แตกต่างกัน เช่น ใช้ประสบการณ์และการเก็บข้อมูลหรือสถิติต่าง ๆ เกี่ยวกับการชำรุดเสียหายของเครื่องจักรกล แล้วเหมารวมให้เปลี่ยนชิ้นส่วนอะไหล่ หรืออุปกรณ์เป็นชุด ๆ ในช่วงระยะเวลาที่กำหนด แต่โดยหลักการแล้ว จะใช้ทดลองเดินเครื่องจักรกลที่ผ่านการรับรอง

คุณภาพแล้ว จำนวน 100 เครื่อง และ ถ้า 2 ใน 100 เครื่อง แสดงอาการชำรุดที่อุปกรณ์หรือชิ้นส่วนใด ก็ให้ถือว่าต้องเปลี่ยนชิ้นส่วนนั้น ๆ ที่ชั่วโมงทดลองที่ชำรุด

จากหลักการของการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันที่ใช้ชั่วโมงใช้งานหรืออายุการใช้งานของเครื่องจักรกลเป็นเกณฑ์ในการวางแผนการซ่อมบำรุง ดังนั้นการซ่อมบำรุงแบบนี้จึงถูกเรียกว่า “การซ่อมบำรุงตามระยะเวลา” (Time Based Maintenance) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “ระบบการซ่อมบำรุงตามแผน” (Planned Maintenance System) หรือที่เรียกว่า “PMS” ระบบ PMS นี้ สามารถขจัดปัญหาสารพันที่เกี่ยวกับการใช้งานเครื่องจักรกลได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามระบบนี้ยังมีข้อเสียอยู่ในเรื่องของค่าใช้จ่ายในการจัดหาอะไหล่สูงมาก และมีอยู่อย่างต่อเนื่องตลอดอายุการใช้งานของเครื่องจักรกลงบประมาณที่ใช้ในการจัดหาชิ้นส่วนอะไหล่แรงงาน และระยะเวลาที่ต้องหยุดเดินเครื่องจักร ลิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนแล้วแต่ทำให้เสียประโยชน์ทั้งสิ้น อีกทั้งการกำหนดให้เปลี่ยนชิ้นส่วนอะไหล่อย่างสม่ำเสมอ ทั้งๆที่อะไหล่ดังกล่าวเหล่านั้นส่วนใหญ่แล้วยังอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ดีอยู่ การที่ต้องเปลี่ยนเอาชิ้นส่วนอะไหล่ที่ยังใช้งานได้ดีอยู่ทิ้งไปทำให้เกิดความสูญเสียโดยไม่จำเป็น นอกจากนี้แล้วบางครั้งการชำรุดเสียหายอันเนื่องมาจากการใช้งาน อาจเกิดขึ้นก่อนระยะเวลาที่กำหนดให้ซ่อมบำรุงได้ เนื่องจากการซ่อมบำรุงแบบนี้ไม่สามารถใช้ตรวจสอบสภาพที่แท้จริงของเครื่องจักรกลได้ ทำให้ไม่สามารถคาดการณ์หรือพยากรณ์ได้ว่าเครื่องจักรกลสมควรที่จะได้เข้ารับซ่อมทำเมื่อใด หรือจะชำรุดเสียหายเมื่อใด

จากที่ได้กล่าวมานั้น การซ่อมบำรุงตามสภาพ จึงได้ถูกคิดค้นขึ้นมาเพื่อแก้ไขข้อเสียของการซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน กล่าวคือหาหนทางลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเครื่องจักรกลลงในขณะที่ความพร้อมใช้งานและความน่าเชื่อถือในการใช้งานของเครื่องจักรกลสูงขึ้น โดยการนำเอาเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ และการไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรกล เพื่อใช้ในการตรวจสอบสภาพเครื่องจักรกล ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

- ประเภทที่ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด (Sensor) แบบต่าง ๆ เข้ากับตัวเครื่องจักรกล เพื่อใช้ในการตรวจวัดค่าทางกายภาพต่าง ๆ ของเครื่องจักรกลในการทำงาน (Machinery Condition Monitoring) เช่น อุณหภูมิ ความดัน และรอบเครื่อง เป็นต้น แล้วนำค่าต่าง ๆ เหล่านี้มาวิเคราะห์ เพื่อช่วยในการตัดสินใจกำหนดการปฏิบัติที่เหมาะสมในการซ่อมบำรุงเครื่องจักรกล

- ประเภทที่ใช้เครื่องมือสำหรับตรวจวัดค่าทางกายภาพและสภาพเครื่องจักรกล (Machinery Condition Inspective Instrument) เช่น เครื่องมือวัดค่าธาตุเจือปนในน้ำมันหล่อลื่น เครื่องมือวัดค่าความถี่ สั่นสะเทือน และเครื่องมือตรวจสอบแบบไม่ทำลาย รวมทั้งเครื่องมือวัดค่าอุณหภูมิ ความดัน และรอบเครื่อง เป็นต้น เครื่องมือต่าง ๆ เหล่านี้ สามารถใช้ตรวจวัดค่าทางกายภาพบางค่าของเครื่องจักรกล เช่น ค่าธาตุเจือปนในน้ำมันหล่อลื่น ความถี่ สั่นสะเทือน ค่ารอยบกร่องของผิววัสดุ ค่าอุณหภูมิ และความดัน หรือค่าอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง แล้วนำค่าเหล่านั้นมาแปลค่าออกมาเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์และตรวจติดตามสภาพของเครื่องจักรกลต่อไป จากนั้นนำผลวิเคราะห์ที่ได้มาทำนายสภาพ

ของเครื่องจักรกล ซึ่งจะสามารถช่วยในการตัดสินใจ กำหนดการปฏิบัติที่เหมาะสม หรือแผนในการซ่อมบำรุงเครื่องจักรกลได้

การนำเอาเทคโนโลยีดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรกล จะทำให้สามารถระบุได้ว่าเครื่องจักรกลเครื่องที่ใช้ทำงานอยู่นั้นมีสภาพทางกายภาพเป็นอย่างไร และสมควรแล้วหรือยังที่จะต้องได้รับการซ่อมบำรุง ดังนั้นจึงไม่จำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนชิ้นส่วนอะไหล่ตามอายุการใช้งานหรือตามชั่วโมงใช้งานที่ผู้ผลิตกำหนดเสมอไป การซ่อมบำรุงเครื่องจักรกลโดยใช้หลักการที่กล่าวมานั้นถูกเรียกว่า “การซ่อมบำรุงตามสภาพ” และเนื่องจากการซ่อมบำรุงแบบนี้สามารถช่วยในการพยากรณ์ว่า เครื่องจักรกลจะมีแนวโน้มของสภาพเป็นเช่นใด และควรที่จะต้องได้รับการซ่อมบำรุงเมื่อใด การซ่อมบำรุงแบบนี้จึงถูกเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “การซ่อมบำรุงเชิงพยากรณ์” (Predictive Maintenance)

### เทคนิคที่นำไปสู่การซ่อมบำรุงตามสภาพ (Technical Approach to CBM)

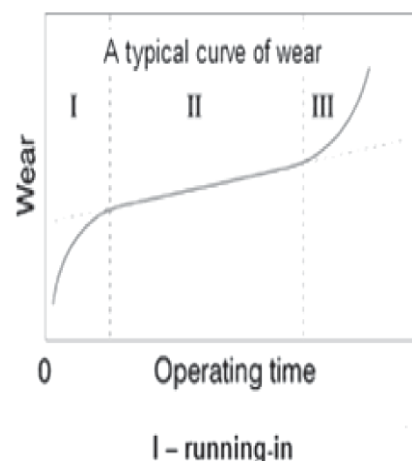
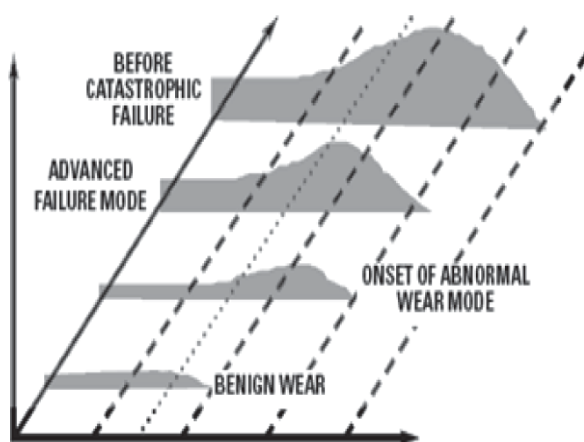
วิธีการที่ใช้เป็นเครื่องมือในการซ่อมบำรุงตามสภาพที่ได้รับการยอมรับว่าสามารถใช้งานได้จริง ได้แก่ การวิเคราะห์ค่าของธาตุเจือปนในน้ำมันหล่อลื่น (Wear Debris Analysis) การวิเคราะห์ค่าความถี่ สั่นสะเทือน (Vibration Analysis) และการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing)

#### 1. การวิเคราะห์ค่าของธาตุเจือปนในน้ำมันหล่อลื่น (Lubricant and Wear Debris Analysis)

ชิ้นส่วนประกอบภายในของเครื่องจักรกลที่มีการหมุนหรือเคลื่อนที่ในขณะทำงาน ย่อมต้องมี น้ำมันหล่อลื่นไหลหมุนเวียนหล่อลื่นผิวสัมผัสของชิ้นส่วน

ประกอบภายในของเครื่องจักรกลที่มีการเคลื่อนที่และสัมผัสกันในขณะที่เครื่องจักรกลทำงาน น้ำมันหล่อลื่นที่ผิวสัมผัสของชิ้นส่วนภายในของเครื่องจักรกลที่มีการเคลื่อนที่นั้นจึงเปรียบเสมือนเป็นฟิล์มบาง ๆ ที่ช่วยให้ผิวสัมผัสของชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่เหล่านั้น ไม่สัมผัสกันโดยตรงเพื่อช่วยลดหรือหลีกเลี่ยงการเสียดสีกันอันจะก่อให้เกิดของการสึกหรอขึ้น อย่างไรก็ตาม ขณะที่เครื่องจักรกลกำลังทำงาน ก็ย่อมต้องมีการเสียดสีกันที่ผิวของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลอันเนื่องมาจากการกระทำทำงาน (Load) ของเครื่องจักรกล และการเคลื่อนไหวที่เกี่ยวข้องกัน ทำให้มีเศษโลหะหรืออโลหะที่เกิดจากการสึกหรอ (Wear Particles) ของชิ้นส่วนภายในของเครื่องจักรกลหลุดออกมาอย่างคงที่ต่อเนื่อง (Steady Generation) ปนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น และถ้าหากชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ของเครื่องจักรกลได้รับการหล่อลื่นที่ไม่ดีพอหรือรับภาระการทำงานที่เกินกำลัง (Overloaded) ที่เครื่องจะทำงาน หรือมีการสะสมของ Wear Particles หรือ Wear

Debris ก็จะมีมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการหล่อลื่นลดลง หรือเป็นอุปสรรคต่อการหล่อลื่นของชิ้นส่วนภายในเครื่องจักรกล Wear Particles นี้ จะเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้ผิวของชิ้นส่วนภายในเครื่องจักรกลนั้นเกิดการสึกหรอ หรือถูกทำลายมากยิ่งขึ้น เพราะ Wear Particles ที่ปนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นนี้จะเป็นตัวกระตุ้นให้มีการสึกหรอของชิ้นส่วนภายในเครื่องจักรกลมากขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นตัวการทำให้ไส้กรองน้ำมันหล่อลื่นอุดตันหรือน้ำมันหล่อลื่นไหลผ่านไส้กรองน้ำมันหล่อลื่นไม่สะดวก ทำให้มีน้ำมันหล่อลื่นไปหล่อลื่นชิ้นส่วนภายในเครื่องจักรกลได้ไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้เครื่องจักรกลเกิดการชำรุดเสียหายได้ ปริมาณของ Wear Debris ในน้ำมันหล่อลื่นนี้สามารถถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้สภาพภายในของเครื่องจักรกลได้ ทำให้สามารถทำนายสภาพของการสึกหรอของชิ้นส่วนต่าง ๆ ภายในของเครื่องจักรกลได้ล่วงหน้า เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์หาทางแก้ไขต่อไป



รูปที่ 1 การสึกหรอ (Wear Particles)

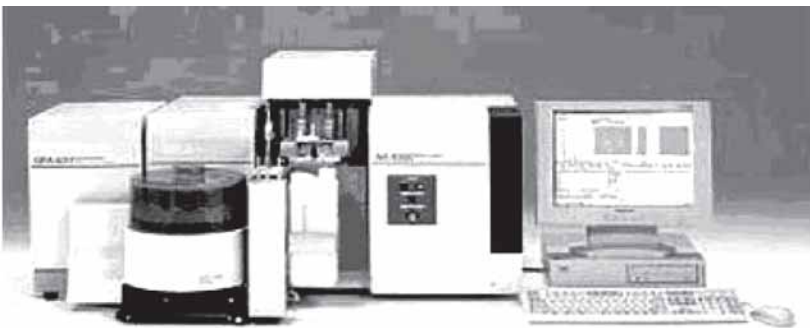


หลักโดยทั่วไปที่ใช้ในการบ่งชี้ประเภทของ Wear Debris นั้นจะพิจารณาจากรูปร่าง ขนาด สี ลักษณะผิวของ Wear Particles และอัตราการสึกหรอของชิ้นส่วนประกอบภายในของเครื่องจักรกลที่ถูกพัฒนาจากน้ำมันหล่อลื่นเครื่องจักรกล (Machine Lubricant) ซึ่ง Wear Debris นี้ จะประกอบไปด้วยอนุภาคเล็ก ๆ ของโลหะหรือโลหะที่หลุดออกมาจากผิวของชิ้นส่วนประกอบของเครื่องจักรกล สำหรับวิธีการในการตรวจวิเคราะห์ Wear Debris เพื่อบ่งชี้สภาพของชิ้นส่วนภายในของเครื่องจักรกลนั้น มีอยู่หลายวิธีการ แต่ที่นิยมแพร่หลายมีอยู่ 2 วิธีการ คือ Spectrometric Oil Analysis และ Ferrographic Analysis

**1.1 Spectrometric Oil Analysis (SOA) หรือ Spectrometric Metals Analysis** คือ วิธีการหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์ชนิดของ Wear Debris ที่ปนมากับน้ำมันหล่อลื่นว่าประกอบด้วยธาตุ

Atomic Absorption Spectrometer (AAS) ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ธาตุโลหะหนักในระดับปริมาณต่ำ ๆ (ppm หรือ ppb) โดยการกระตุ้นด้วยความร้อนจาก Flame หรือ Flameless (Graphite Furnace) และเทคนิค Hydride Generation จากปฏิกิริยาทางเคมี (Reduction-Vaporization) ที่ทำให้ธาตุบางชนิดเป็นอะตอมอิสระ เช่น Fe, Ag, Al, Ni, Pb และ Cu แล้ววัดการดูดกลืนแสงของธาตุที่ถูกกระตุ้นให้เป็นอะตอมอิสระแล้วคำนวณออกมาเป็นค่าความเข้มข้นของธาตุนั้น

ส่วนอีกวิธีหนึ่งคือใช้เครื่อง Atomic Emission Spectrometer (AES) ซึ่งเป็นเครื่องมือในการตรวจหาปริมาณธาตุในตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น (Sample) โดยการใส่พลาสมาเผา Sample ที่นำมาจากเครื่องจักรกล ให้แตกตัวเป็นอะตอม ซึ่งอะตอมนั้นจะปล่อยคลื่นเฉพาะตัวออกมา



เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer



เครื่อง Atomic Emission Spectrometer

รูปที่ 2 การวิเคราะห์ Spectrometric Metals Analysis

ประเภทใดบ้าง เช่น Iron (Fe), Silver (Ag), Aluminum (Al), Nickel (Ni), Lead (Pb) และ Copper (Cu) เป็นต้น โดยใช้เครื่อง

จากนั้นจึงวัดความเข้มข้นของแสงและคำนวณเป็นค่าความเข้มข้นของปริมาณธาตุใน Sample (น้ำมันหล่อลื่นตัวอย่าง)

Determined elements	Normal Level (ppm)	Acceptable Level (ppm)	High Level (ppm)	Abnormal Level (ppm)
Fe	0-72	73-88	89-108	>109
Ag	0-6	7	8-9	> 10
Cu	0-54	55-66	67-80	> 81
Al	0-9	10-15	16-20	> 20
Pb	0-20	21-30	30-40	> 40
Si	0-12	13-30	31-65	> 65
Cr	0-6	6-9	10-15	> 15
Mg	0-40	41-50	51-58	> 59
Ni	0-1	1.1- 2	2.1-3	>3

ตารางที่ 1.1: The Elemental Interpretation Criterion

ที่มา: Collacott, R.A.. *Mechanical Fault Diagnosis and Condition Monitoring*.

New York: Chapman and Hall, 1977.

เมื่อได้ค่าปริมาณธาตุของแต่ละธาตุที่ปนอยู่ในตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น ก็นำมาทำการวิเคราะห์สภาพการสึกหรอของชิ้นส่วนต่าง ๆ ภายในของเครื่องจักรกล เช่น กระจกสูบ ลูกสูบ แหวนสูบ และแบร็งค์ต่าง ๆ เป็นต้น โดยพิจารณาจากธาตุที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนภายในของเครื่องจักรกลซึ่งมี 9 ธาตุหลัก ได้แก่ Iron (Fe), Silver (Ag), Copper (Cu), Magnesium (Mg), Aluminum (Al), Chromium (Cr), Nickel (Ni), Lead (Pb) และ Silicon (Si) ส่วนเกณฑ์

มาตรฐานสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ผลของปริมาณธาตุทั้ง 9 ธาตุนั้น (ในหน่วยของอัตราส่วนต่อหนึ่งล้าน (Part per Million: ppm)) สามารถแสดงได้ในตารางที่ 1.1 The Elemental Interpretation Criterion และสำหรับเกณฑ์มาตรฐานในการทำนายการสึกหรอที่ผิดปกติอันจะนำไปสู่การวิเคราะห์ชิ้นส่วนที่ชำรุดเสียหายของเครื่องจักรกลนั้น สามารถแสดงได้ในตารางที่ 1.2 Probable Engine Failures Prediction

Indicators	Caution levels (ppm)	Failure prediction	What to check beforehand
Fe	88-108	Wear of cylinder liners, piston rings, or pistons	Excessive oil consumption, abnormal engine noise, oil pressure, abnormal operating temperatures
Ag	8-9	Wear of bearings, piping joints	Excessive oil consumption, abnormal engine noise, loss in oil pressure
Cu	67-80	Bearings, bushings sleeves, washers wear, piping, oil cooler passivating, radiator corrosion	Coolant in engine oil, abnormal noise when operating at near stall speed, abnormal noise when operating at near stall speed Coolant in engine oil
Al	16-20	Wear of pistons and piston thrust bearings	Blow-by gases, abnormal engine noise, power loss, oil consumption
Pb	30-40	Bearing corrosion	Extended oil change intervals
Cu and Pb	20-50	Bearing lining wear	Abnormal engine noise, oil pressure, dirt being ingested in air intake, fuel dilution, extended oil drain intervals
Si	30-65	Dirt ingestion	Air intake system, oil filter plugging, oil filler cap and breather, valve covers, oil supply
Cr	10-15	Piston ring wear	Excessive oil blow-by and oil consumption, oil degradation
Mg	51-58	Component housing wear	Lubricating oil degradation
Ni	2-3	Wear of shafts and anti-friction bearings	Excessive oil consumption, abnormal engine noise, loss in oil pressure

ตารางที่ 1.2: Probable Engine Failures Prediction

ที่มา: Collacott, R.A.. *Mechanical Fault Diagnosis and Condition Monitoring*.  
New York: Chapman and Hall, 1977.

**1.2 Ferrographic Analysis** คือวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์ชนิดของ Wear Particles ที่หลุดออกมาจากผิวของชิ้นส่วนภายในเครื่องจักรกลซึ่งแขวนลอยมาในตัวอย่างเป็นน้ำมันหล่อลื่น โดยใช้หลักการของ Magnetic Force และ Gravity Force วิธีการอย่างคร่าว ๆ คือนำตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากเครื่องจักรกลที่ต้องการตรวจสอบมาไหลผ่านอย่างช้า ๆ ผ่านแม่เหล็กสูงทุกทิศทาง (High Gradient Magnetic Field)

เพื่อใช้แรงดึงดูดสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field) ดักจับอนุภาคเล็ก ๆ ของโลหะ (Ferrous Particles) จากนั้นปล่อยน้ำมันหล่อลื่นไหลผ่านต่อไปอย่างช้า ๆ ผ่านสนามแรงโน้มถ่วง (Gravity Field) ซึ่งมีแผ่นกรองใสอยู่ด้านล่างเพื่อรองรับอนุภาคเล็ก ๆ ของอโลหะ (Non-Ferrous Particles) ที่ตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วง จากนั้นใช้เครื่องเฟอร์โรกราฟ (Ferrographmeter) วิเคราะห์ห้วงชนิดของ Wear Debris (ทั้งอนุภาคเล็ก ๆ ของโลหะ

และโลหะ) ที่ได้มาจากน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งจะทำให้ทราบรายละเอียดเกี่ยวกับ Wear Debris ที่สามารถนำไปวิเคราะห์หาจุดที่มาของการสึกหรอได้ สำหรับธาตุที่ใช้ในการระบุการสึกหรอของชิ้นส่วนภายในเครื่องจักรกลนั้นใช้เกณฑ์มาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ผลของปริมาณธาตุทั้ง 9 ธาตุ ตามตารางที่ 1.1 และใช้เกณฑ์มาตรฐานในการทำนายการสึกหรอที่ผิดปกติอันจะนำไปสู่การวิเคราะห์ชิ้นส่วนที่ชำรุดเสียหายของเครื่องจักรกล ตามตารางที่ 1.2

## 2. การวิเคราะห์ค่าความสั่นสะเทือน (Vibration Analysis)

การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลเป็นเรื่องปกติ แต่ในบางครั้งเครื่องจักรกลอาจจะมีระดับค่าการสั่นสะเทือนที่ผิดปกติซึ่งหากปล่อยให้เครื่องจักรกลนั้นสั่นสะเทือนต่อไปเรื่อยๆ ก็จะนำไปสู่การชำรุดหรือเกิดปัญหาขณะใช้งานได้ การตรวจติดตามความสั่นสะเทือน และการวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลตามระยะเวลาอย่างต่อเนื่อง จะสามารถระบุลักษณะของการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลได้ว่าปกติหรือผิดปกติหรือไม่อย่างไร และหากสามารถระบุได้ว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้นก็จะสามารถหยุดการใช้งานเครื่องจักรกลเพื่อทำการตรวจสอบและซ่อมทำก่อนที่เครื่องจักรกลนั้นจะชำรุด

จากที่กล่าวมาข้างต้นทำให้การสั่นสะเทือน (Vibration) เป็นตัวแปรตัวหนึ่ง ที่วงการวิศวกรรมการซ่อมบำรุงให้การยอมรับว่าสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจวิเคราะห์สภาพการทำงานของเครื่องจักรกลประเภทที่หมุน (Rotating Machinery) หรือหาแนวโน้มการชำรุดเสียหายของ



รูปที่ 3 ชุดเครื่องมือ Ferrographic Analysis



เครื่องเฟอร์โรกราฟ (Ferrographmeter)

เครื่องจักรกลนั้นได้โดยไม่ต้องหยุดเครื่องหรือถอดประกอบเครื่อง ซึ่งจะไม่มีความกระทบต่อการใช้งานของเครื่องจักรกลนั้น

การวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลนั้นสามารถแบ่งตามจุดประสงค์ของการตรวจวิเคราะห์ได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. การวิเคราะห์หาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง (Trend Analysis) เป็นการตรวจติดตามเก็บข้อมูลการวัดค่าการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับเครื่องจักรกลตามระยะเวลาอย่างต่อเนื่อง และนำค่าการสั่นสะเทือนที่เปลี่ยนแปลงเหล่านั้น มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานสากล เพื่อวิเคราะห์ว่าชิ้นส่วนอุปกรณ์ใดที่มี

การสั่นสะเทือนที่ผิดปกติ จากนั้นตรวจสอบเพิ่มเติมเพื่อหาสาเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่ผิดปกติ ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะสามารถช่วยในการระบุว่าจะสมควรที่จะใช้งานเครื่องจักรกลนั้นต่อไปได้หรือไม่ หรือควรได้รับการซ่อมบำรุงอย่างไรและเมื่อใด

2. การวิเคราะห์เพื่อการแก้ไข (Diagnostic Analysis) เป็นการตรวจสอบเพื่อการหาสาเหตุ และแก้ไขปัญหาที่ทำให้เกิดอาการผิดปกติของเครื่องจักรกล ณ จุดนั้น ๆ ซึ่งเป็นขั้นตอนหลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์หาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงแล้วพบสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นกับเครื่องจักรกล

การวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลทั้ง 2 ประเภทนั้นอาจกล่าวได้ว่า การวิเคราะห์หาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง เป็นกรรมวิธีการซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ในขณะที่การวิเคราะห์เพื่อการแก้ไข เป็นกรรมวิธีการซ่อมบำรุงเชิงแก้ไข (Corrective Maintenance) ก่อนที่การชำรุดจะขยายผลไปถึงขั้นรุนแรงที่ทำให้เครื่องจักรกลนั้นไม่สามารถใช้งานได้ ซึ่งจะทำให้ต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมทำมากขึ้นเพื่อให้เครื่องจักรกลนั้นกลับมาใช้งานได้ดังเดิม แนวคิด ทั้ง 2 วิธีนั้น คือ แนวคิดของการซ่อมบำรุงตามสภาพ (Condition Based Maintenance: CBM)

หลักการพื้นฐานของเทคโนโลยีวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือน สามารถแบ่งได้ออกเป็น 3 ส่วน คือ

- **ส่วนที่หนึ่ง** เกี่ยวกับการวัดค่าของระดับการสั่นสะเทือน โดยใช้หัวตรวจ (Probe) ซึ่งสามารถแบ่งตามประเภทได้ 4 ประเภท ได้แก่

1. หัวประเภท Displacement Probe หรือที่เรียกกันว่า Eddy Current Probe หรือ

Non-Contacting Displacement Probe หรือ Proximity Probe ซึ่งใช้หลักการการเปลี่ยนแปลงของ Eddy Current

2. หัวประเภท Velocity Probe หรือที่เรียกกันว่า Velocity Pickup หรือ Seismic Velocity Transducer ซึ่งใช้หลักการของ Moving Coil เหมือนอย่างหัวอ่านเครื่อง-เล่นแผ่นเสียง

3. หัวประเภท Acceleration Probe (Piezoelectric Accelerometer) ซึ่งใช้หลักการการเปลี่ยนแปลงของ Piezoelectric Crystal เมื่อถูกน้ำหนักบีบกดลง

4. หัวประเภท Laser Ranging Probe ซึ่งใช้หลักการของ Doppler Effect และดูค่าเปลี่ยนแปลงของความถี่ หรือความยาวคลื่นของคลื่นเสียงหรือคลื่นอื่น ๆ ที่เกิดขึ้น การสั่นสะเทือนที่วัดได้จากหัว Probes นี้จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าในรูปของ Voltage & Time ซึ่งแสดงค่าการสั่นสะเทือนที่เปลี่ยนของไปตามช่วงเวลา

- **ส่วนที่สอง** เกี่ยวกับการแปลงค่าสัญญาณทางไฟฟ้าที่อยู่ในรูปของ Real Time Signal ออกมาเป็นรูปแบบที่ผู้วิเคราะห์สามารถวิเคราะห์ตีความได้ เช่น ใช้ FFT (Fast Fourier Transform) ซึ่งแสดงข้อมูลในรูปของความถี่ (Frequency Spectrum) ของชิ้นส่วนที่ถูกวัดจากนั้นวิเคราะห์สัญญาณออกมาอยู่ในรูปของ (Frequency & Amplitude) เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของการสั่นสะเทือน หรือบ่งชี้ชิ้นส่วนที่ทำงานผิดปกติ

- **ส่วนที่สาม** เกี่ยวกับการวิเคราะห์ตีความหรือแปลความหมาย ซึ่งต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญตีความที่ได้ผ่านการฝึกอบรมมาเป็นอย่างดี และมีความชำนาญใน

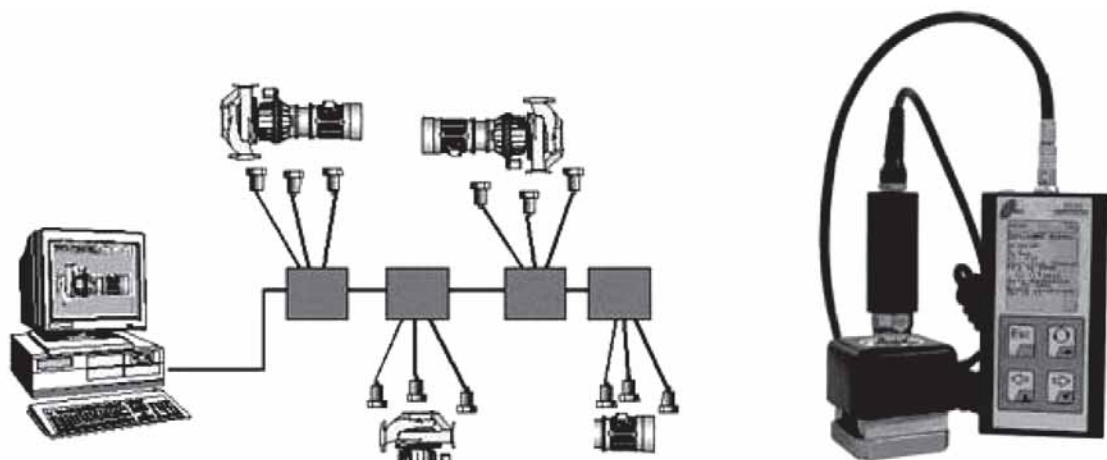
การวิเคราะห์และบ่งชี้สิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นโดยอาจใช้เกณฑ์มาตรฐานสากลในการวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือน เป็นเกณฑ์ในการระบุสภาพของชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ถูกตรวจสอบว่าจำเป็นต้องได้รับการซ่อมทำ หรือยังสามารถใช้งานได้อยู่ต่อไป

การซ่อมบำรุงตามสภาพโดยใช้เทคโนโลยีวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือน (Vibration Analysis) นั้นได้มีการพัฒนาไปอย่างต่อเนื่อง ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำเอาเทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ประกอบเข้ากับการตรวจวัดและวิเคราะห์แยกสัญญาณค่าการสั่นสะเทือนโดยผลิตเป็นอุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดและวิเคราะห์แยกสัญญาณค่าการสั่นสะเทือนทั้งประเภท Stationary Vibration Analyzers และประเภท Portable Vibration Analyzers เพื่อให้สะดวกและง่ายต่อการใช้งาน

เทคโนโลยีการวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือนนี้ เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายและได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็นหัวใจสำคัญในการพิสูจน์ทราบ และระบุสภาพการทำงานภายในของเครื่องจักรกลที่มีการหมุนได้เป็นอย่างดี และยังสามารถช่วยในการป้องกันการชำรุดเสียหายที่จะเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วย

### 3. การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing: NDT)

การตรวจสอบแบบไม่ทำลายหรือที่นิยมเรียกกันโดยทั่วไปว่า NDT นั้นเป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่โดยทั่วไปใช้ในการตรวจสอบสภาพของชิ้นส่วนหรือส่วนประกอบของอุปกรณ์เครื่องจักรกลต่าง ๆ โดยไม่ทำให้ชิ้นส่วนหรือส่วนประกอบของอุปกรณ์เครื่องจักรกลนั้นๆ เกิดความเสียหายใด ๆ



Stationary Vibration Analyzers

Portable Vibration Analyzers

รูปที่ 4 อุปกรณ์การตรวจวัดและวิเคราะห์แยกสัญญาณค่าการสั่นสะเทือน

NDT ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการตรวจสอบและวิเคราะห์สภาพทางกายภาพของเครื่องจักรกล เพราะสามารถช่วยในการทำนายสภาพของชิ้นส่วนหรือส่วนประกอบของเครื่องจักรกลได้ล่วงหน้า อันนำไปสู่การแก้ไขหรือซ่อมบำรุงเครื่องจักรกลนั้นได้อย่างถูกต้องเหมาะสมก่อนที่จะเกิดการชำรุดเสียหายสำหรับเทคนิค NDT ที่นิยมนำไปใช้กับการซ่อมบำรุงตามสภาพนั้น ได้แก่

ชนิดต่าง ๆ

**2. การทดสอบโดยการซึมของของเหลว (Liquid Penetrant Testing)** เป็นวิธีการตรวจหารอยร้าวที่เปิดกว้างบนชิ้นงานหรือเป็นรูโพรง โดยใช้ของเหลวที่สามารถแทรกซึมลงผิวชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบ

**3. การทดสอบด้วยกระแสไหลวน (Eddy Current Testing)** เป็นวิธีการที่นำ



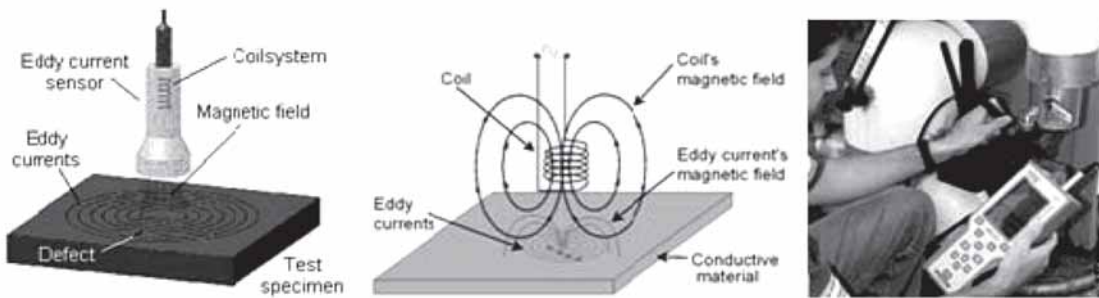
รูปที่ 5 Visual Testing

**1. การทดสอบด้วยสายตา (Visual Testing)** เป็นวิธีการตรวจหารอยบกพร่องบริเวณผิวภายนอก เช่น รอยร้าว (Cracks) รอยเหลื่อม (Overlapped) และหลุมบ่อต่าง ๆ เป็นต้น ด้วยสายตา ในกรณีที่เป็นงานจะใช้เครื่องมือที่ช่วยในการตรวจสอบด้วยสายตา เช่น Fibre Optics และแว่นขยาย

หลักการของอิเล็กโทรแมกเนติก (Electromagnetic) มาใช้ในการตรวจสอบขนาดและรูปแบบของรอยขีดข่วนและรอยแตกร้าวที่ผิววัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยใช้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านและวัดความแตกต่างของกระแสเพื่อตรวจหาความแตกต่างของเนื้อชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบ



รูปที่ 6 Liquid Penetrant Testing

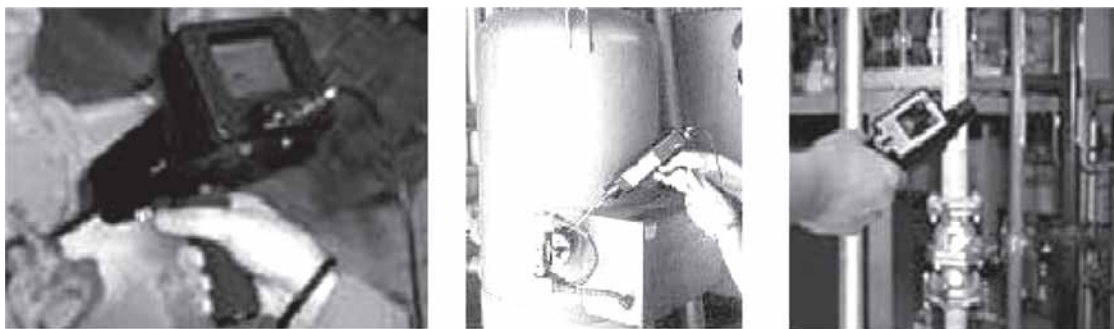


รูปที่ 7 Eddy Current Testing

**4. การทดสอบโดยใช้อัลตราโซนิก (Ultrasonic Testing)** เป็นวิธีการที่ใช้หลักการของการสะท้อนกลับ หรือการวิ่งทะลุผ่านรอยบกพร่องซึ่งจะทำให้ทราบความหนาและรอยบกพร่องภายในของผนังชิ้นส่วน เช่น วาล์ว และท่อทาง รวมทั้งตรวจสอบรอยแตกร้าวที่พื้นผิวผนังชิ้นส่วนทั้งที่อยู่ภายนอกและภายใน โดยใช้เครื่อง Ultrasonic สร้างคลื่นเสียงอัลตราโซนิก ในย่านความถี่สูง 0.5 - 20 MHz. พร้อม

หัววัด (Transducer หรือ Probe) และ น้ำยาประสานคลื่นเสียง (Couplant) ในการตรวจสอบ

ด้วยเทคโนโลยีทางด้าน NDT ทำให้ผู้ซ่อมบำรุงสามารถพิสูจน์ทราบและระบุสภาพชิ้นส่วนภายใน ภายนอกและโครงสร้างของเครื่องจักรกลได้เป็นอย่างดีโดยไม่ต้องถอดแยกชิ้นส่วนประกอบ ดังนั้นจึงทำให้สามารถช่วยในการป้องกันการชำรุดเสียหายที่จะเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 8 Ultrasonic Testing



## บทสรุป

ปรัชญาและหลักการในการซ่อมบำรุงเครื่องจักรกลนั้นได้รับการพัฒนาขึ้นทั้งแนวความคิด รูปแบบ และวิธีการการซ่อมบำรุงมาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน ซึ่งเป็นยุคของการซ่อมบำรุงตามสภาพ (Condition Based Maintenance) เพื่อให้เครื่องจักรกลมีความพร้อมใช้งานที่สูงขึ้น มีความน่าเชื่อถือในการใช้งานที่ดีขึ้น และค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงที่ลดลงรวมทั้งสามารถวางแผนการซ่อมบำรุงได้อย่างถูกต้องเหมาะสม ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า การซ่อมบำรุงตามสภาพ คือ การซ่อมบำรุงเชิงรุก (Proactive Maintenance) ที่จะทำนายสิ่งบอเหตุของเครื่องจักรกลที่กำลังเริ่มก่อตัวและจะมีผลทำให้เครื่องจักรกลนั้นชำรุดเสียหายได้เมื่อสิ่งบอเหตุนั้นก่อตัวได้เต็มที่ ดังนั้นการปฏิบัติกรซ่อมทำเครื่องจักรกลจะกระทำ เมื่อถึงคราวจำเป็นเท่านั้นก่อนที่สิ่งบอเหตุนั้นจะถึงขั้นที่ทำให้เครื่องจักรกลนั้นชำรุดเสียหายได้ โดยการซ่อมทำจะกระทำโดยตรงกับชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลที่ไม่ปกติ

ดังนั้นหากนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือสำหรับตรวจติดตามสภาพของเครื่องจักรกลก็จะทำให้สามารถทำนายข้อบกพร่องของเครื่องจักรกล และสามารถกำหนดแผนการใช้งานและเวลาสำหรับการซ่อมบำรุงเครื่องจักรกลได้

## บรรณานุกรม

- “Availability Reliability.” [Online]. Available: [www.barringer1.com/ar\\_files/ar.pdf](http://www.barringer1.com/ar_files/ar.pdf)  
3 Oct. 2008.
- Collacott, R.A. Mechanical Fault Diagnosis and Condition Monitoring. New York, Chapman and Hall, 1977.
- Department of the Navy. Operational Availability Handbook: A practical Guide for Military Systems, Sub-Systems and Equipment. United States of America, 2003.
- “Lube Oil Analysis.” [Online]. Available: <http://www.mrtlaboratories.com/Tests.htm>  
14 Oct. 2008.
- “Non Destructive Testing Association (NDTA)” [Online]. Available: <http://www.winzurf.co.nz/ndta> 10 Oct. 2008.
- “Used Oil Analysis.” [Online]. Available: <http://lubricants.s5.com> 1 Oct. 2008.
- Wichai Surasakhaw. Improving the Operational Availability of Marine Equipment Through Application of Condition Based Maintenance. Master’s Thesis, University of Southampton, 2003.



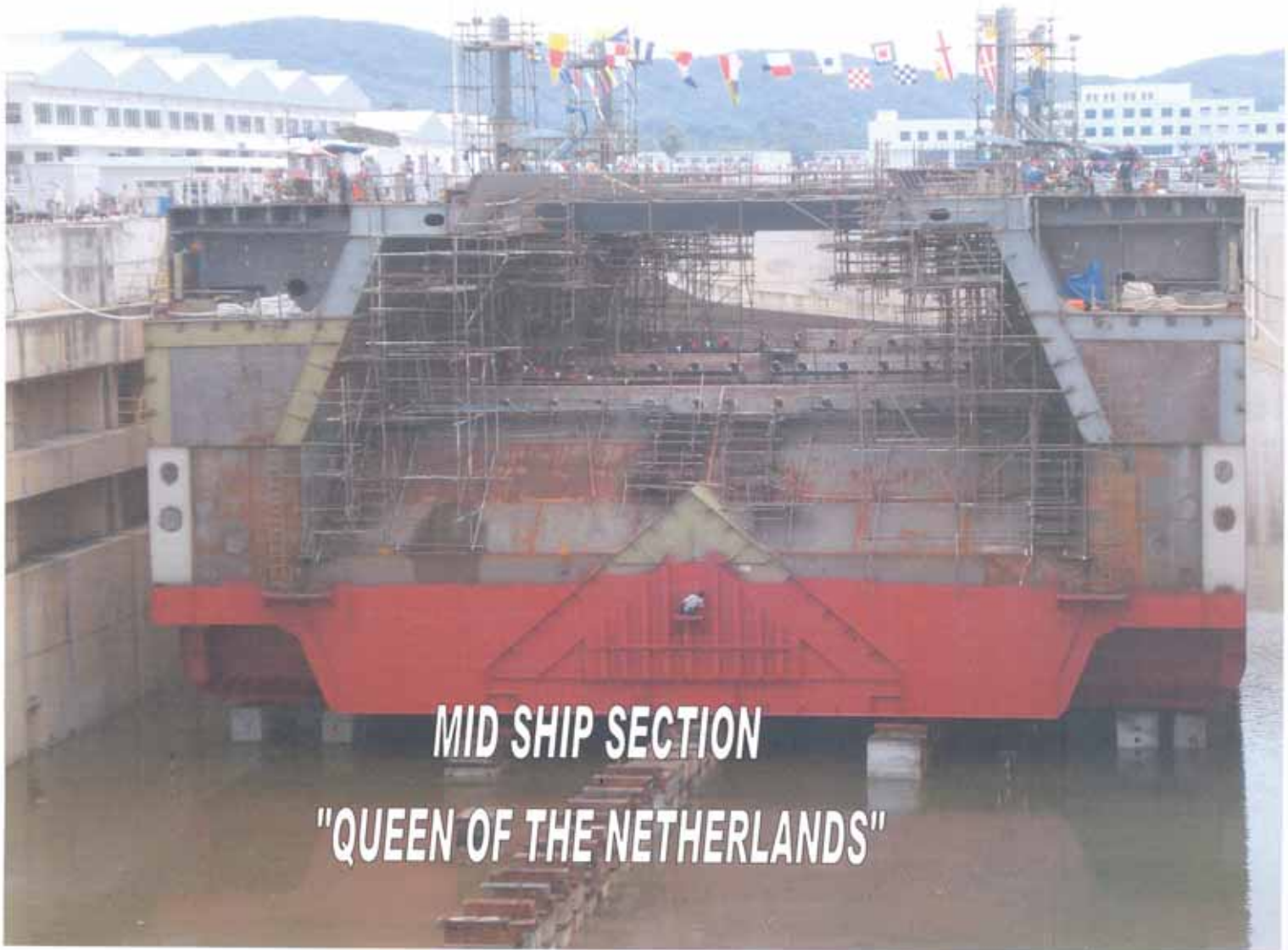
# บริการช่างต่อเรือและซ่อมแซม



THE BANGKOK DOCK CO., (1957) LTD.  
174 / 1 New Road, Yannawa, Bangkok 10120  
Tel : (662) 211 - 3040 Fax : (662) 212 - 3448



**OAKWELL CORPORATION THAILAND CO., LTD.**  
305/15 PICHAI ROAD, DUSIT, BANGKOK, 10300 THAILAND  
TEL : 02-669 0970-1 FAX : 02-243-2362



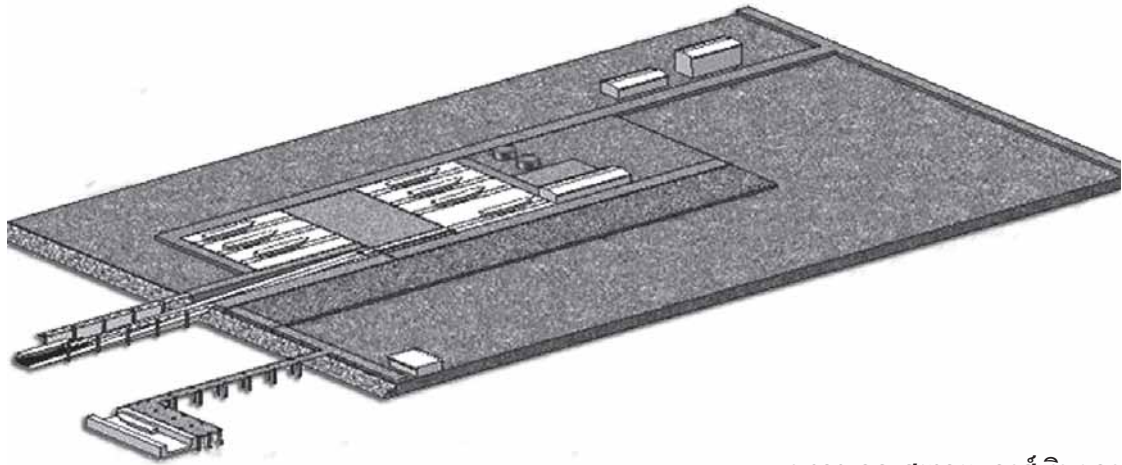
**MID SHIP SECTION**

**"QUEEN OF THE NETHERLANDS"**

LOA	=	54.3	METERS
BREADTH	=	32	METERS
DEPTH	=	16.8	METERS
TOTAL WEIGHT	=	4,500	TONS
FLOATING ON OCT 15, 2007			

**ส่วนต่อขยายกลางลำ เรือ DREDGER "QUEEN OF THE NETHERLANDS"**

## ระบบนำเรือขึ้นซ่อมทำ ฐานทัพเรือพังงา ทัพเรือภาคที่ 3



**นาวาเอก ศรารุท วงศ์เงินยวง**

ผู้อำนวยการกองออกแบบต่อเรือ กรมแผนการช่าง กรมอุทกหารเรือ

2 ถนนอรุณอมรินทร์ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700

โทร. 0 2475 4251 โทรสาร 0 2475 4387 E-mail: swny1976@yahoo.com

**นาวาโท พิระพงษ์ ทับแย้ม**

นายช่างแผนกแผนงาน ช่วยราชการกองออกแบบต่อเรือ กรมแผนการช่าง กรมอุทกหารเรือ

2 ถนนอรุณอมรินทร์ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700

โทร. 0 2475 4254 โทรสาร 0 2475 4387 E-mail: ptabyam@hotmail.com

### บทคัดย่อ

ฐานทัพเรือพังงา ทัพเรือภาคที่ 3 (ฐท.พง.ทรภ.3) เป็นฐานทัพเรือที่มีความรับผิดชอบในการดูแลและซ่อมบำรุงเรือของกองเรือยุทธการ (กร.) ที่ไปปฏิบัติหน้าที่ในพื้นที่ของ ทรภ.3 ในพื้นที่ทะเลฝั่งอันดามัน โดย กร.ได้ดำเนินการจัดเรือเข้าปฏิบัติราชการหมุนเวียนกันไปในวงรอบ 1 - 2 ปี โดยแนวทางการดำเนินการซ่อมบำรุงจะเป็นการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ที่อยู่เหนือแนวน้ำ ส่วนการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ที่อยู่ใต้น้ำนั้นจะจ้างเอกชนดำเนินการ เนื่องจาก ฐท.พง.ไม่มีขีดความสามารถในการดำเนินการ ปัจจุบัน กร.ได้มีแนวคิดในการขยายระยะเวลาในการจัดเรือเข้าปฏิบัติราชการในพื้นที่ทะเลฝั่งอันดามันเป็น 2 - 4 ปี และเพื่อให้สามารถดำรงสภาพความพร้อมของเรือให้รองรับภารกิจต่าง ๆ ตามที่ได้รับมอบหมายจาก ทรภ.3 เรือที่ปฏิบัติหน้าที่ในพื้นที่ทะเลฝั่งอันดามันจำเป็นจะต้อง

ได้รับการซ่อมทำตัวเรือใต้แนวน้ำในวงรอบการซ่อมบำรุงตามที่กรมอุทกหารเรือ (อร.) ได้กำหนดไว้ ระบบนำเรือขึ้นซ่อมทำที่ รฐท.พง.ทรภ.3 ควรจะเป็นระบบที่ใช้การดึงเรือและโครงสร้างรับเรือพร้อมอุปกรณ์ขึ้นซ่อมทำในรูปแบบของ Marine Railway โดยตัวโครงสร้างจะถูกนำไปวางยังตำแหน่งที่กำหนดไว้ เมื่อเรือเข้ามายังท่าบลทที่ที่กำหนดไว้และอยู่บนหมอนรับเรือเรียบร้อยแล้ว เรือและโครงสร้างรับเรือจะถูกนำเข้าไปยังลานซ่อมเรือต่อไป การก่อสร้างระบบนำเรือขึ้นซ่อมทำเพื่อรองรับการซ่อมทำตัวเรือและอุปกรณ์ใต้แนวน้ำที่ รฐท.พง.นั้น จะเป็นการสนับสนุนความพร้อมของเรือให้สามารถพร้อมปฏิบัติราชการตามที่ได้รับมอบหมายจาก ทรภ.3 ได้ตามต้องการ

## บทนำ

รฐท.พง.ทรภ.3 เป็นฐานทัพเรือที่มีความรับผิดชอบในการดูแลและซ่อมบำรุงเรือของ กร. ที่ไปปฏิบัติหน้าที่ในพื้นที่ของ ทรภ.3 ในพื้นที่ทะเลฝั่งอันดามัน โดย กร. ได้ดำเนินการจัดเรือเข้าปฏิบัติราชการหมุนเวียนกันไปในวงรอบ 1 - 2 ปี โดยแนวทางการดำเนินการซ่อมบำรุงกองโรงงาน รฐท.พง. จะเป็นผู้ซ่อมบำรุงอุปกรณ์ที่อยู่เหนือแนวน้ำ ส่วนการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ที่อยู่ใต้น้ำนั้นจะว่าจ้างเอกชนดำเนินการ เนื่องจาก รฐท.พง.ไม่มีขีดความสามารถในการดำเนินการ นอกจากนี้จากการสำรวจพื้นที่ฝั่งทะเลอันดามันพบว่าอยู่เรือเอกชนที่มีอยู่ในปัจจุบันสามารถรองรับการซ่อมทำเรือขนาดเรือ ต.91 ลงมาได้เท่านั้น อีกทั้งการนำเรือเข้ารับการซ่อมทำในอยู่เรือเอกชนจำเป็นจะต้องรอให้อยู่เรือพร้อมก่อนจึงจะสามารถนำเรือเข้ารับการซ่อมทำได้ เป็นเหตุให้การซ่อมทำตัวเรือในกรณีเร่งด่วนไม่สามารถกระทำได้ ความไม่พร้อมของอุปกรณ์ต่าง ๆ จะส่งผลต่อสภาพความพร้อมของเรือที่จะปฏิบัติราชการในพื้นที่ได้ นอกจากนี้จากข้อจำกัดด้านงบประมาณ และค่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีราคาสูงในปัจจุบัน กร.จึงได้มีแนวคิดในการขยายระยะเวลาในจัดเรือเข้าปฏิบัติราชการในพื้นที่ทะเลฝั่งอันดามันเป็น 2 - 4 ปี และเพื่อให้สามารถดำรงสภาพความพร้อมของเรือให้รองรับภารกิจต่าง ๆ ที่ได้รับมอบหมายจาก ทรภ.3 เรือที่ปฏิบัติหน้าที่ในพื้นที่ทะเลฝั่งอันดามันจำเป็นจะต้องได้รับการซ่อมทำตัวเรือใต้แนวน้ำในวงรอบการซ่อมบำรุงตามที่ อร.ได้กำหนดไว้ จากเหตุผลดังกล่าว การก่อสร้างระบบซ่อมทำตัวเรือใต้แนวน้ำเพื่อรองรับการซ่อมทำตัวเรือและอุปกรณ์ใต้น้ำที่ รฐท.พง.นั้นจะเป็นการสนับสนุนความพร้อมของเรือให้สามารถพร้อมปฏิบัติราชการตามที่ได้รับมอบหมายจาก ทรภ.3 ได้ตามต้องการ

### ประวัติและความเป็นมาในการก่อสร้าง Marine Railway

เมื่อ 17 - 21 มิ.ย.39 เจ้ากรมอุทกหารเรือ (จก.อร.) และคณะ ได้เดินทางไปตรวจเยี่ยมกองเรือภาคที่ 3 (กภ.3) และสถานีทหารเรือพังงา (สน.พง.) (ปัจจุบันทั้งสองหน่วยงานได้ยุบรวมกันและขึ้นการบังคับบัญชากับทัพเรือภาค 3) ได้ทราบถึงปัญหาการซ่อมทำตัวเรือและอุปกรณ์ใต้แนวน้ำของเรือที่ปฏิบัติราชการในพื้นที่ กภ.3 เนื่องจาก ฐท.พง.ไม่มีขีดความสามารถในการดำเนินการ ต้องว่าจ้างเอกชนดำเนินการ แต่มีข้อจำกัดในการนำเรือเข้ารับการซ่อมทำ เนื่องจากอยู่เอกชนสามารถรองรับการนำเรือ

ยกเรือ (Synchrolift or Ship Lift) หรือ คานลาด (Slipway) จากการศึกษาถึงคุณลักษณะจำกัดของพื้นที่ สภาพพื้นที่องทะเลของ ฐท.พง. กรอบของงบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด ค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นในอนาคต อร.จึงได้เสนอแนวทางการพัฒนาระบบซ่อมทำตัวเรือใต้แนวน้ำของ ฐท.พง.โดยเลือกการนำเรือขึ้นซ่อมทำโดยการใช้คานลาดสำหรับเรือขนาดเล็ก และการใช้ถูลอยสำหรับเรือขนาดใหญ่ โดยกำหนดรูปแบบของโครงการออกเป็น 3 ระยะ ประกอบด้วยโครงการระยะที่ 1 เป็นการก่อสร้างระบบนำเรือขึ้นซ่อมทำ โครงการระยะที่ 2 เป็นการก่อสร้างลานซ่อมเรือและโรงซ่อมเรือ และ



ขนาดเล็กที่มีระวางขับน้ำไม่เกิน 200 - 300 ตัน อีกทั้งในการนำเรือเข้ารับการซ่อมทำนั้นจะต้องรอความพร้อมของอู่เรือเอกชนด้วย จึงมีแนวความคิดในการเพิ่มขีดความสามารถในการซ่อมทำตัวเรือและอุปกรณ์ใต้น้ำของ ฐท.พง. แนวทางการนำเรือเข้ารับการซ่อมทำที่มีใช้งานอยู่โดยทั่วไปนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็นอู่แห้ง (Dry Dock) ถูลอย (Floating Dock) ระบบ

โครงการระยะที่ 3 เป็นการจัดหาถูลอยและการก่อสร้างสะพานท่าเทียบเรือ ในโครงการระยะที่ 1 อร.ได้พิจารณาหาแนวทางการนำเรือขึ้นซ่อมทำ โดยเบื้องต้นได้เสนอแนวทางการนำเรือขึ้นซ่อมทำโดยการจัดสร้าง Slipway แบบ Side Launch เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการถูกกว่าอู่แห้ง (Dry Dock) ถูลอย (Floating Dock) และระบบยกเรือ (Ship Lift) รวมถึงการนำเรือขึ้นแบบทางยาว

(Longitudinal) เนื่องจากใช้ทางเอียง (Slope) น้อยกว่า แต่จากการประชุมหารือร่วมกัน ระหว่าง อร., รฐท.พง. และ ฐานทัพเรือสงขลา ทัพเรือภาคที่ 2 (รฐท.สข.ทรภ.2) ถึง แนวทางในการนำเรือขึ้นซ่อมทำทางข้างใน ลักษณะ Side Launch ที่ทาง อร.ได้นำ เสนอไปนั้นทาง รฐท.พง.ได้ขอให้พิจารณาผล กระทบที่อาจเกิดกับตัวเรือเนื่องจากใน การนำเรือขึ้นซ่อมทำแบบ Side Launch นั้น อาจส่งผลทำให้เกิดการบิดงอของตัวเรือ ในขณะที่นำเรือขึ้นซ่อมทำ นอกจาก การพิจารณาในด้านความปลอดภัยของ ตัวเรือแล้ว ข้อจำกัดของความลึกของ ท้องทะเลในบริเวณที่จะดำเนินการก่อสร้าง การตักตะกอน รวมไปถึงข้อพิจารณาในด้าน

งบประมาณและค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้น ในอนาคต การนำเรือขึ้นซ่อมทำในลักษณะ Longitudinal ในรูปแบบของ Marine Railway จึงเป็นหนทางที่เหมาะสมที่สุด ในการดำเนินการ ซึ่งทาง อร. โดย กองออกแบบต่อเรือ กรมแผนการช่าง กรมอุทกหารเรือ (กอร.กผช.อร.) ได้ดำเนินการ พัฒนาแบบของระบบนำเรือขึ้นซ่อมทำ มาอย่างต่อเนื่อง ต่อมาในปี ๒๕๕๑ สำนัก ปลัดบัญชาทหารเรือ (สปลช.ทร.) ได้ขอให้ทาง อร.ดำเนินการจัดทำแบบรายละเอียดของ โครงการเพื่อเตรียมความพร้อมเพื่อ เตรียมการในการจัดซื้อจัดจ้าง โดยให้สามารถ รองรับการซ่อมทำเรือขนาดไม่เกิน 700 ตัน พร้อมอุปกรณ์

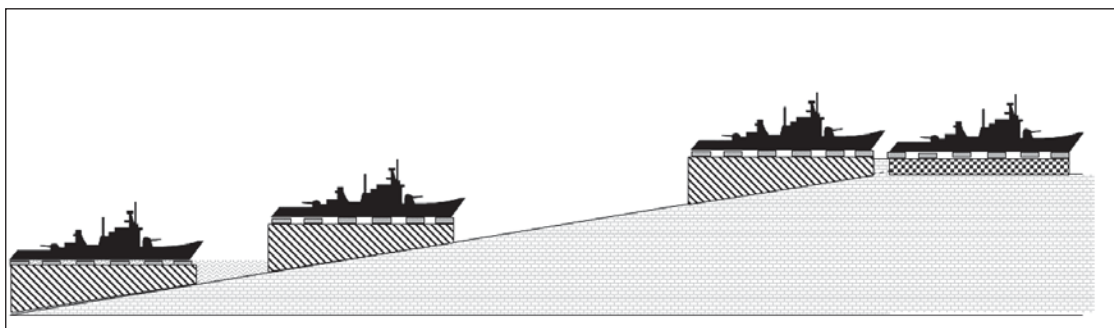




**แนวคิดในการออกแบบ**

กอร.กผช.อร.ได้ดำเนินการออกแบบระบบนำเรือขึ้น-ลงลานซ่อมเรือของโครงการระยะที่ 1 ในรูปแบบของ Marine Railway โดยการนำเรือขึ้นซ่อมทำในลักษณะทางยาว มีคุณสมบัติในการยกเรือในแนวระดับทำการยกเรือขึ้นจากน้ำโดยใช้กวางลากลกแท่นรับเรือสามารถรองรับการซ่อมทำเรือขนาด 700 ตัน พร้อมอุปกรณ์ โดยโครงสร้างในการนำเรือขึ้นซ่อมทำประกอบไปด้วย แท่นรับเรือรูปลิ้ม (Wedge Shape Platform) และแคร่รับ

(Cradle) จัดวางอยู่บนทางลาดรับเรือ (Marine Railway) เรือที่รับการซ่อมทำจะถูกนำเข้ามายังตำบลที่จัดเตรียมเอาไว้เมื่อน้ำลง เรือจะวางอยู่บนแคร่รับเรือ จากนั้นแท่นรับเรือรูปลิ้ม แคร่รับเรือและเรือจะถูกดึงขึ้นจากน้ำไปจนสุดปลายทางลาดรับเรือ จากนั้นเรือและแคร่รับเรือจึงจะถูกดึงเข้าไปจอดยังลานซ่อมเรือต่อไป ซึ่งจะสามารถนำเรือขนาด 700 ตัน ขึ้นซ่อมทำได้ทั้งปี



รูปแบบแสดงแนวคิดในการออกแบบระบบนำเรือขึ้นซ่อมทำ



จากการหารือร่วมกันระหว่างกรมอุทกศาสตร์เรือ (อร.) กรมช่างโยธาทหารเรือ (ชย.ทร.) กรมอุทกศาสตร์ (อศ.) เพื่อตรวจสอบความก้าวหน้าในการดำเนินการข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการก่อสร้าง รวมถึงข้อจำกัดที่มีผลต่อการดำเนินการก่อสร้างตามแบบ ความเป็นไปได้ในการดำเนินการก่อสร้างและหาข้อยุติถึงแนวทางในการออกแบบระบบซ่อมทำตัวเรือได้แนวน้ำ รฐท.พง. โดยประเด็นสำคัญอยู่ที่ค่าใช้จ่ายในส่วนของชิ้นส่วนป้องกันน้ำในระหว่างการก่อสร้าง (Cofferdam) และปัญหาการตกตะกอนในบริเวณที่จะดำเนินการก่อสร้าง ซึ่งได้ข้อยุติกำหนดเป็นแนวทางในการออกแบบดังนี้ การดำเนินการก่อสร้างจะพยายามหลีกเลี่ยงการขุดพื้นที่องทะเล โครงสร้างรับเรือสามารถเพิ่มพื้นที่บนบกได้ สามารถรับเรือได้ถึงชุด ร.ล.หัวหิน เรือใด

ที่มีข้อจำกัดในการนำเรือขึ้นซ่อมทำให้กำหนดให้ชัดเจน จากผลการประชุมที่ได้รับ กอร.กผช.อร. ได้ดำเนินการปรับปรุงแบบโครงสร้างการนำเรือขึ้น-ลง โดยการปรับความเอียงของทางลาดรับเรือปรับปรุงรูปแบบโครงสร้าง ตรวจสอบความสูงของโครงสร้าง ตรวจสอบความปลอดภัยในการนำเรือเข้ารับการซ่อมทำและวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงของโครงสร้าง รวมถึงพิจารณาข้อจำกัดในการนำเรือขึ้น-ลงของเรือชุดต่าง ๆ

### ขีดความสามารถในการรองรับการซ่อมทำเรือ

จากความต้องการที่กำหนดและคุณลักษณะของเรือที่ปฏิบัติราชการในพื้นที่ ทรก.3 แล้วจะพบว่าระบบนำเรือขึ้นซ่อมทำต้องสามารถรองรับการนำเรือชุดต่าง ๆ ซึ่งมีคุณลักษณะดังต่อไปนี้

ชุดเรือ	เรือ ต.213	เรือ ต.91	ร.ล.ราชฤทธิ์	ร.ล.สัตหีบ	ร.ล.ชลบุรี	ร.ล.หัวหิน	ร.ล.คาร์ณสินธุ์
ระวางขับน้ำเต็มที่ *	29	130	270	300	450	645	530
ระวางขับน้ำปกติ *	27	117	235	270	432	546	475
ยาว **	19.8	31.8	49.8	50.14	60.4	62	62
กว้าง **	5.5	5.3	7.5	7.3	8.8	8.9	8.22
กินน้ำลึกเฉลี่ย **	1.8	1.55	2.3	1.8	1.5	2.4	4.5 (รวมความลึกของโคมโซนาร์)
กินน้ำลึกปกติ **	1.6/1.6	1.4/1.7	1.7/1.9	1.78/1.719	1.867/1.881	2.3	2.53/2.25
กินน้ำลึกเต็มที่ **	-	1.5/1.8	-	-	1.943/2.137	2.646/2.265	2.31/2.09

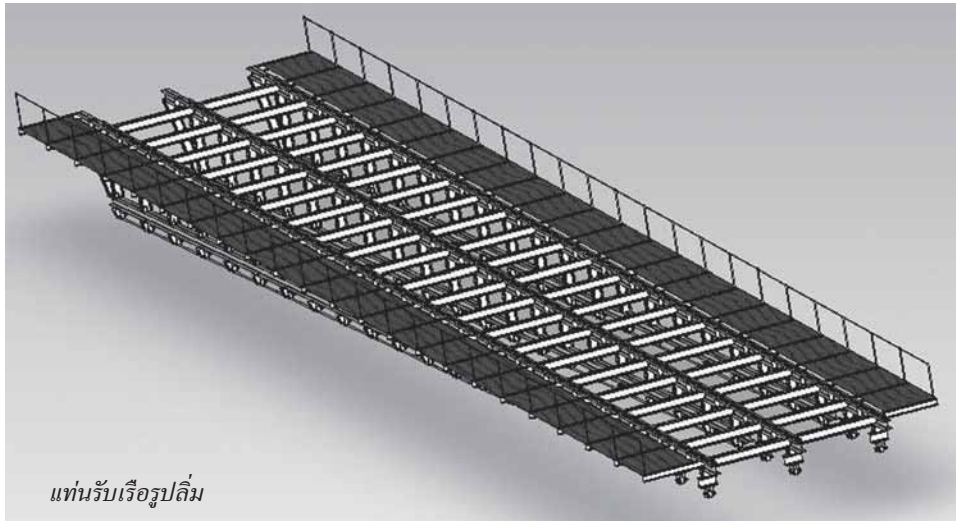
\* หน่วยเป็น ตัน

\*\* หน่วยเป็น เมตร

**คุณลักษณะของโครงสร้างรับเรือสำหรับโครงการระยะที่ 1 การก่อสร้างระบบนำเรือขึ้นซ่อมทำ**

ในโครงการระยะที่ 1 เป็นการออกแบบโครงสร้างในการนำเรือขึ้นซ่อมทำ กอร.๑ ได้ดำเนินการออกแบบแท่นรับเรือรูปลิ้มและแคร่รับเรือ โดยพิจารณาจากข้อมูลการนำเรือเข้าอู่แบบการวางหมอนรับเรือของเรือชุดต่าง ๆ เพื่อให้สามารถรองรับเรือต่าง ๆ โครงสร้างรับเรือจึงมีลักษณะดังนี้

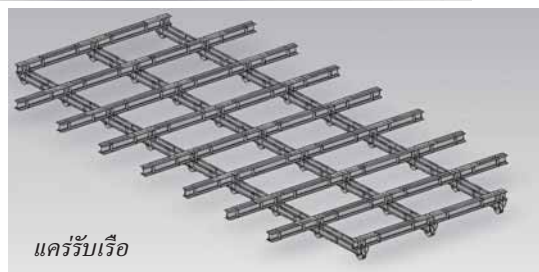
แท่นรับเรือรูปลิ้ม		
ยาว	56.00 เมตร	
กว้าง	10.30 เมตร	จำนวน 1 ชุด
น้ำหนักโดยประมาณ	85 ตัน	
แคร่รับเรือ		
ยาว	3.00 เมตร	
กว้าง	8.00 เมตร	จำนวน 6 ชุด
น้ำหนักโดยประมาณ	4 ตัน	
ยาว	20.00 เมตร	
กว้าง	8.00 เมตร	จำนวน 1 ชุด
น้ำหนักโดยประมาณ	16 ตัน	



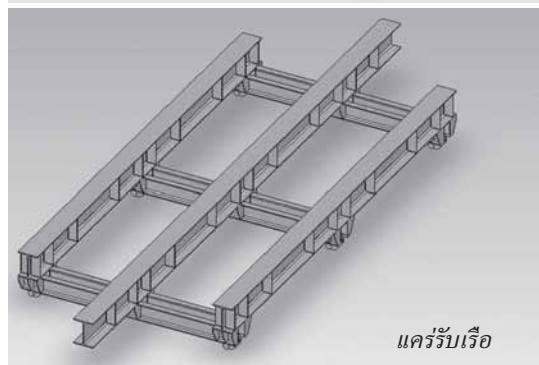
แท่นรับเรือรูปลิ้ม

**การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้าง**

การวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงของโครงสร้างใช้กระบวนการ Finite Element Method (FEM) ด้วยโปรแกรม Solidworks โดยแบ่งการวิเคราะห์แยกออกเป็น 3 ส่วน คือการวิเคราะห์ความแข็งแรงของแท่นรับเรือรูปลิ้มยาว แคร่รับเรือยาว 3 เมตร แคร่รับเรือยาว 20 เมตร อย่างไรก็ตาม เนื่องจากโครงสร้างของแท่นรับเรือรูปลิ้มที่มีขนาดใหญ่ การคำนวณโดยใช้โปรแกรม Solidworks วิเคราะห์ค่าความแข็งแรงของแท่นรับเรือรูปลิ้มโดยรวมทั้งหมดไม่สามารถกระทำได้อีก เนื่องจากข้อจำกัดของคอมพิวเตอร์ที่ใช้อยู่



แคร่รับเรือ



แคร่รับเรือ

ในปัจจุบัน ทำให้การวิเคราะห์ความแข็งแรงของแท่นรับเรือ รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเป็นต้องตัดโครงสร้างออกเป็นส่วนย่อยยาว 10 เมตร แล้วทำการใส่ภาระให้แก่โครงสร้าง สำหรับภาระที่กระทำจากโครงสร้างพิจารณาจากลักษณะการกระจายภาระของโครงสร้างตัวเรือ (Load Distribution) โดยพิจารณาจากภาระที่กระทำสูงสุด เนื่องจากในการนำเรือจากแท่นรับเรือรูปสี่เหลี่ยมไปยังลานซ่อมเรือนั้น จะต้องมีการเคลื่อนย้ายเรือโดยการเลื่อน

แคร่รับเรือ ดังนั้นทุกส่วนของแท่นรับเรือรูปสี่เหลี่ยมจึงมีโอกาสที่จะต้องรับภาระสูงสุดจากตัวเรือกระทำต่อโครงสร้าง ได้ผลการวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

**คุณลักษณะวัสดุ**

วัสดุที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์สำหรับโครงสร้างรับเรือทั้งหมดใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาที่มีคุณสมบัติทางกลดังนี้

Property Name	Value	Units
Elastic Modulus	2.1 X 10 <sup>11</sup>	N/m <sup>2</sup>
Poisson's Ratio	0.28	NA
Shear Modulus	7.9 X 10 <sup>10</sup>	N/m <sup>2</sup>
Mass Density	7800	kg/m <sup>3</sup>
Tensile Strength	3.9983 X 10 <sup>8</sup>	N/m <sup>2</sup>
Yield Strength	2.2059 X 10 <sup>8</sup>	N/m <sup>2</sup>
Thermal Expansion Coefficient	1.3 X 10 <sup>-5</sup>	/Kelvin
Thermal Conductivity	43	W/(m.K)
Specific Heat	440	J/(kg.K)

**ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงแคร่รับเรือ 3 เมตร**

กำหนดภาระกระทำต่อแคร่รับเรือในบริเวณที่จะวางหมอนรับเรือจำนวนสูงสุด 9 จุด กำหนดให้มีภาระกระทำสูงสุดในแต่ละจุดเท่ากับ 67,000 นิวตัน (6.7 ตัน) เป็นภาระรวมที่กระทำต่อแคร่รับเรือทั้งหมดประมาณ 60 ตัน ผลการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรง ให้ค่าความปลอดภัย (Factor of Safety, FOS) เท่ากับ 2.00

**ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงแคร่รับเรือ 20 เมตร**

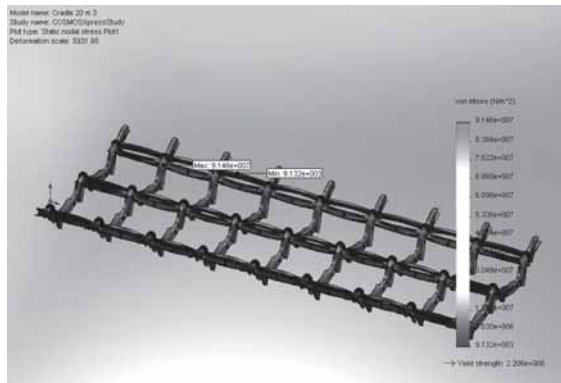
กำหนดภาระกระทำต่อแคร่รับเรือในบริเวณที่จะวางหมอนรับเรือจำนวนสูงสุด 27 จุด กำหนดให้มีภาระกระทำสูงสุดในแต่ละจุดเท่ากับ 200,000 นิวตัน (20 ตัน) เป็นภาระรวมที่กระทำต่อแคร่รับเรือทั้งหมดเท่ากับ 540 ตัน ผลการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรง ให้ค่าความปลอดภัย (Factor of Safety, FOS) เท่ากับ 2.41

เมื่อใช้แคร้รับเรือทั้งหมดประกอบเข้าด้วยกัน จะสามารถรับภาระได้ทั้งหมดประมาณเท่ากับ 900 ตัน โดยมีค่าความปลอดภัยรวม (Factor of Safety, FOS) เท่ากับ 2.00

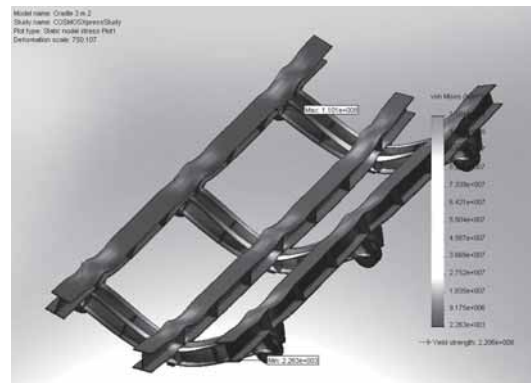
### ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงแท่นรับเรือรูปลิ้ม

ทำการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงในส่วนที่สูงที่สุดของโครงสร้าง ยาว 5 เมตร กำหนดภาระกระทำต่อแท่นรับเรือซึ่งเป็นตำแหน่งที่แคร้รับเรือจะกระทำต่อแท่นรับ

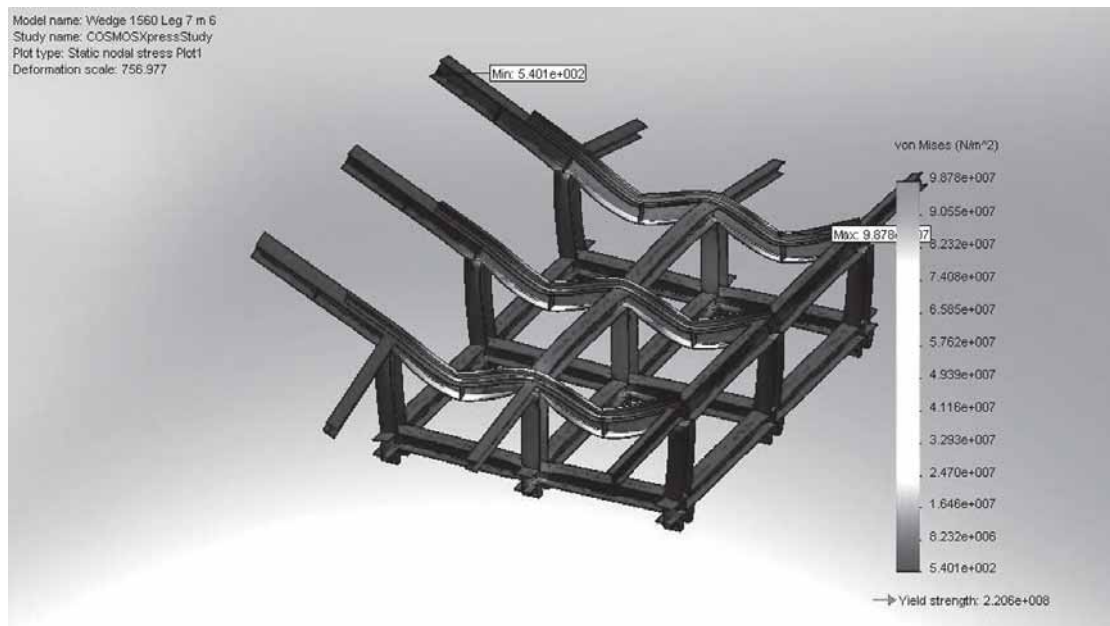
เรือที่จุดกึ่งกลางช่วงความกว้างของเสา (เป็นจุดที่ทำให้เกิดการดัดตัวสูงสุด) จำนวน 6 จุด กำหนดให้มีภาระกระทำสูงสุดในแต่ละจุดเท่ากับ 200,000 นิวตัน (20 ตัน) เป็นภาระรวมที่กระทำต่อแคร้รับเรือในช่วงความยาว 5 เมตร เท่ากับ 120 ตัน ผลการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงให้ค่าความปลอดภัย (Factor of Safety, FOS) เท่ากับ 2.239 หากวิเคราะห์ถึงค่าความยาวรวมทั้งหมดแล้ว แท่นรับเรือรูปลิ้มสามารถรองรับภาระรวมได้เท่ากับ 1,200 ตัน โดยมีค่าความปลอดภัยรวม (Factor of Safety, FOS) เท่ากับ 2.239



แคร้รับเรือยาว 20 เมตร



แคร้รับเรือยาว 3 เมตร



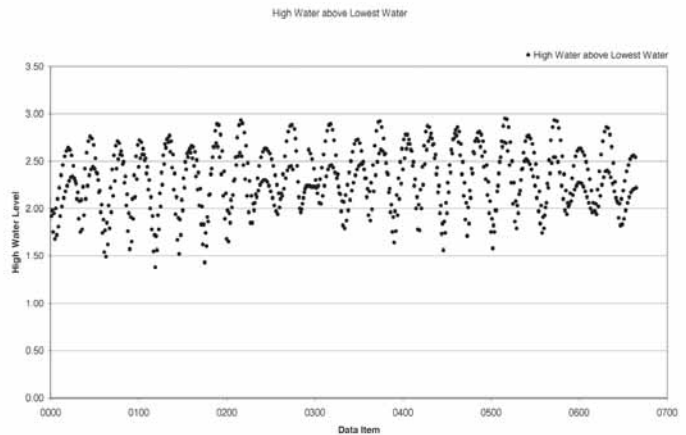
### แท่นรับเรือรูปลิ้ม

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างรับเรือ

**ข้อพิจารณาด้านสภาพแวดล้อมและความปลอดภัยในการนำเรือเข้ารับการซ่อมทำ**

จากข้อมูลตารางน้ำที่ รฐท.พง.ทรภ.3 และผลการวิเคราะห์การขึ้น - ลงของน้ำ ที่ รฐท.พง.ทรภ.3 ได้ผลการคำนวณดังต่อไปนี้

Mean	2.310 เมตร
Median	2.320 เมตร
Mode	2.240 เมตร
Range	1.570 เมตร
Minimum	1.380 เมตร
Maximum	2.950 เมตร



เมื่อนำผลจากการคำนวณที่ได้ไป ประกอบกับแบบของแท่นรับเรือรูปปลีและ แคร่รับเรือ ดำเนินการทดลองจัดแบบ การเรียงหมอนรับเรือ และพิจารณา ความปลอดภัยในการนำเรือเข้ารับการซ่อมทำ โดยเบื้องต้นได้กำหนดความลึกของน้ำ

ในตำบลที่ปลายสุดของโครงสร้างรับเรือไว้ที่ 4.5 เมตร จากระดับน้ำต่ำสุด (หรือเท่ากับ 7.5 เมตร เมื่อน้ำขึ้นสูงสุด) ทำการวิเคราะห์ ความปลอดภัยในการนำเรือเข้ารับการซ่อมทำ ได้ผลดังแสดงในตาราง

ชุดเรือ	หัวหิน	ชลบุรี	คาร์ณสินธุ์	ราชฤทธิ์	เรือ ต.91	เรือ ต.213
ระวางชั้นน้ำต่ำสุด***	500	432	405	270	130	29
กินน้ำลึก*	2.4	1.88	3.64	1.8	1.4	1.6
แคร่รับเรือ*	0.8	0.8	0	0.8	0.8	0.8
หมอนรับเรือ**	0.6	0.6	0.9***	0.6	0.6	0.6
รวมความสูงของโครงสร้าง*	1.4	1.4	0.9	1.4	1.4	1.4
ความสูงของโครงสร้างรวมความลึกเรือ (เมตร) *	3.8	3.28	4.54	3.2	2.8	3
ความสูงของแท่นรับเรือ *	FWD.	1.000	END	2.658		
<b>Safety Clearance</b>						
ระดับน้ำสูงสุด (7.5 เมตร)	1.042	1.562	0.302	1.642	2.042	1.842
ระดับน้ำเฉลี่ย (6.8 เมตร)	0.342	0.862	-0.398	0.942	1.342	1.142
ระดับน้ำต่ำสุด (5.58 เมตร)	-0.878	-0.358	-1.618	-0.278	0.122	-0.078

\* หน่วยเป็น เมตร  
\*\*\* หน่วยเป็น ตัน

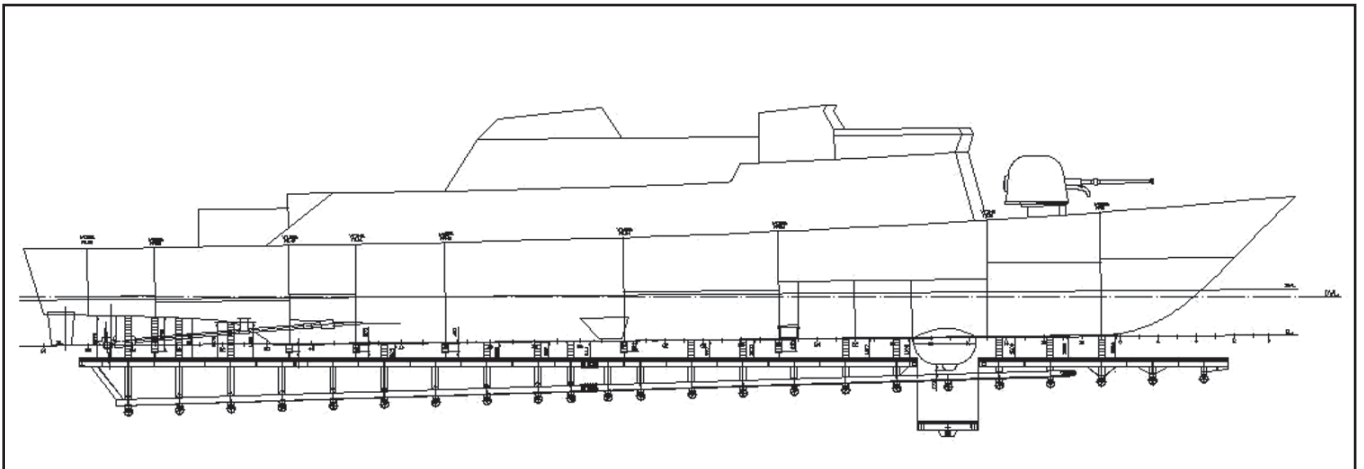
\*\* ความสูงของหมอนรับเรือแนวกลางลำ หน่วยเป็น เมตร  
\*\*\* การจัดเรียงหมอนรับเรือกระทำบนแท่นรับเรือรูปปลี

จากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่าเรือตรวจการณ์ปราบเรือดำน้ำ ชุด ร.ล.คำรณสินธุ์ เป็นชุดเรือที่จะส่งผลกระทบต่อการดำเนินการนำเรือเข้ารับการซ่อมทำ เนื่องจากแม้ว่าจะมีการจัดเรียงหมอนบนแทนรับเรือรูปลิ้มโดยตรงแล้วยังมีระยะห่างระหว่างหมอนรับเรือและโดมโซนาร์เพียง 0.302 เมตรเท่านั้น ดังนั้นการนำเรือชุดนี้เข้ารับการซ่อมทำจึงต้องมีการแต่งเรือให้มี

ถูกดึงขึ้นมาจนถึงแนวระดับลานซ่อมเรือแล้วจะถูกนำเข้าสู่ระบบเลื่อนเรือไปยังลานซ่อมเรือต่อไป

### โครงการระยะที่ 2 การก่อสร้างลานซ่อมเรือและโรงซ่อมเรือ

เป็นการสร้างโครงสร้างที่สามารถรองรับการซ่อมทำเรือหลายลำพร้อมกัน โดยเมื่อเรือที่เข้ารับการซ่อมทำถูกนำขึ้นมาจนถึงแนวระดับลานซ่อมเรือแล้วจะถูกระบบ



แบบการจัดเรือหมอนรับเรือสำหรับเรือตรวจการณ์ปราบเรือดำน้ำ ชุด ร.ล.คำรณสินธุ์

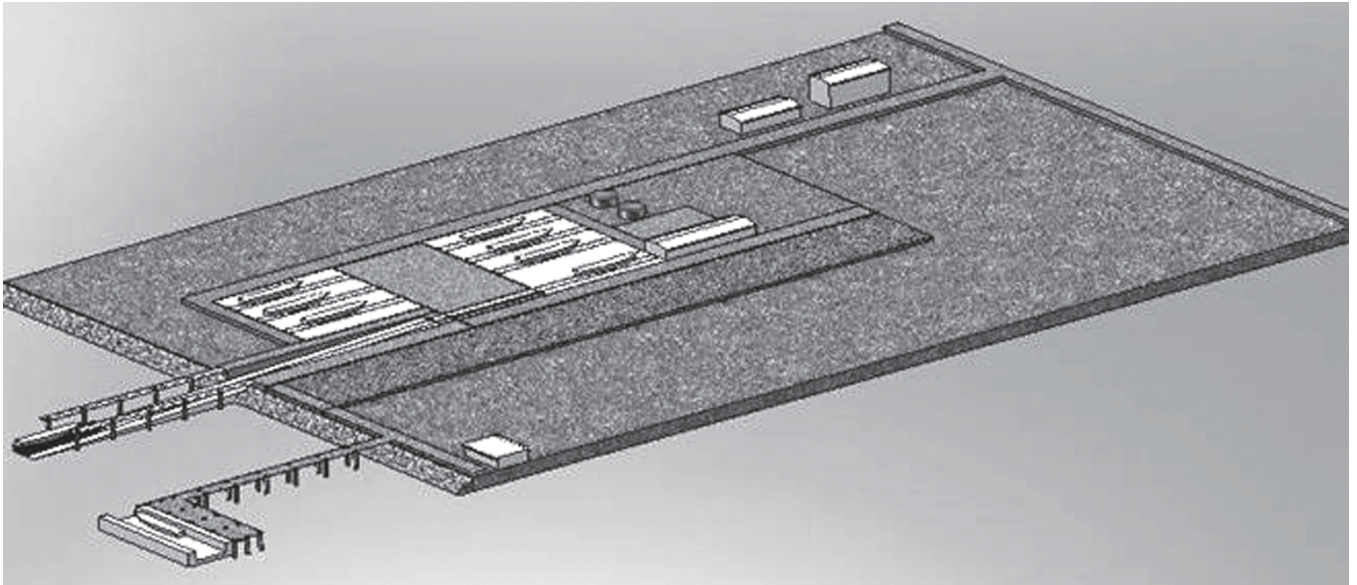
ลักษณะทริมท้ายเรือและจัดเรียงหมอนรับเรือให้อยู่ในลักษณะเอียงดังแสดงในภาพ

จากข้อจำกัดของเรือและการนำเรือขึ้นซ่อมทำในลักษณะดังกล่าวทำให้เรือชุดนี้ไม่สามารถเลื่อนเรือไปยังลานซ่อมเรือได้ การปฏิบัติการซ่อมทำสามารถกระทำได้ขณะที่เรือจอดอยู่บนแทนรับเรือรูปลิ้มเท่านั้น ส่วนเรือในชุดอื่น ๆ เมื่อเรือและโครงสร้างรับเรือ

เลื่อนเรือ (Transfer System) นำเรือเข้าสู่ลานซ่อมเรือต่อไป

### โครงการระยะที่ 3 การจัดหาอุ้งลอยและการก่อสร้างสะพานท่าเทียบเรือ

เป็นโครงการจัดหาระบบที่สามารถรองรับการซ่อมทำเรือขนาดไม่เกิน 1,500 ตัน เมื่อโครงการแล้วเสร็จทั้ง 3 โครงการจะมีลักษณะดังแสดงในภาพ



### บทสรุป

ระบบนำเรือขึ้นซ่อมทำ รฐท.พง.ทรก.3 จะเป็นระบบที่สามารถรองรับการนำเรือขนาดที่เล็กกว่าเรือชุด ร.ล.หัวหิน ลงมาเข้ารับการซ่อมทำตัวเรือได้แน่นอน ทำให้เรือมีสภาพความพร้อมสามารถรองรับการปฏิบัติการกิจตามที่ได้รับมอบหมาย โดยไม่ต้องนำเรือกลับมารับการซ่อมทำยังอยู่เรือด้านฝั่งทะเลอ่าวไทยทำให้สามารถประหยัดงบประมาณในการนำเรือกลับมาเข้ารับการซ่อมทำ นอกจากนี้ในกรณีที่เรือเกิดการชำรุดเสียหายฉุกเฉินสามารถปรับแผนการปฏิบัติในการนำเรือเข้ารับการซ่อมทำได้ทันที โดยไม่ต้องรอความพร้อมของอยู่เรือเอกชน ทำให้เรือสามารถมีความพร้อมในการปฏิบัติราชการในช่วงเวลาอันสั้น อย่างไรก็ตามจากข้อจำกัดของเรือตรวจการณ์ปราบเรือดำน้ำชุด ร.ล.คำรณสินธุ์ ในการนำเรือเข้ารับการซ่อมทำนั้นจะต้องดำเนินการซ่อมทำเรือในขณะที่จอดอยู่บนแท่นรับเรือ รูปเล่มทำให้ในช่วงเวลาดังกล่าวไม่สามารถนำเรือขึ้นหรือลงจากลานซ่อมเรือได้ จากกรณีดังกล่าวการจัดแผนการปฏิบัติในการนำเรือชุด ร.ล.คำรณสินธุ์เข้ารับการซ่อมทำจะเป็นตัวกำหนดแผนการปฏิบัติในการนำเรือขึ้นและลงจากลานซ่อมเรือต่อไป จากขีดความสามารถของระบบนำเรือขึ้นซ่อมทำที่ รฐท.พง.ทรก.3 และจำนวนเรือที่ปฏิบัติราชการในพื้นที่ ทรก.3 ด้านทะเลฝั่งอันดามันจะเห็นว่าระบบนำเรือขึ้นซ่อมทำนอกจากจะสามารถรองรับเรือของกองทัพเรือ เข้ารับการซ่อมทำแล้วยังสามารถรองรับเรือเอกชนในพื้นที่ทะเลฝั่งอันดามันได้อีกด้วย



Length Overall : 63.70 M.  
Breadth : 14.00 M.  
Depth : 5.00 M.  
Cargo Capacity : 2,200 Tons

MV PINNVAREE



## บริษัท ปิ่นเจริญขนส่ง จำกัด

247/12 หมู่ 1 ถนนราษฎร์บูรณะ

เขตราษฎร์บูรณะ กทม.10140

### *The step forward for coastal shipping industry*

*Our coastal vessels can efficiently transport cargo from ports along  
the Pasak and the Chaopraya river*

*to the coastal provinces parallel to the Gulf of Thailand (Chon Buri, Rayong, etc.),*

*including the coastal provinces in the southern regions (Surat Thani, Songkhla, Narathiwat, ect.).*

## PINNCHAREON TRANSPORT CO.,LTD.

247/12 Moo 1 Rajburana Road Rajburana, Bangkok 10140

Tel. 0 24280712, 0 2428 1892

Fax. 0 2427 7380

E-mail: pinnsiam@truemail.co.th



Length Overall : 64.00 M.  
Breadth : 12.00 M.  
Depth : 5.00 M.  
Cargo Capacity : 1,900 Tons

MV PINNCHAREON 2



## การใช้ไบโอดีเซลในเครื่องยนต์เรือ



นาวาตรี ดร. ชลัมภ์ โสมาภา  
นายช่างแผนกออกแบบเครื่องเย็นระบายและปรับอากาศ  
กองออกแบบกลจักร กรมแผนการช่าง กรมอุทกหารเรือ  
2 ถนนอรุณอมรินทร์ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700  
โทร. 0 2475 3044 โทรสาร 0 2475 4260 E-mail: chalums\_s@hotmail.com

### บทคัดย่อ

น้ำมันเชื้อเพลิงถือเป็นยุทธปัจจัยที่สำคัญในการปฏิบัติการกิจของกองทัพเรือ โดยเฉพาะน้ำมันดีเซลซึ่งมีใช้ในยานพาหนะและยุทธโปกรณ์ต่าง ๆ อันเป็นผลผลิตจากน้ำมันปิโตรเลียมที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ ในปัจจุบันน้ำมันดีเซลมีราคาสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีแนวโน้มว่าราคาน้ำมันดีเซลจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยประเทศไทยไม่มีอำนาจในการต่อรองและควบคุมราคาได้ ทำให้รัฐต้องเสียเงินตราต่างประเทศเป็นจำนวนมาก จึงถือได้ว่าปัญหาด้านราคาน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นปัญหาระดับประเทศ ซึ่งกองทัพเรือก็เป็นหน่วยงานหนึ่งที่ได้รับผลกระทบดังกล่าวเช่นเดียวกัน ปัจจุบันความต้องการน้ำมันดีเซลของกองทัพเรือสูงถึงปีละกว่า 38 ล้านลิตร หากเกิดภาวะขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิงในการกิจหลักของกองทัพเรือ การปกป้องอธิปไตย และรักษาผลประโยชน์ของชาติทางทะเล

ย่อมต้องถูกกระทบกระเทือนอย่างรุนแรง ดังนั้นการเตรียมเทคโนโลยีเพื่อแสวงหาเชื้อเพลิงสำรอง จึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงก่อนที่สถานการณ์ดังกล่าวจะเกิดขึ้น ปัจจุบันไบโอดีเซลเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีการใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้นในประเทศ เพราะไบโอดีเซลทำมาจากวัตถุดิบที่สามารถหาได้ง่าย สามารถทดแทนการนำเข้าน้ำมันปิโตรเลียมจากต่างประเทศได้เป็นอย่างดี จึงช่วยลดรายจ่ายด้านการนำเข้พลังงานของประเทศ ได้อย่างมีนัยสำคัญ การนำไบโอดีเซลมาใช้ในเรือถือเป็นเรื่องใหม่สำหรับกองทัพเรือ แม้ในช่วงที่ผ่านมารกรมอุทกหารเรือได้ทำการวิจัยและพัฒนาการนำน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซลบ้างแล้ว อย่างไรก็ตามเชื้อเพลิงไบโอดีเซล ยังไม่ได้มีการทดลองใช้ในเรือรบของกองทัพเรือมากนัก จึงยังมิได้รับความมั่นใจจากผู้ใช้งานเครื่องยนต์ เพราะแม้ว่าน้ำมันไบโอดีเซลจะมีคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลปิโตรเลียม แต่มีคุณสมบัติบางอย่างที่แตกต่างจากน้ำมันดีเซล ซึ่งต้องระมัดระวังและให้ความสำคัญอย่างมากเมื่อนำไปใช้ในเครื่องยนต์เรือ มิเช่นนั้นอาจเกิดปัญหาต่อเครื่องยนต์เรือได้ เช่น คุณสมบัติการกัดกร่อนของไบโอดีเซล (Corrosive Properties) คุณสมบัติความเสถียรต่อการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation Stability) และคุณสมบัติการเป็นสารละลายสูง (Good Solvent) เป็นต้น บทความนี้จะกล่าวถึงแนวทางการนำน้ำมันไบโอดีเซลมาใช้ในเรือได้อย่างปลอดภัย และไม่ทำให้เกิดปัญหาต่อเครื่องยนต์เรือในภายหลัง

## บทนำ

แนวความคิดการนำไบโอดีเซลมาใช้ในเรือชนิดต่าง ๆ ของกองทัพเรือ เป็นสิ่งที่เหมาะสมสำหรับสถานการณ์พลังงานในปัจจุบัน เพราะจะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานจากปิโตรเลียมที่ต้องนำเข้จากต่างประเทศเป็นจำนวนมากอีกทั้งเป็นการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนในภาครัฐ อันจะเป็นตัวอย่างที่ดีต่อหน่วยงานอื่น ๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน อย่างไรก็ตามหน่วยผู้ใช้ อาจยังคงมีข้อกังวลในเรื่องของคุณภาพของน้ำมัน และความปลอดภัยต่อเครื่องยนต์จากการใช้ไบโอดีเซล ปัญหาข้อกังวลดังกล่าวสามารถแก้ไขได้ด้วยการบริหารและจัดการอย่างถูกวิธี ตั้งแต่ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การควบคุมคุณภาพ การขนส่ง การจัดเก็บ และการนำไปใช้ ในเครื่องยนต์ บทความนี้จะเสนอแนวทางการนำไบโอดีเซลมาใช้ในเรือ เพื่อเป็นการนำเสนอแนวทางที่ถูกต้อง ในการใช้ไบโอดีเซลอย่างปลอดภัยต่อเครื่องยนต์เรือ และเป็นการสร้างความเชื่อมั่นในการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในเรือ

## 1. การพัฒนาและผลิตไบโอดีเซลเพื่อนำไปใช้ในยานพาหนะทางน้ำของไทยและต่างประเทศ

สำหรับประเทศสหรัฐอเมริกา มีการสำรวจข้อมูลเกี่ยวกับเรือเพื่อการสันตนาการกว่า 100 ลำ ในอ่าวของรัฐซานฟรานซิสโก มีเรือกว่า 97% ใช้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงมาตั้งแต่ ค.ศ. 1993 (พ.ศ. 2536) โดยเฉพาะการใช้กับเรือใบติดเครื่องยนต์ ซึ่งส่วนใหญ่มีขนาดตั้งแต่ 30 ฟุต ถึง 50 ฟุต ส่วนใหญ่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก กินน้ำมันน้อย เพราะผู้ใช้เรือส่วนใหญ่ มีความรับผิดชอบและห่วงใยต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะควันทันพิษและกลิ่นจาก ท่อไอเสียเครื่องยนต์ ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ง่าย ผู้ใช้เรือจึงยินดีจ่ายแพงกว่าสำหรับเชื้อเพลิง ไบโอดีเซล เพราะเรือมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเพียงแค่ 10-50 แกลลอนต่อปี

ประเทศสหรัฐอเมริกา ส่งเสริมให้มีการใช้ไบโอดีเซลในเรือชนิดต่าง ๆ ที่แล่นในทะเลสาบ แม่น้ำ เขตอ่าวซึ่งรับผลกระทบได้ง่ายจากมลภาวะอากาศและน้ำ นอกจากการแล่นใบโดยอาศัยพลังงานลมแล้ว ยังสามารถใช้พลังงานจาก ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืช ซึ่งแปรรูปมาจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยอ้อม มีความสะอาด สะดวก และมีประสิทธิภาพ เป็นพลังงานจลน์สำหรับขับเคลื่อนเรือได้เป็นอย่างดี ไบโอดีเซลสามารถผสมเข้ากับน้ำมันดีเซลปิโตรเลียมได้ง่ายในลักษณะเป็นสารเติมแต่ง สามารถผสมไบโอดีเซล 20% กับน้ำมันดีเซลปกติ เมื่อเติมน้ำมันไบโอดีเซล 5 แกลลอน ผสมเข้ากับน้ำมันดีเซลปิโตรเลียม 20 แกลลอน ทำให้ได้ไบโอดีเซลสูตร B20 (20% Blend) น้ำมันไบโอดีเซลจะผสมเข้ากับน้ำมันดีเซลอย่าง

รวดเร็วขณะที่เรือเคลื่อนที่ไป (เป็นการผสมในลักษณะ Splash Blending) ไบโอดีเซลจะมีน้ำหนักมากกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อย เพราะน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ที่ 0.87 ในขณะที่น้ำมันดีเซลปิโตรเลียมมีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.79-0.80 นอกจากนี้ยังมีการใช้อัตราการผสมไบโอดีเซลที่สูงกว่า 20% ถึง 100% อย่างแพร่หลายในเครื่องยนต์ดีเซลของเรือ เพราะไบโอดีเซลช่วยเพิ่มสมรรถนะของเครื่องยนต์ และช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซพิษจากท่อไอเสียได้เป็นอย่างดี

ในส่วนของกองทัพเรือของประเทศสหรัฐอเมริกา มีการนำน้ำมันไบโอดีเซลมาใช้ในเรือ และยานพาหนะชนิดต่าง ๆ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2005 เพื่อเป็นการตอบสนองนโยบายการเพิ่มความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศ โดยลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศ มีการกำหนดให้ยานพาหนะดีเซลประเภท Non-Tactical ของกองทัพเรือ และหน่วยนาวิกโยธินของประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้น้ำมันไบโอดีเซลสูตร B20 วัตถุประสงค์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล ส่วนใหญ่ทำมาจากน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันหรือไขมันที่มาจากธรรมชาติ สามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้ 100% (B100) หรืออาจใช้แบบผสมกับน้ำมันดีเซลที่สัดส่วนต่าง ๆ ได้

### 1.1 การศึกษาด้าน Engine Performance

มีการศึกษาการสึกหรอของเครื่องยนต์ (Long Term Engine Wear) ในระยะยาวกับเครื่อง US. Porsche (Germany) พบว่าการใช้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ 100% ในเครื่องยนต์ช่วยลดการสึกหรอของเครื่องยนต์ในระยะยาว ลงครึ่งหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลปกติ คุณสมบัติ

การหล่อลื่นของน้ำมันเชื้อเพลิงมีความสำคัญในการลดการสึกหรอเนื่องจากความฝืด (Friction Wear) ในส่วนประกอบของเครื่องยนต์ที่หล่อลื่นโดยน้ำมันเชื้อเพลิง แทนที่จะเป็นน้ำมันหล่อลื่นจากการทดสอบ โดย Exxon เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล พบว่าไบโอดีเซลสูตร B20 แสดงถึงการสึกหรอ (ไบโอดีเซล B20; 193 Micron Scar และ Petrodiesel; 492 Micron Scar) และการเสียดทานที่ลดลง (ไบโอดีเซล B20; 0.13 Micron Scar และ Petrodiesel; 0.24 Micron Scar) อย่างมีนัยสำคัญนอกจากนี้ ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของฟิล์มเคลือบผิว (ไบโอดีเซล B20; 93% Film และ Petrodiesel; 32% Film)

สำหรับเมทิลเอสเทอร์จากถั่วเหลืองอยู่ที่ 128,000 บีทียู (BTU, British Thermal Units) ต่อแกลลอน ขณะที่ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซลปกติมีค่า 130,500 บีทียู/แกลลอน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นในเนื่อน้ำมัน ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้สุทธิของ B20 จึงเพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของออกซิเจนนี้ จะช่วยลดขนาดค่าบีทียูที่ตกลง ความแตกต่างจะเห็นได้อย่างชัดเจนที่ความเร็วรอบต่ำ (Low Rpm) และที่ภาระเครื่องยนต์สูง (High Engine Load) เพราะเครื่องยนต์ได้รับประโยชน์จากปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มมากขึ้น



รูปภาพที่ 1 : เรือตรวจการณ์ใช้ไบโอดีเซล 100% จากน้ำมันถั่วเหลือง

## 1.2 การศึกษาด้าน Heat of Combustion Properties

เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลปิโตรเลียมแล้ว พบว่าไบโอดีเซลมีค่าความร้อนการจุดระเบิด (Heat of Combustion) ต่ำกว่า ค่าความร้อนของการจุดระเบิด

## 1.3 การทดลองการนำไบโอดีเซลมาใช้ในเรือของไทย

จากการที่น้ำมันดีเซลมีราคาสูงขึ้น ติดต่อกันจนถึงระดับกว่า 16 บาท/ลิตร เมื่อช่วงปลายปี 2543 ถึงปี 2544 บริษัท ราชาเฟอร์รี่ จำกัด จึงได้ลงนามความร่วมมือกับ

มูลนิธิสถาบัน พลังงานทดแทนเอทานอล ไบโอดีเซลแห่งประเทศไทย เพื่อทดลองใช้น้ำมันมะพร้าวผสมน้ำมันก๊าด เพื่อทดแทนน้ำมันดีเซลตั้งแต่ 8 กุมภาพันธ์ 2544 ซึ่งปรากฏว่าได้ผลดีในระยะเวลา 12 เดือน ทางบริษัท ราชาเฟอร์รี่ฯ ได้ใช้น้ำมันมะพร้าวไปกว่า

น้ำมันมะพร้าวทดแทนน้ำมันดีเซลแล้ว บริษัท ราชาไบโอดีเซลฯ ด้วยความร่วมมือของมูลนิธิสถาบันฯ ทำการพัฒนาโครงการผลิตและผสมน้ำมันไบโอดีเซลประเภท Methyl Ester หรือ Ethyl Ester โดยใช้น้ำมันพืช หรือน้ำมันใช้แล้ว มาแปรรูปเป็นไบโอดีเซล



รูปภาพที่ 2 : เรือข้ามฟากใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากมะพร้าว  
(ที่มา : หนังสือพลังงานทดแทนเอทานอล และไบโอดีเซล)

7 ล้านลิตร (ประมาณ 42 ล้านลูก) คิดเป็นระยะทางเดินเรือกว่า 180,000 กิโลเมตร และในช่วงเวลาดังกล่าว บริษัท ราชาไบโอดีเซล จำกัด จึงได้กำเนิดขึ้นเพื่อเข้ามาดูแลและพัฒนาการนำน้ำมันไบโอดีเซล (Biofuel) มาใช้ในเชิงธุรกิจต่อไป

จากประสบการณ์ที่ได้จากการใช้น้ำมันมะพร้าวมาทดแทนน้ำมันดีเซลนั้น นับเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาโครงการน้ำมันเชื้อเพลิงทดแทนสำหรับเครื่องยนต์เรือขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถยืนยันได้ว่าน้ำมันมะพร้าวสามารถใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้ในเรือที่มีเครื่องยนต์ดีเซลความเร็วรอบต่ำ ปานกลาง (Slow - Medium Speed Diesel) ทั้งนี้ควรต้องมีการอุ่นน้ำมัน และระมัดระวังการเจือปนของน้ำในระบบน้ำมันเชื้อเพลิงเท่านั้น ภายหลังจากที่ได้ทำการทดลองใช้

(Ester Diesel) ตามมาตรฐานสากล เช่น ASTM D6751 หรือ DIN 51606 เพื่อปรับคุณสมบัติให้เหมาะสมที่จะใช้ในเครื่องยนต์ความเร็วสูงได้ ทั้งนี้ได้พัฒนาโครงการขนาด 20,000 ลิตร/วัน ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2544 นับเป็นโครงการขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศไทยและในทวีปเอเชีย พร้อมทั้งได้ผ่านการทดลองใช้ในเรือเฟอร์รี่ รถบรรทุกขนาดใหญ่และรถบรรทุกขนาดเล็ก เป็นจำนวนรวมกันมากกว่า 1 ล้านลิตร

## 2. คุณสมบัติการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงของไบโอดีเซล

ปัจจัยสำคัญในการผลิตไบโอดีเซลเพื่อให้มีมาตรฐานสูง และมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมมากที่สุด ต้องเริ่มตั้งแต่การคัดเลือกน้ำมันวัตถุดิบที่จะ

นำมาแปรรูปหรือก่อนเริ่มต้นกระบวนการทางเคมีทุกอย่าง เพราะวัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติทางเคมีที่แตกต่างกันไม่มากนัก โดยทั่วไปแล้วน้ำมันพืชบริสุทธิ์ น้ำมันสัตว์ น้ำมันที่ผ่านการใช้แล้ว ไขมันสัตว์ ส่วนใหญ่จะสามารถนำมาแปรรูปเป็นไบโอดีเซลได้เกือบทุกชนิด สิ่งที่จะชี้บอกถึงความยากง่ายและความซับซ้อนในกระบวนการผลิตนั้น ขึ้นอยู่กับคุณภาพและคุณสมบัติเฉพาะตัวของน้ำมันวัตถุดิบนั้น ๆ เช่น ค่าความเป็นกรดของน้ำมัน (Acid Value) ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณกรดไขมันอิสระในวัตถุดิบน้ำมันพืชนั้น ๆ และค่าไอโอดีน (Iodine Value) ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของน้ำมันพืช ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล น้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานแล้วหลายครั้ง ไขมันหมู ไขมันสัตว์ น้ำมันปาล์มดิบ มักมีค่ากรดไขมันอิสระสูง จึงต้องเพิ่มกระบวนการเตรียมน้ำมันเบื้องต้น (Pretreatment) เพื่อลดกรดไขมันดังกล่าวให้ลดต่ำลงมาให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สำหรับการส่งเข้าสู่กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน เพื่อตัดห่วงโซ่ของกลีเซอรินออกไป กระบวนการ Pretreatment ที่ถูกเพิ่มเติมเข้าไปในขั้นตอนแรกของระบบนี้เป็นการเพิ่มราคาต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลให้สูงขึ้น แต่ขณะเดียวกันวิธีการนี้สามารถเป็นเครื่องรับประกันได้ว่าจะสามารถพัฒนาคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ให้มีปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงกว่า 96.5% ตามมาตรฐานที่ต้องการได้ ค่าไอโอดีนแสดงพันธะคู่ในน้ำมัน เป็นคุณสมบัติเฉพาะของน้ำมันพืช ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ค่าไอโอดีนต่ำแสดงถึงการมีสัดส่วนกรดไขมันอิ่มตัวในโครงสร้างไบโอดีเซลสูง ทำให้ไม่มีแนวโน้มในการเกิด

ออกซิเดชัน นอกจากนี้ค่าไอโอดีนยังมีความสัมพันธ์กับจุดขุ่น ซึ่งแสดงถึงอุณหภูมิที่น้ำมันเริ่มเกิดไข หรือจับตัวเป็นก้อนแข็ง ไบโอดีเซลมีค่าไอโอดีนต่ำจะมีจุดขุ่นสูง ซึ่งมีผลต่อการใช้งานสภาพอากาศเย็น ดังนั้นข้อดีหรือข้อดี้อยจากการมีค่าไอโอดีนต่ำหรือสูงนี้ตามที่ได้ยกตัวอย่าง ต้องนำมาพิจารณาให้รอบคอบเพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสม สำหรับการใช้งานในสภาพอากาศที่ต่างกันไป สำหรับประเทศไทยที่มีสภาพอากาศร้อนเกือบตลอดทั้งปี จึงอาจไม่ต้องกังวลถึงโอกาสที่ไบโอดีเซลจะเย็นตัวลงจนถึงจุดขุ่น เหมือนที่เกิดขึ้นกับประเทศในเขตหนาวที่ใช้ไบโอดีเซล เป็นต้น

เมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างทางเคมีของน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม ที่มีสารประกอบกว่าร้อยชนิดนั้นกับน้ำมันไบโอดีเซล โครงสร้างทางเคมีของไขมันชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ภายในไบโอดีเซลจะมีความคล้ายคลึงกับโครงสร้างของน้ำมันดีเซลมาก โมเลกุลของไขมันและน้ำมันประกอบด้วยโครงสร้างของกลีเซอรินหลักที่มีคาร์บอน 3 ตัว ซึ่งแต่ละตัวต่อเข้ากับห่วงโซ่ยาวของกรดไขมัน ห่วงโซ่ของกรดไขมันเหล่านี้เองที่ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล เพื่อเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซล และจากกลีเซอรินหลัก (Glycerin Backbone) จึงเปลี่ยนเป็นกลีเซอริน By Product ที่สามารถนำไปขายเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียงที่มีมูลค่าเชิงพาณิชย์สูงขึ้นได้ ไขมันและน้ำมันชนิดต่าง ๆ ที่กล่าวไปข้างต้น ประกอบด้วยกรดไขมันพื้นฐานกว่า 10 ชนิด ซึ่งมีคาร์บอนระหว่าง 12 และ 22 ตัว ซึ่งคาร์บอนกว่า 90% มีโครงสร้างที่อยู่ระหว่าง 16 และ 18 ตัว โครงสร้างห่วงโซ่ของกรดไขมันบางตัวเป็นแบบชนิดไขมันอิ่มตัว (Saturated

Fat) ในขณะที่บางชนิดเป็นแบบ Monounsaturated และ Polyunsaturated ค่าความอิมิตัวที่มีระดับแตกต่างกัน มีผลกระทบต่อค่าคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซลบางตัว ประเด็นนี้มีความสำคัญเมื่อต้องเลือกไบโอดีเซลเพื่อนำมาใช้งานสาเหตุที่ทำให้วัตถุดิบเหล่านี้มีความแตกต่างกัน มาจากสัดส่วนที่ต่างกันของค่าความอิมิตัวของกรดไขมัน เช่น กรดไขมันชนิดอิมิตัว (Saturated Fatty Acids) และกรดไขมันชนิด Monounsaturated และ Polyunsaturated

ในขั้นตอนระหว่างกระบวนการผลิตนั้น มีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของน้ำมันได้แก่ 1) น้ำหรือความชื้น 2) สารเร่งปฏิกิริยา 3) เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 4) อุณหภูมิ 5) ความปั่นป่วนของปฏิกิริยา ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดดังนี้

### 2.1 น้ำหรือความชื้น

การที่มีความชื้นในไขมันหรือน้ำมันจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไขมันหรือน้ำมัน โดยน้ำจะเป็นสาเหตุให้เกิดสบู่ขึ้นและสบู่ที่เกิดขึ้นจะปนกับเอสเทอร์และกลีเซอรอลที่ได้ ทำให้สารละลายผสมทั้ง 2 มีความหนืดสูงซึ่งส่งผลให้การแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์กระทำได้อย่างขึ้น วิธีป้องกันคือการป้องกันไม่ให้แอลกอฮอล์ไขมัน หรือน้ำมัน มีปริมาณน้ำและความชื้นปนอยู่ ซึ่งสามารถกระทำได้โดยการเลือกแอลกอฮอล์ชนิดที่มีเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่ต่ำหรือไม่มีส่วนประกอบของน้ำอยู่เลย เช่น เลือกใช้แอลกอฮอล์ที่มีความบริสุทธิ์สูงเกินกว่า 95% ขึ้นไปในการทำปฏิกิริยาในกระบวนการผลิต นอกจากนี้ไขมันพืชวัตถุดิบและไขมันที่นำมาใช้เป็นสารตั้งต้นควรผ่านกระบวนการขจัดน้ำและสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ

มาแล้วก่อนเข้าสู่กระบวนการ โดยอาจใช้วิธีการกรองหรือการใช้ความร้อนอ่อนเพื่อให้น้ำระเหยตัวไปก่อนเข้าสู่กระบวนการในระบบผลิตต่อไป เพื่อให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเกิดขึ้นได้เต็มที่ และตัวเร่งปฏิกิริยาทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพอย่างไรก็ดีภายหลังจากเสร็จสิ้นในขั้นตอนการล้าง (Washing Process) และแยกน้ำล้างออกจากไบโอดีเซลแล้ว มีโอกาสสูงที่น้ำและความชื้นยังคงตกค้างอยู่ในเนื้อน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งหากไม่ทำการแยกน้ำให้หมดจดอีกครั้ง เมื่อนำไปใช้งานหรือนำไปเก็บจะทำให้ไขมันเกิดการเสื่อมสภาพเร็วขึ้น และอาจเกิดผลเสียต่อเครื่องยนต์ได้ ดังนั้นหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการล้างทุกครั้ง ควรระเหยน้ำออกไปให้หมดด้วยกระบวนการ Evaporation และควรเก็บรักษาน้ำมันในที่แห้งปราศจากความชื้นเพื่อไม่ให้น้ำเกิดขึ้นในไบโอดีเซลได้อีก

### 2.2 สารเร่งปฏิกิริยา

สารเร่งปฏิกิริยาที่ใช้มีทั้งกรด และเบส แต่สารเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ คือ สารเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสเนื่องจากมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูง และให้ผลดีที่อุณหภูมิต่ำกว่าการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในกรณีที่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เป็นเบสควรใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สอดคล้องกับแอลกอฮอล์ เช่น ถ้าใช้เอทานอลตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ควรเป็นโซเดียมเอท็อกไซด์ ซึ่งจะมีประสิทธิภาพมากกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นจากการใช้โซเดียมเอท็อกไซด์จะมีปริมาณน้อยกว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดพบว่ามีข้อเสียต่างๆ ได้แก่ ภาชนะที่ใช้ก็ต้องมีความทนทานต่อการกัดกร่อนของกรด อัตราส่วนของแอลกอฮอล์ต่อ

ไขมันที่ใช้ต้องสูง นอกจากนี้เวลาและอุณหภูมิที่ต้องใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันต้องสูงด้วย เพื่อให้ทำให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ ได้ผลิตภัณฑ์ที่สูง

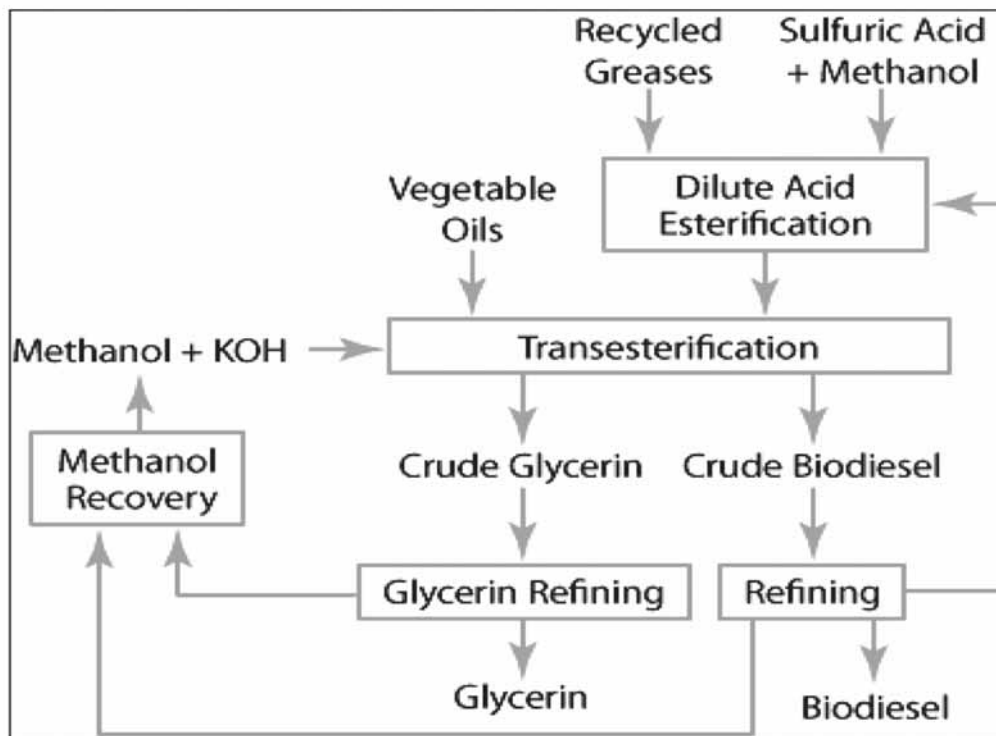
### 2.3 เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

เวลามีผลในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันคือ อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะมีค่ามากขึ้นในช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น หลังจากนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลง

### 2.4 อุณหภูมิ

ปัจจัยเรื่องอุณหภูมิเป็นสิ่งหนึ่งที่จะช่วยในการทำปฏิกิริยาของกระบวนการผลิต

ไบโอดีเซล การใช้ความร้อนเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่สมบูรณ์ ปกติแล้วอุณหภูมิที่ใช้ในระหว่างกระบวนการจะอยู่ที่ 50-80 องศาเซลเซียส และต้องระวังไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินกว่าจุดเดือดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตเพราะอาจเกิดการวapor ของแอลกอฮอล์ขึ้นและไม่มีความปลอดภัย อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดที่อุณหภูมิต่างกันบ้างเล็กน้อยขึ้นกับชนิดของน้ำมัน โดยการใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเพื่อให้มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพียงพอสำหรับที่จะเตรียมโครงสร้างของแอลกอฮอล์ไขมันหรือน้ำมัน และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ใน



รูปภาพที่ 3 : ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลตามมาตรฐานสากล  
(ที่มา: <http://www.alternative-energy-news.info/technology/biofuels/biodiesel-fuel/>)



การทำปฏิกิริยา โดยพบว่าปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้สูงสุดจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิค่าหนึ่งเท่านั้น สิ่งหนึ่งที่ควรระวังคือการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงมากและใช้เวลานานเกินไป เพราะอาจทำลายคุณสมบัติที่ดีของน้ำมันไบโอดีเซล เช่น ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยธรรมชาติของไบโอดีเซล เป็นต้น ดังนั้นจึงควรใช้ความร้อนในระบบด้วยอุณหภูมิที่เหมาะสมและพอเพียงเท่านั้น

### 2.5 ความปั่นป่วนของปฏิกิริยา

ความปั่นป่วน (Turbulence) ของสารตั้งต้นที่กำลังทำปฏิกิริยามีผลต่ออัตราการเกิด และปริมาณการเกิดของผลผลิต กล่าวคือยิ่งเกิดความปั่นป่วนของของสารตั้งต้นที่กำลังทำปฏิกิริยากันมากเท่าใด อัตราการเกิดและปริมาณการเกิดไบโอดีเซลยิ่งสูงมากขึ้นเท่านั้น ตัวอย่างระบบซึ่งมีการปั่นป่วนในระบบได้อย่างสูงคือระบบผลิตแบบต่อเนื่องที่มีลักษณะการผสมแบบ Plug Flow ร่วมกับการสั่นแบบ Oscillatory Motion ระบบนี้จะทำให้เกิดการผสมแบบปั่นป่วนอย่างรุนแรง (Highly Turbulence) สูงยิ่งกว่าการผสมในถังกวนธรรมดาที่มีลักษณะการผสมที่ค่อนข้างเป็นการผสมแบบราบเรียบ (Laminar Flow) ดังนั้น ปัจจัยเรื่องความปั่นป่วนของปฏิกิริยาเป็นสิ่งที่ผู้ผลิตไบโอดีเซลควรต้องคำนึงถึงในการออกแบบระบบ เพราะความปั่นป่วนของปฏิกิริยาจะเป็นสิ่งหนึ่งที่กำหนดกำลังการผลิตของระบบ คุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล รวมถึงต้นทุนในการผลิตด้วยเช่นกัน

คุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงเป็นสิ่งที่สำคัญมากของไบโอดีเซล ในระหว่างกระบวนการผลิตไบโอดีเซล หากดำเนินการอย่างพิถีพิถันและใส่ใจกับทุกขั้นตอนการผลิตแล้ว ก็จะทำให้มีโอกาสได้ไบโอดีเซล

ที่มาตรฐานไบโอดีเซลที่ดีต้องมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลปิโตรเลียมมากที่สุด ทั้งนี้เพื่อนำไปใช้จะสามารถใช้ได้โดยตรงโดยไม่ต้องมีการดัดแปลงเครื่องยนต์ และไม่เกิดผลกระทบต่อเครื่องยนต์ และสามารถลดการใช้สารเติมแต่ง (Additives) อื่น ๆ เช่น สารต้านการเกิดอนุมูลอิสระหรือสารป้องกันการแข็งตัวของน้ำมัน ซึ่งจะเป็นการช่วยลดต้นทุนในการผลิตลงเช่นกัน

### 3. ปัญหาการนำน้ำมันไบโอดีเซลมาใช้กับเครื่องยนต์เรือ

#### 3.1 ผลกระทบต่อวัสดุที่ใช้ภายในเครื่องยนต์ (B100 Material Compatibility)

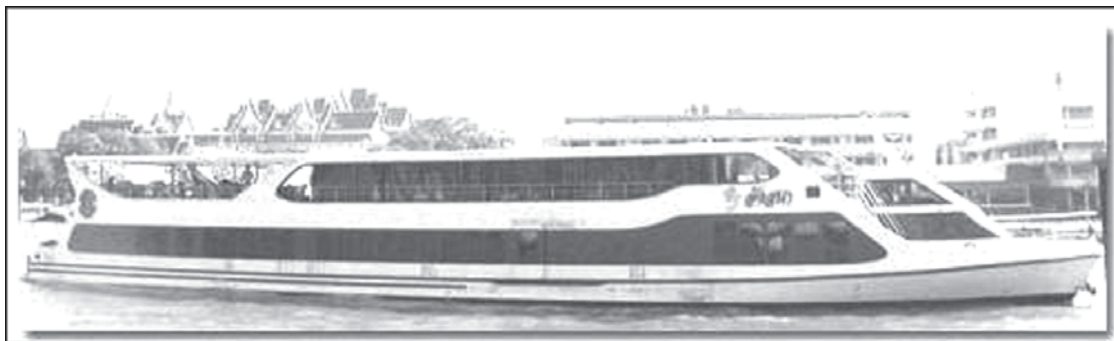
ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ B100 อาจทำให้เกิดการเสื่อมสภาพและการรั่วซึมของท่อทางลำเลียงน้ำมันภายในระบบ ประเก็น ซีลต่าง ๆ ยาง กาว และพลาสติกบางชนิด หากมีการสัมผัสกับน้ำมันไบโอดีเซลเป็นระยะเวลา ยาวนาน ถ้าอุปกรณ์ที่ใช้หรือส่วนประกอบในเครื่องยนต์ที่ต้องสัมผัสกับ B100 ควรทำการเปลี่ยนมาใช้วัสดุเช่น Teflon Viton Fluorinated Plastic และ Nylon ซึ่งมีความเหมาะสมกับ B100 มากกว่า นอกจากนี้ ควรปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญด้านวัสดุ อุปกรณ์เพื่อเลือกวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน นอกจากนี้ควรปรึกษากับผู้ใช้ไบโอดีเซล B100 อื่น ๆ เพราะอาจได้ข้อมูลเพิ่มเติมว่ามีปัญหาใดบ้างที่อาจเกิดขึ้น นอกจากที่ตรวจพบแล้ว อีกทั้งเป็นการรวบรวมเป็นข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุที่สามารถใช้ทดแทนชนิดอื่น ๆ ได้ด้วยเช่นกัน ควรจัดตั้งโปรแกรมการติดตามและประเมินผล เพื่อทำการตรวจสอบอุปกรณ์เดือนละครั้ง ตรวจสอบหารอยรั่ว ซึม และ เสื่อมสลายของซีล โอริง และควรที่จะคอยทำการตรวจสอบ

แม้ระยะเวลาผ่านไป 1 ปี ถังน้ำมันปกติที่ ออกแบบมาสำหรับเก็บน้ำมันดีเซล สามารถใช้เก็บ B100 ได้โดยไม่มีปัญหา วัสดุที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นถังเก็บได้แก่ อะลูมิเนียม ลังเหล็ก Fluorinated Polyethylene, Fluorinated Polypropylene, Teflon และ วัสดุจำพวกไฟเบอร์กลาสเกือบทุกชนิด

ด้วยคุณสมบัติการเป็นเมทิลเอสเทอร์ จากน้ำมันพืช เป็นสาเหตุที่ทำให้ไบโอดีเซล มีความเป็นสารทำลายอย่างดีต่อธรรมชาติ (Natural Rubber) และพลาสติก อื่น ๆ หลายชนิด ส่งผลให้ถังน้ำมัน เชื้อเพลิงรุ่นเก่า ๆ ซิลและประเก็นต่าง ๆ ที่มี วัสดุทำด้วยยางเกิดการเสื่อมตัวลงอย่างช้า ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หากใช้ไบโอดีเซลที่มี สัดส่วนการผสมที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ผลกระทบดังกล่าวจะไม่เกิดขึ้นเมื่อใช้อัตรา

ประเก็นเป็นวัสดุสังเคราะห์รุ่นใหม่ก็สามารถ แก้ปัญหานี้ได้

ท่อที่ได้รับการรับรองจาก US Coast Guard ซึ่งมีความสามารถในการต้านทาน ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ 100 % และผ่านการ ทดสอบ การใช้งานในเรือมาแล้ว เช่น ท่อรุ่น Trident Barrier Fuel Hose, USCG Approved Type A-1, SAEJ1527 (2/93) จากการศึกษาทดสอบโดย Cyto Culture ได้ พิสูจน์ว่าท่อดังกล่าวสามารถทนทานต่อการ ใช้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์เป็นระยะเวลา นานหลายเดือน แม้ว่าท่อที่ใช้ทดสอบจะดูดซับ ไบโอดีเซล และบวมขึ้นเล็กน้อย แต่เมื่อใช้ ส่วนผสมไบโอดีเซล 20% ไม่ปรากฏว่า มีรายงานถึงปัญหากับท่อชนิดนี้ และถึงแม้ จะใช้ไบโอดีเซล 100% อาจเกิดการบวม ขึ้นเล็กน้อย แต่ยังคงสามารถใช้งานต่อไปได้ อีกหลายปี



รูปภาพที่ 4 : เรืออัญสนาใช้น้ำมันไบโอดีเซล 100% เป็นเชื้อเพลิง  
(ที่มา : <http://www.navy.mi.th/rnch/source/angsna.php>)

การผสมในสัดส่วน B20 ปัญหาผลกระทบ จากความเป็นสารทำลายที่ดีของไบโอดีเซล ส่วนใหญ่ มักเกิดขึ้นกับเรือที่ใช้ไบโอดีเซล บริสุทธิ์ 100 % ส่งผลให้ท่อทางลำเลียงน้ำมัน และประเก็นเริ่มมีความเหนียวจากนั้นจะเริ่ม อ่อนตัวและบวมออก ทำให้น้ำมันที่อยู่ในท่อ รั่วซึมไหลหยดออกมาจากข้อต่อ แนวทาง แก้ไขที่ดีที่สุด คือควรเปลี่ยนวัสดุท่อและ

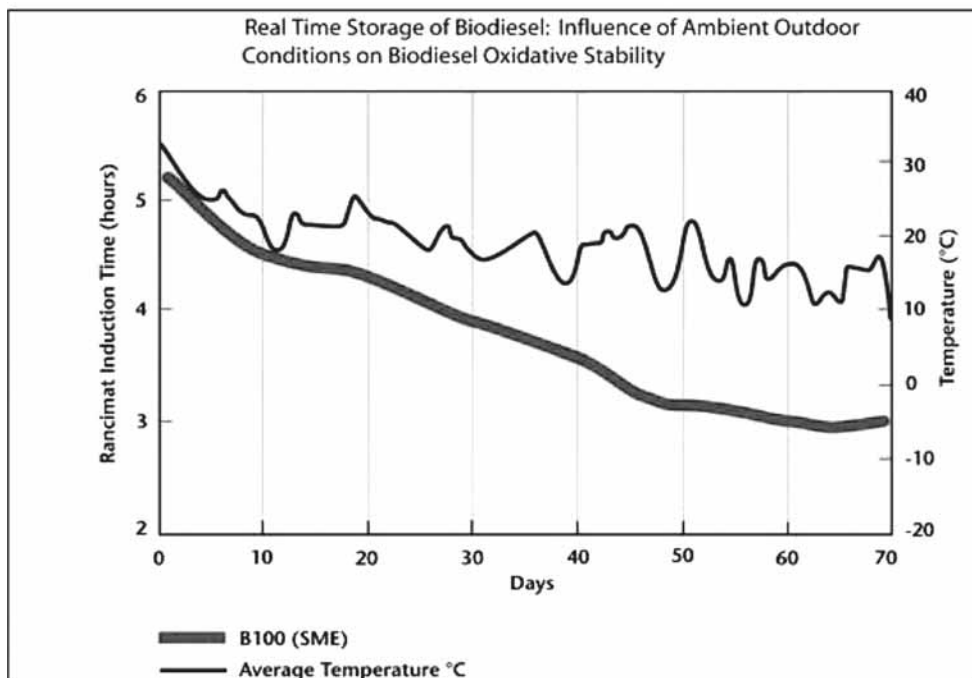
มีการวิจัยสอบถามผู้มีเรือที่ใช้ไบโอดีเซล 100% ในพื้นที่อ่าวชานฟรานซิสโก พบว่ามีเพียง 2% ของกลุ่มผู้ใช้ที่มีปัญหากับการรั่วซึมเกิดจากการบวมของซิลและประเก็น โดยเฉพาะที่บริเวณที่กรองน้ำมัน อย่างไรก็ตาม เมื่อเปลี่ยนมาใช้ประเก็นที่ทำ จากวัสดุสังเคราะห์ที่ทันสมัยแล้ว ก็สามารถ แก้ปัญหาได้ ตัวอย่างเช่น ไล่กรองยี่ห้อ

Raycor สามารถใช้งานได้เป็นปกติกับไบโอดีเซล 100 % ปราศจากปัญหาใด ๆ กับเครื่องยนต์ ที่ใช้ไบโอดีเซล 100% ตลอด 4 ปีที่ใช้งาน อย่างไรก็ตามผู้ใช้งาน 5% รายงานถึงปัญหาเล็กน้อยกับไบโอดีเซล ถ้ามีการหกหรือหยดไหลลงสู่พื้นคาดฟ้าเครื่องยนต์ หรือแม้แต่ผนังห้องเรือ คุณสมบัติการทำละลายของเอสเทอร์ในไบโอดีเซลสามารถลอกสีเก่าบนเครื่องยนต์ และสีบนผนังตัวเรือได้เช่นกัน จึงควรใช้กระดาษซับน้ำมัน หรือ แผ่นดูดซับน้ำมัน ทำความสะอาดพื้นผิวที่มีไบโอดีเซลติดอยู่แล้วล้างอีกครั้งด้วยน้ำอุ่นผสมสบู่

### 3.2 ค่าความเสถียรต่อการเกิดออกซิเดชัน (B100 Oxidative Stability)

ปัญหาความเสถียรต่อการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันดีเซล เป็นปัญหาสำคัญของผู้ผลิตเครื่องยนต์และระบบเชื้อเพลิงดีเซลทุกชนิด ที่ต้องให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง คำว่า Stability นั้น เป็นคำเรียก

กว้าง ๆ ซึ่งอ้างถึงค่าความเสถียรสองชนิด กล่าวคือ 1) ค่าความเสถียรต่อการเก็บระยะยาว (Long-Term Storage Stability) 2) ค่าความเสถียรเมื่ออุณหภูมิ / ความดันสูงขึ้น (Stability at Elevated Temperatures and/or Pressures) ของน้ำมันซึ่งไหลเวียนอยู่ในระบบเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ โดยทั่วไปคำว่า Oxidative Stability นั้นมักจะหมายถึง Long-Term Storage Stability เมื่อเกิดการเสื่อมสภาพของน้ำมัน (Fuel Aging) และการออกซิไดซ์ (Oxidation) ขึ้นในน้ำมันไบโอดีเซล จะส่งผลให้เกิดค่าความเป็นกรดสูงขึ้น (High Acid Number) ทำให้น้ำมันมีความหนืดสูงขึ้นและการเกิดยางเหนียว (Gums and Sediments) ซึ่งสามารถทำให้ไส้กรองอุดตันได้ หากค่าความเป็นกรดค่าความหนืด มีปริมาณที่สูงเกินกว่าที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานไบโอดีเซล เช่น มาตรฐาน ASTM D6751 แล้ว แสดงว่าน้ำมันไบโอดีเซล สูตร B100 เกิดการเสื่อมคุณภาพลง



รูปภาพที่ 5 : สาเหตุจากค่า Oxidative Stability ที่ต่ำอาจทำให้คุณภาพของไบโอดีเซลเสื่อมลงได้ (ที่มา: <http://www.biodieselmagazine.com>)

จนถึงจุดที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (Out of Specification) และไม่ควรนำมาใช้งานอีกต่อไป

เมื่อต้องเก็บน้ำมันไว้เป็นระยะเวลานาน น้ำมันไบโอดีเซลที่มีค่าความเสถียรของการเกิดออกซิเดชันสูง (High Oxidative Stability) จะมีอัตราการเสื่อมสภาพที่ช้ากว่าไบโอดีเซลที่มีค่าความเสถียรของการเกิดออกซิเดชันต่ำ ดังนั้นเพื่อต้องการทราบว่าไบโอดีเซลเกิดการออกซิเดชันขึ้นหรือไม่ก็สามารถทำได้ โดยการตรวจวัดค่าความเป็นกรด (Acid Number) และ ค่าความหนืด (Viscosity) ของตัวอย่างน้ำมันนั้น ๆ โดยการเก็บตัวอย่างน้ำมันมาตรวจวัดค่าเป็นระยะ ๆ ในระหว่างการเก็บรักษาซึ่งจะทำให้ได้ทราบข้อมูลที่สำคัญของน้ำมันอย่างไรก็ตามควรพิจารณาถึงสาเหตุของการเกิดการเสื่อมสภาพของไบโอดีเซลอย่างระมัดระวัง เพราะมีโอกาสที่อาจเกิดความเข้าใจผิดถึงสาเหตุการเกิดการเสื่อมสภาพของน้ำมันได้ เมื่อตรวจพบยางเหนียวและเศษสกปรกในน้ำมัน อาจเกิดขึ้นได้จากสองสาเหตุ คือ

- 1) เกิดจากคุณสมบัติของไบโอดีเซลซึ่งเป็นตัวทำละลายที่ดี (Good Solvent) และ
- 2) เกิดจากการเสื่อมสภาพของไบโอดีเซล เพราะการเก็บไว้เป็นระยะเวลานานเกินไป (Long-Term Storage Stability Problem) ซึ่งทั้งสองกรณีสามารถทำให้เกิดการอุดตันในไส้กรองได้ จึงควรระมัดระวังในการตรวจสอบหาสาเหตุที่แท้จริงของการอุดตันในไส้กรอง ในกรณีที่วัดค่าความเป็นกรดของน้ำมันแล้ว พบว่าน้ำมันไบโอดีเซลอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แสดงว่าเศษตะกอนที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากความสามารถในการเป็นตัวทำละลายที่ดีของไบโอดีเซลมากกว่า มิได้เกิดขึ้นจากสาเหตุการเสื่อมคุณภาพของน้ำมัน

นอกจากนี้ประเด็นสำคัญเกี่ยวข้องกับค่าความเสถียรของน้ำมันไบโอดีเซลดังนี้

- น้ำมันที่ใช้อยู่มีค่าความไม่อิ่มตัวสูง (Unsaturation) มากเท่าไร น้ำมันไบโอดีเซลยังมีแนวโน้มที่จะเกิดการออกซิเดชันมากขึ้นเท่านั้น มีเกณฑ์วัดง่าย ๆ คือ กรดไขมันอิ่มตัว (เช่น 16:0 หรือ 18:0) จะค่อนข้างเสถียร และเมื่อค่าความไม่อิ่มตัวสูงขึ้น (เช่น จาก 18:1 ถึง 18:2 ถึง 18:3) ค่าความเสถียรของน้ำมันจะลดลงไป 10 เท่า ค่าความไม่อิ่มตัวที่เพิ่มขึ้นในโมเลกุลของไบโอดีเซลสามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ทำให้เกิดสารประกอบของ Peroxides ซึ่งจะแตกตัวเป็นกรด ตะกอน และยางเหนียว ชนิดต่าง ๆ

- ความร้อน และแสงแดดจะไปเร่งกระบวนการดังกล่าว ดังนั้นจึงไม่ควรเก็บ B100 ไว้ใกล้แสงแดด

- โลหะบางชนิด เช่น ทองแดง ทองเหลือง ตะกั่ว ดีบุก และสังกะสี สามารถเร่งกระบวนการเสื่อมสภาพ และเพิ่มอัตราการเกิดเศษตะกอนของไบโอดีเซลได้ ดังนั้นจึงไม่ควรเก็บ B100 ไว้ในที่ซึ่งต้องสัมผัสกับโลหะดังกล่าวเป็นระยะเวลานาน

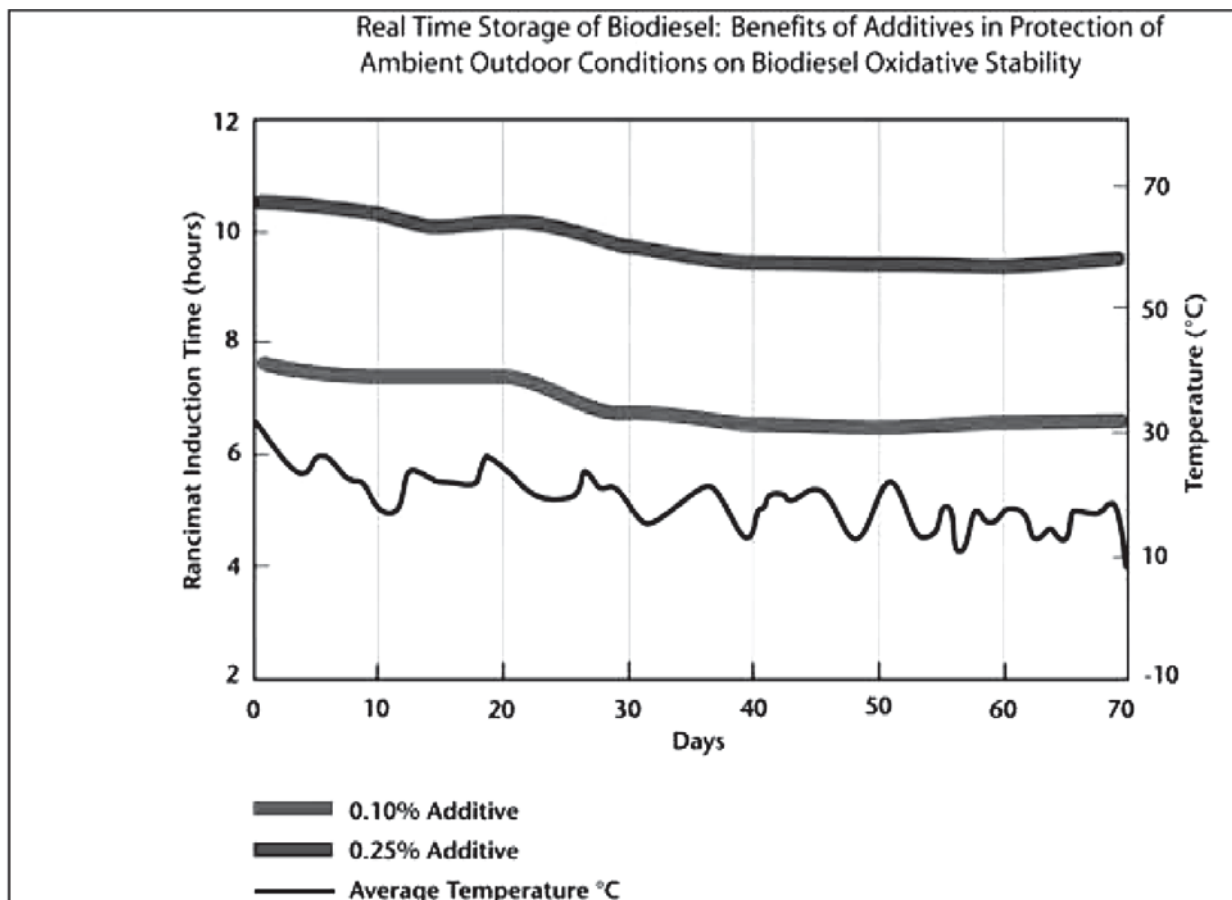
- ในบางกระบวนการของการผลิตไบโอดีเซล อาจทำลายความสามารถในด้านอนุมูลอิสระธรรมชาติ (Natural Anti-Oxidants) ที่มีอยู่ในน้ำมันได้ ทำให้น้ำมันมีค่าความเสถียรลดลงกว่าปกติ โดยทั่วไปน้ำมันพืชและไขมันสัตว์จะมีสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติอยู่ ซึ่งจะช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของน้ำมัน แต่กระบวนการฟอกขาว (Bleaching) กระบวนการตกแต่งกลิ่น (Deodorizing) หรือกระบวนการกลั่น (Distilling) อาจจะทำลายสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติในน้ำมันได้

- การป้องกันไม่ให้เกิดออกซิเจนในน้ำมันเชื้อเพลิง ช่วยลดหรือตัดโอกาสการเกิดอนุมูลอิสระของน้ำมันเชื้อเพลิง และช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้น ในการผลิตเชิงพาณิชย์ของต่างประเทศ มีการใช้ “Nitrogen Blanket” ในถังน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อการป้องกันการเกิดปัญหาดังกล่าว

- การใช้สารต้านอนุมูลอิสระ หรือ Antioxidants เป็นสารเติมแต่ง สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและความเสถียรของ B100

- ปกติแล้วไบโอดีเซลสูตร B100 ที่มีค่าความเสถียรต่ำสุด สามารถเก็บรักษา

ไว้ได้นานประมาณ 8 เดือน ในขณะที่น้ำมันที่มีค่าความเสถียรสูงมาก ๆ สามารถเก็บรักษาไว้ได้นานถึง 1 ปี หรือมากกว่านั้น องค์กร National Biodiesel Board ให้คำแนะนำในเรื่องนี้ว่าควรเก็บรักษาไบโอดีเซลบริสุทธิ์สูตร B100 ไม่นานเกินกว่า 6 เดือน หรือหากต้องเก็บไว้นานกว่านั้น ควรต้องมีการใช้สาร Anti-Oxidants ร่วมด้วย และต้องมีการตรวจวัดค่าความเป็นกรด (Acid Number) และตะกอน (Sediments) รวมทั้งค่าความหนืด (Viscosity) ด้วยเช่นกัน เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าไบโอดีเซลมีค่าคุณสมบัติดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน



รูปภาพที่ 6: ภาพแสดงถึงไบโอดีเซลที่มีอัตราการเสื่อมสภาพลดน้อยลงเนื่องจากการใช้ Additives (ที่มา : <http://www.biodieselmagazine.com>)

### 3.3 การเจือปนของจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในไบโอดีเซล (B100 Microbial Contamination)

เพื่อเป็นการป้องกันปัญหาการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก จำพวกแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์ (Biological Growth) ในน้ำมันเชื้อเพลิงควรมีการใช้สารเคมีป้องกัน (Biocides) ตามความเหมาะสม ไม่ว่าจะเป็นน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมหรือไบโอดีเซล หากเกิดปัญหาการปนเปื้อนของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กแล้ว จำเป็นอย่างยิ่งต้องควบคุมปัญหาการปนเปื้อนของน้ำ (Water Contamination) เพราะเชื้อรา (Aerobic Fungus) แบคทีเรีย (Bacteria) และยีสต์ (Yeast) รวมทั้ง Hydrocarbon Utilizing Microorganisms (HUMBUGS) สามารถเจริญเติบโตที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำมัน-น้ำและเกิดการทำปฏิกิริยากับผิวของถังน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการผุกร่อนได้

### 3.4 ผลกระทบจาก Cleaning Effect ของไบโอดีเซลบริสุทธิ์ (B100 Cleaning Effect)

เมทิลเอสเทอร์ได้ถูกนำมาใช้เป็นสารทำความสะอาดชนิด VOC (Volatile Organic Compound) และสารทำลายมากกว่า 10 ปีแล้ว เมทิลเอสเทอร์เป็นสารที่สามารถนำมาชำระล้างชิ้นส่วนเครื่องจักรได้เป็นอย่างดี และหลายบริษัท ได้เสนอให้ใช้เมทิลเอสเทอร์เป็น VOC เพราะไม่มีสารเป็นพิษทดแทน สารทำความสะอาดที่มีสารระเหยได้ง่ายที่ใช้สำหรับล้างชิ้นส่วนต่างๆ น้ำมันไบโอดีเซลบริสุทธิ์ B100 ซึ่งประกอบไปด้วยสารของเมทิลเอสเทอร์ มีแนวโน้มที่จะทำลายสิ่งตกค้างที่สะสมอยู่ในถังเก็บน้ำมัน และถังน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องดีเซลได้ ซึ่งสิ่งตกค้างเหล่านี้ อาจหลุดร่อนออกมา

อุดตันไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง บางครั้งอาจเป็นสาเหตุทำให้ไส้กรองเชื้อเพลิงแตกหรือเสียหายได้ นอกจากนี้สิ่งตกค้างดังกล่าวสามารถหลุดร่อนผ่านเข้าสู่ระบบหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ ซึ่งหากเกิดขึ้นแล้วสามารถทำให้เกิดการอุดตันของหัวฉีด รวมทั้งเกิดการเสียหายต่อหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงได้ หากต้องการใช้ B100 เป็นครั้งแรกควรทำความสะอาดถังบรรจุต่างๆ ในระบบเชื้อเพลิงที่เศษตะกอนหรือสิ่งตกค้างใด ๆ สามารถเกิดขึ้นได้ก่อนจะทำการเติม B100

โดยปกติแล้วอัตราการเกิด Cleaning Effect ในเครื่องยนต์ ขึ้นอยู่กับปริมาณสิ่งตกค้างในระบบ (หากไม่มีสิ่งตกค้างที่อยู่ในระบบก็ไม่มีผลเสียหายแต่อย่างใด) และสัดส่วนการผสมของไบโอดีเซลที่ใช้ ผลกระทบจาก Cleaning Effect ยิ่งสูงมากขึ้นหากใช้ B100 หรือสัดส่วนการผสมของไบโอดีเซลที่สูงกว่า 35% ขึ้นไป เมื่อเปรียบเทียบกับ B20 หรือน้ำมันที่มีสัดส่วนของไบโอดีเซลที่ต่ำกว่า โดยส่วนใหญ่ผู้ใช้มักจะไม่ทำความสะอาดถังน้ำมันก่อนใช้ไบโอดีเซล จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ควรมีไส้กรองลำกรองไว้พร้อมเสมอ และคอยกำกับดูแลตรวจสอบ โอกาสที่ไส้กรองจะเกิดการอุดตันไว้ให้มากกว่าปกติ เมื่อจะเริ่มใช้ไบโอดีเซลเป็นครั้งแรกโดยเฉพาะเมื่อสัดส่วนของไบโอดีเซลสูงเกินกว่า B20 ผลกระทบจาก Cleaning Effect จะลดน้อยลงเมื่อใช้ไบโอดีเซล B20 หรือไบโอดีเซลที่มีสัดส่วนการผสมน้อยลงจนทำให้เกิดปัญหาดังกล่าวน้อยมาก อย่างไรก็ตาม การใช้ B20 ในครั้งแรกอาจก่อให้เกิดการอุดตันของไส้กรองบ้างเล็กน้อย ดังนั้นผู้สมควรจะตระหนักว่าเศษตกค้างต่างๆ ในระบบ

อาจทำให้ไส้กรองอุดตันในช่วง 2-3 สัปดาห์แรกของการใช้ B20 ซึ่งหากปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้น ก็จะค่อย ๆ หายไปหลังจากการใช้น้ำมันหมดไป 2-3 ถังแรก นอกจากนี้ควรระมัดระวังและคอยทำความสะอาดไบโอดีเซลที่หกอยู่ที่พื้น เพราะสามารถล่อกร่อนสีของเครื่องยนต์ได้หากทิ้งไว้และไม่เช็ดออกในทันที และวัสดุทุกชนิดที่ใช้ทำความสะอาดไบโอดีเซลที่หกนั้น ควรมีความระมัดระวังเช่นกัน เพราะสามารถติดไฟได้ ควรเก็บรักษาในกระป๋องสำหรับเก็บโดยเฉพา (Safety Can)

#### 4. แนวทางการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลให้ได้มาตรฐานสากล

1) พิจารณาวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับผลิตไบโอดีเซล ทั้งในเรื่องของปริมาณวัตถุดิบที่ต่อเนื่องและเพียงพอ ความยากง่ายในการจัดหาวัตถุดิบ คุณภาพ วัตถุดิบที่สม่ำเสมอมีมาตรฐาน และราคาที่เหมาะสมเมื่อนำไปผลิตไบโอดีเซลแล้วสามารถแข่งขันได้ รวมถึงศักยภาพของวัตถุดิบในอนาคต

2) การเลือกสถานที่ในการผลิต ควรคำนึงถึงต้นทุนค่าขนส่งวัตถุดิบเข้าโรงงานและค่าขนส่งไบโอดีเซลถึงผู้บริโภคที่ต่ำที่สุด

3) พิจารณาอุปสงค์และช่องทางการตลาดของน้ำมันไบโอดีเซล

4) เลือกเทคโนโลยีการผลิตและกำลังการผลิตที่เหมาะสมกับวัตถุดิบ เงินลงทุน และใช้พลังงานต่ำในการผลิต

5) เลือกรูปแบบการผลิต (แบบไม่ต่อเนื่อง/แบบต่อเนื่อง) ที่เหมาะสม

- การผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch Production Process) มีข้อดี คือ การลงทุนอุปกรณ์ไม่สูง แต่คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาจมีความไม่สม่ำเสมอ และมีกำลังการผลิตต่อครั้งไม่มากนัก

- การผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous Production Process) เป็นกระบวนการที่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพสม่ำเสมอพื้นที่ในการติดตั้งน้อยกว่าแบบไม่ต่อเนื่องด้วยอัตรากำลังการผลิตเท่ากัน แต่ทั้งนี้มีการลงทุนสูงกว่า เนื่องจากต้องมีระบบควบคุมการผลิตด้วย

6) ไบโอดีเซลที่ผลิตได้ต้องมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน

7) คำนึงถึงการจัดการกลีเซอริน ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล การผลิตไบโอดีเซล มีปริมาณกลีเซอรินดิบ เกิดขึ้นร้อยละ 10-15 โดยน้ำหนักของปริมาณผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล กลีเซอรินดิบที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซลมีองค์ประกอบของกลีเซอริน สบู โซเดียมไฮดรอกไซด์ ไบโอดีเซล เมทานอล และน้ำ ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลยังไม่สามารถนำกลีเซอรินมาใช้ประโยชน์ได้โดยตรง เนื่องจากต้องเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามกลีเซอรินที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซลสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ดังนี้

- เป็นวัตถุดิบในการเผาเพื่อใช้พลังงานความร้อนที่สามารถนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิต

- กลีเซอรินดิบที่มีองค์ประกอบของกลีเซอริน 60% โดยน้ำหนักสามารถใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับโรงงานผลิตกลีเซอรินบริสุทธิ์

8) ควรมีการจัดการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิต

9) คำนึงถึงความปลอดภัยในการดำเนินการ โดยเฉพาะการดำเนินงานกับเมทานอล ซึ่งเป็นสารอันตรายและไวไฟ ควรจัดอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลตามความเหมาะสมกับประเภทของงาน เช่น ผ้า

ปิดปาก จมูก ถุงมือ หมวกป้องกันครีษะ และ เครื่องป้องกันเสียง เป็นต้น

## 5. แนวทางการนำน้ำมันไบโอดีเซลไปใช้ในเรือ

การนำน้ำมันไบโอดีเซลมาใช้ในเรือ ชนิดต่าง ๆ ของกองทัพเรือ นั้น ควรศึกษา ก่อนว่าบริษัทผู้ผลิตเครื่องยนต์เรือรุ่นที่ใช้งานนั้น ยอมรับการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซล ได้หรือไม่ ถ้าผู้ผลิตหรือผู้แทนจำหน่าย ยอมรับการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลแล้ว มาตรฐานน้ำมันระดับใดที่เป็นที่ยอมรับ (เช่น มาตรฐาน ASTM หรือ มาตรฐานยุโรป) ยอมรับได้ในสัดส่วนน้ำมันไบโอดีเซลเท่าไร มีผลต่อการรับประกันหรือไม่อย่างไร ซึ่งผู้ใช้งานต้องทำการศึกษารื่องดังกล่าวให้ถ่องแท้ ก่อนการใช้ไบโอดีเซลในเครื่องยนต์เรือ ใน การใช้งานควรเริ่มต้นจากการใช้ไบโอดีเซล ในรูปแบบการผสมกับน้ำมันดีเซลปกติใน สัดส่วนที่ต่ำก่อน เช่น น้ำมันไบโอดีเซลสูตร B2 หรือ B5 จากนั้นจึงค่อยเพิ่มปริมาณ สัดส่วนของน้ำมันไบโอดีเซลให้สูงขึ้นเป็น B20 ซึ่งการใช้ไบโอดีเซลในอัตราส่วน ดังกล่าว จะสามารถลดควันดำ ก๊าซเสีย กลิ่นเหม็น และมลพิษลงได้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อมีวัตถุดิบและความสามารถในการผลิต สูงขึ้น จึงค่อยเพิ่มปริมาณสัดส่วนไบโอดีเซล เป็น B100 ตลอดเวลาการใช้งานควรพึง ระลึกไว้เสมอถึงข้อควรระวังต่าง ๆ ของการใช้ ไบโอดีเซล ดังต่อไปนี้

1) เมื่อเปรียบเทียบไบโอดีเซลกับ น้ำมันดีเซลทั่วไปแล้ว ไบโอดีเซลจะให้ ค่ากำลังงานต่อหน่วยต่ำกว่า 5% - 7% เมื่อ ต้องการใช้ไบโอดีเซลในเครื่องยนต์เรือ สิ่งที่ไม่ควรกระทำคือการเปลี่ยน Engine Rating เพื่อจะได้ชดเชยกับค่ากำลังงานที่ลดลง

มีฉะนั้นอาจเกิดปัญหาขึ้นเมื่อเครื่องยนต์ เปลี่ยนกลับมาใช้น้ำมันดีเซลตามปกติ

2) ควรตรวจสอบซีลและประเก็น ต่าง ๆ ที่สัมผัสกับไบโอดีเซลอยู่เป็นระยะ ๆ

3) ในการเก็บรักษาไบโอดีเซลไว้เป็น ระยะเวลาาน ถ้าเก็บที่อุณหภูมิต่ำ (ต่ำกว่า 5°C) ควรเก็บน้ำมันไว้ในสถานที่ซึ่งให้ ความร้อนหรือเก็บไว้ในถังที่มีเครื่องทำความร้อน สำหรับการใช้ในเครื่องยนต์ใน สภาพที่เย็นจัดระบบเชื้อเพลิงควรมีเครื่องอุ่น ความร้อนไม่ว่าในท่อทางน้ำมัน ไล์กรองน้ำมัน และถังน้ำมัน ถ้าไม่ระมัดระวังดูแล อาจเกิด ปัญหาการจับตัวเป็นวุ้นของน้ำมันได้ ซึ่งจะ ส่งผลให้ไล์กรองอุดตัน

4) ไบโอดีเซลมีค่าความเสถียร ต่อการเกิดออกซิเดชันต่ำ (Low Oxidation Stability) ซึ่งจะส่งผลเสียต่อคุณภาพ ของน้ำมัน หากต้องเก็บไว้ในถังเก็บเป็น ระยะเวลาาน เพราะค่า Oxidation Stability ที่ต่ำ สามารถเร่งการเกิด Fuel Oxidation ใน ระบบน้ำมันของเครื่องยนต์ได้ โดยเฉพาะ อย่างยิ่งสามารถเกิดขึ้นในเครื่องยนต์ที่เป็น แบบ Electronic Fuel Systems เพราะ เครื่องยนต์เหล่านี้ทำงานที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงควรพิจารณาการใช้สารเติมแต่ง (Additives) เช่น สารต้านการเกิดอนุมูล อิสระที่เหมาะสม (Oxidation Stability Additives) ผสมไปในน้ำมันไบโอดีเซล ระหว่างการผลิต

5) ไบโอดีเซลสามารถเป็นที่เจริญ เติบโตและสะสมของสิ่งมีชีวิตจำพวก แบคทีเรียหรือจุลินทรีย์ได้ (Microbial Contamination and Growth) ซึ่งจะเป็น สาเหตุทำให้เกิดการผูกกร่อนในระบบเชื้อเพลิง และการอุดตันของไล์กรองน้ำมันได้ จึงอาจมี ความจำเป็นต้องใช้สารเติมแต่ง Anti-



Microbial Additives ด้วย

6) ควรคอยระมัดระวังไม่ให้เกิดน้ำหรือความชื้นขึ้นในถังน้ำมันเชื้อเพลิง เพราะน้ำและความชื้นจะเป็นตัวเร่งให้เกิด Microbial Contamination ได้ง่ายขึ้น Microbial Contamination เกิดขึ้นในไบโอดีเซลได้ง่ายกว่าการเกิดในน้ำมันดีเซลทั่วไป

7) สิ่งสำคัญที่สุดที่จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาดังกล่าวมาจากการควบคุมคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล ในระหว่างขั้นตอนการผลิตให้มีคุณภาพที่สูงที่สุดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ หากจำเป็นควรมีการจัดหาสารเติมแต่งจำพวก Antioxidation และ Biocides ซึ่งจะช่วยปรับแต่งคุณภาพของน้ำมันให้มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น

8) การนำไบโอดีเซลไปใช้ในเครื่องยนต์เรือ สามารถกระทำได้โดยไม่มีปัญหาและไม่มีผลจำเป็นต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ ถ้าใช้ในอัตราส่วน B20 แต่หากถ้าต้องการใช้ B100 ต้องทำการเปลี่ยนท่อน้ำมันที่เป็นยางธรรมชาติ (ซึ่งปัจจุบันเครื่องยนต์รุ่นปัจจุบันไม่มียางธรรมชาติเป็นส่วนประกอบในระบบแล้ว) มาใช้ท่อที่ทำด้วยวัสดุสังเคราะห์ ซึ่งสามารถหาซื้อได้ทั่วไปก็สามารถใช้ไบโอดีเซลสูตร B100 ได้โดยไม่มีปัญหาใด ๆ

9) มีข้อควรระวังสำหรับการใช้ไบโอดีเซลสูตร B100 คือ หากทำไบโอดีเซลหกหรือไปสัมผัสกับแผ่นยางธรรมชาติและพื้นผิวที่ทำไว้ด้วยสีเก่า ๆ อาจเกิดการบวมของยางและการลอกกร่อนของสีออกได้ เป็นผลเสียในระยะยาว เนื่องจากคุณสมบัติพิเศษของไบโอดีเซลที่เป็นสารละลาย ดังนั้นจึงควรอาศัยความระมัดระวัง เมื่อมีการหกควรเช็ดล้างด้วยน้ำสบู่และเช็ดให้แห้งทุกครั้ง

10) B100 สามารถจับตัวเป็นก้อน

ที่อุณหภูมิสูงกว่าน้ำมันดีเซลทั่วไป ซึ่งเป็นจุดที่ควรระมัดระวังเมื่อต้องใช้ B100 น้ำมันไบโอดีเซล B100 เริ่มเกิดการขุ่น (Cloud) ที่อุณหภูมิมระหว่าง 0°C-15°C ดังนั้นอาจจำเป็นต้องมีระบบให้ความร้อนกับท่อน้ำมัน และถังเชื้อเพลิง ถ้าอากาศเย็นลงอยู่ในช่วงดังกล่าว เมื่อ B100 เกิดการจับตัวเป็นก้อน ความหนืดจะเริ่มสูงขึ้น จนถึงระดับที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลทั่วไปมาก ซึ่งจะเป็สาเหตุให้เกิดแรงเครียด (Stress) ในปั้มน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Pumps) และระบบหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Injection Systems) สิ่งนี้เป็นสาเหตุหลักอันหนึ่งที่คนส่วนใหญ่นิยมใช้ไบโอดีเซลผสม (Biodiesel Blends)

11) สำหรับถังเก็บที่ถูกออกแบบมาสำหรับเก็บน้ำมันดีเซล สามารถทำการเก็บรักษาน้ำมันไบโอดีเซลได้อยู่แล้วโดยไม่ต้องก่อให้เกิดปัญหาใด ๆ วัสดุที่ใช้ทำถังเก็บ เช่น Aluminium, Steel, Fluorinated Polyethylene, Fluorinated Polypropylene และ Fiberglass

12) ในต่างประเทศ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา และ ยุโรป มีการใช้ไบโอดีเซลในเรือมานานกว่า 15 ปี แล้ว โดยมีวัตถุประสงค์หลักในการรักษาสภาพแวดล้อมทางน้ำและทะเล ให้ได้รับผลกระทบน้อยลงจากการใช้น้ำมันดีเซลปิโตรเลียม ซึ่งก่อให้เกิดมลพิษสูงกว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากพืช ทั้งด้านมลพิษทางอากาศ คาร์บอน และกลิ่นที่รบกวนต่อสภาพแวดล้อมทางทะเล น้ำมันไบโอดีเซลเมื่อเกิดการรั่วไหลสู่สิ่งแวดล้อม สามารถย่อยสลายได้ง่าย และรวดเร็วกว่าน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมซึ่งมีพิษต่อสิ่งแวดล้อม

13) น้ำมันที่มีส่วนผสมของไบโอดีเซล

ดีเซลเพียงแค่ 2% (B2) สามารถช่วยเพิ่มคุณสมบัติการหล่อลื่น (Lubricity) ของน้ำมันดีเซล ซึ่งจากการศึกษาการสึกหรอของเครื่องยนต์ในระยะยาวในประเทศเยอรมนี พบว่าการใช้น้ำมันไบโอดีเซลบริสุทธิ์ 100% ช่วยลดการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลได้เกินกว่าครึ่งเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลปิโตรเลียม คุณสมบัติความหล่อลื่นของน้ำมันมีความสำคัญอย่างยิ่งในการลดการสึกหรอในส่วนประกอบเครื่องยนต์ซึ่งปกติหล่อลื่นด้วยเชื้อเพลิงมากกว่าน้ำมันหล่อลื่น ดังนั้นการนำไบโอดีเซลไปใช้ในเรือตรวจการณ์ใกล้ฝั่ง เพียงแค่ 2% จะช่วยรักษาสภาพเครื่องยนต์เรือให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานยิ่งขึ้น

14) การผสมไบโอดีเซล 20% จะไม่พบความแตกต่างในเรื่องกำลังเครื่องยนต์ (Power Output) แต่หากเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจุดระเบิดด้วยไบโอดีเซล และยังช่วยให้เครื่องยนต์เดินเรียบกว่าปกติด้วย

## 6. แนวทางการเก็บรักษาและการขนส่งน้ำมันไบโอดีเซล

### 6.1 แนวทางการเก็บรักษาไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลมีค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ประมาณ 0.88 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะ ที่ 0.85 ดังนั้นหากใส่ไบโอดีเซลลงในถังเปล่าแล้วเติมน้ำมันดีเซลลงไปช้า ๆ อาจจะทำให้การผสมไม่เข้ากันเป็นเนื้อเดียว หรืออาจไม่ผสมกันเลย เพราะไบโอดีเซลมีน้ำหนักมากกว่า จึงอาจตกลงไปอยู่รวมกันที่ก้นถัง โดยปกติแล้วปั๊มสูบน้ำมันจะดูดน้ำมันจากก้นถัง และหากการผสมไม่เข้ากัน

อย่างดีแล้ว ที่ก้นถังอาจมีไบโอดีเซลรวมตัวกันอย่างหนาแน่น โดยเฉพาะในช่วงที่มีอากาศเย็นอาจทำให้ไบโอดีเซลเริ่มจับตัวเป็นก้อน เกิดอุดตันในไส้กรอง และเกิดขึ้นเจลขึ้นที่ก้นถังได้ มีวิธีการทดสอบง่าย ๆ ที่สามารถตรวจสอบว่าการผสมในถังเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์หรือไม่ โดยวิธีแรก อาจเก็บตัวอย่างจากน้ำมันก้นถัง ส่วนบนและส่วนกลางของถัง (สามารถดูได้จากมาตรฐาน ASTM D4057 เพื่อเป็นแนวทาง ในการเก็บตัวอย่างจากถังน้ำมัน) และนำมาวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ไบโอดีเซลโดยการใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Infrared Spectroscopy หรือโดยใช้วิธีการปกติที่ใช้ในการวัดความหนาแน่น หรือค่าแรงโน้มถ่วงจำเพาะที่มีอยู่แล้ว เช่น เครื่อง Digital Density Meter และ Hydrometer หากค่าที่วัดได้ไม่เปลี่ยนแปลงเกินกว่า 0.006 หน่วยจากการวัดค่าความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ส่วนบนจนถึงก้นถังแล้ว แสดงว่าเกิดการผสมได้อย่างเพียงพอแล้ว สำหรับวิธีการที่สองคือการนำตัวอย่างไบโอดีเซลในถังจาก 3 ระดับไล่ไว้ในช่องแช่แข็ง และใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิแล้วตรวจสอบทุก ๆ 5 นาที จนกระทั่งน้ำมันตัวอย่างใดตัวอย่างหนึ่งจากสามตัวอย่างเริ่มเกิดผลึก บันทึกอุณหภูมิไว้ จากนั้นตรวจสอบทุก 2-3 นาที จนกระทั่งตัวอย่างทั้งสามเกิดผลึกขึ้น ให้เปรียบเทียบอุณหภูมิการเกิดผลึกของตัวอย่างทั้งสาม ทั้งหมดควรเกิดขึ้นในช่วง 5<sup>o</sup> F - 6<sup>o</sup> F (3<sup>o</sup> C) หากไม่เป็นเช่นนั้นแล้ว น้ำมันควรต้องการการผสมให้เข้ากันมากขึ้นกว่าเดิม

แนวทางที่ดีที่สุดในการเก็บไบโอดีเซล B100 ในช่วงที่มีอากาศเย็นจัด คือการเก็บรูปของ B20 หรือ ไบโอดีเซลผสมใน

สัดส่วนต่าง ๆ กันโดยเร็วที่สุด เท่าที่สามารถกระทำได้ไม่ว่าจะอยู่ในช่วงไหนของปีเพราะ B100 ไม่สามารถเก็บไว้ได้นานเท่ากับไบโอดีเซลผสมเนื่องจากปัญหาเรื่องอากาศเย็น แต่หากจำเป็นต้องเก็บ B100 ควรเก็บไว้ในถังซึ่งให้ความร้อน ข้อสำคัญควรเก็บตัวอย่าง (ประมาณ 1 แกลลอน) ของดีเซลและ B100 ไว้ก่อนการผสม เพราะหากใช้น้ำมันผสมได้โดยไม่เกิดปัญหาใด ก็จะสามารถเทตัวอย่างนี้กลับไปผสมรวมได้ใหม่ แต่หากเกิดปัญหาอะไรขึ้น ตัวอย่างที่เก็บไว้เหล่านี้ จะช่วยตอบได้ว่า สาเหตุของปัญหาเกิดขึ้นจากน้ำมันหรือสิ่งอื่น

ไบโอดีเซลสามารถเก็บรักษาไว้ได้เป็นระยะเวลาในถังเก็บซึ่งไม่มีอากาศถังเก็บควรได้รับการป้องกันจากสภาพอากาศ แสงแดด และอุณหภูมิที่ต่ำ และควรหลีกเลี่ยงการเก็บไบโอดีเซลไม่เต็มถังเป็นระยะเวลานาน โดยเฉพาะในสถานที่เปียกชื้น การกลั่นตัวของน้ำในถังน้ำมัน สามารถทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของน้ำมันดีเซลธรรมดา และไบโอดีเซลในระยะยาวได้ สำหรับอุณหภูมิที่ต่ำสามารถทำให้ไบโอดีเซลจับตัวเป็นก้อนได้ แต่เมื่อให้ความร้อน ไบโอดีเซลจะกลับคืนเป็นของเหลวอีกครั้ง เมื่อต้องการใช้ หรือเก็บไบโอดีเซลในที่เย็นจัด (อุณหภูมิลดต่ำกว่า 0<sup>o</sup> C) สามารถใช้สารเติมแต่งหรือ Additives เพื่อป้องกันการเกิดวุ้น นอกจากนี้ควรรักษาระดับน้ำมันเชื้อเพลิงในถังให้เต็มอยู่เสมอเท่าที่สามารถทำได้ (ไม่ว่าในน้ำมันจะมีส่วนผสมของไบโอดีเซลอยู่หรือไม่ก็ตาม) โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝน หรือในช่วงที่ไม่ค่อยมีการใช้น้ำมันเพื่อลดการเกิดโอกาสการกลั่นตัวของความชื้นในอากาศเป็นน้ำ น้ำที่เกิดการกลั่นตัวจากความชื้นรวมตัวที่ก้นถังอาจเป็น

สาเหตุให้เกิดการผูกของถังน้ำมันเชื้อเพลิงได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมที่มีส่วนผสมของกำมะถัน น้ำที่เกิดการกลั่นตัวในถังน้ำมันเชื้อเพลิง ยังสามารถเป็นปัจจัยให้เกิดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและเชื้อราชนิดที่ใช้ไฮโดรคาร์บอนในดีเซลปิโตรเลียมและไบโอดีเซลเป็นแหล่งอาหาร แบคทีเรียและเชื้อราดังกล่าวสามารถก่อตัวขึ้นในลักษณะแผ่นฟิล์ม หรือแผ่นเมือกในถังเชื้อเพลิงเกิดการรวมตัวกันเข้าเป็นตะกอนเมื่อเวลาผ่านไป นอกจากนี้คุณสมบัติของไบโอดีเซลซึ่งเป็นตัวทำละลายที่ดี สามารถไปลอกครอนแผ่นฟิล์มหรือแผ่นเมือกที่อาจเกิดขึ้นหลุดออกมา และอาจสร้างความเสียหายให้เกิดขึ้นได้หากเกิดการอุดตันขึ้นในไส้กรองน้ำมัน อาจเป็นสาเหตุให้เกิดการหยุดทำงานของเครื่องยนต์อย่างฉับพลัน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องคอยตรวจสอบไส้กรองของเครื่องยนต์ดีเซลที่ทำการดัดแปลงมาใช้ไบโอดีเซล โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากเป็นถังเชื้อเพลิงเก่าหรือไม่สะอาด

Biocides เป็นสารเคมีที่ใช้สำหรับทำลายหรือกำจัดแบคทีเรียและเชื้อรา (Microbes) ที่เจริญเติบโตขึ้น ในถังน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งสารดังกล่าวจะไม่เกิดผลข้างเคียงต่อการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงหรือการปฏิบัติงานของเครื่องยนต์ ถึงแม้จะมีการใช้ในส่วนผสมที่เจือจาง Biocides จะสามารถชะลอการเจริญเติบโตของแบคทีเรียหรือเชื้อราได้เป็นระยะเวลานาน อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเป็นสารมีพิษ ซึ่งต้องปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้จำหน่ายอย่างเคร่งครัด ไม่ควรสัมผัสหรือทำสารหกสิ่งสำคัญคือ Biocides สามารถกำจัด Microbes เหล่านี้ได้แต่ไม่ได้ช่วยในการ

กำจัดเศษตะกอนที่อาจจับตัวเป็นก้อน จึงอาจมีความจำเป็นต้องทำการเปลี่ยนไส้กรอง น้ำมันบ่อยมากขึ้นกว่าเดิม

ปัญหาการเกิดการอุดตันจากเมือก เชื้อราหรือเศษตะกอนในไส้กรอง จะเป็นปัญหาหนักมากขึ้นในกรณีที่ไม่ค่อยมีการใช้เรือบ่อยนักซึ่งจะทำให้เกิดการติดแน่นของตะกอนในถังน้ำมัน เมื่อเวลาผ่านไปสักระยะหนึ่งเมื่อนำเรือกลับมาใช้อีกครั้ง เศษตะกอนเหล่านั้นจะหลุดร่อนออกมาเกิดการสะสมในไส้กรอง ทำให้เกิดการอุดตันได้ และจะส่งผลให้เครื่องดับในที่สุด ส่งผลเสียหายต่อเครื่องยนต์ในภายหลัง เมื่อมีการใช้ไบโอดีเซลในถังน้ำมันเก่าที่สกปรก จะทำให้เกิดปัญหาดังกล่าวขึ้นได้หากไม่มีการระมัดระวัง ฉะนั้นผู้ใช้งานในเรือควรพึงระวัง และคอยตรวจสอบไส้กรองอยู่เสมอโดยเฉพาะหากต้องใช้ไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ที่มีสภาพเก่า

## 6.2 แนวทางการขนส่งไบโอดีเซล B100

เช่นเดียวกับดีเซลจากปิโตรเลียม มีความสำคัญอย่างยิ่งที่ควรทำการขนส่ง B100 ในลักษณะที่จะไม่ทำให้เกิดการปนเปื้อนจากสิ่งต่าง ๆ วิธีการที่จะกล่าวต่อไปเป็นการแนะนำและดำเนินการโดยผู้จัดจำหน่าย และผู้ขนส่งน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม เมื่อทำการขนส่งน้ำมันไบโอดีเซลทางรถบรรทุกซึ่งใช้ถังบรรจุเป็นชนิดอะลูมิเนียม เหล็กคาร์บอน หรือสแตนเลสสตีล ควรปฏิบัติดังนี้ คือ

- 1) ตรวจสอบความถูกต้องและความสะอาดของภาชนะบรรจุ
- 2) ตรวจสอบถึงการบรรจุก่อนหน้านี้ และสิ่งตกค้าง โดยปกติแล้วยอมรับได้แต่น้ำมันดีเซล ถ้าหากภาชนะบรรจุไม่ผ่านการทำความสะอาด อาจมีสิ่งตกค้างบางอย่างหลงเหลืออยู่ที่ไม่สามารถยอมรับได้ เช่น

ผลิตภัณฑ์อาหาร หรือน้ำมันพืชดิบ น้ำมันเบนซิน สารหล่อลื่น

3) ตรวจสอบว่าไม่มีน้ำหรือความชื้นหลงเหลืออยู่

4) ท่อทาง และซิลิโคนท่อ เหมาะสำหรับการใช้ B100

5) พิจารณาความจำเป็นสำหรับการใช้ฉนวนความร้อน หรือวิธีการให้ความร้อนต่อรถบรรทุกหรือรถราง หากต้องขนส่งในช่วงหน้าหนาวหรืออากาศเย็น

สำหรับในช่วงหน้าหนาว ควรทำการขนส่งไบโอดีเซล B100 ในลักษณะดังนี้

1) ขนส่งไบโอดีเซลภายใต้ความร้อน (หรืออุ่น) ในรถบรรทุกสำหรับการขนส่งโดยทันที (80°F - 130°F)

2) ขนส่งไบโอดีเซลภายใต้อุณหภูมิสูง (129°F - 130°F) ในรถไฟสำหรับการส่งภายใน 7 - 8 วัน

3) ขนส่งไบโอดีเซลภายใต้สภาพแข็งตัว ขนส่งทางรถไฟพร้อมติดตั้งขดลวดให้ความร้อนภายนอก (เชื้อเพลิงไปถึงจะถูกละลายที่สถานีปลายทาง)

4) ผสมกับน้ำมันดีเซล หรือน้ำมันก๊าด หรือเชื้อเพลิงที่มีอุณหภูมิจุดขุ่นต่ำ ทางรถไฟหรือรถบรรทุก

ไม่ว่าไบโอดีเซลจะมาถึงในลักษณะใด จะต้องถูกย้ายและจัดการโดยการใช้วิธีการที่จะไม่ทำให้อุณหภูมิ B100 หรือไบโอดีเซลผสมมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดขุ่น (Cloud Point) ของไบโอดีเซล อุณหภูมิภายนอก และช่วงเวลาที่ใช้ในการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาเมื่อต้องทำการขนส่ง หรือเคลื่อนย้าย B100 เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำมันไม่เกิดการแข็งตัวในระหว่างการขนส่ง

## บทสรุป

คุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงเป็นสิ่งที่สำคัญมากของไบโอดีเซล ไบโอดีเซลที่ดีต้องมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมมากที่สุด ทั้งนี้เพื่อนำไปใช้จะสามารถใช้ได้โดยตรงโดยไม่ต้องมีการดัดแปลงเครื่องยนต์ และไม่กระทบต่อผลที่อาจเกิดขึ้นกับเครื่องยนต์อื่น ๆ เช่น ค่าน้ำมันที่ออกมาจากเครื่องยนต์จะต้องไม่เกินค่ามาตรฐานเป็นต้น เมื่อนำคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลมาเปรียบเทียบกับไบโอดีเซลตามมาตรฐานการทดสอบของประเทศสหรัฐอเมริกา จะเห็นว่าคุณสมบัติที่สำคัญเกือบทั้งหมดจะอยู่ในช่วงเดียวกัน ค่าความหนืดของไบโอดีเซลจะอยู่ในช่วงเดียวกับมาตรฐานของน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม สำหรับค่าความร้อนของไบโอดีเซลจะต่ำกว่าของน้ำมันดีเซลประมาณ 15% กล่าวคือ ไบโอดีเซลจะให้กำลังที่ต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล อย่างไรก็ตามก็ดีด้วยความใกล้เคียงของคุณสมบัติอื่น ๆ จึงทำให้ไบโอดีเซลสามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้เป็นอย่างดี

แม้ว่าน้ำมันไบโอดีเซลจะมีคุณสมบัติทุกอย่างใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล จากปิโตรเลียมก็ตาม แต่ก็ควรใช้และเก็บรักษาไบโอดีเซลด้วยความรอบคอบ และควรตระหนักถึงคุณสมบัติที่แตกต่างของไบโอดีเซลไว้เสมอ เช่น ผลกระทบจากไบโอดีเซลต่อวัสดุที่ใช้ภายในเครื่องยนต์ (B100 Material Compatibility) ค่าความเสถียรต่อการเกิดออกซิเดชัน (B100 Oxidative Stability) การเจริญของจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในไบโอดีเซล (B100 Microbial Contamination) และผลกระทบจาก Cleaning Effect ของไบโอดีเซลบริสุทธิ์ (B100 Cleaning Effect) ซึ่งหากผู้ใช้มีความระมัดระวังและปฏิบัติตามคำแนะนำที่ได้กล่าวไปแล้ว ก็จะช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดผลกระทบที่ไม่พึงปรารถนาต่อเครื่องยนต์ลงได้ และเป็นการสร้าง ความเชื่อมั่นให้กับผู้ใช้ด้วยเช่นกัน

## บรรณานุกรม

- คณะกรรมการการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร. พลังงานทดแทน เอทานอล และไบโอดีเซล. กรุงเทพฯ, แปลนพริ้นท์ดิง, 2545.
- คณะทำงานโครงการวิจัยและพัฒนาของกรมอุทกหารเรือ. โครงการวิจัยและพัฒนาการใช้ก๊าซธรรมชาติในเครื่องยนต์ดีเซลและยุทธโธปกรณ์ต่าง ๆ ของกองทัพเรือ. กรุงเทพฯ, 2546.
- คณะทำงานโครงการวิจัยและพัฒนาของกรมอุทกหารเรือ. โครงการวิจัยและพัฒนา น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซลของกองทัพเรือ. กรุงเทพฯ, 2548.
- Energy Efficiency and Renewable Energy. 2004 Biodiesel Handling and Use Guidelines. n.p., U.S. Department of Energy, 2004.
- Foglia, Thomas A., and Others. Production of Biodiesel Lubricants and Fuel and Lubricant Additives. n.p., 1998.
- Van Gerpen, J., Shanks, B. and Pruszko, R. Biodiesel Production Technology. n.p., National Renewable Energy Laboratory, 2004.
- Wedel, Randall Von. Technical Handbook for Marine Biodiesel. n.p., U.S. Department of Energy, 1999.

# PATCO

POWER

ตัวแทน นำเข้าและจัดจำหน่าย สินค้าและผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ ตามมาตรฐานสากล  
บริการติดตั้ง ตรวจสอบช่าง ให้เช่า และให้คำปรึกษาเพื่อวางแผนดูแลระบบในระยะยาว  
ด้านเครื่องยนตและระบบส่งกำลัง โดยวิศวกรผู้เชี่ยวชาญที่ได้รับการฝึกอบรมโดยตรงจากโรงงานผู้ผลิต  
เครื่องยนตเรือ เกียร์เรือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในเรือ อุปกรณ์ในเรือ



**PATTANAYON CHONBURI CO., LTD.**  
40 Moo 13 Bangna-Trad K.M. 8 Bangkaew Bangplee Samutprakarn 10540  
Tel : 0-2316-6036~9 Fax : 0-2316-8408 E-mail : patcogr@patco.co.th  
website : www.patcothailand.com



## แนวทางการสร้างเครื่องสร้างภาระ: (Load Bank) ขนาด 1,200 กิโลวัตต์



กองโรงงานไฟฟ้า อุทกหารเรือพระจุลจอมเกล้า กรมอุทกหารเรือ  
ถนนสุขสวัสดิ์ ตำบลแหลมฟ้าผ่า อำเภอพระสมุทรเจดีย์ สมุทรปราการ 10290  
โทร. 0 2475 6722 โทรสาร 0 2475 6712

### บทคัดย่อ

งานซ่อมทำเกือบทุกประเภท เมื่อซ่อมทำเสร็จแล้วจะต้องมีการทดสอบว่า สิ่งที่ซ่อมทำจะสามารถใช้งานหรือทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่ เช่นงานซ่อมทำเครื่องยนต์หลังจากซ่อมทำแล้วเสร็จจะต้องลองสตาร์ทเครื่องยนต์ดูว่าติดและทำงานได้ดีหรือไม่อย่างไรหรือถ้าเป็นงานซ่อมทำเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เมื่อซ่อมทำแล้วเสร็จจะต้องทดสอบการทำงานของเครื่องว่าสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าออกมาได้หรือไม่ แต่การทดสอบนี้จำเป็นต้องมีภาระ (Load) ซึ่งก็คืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีขนาดกำลังไฟฟ้ามักพอที่จะรองรับการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ เช่น ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องการภาระที่เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้า 600 กิโลวัตต์ หรือ 600,000 วัตต์ เพื่อใช้ทดสอบประสิทธิภาพ ถ้าเลือกใช้เตาชนิดขนาด 1,000 วัตต์ จะต้องใช้เตาชนิดถึง 600 ตัว จึงมีการคิดค้นภาระเทียมขึ้นมาแทนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องใช้เป็นจำนวนมาก ซึ่งมีชื่อเรียกว่า “เครื่องสร้างภาระ (Load Bank) ให้แก่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า” โดยทำจากขดลวดความร้อน (Heater) ประกอบอยู่ภายในตู้ ซึ่งสามารถทำให้มีขนาดกำลังไฟฟ้ามักน้อยได้ตามความต้องการ และมีส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น มาตรการวัดกำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ค่าความถี่ ระบบป้องกันแรงดันไฟเกิน ระบบป้องกันการใช้ไฟผิดพลาด อุปกรณ์แสดงการใช้เฟสที่ถูกต้อง และมีอีกส่วนหนึ่งที่แยกออกจากตู้เครื่องสร้างภาระคือชุดอุปกรณ์ควบคุมการเพิ่มหรือลดจำนวนของภาระที่จ่ายให้แก่เครื่องไฟฟ้านำมาทดสอบ ซึ่งอาจจะเป็นแบบปุ่มกด (Manual) หรือแบบ Remote Control ก็ได้

## บทนำ

กองโรงงานไฟฟ้า อุทกหารเรือพระจุลจอมเกล้า กรมอุทกหารเรือ (กฟฟ.อจปร.อร.) มีหน้าที่ในการซ่อมทำอุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องกลไฟฟ้าต่าง ๆ ของเรือที่เข้ารับการซ่อมทำในอุทกหารเรือพระจุลจอมเกล้า เครื่องกลไฟฟ้าที่อยู่ในความรับผิดชอบหลัก ๆ เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) มอเตอร์ไฟฟ้า (Motor) หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) และระบบควบคุมมอเตอร์ เมื่อก้าวถึงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญสูงสุดอย่างหนึ่งของระบบไฟฟ้าในเรือ ถ้าไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็คงไม่มีไฟฟ้าใช้ในเรือ หากจะเลือกใช้อุปกรณ์อย่างอื่นมาทดแทน เช่น แบตเตอรี่ (Battery) ก็คงไม่เพียงพอต่อการจ่ายไฟฟ้าให้แก่ อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในเรือทั้งหมด การซ่อมทำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจึงต้องให้ความสำคัญเป็นพิเศษ หลังจากการซ่อมทำเสร็จแล้ว จะต้องทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าว่าจะสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าออกมาได้ตรงตามข้อมูลของเครื่อง หรือตรงกับความต้องการในการใช้งานจริงหรือไม่ การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำเป็นจะต้องมีการให้แก่วัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า “ภาระ” ที่กล่าวถึงนี้คืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีขนาดมากพอที่จะรองรับการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตออกมาได้ จึงจำเป็นต้องคิดค้นภาระ (Load) เทียม ขึ้นมาแทนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานจริง ซึ่งขอเรียกเครื่องนี้ว่า “เครื่องสร้างภาระ (Load Bank) ให้แก่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า”

### เครื่องสร้างภาระ (Load Bank) ให้แก่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำหน้าที่อะไร ?

เครื่องสร้างภาระ (Load Bank) คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สร้างภาระ (Load) ทางไฟฟ้าแทนการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่ใช้งานจริงทั้งหมดสำหรับทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า และเซอร์กิตเบรกเกอร์ ก่อนที่จะนำกลับไปใช้งานตามปกติอีกครั้งหนึ่ง

เพื่อให้เกิดความเข้าใจในรายละเอียดต่าง ๆ ของเครื่องสร้างภาระให้แก่วัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทางคณะผู้เขียนขอยกตัวอย่างส่วนประกอบและโครงสร้างของเครื่องสร้างภาระ ขนาด 600 กิโลวัตต์ ที่ กฟฟ.อจปร.อร. ใช้อยู่ในปัจจุบัน ในบทความนี้ ขอเรียกชื่อเครื่องสร้างภาระให้แก่วัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพียงสั้น ๆ ว่า “เครื่องสร้างภาระ” เพียงอย่างเดียว เพื่อจะได้เข้าใจง่ายและไม่ทำให้เกิดความสับสน

**โครงสร้างของเครื่องสร้างภาระขนาด 600 กิโลวัตต์** แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนหลัก ๆ ดังนี้

1. ตัวเครื่องของเครื่องสร้างภาระ (Load Module)
2. โครงสร้างของเรือชุดอุปกรณ์ควบคุมหรือเคาน์เตอร์ (Counter)

**1. ตัวเครื่องของเครื่องสร้างภาระ (Load Module)** มีโครงสร้างแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ

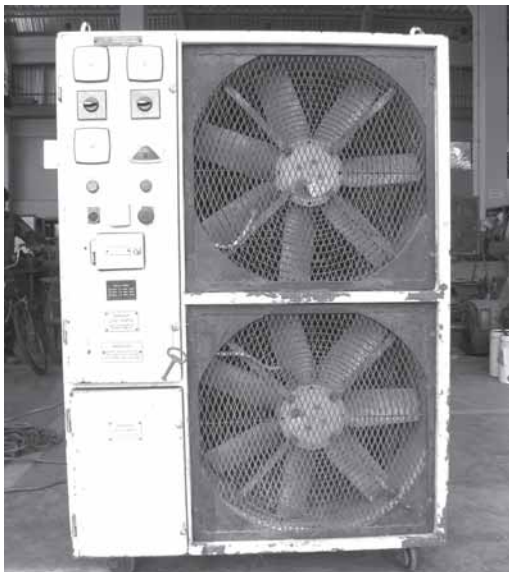
#### 1.1 โครงสร้างภายนอกของตัวเครื่อง

มีลักษณะเป็นตู้สี่เหลี่ยม ทำมาจากแผ่นเหล็กอ่อนชุบสังกะสี หนาประมาณ 2 มิลลิเมตร ด้านหน้าของตัวเครื่องแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

**ส่วนที่ 1** เป็นช่องของพัดลมระบายอากาศด้านลมเข้า (Air Intake) มีจำนวน 2 ช่อง สำหรับระบายความร้อนของขดลวดความร้อน (Heater) ที่ประกอบอยู่ภายในตัวเครื่อง ซึ่งอากาศร้อนจะทะลุผ่านออกไปจนถึงด้านหลังหรือด้านลมออก (Air Exhaust) โดยมีตะแกรงครอบช่องพัดลมเอาไว้ทั้งด้านหน้าและด้านหลังของตัวเครื่อง



**ส่วนที่ 2** เป็นส่วนของแผงควบคุม (Control Panel) ประกอบไปด้วย ชุดอุปกรณ์มาตรวัด (Metering Instrument) และปุ่มควบคุมต่าง ๆ ได้แก่ แอมป์มิเตอร์ โวลต์มิเตอร์ กิโลวัตต์มิเตอร์ ค่าความถี่ หลอดไฟแสดงสถานะการทำงาน (Indication Lamp) ปุ่มเปิด/ปิดเครื่อง จุดเสียบสายสัญญาณควบคุมของชุดอุปกรณ์ควบคุม (Counter) และด้านล่างเป็นช่องจุดต่อสายไฟเมน (Main Supply) ระหว่างเครื่องสร้างภาระกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ส่วนด้านล่างของตัวเครื่องมีล้อเลื่อน 4 ล้อ สำหรับลากจูงในเวลาเคลื่อนย้าย ด้านบนตัวเครื่องมีห้วง (Lifting Eyes) สำหรับใช้เครนยกในเวลาเคลื่อนย้าย ด้านหลังของตัวเครื่องประกอบด้วยช่องของพัดลมระบายอากาศของชุดลดความร้อนด้านลมออก (Air Exhaust) และจุดต่อสายไฟเพื่อรับไฟ 380 VAC 50 Hz 3 PH ไปจ่ายให้อุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ ที่มีอยู่ในตัวเครื่อง ส่วนด้านข้างของตัวเครื่อง ทั้งสองด้านมีฝาปิด (Access Covers) ครอบปิดอุปกรณ์ที่มีอยู่ในตัวเครื่องโดยยึดด้วยสกรู (Screw) แบบมีเขี้ยวล็อกด้านใน



ตัวเครื่อง (Load Module) ของเครื่องสร้างภาระ

**1.2 โครงสร้างภายในของตัวเครื่อง** ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก ๆ ทั้งหมด 3 ส่วน คือ

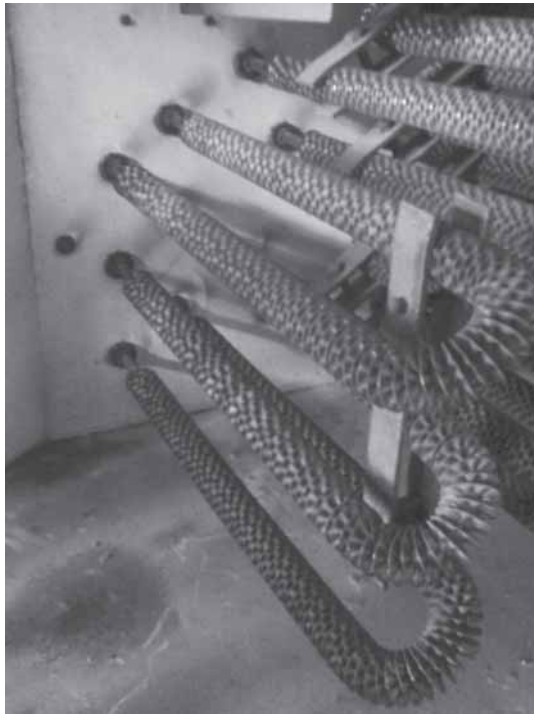
1.2.1 ชุดลดความร้อน (Heater)

1.2.2 อุปกรณ์ควบคุมและป้องกัน (Control and Protection Device)

1.2.3 พัดลมระบายอากาศ (Air Flow Fans)

**ชุดลดความร้อน (Heater)** เป็นอุปกรณ์หลักและถือเป็นหัวใจสำคัญของเครื่องสร้างภาระ เพราะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่สร้างภาระ (Load) หรือทำให้เกิดภาระขึ้น กล่าวคือ เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตและจ่ายกำลังไฟฟ้า ไปเข้าที่เครื่องสร้างภาระ อุปกรณ์ควบคุมที่อยู่ภายในตัวเครื่องจะต่อกำลังไฟฟ้าเข้ากับชุดชุดลดความร้อนของแต่ละชุดตามลำดับ (Step) การสั่งงานจากชุดอุปกรณ์ควบคุม (Counter) ที่ผู้ควบคุมเครื่องสร้างภาระจะเป็นผู้กำหนด ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดภาระในการทำงานขึ้น ซึ่งชุดลดความร้อนที่ประกอบอยู่ภายในเครื่องสร้างภาระ จะมีลักษณะภายนอกเป็นแบบมีครีบบระบายความร้อน (Finned Heater) ที่ตัดเป็นรูปโค้งลักษณะเหมือนรูปตัวยู U และมีแผ่นครีบบรรยากาศติดกับท่อชุดลดความร้อนไปตลอดจากปลายด้านหนึ่งไปจนถึงปลายอีกด้านหนึ่ง โดยวัสดุที่นำมาทำชุดลดความร้อนภายในทำมาจากโลหะชนิด Khantal (นิกเกิลผสมโครเมียมในอัตราส่วน 80:20) ซึ่งทนอุณหภูมิได้สูงถึง 1,250°C ส่วนท่อสำหรับท่อหุ้ม ชุดลดความร้อนและครีบบระบายความร้อนทำมาจากสแตนเลส (Stainless Steel) เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติทนต่อสภาวะแวดล้อมได้ดี ไม่เป็นสนิมและทนต่อการกัดกร่อนได้ดีกว่า

โลหะชนิดอื่น ท่อสเตนเลสที่นำมาผลิตชุดลดความร้อนที่ใช้กับเครื่องสร้างภาระ จะมีความหนาเป็นพิเศษ จึงทำให้ทนต่ออุณหภูมิได้สูง



ชุดลดความร้อนภายในเครื่องสร้างภาระ

**อุปกรณ์ควบคุมและป้องกัน (Control and Protection Device)** เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงาน ให้เป็นไปตามเงื่อนไขหรือรูปแบบการทำงานของวงจรควบคุม รวมทั้งช่วยป้องกันความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ที่สำคัญต่าง ๆ เช่น ชุดลดความร้อน และพัดลมระบายอากาศ

**อุปกรณ์ควบคุม** ได้แก่ Magnetic Contactor รีเลย์ควบคุม รีเลย์ตั้งเวลา อุปกรณ์ควบคุมการกลับเฟส สวิตช์ควบคุมด้วยแรงลม สวิตช์ควบคุมด้วยอุณหภูมิ หม้อแปลงแรงดัน และหม้อแปลงกระแส รวมถึงชุดแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics PCB)

**อุปกรณ์ป้องกัน** ได้แก่ โอเวอร์โหลดรีเลย์ (Overload Relay) และ ฟิวส์ป้องกัน (Fuse) ของชุดลดความร้อนและอุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ ที่อยู่ภายในตัวเครื่อง ซึ่งมีด้วยกันหลายขนาด

**พัดลมระบายอากาศ (Air Flow Fans)** เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ระบายความร้อนของชุดลดความร้อนในขณะที่เครื่องกำลังทำงาน (Running) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 640 มิลลิเมตร จำนวน 2 ตัว ใช้กับระบบไฟฟ้า 3 เฟส 380 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์

**2. ชุดอุปกรณ์ควบคุมหรือเคาน์เตอร์ (Counter)** แบ่งโครงสร้างออกได้เป็น 2 ส่วนคือ

**2.1 โครงสร้างภายนอกของชุดอุปกรณ์ควบคุม**

มีลักษณะเป็นกล่องรูปทรงสี่เหลี่ยม โครงสร้างภายนอกทำมาจากพลาสติกทั้งหมด และมีมือจับ (Handle) ส่วนด้านหน้ามีปุ่มควบคุมการเพิ่มและลดจำนวนกิโวลต์ต์ ประกอบด้วยตัวเลข 3 หลัก คือ หลักหน่วย หลักสิบ และหลักร้อย ซึ่งอยู่ติดกันโดยแต่ละหลักมีตัวเลขตั้งแต่เลข 0 - 9 ด้านข้างกล่องมีปุ่มควบคุมอีก 2 ปุ่ม คือ ปุ่ม “ENTER” สำหรับใช้ยืนยันการเพิ่มและลดจำนวนกิโวลต์ต์ และปุ่ม “CLEAR” เป็นปุ่มที่ใช้สำหรับยกเลิกคำสั่งทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มหรือลดจำนวนกิโวลต์ต์

**2.2 โครงสร้างภายในของชุดอุปกรณ์ควบคุม** ประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ประกอบอยู่ในแผ่นวงจร (Electronics PCB) ทำหน้าที่จัดลำดับการทำงานตามเงื่อนไขที่ผู้ควบคุมกำหนดแล้วประมวลผลและส่งคำสั่งจากผู้ควบคุมไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มและลดจำนวนของกิโวลต์ต์

หรือยกเลิกคำสั่ง (Clear) ซึ่งคำสั่งจากผู้ควบคุมจะถูกแปลงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าโดยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ประกอบอยู่ในแผงวงจรของชุดอุปกรณ์ควบคุม แล้วส่งคำสั่งเหล่านั้นไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณภาครับ (Receiver) ที่ประกอบอยู่ภายในตัวเครื่อง (Load Module) เมื่ออุปกรณ์ภาครับได้รับสัญญาณก็จะประมวลผลคำสั่งแล้วส่งการไปยังอุปกรณ์ควบคุมของขดลวดความร้อนแต่ละชุดให้ทำงาน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจำนวนของภาระ หรือกำลังไฟฟ้า (kW)



ชุดอุปกรณ์ควบคุมหรือเคาน์เตอร์ (Counter)

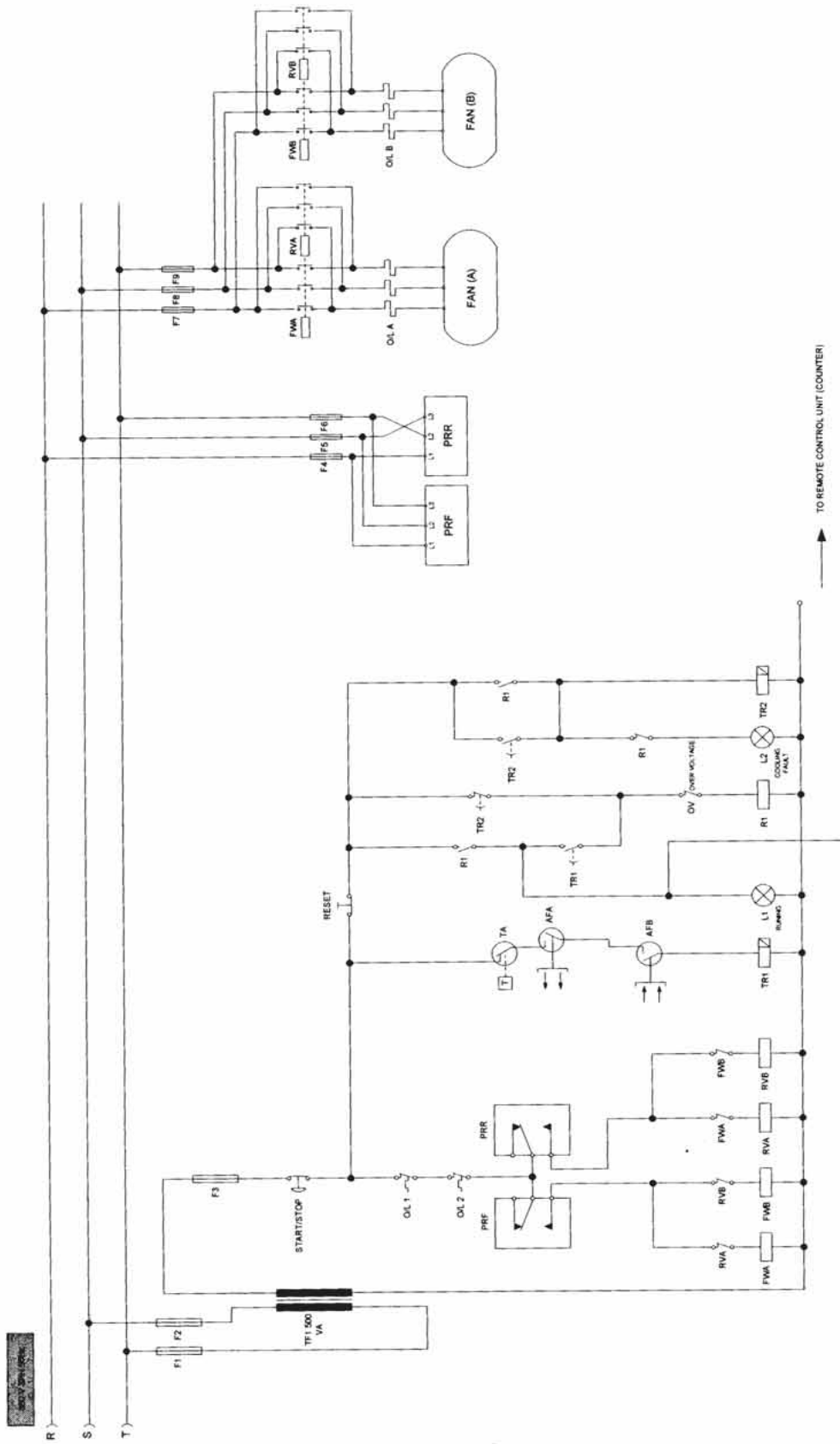
### หลักการการทำงานของเครื่องสร้างภาระ

เริ่มต้นการทำงานของเครื่องด้วยการดึงปุ่มสวิทช์เปิด/ปิดเครื่อง (Start/Stop) ที่ แผงควบคุม (Control Panel) ด้านหน้าตัวเครื่อง ทำให้มีกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย Auxiliary Supply 380 VAC 50 Hz ไหลผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 500 VA 380/220 VAC 1 PH เพื่อลดขนาดของแรงดันไฟฟ้าให้เหลือ 220 โวลต์ สำหรับป้อนไฟเลี้ยงให้แก่วงจรควบคุม ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านหน้าคอนแทกปกติ

ปิดของ Overload Relays (O/L 1 & O/L 2) และขดลวดแม่เหล็ก (Coil) ของรีเลย์ควบคุมการกลับเฟส (PRF&PRR) รีเลย์ควบคุมการกลับเฟสจะทำงานต่อวงจรให้แก่แมกเนติกคอนแทกเตอร์ ชุด Forward (FWA&FWB) หรือชุด Reverse (RVA & RVB) ต่อวงจรให้แก่พัดลมระบายอากาศของขดลวดความร้อนทำงาน จึงทำให้มีลมไหลผ่านจากช่องระบายอากาศของขดลวดความร้อน ถูกถ่ายเทจากด้านหน้าเครื่องทะลุผ่านออกไปทางด้านหลังของตัวเครื่อง ในขณะที่เครื่องสร้างภาระอยู่ในสภาวะพร้อมใช้งาน

- Magnetic Contactor ชุด A (Forward) จะทำงานเมื่อ Phase Rotation Relays ตัวที่ 1 ทำงาน กล่าวคือเมื่อแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย (Auxiliary Supply 380 VAC 50 Hz 3 PH) ทุกเฟส (L1, L2, L3) ตรงกันกับเฟสของพัดลมระบายอากาศ (Air Flow Fans) ทำให้พัดลมระบายอากาศหมุนในทิศทางปกติ

- Magnetic Contactor ชุด B (Reverse) จะทำงานเมื่อ Phase Rotation Relays ตัวที่ 2 ทำงาน คือได้รับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย (Auxiliary Supply 380 VAC 50 Hz 3 PH) สลับกันกับเฟสของพัดลมระบายอากาศ ซึ่งรีเลย์ควบคุมการกลับเฟสตัวที่ 2 นี้ จะถูกต่อแบบไขว้สายและกลับขั้ว (Pole) ของพัดลมระบายอากาศไว้คู่หนึ่ง ทำให้พัดลมระบายอากาศยังคงหมุนในทิศทางตามปกติ (หมุนถูกทาง) จึงทำการ ต่อสายไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง (Auxiliary Supply) ของเครื่องสร้างภาระสามารถต่อสลับเฟสกับขั้วของพัดลมระบายอากาศได้ โดยไม่มีผลกับทิศทางการหมุนของพัดลม



วงจรควบคุมการทำงานของเครื่องสร้างกระแส ขนาด 600 กิโลวัตต์

เมื่อพัดลมระบายอากาศหมุนได้ ความเร็วรอบสูงสุด (Full Speed) สวิตช์ควบคุมด้วยแรงลม (AFA&AFB) จะถูกแรงลมจากพัดลมระบายอากาศผลักใบพายอากาศที่ยื่นออกมารับลม ทำให้น้ำคอนแทกของสวิตช์ควบคุมด้วยแรงลมต่อวงจร และมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังหน้าคอนแทกแบบปกติปิด (N/C) ของสวิตช์ควบคุมด้วยอุณหภูมิ (TA) ซึ่งจะต่ออันดับกับหน้าคอนแทกของสวิตช์ควบคุมด้วยแรงลม ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าไปที่ขดลวดแม่เหล็ก (Coil) ของ Timer Relays ตัวที่ 1 (TR1) และทำงานตั้งเวลาให้หน้าคอนแทกของตัวมันเอง รอเวลาที่จะเปลี่ยนตำแหน่งจากปกติเปิด (N/O) เป็นปกติปิด (N/C) (ประมาณ 5 วินาที) และในเวลาเดียวกันก็จะมีกระแสไฟฟ้าไหลไปอีกด้านหนึ่งของวงจร โดยผ่านหน้าคอนแทกของปุ่มสวิตช์ Reset ผ่านหน้าคอนแทกของ Timer Relays ตัวที่ 2 (TR2) แบบปกติปิด (N/C) ไหลผ่านหน้าคอนแทกแบบปกติปิดของอุปกรณ์ควบคุมแรงดัน (Over Voltage) เข้าไปที่ขดลวดแม่เหล็กของรีเลย์ (R1) รีเลย์ (R1) ก็จะทำงานและต่อหน้าคอนแทกแบบปกติเปิด (N/O-1) ของตัวมันเอง ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลไปอีกเส้นหนึ่งของวงจร ซึ่งต่อกับแผงวงจรควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics PCB) ของชุดอุปกรณ์ควบคุม (Counter) ในเวลาเดียวกันก็จะมีกระแสไฟฟ้าไหลไปที่หลอดไฟ L1 (Green) ซึ่งเป็นหลอดไฟที่แสดงสถานะการทำงาน (Running) ของเครื่องสร้างภาระที่ติดตั้งอยู่ที่แผงควบคุมด้านหน้าของตัวเครื่อง และในขณะเดียวกันหน้าคอนแทกของรีเลย์ (R1) แบบปกติเปิด (N/O-2) อีกข้างหนึ่ง (ซึ่งปกติถ้าหากรีเลย์ (R1) ไม่ทำงานมันจะต่อให้หลอดไฟ L2 (Red) ซึ่งเป็นหลอดไฟแสดงสถานะเกี่ยวกับข้อ

ผิดพลาดของอุปกรณ์ควบคุมระบบระบายความร้อน (Cooling Fault) ของขดลวดความร้อน) จะต่อวงจรทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าไปที่ขดลวดแม่เหล็กของไทเมอร์รีเลย์ตัวที่ 2 (TR2) ทำให้ไทเมอร์รีเลย์ตัวที่ 2 (TR2) ทำงานและตั้งเวลาประมาณ 10 วินาที ให้นำหน้าคอนแทกปกติปิด (N/C) (ตั้งเวลาให้เปิด) ของตัวมันเองที่ต่อกับขดลวดแม่เหล็กของรีเลย์ (R1) จากออก (Open) แต่รีเลย์ (R1) ยังทำงานได้เพราะยังมีไฟเลี้ยงวงจรอีกเส้นหนึ่ง ไหลผ่านมาทางหน้าคอนแทกของตัวมันเองที่ต่ออยู่กับหน้าคอนแทกของไทเมอร์รีเลย์ตัวที่ 1 (TR1) ซึ่งในวงจรจะต่อกับขดลวดแม่เหล็กของรีเลย์ (R1) ทำให้รีเลย์ (R1) ยังคงทำงานปกติจากนั้นก็ต่อหน้าคอนแทกปกติเปิด (N/O) ของตัวมันเอง (TR2) เพื่อให้มีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าไปที่ขดลวดแม่เหล็ก (Coil) ทำให้ไทเมอร์รีเลย์ (TR2) ทำงาน และล็อกตัวมันเองครบวงจรการทำงาน

### ขั้นตอนการใช้งานเครื่องสร้างภาระ

การใช้งานเครื่องสร้างภาระ เพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีวิธีการใช้ตามลำดับต่อไปนี้

1. กดปุ่มสวิตช์ เปิด/ปิดเครื่อง (Start/Stop) ซึ่งเป็นปุ่มสวิตช์แบบ Emergency Stop (กด Stop/ดึง Start) ที่แผงควบคุมด้านหน้าของ เครื่องสร้างภาระเพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องอยู่ในสถานะไม่ทำงาน (Stop)

2. ต่อสายไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย 380 VAC 50 Hz 3 PH เข้ากับจุดต่อไฟเลี้ยง (Auxiliary Supply) ของเครื่องสร้างภาระ

3. ต่อสายไฟฟ้าเมน (Main Line 3 PH 3 Wire) จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับจุดต่อสายไฟเมน (Main Supply) ของเครื่องสร้างภาระ

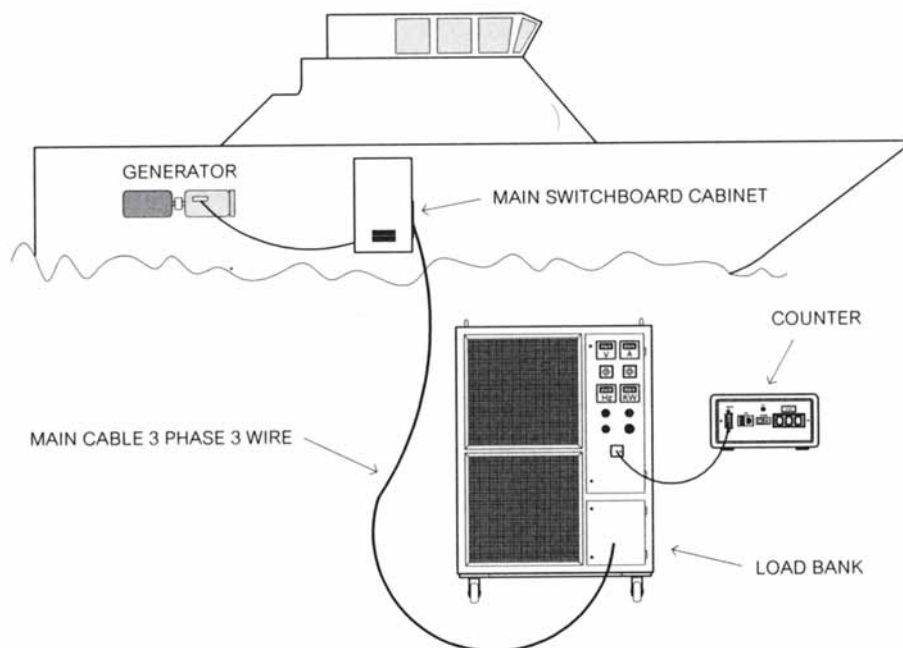
4. เสียบปลั๊กสายสัญญาณของชุดอุปกรณ์ควบคุม (Counter) เข้ากับเครื่องสร้างภาระ แล้วตั้งค่าของตัวเลขทุกหลักให้ไปอยู่ที่ตำแหน่งเลขศูนย์ (0, 0, 0)

จากนั้นให้ตรวจสอบความเรียบร้อยต่างๆ เช่น ที่จุดต่อสายเมน (Main Supply) ระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับเครื่องสร้างภาระจะต้องขันสลักให้แน่น เพราะถ้าไม่แน่นอาจจะเกิดความร้อน และเกิดการลัดวงจร ระหว่างสายได้

#### การควบคุมเครื่องสร้างภาระ

เมื่อปฏิบัติตามลำดับขั้นตอนข้างต้นแล้ว จึงเริ่มทำการเดินเครื่องได้ ด้วยการดึงปุ่มสวิทช์ เปิด/ปิดเครื่อง ที่แผงควบคุมด้านหน้าตัวเครื่องเพื่อสตาร์ทเครื่องสร้างภาระให้ทำงาน จะสังเกตได้ว่าพัดลมระบายอากาศของชุดลดความร้อน (Airflow Fans) จะหมุนและทิศทางของลมจะถูกระบายออก

ไปทางช่องระบายอากาศของชุดลดความร้อนด้านลมออก (Air Exhaust) ที่ด้านหลังตัวเครื่อง ในขณะเดียวกันไฟแสดงสถานะการทำงาน (Running) ที่แผงควบคุมด้านหน้าของตัวเครื่องก็จะสว่างขึ้น (หลอดไฟสีเขียวติด) แสดงว่าในขณะนั้นเครื่องพร้อมที่จะทำงานได้ และในขณะเดียวกันเจ้าหน้าที่จะติดเครื่องยนต์ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้ทำงาน และผลิตกำลังไฟฟ้าออกมาจ่ายให้แก่เครื่องสร้างภาระทำการทดสอบเป็นลำดับต่อไป ก่อนที่จะจ่ายภาระให้แก่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ให้ผู้ควบคุมสังเกตดูระดับแรงดันไฟฟ้าจากโวลต์มิเตอร์ที่แผงควบคุมด้านหน้าเครื่อง ถ้าระดับแรงดันไฟฟ้ายังไม่มีเปลี่ยนแปลง (เข็มมิเตอร์ไม่ขึ้น) ให้ลองหมุน Selector Switch ที่อยู่ด้านล่างโวลต์มิเตอร์ เพื่อหาดำแหน่งของเฟสที่ตรงกับโวลต์มิเตอร์ หรืออาจจะใช้มิเตอร์วัดดูแรงดันไฟฟ้าที่ออกมา



การต่อเครื่องสร้างภาระ (Load Bank) ในการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จุดต่อสายไฟเมน (Main Supply) ว่าในขณะที่นั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายแรงดันไฟฟ้าออกมาเท่าไร ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีแรงดันไฟฟ้า 440 โวลต์ 60 เฮิร์ตซ์ 3 เฟส ค่าที่วัดได้ จากมิเตอร์จะต้องเท่ากัน และมีไฟฟ้าที่จ่ายออกมานครบทั้ง 3 เฟส

### ขั้นตอนในการจ่ายภาระ

ขั้นตอนในการจ่ายภาระ (Load) จากเครื่องสร้างภาระ (Load Bank) ให้แก่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ผู้ควบคุมเครื่องสร้างภาระรอคำสั่งจากเจ้าหน้าที่ที่ทำการทดสอบจากห้องเครื่องไฟฟ้าภายในเรือ โดยอาจจะติดต่อกันทางวิทยุสื่อสาร

2. เมื่อทุกอย่างพร้อมเจ้าหน้าที่ทดสอบก็จะสั่งให้ผู้ควบคุมเครื่องสร้างภาระทำการจ่ายภาระให้แก่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยการกดตัวเลขที่ชุดอุปกรณ์ควบคุม (Counter) เพื่อเพิ่มจำนวนของกิโลวัตต์ ตามจำนวนที่เจ้าหน้าที่ทดสอบต้องการ เช่น 50 กิโลวัตต์ ผู้ควบคุมจะต้องกดตัวเลขของชุดอุปกรณ์ควบคุมในหลักหน่วยให้ตัวเลขเปลี่ยนจากเลข 0 เป็นเลข 1 แล้วกดปุ่ม “ENTER” เพื่อเป็นการยืนยันคำสั่ง จากนั้นก็กดปุ่มตัวเลขในหลักหน่วยอีกครั้งเพื่อให้ตัวเลขเปลี่ยนตำแหน่งจากเลข 1 เป็นเลข 2 แล้วกดปุ่ม “ENTER” อีกทีหนึ่ง และทำตามขั้นตอนแบบนี้ไปเรื่อย ๆ จนครบ 50 กิโลวัตต์ ที่ตำแหน่งเลข 5 ของหลักสิบ และ ตำแหน่งเลข 0 ในหลักหน่วย

การเพิ่มจำนวนของกิโลวัตต์ อาจจะเพิ่มครั้งละมากกว่า 1 กิโลวัตต์ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือ

ความต้องการของเจ้าหน้าที่ที่ทดสอบ ว่าต้องการให้ผู้ควบคุมเครื่องสร้างภาระเพิ่มจำนวนกิโลวัตต์ครั้งละเท่าไร แต่ก็ไม่ควรเพิ่มจำนวนกิโลวัตต์ที่ละมาก ๆ ในคราวเดียว เช่น 10 กิโลวัตต์ 20 กิโลวัตต์ หรือมากกว่านั้น เพราะอาจจะทำให้เกิดการกระชากของกระแสไฟฟ้า ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่กำลังทดสอบเกิดความเสียหายได้ ในการลดจำนวนภาระให้แก่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีวิธีการที่เหมือนกับการเพิ่มภาระ ต่างกันเพียงจากที่กดตัวเลขให้เพิ่ม มาเป็นกดเลขตัวเลขให้ลดลง

3. ถ้าเกิดข้อผิดพลาดขึ้นในระหว่างการทดสอบ เช่น เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้า (V) และความถี่ (Hz) เจ้าหน้าที่ที่ทดสอบจะแจ้งให้ผู้ควบคุมเครื่องสร้างภาระลดภาระ (Load) ลงก่อนหรือยกเลิกคำสั่ง (Clear Load) เพื่อปรับแต่งชุดควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้กลับมาทำงานได้ตามปกติ จากนั้นจึงจะทดสอบในขั้นตอนต่อไป

4. เมื่อถึงขั้นตอนสุดท้ายในการลดภาระ (Load) ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ทดสอบ ให้ผู้ควบคุมชุดอุปกรณ์ควบคุม (Counter) กดที่ปุ่ม “CLEAR” เพื่อยกเลิกคำสั่งทั้งหมดที่ได้ทดสอบผ่านมา และตั้งค่าตัวเลขทุกหลักให้อยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ (0, 0, 0)

5. เมื่อสิ้นสุดทุกขั้นตอนการทดสอบแล้ว ผู้ควบคุมเครื่องสร้างภาระควรปล่อยให้เครื่องสร้างภาระเดินเครื่องต่อไปก่อนอย่างน้อยประมาณ 5 นาที ก่อนที่จะหยุดเครื่อง เพื่อให้พัดลมระบายอากาศระบายความร้อนของขดลวดให้เย็นลงและในระหว่างที่รอ ให้ผู้ควบคุมตรวจดูความเรียบร้อยต่าง ๆ ของเครื่องโดยเฉพาะชุด

อุปกรณ์ควบคุม ให้สังเกตตัวเลขทั้ง 3 หลัก ของชุดควบคุมจะต้องอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ (0, 0, 0)

ปัจจุบันกองทัพเรือมีเครื่องสร้างภาระขนาดใหญ่สำหรับใช้ทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จำนวน 2 เครื่อง โดยอยู่ที่ อู่ราชनावิมหิตลอคุลยเดช กรมอู่ทหารเรือ (อรม.อร.) จำนวน 1 เครื่อง ขนาด 725 กิโลวัตต์ 950 แอมป์ 440-480 โวลต์ 50/60 เฮิร์ตซ์ ได้รับมาไว้ใช้ราชการ เมื่อ 17 ธ.ค. 50 ราคาจัดหาในขณะนั้น 2,465,235 บาท ส่วนอีก 1 เครื่อง อยู่ที่อู่ทหารเรือพระจุลจอมเกล้า กรมอู่ทหารเรือ (อจปร.อร.) ขนาด 600 กิโลวัตต์ 787 แอมป์ 440-480 โวลต์ 50/60 เฮิร์ตซ์ สำหรับเครื่องสร้างภาระของ อจปร.อร. นั้น มีอายุการใช้งานประมาณ 20 ปีได้รับมาไว้ใช้ราชการ เมื่อ 20 ก.ค. 31 ราคาจัดหาในขณะนั้น 542,000 บาท ซึ่งสภาพในปัจจุบันยังสามารถใช้ราชการได้ แต่เกิดการชำรุดบ่อยครั้ง อีกทั้งไม่สามารถทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีกำลังมากกว่า 600 กิโลวัตต์ ได้ และหากในอนาคตมีการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ในเรือในโหมดขนานเครื่อง (Synchronizer Functions) ซึ่งจะต้องจ่ายภาระเต็มพิกัด (Full Load) พร้อมกันทั้ง 2 เครื่อง เพื่อตรวจสอบระบบป้องกันไฟย้อนกลับ (Reverse protection Device) จะทำให้เครื่องสร้างภาระขนาด 600 กิโลวัตต์ ไม่สามารถรองรับได้ยกตัวอย่าง เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของ ร.ล.สีซัง ขนาด 451 กิโลวัตต์ เมื่อทดสอบในโหมดขนานเครื่อง เครื่องสร้างภาระต้องมีขนาดมากกว่า 902 กิโลวัตต์ขึ้นไป เป็นต้น

ดังนั้น กฟพ.อจปร.อร. จึงมีแนวคิดในการออกแบบและจัดสร้างเครื่องสร้าง

ภาระขนาดตั้งแต่ 800 กิโลวัตต์ขึ้นไป เพื่อรองรับการใช้งานในอนาคต และเพื่อให้การกำหนดรูปแบบของการออกแบบเป็นรูปธรรมขึ้น จึงขอใช้ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1,200 กิโลวัตต์ ซึ่งเป็นขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ที่สุดที่มีใช้ราชการอยู่ในปัจจุบัน เป็นส่วนของการอธิบายโครงสร้างส่วนประกอบต่าง ๆ และการใช้งาน ดังนี้

### **เครื่องสร้างภาระ (Load Bank) ขนาด 1,200 กิโลวัตต์**

โครงสร้างแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ตัวเครื่อง (Load Module) และ ชุดอุปกรณ์ควบคุม หรือ Counter

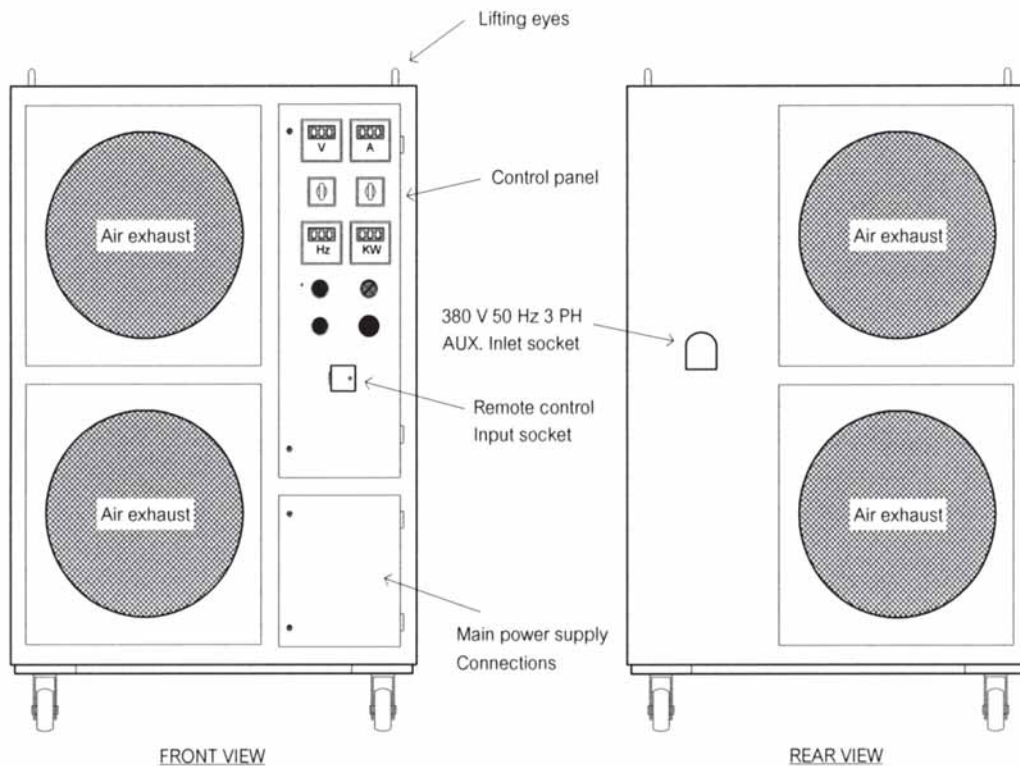
**1. โครงสร้างของตัวเครื่อง (Load Module)** แยกออกได้เป็น 2 ส่วน คือ โครงสร้างภายนอก และภายใน โครงสร้างภายนอกตัวเครื่อง มีส่วนประกอบดังนี้

1. แผงควบคุมด้านหน้าตัวเครื่อง (Control Panel)
2. จุดต่อสายของชุดควบคุม หรือเคาน์เตอร์ (Remote Control Socket)
3. จุดต่อสายไฟเมน (Main Power Supply)
4. ช่องระบายอากาศด้านลมเข้าและออก (Air Intake and Air Exhaust)
5. หูหิ้วสำหรับใช้เครนยก (Lifting Eyes)
6. จุดต่อสายไฟเลี้ยง (Auxiliary Inlet Socket)
7. ฝาปิดอุปกรณ์ควบคุม ด้านข้างตัวเครื่องทั้ง 2 ด้าน (Access Covers)
8. ล้อเลื่อนสำหรับใช้ลากจูงในเวลาเคลื่อนย้าย (Castors)

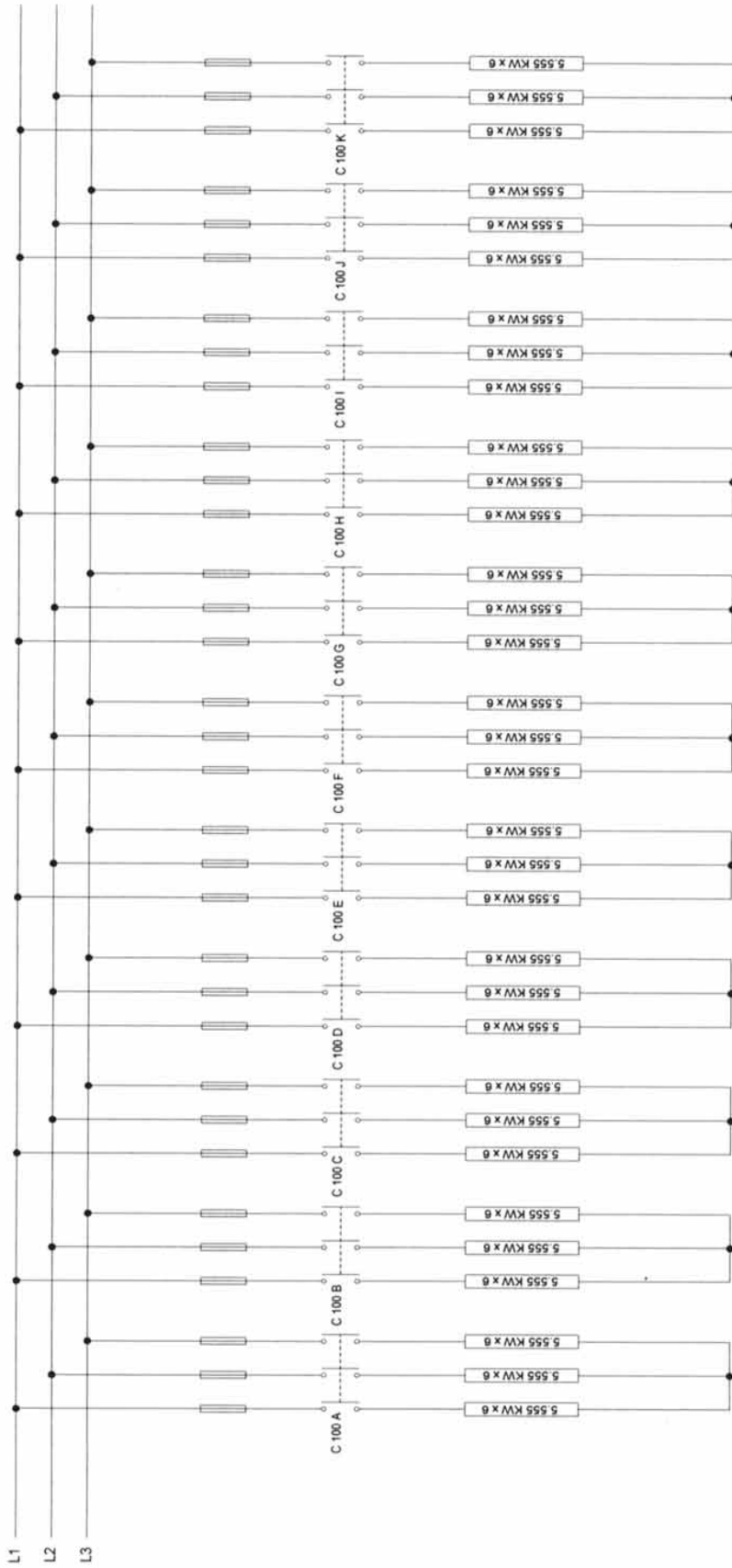


ส่วนประกอบและลักษณะโครงสร้างภายนอกของเครื่องสร้างภาระขนาด 1,200 กิโลวัตต์ จะมีส่วนประกอบที่เหมือนกับเครื่องสร้างภาระขนาด 600 กิโลวัตต์ สิ่งที่จะเปลี่ยนไปก็คือขนาดของตัวเครื่องที่ต้องขยายเพิ่มขึ้นเพื่อรองรับอุปกรณ์ควบคุมและชุดขดลวดความร้อนที่ประกอบอยู่ภายใน ซึ่งต้องมีจำนวนมากขึ้นตามขนาดของจำนวนกิโลวัตต์ที่เพิ่มขึ้นและอีกส่วนหนึ่งคืออุปกรณ์แสดงผล เช่น มาตรวัดต่าง ๆ (Metering Instrument) ที่แผงควบคุม (Control Panel) ด้านหน้าเครื่อง ซึ่งได้แก่ แอมป์มิเตอร์ โวลต์มิเตอร์ กิโลวัตต์มิเตอร์และความถี่ โดย กฟพ.อจปร.อ.ร. มีแนวคิดที่จะเปลี่ยนชุด

อุปกรณ์มาตรวัดด้านหน้าเครื่อง จากเดิมที่เป็นแบบอนาล็อก (Analog) หรือแบบเข็ม ให้เป็นแบบแสดงผลเป็นตัวเลขหรือดิจิทัล (Digital) เพื่อความสะดวกในการใช้งาน เพราะแบบอนาล็อกจะอ่านค่าได้ค่อนข้างลำบาก ซึ่งอุปกรณ์แสดงผลบางอย่างที่มีอยู่กับเครื่องสร้างภาระชุดเดิมที่ใช้อยู่ปัจจุบัน เช่น แอมป์มิเตอร์ ย่านวัดในแต่ละย่านจะไม่มี ความละเอียดพอ ถ้าค่าของ กระแสไฟฟ้าที่มีปริมาณไม่มาก เช่น 10 แอมป์ หรือ 20 แอมป์ เวลามองดูที่เข็มวัดแล้ว จะไม่สามารถอ่านค่าได้เลย จึงทำให้เป็นอุปสรรคในการปฏิบัติงาน



ลักษณะภายนอกของเครื่องสร้างภาระขนาด 1,200 กิโลวัตต์



วงจรลดความรับเหตุ 100 กิโลวัตต์ ของเครื่องสร้างการขนาด 1,200 กิโลวัตต์

### โครงสร้างภายในของตัวเครื่องประกอบด้วย

#### 1. ขดลวดความร้อน (Heater)

ขดลวดความร้อนของเครื่องสร้างภาระขนาด 1,200 กิโลวัตต์ จะมีลักษณะรูปร่างและขนาดเหมือนกับเครื่องสร้างภาระขนาด 600 กิโลวัตต์ ทุกชุด (1, 3, 5, 10, 30, 50 และ 100) แต่สิ่งที่เปลี่ยนไปจากเครื่องสร้างภาระขนาด 600 กิโลวัตต์ คือจำนวนของขดลวดความร้อนชุด 100 กิโลวัตต์ จากเดิม (ขนาด 600 กิโลวัตต์) มีอยู่ 5 ชุด หรือ 500 กิโลวัตต์ เพิ่มมาอีก 6 ชุด หรือ 600 กิโลวัตต์ รวมเป็น 1,100 กิโลวัตต์ ในชุด 100 กิโลวัตต์ ใช้ขดลวดความร้อน ขนาด 5.555 กิโลวัตต์ ประกอบรวมกัน 18 ตัว/ชุด ถ้าเพิ่มอีก 6 ชุด หรือ 600 กิโลวัตต์ จะต้องเพิ่มขดลวดความร้อนเท่ากับ  $18 \times 6 = 108$  ตัว จากเดิม (ขนาด 600 กิโลวัตต์) มีชุด 100 กิโลวัตต์ จำนวน 5 ชุด ซึ่งก็เท่ากับ  $5 \times 18 = 90$  ตัว ดังนั้นเครื่องสร้างภาระขนาด 1,200 กิโลวัตต์ จะใช้ขดลวดความร้อนในชุด 100 กิโลวัตต์ (ขนาด 50555 กิโลวัตต์) รวม  $108 + 90 = 198$  ตัว ส่วนขดลวดความร้อนในชุดอื่น ๆ (หลักสิบและหลักหน่วย) ยังคงใช้เท่าเดิม และเมื่อนำค่าของขดลวดความร้อนทั้งหมดในแต่ละหลักที่อยู่ภายในเครื่องสร้างภาระขนาด 1,200 กิโลวัตต์ มารวมกันจะได้เท่ากับ  $(100 \times 11) + 50 + 30 + 10 + 10 + 5 + 3 + 1 + 1 = 1,210$  กิโลวัตต์

#### 2. อุปกรณ์ควบคุมและป้องกัน (Control and Protection Device)

อุปกรณ์ควบคุมและป้องกันภายในเครื่องสร้างภาระขนาด 1,200 กิโลวัตต์ มีส่วนประกอบที่เหมือนกับชุดอุปกรณ์ควบคุมและป้องกันของเครื่องสร้างภาระ

ขนาด 600 กิโลวัตต์ แต่ส่วนที่ต้องเพิ่มเข้ามาคือจำนวนของ แมกเนติกคอนแทกเตอร์ (Magnetic Contactor) ของขดลวดความร้อนชุด 100 กิโลวัตต์ จำนวน 6 ตัว จากเดิม (ขนาด 600 กิโลวัตต์) มีอยู่จำนวน 5 ตัว (ชุดละ 1 ตัว) เมื่อนำมารวมกันจะได้เท่ากับ 11 ตัว เช่นเดียวกับฟิวส์ป้องกันอุปกรณ์ควบคุมของขดลวดความร้อน ชุด 100 กิโลวัตต์ ขนาด 160 แอมป์ จำนวน 18 ตัว ซึ่งเดิม (ขนาด 600 กิโลวัตต์) มีจำนวน 15 ตัว (ชุดละ 3 ตัว) รวมเป็นจำนวน 33 ตัว และรวมไปถึงบัสบาร์ (Bus Bar) ทองแดง, สายไฟ, และวัสดุสิ้นเปลืองต่าง ๆ อีกหลายรายการ ที่จะนำมาเป็นส่วนประกอบ เครื่องสร้างภาระ ขนาด 1,200 กิโลวัตต์ ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะในส่วนที่สำคัญเท่านั้น

#### 3. พัดลมระบายอากาศ (Air Flow Fans)

พัดลมระบายอากาศของเครื่องสร้างภาระขนาด 1,200 กิโลวัตต์ มีลักษณะที่คล้ายกับพัดลมระบายอากาศของเครื่องสร้างภาระขนาด 600 กิโลวัตต์ แต่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าเครื่องสร้างภาระขนาด 600 กิโลวัตต์ เพราะต้องการระบายความร้อนที่ดีและเหมาะสมกับจำนวนของขดลวดความร้อนที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง ทั้งนี้ขนาดของพัดลมที่ใช้จะต้องสามารถระบายความร้อน ภายในห้องไม่ให้เกิน  $70^{\circ}\text{C}$  โดยมอเตอร์ของ พัดลมระบายอากาศจะเป็นแบบใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 380 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์

#### 2. โครงสร้างของชุดอุปกรณ์ควบคุมหรือเคาน์เตอร์ (Counter)

ชุดอุปกรณ์ควบคุมหรือเคาน์เตอร์ (Counter) ของเครื่องสร้างภาระขนาด 1,200

กิโวลต์จะถูกรื้อออกแบบใหม่ทั้งหมดทั้งรูปร่าง ลักษณะภายนอกและอุปกรณ์ประกอบภายใน เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน และทันกับ ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในปัจจุบัน ซึ่งได้วางแนวทางของการออกแบบและ จัดสร้างไว้ดังนี้

### โครงสร้างและลักษณะภายนอก ของชุดอุปกรณ์ควบคุม (Counter)

มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยม ทำมาจากพลาสติกที่มีความคงทนแข็งแรง ซึ่งการที่ โครงสร้างเป็นพลาสติกทั้งหมดเพื่อหลีกเลี่ยง ปัญหาเรื่องไฟฟ้าดูดหรือรั่วลงดินขณะใช้งาน และปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน

ด้านหน้า (Front View) ของชุด ควบคุมประกอบด้วย ตัวเลขแสดงจำนวน ของกิโวลต์ ซึ่งตัวเลขแสดงผลจะเป็นแบบ ดิจิตอล (Digital LED) มีด้วยกันทั้งหมด จำนวน 4 หลัก คือ หลักหน่วย หลักสิบ หลักร้อย และ หลักพัน (0, 0, 0, 0) (ดูรูป ประกอบ) ข้าง ๆ กันจะเป็นปุ่มเปิด/ปิดเครื่อง (Power) ของชุดอุปกรณ์ควบคุม ด้านบนปุ่ม เปิด/ปิดเครื่อง จะมีหลอดไฟ LED (สีแดง) ซึ่งจะแสดงสถานะการทำงานของชุดอุปกรณ์ ควบคุม ไฟติดคือพร้อมใช้งาน (ON) ถ้า หลอดไฟดับคือหยุดการใช้งาน (OFF) ถัดมา เป็นช่องเสียบสายสัญญาณแบบ USB และ แบบ RS-232 สำหรับเชื่อมต่อกับเครื่อง คอมพิวเตอร์ ซึ่งจะติดตั้งโปรแกรมหรือ ซอฟต์แวร์ (Software) เอาไว้เพื่อให้ชุด อุปกรณ์ควบคุม เครื่องสร้างภาระและ คอมพิวเตอร์สามารถเชื่อมต่อถึงกันได้

ด้านบนหลังกล่อง (Top View) ของ ชุดอุปกรณ์ควบคุม เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแบบ Manual ซึ่งจะมีปุ่มกดสำหรับเพิ่มและลด จำนวนกิโวลต์ (Select /+ -) ของเครื่องสร้าง

ภาระ ติดกันจะมีปุ่มกดสำหรับยืนยันและ ยกเลิกคำสั่ง (Enter/Clear) ของการเพิ่ม หรือลดจำนวนกิโวลต์ของเครื่องสร้างภาระ ที่ใช้ในการทดลอง ด้านบนของปุ่มควบคุม มีตัวเลขแสดงผลแบบดิจิตอล เหมือนกับ ส่วนด้านหน้า แต่ขนาดของตัวเลขจะใหญ่กว่า เพื่อให้สามารถมองเห็นตัวเลขได้อย่างชัดเจน

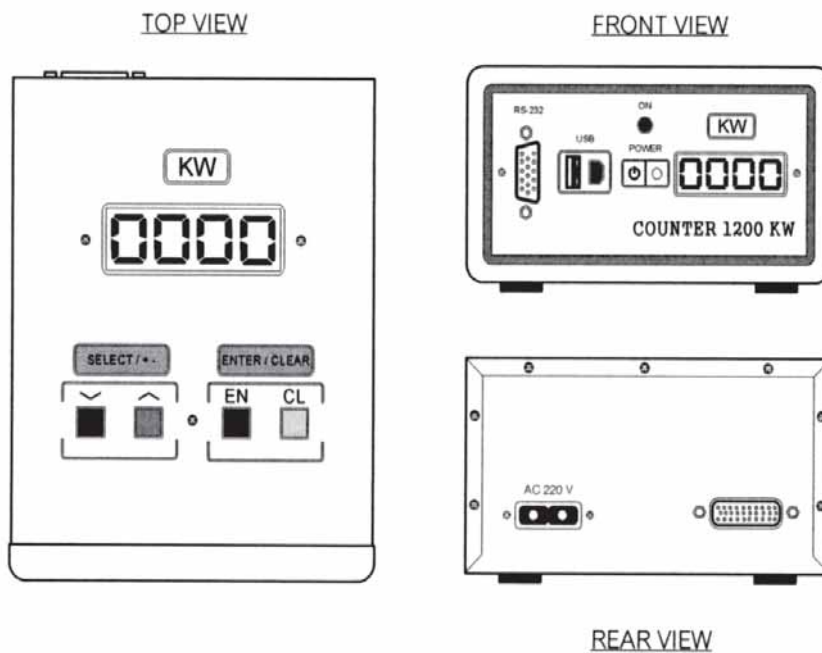
ด้านหลัง (Rear view) ของชุด อุปกรณ์ควบคุมมีพอร์ต (Port) สำหรับต่อ สายสัญญาณควบคุมระหว่างชุดอุปกรณ์ ควบคุมกับตัวเครื่อง เพื่อเชื่อมต่อการสั่งการ ทำงานจากชุดอุปกรณ์ควบคุมในการเพิ่ม และลดจำนวนของกิโวลต์ ส่งไปยัง อุปกรณ์ควบคุมที่อยู่ภายในตัวเครื่องให้ทำงาน โดยจะเป็นไปตามลำดับการสั่งงานของ ผู้ควบคุม ด้านข้างของพอร์ตเสียบสาย สัญญาณมีจุดเสียบสายปลั๊กแรงดัน 220 VAC สำหรับจ่ายไฟเลี้ยงอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ ที่ประกอบอยู่ในแผ่นวงจร (Electronics PCB) และติดตั้งอยู่ภายใน ชุดอุปกรณ์ควบคุมซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่จะ เข้าไปเลี้ยงวงจรในส่วนนี้จะถูกแปลงแรงดัน โดยชุดอุปกรณ์แปลงแรงดันไฟฟ้าแบบ Switching ที่ติดตั้งอยู่ภายใน เพื่อลด ระดับแรงดันไฟฟ้าให้เหลือ 12 โวลต์ และ ผ่านชุดอุปกรณ์ Rectifier เพื่อจะแปลง กระแสไฟฟ้าจากกระแสสลับให้เป็น ไฟฟ้ากระแสตรง สำหรับป้อนให้อุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ในวงจร ส่วนนี้จะใช้เมื่อ ต้องการเปิด (ON) การทำงานของชุด อุปกรณ์ควบคุม โดยที่ชุดอุปกรณ์ควบคุม ไม่ได้ถูกต่อเข้ากับเครื่องสร้างภาระเพื่อต้องการ ดูข้อมูลที่ถูกรับไว้ในหน่วยความจำภายใน (Memory) ของชุดอุปกรณ์ควบคุม หลังจากที่ได้ทดสอบการทำงานของเครื่องไฟฟ้า ต่าง ๆ ผ่านไปแล้ว หรือเมื่อต้องการทดสอบ

(Test) ชุดอุปกรณ์ควบคุมกับเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อดูลำดับการทำงานของชุดอุปกรณ์ควบคุมว่าถูกต้องหรือไม่ ก่อนที่จะนำไปต่อเข้ากับสายสัญญาณของเครื่องสร้างภาระ ในสภาวะนี้จำเป็นจะต้องมีไฟเลี้ยงให้แก่ชุดอุปกรณ์ควบคุม แต่ถ้าเป็นการทำงานปกติจะไม่ได้ใช้ เพราะปกติจะมีไฟฟ้ามายเลี้ยงวงจรภายในของชุดอุปกรณ์ควบคุมอยู่แล้ว โดยจะถูกส่งมาตามสายสัญญาณจากเครื่องสร้างภาระทำให้ชุดอุปกรณ์ควบคุมมีไฟมาเลี้ยงวงจรและทำงานได้

### โครงสร้างภายในของชุดอุปกรณ์ควบคุม (Counter)

ประกอบด้วยแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics PCB) ที่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ทรานซิสเตอร์ แบบต่าง ๆ ประกอบรวมกัน โดยแบ่งส่วนการทำงานออกเป็นหลายภาคส่วน เช่น ส่วนของการควบคุมการทำงาน (Controller) ส่วนการประมวลผล (Processor) และส่วนของหน่วยความจำ (Memory) สำหรับเก็บข้อมูล เป็นต้น โดยจะใช้ IC (Integrated circuit) เป็นอุปกรณ์หลักในการควบคุมการทำงานของแต่ละภาคส่วน แล้วนำข้อมูลที่ได้จากภาคส่วนต่าง ๆ มาประมวลผล โดยชุดอุปกรณ์ประมวลผล CPU (Chipset) และส่งข้อมูลที่ได้ออกไปให้ชุดอุปกรณ์ภาครับสัญญาณ (Receiver) ที่ประกอบอยู่ภายในเครื่องสร้างภาระทำการส่งออกไปที่อุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ ของเครื่องสร้างภาระ ให้ทำงานเป็นไปตามลำดับขั้นตอนต่อไป



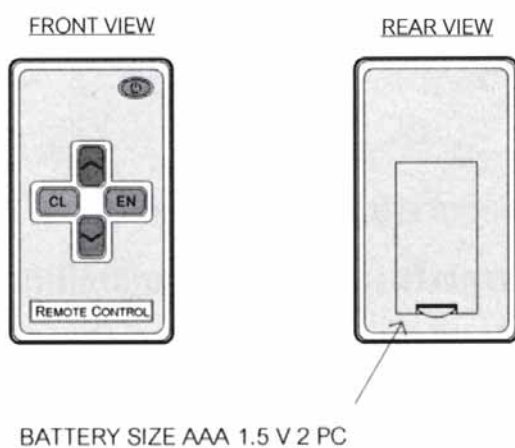
ชุดอุปกรณ์ควบคุมหรือเคาน์เตอร์ (Counter) ของเครื่องสร้างภาระขนาด 1,200 กิโลวัตต์

## การใช้งานชุดอุปกรณ์ควบคุม (Counter) ของเครื่องสร้างภาระขนาด 1,200 กิโลวัตต์

การใช้งานชุดอุปกรณ์ควบคุมของเครื่องสร้างภาระขนาด 1,200 กิโลวัตต์ ในการจ่ายภาระให้แก่เครื่องไฟฟ้าที่นำมาทดสอบมีวิธีการใช้งานแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ แบบ Manual และ แบบ Automatic

**แบบ Manual** แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ **ส่วนที่ 1** คือ กดปุ่ม เพิ่มและลดจำนวนของกิโลวัตต์ได้โดยตรงที่ปุ่ม SELECT + - และยืนยันคำสั่งหรือยกเลิกคำสั่งได้ที่ปุ่ม ENTER / CLEAR ที่ด้านบนของชุดควบคุม

**ส่วนที่ 2** คือ กดปุ่มควบคุมผ่านทาง Remote Control โดยที่ตัว Remote Control จะมีปุ่มเลือกสำหรับการเพิ่มและลดจำนวนกิโลวัตต์ โดยมีสัญลักษณ์เป็นรูปหัวลูกศร ชี้ขึ้น-ลง ที่ปุ่มกด และมีปุ่ม ENTER สำหรับกดยืนยันการเพิ่มและลดจำนวนกิโลวัตต์ ปุ่ม CLEAR สำหรับยกเลิกคำสั่งทั้งหมดซึ่งจะอยู่ติดกัน ในส่วนมุมบนของตัว Remote control จะมีปุ่มปิด/เปิดเครื่องของชุดอุปกรณ์ควบคุมด้วย Remote Control ด้านหน้าของชุดอุปกรณ์ควบคุม (Counter) จะมีอุปกรณ์รับสัญญาณ Remote ที่อยู่ติดกับปุ่ม Power สามารถรับสัญญาณได้ในระยะห่างประมาณ 3-5 เมตร



Remote Control ที่ใช้กับชุดอุปกรณ์ควบคุม (Counter)

## แบบ Automatic มีวิธีการใช้ดังนี้

เริ่มจากต่อชุดควบคุม (Counter) เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยเชื่อมต่อผ่านทางช่องเสียบสัญญาณแบบ USB หรือพอร์ตแบบ RS-232 ที่ด้านหน้าของชุดอุปกรณ์ควบคุม วิธีการใช้งานมีลักษณะเป็นรูปแบบคำสั่ง ผ่านทางโปรแกรมที่ติดตั้งเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยที่ผู้ควบคุมสามารถป้อนข้อมูลที่ได้จากการคำนวณภาระทั้งหมดของเครื่องไฟฟ้าที่นำมาทดสอบใส่เข้าไปในโปรแกรม จากนั้นโปรแกรมจะประมวลผลและแบ่งเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่จะทดสอบตามลำดับ คือ 20%, 40%, 60%, 80%, และ 100% สมมติว่าต้องการจ่ายภาระ (Load) จำนวน 20% ของภาระทั้งหมด ให้แก่เครื่องไฟฟ้าที่จะทดสอบ ก็สามารถพิมพ์ตัวเลข 20 ลงไปในช่องข้อมูลของจำนวนภาระที่จะทดสอบในโปรแกรมจากนั้นกดปุ่ม ENTER ที่แป้นพิมพ์ ระบบจะคำนวณภาระจำนวน 20% ของภาระทั้งหมด ให้เปลี่ยนออกมาเป็นจำนวนกิโลวัตต์ที่เครื่องสร้างภาระจะจ่ายให้แก่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อทดสอบ จากนั้นก็ให้กดปุ่ม ENTER ที่แป้นพิมพ์อีกครั้งหนึ่ง โปรแกรมจะสั่งให้ชุดควบคุม (Counter) ส่งข้อมูลที่เป็นจำนวนภาระ และสั่งให้อุปกรณ์ควบคุมที่อยู่ในเครื่องสร้างภาระจ่ายภาระให้แก่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่นำมาทดสอบโดยอัตโนมัติ ซึ่งวิธีการจ่ายภาระจะจ่ายทีละ 1 กิโลวัตต์ (หรือแล้วแต่ผู้ควบคุมต้องการจะตั้งค่าที่ช่องข้อมูลของโปรแกรมว่าจะให้ชุดอุปกรณ์ควบคุมจ่ายภาระทีละเท่าไร) และเว้นช่วงระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงของตัวเลขเป็นระยะ ๆ โดยระยะของการเปลี่ยนแปลงตัวเลขนี้ จะสามารถเลือกการตั้งค่าระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงได้เช่นกัน เช่น 1 วินาที หรือ 2, 3, 4, 5 ไปจนถึง

60 วินาที เครื่องสร้างภาระจะจ่ายภาระให้แก่เครื่องไฟฟ้าที่ทำการทดสอบไปเรื่อย ๆ จนครบจำนวน 20% ของภาระทั้งหมดจึงจะหยุด เพื่อรอคำสั่งการจ่ายภาระจากโปรแกรมที่ตั้งไว้ในลำดับต่อไป หากเกิดข้อผิดพลาดขึ้นที่เครื่องไฟฟ้า หรือที่เครื่องสร้างภาระในระหว่างที่ทดสอบ เช่น ระดับแรงดันไฟฟ้า หรือระดับของความถี่ของเครื่องกำเนิด

ไฟฟ้าลดลงผิดปกติ โปรแกรมจะตัดภาระออกจากเครื่องไฟฟ้าที่กำลังทดสอบโดยอัตโนมัติ เครื่องสร้างภาระก็จะกลับมาอยู่ในสภาวะปกติ (Clear Load) หรืออีกวิธีหนึ่งคือ ให้กดที่ปุ่ม Del ที่แป้นพิมพ์ของคอมพิวเตอร์ได้เลย เพื่อเป็นการปลดภาระทั้งหมดออกจากเครื่องไฟฟ้าที่กำลังทดสอบอยู่

### บทสรุป

หลักการงานและวิธีการใช้งานรวมทั้งขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องสร้างภาระ ขนาด 1,200 กิโลวัตต์ มีวิธีการเหมือนกับการใช้งานเครื่องสร้างภาระขนาด 600 กิโลวัตต์ จะแตกต่างกันก็เฉพาะวิธีการจ่ายภาระของชุดอุปกรณ์ควบคุม เนื่องจากชุดอุปกรณ์ควบคุมของเครื่องสร้างภาระขนาด 1,200 กิโลวัตต์ ที่ออกแบบใหม่จะมีความทันสมัยและใช้งานสะดวกมากขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการใช้งานได้ตามความต้องการ และทำให้การปฏิบัติงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังนั้น กพฟ.อจปร.อร. จึงมีแนวคิดที่จะหาแนวทางในการออกแบบและจัดสร้างเครื่องสร้างภาระ (Load Bank) สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดตั้งแต่ 800 กิโลวัตต์ขึ้นไป เพื่อรองรับในกรณีที่ได้รับ การจัดสรรงบประมาณให้จัดสร้าง ซึ่งหากสามารถจัดสร้างได้เอง จะทำให้ประหยัดงบประมาณได้เป็นจำนวนมาก รวมทั้งเป็นการเพิ่มศักยภาพและขีดความสามารถให้แก่บุคลากรของ กพฟ.อจปร.อร. ด้วย

### บรรณานุกรม

“การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก

<http://www.navy.mi.th/dockyard/doced/QADOC/Khum/0001-0251.pdf> 8 ส.ค.51.

รัชชัย อัครวิบูลย์กุล. เครื่องกลไฟฟ้า 1. กรุงเทพฯ, โรงพิมพ์เจริญธรรม, 2535.

รัชชัย อัครวิบูลย์กุล. เครื่องกลไฟฟ้า 2. กรุงเทพฯ, โรงพิมพ์เจริญธรรม, 2535.

ยุทธศึกษาทหารเรือ, กรม. คู่มือไฟฟ้าชั้นกลาง เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ, โรงพิมพ์ กรมสารบรรณทหารเรือ, 2529.

“Automatic Load Bank Control.” [Online]. Available: [http://www.avtron.com/load\\_banks.htm](http://www.avtron.com/load_banks.htm) 10 Aug. 2008. Load Bank.

Crestchic Ltd. LOAD BANK. London, Peel House, 1987.

“Heater.” [Online]. Available: <http://www.hi-den.com/> 17 Aug. 2008.

“Specification Load Bank.” [Online]. Available: <http://www.sephco.com/> 9 Aug. 2008.



**LERTVILAI AND SONS CO.,LTD.**  
**บริษัท เลิศวิไลแอนด์ซันส์ จำกัด**

**สินค้า**

ลวดเชื่อมไฟฟ้า **YAWATA**

สายไฟฟ้าพิเศษ **TRIANGLE**

ศูนย์ฝึกอบรมและบริการหลังการขาย

ลวดเชื่อมไฟฟ้า **GEMINI**

เครื่องเชื่อม/ตัดพลาสมา **MILLER**

รวมถึงสินค้าอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องอีกมากมาย



ARC WELDING EQUIPMENT



**ศูนย์ฝึกอบรมและบริการหลังการขาย**



บริษัท เลิศวิไลแอนด์ซันส์ จำกัด

788-790 ถ.เจริญกรุง แขวง/เขต สัมพันธวงศ์ กรุงเทพฯ 10100 โทร: (02)235-1105-9,234-9961 แฟกซ์: (02)639-4323

เว็บไซต์ : [www.lertvilai.com](http://www.lertvilai.com) อีเมลล์ : [gov@lertvilai.com](mailto:gov@lertvilai.com)





## DAMEN SCHELDE NAVAL SHIPBUILDING

### NEW NAME – SAME COURSE

[WWW.DAMENNAVAL.COM](http://WWW.DAMENNAVAL.COM)

The year 1875 saw the birth of a new shipyard, the name of which would become synonymous with high quality, state of the art shipbuilding. The company, which became known to its international clientele as Royal Schelde, built a large number of naval and commercial vessels, many of which helped to shape history. In 2000 it became part of the largest shipbuilding conglomerate in the Netherlands, the Damen Shipyards Group.

Together with its sister companies, it is continuously improving and expanding a complete range of naval and patrol vessels ranging from 10 to over 200 meters. In recognition of the uniqueness of this portfolio, 133 years of shipbuilding excellence is given a new name as of 20 October 2008.

**Royal Schelde, or Schelde Naval Shipbuilding bv as we used to be called formally, from now on will be called DAMEN SCHELDE NAVAL SHIPBUILDING**

# DAMEN

DAMEN SCHELDE NAVAL SHIPBUILDING

Member of the DAMEN SHIPYARDS GROUP



Glacisstraat 165  
4381 SE Vlissingen

P.O. Box 555  
4380 AN Vlissingen  
The Netherlands

phone +31 (0)118 48 50 00  
fax +31 (0)118 46 50 10

info@damennaval.com  
www.damennaval.com



## บทนำ

จากข้อเท็จจริงปัจจุบันพบว่า เมื่อมีการนำเรือเข้ารับการซ่อมทำ พบว่ามีอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ต้องได้รับการซ่อมทำจำนวนมากกว่าที่ได้สำรวจหรือทำนายไว้ เป็นผลให้โรงงานไม่สามารถดำเนินการซ่อมทำได้ทัน ไม่มีการจัดหาอะไหล่ไว้รองรับ ประกอบกับการจัดซื้อจัดหาต้องใช้เวลา นาน นอกจากนั้นเมื่อซ่อมทำเสร็จ และนำไปติดตั้งในเรือ ด้วยสภาพที่เรือรมมีพื้นที่คับแคบ สิ่งอำนวยความสะดวกมีจำกัด ทำให้ปฏิบัติงานไม่สะดวก ไม่สามารถติดตั้งและทดสอบให้เป็นไปตามแผนได้

จากการวิเคราะห์ถึงสาเหตุของปัญหาดังกล่าว พบว่ามีอุปกรณ์ที่เสียหายและต้องซ่อมทำมากกว่าที่คาดการณ์ไว้ จึงมีแนวความคิดจะหาวิธีที่รวดเร็วกว่าที่บอกได้ว่าอุปกรณ์นี้ต้องซ่อมบำรุงแล้วและจะต้องดำเนินการได้ในขณะเรือเทียบท่า ไม่ต้องรอให้เกิดความเสียหายแล้วจึงมาซ่อมทำขณะเรือเข้าซ่อมทำตามแผน ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีใหม่ ๆ ทำให้มีเครื่องมือวัดหลากหลายชนิดสามารถนำมาหาวิธีที่รวดเร็วกว่าที่ทำนายอุปกรณ์ไฟฟ้าในเรือให้ครบทุกส่วนได้ และสามารถบอกได้ว่า อุปกรณ์นั้นต้องซ่อมบำรุงหรือซ่อมทำ

## 2. หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

อุปกรณ์ที่ใช้งานในเรือส่วนใหญ่ คือ ปั๊มและมอเตอร์ซึ่งมีขดลวดเป็นส่วนประกอบ และทำงานภายใต้สภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิค่อนข้างสูง บทความนี้จะกล่าวถึงการหาวิธีที่รวดเร็วกว่าที่ทำนายของอุปกรณ์ไฟฟ้าในเรือ เพื่อการซ่อมบำรุงหรือซ่อมทำในเชิงรุก ซึ่งประกอบด้วยการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน (Vibration Analysis)

การตรวจสอบความร้อน (Thermal Monitoring) และการหาวิธีที่รวดเร็วกว่าที่ทำนายของดัชนีโพลาไรเซชัน (Polarization Index)

### 2.1 การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน

การสั่นสะเทือนคือ ปรากฏการณ์ของการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของวัตถุภายใต้แรงกระทำ ซึ่งอาจเป็นแรงภายในหรือแรงภายนอกก็ได้<sup>1</sup> โดยทั่วไปแล้วการสั่นสะเทือนเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ แต่มักหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นวิธีการที่ดีที่สุดคือการจำกัดขนาดของการสั่นสะเทือนให้อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ สำหรับเครื่องจักรแล้วการสั่นสะเทือนเกิดจากหลายสาเหตุ ซึ่ง

สาเหตุหลักเกิดจากการไม่สมดุลของเครื่องจักรที่หมุน การสั่นสะเทือนยังอาจเกิดได้จากการที่ชิ้นส่วนเครื่องจักรเคลื่อนที่ตามแนวเส้นตรงด้วยความเร่ง ชิ้นส่วนเครื่องจักรสองชิ้นที่เสียดสีหรือถูกัน ซึ่งการสั่นสะเทือนนี้จะเกิดจากความไม่เรียบของผิวหน้าของชิ้นส่วนสองชิ้นที่สัมผัสกัน การสั่นสะเทือนเหล่านี้จะมีผลต่อสมรรถนะและสภาพการใช้งานของเครื่องจักร ดังนั้นการทำให้เครื่องจักรทำงานมีประสิทธิภาพสูงสุดจึงจำเป็นต้องเข้าใจถึงพฤติกรรมของการสั่นสะเทือน เพื่อให้สามารถจำกัดขนาดการสั่นสะเทือนให้มีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

### 2.1.1 การสั่นสะเทือนกับสภาพเครื่องจักร

ในแง่การนำการสั่นสะเทือนมาใช้ในงานในการบำรุงรักษาและการตรวจสภาพการทำงานของเครื่องจักรนั้นจะต้องมีเครื่องมือมาช่วยเก็บข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์โดยทั่วไปเมื่อเครื่องจักรทำงานไม่ว่าจะอยู่ในสภาพที่ดี เยี่ยม หรือ เสียหาย ต่างมีการสั่นสะเทือนและเสียง (Noise) เสมอ

เพียงแต่ว่าระดับหรือขนาดของการสั่นสะเทือนและเสียงในเครื่องจักรที่อยู่ในสภาพที่ดีจะมีขนาดต่ำ (ในขนาดที่ยอมรับได้) ในขณะที่เครื่องจักรที่มีสภาพชำรุดหรือมีจุดบกพร่องเกิดขึ้นระหว่างทำงาน ขนาดหรือระดับของการสั่นสะเทือนและเสียงมักจะสูงตามสภาพการชำรุดหรือบกพร่อง ดังนั้นจากความจริงข้อนี้จึงมักมีการใช้ขนาดของการสั่นสะเทือนหรือเสียงเป็นตัววินิจฉัยสภาพหรือปัญหาที่เกิดขึ้นในเครื่องจักรเพื่อประโยชน์ในการบำรุงรักษา สาเหตุการสั่นสะเทือนในเครื่องจักรมีหลายสาเหตุ เช่น ความไม่สมดุลของชิ้นส่วนเครื่องจักรหมุน การไม่อยู่ในแนวเดียวกัน (Misalignment) ของตัวต่อ (Coupling) ตลับลูกปืน (Bearing) เฟืองที่เยื้องศูนย์ และเฟืองที่สึกและเสียหาย ฯลฯ

### 2.1.2 การกำหนดตำแหน่งในการตรวจวัด

ในการตรวจวัดค่าการสั่นสะเทือน ผู้ปฏิบัติควรคำนึงถึงหัวข้อต่อไปนี้ <sup>2</sup>

- **ประเภทของหัวตรวจวัด** ขึ้นอยู่กับโครงสร้างหรือจุดที่ทำการตรวจวัด จุดประสงค์ของการตรวจสอบ และย่านความถี่การตรวจวัด

- **ตำแหน่งที่จะตรวจวัด** ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของเครื่อง และลักษณะการทำงานของเครื่อง (Dynamic)

- **จำนวนจุดวัด** ขึ้นอยู่กับขนาดและน้ำหนักของหัวตรวจวัด ความรุนแรงของปัญหา ชนิด และความกว้างของปัญหา

อย่างไรก็ตาม การกำหนดตัวแปรตามหัวข้อข้างต้น อาจพบข้อจำกัดอยู่

บ้าง จึงต้องประยุกต์ใช้หัวตรวจที่มีความเหมาะสมกับความถี่ที่จะวัด และข้อควรระวังประการหนึ่งในการตรวจวัดความสั่นสะเทือนคือ ตำแหน่งการติดตั้งประเภทของสายที่ใช้ สัญญาณรบกวน ตลอดจนการวางสาย และระบบการปรับสัญญาณให้รอบคอบ เนื่องจากสัญญาณที่ตรวจวัดได้เป็นสัญญาณที่มีค่าความต่างศักย์และกระแสต่ำ การกำหนดจุดวัดกับเครื่องจักรกลต่าง ๆ นั้นสามารถดูรายละเอียดใน <sup>2</sup> และเกณฑ์มาตรฐานค่าการสั่นสะเทือนใน <sup>3</sup>

### 2.2 การตรวจสอบความร้อน

ก่อนที่จะทราบถึงวิธีการตรวจจับความร้อนจะต้องเข้าใจเกี่ยวกับการส่งผ่านหรือการแผ่ความร้อนของวัตถุก่อน

#### 2.2.1 ทฤษฎีรังสีอินฟราเรด

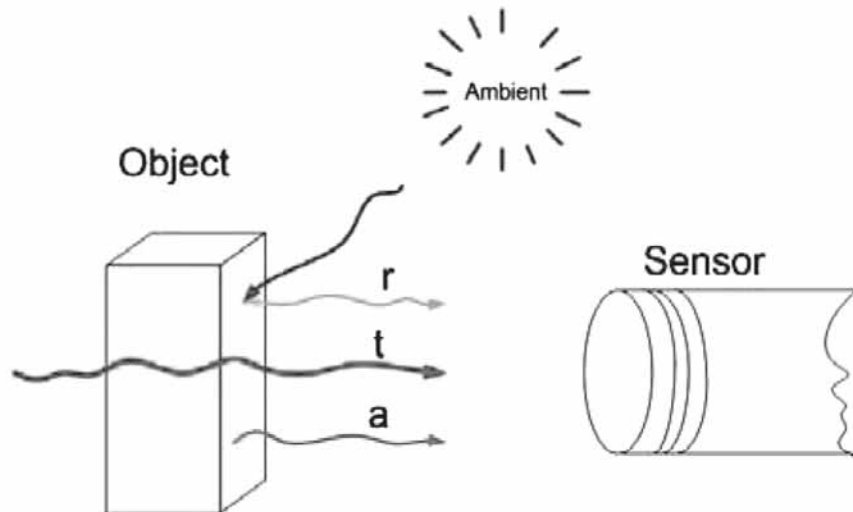
รังสีอินฟราเรดหรือรังสีความร้อนจะแผ่ออกมาจากพื้นผิวของวัตถุในรูปพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยรังสีอินฟราเรดที่ตกกระทบบนพื้นผิววัตถุบางส่วนจะถูกดูดกลืน (Absorbed) บางส่วนจะสะท้อน (Reflected) และบางส่วนจะส่งผ่านออกไป (Transmitted) ตามสมการ (1) และ แสดงได้ดังรูปที่ 1

$$r+t+a = 1 \quad (1)$$

เมื่อกำหนดให้

a คือ Absorptivity, r คือ Reflectivity และ t คือ Transmissivity

เมื่อวัตถุอยู่ในสภาพภาวะแวดล้อมที่สมดุล การแผ่พลังงานของรังสีอินฟราเรดของวัตถุจะมีค่าเท่ากับปริมาณที่ดูดกลืน เป็นผลให้วัตถุที่สามารถจะดูดกลืนรังสีได้ดีก็จะแผ่รังสีได้ดีด้วย



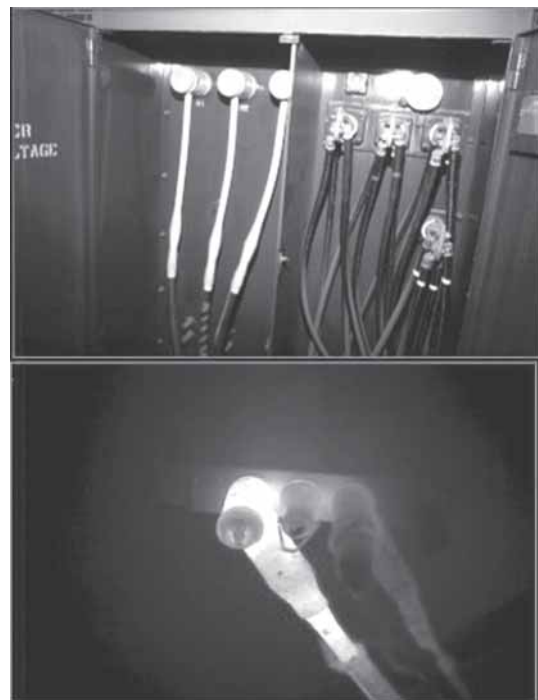
รูปที่ 1 แสดงการถ่ายเทพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุ

### 2.2.2 เครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส

อุณหภูมิเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญที่สุดในกระบวนการทางวิศวกรรม ภาวะผิดปกติของอุปกรณ์มักจะแสดงออกในรูปการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เช่น ข้อต่อ ทางไฟฟ้า หรือตลับลูกปืนที่อุณหภูมิสูงผิดปกติย่อมเป็นการบ่งชี้ถึงความบกพร่องบางประการที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ดังกล่าว ดังนั้นเครื่องมือวัดที่แสดงสภาพอุณหภูมิจึงเป็นสิ่งสำคัญในการตรวจสอบสถานะการทำงานของกระบวนการหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ในโรงงานและในเรือ

เครื่องมือที่สามารถสนองต่อวัตถุประสงค์ข้างต้นได้อย่างเหมาะสมที่สุดคือเครื่องมือวัดและเครื่องสร้างอุณหภูมิแบบรังสีอินฟราเรด (Infrared Thermometer and Infrared Thermography) ซึ่งจะวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ บนวัตถุ แล้วนำผลการวัดมาสร้างเป็นภาพแสดงระดับอุณหภูมิ

ของวัตถุนั้น โดยใช้สีหรือระดับความเข้มเป็นตัวบอกความสูงต่ำของอุณหภูมิ รูปที่ 2 แสดงให้เห็นชัดเจนว่าข้อต่อไฟฟ้ามีอุณหภูมิสูงผิดปกติ



รูปที่ 2 ภาพถ่ายธรรมดา (ภาพบน) และภาพอุณหภูมิ (ภาพล่าง) ของข้อต่อไฟฟ้า

### 2.2.3 หลักการพื้นฐาน

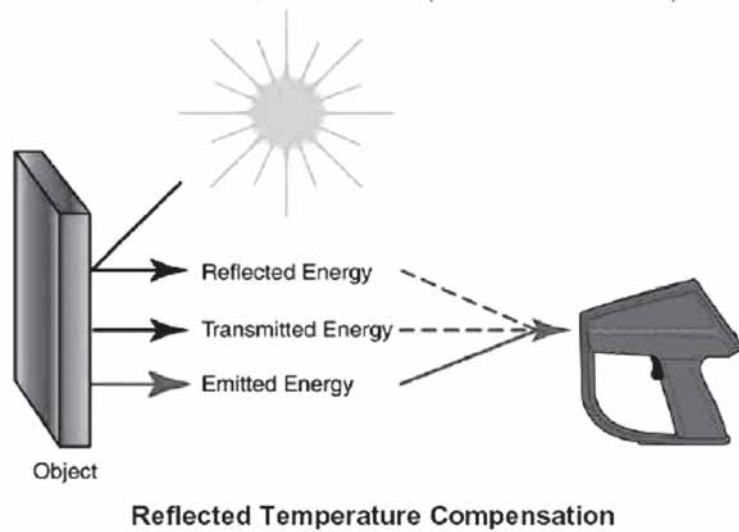
เครื่องมือวัดรังสีอินฟราเรดทำงานโดยอาศัยปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่ว่า วัตถุทุกชนิดจะแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาเสมอ รังสีที่แผ่ออกมานี้ประกอบด้วยรังสีที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน (สเปกตรัมของรังสี) ระดับพลังงานของรังสีนี้จะสูงขึ้นตามอุณหภูมิของวัตถุ ซึ่งอุณหภูมิของวัตถุกับระดับพลังงานของรังสีที่ถูกปล่อยออกมาจากวัตถุนั้นมีความสัมพันธ์ที่

แน่นอนตามกฎของ Planck เราจึงอาจจะหาอุณหภูมิของวัตถุได้โดยการวัดพลังงานของรังสีที่ถูกแผ่ออกจากวัตถุแทน ดังรูปที่ 3

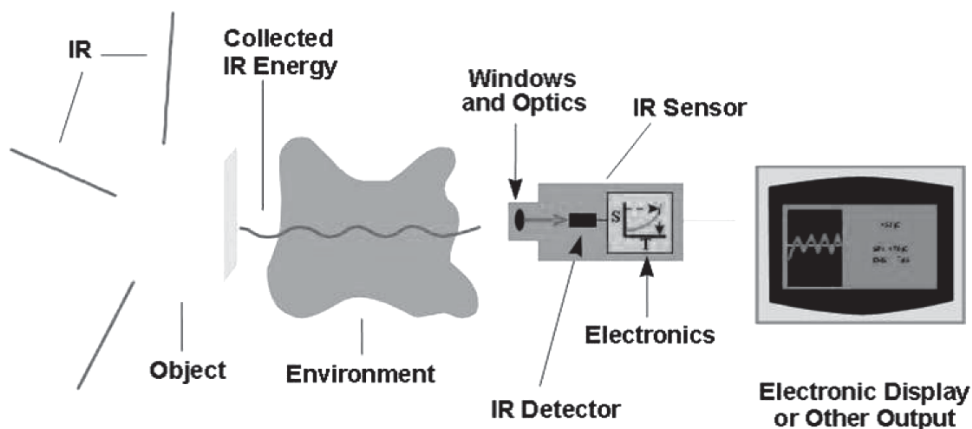
### 2.2.4 ความคลาดเคลื่อน

#### ในการวัด

เนื่องจากวัตถุมิการแผ่รังสีความร้อนออกมา เช่น เครื่องจักร เครื่องไฟฟ้า เครื่องมือตรวจจับความร้อนจะมีตัวตรวจจับรังสีความร้อน (IR Sensor) แล้วนำไปแสดงผลที่จอ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 แสดงการตรวจจับพลังงานที่แผ่ออกมาจากวัตถุ (Emitted Energy)



รูปที่ 4 แสดงการทำงานของเครื่องมือตรวจจับความร้อน

โดยการตรวจจับนั้นมีพารามิเตอร์ของวัตถุคือ ยานอุณหภูมิจึงของวัตถุ ขนาดและรูปร่าง ระยะห่างจากตัวตรวจจับ ชนิดของวัตถุ และการเคลื่อนไหว ผลการวัดที่ได้จากเครื่องมือนี้จะมีค่าความถูกต้องก็ต่อเมื่อปริมาณพลังงานของรังสีที่มาถึงตัวตรวจจับนั้นเป็นปริมาณเดียวกันกับที่ถูกปล่อยออกมาจากวัตถุเท่านั้น หากมีการแทรกเสริมหรือการดูดกลืนรังสีเกิดขึ้นย่อมจะทำให้ค่าที่วัดได้คลาดเคลื่อนไป

### 2.3 การหาดัชนีความต้านทาน ฉนวน (Polarization Index: PI)

ความต้านทานฉนวนขึ้นอยู่กับตัวแปรหรือปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ชนิดของฉนวน อายุการใช้งาน พื้นผิว ความชื้น และความสกปรก ความต้านทานฉนวนสามารถอธิบายได้ โดยพิจารณาจากองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้ คือ การรั่วไหลของกระแสไฟฟ้า ความจุไฟฟ้า ความนำไฟฟ้า การดูดซึม เมื่อมีการทดสอบด้วยพีไอ (Polarization Index) นั้น ปกติความจุไฟฟ้าจะมีผลภายหลังการทดสอบ 2-3 วินาทีแรก ส่วนความนำไฟฟ้าควรมีค่าเป็นศูนย์หากขดลวดไม่มีความชื้น และกระแสไฟฟ้ารั่วไหลจะคงที่ตลอดเวลาที่ทำการทดสอบ

การทดสอบด้วยพีไอมีประโยชน์เนื่องจากมีตัวแปรที่คงที่ซึ่งได้แก่กระแสไฟฟ้าที่ซึมซับไว้จะแสดงให้เห็นทราบสภาพของฉนวนว่า มีความสมบูรณ์เพียงใด ค่าพีไอเป็นอัตราส่วนค่าความต้านทานที่วัดได้ในแต่ละเฟสเทียบกับกราวด์ ที่เวลา 1 นาที และ 10 นาที นับตั้งแต่เริ่มป้อนแรงดันให้แก่ฉนวน แล้วนำมาหาดัชนีความต้านทานฉนวน จาก (2)

$$PI = \frac{IR (10 \text{ min})}{IR (1 \text{ min})} \quad (2)$$

โดยที่

PI คือ ดรรชนีความต้านทานฉนวน

IR (10 min) คือ ค่าความต้านทานฉนวนที่ 10 นาที

IR (1 min) คือ ค่าความต้านทานฉนวนที่ 1 นาที

โดยปกติค่า พีไอ ควรอยู่ระหว่าง 2 และ 5 ถ้าต่ำกว่า 2 แสดงว่าขดลวดสกปรกหรือมีความชื้น แต่ถ้ามากกว่า 5 แสดงว่าฉนวนกรอบแห้งและเปราะ<sup>4</sup>

### 3. ขั้นตอนการปฏิบัติ

3.1 เลือกเรือและอุปกรณ์ที่ต้องการหา ดรรชนีชี้วัดเพื่อทำนาย

3.2 เก็บข้อมูลโดยการวัดค่าพีไอ ค่าการสั้นสะท้อน และภาพถ่ายความร้อน ทุก 1 เดือน ทุก 2 เดือน หรือ ทุก 300 ชั่วโมง ทำงานของอุปกรณ์นั้น (โดยประมาณ) แล้วบันทึกผลจนครบชั่วโมงทำงาน ซึ่งในการวัดนั้นจะต้องมีการควบคุมพารามิเตอร์ที่สำคัญ เช่น อุณหภูมิแวดล้อม ระบบควบคุมการทำงาน เครื่องมือวัด ตลอดจน ผู้ที่ทำการวัดหรืออ่านค่า

3.3 นำ ค่า ที่ได้จากการวัดมาพลอตกราฟ แสดงความสัมพันธ์กับชั่วโมงทำงาน แล้วประมาณเป็นสมการทางคณิตศาสตร์

3.4 วิเคราะห์สมการที่ได้จากข้อ 3.3 โดยพิจารณาเกณฑ์มาตรฐานของดรรชนีชี้วัดแต่ละตัว รวมทั้งวิเคราะห์ดูแนวโน้มของค่าเหล่านั้นว่า มีความสัมพันธ์กันหรือไม่อย่างไร จากนั้นจึงสรุปและประเมินผล

### 4. ตัวอย่างการนำไปใช้

ร.ล.ล่องลม เข้ารับการซ่อมทำ ที่ อุทยานาวิมหิตลอดุลยเดช กรมอุทกหารเรือ

(อรม.อร.) จนแล้วเสร็จ จึงส่งมอบเรือให้ กองเรือยุทธการ (กร.) ในปี 2550 และมี แผนที่จะเข้ารับการซ่อมทำคืนสภาพในปี 2555 ซึ่งมอเตอร์เครื่องอัดอากาศ หมายเลข 1 (High) หลังจากผ่านการซ่อมทำโดยการ พันขดลวดใหม่ โดยขดลวดที่ใช้เป็นจนวน คลาส B ซึ่งจะมีชั่วโมงการทำงานประมาณ 14,600 ชม. (ประมาณ 5 ปี) สมมติว่าเปิด ใช้งานวันละ 8 ชม. ให้ทำนายสภาพของ

มอเตอร์เครื่องอัดอากาศ หมายเลข 1 (High) นี้ ตลอดชั่วโมงการใช้งาน

สำหรับขั้นตอนการปฏิบัติงานนั้นจะเริ่ม ตั้งแต่การเก็บข้อมูล โดยวัดค่าพีไอ ค่าการ สั่นสะเทือน และค่าอุณหภูมิของมอเตอร์ เครื่องอัดอากาศ หมายเลข 1 (High) ทุก ๆ 300 ชั่วโมงทำงาน (โดยประมาณ) แล้ว บันทึกผล จนครบ 48 ครั้ง ซึ่งจะใช้เวลา ประมาณ 5 ปี ดังตารางที่ 1 ถึง ตารางที่ 4

ตารางที่ 1 แสดงการบันทึกผลจากการวัดค่าพีไอ ค่าการสั่นสะเทือน และ อุณหภูมิ ของมอเตอร์ ครั้งที่ 1 ถึง 12

ค่าที่วัด				ครั้งที่ (ทุก 300 ชม.)											
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PI				4.0	4.0	3.9	3.9	3.8	3.8	3.7	3.7	3.7	3.6	3.6	3.6
Vibration	มอเตอร์	LM	V	3.8	3.8	3.8	4.0	4.0	4.1	4.1	4.2	4.2	4.3	4.4	4.5
Peak (rms)	ปั๊ม	PP	V	3.5	3.6	3.6	3.7	3.8	4.0	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4
Temperature (°C)				40	41	42	43	45	47	48	48	49	50	52	53

ตารางที่ 2 แสดงการบันทึกผลจากการวัดค่าพีไอ ค่าการสั่นสะเทือน และ อุณหภูมิของมอเตอร์ ครั้งที่ 13 ถึง 24

ค่าที่วัด				ครั้งที่ (ทุก 300 ชม.)											
				13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
PI				3.5	3.4	3.3	3.3	3.1	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4
Vibration	มอเตอร์	LM	V	4.6	4.7	4.7	4.7	4.8	4.9	4.9	5.0	5.0	5.2	5.3	5.3
Peak (rms)	ปั๊ม	PP	V	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.3	5.4	5.4
Temperature (°C)				54	55	55	56	57	58	58	59	59	60	61	62

ตารางที่ 3 แสดงการบันทึกผลจากการวัดค่าพีไอ ค่าการสั่นสะเทือน และ อุณหภูมิของมอเตอร์ ครั้งที่ 25 ถึง 36

ค่าที่วัด				ครั้งที่ (ทุก 300 ชม.)											
				25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
PI				2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7
Vibration	มอเตอร์	LM	V	5.4	5.4	5.5	5.6	5.7	5.7	5.7	5.7	5.8	5.8	5.9	5.9
Peak (rms)	ปั๊ม	PP	V	5.8	6.2	6.5	6.9	7.3	7.5	7.8	8.0	8.3	8.5	8.6	8.8
Temperature (°C)				63	64	65	66	68	70	71	72	74	76	78	79

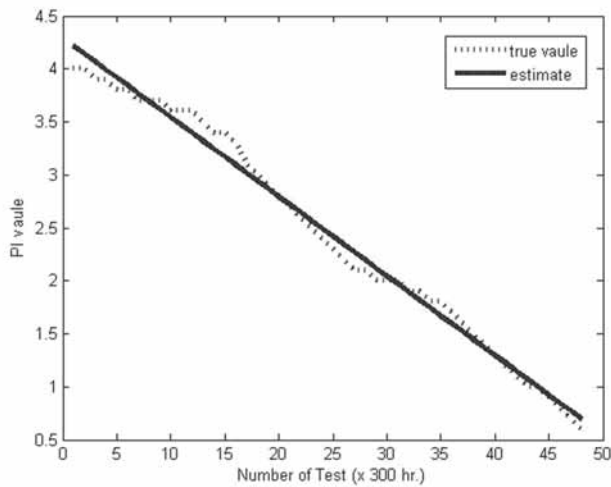


ตารางที่ 4 แสดงการบันทึกผลจากการวัดค่าพีไอ ค่าการสั่นสะเทือน และ อุณหภูมิของมอเตอร์ ครั้งที่ 37 ถึง 48

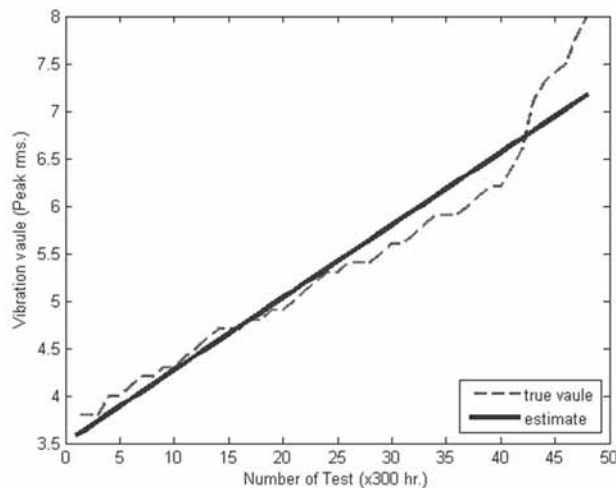
ค่าที่วัด				ครั้งที่ (ทุก 300 ชม.)											
				37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
PI				1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6
Vibration	มอเตอร์	LM	V	6.0	6.1	6.2	6.2	6.4	6.6	7.1	7.3	7.4	7.5	7.8	8.0
Peak (rms)	ปั๊ม	PP	V	9.0	9.3	9.4	9.5	9.6	9.8	10.0	11.2	11.4	11.6	11.8	12.1
Temperature (°C)				80	81	81	82	83	84	84	85	87	88	89	89

จากนั้นนำค่าที่ได้จากตารางที่ 1 ถึง ตารางที่ 4 มาพลอตกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดรรชนีชี้วัด แต่ละตัวกับ ชั่วโมงการทำงาน โดยให้ดรรชนีชี้วัดแต่ละ

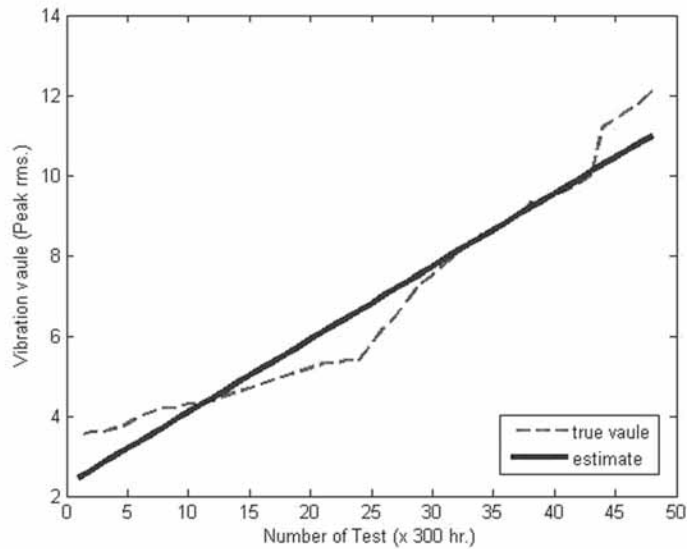
ตัวอยู่บนแกนตั้ง (แกน Y) และ จำนวน ชั่วโมงการทำงานอยู่บนแกนนอน (แกน X) แล้วประมาณเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ ดัง รูปที่ 5, 6, 7 และ 8



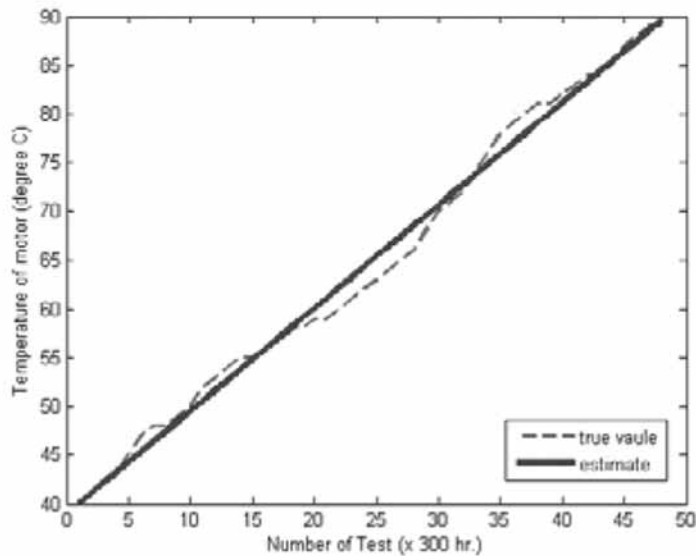
รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าพีไอ ของมอเตอร์ กับ ชั่วโมงการทำงาน โดยค่าที่ได้จากการวัด (เส้นประ) และการประมาณ (เส้นทึบ)



รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ กับ ชั่วโมงการทำงาน โดยค่าที่ได้จากการวัด (เส้นประ) และการประมาณ (เส้นทึบ)



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าการสั่นสะเทือนของปั๊ม กับ ชั่วโมงการทำงาน โดยค่าที่ได้จากการวัด (เส้นประ) และการประมาณ (เส้นทึบ)



รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าอุณหภูมิของมอเตอร์ (องศาเซลเซียส) กับ ชั่วโมงการทำงานโดยค่าที่ได้จากการวัด (เส้นประ) และการประมาณ (เส้นทึบ)

เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการวัดอาจมีข้อผิดพลาดบ้าง ในการประมาณสมการนั้น จะใช้วิธีประมาณโดย Least Square Curve Fitting ซึ่งกราฟที่ได้ ไม่จำเป็นต้องผ่านจุด

ของข้อมูลที่วัดทุกจุด แต่จะเป็นเส้นที่ทำให้เกิดความผิดพลาดจากข้อมูลโดยรวมน้อยที่สุด<sup>5</sup> จะได้สมการมีระดับชั้นพหุนามเท่ากับหนึ่ง และสอง ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงสมการของดรรชนีชี้วัดแบบทำนายของมอเตอร์เครื่องอัดอากาศ 1 (High)

ดรรชนีชี้วัด	สมการ				
	$a_1x + a_0$		$a_2x^2 + a_1x + a_0$		
	$a_1$	$a_0$	$a_2$	$a_1$	$a_0$
PI	-0.0749	4.2903	-0.0002	-0.0650	4.2071
Motor	0.0764	3.5046	0.0011	0.0234	3.9463
Pump	0.1816	2.2753	0.0033	0.0224	3.6024
Temperature	1.0542	38.9840	0.0031	0.9029	40.2447

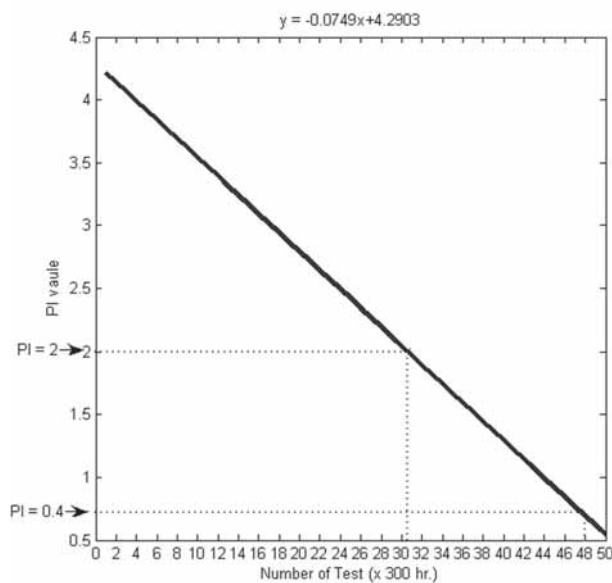
**5. วิเคราะห์ผล**

บทความนี้จะประมาณสมการทางคณิตศาสตร์ให้มีระดับชั้นพหุนามเท่ากับหนึ่ง

**5.1 วิเคราะห์ค่าพีไอ** จากการทดลองพบว่า ค่าพีไอจะมีค่าลดลงเมื่อชั่วโมงการทำงานเพิ่มขึ้น และได้สมการจากการประมาณ คือ  $y = -0.0749x + 4.2903$  ดังรูปที่ 9 และค่าพีไอต่ำสุดที่ยอมรับได้ คือ เท่ากับ  $2^6$  จากกราฟพบว่าที่ค่าพีไอ เท่ากับ 2 มอเตอร์ ถูกใช้งานไปแล้วประมาณ 9,150 ชม. หรือ ประมาณ 3 ปี ซึ่งหากใช้งานต่อไปอาจก่อให้เกิดความเสียหายเพิ่ม

**5.2 วิเคราะห์ค่าการสันสะเทือน** จาก

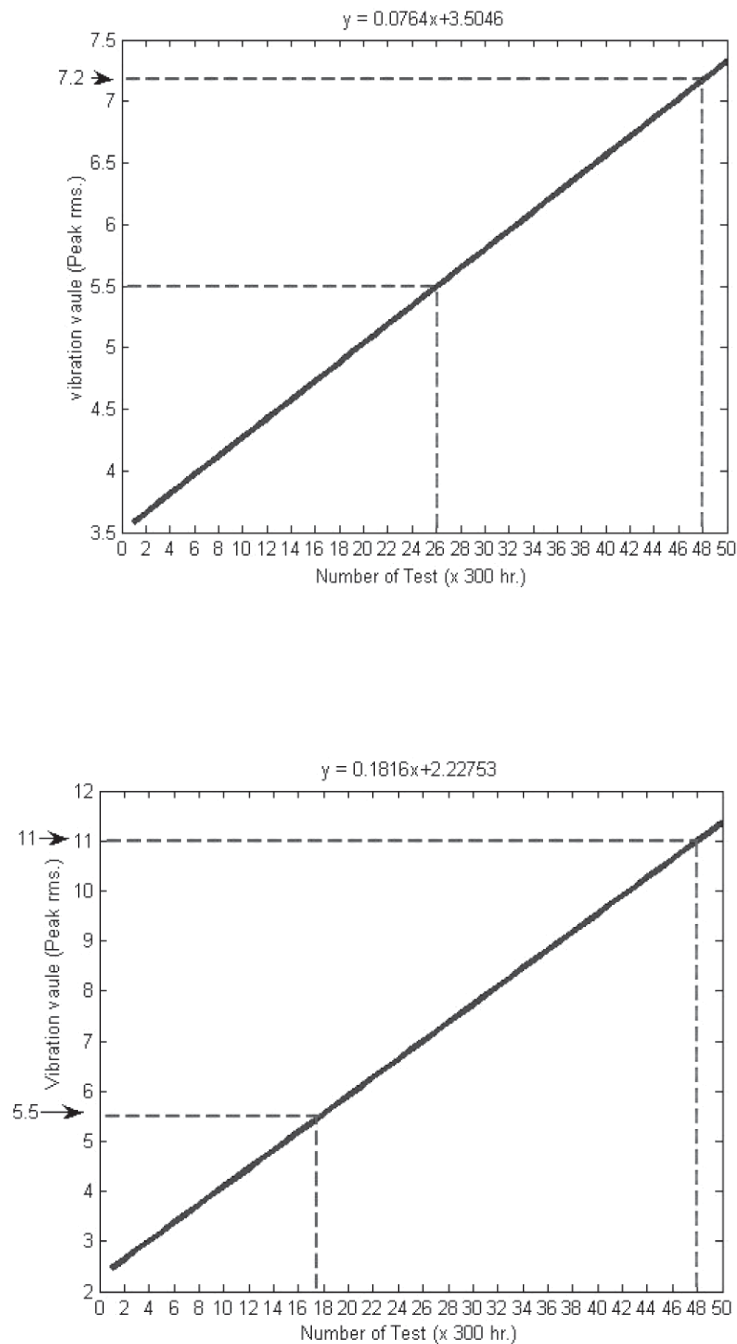
การทดลองพบว่าค่าการสันสะเทือนของมอเตอร์และปั๊ม จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อชั่วโมงการทำงานเพิ่มขึ้น และได้สมการจากการประมาณของมอเตอร์ คือ  $y = 0.0764x + 3.5046$  และของปั๊ม คือ  $y = 0.1816x + 2.2753$  ดังรูปที่ 10 และเกณฑ์มาตรฐานค่าการสันสะเทือนของมอเตอร์และปั๊ม คือ  $5.5^3$  จากกราฟพบว่า ที่ค่าการสันสะเทือน เท่ากับ 5.5 มอเตอร์ถูกใช้งานไปแล้วประมาณ 7,800 ชม. หรือ ประมาณ 2 ปี 7 เดือน ส่วนปั๊มจะใช้งานเพียง 5,280 ชม. หรือ



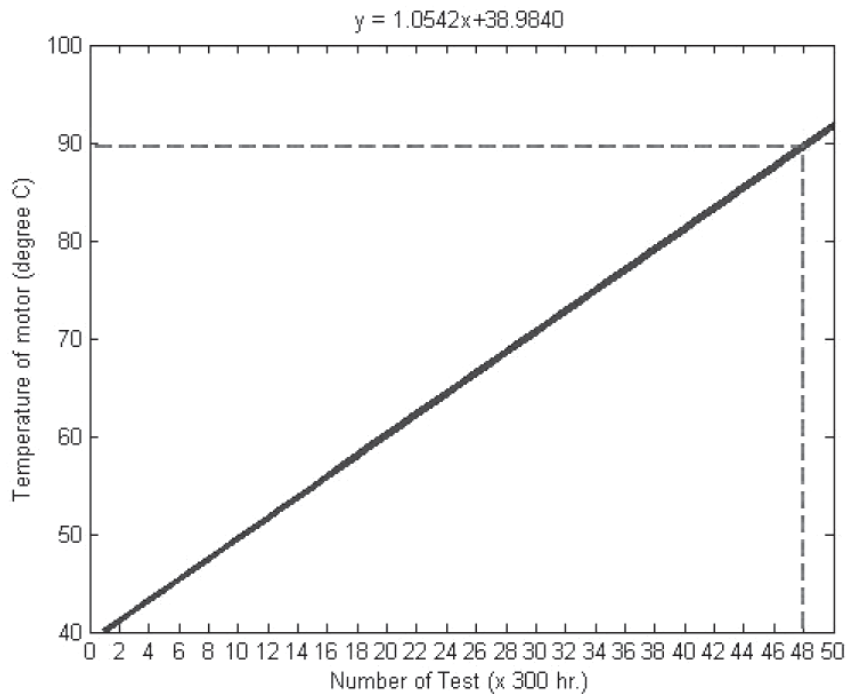
รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีไอของมอเตอร์กับชั่วโมงการทำงาน

มากขึ้นได้ และหากใช้ต่อไปจนครบชั่วโมงการใช้งาน จะพบว่าค่าพีไอเท่ากับ 0.4 ซึ่งต่ำมากแสดงว่าขดลวดเสื่อมสภาพแล้ว

ประมาณ 2 ปี และหากใช้จนครบชั่วโมงการใช้งาน จะพบว่า ค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์และปั๊ม คือ 7.2 และ 11 ตามลำดับ ซึ่งเกินเกณฑ์มาตรฐาน



รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสั่นสะเทือนของมอเตอร์ (ซ้าย) และปั๊ม (ขวา) กับชั่วโมงการทำงาน



รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิของมอเตอร์กับชั่วโมงการทำงาน

### 5.3 วิเคราะห์ค่าอุณหภูมิ

จากการทดลองพบว่า ค่าอุณหภูมิของมอเตอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อชั่วโมงการทำงานเพิ่มขึ้น และได้สมการจากการประมาณคือ  $y = 1.0542x + 38.9840$  ดังรูปที่ 11 ซึ่งพบว่าเมื่อมอเตอร์ถูกใช้งาน ไปจนครบชั่วโมงการทำงาน คือ 14,600 ชม. (ประมาณ

5 ปี) อุณหภูมิของมอเตอร์จะสูงถึง  $90^{\circ}\text{C}$  ซึ่งจะทำให้ฉนวนของมอเตอร์เสื่อมสภาพได้ถึงแม้ฉนวนคลาส B จะทนอุณหภูมิได้  $130^{\circ}\text{C}$  <sup>7</sup> แต่เมื่อพิจารณาสภาวะแวดล้อมปัจจุบันที่ประสบปัญหาโลกร้อน เมื่อมีการสะสมความร้อนขึ้นภายใน ย่อมทำให้ฉนวนเสื่อมสภาพเร็วยิ่งขึ้น

### 6. สรุปผลการวิเคราะห์

จากตัวอย่างที่นำเสนอ พบว่าค่าדרรชนีชีวิตทั้ง 3 ค่า มีความสอดคล้องไปในแนวทางเดียวกัน มอเตอร์ถูกใช้งานไปนาน ๆ ชิ้นส่วนอุปกรณ์ภายในจะชำรุด ทำให้มอเตอร์ทำงานในสภาวะที่ไม่ปกติ ส่งผลให้ค่าการสิ้นสะท้อนของปั๊มและมอเตอร์เพิ่มขึ้น ขดลวดจะมีความร้อนเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาานาน ๆ จะเกิดการสะสมความร้อน สังเกตจากค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และยังทำให้ค่าความต้านทานของฉนวนลดลงด้วย ซึ่งจะทำให้ฉนวนเริ่มเสื่อมสภาพ (ค่าที่ไอลดลง) จากดรรชนีชีวิตที่ได้มาทั้ง 3 ค่านี้ เมื่อนำไปเทียบกับค่าเกณฑ์แล้ว พบว่าเมื่อมอเตอร์ถูกใช้งานไปประมาณ 2 ปี 7 เดือน จะต้องได้รับการวิเคราะห์และแก้ไขค่าการสิ้นสะท้อน และเมื่อครบ 3 ปี จะต้องเข้ารับการตรวจและซ่อมบำรุงมอเตอร์ ซึ่งอาจจะเปลี่ยนแค่อะไหล่เล็ก ๆ น้อย ๆ เท่านั้น แต่ถ้าหากยังปล่อยให้ใช้งานไปจนครบระยะเวลาที่กำหนด คือ 5 ปี ความเสียหายอาจมีมากกว่าเดิม และส่งผลกระทบต่อระบบอื่น ๆ ด้วย ทำให้มีอุปกรณ์ที่เสียหายและต้องซ่อมทำมากกว่าที่คาดการณ์ไว้

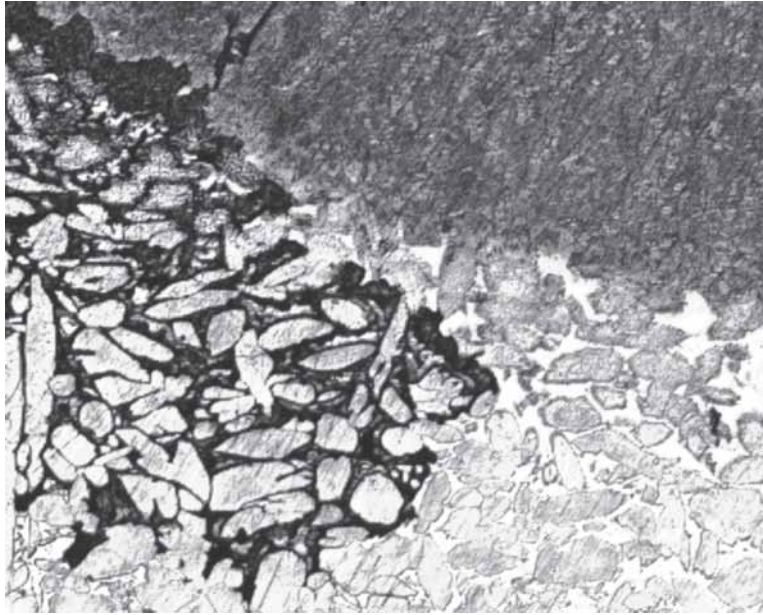
## บทสรุป

การวัดค่าฟิโอสสามารถทำนายสภาพฉนวนในส่วนขงมอเตอร์ได้ การวัดค่าการสั่นสะเทือน (Vibration) สามารถตรวจสอบการสึกหรอของจุดเชื่อมต้อ (ทั้งภายในและภายนอก) หรือความผิดปกติของชิ้นส่วนในเครื่องจักร และการถ่ายภาพความร้อน (Thermal View) สามารถหาตำแหน่งการทำงานที่ผิดปกติทั้งภายในและภายนอกเครื่องจักร แล้วนำผลการตรวจสอบหรือค่าที่วัดได้ไปเทียบกับค่าเกณฑ์ ทำให้สามารถทราบสภาพอุปกรณ์ในขณะนั้น การตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้ง 3 วิธี ทำได้ในขณะเรือปฏิบัติภารกิจ และถ้าตรวจพบว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบนั้น ๆ ต้องมีการซ่อมบำรุง เมื่อเรือเข้าเทียบท่าก็สามารถวางแผนในการดำเนินการได้ ดังนั้น เมื่อเรือถึงระยะเวลาที่ต้องเข้าซ่อมทำตามแผน เครื่องจักรในเรือที่ต้องซ่อมทำ ก็อาจจะเหลือเพียงเครื่องจักรใหญ่ เครื่องไฟฟ้า และอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ ทำให้สามารถวางแผนในด้านการซ่อมทำและจัดหาอะไหล่ได้ง่าย กรมอุทกหารเรือจะสามารถซ่อมทำและส่งเรือให้ทันตามแผนได้ อย่างไรก็ตามหากจะนำไปใช้งานจริงจะต้องทำการเก็บข้อมูลหลาย ๆ ชุด รวมทั้ง ต้องมีการควบคุมพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์นั้น ๆ ให้ดี เพราะจะทำให้ค่าที่ได้จากการวัดผิดพลาดได้

## เอกสารอ้างอิง

1. ก่อเกียรติ บุญชูกุล, สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ และ ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ. การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน. กรุงเทพฯ, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2540.
2. เสวตนันท์ ประยูรรัตน์, นาวาเอก. การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรเชิงปฏิบัติ. กรุงเทพฯ, กองควบคุมคุณภาพ อุทกหารเรือพระจุลจอมเกล้า, 2535.
3. อุทกหารเรือ, กรม. มาตรฐานงานช่างกรมอุทกหารเรือ การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในเรือ มอ. 200-0002-1148. กรุงเทพฯ, 2548.
4. Yung, C. "Use Polarization Index Test to Determine Condition/Health of Motor Insulation" *Currents*. vol.38, Sep. 2000.
5. Ljung, L. *System Identification Theory for the User*. 2 nd. ed. Upper Saddle River, Prentice Hall, 1999.
6. IEEE 43-2000 : Recommended Practice for Testing Resistance of Rotating Machinery. The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2000.
7. เอ็มแอนด์อี. รวบรวมความจากรวสารเทคนิคไฟฟ้า ชุดที่ 6. กรุงเทพฯ, 2546.
8. เอ็มแอนด์อี. รวบรวมความจากรวสารเทคนิคไฟฟ้า ชุดที่ 5. กรุงเทพฯ, 2546.

## การป้องกันการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการเสียธาตุสังกะสีของโลหะทองเหลือง โดยวิธีการเติมธาตุผสม



เรือเอก ดร. เสวียง เตือนบุญ

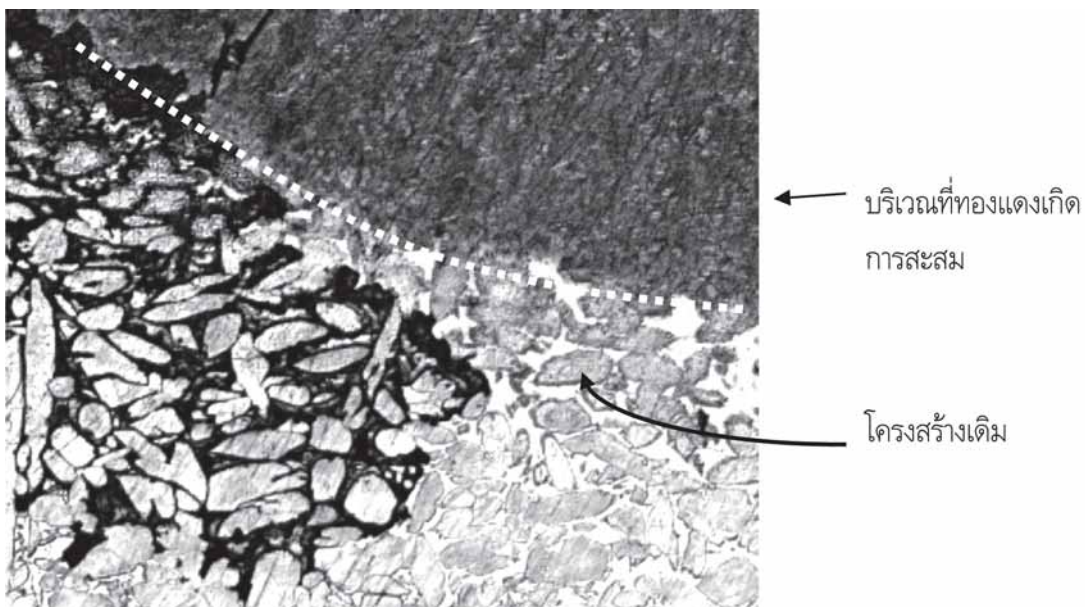
ประจำแผนกทดสอบเครื่องมือวัด กองควบคุมคุณภาพ กรมพัฒนาการช่าง กรมอุทกศาสตร์เรือ  
2 ถนนอรุณอมรินทร์ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700  
โทร 0 2475 4014 โทรสาร 0 2475 4050 E-mail: swing.t@navy.mi.th

### บทคัดย่อ

ทองเหลืองเป็นโลหะที่ถูกนำมาใช้อย่างหลากหลายในกองทัพเรือโดยเฉพาะการนำมาใช้เป็นวัสดุในการผลิตใบจักรเรือ แต่การใช้งานทองเหลืองมักจะประสบปัญหาการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการสูญเสียธาตุผสมของโลหะทองเหลืองโดยเกิดการสูญเสียธาตุสังกะสีทำให้โครงสร้างภายหลังเกิดการสูญเสียธาตุผสมมีความอ่อนแอและเกิดความเสียหายในเวลาต่อมา สาเหตุของการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการสูญเสียธาตุผสมมีได้หลายสาเหตุ การป้องกันก็สามารถกระทำได้หลายวิธีเช่นกัน ซึ่งสามารถใช้ร่วมกันได้เพื่อให้การป้องกันมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น การเติมธาตุผสมถือว่าเป็นการป้องกันที่ให้ผลดีและราคาถูกกว่าการป้องกันแบบอื่น ๆ จึงถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตามธาตุผสมแต่ละชนิดสามารถเพิ่มหรือลดการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการสูญเสียธาตุผสมของโลหะทองเหลืองได้แตกต่างกัน นอกจากนี้ปริมาณธาตุผสมที่เติมลงไปก็มีส่วนในการเพิ่มหรือลดการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการสูญเสียธาตุผสมของโลหะทองเหลืองได้เช่นกัน เพราะฉะนั้นจึงควรทำความเข้าใจกับอิทธิพลของธาตุแต่ละชนิดต่อการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการสูญเสียธาตุผสมของโลหะทองเหลือง

## 1. บทนำ

การกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการเสียดสีผสมหรือ Dealloying เกิดขึ้นเนื่องจากส่วนผสมบางอย่างของโลหะผสมมีโอกาสที่จะเกิดการกัดกร่อนได้ไวกว่าส่วนผสมอื่น ๆ ที่เหลือ สำหรับธาตุที่มีโอกาสเกิดการกัดกร่อนแบบนี้จะได้แก่ธาตุที่มีความไวต่อปฏิกิริยาสูงและมีโอกาสเสียอิเล็กตรอนได้ง่ายเมื่อนำมารวมกับธาตุอื่น ๆ (Galvanic Contact) ตัวอย่างเช่น สังกะสี อะลูมิเนียม เป็นต้น การเกิดการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการสูญเสียธาตุผสมของโลหะฐานทองแดงสามารถเกิดได้หลายแบบ ตัวอย่างเช่น การเสียดสีอะลูมิเนียมของอะลูมิเนียมบรอนซ์ (Dealuminification) การเสียดสีสังกะสีในแมงกานีสบรอนซ์ (Dezincification) รูปที่ 1. แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานอะลูมิเนียมบรอนซ์ ด้านบนของรูปแสดงการสะสมของทองแดงหลังจากที่ทองแดงและอะลูมิเนียมหลุดออกจากโครงสร้างแต่มีเพียงทองแดงเท่านั้นที่สามารถเกิดการสะสมที่โครงสร้างได้ใหม่ (Redeposit)

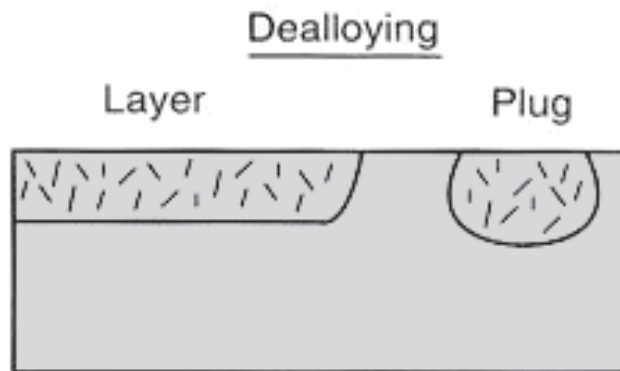


รูปที่ 1. โครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานอะลูมิเนียมบรอนซ์ที่เกิดการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการสูญเสียธาตุผสม

รูปด้านบนคือผิวของชิ้นงานด้านบนนอกแสดงถึงโครงสร้างของทองแดงที่เกิดการสะสมใหม่หลังจากที่ทองแดงหลุดออกจากโครงสร้างซึ่งจะสังเกตได้ว่าทองแดงที่สะสมใหม่นี้จะมีโครงสร้างแบบเข็ม ซึ่ง

แตกต่างจากชิ้นงานดั้งเดิมซึ่งมีลักษณะเป็นวงรี การเกิดการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการเสียดสีผสมสามารถแบ่งลักษณะการเกิดได้ 2 แบบ คือ 1. Layer 2. Plug ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.

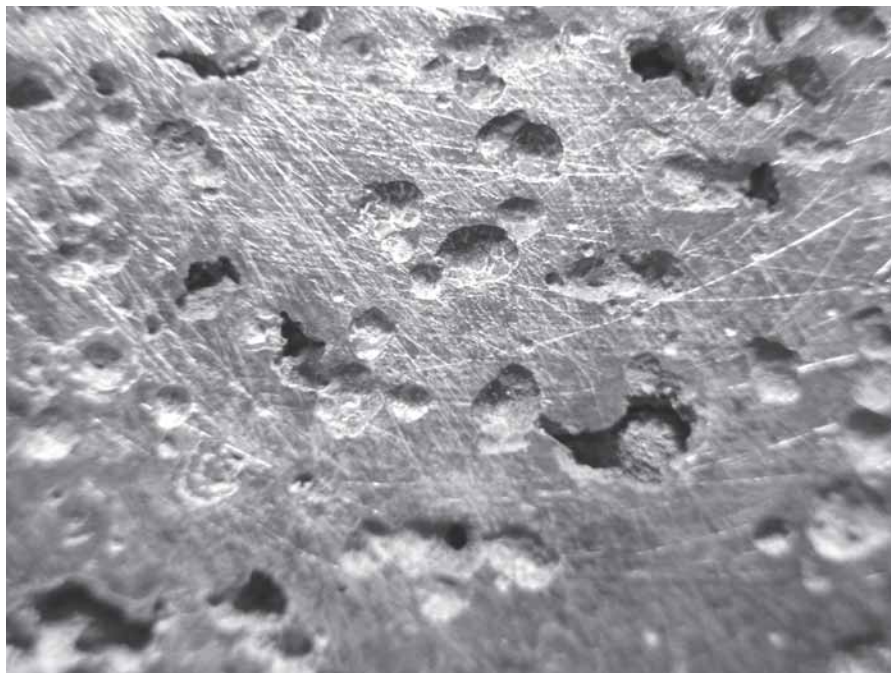




รูปที่ 2. ลักษณะการเกิดการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการสูญเสียธาตุผสม

การกัดกร่อนแบบ Plug จะเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดหลุมเพราะเมื่อชิ้นงานเกิดการสูญเสียธาตุผสมจะทำให้โครงสร้างของชิ้นงานมีความอ่อนแอและไม่สามารถรับแรงได้ดี เมื่อชิ้นงานต้องรับแรงโดยเฉพาะ

แบบคาบ (Cyclic Load) จะทำให้บริเวณที่สูญเสียธาตุผสมไม่สามารถรับแรงได้ดีและหลุดออกมาเกิดเป็นหลุม บริเวณหลุมเหล่านี้ก็จะเป็นจุดที่เกิดความเค้นชุมนุมและอาจจะทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกร้าว ในเวลาต่อมา ในรูปที่ 3



รูปที่ 3. ชิ้นงานเกิดการกัดกร่อนแบบหลุมหลังจากโครงสร้างรับแรงแบบคาบจนเป็นเหตุให้บริเวณที่สูญเสียธาตุผสมหลุดออกมา บริเวณด้านในหลุมจะมีสีทองแดงเนื่องจากเกิดการสูญเสียธาตุผสม

การกักกร่อนอันเนื่องมาจากการเสียดาตุผสมสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ ซึ่งนักวิจัยได้พยายามศึกษาเรื่องนี้มาเป็นเวลานานและมีงานวิจัยออกมาจำนวนมาก ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มงานวิจัยได้เป็น 4 กลุ่มดังต่อไปนี้

1. การสังเกตพฤติกรรมของการเกิดการกักกร่อนอันเนื่องมาจากการสูญเสียธาตุผสมโดยใช้กระบวนการทำให้เกิดการเสียดาตุผสมหรือทดสอบการเสียดาตุผสมในสภาวะการใช้งานปกติ

2. การพัฒนากระบวนการทดสอบการกักกร่อนอันเนื่องมาจากการสูญเสียธาตุผสม

3. การศึกษาทฤษฎีการกักกร่อนอันเนื่องมาจากการเสียดาตุผสม

4. การศึกษาการยับยั้งการกักกร่อนอันเนื่องมาจากการเสียดาตุผสม

ซึ่งสาเหตุของการเกิดการกักกร่อนอันเนื่องมาจากการสูญเสียธาตุผสมมีอยู่หลายสาเหตุ ดังนี้

1. ออกซิเจน โดยเกิดความแตกต่างของปริมาณออกซิเจนในบริเวณขึ้นงาน (Differential Aeration Cell) อันเนื่องมาจากการเกาะของสัตว์น้ำ เช่น เพรียง ซึ่งสัตว์น้ำเหล่านี้มีรูปร่างหลายแบบ เพรียงบางชนิดมีลักษณะเหมือนดอกเห็ดทำให้ออกซิเจนไหลเวียนได้น้อยบริเวณที่เพรียงเกาะบริเวณที่มีปริมาณออกซิเจนน้อยจะเป็นแอโนด ส่วนบริเวณที่มีออกซิเจนมากจะเป็นแคโทด ทำให้บริเวณที่มีออกซิเจนน้อยจะเกิดการกักกร่อน

2. ความเร็วของกระแสน้ำ ความเร็วของกระแสน้ำมีส่วนในการเกาะของเพรียงบนชิ้นงานตลอดจนการไหลเวียนของออกซิเจนบริเวณขึ้นงาน โดยบริเวณน้ำนิ่ง

จะเกิดการเสียดาตุผสมได้ง่ายกว่าบริเวณที่มีคลื่น เนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนไหลเวียนน้อยและเกิดการสะสมของคอปเปอร์ไอออน

3. ความหนาแน่นของคอปเปอร์ไอออน การสะสมคอปเปอร์ไอออนจากสารละลายคอปเปอร์คลอไรด์มีส่วนช่วยให้ทำให้เกิดการเสียดาตุผสม

4. คลอไรด์ เมื่อโลหะฐานทองแดงถูกใช้งานในน้ำทะเลจะเกิดการทำปฏิกิริยากับอากาศเกิดประกอบออกไซด์ของทองแดงอันได้แก่  $Cu_2O$  ซึ่งจะเป็นพิษกับสัตว์น้ำทำให้สัตว์น้ำไม่สามารถเกาะบนพื้นผิวของโลหะฐานทองแดงได้ แต่การใช้งานในบริเวณที่มีคลอไรด์จะช่วยให้เกิดการประกอบของออกไซด์ของคอปเปอร์อันได้แก่  $Cu_2(OH)_3Cl$  เคลือบบนผิวของ  $Cu_2O$  ซึ่ง  $Cu_2(OH)_3Cl$  ไม่เป็นพิษทำให้มีสัตว์น้ำมาเกาะที่ผิวของโลหะฐานทองแดงได้ แต่ฟิล์มของ  $Cu_2(OH)_3Cl$  ไม่แข็งแรงเหมือนของ  $Cu_2O$  และฟิล์มก็จะหลุดออกได้ง่ายทำให้เกิดการกักกร่อนแบบหลุม

5. อุณหภูมิ อุณหภูมิที่สูงมากเกินไปจะทำให้เกิดการเสียดาตุผสมได้ง่าย

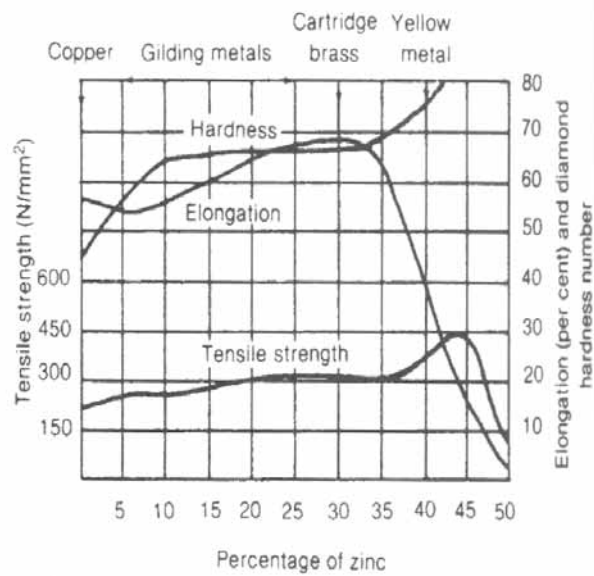
สำหรับปริมาณการเสียดาตุผสมของโลหะทองเหลืองมีความสัมพันธ์โดยตรงกับโครงสร้างของโลหะทองเหลือง ซึ่งสามารถควบคุมได้โดยการปรับแต่งส่วนผสมโครงสร้างของโลหะทองเหลืองสามารถแบ่งได้เป็น 1. แอลฟา 2. โครงสร้างผสม (แอลฟาและเบต้า) 3. เบต้า โดยอาจจะกล่าวได้ว่าความสามารถในการต้านทานการกักกร่อนของทองเหลืองจะเพิ่มสูงขึ้น หากโลหะทองเหลืองมีปริมาณส่วนผสมทองแดงมากขึ้นหรือมีแอลฟาเฟสเป็นองค์ประกอบหลักของโครงสร้าง ซึ่งโลหะฐานทองแดงที่มีสังกะสีสูงหรือมีเบต้าเฟสเป็นโครงสร้างหลัก

มีโอกาที่จะเกิดการกัดกร่อนโดยเสียธาตุสังกะสีสูงมาก เพราะฉะนั้นหลักสำคัญของการปรับปรุงประสิทธิภาพคือการปรับปรุงโครงสร้างจากโครงสร้างที่เป็นเบต้าทั้งหมดซึ่งมีความเสี่ยงสูงต่อการกัดกร่อนแบบเสียธาตุผสมไปสู่โครงสร้างแบบผสมหรือโครงสร้างแอลฟา หากไม่สามารถปรับเปลี่ยนโครงสร้างได้ก็จะใช้วิธีการทำให้โครงสร้างเบต้าเฟสมีขนาดเล็กและกระจายอยู่ทั่วไปไม่เกาะตัวกันเป็นกลุ่มก้อน เพื่อลดการเกิดการกัดกร่อนแบบเสียธาตุผสมชนิดหลุม (Plug Type) นั้นเอง จากการศึกษาพบว่าโลหะทองเหลืองซึ่งมีส่วนผสมของสังกะสีน้อยกว่า 15% มีโอกาสเป็นไปได้ยากที่จะเกิดการกัดกร่อนแบบเสียธาตุสังกะสีแต่อย่างไรก็ตามโลหะฐานทองแดงที่มีส่วนผสมของสังกะสีต่ำกว่า 15% หรือที่เรียกว่า “Red Brass” มีต้นทุนการผลิตสูงเพราะไม่สามารถขึ้นรูปด้วยวิธีการ Die Cast หรือ Forging จากหลักการที่โครงสร้างแอลฟามีความต้านทานการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการสูญเสียธาตุสังกะสีได้ดี B.A.Weidon จึงทำการวิจัยและพัฒนาการสร้างผิวของแอลฟาเคลือบบนชิ้นงานที่เป็นโครงสร้างแบบผสม ซึ่งจากการทดสอบพบว่าวิธีการนี้สามารถต้านทานการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการสูญเสียธาตุสังกะสีของโลหะทองเหลืองได้ดีแต่ในช่วงเวลาปี ค.ศ.1957 ขบวนการนี้มีราคาสูงจนไม่สามารถนำมาใช้งานจริงได้ ข้อดีของวิธีการนี้ไม่ต้องเติมธาตุผสมซึ่งอาจจะถูกนำมาทดลองใช้อีกในปัจจุบันเพราะเทคโนโลยีได้ถูกพัฒนาขึ้นมากนอกจากนี้ยังมีการทดลองผสมธาตุผสมบางอย่างมีส่วนอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของทองเหลืองโดยจะเปลี่ยนสัดส่วนของ แอลฟา หรือ เบต้า ที่มีอยู่ใน

โลหะทองเหลืองภายหลังการผสม และนักวิจัยบางท่านทำการพัฒนาโลหะทองเหลืองตัวใหม่ที่มีความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการสูญเสียธาตุสังกะสีโดยใช้กระบวนการขึ้นรูปร้อนซึ่งทำให้ได้ชิ้นงานที่สามารถกลึงไสได้ง่ายต่อการขึ้นรูป ซึ่งระหว่างการผลิตอาจจะมีโครงสร้างแบบผสมแต่ในขั้นตอนสุดท้ายจะใช้กระบวนการทำให้โครงสร้างเปลี่ยนเป็นแอลฟาทั้งหมด

แม้ว่าโครงสร้างแบบแอลฟาจะมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการสูญเสียธาตุผสมได้ดีแต่ความสามารถในการรับแรงของโครงสร้างแอลฟาจะต่ำกว่าโครงสร้างแบบอื่น ๆ ซึ่งโลหะฐานทองแดงบางประเภทจำเป็นต้องใช้ในงานที่ต้องรับแรงสูง ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วโครงสร้างแบบผสมจะมีความสามารถในการรับแรงได้ดีกว่าโครงสร้างแบบแอลฟา ตัวอย่างเช่นแมงกานีสบรอนซ์ รูปที่ 4 แสดงคุณสมบัติทางกลของทองเหลืองซึ่งการเติมสังกะสีในแมงกานีสบรอนซ์มากกว่า 30% ทำให้เกิดโครงสร้างแบบผสมและได้คุณสมบัติทางกลที่ดี เพราะฉะนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาการป้องกันการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการสูญเสียธาตุผสมสำหรับโลหะทองเหลืองที่สังกะสีสูงอยู่ต่อไป

สำหรับการป้องกันการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการสูญเสียธาตุผสมสามารถกระทำได้หลายอย่าง เช่น การติดแอนโนดเพื่อให้เกิดการกัดกร่อนแทนชิ้นงาน การเติมธาตุผสม เป็นต้น เพื่อเป็นการป้องกันโลหะฐานทองแดงจากการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการสูญเสียธาตุผสมการป้องกันอาจจะทำมากกว่าหนึ่งวิธี ซึ่งการเติมธาตุผสมถือว่าเป็นวิธีที่ง่ายและได้ถูกนำมาใช้ควบคู่กับ



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกลและปริมาณสังกะสีของแมงกานีสบรอนซ์

วิธีการอื่น ๆ การศึกษาผลกระทบของธาตุที่มีอิทธิพลต่อการเกิดการกัดกร่อนแบบเสียดทานผสมได้มีการดำเนินการมาเป็นเวลานาน ดังนั้นในบทความนี้ จะได้กล่าวถึงอิทธิพลของธาตุต่าง ๆ ที่มีต่อการเกิดการกัดกร่อนแบบเสียดทานผสมโดยเน้นที่โลหะทองเหลืองซึ่งมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในกองทัพเรือ โดยทองเหลืองมีส่วนผสมหลักเป็นทองแดงกับสังกะสีและธาตุผสมอื่น ๆ เพื่อให้มีคุณสมบัติที่ต้องการ เช่น การเติมธาตุแมงกานีสในโลหะทองเหลืองซึ่งเรียกว่าแมงกานีสบรอนซ์ เป็นโลหะที่มีความแข็งแรงสูงจึงมีการนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางในกองทัพเรือตัวอย่างเช่น ใบจักร

## 2. อิทธิพลของธาตุผสมต่อการเกิดการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการเสียดทานผสมของโลหะทองเหลือง

### 2.1 อาร์เซนิก, พลวง, ฟอสฟอรัส

การศึกษาในยุคแรก ๆ ของการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการเสียดทาน

ผสมพบว่าการผสมธาตุ อาร์เซนิก, พลวง, ฟอสฟอรัส ในปริมาณเล็กน้อยให้ผลในการยับยั้งการสูญเสียธาตุสังกะสีได้เป็นอย่างดีสำหรับทองเหลืองที่มีโครงสร้างที่เป็นแอลฟาอย่างเดียว จากการค้นพบนี้ทำให้มีการเติมธาตุผสม อาร์เซนิก, พลวง, ฟอสฟอรัส กันอย่างกว้างขวาง

G.D.Bengough และ R. May ทำการศึกษาผลกระทบของการเติมธาตุผสมต่อการป้องกันการกัดกร่อน อันเนื่องมาจากการเสียดทานผสมของ 70-30 ทองเหลือง ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า อาร์เซนิกให้ผลดีในการป้องกันการเสียดทานผสม แต่อย่างไรก็ตามการเติมธาตุ อาร์เซนิก, พลวง, ฟอสฟอรัส มีประสิทธิภาพที่ไม่ดีในการป้องกันโลหะทองเหลืองที่เป็นโครงสร้างผสมหรือเบต้า

C.T.Ming และ C.S.Ruon ทำการทดลองผลของการเติมธาตุ อาร์เซนิก ใน 70-30 ทองเหลือง ผลการทดลองของพวกเขาแสดงให้เห็นว่าอัตราการกัดกร่อนแบบ

สมำเสมอและการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการสูญเสียธาตุสังกะสีลดลงอย่างมาก เมื่อทำการเติมธาตุ อาร์เซนิก ประมาณ 0.05% ซึ่งเป็นเหตุให้ทั้งทองแดงและสังกะสีเกิดการกัดกร่อนในอัตราส่วนที่เท่า ๆ กัน นอกจากนี้ผลการทดลองของพวกเขาายังแสดงให้เห็นว่าอาร์เซนิก ที่มีการจับตัวที่ผิวของชิ้นงานไม่ได้มีส่วนช่วยในการยับยั้งการสูญเสียธาตุสังกะสี แต่อาร์เซนิก ที่ละลายอยู่ภายในเนื้อของ 70-30 ทองเหลือง เท่านั้นที่ช่วยในการยับยั้งการสูญเสียธาตุสังกะสี ผลการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงานวิจัยในเวลาต่อมาของ E.E.Langenegger และ F.A.Robinson ซึ่งพวกเขาได้ทำการเติม  $As_2O_3$  หรือ  $Sb_2O_3$  ในสารละลาย  $HCl-CuCl_2$  แล้วจุ่มชิ้นงาน 70-30 ทองเหลืองในลงสารละลาย จากการศึกษาของพวกเขาแสดงให้เห็นว่าอัตราการเกิดการกัดกร่อนไม่ได้ลดลงแต่อย่างไร การศึกษาผลกระทบของ อาร์เซนิก ที่ความเข้มข้นสูงต่อการเกิดการสูญเสียธาตุผสมได้รับความสนใจเช่นเดียวกัน โดยจากการศึกษาของ R.W.Sullivan พบว่าการเติมอาร์เซนิก ที่ 0.25% ใน 60-40 ทองเหลือง ทำให้อัตราการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการสูญเสียธาตุผสมเพิ่มสูงขึ้นถึง 3 เท่า นอกจากนี้การเติม อาร์เซนิก ใน 58.9 Cu-38.37Zn-1.69Pb ในปริมาณเท่ากัน ทำให้เกิดการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการสูญเสียธาตุผสมเพิ่มขึ้น 30%

## 2.2 ดีบุก

B.A.Weidon ศึกษาผลของการเติมธาตุดีบุกในทองเหลืองที่มีโครงสร้างผสมและทองเหลืองเบต้าที่มีส่วนผสมของตะกั่ว 2.4% โดยทำการเติมดีบุกเป็นปริมาณ 1.2% ถึง 3.2% โดยเขาพบว่าการเติมดีบุกในปริมาณดังกล่าวไม่ได้ช่วยยับยั้งการเกิด

การกัดกร่อน อันเนื่องมาจากการสูญเสียธาตุผสมแต่อย่างไร

A.M.Becccaria พบว่าการเติมดีบุกพร้อมด้วยอะลูมิเนียมใน 70-30 ทองเหลืองช่วยในการเปลี่ยนคุณสมบัติของฟิล์มเมื่อชิ้นงานถูกจุ่มลงในน้ำทะเลและมีส่วนช่วยในการต้านทานการกัดกร่อนแบบสมำเสมอและการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการสูญเสียธาตุสังกะสี

K.B.Pai ทำการทดลองแล้วพบว่า การเติมธาตุดีบุกให้ผลดีในการยับยั้งการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการสูญเสียธาตุผสมของ 60-40 ทองเหลืองได้เป็นอย่างดี โดยปริมาณดีบุกที่เหมาะสมคือ 1% นอกจากนี้การเติมดีบุกได้ผลดีกับทองเหลืองชนิดทนแรงดึงสูง (59Cu-38.5Zn-1Fe-1Al-0.5Mn) ซึ่งมีโครงสร้างแบบผสม

## 2.3 ซิลิคอน

B.A.Weidon ทดลองเติมซิลิคอนลงใน 58.4Cu-2.4Pb-Zn เป็นผลให้เกิดโครงสร้างแบบผสมซึ่งเขาพบว่าเป็นโครงสร้างที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุได้ง่าย นอกจากนี้เขายังพบอีกว่า ทองเหลืองที่มีส่วนผสมของอาร์เซนิก (0.04% As) สองชนิดอันได้แก่ 3.1Si-68.2Cu-2.3Pb-Zn และ 3.0Si-76.2Cu-2.0Pb-Zn มีโอกาสเกิดการสูญเสียธาตุผสมได้ง่ายโดยโลหะผสมทั้งสองชนิดมีการตกผลึกของซิลิคอนในโครงสร้างแอลฟาด้วย

K.Oishi ทำการวิจัยพบว่าการเติมธาตุซิลิคอนในปริมาณเล็กน้อย 0.5% ช่วยในการยับยั้งการสูญเสียธาตุสังกะสีใน 60-40 ทองเหลืองที่มีโครงสร้างผสมได้ แต่อย่างไรก็ตามหากโลหะฐานทองแดงมีโครงสร้างที่เป็นซิลิคอนตกผลึกในโครงสร้างแอลฟาอันเนื่องมาจากการเติมธาตุซิลิคอนเช่นกรณี

ของ 70-30 ทองเหลือง ก็จะทำให้เกิดการสูญเสียธาตุผสมได้ง่ายโดยเฉพาะบริเวณที่ซิลิคอนตกผลึก

2.4 เหล็ก, แมงกานีส, นิกเกิล, โคบอลต์

C.H.Desch และ S.Whyte ค้นพบว่ากรณีที่โลหะทองเหลืองเบต้า 4 ตัวอย่างซึ่งมีส่วนผสมของเหล็กจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการกัดกร่อนแบบเสียธาตุผสม ซึ่งต่อมา G.D.Bengough และ R.May ก็สังเกตเห็นว่าเหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการกัดกร่อนของ 70-30 ทองเหลือง ซึ่งพวกเขาจึงพบอีกว่าธาตุแมงกานีสก็ให้ผลในทำนองเดียวกับเหล็กแต่ในอัตราที่ต่ำกว่า

เป็นที่ทราบกันมานานแล้วว่าโลหะฐานทองแดงที่มีทองแดงมากกว่า 60% หรือมากกว่า หากมีการเติมธาตุนิกเกิลมากกว่า 4% จะทำให้มีความสามารถในการยับยั้งการเกิดการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการสูญเสียธาตุผสมได้ดี G.D.Bengough และ R.May และ V.U.Kondrashin ทำการวิจัยเพิ่มเติมพบว่าการเติมนิกเกิลเป็นปริมาณ 0.5%-1% มีแนวโน้มที่จะยับยั้งการเกิดการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการเสียธาตุผสมของทองเหลืองแอลฟาได้ ซึ่งผลการวิจัยนี้ก็ได้รับการยืนยันจากผลการทดลองของ K.Oishi ซึ่งระบุว่า การเติมนิกเกิลที่ 0.5% ใน 70-30 ทองเหลืองช่วยยับยั้งการเกิดการเสียธาตุผสมได้แต่ให้ผลดีเพียงเล็กน้อยกับ 60-40 ทองเหลืองซึ่งมีโครงสร้างผสม

R.W.Bailey พบว่าการเติม 1.4% โคบอลต์หรือ 0.8% โคบอลต์พร้อมด้วย 1.4% นิกเกิล ช่วยในการปรับปรุงโครงสร้างของทองเหลืองเบต้าให้มีความต้านทานต่อการเกิดการแตกตามขอบเกรน (Intercrystalline Cracking) แต่ในขณะที่

เดียวกันทำให้เกิดการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการเสียธาตุผสมซึ่งเป็นเหตุให้โครงสร้างไม่แข็งแรงและเกิดการแตกร้าวในเวลาต่อมา

2.5 บิสมัท

W.B.Prince และ R.W.Bailey ทำการศึกษาอย่างละเอียดถึงอิทธิพลของการเติมบิสมัทในทองเหลืองแอลฟาและทองเหลืองซึ่งมีโครงสร้างแบบผสม พวกเขาคาดหมายว่าการเติมบิสมัทน่าจะให้ผลในการยับยั้งการเกิดการสูญเสียธาตุผสมเช่นเดียวกันกับการเติม อาร์เซนิก, พลวง, ฟอสฟอรัส เนื่องจากเป็นธาตุในกลุ่ม VB เหมือนกัน อย่างไรก็ตามผลการทดลองที่ได้กลับให้ผลในทางตรงกันข้ามกล่าวคือ การเติมบิสมัทไม่ได้ช่วยยับยั้งการเกิดการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการเสียธาตุผสมและยังเป็นตัวเร่งให้เกิดการกัดกร่อนเร็วขึ้นอีกด้วย

ในเวลาต่อมามีการวิจัยการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการเสียธาตุของชิ้นงานทองเหลืองที่มีบิสมัทเป็นส่วนผสมที่เรียกว่าทองเหลืองแบริง (Bismuth Bearing Brass) โดยมีส่วนผสมคือ 61.5Cu-2Bi-Zn และ 62Cu-1Bi-0.1As-Zn ซึ่งผลการศึกษาพบว่าการเติมบิสมัทไม่มีผลใด ๆ กับชิ้นงานทองเหลืองทั้งแบบโครงสร้างผสมและแบบแอลฟา

2.6 กลุ่มธาตุหายาก (Rare Earth)

R.W.Sullivan ทำการเติมธาตุอิตเทรียมลงใน 60-40 ทองเหลือง และได้ผลว่าการเติมธาตุดังกล่าวทำให้อัตราการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากการสูญเสียธาตุผสมเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้เขายังทำการทดลองโดยเติม Mischmetal ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีคือ Ce 50%, La 25%, Nd 18%, Pr 5% และโลหะแลนทานอยด์อื่น ๆ 2% ลงใน 60-40 ทองเหลือง

โดยผลที่ได้คือการเติม 0.1% Mischmetal ให้ผลดีในการยับยั้งการกัดกร่อน อันเนื่องมาจากการสูญเสียธาตุผสม

N.Verma ทำการทดลองโดยจุ่มอะลูมิเนียมบรอนซ์ซึ่งมีการเติม 0.05% แลนทานัม ซีเรียม นีโอดีเนียม ในสารละลายกรดกำมะถันเจือจาง ซึ่งผลการ

ทดลองแสดงให้เห็นว่าการเติมธาตุดังกล่าวให้ผลดี ในการป้องกันการกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ ผลการทดลองนี้ก็เป็นที่ไปในทางเดียวกันกับผลการทดลองของ R.N.Singh ซึ่งทำการทดลองในแบบเดียวกันแต่ใช้กรดไนตริกเจือจาง

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

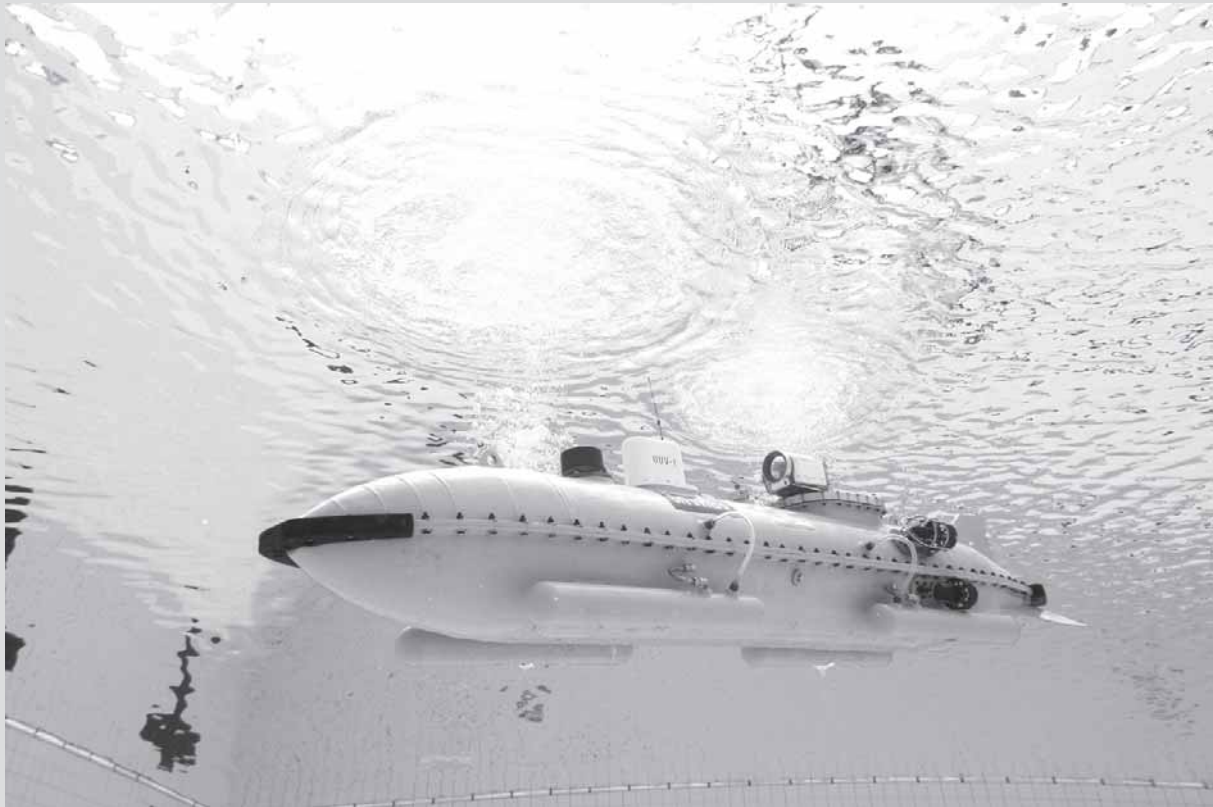
การยับยั้งการเสียดูดสังกะสีของทองเหลืองซึ่งมีโครงสร้างเป็นแบบแอลฟา โดยการเติม อาร์เซนิก, พลวง, หรือฟอสฟอรัส เป็นที่ยอมรับกันว่าได้ผลดี อย่างไรก็ตามพลวงและฟอสฟอรัสมีผลให้เกิดการเปราะของโลหะฐานทองแดง จึงควรจะควบคุมปริมาณธาตุที่เติมไม่ให้เกินกำหนด ผลการวิจัยทางด้านอิทธิพลของการเติมธาตุแสดงให้เห็นว่าการเติมธาตุอาร์เซนิก, พลวง, หรือฟอสฟอรัสดังกล่าว อาจจะช่วยลดปริมาณการเสียดูดผสมแต่ไม่ได้ช่วยป้องกันการสูญเสียธาตุผสมของทองเหลืองที่มีโครงสร้างแบบผสม อย่างไรก็ตามงานวิจัยของ R.W.Sullivan แสดงให้เห็นว่าธาตุอาร์เซนิกภายใต้สภาวะการทดสอบบางอย่างอาจจะเป็นตัวเร่งให้เกิดการสูญเสียธาตุผสมเร็วขึ้นได้

นอกจากนี้ธาตุอื่น ๆ ซึ่งมีแนวโน้มที่จะช่วยยับยั้งการสูญเสียธาตุสังกะสีในโลหะทองเหลืองบางประเภท ได้แก่ ดีบุก นิกเกิล และซิลิคอน ธาตุที่เป็นตัวเร่งให้เกิดการสูญเสียธาตุสังกะสีได้แก่ เหล็ก แมงกานีส โคบอลต์ ธาตุในกลุ่มของธาตุหายากสามารถยับยั้งการเสียดูดสังกะสีได้ในบางสภาวะแต่ในบางสภาวะการเติมธาตุในกลุ่มธาตุหายากกลับให้ผลในทางตรงกันข้าม

### บรรณานุกรม

- Davies, D. "A Note on the Dezincification of Brass and the Inhibiting Effect of Element Additions" 1993, P 1-9.
- Ferara, R. and Caton, T. "Review of Dealloying of Cast Bronze and Nickel-Aluminum Bronze in Sea Water Service" 1982, P 30-34.
- Heidersbach, R. "Clarification of the Mechanism of the Dealloying Phenomenon" Corrosion Science. 1968, vol.24, P 38-44.
- Jones, D. Principles and Prevention of Corrosion. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1996.
- Schussler, A. and Exner, H. "The Corrosion of Nickel-Aluminium Bronzes in Seawater" Corrosion Science. 1993, vol.34, P 1793-1802.
- Zanis, C. and Ferara, R. "Dealloying of Cast Nickel Aluminum Bronze" 1972, vol.80.

## “ไกรทอง” ยานใต้น้ำไร้คนขับของกองทัพเรือ



**นาวาเอกวิพันธุ์ ชมะโชติ**

นายทหารฝ่ายเทคนิค กรมอุทกหารเรือ

2 ถนนอรุณอมรินทร์ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700

โทร. 0 2475 4189 โทรสาร 0 2475 4159

จอมพลเรือสมเด็จพะมหิตลาธิเบศร์ อดุลยเดชวิกรม พระบรมราชชนก เมื่อครั้งที่ทรงดำรงพระยศเป็น “นายเรือโท” ทรงรับราชการอยู่ในราชนาวีสยามเป็นเวลา 9 เดือน 11 วัน ได้ทรงจัดทำรายงานเรื่องเรือ ส. หรือ สับมารีน (Submarine) เสนอแก่ผู้บัญชาการทหารเรือ เพื่อเป็นแนวทางในการเตรียมกำลังเรือดำน้ำให้แก่ราชนาวีสยามไว้ใช้ในการป้องกันประเทศ และรักษาอธิปไตยของชาติทางทะเล แม้รายงานดังกล่าวจะถูกเก็บไว้โดยไม่มีการดำเนินการใด ๆ แต่ก็ถือได้ว่าเป็น “จุดเริ่มต้น” ของแนวคิดที่ราชนาวีไทยจะมีเรือดำน้ำไว้ประจำการ หลังจากนั้นประมาณ 40 ปี เรือดำน้ำชุดแรกของราชนาวีไทยก็ได้ถือกำเนิดขึ้น ได้แก่ เรือดำน้ำ พลายนพผล มัจฉาณุ วิรุณ สินสมุทร ซึ่งเรือดำน้ำทั้ง 4 ลำ ตั้งชื่อตามผู้มีอิทธิฤทธิ์ใต้ท้องทะเล เป็นเรือที่สั่งต่อจากประเทศญี่ปุ่นทั้งสิ้น “ปลาเหล็กใต้สมุทร” ทั้ง 4 ลำ ที่กล่าวมา ทำให้ประเทศไทยได้ชื่อว่าเป็นชาติแรกในภูมิภาคอินโดจีนที่มีเรือดำน้ำเข้าประจำการในกองทัพเรือจนเป็นที่ครั่นคร้ามของประเทศเพื่อนบ้าน



ในยุคนั้นราชนาวิกไทยจึงมีแสนยานุภาพเข้มแข็งครบถ้วนทั้ง 3 มิติ ประกอบด้วยเครื่องบิน เรือผิวน้ำ และเรือดำน้ำ โดยเฉพาะเรือดำน้ำไทยได้แสดงบทบาทในการรักษาอธิปไตยของชาติในสงครามอินโดจีนซึ่งไทยมีข้อพิพาทกับฝรั่งเศสอันเนื่องมาจากการเรียกร้องดินแดนที่สูญเสียไปจากการรุกรานของฝรั่งเศสในสมัยพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว กลับคืนมา ถึงแม้ในสงครามอินโดจีนซึ่งมีการสู้รบทั้งทางอากาศ ภาคพื้นดิน และในทะเล ฝ่ายไทยจะสูญเสียเรือหลวงธนบุรี เรือหลวงสงขลา และเรือหลวงหนองสาหร่าย จากการกระทำยุทธนาวีกับกองเรือฝรั่งเศส เมื่อวันที่ 17 มกราคม พ.ศ.2483 แต่เรือดำน้ำของไทยก็เป็นที่ครั่นคร้ามของกองเรือฝรั่งเศส เพราะหลังจากปะทะกับหมู่เรือรักษาด่านของไทยบริเวณเกาะช้างแล้วเรือลามอตต์ปีเก้ และเรือลำอื่น ๆ ก็ถอนตัวกลับออกไปเนื่องจากเกรงว่าจะถูกเรือดำน้ำไทยโจมตี

พลเรือเอก สนธิ บุณยะชัย อดีตนายทหารประจำเรือดำน้ำวีรยุทธ และอดีตรองนายกรัฐมนตรี ในสมัยที่พลเอกเปรม ติณสูลานนท์ ประธานองคมนตรี ดำรงตำแหน่งนายกรัฐมนตรี ซึ่งปัจจุบันอยู่ในวัย 94 ปี ได้เล่าถึงปฏิบัติการของเรือดำน้ำไทยในช่วงสงครามอินโดจีนว่า “เรือดำน้ำของเรา 2 ลำ ถูกส่งไปปฏิบัติการในอ่าวไซ่ง่อนโดยไปกบดานใต้ทะเลในเวลากลางวัน และโผล่ขึ้นมาบนผิวน้ำในเวลากลางคืนเพื่อคุมเชิงข้าศึก ถึงแม้จะมีได้มีการปะทะกันเกิดขึ้น แต่ก็ถือว่าเป็นการใช้เรือดำน้ำในภาวะสงครามอย่างแท้จริง และผมเองก็ได้ร่วมเดินทางไปกับเรือดำน้ำวีรยุทธในครั้งนั้นด้วย” เมื่อสงครามโลกครั้งที่สองสิ้นสุดลงโดยญี่ปุ่นยอมจำนนหลังเมืองฮิโรชิมาและนางาซากิถูกโจมตีด้วยระเบิดปรมาณู 2 ลูก ในเดือนสิงหาคม พ.ศ.2488 เรือดำน้ำทั้ง 4 ลำของไทยก็ได้รับผลกระทบอย่างรุนแรง กล่าวคือ ญี่ปุ่นถูกยุบเลิกกองทัพ ทำให้เรือดำน้ำ ทั้ง 4 ลำที่สั่งต่อจากประเทศญี่ปุ่นขาดแคลนอะไหล่จนในที่สุดก็หมดสภาพไม่สามารถออกปฏิบัติการได้อีก ในที่สุดกองทัพเรือต้องปลดประจำการเรือดำน้ำทั้ง 4 ลำ

ในยุคต่อมากองทัพเรือเพียรพยายามที่จะผลักดันโครงการจัดหาเรือดำน้ำเข้าประจำการหลายครั้งหลายหน แต่ก็ยังไม่ประสบผลสำเร็จ

ครั้งสุดท้ายในยุคที่พลเรือเอกประเจตน์ ศิริเดช เป็นผู้บัญชาการทหารเรือ กองทัพเรือไทยเกือบจะมีเรือดำน้ำชั้น “ค็อกคุม (Cocuum)” จากสวีเดนในโครงการจัดหาเรืออยู่แล้ว แต่ในที่สุดโครงการก็ถูกยกเลิกไปโดยไม่ผ่านความเห็นชอบจากคณะรัฐมนตรี ทำให้กองทัพเรือไทยยังคงเป็นกองทัพเรือ 2 มิติ กล่าวคือมีเพียงกำลังรบผิวน้ำและกำลังอากาศนาวิก แต่ไม่มีเรือดำน้ำไว้ประจำการ ในขณะที่เพื่อนบ้านในภูมิภาคเดียวกันมีเรือดำน้ำเข้าประจำการ และกลายเป็น “ภัยคุกคาม” ที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต

การไม่มีเรือดำน้ำอยู่ในประจำการทำให้การฝึกปราบเรือดำน้ำของกองทัพเรือไทยประสบปัญหาโดยตลอด เพราะการที่พนักงานโชนาร์จะมีโอกาสสร้างความชำนาญในการเฝ้าฟังและค้นหาสัญญาณเรือดำน้ำจะต้องรอคอยทำการฝึกเมื่อมีเรือดำน้ำจากต่างชาติเข้ามาในน่านน้ำไทยเท่านั้น ซึ่งเท่าที่ผ่านมากองทัพเรือไทยจะมีโอกาสฝึกการทำสงครามปราบเรือดำน้ำด้วย “ของจริง” ก็ต่อเมื่อมีการฝึกคอบบร้าโกลด์ ซึ่งเป็นการฝึกร่วมระหว่างไทยกับสหรัฐอเมริกาที่ดำเนินการมาอย่างต่อเนื่องเป็นเวลากว่า 20 ปี ด้วยเหตุนี้ความเชี่ยวชาญในการเฝ้าฟังเสียงสัญญาณเรือดำน้ำของพนักงานโชนาร์ไทยจึงเป็นไปได้ยากส่งผลให้ขีดความ



ไกรทองกับนักศึกษามหาวิทยาลัย  
เกษตรศาสตร์ที่เข้าร่วมในโครงการ



ไกรทองในโรงงานบริษัท ไทรอัมพ์

สามารถในการปราบเรือดำน้ำของกองทัพเรืออยู่ในภาวะที่น่าเป็นห่วง จากปัญหาดังกล่าว ทำให้คณะนักวิจัยของกองทัพเรือซึ่งประกอบด้วยเจ้าหน้าที่ของกรมอุทกหารเรือ กรมอิเล็กทรอนิกส์ทหารเรือ พลเรือนทั้งบุคคลจากภาครัฐและภาคเอกชนได้ร่วมกันจัดทำโครงการวิจัยและพัฒนา “ยานใต้น้ำไร้คนขับ” เพื่อใช้เป็นเป้าฝึกปราบเรือดำน้ำเพื่อเพิ่มขีดความสามารถให้แก่กองทัพเรือในการกิจดังกล่าว รวมทั้งยังเป็นการสนองนโยบายการพึ่งพาตนเองของกระทรวงกลาโหมอีกทางหนึ่งด้วย

หากมองย้อนไปในอดีต แนวคิดที่จะวิจัยและพัฒนายานใต้น้ำไร้คนขับเพื่อทำเป็นเป้าฝึกปราบเรือดำน้ำได้เคยเกิดขึ้นมาแล้วครั้งหนึ่งเมื่อหลายสิบปีก่อนโดยในยุคนั้นบุคลากรที่เกี่ยวข้องส่วนใหญ่เป็นข้าราชการของกรมอุทกหารเรือได้มีแนวคิดที่จะนำ “ตอร์ปิโด” มาดัดแปลง เพื่อให้มีคุณลักษณะเหมือนเรือดำน้ำ แต่โครงการดังกล่าวก็ไม่ประสบผลสำเร็จ และผู้ที่เกี่ยวข้องก็ได้โยกย้ายไปปฏิบัติราชการในหน่วยต่าง ๆ ทำให้ความฝันที่จะมีเป้าฝึกปราบเรือดำน้ำไม่อาจเป็นจริงขึ้นมาได้ จนกระทั่งในยุคต่อมาแนวคิดในการวิจัยพัฒนาเป้าฝึกปราบเรือดำน้ำได้ถูกจุดประกายขึ้นมาอีกครั้งหนึ่ง โดย ศาสตราจารย์เกียรติคุณ พลเรือเอก ดร. วีรวัฒน์ วงษ์ดนตรี อดีตเจ้ากรมอุทกหารเรือ และหัวหน้าคณะนายทหารฝ่ายเสนาธิการประจำผู้บังคับบัญชา ซึ่งขณะนั้นมียศเป็นนาวาเอกได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการดังกล่าว และตัดสินใจที่จะรื้อฟื้นการดำเนินโครงการเป้าฝึกปราบเรือดำน้ำขึ้นมาอีกครั้งหนึ่ง ต่อมาเมื่อนายทหารพรรคกสิณชั้นนายพลเรือท่านนี้ดำรงตำแหน่งเป็นรองเจ้ากรมอุทกหารเรือฝ่ายบริหารโครงการวิจัยพัฒนายานใต้น้ำเพื่อใช้เป็นเป้าฝึกปราบเรือดำน้ำจึงเดินทางอย่างเต็มที่และประสบผลสำเร็จสามารถใช้งานได้จริงเมื่อปี พ.ศ. 2543 ทำให้โครงการดังกล่าวได้รับรางวัลชมเชยจากสภาวิจัยแห่งชาติโดยเป้าฝึกปราบเรือดำน้ำรุ่นแรกยังคงมีรูปร่างลักษณะคล้ายตอร์ปิโด และมีคุณลักษณะใกล้เคียงกับเป้าฝึกปราบเรือดำน้ำของต่างประเทศ การแล่นใต้น้ำใช้พลังงานแบตเตอรี่เช่นเดียวกับเรือดำน้ำธรรมดา



ไครทองในกองควบคุมคุณภาพ กรมอุทกหารเรือ



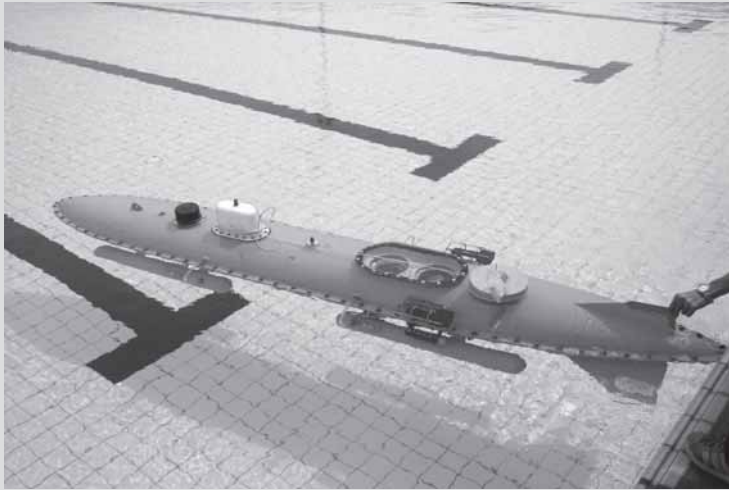
ไครทองรอรเดินทางไปสัตหีบ

ศาสตราจารย์เกียรติคุณ พลเรือเอก ดร. วีรวัฒน์ วงษ์ดนตรี อดีตหัวหน้าคณะนายทหารฝ่ายเสนาธิการประจำผู้บังคับบัญชา และอดีตเจ้ากรมอุทกหารเรือ ซึ่งเป็นหัวหน้าคณะนักวิจัยฯ และนายทหารโครงการ กล่าวว่า

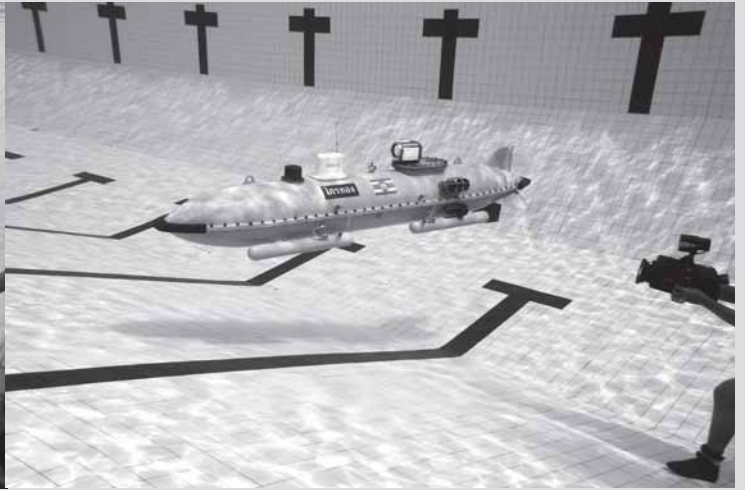
“โครงการวิจัยและพัฒนายานใต้น้ำไร้คนขับเพื่อใช้เป็นเป้าฝึกปราบเรือดำน้ำในขั้นที่ 1 ดำเนินการลุล่วงสมดังเจตนารมณ์ โดยคณะวิจัยสามารถสร้างยานใต้น้ำที่มีคุณลักษณะคล้ายกับเป้าฝึกปราบเรือดำน้ำของต่างประเทศแต่มีราคาถูกกว่าโดยใช้งบประมาณเพียงสามแสนบาท และสามารถใช้งานได้อย่างจริงโดยมีการนำไปทดสอบในทะเลได้ผลในระดับหนึ่ง”

แม้โครงการในขั้นที่ 1 จะประสบความสำเร็จตามความมุ่งหมายที่กำหนดไว้ แต่ก็ยังไม่เป็นที่พอใจของคณะวิจัย เนื่องจากยานใต้น้ำดังกล่าวยังมีข้อจำกัดหลายประการ อาทิ ยานยังมีปัญหาการรั่วซึมที่เปลือกเรืออันเนื่องมาจากการขึ้นรูปโลหะ อีกทั้งยังไม่สามารถตั้งโปรแกรมกำหนดทิศทางได้ตามความต้องการ ทำให้ยานฯ เล่นด้วยตนเองในลักษณะอิสระหรือ Random อยู่ในความลึกประมาณ 30 เมตร ตลอดจนยังมีปัญหาความยุ่งยากในการเก็บกู้ขึ้นมาใช้งานใหม่ หลังจากยานลอยตัวขึ้นมาเมื่อหมดพลังขับเคลื่อน นอกจากนี้ ไฮโดรโฟน (Hydrophone) ของยานยังส่งสัญญาณเสียงใต้น้ำได้ไม่มากพอ ทำให้การตรวจจับสัญญาณของพนักงานโซนาร์บนเรือผิวน้ำกระทำได้เฉพาะในระยะใกล้ และเป็นการตรวจจับโดยอาศัยเสียงที่ส่งมาจากเป้าฝ่ายเดียว (Passive Mode) ไม่ใช่การตรวจจับโดยสัญญาณที่เรือผิวน้ำส่งไปกระทบเป้าและสะท้อนกลับมา (Active Mode)

การวิจัยและพัฒนาในขั้นที่ 2 จึงมุ่งที่จะปรับปรุงยานใต้น้ำไร้คนขับ หรือเป้าฝึกปราบเรือดำน้ำจากขั้นที่ 1 ให้มีสมรรถนะสูงขึ้นในทุก ๆ ด้าน กล่าวคือ ปรับปรุงกระบวนการขึ้นรูปโลหะเพื่อแก้ไขการรั่วซึม พัฒนาโปรแกรมควบคุมให้สามารถตั้งค่าตัวแปรต่าง ๆ เพื่อกำหนดทิศทางและรูปแบบลักษณะการเคลื่อนที่ตามที่ต้องการแทนที่ยานจะเคลื่อนที่แบบอิสระตามวิถีของตัวเอง นอกจากนี้ยังมีการปรับปรุงไฮโดรโฟนของยานให้สามารถส่งสัญญาณเสียง



ไกรทองขณะทดสอบในสระน้ำอุทราชนาวิมหิตล

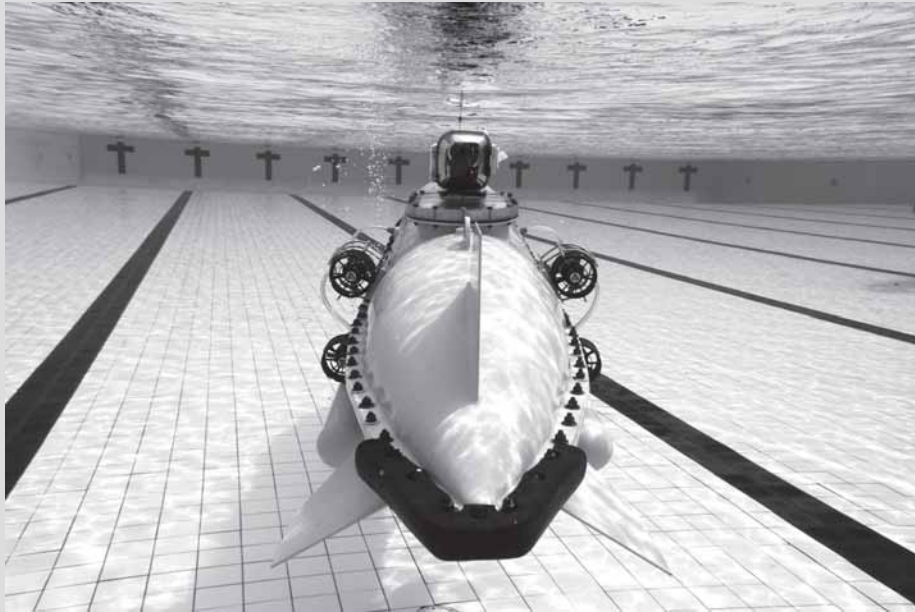


ไกรทองขณะทดสอบในสระน้ำ

ได้ตั้งขึ้นและไกลขึ้น ในลักษณะเดียวกับสัญญาณเสียงจากเรือดำน้ำจริง เพื่อให้พนักงาน โชนาร์สามารถตรวจจับได้จากระยะไกล ซึ่งเป็นสิ่งที่สอดคล้องกับการปฏิบัติงานจริงซึ่งเรือ ผิวน้ำจะต้องค้นหาสัญญาณเสียงของเป้าใต้น้ำให้ได้ตั้งแต่ระยะไกลก่อนที่เรือดำน้ำ จะเข้ามา สู่ระยะอันตราย และเนื่องจากกองทัพไทยมีงบประมาณจำกัด การพัฒนาและปรับปรุงในขั้นที่ 2 ทีมงานวิจัยจึงได้เพิ่มคุณลักษณะให้ยานสามารถส่งสัญญาณกลับมายังเรือผิวน้ำ หลังจากที่มี มั่นลอยลำขึ้น เมื่อหมดพลังขับเคลื่อน เพื่อให้ผู้ใช้รู้ตำแหน่งของยาน ซึ่งจะช่วยให้สามารถ เก็บกู้ได้อย่างสะดวกและนำกลับมาใช้งานได้อีกอันจะเป็นการประหยัดและคุ้มค่าต่อการลงทุน ยานใต้น้ำไร้คนขับ หรือเป้าฝึกปราบเรือดำน้ำในขั้นที่ 2 นี้ รูปร่างคล้ายตอร์ปิโด มีความยาว ลำตัว 3 เมตร น้ำหนักประมาณ 300 กิโลกรัม ทำความเร็วได้ 5 นอต ดำได้ลึก 30 เมตร อยู่ใต้น้ำได้นาน 90 นาที

เมื่อเดือนสิงหาคม พ.ศ.2551 คณะวิจัยและพัฒนายานใต้น้ำไร้คนขับของกองทัพเรือ ได้นำยานใต้น้ำไร้คนขับลำแรกในจำนวน 3 ลำ ของกองทัพเรือ ที่มีชื่อว่า “ไกรทอง” ไป ทำการทดสอบในสระว่ายน้ำของอุทราชนาวิมหิตลอยุธยา และในทะเลที่อ่าวสัตหีบ บริเวณ เกาะพระ ซึ่งเป็นที่ทำการของหน่วยทำลายใต้น้ำจู่โจม หรือมนุษย์กบ ของกองทัพเรือ การ ทดสอบครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อตรวจสอบสมรรถนะของยานเป็นครั้งสุดท้ายก่อนที่จะ ทำการทดสอบร่วมกับเรือปราบเรือดำน้ำ และส่งมอบให้แก่กองทัพเรือไว้ใช้ราชการภายในวันที่ 30 กันยายน พ.ศ.2551 ก่อนการทดสอบหัวหน้าคณะวิจัยฯ ได้มีการแถลงข่าวให้คณะ สื่อมวลชนที่ติดตามสังเกตการณ์การทดสอบครั้งสำคัญได้ทราบดังนี้

“โครงการวิจัยและพัฒนายานใต้น้ำไร้คนขับสำหรับฝึกปราบเรือดำน้ำ มีวัตถุประสงค์ ที่จะสร้างยานใต้น้ำที่มีคุณลักษณะและขีดความสามารถเหมือนเรือดำน้ำที่ใช้ในวงการทหาร เพียงแต่ไม่มีคนทำงานอยู่ในเรือและมีขนาดเล็กกว่าเรือดำน้ำจริงเป็นอย่างมาก ในห้วงเวลา 10-15 ปีที่ผ่านมา มีผู้ผลิตยานใต้น้ำที่มีขีดความสามารถใกล้เคียงกับเรือดำน้ำจริงขึ้นมา เพื่อให้ กองทัพเรือประเทศต่าง ๆ นำไปใช้ในการฝึกแทนการใช้เรือดำน้ำจริง ยานใต้น้ำที่กล่าวถึงนี้มี

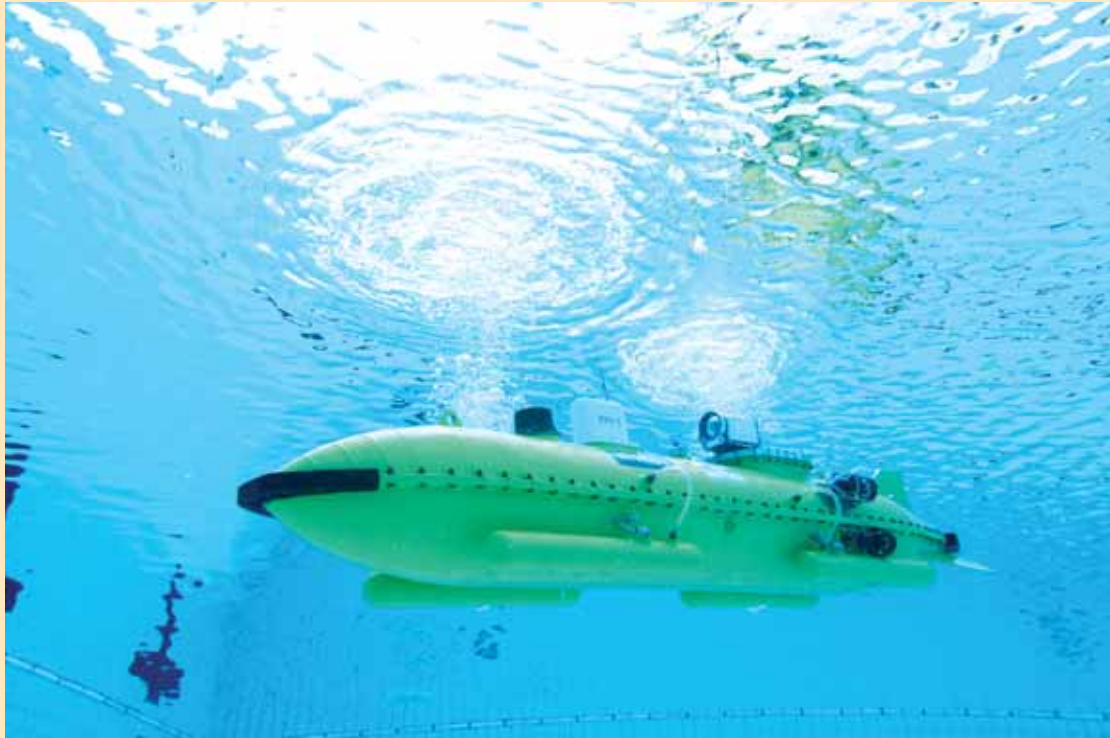


ไครทองขณะทดสอบในสระน้ำ

ราคาแพงมากและบางชนิดจะจมทะเลหายไป เมื่อเสร็จสิ้นการใช้งานแล้ว โครงการยานใต้น้ำไร้คนขับของกองทัพเรือนี้ได้รับการปรับปรุงจนกระทั่งมีขีดความสามารถสูงกว่ายานใต้น้ำรุ่นแรกมาก สามารถอยู่ใต้น้ำได้นาน 4 ชั่วโมงต่อเนื่อง มีระบบหาตำแหน่งด้วยดาวเทียม (Global Positioning System : GPS) และสามารถส่งคลื่นวิทยุบอกตำแหน่งไปยังเรือใหญ่ ทำให้นำเรือมาเก็บขึ้นจากน้ำเมื่อเสร็จการฝึกแล้ว มีระบบเสียงใต้น้ำทำให้เกิดสัญญาณปรากฏบนจอโซนาร์ของเรือผิวน้ำในลักษณะเหมือนกับการตรวจพบเรือดำน้ำในสถานการณ์จริง ผู้ใช้สามารถกำหนดรูปแบบของการเคลื่อนที่ใต้น้ำเพื่อประโยชน์สำหรับการฝึกพนักงานโซนาร์ให้ค้นหาเรือดำน้ำได้ถึง 10 รูปแบบ และสามารถทำความเร็วใต้น้ำได้ 3-4 นอต”

หัวหน้าคณะวิจัยฯ กล่าวสรุปในตอนท้ายว่า

“ในปัจจุบันกิจกรรมของพลเรือนมีการใช้ยานใต้น้ำไร้คนขับแพร่หลายมากขึ้นในต่างประเทศ ส่วนใหญ่ใช้สำหรับการสำรวจท้องทะเลโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่น้ำตื้นมาก ๆ และการสำรวจทางสมุทรศาสตร์ เช่น การเก็บข้อมูลทางกายภาพทุก ๆ ด้านของน้ำทะเลองค์ความรู้ที่ได้จากโครงการนี้จะเป็ประโยชน์ต่อการวิจัยยานใต้น้ำไร้คนขับสำหรับใช้งานทั้งด้านพลเรือนและด้านทหารได้เป็นอย่างดี” สำหรับการทดสอบครั้งนี้มุ่งเน้นที่ประสิทธิภาพทั้งหมดของยาน ไม่ว่าจะเป็นรูปแบบการดำ ซึ่งมีโปรแกรมที่กำหนดไว้ถึง 10 รูปแบบ อาทิ การดำแฉวน (ลอยนิ่งอยู่กับที่ใต้ผิวน้ำ) การดำในลักษณะปักหัวโดยมีมุมดำต่าง ๆ ก่อนจะปรับแนวเป็นการดำขนานกับพื้น รวมทั้งการดำแล่น เป็นวงกลม เป็นรูปเหลี่ยมต่าง ๆ เป็นต้น ยานใต้น้ำไร้คนขับ “ไครทอง” ใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงาน ในการใช้งานวิศวกรที่ควบคุม ยาน คือ นาวาเอก สุทธิไชย รั้งสิโรดมโกมล จะเป็นผู้ตั้งโปรแกรมควบคุมการบังคับ หลังการแถลงข่าวเสร็จสิ้น คณะวิจัยฯ ได้นำสื่อมวลชนไปยังฐานทัพเรือสัตหีบเพื่อลงเรือติดตามการทดสอบยานซึ่งได้ผลเป็นที่น่าพอใจ “ไครทอง” สามารถตอบสนองคำสั่งต่าง ๆ



ไกรทองขณะทดสอบในสระน้ำ

ได้เป็นอย่างดี ไม่ว่าจะเป็นการทำความเร็ว การหันเลี้ยว หรือช่วงเวลาที่อยู่ที่น้ำ ในสัปดาห์สุดท้ายของเดือนกันยายน คณะวิจัยฯ ได้นำยานใต้น้ำ ไร้คนขับ “ไกรทอง” ไปทำการทดสอบในทะเลอีกครั้ง โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ลักษณะ กล่าวคือ ทดลองหน้าท่า และทดลองในทะเล ในวันแรกเป็นการทดลองหน้าท่า โดยปล่อยยานลงน้ำและตั้งโปรแกรมให้ดำลึกลงไปพร้อมกับส่งสัญญาณเสียงออกมา จากนั้นก็ให้พนักงานโซนาร์ของเรือหลวงสุโขทัย ซึ่งจอดเทียบอยู่บริเวณท่าเรือแหลมเทียนทำการตรวจสอบสัญญาณเพื่อให้แน่ใจว่า ไกรทองสามารถส่งสัญญาณออกมาได้จริงและปรากฏเป็นสัญญาณบนจอของพนักงานโซนาร์ที่อยู่บนเรือ การทดสอบดังกล่าวได้ผลเป็นที่น่าพอใจ เมื่อพนักงานโซนาร์ของเรือหลวงสุโขทัยสามารถมองเห็นสัญญาณเสียงของยานไกรทองได้เช่นเดียวกับที่เคยฝึกกับเรือดำน้ำจริง รุ่งขึ้นไกรทองถูกนำขึ้นเรือหลวงสุโขทัยเพื่อเดินทางไปทดสอบในทะเลและผลการทดสอบก็เป็นที่น่าพอใจ ไกรทองสามารถทำหน้าที่เป็น “เป่าฝักปราบเรือดำน้ำ” ได้อย่างสมบูรณ์ เอกสารบทสุดท้ายที่เสนอ สวพ.กท. เพื่อขอปิดโครงการ ลงนามโดยศาสตราจารย์เกียรติคุณ พลเรือเอก ดร.วีรวัฒน์ วงษ์ดนตรี ได้สรุปข้อมูลต่าง ๆ ไว้ดังนี้

1. การวิจัยและพัฒนายานใต้น้ำไร้คนขับสำหรับฝักปราบเรือดำน้ำ เป็นการวิจัยยานใต้น้ำในขั้นที่ 2 โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะนำยานใต้น้ำที่วิจัยและปิดโครงการเมื่อปี ๒๕๔๓ มาปรับปรุงให้มีสมรรถนะสูงขึ้น พร้อมกับแก้ไขข้อจำกัดที่มีอยู่ (เอกสารวิจัย “เป่าฝักปราบเรือดำน้ำ” พ.ศ.๒๕๔๓)

2. การดำเนินงานเริ่มต้นด้วยการนำข้อมูลทั้งหมดจากโครงการวิจัยในข้อ 1. มาศึกษาแล้วกำหนดเป็นคุณลักษณะเฉพาะของยานใต้น้ำในโครงการใหม่ ดังนี้



ไครทอของขณะดำลงสู่ใต้ทะเล



หัวหน้าทีมวิจัยกับไครทอของบนเรือหลวงสุโขทัย

- 2.1 เมื่อเสร็จสิ้นการฝึกปราบเรือดำน้ำ สามารถนำกลับมาใช้งานได้อีก
  - 2.2 สามารถใช้ในการฝึกได้ 4 ชั่วโมงต่อเนื่อง
  - 2.3 สามารถส่งสัญญาณเสียงใต้น้ำให้ปรากฏบนจอโซนาร์เรือผิวน้ำ ในลักษณะเดียวกับสัญญาณจากการพบเรือดำน้ำ
  - 2.4 มีความเร็วใต้น้ำประมาณ 3 นอต และสามารถดำน้ำได้ลึก 30 เมตร
  - 2.5 ผู้ใช้สามารถตั้งค่าตัวแปรต่าง ๆ เพื่อให้ยานใต้น้ำมีการเคลื่อนที่ ได้ผิวน้ำ
- ในลักษณะที่ต้องการ
3. ออกแบบยานใต้น้ำใหม่ให้มีคุณลักษณะตามข้อ 2. ประกอบด้วยระบบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้
    - 3.1 ลำตัวของยานใช้วัสดุเหล็กกล้า SS400 ตามมาตรฐาน JIS G3101
    - 3.2 ระบบขับเคลื่อนใช้ Thruster ติดตั้งภายนอกยานใช้พลังงานแบตเตอรี่
    - 3.3 ระบบลอย - จม ใช้ถังอัดอากาศและระบบอากาศอัดกำลังดันสูง
    - 3.4 มีอุปกรณ์ควบคุมการเดินทาง ได้แก่ เข็มทิศ นาฬิกา และเครื่องวัดความลึกของน้ำ
    - 3.5 ระบบส่งเสียงใต้น้ำใช้ Transducer และระบบขยายเสียง
    - 3.6 มีระบบบอกตำแหน่งที่ด้วยดาวเทียม (GPS) และเครื่องส่งวิทยุ เพื่อติดต่อและบอกตำแหน่งของตนเองกับเรือผิวน้ำเมื่อลอยขึ้นผิวน้ำ
    - 3.7 ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานทุกระบบของยานใต้น้ำ
  4. เมื่อออกแบบเสร็จจึงจัดจ้างบริษัทเอกชนสร้างลำตัวยาน และจัดหาอุปกรณ์ประกอบทุก ระบบที่กล่าวถึงในข้อ ๓.
  5. ก่อนนำอุปกรณ์ที่จัดหาติดตั้งในยาน ต้องมีการทดสอบในห้องปฏิบัติการและโรงงานดังนี้คือ



ไกรทองขณะหย่อนลงทะเล



ไกรทองเริ่มดำ

5.1 การทดลองระบบเสียงใต้น้ำในห้องทดลองโดยใช้ลำโพงและไมโครโฟนแทน Transducer และทดลองระบบที่ใช้ Transducer ในอ่างจอดเรือและในแม่น้ำ

5.2 ทดลองระบบวิทยุ

5.3 ทดลองกำลังของลำตัวยานโดยการอัดน้ำกำลังดันสูง

5.4 ทดลองกำลังของ Thruster ในตู้ทดลอง

5.5 การลอย - จม และการทรงตัวของยานทั้งลำในตู้ทดลอง

6. ทดลองการทำงานของยานใต้น้ำ

6.1 ทดลองการเคลื่อนที่ในสระว่ายน้ำ และอ่างจอดเรือที่สมุทรปราการ

6.2 การเล่นผิวน้ำ - ดำน้ำ และการติดต่อสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุในทะเล

6.3 ทดลองการแล่นใต้น้ำตาม Pattern ที่กองการฝึก กองเรือยุทธการ ได้ออกแบบไว้

6.4 ทดลองการส่งเสียงใต้น้ำกับระบบโซนาร์ของเรือผิวน้ำ

6.5 ทดลองความแข็งแรงของยานโดยให้ดำลึกเท่ากับความลึกที่ออกแบบไว้

7. ผลการทดลองทั้งสิ้นเป็นที่น่าพอใจ เป็นความสำเร็จของโครงการ

8. ผลงานที่ได้รับ

8.1 ยานใต้น้ำจำนวน 3 ลำ มีสมรรถนะดังต่อไปนี้

8.1.1 คุณลักษณะเบื้องต้น

ความยาวประมาณ	3	เมตร
น้ำหนักประมาณ	300	กิโลกรัม
ความลึกสูงสุดที่สามารถทำงานได้	30	เมตร
ความเร็วใต้น้ำสูงสุด	3	นอต
ระยะเวลาที่ทำงานใต้น้ำมากกว่า	4	ชั่วโมง

8.1.2 คุณลักษณะทางยุทธการ

8.1.2.1 ผู้ใช้สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมล่วงหน้าให้ยานมีรูปแบบการเคลื่อนที่ใต้น้ำได้ทั้งสิ้น 10 แบบ และสามารถเปลี่ยนแบบการเคลื่อนที่ได้



8.1.2.2 สามารถส่งสัญญาณเสียงใต้น้ำไปปรากฏบนจอโซนาร์ของเรือผิวน้ำในลักษณะเดียวกับการตรวจพบเรือดำน้ำจริง

8.1.2.3 สามารถใช้ในการฝึกต่อเนื่องได้นานไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง และเมื่อเสร็จสิ้นการฝึกแล้วจะลอยขึ้นบนผิวน้ำ ผู้ใช้สามารถเก็บกลับมาใช้งานได้อีก

8.1.2.4 มีระบบ GPS และระบบส่งวิทยุ เพื่อแจ้งตำแหน่งของตนเอง เพื่อให้เรือผิวน้ำสามารถนำเรือเข้าไปเก็บขึ้นเรือใหญ่ได้ง่าย

8.2 มีแบบการสร้างยานและไดอะแกรมของระบบต่าง ๆ

#### 9. รายการครุภัณฑ์และผลิตผลจากการวิจัย

9.1	เครื่องอัดลม	1	เครื่อง
9.2	Radio Link	4	ชุด
9.3	Computer Notebook	1	เครื่อง
9.4	เครื่องอัดประจุไฟแบตเตอรี่	1	ชุด
9.5	เขรนยกยานใต้น้ำ	1	ชุด
9.6	ยานใต้น้ำ	3	ลำ
9.7	รถลากสำหรับยาน	3	คัน
9.8	แคร่รองรับยาน	3	ชุด

#### 10. แนวทางการใช้ประโยชน์จากผลงานการวิจัย

ผลงานการวิจัยโครงการนี้คือยานใต้น้ำที่สามารถนำไปใช้เป็นเรือดำน้ำจำลองสำหรับการฝึกปราบเรือดำน้ำของกองเรือยุทธการ เพื่อทดแทนการใช้เป้าประเภทอื่น ๆ ที่เหมือนเรือดำน้ำจริงน้อยกว่า และทดแทนยานใต้น้ำจากต่างประเทศที่ออกแบบให้มีสมรรถนะเหมือนเรือดำน้ำ และสามารถนำมาใช้ในการฝึกได้แต่มีราคาแพงมาก

#### 11. ประโยชน์ที่จะได้รับ

ประโยชน์ที่คณะนักวิจัยฯ และกระทรวงกลาโหมได้รับจากโครงการวิจัยนี้แบ่งออกเป็นประโยชน์ทางตรงและทางอ้อม ประโยชน์ทางตรงคือ กระทรวงกลาโหมและกองทัพเรือจะมียานใต้น้ำสำหรับฝึกปราบเรือดำน้ำไว้ใช้ในราชการจำนวน 3 ลำ ส่วนประโยชน์



เจ้าหน้าที่ในห้องศูนย์ยุทธการของ ร.ล.สุโขทัย

ทางอ้อมคือ กระทรวงกลาโหมโดยนักวิจัยได้รับองค์ความรู้ทุกด้านเกี่ยวกับการออกแบบ องค์ความรู้ที่กล่าวมาคือ การออกแบบระบบขับเคลื่อนและ Power Supply การออกแบบระบบเลี้ยงใต้น้ำ การออกแบบระบบลอย - จม และระบบการเปลี่ยนจุดศูนย์ถ่วงของยาน รวมทั้งการใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานทุกส่วน ทำให้ยานมีความเป็น Autonomous เป็นลำแรกในประเทศไทย นอกจากนี้ยังได้องค์ความรู้จากการสร้างยานใต้น้ำจากประสบการณ์ในการทดลองทุก ๆ ครั้ง บริษัทเอกชนที่ร่วมงานกับนักวิจัยคือบริษัท ไทรอัมพ์ เอ็นจิเนียริง จำกัด สามารถสร้างยานใต้น้ำที่มีลักษณะซับซ้อนได้เป็นครั้งแรกในประเทศไทย ในขณะที่บริษัทเอกชนอีกแห่งหนึ่งคือบริษัท แพคโกแอกซิส จำกัด สามารถสร้าง Thruster (อุปกรณ์สำคัญในระบบขับเคลื่อนประกอบด้วยใบจักร และมอเตอร์พร้อมทั้งวงจรควบคุมการทำงาน) ได้เป็นชุดแรกในประเทศไทย

ดร.ชุตินา เอี่ยมโชติชวลิต นักวิทยาศาสตร์อาวุโสของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (สังกัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) สามารถวิจัยและผลิต Element ที่เป็นส่วนสำคัญของการทำให้เกิดคลื่นเสียงใน Transducer ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำคัญของระบบเลี้ยงใต้น้ำ

องค์ความรู้ที่กล่าวมาข้างต้นเป็นประโยชน์มหาศาลต่อการพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของประเทศไทย ถ้าได้รับการเผยแพร่ที่ดี

## 12. ปัญหาข้อขัดข้อง

การจัดหา Thruster สำหรับยานลำที่ 1 มีปัญหาคือผู้ขายใช้เวลาในการตัดสินใจนานมาก เมื่อส่งของมาให้แล้วยังไม่ได้รับข้อมูลเกี่ยวกับระบบ Control ของ Thruster นักวิจัยต้องใช้ความสามารถแก้ไขปัญหานั้นจนสามารถบังคับให้ทำงานได้

## 13. ข้อเสนอแนะ

สมควรส่งเสริมให้มีการวิจัยต่อยอดจากโครงการนี้ โดยพัฒนาเป็นยานสำหรับปฏิบัติการใต้น้ำด้านอื่น เช่น ยานสำหรับการสำรวจพื้นที่ท้องทะเล ยานสำหรับเก็บข้อมูลเกี่ยวกับน้ำทะเล ยานสำหรับทำลายหรือตรวจทุ่นระเบิดแบบ Ground Mine ยานสำหรับสำรวจความเรียบร้อยของท่อใต้ทะเล ทั้งหมดที่กล่าวมานี้ คือ เรื่องราวของไกรทอง ยานใต้น้ำไร้คนขับฝีมือคนไทยซึ่งกำเนิดขึ้นจากการทำงานร่วมกันระหว่างกองทัพกับหน่วยงานพลเรือน และภาคเอกชน ได้แก่ กรมอุทกหารเรือ กรมอิเล็กทรอนิกส์ทหารเรือ ภาควิชาวิศวกรรมการบินและอากาศยาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย และบริษัท ไทรอัมพ์ เอ็นจิเนียริง จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทที่ประกอบธุรกิจด้านการสร้างเครื่องจักรสำหรับงานอุตสาหกรรม บุคลากรจากทุกภาคส่วนที่กล่าว มา นี้ ได้ทำงานร่วมกันมานานเป็นเวลาหลายปีด้วยความวิริยะอุตสาหะ โดยมีความมุ่งมั่นหมายเดียวกัน

การแสดงผลบทบาทของ “นักวิจัยไทย” บนพื้นฐานของการพึ่งพาตนเอง ยังจะเป็นอีกตัวอย่างหนึ่งที่อาจเป็นแรงบันดาลใจให้ผู้มีความรอบรู้เชี่ยวชาญในสาขาอื่น ๆ หันมาใช้ศักยภาพของตนเองริเริ่มและขับเคลื่อนงานวิจัยตลอดจนสิ่งประดิษฐ์ใหม่ ๆ หลากรูปแบบที่จะยังประโยชน์แก่สังคมไทยและประเทศชาติในอนาคตอีกด้วย

## การผลิตกำลังพลช่างระดับกลาง (FOREMAN) ของกรมอุทกหารเรือ



โรงเรียนช่างกรมอุทกหารเรือ

นาวาเอกหญิง ผ่องผิว วิมุกตานนท์

ผู้อำนวยการกองการศึกษา กรมพัฒนาการช่าง กรมอุทกหารเรือ

2 ถนนอรุณอมรินทร์ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700

โทร 0 2475 4064 โทรสาร 0 2475 4067

คำว่า “ช่างระดับกลาง” หรือ FOREMAN หรือ GANG LEADER ความหมายของศัพท์ คือ ผู้นำกลุ่มนั่นเอง หมายถึงช่างที่ปฏิบัติงานเป็นหัวหน้างาน เป็นผู้มีความรู้และประสบการณ์ในการกำกับดูแลงานได้เป็นอย่างดี ตลอดจนสามารถทำรายงานเสนอผู้บังคับบัญชาอย่างเป็นลำดับขั้นตอน หัวหน้างานอาจเลื่อนมาจากการเป็นผู้ปฏิบัติ แต่ผู้บังคับบัญชาพิจารณาเห็นว่ามีความ

สามารถเป็นที่ยอมรับและได้รับการพัฒนาความรู้เพิ่มเติมตามความเหมาะสม ปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมส่วนมาก โดยเฉพาะอุตสาหกรรมต่อเรือและซ่อมเรือไทย ยังขาดแคลนช่างระดับกลางเป็นจำนวนมาก เนื่องจากสถาบันการศึกษาที่ผลิตช่างระดับกลางดังกล่าวมีน้อยมาก และมีการเรียนการสอนที่ยังไม่สอดคล้องกับความต้องการของภาคอุตสาหกรรมเท่าใดนัก

กรมอุทกหารเรือ มีสถาบันการศึกษา อาชีพเฉพาะอย่าง ที่ผลิตบุคลากรทางช่าง สาขาการซ่อมและสร้างเรือที่มีประสิทธิภาพ คือ โรงเรียนช่างกรมอุทกหารเรือ (รร.ชอ.ร.) เป็นหน่วยที่สังกัดกองการศึกษา กรมพัฒนาการช่าง กรมอุทกหารเรือ (กศช. กพช.อ.ร.) นับเป็นสถาบันหลักเพียงแห่งเดียว ของ อ.ร. ที่ผลิตนักเรียนช่าง (นรช.อ.ร.) มา ตั้งแต่ พ.ศ.2488 จนถึงปัจจุบัน นับเป็นเวลา ถึง 63 ปี แล้ว รร.ชอ.ร. ผลิต นรช.อ.ร. เป็น จำนวนรวมทั้งสิ้น 2,706 นาย สถาบันแห่งนี้ เป็นเช่นเดียวกับสถานศึกษาอื่น ๆ ของ ท.ร. ที่ผลิตนักเรียนในสายวิทยาการของแต่ละ หน่วย เช่น รร.ชุมพลทหารเรือ รร.ดุริยางค์ ทหารเรือ รร.พยาบาลทหารเรือ เป็นต้น

เดิม รร.ชอ.ร. ผลิตช่างฝึก ระยะเวลา การศึกษา 1 ปี รับสมัครผู้จบชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 อายุ 14-20 ปี ต่อมารับสมัคร ผู้จบการศึกษาระดับสูงขึ้นไปเป็นลำดับ ใน ปัจจุบันรับสมัครผู้จบการศึกษาระดับ มัธยมศึกษาตอนต้น (ม.3) จนกระทั่ง พ.ศ.2537 ได้มีการปรับปรุงหลักสูตร นักเรียนผู้ช่วยช่าง ซึ่งมีระยะเวลาการศึกษา เพียง 1 ปี เป็นหลักสูตรนักเรียนช่าง กรมอุ ทหารเรือ ระยะเวลาศึกษา 3 ปี ขณะนั้น ท.ร. อนุมัติให้รับสมัครปีละ 40 นาย เป็น นรช.อ.ร. ในส่วนของ อ.ร. 40 นาย บริษัทอุทกกรุงเทพ จำกัด ฝากเรียน จำนวน 9 นาย รวมเป็น 49 นาย ซึ่งบริษัทอุทกกรุงเทพ จำกัด ประสบ สภาวะไม่คล่องตัวทางการเงิน จึงโอน นรช.อ.ร. ในส่วนของบริษัทอุทกกรุงเทพ จำกัด ให้ อ.ร.อีก 9 นาย โดยมีโครงสร้างหลักสูตร ประกอบด้วย 4 สาขาอาชีพช่าง คือ

1. สาขาอาชีพช่างกลโรงงาน (เรือ)
2. สาขาอาชีพช่างไฟฟ้า (เรือ)



นรช.อ.ร. เข้าแถวเคารพธงชาติและสวดมนต์



นรช.อ.ร. กำลังเรียนในห้องเรียน

3. สาขาอาชีพช่างต่อเรือ

4. สาขาอาชีพช่างการอยู่

ที่ผ่านมา เมื่อ นรช.อ.ร. จบการศึกษา หลักสูตร 1 ปี จาก รร.ชอ.ร. แล้ว ได้รับ ประกาศนียบัตร นักเรียนผู้ช่วยช่าง รร.ชอ.ร. หรือ จบการศึกษาหลักสูตร 3 ปี ได้รับ ประกาศนียบัตร นรช.อ.ร. และ อ.ร. บรรจุ ช่างเหล่านั้นเป็นช่างชั้น 1 ซึ่งขณะนั้น สำนักงานคณะกรรมการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการยังไม่ได้ให้การรับรอง คุณวุฒิเป็นประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)

ตั้งแต่ปีการศึกษา 2548 เป็นต้นมา นรช.อ. จบการศึกษาแล้วได้รับประกาศนียบัตรวิชาชีพ รร.ชอ. เทียบเท่าคุณวุฒิ ปวช. ของ กระทรวงศึกษาธิการ จึงมีสิทธิได้รับการบรรจุเป็นช่างชั้น 2 หรือ ช่างระดับกลาง และได้รับอัตราค่าจ้างเท่ากับผู้จบคุณวุฒิ ปวช. ตั้งแต่ปี 2549 เป็นต้นมา ผู้จบการศึกษาจาก รร.ชอ. ได้รับการบรรจุเป็น พนักงานราชการ ได้อัตราค่าตอบแทน ชั้น 1 จำนวน 7,010 บาท ค่าครองชีพ 1,500 บาท รวมทั้งสิ้น 8,510 บาท

ต่อมาได้มีการพัฒนาการศึกษาให้ เท่าเทียมกับ รร.สังกัด กห. เช่น รร.ช่างฝีมือ ทหาร (รร.ชท.) สังกัดกรมยุทธศึกษาทหาร (ยศ.ทหาร) กองบัญชาการกองทัพไทย อร. จึง พิจารณาจัด นรช.อ. รุ่นปีการศึกษา 2539 เข้ารับการฝึกวิชาทหารที่กรมการรักษาดินแดน ทำให้ อร. ไม่ต้องสงวนอัตราไว้เป็นเวลา 3 ปี หลังจาก นรช.อ. สำเร็จการศึกษาและต้อง ไปรับราชการทหาร

ปัจจุบัน รร.ชอ. ดำเนินการศึกษา โดยใช้หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ รร.ชอ. พ.ศ.2547 ซึ่งเป็นหลักสูตรช่างฝีมือ ต่อจากระดับมัธยมศึกษาตอนต้น เพื่อมุ่ง พัฒนากำลังพล ให้มีความชำนาญเฉพาะด้าน ฝึกงานฝีมือที่ใช้เทคโนโลยีจนเกิดทักษะ เสริมสร้างคุณภาพของช่าง หรือ เจ้าหน้าที่ ในวิชาชีพช่างอุตสาหกรรม โดยเฉพาะสาขา ที่เกี่ยวข้องกับการซ่อม สร้าง ดัดแปลง แก้ไข เรือพาหนะและอุปกรณ์ประกอบได้ตาม ความต้องการของ ทร. ตลอดจนมีความเข้าใจ ในกระบวนการทำงานในกลุ่มงานพื้นฐาน อุตสาหกรรมการต่อเรือ การอ่านและ เขียนแบบเบื้องต้น งานอู่เรือ เทคนิค การต่อเรือ สามารถปฏิบัติงานในสถาน



ฝึกภาคสนามที่เขานกไก่อ จังหวัดกาญจนบุรี



ฝึกงานจริงพร้อมกับช่าง (ON THE JOB TRAINING)

ประกอบการของ ทร. หรือประกอบอาชีพ ส่วนตัวได้เป็นอย่างดี ซึ่งหลักสูตรดังกล่าว มุ่งเน้นให้การศึกษาทั้งภาคทฤษฎี ภาคปฏิบัติ โดยเฉพาะการฝึกงานจริงกับช่างในโรงงาน ต่าง ๆ (ON THE JOB TRAINING) ของ อู่ทหารเรือธนบุรี (อธบ.อ.) และอู่ทหารเรือ พระจุลจอมเกล้า (อจปร.อ.) เพื่อเน้น ความชำนาญเฉพาะด้านของวิชาชีพนั้น ๆ เปิดโอกาสให้ผู้เรียนสร้างทักษะและสติปัญญา จากแหล่งสรรพวิทยาการ สถานประกอบการ ของทางราชการและของภาคเอกชนได้อีกด้วย



ฝึกงานจริงพร้อมกับช่างในโรงงาน

จำนวนที่ผลิต นรช.อร. แต่ละปี ย่อมแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นกับนโยบาย ทร. ระยะหลัง ๆ จนถึงปัจจุบัน (ปีการศึกษา 2551) ตามที่ทราบกันดีว่า ทร. มีนโยบายปรับลดกำลังพล เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านงบประมาณจึงให้ อร. ผลิต นรช.อร. เพียงปีละ 30 นาย ตั้งแต่ปีการศึกษา 2546 เป็นต้นมา ปีการศึกษาปัจจุบัน ซึ่งเปิดการศึกษาตั้งแต่ 1 พ.ค.2551 มี นรช.อร. ในส่วนของ อร. 30 นาย และเป็นส่วนของบริษัทอู่กรุงเทพ จำกัด 2 นาย รวมเป็น 32 นาย ประกอบด้วย นรช.อร. สาขาวิชาช่างต่อเรือ 14 นาย

สาขาวิชาช่างการอู่เรือ 7 นาย และสาขาวิชาช่างไฟฟ้าเรือ 11 นาย ใช้หลักสูตร ปวช.ร.ร.ช.อร. พ.ศ.2547 ประเภทอุตสาหกรรมเรือ ประกอบด้วย 4 สาขาวิชาช่าง คือ

1. สาขาวิชาช่างต่อเรือ
2. สาขาวิชาช่างการอู่เรือ
3. สาขาวิชาช่างเครื่องกลโรงงานเรือ
4. สาขาวิชาช่างไฟฟ้าเรือ

ซึ่งหลักสูตรดังกล่าว มีการปรับปรุงเป็นระยะ ๆ เพื่อให้มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยมี จก.กพช.อร. เป็นประธานกรรมการปรับปรุงหลักสูตร

ตั้งแต่ปีการศึกษา 2551-2555 บริษัทอุทกกรุงเทพ จำกัด ฝากเรียน จำนวนปีละ 2 นาย รวม 10 นาย ตามสาขางานช่างดังนี้

ปีการศึกษา	ช่างกลโรงงาน	ช่างต่อเรือ	ช่างการอยู่	ช่างไฟฟ้า	รวม
2551		2			2
2552		2			2
2553	1		1		2
2554	1			1	2
2555			1	1	2
				รวม	10

บริษัท อุทกกรุงเทพ จำกัด ได้ตระหนักถึงความเชี่ยวชาญด้านการศึกษา สาขาอาชีพช่างต่อเรือ เนื่องจากไม่มีสถานศึกษาใดจัดหลักสูตรดังกล่าวได้ตรงตามความต้องการใช้งานของบริษัทฯ นอกจากนี้บริษัท อุทกกรุงเทพ จำกัด ได้เคยจัดส่งบุคลากรมาเข้ารับการอบรมหลักสูตรทางช่างสาขาต่าง ๆ ที่ กศษ. กพช.อร. จำนวนหลายหลักสูตร จากการประเมินผู้เข้าอบรมมีความพึงพอใจที่จะมาเข้ารับการอบรมอีกในโอกาสต่อไปอย่างต่อเนื่อง สถานศึกษา อาทิเช่น วิทยาลัยเทคนิค และอุตสาหกรรมการต่อเรือ พระนครศรีอยุธยา หรือ วิทยาเขตเทคโนโลยี และอุตสาหกรรมการต่อเรือนครศรีธรรมราช หรือแม้แต่คณะวิศวกรรมศาสตร์สาขาเครื่องกลเรือ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้เคยขอรับการสนับสนุนทั้งการจัดทำหลักสูตรและการฝึกงานที่ อร. ด้วยเช่นกัน

การผลิตช่างระดับกลางของ อร. เป็นการผลิตเพื่อปฏิบัติงานใน ทร. หรือหน่วยที่ อร. เป็นหัวหน้าสายวิทยาการเท่านั้น ถ้าเกิดการขาดแคลนกำลังพลดังกล่าว อร.

ต้องรับสมัครบุคคลพลเรือนที่จบการศึกษาระดับ ปวช. จากสถานศึกษาภายนอก ซึ่งมีความรู้พื้นฐานด้านการต่อเรือไม่เพียงพอ ในอนาคต รร.ชอร. จะสามารถผลิตช่างชั้นกลางไปสู่วงการอุตสาหกรรมต่อเรือภายนอก นาวาเอก ประมวล บุญยพาน นายกสมาคมต่อเรือและซ่อมเรือไทย ได้ให้รายละเอียดเกี่ยวกับช่างระดับกลาง (FOREMAN หรือ GANG LEADER) ไว้ว่า “บริษัทต่อเรือและซ่อมเรือไทย มีช่างระดับล่าง (LABOR) หรือ ช่างผู้ปฏิบัติงาน และระดับวิศวกร (ADVISOR) ไปเลย ยังขาดช่างระดับกลางผู้ควบคุมงาน ซึ่งช่างระดับกลางได้มาจากผู้ที่มีประสบการณ์ในการทำงานมาเป็นเวลานานพอสมควร จึงสามารถทราบลำดับขั้นตอนของงานเป็นอย่างดี ช่างเหล่านี้มีทั้งสำเร็จการศึกษาระดับ ปวช. จากสถาบันต่าง ๆ หรือเทียบเท่า และผ่านการอบรมหลักสูตรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานที่ปฏิบัติโดยตรงเพิ่มเติมอยู่เป็นระยะ ๆ กล่าวคือ ช่างระดับนี้เป็นระดับหัวหน้างาน มีช่างอยู่ในความรับผิดชอบเป็นจำนวนมาก ช่างระดับหัวหน้างานนี้

ประมวล บุญยพาน, นาวาเอก นายกสมาคมต่อเรือและซ่อมเรือไทย ผู้ให้สัมภาษณ์, ผ่องผิว วิมุขตานนท์, นาวาเอกหญิง ผู้อำนวยการกองการศึกษา กรมพัฒนาการช่าง กรมอุทกหารเรือ ผู้สัมภาษณ์ ที่ กรมอุทกหารเรือ เมื่อ 7 พฤศจิกายน 2551

ต้องทำรายงานเสนอผู้บังคับบัญชาได้และยังต้องปฏิบัติงานร่วมกับช่างระดับล่างได้ด้วย ต้องเป็นทั้งผู้ที่สั่งการได้และปฏิบัติได้ด้วย สมาคมต่อเรือ ฯ ยังมีความต้องการที่จะจัดส่งบุคลากรมาเข้ารับการอบรมหลักสูตรทางช่างระยะสั้น และฝากเรียนในหลักสูตร ปวช. รร.ชอร. อีกด้วย ซึ่งขณะนี้อยู่ระหว่างการพิจารณา” นับว่าการจัดอบรมและการผลิตกำลังพลสายช่างของ อร. สามารถสนับสนุนได้ตรงกับความต้องการของวงการอุตสาหกรรมต่อเรือภายนอกได้เป็นอย่างดี

นรช.อร. ที่จบการศึกษาในแต่ละปี การศึกษานั้น อร.ไม่สามารถควบคุมอัตราการสูญเสียระหว่างการศึกษาก็ได้ ทำให้สำเร็จการศึกษาไม่ครบ 30 นาย ในแต่ละปี ทั้งนี้เนื่องจาก นรช.อร. สอบเข้าศึกษาต่อในสถาบันอื่น เช่น รร.ชท. รร.จำอากาศ หรือ รร.ชุมพลทหารเรือ เป็นต้น บ้างก็ลาออกหรือเรียนซ้ำชั้น กรณีที่ นรช.อร. ผ่านการสอบเข้าศึกษาในสถาบันอื่น นับเป็นความก้าวหน้าของ นรช.อร. เอง จึงขอความปรานีจาก ทร. โดยไม่ต้องเสียค่าปรับ เนื่องจากไม่จบการศึกษา หรือ จบการศึกษาแล้ว รับราชการไม่ครบ 2 เท่าของระยะเวลาที่ศึกษาใน รร.ชอร. เพื่อเป็นการแก้ปัญหากรณีที่ นรช.อร. ลาออกก่อนจบการศึกษา หรือต้องพ้นจากฐานะนักเรียนในระหว่างการศึกษากศษ.ภพช.อร. จึงเสนอให้ อร.พิจารณาเพิ่มเงินค่าปรับโดยศึกษาเปรียบเทียบกับสถานศึกษาต่างๆ ภายใน ทร. จากเดิมปีละ 12,000 บาท เป็น 25,000 บาท หรือ ถ้ามีการผลิตเพิ่มเติมเพื่อทดแทนกำลังพลที่สูญเสีย เพื่อ อร. จะได้มีช่างระดับกลางอย่างเพียงพอ อีกแนวทางหนึ่ง คือ อร.อาจรับสมัครไว้เกินจำนวนที่สามารถรับได้แต่ละปี แต่ทั้งนี้ควรจะต้องมีอัตราบรรจุรองรับอย่าง

เพียงพอ เพื่อมิให้เกิดปัญหาเรื่องการบรรจุกำลังพลตามมาภายหลัง อย่างไรก็ตามก็ดี อร. เสนอความต้องการผลิต นรช.อร. ในปีการศึกษา 2552 เพิ่มเติมจากปีละ 30 นาย เป็น 45 นาย ขณะนี้อยู่ในระหว่างการพิจารณาอนุมัติจาก ทร. และบริษัทต่อเรือเอกชนมีความต้องการที่จะฝากเรียนในส่วนของบริษัทฯ อีกด้วย ซึ่งสมาคมต่อเรือฯ ได้ประสานในรายละเอียดเพื่อนำไปประกอบการพิจารณาแล้ว

การผลิต นรช.อร. ให้มีคุณภาพเป็นที่พึงพอใจของหน่วยงาน หรือ สถานประกอบการภายนอก ทร. นั้น นอกจากหลักสูตรต้องมีความสมบูรณ์ในตัวเองแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงคุณภาพของครูผู้สอน ซึ่งต้องผ่านการคัดสรรผู้ที่มีคุณสมบัติตรงกับสายงานซ่อมและสร้างเรือ มีประสบการณ์และมีความรักที่จะถ่ายทอดความรู้ ให้แก่นักเรียนครูเหล่านี้ได้ผ่านการอบรมหลักสูตรเทคนิคการสอนงาน และหลักสูตรที่เพิ่มพูนประสบการณ์ให้แก่ครู จากสำนักพัฒนาผู้ฝึกและเทคโนโลยีการฝึก กรมพัฒนาฝีมือแรงงาน มีการจัดหาอุปกรณ์ฝึกงานที่ทันสมัย เช่น เครื่องนิวเมติกส์และไฮดรอลิกส์ คอมพิวเตอร์ และจะจัดหาอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการเรียนการสอนเพิ่มเติมต่อไปอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับ



ห้องฝึกงานนิวเมติกส์และไฮดรอลิกส์



แนวทางการประกันคุณภาพการศึกษาของ ทร. มีความพร้อมในการรับการตรวจประเมิน ภายในจาก ยศ.ทหาร และการตรวจประเมิน ภายนอก จากสำนักงานรับรองมาตรฐานและ ประเมินคุณภาพการศึกษา (สมศ.) ต่อไป

การคัดเลือก นรช.อร. ศึกษาใน แต่ละสาขาอาชีพเพื่อเตรียมบรรจุลง ตำแหน่งงาน จะคัดเลือกจากลำดับคะแนน ผู้ที่สอบได้คะแนนสูงสุด มีสิทธิเลือกสาขา อาชีพที่ต้องการก่อน แต่เป็นที่น่าสังเกตว่า นรช.อร. ที่สอบได้คะแนนระดับปานกลาง เลือกเรียนสาขาอาชีพช่างต่อเรือ และจาก สถิติผู้ลาออก จากฐานะนักเรียนก่อนจบ การศึกษาก็อยู่ในสาขาอาชีพดังกล่าวเช่น เดียวกัน จึงทำให้การ บรรจุกำลังพลของ อร. ในสาขาดังกล่าวไม่เป็นไปตามแผน และเพื่อ เป็นการเพิ่มมาตรฐานการศึกษาของ รร.ชอร. ในปีการศึกษา 2551 อร. ได้กำหนดเกณฑ์ การรับสมัครบุคคลพลเรือนเข้าเป็น นรช.อร.

โดยผู้สมัครต้องมีคะแนนเฉลี่ยสะสมของชั้น มัธยมศึกษาตอนต้น เท่ากับ 1.80 และในปี การศึกษา 2552 กศษ.กพช.อร. จะขอให้ อร. กำหนดเกณฑ์คะแนนเฉลี่ยสะสมของ ผู้สมัครสอบเท่ากับ 2.00 ซึ่งจะทำให้ นรช.อร. มีมาตรฐานการศึกษาที่สูงขึ้นกว่าเดิม เนื่องจากการศึกษาในหลักสูตรผู้เรียนต้องมี พื้นฐานในวิชาคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ เป็นอย่างดี และควรมีความรู้ด้านความถนัด ทางช่างด้วย เพื่อเป็นส่วนช่วยในการพิจารณา คัดเลือกผู้สมัครสอบว่ามีความสนใจต่ออาชีพ มากน้อยเพียงใด

นอกจากการศึกษาในชั้นเรียนแล้ว นรช.อร. ยังเข้าร่วมกิจกรรมสำคัญต่างๆ ของ ทร. เช่น

การเป็นฝีพายในขบวนพยุหยาตรา ทางชลมารค เฉลิมพระเกียรติ พระบาท สมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เนื่องในมหามงคล วโรกาสที่ทรงครองสิริราชสมบัติครบ 60 ปี



ฝีพายและผู้ทำหน้าที่ต่าง ๆ ในขบวนพยุหยาตราทางชลมารค





การบรรพชาสามเณรถวายเป็นพระราชกุศลแด่สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ เนื่องในมงคลวโรกาสที่ทรงเจริญพระชนมายุครบ 84 พรรษา ใน 6 พฤษภาคม 2550 ณ วัดปทุมวนารามราชวรวิหาร



ข้าราชการ กศษ.กพช.อร. และ นรช.อร.วางพวงมาลาถวายสักการะแด่พระศพสมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ ณ พระที่นั่งดุสิตมหาปราสาท ในพระบรมมหาราชวัง



ร่วมขบวนแห่งสัญลักษณ์จากวันแม่ถึงวันพ่อ 116 วัน รักสามัคคี

### กิจกรรมประจำปี



การทำกิจกรรมในวันสำคัญทางศาสนา



การบำเพ็ญตนเป็นพุทธศาสนิกชน



การกระทำพิธีแสดงตนเป็นพุทธมามกะ



พิธีไหว้ครู



พิธีแสดงมุทิตาจิตแด่ครูที่เกษียณอายุราชการ



บริจาคโลหิตเป็นสาธารณกุศลในวันสำคัญ ต่าง ๆ

### บทสรุป

ความต่อเนื่องในการผลิตและพัฒนาช่างระดับกลางของ อร. ส่งผลให้ ทร. มีช่างที่มีความรู้ ความสามารถในการสายงานซ่อมและสร้างเรือ ตรงตามความต้องการของหน่วยงาน ความสำเร็จดังกล่าวจึงเป็นที่ยอมรับของภาคเอกชนและสถาบันการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมต่อเรือ เช่น การสนับสนุนการอบรมการจัดทำหลักสูตรและการฝึกงานให้สถาบันการศึกษาของรัฐหลายแห่ง ดังนั้นแนวทางหนึ่งที่ อร. จะช่วยสนับสนุนภาคเอกชนในการแก้ปัญหาการขาดแคลนช่างระดับกลาง คือ การประสานความร่วมมือด้านการศึกษา และฝึกอบรม ซึ่งจะเป็นการส่งเสริมอุตสาหกรรมต่อเรือของประเทศให้มีความมั่นคงยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานะเศรษฐกิจปัจจุบัน

# ผู้ให้การสนับสนุนการจัดทำวารสารกรมอุทหากรเรือ ประจำปี 2552

---

1. บริษัท เจ. เอส. แอล. จำกัด	20,000.- บาท
2. บริษัท ไทยโคลอน จำกัด	20,000.- บาท
3. บริษัท มาร์ชชั่น จำกัด	20,000.- บาท
4. บริษัท ยูพีเอส เอ็นจิน เซอร์วิส เซ็นเตอร์ จำกัด	20,000.- บาท
5. บริษัท โรจน์ไพบูลย์ อีควิปเมนท์ จำกัด	20,000.- บาท
6. บริษัท อาร์.พี.เอส. ซัพพลาย จำกัด	20,000.- บาท
7. บริษัท ซีท โป้ต จำกัด	20,000.- บาท
8. บริษัท ยูนิไทย ซิพยาร์ด แอนด์ เอ็นจิเนียริง จำกัด	20,000.- บาท
9. บริษัท ล็อกซเลย์ จำกัด	20,000.- บาท
10. บริษัท เสรีสรรพกิจ จำกัด	20,000.- บาท
11. บริษัท อู่กรุงเทพ จำกัด	20,000.- บาท
12. บริษัทโอคเวิลด์ คอร์เปอร์เรชั่น ไทยแลนด์ จำกัด	20,000.- บาท
13. บริษัท ปิ่นเจริญขนส่ง จำกัด	20,000.- บาท
14. บริษัท พัฒนายนต์ชลบุรี จำกัด	20,000.- บาท
15. บริษัท เลิศวิสัยแอนด์ซันส์ จำกัด	20,000.- บาท
16. บริษัท เพาเวอร์เทค 2004 จำกัด	20,000.- บาท

