



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2561
ISSN 2586-971X

Royal Thai Naval Academy Journal of Science and Technology
Vol.1 Issue 1, August 2018

บทความวิจัย

1. การศึกษาระดับผิวหน้าทะเลบริเวณอ่าวไทยและทะเลจีนใต้ด้วยข้อมูลดาวเทียมระบบอัลติมิตรี
Sea Surface Height Study in the Gulf of Thailand and South China Sea using Satellite Altimetry Data
นาวาเอกสมมาตร เนียมนิล Marc Naeije และอิทธิ ตรีสิริสัตยวงศ์
2. The Effect of Fouling on an Increase in Skin Frictional Drag on a Ship's Hull and the Reduction Techniques
นาวาโท สุทธิพงษ์ ภาคสุทธผล
3. การศึกษาระบบนีโอดีเมียมแยกเลเซอร์โดยใช้เลเซอร์ไดโอดกระตุ้นจากด้านข้าง
A Nd : YAG Laser System Study by Laser Diode Side Pumped
นาวาโท ผศ. วีระ บุญผุด

บทความวิชาการ

4. On The Job Training การออกแบบระบบไฟฟ้า ณ ู่ต่อเรือ Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering (DSME) สาธารณรัฐเกาหลี
On The Job Training: Electrical system Design at Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering (DSME) Republic of Korea
นาวาเอก ดิเรก ขจรรัตน์
5. แบตเตอรี่เรือดำน้ำและระบบช่วยในการทำงานของแบตเตอรี่เรือดำน้ำ
Submarine's Batteries and Submarine's Battery Support systems.
นาวาเอก ยุทธภูมิ ศรีสุข
6. การขจัดครบน้ำมันในทะเล
Treatment of Oil Spill in the Ocean
นาวาเอกหญิง รศ. ศิริรัตน์ บุญโสภิต
7. การใช้สารเคมีทดสอบประเภทโลหะเบื้องต้น
Acid Spot Test
น.ท.หญิง สายฝน เกียวสัมพันธ์



คณะที่ปรึกษาวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

พลเรือโท ชัชชัย โปธิพรรค

พลเรือตรี วรกรณ์ โอสถานนท์

พลเรือตรี สันติ เปาอินทร์

พลเรือตรี สมพงษ์ ภูเวียง

พลเรือตรี สุภชิต นาวิสุรพล

พลเรือตรี เทิดศักดิ์ แท้เที่ยง

ผู้บัญชาการโรงเรียนนายเรือ

รองผู้บัญชาการโรงเรียนนายเรือ

รองผู้บัญชาการโรงเรียนนายเรือ

เสนาธิการโรงเรียนนายเรือ

หัวหน้าฝ่ายศึกษาโรงเรียนนายเรือ

ศาสตราจารย์ฝ่ายศึกษาโรงเรียนนายเรือ

บรรณาธิการ

นาวาเอก สมมารณ ภูบกระบี่

ผู้อำนวยการกองวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

กองบรรณาธิการ (ภายใน)

นาวาเอก วรานนท์ พึ่งวิชา

นาวาเอกหญิง สุรวรรณ ลิ่มสัมพันธ์

นาวาเอกหญิง รศ.ศิริรัตน์ บุญโสภิต

นาวาเอก ผศ.พินัย จินชัย

นาวาเอก สิทธิรักษ์ พรหมณี

นาวาเอก ผศ. ดนัย ปฎิยอุท

นาวาโท ผศ.วีระ บุญผุด

เรือเอก อานนท์ เตชะศิริพงษ์

ผู้อำนวยการกองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลเรือ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

ผู้อำนวยการกองวิชาฟิสิกส์และเคมี ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

รองศาสตราจารย์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

รองผู้อำนวยการกองวิชาวิศวกรรมอุทกศาสตร์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

รองผู้อำนวยการกองวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

อาจารย์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

กองบรรณาธิการ (ภายนอก)

นาวาเอก สมศักดิ์ แทนทอง

นาวาโท เสวียง เลื่อนบุญ

นาวาเอก สัตยา จันทระประภา

นาวาโท ศิริวัฒน์ ศิริวัฒนกุล

รองศาสตราจารย์ ดร.อดิธิรักษ์ กาญจนฤทธิ์ มหาวิทยาลัยรังสิต

รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงอาทิตย์ ศรีมูล มหาวิทยาลัยรังสิต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ทรัพย์สิงห์ มหาวิทยาลัยรังสิต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รง ภูพวงไพโรจน์ มหาวิทยาลัยรังสิต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ ไชจิศุภกร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดร.ไพบูลย์ ย้อยหยด มหาวิทยาลัยรังสิต

ดร.สมบูรณ์ สุขสารท มหาวิทยาลัยรังสิต

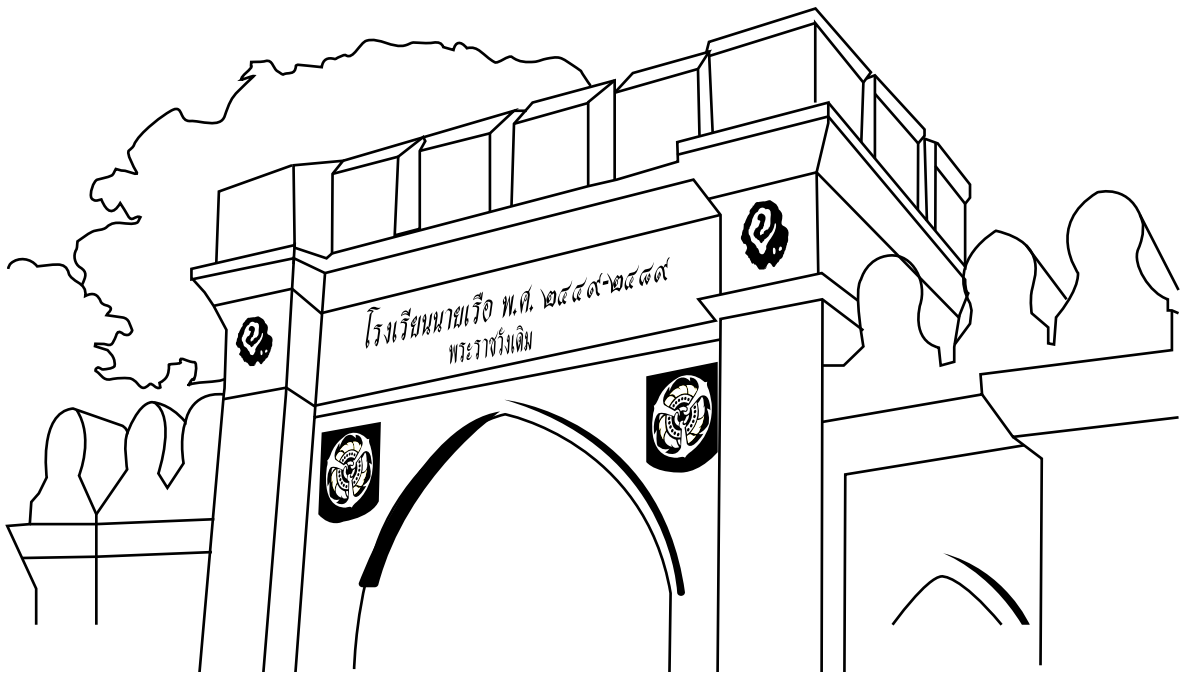
ดร.ไพศาล งามจรรยาภรณ์ มหาวิทยาลัยรังสิต

กรมอุทกหารเรือ กองทัพเรือ

กรมอุทกหารเรือ กองทัพเรือ

กรมยุทธศึกษาทหารเรือ กองทัพเรือ

กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ



วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานบทความวิจัย ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีแก่ผู้สนใจทั่วไป
2. เพื่อเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความรู้ใหม่ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
3. เพื่อเป็นเอกสารรวบรวมรายงานและบทความวิจัยที่น่าสนใจและมีคุณค่าทางวิชาการด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

วาระการเผยแพร่ ปีละ 1 ฉบับ

สถานที่ติดต่อ

กองบรรณาธิการวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
โรงเรียนนายเรือ เลขที่ 204 ถ.สุขุมวิท ต.ปากน้ำ อ.เมือง จ.สมุทรปราการ 10270
โทรศัพท์ : 0-2475-3992 โทรสาร : 0-2475-3994
E-mail: rtna.edu.ee@gmail.com

ออกแบบ-พิมพ์ที่

ห้างหุ้นส่วนจำกัด สำนักพิมพ์ก้อนเมฆ
35/151 ม.1 ถ.ท่าหน้า ซ.บางศรีเมือง 41 ต.บางศรีเมือง อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000
โทร. 0-2886-7971, 08-978-53650 โทรสาร : 0-2446-3722
E-mail: chawin009@hotmail.com

บทความหรือข้อคิดเห็น ในวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นทรัพย์สินส่วนตัวของผู้เขียน โรงเรียนนายเรือและกองบรรณาธิการ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย

สารบัญ

บทความวิจัย

1. การศึกษาระดับผิวหน้าทะเลบริเวณอ่าวไทยและทะเลจีนใต้ด้วยข้อมูลดาวเทียมระบบอัลติมิตรี 5
Sea Surface Height Study in the Gulf of Thailand and South China Sea using Satellite
Altimetry Data
นาวาเอกสมมาตร เนียมนิล Marc Naeije และอิทธิ ตรีสิริสัจตยวงศ์
2. The Effect of Fouling on an Increase in Skin Frictional Drag on a Ship's Hull and the 15
Reduction Techniques
นาวาโท สุทธิพงษ์ ภาคสุทนต์
3. การศึกษาระบบนีโอดีเมียมแยกเลเซอร์โดยใช้เลเซอร์ไดโอดกระตุ้นจากด้านข้าง 23
A Nd : YAG Laser System Study by Laser Diode Side Pumped
นาวาโท ผศ. วีระ บุญผุด

บทความวิชาการ

4. On The Job Training การออกแบบระบบไฟฟ้า ณ ู่ต่อเรือ Daewoo Shipbuilding & Marine 35
Engineering (DSME) สาธารณรัฐเกาหลี
On The Job Training: Electrical system Design at Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering
(DSME) Republic of Korea
นาวาเอก ดิเรก ขจรรัตน์
5. แบตเตอรี่เรือดำน้ำและระบบช่วยในการทำงานของแบตเตอรี่เรือดำน้ำ 47
Submarine's Batteries and Submarine's Battery Support systems.
นาวาเอก ยุทธภูมิ ศรีสุข
6. การขจัดคราบน้ำมันในทะเล 59
Treatment of Oil Spill in the Ocean
นาวาเอกหญิง รศ. ศิริรัตน์ บุญโสภณ
7. การใช้สารเคมีทดสอบประเภทโลหะเบื้องต้น 68
Acid Spot Test
น.ท.หญิง สายฝน เกียวสัมพันธ์

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฉบับนี้เป็นฉบับแรก จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ บทความวิจัย และบทความวิชาการในด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ของนักวิจัย คณาจารย์โรงเรียนนายเรือ ตลอดจนคณาจารย์และนิสิตนักศึกษา ของสถาบันการศึกษาต่างๆ ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งในการยกระดับผลงานทางวิชาการ ของโรงเรียนนายเรือให้มีมาตรฐานเป็นที่ยอมรับในระดับสากล

ในฉบับนี้มีบทความวิจัยที่น่าสนใจจำนวน 3 บทความ ได้แก่ บทความวิจัยของ นาวาเอก สมมาตร เนียลนิล Mr.Marc Naeije และ อธิติ ตรีสิริสัตยวงศ์ ได้เสนอบทความการศึกษาาระดับผิวหน้าทะเลบริเวณอ่าวไทย และทะเลจีนใต้ ด้วยข้อมูลดาวเทียมระบบอัลติเมตตี เป็นการวิเคราะห์ระดับผิวหน้าทะเลที่มีการเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับสภาพดินฟ้าอากาศในแต่ละช่วงเวลา บทความวิจัยต่อมา นาวาโท สุทธิพงษ์ ภาคสุทธิผล ได้เสนอเทคนิคในการลดแรงเสียดทานที่พื้นผิวของเรือซึ่งเกิดจากการเกาะของเพรียง และบทความวิจัยของ นาวาโท ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วีระ บุญผุด ได้เสนอแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบเลเซอร์ นอกจากนี้ในฉบับยังมีบทความวิชาการที่น่าสนใจอีก 4 บทความ ได้แก่ บทความของ นาวาเอก ดิเรก ขจรรัตน์ ได้เสนอการออกแบบระบบไฟฟ้าในเรือรบ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งของการสร้างเรือรบ บทความของ นาวาเอก ยุทธภูมิ ศรีสุข ได้เสนอระบบการทำงานและระบบช่วยในการทำงานของแบตเตอรี่เรือดำน้ำดีเซลไฟฟ้า บทความของ นาวาเอกหญิง รองศาสตราจารย์ ศิริรัตน์ บุญโสภิต ได้เสนอแนวทางการจัดคราบน้ำมันในทะเล และบทความของ นาวาโทหญิง สายฝน เกียวสัมพันธ์ ได้เสนอเทคนิคการใช้สารเคมีทดสอบแยกประเภทของโลหะ

กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่ง วารสารวิชาการฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่านทุกท่าน และหากมีข้อเสนอแนะที่จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวารสารวิชาการฉบับต่อไป กองบรรณาธิการยินดีรับคำแนะนำจากทุกท่าน เพื่อการพัฒนาคุณภาพของวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ

นาวาเอก สมมาตร กุบกระบี่
บรรณาธิการวารสารวิชาการ โรงเรียนนายเรือ
ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



การศึกษาระดับผิวหน้าทะเลบริเวณอ่าวไทยและทะเลจีนใต้ ด้วยข้อมูลดาวเทียมระบบอัลติมิตรี

Sea Surface Height Study in the Gulf of Thailand and South China Sea using Satellite Altimetry Data

นาวาเอกสมมาตร เนียมนิล^{1*} Marc Naeije² และอิทธิ ตรีสิริสัตยวงศ์³

¹กองวิชาวิศวกรรมอุทกศาสตร์ ฝ้ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

²Faculty of Aerospace Engineering, Delft University of Technology, Delft, HS Netherlands

³ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

จากการศึกษาค่าความสูงของผิวหน้าทะเลบริเวณอ่าวไทยและทะเลจีนใต้ด้วยข้อมูลดาวเทียมอัลติมิตรีระหว่างปี พ.ศ.2536 - 2555 พบว่า ค่าความสูงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย (amplitude) มีค่าสูงกว่าในทะเลจีนใต้ค่าเฟส (phase) ของระดับน้ำทะเลพบค่าสูงสุดในอ่าวไทย ประมาณกลางเดือนมกราคม ค่าต่ำสุดประมาณเดือนกรกฎาคม ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของลมมรสุม อัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลเฉลี่ยระยะยาวสำหรับอ่าวไทย มีค่า 3.4 ± 0.7 มิลลิเมตรต่อปี ในทะเลจีนใต้ มีค่าระหว่าง 4-5 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งค่าดังกล่าว นั้น สูงกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลเฉลี่ยของโลกซึ่งมีค่าประมาณ 3.2 มิลลิเมตรต่อปี สำหรับลักษณะการเปลี่ยนแปลง (pattern) ของค่าความสูงระดับน้ำทะเล ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของลมมรสุม โดยในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (พฤศจิกายน - มกราคม) จะพบค่าความสูงระดับน้ำทะเลมีค่าสูงบริเวณชายฝั่งของประเทศจีน เกาะบอร์เนียว และอ่าวไทย โดยมีค่าต่ำบริเวณทะเลลึกในทะเลจีนใต้ ส่วนช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม - สิงหาคม) จะมีลักษณะตรงกันข้ามคือ มีค่าสูงบริเวณทะเลลึกในทะเลจีนใต้ และมีค่าต่ำบริเวณชายฝั่งของประเทศจีน เกาะบอร์เนียว และอ่าวไทย นอกจากนี้ ยังพบเพิ่มเติมอีกว่า ในช่วงที่เกิดปรากฏการณ์ ENSO (El Nino-Southern Oscillation) มีผลกระทบต่อทำให้ค่าความสูงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยและทะเลจีนใต้ มีค่าลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ย เช่น ในปี พ.ศ.2540-2541 เป็นต้น

Abstract

Sea Surface Height or Sea level amplitude, phase and trend in the Gulf of Thailand (GoT) and South China Sea (SCS) have been derived from 1993-2010 multi-satellite altimeter data. First, amplitude plot shows high amplitude in the GoT and a lower one in SCS. Second, the phase plot gives the degrees starting with 1 January. As number of degrees is almost the same as number of days for a year (360/365), this basically says where the amplitude as given in the amplitude plot will have its maximum, so for the entire the GoT which can be said this is around middle of January (the high peak), so half a year later low peak will be seen. Last, sea level trend plot shows average sea level rise rate is 3.4 ± 0.7 millimeter per year in the GoT and higher rate is also found in SCS which is higher than global average sea level rise rate (3.2 millimeter per year). Sea Level Anomaly shows two modes: (1) Low water level remains along the axis with heights on both sides (coasts of Asian continent, Borneo and GOT) when northeast monsoon prevails (November to January) (2) High water level remains along the axis with lows on both sides when southwest monsoon prevails (May to August). We also found that during 1997-1998 ENSO (El Nino-Southern Oscillation) event, sea surface height in the GoT and SCS is much lower than normal situation.

1. บทนำ

การตรวจวัดค่าระดับน้ำจากดาวเทียม (Satellite Altimetry) เป็นเทคนิคในการตรวจวัดค่าความสูงของผิวน้ำทะเล (sea surface heights) เช่น ระดับน้ำ คลื่น โดยการวัดเวลาที่คลื่นเรดาร์เดินทางออกจากเสาสัญญาณ (antenna) ไปยังผิวน้ำทะเล แล้วสะท้อนกลับมายังตัวรับ (receiver) ที่อยู่บนดาวเทียม ประกอบกับการทราบตำแหน่งที่แน่นอนของดาวเทียม ทำให้สามารถหาค่าความสูงของผิวน้ำทะเลที่ต้องการศึกษาได้ ดาวเทียมที่ใช้งานดังกล่าว ประกอบด้วย ดาวเทียม TOPEX/POSEIDON เป็นโครงการความร่วมมือระหว่าง National Aeronautics and Space

Administration (NASA) ของสหรัฐอเมริกา และ Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) ของฝรั่งเศส โดยมี Jet Propulsion Laboratory ซึ่งเป็นหน่วยงานของนาซ่า ในเมืองพาซาดีนา รัฐแคลิฟอร์เนีย เป็นผู้รับผิดชอบในส่วนของสหรัฐอเมริกา ดาวเทียมมี Sensors ต่าง ๆ ประกอบด้วย เครื่องวัดความสูง เครื่องตรวจจับคลื่นไมโครเวฟ เครื่องบอกตำแหน่งโลก (GPS) เครื่องวัดการสะท้อนของแสงเลเซอร์จากด้านหลัง และ เสาอากาศสำหรับติดตามข่าวสาร ข้อมูล โดยดาวเทียมโคจรที่ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล 1336 กิโลเมตร เพื่อใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับมหาสมุทร วัดระดับความสูงของน้ำทะเล



ความสูงคลื่น แลพกระแสน้ำในมหาสมุทร ปรับปรุงด้านการพยากรณ์อากาศ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการพยากรณ์อากาศตามฤดูกาลทั่วโลก รวมทั้งใช้ในการศึกษาปรากฏการณ์เอลนีโญ (El Nino) และกระบวนการ Oscillation ของมหาสมุทรแปซิฟิก

ดาวเทียม ERS (European Remote Sensing Satellite) พัฒนาโดยองค์การอวกาศแห่งยุโรป (European Space Agency, ESA) ERS-1 ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 17 กรกฎาคม พ.ศ. 2534 มีเครื่องรับรู้ 2 ระบบ คือ ระบบแพสซีฟ และระบบแอกทีฟ ซึ่งสามารถถ่ายภาพในทุกสภาพอากาศ ทะลุเมฆและหมอก นอกจากนั้นยังสามารถบันทึกข้อมูลในเวลากลางคืน บันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นแบนด์ C หรือที่มีความถี่ 5.3 GHz ความละเอียดภาพ 30 เมตร คาบการโคจร 100 นาที และโคจรกลับมายังบริเวณเดิมทุก ๆ ๓๕ วัน มีระบบ Synthetic Aperture Radar (SAR) radar altimeter และอุปกรณ์ในการตรวจวัดอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ลม คลื่น และความสูงของระดับน้ำทะเล ปัจจุบันดาวเทียมชุดนี้ปฏิบัติการอยู่ 2 ดวง คือ ERS-1 และ ERS-2

ดาวเทียม ENVISAT (Environmental Satellite) เป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติของยุโรป มีความสามารถในการบันทึกข้อมูลทางด้านสภาพทางทะเล และชีววิทยาทางทะเล ดาวเทียมเอนวิแซทส่งขึ้นสู่วงโคจร โดยจรวด Ariane 5G (Ariane 511, V145) ขึ้นสู่วงโคจรสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (Sun Synchronous) 766 km x 784 km x 98.5° จาก Kourou (Guyane) เมื่อวันที่ 1 มีนาคม 2002 เวลา 1:07 UTC ดาวเทียมมีน้ำหนัก 8.1 ตัน (รวมน้ำหนักเชื้อเพลิง 319 กิโลกรัม) สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 6.5 kW วงโคจรที่ระดับความสูง 790 กิโลเมตร คาบการโคจร 101 นาที โคจรกลับมาที่เดิมทุก 35 วัน

ดาวเทียมเอนวิแซท ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดต่าง ๆ เช่น Radar Altimeter, Doris system, Microwave Radiometer สามารถบันทึกสถานะข้อมูลทางทะเล คลอโรฟิลล์ ตะกอน แขนวนลอย เคมีในบรรยากาศ และสภาพแวดล้อมทางทวีป เป็นต้น

ดาวเทียม JASON-1 เป็นโครงการความร่วมมือระหว่าง NASA และ CNES ต่อจากดาวเทียม TOPEX/POSEIDON ดาวเทียมเจสัน 1 ซึ่งมีขนาด 102 ปอนด์นี้ จะทำงานประสานกับดาวเทียมที่ออปเท็กซ์/ไพไซดอน ซึ่งเริ่มปฏิบัติการมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2535 ในการตรวจสอบสภาพภูมิอากาศของโลก อันเป็นผลมาจากการทำปฏิกริยากัน ระหว่างมหาสมุทรและชั้นบรรยากาศโลก ที่ผ่านมามีออปเท็กซ์ ได้ส่งภาพถ่ายมหาสมุทรจำนวนมาก ซึ่งรวมถึง ภาพที่แสดงพัฒนาการของปรากฏการณ์เรือนกระจกและเอลนีโญ ในมหาสมุทรแปซิฟิก ที่ทำให้สภาพอากาศผิดปกติ ในช่วงฤดูหนาวของปี พ.ศ.2540-2541 ด้วย เจสัน 1 และที่ออปเท็กซ์/ไพไซดอน จะวัดค่าระดับความสูงของน้ำทะเล ที่ให้ความละเอียดถึงระดับเซนติเมตร จากนั้นนักวิทยาศาสตร์ จะใช้ข้อมูลระดับ ความสูง และความแรงลม ในมหาสมุทรอธิบายปรากฏการณ์ ที่ทำให้สภาพภูมิอากาศของโลกเปลี่ยนแปลงไป สำหรับอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่บนดาวเทียมเจสัน 1 ประกอบด้วย เครื่องวัดระดับความสูงไพไซดอน 2 (POSEIDON 2) อุปกรณ์วัดสัญญาณคลื่นไมโครเวฟ สำหรับวัดไอน้ำในชั้นบรรยากาศ และอุปกรณ์ระบุตำแหน่งที่แม่นยำ (GPS)

ดาวเทียม JASON-2 จะดำเนินการตรวจวัดทางด้านสมุทรศาสตร์ต่อจาก TOPEX/POSEIDON และ JASON-1 โดยจะศึกษาติดตามการไหลเวียนของน้ำในมหาสมุทร ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมหาสมุทรและบรรยากาศ เพิ่มประสิทธิภาพในการพยากรณ์

อากาศและการติดตามปรากฏการณ์ต่าง ๆ เช่น เอลนีโญ สำหรับอุปกรณ์ที่ติดตั้งใน JASON-2 ประกอบด้วย CNES Poseidon-3 altimeter, NASA Advanced Microwave Radiometer (AMR), three-frequency CNES DORIS receiver NASA GPS receiver NASA reflector array และ Time Transfer by Laser Link (T2L2) payload

เนื่องจากการวิเคราะห์หาอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลที่แท้จริง ของสถานีวัดระดับน้ำ มีค่าแตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของอัตราท้องถิ่น ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลที่คำนวณจากงานศึกษาส่วนใหญ่เป็นอัตราสัมพัทธ์ (Relative Rate) ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลที่แท้จริงกับอัตราการเคลื่อนตัวทางดิ่งของแผ่นดิน (Vertical Motion) บริเวณนั้นอันเกิดจากสาเหตุสำคัญ 3 ประการได้แก่

1. การดีดตัวกลับของเปลือกโลกหลังยุคน้ำแข็ง (Post Glacial Rebound, PGR) อันเนื่องมาจากน้ำหนักของน้ำแข็งที่กดทับเปลือกโลกหายไปภายหลังสิ้นยุคน้ำแข็ง ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นทุกหนทุกแห่งทั่วโลก และค่าการดีดตัวกลับแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ สำหรับประเทศไทยบริเวณเกาะหลักมีค่าการดีดตัวกลับประมาณ 0.55 มิลลิเมตรต่อปี (Peltier, 2004)

2. การเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก (Crustal Motion) อันเนื่องมาจากแรงทางด้านฮัยออสเฟียร์ ซึ่งรวมถึงการบิดเบี้ยวของแผ่นเปลือกโลก (Crustal Deformation) ทั้งทางราบและทางดิ่ง

3. การทรุดตัว/ยกตัวอันเนื่องมาจากสาเหตุอื่น เช่น การทรุดตัวของแผ่นดินจากการสูบน้ำบาดาลไปใช้ หรือการบิดเบี้ยวของผิวโลกเนื่องจากน้ำหนักของ

ตะกอนที่ทับถมมากขึ้นเรื่อย ๆ ในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง การหาอัตราการเคลื่อนตัวทางดิ่งของแผ่นดินจากแต่ละปัจจัยเพื่อนำมาตรวจแก้ค่าระดับน้ำอ้างอิงใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ ที่มีอยู่ เช่น แบบจำลอง ICE5G โดย Peltier (2004) ที่คำนวณหา PGR ของแผ่นดิน อย่างไรก็ตาม ทุกแบบจำลองล้วนแต่ไม่สมบูรณ์และมีความคลาดเคลื่อนแฝงอยู่ทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับความน่าเชื่อถือของค่าตรวจแก้ที่ได้จากแบบจำลอง ทางเลือกหนึ่งเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวนี้คือ การวิเคราะห์หาอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลที่แท้จริง โดยใช้ข้อมูลระดับน้ำทะเลจากดาวเทียมระบบอัลติเมตริ์ เนื่องจากการตรวจวัดข้อมูลระดับน้ำทะเลดังกล่าวนี้อ้างอิงอยู่บน Reference Ellipsoid ดังนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลที่คำนวณจากข้อมูลดาวเทียมระบบอัลติเมตริ์ จึงเป็นค่าที่แท้จริง (Absolute Rate) ไม่ต้องทำการปรับแก้อัตราการเคลื่อนตัวทางดิ่งของแผ่นดินอีก

สำหรับการศึกษาพลวัตและการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในบริเวณอ่าวไทยและทะเลจีนใต้ ประกอบด้วย

Punpuk (1981) ได้วิเคราะห์ข้อมูลระดับน้ำจากสถานีวัดระดับน้ำเกาะหลัก และสัตหีบ ช่วงปี ค.ศ. 1960-1966 พบว่า การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำรายปีมีค่า 0.5 เมตร เป็นผลเนื่องมาจาก Ekman Transport ซึ่งเกิดจากระบบลมมรสุม

Neelasri (1995) วิเคราะห์ข้อมูลระดับน้ำรายชั่วโมงจากสถานีวัดระดับน้ำเกาะหลัก และสัตหีบ ช่วงปี ค.ศ. 1963-1987 พบว่า ค่าระดับน้ำเฉลี่ยรายเดือนในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ระหว่างเดือนพฤศจิกายน ถึงธันวาคม จะสูงกว่าในช่วงฤดูมรสุม



ตะวันตกเฉียงใต้ ระหว่างเดือน มิถุนายน – กรกฎาคม ประมาณ 0.4 เมตร และการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลตามช่วงฤดูกาลดังกล่าวนี้มีลักษณะเหมือนกับผลการคำนวณระดับน้ำโดยใช้ค่าตัวแปรจำสำคัญที่มีคาบเวลาครึ่งปี (Sa) และหนึ่งปี (SSa) Wang (1999) ได้วิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียมระบบอัลติมิตรี ช่วงปี ค.ศ. 1992 -1997 เพื่อหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลเฉลี่ยระยะยาว พบว่า บริเวณทะเลเหลือง ทะเลตะวันออก และทะเลจีนใต้ มีค่า $+3.44 + 0.61, +3.12 + 0.47$ และ $-1.41 + 0.48$ มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ และปรากฏการณ์ ENSO ในปี 1993, 1994 และ 1997-1998 มีผลกระทบต่อค่าความสูงระดับน้ำทะเลทั้ง 3 บริเวณดังกล่าว

Fang (2006) ได้วิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียมระบบอัลติมิตรี ช่วงปี ค.ศ. 1995-2001 ด้วยวิธี Empirical Orthogonal Function (EOF) analysis พบว่า การเคลื่อนตัวของมวลน้ำในทะเลจีนใต้ อยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

Cheng (2007) ได้วิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียมระบบอัลติมิตรี ช่วงปี ค.ศ. 1993 -2005 พบว่า ช่วงปี ค.ศ. 1993 -2000 มีการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล เท่ากับ $+ 11.3$ มิลลิเมตรต่อปี แต่มีอัตรา ๆ ที่ลดลงในช่วงปี ค.ศ. 2001 - 2005 เท่ากับ $- 11.8$ มิลลิเมตรต่อปี และได้ตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงระดับน้ำทะเลอย่างชัดเจนบริเวณที่ลึกของทะเลจีนใต้

Sojisuporn et al (2010) ได้วิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียมระบบอัลติมิตรี (TOPEX/Poseidon และ ERS-2) ช่วงปี ค.ศ. 1995 - 2001 พบว่า มีการเคลื่อนตัวของมวลน้ำจากทะเลจีนใต้เข้ามายังอ่าวไทย มีการ

หมุนวน (eddy) แบบตามเข็มนาฬิกา บริเวณอ่าวไทยตอนใน และอ่าวไทยฝั่งตะวันตก ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดน้ำผุด (upwelling)

Trisirisatayawong et al (2011) ได้วิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียมระบบอัลติมิตรี ช่วงปี ค.ศ. 1993 - 2010 เพื่อหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลเฉลี่ยระยะยาวบริเวณอ่าวไทย พบว่า บริเวณเกาะมัตโพน เกาะหลัก สัตหีบ และเกาะสีชัง มีค่า $+3.2+0.7, +3.6+0.7, +4.8+0.7$ และ $+5.8+0.8$ มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังพบว่า มีการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงระดับน้ำทะเลในลักษณะคาบเวลาหนึ่งปี (annual cycle) และครึ่งปี (semi-annual cycle) สำหรับการเปลี่ยนแปลงรายหกเดือน อาจเกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ ENSO การเปลี่ยนแปลงระยะยาวของดวงอาทิตย์ (solar activity) และวัฏจักรระยะยาว (18.7 ปี) ของระดับน้ำ (lunar nutation)

AVISO (2014) ได้วิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียมระบบอัลติมิตรี ช่วงปี ค.ศ. 1993 - 2013 พบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลเฉลี่ยระยะยาวของโลก (Global Mean Sea Level Rise Rate) มีค่าเท่ากับ $+3.19 + 0.4$ มิลลิเมตรต่อปี

2. วัตถุประสงค์

เพื่อทราบถึงพลวัตของค่าความสูงของผิวน้ำทะเลและอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลเฉลี่ยระยะยาวในบริเวณอ่าวไทยและทะเลจีนใต้

3. วิธีการ

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลดาวเทียมจากฐานข้อมูล Radar Altimeter Database System



(RADS) ที่พัฒนาโดย Delft University of Technology, Netherlands โดยฐานข้อมูลดังกล่าวได้รวบรวมข้อมูลการตรวจวัดค่าระดับน้ำทะเลจากดาวเทียมทุกดวง ตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1993 จนถึง ปัจจุบัน (Naeije et al.2006, 2007, 2008 and Scharroo, 2008) สำหรับข้อมูลที่น่าสนใจในการศึกษา อยู่ในช่วงปี ค.ศ. 1993-2012 จากดาวเทียม จำนวน 5 ดวง ประกอบด้วย ERS-2 Envisat TOPEX/Poseidon Jason-1 และ Jason-2 รายละเอียดข้อมูลตามตารางที่ 1

ของข้อมูลดาวเทียมชั้น TOPEX (TOPEX/Poseidon Jason-1 และ Jason-2) มากกว่าของดาวเทียมชั้น ERS (ERS-2 และ Envisat) เราได้ดำเนินการปรับแก้ค่าที่เรียกว่า dual- crossover minimization analysis โดยการกำหนดให้วงโคจรของดาวเทียมชั้น TOPEX นั้นคงที่ และวงโคจรของดาวเทียมชั้น ERS มีการปรับแก้ไปพร้อม ๆ กัน

3. การแปลงข้อมูลที่ได้ตรวจสอบความถูกต้องแล้วให้อยู่ในระบบกริด โดยนำข้อมูลดาวเทียมชั้น TOPEX และข้อมูลดาวเทียมชั้น ERS มารวมกันและคำนวณ

ตารางที่ 1. ข้อมูลระดับน้ำทะเลจากดาวเทียมในอ่าวไทยและทะเลจีนใต้ (Satellite Altimetry data in Gulf of Thailand and South China Sea)

Satellite	ช่วงเวลา	ระยะเวลาการเก็บข้อมูล(ปี)
TOPEX/POSEIDON	1993 – 2002	10
ERS-2	1993 – 2008	16
ENVISAT	2002 – 2010	9
JASON-1	2002 – 2012	11
JASON-2	2008 – 2012	5

ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล ประกอบด้วย

1. การเลือกข้อมูล หลังจากติดตั้งฐานข้อมูล RADS เสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงทำการเลือกข้อมูลระดับน้ำทะเลเฉพาะบริเวณอ่าวไทยและทะเลจีนใต้ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1993-2012 เพื่อใช้ในการศึกษาครั้งนี้
2. การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล เนื่องจากความถูกต้องของวงโคจร (orbit's radial accuracy)

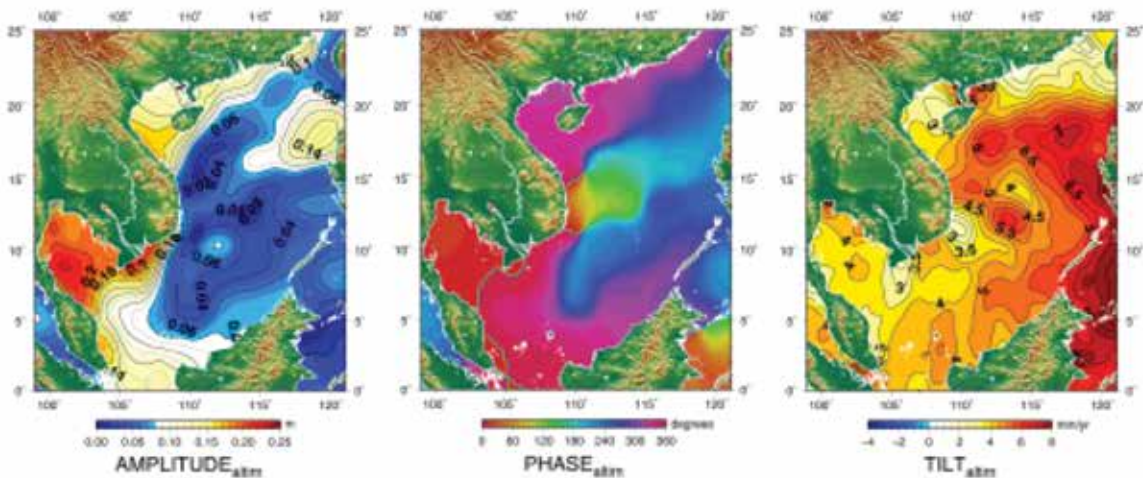
ค่าระดับน้ำทะเลในแต่ละกริด แล้วคำนวณค่าให้เป็นค่าระดับน้ำเฉลี่ยรายวัน (daily sea level anomaly grids) จากนั้นก็รวบรวมเป็นค่าระดับน้ำเฉลี่ยรายเดือน เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าระดับน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ได้จากสถานีวัดระดับน้ำ ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวนี้ ช่วยปรับปรุงค่า Root Mean Square Error (RMSE) ของความแตกต่างระหว่างค่าระดับน้ำเฉลี่ยที่ได้จากข้อมูลดาวเทียมและจากสถานีวัด

ระดับน้ำให้ดีขึ้น จากค่าระดับน้ำเฉลี่ยรายเดือน เราสามารถนำมาคำนวณหาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ (sea level trend) จากข้อมูลดาวเทียม ด้วยวิธี Iterative Reweighted Least Squares (IRLS) regression analysis ซึ่งวิธีการนี้ ได้นำไปคำนวณหาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำจากสถานีวัดระดับน้ำด้วยเช่นกัน

4. การนำเสนอข้อมูล โดยส่งข้อมูลระดับน้ำทะเลในระบบ กริดไปยังโปรแกรม MATLAB และ Generic Mapping Tools (GMT) เพื่อวิเคราะห์ทางสถิติ รวมถึงการนำเสนอข้อมูลในรูปแบบกราฟและคอนทัวร์

4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

มกราคม โดยพบการเปลี่ยนแปลงในลักษณะคาบเวลาครึ่งปีและคาบเวลาหนึ่งปี ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยในฤดูลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ มวลน้ำในอ่าวไทยจะถูกพัดพาไปเออทางด้านฝั่งตะวันออก และเกิดเป็นกระแสน้ำ Geostrophic Current ไหลออกไปทางกลางอ่าวไทย เป็นสาเหตุให้ระดับน้ำทะเลบริเวณฝั่งตะวันตกของอ่าวไทยตอนบนในช่วงเดือนมิถุนายน ถึง กรกฎาคม มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าระดับน้ำทะเลในเดือนอื่น ๆ ส่วนในฤดูลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ สภาพการณ์จะเปลี่ยนไปในลักษณะตรงกันข้าม คือ มวลน้ำจะถูกพัดพาไปเออทางด้านฝั่งตะวันตก และเกิดเป็นกระแสน้ำไหลเข้าไปยังอ่าวไทย



รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงค่าความสูงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยและทะเลจีนใต้

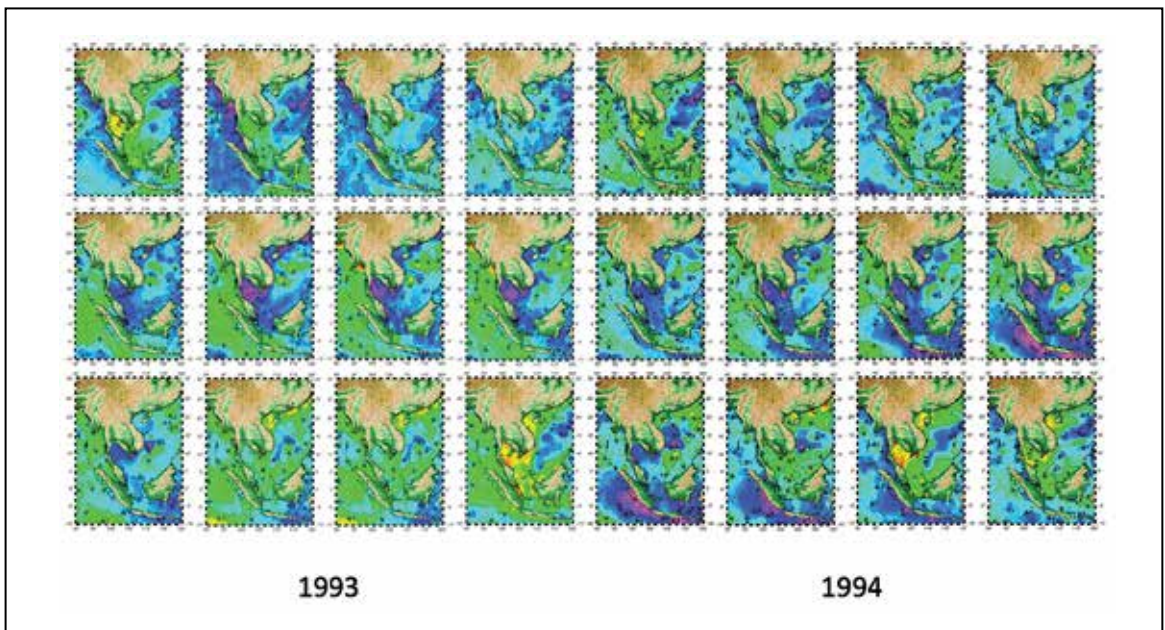
จากรูปที่ 1 พบว่า พบว่าค่าความสูงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย (amplitude) มีค่าระหว่าง 0.15-0.20 เมตร ส่วนในทะเลจีนใต้มีค่าต่ำกว่า โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.05-0.15 เมตร ค่าเฟส (phase) ของระดับน้ำทะเล พบค่าต่ำสุดในอ่าวไทย ประมาณเดือนกรกฎาคม ส่วนค่าสูงสุด จะพบประมาณกลางเดือน

ตอนบน ทำให้ระดับน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบนมีค่าเฉลี่ยสูงสุดในเดือนพฤศจิกายน ถึง มกราคม ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้ สอดคล้องกับการวิเคราะห์ข้อมูลระดับน้ำทะเลจากสถานีวัดระดับน้ำ โดยวิธี Low Pass Filter ของ Punpuk (1981) และ Neelasri (1995)

อัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลเฉลี่ยระยะยาวจากข้อมูลดาวเทียม (ดูจาก tilt plot) พบว่า สำหรับอ่าวไทย อัตราการเปลี่ยนแปลงมีค่า $3.4 + 0.7$ มิลลิเมตรต่อปี ในทะเลจีนใต้ มีค่าระหว่าง 4-5 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งค่าดังกล่าวนี้ สูงกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลเฉลี่ยของโลก ซึ่งมีค่าประมาณ 3.2 มิลลิเมตรต่อปี ทั้งนี้ค่าดังกล่าวนี้ มีค่าใกล้เคียงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลเฉลี่ยระยะยาวจากการศึกษาของ Trisirisatayawong et al. 2011 และการศึกษาของ AVISO, 2014 (ช่วงข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์อยู่ระหว่าง 19 – 20 ปี) โดยมีค่าสูงกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลเฉลี่ยจากการศึกษาของ Wang, 1999 และ Fang, 2006 แต่มีค่าน้อยกว่าจากการศึกษาของ Cheng, 2007 ซึ่งมีช่วงข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์น้อยกว่าการศึกษาครั้งนี้ (13 – 14 ปี)

สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยและทะเลจีนใต้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง ประกอบด้วย ช่วงปกติ (รูปที่ 2) ช่วงเกิดปรากฏการณ์ El Nino (รูปที่ 3) และช่วงเกิดปรากฏการณ์ La Nina (รูปที่ 4)

ในช่วงปีปกติ (รูปที่ 2) พบว่า ค่าความสูงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย จะมีค่าต่ำสุดในช่วงเดือนมิถุนายนและกรกฎาคม 1993 ส่วนค่าสูงสุดจะพบในช่วงเดือนมกราคมและธันวาคม 1993 กับเดือนมกราคม 1994 ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (พฤศจิกายน – มกราคม) จะพบค่าความสูงระดับน้ำทะเล มีค่าสูงบริเวณชายฝั่งของประเทศจีน เกาะบอร์เนียว และอ่าวไทย โดยมีค่าต่ำกว่าบริเวณทะเลลึกในทะเลจีนใต้ สำหรับช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม – สิงหาคม) จะมีลักษณะตรงกันข้ามคือ มีค่าสูงบริเวณ

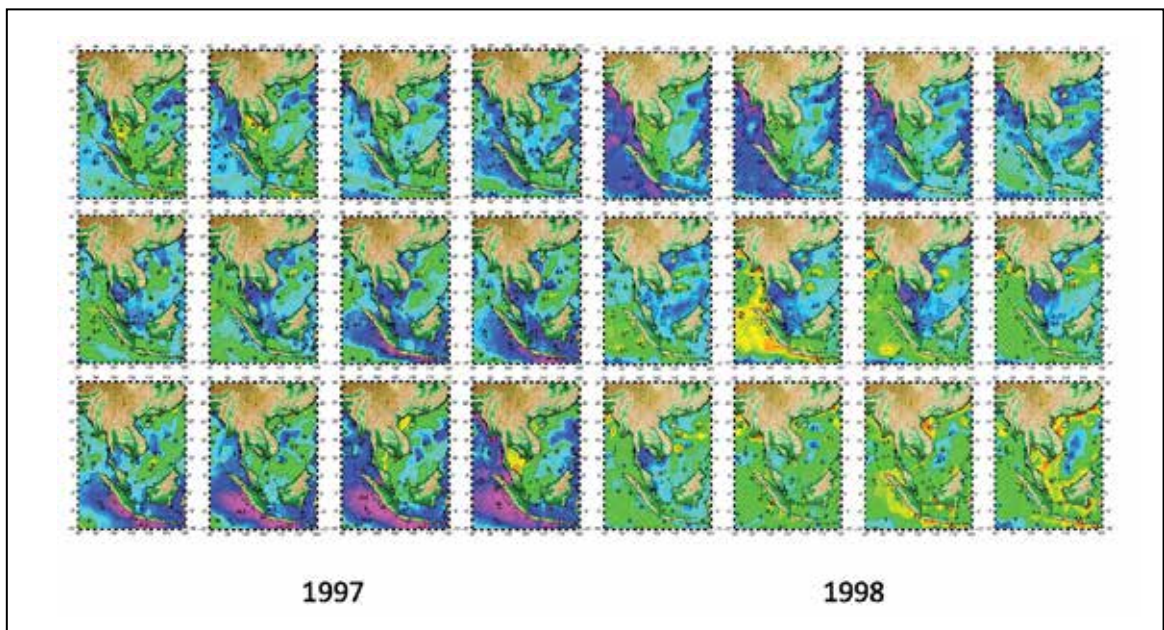


รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงค่าความสูงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยและทะเลจีนใต้ ช่วงปกติ (Normal Phase) ค.ศ.1993-1994

ทะเลลึกในทะเลจีนใต้ และมีค่าต่ำบริเวณชายฝั่งของ ประเทศจีน เกาะบอร์เนียว และอ่าวไทย ซึ่งลักษณะ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้ สอดคล้องกับการศึกษา จากข้อมูลสถานีวัดระดับน้ำของ Punpuk (1981), Neelasri (1995) และการศึกษาจากข้อมูลดาวเทียม ระบบอัลติมิตรี ของ Sojisuporn et al. (2010) และ Trisirisatayawong et al. (2011)

และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เช่นเดียวกับในช่วงปี ปกติ

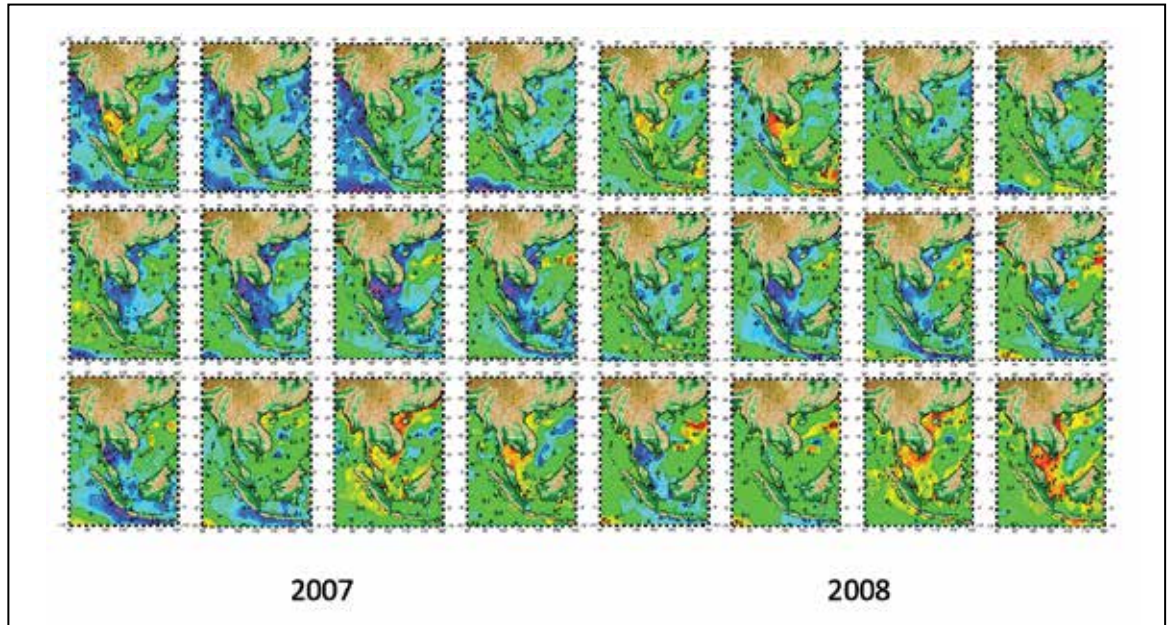
สำหรับช่วงปีที่เกิดปรากฏการณ์ La Nina (รูปที่ 4) ค่าความสูงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยและ ทะเลจีนใต้ จะมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ย โดยในเดือน กรกฎาคม 2007 จะเห็นค่าความสูงระดับน้ำทะเลใน ทะเลจีนใต้ เริ่มมีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องไปจนถึงเดือน



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่าความสูงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยและทะเลจีนใต้ ช่วงเกิดปรากฏการณ์ El Nino ค.ศ.1997-1998

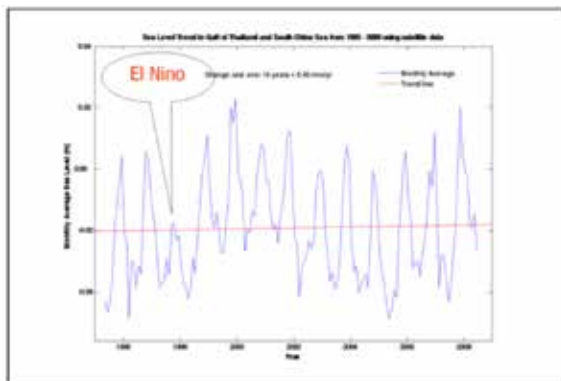
สำหรับช่วงปีที่เกิดปรากฏการณ์ El Nino (รูป ที่ 3) พบว่า ค่าความสูงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย และทะเลจีนใต้ ส่วนใหญ่ จะมีค่าต่ำกว่าค่าความสูง ระดับน้ำทะเลเฉลี่ย เกือบตลอดทั้งปี ยกเว้นในช่วง ฤดูมรสุมตะวันออก เฉียงเหนือ ได้แก่ ช่วงเดือน มกราคมและกุมภาพันธ์ 1997 กับช่วงเดือนพฤศจิกายน และธันวาคม 1998 ทั้งนี้ลักษณะการเปลี่ยนแปลง ของค่าความสูงระดับน้ำทะเลในแต่ละเดือน ยังขึ้น อยู่กับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียง

ธันวาคม 2008 มีเฉพาะเดือนมิถุนายน กรกฎาคม สิงหาคม 2007 และมิถุนายน 2008 เท่านั้น ที่พบ ค่าความสูงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยต่ำกว่าค่า ความสูงระดับน้ำทะเลเฉลี่ย นอกจากนี้ ลักษณะ การเปลี่ยนแปลงของค่าความสูงระดับน้ำทะเล รายเดือน ยังขึ้นอยู่กับอิทธิพลของลมมรสุมตะวัน ออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เช่น เดียวกับช่วงปีปกติ และช่วงปีที่เกิดปรากฏการณ์ El Nino



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงค่าความสูงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยและทะเลจีนใต้ ช่วงเกิดปรากฏการณ์ La Nina ค.ศ.2007-2008

นอกจากนี้ จากรูปที่ 5 เรายังพบเพิ่มเติมอีกว่า ในช่วงที่เกิดปรากฏการณ์ ENSO (El Nino-Southern Oscillation) มีผลกระทบทำให้ค่าความสูงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยและทะเลจีนใต้ มีค่าลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ย เช่น ในปี ค.ศ.1997-1998 เป็นต้น



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงค่าความสูงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยและทะเลจีนใต้ ตั้งแต่ปี ค.ศ.1995 - 2009

5. สรุป

ค่าความสูงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย (amplitude) มีค่าสูงกว่าในทะเลจีนใต้ ส่วนอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลเฉลี่ยระยะยาวสำหรับอ่าวไทยมีค่าต่ำกว่าในทะเลจีนใต้ แต่ค่าดังกล่าวนี้ สูงกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลเฉลี่ยของโลก ค่าความสูงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยและทะเลจีนใต้ มีความสัมพันธ์กับการเกิดปรากฏการณ์ ENSO (El Nino-Southern Oscillation) ซึ่งต้องศึกษาในรายละเอียดต่อไป



เอกสารอ้างอิง .

- [1] AVISO. (2014) Mean Sea Level Rise. Retrieved January 2,2014 from [http:// www.aviso.oceanobs.com/en/news/ocean-indicators/mean-sea-level/](http://www.aviso.oceanobs.com/en/news/ocean-indicators/mean-sea-level/)
- [2] Cheng, X. and Qi, Y. (2007) Trends of sea level variations in the South China Sea from merged altimetry data. *Global and Planetary Change*, 57, 371-382.
- [3] Fang, G., H. Chen, Z. Wei, Y. Wang, X. Wang, and C. Li. (2006) Trends and interannual variability of the South China Sea surface winds, surface height, and surface temperature in the recent decade, *J. Geophys. Res.*, 111, C11S16, doi:10.1029/2005JC003276.
- [4] Naeije, M., Schrama, E., Doornbos, E., and Scharroo, R. (2006). The Role of RADS in Building the 15-year Altimeter Record, Proc. Symp. “15 years of Progress in Radar Altimetry”, 13-18 March 2006, Venice, Italy, ISBN 92-9092-925-1.
- [5] Naeije, M., Scharroo, R. and Doornbos, E. (2007). Next generation altimeter service: challenges and achievements, in Envisat Symposium, Montreux, Switzerland, ESA SP-636, edited by H. Lacoste, ESA/ESTEC.
- [6] Naeije, M., Scharroo, R. Doornbos, E. and Schrama, E. (2008). Global Altimetry Sea-level Service: GLASS, Final Report. NIVR/DEOS publ., NUSP-2 report GO 52320 DEO, 107pp.
- [7] Neelasri, K. (1995) An investigation of mean sea level change in the upper gulf of Thailand. page 25. Report to National Research Council of Thailand.
- [8] Peltier, W.R. (2004) Global Glacial Isostasy and the Surface of the Ice-Age Earth: The ICE-5G (VM2) model and GRACE. *Ann. Rev. Earth. Planet. Sci.* 32,111-149.
- [9] Punpuk, V. (1981) Sea level variations in Gulf of Thailand. Master’s thesis, NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL, Monterey, California, USA.
- [10] Scharroo, R. (2008) RADS version 3.0 User manual and Format Specification. Delft University of Technology. 47 pp.
- [11] Sojisuporn, P., Morimoto, A. and Yanagi, T. (2010) Seasonal variation of sea surface current in the Gulf of Thailand. *Coastal Marine Science*, 34(1), 91-102
- [12] Trisirisatayawong, I., Naeije, M., Simons, W., and Fenoglio-Marc, L. (2011). Sea level change in the Gulf of Thailand from GPS-corrected tide gauge data and multi-satellite altimetry. *Global and Planetary Change*, 76,137–151.
- [13] Wang H.Y, L.T. Liu, H.T. Hsu, G.Y. Wang, (1999) The sea level anomalies in China and vicinity from satellite altimeter data, *The Proceedings of the 20th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS99)*, Hong Kong, 1999.1:319-324.



The Effect of Fouling on an Increase in Skin Frictional Drag on a Ship's Hull and the Reduction Techniques

SUTTIPONG PAKSUTTIPOLO

Marine Engineering Department, Academic Branch, Royal Thai Naval Academy
204 Sukhumvit Road, Paknum, Muang Samut Prakan, Samut Prakan, 10270, Thailand

Abstract

A ship's hull is typically covered by fouling even though it is protected by anti-fouling systems and this results in an increase in skin frictional drag, higher fuel consumption and eventually an extra operational cost. In this paper, the approaches to cope with ship's hull fouling in the past such as anti-fouling ship-building materials and anti-fouling paints are provided with their limitations. Furthermore, the effects of fouling on an increase in skin frictional drag are presented in both terms of ship performance and an operating cost. It is found that, in the study of the Arleigh Burke-class destroyer, even the presence of small calcareous fouling or weed could generate an increase of 31% in shaft power and the operation cost of dealing with a fouling issue could be as high as US\$ 2.4 million per ship per year. Three noticeable techniques of skin frictional drag reduction, namely air layer, outer-layer vertical blades and polymer additives, are introduced with the basic concepts. It is observed that the fully-continuous air layer could reduce more than 80% in the local frictional drag.



1. Introduction

Marine Structures, even those with the protection of anti-fouling (AF) systems, are regularly colonized by fouling organisms leading to an increase in skin frictional drag. This increase causes the performance loss of marine vessels, decreased speed at maintaining effective power or added power at keeping desired speed. Consequently, an economic penalty due to higher fuel consumption for typical marine vehicles, scheduling problems due to delays for cargo ships and strategy issues due to undesirable speed for naval vessels are arisen.

In order to solve the increase of skin frictional drag caused by fouling, the use of different materials for ship hulls instead of steel or iron was introduced. Between 1862 and 1904, to prevent corrosion and fouling, steel or iron was replaced by wood as a ship building materials [1]. Copoer coating was then applied to wooden hulls to protect them from destruction. As a by-product, copper kept the hulls from fouling at port. The efficiency of copper as an anti-fouling material directed to attempts to clad steel or iron with copper for a hull material. However, accelerated corrosion was found for such a combined material. The influences of fouling in this period were clearly illustrated by a quotation from one of Instituion of Naval Architects (INA) in London

[2]. He says “of some protective and anti-fouling compositions in use by the Navy, it is no exaggeration to say that, as far as speed is concerned, one half of our fleet would be useless before one year had elapsed, from the accumulation of rust, weed and shell.”

Anti-fouling painting was considered to be an effective approach to keep ship hulls from fouling. The first record of anti-fouling paints was in a British Patent of William Beale, in 1625. Until 1895, there were more than 300 anti-fouling paints registered. It was observed that most of them were quite ineffective. One of exotic anti-fouling paints was the paint with a mixture of fish scales and red lead. Holzapfel [3] conducted serveral experiments on ‘vanishes’ anti-fouling compositions. It was found that the combination of copper and mercury was very effective. However, this composition was “capable of being gradually dissolved in sea water,” The practical proof of this problem was the inter-docking periods of 2-2.5 of the ships with ‘vanishes’ anti-fouling coating. Therefore, the application of ‘vanishes’ anti-fouling composition was gone down for the next 70 years.

The usage of self-polishing copolymers (SPCs) including tributyl tin (TBT) as a biocide was proposed to demolish fouling on ship hulls. This ‘self-polishing’ paint, for practical



use, could ensure a foul-free hull for up to 5 years. However, while the paint itself become smoother, it contributed more roughness to the ship hulls as a result of surface damages. Nevertheless, the success of tributyl tin as a biocide was not last due to environment concerns. Therefore, tributyl tin is now banned for marine applications in some regulations.

Although these techniques presents the potential to resolve a fouling issue for marine vessels, they show some limitations and restrictions. As a result, these techniques become impractical and the fouling issue still remains. Eventually, skin frictional drag reduction techniques in addition to anti-fouling systems are introduced to compomise the increase in skin friction drag due to fouling. The most noticeable techniques for the reduction of skin frictional drag, mentioned in the ITTC (International Towing Tank Conference) quality system manual for resistance and propulsion test and perforamnce prediction with skin frictional drag techniques, are the air lubrication, the outer-layer vertical blades and the polymer additives.

In this paper, how fouling generates an increase in skin frictional drag is explained. The quantities of skin-frictional drag increases as a result of the presence of slime and shell are then given. In addition, the economic impact of an increase in skin frictional drag is discussed. Finally the most

noticeable techniques for skin frictional drag reduction are introduced.

2. Skin Frictional Drag

For marine vessels, skin frictional drag completely arises as a result of the viscosity of the flow moving along a ship hull. Skin frictional drag on some hull types can present as much as 90% of the total drag even though the hull is out of fouling [4]. Therefore, an increase in skin frictional drag, even with a small amount, can play an important role in the total resistance of a ship hull.

2.1 Effect of Fouling on Skin Frictional Drag

The effect of fouling on skin frictional drag can be observed in the mean velocity profile. In other words, fouling causes a loss in momentum in the inner region where the local mean velocity is a function of only wall shear stress, fluid density, kinematic viscosity and distance from the wall. This region is characterized by a downward shift in the log-law. This shift is called the roughness function, ΔU^+ and calculated as Equation 1.

$$\Delta U^+ = A \log[y^+] + B \quad (1)$$

where A is the log-law slope which is equal to 5.62 [5], B is the log-law intercept which is equal to 5.0 [5] and y^+ is defined as Equation 2.



$$y^+ = \frac{yu_\tau}{\nu} \quad (2)$$

where y is the distance from the wall, u_τ is the friction velocity and ν is kinematic viscosity of the fluid.

The roughness function as Equation 1 generates an addition of skin frictional drag which results in the performance loss of marine vessels.

2.2 Effects of Slime and Shell on Skin Frictional Drag

Ship's hull fouling can be categorized into 2 groups: slime and shell. The effects of both categories are presented as follows.

2.2.1 Slime

A slime layer forms rapidly and contributes to the beginning of fouling growth. For the hulls with only the presence of slime, frictional resistance could be increased by 8-14% [6]. Bohlander [7] conducted a set of full-scale trials on a frigate with an organotin and cuprous oxide anti-fouling coating. The results indicated that the total propulsive power was added by 8-18% due to a mature slime film.

2.2.2 Shell

From the classic pontoon tests of Kempf [8], the maximum drag increase emerged as 75% of the wetted surface area was covered by shell fouling. However, even shell fouling

overspread only 5% of the wetted surface, the drag increase was found to be 66% of the maximum.

2.3 Economic Impact of an Increase in Skin Friction Drag

As an increase of skin frictional drag occurs because of fouling, it is important for ship operators to make a decision between the unscheduled dry-docking and recoating costs on the one hand, and the continuing extra fuel cost penalty, in-service, on the other.

Milne and Hails [9] presented the results of global study on the savings due to anti-fouling coating. The savings were determined in four categories: fuel cost savings due to the decreased frictional resistance, savings due to expanded inter-docking periods, savings due to consequential reduced dry dock costs and indirect savings, for instance, savings due to the lower requirement to transport bunkers to refuel ports. The annual savings in the four groups in US\$ were 720, 409, 800 and 1,080, respectively. This yielded a grand total annual saving, for the world fleet, of approximately US\$ 3,000 million.

The British Navy established an allowance of a 0.25-0.50% per day increase in frictional drag and therefore 35-50% increase in fuel consumption was predicted for a naval ship with 6-month operation [10]. Alberte *et al.*



[11] mentioned that increased drag due to hull fouling wasted the US Navy US\$ 75-100 million in fuel penalty.

In the consideration of hull cleaning cost, there are two types of hull cleanings: full cleaning and interim cleaning, according to Naval Ships' Technical Manual 2006. A full cleaning refers to removal of fouling from the whole underwater hull, propellers, shafts, struts and rudders, while fouling from propellers, shafts, struts and rudder is removed in an interim cleaning. For the US Navy, it is found that the average frequency of full hull cleaning was 0.21 per year, whereas the average frequency of interim cleaning was 2.4 per year. In 2009, the estimated cost of a full cleaning was US\$ 26,808 and that of an interim cleaning was US\$ 18,735.

Schultz *et al.* [3] investigated the economic impact of biofouling on the Arleigh Burke-class destroyer (DDG-51), a twin-screw ship powered by four General Electric LM2500 gas-turbine engines. It is found that an increase of 31% in shaft power was generated by small calcareous fouling or weed at a speed of 15 knots. However, as the speed was increased to be 30 knots, the increase was reduced to be 20% for the same fouling. Increases in shaft power was associated with increases in fuel consumption which became the major determinant of an

extra operating cost. It is noted that the hull with such a fouling caused an increase of 20.4% in fuel consumption in comparison with the hydraulically-smooth hull. This is equal to an extra cost of roughly US\$ 2.4 million per ship per year.

3. Skin Frictional Drag Reduction Techniques

As mentioned before, anti-fouling paints with biocides are very useful for the prevention of fouling on ship hulls. However, some marine regulations currently prohibit the use of biocides in anti-fouling paints. This leads to a greater presence of fouling on the hull resulting in an increase in skin frictional drag. As it is difficult to remove the increase in skin frictional drag, a number of alternative techniques are introduced to reduce skin frictional drag instead.

3.1 Frictional Drag Reduction with Air Layer

Jang *et al.* [12] investigated the reduction of frictional resistance with air layer on the hull bottom of a ship. As air is injected into the boundary layer of the wetted area, a flow consists of both air bubbles and water. If the amount of injected air increases, air bubbles start to form patches covering the surface. The patches with the co-existence of air bubbles can be called a transitional air

layer as shown in Fig. 1. It is observed that the frictional drag on the surface with the coverage of a continuous air layer can be decreased successfully if the reduction of wetted surface occurs. This is because the friction with water possibly change into that with air [13]. The decrease in the local frictional drag on the surface with a transitional air layer can be obtained from 20% to 80%.

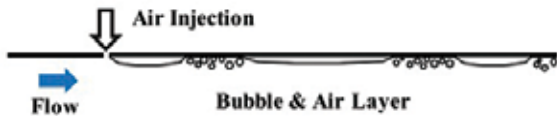


Fig. 1 transitional air layer [14]

If the quantity of injected air is increased further, the air layer on the wetted surface become fully continuous as illustrated in Fig. 2. This fully-continuous air layer can offer the reduction of more than 80% in the local frictional drag [15,16].

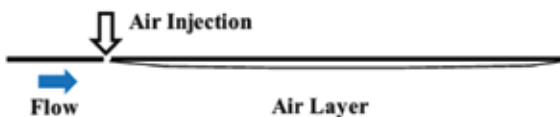


Fig. 2 fully-continuous air layer [14]

3.2 Outer-layer vertical blades

An *et al.* [17] conducted the experiment on the application of outer-layer vertical blades to a real ship model of KVLCC. The arrays of outer-layer vertical blades are

installed at the side bottom and flat bottom of the model. The characteristics and the installation system of the blades are demonstrated in Fig. 3. It is found that the outer-layer vertical blades can yield the resistance reduction of 2.15 – 2.76%.

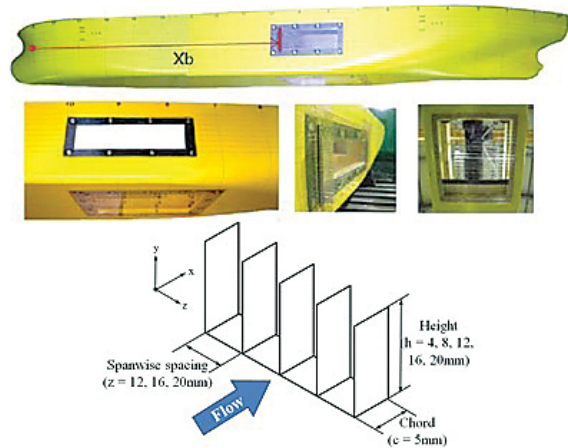


Fig. 3 geometry parameter of outer-layer vertical blades and installation system of the blades [17]

3.3 Polymer additives

PolyEhyleneOxide (PEO) is well recorded as an effective drag reduction additive. This additive is generally mixed with SPC in anti-fouling paints. From the direct force-balance measurement at high-speed circulating water channel, more skin frictional reduction with a maximum of 33% can be given by using anti-fouling with PEO [18]. Nonetheless, in a towing tank test, an additional decrease in skin frictional drag due to an inclusion of polymer additives is about 10%.



4. Summary

Fouling has a great influence on an increase in skin frictional drag of a ship hull. The applications of anti-fouling systems are proposed but most of them come with limitations and restrictions. Consequently, fouling is still a primary source of such an increase. This paper presents three techniques of skin frictional drag reduction

as the approaches to compensate the increase. Among of these techniques, air layer on the hull bottom seems to offer the highest reduction rate. However, this techniques requires additional power for air injection. Therefore, the compromise between skin frictional drag reduction and power increase is essential to be considered.

References

- [1] R.L. Townsin. (2010). "The ship hull fouling penalty," *Biofouling*, vol. 19, pp.9-15.
- [2] V.B. Lewes. (1889). "The corrosion and fouling of steel and iron ships," *Trans INA*, vol. 30, pp.362-389.
- [3] A.C.A. Holzapfel. (1904). "Ships Compositions," *Trans INA*, vol. 46, pp.252-265.
- [4] M.P. Schultz, J.A. Bendick, E.R. Holm and W.M. Hertel.(2011). "Economic impact biofouling on a naval surface ship," *Biofouling*, vol. 27, pp.87-98
- [5] D.E. Coles and E.A. Hirst. (1969). "Computation of turbulent boundary layers," *AFOSR-IFP Stanford Conference 2, Thermo-sciences Division, Stanford University*, pp.1-45.
- [6] S. Watanabe, N. Nagamatsu, K. Yokoo, Y. Kawakami.(1969). "The augmentation of frictional resistance due to slime," *Journal of Kansai Society of Naval Architects*, vol. 31, pp.45-51.
- [7] G.S. Bohlander. (1991). "Biofilm effect on drag: measurements on ships," *Polymers in a Marine Environment, Marine Management (Holdings)*, pp. 1-4.
- [8] G. Kempf. (1937). "One the effect of roughness on the resistance of ships," *Trans INA*, vol. 79, pp.109-119.
- [9] A. Milne and G. Hails. (1971). "British Patent 1".



- [10] Woods Hole Oceanographic Institution [WHOI]. (1952). "Marine fouling and its prevention," Annapolis, MD: United States Naval Institute.
- [11] R.S. Alberte, S. Snyder, B.J. Zahuranec and M. Whetston. (1992). "Biofouling research needs for the United States Navy: program history and goals," *Biofouling*, vol. 6, pp.91-95.
- [12] J. Jang, S.H. Choi, S. Ahn, B. Kim and J.S. Seo. (2014). "Experimental investigation of frictional resistance reduction with air layer on the hull bottom of a ship," *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.*, vol. 6, pp363-379.
- [13] D.M. Bushnell and J.N. Hefner. (1990). "Viscous drag reduction in boundary layers, progress in astronautics and aeronautics," *The American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc.*
- [14] S.L. Ceccio and S.A. Makiharju. (2012). "Air lubrication drag reduction on great lakes ships," *Report of Great Lakes Maritime Research Institute, Michigan: Department of Naval Architecture and Marine Engineering, University of Michigan.*
- [15] B.R. Elbing, E.S. Winkel, K. Lay, S.L. Ceccio, D.R. Dowling and M. Perlin. (2008). "Bubble-induced skin friction drag reduction and the abrupt transition to air-layer drag reduction," *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 612, pp.201-236.
- [16] S.L. Ceccio. (2010). "Frictional drag reduction of external flows with bubble and gas injection," *Annual Review of Fluid Mechanics*, vol. 42, pp.183-203.
- [17] N.H. An, S.H. Ryu, H.H. Chun and I. Lee. (2014). "An experimental assessment of resistance reduction and wake modification of a KVLCC model by using outer-layer vertical blades," *Int. J. nav. Archit. Ocean Eng.*, vol. 6, pp151-161.
- [18] J.W. Yang, H. Park, H.H. Chun, S.L. Ceccio, M. Perlin and I. Lee. (2014). "Development and performance at high Reynolds number of a skin-friction reducing marine paint using polymer additives," *Ocean Engineering*, vol. 84, pp183-193.



การศึกษาระบบนีโอดีเมียมแยกเลเซอร์โดยใช้เลเซอร์ไดโอดกระตุ้นจากด้านข้าง A Nd : YAG Laser System Study by Laser Diode Side Pumped

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.ท. วีระ บุญผุด
กองวิชาฟิสิกส์และเคมี ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ
ตำบลปากน้ำ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ 10270

บทคัดย่อ

นีโอดีเมียมแยกเลเซอร์เป็นเลเซอร์ของแข็งชนิดหนึ่ง โดยการกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานในผลึกแยกจะต้องใช้พลังงานแสงเท่านั้น และกำลังเป็นที่นิยมในปัจจุบันคือนีโอดีเมียมแยกเลเซอร์แบบลำแสงต่อเนื่องที่กระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดที่มีความยาวคลื่น 808 nm. สามารถใช้กระตุ้นให้อิออน Nd^{3+} ในผลึกแยกให้เปลี่ยนระดับพลังงานไปอยู่ในสถานะกึ่งเสถียร (${}^4F_{3/2}$) มากที่สุด หลังเกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานจาก (${}^4F_{3/2}$) มายังระดับพลังงาน (${}^4I_{11/2}$) แล้วทำให้เกิดการปลดปล่อยลำแสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 1064 nm ออกมา นีโอดีเมียมแยกเลเซอร์แบบกระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดเป็นระบบเลเซอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับเลเซอร์ชนิดของแข็งโดยทั่วไปที่กระตุ้นด้วยแสงจากหลอดไฟแฟลช

Abstract

Nd: YAG laser is one type of solid state laser. The energy for pumping the *Nd: YAG* crystal is obtained only from the light source, a new technology of *Nd: YAG* laser, that is the continuous wave (CW) diode - pumped *Nd: YAG* laser has been developed. The diode laser which emits the laser radiation at the wavelength of 808 nm is used to pump the *Nd: YAG* rod. It pump Nd^{3+} in the *Nd: YAG* rod from ground state to metastable state (${}^4F_{3/2}$), then it makes transition from ${}^4F_{3/2}$ state to ${}^4I_{11/2}$ state by stimulated emission and radiate the laser beam at the wavelength of 1064 nm. The CW diode - pumped ${}^4I_{11/2}$ *Nd: YAG* laser is considered as a high efficiency laser system. The advantage of this laser system is a tiny laser system in comparison with the conventional flashlamp - pumped solid state laser system.



1. ความเป็นมาของปัญหาการวิจัย

นับตั้งแต่มีการค้นพบเลเซอร์ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1960 จนถึงปัจจุบันนับเป็นระยะเวลาประมาณ 4 ทศวรรษ ได้มีการพัฒนาทางด้านเลเซอร์เทคโนโลยีอย่างรวดเร็วทั้งทางทฤษฎีและการนำไปประยุกต์ใช้ หลังจากสงครามโลกครั้งที่ 2 การพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้มีมาอย่างต่อเนื่อง ในปี 1950 นักวิทยาศาสตร์สามารถผลิตคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าห่าพ ฆัห่าพ ฆักั ศพห่าพ ฎรนกำ ฆรกำ ฎิห่าพห่าพความถี่สูงที่เรียกว่า ไมโครเวฟ(Microwave) ซึ่งเกิดจากการ ขยายความเข้มรังสี (Amplified Radiation) โดยวิธีการปลดปล่อยโดยการกระตุ้น ขณะนั้นเรียกว่า (MASER) ในปี 1958 ได้นำหลักการดังกล่าวมาประยุกต์และสามารถผลิตคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงกว่าคลื่นไมโครเวฟจนถึงย่านที่ตามองเห็นชื่อว่า เลเซอร์ (LASER) หลังจากนั้นนักวิทยาศาสตร์ทั้งหลายได้พยายามค้นคว้าวิจัยเพื่อที่จะผลิตแสงเลเซอร์ จนในที่สุดเลเซอร์เครื่องแรกของโลกก็ถูกผลิตขึ้นคือ เลเซอร์ทับทิม (Ruby Laser) และได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องไม่ว่าจะเป็น ฮีเลียม-นีออนเลเซอร์ (He-Ne) ไนโตรเจนเลเซอร์ (nitrogen Laser) อาร์กอนเลเซอร์ (Argon Laser) ดายเลเซอร์ (Dye Laser) เลเซอร์ของแข็งชนิดอื่นๆ และเลเซอร์สารกึ่งตัวนำ เป็นต้น

หนึ่งในเลเซอร์ของแข็ง(Solid state Laser) ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาคือ นีโอดีเมียมแฉกเลเซอร์ (Neodymium YAG Laser) ซึ่งให้ลำแสงที่มีความยาวคลื่น 1.06 nm ถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1964 โดยใช้สาร นีโอดีเมียม (Nd) โด๊ปลงไปไนยทเทรียมอลูมิเนียมแกเร็ต (Yttrium Aluminium Garnet, YAG) และใช้หลอดไฟแฟลชในการกระตุ้น (Pumping) เพื่อให้เกิดเลเซอร์ ผลที่ได้เป็นเลเซอร์แบบพัลส์ (Pulse) ต่อมาได้มีการพัฒนาใช้หลอดไฟแบบอาร์ค (Arc Lamp)

ในการกระตุ้น ซึ่งจะได้เลเซอร์แบบคลื่นต่อเนื่อง แต่ทั้ง 2 ระบบต่างก็มีความร้อนสูงที่หลอดไฟกระตุ้น จึงต้องมีการหล่อเย็นระบบตลอดเวลา จึงส่งผลให้ทั้ง 2 แบบมีขนาดใหญ่ จึงเป็นที่มาของแนวความคิดที่จะมีการพัฒนาระบบเลเซอร์ให้มีขนาดเล็กและไม่ยุ่งยาก เรื่องการระบายความร้อนที่หลอดไฟ อีกทั้งเสถียรภาพของเลเซอร์ที่ได้จะดีกว่าระบบหลอดไฟทั้ง 2 แบบ โดยในการวิจัยได้ออกแบบใช้สารเลเซอร์ชนิดของแข็งสังเคราะห์ และใช้เลเซอร์ไดโอดกระตุ้นเพื่อลดขนาดระบบระบายความร้อน โดยผลที่ได้คาดว่าจะเป็ นเลเซอร์แบบคลื่นต่อเนื่องความยาวคลื่น 1.06 μm ขนาดเล็กกะทัดรัด มีเสถียรภาพสูง ใช้งานได้จริง

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาการออกแบบและสร้างระบบนีโอดีเมียมแฉกเลเซอร์แบบลำแสงต่อเนื่องโดยใช้เลเซอร์ไดโอดกระตุ้น
2. เพื่อศึกษาวิธีการกระตุ้นพลังงานแสงจากเลเซอร์ไดโอดทางด้านข้าง
3. เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ป้อนกับกำลังของนีโอดีเมียมแฉกเลเซอร์
4. เพื่อหาประสิทธิภาพของระบบเลเซอร์ที่สร้าง

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 เรโซเนเตอร์ (Resonator)

3.1.1 กระจกหลัง (End Mirror) มีค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนมากกว่า 99% ที่มีความยาวคลื่น 1046 nm รัศมีความโค้ง 1.5 m เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว เคลือบฟิล์มบางที่มีการสะท้อนแสงสูงที่มีความยาวคลื่น 1046 nm

3.1.2 กระจกหน้า (Output Mirror) มีค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนมากกว่า 95% ที่มีความยาวคลื่น 1046



nm รัศมีความโค้ง 1.5 m เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว เคลือบฟิล์มบางที่มีการสะท้อนแสงสูงที่มีความยาวคลื่น 1046 nm

3.2 แท่งผลึกนีโอติเมียมแฉีก

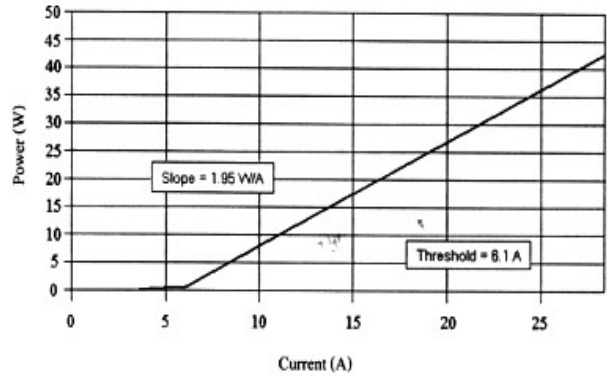
3.2.1 แท่งผลึกทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 mm ยาว 12 mm

3.2.2 ปริมาณการโด๊ปของ Nd^{+3} ในผลึกเท่ากับ 1%

3.2.3 เคลือบป้องกันการสะท้อนที่ความยาวคลื่น 1064 nm ที่ปลายทั้งสองข้างของผลึก และได้ทำการขัดเรียบและทำการเคลือบฟิล์มบางเพื่อป้องกันการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น 1064 nm เพื่อลดการสูญเสียในระบบเลเซอร์อันเกิดจากการสะท้อนที่ผิวหน้าของผลึก

3.3 เลเซอร์ไดโอด

ในการทดลองนี้ใช้วิธี Optical Pumping โดยใช้แสงเลเซอร์ไดโอดปั๊มขนาดด้านข้าง (Side Pumped) ซึ่งมี 2 ขนาดคือ 20 W และ 40 W หน้ากว้าง 10 mm ดังแสดงคุณลักษณะตามรูปด้านล่าง



รูปที่ 1 กราฟแสดงกำลังเลเซอร์ไดโอด ทดสอบจากบริษัทผู้ผลิต

3.4 ระบบระบายความร้อนแก่เลเซอร์ไดโอด

3.4.1 ถังน้ำพลาสติกขนาดความจุ 20 ลิตร พร้อมน้ำสะอาดครึ่งถัง

3.4.2 Water Pump ทำหน้าที่สูบน้ำไปยังหัวเลเซอร์ในอัตรา 6-9 l/min ที่อุณหภูมิ 20 - 23°C

3.5 เครื่องจ่ายไฟ (Power Supply)

PARAMETER	CONDITION	MIN	TYP	MAX
CW Power Output	CS=30A at 25°C Heat Sink W2=30A at 25°C Heat Sink	20 W	-	-
Threshold Current	25°C Heat Sink	-	4.5A	6.0A
Operating Current	20W at 25°C Heat Sink	-	27A	33A
Operation Voltage V_{op}	-	-	1.6V	1.9V
Slope Efficiency	25°C Heat Sink	1.95W/A	1.97W/A	-
Center Wavelength	20W at 25°C Heat Sink	792 nm	806nm	812nm
Wavelength Shift	-	0.23 nm/°C	0.25 nm/°C	0.23 nm/°C

ตารางที่ 1 แสดงคุณลักษณะของเลเซอร์ไดโอดขนาด 20 W ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องจ่ายกำลังให้กับเลเซอร์ไดโอดจากบริษัท
THORLABS โดยมีคุณสมบัติดังตารางที่ 2

Control Range (continuous)	0-65 A
Compliance Voltage	>5 V
Resolution	10 mA
Accuracy	±100mA
Noise Without Ripple (10 MHz, rms)	±100mA
Transients	<500mA
Temperature	<50ppm/°C
Control range (power)	0.5 - 100 W
Resolution (power)	10mW
Warm - up time for rated accuracy	10min
Weight	<10 kg
Dimension (mm) (WxHxD)	200x132x351

ตารางที่ 2 แสดงคุณลักษณะของเครื่องจ่ายไฟ
ให้กับเลเซอร์ไดโอด



รูปที่ 2 แสดงเครื่องจ่ายไฟให้กับเลเซอร์ไดโอด
รุ่น LDC3065

3.5 ชุดวัดกำลังเลเซอร์ (Power Meter)

เครื่องวัดกำลังของเลเซอร์ไดโอดและแยกเลเซอร์
สามารถวัดได้ 2 แบบ คือ แบบต่อเนื่องและแบบ
พัลส์ มีแสดงคุณลักษณะตามตารางที่ 3 และรูปที่ 3

Detector Compatibility	Thermopile, Photodiode pyreelectric,OEM
Spectral Response	250 - 3200 nm
Windows	Diameter 2 cm
Input Range	15 nm - 1.5 mA full scale in 16 range
A to D Sampling Rate	15 Hz
A to D Resolution	17 bits plus sign,(0.0007%resolution)
Electrical Accuracy	±0.1%±20pAnew, 0.3%±20pAafter 1 years
Dynamic Range	9 decades (1:10 ⁹)
Analog Output Accuracy	±0.2%±1mV relative to display
Dimensions	203Hx95Wx37D(mm)
Mass	550 g
Display	122x32 pixel Super twist LCD
Operation Between Charges	18 Hrs,10Hrs with piezoelectric heads Battery charge time 10 - 14 Hrs.
Charger	DC : 11 to 22V : or AC 9 to 15 V _{rms} 3 W

ตารางที่ 3 แสดงคุณสมบัติของเครื่องวัดกำลังแสงเลเซอร์



รูปที่ 3 แสดงชุดวัดกำลังแสงเลเซอร์

3.6 การออกแบบ Optical Resonator

ในการทดลองได้กำหนดคุณสมบัติของเลเซอร์ดังนี้

3.6.1 กำลังเลเซอร์ประมาณ 10 W

3.6.2 Beam Profile เป็นแบบ Gaussian Beam (TEM₀₀)

3.6.3 Output ของเลเซอร์เป็นแบบ Single Mode

3.6.4 มุมบานออกของลำแสงเลเซอร์ (Beam Divergence) ประมาณ 2 mrad

รายการคำนวณออกแบบเรโซเนเตอร์ (Resonator)

3.6.5 มุมบานออกของลำแสงเลเซอร์ประมาณ 2 mrad

3.6.6 เรโซเนเตอร์เป็นแบบชนิด Confocal (R₁ = R₂ = 1.5 m)

3.6.7 ความยาวคลื่นของนีโอดีเมียมแย็กเลเซอร์ คือ 1064 nm

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณหาค่าประมาณ Beam Waist (ω₀) โดยใช้สมการ

$$\theta = \frac{\lambda}{\pi \omega_0}$$

โดยที่ θ = มุมบานออกของลำแสงเลเซอร์ (rad)
 ประมาณ 2 mrad

(ω₀) = The radius of beam waist (m)

λ = ความยาวคลื่นของนีโอดีเมียมแย็กเลเซอร์ = 1064 nm
 จะได้

$$\omega_0 = \frac{\lambda}{\pi \theta} = \frac{1064 \times 10^{-9}}{\pi \times 2 \times 10^{-3} \text{ rad}} = 0.34 \text{ mm}$$

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาความยาว Resonator ซึ่งในการออกแบบกำหนดให้เป็น resonator ชนิด Confocal รัศมีความโค้งของกระจกหลังเท่ากับรัศมีความโค้งกระจกหน้าเท่ากับ 1.5 m (R₁ = R₂ = 1.5 m) จากสมการ

$$\omega_0^4 = \left(\frac{\lambda}{\pi}\right)^2 \times \frac{L(R_1 - L)(R_2 - L)(R_1 + R_2 - L)}{(R_1 + R_2 - 2L)^2}$$

โดยที่ โดยที่ L = ความยาวของ Resonator (m)

R₁ = รัศมีความโค้งกระจกหลัง (m)

R₂ = รัศมีความโค้งกระจกหน้า (m)

จะได้

$$(3 \times 10^{-4})^4 = \left(1064 \times \frac{10^{-9}}{\pi}\right)^2 \frac{L(1.5 - L)(1.5 - L)(1.5 + 1.5 - L)}{(1.5 + 1.5 - 2L)^2}$$

จะได้

$$L \cong 0.105 \text{ m หรือ } 10.5 \text{ cm}$$

ขั้นตอนที่ 3 ในการวิจัยและใช้งานจริง ผู้วิจัยทดลองความยาวของ Resonator อยู่ในช่วงความยาว 20 cm เนื่องจากต้องนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

ที่ต้องการระบบเลเซอร์ที่มีความกะทัดรัด สามารถ
ยกเคลื่อนย้ายได้สะดวกและรวดเร็ว

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณหาค่า Beam waist ที่ใช้จริง
จากสมการ

$$\omega_0^4 = \left(\frac{\lambda}{\pi}\right)^2 \times \frac{L(R_1 - L)(R_2 - L)(R_1 + R_2 - L)}{(R_1 + R_2 - 2L)^2}$$

โดยที่

(ω_0) = The radius of beam waist (m)

λ = ความยาวคลื่นของนีโอดีเมียมแฉกเลเซอร์
= 1064 nm

R_1 = รัศมีความโค้งกระจกหลัง (m)

R_2 = รัศมีความโค้งกระจกหน้า (m)

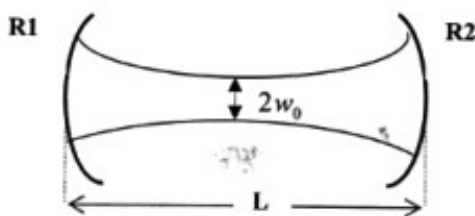
L = ความยาวควาวิตี้ (m)

$$\omega_0^4 = \left(1064 \times \frac{10^{-9}}{\pi}\right)^2 \times \frac{0.2 \times (1.5 - 0.2)(1.5 - 0.2)(1.5 + 1.5 - 0.2)}{(1.5 + 1.5 - 2 \times 0.2)^2}$$

จะได้

$$\omega_0 = 0.34 \text{ mm}$$

เพราะฉะนั้น Beam waist = $2\omega_0 = 2 \times 0.34 = 0.68 \text{ mm}$



รูปที่ 5 ไดอะแกรมแสดง Beam waist
และ ความยาวควาวิตี้

ขั้นตอนที่ 5 หา The radius of beam waist ที่
กระจก R_1 และ R_2

$$\omega_1^4 = \left(\frac{\lambda_0 R_1}{\pi}\right)^2 \times \left(\frac{R_2 - L}{R_1 - L}\right) \times \left(\frac{L}{R_1 + R_2 - L}\right)$$

แทนค่าจะได้

$$\omega_1^4 = \left(\frac{\lambda_0 R_1}{\pi}\right)^2 \times \left(\frac{R_2 - L}{R_1 - L}\right) \times \left(\frac{L}{R_1 + R_2 - L}\right) \left(\frac{0.2}{1.5 + 1.5 - 0.2}\right)$$

ได้ $\omega_1 = 0.36 \text{ mm}$

และจากสมการ

$$\omega_2^4 = \left(\frac{\lambda_0 R_2}{\pi}\right)^2 \times \left(\frac{R_1 - L}{R_2 - L}\right) \times \left(\frac{L}{R_1 + R_2 - L}\right)$$

$$\omega_2^4 = \left(1064 \times \frac{10^{-9}}{\pi} \times 1.5\right)^2 \times \left(\frac{1.5 - 0.2}{1.5 - 0.2}\right) \times \left(\frac{0.2}{1.5 + 1.5 - 0.2}\right)$$

ได้ $\omega_2 = 0.36 \text{ mm}$

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณหาตำแหน่งวางแท่ง Nd:YAG

จากสมการ

$$t_1 = \frac{L(R_2 - L)}{R_1 + R_2 - 2L}$$

และ

$$t_2 = \frac{L(R_1 - L)}{R_1 + R_2 - 2L}$$

เมื่อ t_1 และ t_2 คือ ระยะจากจุดกลางแท่งนีโอดีเมียม
แฉกถึงกระจกหน้า - หลัง

ขั้นตอนที่ 7 คำนวณหา g - parameter

ระบบเลเซอร์จะมีเสถียรภาพที่ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับ
กับเงื่อนไข g - parameter คือ

$$0 < g_1 g_2 < 1$$

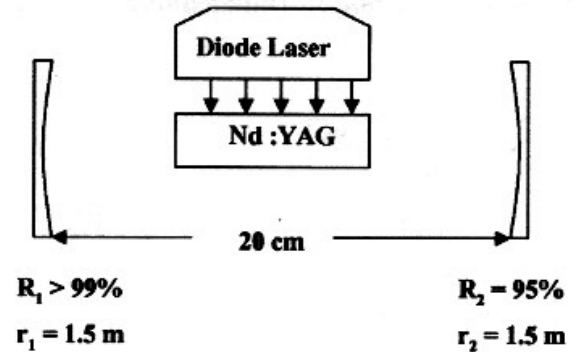
โดยที่

$$g = 1 - \frac{L}{R}$$

จะได้

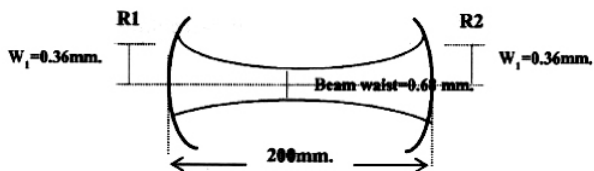
$$g_1 = 1 - \frac{0.2}{1.5} = 0.86$$

$$g_2 = 1 - \frac{0.2}{1.5} = 0.86$$

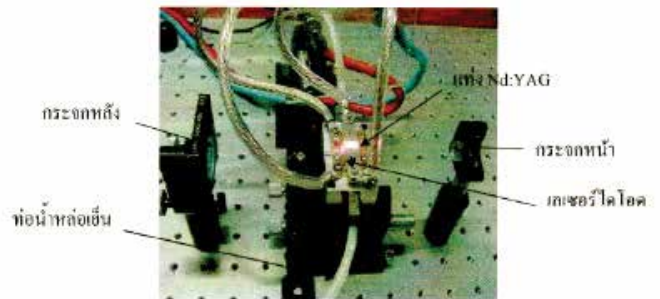


รูปที่ 5 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ในควาวิตี้

ซึ่งทำให้ค่า $g_1 g_2 = 0.74$ อยู่ในเงื่อนไขพอดิ และสามารถนำค่าต่างๆมาวาดเป็นไดอะแกรมเรโซเนเตอร์ได้ดังนี้



รูปที่ 4 แสดง resonator ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 6 แสดงการประกอบ resonator แล้วเสร็จพร้อมทดสอบ

4. การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาเปรียบเทียบกำลังของนีโอดีเมียมแยกเลเซอร์ที่ความยาวเรโซเนเตอร์ต่างๆ กัน โดยใช้กำลังของเลเซอร์ไดโอดที่กระตุนคงที่ 15 W

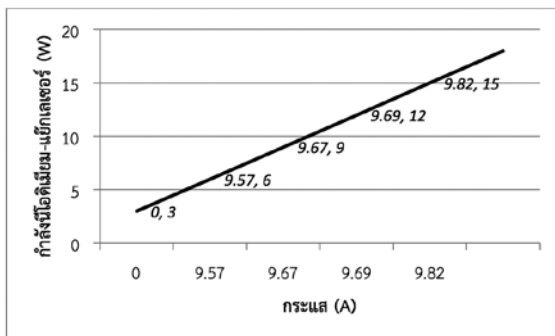
ความยาวเรโซเนเตอร์ L(cm)	กำลังนีโอดีเมียมแยกเลเซอร์ (W)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
10	1.21	1.22	1.24	1.22
15	1.12	1.08	1.14	1.11
20	1.02	1.14	1.08	1.08
25	0.85	0.08	0.86	0.84

3.2 การทดลองที่ 2 ศึกษากำลังของแสงเลเซอร์เทียบกับกระแสที่ป้อนให้กับเลเซอร์ไดโอดที่ค่าต่างกัน (เรโซเนเตอร์คงที่ 20 cm เลเซอร์ไดโอดขนาด 20 W และ แรงดันไฟฟ้าคงที่ 1.6 V)

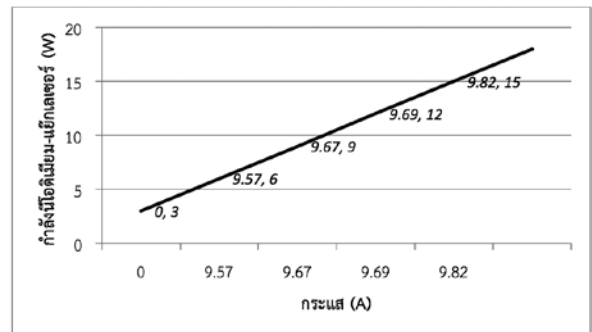
กระแส (A)	กำลังนีโอติเมียมแฉีกเลเซอร์ (W)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย
5	0	0	0	0	0
10	0.41	0.46	0.44	0.42	0.43
15	0.72	0.69	0.71	0.73	0.71
20	1.43	1.37	1.42	1.45	1.42
25	2.42	2.42	2.44	2.43	2.43
30	2.72	2.65	2.70	2.75	2.70

3.3 การทดลองที่ 3 ศึกษากำลังของแสงเลเซอร์เทียบกับกระแสที่ป้อนให้กับเลเซอร์ไดโอดที่ค่าต่างกัน (เรโซเนเตอร์คงที่ 20 cm เลเซอร์ไดโอดขนาด 40 W และ แรงดันไฟฟ้าคงที่ 3.2 V)

กระแส (A)	กำลังนีโอติเมียมแฉีกเลเซอร์ (W)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย
5	0	0	0	0	0
10	0.74	0.76	0.75	0.77	0.75
15	1.28	1.30	1.31	1.37	1.32
20	2.83	2.84	2.83	2.89	2.85
25	3.89	3.92	3.94	3.97	3.93
30	4.22	4.25	4.30	4.25	4.25



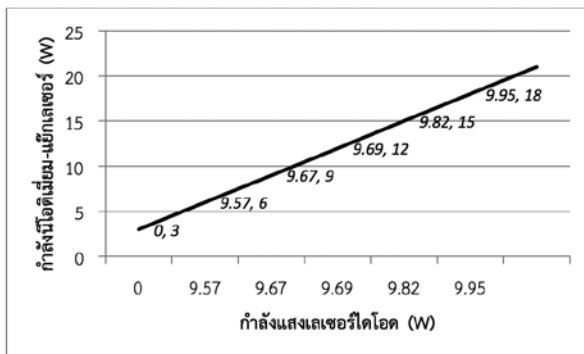
รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ป้อนเลเซอร์ไดโอดกับกำลังนีโอติเมียมแฉีกเลเซอร์ (เลเซอร์ไดโอดขนาด 20 W)



รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ป้อนเลเซอร์ไดโอดกับกำลังนีโอติเมียมแฉีกเลเซอร์ (เลเซอร์ไดโอดขนาด 40 W)

3.4 การทดลองที่ 4 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเลเซอร์ไดโอดกับกำลังนิตีเมียมแยกเลเซอร์ (เลเซอร์ไดโอดขนาด 20 W และ แรงดันไฟฟ้าคงที่ 1.6 V)

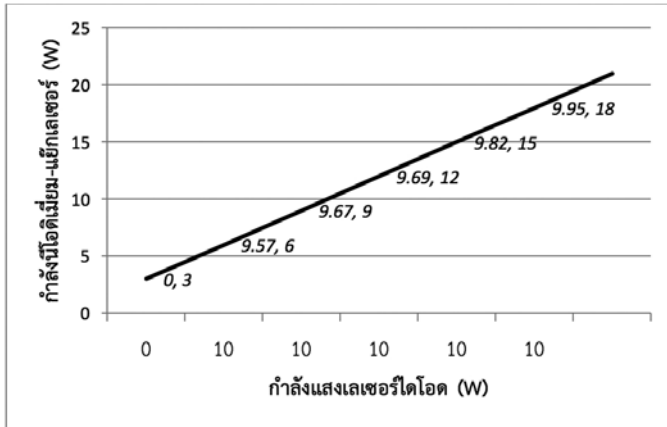
กระแส (A)	กำลังแสงเลเซอร์ไดโอด (W)	กำลังนิตีเมียมแยกเลเซอร์ (W)					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	ประสิทธิภาพเลเซอร์ (%)
5	0	0	0	0	0	0	0
8	2.36	0.17	0.19	0.19	0.17	0.18	7.60
11	5.52	0.42	0.43	0.45	0.43	0.44	8.00
14	8.68	0.76	0.76	0.76	0.75	0.76	8.76
17	11.84	1.22	1.24	1.23	1.23	1.23	10.38
20	15.00	1.60	1.58	1.58	1.59	1.58	10.53
23	19.16	2.00	2.01	2.02	2.02	2.02	10.55



รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเลเซอร์ไดโอดขนาด 20 W กับกำลังนิตีเมียมแยกเลเซอร์

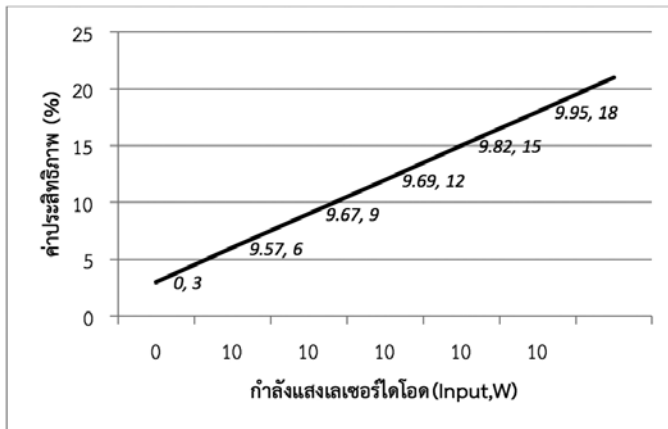
3.5 การทดลองที่ 5 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเลเซอร์ไดโอดกับกำลังนิตีเมียมแยกเลเซอร์ (เลเซอร์ไดโอดขนาด 40 W และ แรงดันไฟฟ้าคงที่ 3.2 V)

กระแส (A)	กำลังแสงเลเซอร์ไดโอด (W)	กำลังนิตีเมียมแยกเลเซอร์ (W)					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	เฉลี่ย	ประสิทธิภาพเลเซอร์ (%)
3	0	0	0	0	0	0	0
6	2.10	0.22	0.21	0.21	0.21	0.21	9.57
9	7.34	0.72	0.70	0.72	0.70	0.71	9.67
12	12.59	1.21	1.22	1.22	1.22	1.22	9.69
15	17.03	1.73	1.76	1.75	1.75	1.75	9.82
18	23.08	2.14	2.30	2.35	2.40	2.29	9.95
21	28.32	2.62	2.90	2.97	2.94	2.86	10.10

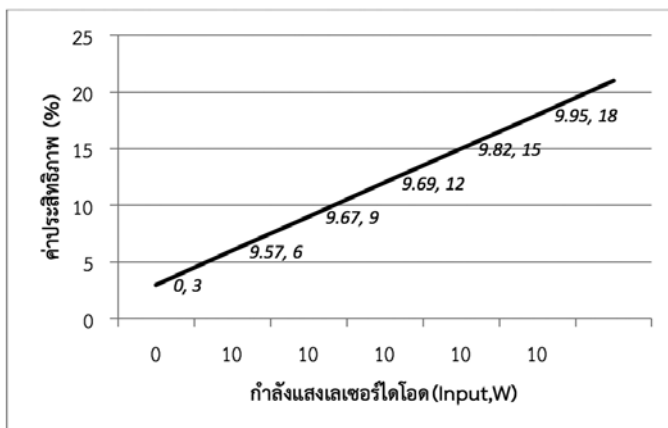


รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเลเซอร์ไดโอดขนาด 40 W กับกำลังนีโอติเมียมแยม์เลเซอร์

ประสิทธิภาพของระบบนีโอติเมียมแยม์เลเซอร์สามารถหาได้โดยนำค่ากำลังแสงที่วัดได้ (Output Power) ต่อกำลังแสงเลเซอร์ไดโอดที่กระตุ้น (Input Power) ดังสมการ $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$ สามารถแสดงได้ดังกราฟต่อไปนี้



รูปที่ 11 กราฟแสดงประสิทธิภาพของระบบนีโอติเมียมแยม์เลเซอร์ (Output, W) กับกำลังแสงที่กระตุ้นจากเลเซอร์ไดโอด 20 W (Input, W)



รูปที่ 12 กราฟแสดงประสิทธิภาพของระบบนีโอติเมียมแยม์เลเซอร์ (Output, W) กับกำลังแสงที่กระตุ้นจากเลเซอร์ไดโอด 40 W (Input, W)



3.6 การทดลองที่ 6 ศึกษาการบานออกของลำแสงเลเซอร์ที่ระยะต่างๆตามสมการ

$$\theta_{th} = \frac{1.27\lambda}{2\omega_0}$$

$\omega_0 = \text{The radius of beam waist} = 0.34 \text{ mm}$

ระยะที่วัด (cm)	เส้นผ่าศูนย์กลางของ แสงเลเซอร์ (mm)	ค่ามุมบานออก $\theta_{th}(\text{mrad})$	ค่ามุมบานออก $\theta_{lab}(\text{mrad})$
10 cm	4.70	2.00	-
20 cm	4.90	2.00	2.00
30 cm	5.10	2.00	2.00
60 cm	5.80	2.00	2.20
100 cm	7.20	2.00	2.78
			เฉลี่ย = 2.24

5. สรุปผลการทดลอง

5.1 เลเซอร์ไดโอด

จากการศึกษาและทดสอบชุดเลเซอร์ไดโอดขนาด 20 W จะมีค่าเทสโวลต์อยู่ที่ประมาณ 5 A และชุดเลเซอร์ไดโอดขนาด 40 W มีค่าเทสโวลต์อยู่ที่ประมาณ 5 A เช่นกัน และเลเซอร์ไดโอดจะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่างๆเนื่องจากว่าที่ภาวะอุณหภูมิต่างๆจะมีพลังงานที่เกิดจากอุณหภูมิกายนอกไปรบกวนน้อย ดังนั้นจะมีจำนวนอิเล็กตรอนของเลเซอร์ไดโอดอยู่ที่สถานะพื้นมากกว่าที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดการกระตุ้นอิเล็กตรอนที่สถานะพื้นมากทำให้ได้ค่ากำลังแสงเลเซอร์ไดโอดมากขึ้นด้วย

โดยในการทดลองค่ากระแสที่ป้อนให้กับชุดเลเซอร์ไดโอดขนาด 20 W ควรอยู่ที่ 25 A จะให้ค่ากำลังแสงเลเซอร์ไดโอดอยู่ที่ 20.43 W และชุด

เลเซอร์ไดโอดขนาด 40 W ควรป้อนกระแสที่ 25 A เช่นกันจะได้ค่ากำลังแสงเลเซอร์ไดโอดอยู่ที่ 36.80 W

5.2 นีโอติเมียมแยกเลเซอร์

ประสิทธิภาพของนีโอติเมียมแยกเลเซอร์ทดลองที่ควาิตี้ต่างๆ 10 15 20 และ 25 cm เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ค่า g - parameter ของแต่ละควาิตี้กับกำลังเลเซอร์ ดังนี้ ที่ระยะ 100 mm ค่า g - parameter 0.87 ได้กำลังนีโอติเมียมแยกเลเซอร์สูงสุด 1.22 W ที่ระยะ 150 mm ค่า g - parameter 0.81 ได้กำลังนีโอติเมียมแยกเลเซอร์สูงสุด 1.11 W ที่ระยะ 200 mm ค่า g - parameter 0.75 ได้กำลังนีโอติเมียมแยกเลเซอร์สูงสุด 1.08W ที่ระยะ 250 mm ค่า g - parameter 0.69 ได้กำลังนีโอติเมียมแยกเลเซอร์สูงสุด 0.84 W จากการทดลองพบว่าควาิตี้ที่เหมาะสมคือ 200 mm ถ้ากระตุ้นด้วย



เลเซอร์ไดโอดขนาด 20 W 25 A ค่า g - parameter 0.75 จะให้ค่ากำลังเลเซอร์สูงสุดคือ 2.70 W ถ้ากระตุ้นด้วยเลเซอร์ไดโอดขนาด 40 W 25 A ค่า g - parameter 0.75 จะให้ค่ากำลังเลเซอร์สูงสุดคือ 4.25 W ถ้าหากป้อนค่ากระแสไปเรื่อยๆระบบจะให้ค่ากำลังสูงสุดขึ้นไปอีก แต่จะมีปัญหาเนื่องมาจากระบบระบายความร้อน (cooling system)

5.3 อัตราการบานออกของลำแสง

การวัดการบานออกของลำแสงในทางปฏิบัติต่างกับทฤษฎีน้อยมากจึงถือว่าสามารถยอมรับได้ โดยค่ามุมบานออกนี้อาจจะมาจากความละเอียดของเครื่องมือวัดและผู้วัด

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ระบบเลเซอร์ยังมีค่ากำลังต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังที่ป้อนโดยมีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่

10.55 % และ 10.22 % อาจเกิดขึ้นเนื่องมาจากปริมาตรต่อการกระตุ้นในแท่งผลึกนีโอดีเมียมน้อยเกินไปทำให้กระบวนการ population inverse น้อย ซึ่งควรเปลี่ยนกระจกหน้าจากชนิด concave (โค้งเว้า) มาเป็นแบบ plano (เรียบ) จะทำให้พื้นที่ปริมาตรต่อการกระตุ้นมากขึ้น

6.2 ความเหมาะสมของการเลือกรูปทรงเรขาคณิตของผลึกนีโอดีเมียมกับรูปทรงพื้นที่หน้าตัดเลเซอร์ไดโอดควรเปลี่ยนแท่งผลึกจากรูปทรงกระบอกมาเป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์แทน

6.3 ระบบระบายความร้อนยังมีประสิทธิภาพไม่ดีพอระบายความร้อนได้ไม่มากนักทำให้แท่งนีโอดีเมียมแฉีกยังมีความร้อนสูงอยู่ประมาณ 55 °C ซึ่งทำให้กำลังของเลเซอร์ตกลงมาก ทางแก้ควรออกแบบเป็นระบบ chiller

เอกสารอ้างอิง

- [1] Koechner W.(1992). Solid State Laser Engineering (3 rd edition.) Springer Verlag.
- [2] O'Shea. (1977).An Introduction to Lasers and Their Application (3 rd edition.) Wesley.
- [3] Verdeyen,T. (1995). Laser Electronics (3 rd edition.) Prentice Hall.
- [4] Smith. W.V. (1996).Laser (2 nd edition.) McGrAw Hill.
- [5] Breck. C. (1991).Undersdanding Laser Technology (2 nd edition.) Pennwell Publishing.

On The Job Training การออกแบบระบบไฟฟ้า
ณ อุ้งต่อเรือ Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering (DSME)
สาธารณรัฐเกาหลี
On The Job Training: Electrical system Design
At Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering (DSME)
Republic of Korea



น.อ.ดิเรก ขจรรัตน์

หัวหน้าออกแบบไฟฟ้าระบบอาวุธและบังคับเรือ
กองออกแบบไฟฟ้า กรมแผนการช่าง กรมอุทหาารเรือ

บทคัดย่อ

ระบบไฟฟ้าเป็นระบบที่มีความสำคัญในเรือรบ เนื่องจากระบบไฟฟ้าจะจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีความสำคัญมาก (Vital) และมีความสำคัญน้อย (Non – vital) ทั้งแบบ AC และ DC และระบบไฟฟ้ายังจ่ายให้กับระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (Lighting System) ดังนั้นการออกแบบระบบไฟฟ้าที่ดีสำหรับเรือรบเป็นเฟสแรกที่มีความสำคัญมาก เพราะจะนำไปสู่เฟสของการผลิตที่มีประสิทธิภาพ ทำให้ฟังก์ชันการใช้งานเกิดประสิทธิผลที่ดี บทความนี้ได้กล่าวถึงประสบการณ์ของผู้เขียนในการเข้ารับการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบ



ระบบไฟฟ้าของเรือฟริเกตของที่ ทร.ที่สร้างที่บริษัท DSME เนื้อหาของบทความนี้จะบรรยายเกี่ยวกับภาพรวมของการออกแบบระบบไฟฟ้าของเรือรบที่สร้าง และกระบวนการงานสำคัญที่จะต้องกระทำ รวมทั้งความรู้และประสบการณ์ต่างๆที่ได้รับ

Abstract

Electrical System is an important system in Navy ship. It supplied not only the electrical power needed by all vital and non-vital equipment, both AC and DC systems, but also the lighting throughout the ship. Therefore, well-designed electrical system for a newly- built Navy ship is the first critical phase that will lead to an efficient production phase and good functionality. This article presents author's experiences on Electrical Design On the Job Training (OJT) for Thai new Frigate Project being built in Daewoo Ship Building and Marine Engineering (DSME), South Korea. The scope of the article gives the overview of Naval Ship electrical design elements. The essential procedures that must be performed, knowledge and experiences gained from this OJT are also described.

1. ความเป็นมา

กองทัพเรือได้ลงนามในสัญญาว่าจ้างให้ บริษัท Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering (DSME) สาธารณรัฐเกาหลี (เกาหลีใต้) สร้างเรือฟริเกตจำนวน 1 ลำ ตามโครงการจัดหาเรือฟริเกตจำนวน 2 ลำทดแทน ร.ล.พุทธยอดฟ้าจุฬาโลก และ ร.ล.พุทธเลิศหล้านภาลัย ที่ครบปลดประจำการในปี 2558 และ 2561 ตามลำดับ ส่วนลำที่ 2 จะพิจารณาดำเนินการจัดหาต่อไป โครงการจัดหาลำที่ 1 นี้มีช่วงระยะเวลาประมาณ 5 ปี (2556 – 2561) เป็นเรือฟริเกตที่มีความตลอดลำ 123 เมตรและระวางชั้นน้ำ 3,700 ตัน โดยประมาณ ถือว่าเป็นเรือฟริเกตที่มี

ขนาดใหญ่ลำหนึ่งที่กองทัพเรือหวังให้เป็นเรือชั้นใหม่ที่สูงด้วยคุณค่าทางยุทธการเมื่อขึ้นระวางประจำการ

การถ่ายทอดเทคโนโลยี (Transfer of Technology) ในขั้นตอนการออกแบบสร้างเรือ ในเฟสของ On Job Training (OJT) เป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญของสัญญาที่ทางบริษัท DSME ต้องดำเนินการจัดการฝึกอบรมกำลังพลของกองทัพเรือในส่วนของการออกแบบสร้างเรือซึ่งมีทั้งหมด 10 หลักสูตรประกอบด้วย

1. หลักสูตร Project Engineering Management
2. หลักสูตร Basic Design

3. หลักสูตร Hull Design
4. หลักสูตร Machinery and Propulsion
5. หลักสูตร HVAC and Auxiliary System
6. หลักสูตร Hull outfitting
7. หลักสูตร Accommodation
8. หลักสูตร Electrical Design
9. หลักสูตร Armament
10. หลักสูตร Electronics and Navigation

โดยการฝึกอบรมนี้จัดขึ้นที่บริษัท DSME สาธารณรัฐเกาหลีในช่วงเดือนกรกฎาคม 2557 แต่ละหลักสูตร ใช้เวลาประมาณ 20-40 วัน มีกำลังพลกองทัพเรือเข้ารับการฝึกอบรมในครั้งนี้ทั้ง 10 หลักสูตร จำนวน 23 นาย ผู้เขียนได้มีโอกาสไปอบรมใน

หลักสูตรของการออกแบบระบบไฟฟ้า (Electrical Design) และมีความยินดีที่ได้ นำความรู้และประสบการณ์ที่ได้รับมาในการฝึกอบรมครั้งนี้ ตลอดจนข้อสังเกต ข้อคิดเห็นในแง่มุมต่างๆ ไม่เพียงแต่เรื่องราวของการออกแบบที่ผู้เขียนได้สอดแทรกเข้าไปมาแล้วสู่กันฟังในบทความนี้ แม้จะเป็นการอบรมในช่วงระยะเวลาไม่นานนัก ก่อนที่จะเล่าถึงรายละเอียดในส่วนของการออกแบบระบบไฟฟ้า ผู้เขียนจะกล่าวถึงข้อมูลทั่วไปของอยู่ DSME และข้อมูลทั่วไปของเรือฟริเกตที่กำลังสร้าง โดยสังเขป ต่อไป

2. DSME สาธารณรัฐเกาหลี: มาทำความรู้จักกันหน่อย



รูปที่ 1 แสดงที่ตั้งของอยู่ DSME

Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering (DSME) ตั้งอยู่บนเกาะโกเจ (Geoje Island) เมืองออคโป (Okpo) ทางตอนใต้ของสาธารณรัฐเกาหลี ตามรูปที่ 1 เมืองออคโปอยู่ทางตอนใต้ประมาณ 100 กิโลเมตรของเมืองปูซาน (Busan) เมืองที่ใหญ่เป็นอันดับ 2 ของสาธารณรัฐเกาหลีรองจากกรุงโซล ด้วยเนื้อที่เกือบ 5 ล้านตารางเมตร ทำให้ DSME เป็นผู้สร้างเรือที่มีขนาดใหญ่เป็นอันดับ 2 ของโลกและเป็นผู้สร้างเรือที่มีขนาดใหญ่ 1 ใน 3 ของสาธารณรัฐเกาหลี ภายในอยู่ประกอบด้วย

DSME มีเจ้าหน้าที่ พนักงาน วิศวกร และ คนงาน รวม 4 หมื่นคน สร้างเรือมาแล้วกว่า 1,200 ลำ มีทั้งเรือรบผิวน้ำ เรือดำน้ำ เรือพาณิชย์ ตลอดจน offshore projects

ในช่วง 2 วันแรก DSME นำเราทั้งหมดรวมทั้งเจ้าหน้าที่ชาวต่างชาติที่มาทำงานในอู่เข้าฟังเรื่อง Safety System DSME ให้ความสำคัญในเรื่องนี้เป็นอย่างมาก จากนั้นก็พานั่งรถชมพื้นที่ภายในอู่ตามรูปที่ 2 และรูปที่ 3 ทำให้ได้เห็นโรงประกอบบล็อก เครน และ อู่แห้ง ขนาดใหญ่มหึมา ได้เห็น



รูปที่ 2 แสดงบริเวณพื้นที่อู่ DSME

อู่แห้ง (Dry Dock) ขนาดใหญ่ที่มีความจุสูงสุดถึงกว่า 1 ล้านตันจำนวน 2 อู่ แต่ละอู่แห้งติดตั้งเครนขนาด 900 ตัน อู่ลอย (Floating Dock) จำนวน 4 อู่ มีความจุสูงสุดถึงกว่า 1 แสนตัน โรงประกอบบล็อกขนาดใหญ่ (Block Assembly shop) จำนวน 3 โรง โรงตัดเหล็ก (Cutting Shop) ขนาดใหญ่จำนวน 1 โรง Pre-Outfitting shop อีกจำนวน 2 โรง ปัจจุบัน

การเคลื่อนบล็อกจากโรงประกอบบล็อก ที่มีขนาดใหญ่หลาย 100 ตันเพื่อไป Erection การจัดวางสิ่งของอุปกรณ์ที่เป็นระเบียบ ตลอดจนความสะอาดภายในอู่ ไม่น่าแปลกใจเลยว่าเขาเป็นอู่เรือที่ติดอันดับโลก



รูปที่ 3 แสดงพื้นที่ภายในอยู่ DSME

เรือฟริเกตของกองทัพเรือลำนี้จะเป็นเรือลำแรกที่กองทัพเรือได้ว่าจ้างให้สร้างที่ DSME และเป็นครั้งแรกในสาธารณรัฐเกาหลี ซึ่งเป็นประเทศที่ 3 ในภูมิภาคเอเชีย เพราะที่ผ่านมาเรือที่สร้างจากประเทศในภูมิภาคนี้เป็นเรือที่สร้างจากสาธารณรัฐประชาชนจีนและสิงคโปร์

สิ่งเหล่านี้เป็นความจริงที่สะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพทางอุตสาหกรรมการสร้างเรือของ 2 ประเทศในภูมิภาคนี้ ซึ่งประเทศเราต้องนำมาขบคิดเพื่อวันหนึ่งเราต้องก้าวไปสู่จุดนั้นได้เหมือนกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพูดถึง องค์ความรู้ในด้านการออกแบบนั้นในความเห็นของผู้เขียนหลังจากที่ได้รับการอบรมแล้วประเทศไทยไม่ได้ด้อยกว่าอย่างที่หลายคนเข้าใจ

3. เรือฟริเกตที่กำลังสร้าง : ข้อมูลโดยทั่วไป

ลักษณะของเรือฟริเกตตามรูปที่ 4 มีระวางขับน้ำกว่า 3,700 ตัน ความยาวตลอดลำ 123 เมตร กินน้ำลึกประมาณ 8 เมตร ความเร็วสูงสุด 30 น็อต รัศมีทำการ 4,000 ไมล์ทะเล ระบบขับเคลื่อนประกอบด้วยเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ 1 เครื่องและเครื่องยนต์ดีเซล 2 เครื่อง เครื่องกำเนิดกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 4 เครื่อง ระบบไฟฟ้าเป็นแบบ 440 V 3 Phase 60 Hz รายละเอียดตามตารางที่ 1



รูปที่ 4 แสดง Outboard Profile ของเรือฟริเกต



Description		Particulars	Remark
Main Dimension	L.O.A.	Approx. 123 m	-
	L.B.P	Approx. 113.2 m	
	Breadth (mould)	Approx. 14.4 m	
	Depth (main deck)	Approx. 8.0 m	
Displacement		Approx. 3,700 ton	
Propulsion		2 x 5,920 kW (Diesel engine) 1 x 21,600 kW (Gas turbine) 2 x CPP & Shafts	CODAG (Combined Diesel And Gas)
Generator		4 x 830 kW	-
Complement		135 (+1) P	(FSC Officer)
Ship Speed		18 / 30 knots	Cruising/Maximum
Range		4,000 N.M.	At cruising speed

ตารางที่ 1 ข้อมูลโดยทั่วไปของเรือฟริเกต

4. ขั้นตอนการออกแบบมีความสำคัญ : สาธารณรัฐเกาหลีเขาทำกันอย่างไร

สำหรับคนทั่วไปที่ไม่ได้มีความรู้ทางด้านการสร้างเรือรบก็คงไม่ยากที่จะเข้าใจได้ว่าไม่ว่าจะเป็นการสร้างเรือรบหรือสร้างอาคาร ขั้นตอนการออกแบบเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ การออกแบบนั้นไม่จำเป็นต้องมีคำตอบเดียวเสมอไปเพื่อตอบโจทย์เดียวกัน อาจแตกต่างกันได้ตราบดีที่ยังอยู่บนพื้นฐานของหลักการทางวิศวกรรมแขนงต่างๆที่เกี่ยวข้อง ตามมาตรฐานที่ยอมรับเป็นสากล อันจะส่งผลให้ขั้นตอนการผลิต (Production) ซึ่งเป็นขั้นตอนต่อไปในการสร้างเรือนั้นมีความราบรื่น ไม่ต้องมีการแก้ไขเมื่อดำเนินการผลิตไปแล้ว ซึ่งจะทำการกระบวนการสร้างเป็นไปตามแผน

“การได้ไปฝึกอบรมขั้นตอนการออกแบบระบบไฟฟ้าในเรือรบที่บริษัท DSME สาธารณรัฐเกาหลีซึ่งเป็นบริษัทที่มีชื่อติดอันดับโลกในอุตสาหกรรมการสร้างเรือที่มีความน่าเชื่อถือ ในความเห็นของผู้เขียน

เป็นโอกาสที่ดี 2 ประการคือ ประการแรกเป็นโอกาสที่เราจะได้ตรวจสอบเปรียบเทียบองค์ความรู้ของเรากับของเขา ในแง่ของแนวคิด กระบวนการ ในขั้นตอนการออกแบบระบบไฟฟ้าในเรือ การอ้างอิงมาตรฐานว่าเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร ประการที่ 2 เราได้มีโอกาสรับเอาสิ่งที่เรายังไม่มีหรือยังไม่ทราบมาปรับใช้ให้เหมาะสมกับบริบทของเรา” และหลังจาก 1 เดือนในการฝึกอบรมสิ่งที่ได้รับได้ช่วยเพิ่มพูนความรู้ความเข้าใจและประสบการณ์ในกระบวนการออกแบบระบบไฟฟ้าในเรือ ซึ่งจะได้กล่าวในลำดับต่อไป

วิธีการการฝึกอบรม: การฝึกอบรมดำเนินการใน 2 ลักษณะด้วยกัน คือ การ Lecture แยกตามหลักสูตรและการพาไปเยี่ยมชม ณ บริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ที่จะติดตั้งบนเรือฟริเกตประมาณ 2-3 บริษัทในพื้นที่ใกล้เคียงกับอู่ DSME ซึ่งทำให้เห็นกระบวนการผลิตการทดสอบอุปกรณ์ซึ่งเป็นประโยชน์มาก ส่วนการ Lecture จะเปลี่ยนผู้สอนไปตามระบบงานที่รับผิดชอบซึ่งแสดงให้เห็นการแบ่งสรรงานอย่างมี

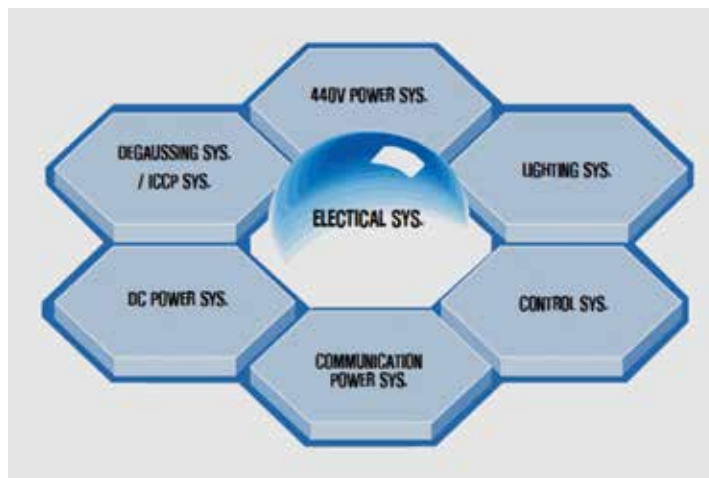
ระบบชัดเจน อย่างไรก็ตามสิ่งหนึ่งที่ยังเป็นอุปสรรค ได้แก่เรื่องการสื่อสาร ภาษาอังกฤษในการสอนนั้น ส่วนใหญ่จะค่อนข้างฟังยากพอสมควร อย่างไรก็ตามโดยภาพรวมเมื่อผ่านไปประมาณ 1 สัปดาห์ เราก็สามารถปรับหูและสามารถสื่อสารกันได้ดีขึ้น

5. การออกแบบระบบไฟฟ้าในเรือ : ตามแบบ DSME

มาตรฐานที่อ้างอิง : มาตรฐานที่ DSME ใช้ อ้างอิงในการออกแบบระบบไฟฟ้าในเรือมีทั้ง มาตรฐานสากลและมาตรฐานกองทัพเรือ สาธารณรัฐเกาหลี (Republic of Korea (ROK) Navy Standard) สำหรับมาตรฐานสากลแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลักๆ กลุ่มแรกเป็นความต้องการพื้นฐานเกี่ยวกับความปลอดภัยในการดำรงชีวิตในเรือ ได้แก่ สมาคมจัดชั้นเรือ (International Association Classification Society : IACS) หรือบางที่เรียกสั้นๆว่า Class ซึ่งข้อกำหนด (Requirements) ต่างๆ จะอ้างอิงข้อกำหนดหรือข้อบังคับที่บัญญัติไว้ใน

SOLAS (Safety Of Live At Sea) และ IMO (International Marine Time Organization) โดยสาธารณรัฐเกาหลีเป็น 1 ใน 13 สมาชิกของ IACS ใช้ชื่อว่า Korean Register (KR) กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่อยู่บนพื้นฐานของหลักการทางวิศวกรรม ไฟฟ้า ได้แก่ Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) และ International Electrotechnical Commission (IEC) และกลุ่มสุดท้าย เป็นกลุ่มที่เป็นความต้องการทางทหาร ได้แก่ Military Standard (MIL-STD) และมาตรฐานกองทัพเรืออเมริกา (Naval Sea System Command: Navsea)

กระบวนการออกแบบ (Design Process) : การออกแบบระบบไฟฟ้าในเรือมีงานที่ต้องดำเนินการอยู่ 3 ส่วน ได้แก่งานระบบ (Electrical Systems) งานแบบ (Electrical Drawing) และงานกำหนดแผนงาน (Design Schedule) ซึ่งทั้ง 3 ส่วนจะมีความสัมพันธ์กันและสัมพันธ์กับการออกแบบของระบบอื่นด้วย



รูปที่ 5 แสดงภาพรวมระบบไฟฟ้าต่างๆในเรือ

5.1 งานระบบ (Electrical Systems)

ระบบไฟฟ้าในเรือ (Electrical Systems) ประกอบด้วยระบบไฟฟ้า 2 ระบบได้แก่ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) และระบบไฟฟ้ากระแสตรง (DC) แบ่งตามลักษณะการใช้งานได้เป็น ระบบไฟฟ้ากำลัง 440 VAC ระบบไฟฟ้ากำลัง (Power system) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (Lighting system) ระบบควบคุม (Control system) ระบบสื่อสาร (communication system) ระบบการลบล้างอำนาจสนามแม่เหล็ก (Degaussing system) และ ระบบป้องกันการกัดกร่อนตัวเรือ (ICCP : Impressed Current Cathodic Protection) ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยในแต่ละส่วนมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

5.1.1 ระบบไฟฟ้ากำลัง 440 VAC 60 Hz 3 เฟส

- คุณลักษณะของระบบไฟฟ้า (Electrical Characteristics) อ้างอิงมาตรฐาน [1]
- ต้องทำการวิเคราะห์ภาระทางไฟฟ้า (Electrical load analysis) โดยอ้างอิงมาตรฐาน [2] และ ROK [3] เพื่อกำหนดขนาดทางไฟฟ้าและจำนวนของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขนาดพิกัดกระแสของสายไฟบกก (สายไฟบกก หมายถึง สายไฟที่ต่อจากแผงจ่ายไฟบนท่าเรือผ่านแผงไฟบกกบนเรือเพื่อใช้กับโหนดในเรือในขณะที่เรือเทียบท่า)
- ทำการกำหนด key-plan ของระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (Electrical Distribution System)
- ทำการคำนวณกระแสลัดวงจร (Short Circuit Calculation) โดยอ้างอิงมาตรฐาน [4] เพื่อทำการกำหนดขนาดพิกัดกระแสที่ Bus bar ในแผงจ่ายไฟหลัก (Main switchboard:

MSB) และ อุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้า

- การคำนวณแรงดันตกในสายไฟ (Voltage Drop Calculation) โดยอ้างอิงมาตรฐาน [5] เพื่อนำมาประกอบในการพิจารณา กำหนดขนาดพิกัดกระแสของสายไฟ
- กำหนดอุปกรณ์หลัก (Main Equipment) ในระบบ ได้แก่ MSB Load Center (LC) และ แผงจ่ายไฟย่อยต่างๆ

5.1.2 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (Lighting System)

- ต้องคำนวณความต้องการการส่องสว่าง (Illumination Calculation) ในแต่ละส่วนของเรืออ้างอิงมาตรฐาน [6]
- การกำหนดระบบไฟเรือเดินและไฟสัญญาณ (Navigation & signal light) อ้างอิงมาตรฐาน [6]
- กำหนดระบบไฟรับส่งเฮลิคอปเตอร์ (Heli VLA light)
- กำหนดอุปกรณ์หลัก ได้แก่ รูปแบบไฟแสงสว่าง (Lighting Fixture) ไฟเรือเดินและสัญญาณอ้างอิงมาตรฐาน [6]

5.1.3 ระบบควบคุม (Control System)

- ระบบควบคุมเครื่องจักรใหญ่ และ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- กำหนดระบบป้องกันความเสียหาย (Damage System) และระบบ Fire alarm
- กำหนดอุปกรณ์หลัก ได้แก่ Integrated Platform Management System (IPMS) และ Fire alarm



5.1.4 ระบบไฟกระแสตรง DC Power System

- วิเคราะห์ภาระทางไฟฟ้าระบบไฟกระแสตรง (DC Power Electrical Load Analysis) เพื่อกำหนดขนาดของเครื่องเรียงกระแส (Rectifier) และความจุของแบตเตอรี่
- กำหนดระบบส่งจ่ายไฟกระแสตรง ได้แก่ แผงจ่ายไฟ 24 VDC Rectifier และ แบตเตอรี่

5.1.5 ระบบไฟฟ้าสื่อสาร (Communication power System)

- วิเคราะห์ภาระทางไฟฟ้าระบบสื่อสาร (Communication Load Analysis) เพื่อกำหนดขนาดของเครื่องแปลงความถี่ (Frequency Converter) หม้อแปลง (Communication Transformer) สำหรับระบบไฟฟ้าสื่อสาร
- กำหนดอุปกรณ์หลัก ได้แก่ Frequency Converter แผงจ่ายไฟ Transformer

5.1.6 ระบบ Degaussing System

- Magnetic Signature Modeling
- Degaussing Coil Lay-out Design/ Degaussing Coil Arrangement

5.1.7 ICCP System

- การออกแบบของประกอบระบบกันการกัดกร่อนตัวเรือ (ICCP Equipment Composition Design)

5.2 งานแบบ (Electrical Drawing) งาน Electrical Drawing นั้นประกอบไปด้วย

5.2.1 System Wiring Diagram เป็นการนำงานระบบนี้มาถ่ายทอดออกมาเป็นแบบ Wiring Diagram ของระบบต่างๆ ดังตัวอย่างแสดงในตารางที่ 2 เช่น แบบ wiring diagram ของระบบไฟ 440VAC ระบบไฟ DC และ ระบบไฟแสงสว่าง เป็นต้น

DWGNO	DRAWING TITLE	START	FINISH	CLASS		OWNER	
				SUBMIT	RECEIVE	SUBMIT	RECEIVE
DA310E002	Wiring Diagram of AC 440V Power System						
DA313E001	Wiring Diagram of DC Power System						
DA252E001	Wiring Diagram of IPMS						
DA252E002	Wiring Diagram of EPCC						
DA252E003	Wiring Diagram of DCC						
DA252E004	Wiring Diagram of ACC						
DA330E001	Wiring Diagram of Lighting System						
DA426E001	Wiring Diagram of Elec. Navigation system						
DA422E001	Wiring Diagram of Navigation & Signal Lighting System						
DA588E001	Wiring Diagram of VLA System						
DA436E001	Wiring Diagram of Fire Detection System						
DA475E001	Wiring Diagram of Degaussing System						
DA252E005	Wiring Diagram of Steering Gear & Auto Pilot						
DA314E001	Wiring Diagram of Communication Power System						
DA633E001	Wiring Diagram of ICCP & MGPS System						

ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างรายการ Wiring Diagram ของระบบไฟฟ้าต่างๆ



ทางด้านขวาของตารางที่ 2 จะแสดงวันที่เริ่มดำเนินการ (Start) และ วันที่สิ้นสุด (Finish) ของการจัดทำ wiring diagram แต่ละรายการ รวมทั้งวันที่ส่ง (submit) ให้ Class ซึ่งในที่นี่หมายถึง Korean Register (KR) เพื่อทำการรับรอง (Approve) แบบ wiring นั้นและวันที่ได้รับกลับมา ทางด้านขวาสุด แสดงวันที่ส่งให้ owner ซึ่งหมายถึงกองทัพเรือโดยคณะกรรมการตรวจการจ้างด้านไฟฟ้า (กตจ.ด้านไฟฟ้า) ของ ทร. ที่ประจำอยู่ที่ DSME ตลอดช่วงเวลาของสัญญาเพื่อทำการรับรองแบบและวันที่รับกลับ

5.2.2 แบบการจัดวางอุปกรณ์ในเรือ (General Arrangement: GA) เป็นแบบ Drawing ที่แสดงตำแหน่งการจัดวางของอุปกรณ์ต่างๆบนพื้นดาดฟ้าเรือและในห้องต่างๆ ดังตัวอย่างในตารางที่ 3 เช่นแบบการจัดวางอุปกรณ์ไฟฟ้าบนดาดฟ้าหลักของเรือ (Arrangement of Elec. Equipment in Main Deck) ซึ่งทางด้านขวาก็มีลักษณะเดียวกันกับตารางที่ 2

DWGNO	DRAWING TITLE	START	FINISH	CLASS		OWNER	
				SUBMIT	RECEIVE	SUBMIT	RECEIVE
DA310E010	Arrangement of Electric Maintenance Room						
DA313E002	Arrangement of Battery & Battery Charging Room						
DA310E011	Arrangement of Elec. Distribution Center						
DA310E003	Arrangement of Elec. Equipment in G/T & RT Room						
DA310E004	Arrangement of Elec. Equipment in AMR & D/E Room						
DA310E005	Arrangement of Elec. Equipment in 2nd Platform & hold						
DA310E006	Arrangement of Elec. Equipment in 1st Platform						
DA310E007	Arrangement of Elec. Equipment in Main deck						
DA310E008	Arrangement of Elec. Equipment in 01 level						
DA310E009	Arrangement of Elec. Equipment in 02 & Above Level						
DA304E001	Arrangement of Main Cable Way						
DA400E001	Arrangement of Pilot House & Chart Room						
DA426E002	Arrangement of IC & Gyro Room						
DA252E006	Arrangement of Central Control Station						
DA588E003	Arrangement of Helicopter Control Station						
DA422E002	Arrangement of Navigation & Signal Light						
DA330E002	Arrangement of Lighting Fixture						
DA436E003	Arrangement of Fire Detector System						
DA588E002	Arrangement of VLA Light						
DA314E002	Arrangement of Power Converter Room						
DA633E002	Arrangement of ICCP Anode/Ref Cell & Echo Sounder & Speed Log Transducer						
DA330E003	Arrangement of Dressing Light						

ตารางที่ 3 แสดงตัวอย่างรายการการจัดวางอุปกรณ์ไฟฟ้า (Arrangement) ของระบบไฟฟ้าต่างๆ



5.2.3 แบบการคำนวณและการติดตั้งต่างๆ
 ดังตัวอย่างในตารางที่ 4 เช่น การวิเคราะห์ภาระทางไฟฟ้า (Electrical Load Analysis: ELA) การคำนวณแรงดันตกในสายไฟ (Voltage Drop Calculation) และการคำนวณกระแสลัดวงจร (Short Circuit Calculation) เป็นต้น ทางด้านขวาของตารางมีลักษณะเดียวกับ ตารางที่ 2

5.3.2 Wiring Diagram ทั้งหมดต้องส่งให้ กตจ.ด้านไฟฟ้า 6 เดือนก่อน S/C ตารางที่ 4 แสดงตัวอย่างรายการการคำนวณต่างๆ ของระบบไฟฟ้า

5.3.3 DSME ต้องรับรอง Vendor Drawing 5 เดือนครึ่งก่อน S/C

5.3.4 แบบ General Arrangement ทั้งหมดต้องส่งให้ กตจ.ด้านไฟฟ้า 5 เดือนก่อน S/C

DWGNO	DRAWING TITLE	START	FINISH	CLASS		OWNER	
				SUBMIT	RECEIVE	SUBMIT	RECEIVE
DA310E001	Key Plan of Main Electric Power System						
DA436E002	Alarm & Wiring system						
DA304E002	Installation Standard of Cable & Electric Equipment						
DR310E002	Voltage drop Calculation						
DR310E001	Electric Power load Analysis						
DR310E003	Short Circuit Calculation						
DR330E001	Illumination Calculation						
DR252E001	IPMS Measuring Point						
DR314E001	Cable List						
DA323E001	Diagram of Casualty Power System						

ตารางที่ 4 แสดงตัวอย่างรายการการคำนวณต่างๆของระบบไฟฟ้า

5.2.4 แบบของอุปกรณ์ไฟฟ้า (Vendor Drawing) เป็นแบบที่มากับอุปกรณ์ที่ทาง DSME สั่งซื้อจากผู้จำหน่าย (Supplier หรือ Vendor)

5.3 งานการกำหนดตารางแผนงาน (Electrical System Design Schedule) ประกอบไปด้วย แผนงานที่ต้องพิจารณาให้สัมพันธ์กับงานส่วนที่ 1 และ 2 เพื่อให้เห็นว่าการใดต้องเริ่มก่อนหลังและเริ่มเมื่อใด

5.3.1 การทำรายงานงานออกแบบ ใน 2 ส่วน แรกและส่งให้ กตจ.ด้านไฟฟ้า ของ ทร.(Ship Owner) 9 เดือนก่อนวันตัดแผ่นเหล็ก (Steel Cutting: S/C)

5.3.5 มาตรฐานการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าและสายไฟ (Installation Standard) ต้องดำเนินการให้เสร็จสิ้น 5 เดือนก่อน S/C

5.3.6 แผนการเดินสายไฟ (Cable Plan) ชุดแรกและชุดที่ 2 ต้องดำเนินการให้เสร็จสิ้น 4 เดือน และ 2 เดือน ก่อน S/C ตามลำดับ

5.3.7 แผนการเจาะช่องต่างๆ (Hole Plan) ต้องดำเนินการให้เสร็จสิ้น 7 สัปดาห์ก่อน S/C เพื่อนำไปใช้ในการผลิต

5.3.8 แบบการติดตั้งอุปกรณ์ (Installation Drawing) ต้องดำเนินการให้เสร็จสิ้นก่อนการประกอบ block ประมาณ 7 สัปดาห์



5.3.9 แบบ GA ต้องเสร็จเพื่อนำไปทำงาน 6 สัปดาห์ หลังจาก S/C

5.3.10 Wiring Diagram ต้องเสร็จเพื่อนำไปทำงาน 5 สัปดาห์ หลังจาก S/C

5.3.11 แบบและการติดตั้ง Cable Tray (Main Cable Tray Drawing) ต้องเสร็จเพื่อนำไปทำงาน 23 วันก่อน S/C

6. บทสรุป

ผู้เขียนได้มีโอกาสไปฝึกอบรม (On Job Training: OJT) ในขั้นตอนการออกแบบที่เรือ Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering (DSME) สาธารณรัฐเกาหลีซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในสัญญาที่กองทัพเรือว่าจ้างให้ DSME สร้างเรือฟริเกต 1 ลำ โดยเนื้อหาสาระที่ผู้เขียนนำมาบอกเล่านี้เป็นภาพ

รวมของกระบวนการออกแบบระบบไฟฟ้าในเรือฟริเกตลำนี้ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนและสิ่งที่ต้องดำเนินการหลายประการด้วยกัน ถึงแม้ว่ามีหลายส่วนขององค์ความรู้ในขั้นการออกแบบที่มีความคล้ายคลึงกับความรู้ความเข้าใจที่ผู้เขียนมีอยู่ก่อนการได้เข้ารับการอบรมทำให้ได้รับองค์ความรู้ใหม่ วิธีการ และเทคนิคใหม่ๆ นอกจากนี้การได้เยี่ยมชมบริเวณเรือ DSME ทำให้ได้เห็นการจัดการที่ดีทั้งด้านความปลอดภัยและการผลิตตลอดจนสิ่งอำนวยความสะดวกในการสร้างเรือที่ครบครันและทันสมัย อีกทั้งได้ไปเยี่ยมชมบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จะติดตั้งในเรือฟริเกตลำนี้ซึ่งทำให้เห็นภาพการผลิตและการทดสอบ สิ่งทั้งหลายทั้งปวงเหล่านี้ได้เพิ่มพูนความรู้ความเข้าใจของผู้เขียนในกระบวนการออกแบบไฟฟ้าในเรือให้ครบถ้วนและรอบด้านมากขึ้นและหวังว่าผู้อ่านจะได้รับประโยชน์เช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

- [1] MIL-STD-1399 SECTION 300B “DEPARTMENT OF DEFENSE INTERFACE STANDARD SECTION 300B ELECTRIC POWER, ALTERNATING CURRENT”.
- [2] NAVAL SEA SYSTEMS COMMAND “DDS 310-1 REV 1 ELECTRICAL POWER LOAD ANALYSIS (EPLA) FOR SURFACE SHIPS”.
- [3] REPUBLIC OF KOREA (ROK) NAVY STANDARD.
- [4] IEC 61363-1 PART 1 “PROCEDURES FOR CALCULATING SHORT-CIRCUIT CURRENTS IN THREE-PHASE A.C.”.
- [5] MIL-HDBK-299(SH) “CABLE COMPARISON HANDBOOK DATA PERTAINING TO ELECTRIC SHIPBOARD CABLE”.
- [6] MIL-HDBK-289(SH) “LIGHTING ON NAVAL SHIPS (METRIC)”.

แบตเตอรี่เรือดำน้ำและระบบช่วยในการทำงานของแบตเตอรี่เรือดำน้ำ Submarine's Batteries and Submarine's Battery Support systems.

นาวาเอก ยุทธภูมิ ศรีสุข

หัวหน้าแผนกออกแบบไฟฟ้ากำลังและแสงสว่าง กองออกแบบไฟฟ้า กรมแผนการช่าง กรมอุทกทหารเรือ

บทคัดย่อ

ในเรือดำน้ำดีเซลไฟฟ้าเมื่อปฏิบัติภารกิจอยู่ใต้น้ำ การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเช่นที่ใช้ในเรือผิวน้ำไม่สามารถทำได้ จึงต้องมีแหล่งพลังงานไฟฟ้าเมื่อปฏิบัติภารกิจอยู่ใต้น้ำ ซึ่งแบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงานหลักของเรือดำน้ำ เรือดำน้ำดีเซลไฟฟ้าจะใช้แบตเตอรี่ในการขับเคลื่อนมอเตอร์เพื่อหมุนใบจักร อีกทั้งแบตเตอรี่ยังเป็นแหล่งพลังงานของระบบไฟฟ้าทุกระบบภายในเรือ แบตเตอรี่และระบบช่วยในการทำงานของแบตเตอรี่จึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในเรือดำน้ำดีเซลไฟฟ้า การทำงานของแบตเตอรี่ในเรือดำน้ำนั้น แบตเตอรี่จำนวนหลายๆ เซลล์ถูกบรรจุอยู่ในห้องแบตเตอรี่ที่มีพื้นที่อันจำกัด มีพื้นที่สำหรับผู้ปฏิบัติการเพื่อเข้าไปทำการบำรุงดูแลรักษาไม่มาก ประกอบด้วยงานบางอย่างในห้องแบตเตอรี่หากต้องทำโดยไม่มีระบบอัตโนมัติมาช่วยเหลือในการทำงานจะต้องเสียเวลามาก มีความเสี่ยงต่อการเกิดความผิดพลาด หรือ ไม่สามารถกระทำได้เลยเช่น การวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในทุกเซลล์ของแบตเตอรี่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีระบบช่วยในการทำงานของแบตเตอรี่

บทความนี้จะกล่าวถึงคุณลักษณะเฉพาะ และส่วนประกอบต่างๆของแบตเตอรี่เรือดำน้ำ การใช้งาน และการชาร์จแบตเตอรี่เรือดำน้ำเมื่อเรืออยู่ที่ฐานทัพ และในทะเล

Abstract

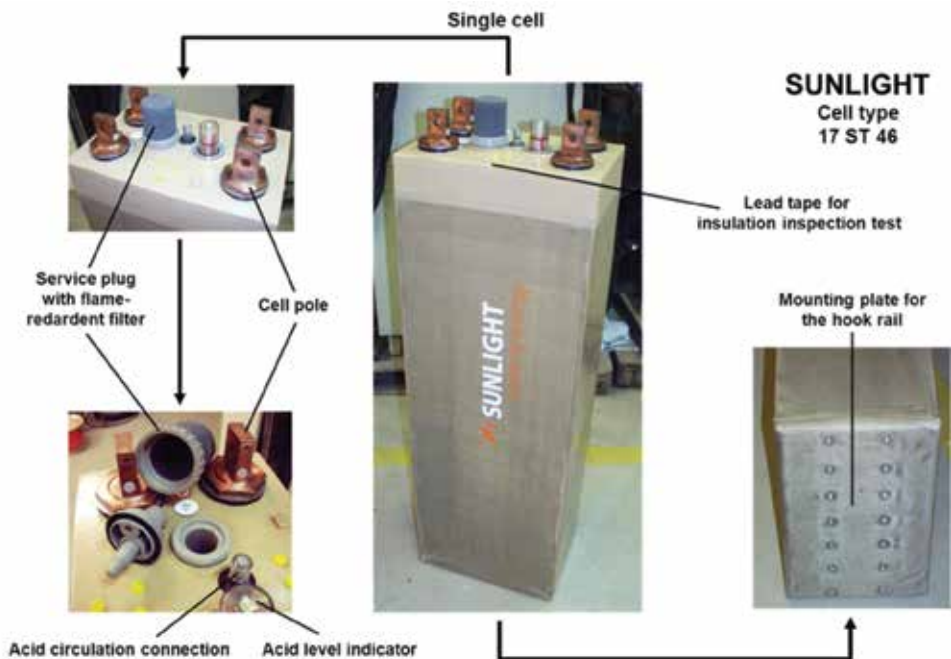
For conventional electric diesel submarines, during the mission underneath the water surface, the diesel generators cannot be used. Therefore, during the dives, batteries are the only sources of the submarines' electric power. The electric power consumers consist of systems and major equipment such as propulsion motor, hydraulic pumps, steering consoles and lightning system. The batteries and the batteries support systems are undeniably crucial for the operation of the conventional electric diesel submarines. The batteries are stored in very confined spaces inside submarines. Due to the limitation of working spaces, some tasks to perform for the maintenance of the batteries must be done automatically such as the measurement of each battery cell voltage. Thus, there must be systems to support the operation of the batteries

This paper will describe the specifications and parts of the submarine batteries. The operation of batteries and the charging of batteries when submarines are at home bases and at sea will also be described.

1. แบตเตอรี่เรือดำน้ำ

กระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมาจากแบตเตอรี่เป็นรูปแบบของไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current : DC) และมีค่าความต่างศักย์ในช่วง 450 – 900 V ซึ่งจะถูกแปลงไปเป็นรูปแบบกระแสตรงที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าน้อยลง หรือ ถูกแปลงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current : AC) เพื่อใช้งานกับอุปกรณ์ต่างๆในเรือดำน้ำ แบตเตอรี่ที่ใช้ในเรือดำน้ำเป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (Lead Acid Battery) ต้องมีการเติมน้ำกลั่นเข้าไปในแบตเตอรี่เช่นเดียวกับแบตเตอรี่ที่ใช้งานในรถยนต์ ตัวอย่างของแบตเตอรี่ที่ใช้ในเรือดำน้ำ แสดงอยู่ในรูปที่ 1

ส่วนประกอบที่เห็นในรูปที่ 1 จะเห็นขั้วบวกและ ขั้วลบ ของแบตเตอรี่ซึ่งจะประกอบไปด้วยแกน 4 แกน (Cell Poles) โดยขั้วบวกจะมี 2 แกน และ ขั้วลบจะมี 2 แกน ทางด้านบนยังมีอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำกลั่น (Acid Level Indicator) ช่องเติมน้ำกลั่นและกรองอากาศชนิดป้องกันการติดไฟ (Service Plug with Flame Retardant Filter) ส่วนทางด้านล่างจะมีแผ่นรองเพื่อติดตั้งบนรางในห้องแบตเตอรี่



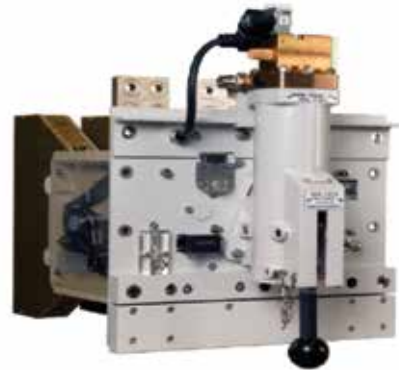
รูปที่ 1 แบตเตอรี่ที่ใช้ในเรือดำน้ำ

แบตเตอรี่ในเรือดำน้ำนั้นจะบรรจุอยู่ในห้องแบตเตอรี่ ในห้องแบตเตอรี่จะประกอบไปด้วยแบตเตอรี่จำนวนมาก ซึ่งแต่ละหน่วยจะเรียกว่าแบตเตอรี่เซลล์ (Battery Cell) ในรูปที่ 2 และ รูปที่ 3 แสดงให้เห็นถึงห้องเก็บแบตเตอรี่และแบตเตอรี่เซลล์ในห้องแบตเตอรี่ เซลล์จำนวนหนึ่งจะถูกนำมาต่อกันในลักษณะอนุกรมเพื่อ ประกอบเป็นแบตเตอรี่ย่อย (Partial Battery) ซึ่งแต่ละเรือจะมีจำนวนแบตเตอรี่ย่อยแตกต่างกันไป โดยค่าเฉลี่ยของความต่างศักย์จะอยู่ที่ 2.4 V ต่อเซลล์ แบตเตอรี่ย่อยสามารถนำมาต่ออนุกรม หรือต่อแบบขนานเมื่อต้องการกระแสไฟฟ้าสูง แบตเตอรี่ทุกเซลล์จะมีเซ็นเซอร์ต่ออยู่กับเซลล์เพื่อวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าอยู่ตลอดเวลา และจะมีบางเซลล์ซึ่งกระจายอยู่ในห้องแบตเตอรี่ (Pilot Cells) เซลล์เหล่านี้จะมีเซ็นเซอร์เพิ่มเติมเพื่อวัดอุณหภูมิ โดยอุณหภูมิที่ใช้งานจะอยู่ในช่วง 0 °C ถึง 45 °C



รูปที่ 3 แบตเตอรี่ในห้องเก็บแบตเตอรี่ของเรือดำน้ำ

การเชื่อมต่อพลังงานจากแบตเตอรี่ไปยังระบบต่างๆในเรือ (Load) จะเชื่อมต่อโดยสวิตช์ (Switch) และ ตู้สวิตช์ (Switchboard) ดังที่แสดงในรูปที่ 4 และ รูปที่ 5



รูปที่ 4 แบตเตอรี่สวิตช์



รูปที่ 2 ห้องเก็บแบตเตอรี่ของเรือดำน้ำก่อนบรรจุแบตเตอรี่



รูปที่ 5 ตู้สวิตช์ของแบตเตอรี่

สวิตช์นอกจากจะทำหน้าที่ตัดต่อพลังงานจากแบตเตอรี่ไปยังระบบต่างในเรือแล้ว ยังทำหน้าที่ป้องกันในกรณีที่มีการเกิดไฟฟ้าลัดวงจรไม่ให้เกิดกระแสไฟฟ้าลัดวงจรไปทำความเสียหายกับแบตเตอรี่ ตัวสวิตช์ของแบตเตอรี่ยังมีหน้าที่ในการต่อเชื่อมกระแสไฟฟ้าจากแหล่งอื่นๆมายังแบตเตอรี่ เช่นจากบนบก (Shore Connection) จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Charging Generator) ในกรณีที่ต้องการอัดกระแสไฟฟ้ากลับเข้าไปยังแบตเตอรี่

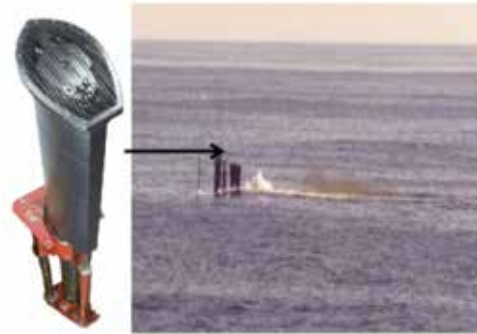
2. การอัดกระแสไฟฟ้าเข้าไปในแบตเตอรี่ (Battery Charging)

เรียกว่าการชาร์จแบตเตอรี่ เช่นเดียวกับแบตเตอรี่ที่ใช้ทั่วไปเช่นในรถยนต์หรือในโทรศัพท์มือถือ เมื่อแบตเตอรี่ถูกใช้พลังงานจนพลังงานที่มีอยู่หมดลง ต้องมีการชาร์จแบตเตอรี่เพื่อการใช้งานในครั้งต่อไป สำหรับแบตเตอรี่ในเรือดำน้ำสามารถทำการชาร์จได้จากสองแหล่งคือ

1. เมื่ออยู่ที่ท่าเรือสามารถใช้ไฟฟ้าจากบนบกต่อเข้าไปชาร์จแบตเตอรี่ในเรือได้ ทั้งนี้ที่ท่าเรือต้องมีระบบไฟฟ้ากระแสตรงรองรับในการชาร์จแบตเตอรี่ของเรือดำน้ำ

2. เมื่ออยู่ระหว่างการออกปฏิบัติการในทะเลในเรือดำน้ำจะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ การชาร์จแบตเตอรี่โดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นเรือดำน้ำจะต้องอยู่บนผิวน้ำ (Surface) หรือ ดำอยู่ในความลึกที่สามารถใช้กล้อง Periscope (Periscope Depth) เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะถูกขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ดีเซล ดังนั้นจึงต้องใช้อากาศจากภายนอกโดยดูดอากาศจากบนผิวน้ำ

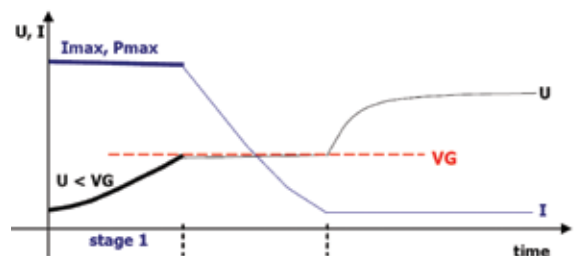
เมื่อเรืออยู่บนผิวน้ำ หรือ ดูดอากาศจากบนผิวน้ำผ่านท่อ Snorkel (Snorkel Mast) เมื่อเรือดำน้ำอยู่ในความลึกที่สามารถใช้กล้อง Periscope ตัวอย่างของท่อ Snorkel แสดงอยู่ในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ท่อ Snorkel (Snorkel Mast)

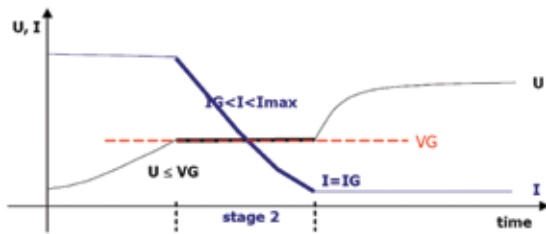
การชาร์จแบตเตอรี่ในเรือดำน้ำแบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ

ในระดับที่ 1 (Stage 1) จะชาร์จที่กระแสไฟฟ้า (I) จะมีค่าสูงและคงที่ในขั้นตอนนี้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) ในแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนใกล้ถึงจุดที่เรียกว่า Gassing Voltage ถ้าค่าความต่างศักย์เกินค่า Gassing Voltage จะเกิดก๊าซจากการชาร์จแบตเตอรี่ ณ จุดนี้การชาร์จแบตเตอรี่จะเปลี่ยนไปเป็นการชาร์จในระดับ 2 การชาร์จแบตเตอรี่ในระดับที่ 1 แสดงอยู่ในรูปที่ 7



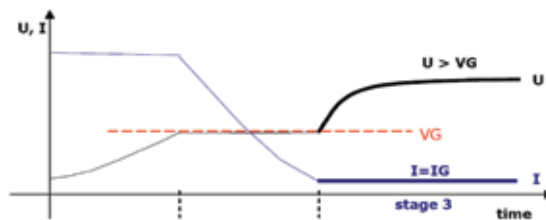
รูปที่ 7 การชาร์จแบตเตอรี่ในระดับที่ 1

ในระดับที่ 2 (Stage 2) จะชาร์จที่ค่าความต่างศักย์คงที่ซึ่งมีค่าน้อยกว่า Gassing Voltage กระแสไฟฟ้าในแต่ละเซลล์จะลดลงเรื่อยๆจนถึงจุดที่เรียกว่า Gassing Current ณ จุดนี้การชาร์จแบตเตอรี่จะเปลี่ยนไปเป็นการชาร์จในระดับ 3 การชาร์จแบตเตอรี่ในระดับที่ 2 แสดงอยู่ในรูปที่ 8



รูปที่ 8 การชาร์จแบตเตอรี่ในระดับที่ 2

การชาร์จในระดับที่ 3 (Stage 3) สามารถทำได้เมื่อเรืออยู่ที่ท่าเรือเท่านั้น ในระดับนี้ ค่าความต่างศักย์ของแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้น และค้อยๆคงที่เมื่อชาร์จใกล้เต็ม ในขณะที่กระแสจะอยู่คงที่ ณ จุด Gassing Current ในระดับนี้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นเกินค่าความต่างศักย์ Gassing Voltage ดังนั้นจะเกิดการเกิดก๊าซจากการชาร์จแบตเตอรี่ในระดับนี้ การชาร์จแบตเตอรี่ในระดับที่ 3 ให้เต็มจะต้องใช้เวลา 10 ถึง 12 ชั่วโมง การชาร์จแบตเตอรี่ในระดับที่ 3 แสดงอยู่ในรูปที่ 9

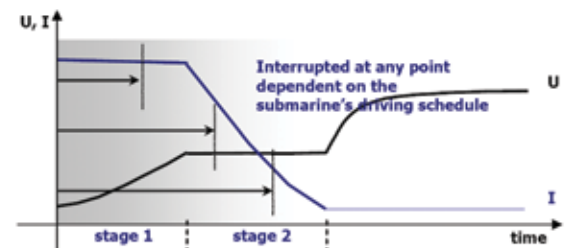


รูปที่ 9 การชาร์จแบตเตอรี่ในระดับที่ 3

ค่า Gassing Voltage จะมีค่าแตกต่างกันไปตามอุณหภูมิของน้ำกรดในแบตเตอรี่นอกจากระดับในการชาร์จแบตเตอรี่แล้ว การชาร์จแบตเตอรี่ยังมีวิธีการชาร์จที่แตกต่างกันซึ่งจะขึ้นอยู่กับ สถานการณ์ และช่วงเวลาที่เหมาะสม เช่นระหว่างการปฏิบัติการ เวลาที่สามารถขึ้นมาอยู่ในความลึกที่สามารถใช้ท่อ Snorkel ได้ หรือ เวลาที่เรืออยู่บนผิวน้ำ ดังนั้นวิธีการชาร์จจะสามารถแบ่งเป็น 4 วิธีคือ

2.1 การชาร์จพลังงานเพียงบางส่วน (Partial Charge)

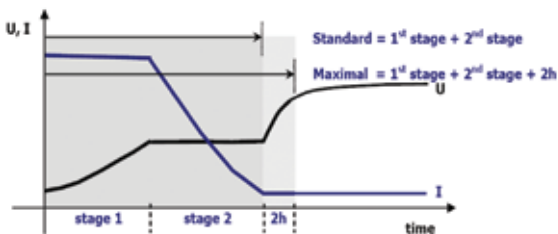
เป็นวิธีการชาร์จแบตเตอรี่ที่กระทำบ่อยมากที่สุดในช่วงการปฏิบัติการ การชาร์จแบตเตอรี่วิธีนี้จะเริ่มจากการชาร์จ ในระดับที่ 1 ซึ่งสามารถหยุดได้ ณ เวลาใดๆ ขึ้นอยู่กับเวลาที่อำนวยในการปฏิบัติการของเรือดำน้ำ เช่นหากเวลาที่เรือสามารถขึ้นมาอยู่ที่ความลึกที่สามารถใช้ท่อ Snorkel ได้มีน้อย ก็ใช้เวลาอันจำกัดที่มีในการชาร์จพลังงานเพียงบางส่วน และขึ้นอยู่กับสถานะของแบตเตอรี่ก่อนทำการชาร์จ หากพลังงานถูกใช้ไปมากก็จะต้องใช้เวลาในการชาร์जनาน หากเวลามีเพียงพอควรจะชาร์จแบตเตอรี่จนถึงช่วงกลางของการชาร์จในระดับที่ 2 การชาร์จพลังงานเพียงบางส่วนแสดงอยู่ในรูปที่ 10



รูปที่ 10 การชาร์จพลังงานเพียงบางส่วน (Partial Charge)

2.2 การชาร์จพลังงานในระดับปานกลาง (Intermediate Charge)

เป็นวิธีการชาร์จแบตเตอรี่ที่ทำให้พลังงานในแบตเตอรี่สามารถกลับคืนมา เกือบถึง 100 % การชาร์จแบตเตอรี่ในวิธีนี้จะทำได้คือ ใน 2 ลักษณะคือ สามารถทำการชาร์จแบตเตอรี่จนถึงช่วงปลายของการชาร์จในระดับที่ 2 ซึ่งเรียกว่าการชาร์จในลักษณะมาตรฐาน (Standard) หรือ สามารถทำการชาร์จแบตเตอรี่ต่อจากช่วงปลายของการชาร์จในระดับที่ 2 ไปอีก 2 ชั่วโมง เรียกว่าการชาร์จในลักษณะสูงสุด (Maximal) ซึ่งจะกระทำการชาร์จในลักษณะสูงสุดนี้ทุก 2 สัปดาห์ การชาร์จพลังงานในระดับปานกลางแสดงอยู่ในรูปที่ 11

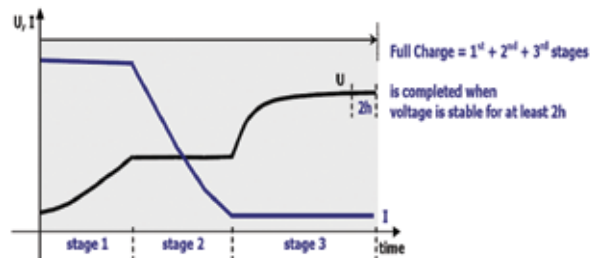


รูปที่ 11 การชาร์จพลังงานในระดับปานกลาง (Intermediate Charge)

2.3 การชาร์จพลังงานในระดับเต็ม (Full Charge)

เป็นวิธีการชาร์จแบตเตอรี่ที่ทำให้พลังงานในแบตเตอรี่สามารถกลับคืนมาจนเต็มความจุของแบตเตอรี่ การชาร์จพลังงานในระดับเต็มจะทำการชาร์จแบตเตอรี่จนถึงการชาร์จในระดับที่ 3 เมื่อแบตเตอรี่ถูกชาร์จจนได้รับพลังงานใกล้เคียงเต็มความจุของแบตเตอรี่ ค่าความต่างศักย์ในแต่ละเซลล์จะเริ่ม

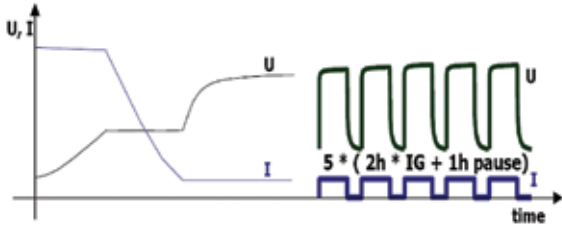
มีค่าคงที่ การสิ้นสุดการชาร์จพลังงานในระดับเต็มจะดูจากจุดสำคัญคือ หากในระยะเวลา 2 ชั่วโมงของช่วงปลายการชาร์จในระดับที่ 3 เมื่อค่าความต่างศักย์ของแต่ละเซลล์มีค่าคงที่ สามารถสิ้นสุดการชาร์จพลังงานในระดับเต็มได้ ค่าความต่างศักย์ในการชาร์จแบตเตอรี่จะลดลงตามอุณหภูมิคือ จะลดลง 5 mV/°C/เซลล์ การชาร์จพลังงานในระดับเต็มจะใช้เวลา 10 ถึง 18 ชั่วโมง การชาร์จพลังงานในระดับเต็มแสดงอยู่ในรูปที่ 12



รูปที่ 12 การชาร์จพลังงานในระดับเต็ม (Full Charge)

2.4 การชาร์จพลังงานให้แต่ละเซลล์มีพลังงานใกล้เคียงกัน (Equalizing Charge)

เป็นการชาร์จแบตเตอรี่ให้แต่ละเซลล์มีระดับพลังงานที่ใกล้เคียงกัน การชาร์จแบตเตอรี่โดยวิธีนี้จะเริ่มขึ้น 1 ชั่วโมงหลังการชาร์จในระดับที่ 3 โดยจะมีวงจรการชาร์จดังนี้ คือ จะทำการชาร์จที่ระดับกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดก๊าซ (Gassing Current) เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมงและหยุดพัก 1 ชั่วโมง คิดเป็น 1 วงรอบ จะทำการชาร์จวิธีนี้ทั้งหมด 5 วงรอบ เพื่อให้ พลังงานในแต่ละเซลล์มีระดับพลังงานใกล้เคียงกัน การชาร์จพลังงานในระดับเต็มแสดงอยู่ในรูปที่ 13



รูปที่ 13 การชาร์จพลังงานให้แก่เซลล์มีพลังงาน
 ใกล้เคียงกัน (Equalizing Charge)

3. ระบบช่วยการทำงานของแบตเตอรี่

การทำงานของแบตเตอรี่ในเรือดำน้ำนั้น แบตเตอรี่จำนวนหลายๆเซลล์ถูกบรรจุอยู่ในห้อง แบตเตอรี่ที่มีพื้นที่อันจำกัด มีพื้นที่สำหรับผู้ปฏิบัติการ เพื่อเข้าไปทำการบำรุงดูแลรักษาไม่มาก ประกอบด้วยงานบางอย่างในห้องแบตเตอรี่หาก ต้องทำโดยไม่มีระบบอัตโนมัติมาช่วยเหลือในการทำงานจะต้องเสียเวลามาก มีความเสี่ยงต่อการเกิด ความผิดพลาด หรือ ไม่สามารถกระทำได้เลยเช่น การวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในทุกเซลล์ของ แบตเตอรี่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีระบบช่วยในการ ทำงานของแบตเตอรี่ ได้แก่

3.1 ระบบตรวจการทำงานของแบตเตอรี่ (Battery Monitoring System)

ดังที่กล่าวข้างต้นเซนเซอร์จะถูกติดตั้งเพื่อวัด ค่าความต่างศักย์และบางเซลล์จะมีเซนเซอร์เพื่อวัด อุณหภูมิ หากค่าความต่างศักย์น้อยกว่าค่าที่ใช้งาน ได้ หรือ ค่าอุณหภูมิสูงกว่าค่าปรกติระบบตรวจการ ทำงานของแบตเตอรี่ก็จะส่งสัญญาณเตือน (Warning and Alarm) สำหรับเซนเซอร์ที่ใช้ในการวัดกระแส ไฟฟ้า จะทำการวัดกระแสของ แบตเตอรี่ย่อยแต่ละ กลุ่มเซลล์ เซนเซอร์และตัวรับสัญญาณจากเซนเซอร์

(Data Transmit and Receiver) จะถูกติดตั้งอยู่ ในห้องแบตเตอรี่ เซนเซอร์ที่ใช้เพื่อวัดค่าความต่าง ศักย์จะส่งสัญญาณผ่านสายสัญญาณเซนเซอร์ที่ใช้ เพื่อวัดอุณหภูมิจะส่งสัญญาณแบบไร้สาย (Wireless) เซนเซอร์และตัวรับสัญญาณจะรับสัญญาณผ่าน การแพร่คลื่นในอากาศจากเซนเซอร์ เซนเซอร์ที่ใช้ เพื่อวัดอุณหภูมิและ ตัวรับสัญญาณแสดงอยู่ในรูป ที่ 14 15 16 และ 17



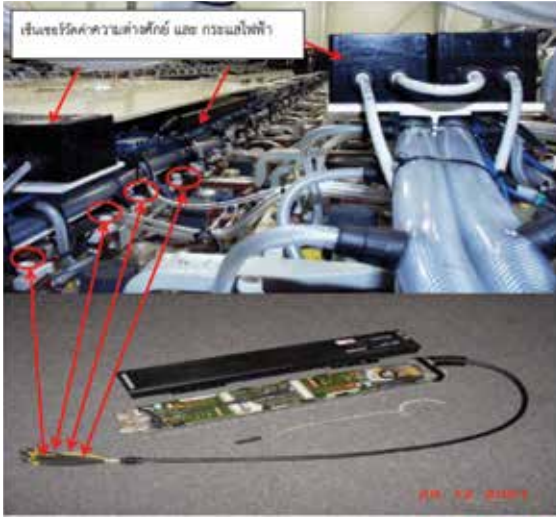
รูปที่ 14 เซนเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 15 ตัวรับสัญญาณจากเซนเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 16 เซนเซอร์สำหรับวัดค่าความต่างศักย์ และ กระแสไฟฟ้า



รูปที่ 17 สายต่อจากขั้วแบตเตอรี่ (ในวงกลมสีแดง) ไปยังเซ็นเซอร์สำหรับวัดค่าความต่างศักย์ และกระแสไฟฟ้า



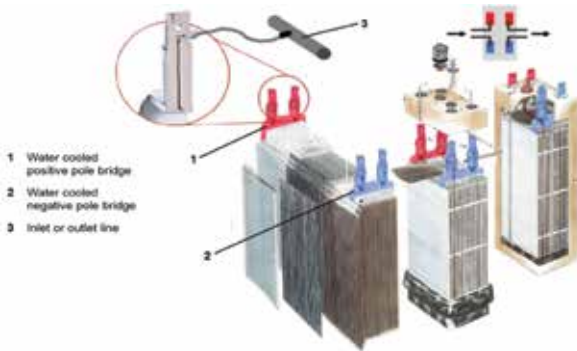
รูปที่ 18 รูปของจอแสดงผลและตัวอย่างของผลบนจอ

นอกจากนี้ยังมีเซ็นเซอร์เพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าของแต่ละแบตเตอรี่ย่อยเช่นกัน ถ้ากระแสไฟฟ้าของแต่ละแบตเตอรี่ย่อยไม่อยู่ในช่วงของค่าปกติ ระบบตรวจการทำงานของแบตเตอรี่ก็จะส่งสัญญาณเตือนให้ทราบเช่นกัน โดยค่าที่วัดได้และสัญญาณเตือนจะถูกส่งไปยังจอแสดงผล (Monitor) ซึ่งนอกจากจะแสดงผลของค่าที่วัดได้และสัญญาณเตือนต่างๆแล้ว บนจอแสดงผลยังสามารถเลือกให้แสดงผลอื่นๆเช่น จำนวนพลังงานที่ถูกใช้ไปในแบตเตอรี่ เวลาที่เหลืออยู่ที่สามารถใช้แบตเตอรี่ได้ในอัตราสิ้นเปลืองพลังงาน ณ เวลาปัจจุบัน เวลาที่ต้องใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่จนเต็ม รูปของจอแสดงผลและตัวอย่างของผลบนจอ แสดงอยู่ในรูปที่ 18

3.2 ระบบระบายความร้อนของแบตเตอรี่ระบบน้ำกลั่น และ ระบบวัดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำกลั่น (Battery Cooling System Distillated Water and Conductivity Measuring System)

เมื่อมีการชาร์จ หรือ มีการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่จะเกิดความร้อนทำให้อุณหภูมิในแบตเตอรี่มีค่าสูงขึ้นต้องมีการระบายความร้อนและในการชาร์จแบตเตอรี่จนเต็มแบตเตอรี่ทุกเซลล์จะต้องมีอุณหภูมิที่เท่ากัน ซึ่งโดยปกติแบตเตอรี่เซลล์ที่อยู่บริเวณมุมห้องแบตเตอรี่และเซลล์แถวริมรอบห้องแบตเตอรี่จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าเซลล์แบตเตอรี่ที่อยู่ในบริเวณกลางห้องหากมีความแตกต่างในอุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่มากจะไม่สามารถชาร์จแบตเตอรี่จนมีพลังงานเต็มทุกเซลล์ได้ ดังนั้นเพื่อไม่ให้แบตเตอรี่มีอุณหภูมิสูงเกินช่วงที่เป็นอุณหภูมิใช้งานของแบตเตอรี่ ซึ่งไม่ควรเกิน 30 °C

และเพื่อให้สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้จนเต็มประสิทธิภาพ ระบบระบายความร้อนของแบตเตอรี่จึงถูกนำมาใช้โดยมีการทำงานดังนี้ ระบบนี้จะใช้น้ำกลั่นเพื่อดับความร้อนโดยจะมีท่อต่อน้ำกลั่นเข้าทางซ้ายของแบตเตอรี่ซึ่งแบตเตอรี่ของเรือดำน้ำจะมีขั้วบวกสองขั้วและขั้วลบสองขั้วอยู่บนเซลล์แบตเตอรี่ โดยขั้วบวกทั้งสองจะเชื่อมต่อกัน และขั้วลบทั้งสองก็เชื่อมต่อกันเช่นกัน ในแกนกลางของขั้วจะมีท่อเดินเข้าไปในเซลล์ของแบตเตอรี่ เมื่อน้ำกลั่นได้เข้าไปลดอุณหภูมิในเซลล์แล้วก็จะออกมาทางอีกขั้วหนึ่ง รูปที่ 19 แสดงตัวอย่างของการไหลของน้ำกลั่นเข้าขั้วของเซลล์แบตเตอรี่



รูปที่ 19 ตัวอย่างของการไหลของน้ำกลั่นเข้าขั้วของเซลล์แบตเตอรี่

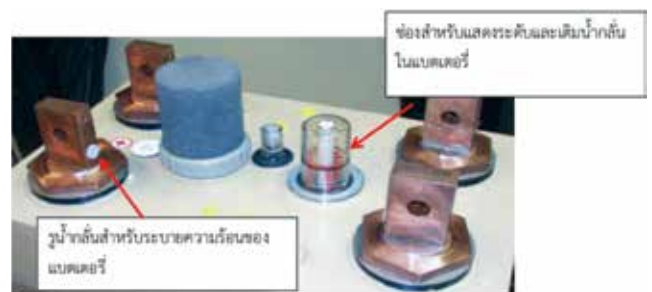
ทุกเซลล์จะมีระบบดับความร้อนของแบตเตอรี่ที่อยู่ เพื่อให้ น้ำกลั่นสามารถเข้าไปในแต่ละเซลล์ระบบจะใช้อากาศอัดที่มีความดัน 3 bar เพื่อให้ น้ำกลั่นไหลวนเข้าไปในเซลล์ เมื่อน้ำกลั่นรับความร้อนภายในเซลล์แล้ว น้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิสูงจะถูกนำไปลดอุณหภูมิโดยใช้น้ำทะเล เนื่องจากระบบดับความร้อนของแบตเตอรี่ต้องมีการสัมผัสของน้ำกลั่นกับขั้วของแบตเตอรี่จึงต้องมีการวัดค่าความนำไฟฟ้าของ

น้ำกลั่น ค่าปรกติจะอยู่ที่ระดับไม่เกิน 10 μS ถ้ามีค่าสูงเกินนี้ น้ำกลั่นจะถูกนำไปลดค่าความนำไฟฟ้าโดยอุปกรณ์ที่เรียกว่า Ion Exchanger ในรูปที่ 20 ก่อนจะนำกลับมาใช้ในระบบดับความร้อนของแบตเตอรี่ต่อไป



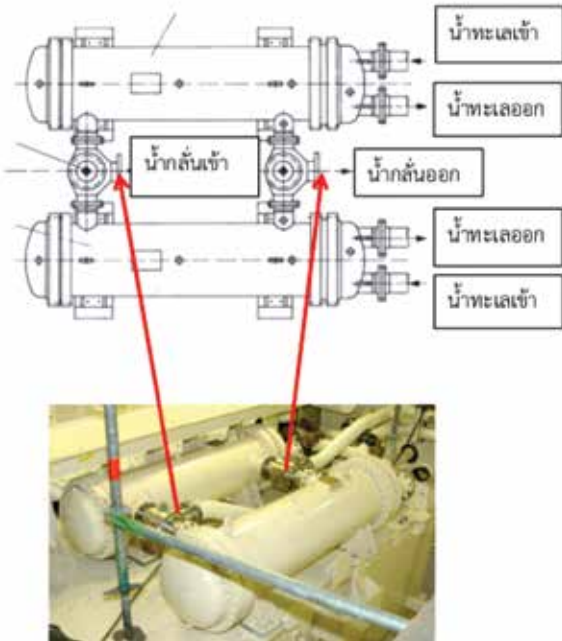
รูปที่ 20 Ion Exchanger

เมื่อระดับน้ำกรดในเซลล์แบตเตอรี่มีระดับต่ำกว่าค่าปรกติโดยแต่ละเซลล์จะมีช่องแสดงระดับและช่องเติมน้ำกลั่นในแบตเตอรี่ รูปที่ 21 แสดงตัวอย่างของช่องสำหรับแสดงระดับและเติมน้ำกลั่นในแบตเตอรี่ นอกจากนี้ น้ำกลั่นยังถูกนำมาใช้ เพื่อทำความสะอาดแบตเตอรี่ในห้องแบตเตอรี่อีกด้วย



รูปที่ 21 ช่องสำหรับแสดงระดับและเติมน้ำกลั่นในแบตเตอรี่

หลังจากน้ำกลั่นดูดซับความร้อนจากภายในแบตเตอรี่แล้วหากอุณหภูมิของน้ำกลั่นมีค่าเกิน 33 °C น้ำกลั่นจะถูกนำไปดับความร้อนโดยน้ำทะเลอีกทีหนึ่ง ก่อนนำวนกลับไปดูดซับความร้อนในแบตเตอรี่ โดยน้ำกลั่นจะถูกนำไปผ่านถังดับความร้อนแบตเตอรี่ (Battery Cooler) ในรูปที่ 22 เพื่อดับความร้อนโดยน้ำทะเล น้ำทะเลจะถูกปั๊มสูบเข้ามาในถังดับความร้อนของแบตเตอรี่ ดูดซับความร้อนจากน้ำกลั่น และ ถูกสูบออกไปยังภายนอกตัวเรือ

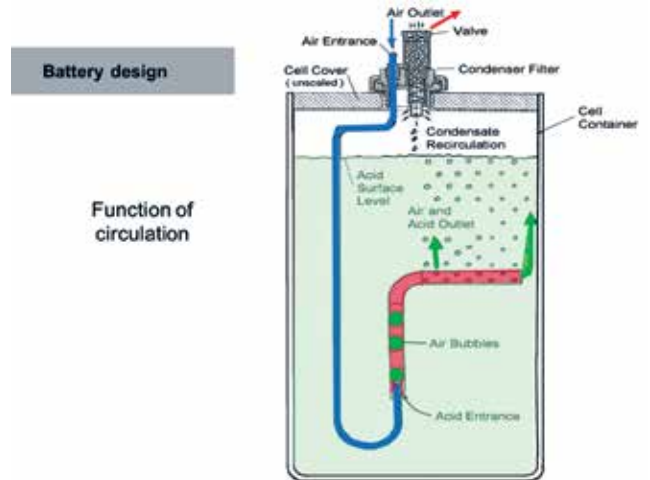


รูปที่ 22 ถังดับความร้อนแบตเตอรี่ (Battery Cooler)

3.3 ระบบการไหลวนของน้ำกรดในเซลล์แบตเตอรี่⁴ (Acid Circulation System)

ถ้าน้ำกรดในแบตเตอรี่เซลล์มีการตกตะกอน ประสิทธิภาพในการคายพลังงานของเซลล์แบตเตอรี่จะลดลง ดังนั้นจึงต้องมีการป้องกันไม่ให้เกิดการตก

ตะกอนของน้ำกรด โดยแต่ละเซลล์จะมีท่อต่ออากาศอัดท่อนี้จะต่อลงไปยังด้านล่างของเซลล์แบตเตอรี่ อากาศอัดจะลงไปจนให้น้ำกรดเกิดการไหลวนโดยฟองอากาศที่ออกจากท่อจะลอยขึ้นบนผิวน้ำกรด และถูกระบายออกจากเซลล์แบตเตอรี่มายังอากาศในตัวเรือ แผนภาพแสดงการไหลวนของน้ำกรดแสดงอยู่ในรูปที่ 24



รูปที่ 24 แผนภาพแสดงการไหลวนของน้ำกรด

อากาศอัดนี้จะถูกส่งมาจากเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) ซึ่งใช้เฉพาะสำหรับระบบการไหลวนของน้ำกรด โดยจะมีความดันอากาศในท่ออยู่ที่ 1.3 bar โดยแต่ละเซลล์จะใช้อากาศอัด 45 – 105 ลิตรต่อชั่วโมงขึ้นอยู่กับ สถานะสภาพว่าเซลล์แบตเตอรี่มีการใช้งานอยู่อย่างไร หรือ อยู่ในระหว่างการชาร์จแบตเตอรี่ เมื่อฟองอากาศลอยออกแบตเตอรี่ก็จะกลับเข้ามาพร้อมกับอากาศในตัวเรือต่อไป

3.4 ระบบการกำจัดก๊าซไฮโดรเจน (H2 Elimination System)

ในการชาร์จแบตเตอรี่ในระดับที่ 3 (Charging Stage 3) หรือเมื่อแบตเตอรี่มีการคายพลังงานจะมีการเกิดก๊าซไฮโดรเจนขึ้น เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนมีความไวไฟจึงเป็นอันตรายอย่างยิ่งโดยเฉพาะในระบบอากาศปิดเช่นเรือดำน้ำ จึงจำเป็นต้องมีการนำระบบการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนมาใช้ระบบนี้ประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักคือตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic) ตัวอย่างอยู่ในรูปที่ 25



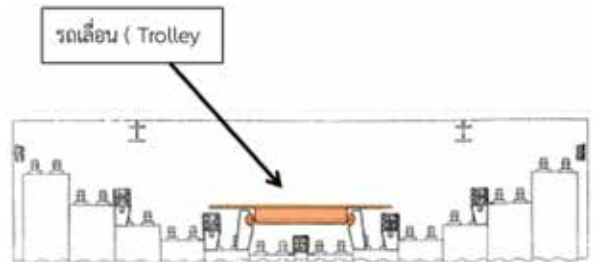
รูปที่ 25 ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic)

การทำงานคือเมื่อก๊าซไฮโดรเจนเข้ามาสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยา ก๊าซไฮโดรเจนจะถูกรวมกับก๊าซออกซิเจนที่มีอยู่ในตัวเรือดำน้ำ และรวมกันกลายเป็นไอน้ำ ตัวเร่งปฏิกิริยามีลักษณะเป็นตะแกรงและมีติดตั้งกระจายอยู่ในเรือดำน้ำ ระบบนี้ไม่ต้องใช้พลังงานในการสร้างปฏิกิริยาจึงไม่มีการสูญเสียพลังงานจากแบตเตอรี่

3.5 ระบบช่วยในการบำรุงรักษา ใช้งานและเปลี่ยนแบตเตอรี่ (Battery Servicing System)

เนื่องจากห้องแบตเตอรี่เป็นห้องที่มีพื้นที่จำกัด การเข้าไปบำรุงรักษา ใช้งาน กระทำได้ยาก จึงจำเป็นต้องมีระบบช่วยในการบำรุงรักษาใช้งาน และเมื่อจำเป็นต้องมีระบบช่วยในการเปลี่ยน

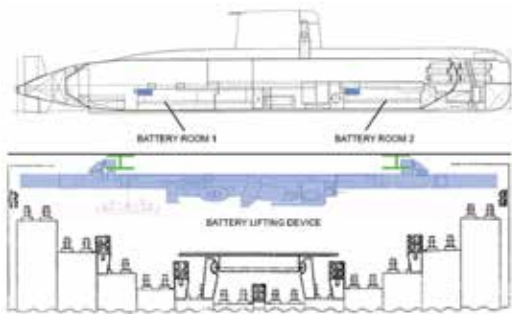
แบตเตอรี่ ในการบำรุงรักษาในห้องแบตเตอรี่จะมีรถเลื่อน (Trolley) พาดอยู่บนเซลล์แบตเตอรี่ซึ่งอยู่กลางห้องดังที่แสดงในรูปที่ 26



รูปที่ 26 รถเลื่อน (Trolley) ในห้องแบตเตอรี่

ผู้ปฏิบัติงานสามารถใช้รถเลื่อนเพื่อเข้าไปบำรุงรักษาเช่นเติมน้ำกลั่น หรือ ทำความสะอาดเซลล์แบตเตอรี่ต่างๆในห้องแบตเตอรี่ได้ ในการเปลี่ยนแบตเตอรี่ เมื่อมีการนำเซลล์แบตเตอรี่ลงไปติดตั้งในห้องแบตเตอรี่ทางเข้าออกของเซลล์แบตเตอรี่มีอยู่ช่องทางเดียวซึ่งพอดีกับเซลล์หนึ่งเซลล์และตำแหน่งของช่องทางนี้จะอยู่บริเวณกลางห้องแบตเตอรี่ ดังนั้นเมื่อนำเซลล์แบตเตอรี่ลงไปติดตั้งในห้องแบตเตอรี่เซลล์ที่อยู่ด้านริมจะถูกนำลงไปก่อน การเคลื่อนเซลล์แบตเตอรี่จากกลางห้องไปยังริมห้องจำเป็นต้องใช้เครน ซึ่งเครนนี้มีลักษณะเป็นคานแบบติดตั้งชั่วคราว โดยทางด้านริมของห้องแบตเตอรี่ตามแนวยาวของตัวเรือทั้งสองข้างจะมีรางเพื่อคานของเครนพาดทางปลายทั้งสองในแนวขวางคานของเครนจะสามารถเคลื่อนที่ตลอดแนวยาวของห้องแบตเตอรี่ โดยจะมีรอกเพื่อยกเซลล์แบตเตอรี่ไปยังตำแหน่งต่างๆในห้องโดยจะติดตั้งเซลล์เริ่มจากริมทั้งสองข้างมายังกลางห้องแบตเตอรี่ ดังนั้นหากต้องการเปลี่ยนเซลล์ที่อยู่ด้านในต้องมีการยกเซลล์แบตเตอรี่ที่อยู่ตรงกลางห้องออก และเซลล์แบตเตอรี่ที่อยู่ถัดไปเรื่อยๆจนถึงเซลล์ที่ต้องการเปลี่ยน

เครนและตัวอย่างการยกเซลล์แบตเตอรี่แสดงในรูป
ที่ 27 และ รูปที่ 28



รูปที่ 27 เครนสำหรับยกเซลล์แบตเตอรี่



รูปที่ 28 การบรรจุเซลล์แบตเตอรี่โดยใช้เครน

4. บทสรุป

ที่กล่าวมาข้างต้นเป็นระบบการทำงาน และระบบช่วยในการทำงานของแบตเตอรี่ในเรือดำน้ำ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะสำหรับเรือดำน้ำดีเซลไฟฟ้า ซึ่งใช้พลังงานจากแบตเตอรี่เป็นหลัก ในการออกแบบ

ระบบเหล่านี้จำเป็นต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดทั้งในด้านพื้นที่ปฏิบัติงานในเรือ ความสามารถในการควบคุมใช้งานได้โดยกำลังพลที่มีจำนวนจำกัด และการปฏิบัติการของเรือดำน้ำซึ่งเวลาในการปฏิบัติการก็จะอยู่ใต้น้ำเป็นหลัก

เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://www.systems-sunlight.com/>
- [2] Schnell, A. (2013). *Battery Monitoring System* [PowerPoint Slides]. Presented at Submarine Technology and Knowledge Training for Royal Thai Navy, ThyssenKrupp Marine Systems, Kiel, Germany, July.
- [3] Schnell, A. (2013). *Battery Cooling System* [PowerPoint Slides]. Presented at Submarine Technology and Knowledge Training for Royal Thai Navy, ThyssenKrupp Marine Systems, Kiel, Germany, July.
- [4] Schnell, A. (2013). *Acid Circulating System* [PowerPoint Slides]. Presented at Submarine Technology and Knowledge Training for Royal Thai Navy, ThyssenKrupp Marine Systems, Kiel, Germany, July.
- [5] Schnell, A. (2013). *Battery Service System* [PowerPoint Slides]. Presented at Submarine Technology and Knowledge Training for Royal Thai Navy, ThyssenKrupp Marine Systems, Kiel, Germany, July.



การขจัดคราบน้ำมันในทะเล Treatment of Oil Spill in the Ocean

น.อ.หญิง รศ.ศิริรัตน์ บุญโสภณ

กองวิชาวิศวกรรมอุทกศาสตร์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ
ตำบลปากน้ำ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ 10270

บทคัดย่อ

คราบน้ำมันในทะเลเลืมีที่มาจากหลายๆ สาเหตุ เช่น อุบัติเหตุเรือชนกัน อุบัติเหตุจากการขนถ่ายน้ำมันในทะเล การลักลอบทิ้ง หรือ แม้กระทั่งมาจากการรั่วไหลของอุตสาหกรรมแท่นขุดเจาะน้ำมันกลางทะเล ผลที่เกิดขึ้นจากสาเหตุเหล่านี้คือก่อให้เกิดมลพิษทางทะเลที่ยากต่อการขจัด เนื่องจากคราบน้ำมันจะไหลกระจายไปได้ในระยะทางไกลตามทิศทางของลมและกระแสน้ำ และไปสะสมอยู่ในระบบนิเวศน์ต่างๆ เราจึงควรศึกษาวิธีการขจัดคราบน้ำมันหลังจากเกิดเหตุในกรณีต่างๆ โดยมีแผนป้องกันและขจัดมลพิษทางน้ำเนื่องจากน้ำมันในระดับชาติ ซึ่งกล่าวถึงหน่วยงานที่รับผิดชอบ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องและวิธีการ ขั้นตอนในการขจัดคราบน้ำมันในทะเล รวมทั้งวิธีการ สารเคมีที่ใช้ในการขจัดคราบน้ำมันในทะเล เพื่อผู้เกี่ยวข้องหรือผู้ประสบเหตุได้เข้าใจและปฏิบัติได้อย่างถูกต้อง โดยยกตัวอย่างกรณีศึกษาจากเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลในระหว่างการขนถ่ายน้ำมันที่บริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จ.ระยอง ของ บมจ.พีทีที โกลบอล เคมิคอล (PTTGC)

Abstract

Oil spill happened due to numerous reasons such as: ship collision, accident from transit of oil in the sea, illegal dumping, and even the leakage from oil rig. The effect of oil spill made pollution in the sea hard to eliminate because the oil slick spread into far distance following the wind and tide and accumulated in various ecology. We had to study the way to get rid of the oil spill after various incidents by having the national plan. This plan consisted of the responsible party for an accident, the procedure to eliminate the oil spill, and the chemical used so the parties involved can understand and act accordingly. This paper brought the incident during the transportation of oil in Samed island, Rayong, as an case study.



1. บทนำ

เมื่อหลายปีก่อนเกิดกรณีน้ำมันดิบรั่วไหลของ บมจ.พีทีที โกลบอล เคมิคอล (PTTGC) บริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จ.ระยอง เหตุเกิดในตอนเช้าของวันที่ 27 ก.ค.2556 ขณะเรือบรรทุกน้ำมันกำลังถ่ายน้ำมันดิบผ่านท่อบริเวณรับน้ำมันมายังโรงกลั่นน้ำมันของ บมจ.พีทีที โกลบอล เคมิคอล (PTTGC) ได้เกิดเหตุที่อ่าวพร้าวรับน้ำมันดิบขนาด 16 นิ้วระเบิด ทำให้น้ำมันรั่วบริเวณท่อบริเวณรับน้ำมันดิบอยู่ห่างจากชายฝั่งท่าเรือมาตาพุด จ.ระยอง ไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ประมาณ 20 กม. น้ำมันดิบ (คาดว่ามากกว่า) 50,000 ลิตร ไหลลงทะเลชายฝั่งท่าเรือมาตาพุด (ชาวไทยรัฐฉบับวันที่ 28 ก.ค.2556) เมื่อเกิดกรณีเช่นนี้ สิ่งที่น่าทึ่งคือไม่ได้เกิดผลกระทบที่เกิดจากกรณีน้ำมันดิบรั่วไหลลงทะเล ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมากมาต่อสิ่งแวดล้อมแต่ก่อนที่จะเกิดผลกระทบอย่างมากมาย สิ่งแรกที่เราควรกระทำหรือจำเป็นต้องกระทำในเบื้องต้นเมื่อเกิดกรณีเช่นนี้คือ วิธีการและขั้นตอนในการจัดการน้ำมันในทะเลเพื่อลดหรือบรรเทาผลกระทบที่เกิดขึ้นในภายหลัง

ก่อนอื่นเรามาดูในภาพรวมของสาเหตุการเกิดน้ำมันรั่วไหลกันก่อนว่าโดยส่วนใหญ่แล้วอะไรที่เป็นสาเหตุที่พบบ่อยของการรั่วไหลของน้ำมันในประเทศไทย จากสถิติของกรมควบคุมมลพิษรายงานว่าในระหว่างปี พ.ศ. 2519 – 2553 เกิดเหตุน้ำมันรั่วไหลที่ได้ดำเนินการตรวจสอบและจัดการแก้ไขร่วมกับหน่วยงานอื่นที่เกี่ยวข้อง 124 เหตุการณ์ ส่วนใหญ่เป็นการรั่วไหลในปริมาณเล็กน้อย สาเหตุของการรั่วไหลที่พบมากที่สุดคือ

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเดินเรือ เก็บบัก หรือสูบลายน้ำมันชำรุด

2. รั่วไหลระหว่างการสูบลายน้ำมันกลางทะเลจากเรือขนาดใหญ่ลงสู่เรือขนาดเล็ก หรือระหว่างเรือกับท่าเทียบเรือซึ่งเป็นกรณีที่เรากำลังศึกษากันอยู่

3. การลักลอบทิ้ง เช่น ปล่อยทิ้งน้ำมันชนิดเดิมก่อนบรรทุกน้ำมันชนิดใหม่ หรือลักลอบถ่ายน้ำมัน

4. เรืออัปปาง เนื่องจากเรือโดนกัน ชนหิน โสโครก/หินฉลาม หรือไฟไหม้

5. สาเหตุอื่นๆ เช่น รั่วไหลจากแท่นขุดเจาะปิโตรเลียมในทะเล น้ำทิ้งจากฝั่ง หรือรั่วไหลตามธรรมชาติ

แผนป้องกันและขจัดมลพิษทางน้ำเนื่องจากน้ำมันแห่งชาติ จำแนกปริมาณน้ำมันรั่วไหลเป็น 3 ระดับ (Tier) ได้แก่

1. ระดับที่ 1 (Tier I) ปริมาณรั่วไหลไม่เกิน 20 ตันลิตร ส่วนใหญ่เกิดขึ้นระหว่างขนถ่ายน้ำมัน ผู้ที่ทำให้เกิดน้ำมันรั่วไหลต้องเป็นผู้รับผิดชอบในการจัดการน้ำมัน และ/หรือได้รับความช่วยเหลือจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยต้องแจ้งให้กรมเจ้าท่าทราบก่อน

2. ระดับที่ 2 (Tier II) รั่วไหลมากกว่า 20 - 1,000 ตันลิตร อาจเกิดจากเรือโดนกัน การจัดการน้ำมันต้องร่วมมือกันระหว่างภาคเอกชนและภาครัฐ ตามแผนป้องกันและขจัดมลพิษทางน้ำเนื่องจากน้ำมันแห่งชาติ และต้องแจ้งให้กรมเจ้าท่าทราบก่อน หากเกินขีดความสามารถของทรัพยากรที่มี อาจต้องขอรับการสนับสนุนจากต่างประเทศ

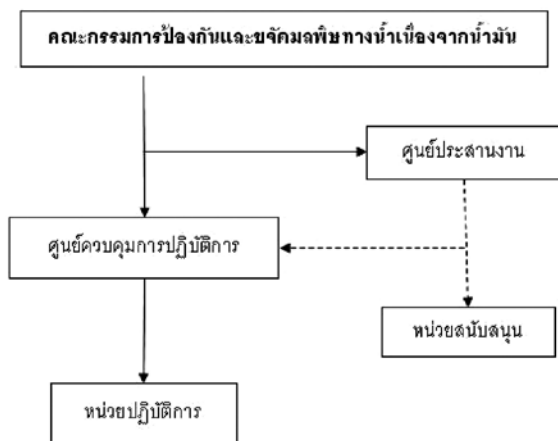
3. ระดับที่ 3 (Tier III) ปริมาณรั่วไหลมากกว่า 1,000 ตันลิตร อาจเกิดจากอุบัติเหตุที่รุนแรง การ



บริหารจัดการน้ำมันในระดับนี้ต้องการความร่วมมือจากหน่วยงานต่างๆในประเทศ และต้องอาศัยความช่วยเหลือระดับนานาชาติ

2. หน่วยงานที่รับผิดชอบ

เมื่อเกิดน้ำมันรั่วไหลในทะเลไทย หน่วยงานใดบ้างที่ต้องเข้ามาเกี่ยวข้องนอกเหนือจากบริษัทน้ำมันต้นเหตุ ประเทศไทยได้ดำเนินการบริหารจัดการน้ำมันในแหล่งน้ำโดยปฏิบัติตาม “แผนป้องกันและขจัดมลพิษทางน้ำเนื่องจากน้ำมันแห่งชาติ” โดยมีหน่วยงานหลักในการดำเนินการขจัดและแก้ไขปัญหาจากคราบน้ำมันรั่วไหล คือคณะกรรมการป้องกันและขจัดมลพิษทางน้ำเนื่องจากน้ำมัน (กปน.) จัดตั้งขึ้นเมื่อวันที่ 6 มกราคม 2538 โดยระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยการป้องกันและขจัดมลพิษทางน้ำเนื่องจากน้ำมัน พ.ศ.2538 โดยมีโครงสร้างการทำงานร่วมกับหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ ศูนย์ควบคุมการปฏิบัติการ ศูนย์ประสานงาน หน่วยปฏิบัติการ และหน่วยสนับสนุน ตามแผนภาพ



กปน. มีหน้าที่ควบคุม กำกับ ดูแล และรับผิดชอบในการขจัดมลพิษทางน้ำเนื่องจากน้ำมัน ติดตาม ประเมินผลการปฏิบัติงานตามแผนป้องกันและขจัดมลพิษทางน้ำเนื่องจากน้ำมันแห่งชาติ รวมทั้งการเผยแพร่ ประชาสัมพันธ์ และแถลงข่าว ด้านการป้องกันและขจัดมลพิษทางน้ำเนื่องจากน้ำมัน และรายงานผลการดำเนินงานให้คณะรัฐมนตรีรับทราบ ซึ่งจะปฏิบัติงานร่วมกับหน่วยงานต่างๆ สามารถอธิบายแยกรายละเอียดตามศูนย์การปฏิบัติงานได้ดังนี้

2.1 ศูนย์ประสานงาน ดำเนินการโดยกรมเจ้าท่า มีหน้าที่แจ้งหน่วยงานผู้รับผิดชอบจัดตั้งศูนย์ควบคุมการปฏิบัติการและแจ้งยุติการปฏิบัติการ และประสานกับหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้องรวบรวมหลักฐานเพื่อดำเนินการตามกฎหมายต่อผู้ก่อให้เกิดมลพิษให้ชดใช้ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการบริหารจัดการน้ำมัน และประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนรับทราบเกี่ยวกับการดำเนินการขจัดคราบน้ำมัน

2.2 ศูนย์ควบคุมการปฏิบัติการ ดำเนินการโดยกรมเจ้าท่าหรือกองทัพเรือ มีหน้าที่กำหนดแผนและยุทธวิธีในการจัดการคราบน้ำมัน ประสานศูนย์ประสานงานในการขอรับการสนับสนุนด้านทรัพยากรที่เกี่ยวข้องในการจัดการคราบน้ำมัน ตลอดจนพิจารณาผลการปฏิบัติการขจัดคราบน้ำมันว่าสำเร็จลุล่วงหรือไม่ กรณีแล้วเสร็จจะแจ้งให้ศูนย์ประสานงานทราบเพื่อขออนุมัติ กปน. ยุติการปฏิบัติการขจัดคราบน้ำมัน

2.3 หน่วยปฏิบัติการ ประกอบด้วย กรมเจ้าท่า กองทัพเรือ หน่วยงานของจังหวัดในพื้นที่เกิดเหตุ กรุงเทพมหานคร และสมาคมอนุรักษ์สภาพแวดล้อมของกลุ่มอุตสาหกรรมน้ำมัน มีหน้าที่ดำเนินการ



ป้องกันและขจัดคราบน้ำมันโดยปฏิบัติการกิจตามที่ได้รับมอบหมายจากศูนย์ควบคุมการปฏิบัติการและรายงานความก้าวหน้า ตลอดจนอุปสรรคที่เกิดขึ้นต่อศูนย์ควบคุมการปฏิบัติการ

2.4 หน่วยสนับสนุน ประกอบด้วย กองทัพอากาศ กองทัพบก กรมการขนส่งทางอากาศ กองบังคับการตำรวจน้ำ กรมอุตุนิยามวิทยา กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย (สำนักเลขาธิการป้องกันภัยฝ่ายพลเรือน) สำนักงานนโยบายแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมมลพิษ กรมประมง กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร กรมศุลกากร สำนักงานปลัดกระทรวงคมนาคม กรมสนธิสัญญาและกฎหมาย กรมบัญชีกลาง สำนักงานตรวจคนเข้าเมือง การท่าเรือแห่งประเทศไทย การสื่อสารแห่งประเทศไทย กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ กรมโรงงานอุตสาหกรรม การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย และกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช โดยมีหน้าที่ให้การสนับสนุนทางวิชาการ อุปกรณ์ ยานพาหนะ กำลังคน และอื่นๆ ตามแต่จะได้รับการร้องขอ

เห็นภาพในการปฏิบัติงานร่วมกันแล้ว กรณีที่อ่าวพร้าว จ.ระยอง เราจึงเห็นหลายๆ หน่วยงานประสานงานกันโดยเฉพาะกองทัพเรือซึ่งถือว่าเป็นหน่วยงานแรกๆ ที่เข้าถึงพื้นที่เนื่องจากมีกำลังคนและกำลังเรือช่วยสนับสนุนเต็มที่ด้วยเป็นหน้าที่และสำนึกในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ต่อไปสิ่งที่ควรกระทำเป็นอันดับแรกคือหาวิธีการกำจัดคราบน้ำมันออกจากทะเลให้ได้โดยเร็วที่สุดและมากที่สุดเพื่อป้องกันการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณนั้นทั้งทางกายภาพและชีวภาพ

3. วิธีการขจัดคราบน้ำมัน

การขจัดคราบน้ำมันที่รั่วไหลสามารถกระทำได้หลายวิธี โดยพิจารณาจากข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมด เช่น ชนิดของน้ำมัน ปริมาณการรั่วไหล ทิศทางและความเร็วของกระแสน้ำ กระแสลม สภาพอากาศ ลักษณะทางภูมิศาสตร์และสิ่งแวดล้อม ซึ่งวิธีการขจัดคราบน้ำมันสามารถแบ่งได้วิธีการ 5 วิธีดังนี้

3.1 การปล่อยให้สลายตัวตามธรรมชาติ

เหมาะสมในกรณีที่มีการรั่วไหลจำนวนเล็กน้อย และชนิดของน้ำมันที่รั่วไหลสามารถสลายตัวเองได้ดีในธรรมชาติ เช่น น้ำมันดีเซล แต่ยังคงมีการติดตามและเฝ้าระวังผลกระทบของคราบน้ำมันว่าจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณใกล้เคียงในลักษณะใดบ้าง เพื่อหาวิธีแก้ไขที่เหมาะสมต่อไป

3.2 การกักและเก็บ

ถือเป็นวิธีทางกายภาพ ทำได้โดยใช้ทุ่นน้ำมัน (boom) จำกัดขอบเขตการแพร่กระจายของน้ำมัน ให้มีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น จึงใช้เครื่องเก็บน้ำมัน (skimmer) เก็บคราบน้ำมันได้อย่างมีประสิทธิภาพ หรือใช้วัสดุดูดซับคราบน้ำมันอื่นๆ เช่น ถังโฟม ไม้ฟางข้าว เป็นต้น

3.3 ใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน

วิธีทางเคมีและชีวภาพที่ใช้ร่วมกันเป็นวิธีการที่ใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันบนผิวน้ำได้ในระยะเวลาอันสั้น เช่น การใช้สารเคมีที่ทำให้ไขมันแตกตัวเป็นโมเลกุลเล็กๆ (oil spill dispersant) หรือสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ (bio surfactant) ที่ผลิตจากจุลินทรีย์บางชนิด สารเคมีที่นำมาใช้ต้องไม่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทางน้ำ และต้องได้รับการ

อนุญาตจากหน่วยงานของรัฐที่เกี่ยวข้อง ควรใช้วิธีนี้เมื่อขจัดคราบน้ำมันไม่ได้ผลหรือไม่ทันการ

3.4 การเผา

สามารถใช้วิธีนี้ได้ก่อนที่คราบน้ำมันจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมี และคราบน้ำมันต้องมีความหนาตั้งแต่ 3 มิลลิเมตรขึ้นไป โดยเริ่มจากล้อมคราบน้ำมันด้วยทุ่นกักเก็บชนิดพิเศษที่ทนไฟได้ดี เช่น ceramic type boom และเริ่มทำการเผา การขจัดคราบน้ำมันด้วยวิธีนี้ต้องทำด้วยความเชี่ยวชาญเป็นพิเศษและมีการวางแผนเป็นอย่างดีและกระทำในทะเลลึกและห่างจากฝั่ง

3.5 การทำความสะอาดชายฝั่ง

เป็นวิธีขจัดคราบน้ำมันในกรณีที่คราบน้ำมันถูกพัดเข้าหาฝั่ง โดยใช้คนและอุปกรณ์เข้าเก็บรวบรวมคราบน้ำมัน และใช้อุปกรณ์ช่วยเก็บคราบน้ำมันในกรณีที่คราบน้ำมันจับตัวเป็นก้อนหรือปนเปื้อนกับขยะ เช่น พลาสติก เสียม และถุงพลาสติก รวมทั้งใช้เครื่องมือตักน้ำมันในกรณีที่คราบน้ำมันยังไม่จับกันเป็นก้อน

จากการศึกษาวิธีการทั้ง 5 วิธี จะพบว่าการเผาไม่สามารถนำมาใช้กับกรณีอ่าวพร้าวได้เนื่องจากมีลักษณะเป็นอ่าวและใกล้ชายฝั่ง อีกทั้งน้ำทะเลบริเวณนั้นถือว่าตื้นมาก การเผาจะส่งผลต่อสัตว์น้ำที่อาศัยในบริเวณนั้นและส่งผลกระทบต่อเนื่องกับมนุษย์ที่อาศัยอยู่บริเวณชายฝั่งด้วย ดังนั้นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในกรณีนี้น่าจะเป็นวิธีทางกายภาพและชีวภาพร่วมกัน โดยหลักการคราบน้ำมันประมาณ 60 % จะถูกกำจัดได้โดยวิธีกายภาพ ส่วนที่เหลือจะใช้วิธีทางเคมีและชีวภาพ ดังนั้นเพื่อให้การขจัดคราบน้ำมันมีประสิทธิภาพ จึงต้องใช้หลายวิธีการร่วมกัน การ

กักเก็บกวาดจะใช้เป็นวิธีการแรกก่อน แล้วตามด้วยการฉีดพ่นสารเคมีที่ทำให้น้ำมันกระจายตัว และทำปฏิกิริยากับคราบน้ำมันที่หลงเหลืออยู่ให้กระจายตัวเป็นโมเลกุลเล็กๆ อันจะเป็นการส่งเสริมกระบวนการต่างๆ ตามธรรมชาติ เช่น การระเหย การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ให้เกิดขึ้นได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น แต่สารเคมีประเภท oilspill dispersant ได้แก่ สารกลุ่ม Triton-X และ Corexit จะมีความเป็นพิษสูงสามารถทำอันตรายสิ่งมีชีวิตในน้ำ มีการตกค้างเนื่องจากไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ และมีราคาค่อนข้างสูงเนื่องจากต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ปัจจุบันได้มีการใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพ (biosurfactant) ซึ่งเป็นสารที่ผลิตจากจุลินทรีย์เพื่อใช้ทดแทนสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน เนื่องจากมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตต่างๆ น้อยกว่าการใช้สารเคมี

สารลดแรงตึงผิวชีวภาพ (biosurfactant) เป็นสารชีวโมเลกุลที่มีสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิว (surface-active substance) ซึ่งสร้างโดยสิ่งมีชีวิตโดยเฉพาะอย่างยิ่งจุลินทรีย์ ชนิดต่างๆ เช่น แบคทีเรีย รา และยีสต์บางชนิด สารลดแรงตึงผิวมีโครงสร้างเป็นแอมฟิพาติก (amphipathic structure) ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่ละลายในไขมัน (lipophilic portion) และส่วนที่ละลายน้ำ (hydrophilic portion) ปัจจุบันมีการใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพกันอย่างกว้างขวาง เช่น ใช้เป็นสารอิมัลซิฟายเออร์ สารทำให้เกิดฟองตัวทำละลายและสารลดความหนืด รวมทั้งมีการใช้ในสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เช่น ใช้การขจัดคราบน้ำมันและสารพิษที่ปนเปื้อนในน้ำและดิน โดยใช้สาร Rhamnolipid จากแบคทีเรีย *Pseudomonas sp.* Surfactin จาก *Bacillus subtilis* Emulsan จาก

Acinetaobacter sp. Glycolipid จาก Rhodococcus sp. เป็นต้น จะเห็นได้ว่าการใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่หลากหลายเพื่อใช้ในการขจัดคราบน้ำมันทดแทนการใช้สารเคมี ทั้งนี้เนื่องจากสามารถถูกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradability) ได้ง่าย ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม มีความเป็นพิษต่ำ และยังสามารถส่งเสริมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ให้รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยเฉพาะการย่อยสลายสารที่โมเลกุลใหญ่ ไม่ละลายน้ำ มีความหนืดสูง เช่น น้ำมันดิบ (crude-oil หรือ petroleum) ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีสลับซับซ้อน เป็นของผสมที่มีไฮโดรคาร์บอนชนิดต่างๆ เป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ อัลเคน (*n*-alkane or saturated hydrocarbon) อะโรมาติกส์ (aromatics) และ แอสฟัลทีน (asphaltene)



รูปที่ 1 รูปแสดงการฉีดพ่นสารเคมีขจัดคราบน้ำมันจากเรือ



รูปที่ 3 แสดงการวางบูม (boom) จำกัดขอบเขตการแพร่กระจายของน้ำมัน



รูปที่ 2 แสดงการฉีดพ่นล้างคราบน้ำมันบริเวณหาดหิน



รูปที่ 4 แสดงเครื่อง skimmer เก็บคราบน้ำมัน

ที่นี้เราก็มารู้วิธีที่บริษัทน้ำมัน PTTGC ได้เลือกใช้ในการกำจัดน้ำมันในพื้นที่บริเวณอ่าวพร้าว คือการใช้สารเคมีกำจัดคราบน้ำมันดิบ ด้วยวิธีการพ่นสารเคมีจำพวก oil dispersants ลงบนคราบน้ำมันในทะเล ที่จะช่วยให้คราบน้ำมันแตกตัวเป็นหยดน้ำมันขนาดเล็กที่จุลชีพในทะเลสามารถย่อยสลายได้ จากเครื่องบินและเรือ ซึ่งเป็นวิธีการแก้ปัญหาที่รวดเร็ว หรืออีกวิธีคือใช้ skimmers หรือเครื่องตักเก็บน้ำมัน ที่ลอยขึ้นมาบนผิวน้ำกลางทะเล

สารเคมีที่ใช้มีชื่อทางการค้าว่า Slickgone NS TYPE 2/3 ผลิตโดยบริษัท DASIC ประเทศอังกฤษ ซึ่งมีคุณสมบัติตามมาตรฐานทางสิ่งแวดล้อมที่เข้มงวดของ NETCEN UK' และได้รับการรับรองจาก the Ministry of Agriculture Fisheries and Food ของอังกฤษ ซึ่งโดยตัวสารเคมีเองไม่มีอันตราย สารดังกล่าวมีคุณสมบัติที่ช่วยให้น้ำมันสามารถแตกตัวในน้ำและมีขนาดเล็กลงจนจมลงใต้ผิวน้ำ เพื่อรอการย่อยสลายตามธรรมชาติ โดยเร็วที่สุดคือ 6 สัปดาห์ แต่ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับสัดส่วนการใช้สารเคมีกับปริมาณคราบน้ำมัน

สารในกลุ่ม slickgone อยู่ในรายชื่อสารขจัดคราบน้ำมันที่กรมควบคุมมลพิษอนุญาตให้ใช้ในประเทศไทยและต้องได้รับการอนุมัติในการใช้งานแต่ละครั้ง ซึ่งต้องประเมินถึงความเหมาะสมในการใช้งาน ไม่ใช่ต้องการให้จะเห็นผลเร็วเพียงอย่างเดียว ปริมาณการใช้ที่เหมาะสม ของสาร slickgone คือ สารเคมี 1 ส่วน ต่อน้ำมัน 30 ส่วน ถ้าน้ำมันรั่ว 5 หมื่นลิตร และใช้สารเคมีไป 3.2 หมื่นลิตร อัตราส่วนอยู่ที่ 1 ต่อ 2 ซึ่งมีความเข้มข้นมากเกินไป และอาจทำให้เกิดผลข้างเคียง

ส่วนข้อมูลการใช้สารเคมี ของ PTTGC ระบุว่านํ้ายากำจัดคราบน้ำมัน slickgone NS ประเภท II/III ประกอบไปด้วยส่วนผสมจากธรรมชาติที่เป็น

สารลดแรงตึงผิว ชนิดที่มีความเป็นพิษต่ำ และย่อยสลายตามธรรมชาติได้อย่างรวดเร็ว นํ้ายากำจัดคราบน้ำมัน slickgone NS ออกแบบให้ใช้กำจัดคราบน้ำมันดิบ น้ำมันเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดี ได้รับการรับรองจาก หน่วยงานด้านความปลอดภัยทางทะเลของประเทศอังกฤษ และ Warren Spring Laboratory สามารถใช้งานได้ทั้งในทะเล ชายหาด ในน้ำจืด และบนบก นํ้ายากำจัดคราบน้ำมัน slickgone NS ยังผ่านการอนุญาตและการยอมรับในหลายประเทศทั่วโลก ให้สามารถใช้งานได้กรณีน้ำมันรั่วไหล รวมถึงประเทศไทยด้วยการใช้งานแบบเข้มข้น type II/III (undiluted mode) นํ้ายากำจัดคราบน้ำมัน slickgone NS เป็นสารกำจัดคราบน้ำมันประเภทที่ II/III โดยมีอัตราส่วนการกำจัดคราบน้ำมัน 1 ส่วน slickgone NS ต่อ 20 ส่วน น้ำมัน หรือ 1:20 การใช้งานแบบผสมน้ำ type II (water dilutable mode) นํ้ายากำจัดคราบน้ำมัน slickgone NS concentrated สามารถใช้งานเป็นสารกำจัดคราบน้ำมันประเภทที่ II/III ได้ด้วย เช่น ทำการผสม 1 ส่วน slickgone NS ต่อ 9 ส่วนน้ำทะเล ซึ่งนํ้ายาผสม 1 ลิตรจะกำจัดคราบน้ำมันได้ 2-3 ส่วน อย่างไรก็ตามไม่ควรใช้นํ้ายากำจัดคราบน้ำมัน slickgone NS ผสมกับน้ำไว้ล่วงหน้าก่อนการใช้งานนานๆ ซึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานลดลง

จากข้อมูลที่หาได้ในเบื้องต้น สารในกลุ่มยังไม่มีข้อมูลว่าทำให้เกิดความผิดปกติในระยะยาว แต่มีผลทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง แสบร้อน ซึ่งอาการแพ้เกิดขึ้นได้สำหรับคนที่เข้าไปจัดเก็บโดยตรง เนื่องจากสารดังกล่าวมีการสะสม อย่างไรก็ตาม ปริมาณคราบน้ำมันที่ประเมินได้จากภาพถ่ายดาวเทียมมีความกว้าง 10-15 ตร.กม ยาว 8 ตร.กม. ถ้าฟิล์มน้ำมันหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำมันคาดว่าอยู่ที่ประมาณ 15 ตัน

สำหรับแนวทางสลายคราบน้ำมันบริเวณชายฝั่ง ต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ เพื่อป้องกันผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ชายฝั่งและสิ่งแวดล้อมในบริเวณใกล้เคียง เช่น การใช้อุปกรณ์ตักเก็บดินทรายที่ปนเปื้อนตามชายหาด รวมถึง sorbents หรือตัวดูดซับน้ำมัน เช่น แผ่นดูดซับ (absorbent sheet) โดยใช้เจ้าหน้าที่เป็นหลัก ในขณะที่การใช้ vacuum หรือเครื่องดูดน้ำมันจากผิวน้ำและชายหาด อาจส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมชายหาด

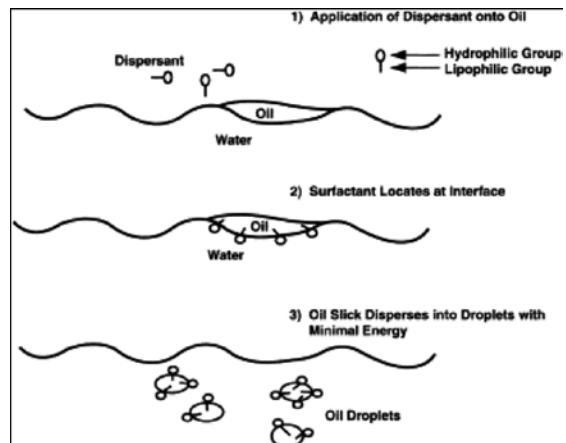
การจัดการที่เกิดขึ้นบริเวณชายหาด PTTGC ได้วางแผนดูดซับน้ำมัน (absorbent boom) จากชายหาดลงไปในทะเล เพื่อให้สามารถดูดซับน้ำมันได้มากยิ่งขึ้นทั้งที่หัวอ่าวและท้ายอ่าวพร้าว เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำมันกระจายออกไปนอกอ่าว นอกจากนี้ มีการใช้ vacuum truck นำน้ำมันดิบ (oil slick) ที่เกิดขึ้นมาออกจากบริเวณอ่าวพร้าวไปรวบรวมไว้เพื่อนำไปกำจัด ด้านผลกระทบในทะเลใกล้ชายฝั่งที่ยังพบคราบน้ำมัน และฟิล์มน้ำมัน มีการใช้เรือวางบูม หรือทุ่นลอยป้องกันการแผ่กระจาย

ของน้ำมันบนผิวน้ำ เพื่อกั้นคราบน้ำมันไม่ให้กระจายไปในวงกว้าง

อย่างไรก็ตาม สิ่งที่น่าวิชาการเป็นกังวลคือผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมเนื่องจากสารประกอบในน้ำมันส่วนที่เป็นโมเลกุลขนาดเล็กสามารถระเหยกลายเป็นไอ หายไปในสิ่งแวดล้อม แต่ส่วนที่เป็นโมเลกุลใหญ่ เช่น โพรเพน (propane) ละลายน้ำได้มากกว่า หายไปแค่บางส่วน และยังมีส่วนที่ละลายไม่ได้ตกลงในน้ำ แม้กลไกธรรมชาติมีสิ่งมีชีวิตจำพวกแบคทีเรียประเภทที่กินน้ำมันมีความสามารถในการย่อยสลาย ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมก็ตาม และยังไม่ได้นับรวมถึงการใช้สารเคมีที่มากเกินไปจนความจำเป็นในกรณีที่ต้องทำการเผื่อไว้ให้เกินพอ แต่อย่างไรก็ตามสภาพทางกายภาพของอ่าวพร้าวในขณะนี้ ถือว่าพื้นดินสภาพมาเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ น้ำทะเลไม่หลงเหลือคราบน้ำมันที่ผิว ทราบชายหาดกลับมาสีเขียวแม้จะไม่ขาวเหมือนก่อนเกิดเหตุการณ์แต่ผลกระทบอันต่อเนื่องและยาวนานจากคราบน้ำมันและการใช้สารเคมีย่อมเป็นสิ่งที่เราต้องติดตามกันต่อไป



รูปที่ 5 แสดงสาร Slickgone NS (Oil dispersants)



รูปที่ 6 แสดงการทำงานของสาร Oil dispersants



เอกสารอ้างอิง

- [1] กัลยา อำนวน, พลเรือตรีหญิง. (2546). การนำแบคทีเรียทะเลไปใช้ในการย่อยสลายคราบน้ำมันในทะเล. โครงการวิจัย. กรมวิทยาศาสตร์ทหารเรือ. กองทัพเรือ.
- [2] จิราภรณ์ ธนียวัน, รองศาสตราจารย์. (2544). การคัดเลือกจุลินทรีย์ และการผลิตไบโอเซอร์แฟคแตนท์. รายงานการวิจัย. ภาควิชาจุลชีววิทยา. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [3] นภดล สว่างนาวิณ, เรือเอก. (2547). ผลของสารลดแรงตึงผิวต่อการย่อยสลายน้ำมันดิบโดยจุลินทรีย์ที่แยกได้จากทรายทะเลที่ปนเปื้อนคราบน้ำมัน . วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต . ภาควิชาจุลชีววิทยา. บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [4] Kosaric, N. (1993). Biosurfactants Production Property Application. Surfactant Science. (Series:vol.48) New York: Marcel Dekker, Inc.
- [5] Sheehan, D.(1997). Bioremediation Protocols. New Jersey: Humana Press, Totowa.
- [6] “น้ำมันดิบรั่วไหลบริเวณอ่าวพร้าว.” 2556.[ระบบออนไลน์].แหล่งที่มา <http://www.bangkokbiznews.com>.
- [7] “ฐานข้อมูลความรู้ทางทะเล.” (2559).[ระบบออนไลน์].แหล่งที่มา <http://www.mkh.in.th>.
- [8] ภาพประกอบจาก www.sciencedirect.com, www.graysonline.com, www.technolomo.com.



การใช้สารเคมีทดสอบประเภทโลหะเบื้องต้น Acid Spot Test

น.ท.หญิง สายฝน เกียวสัมพันธ์

กองวิชาฟิสิกส์และเคมี ฝ้ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ
ตำบลปากน้ำ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ 10270

บทคัดย่อ

โดยหลักการแล้วการพิสูจน์ทราบประเภทของโลหะเกี่ยวข้องกับงานทางด้านโลหวิทยา แต่การใช้ความรู้ทางด้านเคมีก็มีส่วนสำคัญในการแยกแยะประเภทของโลหะที่ต้องการตรวจสอบ เพื่อให้ง่ายต่อการเลือกชุดมาตรฐานของโลหะชนิดนั้นไปทำการวิเคราะห์ทางองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องมือที่ละเอียด จนสามารถยืนยันประเภทของโลหะเปรียบเทียบกับมาตรฐาน การใช้สารเคมีทดสอบประเภทโลหะเบื้องต้นหรือที่เรียกว่า Acid Spot Test เป็นกระบวนการตรวจสอบชนิดโลหะเบื้องต้นโดยเริ่มจากการใช้แม่เหล็กทดสอบชิ้นงานที่ต้องการทราบประเภทว่าเป็นโลหะชนิดใด ซึ่งแยกได้เป็นกลุ่มที่แม่เหล็กดูดติดจัดเป็นโลหะประเภทเหล็ก และกรณีกลุ่มที่แม่เหล็กดูดไม่ติดจัดเป็นโลหะนอกกลุ่มเหล็ก จากนั้นทำพื้นผิวของโลหะให้สะอาดโดยการขัดด้วยกระดาษทราย แล้วใช้สารเคมีทดสอบตามวิธีการที่กำหนดไว้อย่างเป็นขั้นตอน ทำซ้ำจนแน่ใจว่าโลหะนั้นเป็นโลหะกลุ่มใด จากประสบการณ์ที่ผ่านมาพบว่าการทดสอบด้วยวิธี Acid Spot Test ให้ผลที่ถูกต้องนำไปสู่การเลือกใช้ชุดโลหะมาตรฐานในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือที่ละเอียดและสามารถรายงานผลองค์ประกอบทางเคมีของโลหะชนิดนั้นได้อย่างถูกต้องเป็นไปตามมาตรฐานสากล

Abstract

In principle, in order to identify the type of metal, metallurgy process is involved. But, chemical knowledge is also important to simplify the selection of a standard set of metals to be used with detailed chemical analysis tools. Using the chemical basic testing tools, Acid Spot Test, can confirm the type of metal, compared to the standard, in preliminary detection process.

It starts with the magnetic separator which can tell whether or not the metal is steel. If the examined metal has magnetic attraction capability, it is steel. If it does not have the capability, the metal is not steel. After that, make the surface of the metal clean by using sandpaper before applying chemical testing procedure. Repeat the process until the type of metal is determined. Based on past experiences, Acid Spot Test has proven to be effective. It leads to the right standard metal set used in the detailed chemical analysis tools and can report the chemical composition of that metal accurately and meets the international standards.

1. บทนำ

หลายปีก่อนผู้เขียนเคยปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการเคมีของกองควบคุมคุณภาพ กรมพัฒนาการช่าง กรมอุทกหารเรือ (กคภ.กพช.อร.) มีหน้าที่รับผิดชอบในการตรวจสอบคุณสมบัติของโลหะ ทั้งคุณสมบัติทางกล ทางเคมี และการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย สำหรับหน้าที่หลักของผู้เขียน คือ การตรวจสอบสมบัติทางเคมีของโลหะประเภทต่างๆ ด้วยกระบวนการทางเคมีในห้องปฏิบัติการเคมี (Chemical Laboratory) และการใช้เครื่องมือที่มีความละเอียดทดสอบเปรียบเทียบกับโลหะมาตรฐาน เช่น เครื่อง Atomic Emission Spectrometer, เครื่อง X – Ray Fluorescence Spectrometer, เครื่อง Carbon / Sulphur Analyzer Spectromete เป็นต้น เพื่อจำแนกว่าตัวอย่างวัสดุที่ได้ทำการตรวจสอบนั้นเป็นโลหะประเภทใด ในการพิสูจน์ทราบ (Identify) ประเภทของโลหะมีการตรวจวิเคราะห์เปรียบเทียบกับมาตรฐาน ได้แก่ มาตรฐานจากอเมริกา (ASTM) มาตรฐานจากเยอรมนี (DIN) และ มาตรฐานจาก

ญี่ปุ่น (JIS) ผู้ทำการวิเคราะห์จะต้องทราบพื้นฐานของโลหะวิทยาเบื้องต้น ว่าโลหะที่ตรวจได้นั้นเป็นโลหะประเภทใด เพื่อให้สามารถกำหนดชนิดและมาตรฐานของวัสดุได้ถูกต้อง ซึ่งโดยหลักการสามารถแบ่งประเภทโลหะที่ใช้ในการซ่อม สร้างเรือของกรมอุทกหารเรือ ออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ตามกรรมวิธีในการผลิตได้ 2 ประเภท คือ

1. โลหะประเภทเหล็ก (Ferrous Alloy)

โลหะประเภทเหล็ก ถูกจัดแบ่งเป็นกลุ่มตามส่วนผสมทางเคมี เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1.1 เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steel)

เป็นเหล็กที่มีคุณสมบัติทางด้านความแข็งแรง (Strength) และความอ่อนตัว (Ductility) ขึ้นอยู่กับปริมาณของคาร์บอนที่มีอยู่ในเหล็ก ธาตุที่ผสมในเหล็กกล้าคาร์บอน ได้แก่ C, Si, Mn, P และ S

1.2 เหล็กกล้าเจือ (Alloy Steel) เป็นเหล็ก

ที่ผสมธาตุต่าง ๆ นอกเหนือจากธาตุในเหล็กกล้าคาร์บอน การผสมธาตุต่าง ๆ ลงไปในเหล็กก็เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติหลายประการที่เหล็กกล้า



Aluminium

คาร์บอนให้คุณสมบัติเหล่านี้อยู่ในเกณฑ์ต่ำ ธาตุที่ผสมมีมากมาย ได้แก่ Ni, Cr, Mo, W, Al, V รวมทั้งการเพิ่มปริมาณ C, Mn หรือ Si มากกว่าปริมาณที่มีอยู่ในเหล็กกล้าคาร์บอนก็ถือว่าเป็นเหล็กกล้าเจือชนิดหนึ่งได้เช่นกัน

1.3 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel)

เป็นเหล็กกล้าที่มีธาตุโครเมียม (Cr) ผสมอยู่ในปริมาณสูงหรือมากกว่า 11% ขึ้นไป ปริมาณโครเมียมในเหล็กทำให้เหล็กมีคุณสมบัติต้านทานการเกิดสนิมได้มากขึ้น

2. โลหะนอกกลุ่มเหล็ก (Non Ferrous Alloy)

แบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ โลหะผสมทองแดง (Copper Alloy) และโลหะผสมอลูมิเนียม (Aluminium Alloy)

การใช้สารเคมีทดสอบประเภทโลหะเบื้องต้นใช้วิธีการที่เรียกว่า Acid Spot Test เป็นการใช้สารเคมีหยดลงบนผิวโลหะ เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีอย่างคร่าว ๆ โดยที่องค์ประกอบทางเคมีของชิ้นงานหรือโลหะชนิดหนึ่งจะทำปฏิกิริยากับสารเคมีเฉพาะ และให้สีของ spot ที่เฉพาะตัวออกมา ทำให้ง่ายต่อการสังเกต สะดวกต่อการจำแนกประเภทของชิ้นงานว่าเป็นกลุ่มใด ส่งผลให้สามารถเลือกชุดของ Standard ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาลักษณะทางเคมีที่ละเอียดยิ่งขึ้น การทดสอบด้วยวิธี Acid Spot Test หรือเรียกว่า Spot Test นี้จะเริ่มจากการใช้แม่เหล็กทำการทดสอบชิ้นงานว่าอยู่ในกลุ่มแม่เหล็กดูดติดถือว่าเป็นโลหะประเภทเหล็ก กรณีแม่เหล็กดูดไม่ติดถือว่าเป็นโลหะนอกกลุ่มเหล็ก จากนั้นเมื่อใช้สารเคมีหยดลงบนผิวของโลหะที่นำ

มาตรวจสอบจะต้องอาศัยการสังเกตด้วยตาเปล่าเป็นหลัก ผู้ปฏิบัติจะต้องมีความละเอียดรอบคอบในการเฝ้ารอผลของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นให้เป็นไปตามขั้นตอนที่ระบุในวิธีทดสอบ ไม่ข้ามขั้นตอนหรือตัดขั้นตอนใด ๆ ออกไปเป็นอันขาด เพราะจะทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการเลือกชุดมาตรฐานในการทดสอบด้วยเครื่องมือที่ละเอียดในขั้นตอนต่อไป ตัวอย่างกรณีของชิ้นงานที่แม่เหล็กดูดติด ชิ้นงานนั้นอาจเป็นได้ทั้ง Carbon Steel หรือ Low Alloy Steel นำชิ้นงานไปขัดด้วยกระดาษทรายแล้วจึงนำมาทดสอบโดยทำ Spot Test พบว่า หลังจากหยดสารละลายหมายเลข 1 แล้วสังเกตสีของ Spot ที่เกิดขึ้นเป็นสีน้ำตาลเหมือนกัน ต้องทดสอบด้วยการฉีบน้ำล้าง ทิ้งไว้ให้แห้งหรือเป่าให้แห้ง จากนั้นสังเกตสีที่เกิดขึ้นอีกครั้ง ถ้าสีบน Spot ยังเป็นสีน้ำตาลอยู่ แสดงว่าโลหะชิ้นนั้นเป็น Carbon Steel แต่ถ้าเป็นสีเทา แสดงว่าโลหะชิ้นนั้นเป็น Low Alloy Steel ถ้าผู้ปฏิบัติข้ามขั้นตอนของการล้างและเป่าให้แห้งไปก็จะไม่สามารถยืนยันได้ว่าโลหะชิ้นนั้นเป็น Carbon Steel หรือ Low Alloy Steel



2. การทดสอบโดย Acid Spot Test

CHART 1

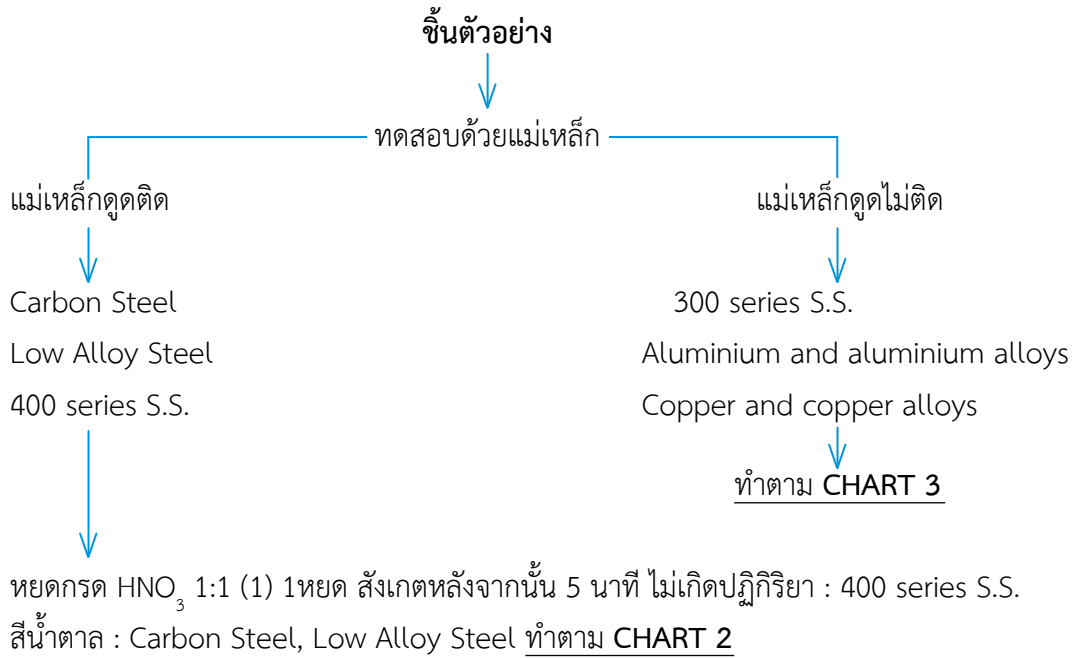


CHART 2

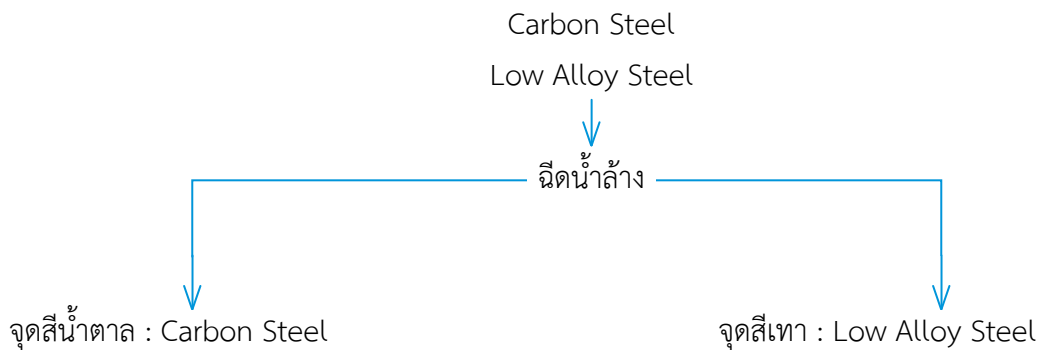




CHART 3

300 series S.S.

Aluminium and aluminium alloys

Copper and copper alloys

หยด HNO_3 (conc.) (2) 1 หยด
บนผิวโลหะที่สะอาด
ไม่เกิดปฏิกิริยา : 300 series S.S.,
: Aluminium and aluminium alloys

ทำต่อไปตาม **CHART 4**

สังเกตว่าเป็นสีแดงอมน้ำตาล
หรือสีเหลือง : Copper and copper alloys

ทำต่อไปตาม **CHART 6**

CHART 4

300 series stainless steel

Aluminium and aluminium alloys

หยด 10 M NaOH (3) 1 หยด

เกิดปฏิกิริยา

Aluminium and aluminium alloys

ทำต่อไปตาม **CHART 5**

ไม่เกิดปฏิกิริยา

300 series stainless steel

หยด HCl (conc.) (5) 1 หยด และ HNO_3 (conc.) (2) 1 หยด บนผิวโลหะที่สะอาดปล่อยให้ทิ้งไว้ 2 นาที แล้วสังเกตจะเกิดปฏิกิริยาขึ้น ทำผิวชิ้นงานให้สะอาดอีกครั้ง หยด HCl (conc.) (5) 1 หยด ลงบนผิวโลหะ หยดสารละลาย Potassium ferricyanide (7) 1 หยด ทิ้งไว้ 1 นาที สังเกตตะกอนสีน้ำเงินที่เกิด หยด HCl (conc.) (5) 1 หยด และ HNO_3 (conc.) (2) 1 หยด บนผิวโลหะที่สะอาด ทิ้งไว้ 5 นาที สังเกตว่ามีจุดสีน้ำตาลเขียวเกิดขึ้น HCl (conc.) (5) 2-3 หยด และ HNO_3 (conc.) (2) 2-3 หยด บนผิวโลหะที่สะอาด ทิ้งไว้ 5 นาที นำสารละลายที่ได้ 1 หยด หยดลงบนกระดาษกรอง สังเกตตะกอน

มีตะกอนละเอียด

303 S.S.

316 S.S.

321 S.S.

ไม่มีตะกอนละเอียด

301 S.S.

302 S.S.

304 S.S.

ทดสอบต่อโดยหยด 6M HCl (6) 1 หยด ลงบนกระดาษกรองแล้ว หยด 10% Potassium thiocyanate (8) 1 หยด และหยด 25% Sodium thiosulfate (9) 1 หยด มีวงแหวนสีม่วง : 316 S.S. ไม่มีวงแหวนสีม่วง : 303 S.S., 321 S.S.

CHART 5

Aluminium and aluminium alloys



หยด 10 M NaOH (3) 1 หยด ลงบนผิวโลหะที่สะอาดแล้วปล่อยให้แห้ง 5 นาที ฉีดล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วปล่อยให้แห้งให้แห้ง สังเกต สีดำ : 700, สีคล้ายทองเหลืองจาง : 6000, สีเทา : 4000, สีเขียว : 2000 ไม่มีสี : 1100, 3000, 5000 ทดสอบต่อ หยด HCl (conc.) (5) 3 หยด ลงบนผิว ชิ้นงานที่สะอาด ปล่อยให้แห้ง 2 นาที นำสารละลายที่ได้ 2 หยด ใส่บน spot plate และหยดสารละลาย Quinalizarin (10) 1 หยด และ 6M NaOH (4) 4 หยด แล้วกวาด สังเกตตะกอนสีน้ำเงิน : 5000 ไม่มีตะกอนสีน้ำเงิน : 1100, 3000 ทำต่อ หยด 6M NaOH (4) 3 หยด ปล่อยให้แห้ง 2 นาที นำสารละลายที่ได้มา 2 หยด ใส่บน spot plate และหยด 6M HNO₃ (11) 2 หยด H₂SO₄ 1:1 (12) 2 หยด แล้วหยด Sodium bismuthate solution (13) 2 หยด เป็นตัวสุดท้าย แล้วกวาด สังเกต ไม่มีสีม่วง : 1100, มีสีม่วง : 3000

CHART 6

Copper and copper alloys



แยกโดยการสังเกตสี เป็นสีแดงหรือน้ำตาลแดง : Coppers ทำต่อไปตาม CHART 7

เป็นสีเหลืองอ่อน : Brasses, Manganese bronze ทำต่อไปตาม CHART 8

เป็นสีเหลือง : Bronze, Red brass



หยด HNO₃ (conc.) (2) 2 หยด ปล่อยให้แห้ง 2 นาที หยดน้ำกลั่น 2 หยด แล้วสังเกต

เป็นหยดน้ำมันและมีตะกอนสีขาว : Silicon bronze, Oil impregnated bronze

ไม่มีตะกอนสีขาว : Aluminium bronze, Red brass ทำต่อเพื่อทดสอบ Aluminium bronze

โดยการหา Aluminium และทดสอบ Red brass โดยการหา Zinc

มีตะกอนสีขาว : Tin bronze, High leaded tin bronze, Phosphor bronze ทำต่อโดย หยด Ferric chloride (14) 1 หยด ปล่อยให้แห้ง 1 นาที แล้วสังเกต

มีจุดสีดำ : Phosphor bronze

ไม่มีจุดสีดำ : Tin bronze, High leaded tin bronze ทำต่อเพื่อทดสอบหา Lead โดย



- 1) หยด HNO_3 (conc.) (2) 6 หยด ลงบนผิวโลหะที่สะอาดทิ้งให้เกิดปฏิกิริยา 2 นาที
- 2) เติมน้ำกลั่นลงไป 6 หยด แล้วใช้ Dropper ดูดสารละลาย 10 หยด ใส่ลงในหลอดทดลอง
- 3) เติม 6M NaOH (4) 6 หยด แล้วคนทิ้งไว้ 1 นาที เติม 6M NaOH (4) อีก 6 หยด คน (เพื่อให้ NaOH ทำปฏิกิริยากับ Lead, เมื่อตะกอน Lead ละลายจะเหลือ Cupric hydroxide ซึ่งเป็นของแข็ง)
- 4) นำหลอดทดลองไปต้มใน Water bath 2-3 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยง ขณะที่ยังร้อนอยู่
- 5) นำส่วนที่เป็นของเหลวใส่มาเติม 10 หยดของ 0.5M Potassium chromate (15) แล้วหยด 6M Acetic acid (16) ลงไปอีก 5 หยด ถ้ามีตะกอนสีเหลืองเกิดขึ้นแสดงว่ามี Lead นั่นคือ
 - ถ้ามี Lead เป็น High leaded tin bronze
 - ถ้าไม่มี Lead เป็น Tin bronze

ทดสอบ Aluminium bronze โดยการหา Aluminium

- 1) หยด 6 หยด ของ HNO_3 (conc.) (2) ลงบนผิวโลหะที่สะอาดทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาจนสมบูรณ์ 2-3 นาที
- 2) ดูดสารละลายออกมาใส่ในหลอดทดลอง 4 หยด และเติม 4 หยดของ 6M NaOH (4) คนทิ้ง 1 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยง

- 3) ดูดของเหลวใส 1 หยด ใส่บน spot plate แล้วเติม 1 หยด ของ 1% Alizarin reagent (17) แล้วคน
- 4) เติม 2 หยดของ 6M Acetic acid (16) แล้วคน ถ้าเกิดตะกอนสีส้ม แสดงว่ามี Aluminium จัดเป็น Aluminium bronze

ทดสอบ Red brass โดยการหา Zinc

- 1) หยด 2 หยด ของ HNO_3 (conc.) (2) ลงบนผิวโลหะที่สะอาดทิ้งไว้ 2 นาที เติมน้ำกลั่น 2 หยด แล้วดูดสารละลายที่ได้มา 3 หยด ใส่บน spot plate
- 2) เติม 4 หยด ของ 6M NaOH (4) เพื่อทำให้เป็นด่าง คนทิ้งไว้ 1 นาที เติม 4 หยดของ 6M NaOH (4) ลงไปอีก แล้วคน ใช้ Dropper ดูดสารละลายที่ได้มา หยดลงบนสำลีเพื่อกรอง
- 3) เติม 4 หยด ของ 3M HCl (18) ลงใน Filtrate ที่ผ่านการกรองด้วยสำลี 4 หยด คนให้ทั่ว จากนั้นหยด 4 หยด ของ 3M HCl (18) แล้วคน
- 4) หยด 3 หยด ของ Cobaltous sulfate (19) และ 3 หยด ของ Alkalimercuric thiocyanate (20) คนด้วยแท่งแก้ว 15 วินาทีใน spot plate จะสังเกตเห็นว่ามีตะกอน Zinc เกิดขึ้น ซึ่งเป็นตะกอนสีน้ำเงิน แสดงว่ามี Zinc จัดเป็น Red brass

CHART 7

Copper



ทำผิวโลหะทองแดงให้สะอาดด้วยกระดาษทราย No.250 และสังเกตสีเปรียบเทียบกับชิ้นงานมาตรฐาน จะพบว่ามีสีน้ำตาลแดง : O.F.H.C. copper, Tough – pitch copper, Phosphor copper, Arsenical copper ทดสอบต่อโดย หยด Ferric chloride (14) 1 หยด บนผิวโลหะที่สะอาด และหยดน้ำกลั่นทิ้งไว้ 30 วินาที สังเกต มีจุดสีดำ : Arsenical copper, Phosphor copper, ไม่มีจุดสีดำ : O.F.H.C. copper, Tough – pitch copper



CHART 8

Brasses

Manganese bronze



หยด HNO_3 (conc.) (2) 3 หยด ลงบนผิวโลหะที่สะอาด ปล่อยให้แห้ง 2 นาที แล้วนำมา 1 หยด ใส่ลงบน spot plate เติม Sodium bismuthate solution (13) 1 หยด สังเกต

- | | | |
|---|------|---|
| มีสีม่วงแดง : Manganese bronze | (3) | 10 M NaOH ; ละลาย NaOH 80 g. ในน้ำกลั่น 200 ml. |
| มีสีน้ำตาล : Yellow brass, Naval brass, Aluminium brass ทำต่อโดย หยด HNO_3 (conc.) (2) 3 หยด บนผิวโลหะที่สะอาด ทิ้งไว้ 2 นาที สังเกต | (4) | 6 M NaOH ; ละลาย 10 M NaOH 36 ml. ในน้ำกลั่น 24 ml. |
| มีตะกอนสีขาว : Naval brass | (5) | HCl (conc.) ; ใช้กรด HCl concentrate; sp gr. 1.10 |
| ไม่มีตะกอนสีขาว : Yellow brass, Aluminium brass ทำต่อเพื่อทดสอบหา Lead โดย | (6) | 6 M HCl ; เติมกรด HCl (conc.) 30 ml. ในน้ำกลั่น 30 ml. |
| 1) หยด 6 หยด ของ HNO_3 (conc.) (2) ลงบนผิวโลหะที่สะอาด ทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยา 2 – 3 นาที | (7) | 10% Potassium ferricyanide ; ละลาย Potassium ferricyanide 6 g. ในน้ำกลั่น 60 ml. |
| 2) ดูดสารละลายออกมาใส่หลอดทดลอง 4 หยด และเติม 4 หยด ของ 6M NaOH (4) คนทิ้งไว้ 1 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยง | (8) | 10% Potassium thiocyanate ; ละลาย Potassium thiocyanate 6 g. ในน้ำกลั่น 60 ml. |
| 3) ดูดของเหลวใส 1 หยด ลงบน spot plate แล้วเติม 1 หยด ของ 1% Alizarin reagent (17) แล้วคน | (9) | 25% Sodiumthiosulfate ; ละลาย Sodiumthiosulfate 15 g. ในน้ำกลั่น 60 ml. |
| 4) เติม 2 หยด ของ 6M Acetic acid (16) แล้วคน ถ้าเกิดตะกอนสีส้มแสดงว่ามี Aluminium ถ้ามี Aluminium เป็น Aluminium brass | (10) | Quinalizarin solution ; ละลาย Quinalizarin 0.012 g. ใน 95% Ethyl alcohol 60 ml. |
| - ถ้าไม่มี Aluminium เป็น Yellow brass | (11) | 6 M HNO_3 ; เติมกรด HNO_3 (conc.) 22.5 ml. ในน้ำกลั่น 37.5 ml. |
| | (12) | H_2SO_4 1:1 ; เติมกรด H_2SO_4 (conc.) 30 ml. ในน้ำกลั่น 30 ml. |
| | (13) | Sodium bismuthate solution ; ละลาย Sodium bismuthate 3.5 g. ในน้ำกลั่น 60 ml. กวนก่อนนำไปใช้ |
| 3. การเตรียมสารละลาย | (14) | Ferric chloride ; ละลาย Ferric chloride 6 g. ใน HCl (conc.) 6 ml. แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 60 ml. |
| (1) HNO_3 1:1 ; เติมกรด HNO_3 (conc.) 30 ml. ในน้ำกลั่น 30 ml. | | |
| (2) HNO_3 (conc.) ; ใช้กรด HNO_3 concentrate; sp gr. 1.42 | | |



- (15) 0.5 M Potassium chromate ; ละลาย Potassium chromate 5.9 g. ในน้ำกลั่น 60 ml.
- (16) 6 M Acetic acid : เติม Acetic acid (conc.) 20.6 ml. ในน้ำกลั่น 39.4 ml.
- (17) Alizarin reagent ; ละลาย Alizarin S 0.06 g. ในน้ำกลั่น 60 ml.
- (18) 3 m HCl ; เติม HCl (conc.) 15 ml. ในน้ำกลั่น 45 ml.
- (19) Cobaltous sulfate ; ละลาย Cobaltous sulfate 0.012 g. ใน HCl (conc.) 2.5 ml. แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 60 ml.
- (20) Mercuric thiocyanate, alkali solution ; ละลาย Mercuric chloride 5.82 g. และ Ammonium thiocyanate 1.92 g. ในน้ำกลั่น 60 ml. แล้วตั้งทิ้งไว้ 1 วันก่อนใช้งาน

4. ตัวอย่างการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ

โลหะประเภท Ferrous Metal กรณี Low Alloy Steel ธาตุที่ต้องการทราบปริมาณ ได้แก่ C, Si, Mn, P, S, Ni, Cr, Mo ทำการวิเคราะห์โดยใช้การ Arc – Spark ด้วยเครื่อง Atomic Emission Spectrometer เปรียบเทียบกับโลหะมาตรฐาน SS - CRM No.401/2 – 410/2 ของ Bureau of Analysed Samples Ltd. England กรณี Carbon Steel ธาตุที่ต้องการทราบปริมาณ ได้แก่ C, Si, Mn, P, S ทำการวิเคราะห์โดยใช้การ Arc – Spark เปรียบเทียบกับโลหะมาตรฐาน B CS/SS – CRM No.451/1 – 455/1 ของ Bureau of Analysed Samples Ltd. England สำหรับ Stainless Steel โลหะประเภทนี้แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ Austenetic Stainless Steel

และ Ferritic Stainless Steel ธาตุที่ต้องการทราบปริมาณ ได้แก่ C, Si, Mn, P, S, Ni, Cr, Mo ทำการวิเคราะห์โดยใช้การ MBH Analytical Ltd.

5. สรุป

การทำ Acid Spot Test เป็นการวิเคราะห์หาค่าของโลหะโดยการนำตัวอย่างโลหะมาทดสอบด้วยสารเคมีที่เลือกมาเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีอย่างคร่าว ๆ โดยที่องค์ประกอบทางเคมีของชิ้นงานหรือโลหะจะทำปฏิกิริยาเฉพาะ และให้สีของ Spot ที่เฉพาะตัวปรากฏออกมาทำให้ง่ายต่อการสังเกต นอกจากจะสะดวกต่อการจัดจำแนกประเภทชิ้นงานว่าเป็นกลุ่มใดแล้ว ยังสามารถทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการโดยวิธี Wet Analysis ได้รวดเร็วขึ้นอีกด้วย

แม้ว่าวิทยาการในการตรวจสอบโลหะในปัจจุบันมีความหลากหลาย เทคโนโลยีในการสร้างเครื่องมือในการตรวจวิเคราะห์มีความทันสมัยมากขึ้นกว่าในอดีตมากก็ตาม แต่จากข้อมูลที่กำลังมาผู้เขียนเห็นว่าการทดสอบโดยวิธี Acid Spot Test เป็นการวิเคราะห์หาค่าของโลหะเบื้องต้นเพื่อนำไปสู่การเลือกชุดของโลหะมาตรฐานในการวิเคราะห์หาส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานที่เราสนใจด้วยเครื่องมือที่ละเอียดขึ้น จนสามารถแยกแยะได้ว่าชิ้นงานนั้นคือโลหะชนิดใด ซึ่งความรู้ในเรื่องนี้ยังสามารถนำมาต่อยอดในการพัฒนาการเรียนการสอนในวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไป เพื่อเป็นแนวทางหนึ่งของการนำองค์ความรู้จากการปฏิบัติงาน สู่การศึกษาในห้องเรียน ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความเข้าใจและทักษะในการปฏิบัติงานจริงสำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องในอนาคตอย่างเป็นรูปธรรม



เอกสารอ้างอิง

- [1] เอกสารวิจัย โครงการวิจัยและพัฒนาโปรแกรมฐานความรู้ในการพิสูจน์ทราบประเภทของโลหะ. (2543).
- [2] Handbook of Comparative World Steel Standards, The International Technical Information Institute.(1985).
- [3] ASTM Special Technical Publication 550, Non Destructive Rapid Identification of Metal and Alloy By Spot Test, 2nd Printing, July 1981, Ohio, USA.
- [4] <https://www.google.co.th>.



คำแนะนำสำหรับผู้ประสงค์ส่งบทความลงตีพิมพ์ ในวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือด้าน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คำแนะนำทั่วไป

1. ผลงานที่ส่งตีพิมพ์จะต้องไม่ได้รับการเผยแพร่ในสิ่งพิมพ์อื่นใดมาก่อน และต้องไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาของวารสารอื่น การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้ส่งบทความโดยตรง
2. ต้นฉบับที่ส่งตีพิมพ์ต้องเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษเท่านั้น
3. ต้นฉบับต้องผ่านการกลั่นกรองโดยผู้ทรงคุณวุฒิและได้รับความเห็นชอบจากกองบรรณาธิการ
4. ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ถือเป็นลิขสิทธิ์ของวารสาร

นโยบายพิจารณากลับกรองบทความ

วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รับผิดชอบบทความวิชาการบทความวิจัย ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับวิศวกรรม วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี โดยวารสารฯ จะนำเสนอบทความคุณภาพที่สามารถแสดงถึงประโยชน์เชิงทฤษฎีสำหรับนักวิจัยในการพัฒนาหรือสร้างองค์ความรู้ใหม่ และประโยชน์ในเชิงปฏิบัติ ดังนั้นบทความที่จะได้รับลงตีพิมพ์จะต้องผ่านการพิจารณากลับกรองโดยผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง และจะต้องเป็นบทความที่แสดงให้เห็นถึงคุณภาพในทางวิชาการดังกล่าวข้างต้น

กระบวนการการพิจารณากลับกรองบทความ (Review Process)

บทความที่ได้รับการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารฯ จะต้องผ่านการพิจารณาจากกองบรรณาธิการและผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้องโดยมีกระบวนการดังต่อไปนี้

1. กองบรรณาธิการจะแจ้งให้ผู้ส่งบทความทราบเมื่อกองบรรณาธิการได้รับบทความเรียบร้อยแล้วสมบูรณ์
2. กองบรรณาธิการจะตรวจสอบหัวข้อและเนื้อหาของบทความถึงความเหมาะสมและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของวารสารฯ รวมถึงประโยชน์ในเชิงทฤษฎีและเชิงปฏิบัติ



3. ในกรณีที่กองบรรณาธิการพิจารณาเห็นควรรับบทความพิจารณาตีพิมพ์ กองบรรณาธิการจะส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้องเพื่อตรวจสอบคุณภาพของบทความว่าอยู่ในระดับที่เหมาะสมที่จะตีพิมพ์หรือไม่ เมื่อผู้ทรงคุณวุฒิได้พิจารณาถ้อยแถลงบทความแล้ว กองบรรณาธิการจะตัดสินใจโดยอิงตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิว่าบทความนั้นๆ ควรได้รับการตีพิมพ์ หรือควรส่งกลับให้กับผู้ส่งบทความเพื่อแก้ไขก่อนพิจารณาอีกครั้งหนึ่งหรือปฏิเสธการลงตีพิมพ์

ข้อกำหนดของบทความต้นฉบับ (Manuscript Requirements)

1. ผู้เขียนบทความควรใช้ฟอนท์ Sarabun ขนาด 16 พอยน์ สำหรับบทความภาษาไทย และบทความภาษาอังกฤษ โดยบทความที่จะส่งไม่ควรยาวเกิน 7,000 คำ
2. ชื่อบทความควรมีความกระชับและได้ใจความชัดเจนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
3. บทความต้องระบุชื่อและสถานที่ทำงานหรือสถานศึกษา วุฒิการศึกษาชั้นสูง/หรือตำแหน่งทางวิชาการ (ถ้ามี)
4. ผู้ส่งบทความจะต้องเขียนบทคัดย่อ (ความยาวไม่ควรเกิน 250 คำ) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
5. ผู้ส่งบทความควรตรวจสอบความถูกต้องของการพิมพ์ต้นฉบับ เช่น ตัวสะกด วรรคตอน และความเหมาะสม ความสละสลวยของการใช้ภาษา เป็นต้น
6. ผู้ส่งบทความจะต้องเขียนอ้างอิงเอกสารอื่นโดยจัดให้อยู่ในรูปแบบ APA Style (สามารถดูรายละเอียดได้ที่ http://en.wikipedia.org/wiki/APA_list) และจะต้องตรวจสอบความถูกต้องและ ความสมบูรณ์ของการอ้างอิง ในกรณีที่ผู้ส่งบทความต้องการอ้างอิงเอกสารภาษาไทย ควรใช้ชื่อตามด้วย ปีที่ตีพิมพ์ในวารสาร เช่น (ประเสริฐ คณาวัฒน์ไชย, 2551) และ (ประเสริฐ คณาวัฒน์ไชย และคณะ, 2551) ในกรณีที่ผู้แต่งมากกว่า 6 คนขึ้นไป
7. ผู้ส่งบทความต้องกำหนดประเภทของบทความให้ชัดเจนว่าเป็นบทความวิชาการหรือบทความวิจัย องค์ประกอบของบทความทั้ง 2 ประเภทมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

บทความวิชาการ บทความควรชี้ประเด็นที่ต้องการนำเสนอให้ชัดเจนและมีลำดับเนื้อหาที่เหมาะสม เพื่อให้ผู้อ่านสามารถเข้าใจได้ชัดเจน รวมถึงมีการใช้ทฤษฎีวิเคราะห์และเสนอแนะประเด็นอย่างชัดเจน

บทความวิจัย บทความควรนำเสนอการวิจัยและผลที่ได้รับอย่างเป็นระบบโดยบทความควรมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้ (สามารถมีหัวข้อหรือองค์ประกอบที่แตกต่างได้)

บทนำ (introduction) ที่ครอบคลุมความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัยพร้อมทั้งเสนอภาพรวมของบทความ

บททวนวรรณกรรม (Literature Review)



ระเบียบวิธีวิจัย (Research Methodology) ที่สามารถอธิบายวิธีดำเนินการวิจัยรวมถึงการเก็บข้อมูลหรือเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัยอย่างชัดเจน

ผลการศึกษา (Research Finding)

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย (Discussion/Conclusion)

เอกสารอ้างอิง (References)

การเตรียมและส่งบทความต้นฉบับ

ผู้เขียนสามารถส่งบทความต้นฉบับ ผ่านทางเว็บไซต์ <http://www.rtna.ac.th/pages/tci.html> หรือทางจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ E-mail: rtna.edu.ee@gmail.com พร้อมแนบบทความต้นฉบับในรูปแบบไฟล์ Microsoft word ที่มีเนื้อหา ตาราง และภาพประกอบอยู่ในไฟล์เดียวกัน

สิ่งที่ผู้เขียนจะได้รับตอบแทน

กองบรรณาธิการจะออกนันทนาการวารสารฉบับที่บทความของผู้เขียนได้รับการตีพิมพ์บทความละ 2 ฉบับ

หมายเหตุ

ข้อคิดเห็นที่ปรากฏและแสดงในเนื้อหาบทความต่างๆ ในวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีถือเป็นลิขสิทธิ์เฉพาะของโรงเรียนนายเรือ หากบุคคลหรือหน่วยงานใดต้องการนำทั้งหมดหรือส่วนหนึ่งส่วนใดไปเผยแพร่ต่อหรือเพื่อกระทำการใดๆ จะต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากโรงเรียนนายเรือก่อนเท่านั้น



ปรัชญา ปณิธาน และวัตถุประสงค์ ของโรงเรียนนายเรือ

1. ปรัชญา โรงเรียนนายเรือ

แหล่งผลิตนายทหารเรือ อันเป็นรากแก้วของกองทัพเรือ

2. ปณิธาน

ให้การศึกษาและฝึกอบรมแก่นักเรียนนายเรือ เพื่อให้เป็นนายทหารสัญญาบัตร ที่มีความรู้ ความสามารถ ความคิดริเริ่ม มีความเป็นผู้นำเพียบพร้อมด้วย คุณธรรม จริยธรรม สำหรับการปฏิบัติ ราชการในกองทัพเรือ รวมทั้งมีความจงรักภักดีต่อชาติ ศาสนา และพระมหากษัตริย์

3. วัตถุประสงค์

- 3.1 ให้มีความรู้ด้านวิชาการระดับปริญญาตรีแก่นักเรียนนายเรือในทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์สาขาต่างๆความต้องการของกองทัพเรือ
- 3.2 ให้มีความรู้และประสบการณ์ด้านวิชาชีพทหารเบื้องต้นแก่นักเรียนนายเรือเมื่อสำเร็จการศึกษาแล้วสามารถทำหน้าที่นายทหารสัญญาบัตรตามพรรคเหล่าได้ ดังนี้
 - 3.2.1 พรรคนาวิน สามารถทำหน้าที่ นายทหารยามพรรคนาวิน
 - 3.2.2 พรรคนาวินเหล่าพลาธิการ สามารถทำหน้าที่นายทหารพลาธิการของเรือและผู้ช่วยนายทหารยามพรรคนาวิน
 - 3.2.3 พรรคนาวินเหล่าอุทกศาสตร์ สามารถทำหน้าที่นายทหารพรรคนาวิน
 - 3.2.4 พรรคกลิน สามารถทำหน้าที่นายทหารยามพรรคกลินหรือทำหน้าที่นายทหารช่วยนายทหารไฟฟ้าอาวุธ
 - 3.2.5 พรรคนาวิกโยธิน สามารถทำหน้าที่ผู้นำหน่วยระดับผู้บังคับหมวดปืนเล็ก
- 3.3 พัฒนาร่างการและจิตให้นักเรียนนายเรือมีความเป็นผู้นำ มีความสุขภาพแข็งแรงจิตใจที่สมบูรณ์ มีปฏิภาณไหวพริบดีมีความรับผิดชอบต่อหน้าที่ที่มีความคิดริเริ่ม มีทักษะในการคิดการวิเคราะห์ และแก้ไขปัญหา มีคุณธรรมมีจริยธรรม มีความซื่อสัตย์จงรักภักดีต่อชาติ ศาสนา พระมหากษัตริย์

บทความวิจัย

1. การศึกษาระดับผิวหน้าทะเลบริเวณอ่าวไทยและทะเลจีนใต้ด้วยข้อมูลดาวเทียมระบบอัลติมิตรี
Sea Surface Height Study in the Gulf of Thailand and South China Sea using Satellite Altimetry Data
นาวาเอกสมมาตร เนียมนิล Marc Naeije และอิทธิ ตรีสิริสัตยวงศ์
2. The Effect of Fouling on an Increase in Skin Frictional Drag on a Ship's Hull and the Reduction Techniques
นาวาโท สุทธิพงษ์ ภาคสุทนต์
3. การศึกษาระบบนีโอดีเมียมแยกเลเซอร์โดยใช้เลเซอร์ไดโอดกระตุ้นจากด้านข้าง
A Nd : YAG Laser System Study by Laser Diode Side Pumped
นาวาโท ผศ. วีระ บุญผุด

บทความวิชาการ

4. On The Job Training การออกแบบระบบไฟฟ้า ณ อุต่อเรือ Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering (DSME) สาธารณรัฐเกาหลี
On The Job Training: Electrical system Design at Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering (DSME) Republic of Korea
นาวาเอก ดิเรก ขจรรัตน์
5. แบตเตอรี่เรือดำน้ำและระบบช่วยในการทำงานของแบตเตอรี่เรือดำน้ำ
Submarine's Batteries and Submarine's Battery Support systems.
นาวาเอก ยุทธภูมิ ศรีสุข
6. การขจัดคราบน้ำมันในทะเล
Treatment of Oil Spill in the Ocean
นาวาเอกหญิง รศ. ศิริรัตน์ บุญโสภิต
7. การใช้สารเคมีทดสอบประเภทโลหะเบื้องต้น
Acid Spot Test
น.ท.หญิง สายฝน เกียวสัมพันธ์