

## 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 มุลสิน**

หัวหน้าออกแบบโครงสร้างตัวเรือ กองออกแบบต่อเรือ กรมแผนการช่าง กรมอุทกหารเรือ

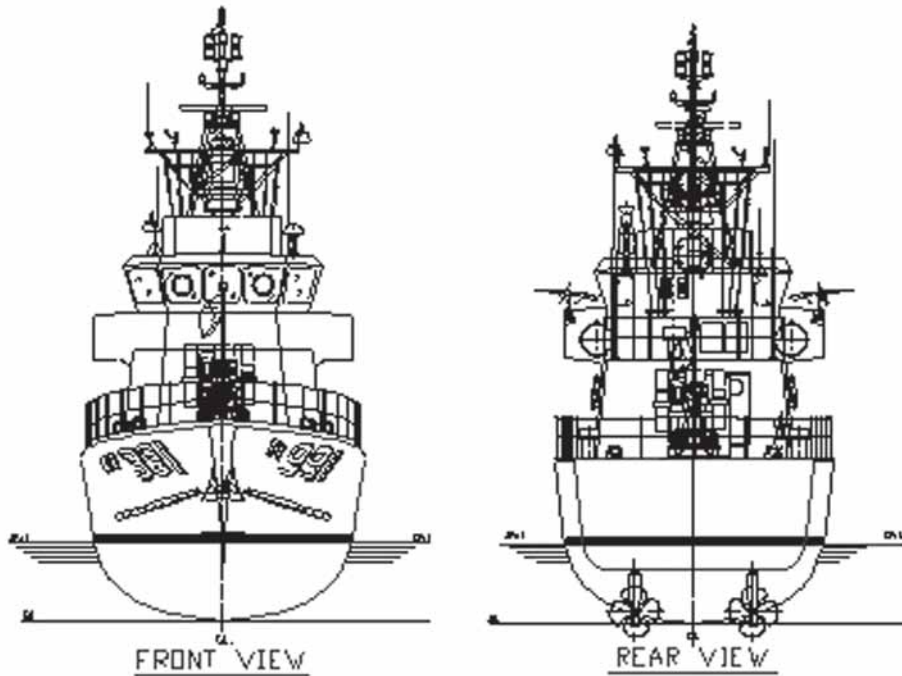
2 ถนนอรุณอมรินทร์ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700

โทร 0 2475 4253 โทรสาร 0 2475 4387

E-mail: nibhon1962@yahoo.com

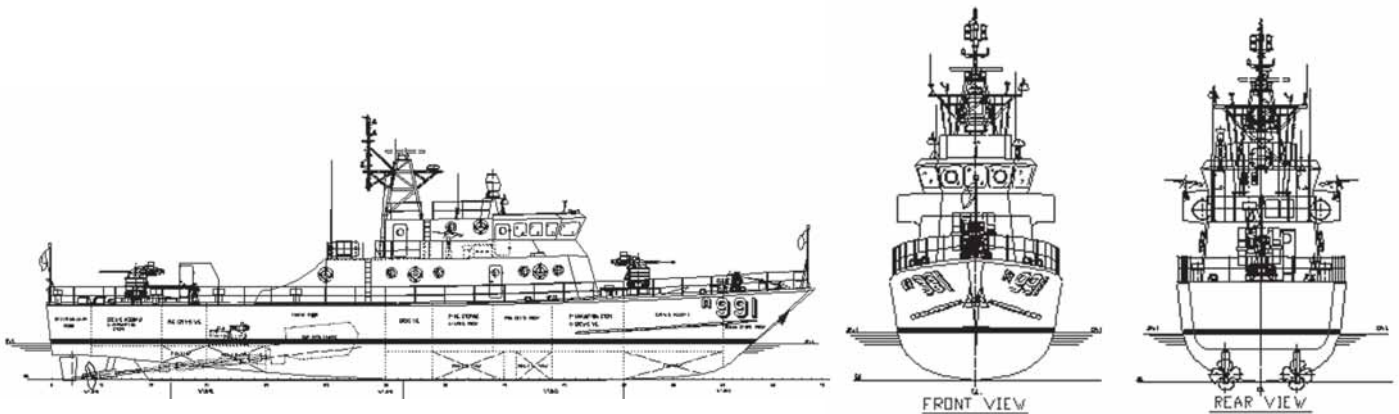
## บทคัดย่อ

จากความสำเร็จในโครงการจัดสร้างเรือตรวจการณ์ใกล้ฝั่งเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา ชุดเรือ ต.991 จำนวน 3 ลำ ซึ่งดำเนินตามกระแสพระราชดำริของ พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เมื่อวันที่ 15 เมษายน พ.ศ. 2545 ความตอนหนึ่งว่า **“เรือรบขนาดใหญ่มีราคาแพงและมีค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานสูง กองทัพเรือจึงควรใช้เรือที่มีขนาดเหมาะสมและสร้างได้เอง ซึ่งเมื่อสร้างเรือตรวจการณ์ใกล้ฝั่งชุดเรือ 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 เพื่อนำมาตรวจสอบวิเคราะห์หาวิธีในการแก้ไขหรือปรับปรุงในการสร้างเรือลำดับต่อไป 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 ตกผล. 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

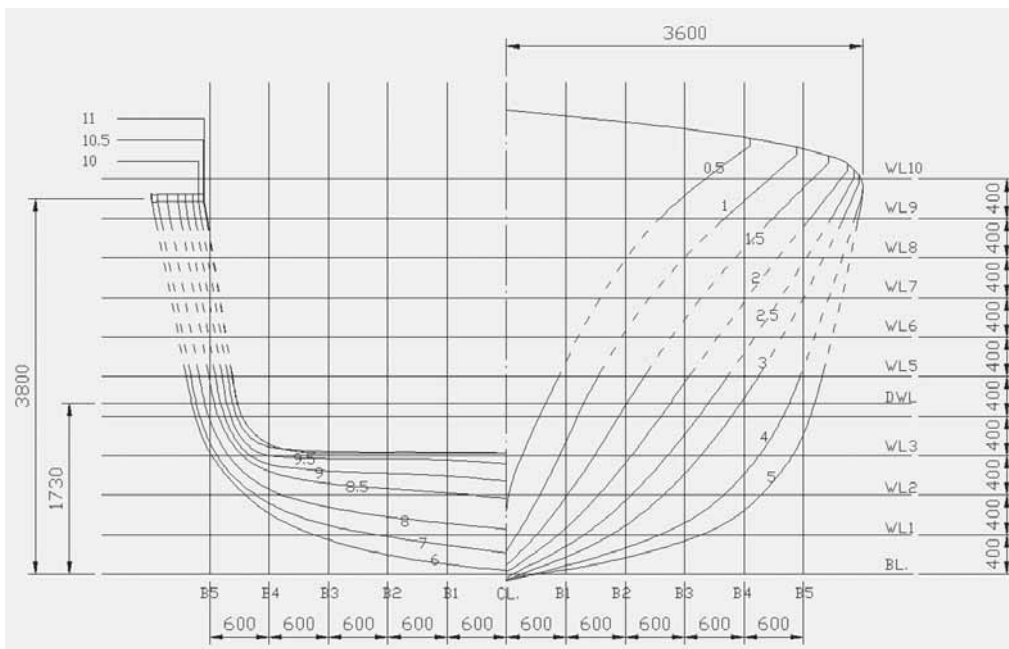
#### 3.1 การพัฒนารูปทรงตัวเรือ (Lines Development)

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 ระวังขับน้ำของเรือประมาณ 205 ตัน คงขนาดของระบบขับเคลื่อนเดิม รักษาความเร็วเรือไม่ต่ำ

กว่า 27 นอต (Design Target Speed 29 Knots) พัฒนาสมรรถนะด้านการทรงตัวของเรือและการหันเลี้ยว โดยขยายขนาดลายเส้นเรือชุดเรือ ต.991 ขึ้น 8% ในทุกมิติ จากนั้นขยายความกว้างเรือส่วนที่อยู่เหนือแนวน้ำเพิ่มขึ้น โดยผายลายเส้นออกไปยังความกว้างกราบเรือที่เพิ่มขึ้นเป็น 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
- ระวังขับน้ำเต็มที (Full Load)

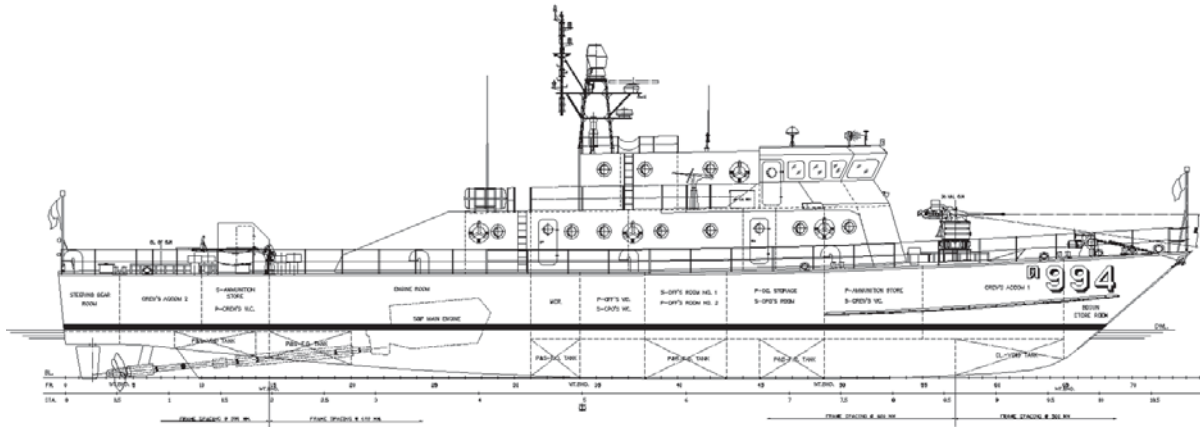
215 ตัน

- ความเร็วสูงสุดไม่น้อยกว่า 27 นอต ที่ Full Load

- ระยะปฏิบัติการไม่น้อยกว่า 1,500 ไมล์ทะเล

- ระยะเวลาปฏิบัติการในทะเล ต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 7 วัน

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



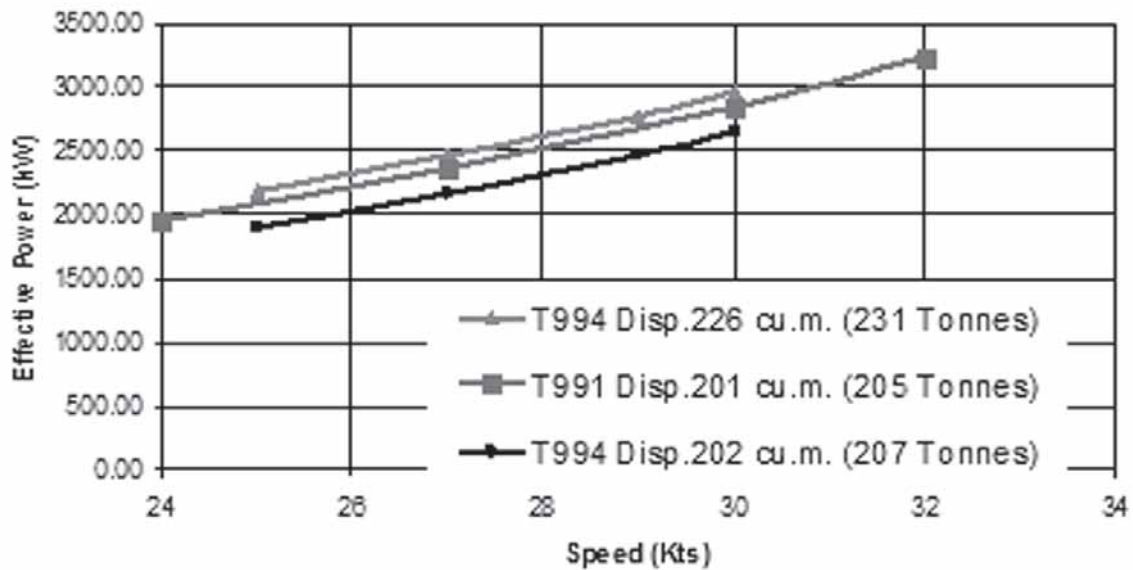
รูปที่ 3 แบบเรียบเรียงทั่วไป เรือ ต.994

### 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



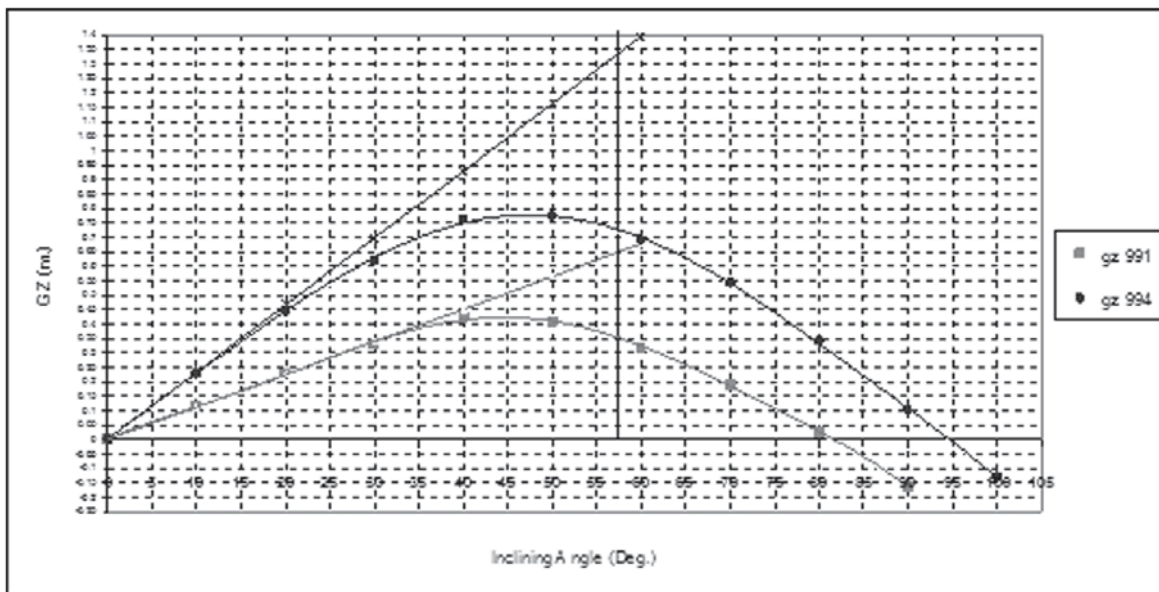
รูปที่ 5 เส้นโค้งเปรียบเทียบค่าความต้านทาน เรือ ต. 991 และ ต. 994

### 3.3 การออกแบบด้านการทรงตัวของเรือ (Statical Stability)

ภายหลังจากการพัฒนาสายเรือ ต.994 เสร็จแล้ว ได้ทำการประมาณค่าระวางขับน้ำเรือลำใหม่ และหาจุดศูนย์ร่วมน้ำหนัก ทำให้ทราบว่าเรือตรวจการณ้ลำใหม่ มีระวางขับน้ำประมาณ 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 ห้องกลาตีหัว 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

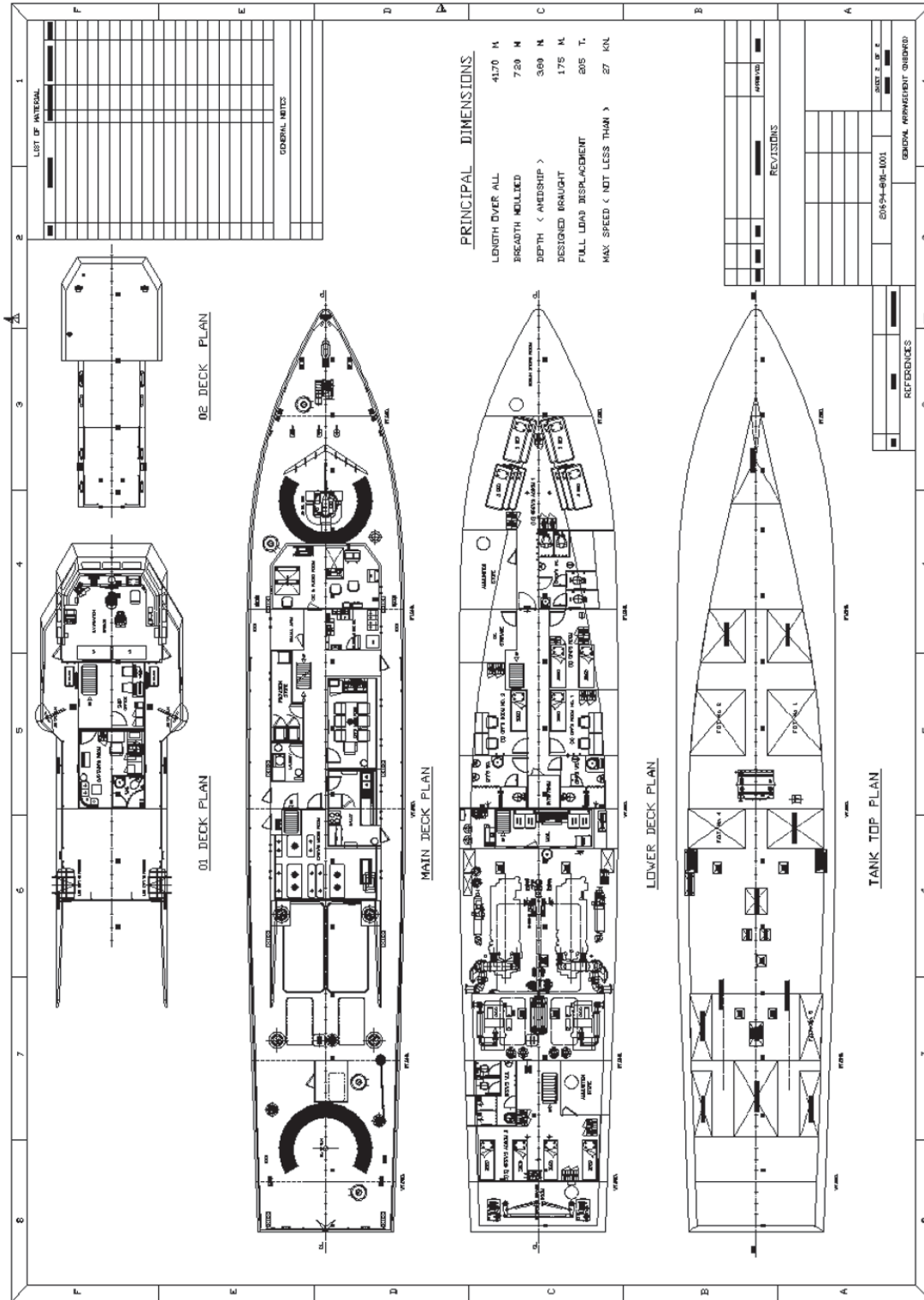
- การปรับปรุงชั้น Main Deck ปรับเปลี่ยนช่อง Removable Route ให้เป็นสองช่อง เสริมความแข็งแรงให้กับดาดฟ้าหลักในบริเวณที่โครงสร้างถูกตัด

- 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 ให้เป็นราวลดธรรมชาติโดยไม่ใช้แผ่นเหล็กกัน สามารถลดแรงต้านทานลม (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

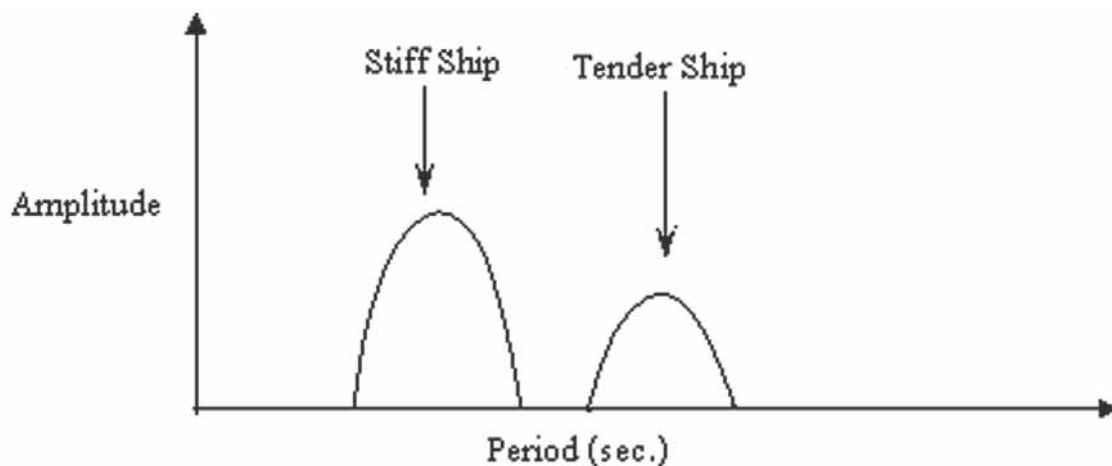
$$\text{Force (Racking Stress)} = \text{Mass} \times \text{Acceleration}$$

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 ไตเหมาะในการปฏิบัติงานบนเรือ 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 และทันทีที่คลื่นกระทำต่อต้านข้างเรือหรือท้องเรือ จะมีการลอยลำคล้ายจุกขวดที่เบาตรงข้ามกับเรือที่มีค่า GM น้อย เรือจะมีการคืนตัวช้า คลื่นลูกต่อไปอาจซัดขึ้นดาดฟ้าเปิด ทำอันตรายต่อคน อุปกรณ์ และโครงสร้างเรือ ค่า GM ของเรือที่เหมาะสมคือค่าที่ทำให้การโคลงของเรือมีคาบเวลาและขนาดที่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด การเกิดความเค้นโย้

ในความเป็นจริงตรวจพบว่าคาบเวลาการเคลื่อนตัวของคลื่นในมหาสมุทรทั่วไป มีค่าใกล้กับคาบเวลาการโคลงของเรือ 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