



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ

ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ROYAL THAI NAVAL ACADEMY JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

บทความวิจัย

- 1. The Study of Maekhong River Bank Protection due to the Construction of The North-South Economic Corridor Bridge Project** 1
น.อ.พินัย จินชัย รน.
- 2. EMC Applications for the Navy: Reverberation Chamber Tests** 14
น.ท.ชิตวัน เขยสกุล รน.
- 3. Land Movement Studies using Continuous GPS Technique at Phrachunlachomklao Fort** 21
น.อ.สมมาตร เนียมนิล รน. Wim Simons
- 4. การพัฒนาปืนใหญ่ต่อสู้อากาศยานอัตรจรสำหรับกองพลนาวิกโยธิน** 25
Development of Self-Propelled Anti-Aircraft Artillery for Royal Thai Marine Division
น.ท. ผศ. อุดมศักดิ์ บุญประเสริฐ รน.
- 5. การทดสอบประจำหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในระบบจำหน่าย ตามมาตรฐาน มอก.384-2543** 31
The Routine Test of Distribution Transformer According to TIS 384-2543
บุญเลิศ ลือเฉย
- 6. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์แต่ละชนิด** 37
The Comparison of Solar Cell Panels Efficiency
จิระศักดิ์ ลินสุขอุดมชัย
- 7. การวิเคราะห์เปรียบเทียบการดูดซับพลังงานของท่อผนังบางที่มีรูปร่างหน้าตัดหลากหลายภายใต้แรงดัด** 46
Comparative analysis of energy absorption of thin walled tubes with various section geometries subjected to bending
สมญา ภูณะยา รัฐพงศ์ ปฎิกานัง
- 8. วงจรคูณสัญญาณกระแสสี่ครอดแรนต์ใช้แรงดันต่ำและกำลังงานต่ำโดยใช้มอสทรานซิสเตอร์แบบขาเกตปล่อยลอย** 58
Low-Voltage Low-Power Four-Quadrant Current Multiplier Using Floating Gate-MOS Transistors
มนตรี คำเงิน จิระศักดิ์ ชาญวุฒิธรรม

บทความวิชาการ

- 9. หุ่นยนต์สังหาร และการยอมรับจากมวลมนุษยชาติ** 65
น.ท.สิริรัตน์ ไตรวิรัตน์ รน.



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

ที่ปรึกษาวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

พล.ร.ท.รุ่งศักดิ์ เสรีสวัสดิ์	ผู้บัญชาการโรงเรียนนายเรือ
พล.ร.ต.ไตรขวัญ ไกรฤกษ์	รองผู้บัญชาการโรงเรียนนายเรือ
พล.ร.ต.นพดล สุภากร	รองผู้บัญชาการโรงเรียนนายเรือ
พล.ร.ต.บัณฑิตย์ จันทโรจวงศ์	เสนาธิการโรงเรียนนายเรือ
พล.ร.ต.วศินสรรพ์ จันทวรินทร์	หัวหน้าฝ่ายศึกษาโรงเรียนนายเรือ
พล.ร.ต.วินัส แจ้งสี	ศาสตราจารย์ฝ่ายศึกษาโรงเรียนนายเรือ
น.อ.สุรศักดิ์ ธาราจันทร์	รองเสนาธิการโรงเรียนนายเรือ
น.อ.มนตรี จิ่งมันคง	รองหัวหน้าฝ่ายศึกษาโรงเรียนนายเรือ

บรรณาธิการ น.อ.ยศ.ภาณุวัชร ศรีโปดก

กองบรรณาธิการ

น.อ.หญิง รศ.ยุวดี	เปรมวิชัย	รศ.ดร.จิระศักดิ์	ชาญวุฒิธรรม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
น.อ.เกษม	หวลบุตตา	ผศ.ดร.ทับทิม	อ่างแก้ว	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
น.อ.หญิง อัจฉรา	จันทอรารี	ผศ.ดร.ชาย	ชมภูอินไหว	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
น.อ.มนต์เดช	พัฑฒิปุณย์	รศ.บุญเลิศ	สี่เฉย	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
น.อ.รศ.สมศักดิ์	แจ่มแจ่ม	น.อ.ยศ.นพปฎล	ชนะนะ	
น.อ.ศ.ภาณุฤทธิ์	ยุกตะทัต	น.อ.สมมาตร	เนียมนิล	
น.อ.สมมาตร	กูปกระปี่	น.อ.ยศ.ศักดิ์ดา	นฤนินาท	
น.อ.อรรณพ	เยาวสำลี	น.อ.หญิง สุวรรณ	ลิมสัมพันธ์	
น.อ.ประพันธ์	ศรีเหนียง	น.ท.ยศ.อุดมศักดิ์	บุญประเสริฐ	

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานบทความวิจัย ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีแก่ผู้สนใจทั่วไป
2. เพื่อเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความรู้ใหม่ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
3. เพื่อเป็นเอกสารรวบรวมรายงานและบทความวิจัยที่น่าสนใจและมีคุณค่าทางวิชาการด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

วาระการเผยแพร่ ปีละ 1 ฉบับ

สถานที่ติดต่อ กองบรรณาธิการวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
โรงเรียนนายเรือ เลขที่ 204 ถ.สุขุมวิท ต.ปากน้ำ อ.เมืองฯ จ.สมุทรปราการ 10270
โทรศัพท์ : 0-2475-3921 โทรสาร : 0-2475-3812
e-mail Address : rtnajournal.set@gmail.com

บทความหรือข้อคิดเห็น ในวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นทรัพย์สินส่วนตัวของผู้เขียน
โรงเรียนนายเรือหรือกองบรรณาธิการ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฉบับนี้เป็นฉบับปฐมฤกษ์หรือฉบับแรก จัดทำขึ้นเพื่อเผยแพร่ผลงานวิชาการ บทความวิจัยและบทความวิชาการในด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของนักวิจัย อาจารย์โรงเรียนนายเรือรวมทั้งคณาจารย์และนิสิตนักศึกษาสถาบันการศึกษาต่าง ๆ ตลอดจนบุคคลทั่วไปที่ต้องการเผยแพร่ผลงานวิชาการ ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งในการยกระดับผลงานวิชาการของโรงเรียนนายเรือให้มีมาตรฐานเป็นที่ยอมรับในระดับสากล

ในฉบับนี้มีบทความวิจัยทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีซึ่งมีความหลากหลายและน่าสนใจทั้งสิ้น เริ่มด้วยงานวิจัยของ น.อ.พินัย จินชัย ดอกเตอร์ทางวิศวกรรมแหล่งน้ำท่านได้เสนอการศึกษาถึงผลกระทบจากการสร้างสะพานข้ามแม่น้ำโขง ซึ่งต่อม่อสะพานทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสน้ำและเกิดการกัดเซาะตลิ่งและท้องน้ำ ต่อด้วยบทความวิจัยของว่าที่ดอกเตอร์ น.ท.ชิตวัน เขยสกุล ซึ่งกำลังทำดอกเตอร์อยู่ที่ประเทศออสเตรเลีย ได้เสนอแนวทางในการตรวจสอบการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ก่อนนำไปติดตั้งบนเรือรบหลวง ตามมาตรฐาน MIL-STD-461F โดยใช้เครื่องมือในการตรวจสอบที่ชื่อว่า “ห้องสะท้อนกลับ” (Reverberation Chamber) เป็นบทความที่น่าสนใจมากสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในกองทัพเรือได้เป็นอย่างดีในอนาคต บทความที่สามเป็นของรองผู้อำนวยการกองวิชาวิศวกรรมอุทกศาสตร์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ นำเสนอการวิจัยลักษณะการเลื่อนของแผ่นดินหรือเปลือกโลกที่ล้อมพระจุลจอมเกล้าใกล้ ๆ โรงเรียนนายเรือนี้เอง โดยใช้เทคนิคจีพีเอส จะใช้อย่างไรต้องลองเปิดอ่านครับ ทั้งสามบทความแรกนี้เป็นภาษาอังกฤษเพราะวารสารฯ นี้เปิดรับพิมพ์เผยแพร่ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษซึ่งมีคำแนะนำรูปแบบการเขียนอยู่ท้ายเล่ม บทความที่สี่ออกแนวนักเรียนเป็นการประยุกต์เอาป็นกลอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงมาติดตั้งบนรถบรรทุกของ น.ท.ผศ.อุดมศักดิ์ บุญประเสริฐ อาจารย์นักวิจัยอันดับต้น ๆ ของโรงเรียนนายเรือ บทความที่ห้าเป็นการนำเสนอการทดสอบเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของหม้อแปลงจำหน่ายว่าเป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่ของ รศ.บุญเลิศ สื่อเฉย อาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ซึ่งท่านได้นำเสนอกระบวนการทดสอบไว้น่าสนใจมาก บทความที่หกเป็นของ ผศ.จิระศักดิ์ ลินสุขอุดมชัย ท่านเป็นอาจารย์มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ได้เสนองานวิจัยในแนวพลังงานทดแทนโดยเสนอการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ชนิดต่าง ๆ สามารถนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ในการเลือกใช้งานแผงโซลาร์เซลล์ได้เป็นอย่างดี ซึ่งปัจจุบันมีการนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย บทความที่เจ็ดมาไกลครับ นำเสนอโดยอาจารย์สมญา ภูณะยา และอาจารย์รัฐพงศ์ ปฏิกานัง ท่านทั้งสองเป็นอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ได้เสนองานวิจัยการวิเคราะห์เปรียบเทียบการดูดซับพลังงานของท่ออลูมิเนียมผนังบางที่มีรูปร่างหน้าตัดหลากหลายภายใต้แรงดัด ซึ่งจะมีผลต่อการยุบตัวของท่อเป็นงานวิจัยที่น่าสนใจเช่นกัน บทความที่แปดเป็นงานวิจัยด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดย ผศ.มนตรี คำเงิน อาจารย์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและ รศ.จิระศักดิ์ ชาญวุฒิธรรม ได้นำเสนอวงจรคุณสัญญาณกระแสสี่ครอดแรงดันใช้แรงดันต่ำและกำลังงานต่ำโดยใช้ออสทราซินสเตอร์แบบขาเกตปล่อยลอยซึ่งสามารถใช้กับแรงดันเพียง 0.75 โวลต์ บทความสุดท้ายเป็นบทความวิชาการเกี่ยวกับหุ่นยนต์สังหาร โดย น.ท.สิริรัตน์ ไตรวิรัตน์ อาจารย์กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลเรือ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ ได้นำเสนอข้อมูลที่บุคลากรและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับกลไกอันตรายนี้นับนิยามความหมายและจะให้การยอมรับหรือไม่อย่างไรในอนาคตคงต้องติดตามต่อไป

บรรณาธิการ



สารบัญ

บทความวิจัย

1. The Study of Maekhong River Bank Protection due to the Construction of The North-South Economic Corridor Bridge Project 1
น.อ.พินัย จินชัย
2. EMC Applications for the Navy: Reverberation Chamber Tests 14
น.ท.ชิตวัน เขยสกุล
3. Land Movement Studies using Continuous GPS Technique at Phrachunlachomkiao Fort 21
น.อ.สมมาตร เนียมนิล Wim Simons
4. การพัฒนาปืนใหญ่ต่อสู้อากาศยานอู่ทราจอร์สำหรับกองพลนาวิกโยธิน 25
Development of Self-Propelled Anti-Aircraft Artillery for Royal Thai Marine Division
นาวาโท ผศ. อุดมศักดิ์ บุญประเสริฐ
5. การทดสอบประจำหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในระบบจำหน่าย ตามมาตรฐาน มอก.384-2543 31
The Routine Test of Distribution Transformer According to TIS 384-2543
บุญเลิศ ลือเฉย
6. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์แต่ละชนิด 37
The Comparison of Solar Cell Panels Efficiency
จิระศักดิ์ ลินสุขอุดมชัย
7. การวิเคราะห์เปรียบเทียบการดูดซับพลังงานของท่อผนังบางที่มีรูปร่างหน้าตัดหลากหลายภายใต้แรงดัด 46
Comparative analysis of energy absorption of thin walled tubes with various section geometries subjected to bending
สมญา ภูณะยา รัฐพงศ์ ปฏิภาณัง
8. วงจรคูณสัญญาณกระแสสี่ครอดแรงดันต่ำและกำลังงานต่ำโดยใช้มอสทรานซิสเตอร์แบบขาเกตปล่อยลอย 58
Low-Voltage Low-Power Four-Quadrant Current Multiplier Using Floating Gate-MOS Transistors
มนตรี คำเงิน จิระศักดิ์ ชาญวุฒิธรรม

บทความวิชาการ

9. หุ่นยนต์สังหาร และการยอมรับจากมวลมนุษยชาติ 65
น.ท.สิริรัตน์ ไตรวิรัตน์



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

The Study of Maekhong River Bank Protection due to the Construction of The North-South Economic Corridor Bridge Project

Capt. Dr. Phinai Jinchai

Hydrographic Engineering Dept., Royal Thai Naval Academy,
204 Sukhumvit Road, Paknam, Samutprakan, 10270, Thailand
pjinchai@gmail.com

บทคัดย่อ: โครงการสะพานมิตรภาพไทย-ลาว เป็นโครงการเชื่อมต่อทางเศรษฐกิจ โดยมีการสร้างเส้นทางคมนาคมเชื่อมต่อในสามประเทศ คือ ประเทศจีน ประเทศลาว และประเทศไทย โดยโครงการดังกล่าวอยู่ในพื้นที่อำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย ในการศึกษาผลกระทบจากโครงการจำเป็นต้องมีการศึกษาทางชลศาสตร์ โดยคำนึงถึง ข้อมูลอุทกวิทยาในพื้นที่ก่อสร้าง เพื่อที่จะทำให้เข้าใจถึงผลกระทบตอม่อสะพานที่ถูกสร้างขึ้นและหามาตรการในการสร้างโครงสร้างป้องกันฝั่งที่ได้รับผลกระทบต่อไป งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงความเร็วและทิศทางกระแสน้ำสาเหตุจากผลกระทบจากการก่อสร้างตอม่อสะพานในการศึกษาใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์สองมิติ ชื่อ MIKE21 ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำไปใช้ในการป้องกันการกัดเซาะบริเวณตลิ่งของพื้นที่โครงการ นอกจากนี้ การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในด้านการศึกษาของพื้นที่น้ำของพื้นที่โครงการมีการใช้แบบจำลองชลศาสตร์ดังกล่าวเพื่อศึกษาผลกระทบทางตลิ่งที่เกิดจากการก่อสร้าง โดยใช้สมการของ Blench ในการคำนวณหาความลึกการกัดเซาะพื้นที่ตลิ่งน้ำ ผลที่ได้จากความหนาแน่นการไหลของน้ำก่อนและหลังมีโครงการและแสดงให้เห็นถึงพื้นที่ที่เกิดการกัดเซาะและความลึกพื้นที่ตลิ่งน้ำที่กัดเซาะ จากการประเมินผลกระทบจะช่วยให้สามารถป้องกันความเสียหายที่จะเกิดจากโครงการได้ โดยจะมีมาตรการป้องกันซึ่งจะนำมาใช้ในการป้องกันการกัดเซาะตลิ่งต่อไป

คำสำคัญ: แบบจำลองชลศาสตร์ อุทกวิทยา การกัดเซาะตลิ่ง การกัดเซาะพื้นที่ตลิ่งน้ำ

Abstract: The project named “The North-South Economic Corridor Bridge Project” is one of the economic corridor programs aimed to construct a transportation network connecting three countries – e.g. the People’s Republic of China (PRC), Lao PDR and Thailand. In fact, the project construction has its site in Chiengkong, Chiengrai, Thailand. To complete this project, hydraulic study based on hydrological data within the construction site is included in order to understand the impact of the bridge pillar construction, and to find out the solution for the bank protection. In this study, 2D mathematical model, MIKE21 was used for modeling and simulating the conditions and situations of the project. To illustrate, the result data in the erosion assessment is further considered for riverbank protection. In fact, the result of flux calculation of the water flow both before and after the project is to be presented the river bank erosion area. In addition, the environmental impact evaluation from the bridge construction has been presented by using the mathematical model for calculating the scour depth of the water bed. From these results, it is recommended that to prevent the damage caused by the project, the construction of the 600 meter gabions along both Thai and Laos river banks should be constructed.

Keywords: hydrodynamic model, hydrology, bank erosion, scour depth



1. Introduction

The project named “The North-South Economic Corridor Bridge Project” is one of the economic corridor programs aimed to construct a transportation network connecting three countries – e.g. the People’s Republic of China (PRC), Lao PDR and Thailand.

To complete this project, hydraulic study based on hydrological data within the constructed site is included. In addition, the hydraulic model is needed

The details of method and scope of study are mentioned as follows:

3. Scope of the study

The scope of study can be divided in 4 sections:

- 3.1 To procure the model and data appropriate to the study, according to the objective.
- 3.2 To correct and confirm the result of the model.

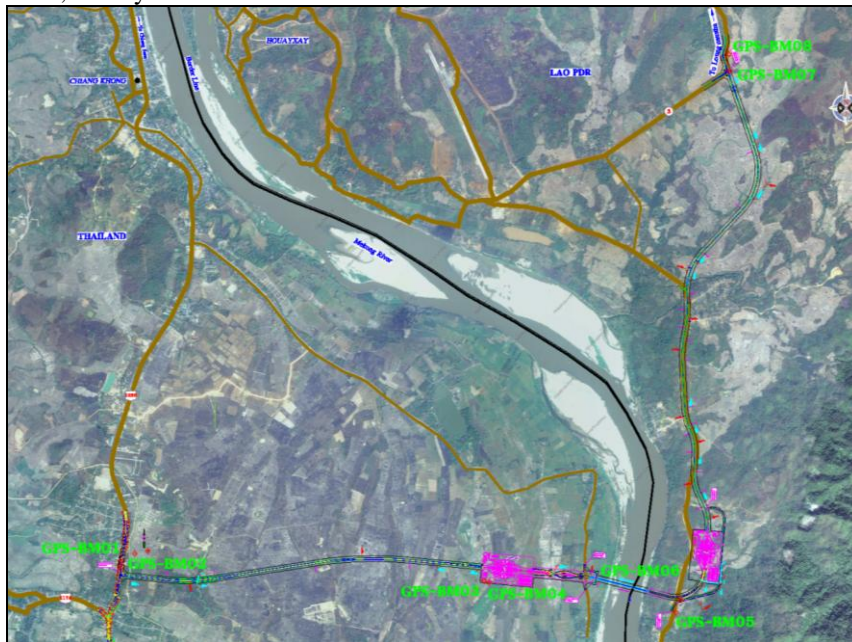


Fig. 1: Study area

in order to understand the bridge pillar construction impact, and to find out the solution for the bank erosion from such impact. Therefore, hydrological information such as rainfall intensity, catchment areas and characteristics – e.g. topography, stream flow, soil type, and etc. of constructed site and discharge of Mekong River (Figure 1.) are required and provided to support engineers according to design criteria.

2. Objective

It is to study the current shift due to the pillar construction using the mathematical model. The erosion assessment is evaluated and the data then is further used for determining the riverbank protection. The model using in this current study is 2D-Hydrodynamic Model, which is capable of simulating according to the hydrological conditions of the area before and after the project. It’s reliability can be verified by field data corrections and confirmation.

- 3.3 To define the appropriate case study as the sample of assessment and simulate as defined.
- 3.4 To assess the impact of the current to the river bank; and to recommend its protection plan due to the erosion shifted.

The study of the impact due to the foundation post on circulation flow of water at the construction site of Mekong Bridge, Chiangkhong, Chiangrai has 2 main parts as follows:

- A) Study of present hydrological conditions at the repeating periods of 2 years, 10 years, 50 years, and 100 years.
- B) Study of hydrological conditions after the foundation post construction at the repeating periods of 2 years, 10 years, 50 years, and 100 years.



4. Methodology

In this study, there are two main present parts which are hydraulic study and erosion evaluation in the studied area. In fact, the study focuses on the current condition and after the project condition. As a result, the data will be used in the erosion assessment which is further used for riverbank protection. The details are as follows:

4.1 Hydrodynamic Simulation

The model MIKE21 from DHI Water and Environment is a mathematical model used for 2-D water flow characteristic calculation. The model assumes only 2 directions of water flow, i.e. north-south, and east-west, excluding the earth-surface perpendicular direction.

Elementary data for the model MIKE21 HD

1. Bathymetry Data

- Topography map, ratio 1:250,000 and 1:50,000
- Bathymetric map, sounding survey in January 2008

2. Hydrographic data used in this study are water level and flow velocity. The data can be divided into 2 main groups, i.e. the water level and velocity current used for the model calibration and verification, and the water level used in the hydrological study before and after the project. The data detail is as followed:

- Data used in the model calibration and verification the data used in this study are from the field observation. The data composes of water level of every 3 hours (daytime: 06.00- 18.00) from 3 stations. The data from 2 stations, i.e. upstream and downstream, is used as the boundary condition position for hydrological simulation. And the data from the station in vicinity of the construction site is used as the model calibration and verification. For the flow velocity calibration, the flow velocity observation data from 3 stations are used.

- The flow data used in hydrological study before and after the project are the water levels which are analyzed at the boundary condition position both upstream and downstream. The summary is shown in tables 1 and 2.

Table 1: Upstream boundary condition (U/S BC)

Tr	Q (cms)	WL (m.MSL)	Flow Area (sq.m)
2	11,620	351.43	6,109.16
5	13,664	353.48	7,284.44
10	15,018	354.84	8,074.48
20	16,314	356.13	8,839.49
50	17,995	357.82	9,821.52
100	19,254	359.08	10,552.30

Table 2: Downstream boundary condition (D/S BC)

Tr	Q (cms)	WL (m.MSL)	Flow Area (sq.m)
2	11,941	349.96	4,578.09
5	14,035	351.85	5,274.42
10	15,422	353.04	5,726.14
20	16,750	354.07	6,118.82
50	18,471	355.59	6,717.56
100	19,761	356.78	7,179.69



2-D Bathymetry Setting-up

The bathymetric data used in this study are from the sounding survey in the project area. The study of hydrological condition in the project area at present time and after the project construction is conducted using grid of size 10 x 10 square meters. The study area has its length for approximately 2500

meters both in the upstream and downstream directions from the construction site which can be expressed in the area of 3.04 square kilometers. From such boundary of study, the mesh of 194 grids x 400 grids is used (grid size 10 x 10 meters), as shown in figure 2-1 and figure 2-2

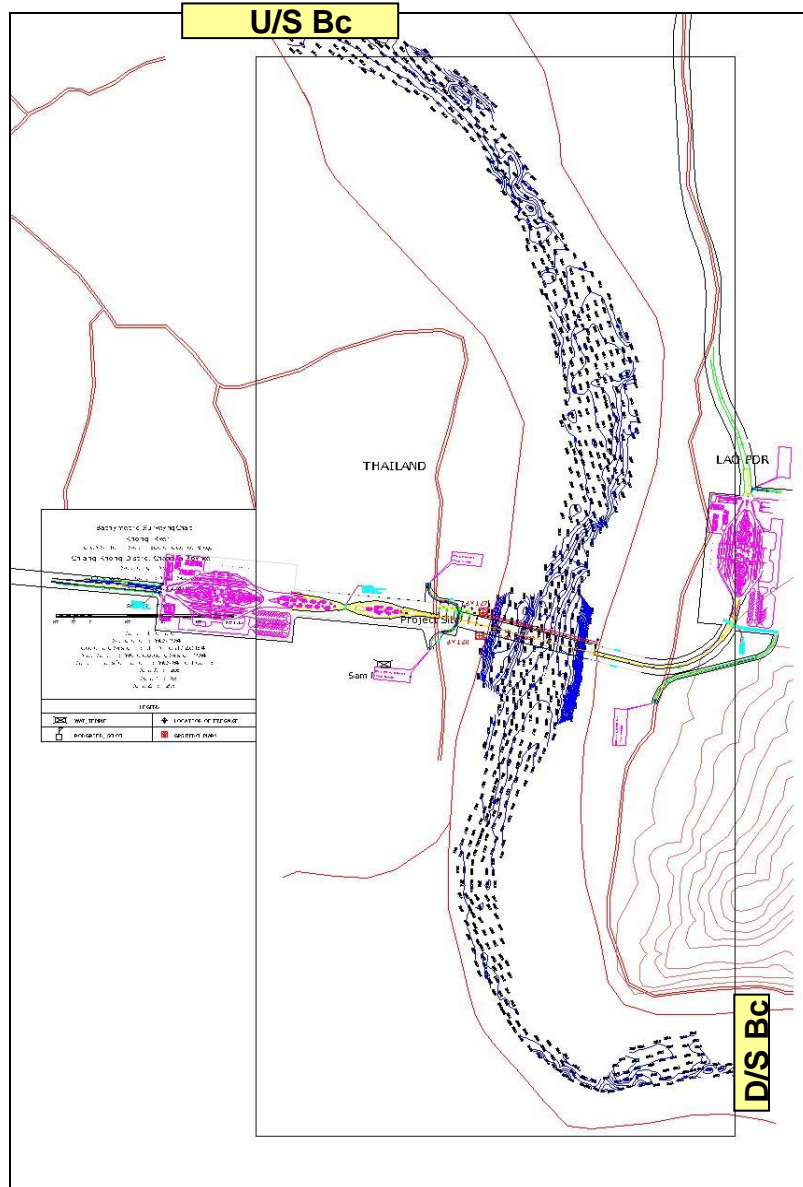


Fig. 2-1: Boundary of study for 2-D Bathymetry Setting-up and the grid setting.

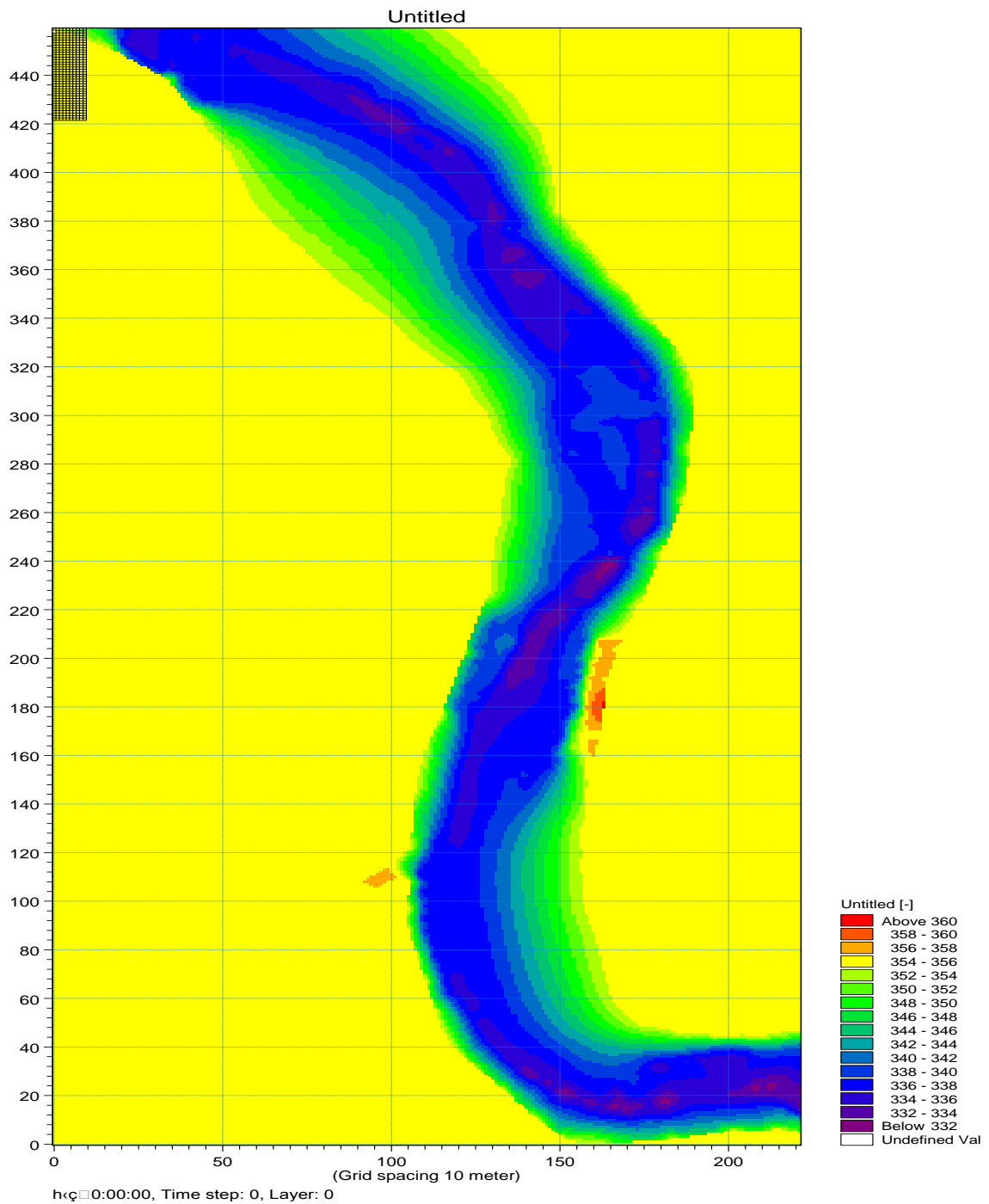


Fig. 2-2: Boundary of study for 2-D Bathymetry Setting-up and the grid setting.



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

Since the grid used for the study is quite small, in order to keep calculating stability the time interval (Δt) chosen from the modeling is 1 second.

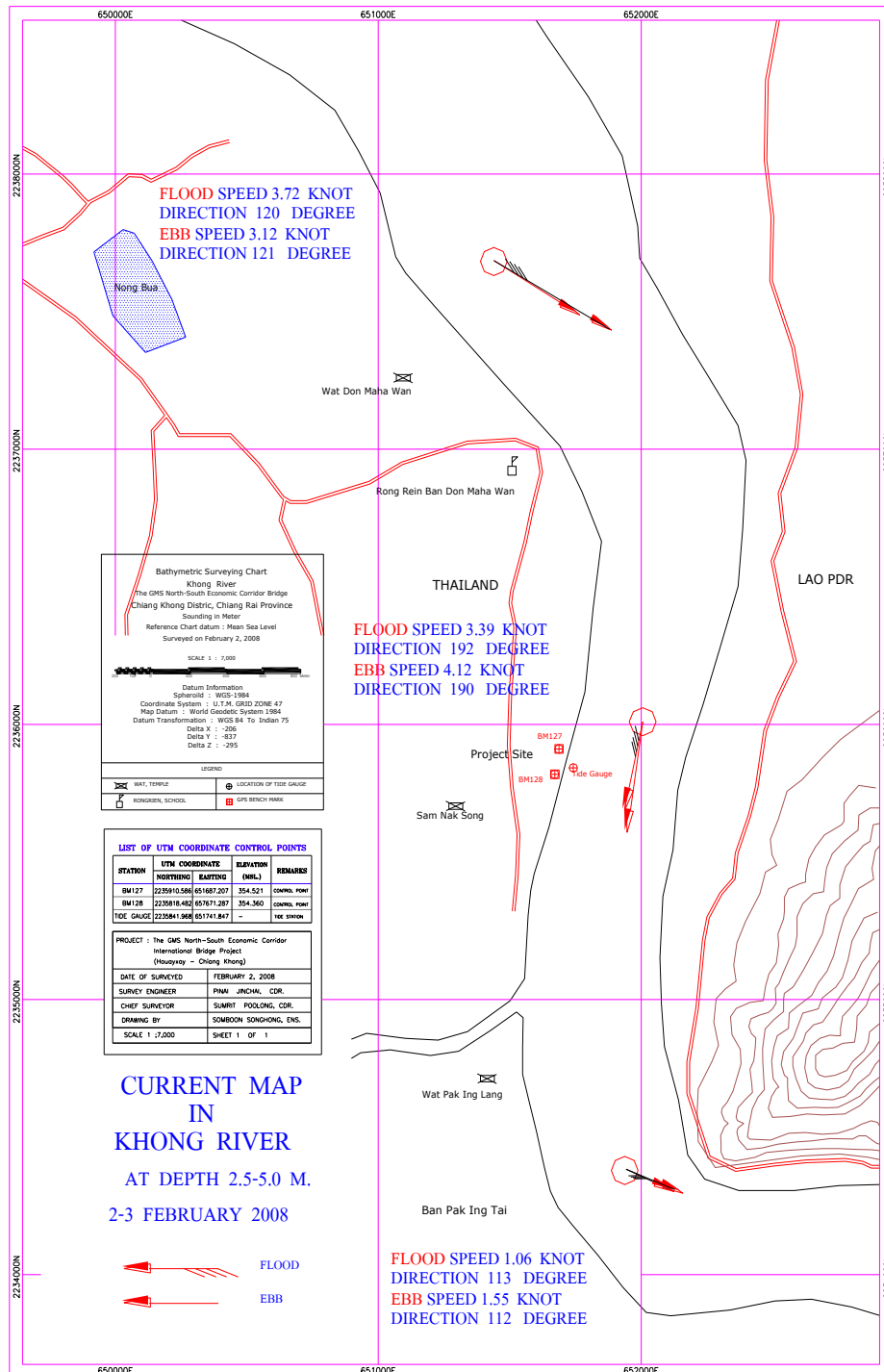


Fig. 3-1: Result of current velocity calibration at the bridge construction site from 3 points of current survey.

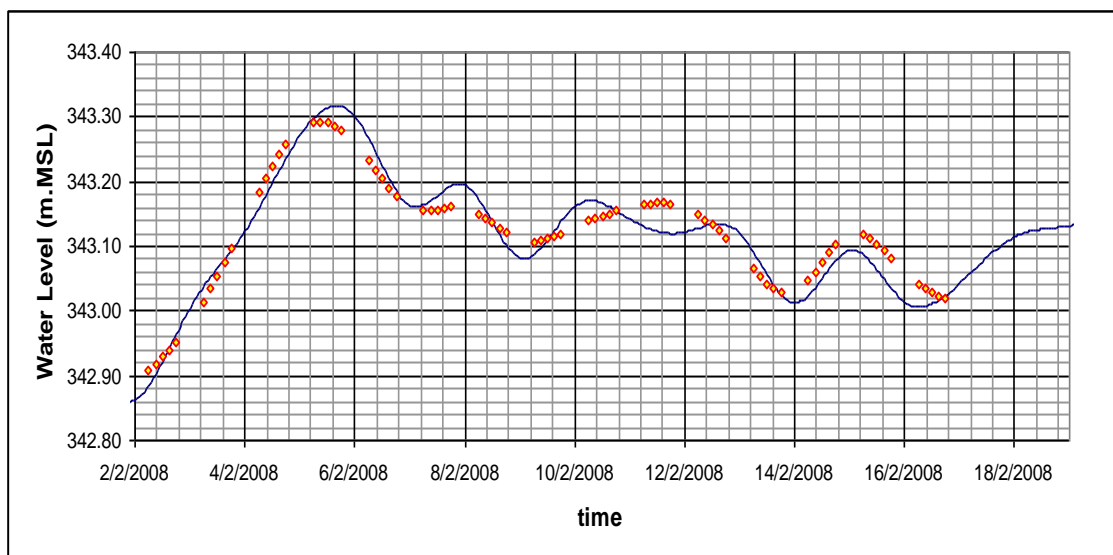


Fig. 3-2: Result of current velocity calibration at the bridge construction site from 3points of Current survey.

Hydrodynamic Model Calibration and Hydrodynamic Model Verification

From the model calibration the friction coefficient, Manning's M , is in between 18.50 - 32.25 meter^{1/3}/second, or equal to 0.031 - 0.035 in the term of Manning's "n". The water level calibration result showed a very good match. For the flow velocity calibration the result was fair, as shown in figure 3-1 and figure 3-2. After the model calibration, the result yielded was used to study the present and after-the-project hydrological conditions.

Model Application - Hydrodynamic Computation

Eight cases were studied, four cases with return periods 2, 10, 50, and 100 years for the present condition and four cases for after the project condition.

4.2 Scour depth evaluation

In the evaluation, the highest erosion depth or scour depth is calculated by the Blench's equation (1969).

$$D_{\max} = z(q^2/F_{b0}) \quad (1)$$

where

D_{\max} = maximum scour depth in meters

Z = factor accounting for the local flow pattern

q = Local discharge density (m³/s/m width)

F_{b0} = Zero base factor (Fig.4)

The erosion of any position on any grid, the equation is calculated by following:

$$D_{(i,j)} = z(q_{(i,j)}^2/F_{b0}) \quad (2)$$

where

$D_{(i,j)}$ = maximum scour depth in meters at grid position i,j

$q_{(i,j)}$ = Flux result at grid position i,j

i = Horizontal grid number

j = Vertical grid number

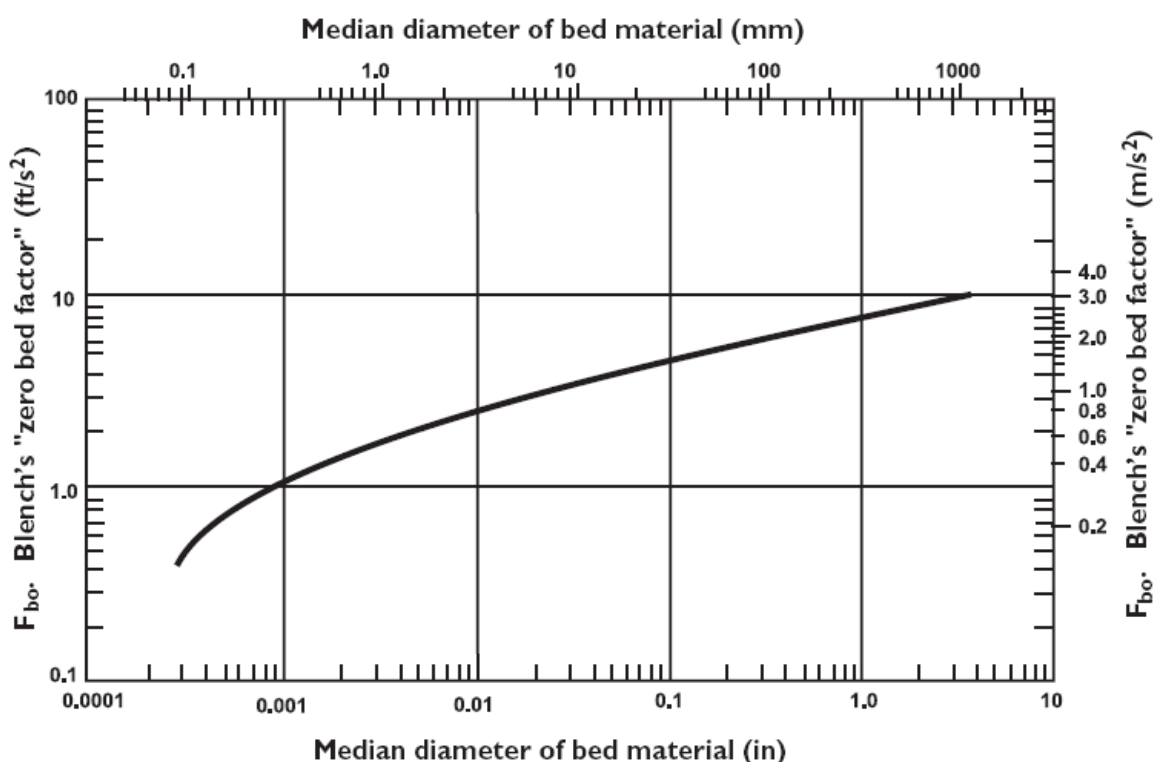


Fig. 4: Chart for estimating F_{b0}

5. Result

It was found that the flow pattern for all the return periods were identical. The flow in the vicinity of the pillar changes its direction to avoid the pillar and return to the usual flow condition. The farthest deviated distance was 350 meters from the pillar construction site. From that reason, the flow velocity in between the pillars and the river banks is increased. However, the study in normal condition (Tr100 years), the flow change due to the construction is small for before and after the project. In the case of high return period, the current may corrode both the channel and banks due to the change from the construction. The calculation results are shown from figure 5 to 7.

From the change affected from the construction, the vertical eroded depth can be evaluated as shown in figure 5 to 7. It is found that the highest erosion depth affected from the project are 11, 26, 30 and 48 cm., for the return period 2, 10, 50, and 100 years,

respectively. To prevent the damage caused by the project construction, the protection measure is applied to prevent the erosion of the banks by considering the protection area as:

- 1) Since the Mekong River is the river boundary between two countries, Thailand and Laos, the protected areas have to be equal to each bank by considering the bigger area first.
- 2) The velocity for the flood flow of the Mekong River is very high and the project is in the narrow part of the river. As a result, the flow current is higher than normal. Therefore, the protection should start from the narrow part from the upstream part of the project.

For the return period of two years, the protection is not needed, for 5, 50, and 100 years return periods, the protection should be 300, 400, and 600 meters respectively. The relationship between the return periods and the protection areas is as shown in figure 8. In addition, the protection area positions are as shown in figure 9.

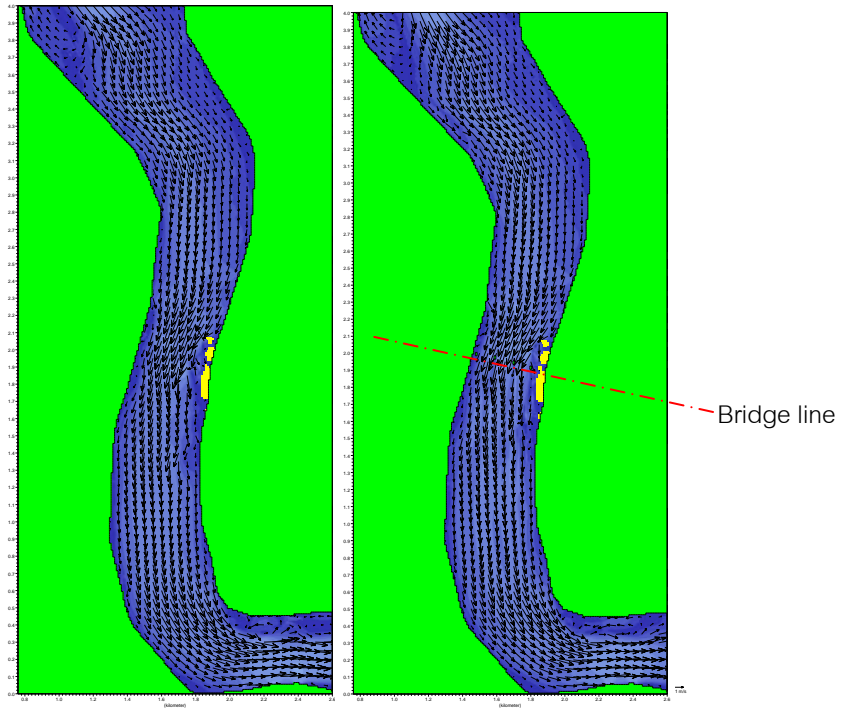


Fig. 5: Hydrological condition during flooding period, 100 years return period, before and after foundation pillar construction.

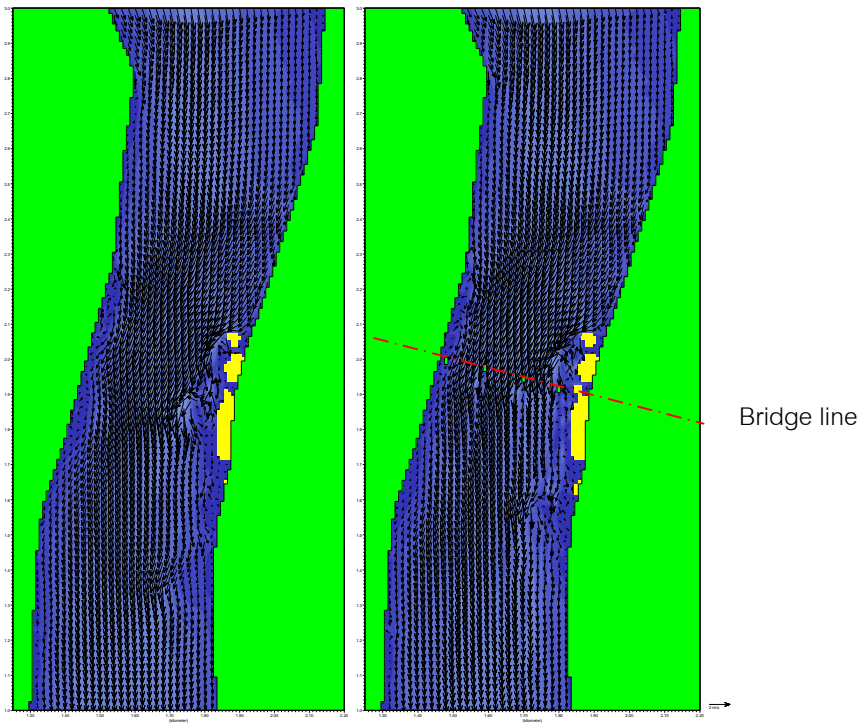


Fig. 6: Hydrological condition in the foundation post area during the flooding period, 100 years return period, before and after foundation pillar construction.

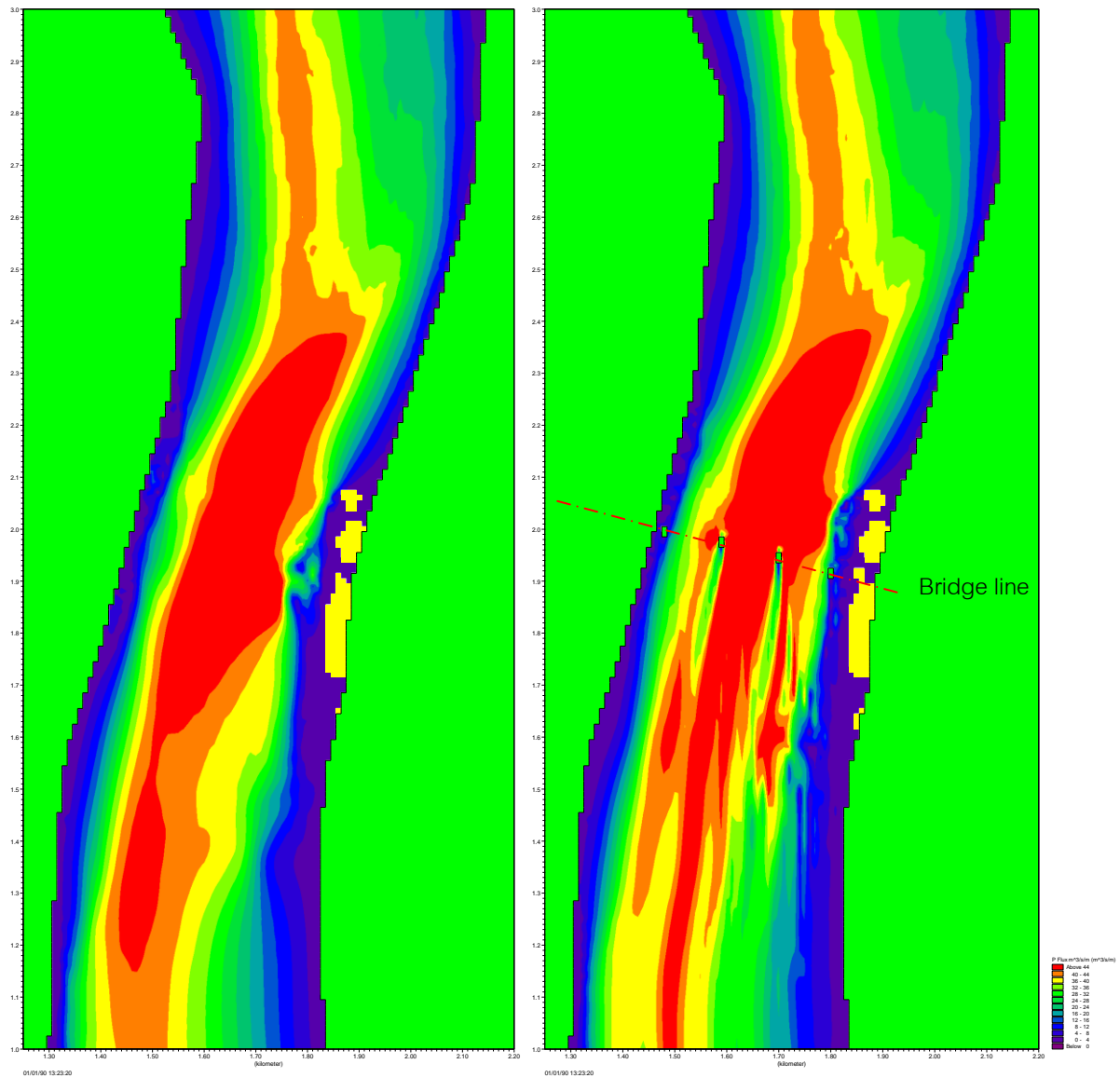


Fig. 7: Flow density condition in the pillar area during the flooding period, 100 years repeating period, before and after foundation post construction.



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

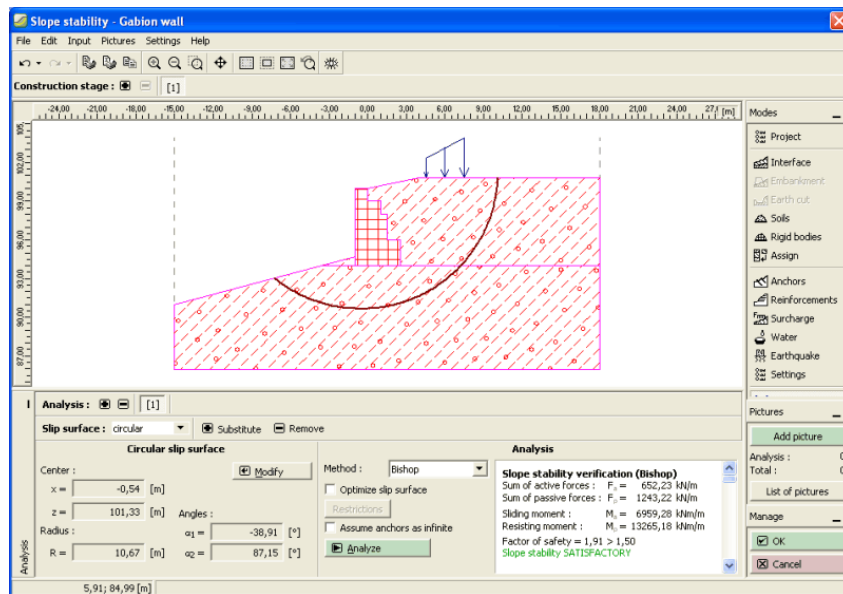
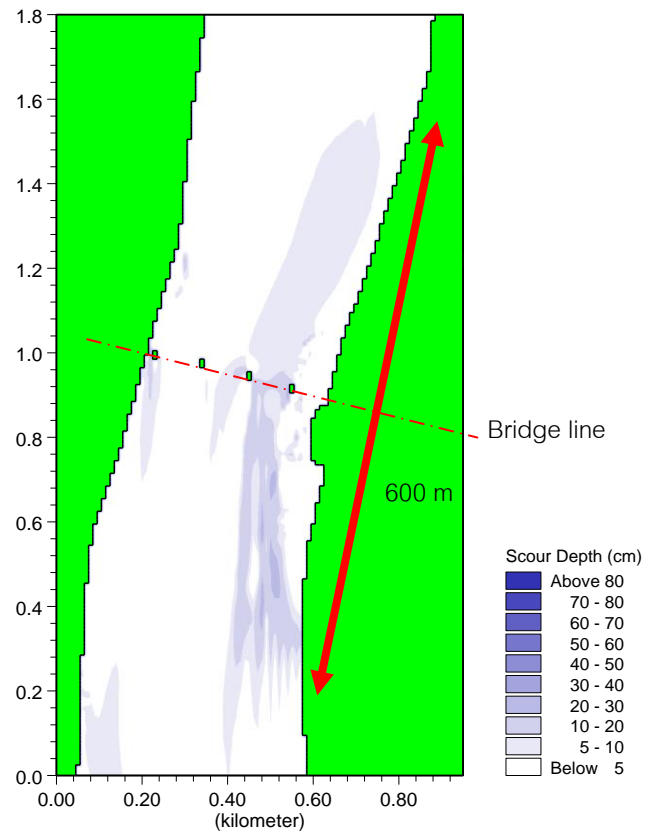


Fig. 8: Scour depth area that occurred after the project at 100 years repeating period

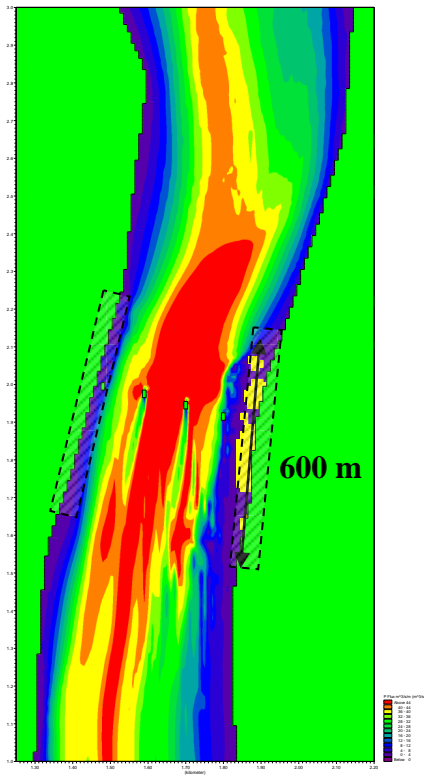


Fig. 9: Corrosion-protection-structure-shall-be location.

The model result has shown the differences between before and after the project concerning the idea that the changes of the current cause the erosion. In fact, the worst case erosion affected from the magnitude and direction changes of the current before

and after the project which can evaluate by Blench's equation. Therefore, this can lead to the protection measure to be used later. In this project, the bank protection is to use 600 meter gabions for both sides.

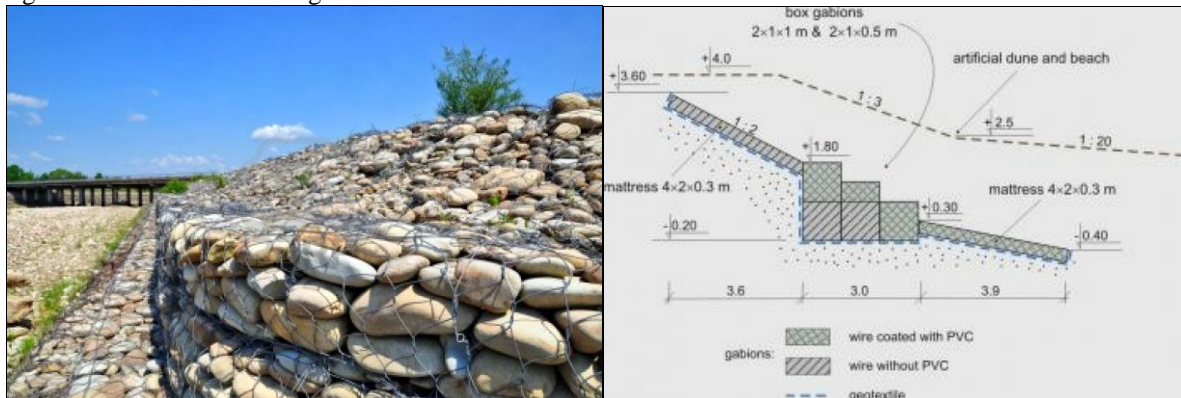


Fig. 10: Corrosion-protection for the construction of the 600 meter gabions is recommended along both Thai and Laos river banks



6. Conclusions

In conclusion, the environmental impact evaluation of the water bed scour depth from the bridge construction has been presented by using mathematical model. In fact, 2D mathematical model, MIKE21 was used for modeling and simulating the conditions and situations of the project. To illustrate, the result data in the erosion assessment is further considered for riverbank protection. The result of flux calculation of the water flow both before and after the project is to be presented the river bank erosion area. In addition, the environmental impact evaluation from the bridge construction has been presented by using the mathematical model for calculating the scour depth of the water bed. Since the Mekong River is the river boundary between two countries, Thailand and Laos, the protected areas have to be equal to each bank by considering the bigger area, and the velocity for the flood flow of the Mekong River is very high and the project is in the narrow part of the river. As a result, the flow current is higher than normal. Therefore, the protection should start from the narrow part from the north of the project. From these results, it is recommended that to prevent the damage caused by the project, the construction of the 600 meter gabions along both Thai and Laos river banks should be constructed as shown in figure 10.

References

- [1] DHI., *MIKE 21 User Guide*. Danish Hydraulic Institute, 2000b
- [2] Richardson, E. V. and S. R. Davis., *Evaluating Scour at Bridges, Hydraulic Engineering Circular No. 18. Publication No. FHWA-IP- 90-017. Third Edition*, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. 1995
- [3] Blench, T., "Discussion on scour at bridge crossing by Laursen, E.M, Part-1, Design Transmittals: East Pakistan Water and Power Development Authority, East-West Interconnector Project", *Trans. ASCE*, Vol. 127, 1962.



Cpt. Dr. Phinai Jinchai was born in Pitsanuloke, Thailand, in 1968. He was received the B.Sc. in Hydrographic Engineering from Royal Thai Naval Academy, in 1992, and M.Sc. in Coastal & Oceanographic Engineering from University of Florida, USA., in 1998 and Ph.D in water resources engineering from Kasetsart University, in 2012. He interested in Hydrographic Survey, Port and Harbor Engineering, Coastal Engineering, Sediment Transport, Oceanography, Coastal Environment and Water resources engineering.



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

EMC Applications for the Navy: Reverberation Chamber Tests

Chittawan Choeyesakul, Franz Schlagenhauer, and Peter Hall
International Centre for Radio Astronomy (ICRAR)
Building 610, Room 101 (Brodie-Hall Building) 1 Turner Avenue,
Bentley, Technology Park, WA 6102 Australia
chittawan_thai@yahoo.com

บทคัดย่อ: อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทุกชนิดที่ใช้บนเรือรบหลวง มีความซับซ้อนในการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า อาทิเช่น ระบบโทรคมนาคม หรือ ระบบเรดาร์ จึงมีความจำเป็นที่ต้องตรวจสอบการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ก่อนนำไปติดตั้งบนเรือรบหลวง ให้เป็นไปตามมาตรฐานสากล เพื่อป้องกันอุบัติเหตุอันเนื่องมาจากการเหนี่ยวนำไฟฟ้า ซึ่งอาจนำมาซึ่งผลลัพธ์ตั้งแต่อุปกรณ์สื่อสารขัดข้อง จนถึงการจู่ระเบิดระบบอาวุธบนเรือดังเช่นในอดีต

ในปัจจุบันระบบมาตรฐานสากลที่ใช้ตรวจสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนเรือรบหลวง คือมาตรฐาน MIL-STD-461F ซึ่งถูกพัฒนาโดยกองทัพสหรัฐอเมริกา มาตรฐานดังกล่าวมีการบรรจุ การใช้เครื่องมือในการตรวจสอบที่ชื่อว่า “ห้องสะท้อนกลับ” ทำให้ความต้องการการใช้งานห้องสะท้อนกลับกลายเป็นเครื่องมือที่ได้รับความนิยมมากขึ้น แต่ยังคงมีข้อขัดข้องในเรื่องการใช้งานย่านความถี่ต่ำ

เอกสารวิจัยนี้สร้างขึ้นโดยมีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาระบบห้องสะท้อนกลับให้สามารถใช้งานในย่านความถี่ต่ำที่เหมาะสมกับการใช้งานของกองทัพเรือไทย

คำสำคัญ: ห้องสะท้อนกลับ MIL-STD-461F

Abstract: Electrical and electronic equipment installed on ships especially on the top-deck must have very low electromagnetic emission and good immunity for the whole operational frequency range. Reverberation Chambers (RC) are tools for sensitive emission measurements and immunity tests against strong electromagnetic fields, at a lower cost than other techniques. Method of RC should be suitable for testing Navy's electronic devices such as radio or radar system. However, RCs must be large for tests at low frequencies; for example, at 80 MHz conventional RC must have dimensions up to 7 m by 15 m by 8 m. For the Navy concern, the lowest operation frequency can be as low as 2 MHz (underwater communication can be lower).

Conventional RCs can only be used above a certain frequency, the lowest usable frequency (LUF), as they require a minimum mode density (number of modes per frequency interval) in order for the stirrer to perform effectively and alter field distributions. Technique of MIMO RC [1, 2] can make RCs usable down to much lower frequencies; it can mean the dimensions of the chamber can be up to 6 times smaller.

However, the composite Q-factor of RCs can be rather low at low frequencies, and this affects the sensitivity, and ultimately usability of an RC. This paper studies the possibility to increase composite Q-factor when RC is used at lower frequencies than conventional method.

Keywords: Reverberation chambers (RC), emission measurements, Q-factor, LUF



1. Introduction

By 1967, Electromagnetic Compatibility (EMC) had been recognised as an issue in the integration of electronic systems, which had little connection between standards developers in different parts of the world, most nations had no product-level regulation and different services used different specifications. In 1967, the USS Forrestal disaster has brought EMC to the front of military minds. The USS Forrestal was an aircraft carrier operating in the Vietnam War, where it used F-4 Phantom aircraft loaded with Zuni rocket, which used an electrical signal to initiate launch. Accidentally, in July 1967, one of the F-4 Phantoms on the carrier's deck inadvertently launched a Zuni rocket, which crossed the deck and struck the full belly fuel tank of another aircraft. The ensuing explosion and fire of the aircraft's 1000lb bomb caused a chain reaction of fires and explosions resulting in ultimately the loss of 134 sailors and the injury of a further 62 [3]. The flight deck was penetrated by the heat and explosions, causing fire to spread throughout the ship; the fires continued to burn on three levels below the flight deck for many hours afterwards.



Fig. 1: The USS Forrestal disaster in 1967 related to EMC [3].

The actual cause is unknown, but two possibly assumptions of the incident are related to EMC. Firstly, it was a problem of shielding effectiveness, as a faulty cable shield allowed the extremely high power ship's transmitters to propagate to the launch command lines [4]. Second thought was an electrical transient happened during weapon loading resulting in

activating of a false launch signal. For both assumptions, EMC is a key suspect.

After that, military standards on EMC were released in USA At the centre were MIL-STD 461, 462 and 463. MIL-STD 461 is still in use, and the recent update is MIL-STD-461F from 2007 [5]; Many NAVYs around the world also use MIL-STD-461F, unless they have developed their own standards. MIL-STD-461F provides both recommended test levels and the test procedures for a number of different tests. These are divided into four broad categories: CE - Conducted Emissions, CS - Conducted Susceptibility, RE - Radiated Emissions, and RS - Radiated Susceptibility. The requirements are drawn from the standard and shown as Fig. 2. Obviously, from the tables, the requirements for Nave Surface ships and submarines are the most demanding compare to Army and Air Force applications.

2. Reverberation Chamber for the requirements

MIL-STD461f [5] is ALSO used as reference for Royal Thai Navy and many countries. To demonstrate compliance emission measurements and susceptibility tests must be performed; there are four main methods for radiated emission and susceptibility tests (RE and RS). Method of Reverberation Chamber (RC) is a tests in an electrically-large, highly conductive, resonant cavity [6]. Emission measurements can be made more sensitive compared with an OATS or AC, and immunity tests can also be done at low cost because high field strengths can be generated with a moderate amplifier power. RC method provides a statistical result which is good for stability, repeatability and reliability. Besides, cost per square meters of RC is cheaper than AC (no need for any absorber).

For making emission measurements, RC method is only one method that has capable to measure indirect path loss by controlling the reflecting signals, while the others are measuring direct path loss by controlling the environment. As the result, normal method (for instance OATS) has some common limitations (figure 4) related to high ambient noise level, reflections, weather, and emission masking; RC can find problems, as emission problems cannot be hidden.

A high quality factor (Q) allows generating strong signals with very low source power, or measuring the emission from weak emission with conventional EMC receivers. The benefit also applies to immunity tests.



This is important for navy equipment on deck which can be subject to high field strength at low frequencies (HF transmitters) up to very high frequencies (RADAR system). Besides, from my point of view, method of RC could be suitable for simulating a hybrid ship environment as most rooms on the ship will probably have similar characteristics as resonant cavities.

TABLE V. Requirement matrix.

Equipment and Subsystems Installed In, On, or Launched From the Following Platforms or Installations	Requirement Applicability																	
	CE101	CE102	CE106	CS101	CS103	CS104	CS105	CS106	CS109	CS114	CS115	CS116	RE101	RE102	RE103	RS101	RS103	RS105
Surface Ships	A	A	L	A	S	S	S	A	L	A	S	A	A	A	L	A	A	L
Submarines	A	A	L	A	S	S	S	A	L	A	S	L	A	A	L	L	A	L
Aircraft, Army, Including Flight Line	A	A	L	A	S	S	S	S	A	A	A	A	A	A	L	A	A	L
Aircraft, Navy	L	A	L	A	S	S	S	S		A	A	A	L	A	L	L	A	L
Aircraft, Air Force		A	L	A	S	S	S	S		A	A	A	A	A	L	A		A
Space Systems, Including Launch Vehicles	A	L	A	A	S	S	S	S		A	A	A	A	A	L		A	A
Ground, Army		A	L	A	S	S	S	S		A	A	A	A	A	L	L	L	A
Ground, Navy		A	L	A	S	S	S	S		A	A	A	A	A	L	A	A	L
Ground, Air Force		A	L	A	S	S	S	S		A	A	A	A	A	L	A	A	L

Legend:

- A: Applicable
- L: Limited as specified in the individual sections of this standard
- S: Procuring activity must specify in procurement documentation

TABLE IV. Emission and susceptibility requirements.

Requirement	Description
CE101	Conducted Emissions, Power Leads, 30 Hz to 10 kHz
CE102	Conducted Emissions, Power Leads, 10 kHz to 10 MHz
CE106	Conducted Emissions, Antenna Terminal, 10 kHz to 40 GHz
CS101	Conducted Susceptibility, Power Leads, 30 Hz to 150 kHz
CS103	Conducted Susceptibility, Antenna Port, Intermodulation, 15 kHz to 10 GHz
CS104	Conducted Susceptibility, Antenna Port, Rejection of Undesired Signals, 30 Hz to 20 GHz
CS105	Conducted Susceptibility, Antenna Port, Cross-Modulation, 30 Hz to 20 GHz
CS106	Conducted Susceptibility, Transients, Power Leads
CS109	Conducted Susceptibility, Structure Current, 60 Hz to 100 kHz
CS114	Conducted Susceptibility, Bulk Cable Injection, 10 kHz to 200 MHz
CS115	Conducted Susceptibility, Bulk Cable Injection, Impulse Excitation
CS116	Conducted Susceptibility, Damped Sinusoidal Transients, Cables and Power Leads, 10 kHz to 100 MHz
RE101	Radiated Emissions, Magnetic Field, 30 Hz to 100 kHz
RE102	Radiated Emissions, Electric Field, 10 kHz to 18 GHz
RE103	Radiated Emissions, Antenna Spurious and Harmonic Outputs, 10 kHz to 40 GHz
RS101	Radiated Susceptibility, Magnetic Field, 30 Hz to 100 kHz
RS103	Radiated Susceptibility, Electric Field, 2 MHz to 40 GHz
RS105	Radiated Susceptibility, Transient Electromagnetic Field

Fig. 2: The requirement matrix, emissions and susceptibility for military.

Conceptually, method of RC is stirring standing waves, as they occur in an enclosure, by using a metallic paddle (called stirrer) to change boundary conditions for, and such change the spatial distribution of electromagnetic fields inside the cavity. However, the lowest usable frequency (LUF)

is one of the most concerns for every RC, as the chamber can only be used above a certain frequency. The LUF is affected by composite Q-factor; higher composite Q-factor can affect in having more sensitive emission measurements but also resulting in higher the LUF.

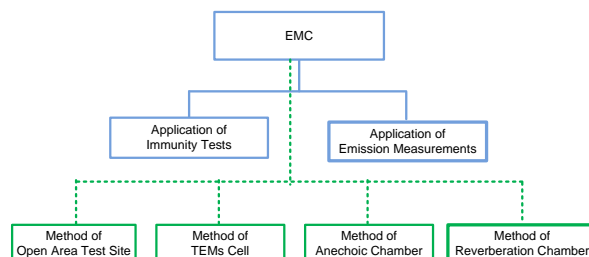
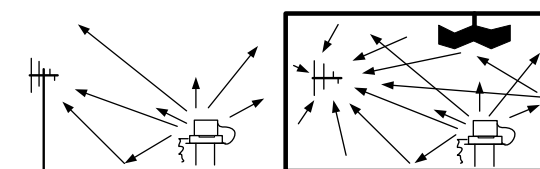


Fig. 3: The two applications and four methods of EMC.



a) Open Area Test Site (OATS) b) Reverberation Chamber (RC)

Fig. 4: Example of making emission measurements



Fig. 5: HTMS. Makutrajakumarn

According to [6], the LUF for a conventional RC (i.e. one which is used according to IEC 61000-4-21 [6] can be predicted by (1), or (2) with approximation of the 60th mode with a rectangular empty cavity with dimensions L, W, and H (in m), with no information of composite Q-factor. The LUF (in Hz) can be calculated by:

$$N \approx \frac{8\pi}{3} LWH \frac{f^3}{c^3} - (L + W + H) \frac{f}{c} + \frac{1}{2} \quad (1)$$



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

$$F_{l,m,n} = \frac{c}{2} \sqrt{\left[\left(\frac{l}{L}\right)^2 + \left(\frac{m}{W}\right)^2 + \left(\frac{n}{H}\right)^2\right]};$$

$$\mu_r, \epsilon_r = 1; \quad (2)$$

where c is the speed of wave propagation in the enclosure (m/s). l , m , and n are the mode indices (at least two of them are nonzero). N is number of mode.

Operational frequencies for the Royal Thai Navy cover a very wide range; HTMS Makutrajakumarn as an example, uses frequencies from HF (2 MHz) to Ku band (up to 18GHz). To be usable at frequencies down to just 30 MHz would require a conventional RC with dimensions in the order of 20 m by 10 m by 10 m. Lower frequencies would require even larger chambers. A special technique developed at the International Centre for Radio Astronomy Research (ICRAR) at Curtin University, Western Australia, [1, 2] allows RC to be used at much lower frequencies [7]; the technique is called Multiple Input Multiple Output RC (MIMO RC) (see Fig. 6). As the MIMO RC is used at much lower frequencies than a conventional RC, the quality factor of a resonant cavity at low frequencies must be considered, and this is the topic of this paper.

3. Objectives

The quality factor (Q-factor) of a resonant cavity, and thus of the MIMO RC, depends on the losses due to currents in the walls, and due to absorption from antennas. The objective of this research is to study possibility of controlling the composite Q -factor below the typical LUF of a RC.

Besides, this research also studies on possibility of scaling the concept model of MIMO RC for NAVY; i.e., studying on how composite Q -factor can affect the sensitivity of MIMO RC when the concept model is scaled up (rescaling to HF range for the NAVY). The outcome of this research could be for making a MIMO RC for the NAVY.

4. Methodology & Experiments

To investigate behavior of composite Q -factor, a shielded room which is 5 times bigger than the prototype of MIMO RC (Fig. 6) is modeled on HFSS simulation program. This is just as same as scaling of a dipole antenna; i.e., if a dipole is scaled up for X times, its operation frequencies will be scaled down for exactly X times. The shielded room is 5 times bigger than the prototype model of MIMO RC; they are modeled with ANSOFT HFSS simulation program as shown Fig. 7. Characteristics of both models are summarised in Table I.

According to [8], their effective Q-factor Q_g can be defined as (3).

$$Q_g = \frac{f_{mnp}}{\Delta f_{mnp}} \quad (3)$$

Where: f_{mnp} = modal frequency, Δf_{mnp} = the modal bandwidth, which is determined by the 3dB fall of the S_{21} parameter.

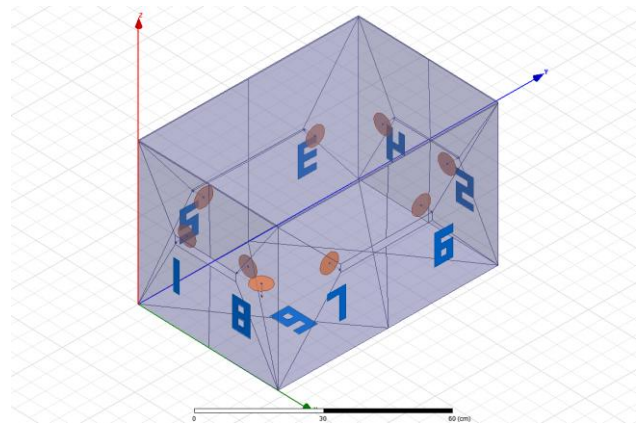


Fig. 6: The model concept of MIMO RC (using of multiple antennas instead of only one)

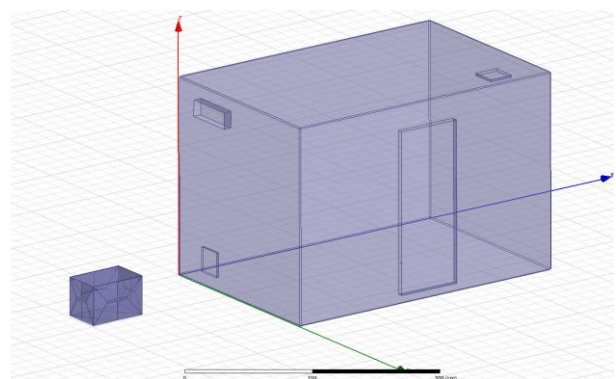


Fig. 7: Models of the prototype of MIMO RC and the shielded room (5 times bigger) on ANSOFT HFSS.



TABLE I
SIMULATED COMPOSITE Q-FACTOR FOR STEEL, AND
COPPER

Parameters	Shielded Room	Prototype of MIMO RC	Scale
Dimensions	3.6m×2.4m×2.4m	0.76×0.48 ×0.48m	
Surface of cavity	48.81m ²	1.8432m ²	1:5.15
Volume of cavity	22.61m ³	0.1759m ³	1:5.02
The 1 st resonance	75MHz	375MHz	1:5
Conventional LUF	242MHz	1,214MHz	1:5
FOI	DC to 600 MHz	DC 3,000 MHz	1:5
Composite Q-Factor			
STEEL : start FOI	28.33	25.73	1.10:1
($\mu_r=10$) : stop FOI	903.48	712.50	1.26:1
COPPER: start FOI	28.56	26.17	1.09:1
: stop FOI	903.48	955.86	1.09:1

4.1 Composite Q-factor by Calculation

The comparisons in Table I show simulated Q_g of both enclosures are not scaled for each other. According to [8], Q_g is combination of the effect of the walls (Q_1) and effect to of the receiving antenna (Q_2). The Q_g can be calculated as:

$$Q_g = \frac{Q_1 Q_2}{Q_1 + Q_2} \quad (4)$$

$$Q_1 = \frac{3V}{2S} \sqrt{\frac{\omega_0 \mu_0 \sigma}{2\mu_r}} \quad (5)$$

$$Q_2 = \frac{2}{\pi} \frac{\omega_0^3}{c^3} V \quad (6)$$

Where: V= Volume, S= Surface of the cavity, σ = the electric conductivity, μ_0 = the permeability of free space, μ_r = relative magnetic permeability, ω_0 = angular frequency.

Fig. 8 shows plots for composite the Q-factor for the scaled model (lower frequency axis, black curve) and the full sized shielded room (upper frequency axis, blue curve) with dimensions 5 times larger. .. The same modes appear at 5 times the frequency in the scaled model as in the full size shielded room, and thus appear at the same place along the horizontal axis in Fig. 8. At low order modes (low frequencies) the composite Q-factor is dominated by Q_2 and is not affected by scaling (5 times larger size results in a 125 times larger volume, and this is compensated the influence of ω^3) At higher frequencies, where the composite Q-factor is dominated by Q_1 , the scaling affects the results, and generally a larger room has a higher Q-factor for the same mode. This can also be explained by the equations (4), (5), and (6).

4.2 Analysis the Results

The Q_1 of both enclosures are not in proportional to each other. Instead, at any on X-axis, the Q_1 of the shielded room is equal to Q_1 of the model MIMO RC multiplied by $\sqrt{5}$. Indeed, they are not in linear scaled.

$$Q_1 = \frac{3V}{2S} \sqrt{\frac{\omega_0 \mu_0 \sigma}{2\mu_r}} \rightarrow Q_1 = \frac{V}{S} \sqrt{f_0}$$

$$\rightarrow Q_1 = \frac{5 \times 5 \times 5}{5 \times 5} \sqrt{\frac{1}{5}} \rightarrow Q_1 = \frac{5}{\sqrt{5}} = \sqrt{5}$$

In contrast, the Q_2 , is not affected from neither the electric conductivity (σ) nor relative magnetic permeability (μ_r). In fact, the Q_2 is affected by properties of the antenna (hence the ω^3 term) and the total energy in the room (hence the V); so, their Q_2 -values are linearly scaled (inversely proportional) to each other. For instance, at any on X-axis, the Q_2 of the scale model will equal to Q_2 of the shielded room divided by 5.

Where Q_1 their Q_g which is combination between Q_1 and Q_2 cannot be linearly scaled. In other word, if two enclosures are scaled, the bigger room has got higher Q_g at every scaling frequency, and the different also depends on type of material.

4.3 Controlling the Composite Q-Factor on MIMO RC

The analysis reveals possibility to control Q_g by either changing value of Q_1 (related to walls and thus not practical) or value Q_2 (related to antennas). The model of prototype MIMO RC installed with 9 antennas [1, 2]; therefore, changing value of Q_2 can be done easier by changing the load on antenna ports, for instance leaving them open, terminating them with 50 ohm, matching them for maximum power absorption. E.g. open ports can increase values of Q_2 compared to 50 ohm loads. Fig. 9 shows results that confirm this reasoning; the composite Q-factors (Q_g) are higher when all but one antenna (the one used to measure S_{12}) are open. unused antennas are opened instead of terminated with 50 ohm loads. Thus, this can mean that more sensitive measurement on MIMO RC can be done when the unused antenna ports are opened.

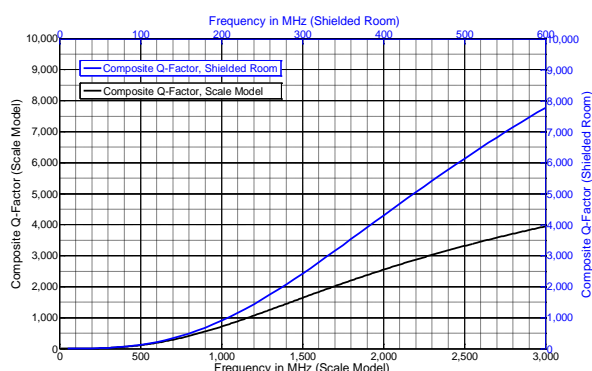


Fig. 8: The double plots show the calculated composite Q -factors of the prototype MIMO RC and the shielded room.

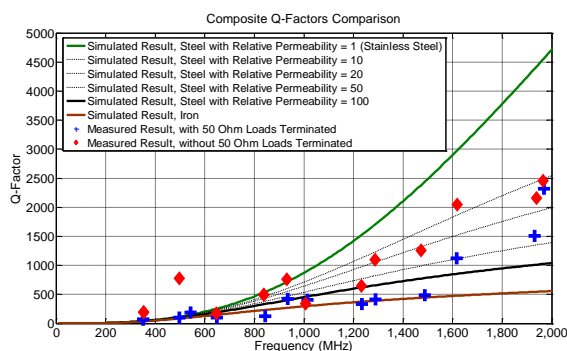


Fig. 9: Comparison between measured and calculated composite Q -Factors, the 1:5 scale model.

5. Conclusion

Method of RC requires high composite Q -factors (Q_g) to make more sensitive measurement, but it forces RC to be usable at only high frequencies. Although novel method, MIMO RC, can be used at lower frequencies than a conventional RC, the sensitivity can be quite low mainly because of power absorbed by antennas.

It is found in this research that Q_g on MIMO RC can be increased when the rest of antennas are opened (without any load terminated). This can be explained by (4) that when antennas is unloaded Coefficient relative to the receiving antenna (Q_2) can be increased resulting in increasing of (Q_g). As the results, MIMO RC can make more sensitive measurement. The outcome shows promising possibility of MIMO RC for NAVY concern since HF (2 MHz) to Ku band (up to 18GHz).

References

- [1] C. Choeysakul, F. Schlagenhauser, and P. Hall, "Characterisation and Design of a Reverberation Chamber for Electromagnetic Emission Measurements for Radio Astronomy Applications," *EMC Society of Australia Newsletter*, Issue Number 59, Dec. 2012.
- [2] C. Choeysakul, F. Schlagenhauser, and P. Hall, "Reducing the LUF of a Reverberation Chamber based on the concept of MIMO for Electromagnetic Emission Measurements for Radio Astronomy Applications," *Asia-Pacific Symposium; APEMC*, Melbourne, May 20-23, 2013.
- [3] The Forrestal Fire, July 29, 1967 Ship's Logs Contributed by Ken Killmeyer, *USS Forrestal Association Historian*, aboard July 29, 1967, [cited Sep 26, 2013]. Available from URL: <http://www.navsource.org/archives/02/cv-59/59f-0729.htm>.
- [4] T.J. Duggan, "Military Aircraft Electromagnetic Compatibility: Release to Service Testing in the United Kingdom, Past, Present and Future," *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility 2007: EMC 2007*, Honolulu, July 9-13, 2007.
- [5] "Requirement for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment," *MIL-STD-461F*, Department of Defense Interface Standard, USA, 2007.
- [6] "Reverberation chamber test method," *IEC 61000-4-21:2011*, EMC, Part 4-21: Testing and Measure Technique, April 2011.
- [7] C. Wilson, "RFI Standards for Equipment to be Deployed on the MRO," *February 2009*, [Online]. Available: http://snebulos.mit.edu/projects/mwa/file_cabine t/0/01080/01080_r05m.pdf.
- [8] P. Besnier, and b. Démoulin, "Electromagnetic Reverberation Chambers," *ISTE Ltd, London, 2011*, pp. 135-191.



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557



Chittawan Choeysakul was born in Bangkok, Thailand, in 1976. He received the B.E. degree in electrical engineering from Royal Thai Naval Academy, Samutprakarn, Thailand, in 2000 and M.S. degree in communication engineering from King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok,

Bangkok, Thailand, 2006. He is currently pursuing the Ph.D. degree in electrical and computer engineering at Curtin University, WA, Australia.

From 2000 to 2005, his works were on some Destroyers, some Anti-Submarine Patrols, and the Helicopter Carrier of the Royal Thai Navy. After tsunami incident in 2004, his inspiration has been on improving of communication system for the Thai Navy. He got Master's scholarship from Thailand's government in 2005, and then partly established the recently HF communication system of the Thai Navy. He is now getting Ph.D. scholarship from the Thai Navy but focusing more on EMC topic.

CDR Choeysakul got promoted to be a Commander of the Royal Thai Navy in 2012 during his studying Ph.D. He was a recipient of the EMC Society Best Student Paper Award in 2012.



Franz Schlagenhauer (M'95–SM'06) received the Diploma in electric engineering from the Technical University Munich, Munich, Germany, in 1988, and the Ph.D. degree in engineering from the Technical University Hamburg-Harburg, Hamburg, Germany, in 1994.

He was the Manager of the EMC Laboratory, Microelectronic Application Centre, Hamburg, from 1992 to 1995, and the Technical Manager of the Electromagnetic Compatibility and Systems Integration Pty Ltd., Melbourne, Vic., Australia, from 1996 to 1999. Since 2000, he has been a Senior Research Fellow with the University of Western Australia, Perth, W.A., Australia. He was involved in electromagnetic compatibility (EMC) testing according to civilian and military standards, and presented numerous workshops about EMC testing and design to industry. His current research interests are computer simulation of PCBs and shielding enclosures.



Peter J. Hall was born in Hobart, Tasmania, in 1957. He received the B.Eng. degree from the Tasmanian College of Advanced Education, in 1980, and the B.Sc. (Hons.) and Ph.D. degrees from the University of Tasmania, in 1981 and 1985, respectively. His postgraduate study was in the field of radio

astronomy, particularly the development of high time resolution polarimeter spectrometers.

He began his professional career in 1985 with a Postdoctoral Fellowship at the Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), Parkes radio telescope, Sydney, Australia. In 2008 he accepted an invitation to join Curtin University of Technology in Perth as its Foundation Professor of Radio Astronomy Engineering. In this capacity he is also Co-Director of the Curtin Institute of Radio Astronomy and a Deputy Director of the International Centre for Radio Astronomy Research (ICRAR).

Professor Hall is a Fellow of the Institution of Engineers (Australia) and a Member of the Institution of Engineering and Technology (IET), London, U.K.



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

Land Movement Studies using Continuous GPS Technique at Phrachunlachomklao Fort

Sommart Niemnil^{1*} and Wim Simons²

¹Hydrographic Engineering Dept., Royal Thai Naval Academy,
204 Sukhumwit Road, Paknam, Samutprakan, 10270, Thailand

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

*Corresponding author. E-mail: sniemnil@gmail.com

Abstract: From land movement studies using Continuous GPS Technique at tide gauge station in Phrachunlachomklao Fort results that this station clearly subsides 2 -3 mm./yr which is higher than CGPS Permanent station at Chulalongkorn University. The preliminary horizontal land motion in north, east direction and vertical movement results are -0.28 ± 3.63 , 27.87 ± 4.35 and -27.89 ± 5.59 mm./yr, respectively.

Keywords: land movement, continuous global positioning system

1. Introduction

Subsidence of Bangkok metropolis and surrounding area has been known for a long time. This subsidence has been surveyed using leveling network conducted by Royal Thai survey department, but only hundred control points compared to thousands of square meter of Bangkok metropolis and surrounding area. So, we have to estimate subsidence rate for the area of our interest from very spared control points and could not get the real value. Furthermore, there is a subsidence from ground water pumping and weight of building or construction that has effected on soil and sand layer which is called local effect. Plate motion within seismic cycle also make subsidence rate differ from area to area. In order to study subsidence in specific area, we have to use high precision technique. For this study, we have installed continuous Global Positioning System (CGPS) which is an absolute and continuous positioning specialized for geophysical work. These GPS data will be processed by special scientific software in order to get high precision vertical position. The change of vertical position with time can be used to calculated for vertical motion or land subsidence rate in the area of our interest.

2. Materials and Methods

2.1 Continuous Global Positioning System (CGPS) Installation at Phrachunlachomklao Fort

CGPS Installation can be divided into 2 parts :
Antenna Installation and Receiver Installation

Installation of CGPS Antenna has to complied with three things

1. Antenna position should be as closed as possible to tide station in order to make sure that measured vertical motion of antenna is the same as vertical motion of tide gauge.

2. Antenna position should be clear from any objects which can be blocked GPS signal and also antenna should not put near buildings, trees that will be caused multipath error.

3. Antenna position should be fixed mount on stable platform, can tolerate any corrosion i.e. Stainless steel

After antenna and receiver Installation have finished, we can set up CGPS to save continuous data for every 30 seconds. These data can be downloaded for processing every two weeks.

CGPS equipment used in this study is Leica GR10 GNSS Reference Station which has been supported from Faculty of Aerospace Engineering, Delft University of Technology



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

We also installed antenna and receiver, together with solar panel, converter and battery on 28 November 2011 and do some maintenance on 13 March 2012. This station have a code named is “SPKN”.

in north direction and $27.87 + 4.35$ mm./yr in east direction (Figure 1 and Table 1). Vertical movement (not included vertical motion from Sumatra earthquake) is $-27.89 + 5.59$ mm./yr (Figure 2 and Table 1).

2.2 GPS data processing and Vertical motion rate

GPS data will be processed using GPS-Inferred Positioning System (GIPSY) Software from Jet Propulsion Laboratory (JPL). This software has also provided by Faculty of Aerospace Engineering, Delft University of Technology, Netherlands.

2.3 Land subsidence analysis

This study is a new way to calculate absolute land motion by using Precise Point Positioning technique (PPP) from continuous position data received from GPS which named as “Continuous GPS (CGPS) technique”

Daily averaged vertical position analyzed from GPS data will be checked for the Outlier Elimination. After this elimination process, we will calculate for monthly averaged vertical position (Vigny et al., 2005 and Simons et al., 2007).

3. Results and Discussion

We plotted weekly SPKN station position both horizontal and vertical direction in ITRF-2008 Reference frame from 28 November 2011 to 30 September 2012. We have a short period of data and also 8.6 Mw Sumatra Island Earthquake occurred on 11 April 2012 which caused vertical motion especially in Bangkok area. From GIPSY software has analyzed vertical motion (Jump) which will be influenced for calculated tide gauge vertical motion’s trend. We would like to present the result into two cases.

1. vertical motion at SPKN caused by Sumatra Island Earthquake (Figure 1)
2. No vertical motion at SPKN caused by Sumatra Island Earthquake (Figure 2)

We compared our station result with CGPS Permanent station at Chulalongkorn University which will be named later as “CUSV” (Figure 3 and 4)

Sumatra Island Earthquake on 11 April 2012 has caused horizontal movement in north and east direction about 5 – 10 mm. From preliminary analyzed data, SPKN station clearly subsided 2 -3 mm./yr (Figure 1 and Table 1) which is higher than CGPS Permanent station at Chulalongkorn University (CUSV) (Figure 3,4 and Table 1) The preliminary horizontal motion for SPKN station are $-0.28 + 3.63$

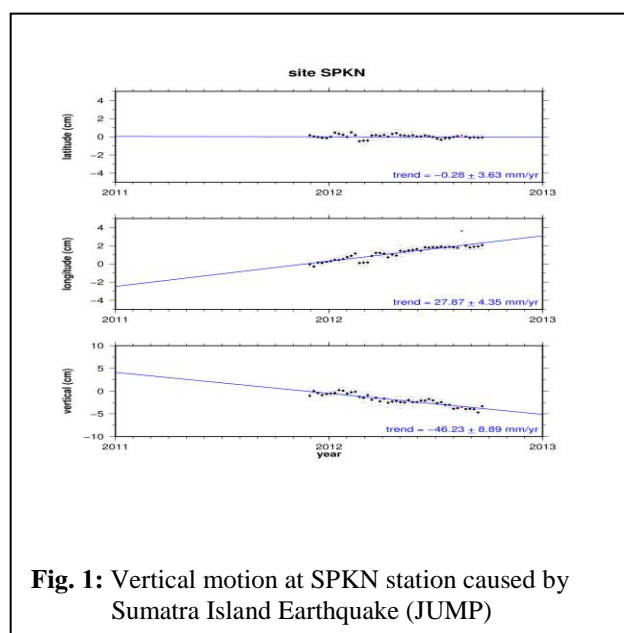


Fig. 1: Vertical motion at SPKN station caused by Sumatra Island Earthquake (JUMP)

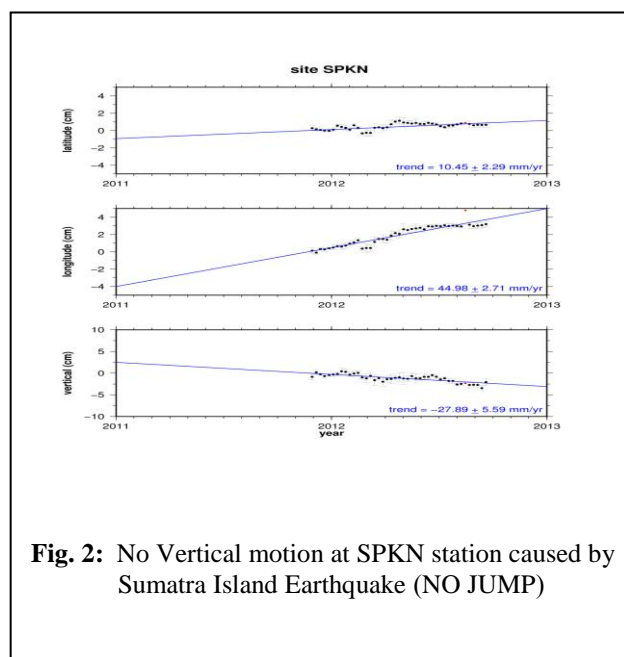


Fig. 2: No Vertical motion at SPKN station caused by Sumatra Island Earthquake (NO JUMP)

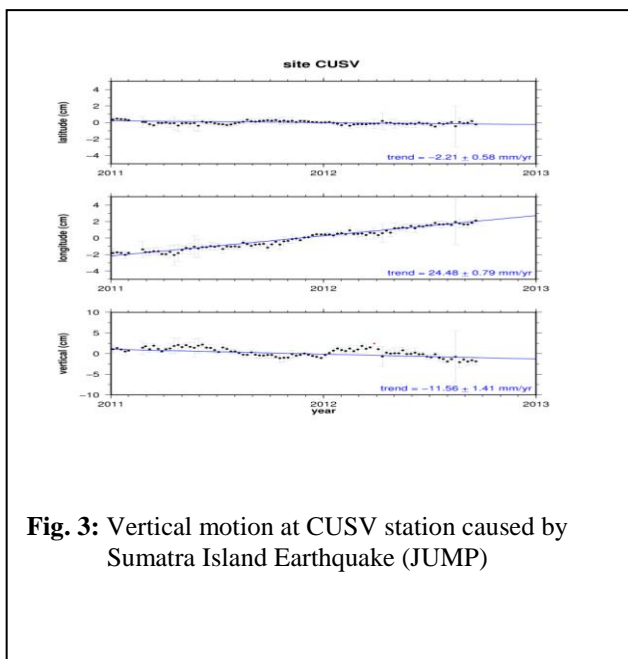


Fig. 3: Vertical motion at CUSV station caused by Sumatra Island Earthquake (JUMP)

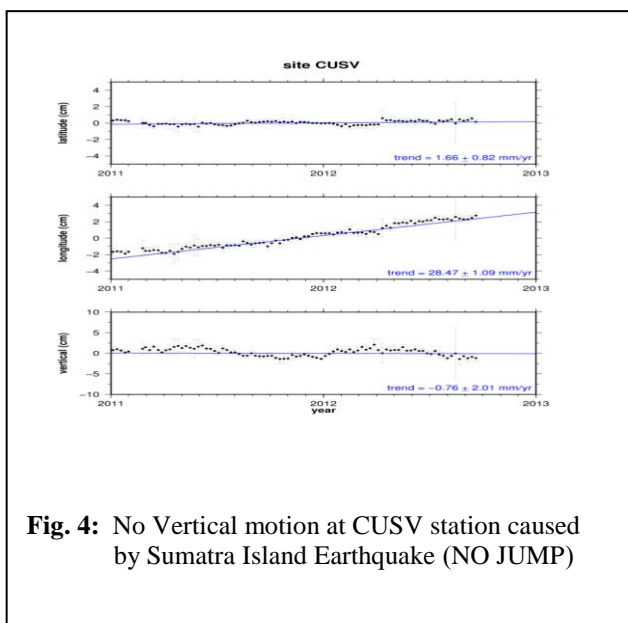


Fig. 4: No Vertical motion at CUSV station caused by Sumatra Island Earthquake (NO JUMP)

Table 1: Horizontal and Vertical movement at Phrachunlachomklao Fort (SPKN) and CGPS Permanent station at Chulalongkorn University (CUSV)

	SPKN station		CUSV station	
	JUMP (mm/yr)	NO JUMP (mm/yr)	JUMP (mm/yr)	NO JUMP (mm/yr)
Horizontal movement (Latitude direction)	-0.28 ± 3.63	10.45 ± 2.29	-2.21 ± 0.58	1.66 ± 0.82
Horizontal movement (Longitude direction)	27.87 ± 4.35	44.98 ± 2.91	24.48 ± 0.79	28.47 ± 1.09
Vertical movement	-46.23 ± 8.89	-27.89 ± 5.59	-11.56 ± 1.41	-0.76 ± 2.01

Place caption beneath the figure. Leave one blank line before, and one after the caption. Do not indent or center the caption. Only black and white illustrations or graphics are acceptable. Photographs should be submitted and scanned as high quality photos. Do not submit poor-quality photocopies. If you use half tone (gray-scale) illustrations please keep in mind that there will be some loss in quality due to reproduction

4. Conclusions

From land movement studies using Continuous GPS Technique at tide gauge station in Phrachunlachomklao Fort results that this station clearly subsides 2 -3 mm./yr which is higher than CGPS Permanent station at Chulalongkorn University. The preliminary horizontal land motion in north, east direction are -0.28 + 3.63 and 27.87 + 4.35 mm/yr, respectively. Vertical movement (not included vertical motion from Sumatra earthquake) is -27.89 + 5.59 mm./yr which this movement can be used to calculate absolute sea level change rate for this station.

5. Acknowledgments

This research has been supported from European Commission Delegation to Thailand for GEO2TECDI-SONG Project. We would like to thank Port Authority of Thailand, Royal Thai Naval Dockyard,



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

Royal Thai Naval Academy, Department of Survey Engineering, Chulalongkorn University for providing tools, computer and software to analyze CGPS data. We also would like to thank Prof. B. A. C. Ambrosius, Faculty of Aerospace Engineering, Delft University of Technology which lent us GPS Receiver to be used in this work.

References

- [1] Vigny, C., W. J. F. Simons; S. Abu and et al., 2005, Insight into the 2004 Sumatra-Andaman earthquake from Global Positioning System measurements in southeast Asia, *Nature*, vol. 436, no. 7048, pp. 201-206, pp. B05312, (ISSN: 1340-4202)
- [2] W. J. F. Simons, A. Socquet, C. Vigny, B. A. C. Ambrosius, S. Haji Abu, Chaiwat Promthong, C. Subarya, D. A. Sarsito, S. Matheussen, P. Morgan and W. Spakman, 2007, A decade of GPS in Southeast Asia: Resolving Sundaland motion and boundaries, *Journal of Geophysical Research*, VOL. 112, B06420, 20 PP., doi:10.1029/2005JB003868



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

การพัฒนาปืนใหญ่ต่อสู้อากาศยานอัตรารวดสำหรับกองพลนาวิกโยธิน Development of Self-Propelled Anti-Aircraft Artillery for Royal Thai Marine Division

นาวาโท ผศ. อุดมศักดิ์ บุญประเสริฐ
กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ฝายศึกษา โรงเรียนนายเรือ
ตำบลปากน้ำ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ 10270
udomsak.rtn@gmail.com

บทคัดย่อ: บทความนี้เป็นการนำเสนองานวิจัยเพื่อดำรงสภาพยุทธโศปกรณ์ โดยได้นำปืนกลอากาศแบบ เอ็ม 61 เอ1 วัลแคน ซึ่งใช้อยู่บนเครื่องบินรบ ทำงานด้วยระบบไฮดรอลิกส์ นำมาดัดแปลงให้ทำงานด้วยระบบไฟฟ้า และติดตั้งใช้งานบนรถบรรทุก ล้อยางขนาด 2.5 ตัน สำหรับใช้ในป้องกันภัยทางอากาศของกองพลนาวิกโยธิน ผลจากการทดสอบระบบปืนด้วยการยิงกระสุนจริงจำนวน 75 นัด พบว่าระบบต่าง ๆ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ความเร็วต้นลูกปืนเฉลี่ย 1,050 เมตรต่อวินาที อัตรารวดเฉลี่ยในการยิง 1,050 นัดต่อนาที

คำสำคัญ: ปืนวัลแคน เอ็ม 61 เอ 1 ปืนแกทลิง ปืนใหญ่ต่อสู้อากาศยาน

Abstract: This paper present the research to maintain the old armament. We take the anti-aircraft gun M61A1 Vulcan which is installed on the fighters, normally work using hydraulic system, but was modification to work using electrical systems and installation on the 2.5 tons truck (GMC). The main objective to modify this gun is for the air defense mission of the Royal Thai Marine Division. The testing results using real ammunition, 75 rounds, found that all of the systems could work effectively. The ammunition average speed is 1,050 m/sec and the average speed of firing is 1,050 rounds/minute.

Keywords: Vulcan Gun, M61A1, Gatling Gun, Anti-Aircraft Artillery

1. บทนำ

หน่วยบัญชาการนาวิกโยธินได้รับมอบภารกิจในการป้องกันชายแดนด้านจังหวัดจันทบุรีและจังหวัดตราด ซึ่งเป็นจังหวัดชายแดนที่มีพื้นที่ติดกับประเทศกัมพูชา ที่ผ่านมารณิ ความขัดแย้งบริเวณพื้นที่เขาพระวิหาร หน่วยบัญชาการ

นาวิกโยธินได้มีการจัดกำลังพลเข้าร่วมในการรักษาความสงบเรียบร้อยในบริเวณพื้นที่ดังกล่าว [1] ภายหลังจากเหตุการณ์ปะทะกันของกรณีความขัดแย้งต้นปี พ.ศ.2554 ทำให้กระทรวงกลาโหมกัมพูชา ได้ตัดสินใจจัดหาเฮลิคอปเตอร์ “จี้ โนน (Zhi-9)” เข้าประจำการจำนวน 12 ลำ [2] โดย



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

การสนับสนุนจากสาธารณรัฐประชาชนจีน ซึ่งเป็นเฮลิคอปเตอร์ติดอาวุธสำหรับโจมตีภาคพื้น เพื่อเสริมขีดความสามารถของการปฏิบัติการทหาร และถือว่าเป็นภัยคุกคามต่อการปฏิบัติการกิจของหน่วยทหารราบ



รูปที่ 1 เฮลิคอปเตอร์ Zhi-9 ของกัมพูชา

หน้าที่ในการป้องกันภัยทางอากาศให้กับหน่วยทหารราบนาวิกโยธิน เป็นของกองพันทหารปืนใหญ่ต่อสู้อากาศยาน กรมทหารปืนใหญ่ กองพลนาวิกโยธิน มีอาวุธประจำหน่วยที่สำคัญคือ ปืนใหญ่ต่อสู้อากาศยาน (ปตอ.) 40/60 มม. เอ็ม 1 แบบ 93 (ลากจูง) แทนเดี่ยวของบริษัทโบฟอร์ส (Bofors) ประจำการตั้งแต่ปี พ.ศ.2478 ปัจจุบันอยู่ในสภาพที่ทรุดโทรมและชำรุดไปหลายระบบ มีข้อจำกัดในการใช้งานหลายประการ เช่น เป็นแบบลากจูงต้องอาศัยรถลากจูงขนาดใหญ่ ทำให้ขาดความคล่องตัวในการเข้าไปในพื้นที่ปฏิบัติการและไม่สามารถเคลื่อนที่สนับสนุนทหารราบได้อย่างใกล้ชิดใช้เวลาตั้งยิงนาน ไม่มีเกราะกำบังให้กับพลประจำปืน เสี่ยงต่อการอยู่รอดในสนามรบ

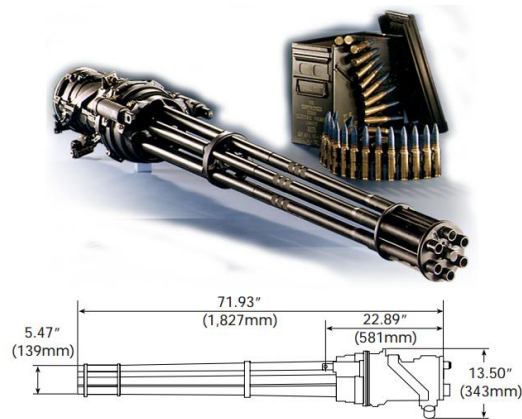
คุณสมบัติของปืนต่อสู้อากาศยานที่จะนำมาใช้ ในปัจจุบัน ควรจะมีอัตราการยิงที่สูงติดตั้งบนแพลตฟอร์มที่สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยตัวเอง มีระบบค้นหาเป้าหมาย ช่วยเล็งยิง และเป็นเกราะกำบังให้กับผู้ที่ปฏิบัติงานได้ จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้



รูปที่ 2 ปืน ปตอ. 40/60 มม. ของทหารนาวิกโยธิน

2. ปืนกลอากาศ เอ็ม 61 เอ 1 วัลแคน

ปืนกลอากาศ เอ็ม 61 เอ 1 วัลแคน (M61A1 Vulcan) เป็นปืนขนาด 20 มม. แบบ แกทลิ่ง (Gatling) [3] มี 6 ลำกล้อง อัตราเร็วในการยิง 6,000 นัด/นาที ทำงานด้วยระบบไฮดรอลิก สร้างขึ้นโดยบริษัท เจเนรัล ไดนามิกส์ ระบบอาวุธนี้มีมากกว่าห้าทศวรรษแล้ว แต่ด้วยสมรรถนะของปืนชนิดนี้ที่ยังไม่มีปืนชนิดใดเทียบได้ จึงยังคงมีความโดดเด่นอยู่ในปัจจุบัน และมีประจำการในกองทัพชั้นนำของโลก



รูปที่ 3 ปืนต่อสู้อากาศยานแบบ เอ็ม 61 เอ 1 วัลแคน

เครื่องบินรบแบบ เอ-7 คอร์แซร์ 2 [5] เคยมีประจำการอยู่ในกองการบินทหารเรือ จำนวน 18 ลำแต่ถูกปลดประจำการไปตั้งแต่ปี พ.ศ.2550



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557



รูปที่ 4 เครื่องบินรบแบบ เอ-7 คอร์แซร์ 2

ถึงแม้ว่าเครื่องบินได้ปลดประจำการแล้ว แต่ระบบอาวุธปืน (M61A1 Vulcan) ยังสามารถใช้งานได้อยู่ รวมถึงอะไหล่ในการซ่อมบำรุง และกระสุนปืนที่ยังคงมีอยู่ในคลัง จึงเกิดแนวคิดในการพัฒนา นำปืนดังกล่าวมาศึกษา วิจัยและดัดแปลง จากเดิมที่เคยติดตั้งบนอากาศยาน ให้ติดตั้งบนรถหุ้มเกราะ และเพิ่มระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมการยิงเข้าไป ก็จะทำให้ได้ระบบอาวุธอัตรารวดเร็วตามหลักนิยมสมัยใหม่ที่มีความคล่องตัวในการใช้งานสูง สนับสนุนภารกิจของทหารนาวิกโยธินได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 5 ภาพรวมโดยรวมของขอบเขตโครงการวิจัยนี้

3. ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

โครงการวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ระยะด้วยกัน โดยระยะ 1 และ 2 เป็นการศึกษความเป็นไปได้ การทดลองระบบไฟฟ้า และการทำงานของปืนทั้งระบบ ส่วนระยะสุดท้าย จะเป็นการนำไปติดตั้งกับรถหุ้มเกราะ ร่วมกับระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมการยิงอัตโนมัติ ในบทความนี้จะนำเสนอการดำเนินงานในระยะที่ 1 ดังนี้

3.1 ศึกษาการทำงานของระบบปืน จากเอกสาร คู่มือ และเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง

3.2 รวบรวมชิ้นส่วนต่าง ๆ ของปืน ซึ่งได้ถูกถอดแยกเป็นชิ้นส่วนย่อย และกระจายเก็บไว้ตามคลังต่าง ๆ ในกรมสรรพาวุธทหารเรือ

3.3 ประกอบชิ้นส่วนทางกลของปืนในแต่ละส่วนเข้าด้วยกัน ปรับแต่ง และทดลองหมุนปืน การป้อนบรรจุกระสุนด้วยสายพานลำเลียง และการป้อนกลับเข้าถังเก็บ ด้วยการใช้น้ำมันกำลังดันสูง



รูปที่ 6 ประกอบชิ้นส่วนทางกลของปืนและทดสอบการทำงานในเบื้องต้น

3.4 ออกแบบและสร้างแบบแปลปืนด้วยเครื่องซีเอ็นซี แมชชีนและดัดแปลงระบบหมุนลำกล้องปืน จากไฮดรอลิกมาใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2,400 วัตต์ ของโรลล์คลิฟต์ นำแท่นปืนกล 0.5 นิ้ว ที่ไม่ได้ใช้งานแล้วมาดัดแปลงให้รองรับกับแปลปืน และติดตั้งบนรถจีเอ็มซี

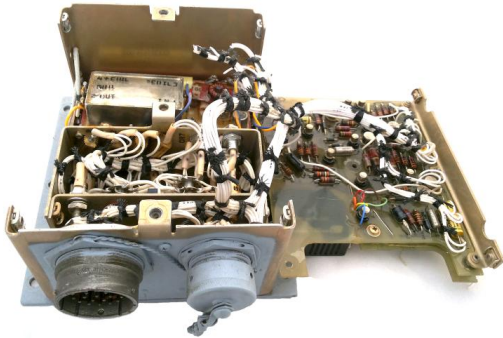


รูปที่ 7 ประกอบระบบปืนและติดตั้งบนรถจีเอ็มซี



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

3.5 ออกแบบระบบไฟยิงแทนระบบเดิมที่ชำรุดเนื่องจากไม่สามารถหาเอกสารอ้างอิงได้ เพียงแต่ทราบข้อมูลโดยสรุปว่า ปืนนี้ใช้กระสุนไพโรเมอร์ไฟฟ้า ใช้ไฟยิงกระแสดตรงแรงดัน 250 - 450 โวลต์ แต่ขนาดของกระแสไฟไม่ทราบ



รูปที่ 8 ระบบไฟยิงของเดิมที่ชำรุด

จึงได้ออกแบบวงจรในกล่องไฟยิงขึ้นมาใหม่ ได้แรงดัน 350 โวลต์ กระแส 10 แอมป์แอมป์ สามารถใช้งานแทนระบบเดิมได้ในเบื้องต้น ซึ่งในบทความนี้จะยังไม่ขอเปิดเผยวงจรการทำงาน เนื่องจากเป็นการรักษาทรัพย์สินทางปัญญา

3.6 ประกอบระบบต่าง ๆ ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องเข้าด้วยกันและทดสอบ ซึ่งประกอบไปด้วยระบบทางกลและระบบไฟฟ้า และในขั้นตอนต่อไปจะเป็นการทดสอบการทำงานทั้งระบบโดยรวมด้วยกระสุนจริง

4. การดำเนินการทดสอบ

การทดสอบครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนจาก กองทดสอบสรรพาวุธ กรมสรรพาวุธทหารเรือ ได้จัดชุดเจ้าหน้าที่ร่วมทดสอบและสังเกตการณ์ ใช้กระสุนฝึกจำนวน 75 นัด ทดสอบยิง ณ สนามทดสอบอ่าวทุ่งโปรง อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี



รูปที่ 9 เจ้าหน้าที่กองทดสอบฯ ติดตั้งเรดาร์วัดความเร็วต้นกระสุนปืน

การทดสอบในครั้งนี้ผ่านไปได้อย่างเรียบร้อย ระบบต่าง ๆ ตลอดจนตัวปืนอยู่ในสภาพปกติดี ได้ผลการทดสอบออกมาดังนี้

- ความเร็วต้นกระสุนปืนเฉลี่ย 1,050 m/s
- อัตราเร็วการยิงเฉลี่ย 1,050 rounds/min
- ความเร็วของลำกล้องปืนเฉลี่ย 175 rpm
- แรงดันไฟยิง 350 VDC



รูปที่ 10 ทดสอบยิงเข้าอุโมงค์ ณ สนามทุ่งโปรง



รูปที่ 11 ผู้บังคับบัญชาระดับสูงของนาวิกโยธินให้เกียรติร่วมถ่ายรูปเป็นที่ระลึกกับคณะวิจัยฯ



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

5. สรุป

โครงการวิจัยในเฟสแรกนี้ เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการทำงานร่วมกันของระบบต่างๆ ของปืน เนื่องจากชิ้นส่วนต่างๆ ของตัวปืนนั้นมีมาก และแยกกระจายเก็บอยู่ตามที่ต่างๆ เมื่อนำมาประกอบเข้าด้วยกันใหม่ จะยังสามารถใช้งานได้อยู่หรือไม่ประการที่ 1 ประการต่อมา ระบบไฟฟ้าอาวุธ รวมถึงระบบควบคุมต่างๆ จะอยู่ที่แผงคอนโซลหน้าเครื่องบิน ไม่สามารถถอดออกมาใช้ได้ทั้งหมด ส่วนที่ถอดมาได้ก็ใช้งานไม่ได้ ทำให้ต้องออกแบบระบบไฟฟ้าควบคุมขึ้นมาใหม่ทั้งหมด และประการสุดท้าย ระบบการหมุนปืนทำงานด้วยมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ แต่นำมาดัดแปลงให้ใช้กับระบบมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งยังไม่สามารถทำได้เท่าเดิม เนื่องจากมอเตอร์ยังมีขนาดเล็กอยู่ จึงต้องวิจัยและพัฒนาต่อไป

สิ่งที่จะดำเนินการต่อจากนี้ เดิมระบบอาวุธนี้ใช้งานบนอากาศยาน จึงติดตั้งล็อกอยู่กับที่ ไม่มีส่วนหันและกระดก แต่เมื่อนำมาใช้บนบกจะต้องมีการเพิ่มเติมในส่วนนี้ โดยจะต้องออกแบบแท่นปืนให้มีมอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับควบคุมการหันและกระดกปืน

พัฒนาระบบสมองกลฝังตัวและซอฟต์แวร์ ให้ช่วยควบคุมและอำนวยความสะดวก โดยไม่ต้องให้ผู้ไปอยู่ที่ตัวปืน ช่วยป้องกันอันตรายจากการใช้งาน

และในโครงการระยะสุดท้ายคือ การติดตั้งระบบทั้งหมดบนรถหุ้มเกราะ ซึ่งจะทำได้กำลังพลปลอดภัยในการปฏิบัติภารกิจ โดยในเบื้องต้นได้พิจารณา รถหุ้มเกราะ เอนกประสงค์ First Win 4x4 [6] ของ บริษัท ชัยเสรีเมทัล แอนด์รับเบอร์ จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทของคนไทย มีโรงงานประกอบภายใน ประเทศและราคาไม่แพง เมื่อเทียบกับรถนำเข้าจากต่างประเทศ มีคุณลักษณะในการต่อต้านอาวุธและ วัตถุระเบิดตามมาตรฐาน STANAG 4569 [7]



รูปที่ 12 การติดตั้งระบบบนรถหุ้มเกราะ First Win

โครงการวิจัยนี้ เป็นการรีไซเคิลระบบอาวุธ โดยนำอาวุธที่ไม่ได้ใช้แล้วมาปรับปรุงสมรรถนะ และนำกลับมาใช้ใหม่ ก่อให้เกิดประโยชน์แก่กองทัพและเทศบาล ช่วยประหยัดงบประมาณ ระบบปืนนี้หากจัดหาใหม่จะต้องใช้งบประมาณไม่ต่ำกว่า 30 ล้านบาท นอกจากนี้โครงการวิจัยนี้ยังช่วยสนับสนุนการพัฒนาอุตสาหกรรมป้องกันประเทศร่วมกับภาคเอกชน เกิดองค์ความรู้ที่อยู่ในประเทศที่สามารถพัฒนาต่อยอดได้อย่างไม่จำกัด

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่านผู้บัญชาการหน่วยบัญชาการนาวิกโยธิน, ผู้บัญชาการศูนย์การฝึกฯ, ผู้บัญชาการกองพลนาวิกโยธิน, ผู้บังคับการกรมทหารปืนใหญ่ฯ, ผู้บังคับกองพันทหารปืนใหญ่ต่อสู้อากาศยานฯ, และ บ.ย่งไทยการยาง ตลอดจนผู้มีส่วนเกี่ยวข้องท่านอื่น ๆ ที่คอยให้การสนับสนุนแต่มิได้กล่าวถึง ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ASTV ผู้ จั ด ก า ร อ อ น ไ ล น์ [Available], <http://www2.manager.co.th/Science/ViewNews.aspx?NewsID=9560000093786>



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

- [2] ข่าวต่างประเทศ, คมชัดลึก, [Available]
<http://www.komchadluek.net/detail/20130124/150143/กัมพูชาซื้อเฮลิคอปเตอร์จีน12ลำ.html>
- [3] M61 Vulcan, *The Free Encyclopedia*, [Available],http://en.wikipedia.org/wiki/M61_Vulcan
- [4] M61 A1 Vulcan 20mm gatling gun system, [Available] http://www.f-16.net/f-16_armament_article5.html
- [5] อากาศยานในประจำการของกองทัพเรือไทย, *วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี*, [Available]
<http://th.wikipedia.org/wiki/อากาศยานในประจำการของกองทัพเรือไทย>
- [6] บริษัท ชัยเสรีเมททัลแอนด์รีปเปอร์ จำกัด, [Available] <http://www.chaiseri-defense.com/index.html>
- [7] NATO AEP-55 Procedures for Evaluating the Protection Level of Logistic and Light Armored Vehicles, Vol 1, May 2014, [Available],http://www.alternatewars.com/BBO/W/Ballistics/STANAG_4569.htm



นาวาโท ผศ. อุดมศักดิ์ บุญประเสริฐ จบการศึกษา วศบ.ไฟฟ้าโรงเรียนนายเรือ วศม.ไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ทำงานวิจัยด้านการพัฒนาโปรแกรม ไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยภาษาแมทแลบ ซิมมูลิงก์และการประยุกต์ใช้งาน เป็นอาจารย์กองวิชา วิศวกรรมศาสตร์ ฝ้ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ ตั้งแต่ปี 2547 – ปัจจุบัน



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

การทดสอบประจำหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในระบบจำหน่าย ตามมาตรฐาน มอก.384-2543

The Routine Test of Distribution Transformer According to TIS 384-2543

บุญเลิศ สือเฉย

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
19/1 ถนนเพชรเกษม แขวงหนองค้างพลู เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160
boonlerts@sau.ac.th

บทคัดย่อ: เนื่องจากในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าได้เติบโตอย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังมีการนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งในการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้านั้น สิ่งที่สำคัญที่สุดคือการทดสอบหม้อแปลง เพื่อเป็นเครื่องยืนยันถึงคุณภาพของการวิเคราะห์ออกแบบ และคุณภาพของการสร้างหรือผลิต หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในระบบจำหน่ายที่สร้างหรือผลิตขึ้นก็เช่นกัน ก็จะต้องทำการทดสอบเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของหม้อแปลงจำหน่ายว่าเป็นไปตามมาตรฐานหรือข้อกำหนดหรือไม่ และเพื่อทำการตรวจเช็คระบบและอุปกรณ์ต่างๆ ของหม้อแปลงด้วยว่าสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย คงทนต่อภาวะการณต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้น ดังนั้นบทความนี้จึงขอแนะนำเสนอการทดสอบประจำของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในระบบจำหน่ายตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง มอก. 384-2543 หัวข้อของการทดสอบประจำมีรายละเอียดในการทดสอบแสดงได้ดังในบทความ

คำสำคัญ: การทดสอบประจำหม้อแปลงไฟฟ้า, มอก. 384-2543

Abstract: Because current transformer manufacturing industry has grown rapidly. They are imported from abroad. In the production of transformers . The most important thing is to test the transformer. To attest to the quality of design analysis . And quality of the construction or production. Transformers used in distribution system that created or produced , too, is to be tested to determine the properties of the distribution transformers that meet the standards or requirements or not. And to check the system and devices. Transformer that can be used safely. Robust to various circumstances That may occur Therefore, this article offers routine testing of transformers used in power transformers sold as standard TIS 384-2543 topic of routine tests are detailed in the test, as shown in the article.

Keywords: Routine Test of Distribution Transformer, TIS 384-2543



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

1. บทนำ

ในการทดสอบแบบประจำนี้ หม้อแปลงจำหน่ายที่ผลิตหรือสร้างขึ้นจะต้องผ่านการทดสอบประจำทุกเครื่อง ลักษณะของการทดสอบ ให้ทำการทดสอบที่อุณหภูมิแวดล้อม(Ambient Temperature) ระหว่าง 10 - 40 °C ผลของการทดสอบ ให้ปรับผลการทดสอบไปที่อุณหภูมิอ้างอิงดังตารางที่ 1 โดยกำหนดให้การใช้งานของหม้อแปลงจำหน่าย สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางไม่เกิน 1,000 เมตร อุณหภูมิของอากาศโดยรอบไม่เกิน 40 °C

ตารางที่ 1 อุณหภูมิอ้างอิงของการปรับผลการทดสอบ

ชนิดของฉนวน แบ่งตามอุณหภูมิ	อุณหภูมิอ้างอิง (°C)
Class A , E , B	75
Class F, H	115

2. การทดสอบประจำ (Routine Test)

การทดสอบประจำมีรายละเอียดในการทดสอบดังนี้

2.1 การวัดค่าความต้านทานของขดลวด (Measurement of winding resistance)

สามารถแบ่งการวัดได้ 2 ลักษณะดังนี้

1. วัดค่าความต้านทานทางด้านแรงดันสูง จะทำการวัดค่าความต้านทานที่ขั้วของหม้อแปลงทางด้านแรงดันสูง ที่แท๊ปใช้งานปกติ(Nominal Tap) เพื่อนำค่าที่ได้ไปเป็นส่วนประกอบในการคำนวณหาความสูญเสียขณะจ่ายโหลด โดยจะทำการวัดทั้ง 3 เฟส (กรณีที่เป็นหม้อแปลงสามเฟส) แล้วทำการหาค่าเฉลี่ย
2. วัดค่าความต้านทานทางด้านแรงดันต่ำ กรณีที่เป็นหม้อแปลงสามเฟสจะทำการวัดค่าความต้านทานทั้ง 3 เฟส แล้วทำการหาค่าเฉลี่ย และในกรณีที่เป็น

หม้อแปลงหนึ่งเฟส(4 ขั้ว) จะทำวัดค่าความต้านทาน ของขดลวดทั้งสอง(ขั้ว a1-a2 และ b1-b2)

2.2 การวัดค่าอัตราส่วนแรงดัน และตรวจสอบสัญลักษณ์เฟส หรือเวกเตอร์กรุป (Measurement of voltage ratio and check of phase displacement)

การวัดอัตราส่วนจำนวนรอบ เป็นการวัดหาค่าอัตราส่วนจำนวนรอบระหว่าง ขดลวดแรงดันสูงและขดลวดแรงดันต่ำ โดยทำการทดสอบทุกแท๊ปของการใช้งานของทุกเฟสและเวกเตอร์กรุปทำการทดสอบโดยใช้เครื่องมือวัดอัตราส่วนหม้อแปลง(Transformer Ratio Meter) หรือทำการป้อนแรงดันทางด้านแรงสูง แล้วใช้โวลต์มิเตอร์วัดค่าแรงดันทั้งทางด้านแรงสูงและแรงต่ำแล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาอัตราส่วน (Ratio) ค่าที่ได้จากการทดสอบมีความคลาดเคลื่อนได้ $\pm 0.5\%$

2.3 การวัดค่าอิมพีแดนซ์ลัดวงจรและค่าความสูญเสียขณะจ่ายโหลดที่พิกัด (Measurement of short-circuit impedance and load loss)

เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความสูญเสียขณะจ่ายโหลด (Load Losses, Short Circuit Impedance, Voltage Regulation และ Efficiency ของหม้อแปลงที่พิกัดกระแส (Rated Current) การทดสอบทำได้โดยป้อนแรงดันจนได้ค่ากระแสที่พิกัดแล้ววัดค่าต่างๆ ทางด้านแรงดันสูง และทำการลัดวงจร(Short Circuit) ทางด้านแรงดันต่ำ

2.4 การวัดค่าสูญเสียขณะไม่มีโหลด (Measurement of no-load loss)

เป็นการทดสอบเพื่อหาค่า No load losses และ Exciting Current ของหม้อแปลงที่พิกัดแรงดัน(Rated Voltage) การทดสอบทำได้โดยป้อนแรงดันที่พิกัดแล้ววัดค่า



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

ต่างๆ ทางด้านแรงดันต่ำโดยทางด้านแรงดันสูงทำการเปิด
วงจร

- ระหว่างขดลวดแรงดันต่ำกับกราวด์ถึงหม้อแปลง (LV-
EARTH)

2.5 การทดสอบประจำไดอิเล็กทริก (Dielectric routine test)

สามารถแยกหัวข้อการทดสอบได้ดังนี้

- (1) การวัดค่าความต้านทานฉนวน (Measurement of insulation resistance) จะทำการวัดระหว่างจุดต่างๆ ดังนี้
- ระหว่างขดลวดแรงดันสูงกับขดลวดแรงดันต่ำ(HV-LV)
 - ระหว่างขดลวดแรงดันสูงกับกราวด์ถึงหม้อแปลง (HV-EARTH)

จุดประสงค์การทดสอบหาค่าความต้านทานฉนวนระหว่างจุดต่างๆ ของหม้อแปลง เพื่อตรวจเช็คความชื้นที่อยู่ภายในหม้อแปลง ถ้ามีความชื้นมากค่าความต้านทานฉนวนของหม้อแปลงจะมีค่าน้อย ถ้ามีความชื้นน้อยค่าความต้านทานฉนวนของหม้อแปลงจะมีค่ามาก ค่าความต้านทานฉนวนที่ทดสอบได้จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 Insulation Resistance by Megger 1000 V or 2000 V

พิกัดแรงดันของขดลวด	ค่าความต้านทานฉนวน(M ohms)						
	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	50°C	60°C
22-33 kV	1000	750	500	375	250	125	65
11-12 kV	800	600	400	300	200	100	50
ต่ำกว่า 3.5 kV	400	300	200	150	100	50	25

- (2) การทดสอบความคงทนแรงดันจากแหล่งจ่ายอื่น
(Separate-source voltage withstand test)

สามารถแบ่งการทดสอบได้ 2 ลักษณะคือ

1. Applied Voltage Test หรือ High Potential Test
เป็นการทดสอบฉนวนที่กั้นระหว่างขดลวดแรงสูงกับขดลวดแรงต่ำ, ขดลวดแรงสูงกับกราวด์, ขดลวดแรงต่ำกับกราวด์และส่วนต่างๆ กับกราวด์ การทดสอบแบ่งได้เป็น

การทดสอบทางด้านแรงดันสูง และการทดสอบทางด้านแรงดันต่ำ โดยทำการป้อนแรงดันทดสอบตามระดับแรงดันของหม้อแปลงดังตารางที่ 3 การทดสอบให้คงค่าแรงดันทิ้งไว้เป็นเวลา 60 วินาที แล้วลดแรงดันทดสอบลงอย่างรวดเร็ว ฉนวนของหม้อแปลงในส่วนต่างๆ จะต้องไม่เสียหาย การทดสอบถือว่าผ่านเกณฑ์เมื่อแรงดันทดสอบไม่ล้มเหลว



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

ตารางที่ 3 ระดับการฉนวนและระยะห่างในอากาศวัดจากส่วนที่มีไฟฟ้าของบุชชิง

แรงดันสูงสุด (kV r.m.s.)	แรงดันทนที่กำหนด		ระยะห่างในอากาศ ต่ำสุด (mm.)
	แรงดันทนตามความถี่ กำลังไฟฟ้าในช่วงเวลา สั้นที่กำหนด (kV r.m.s.)	แรงดันทนอิมพัลส์ฟ้าผ่า คลื่นเต็มที่กำหนด kV (peak)	
ไม่เกิน 1.1	3 ¹⁾	- ¹⁾	- ¹⁾
3.6	10	40	60
7.2	20	60	90
12	28 ²⁾	75 ²⁾	125 ²⁾
24	50	125 ³⁾	225
36	70	170 ⁴⁾	315 ⁴⁾
72.5	140	350	630
123	185	450	830
	230	550	1050
245	360	850	1600
	395	950	1800

หมายเหตุ การระบุของผู้ซื้อถ้าต้องการระดับการฉนวนสูงเป็นกรณีพิเศษแล้วแต่กรณีดังนี้

- 1) “10 kV r.m.s.” “30 kV peak” และ “25 mm.” ตามลำดับ
- 2) “34 kV r.m.s.” “95 kV peak” และ “140 mm.” ตามลำดับ
- 3) “150 kV peak”
- 4) “200 kV peak” และ “330 mm.” ตามลำดับ

2. การทดสอบความคงทนต่อแรงดันเหนี่ยวนำเกิน

(Induced over-voltage withstand test)

เป็นการทดสอบฉนวนระหว่างรอบของขดลวด, ฉนวนระหว่างชั้นของขดลวด, ฉนวนระหว่างคอยล์และระหว่างเฟสของขดลวด การทดสอบทำได้โดยป้อนแรงดันที่มีลักษณะคลื่นใกล้เคียงกับคลื่นชายน้ามากที่สุด ที่ความถี่สูงกว่าความถี่ที่กำหนดเพียงพอ ที่จะไม่ทำให้เกิดกระแสทำแม่เหล็ก (Magnetizing current) มากเกินไป การทดสอบจะต้องเพิ่มแรงดันที่ป้อนเร็วที่สุดเท่าที่เครื่องวัดอ่านได้ทันอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ จนกระทั่งถึงค่าแรงดันทดสอบ ให้คงค่าแรงดันทดสอบไว้เป็นเวลา 60 วินาที ที่ความถี่ไม่เกินสองเท่าของ

ความถี่ที่กำหนดแล้วลดแรงดันทดสอบลงอย่างรวดเร็ว หากความถี่ที่ใช้ในการทดสอบมีค่ามากกว่าสองเท่าของความถี่ที่กำหนดให้คำนวณช่วงเวลาที่ต้องคงค่าแรงดันที่ใช้ในการทดสอบเป็นไปตามสมการที่ 1 โดยจะต้องมีเวลาในการทดสอบไม่น้อยกว่า 15 วินาที

$$\text{Time of test} = 120 \times \frac{f_r}{f_t} \text{ seconds} \quad (1)$$

โดยที่

f_r คือ ความถี่ที่พิกัด (Hz)

f_t คือ ความถี่ที่ใช้ทดสอบ (Hz)



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

สำหรับเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของการทดสอบแสดงได้ดัง การทดสอบนั้นไม่มีเกณฑ์ของความคลาดเคลื่อน ตารางที่ 4 ถ้าไม่ได้ระบุเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนไว้แสดงว่า

ตารางที่ 4 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของการทดสอบ

รายการ	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน
1. (ก) ความสูญเสียทั้งหมด (ข) ความสูญเสียของส่วนย่อย	+ 10% ของความสูญเสียทั้งหมด + 15% ของความสูญเสียของส่วนย่อย แต่ละส่วนโดยที่ความสูญเสียทั้งหมด ต้องไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด
2. อัตราส่วนแรงดันขณะไม่มีโหลด	$\pm 0.5\%$ ของอัตราส่วนที่แจ้งไว้
3. อิมพีแดนซ์ลัดวงจร หากค่าอิมพีแดนซ์ $\geq 10\%$ หากค่าอิมพีแดนซ์ $< 10\%$	$\pm 7.5\%$ ของค่าที่แจ้งไว้ $\pm 10\%$ ของค่าที่แจ้งไว้
4. กระแสไม่มีโหลด	+ 30% ของค่าที่แจ้งไว้

หมายเหตุ เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนพิเศษที่แตกต่างจากที่ระบุไว้ในตารางที่ 4 ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ผลิตกับผู้ซื้อ ในขั้นตอนของการซื้อขาย การผลิต หรือการทดสอบ

สำหรับประเทศไทย การไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ยังได้ทำการกำหนดให้การทดสอบประจำหม้อแปลงจำหน่ายนอกเหนือจากที่มาตรฐาน มอก. 384-2543 กำหนดแล้วคือ ให้ทำการทดสอบค่าไดอิเล็กตริกของน้ำมันหม้อแปลงด้วยโดยค่าไดอิเล็กตริกเป็นไปตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าไดอิเล็กตริกของน้ำมันหม้อแปลง

ระดับแรงดันสูงสุด (kV)	ค่าไดอิเล็กตริก (kV / 2.5mm.)
3.5	20
11	25
22	30
33	32

3. สรุป

บทความนี้ได้อธิบาย หรือขยายความรู้วิธีการทดสอบประจำหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อช่วยให้ผู้ที่ศึกษาหรือผู้ปฏิบัติงานมีความเข้าใจได้โดยง่าย สามารถทราบถึงรายละเอียดต่างๆ ตามที่มาตรฐานกำหนด ทำให้สามารถปฏิบัติงานหรือใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องทั้งในการผลิตและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้ารวมถึงการใช้งานในลักษณะต่างๆ ได้เป็นอย่างดี



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง มอก.384-2543*, กรุงเทพฯ: 2543.
- [2] Provincial Electricity Authority(PEA) Thailand, *Three-Phase Transformer for 22 kV and 33 kV Distribution Systems with Ability to Withstand Short Circuit*, Specification No.RTRN-035/2556, 2012.
- [3] บุญเลิศ สือเฉย, *การออกแบบและการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในระบบจำหน่าย*, กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์, 2552.



บุญเลิศ สือเฉย : ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์ ทำงานวิจัยด้านระบบไฟฟ้ากำลัง หม้อแปลงไฟฟ้า และพลังงานทดแทน



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์แต่ละชนิด The Comparison of Solar Cell Panels Efficiency

จิระศักดิ์ สิ้นสุขอุดมชัย

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
19/1 ถนนเพชรเกษม แขวงหนองค้างพลู เขตหนองแขม กรุงเทพมหานคร 10160
sin_chirasak@yahoo.com

บทคัดย่อ: บทความวิจัยนี้เป็นการศึกษาและเปรียบเทียบแผงโซลาร์เซลล์ 3 ชนิด ขนาด 40 วัตต์ คือ 1) เซลล์แบบผลึกเดี่ยว 2) เซลล์แบบผลึกรวม และ 3) เซลล์แบบจากอะมอร์ฟัสซิลิคอน เพื่อเป็นการศึกษาและรวบรวมข้อมูลของเซลล์แต่ละชนิด เพราะในปัจจุบันการใช้พลังงานทดแทนในประเทศไทยเกี่ยวกับโซลาร์เซลล์มีความนิยมแพร่หลายมากขึ้น จึงได้ทำการรวบรวมข้อมูลของแผงโซลาร์เซลล์และทำการศึกษาดูคุณสมบัติและตัวแปรต่างๆ ที่สำคัญของโซลาร์เซลล์แต่ละชนิด จากผลการทดสอบพบว่าในการจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงโซลาร์เซลล์ เซลล์แบบผลึกเดี่ยวจ่ายกำลังได้ 11.78 วัตต์ เซลล์แบบผลึกรวมจ่ายกำลังได้ 14.64 วัตต์ และเซลล์แบบจากอะมอร์ฟัสซิลิคอนจ่ายกำลังได้ 17.10 วัตต์ ฉะนั้นเมื่อพิจารณาจากผลโดยรวม เซลล์แบบอะมอร์ฟัสซิลิคอนจะเป็นเซลล์ที่เหมาะสมกับการใช้งานมากที่สุด

คำสำคัญ: เซลล์แบบผลึกเดี่ยว, เซลล์แบบผลึกรวม, เซลล์แบบจากอะมอร์ฟัสซิลิคอน

Abstract: This paper is to study and compare three types of solar panel Size 40 W is 1) Single crystalline silicon solar cell 2) Poly crystalline silicon solar cell and 3) Amorphous silicon solar cell. To study and collected data from each cell type. Nowadays the use of renewable energy in the solar cells are much more widespread. So the solar panels collect and study the properties and variables of the solar cell types. The results showed that the DC power from the solar panel. Single crystalline cell are paid 11.78 W. Poly crystalline silicon solar cell are paid 14.64 W. and Amorphous silicon solar cell are paid 17.10 W. So when considering the overall results. Amorphous silicon cells are cells that are suitable for most applications.

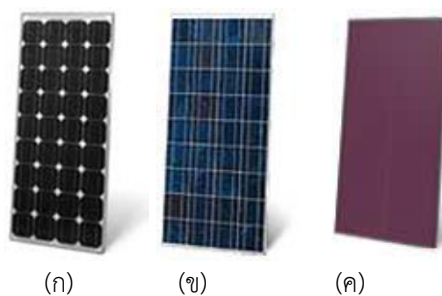
Keywords: Single crystalline silicon solar cell, Poly crystalline silicon solar cell, Amorphous silicon solar cell.



1. บทนำ

Solar Cell หรือ PV มีชื่อเรียกกันไปหลายอย่าง เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์สุริยะ หรือเซลล์ photovoltaic ซึ่งต่างก็มีที่มาจากคำว่า Photovoltaic โดยแยกออกเป็น photo หมายถึง แสง และ volt หมายถึง แรงดันไฟฟ้า เมื่อรวมคำแล้วหมายถึงกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัตถุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงแนวความคิดนี้ได้ถูกค้นพบมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1839 แต่เซลล์แสงอาทิตย์ก็ยังไม่ถูกสร้างขึ้นมาจนกระทั่งใน ปี ค.ศ. 1954 จึงมีการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ และได้ถูกนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับดาวเทียมในอวกาศ เมื่อ ปี ค.ศ. 1959 ดังนั้น สรุปได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานในปัจจุบันมี อยู่ 3 ประเภทดังต่อไปนี้

1. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน ชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell) หรือที่รู้จักกันในชื่อ Mono crystalline Silicon Solar Cell และชนิดผลึกรวม (Poly crystalline Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนแข็งและบางมากดังในรูปที่ 1 (ก)และ(ข)
2. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจาก อะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นฟิล์มบางเพียง 0.5 ไมครอน น้ำหนักเบาและประสิทธิภาพเพียง 5-10% ดังในรูปที่ 1 (ค)
3. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำอื่นๆ เช่น แกลเลียม อาร์เซไนด์, แคดเมียม เทลลูไรด์ และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ เป็นต้น มีทั้งชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline) และผลึกรวม (Polycrystalline) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกลเลียม อาร์เซไนด์ จะให้ประสิทธิภาพสูงถึง 20-25%



รูปที่ 1 แสดงเซลล์อาทิตย์แบบต่างๆ

2. ทฤษฎี

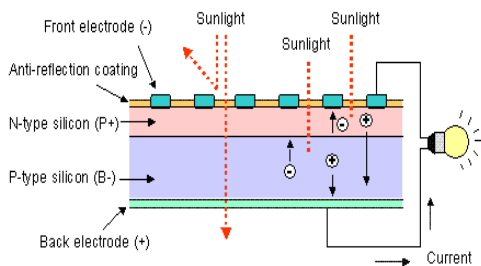
2.1 หลักการทำงานของโซลาร์เซลล์

โครงสร้างที่นิยมมากที่สุด ได้แก่ รอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำที่ราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนโลกคือ ซิลิคอน จึงถูกนำมาสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ โดยนำซิลิคอนมาถูและผ่าขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ จนกระทั่งทำให้เป็นผลึก จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการแพร่ซึมสารเจือปนเพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็น โดยเมื่อเติมสารเจือฟอสฟอรัส จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (เพราะนำไฟฟ้าด้วยอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบ) และเมื่อเติมสารเจือโบรอน จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี (เพราะนำไฟฟ้าด้วยโฮลซึ่งมีประจุบวก) ดังนั้น เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็นมาต่อกัน จะเกิดรอยต่อพีเอ็นขึ้น โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน อาจมีรูปร่างเป็นแผ่นวงกลมหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส ความหนา 200-400 ไมครอน (0.2-0.4 มม.) ผิวด้านรับแสงจะมีชั้นแพร่ซึมที่มีการนำไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าด้านหน้ารับแสงจะมีลักษณะคล้ายก้างปลาเพื่อให้ได้พื้นที่รับแสงมากที่สุด ส่วนขั้วไฟฟ้านด้านหลังเป็นขั้วโลหะเติมพื้นผิวเซลล์แสงอาทิตย์ คือ สิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Silicon), แกลเลียม อาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide), อินเดียม ฟอสไฟด์ (Indium Phosphide), แคดเมียม เทลลูไรด์ (Cadmium Telluride) และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ (Copper Indium Diselenide) เป็นต้น ซึ่งเมื่อได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงก็จะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้า และจะถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสอง



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

ของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อนำขั้วไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่ อุปกรณ์เหล่านั้น ทำให้สามารถทำงานได้ โซลาร์เซลล์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมทาง electronic ที่สร้างขึ้นเพื่อ เป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็น พลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ซึ่งมี ราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้นโลกมาผ่านกระบวนการ ทางวิทยาศาสตร์ เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ และทันทีที่ แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของ พลังงานประกอบที่เรียกว่า “โฟตอน” (Photon) จะถ่ายเท พลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ให้สารกึ่งตัวนำนั้นมี พลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของ อะตอม (Atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่อ อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรง ขึ้น วัสดุสำคัญที่ใช้ทำโซลาร์เซลล์ ได้แก่ สารซิลิกอน (Si) ซึ่งเป็นสารชนิดเดียวกับที่ใช้ทำชิปในคอมพิวเตอร์ และเครื่อง อิเล็กทรอนิกส์ ซิลิกอนเป็นสารซึ่งไม่เป็นพิษ มีการนำมาผลิต โซลาร์เซลล์ใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะมีราคาถูก คงทน และเชื่อถือได้และรูปที่ 2 แสดงหลักการการทำงานโซลาร์เซลล์



รูปที่ 2 หลักการทำงานโซลาร์เซลล์

2.2 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

2.2.1. ความเข้มของแสง

กระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ ความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้นในขณะที่

แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสง มากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือความเข้มของ แสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่งปราศจาก เมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉาก กับพื้นโลก ซึ่งความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ 1,000 W ต่อ ตร.เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศากับพื้น โลกความเข้มของแสง จะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ 750 W ต่อ ตร.เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM2 กรณี ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า(AM1.5)เป็นมาตรฐาน ในการวัดประสิทธิภาพของแผง

2.2.2 อุณหภูมิ

กระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่ เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) จะลดลงเมื่อ อุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 °C ที่เพิ่มขึ้น จะทำ ให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์ แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสง อาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25 °C เช่น กำหนดไว้ว่าแผง แสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ Voc) ที่ 21 V ณ อุณหภูมิ 25 °C ก็ จะหมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแผงแสงอาทิตย์ เมื่อ ยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 °C จะเท่ากับ 21 V ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 °C เช่น อุณหภูมิ 30 °C จะทำ ให้แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลง 2.5% (0.5%×5°C) นั่นคือ แรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่ Voc จะลดลง 0.525 V (21 V×2.5%) เหลือเพียง 20.475 V (21V – 0.525V) สรุป ได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าก็จะลดลงซึ่งมีผลทำให้ กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วยจากข้อกำหนด ดังกล่าวข้างต้น ก่อนที่ผู้ใช้จะเลือกใช้เซลล์แผงแสงอาทิตย์ จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของแผงที่ระบุไว้ในแผงแต่ละชนิดด้วย ว่า ใช้มาตรฐานอะไร หรือมาตรฐานที่ใช้วัดแตกต่างกันหรือไม่ เช่นแผงชนิดหนึ่งระบุว่า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 80 วัตต์ ที่



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

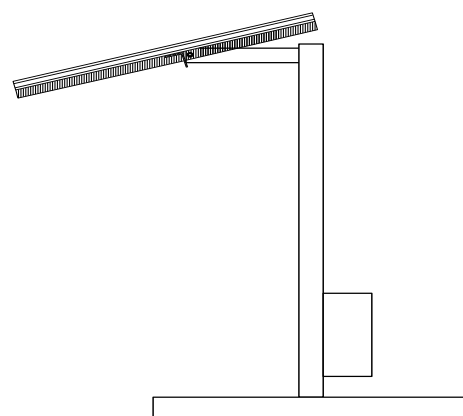
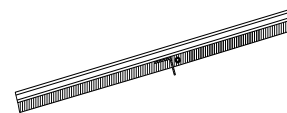
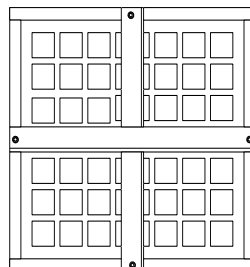
ความเข้มแสง 1,200 W ต่อ ตารางเมตร ณ อุณหภูมิ 20 °C ขณะที่อีกชนิดหนึ่งระบุว่าให้กำลังไฟสูงสุดได้ 75 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,000Wต่อตารางเมตร และอุณหภูมิมาตรฐาน 25 °C แล้ว จะพบว่าแผงที่ระบุว่าให้กำลังไฟฟ้า 80 W จะให้กำลังไฟฟ้าต่ำกว่า จากสาเหตุดังกล่าว ผู้ที่จะใช้แผงจึงต้องคำนึงถึงข้อกำหนดเหล่านี้ในการเลือกใช้แผงแต่ละชนิดด้วย

2.3 พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานสะอาดไม่ทำปฏิกิริยาใด ๆ อันจะทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ เซลล์แสงอาทิตย์ จึงเป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ผลิตไฟฟ้า เนื่องจาก สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ปัจจุบันในประเทศไทย มีหลายหน่วยงาน ได้ทำการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้งานในลักษณะต่างๆ กันโลกได้รับพลังงานส่วนใหญ่จากแสงอาทิตย์ โดยเมื่อคิดตามภาคตัดขวางในแนวเส้นผ่าศูนย์กลางของโลกจะมีพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบโลกโดยเฉลี่ยประมาณ 178,000 ล้านล้านวัตต์ และจะสะท้อนกลับสู่อวกาศร้อยละ 35 โดยบรรยากาศโลกจะดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ไว้ประมาณร้อยละ 43 และจะแผ่คืนกลับสู่บรรยากาศประมาณร้อยละ 22 ของพลังงานแสงอาทิตย์ ประเทศไทยตั้งอยู่ในตำแหน่งที่มีพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบมีค่าความเข้มของรังสีเฉลี่ยวันละประมาณ 4.7 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือประมาณ 16.92 เมกะจูลต่อตารางเมตร ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไม่มีวันหมดโดยอาศัยอุปกรณ์แปรรูป พลังงานแบบต่างๆ ทั้งในรูปของความร้อนและการใช้เซลล์แสงอาทิตย์

3. การออกแบบ

3.1 การออกแบบโครงสร้าง



รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างในการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์

3.2 ตัวควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่

ทำหน้าที่รับพลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์แล้วประจุลงสู่แบตเตอรี่วงจรการควบคุมการเก็บประจุส่วนใหญ่แล้วจะเป็นวงจรที่ตรวจสอบระดับแรงดันของแบตเตอรี่ที่ลดลงเมื่อประจุจนแรงดันถึงตามต้องการแล้วก็จะหยุดการประจุเขาแบตเตอรี่ ลักษณะกล่องใช้งานจริง วงจรการชาร์จและบล็อกไดอะแกรมแสดงในรูปที่ 4 , 5 และ 6



รูปที่ 4 ชุดควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ ทำหน้าที่รับพลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ ชาร์จเก็บไว้ในแบตเตอรี่

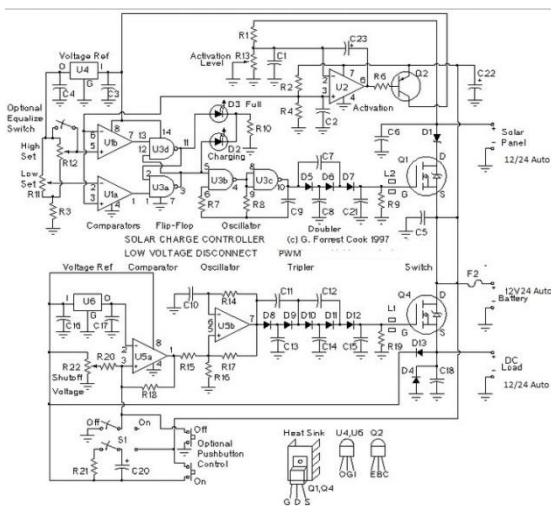
4. ผลการทดสอบ



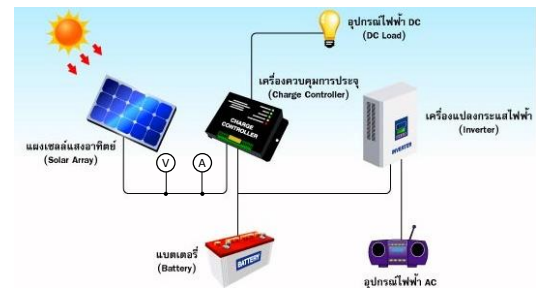
รูปที่ 7 แสดงการติดตั้งเพื่อการทดลอง



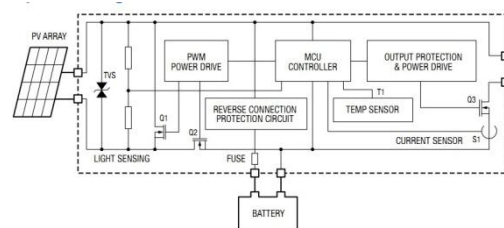
รูปที่ 8 แสดงระยะของการติดตั้งเพื่อการทดลอง



รูปที่ 5 วงจรควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่



รูปที่ 9 แสดงการต่อวงจรแผงโซลาร์กับอุปกรณ์ต่างๆ



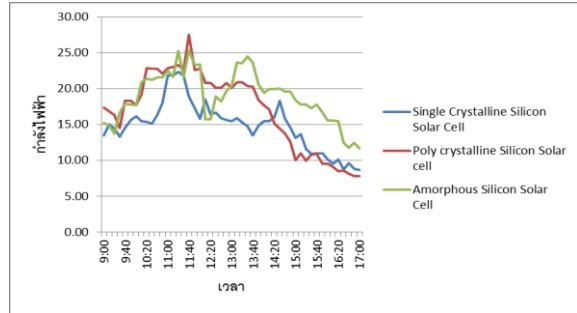
รูปที่ 6 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของชุดควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่

ในการวิจัยจะติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์และวงจรการต่อเข้ากับอุปกรณ์ต่างๆของโซลาร์เซลล์ทั้ง3ชนิดซึ่งได้แก่1.เซลล์แบบผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell) ขนาด 40 วัตต์ 2.เซลล์แบบผลึกรวม (Polycrystalline Silicon Solar Cell) ขนาด 40 วัตต์ 3.เซลล์แบบจากอะมอร์ฟัสซิลิคอน(Amorphous Silicon Solar Cell) ขนาด 40 วัตต์ ดังในรูปที่ 7-8 จากแผงโซลาร์เซลล์จะต่อเข้ากับ

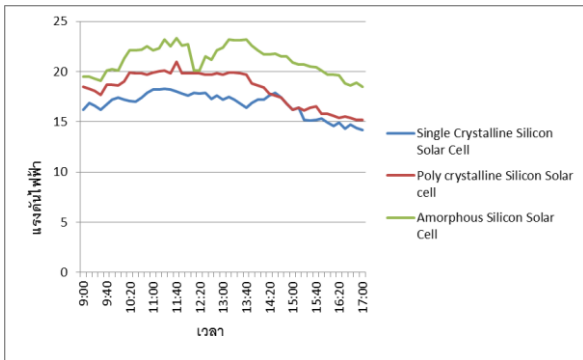


วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

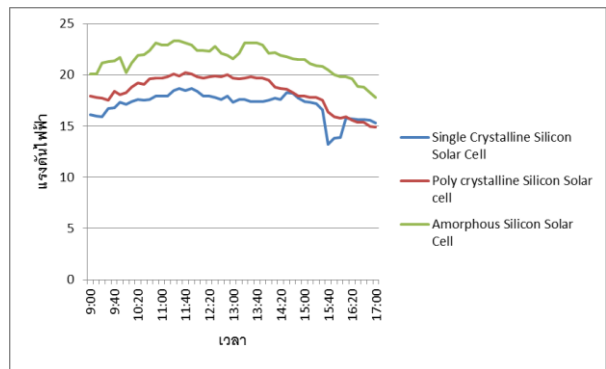
เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เพื่อประจุเข้าแบตเตอรี่ขนาด 12V 5Ah ที่เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่สามารถต่อเข้ากับอุปกรณ์ที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรงได้ จากแบตเตอรี่ มีอินเวอร์เตอร์เพื่อนำไปใช้งานกับไฟฟ้ากระแสสลับ โดยะแกรมการต่ออุปกรณ์แสดงดังในรูปที่ 9 ในขณะที่แผงโซลาร์เซลล์ทำงานทำการจดบันทึกข้อมูลของการใช้งานแผงโซลาร์เซลล์โดยวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์แต่ละชนิด โดยเก็บข้อมูลทุก10นาทีกในช่วงเวลาตั้งแต่ 9.00น.-17.00น.จำนวน 4 ครั้ง ผลที่ได้แสดงรูปที่ 10 – 21 ดังนี้



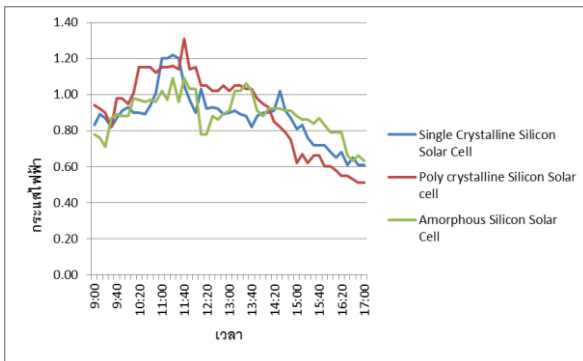
รูปที่ 12 การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์แต่ละชนิดของการจดบันทึกข้อมูลครั้งที่ 1



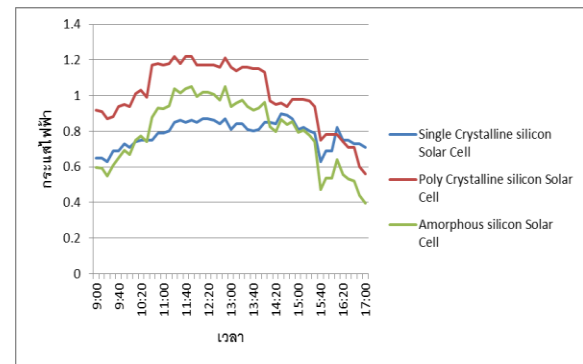
รูปที่ 10 การเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์แต่ละชนิด ของการจดบันทึกข้อมูลครั้งที่ 1



รูปที่ 13 การเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์แต่ละชนิด ของการจดบันทึกข้อมูลครั้งที่ 2



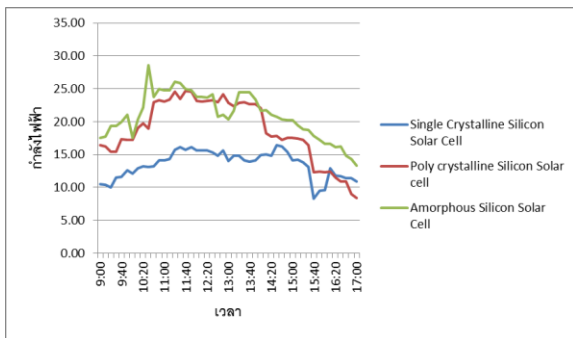
รูปที่ 11 การเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์แต่ละชนิดของการจดบันทึกข้อมูลครั้งที่ 1



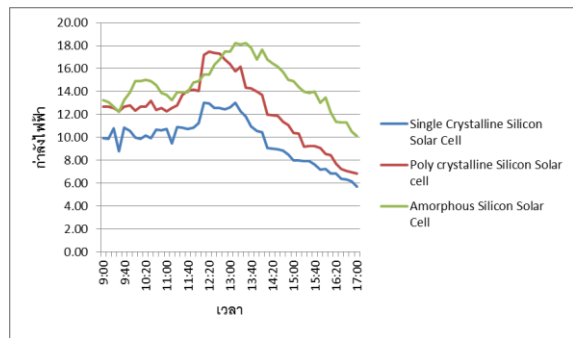
รูปที่ 14 การเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์แต่ละชนิดของการจดบันทึกข้อมูลครั้งที่ 2



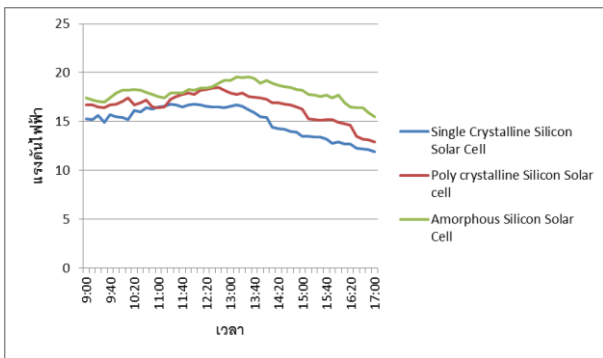
วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557



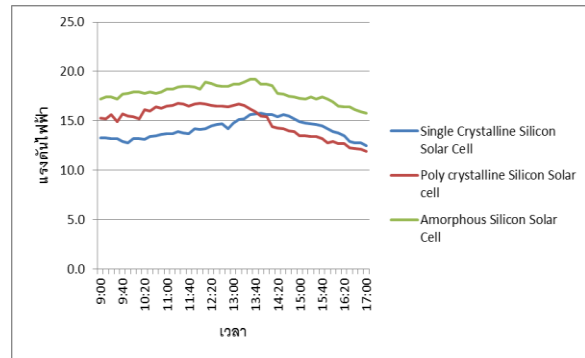
รูปที่ 15 การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์แต่ละชนิดของการจดบันทึกข้อมูลครั้งที่ 2



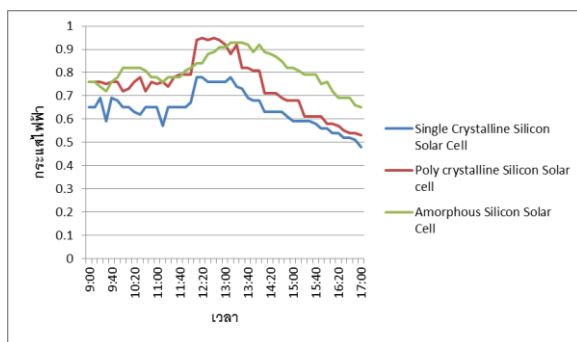
รูปที่ 18 การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์แต่ละชนิดของการจดบันทึกข้อมูลครั้งที่ 3



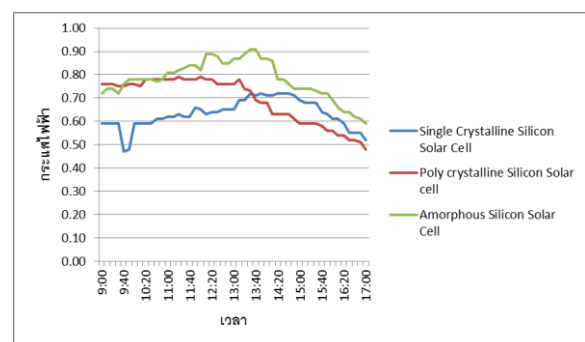
รูปที่ 16 การเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์แต่ละชนิด ของการจดบันทึกข้อมูลครั้งที่ 3



รูปที่ 19 การเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์แต่ละชนิด ของการจดบันทึกข้อมูลครั้งที่ 4



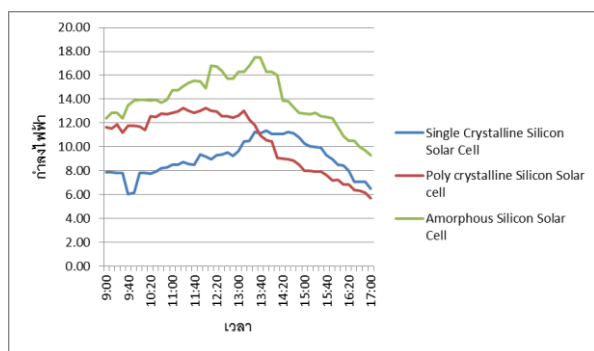
รูปที่ 17 การเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์แต่ละชนิดของการจดบันทึกข้อมูลครั้งที่ 3



รูปที่ 20 การเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์แต่ละชนิดของการจดบันทึกข้อมูลครั้งที่ 4



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557



รูปที่ 21 การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์แต่ละชนิดของการจัดบันทึกข้อมูลครั้งที่ 4

จากข้อมูลทั้งหมดนำมาเขียนเป็นตารางหาผลเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์แต่ละชนิดได้ดังนี้

ตารางที่1 ผลเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้า

แรงเคลื่อนไฟฟ้า(V)	ค่าเฉลี่ยของการจัดบันทึกครั้งที่1	ค่าเฉลี่ยของการจัดบันทึกครั้งที่2	ค่าเฉลี่ยของการจัดบันทึกครั้งที่3	ค่าเฉลี่ยของการจัดบันทึกครั้งที่4	ผลเฉลี่ย
Single Crystalline Silicon Solar Cell	16.74	17.07	15.04	14.14	15.75
Poly crystalline Silicon Solar cell	18.28	18.41	16.55	15.04	17.07
Amorphous Silicon Solar Cell	21.16	21.50	17.99	17.80	19.61

ตารางที่2 ผลเฉลี่ยกระแสไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้า(A)	ค่าเฉลี่ยของการจัดบันทึกครั้งที่1	ค่าเฉลี่ยของการจัดบันทึกครั้งที่2	ค่าเฉลี่ยของการจัดบันทึกครั้งที่3	ค่าเฉลี่ยของการจัดบันทึกครั้งที่4	ผลเฉลี่ย
Single Crystalline Silicon Solar Cell	0.88	0.79	0.64	0.63	0.73
Poly crystalline Silicon Solar cell	0.91	1.00	0.74	0.69	0.84
Amorphous Silicon Solar Cell	0.89	0.80	0.81	0.78	0.82

ตารางที่3 ผลเฉลี่ยกำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้า(W)	ค่าเฉลี่ยของการจัดบันทึกครั้งที่1	ค่าเฉลี่ยของการจัดบันทึกครั้งที่2	ค่าเฉลี่ยของการจัดบันทึกครั้งที่3	ค่าเฉลี่ยของการจัดบันทึกครั้งที่4	ผลเฉลี่ย
Single Crystalline Silicon Solar Cell	14.86	13.49	9.76	8.99	11.78
Poly crystalline Silicon Solar cell	16.92	18.74	12.34	10.54	14.64
Amorphous Silicon Solar Cell	18.92	20.92	14.61	13.95	17.10

5. สรุปผลการวิจัย

เนื่องจากแผงโซลาร์เซลล์ที่ทดสอบเป็นแผงขนาดเล็กโดยมีขนาด 50x60 ซม.กำลังสูงสุด 40 วัตต์ เหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในลักษณะไฟฟ้าแสงสว่างในยามค่ำคืนไฟกระพริบตามแยกต่างๆ ฯลฯ จากผลการวิจัยที่ปรากฏดังรูป

ที่ 10-21 และสรุปออกมาเป็นผลเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้างดังตารางที่1-3 มีผลดังนี้ 1)ในการจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงโซลาร์เซลล์แบบเซลล์แบบผลึกเดี่ยวจ่ายได้ 15.75 V เซลล์แบบผลึกรวมจ่ายได้ 17.07 V และเซลล์แบบจากอะมอร์ฟิซิลิคอนจ่ายได้



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

19.61 V 2) ในการจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงโซลาร์เซลล์แบบเซลล์แบบผลึกเดี่ยวจ่ายได้ 0.73 A เซลล์แบบผลึกรวมจ่ายได้ 0.84 A และเซลล์แบบจากอะมอร์ฟัสซิลิคอนจ่ายได้ 0.82 A 3) ในการจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงโซลาร์เซลล์แบบเซลล์แบบผลึกเดี่ยวจ่ายได้ 11.78 W เซลล์แบบผลึกรวมจ่ายได้ 14.64 วัตต์ และเซลล์แบบจากอะมอร์ฟัสซิลิคอนจ่ายได้ 17.10 วัตต์ ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากผลโดยรวม เซลล์แบบอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell) จะเป็นเซลล์ที่เหมาะสมกับการใช้งานที่สุดเนื่องจากสามารถให้แรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกมาสูงกว่าเซลล์ทั้งสองชนิดคือ เซลล์แบบผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell) ขนาด 40 วัตต์ และเซลล์แบบผลึกรวม (Polycrystalline Silicon Solar Cell) ขนาด 40 วัตต์ ซึ่งเป็นข้อเด่นของเซลล์แบบอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell) นั้นเอง



เครื่องจักรกลไฟฟ้า

จिरักดิ์ สินสุขอุดมชัย: ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ทำงานวิจัยด้านวงจรไฟฟ้าและ

เอกสารอ้างอิง

- [1] กองพัฒนาพลังงานทดแทน ฝ่ายพัฒนาและแผนงาน โรงไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิต แห่งประเทศไทย *เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) [Online]*, Available : <http://www.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.html>
- [2] บริษัทโอเน็กซ์จำกัด. (2552). *ความรู้เกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์. (Online)*
- [3] www.techtron.co.th/solar-system
- [4] <http://lab.excise.go.th/group3/battery/batstruc.html>
- [5] <http://www.integralsystems.org>
- [6] <http://solar-wind-nature-energy.com>



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

การวิเคราะห์เปรียบเทียบการดูดซับพลังงานของท่อผนังบาง ที่มีรูปร่างหน้าตัดหลากหลายภายใต้แรงดัด

Comparative analysis of energy absorption of thin walled tubes with
various section geometries subjected to bending

สมญา ภูณะยา¹, รัฐพงศ์ ปฏิภาณัง¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

somyanew@hotmail.com

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบการดูดซับพลังงานของท่ออลูมิเนียมผนังบางที่มีรูปร่างหน้าตัดหลากหลายภายใต้แรงดัด โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ประกอบด้วยวิธีการทดลองและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งรูปร่างหน้าตัดของท่อที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ ท่อสี่เหลี่ยม ท่อหกเหลี่ยม ท่อแปดเหลี่ยม ท่อกลม และความหนา 1, 2, และ 3 มิลลิเมตร ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยจะทำการหาการลู่เข้าของเอลิเมนต์ พบว่าขนาดเอลิเมนต์ที่เหมาะสมเท่ากับ 5 มิลลิเมตร และทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการทดลองและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ที่ความหนาของท่อ 1 มิลลิเมตร พบว่าค่าพลังงานดูดซับมีค่าใกล้เคียงกันทุกๆ หน้าตัดของท่อ จากผลของความหนา พบว่า เมื่อความหนาของท่อเพิ่มขึ้น จะให้การดูดซับพลังงานเพิ่มขึ้น และพบว่าท่อสี่เหลี่ยมมีค่าการดูดซับพลังงานสูงที่สุด รองลงมาเป็นท่อหกเหลี่ยม ท่อแปดเหลี่ยม และท่อวงกลมมีค่าการดูดซับพลังงานน้อยที่สุด ตามลำดับ ในที่สุด ยังพบว่ารูปร่างการยุบตัวของหน้าตัดมีผลต่อค่าการดูดซับพลังงาน

คำสำคัญ: แรงดัด, ท่อ, พลังงานดูดซับ, ไฟไนต์เอลิเมนต์, ท่อผนังบาง

Abstract: This research was aimed to study the energy absorption of thin-walled various cross-sectional aluminum tube subjected to bending. The analytical approach included experiment and finite element method. The various cross-sectional shapes were square section, hexagonal section, octagonal section and circular section. The walled thicknesses of tubes were 1, 2 and 3 mm. The mesh convergent of finite element method was 6 millimeter. Then, the comparative analysis of energy absorption between experimental results and finite element results at thickness 1 mm was good agreement. In analytical results were concluded that the walled thickness of tubes increased, energy absorption increased. The parametric study of various sectional tubes was found that the energy absorption of the square section was



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

the highest, hexagonal section, octagonal section and the circular section was the lowest, respectively. Finally, it was also found that the sectional shape deformation was effected to the energy absorption.

Keywords: Bending, Tube, Energy absorption, Finite element, Thin-walled tube

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุบัติเหตุจากการชนของรถยนต์ส่วนใหญ่ มักจะเกิดขึ้นที่ด้านหน้าและด้านข้างของรถยนต์ ซึ่งโครงสร้างเหล่านี้ จะต้องได้รับการออกแบบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีโครงสร้างของยานพาหนะที่มีความปลอดภัยสูงและมีความสามารถในการดูดซับพลังงานสูงสุดได้ ผู้ออกแบบจึงต้องพยายามหาชิ้นส่วนโครงสร้างที่มีความสามารถในการดูดซับพลังงานได้ ที่เรียกว่า “ตัวดูดซับพลังงาน” ซึ่งจะมีหน้าที่ดูดซับพลังงานจนที่มากกระทำและลดความเสียหายของโครงสร้างหลักของยานพาหนะให้เบาบางลง โดยตัวดูดซับพลังงาน มักจะติดตั้งไว้บริเวณด้านหน้าเพื่อรับแรงในแนวแกน และโครงสร้างด้านข้างเพื่อรับแรงดัด ตัวแปรสำคัญที่ศึกษา เช่น เล็กใช้ขนาด รูปร่าง ชนิด วัสดุ และพฤติกรรมความเสียหายของโครงสร้าง เป็นต้น

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าการดูดซับพลังงานของท่อหน้าตัดหลากหลายภายใต้แรงดัด โดยใช้วิธีการทดลองและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ วัสดุที่ใช้เป็นอลูมิเนียม ผลการทดลองและผลทางวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะถูกเปรียบเทียบกัน เพื่อหาความถูกต้อง และความแม่นยำ ของการจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ หลังจากนั้นจะเป็นพัฒนาการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อศึกษาตัวแปรที่สำคัญ คือ ผลของขนาดความหนาเพิ่มขึ้น 2-3 มิลลิเมตร และผลจากรูปร่างความเสียหายหน้าตัดของท่อ

2. ทฤษฎี

“การดูดซับพลังงาน” คือ ความสามารถของชิ้นส่วนโครงสร้าง ที่ทำหน้าที่ในการดูดซับพลังงานจนที่มากกระทำกับ

โครงสร้างให้เบาบางหรือลดลงน้อยที่สุด เพื่อไม่ให้โครงสร้างหลักเกิดความเสียหาย ดังนั้น ในการหาค่าการดูดซับพลังงานภายในโครงสร้าง สามารถหาได้จากกฎสมดุลกำลังงาน (power balance) กล่าวคือว่า “กำลังงานภายนอกที่มากกระทำเท่ากับกำลังงานภายในตัวดูดซับพลังงาน” ดังนี้

$$\dot{E}_{ext} = \dot{E}_{int} \quad (1)$$

เมื่อ กำลังงานภายนอก \dot{E}_{ext} คือ

$$\dot{E}_{ext} = F\dot{u} + M\dot{\psi} \quad (2)$$

โดยที่ F คือแรงภายนอก M คือโมเมนต์ \dot{u} คือความเร็วเคลื่อนที่ตามแนวแกน และ $\dot{\psi}$ คือความเร็วเชิงมุมของแกนหมุน สำหรับ กำลังงานภายในตัวดูดซับพลังงาน \dot{E}_{int} สามารถหาได้โดยสมมติว่า “กำลังงานภายในตัวดูดซับพลังงาน จะเกิดขึ้นตามเส้นการพับตัว (hinge line) ของตัวดูดซับพลังงานเท่านั้น” ดังสมการที่ (3) คือ

$$\dot{E}_{int} = \int_s (M_{\alpha\beta} \dot{\kappa}_{\alpha\beta} + N_{\alpha\beta} \dot{\epsilon}_{\alpha\beta}) ds + \sum_{i=1}^n \int_L M_n^i [\dot{\psi}_i] dl^i \quad (3)$$

เมื่อ n คือจำนวนทั้งหมดของเส้นการพับตัว S คือพื้นที่ผิวของตัวดูดซับพลังงาน l^i คือความยาวของเส้นการพับตัว $\dot{\psi}$ คือความเร็วเชิงมุมของเส้นการพับตัว $\dot{\kappa}_{\alpha\beta}$ คือ อัตราการหมุน $\dot{\epsilon}_{\alpha\beta}$ คืออัตราการยืด $M_{\alpha\beta}$ คือโมเมนต์ดัด $N_{\alpha\beta}$ คือแรงยืด และ $M_n = \left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right) \frac{\sigma_0 t^2}{4}$ คือโมเมนต์ดัดบนระนาบความเครียดช่วงพลาสติก โดยที่ t คือความหนา และ σ_0 คือความเค้นจุดคราก ส่วนตัวแปรที่สำคัญในการศึกษามีดังนี้



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

2.1. แรงบิดวิกฤติหรือแรงบิดเริ่มต้น หมายถึง แรงบิดครั้งแรกที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการเสียหาย แต่ในบางครั้งแรงบิดวิกฤติอาจจะมีค่าเท่ากับแรงบิดสูงสุด

2.2. การดูดซับพลังงาน หมายถึง ค่าพลังงานที่ชิ้นงานสามารถดูดซับได้ตลอดการชนกระแทก หรือยุบตัว ซึ่งหาได้จากการรวมพื้นที่ใต้กราฟระหว่างแรงบิดที่ใช้กับมุมบิดที่ของชิ้นงาน หรือโครงสร้าง แต่ในทางปฏิบัติจึงแนะนำให้ใช้การประมาณจากค่าแรงบิดเฉลี่ย ในการหาค่าการดูดซับพลังงานของวัสดุ จากการชนกระแทกซึ่งทำได้โดยใช้สมการที่ 4

$$E_a = P_{mean} \times S_{max} \quad (4)$$

เมื่อ E_a คือ พลังงานดูดซับของโครงสร้าง, P_{mean} คือแรงเฉลี่ย, S_{max} คือมุมบิดตัวของโครงสร้าง

มีนักวิจัยทำการศึกษาคงโครงสร้างภายใต้แรงดัด โดยเริ่มต้นจาก D. Kecman. [1] ได้ศึกษาผลกระทบของความเสียหายของท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าภายใต้แรงดัด ซึ่งผลกระทบความเสียหายจะประกอบด้วยเส้นการพับอยู่กับที่ (stationary hinge) และเส้นการพับแบบกลิ้ง (rolling hinge) โดยผลการวิเคราะห์จะแสดงสมการความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับมุมดัด SJ. Cimpoeru and NW. Marray. [2] ได้แสดงสมการที่ได้จากการทดลองระหว่างโมเมนต์กับมุมดัดของท่อสี่เหลี่ยมภายใต้แรงดัด โดยการทดลองจะพิจารณาท่อที่มีค่าระหว่างความกว้างกับความหนาแน่นน้อยกว่า 26 ผลจากการวิเคราะห์จะทำการเปรียบเทียบกับสมการของ D. Kecman,[1] และ T. Wierzbickic et al.[3] ได้ศึกษาผลกระทบของความเสียหายของท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมภายใต้แรงดัด โดยกลไกได้พิจารณาเส้นการพับที่เกิดขึ้น ได้แก่ เส้นการพับแบบอยู่กับที่เส้นการพับแบบพื้นผิว เส้นการพับแบบกลิ้ง และ , ผลการวิเคราะห์จะแสดงเป็นโมเมนต์กับมุมดัด ,T. Wierzbicki and MV. Simao.[4] ได้ศึกษาผลกระทบของความเสียหายของท่อกลมภายใต้แรงดัด โดยกลไกจะพิจารณาเฉพาะลักษณะการยุบบริเวณหน้าตัดของท่อเท่านั้น ผลการวิเคราะห์จะแสดงเป็นโมเมนต์กับมุมดัด ,TH. Kim and SR. Reid.[5] ได้พัฒนาผลกระทบความเสียหายของท่อหน้าตัด

สี่เหลี่ยมภายใต้แรงดัดจาก T. Wierzbicki et al.[3] โดยได้แนะนำเส้นการพับที่แตกต่างออกไป คือ เส้นการพับแบบรูปกรวยและเส้นการพับแบบรูปโดนัท ผลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะทำการเปรียบเทียบกับการทดลอง, M. Elchalakani et al. [6] ได้แสดงสมการผลกระทบความเสียหายของท่อกลมภายใต้แรงดัด โดยได้พิจารณาเส้นการพับบริเวณหน้าตัดและการยุบตัวของเส้นการพับตามแนวแกน ลักษณะของเส้นการพับตัว ได้สมมติเป็นเส้นตรงและไม่มีการยึดและหดตัว สำหรับวิธีในการวิเคราะห์จะใช้วิธี

(4)พลังงาน ส่วนผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะทำการเปรียบเทียบกับการทดลอง ส่วนความสามารถในการรับแรงกระแทกของตัวถังรถยนต์นั้นมักแยกการพิจารณาโครงสร้างเป็นชิ้นๆ ไป เช่น ศึกษาการเสียหายเฉพาะโครงสร้างด้านหน้า [7] การศึกษาการเสียหายจากการชนของคานกลวงผนังบางแบบต่างๆ [8], [9], การศึกษาโครงสร้างกลวงแบบ Double - Hat และ Top - Hat [10] การศึกษาการเสียหายของแกนโครงรถยนต์ [11] เป็นต้น

Somya Poonaya et al. [12] ได้ศึกษาการวิเคราะห์พฤติกรรมความเสียหายของท่อกลมภายใต้แรงกระทำตามแนวแกน ผลการศึกษาจะเป็นการเปรียบเทียบพฤติกรรมความเสียหายของท่อระหว่างการทดลองและการจำลองคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ Somya Poonaya et al. [13] ได้ทำการเปรียบเทียบท่อที่มีหน้าตัดหลากหลายภายใต้แรงกดตามแนวแกนและแรงดัด โดยการจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลการวิเคราะห์พบว่า ภายใต้แรงกดตามแนวแกนท่อหน้าตัดรูปวงกลมจะให้พลังงานดูดซับสูงสุด รองลงมาท่อหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม ท่อหน้าตัดรูปหกเหลี่ยมและท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมพลังงานดูดซับน้อยที่สุด ส่วนภายใต้แรงดัดท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมพลังงานดูดซับสูงสุด รองลงมาเป็นท่อหน้าตัดรูปหกเหลี่ยม ท่อหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม และท่อหน้าตัดรูปวงกลมพลังงานดูดซับน้อยที่สุด Somya Poonaya et al. [14] ได้ศึกษาการเปรียบเทียบพลังงานดูดซับของท่อหน้าตัดหลายเหลี่ยม



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

ภายใต้แรงบิด โดยการจำลองคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์อย่างเดียว วัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นเหล็กเหนียว ผลการวิเคราะห์พบว่าท่อหน้าตัดรูปวงกลมจะให้ค่าพลังงานดูดซับมากกว่าท่อแปดเหลี่ยม ท่อหกเหลี่ยม และท่อสี่เหลี่ยม มีพลังงานดูดซับต่ำสุด Somya Poonaya [15] ได้ศึกษาการเปรียบเทียบการดูดซับพลังงานของโครงสร้างรูปตัวเอสภายใต้แรงกดตามแนวแกน โดยการจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ วัสดุที่ใช้เป็นเหล็กเหนียว ผลการศึกษาพบว่าท่อหน้าตัดรูปหกเหลี่ยมให้พลังงานดูดซับมากกว่าท่อหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม ท่อหน้าตัดรูปวงกลม และท่อสี่เหลี่ยม ให้พลังงานดูดซับต่ำสุด ตามลำดับ S. Poonaya et al. [16] ได้ทำการศึกษาการโก่งความเสียหายของท่อกลมผนังบางภายใต้แรงดัด การวิจัยจะแบ่งเป็นสองส่วน คือ การทดลองและทางทฤษฎี โดยวิธีการทดลอง ได้ทำการสร้างชุดทดลองตามหลักการของ SJ. Cimpoeru and NW. Marray. [2] เพื่อให้ท่อกลมสามารถรับแรงดัดได้อย่างเดียว ส่วนวิธีทางทฤษฎี ได้พิจารณาการโก่งความเสียหายของเส้นการพับตัวบริเวณหน้าตัดและเส้นการพับตัวตามแนวแกนโดยเส้นการพับตัวจะถูกสมมติให้เป็นเส้นตรง วิธีในการวิเคราะห์จะใช้วิธีกำลังงาน สำหรับผลการวิเคราะห์จะทำการเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ประลัยในทางทฤษฎีกับการทดลอง และทำการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของกราฟโมเมนต์กับมุมดัดระหว่างทฤษฎีกับการทดลอง

ดังนั้น จากการศึกษางานที่เกี่ยวข้อง ทำให้งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการดูดซับพลังงานของท่อที่มีหน้าตัดหลากหลายภายใต้แรงบิด โดยรูปร่างหน้าตัดที่ศึกษาประกอบด้วย หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม หน้าตัดรูปหกเหลี่ยม หน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม และหน้าตัดรูปวงกลม(มีจำนวนเหลี่ยมไม่จำกัด) ซึ่งงานวิจัยนี้จะมีลักษณะเด่นคือ เป็นการพัฒนาต่อยอดจากงานวิจัยที่ผ่านมา[13] ที่จะศึกษาเฉพาะการดูดซับพลังงาน ที่รับแรงกระทำตามแนวแกนและแรงดัด โดยวิธีการจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ แต่งานวิจัยนี้ได้เพิ่มวิธีการทดลอง เพื่อทำการเปรียบเทียบโปรแกรมไฟไนต์

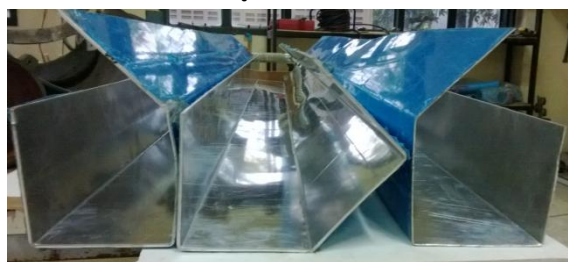
เอลิเมนต์(Validate program) และวิธีการทดลองได้วิเคราะห์ทำการเปรียบเทียบผลการดูดซับพลังงานของท่อหน้าตัดรูปต่างๆ ที่ความหนา 1 มิลลิเมตร พร้อมทั้งได้เปลี่ยนวัสดุที่ใช้กันเป็นส่วนใหญ่คือเหล็กเหนียว มาเป็นวัสดุอลูมิเนียม ที่จะเป็นประโยชน์ในการลดปัญหาของน้ำหนักของโครงสร้าง สุดท้ายงานวิจัยนี้ยังพัฒนาการวิเคราะห์รูปร่างหน้าตัดของตัวดูดซับพลังงาน ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะใช้ท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมและท่อหน้าตัดรูปวงกลม มาเป็นท่อหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยมและท่อหน้าตัดรูปหกเหลี่ยม มาให้เป็นทางเลือกที่เพิ่มขึ้นได้

3. วิธีการวิเคราะห์

วิธีการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับพลังงานของท่อหน้าตัดรูปหลากหลายภายใต้แรงดัด ประกอบด้วยวิธีการทดลองและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ดังนี้

3.1 วิธีการทดลอง

3.1.1 การขึ้นรูปชิ้นงาน จะทำการสร้างชิ้นงานทดสอบ โดยใช้วัสดุอลูมิเนียมขนาด 1 มิลลิเมตรมาพับเป็นท่อที่มีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม หน้าตัดรูปหกเหลี่ยม หน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม และมีวนเป็นหน้าตัดรูปวงกลม มีขนาดเส้นรอบรูปของหน้าตัด 320 มิลลิเมตร ความยาว 1500 มิลลิเมตร และการเชื่อมเป็นการเชื่อมด้วยอาร์กอน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ชิ้นงานที่ด้วยขึ้นรูปด้วยการพับ

3.1.2 การติดตั้งชุดทดสอบ ประกอบด้วย ท่อที่มีหน้าตัดรูปหลากหลายถูกวางไว้บนจุดรองรับทั้งสองข้าง ส่วนด้านบนจะมีหัวกดที่ติดไว้เครื่องทดสอบแรงดึง ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะชุดทดสอบแรงดัดกับเครื่องทดสอบแรงดึง

3.1.3 ขั้นตอนการทดลอง นำชิ้นงานมาวางบนจตุรรองรับทั้งสองข้าง ใช้หัวกดที่ติดตั้งไว้กับเครื่องทดสอบแรงดึง เปิดโปรแกรมควบคุมเครื่องให้หัวกดเคลื่อนที่ลงตามแนวตั้ง ด้วยความเร็ว 10 มิลลิเมตรต่อวินาที จนกระทั่งชิ้นงานเกิดความเสียรูปร่างถาวร ดังรูปที่ 3 แล้วบันทึกผลการทดลอง

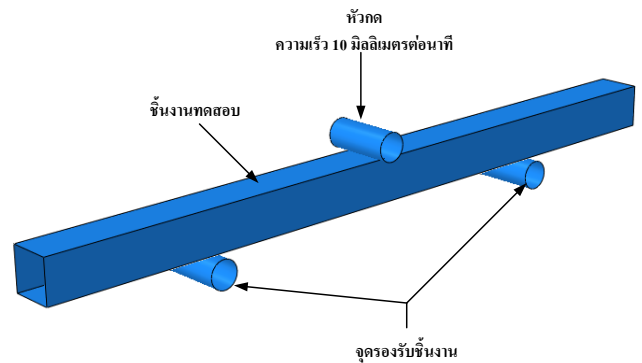


รูปที่ 3 ชิ้นงานเสียรูปร่างถาวรเนื่องจากแรงดัด

3.2 วิธีการจำลองโดยคอมพิวเตอร์

ในวิธีการจำลองโดยคอมพิวเตอร์ เพื่อหาการดูดซับพลังงานของท่อที่มีหน้าตัดรูปหลากหลาย จะใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม ออบาคัส(ABAQUS) ลักษณะปัญหาเป็นแบบพลศาสตร์ชัดเจน(Explicit dynamic) โดยการจำลองจะสร้างแบบจำลองให้เหมือนกับการทดลอง ดังรูปที่ 4 ประกอบด้วยชิ้นงานทดสอบที่มีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม หน้าตัดรูปหกเหลี่ยม หน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม และหน้าตัดรูปวงกลม โดยทุกๆ หน้าตัดจะมีท่อกลมที่มีความแข็งเกร็ง (Rigid body) อยู่ด้านล่างเพื่อเป็นจตุรรองรับทั้งสองข้าง และอยู่ด้านบนเพื่อเป็นหัวกด ส่วนชิ้นงานมีลักษณะเสียรูปได้ (Deformable body) คุณสมบัติเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) และคุณสมบัติวัสดุเท่ากันทุกทิศทาง

(Isotropic) ลักษณะเอลิเมนต์เป็นเอลิเมนต์เปลือกบาง(shell element) รูปสี่เหลี่ยมสี่โนด(S4R) และเงื่อนไขขอบเขต (Boundary condition) ท่อกลมด้านบนจะรับแรงกดตามแนวตั้ง ที่ความเร็วอย่างช้าๆ(Quasi-Static) 10 มิลลิเมตรต่อวินาที กระทบกับชิ้นทดสอบ ท่อกลมด้านล่างจะถูกยึดอยู่กับที่ ลักษณะการสัมผัสเป็นการสัมผัสแบบพื้นผิวกับพื้นผิว (Surface to surface)ระหว่างท่อกลมกับชิ้นงาน และการสัมผัสตัวเอง(Self contact) ของผิวชิ้นงาน ไม่มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และไม่ได้รับการพิจารณาเชื่อม



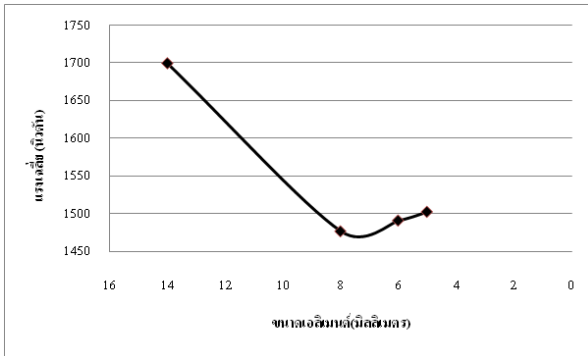
รูปที่ 4 แบบจำลองโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3.2.1 การหาการลู่เข้าของเอลิเมนต์ (Mesh convergent)

การศึกษาหาค่าลู่เข้าของเอลิเมนต์ โดยการหาขนาดของเอลิเมนต์ที่เหมาะสมและมีเสถียรภาพ เพื่อให้ผลของค่าการดูดซับพลังงานไม่มีผลกระทบต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของขนาดเอลิเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 5 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเอลิเมนต์กับการดูดซับพลังงาน จะพบว่าขนาดเอลิเมนต์เริ่มคงที่และมีเสถียรภาพที่ขนาด 6 มิลลิเมตร, 5 มิลลิเมตร ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ขนาดเอลิเมนต์ 5 มิลลิเมตร



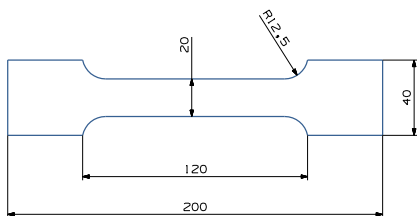
วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557



รูปที่ 5 การวิเคราะห์ห้รู้เข้าขนาดเอลิเมนต์ที่เหมาะสมของท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมความหนา 1 มิลลิเมตร

3.2.2 คุณสมบัติของวัสดุ วัสดุที่ใช้เป็นอลูมิเนียม ที่มีความหนาแน่นเท่ากับ 2,700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะทำการทดสอบโดยใช้มาตรฐานของ BS EN 10002-1: 2001 (E)

เครื่องมือทดสอบที่ใช้ในการหาคุณสมบัติยี่ห้อ Universal Testing Machine Model: AG – 100KNI M2 ของสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย โดยขนาดขึ้นทดสอบดังรูปที่ 6 และการทดสอบและรูปร่างความเสียหาย ดังรูปที่ 7 ส่วนคุณสมบัติของอลูมิเนียมที่สำคัญ จะแสดงตารางที่ 1



รูปที่ 6 ขนาดวัสดุตามมาตรฐาน BS EN 10002-1: 2001 (E)



รูปที่ 7 แสดงการหาคุณสมบัติวัสดุของเครื่องทดสอบแรงดึง และลักษณะรูปร่างการเสียหายขาดของชิ้นงานทดสอบ

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของอลูมิเนียม

ความหนา (MM)	ค่าYoung's Modulus (GPA)	ความเค้นที่จุดคานา (MPA)	ความเค้นสูงสุด (MPA)	ร้อยละการยืด
1	38.34	139.75	142.57	11.69
2	46.74	118.17	123.31	18.25
3	41.79	111.01	119.04	20.11

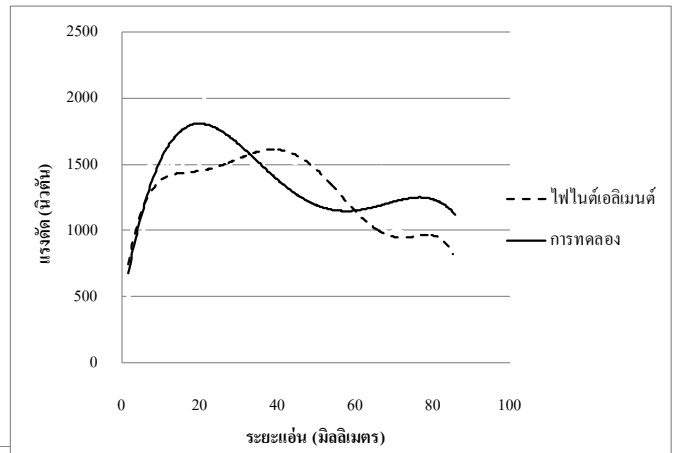
4. ผลการวิเคราะห์

การวิเคราะห์เปรียบเทียบการดูดซับพลังงานของท่อผนังบางที่มีหน้าตัดรูปหลายเหลี่ยมภายใต้แรงดัด โดยวิธีการทดลองและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ดังนี้

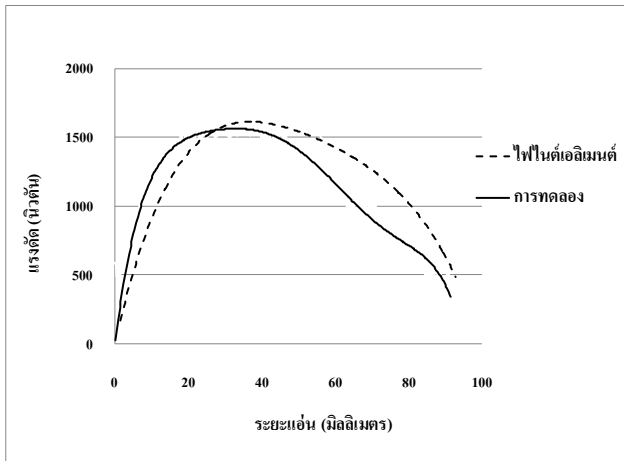


4.1 การเปรียบเทียบการทดลองกับไฟไนต์เอลิเมนต์

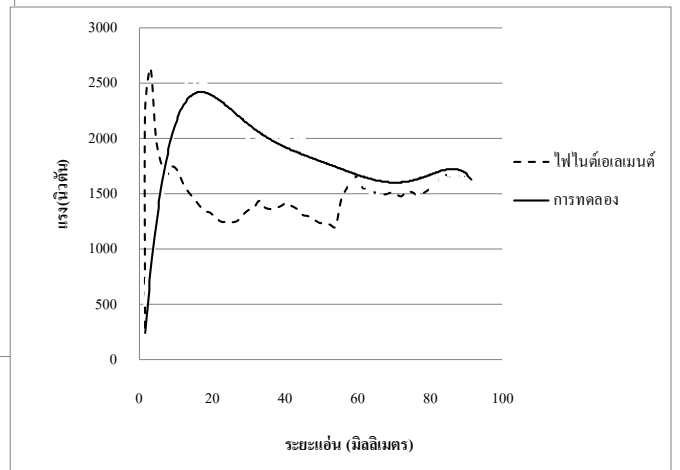
การเปรียบเทียบผลการทดลองและผลทางไฟไนต์เอลิเมนต์ จะทำที่ความหนา 1 มิลลิเมตร จะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างแรงดัดกับระยะแอนของท่อ ในท่อหน้าตัดรูปวงกลม ท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม ท่อหน้าตัดรูปหกเหลี่ยม ท่อหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม และ ท่อหน้าตัดรูปวงกลม ดังแสดงในรูปที่ 8-11 จะพบว่าเส้นแนวโน้มของกราฟระหว่างการทดลองและไฟไนต์เอลิเมนต์มีค่าใกล้เคียงกันมาก



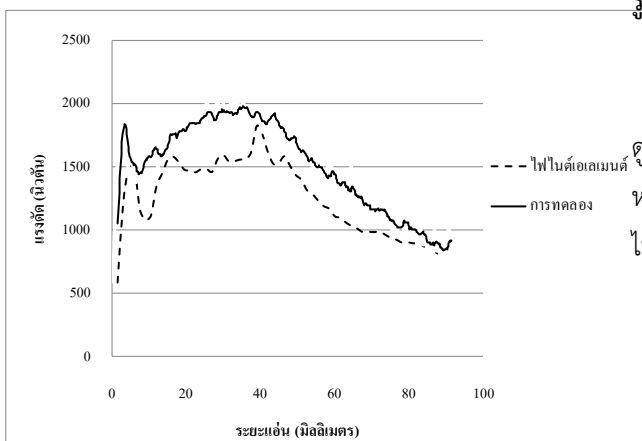
รูปที่ 10 ผลการเปรียบเทียบระหว่างการทดลองและไฟไนต์เอลิเมนต์ของหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม



รูปที่ 8 ผลการเปรียบเทียบระหว่างการทดลองและไฟไนต์เอลิเมนต์ของหน้าตัดรูปวงกลม

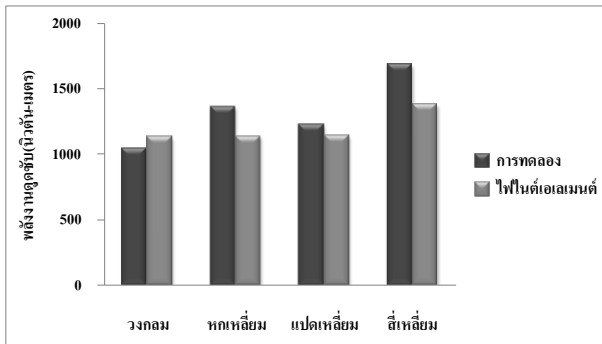


รูปที่ 11 ผลการเปรียบเทียบระหว่างการทดลองและไฟไนต์เอลิเมนต์ของหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม



รูปที่ 9 ผลการเปรียบเทียบระหว่างการทดลองและไฟไนต์เอลิเมนต์ของหน้าตัดรูปหกเหลี่ยม

และรูปที่ 12 จะเป็นการแสดงการเปรียบเทียบพลังงานดูดซับระหว่างผลการทดลองและผลไฟไนต์เอลิเมนต์ของทุกหน้าตัด จะพบว่าพลังงานดูดซับจากทดลองและจากไฟไนต์เอลิเมนต์มีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 12 การเปรียบเทียบระหว่างการทดลองและผลไฟไนต์เอเล-เมนต์ของหน้าตัด

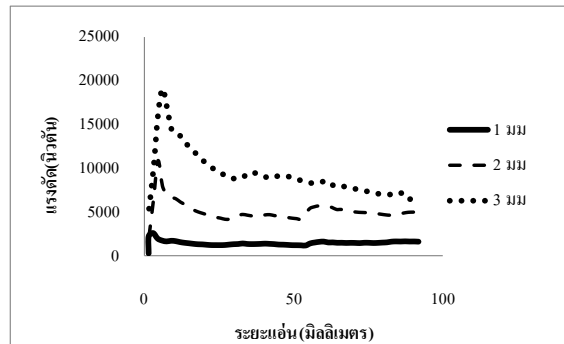
และตารางที่ 2 แสดงร้อยละความแตกต่างการดูดซับพลังงานของการทดลองและไฟไนต์เอเลเมนต์ โดยมีร้อยละของความคลาดเคลื่อนของท่อสี่เหลี่ยมเท่ากับร้อยละ 18 ท่อหกเหลี่ยมร้อยละ 16 ท่อแปดเหลี่ยมร้อยละ 8 และ ท่อวงกลมร้อยละ 7 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ร้อยละความแตกต่างการดูดซับพลังงานของวิธีการทดลองและวิธีไฟไนต์เอเลเมนต์ ที่ความหนา 1 มิลลิเมตร

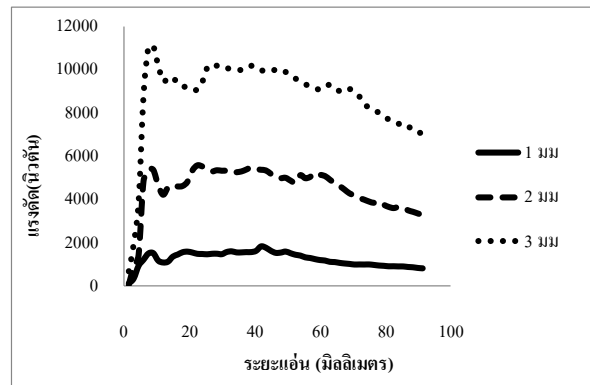
หน้าตัด	การดูดซับพลังงาน(นิวตัน-เมตร)		ร้อยละความแตกต่าง
	การทดลอง	ไฟไนต์เอเลเมนต์	
วงกลม	1045.70	1125.71	7
หกเหลี่ยม	1359.06	1132.52	16
แปดเหลี่ยม	1223.50	1139.29	8
สี่เหลี่ยม	1682.12	1374.36	18

4.2 ผลของความหนา

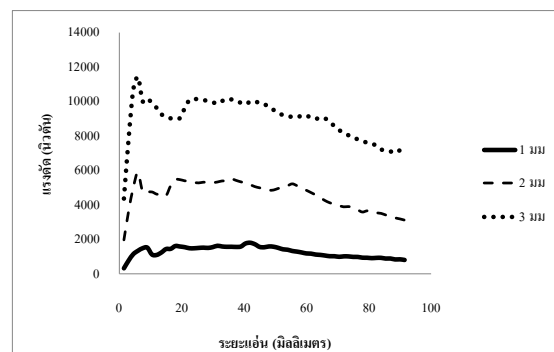
ผลของความหนาจะเป็นการเปรียบเทียบผลของความหนาขนาด 1 มิลลิเมตร, 2 มิลลิเมตร และ 3 มิลลิเมตร ของหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม หน้าตัดรูปหกเหลี่ยม หน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม และหน้าตัดรูปวงกลม ดังแสดงในรูปที่ 13-16 จะพบว่าเมื่อความหนาเพิ่มขึ้น แรงดัดจะเพิ่มขึ้น



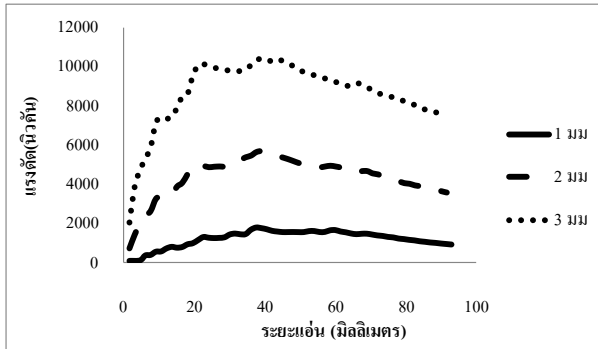
รูปที่ 13 ผลระหว่างแรงดัดกับมุมบิดของท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม



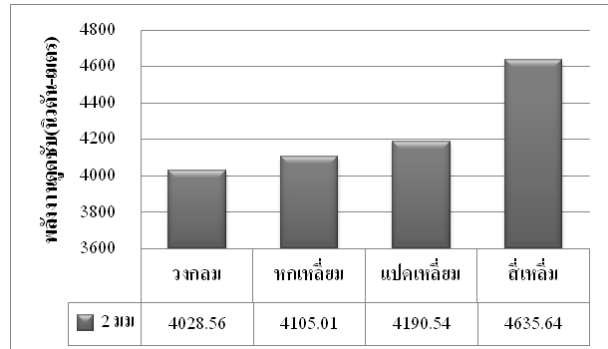
รูปที่ 14 ผลระหว่างแรงดัดกับมุมบิดของท่อหน้าตัดรูปหกเหลี่ยม



รูปที่ 15 ผลระหว่างแรงดัดกับมุมบิดของท่อหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม



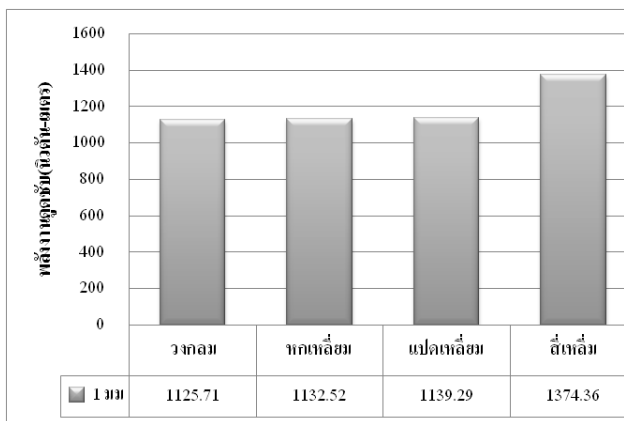
รูปที่ 16 ผลระหว่างแรงบิดกับมุมบิด ของท่อหน้าตัดรูปวงกลม



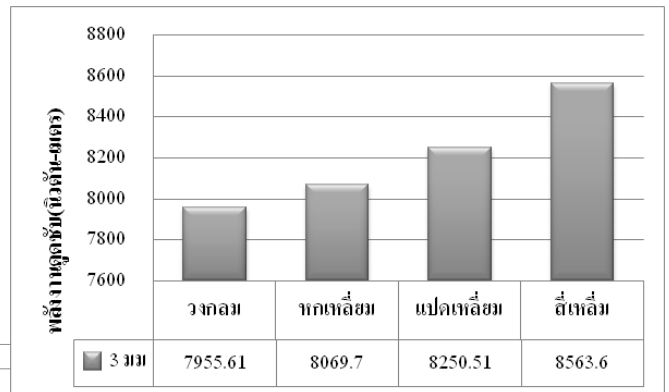
รูปที่ 18 การดูดซับพลังงานกับรูปร่างหน้าตัดของท่อ ที่ความหนา 2 มิลลิเมตร

4.3 การดูดซับพลังงาน

การดูดซับพลังงานของท่อผนังบางที่มีหน้าตัดรูปร่างหลากหลายภายใต้แรงตัด จากผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 17-19 พบว่า ท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมมีการดูดซับพลังงานสูงสุด ท่อหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม ท่อหน้าตัดรูปหกเหลี่ยม และท่อหน้าตัดรูปวงกลมมีการดูดซับพลังงานน้อยที่สุดตามลำดับ



รูปที่ 17 การดูดซับพลังงานกับรูปร่างหน้าตัดของท่อ ที่ความหนา 1 มิลลิเมตร



รูปที่ 19 การดูดซับพลังงานกับรูปร่างหน้าตัดของท่อ ที่ความหนา 3 มิลลิเมตร

จากผลการวิเคราะห์การดูดซับพลังงานของท่อหน้าตัดต่างๆ ข้างต้น เหตุผลที่สามารถวิเคราะห์ได้อีกกรณี คือ พฤติการณ์การเสีรูปร่างของหน้าตัด ดังตารางที่ 3 พบว่าที่ความหนาและระยะการยุบตัวเท่ากัน จะเห็นว่าท่อรูปหน้าตัดสี่เหลี่ยมเมื่อเกิดการยุบตัวลงบริเวณเส้นด้านบนของหน้าตัด ยังปรากฏจำนวนเหลี่ยมที่เหลืออยู่ เมื่อเทียบกับหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม หน้าตัดหกเหลี่ยม และหน้าตัดรูปวงกลมไม่มีเหลี่ยม ถ้าเปรียบเทียบหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยมและหน้าตัดรูปหกเหลี่ยมที่ความหนาเดียวกัน จะเห็นว่าหน้าตัดรูปหกเหลี่ยมจะเสีรูปร่างมากกว่า สังเกตจากด้านล่างของหน้าตัดหน้าตัดรูปหกเหลี่ยมจะมีการโก่งโค้งมากกว่าหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม หรือจากการสังเกตด้านบนของหน้าตัด จะพบว่าหน้า



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

ตัดรูปแปดเหลี่ยมยังมีจำนวนเหลี่ยมเล็กๆ เกิดขึ้นมากกว่า หน้าตัดรูปหกเหลี่ยม ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าท่อน้ำตัดรูปสี่เหลี่ยมมีการดูดซับพลังงานได้ดีกว่าหน้าตัดรูปอื่นๆ เนื่องจากรูปร่างหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมและหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม มีด้านหนึ่งของหน้าตัดอยู่ในแนวตั้ง ซึ่งจะทำให้การยุบตัวเกิดขึ้นได้ยาก หน้าตัดเกิดการต้านทานแรงดัดมากกว่า หน้าตัดรูปหกเหลี่ยมและหน้าตัดรูปวงกลม ซึ่งมีการต้านทานแรงดัดได้น้อย

ตารางที่ 3 ลักษณะการเสียรูปร่างหน้าตัดของท่อ

หน้าตัด	ความหนา(มิลลิเมตร)		
	1	2	3
วงกลม			
หกเหลี่ยม			
แปดเหลี่ยม			
สี่เหลี่ยม			

จากผลการวิเคราะห์ของงานวิจัยนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับ การวิจัยที่ผ่านมา [13] พบว่า งานวิจัยที่ผ่านมาจะใช้เหล็ก เหนียว ส่วนงานวิจัยนี้จะใช้โซลูมิเนียม และเพิ่มผลการ ทดลองและการเปรียบเทียบโปรแกรมให้มีความถูกต้องและ ความน่าเชื่อถือมากขึ้น จากผลการวิเคราะห์จะพบว่าจะให้ ข้อสรุปที่ใกล้เคียงกัน คือจะได้ท่อน้ำตัดรูปสี่เหลี่ยมมีการ ดูดซับพลังงานสูงสุด และท่อน้ำตัดรูปวงกลมมีการดูดซับ พลังงานต่ำสุด แต่จะแตกต่างกันที่ผลสรุปของค่าการดูดซับ พลังงานของท่อน้ำตัดรูปแปดเหลี่ยมและหน้าตัดรูปหก เหลี่ยม ซึ่งเป็นไปได้เนื่องจากท่อน้ำทั้งสองจะให้ค่าการดูดซับ พลังงานใกล้เคียงกันมาก

5. สรุป

การดูดซับพลังงานของท่อที่มีหน้าตัดหลากหลายภายใต้ แรงดัด สามารถสรุปผลดังนี้

5.1. ผลการเปรียบเทียบโปรแกรม พบว่า การเปรียบเทียบผล โดยใช้วิธีการทดลองและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มีค่าใกล้เคียง มาก และพบว่าขนาดเอลิเมนต์น้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 มิลลิเมตร จะทำให้ค่าการดูดซับพลังงานที่เสถียร

5.2. ผลของความหนา พบว่าเมื่อความหนาเพิ่มขึ้น การดูด ซับพลังงานเพิ่มขึ้น

5.3 ผลการดูดซับพลังงาน ท่อน้ำตัดรูปสี่เหลี่ยมให้ค่าการ ดูดซับพลังงานสูงสุด รองลงมาท่อน้ำตัดรูปแปดเหลี่ยม ท่อ หน้าตัดรูปหกเหลี่ยมและท่อน้ำตัดรูปวงกลมการดูดซับ พลังงานน้อยที่สุด

5.4 ผลของรูปร่างความเสียหาย พบว่าลักษณะรูปร่างการ ยุบตัวบริเวณหน้าตัดของท่อมีผลต่อการดูดซับพลังงาน และ ท่อที่มีหน้าตัดด้านหนึ่งอยู่ในแนวตั้ง จะมีความสามารถในการ ต้านทานแรงดัดได้ดีกว่าท่อน้ำตัดที่มีรูปในลักษณะอื่นๆ

6. ข้อเสนอแนะ

ในการออกแบบ “ตัวดูดซับพลังงาน” จากผลสรุปของ งานวิจัยนี้ จากผลของตัวแปรที่ศึกษา พบว่า ผลของความ หนาที่เพิ่มขึ้น จะให้การดูดซับพลังงานเพิ่มขึ้น ซึ่งตัวดูดซับ พลังงานจะมีความหนาที่เพิ่มขึ้น ที่ใช้ในการออกแบบนี้ แต่ ต้องมีความแข็งแรงน้อยกว่าความแข็งแรงของโครงสร้างหลัก ของยานพาหนะ เนื่องจากตัวดูดซับพลังงาน มีหน้าที่ในการ ลดความเสียหายของโครงสร้างหลักให้เบาบางลง หรือทำ หน้าที่ดูดซับพลังงานจลน์ที่มากกระทบกับโครงสร้างได้ ส่วนใน การพัฒนางานวิจัยต่อไป เป็นการพัฒนาตัวดูดซับพลังงานให้ มีการดูดซับพลังงานเพิ่มขึ้นและมีน้ำหนักเบา โดยการเติม โฟม และหุ้มด้วยวัสดุประกอบ(Composite material) เป็น ต้น ซึ่งจะมีสมมติฐานเบื้องต้นว่า “เมื่อเพิ่มมวลไม่มากนัก แต่ จะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับพลังงานเพิ่มขึ้นมาก”



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

7. กิตติประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนให้ใช้เครื่องทดสอบแรงดึง (Tension Universal Testing) ต่อพ่วงเข้ากับชุดทดลองแรงดัด

เอกสารอ้างอิง

- [1] Dusan Kecman. "Bending collapse of rectangular and square section tubes." *Int. J. Mech. Sci.* 1983; 25: 9-10.
- [2] S. J. Cimpoeru and N. W. Murray. "The large-deflection pure bending properties of a square thin-walled tube." *Int. J. Mech. Sci.* 1993; 35; 3/4: 247-256.
- [3] T. Wierzbicki. "Stress profile in thin-walled prismatic columns subjected to crush loading-II. Bending." *Computer&structure* 1994; 51; 6: 625-641.
- [4] T. Wierzbicki and M. V. Sinmao. "A simplified model of brazier effect in plastic bending of cylindrical tubes." *Int. J. Pres. Ves.& Pipe.* 1997; 71: 19-28.
- [5] T.H. Kim, and S. R. Reid. "Bending collapse of thin-walled rectangular section columns." *Computer & Structures* 2001; 79: 1897-1991.
- [6] M. Elchalakani, X. L. Zhao and R. H. Grzebieta. "Plastic mechanism analysis of circular tubes under pure bending." *Int. Mech. Sci.* 2002; 44: 1117-1143.
- [7] H. Huh. "Crashworthiness of front side members in an auto-body considering the fabrication effect." 12th International Pacific Conference on Automotive Engineering. Bangkok. Thailand, 2003.
- [8] A.G. Mama1is. "The crumpling of steel thin-walled tubes and frusta under axial compression at elevated strain-rates: some experimental results." *International Journal of Mechanical Science.* 1984;26; 11-12: 537-547.
- [9] W.J. Kang and H. Huh. "Crash analysis of auto-body structures considering the strain-rate hardening effect." *International Journal Automotive Technology.* 2002; 1; 1: 35-41.
- [10] M.D. White. "A theoretical analysis for the quasi-static axial crushing of top-hat and double-hat thin-walled sections." *International Journal of Mechanical Science.* 1999; 41; 2: 209-233.
- [11] J.D. Reid. "Crashworthiness of automotive steel midrails thickness and material sensitivity." *Thin-Walled Structures.* 1996; 26; 2: 83-103.
- [12] Somya poonaya, Chawalit Thinvongpituk, and Umpisak Teeboonma, "Some analytical methods of plastic collapse of circular steel tube under quasi-static axial compression," 19th Conference of mechanical engineering network of Thailand, Songkhla, Thailand, 19-21 October, 2005.
- [13] Somya poonaya, Chawalit Thinvongpituk, and Umpisak Teeboonma. "Comparison of energy absorption of various section steel tubes under axial compression and bending loading," 21st Conference of mechanical engineering network of Thailand, Chonburi, Thailand, 17-19 October, 2007.
- [14] Somya poonaya, and Chawalit thinvongpituk. "Comparison of energy absorption of various



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

section steel tubes under torsion loading,” The 23th Conference of mechanical engineering network of Thailand, Chiang Mai, Thailand, 4-7 November, 2009.

[15] Somya poonaya. “Comparision of energy absorption of S-Frame Subjected to axial compression loading,” 24th Conference of mechanical engineering network of Thailand, Ubonratchathani, Thailand, 20-22 October, 2010.

[16] S. Poonaya , U.Teeboonma, C.Thinvongpituk. “Plastic collapse analysis of thin-walled circular tubes subjected to bending.” Thin-Walled Structure. 2009; 47: 637-645.



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

วงจรรคูณสัญญาณกระแสสี่ครอดแรงดันต่ำและกำลังงานต่ำโดยใช้
มอสทรานซิสเตอร์แบบขาเกตปล่อยลอย
Low-Voltage Low-Power Four-Quadrant Current Multiplier
Using Floating Gate-MOS Transistors

มนตรี คำเงิน¹ จิระศักดิ์ ขาววุฒิธรรม²

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 E-mail: kkmontre@kmitl.ac.th

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือวัดและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ถนนประชาราษฎร์ 1 เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 E-mail: jew@kmitnb.ac.th

บทคัดย่อ: บทความนี้นำเสนอวงจรรคูณสัญญาณที่ทำงานในโหมดกระแสสี่ครอดแบบแอนาล็อกที่ใช้แหล่งจ่ายแรงดันต่ำ มอสทรานซิสเตอร์แบบขาเกตปล่อยลอยถูกนำมาใช้เพื่อให้วงจรที่นำเสนอสามารถทำงานได้ที่แหล่งจ่ายแรงดัน 0.75 โวลต์ วงจรที่นำเสนอจะถูกจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSPICE โดยใช้พารามิเตอร์เทคโนโลยีซีมอส 0.18 μm จาก TSMC เพื่อยืนยันการทำงานของวงจร จากผลการจำลองแสดงได้ว่าวงจรมีค่าความผิดพลาด 1.5 % ที่อินพุทกระแส 8 μA มีค่าความเพี้ยนรวมของฮาร์โมนิกส์ 0.95 % เมื่ออินพุทกระแสมีขนาด 8 μA (peak) วงจรใช้กำลังงานสถิตย์เท่ากับ 19.9 μW และมีแบนด์วิดท์ของสัญญาณขนาดเล็กเท่ากับ 180 MHz

คำสำคัญ: วงจรรคูณสัญญาณแบบแอนาล็อก วงจรโหมดกระแส มอสทรานซิสเตอร์แบบขาเกตปล่อยลอย วงจรแบบไม่เป็นเชิงเส้น

Abstract: This paper presents a new ultra-low-voltage current-mode four-quadrant analog multiplier. A floating-gate technique is used to provide the operation at a supply voltage of 0.75-V for the proposed multiplier. PSPICE simulators using 0.18 μm TSMC CMOS process are used to show the workability of the proposed circuit. Simulation results show that the circuit has a linearity error of 1.5 % for the input current 8 μA , total harmonic distortion of 0.96 % for the input current 8 μA (peak), quiescent power consumption of 19.9 μW and small-signal bandwidth of 180 MHz.

Keywords: analog multiplier, current-mode circuit, floating-gate MOS transistor, nonlinear circuit



1. บทนำ

วงจรรูปร่างสัญญาณแบบแอนาล็อกเป็นวงจรรูปแบบไม่เป็นเชิงเส้นที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานมากมายได้ในระบบโทรคมนาคม อิเล็กทรอนิกส์ และ ควบคุม วงจรรูปร่างสัญญาณสามารถนำไปสร้างเป็นวงจรมอดูเลททางขนาด วงจรรูปร่างความถี่ วงจรหารความถี่ วงจรควบคุมอัตราการขยายแบบอัตโนมัติ วงจรรอกที่สอง และ วงจรเฟสล็อกกลุ๊ป ดังนั้นจึงมีวงจรรูปร่างสัญญาณนำเสนอไว้มากมายในวารสารต่างๆ ตัวอย่างเช่น [1]-[6] แต่วงจรเหล่านั้นมักจะใช้แรงดันค่อนข้างสูง (มากกว่า 1 โวลต์) และใช้กำลังงานค่อนข้างมาก ในปัจจุบันวงจรที่ทำงานได้ด้วยแรงดันต่ำกำลังได้รับความสนใจเพื่อออกแบบ ซึ่งมีสาเหตุมาจากในปัจจุบันอุปกรณ์ประเภทพกพา อุปกรณ์ทางการแพทย์ และ อุปกรณ์ตรวจจับแบบฝังตัว กำลังเป็นที่ต้องการอย่างมาก ที่ผ่านมามีการนำเสนอวงจรรูปร่างสัญญาณที่ใช้แหล่งจ่ายแรงดันต่ำนำเสนอหลายวงจรใน [7]-[18] โดยใช้วิธีการที่แตกต่างกัน บทความใน [7] และ [8] นำเสนอวงจรรูปร่างสัญญาณโดยไม่ใช้วิธีการที่พิเศษใดๆ แต่วงจรใน [7] ใช้แหล่งจ่าย ± 1.5 โวลต์ ส่วนวงจรใน [8] ใช้แหล่งจ่าย 1.8 โวลต์ บทความใน [9] และ [10] ใช้วิธีการกำหนดให้ทรานซิสเตอร์ทำงานในย่านต่ำกว่าแรงดันแตรชโฮล (subthreshold region) ในขณะที่บทความใน [11]-[13] ใช้วิธีการกระตุ้นสัญญาณเข้าที่ขา bulk ของมอสทรานซิสเตอร์ แต่อย่างไรก็ตามมีเพียงวงจรใน [13] เท่านั้นที่ทำงานได้ที่แรงดันต่ำถึง 0.5 โวลต์ แต่วงจรถูกจำกัดการทำงานไว้ที่ความถี่ช่วงหลักสิบล้านหน่วย KHz เท่านั้น วิธีการต่อมาคือใช้มอสทรานซิสเตอร์แบบขาเกตปล่อยลอย (floating gate-MOST: FG-MOST) ใน [14]-[18] วิธีการนี้เป็นวิธีที่รู้จักมานานแล้ว ซึ่งเดิมทีวิธีการนี้จะถูกนำมาใช้ในการสร้างตัวเก็บข้อมูลใน EEPROM EPROM และ FLASH ถึงแม้วงจรใน [14]-[18] จะสามารถทำงานได้ที่แรงดันต่ำ แต่วงจรเหล่านั้นส่วนมากเป็นวงจรรูปร่างที่ทำงานในโหมดแรงดัน ถ้าเปรียบเทียบกับวงจรรูปร่างที่ทำงานในโหมดแรงดันวงจรรูปร่างที่ทำงานในโหมดกระแสจะมีแบนด์วิดท์กว้างกว่า มีค่า

พิสัยพลวัต (dynamic range) กว้างกว่า และ วงจรมีความง่ายกว่าเพราะการบวกและลบกระแสทำได้ง่ายกว่าแรงดัน [19]

ดังนั้นบทความนี้จึงนำเสนอวงจรรูปร่างสัญญาณโหมดกระแสสี่ครอดแอนด์ที่ทำงานในโหมดกระแส วงจรรูปร่างนำเสนอสามารถทำงานได้ที่แรงดันต่ำโดยใช้มอสทรานซิสเตอร์แบบขาเกตปล่อยลอย โดยวงจรใช้แหล่งจ่ายเพียง 0.75 โวลต์ และ ใช้กำลังงานสถิตย์ 19.9 μW ดังนั้นจึงคาดหมายว่าวงจรรูปร่างนำเสนอจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในระบบเครือข่ายประสาทเทียม และ ไปโออิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้กำลังงานต่ำได้เป็นอย่างดี วงจรรูปร่างนำเสนอจะถูกจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSPICE เพื่อยืนยันการทำงานของวงจรรูปร่าง

2. วงจรรูปร่างนำเสนอ

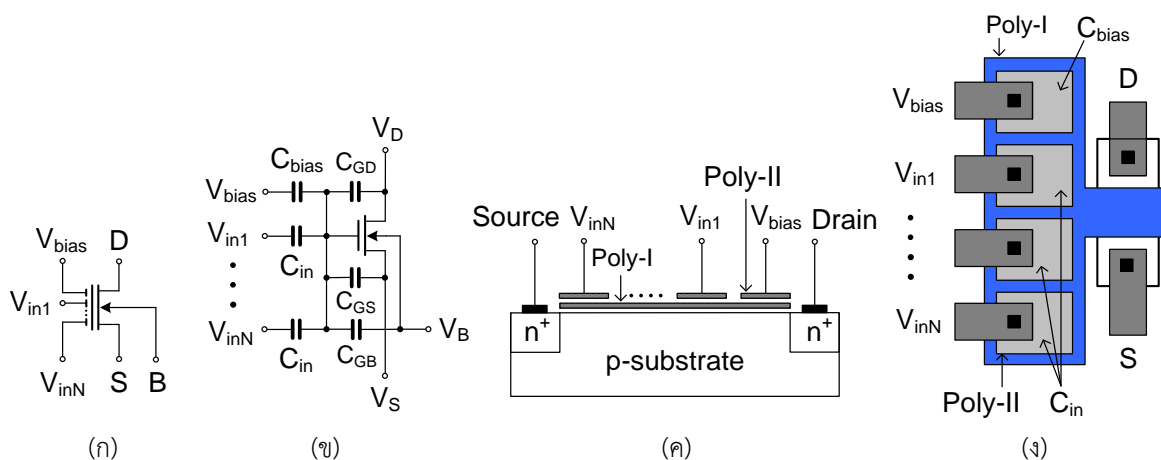
มอสทรานซิสเตอร์แบบขาเกตปล่อยลอย หรือ FG-MOST สามารถสร้างได้จากเทคโนโลยีซีมอสแบบมาตรฐานทั่วไป [14] รูปที่ 1(ก) แสดงสัญลักษณ์ของ FG-MOST ชนิด NMOS ที่มี N อินพุท และ วงจรเสมือนสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1(ข) รูปที่ 1(ค) แสดงโครงสร้างของ FG-MOST เมื่อถูกสร้างใน substrate ชนิด p และรูปที่ 1(ง) แสดงการวางผังเมื่อนำไปสร้างเป็นวงจรรวม สำหรับบทความนี้จะใช้ FG-MOST สองอินพุทเท่านั้น ดังนั้นแรงดัน floating gate (V_{FG}) ของ FG-MOST สองอินพุทแสดงได้คือ [14]

$$V_{FG} = \frac{C_{in1}V_{in1} + C_{bias}V_{bias} + C_{GD}V_D + C_{GS}V_S + C_{GB}V_B + Q_0}{C_T} \quad (1)$$

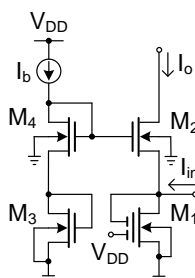
โดยที่ V_D คือแรงดันที่ขาเดรน V_S คือแรงดันที่ขาซอร์ส V_B คือแรงดันที่ขา bulk และ Q_0 คือประจุเริ่มแรกที่เกิดจากกระบวนการผลิตซึ่งจะต้องถูกกำจัดทิ้งไปโดยการฉายแสง UV หาก Q_0 ไม่ถูกกำจัดทิ้งไป ผลจะทำให้เกิดแรงดันออฟเซต [21] C_{GD} C_{GS} และ C_{GB} เป็นคาปาซิแตนซ์จากขาเกตไปขาเดรน ขาซอร์ส และ ขา bulk (substrate) ตามลำดับ C_T คือค่าคาปาซิแตนซ์รวมของขาเกตปล่อยลอยซึ่งเขียนได้คือ



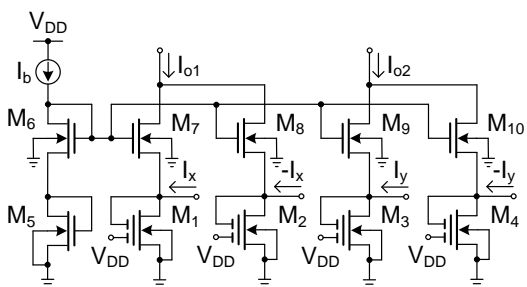
วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557



รูปที่ 1 FG-MOST [20] (ก) สัญลักษณ์ (ข) วงจรเสมือน (ค) โครงสร้าง (ง) การวางผัง



รูปที่ 2 วงจรกำลังสองสัญญาณกระแสโดยใช้ FG-MOST



รูปที่ 3 วงจรคูณสัญญาณกระแสสี่ครอดแรนต์ที่นำเสนอ

$$C_T = C_{in1} + C_{bias} + C_{GD} + C_{GS} + C_{GB} \quad (2)$$

ค่าอินพุตคาปาซิแตนซ์ที่เลือกใช้จะต้องมีค่ามากกว่าผลรวมของค่าคาปาซิแตนซ์แฝง ($C_T \approx C_{in} + C_{bias}$) ดังนั้นแรงดัน V_{FG} เขียนใหม่ได้คือ

$$V_{FG} = \frac{C_{in1}}{C_T} V_{in1} + \frac{C_{bias}}{C_T} V_{bias} \quad (3)$$

แรงดันเทรชโฮล ($V_{T, equ}$) เสมือนสำหรับ G_{in1} กำหนดได้คือ

$$V_{T, equ} = \frac{V_T - V_{bias} (C_{bias}/C_T)}{(C_{in1}/C_T)} \quad (4)$$

โดยที่ V_T คือค่าแรงดัน (threshold voltage) จะเห็นได้ว่าค่าแรงดัน $V_{T, equ}$ สามารถลดลงได้เมื่อกำหนดค่า C_{in1}/C_T , C_{bias}/C_T และ V_{bias} ที่เหมาะสม กระแสเดรนของ FG-MOST ที่ทำงานในช่วงอิมิตัวกำหนดได้คือ

$$I_D = \frac{\mu_n C_{ox}}{2} \frac{W}{L} (V_{FG} - V_T)^2 \quad (5)$$

โดยที่ μ คือค่าสภาพคล่องตัวของอิเล็กตรอน C_{ox} คือค่าคาปาซิแตนซ์ gate-oxide ต่อหน่วยพื้นที่ W ค่าความกว้าง และ L คือค่าความยาวของแซนแนล

รูปที่ 2 แสดงวงจรถ่ายสัญญาณกระแสที่ใช้ FG-MOST วงจรประกอบด้วย FG-MOST หนึ่งตัว มอสแบบมาตรฐาน (M_2 - M_4) สามตัว และ แหล่งจ่ายกระแสหนึ่งแหล่งจ่าย ถ้าสมมติว่าทรานซิสเตอร์ทั้งหมดในรูปที่ 2 ทำงานในย่านอิมิตัว ค่าทรานส์คอนดักแตนซ์ของทุกตัวเท่ากันและมีกระแสอินพุต I_{in} ถูกป้อนให้กับวงจร เมื่อใช้หลักการทรานส์ลิเนียร์ ความสัมพันธ์ของกระแสในรูปที่ 2 แสดงได้คือ



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

$$\sqrt{\frac{I_{D1}}{m}} + \sqrt{I_{D2}} = \sqrt{I_{D3}} + \sqrt{I_{D4}} \quad (6)$$

เมื่อ $m = C/C_T$ $C = C_{in1} = C_{bias}$ ($m \approx 0.5$) I_{D1} I_{D2} I_{D3} และ I_{D4} คือกระแสที่ขาเดรนของ M_1 M_2 M_3 และ M_4 ตามลำดับ กำหนดให้ $I_{D2} = I_o$ $I_{D3} = I_{D4} = I_b$ และ $I_{D1} = I_o + I_{in}$ กระแส I_o ของวงจรในรูปที่ 2 สามารถแสดงได้คือ

$$I_o = I_b + \frac{mI_{in}}{2} + \frac{mI_{in}^2}{16I_b} \quad (7)$$

วงจรคุณสมบัติของโหนดกระแสที่นำเสนอสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3 วงจรที่นำเสนอประกอบด้วยวงจรถักสองสัญญาณกระแสสวิตช์กรโดยทั้งหมดถูกไบอัสด้วยกระแส I_b การทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อกระแส I_x และ I_y มีค่าเป็นบวก M_1 และ M_3 จะนำกระแส ในทางกลับกันถ้า I_x และ I_y มีค่าเป็นลบ ($-I_x$ และ $-I_y$) M_2 และ M_4 จะนำกระแส ถ้ากำหนดให้ $I_x = I_{in1} + I_{in2}$ $I_y = I_{in1} - I_{in2}$ และ ใช้สมการที่ (7) กระแส I_{o1} และ I_{o2} สามารถแสดงได้คือ

$$I_{o1} = 2I_b + \frac{2mI_{in1}^2 + 4mI_{in1}I_{in2} + 2mI_{in2}^2}{16I_b} \quad (8)$$

$$I_{o2} = 2I_b + \frac{2mI_{in1}^2 - 4mI_{in1}I_{in2} + 2mI_{in2}^2}{16I_b} \quad (9)$$

กระแสเอาต์พุตของวงจรคุณสมบัติสามารถกำหนดได้คือ $I_{out} = I_{o1} - I_{o2}$ และเขียนได้คือ

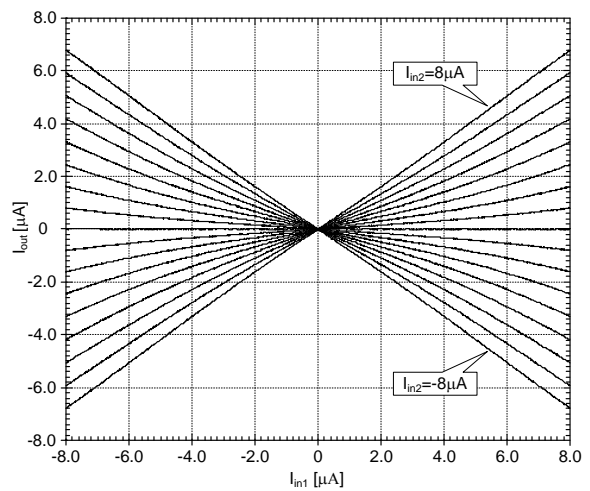
$$I_{out} = \frac{mI_{in2}I_{in2}}{I_b} \quad (10)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (10) สามารถแสดงได้ว่ากระแส I_{out} คือผลคูณของกระแส I_{in1} และ I_{in2} และสามารถพิจารณาต่อไปได้ว่าสมการกระแสเอาต์พุต I_{out} ปรากฏจากพารามิเตอร์ของอุปกรณ์เช่นค่า V_T และ μ ซึ่งแสดงได้ว่าวงจรไม่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ นอกจากนี้เมื่อวงจรทำงานใน

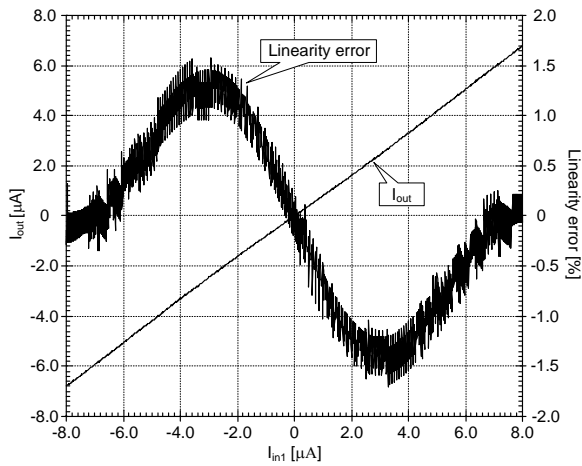
คลาส AB ดังนั้นวงจรจึงมีช่วงปฏิบัติงานทางอินพุตกว้างเป็นสี่เท่าของกระแสไบอัส และ เมื่อเปรียบเทียบกับวงจรใน [3] [4] และ [6] วงจรที่นำเสนอให้คุณสมบัติที่ดีกว่าทางด้านการใช้กำลังงานน้อยกว่า และ การใช้แหล่งจ่ายแรงดันที่ต่ำกว่า

3. ผลการจำลองการทำงาน

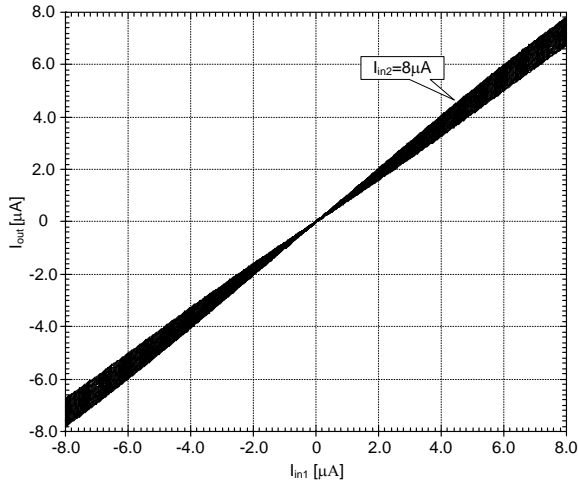
เพื่อตรวจสอบการทำงานของวงจรที่นำเสนอ วงจรในรูปที่ 3 จะถูกจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSPICE โดยใช้แหล่งจ่าย 0.75 โวลต์ กำหนดกระแสไบอัส I_b เท่ากับ 2 μA วงจรถูกออกแบบด้วยเทคโนโลยีซีมอส 0.18 μm จาก TSMC ค่า W/L ของทรานซิสเตอร์ทุกตัวเท่ากับ 1 $\mu m / 0.5 \mu m$ โมเดลของ FG-MOST จะกำหนดให้ตัวต้านทาน 100 Ω ต่อขนานกับตัวเก็บประจุ 0.2 pF วงจรบวกและลบสัญญาณทั้งอินพุตและเอาต์พุตใช้เครื่องมือจาก Library ของโปรแกรม PSPICE (FPOLY) ในการวัดค่าการใช้กำลังงานสถิตย์ของวงจร กำหนดให้ $I_{in1} = I_{in2} = 0$ (เปิดวงจร) จากผลการจำลองการทำงานของวงจรแสดงได้ว่าวงจรใช้กำลังงาน 19.9 μW รูปที่ 4 แสดงคุณสมบัติทาง DC ของวงจรคุณสมบัติเมื่ออินพุต I_{in1} และ I_{in2} มีค่าอยู่ในช่วงจาก -8 μA ถึง 8 μA โดยที่อินพุต I_{in2} เป็นพารามิเตอร์เปลี่ยนแปลงทีละ 1 μA และ อินพุต I_{in1} ตัวกวาด (sweep)



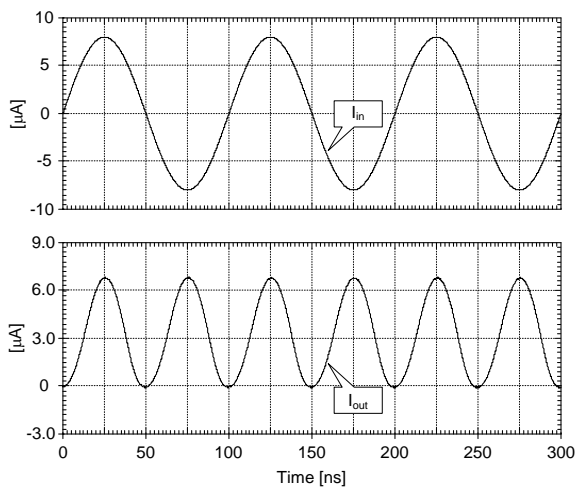
รูปที่ 4 ผลการจำลองคุณสมบัติทาง DC



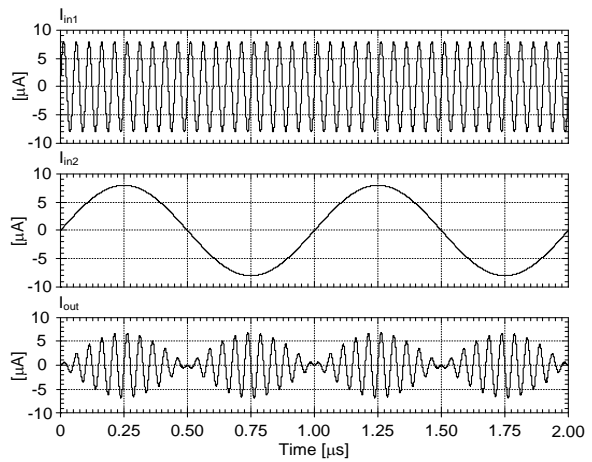
รูปที่ 5 ผลการจำลองค่าความเป็นเชิงเส้นที่ผิดพลาด



รูปที่ 6 กระแสเอาต์พุตเมื่อทำการเปลี่ยนอุณหภูมิจาก 25°C ถึง 75°C



รูปที่ 7 ผลคูณของสัญญาณ 10 MHz และ 10 MHz



รูปที่ 8 ผลคูณของสัญญาณ 10 MHz และ 1 MHz

ตารางที่ 1 ผลการจำลองการทำงานโดยสรุป

พารามิเตอร์	ค่า
เทคโนโลยี	0.18 μm
แหล่งจ่ายแรงดัน	+0.75V
การใช้กำลังงาน	
คงที่ ($I_{in1}=I_{in2}=0A$)	19.9 μW
สูงสุด ($I_{in1}=I_{in2}=8\mu A$)	25.0 μW
ช่วงปฏิบัติการทางอินพุต	±8 μA
Nonlinearity error for I_{in1}	
@ $I_{in2}=8 \mu A$	1.50 %
@ $I_{in2}=-8 \mu A$	1.52 %
THD for $I_{in1}=16 \mu A_{p-p}$ @ 10MHz	
@ $I_{in2}=8 \mu A_{dc}$	1.30 %
@ $I_{in2}=-8 \mu A_{dc}$	1.27 %
ความต้านทานขั้วอินพุต (I_x และ I_y)	7.6 kΩ
แบนด์วิดท์ (-3dB)	180MHz

รูปที่ 5 แสดงความผิดพลาดเชิงเส้นเมื่อ I_{in2} มีค่าสูงสุดคือ 8 μA จากรูปค่าความผิดพลาดสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 1.5 % รูปที่ 6 แสดงคุณสมบัติทางอุณหภูมิของวงจรเมื่อทำการจำลองการทำงานโดยเปลี่ยนอุณหภูมิจาก 25°C ถึง 75°C ต่อมาได้ทำการทำงานของวงจรเมื่อป้อนสัญญาณ



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

อินพุตทั้งสองอินพุตเหมือนกันซึ่งวงจรจะทำงานเป็นวงจร
คูณความถี่เป็นสองเท่า รูปที่ 7 แสดงการทำงานของวงจร
เมื่อป้อนความถี่ 10 MHz และขนาด $16 \mu A_{p-p}$ เข้าที่อินพุต
 I_{in1} และ I_{in2} จากรูปแสดงสัญญาณความถี่ 20 MHz ที่กระแส
 I_{out} รูปที่ 8 แสดงการทำงานของวงจรเมื่อป้อนอินพุต I_{in1}
เท่ากับ $16 \mu A_{p-p}$ ความถี่ 20 MHz และ I_{in2} ขนาด $16 \mu A_{p-p}$
ความถี่ 1 MHz ผลการจำลองการทำงานของวงจรมีที่
นำเสนอสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1

4. สรุป

บทความนี้แนะนำเสนอวงจรคูณสัญญาณกระแสสี่ครอด
แรนด์ที่ใช้แรงดันและกำลังงานต่ำ ทราซซิสเตอร์แบบขา
เกดปล่อยลอยถูกนำมาใช้เพื่อให้วงจรที่นำเสนอสามารถ
ทำงานได้ที่แรงดัน 0.75 โวลต์ วงจรที่นำเสนอสามารถ
นำไปประยุกต์ใช้งานเป็นวงจรร้อยในการประมวลผลขนาดใหญ่
ที่สร้างเป็นวงจรรวม ในการใช้งานวงจรบวกและลบ
สัญญาณกระแสต้องการเพิ่มเติม วงจรที่นำเสนอจะถูก
จำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSPICE เพื่อแสดง
คุณสมบัติของวงจรที่นำเสนอ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Y. H. Kim, S. B. Park, "Four-quadrant CMOS analogue multiplier," *Electronics Letters*, vol. 28, 1992, pp. 649-650.
- [2] S.-I. Liu, C.-C. Chang, "CMOS four-quadrant multiplier using active attenuations," *International Journal of Electronics*, vol. 79, 1995, pp. 323-328.
- [3] K. Tanno, O. Ishizuka, Z. Tang, "Four-quadrant CMOS current-mode multiplier independent of device parameters," *IEEE Transactions on Circuits and Systems-II*, vol. 47, 2000, pp. 473-477.

- [4] E. Ibaragi, A. Hyogo, K. Sekine, "A CMOS analog multiplier free from mobility reduction and body effect," *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, vol. 25, 2000, pp. 281-290.
- [5] I. Chaisayun, K. Dejhan, "A versatile CMOS analog multiplier," *IEICE Transactions on Fundamentals*, vol. E86-A, 2003, pp. 1225-1232.
- [6] V. J. S. Oliveira, N. Oki, "Low voltage four-quadrant current multiplier: an improved topology for n-well CMOS technology," *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, vol. 65, 2010, pp. 61-66.
- [7] S. C. Li, "LV/LP CMOS four-quadrant analog multiplier cell in modified bridged-triode scheme," *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, vol. 33, 2002, pp. 43-56.
- [8] C. Sawigun, A. Demosthenous, "Compact low-voltage CMOS four-quadrant analogue multiplier," *Electronics Letters*, vol. 42, 2006, pp. 1149-1150.
- [9] S.-I. Liu, C.-C. Chang, "CMOS subthreshold four-quadrant multiplier based on unbalanced source-couple pairs," *International Journal of Electronics*, vol. 78, 1995, pp. 327-332.
- [10] D. Coue, G. Wilson, "A four-quadrant subthreshold mode multiplier for analog neural-network applications," *IEEE Transactions on Neural Networks*, vol. 7, 1996, pp. 1212-1219.
- [11] B. Aggarwal, M. Gupta, "Low voltage bulk-driven class-AB four quadrant CMOS current multiplier," *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, vol. 65, 2010, pp. 163-169.



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

- [12] W. Liu, S.-I. Liu, "Design of a CMOS low-power and low-voltage four-quadrant analog multiplier," *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, vol. 63, 2010, pp. 307-312.
- [13] A. Panigrahi, P. K. Paul, "A novel bulk-input low voltage and low power four quadrant analog multiplier in weak inversion," *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, vol. 75, 2013, pp. 237-243.
- [14] H. R. Mehrvarz, C. Y. Kwok, "A Novel Multi-Input Floating-Gate MOS Four-Quadrant analog multiplier," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 31, 1996, pp. 1123-1131.
- [15] S. Vlassis, S. Siskos, "Analogue squarer and multiplier based on floating-gate MOS transistors," *Electronics Letters*, vol. 34, 1998, pp. 825-826.
- [16] J.-J. Chen, S.-I. Liu, Y.-S. Hwang, "Low-voltage single power supply four-quadrant multiplier using floating-gate MOSFETs," *IEE Proceeding-Circuits Devices Systems*, vol. 145, 1998, pp. 40-43.
- [17] Y. Berg, O. Naess, M. Hovin, "Ultralow-voltage floating-gate analog multiplier with tunable linearity," in *Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2000)*, Switzerland, 2000, pp. 1-4.
- [18] I. Navarro, A. J. Lopez-Martin, C. A. De La Cruz-Blas, A. Carlosena, "A compact four-quadrant floating-gate MOS multiplier," *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, vol. 41, 2004, pp. 159-166.
- [19] G. W. Roberts and A. S. Sedra, "All-current-mode frequency selective circuits," *Electronics Letters*, vol. 25, 1989, pp. 759-761.
- [20] F. Khateb, N. Khateb, J. Koton, "Novel low-voltage ultra-low-power DVCC based on floating-gate folded cascode OTA," *Microelectronics Journal*, vol. 42, 2011, pp. 1010-1017.
- [21] A. J. Lopez-Martin, J. Ramirez-Angulo, R. G. Carvajal, L. Acosta, "CMOS transconductors with continuous tuning using FG MOS balanced output current scaling," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 43, 2008, pp. 1313-1323.



มนตรี คำเงิน

สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ.2549

สถานที่ทำงาน สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ งานวิจัยที่สนใจ Analog circuits, filters and oscillators, Analog and digital VLSI circuits



จิระศักดิ์ ชาญวุฒิชรรณ

สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ.2555

สถานที่ทำงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือวัดและอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ตำแหน่งรองศาสตราจารย์ งานวิจัยที่สนใจ Electronics Circuit and Instrumentation System



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

หุ่นยนต์สังหาร และการยอมรับจากมวลมนุษยชาติ

น.ท.สิริรัตน์ ไตรวิรัตน์

กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลเรือ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

204 ถ.สุขุมวิท ต.ปากน้ำ อ.เมืองฯ จ.สมุทรปราการ

sandandsea@gmail.com

เมื่อเทคโนโลยีพัฒนาเดินหน้ามาถึงจุดที่ นักเรียน เครื่องบินบังคับวิทยุประเภทสปีไบพัต สามารถซื้อหาซื้อเครื่อง ไม้เครื่องมือมาประกอบเป็นยานบินสปีไบพัต ดิทรระบบจีพีเอส สามารถตั้งโปรแกรมให้บินไปยังจุดที่ต้องการได้โดยง่าย และ อุปกรณ์ทั้งหมดสามารถสั่งซื้อได้จากร้านค้าออนไลน์ วิธีทำ และเทคนิค สามารถหาอ่านศึกษาได้จากเว็บไซต์ ทั้งยังมีการ แลกเปลี่ยนเรียนรู้กันระหว่างผู้ที่ชื่นชอบในเทคโนโลยีเหล่านี้ การที่วงการทหารจะพัฒนายานบินอัตโนมัติขึ้นมาทำภารกิจ พิเศษ รวมทั้งโจมตีโดยอัตโนมัติย่อมไม่เป็นเรื่องไกลเกินเอื้อม อีกต่อไป



เมื่อเดือนพฤษภาคม ๒๕๕๗ ที่ผ่านมา ได้มีการประชุม ของกลุ่มประเทศยูเอ็นเกี่ยวกับเรื่องอาวุธบางประเภท ซึ่งมีการพิจารณาแล้วว่าเป็นอาวุธที่ผิดหลักมนุษยธรรม ซึ่งถือว่าเป็นก้าวเล็กๆ ก้าวแรกเพื่อนำไปสู่การห้ามใช้อาวุธประเภทที่ เรียกว่า “หุ่นยนต์ฆ่าคน” กลุ่มนักเคลื่อนไหวได้เริ่มมีการ ต่อสู้เพื่อให้มีผลห้ามใช้อาวุธอัตโนมัติที่เป็นอันตรายถึงชีวิต

ซึ่งตามคำนิยามของกระทรวงกลาโหมสหรัฐฯ กำหนดไว้ว่า เป็นอาวุธที่เมื่อสั่งให้ทำงานแล้วสามารถเลือกและทำลาย เป้าหมายได้โดยไม่ต้องใช้คนเข้าไปสั่งการอีก ตัวอย่างเช่น โดรนส์ที่สามารถทิ้งระเบิดได้อัตโนมัติเมื่อบินไปถึงเป้าหมาย ตัวอย่างดังกล่าวเป็นแค่สมมุติฐานเพราะว่ายังไม่มีกองกำลัง ทหารฝ่ายใดที่ใช้โดรนดังกล่าว สำหรับกองทัพสหรัฐฯ ได้มีการ ประกาศไว้แล้วว่าอาวุธที่เป็นหุ่นยนต์จะต้องมีบุคคลเข้ามา เกี่ยวข้องในกระบวนการเสมอ (อย่างน้อยก็ ณ ปัจจุบัน) อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีสำหรับหุ่นยนต์ฆ่าคนดังกล่าว ได้มีการ ค้นคว้าวิจัยออกมาเรียบร้อยแล้ว กองทัพประเทศอิสราเอลมีการ ใช้อาวุธจรวดป้องกันตนเองเข้าประจำการ ซึ่งจะสามารถ ยิงโจมตีได้อัตโนมัติ กองทัพประเทศเกาหลีใต้ก็มีการใช้ หุ่นยนต์เฝ้าระวัง ซึ่งสามารถยิงผู้ต้องสงสัยได้ถ้าหากว่าคนนั้น ไม่สามารถแจ้งรหัสผ่านที่ถูกต้อง และในทางทฤษฎีหุ่นยนต์ โดรนส์ ก็สามารถตั้งโปรแกรมให้ทิ้งระเบิดได้ตามจีพีเอสได้

การประชุมที่ว่านี้เกิดขึ้นเป็นช่วงเวลา 4 วัน โดย เป็นการพบปะพูดคุยของผู้เชี่ยวชาญอย่างไม่เป็นทางการ ณ กรุงเจนีวา ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ เพื่อถกเถียงกันว่า หุ่นยนต์อัตโนมัติควรจะต้องมีความรู้สึกรู้คิดขนาดไหนจึงจะ สามารถฆ่าคนได้ การประชุมมีวาระที่เกี่ยวข้องกับคำนิยาม ของความอัตโนมัติ อาวุธหุ่นยนต์ที่มีอยู่แล้วในปัจจุบัน การ โต้เถียงเรื่องความรับผิดชอบเมื่อหุ่นยนต์กระทำการรุนแรงถึง ชีวิตและหัวข้ออื่นๆ นอกจากนี้ยังมีการแยกห้องสนทนา เกี่ยวกับกฎหมายมนุษยธรรมระหว่างประเทศ การบังคับใช้



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

จรรยาบรรณของหุ่นยนต์นักฆ่าและอื่นๆ หลังจากการพบปะพูดคุยได้จบลง ประธานกรรมการ ท่านทูตดอน-ฮิวจ์ ไชม่อน-มิเชล ของฝรั่งเศสจะเตรียมผลสรุปจากการประชุมเพื่อนำเสนอในการประชุมแบบนี้อีกครั้งหนึ่งที่จะจัดขึ้นในเดือนพฤศจิกายนนี้ เมื่อถึงเวลานั้นผลการประชุมอาจจะลงตัวในเรื่องการประกาศข้อเสนอเกี่ยวกับการห้ามใช้อาวุธ หรือไม่ก็พัฒนายกระดับไปถึงขั้นข้อตกลงเกี่ยวกับการใช้อาวุธระหว่างประเทศ

ทำงานกับเพนตาก่อนในหลายๆ เรื่องเกี่ยวกับระบบหุ่นยนต์และโพรเฟสเซอร์โนเอลชาร์คคี อาจารย์ที่มหาวิทยาลัยเซฟฟีลด์ หนึ่งในผู้ก่อตั้งคณะกรรมการนานาชาติเพื่อการควบคุมอาวุธหุ่นยนต์



อาวุธอัตโนมัตินำมาซึ่งภัยอันตรายในรูปแบบใหม่ต่อมนุษยชาติ ซึ่งเราต้องหยุดยั้งมันก่อนที่จะแต่ละประเทศจะลงทุนไปกับเทคโนโลยีประเภทนี้มากเกินไป อาจารย์ชาร์คคีได้กล่าวไว้ พวกเราหวังว่าการประชุมในครั้งนี้จะเป็นกระบวนการเริ่มต้นซึ่งนำไปสู่ข้อตกลงผูกมัดทางกฎหมายที่ห้ามใช้อาวุธประเภทที่เมื่อสั่งทำงานแล้วสามารถเลือกเป้าและโจมตีได้เองโดยไม่ต้องมีมนุษย์ควบคุม

เครื่องมือทางทหาร เช่น โดรนส์สังหารและอาวุธหุ่นยนต์ได้นำกำลังพัฒนาแพร่กระจาย นานวันเข้าก็จะใช้มนุษย์ควบคุมดูแลน้อยลงทุกที กลุ่มประเทศยูเอ็นมองสิ่งนี้เป็นภัยคุกคามที่ร้ายกาจ ปีที่แล้วสภาสิทธิมนุษยชนได้ให้ข้อเสนอแนะว่า ประเทศใดที่มีการพัฒนาหุ่นยนต์สังหารอยู่ให้หยุดการพัฒนานั้นเสียจนกว่าจะมีกรอบการทำงานที่ได้รับการยอมรับระดับนานาชาติขึ้นมาควบคุมเกี่ยวกับเรื่องนี้ ในการประชุมดังกล่าวมีการโต้ว่าที่ระหว่าง โรนัลด์ อาคัน นักหุ่นยนต์วิทยาและนักจริยธรรมแห่งสถาบันเทคโนโลยีจอร์เจีย ซึ่งเคยร่วมมือ

สำหรับฝ่ายตรงข้ามนายอาร์คินเชื่อว่า การใช้หุ่นยนต์ในการทำสงครามช่วยให้ลดการสูญเสียชีวิตคน โดยเอาคนออกไปจากสนามรบอีกทั้งยังเป็นการใช้กำลังสังหารโดยเที่ยงตรงแม่นยำ เขาหวังว่าจะสามารถสร้างความตื่นตัวได้ว่าเทคโนโลยีสามารถลดการบาดเจ็บสูญเสียของพลเรือนได้ในการสงครามแบบสมัยใหม่

ประมาณเดือนมิถุนายนที่แล้วประเทศรัสเซียประกาศติดตั้งใช้งานหุ่นยนต์เฝ้ายามเคลื่อนที่ได้ชนิดใหม่ ซึ่งถูกออกแบบมาให้ยิงผู้บุกรุกเข้ามาในฐานจรวดและบริเวณต้องห้าม สิ่งพิเศษก็คือหุ่นยนต์พวกนี้ไม่ต้องการคำอนุญาตจากมนุษย์



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557



หุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ดังกล่าวมีลักษณะเหมือนรถถังติดปืน ซึ่งสามารถตั้งให้ลาดตระเวนในพื้นที่และสามารถยิงใส่อะไรก็ได้ที่มันพิจารณาแล้วว่าเป็นภัยคุกคาม การประกาศดังกล่าวเกิดขึ้นภายหลังจากที่รองนายกรัฐมนตรีรัสเซียได้สั่งการให้หน่วยทหารพัฒนาสร้างหุ่นยนต์ซึ่งมีสมองอัจฉริยะ (AI) ซึ่งสามารถยิงด้วยตัวเอง รัสเซียเป็นประเทศหนึ่งในหลายๆ ประเทศที่กำลังพัฒนาหุ่นยนต์สังหารที่ทำงานด้วยตัวเอง ยังไม่มีประเทศไหนนำไปใช้ในสมรภูมิจริง และในสัปดาห์นี้เรื่องดังกล่าวก็มาถึงกลุ่มประเทศยูเอ็น 87 ประเทศ เข้าร่วมการประชุมเกี่ยวกับอาวุธอัตโนมัติที่มีอันตรายถึงชีวิต ซึ่งภายหลังจากการประชุมได้ข้อสรุปว่า จะนำมาตัดสินกันอีกทีในเดือนพฤศจิกายนนี้ การประชุมดังกล่าวเป็นการพบปะอย่างไม่เป็นทางการของผู้เชี่ยวชาญ จัดขึ้นโดยกลุ่มประเทศยูเอ็นที่ต้องการพิจารณาเกี่ยวกับการใช้อาวุธบางประเภท เป็นกลุ่มที่ห้ามหรือจำกัดการใช้อาวุธซึ่งมีลักษณะทำให้เกิดความเจ็บปวดสูญเสียโดยไม่จำเป็นหรือโดยไม่สมควรต่อผู้ทำการรบ

สิ่งสำคัญที่บอกว่าหุ่นยนต์สามารถสังหารบุคคลได้ก่อให้เกิดแรงต้านทานทางด้านจริยธรรมหรือจรรยาบรรณต่อกฎหมายสิทธิมนุษยชน มาตรฐานของความเที่ยงตรงของหุ่นยนต์จะต้องมีสูงเพียงใดก่อนที่หุ่นยนต์นั้นจะถูกนำไป

ประจำการได้ เป็นคำถามที่ต้องการคำตอบ ถ้าหุ่นยนต์สังหารพลเรือนโดยอุบัติเหตุใครจะเป็นผู้รับผิดชอบ มันจะเป็นการถูกต้องตามจริยธรรมและจรรยาบรรณหรือไม่ถ้าจะสั่งให้สังหารหุ่นยนต์

ฝ่ายสนับสนุนการใช้หุ่นยนต์มาเป็นอาวุธเสนอว่าการใช้อาวุธประเภทนี้ส่งผลให้ลดการสูญเสียต่อชีวิตของพลเรือนได้มากกว่าการใช้ทหารที่เป็นมนุษย์ การส่งหุ่นยนต์ลงไปในสนามรบหมายถึงว่าคุณแค่เสี่ยงกับหุ่นยนต์เท่านั้น ไม่เป็นการเสี่ยงต่อมนุษย์แต่อย่างใด หุ่นยนต์สามารถทำภารกิจที่ยากลำบากกว่ามนุษย์ได้ สามารถเข้าไปในเขตของศัตรูได้มากกว่าหรือเฝ้าคอยติดตามรอเวลาจนกระทั่งเป็นที่มั่นใจแน่นอนแล้วว่า เป็นเป้าหมายที่ต้องการชัดเจน นอกจากนี้หุ่นยนต์ยังมีความแม่นยำที่สูงกว่าด้วย

กลุ่มผู้เคลื่อนไหวเพื่อสันติภาพกล่าวว่า การที่เราปล่อยให้เครื่องจักรตัดสินใจในการใช้กำลังถึงชีวิตทำลายช่องว่างที่เรียกว่าความเมตตา ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญประเด็นหนึ่งในสงคราม พวกเขาเสริมอีกว่าการใช้เครื่องจักรแทนมนุษย์ส่งผลให้ลดค่าใช้จ่ายในการทำสงคราม โดยจะนำมาซึ่งการเกิดปัญหาข้อพิพาทที่มากขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นยังมีความรู้สึกหตุหุที่ไม่สามารถพรรณนาออกมาได้เกี่ยวกับความคิดที่ว่าเราจะตายหรือไม่ขึ้นอยู่กับการเงินธนาคารของหุ่นยนต์

แต่ก่อนที่กลุ่มประเทศยูเอ็นจะสามารถตัดสินใจแบนหุ่นยนต์สังหารอัตโนมัติได้ พวกเขาจะต้องรู้ว่าจะนิยามพวกมันอย่างไร การประชุมดังกล่าวที่เกิดขึ้นนับเป็นก้าวแรกของการรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปสู่กระบวนการห้ามหรือควบคุมอาวุธดังกล่าว เหล่าผู้เชี่ยวชาญถกเถียงค่านิยมของคำว่าอัตโนมัติ ขอบเขตของการควบคุมของมนุษย์ที่ต้องการให้มีในสงคราม และกฎหมายสิทธิมนุษยชนที่เกี่ยวข้อง ประเทศส่วนใหญ่ที่มีเทคโนโลยีหุ่นยนต์ที่ก้าวหน้าได้มาร่วมประชุมในครั้งนี้ รวมทั้งประเทศสหรัฐอเมริกา ประเทศรัสเซีย ประเทศจีน และประเทศอิสราเอล การสนทนาส่วนใหญ่พุ่งประเด็นเกี่ยวกับแนวความคิดของคำว่าอัตโนมัติกับคำว่าอัตโนมัติโดยสมบูรณ์ ซึ่งข้อสนทนาดังกล่าวเป็นการชี้ถึง

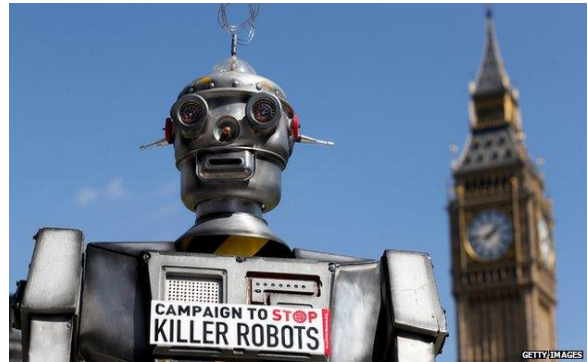


วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

ขอบเขตของการสั่งการที่มาจากมนุษย์จบลงแค่นั้น ยกตัวอย่างเช่น โดรนส์ลำหนึ่งที่สามารถบินไปได้ด้วยตัวเอง ไปยังเป้าหมายย่อมมีความอัตโนมัติในระดับหนึ่ง ถ้าใช้ ตรวจจับด้วยกันนี้แม้กระทั่งเครื่องบินพาณิชย์ก็เรียกได้ว่า อัตโนมัติ โดรนส์ตัวหนึ่งที่ถูกตั้งโปรแกรมให้วิ่งไปเป้าหมาย แล้วทิ้งระเบิดก็สามารถเรียกได้ว่ากึ่งอัตโนมัติหรืออัตโนมัติ โดยสมบูรณ์ ในขณะที่เดียวกันถ้าพูดถึงระบบป้องกันตัวเองที่สามารถยิงไปยังผู้บุกรุกได้ด้วยตัวเองก็จะเรียกว่าอัตโนมัติ โดยสมบูรณ์

ประเทศคิวบา เอวกวาดอ อียิป วกติกัน และ ปากีสถาน ต่างเรียกร้องให้มีการแบนอาวุธที่มีลักษณะ อัตโนมัติโดยสมบูรณ์เพื่อเป็นการป้องกันไว้ก่อน ในขณะที่ ฝรั่งเศส เยอรมันนี เนเธอร์แลนด์ สหราชอาณาจักร และอีกบาง ประเทศเน้นย้ำในเรื่องการให้ความสำคัญของการควบคุมโดย มนุษย์มากกว่าการตัดสินใจเลือกเป้าและการตัดสินใจโจมตี ประเทศอิสราเอลออกมาพูดถึงการใช้หุ่นยนต์ทางทหาร อัตโนมัติ ในขณะที่ประเทศจีนและรัสเซียไม่ได้ออกหน้า เข้าข้างฝ่ายใดโดยชัดเจน ประเทศปากีสถานแสดงความ ห่วงใยกับเรื่องนี้อย่างมากซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากการที่โดน โจมตีทางอากาศจากโดรนส์ของสหรัฐอเมริกา

มีหลายฝ่ายผิดหวังกับการแสดงออกของสหรัฐฯ ซึ่งดูเหมือนจะไม่ให้ความสำคัญในประเด็นนี้เท่าที่ควร กล่าวคือ ตามคำนิยามของกระทรวงกลาโหมของสหรัฐฯ มัก ใช้คำว่า “ตามสมควร” เมื่อพูดถึงขอบเขตของการควบคุม ระบบอาวุธโดยมนุษย์ กระทรวงกลาโหมของสหรัฐฯ ได้ ประกาศคำสั่งชั่วคราวเกี่ยวกับการพัฒนาหุ่นยนต์สังหาร กล่าวคือ ให้มี “ระดับของการตัดสินใจโดยมนุษย์ตาม สมควร” และตัวแทนของสหรัฐฯ ก็แนะนำต่อหน้าที่ประชุม ให้ใช้รูปแบบของประเทศตนเองเป็นโมเดลให้กับประเทศที่ เหลือ แต่นักเคลื่อนไหวเกือบทั้งหมดรู้สึกว่าเป็นการใช้คำพูด ที่อ่อนเกินไป



การประชุมครั้งนี้ได้รับความร่วมมือจากหลายๆ ฝ่ายอย่างดีเยี่ยม โดยได้มีการแสดงทัศนะที่แตกต่าง หลากหลายเหมือนกับว่าตัวแทนของแต่ละชาติมีสิ่งที่ต้องการ จะพูดถึงกับว่าต้องใช้เวลาเกิน แต่ถ้าหากว่าเราจะมองหาข้อ ยุติคงยังทำไม่ได้เพราะว่าคำศัพท์และคำนิยามต่างๆ ยังเป็น ปัญหาที่เกิดขึ้นสม่ำเสมอในการประชุม สิ่งที่กลุ่มต่อสู้เพื่อ มนุษยชนได้รับรู้เกี่ยวกับการประชุมครั้งนี้สื่อให้เห็นถึง ความสำเร็จของการประชุมที่เต็มเปี่ยมไปด้วยพลังจากทุกฝ่าย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Website <http://www.theverge.com/>
- [2] แฟ้มภาพ BBC Getty Images



น.ท.สิริรัตน์ ไตรวิรัตน์
อาจารย์ฝ่ายศึกษา โรงเรียน
นายเรือ เป็นนักเรียนเตรียม
ทหารรุ่นที่ 36 นักเรียนนาย
เรือรุ่นที่ 93

ได้รับปริญญาเอก
วิศวกรรมเครื่องกล สาขา

Strength of Material จาก University of California, San Diego มีความสนใจ ระบบสมองกล ฝังตัว หุ่นยนต์ ยานบังคับวิทยุ เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ต วิชาที่สอนกลศาสตร์เครื่องจักรกลและการสันสะเทือน ทางวิศวกรรม



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

คำแนะนำสำหรับผู้เขียน

วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ROYAL THAI NAVAL ACADEMY JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) เป็นวารสารที่เผยแพร่ผลงานบทความวิจัยและพัฒนาทางวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยีของโรงเรียนนายเรือ และของสถาบันอื่นๆ

บทความผลงานวิจัยที่จะนำเสนอตีพิมพ์ ต้องเป็นบทความที่มีคุณค่าทางวิชาการ เช่น รายงานการวิจัยที่ผู้เขียนได้ทำการทดลอง สร้าง หรือมีส่วนกับงานโดยตรง บทความที่เสนอถึงความคิดและหลักการใหม่ที่เป็นไปได้ มีทฤษฎีประกอบหรือสนับสนุนอย่างเพียงพอ หรือบทความทางวิชาการที่น่าสนใจ โดยผู้เขียนเป็นผู้รวบรวมและเรียบเรียงขึ้นเอง บทความงานวิจัยหรือบทความวิชาการในวารสารนี้ ต้องเป็นบทความที่ไม่เคยพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร รายงาน หรือสิ่งพิมพ์อื่นใดมาก่อน

ประเภทผลงานที่ตีพิมพ์

1. บทความงานวิจัย (Research papers) เป็นบทความที่มีรูปแบบของการวิจัยตามหลักวิชาการ หรือหลักการที่นำไปสู่ความก้าวหน้าทางวิชาการที่ผู้เขียนหรือทีมงานผู้เขียนได้ค้นคว้าวิจัยด้วยตนเอง
2. บทความวิชาการ (Articles) อาจแยกเป็นบทความปริทรรศน์ (Review articles) บทความเทคนิค (Technical articles) เรียบเรียงจากการสืบค้น ตรวจสอบเอกสารวิชาการในสาขานั้นๆ และบทความพิเศษ (Special articles) เสนอความรู้ต่างๆ ไปในด้านวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน
3. จดหมายถึงบรรณาธิการ (Letters to editor) เป็นจดหมายถึงบรรณาธิการ เพื่อแสดงความคิดเห็นสนับสนุน หรือโต้แย้งความเห็นของนักวิจัยอื่น ตลอดจนการเผยแพร่ความรู้ประสบการณ์ที่น่าสนใจ

การเตรียมต้นฉบับบทความ

บทความหรือผลงานวิจัยที่นำเสนออาจอยู่ในรูปภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษโดยจัดพิมพ์ด้วยโปรแกรมเวิร์ดโปรเซสเซอร์ภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ ตามรูปแบบที่กำหนด เพื่อให้พร้อมตีพิมพ์ได้ทันที (Camera ready) สำหรับภาพประกอบ หากมีใช้ภาพถ่าย ควรเขียนหรือร่างด้วยซอฟต์แวร์ที่สนับสนุนการทำงานของระบบปฏิบัติการวินโดวส์ ต้นแบบสำหรับบทความสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ของโรงเรียนนายเรือ (www.rtna.ac.th)

การส่งบทความ

ส่ง “ต้นฉบับบทความ” (ต้นฉบับ 1 ชุด และสำเนาที่ไม่ระบุชื่อและที่อยู่ของผู้ประพันธ์และทีมงาน 3 ชุด) และ “แบบฟอร์มการส่งบทความ” ได้ 3 ทาง ได้แก่ ส่งโดยตรงที่กองบรรณาธิการวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หรือส่งไปรษณีย์ ถึง กองบรรณาธิการวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนนายเรือ 204 ถ.สุขุมวิท ต.ปากน้ำ อ.เมืองฯ จ.สมุทรปราการ 10270 หรือส่งไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail) ถึง rtnajournal.set@gmail.com

บทความจะได้รับการกลั่นกรอง โดยผู้ทรงคุณวุฒิในสาขานั้นๆ (Readers) หากมีการแก้ไข ผู้เขียนต้องส่งต้นฉบับบทความที่แก้ไขแล้ว จำนวน 1 ชุด พร้อมอิเล็กทรอนิกส์ไฟล์อีก 1 ชุด ที่กองบรรณาธิการ สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่ กองบรรณาธิการวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โทรศัพท์: 0-2475-3921 โทรสาร: 0-2475-3812 หรือ e-mail Address: rtnajournal.set@gmail.com



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

ต้นแบบ สำหรับบทความในวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ชื่อบทความ

Title of the Paper

ชื่อผู้ประพันธ์

ภาค/สาขาวิชา, สถาบัน/มหาวิทยาลัย

ที่อยู่/ประเทศ

youremailaccount@xxx.xxx.xx http://www.yourwebaddress.xxx.xx

บทคัดย่อ: นี่คือต้นแบบสำหรับบทความของคุณเพื่อเสนอพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จัดพิมพ์ด้วย Word for Windows (Microsoft) โดยจัดระยะขอบบน 4.5 ซม. ระยะขอบล่าง 3.5 ซม. ระยะขอบซ้ายและขอบขวา 2.5 ซม. ของขนาดกระดาษ A4 (21 ซม. × 29.7 ซม.) หลังจาก Key-Words ให้กำหนดรูปแบบเป็น 2 สดมภ์ ด้วยความกว้าง 7.7 ซม. และระยะห่างสดมภ์ 0.6 ซม. พิมพ์บทความด้วยอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14pt ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 8 หน้า และสำหรับคำ *บทคัดย่อ คำสำคัญ* และ *เอกสารอ้างอิง* ให้กำหนดเป็นตัวหนาเอียง

คำสำคัญ: เว้น 1 บรรทัดหลังจากบทคัดย่อ แล้วพิมพ์คำสำคัญของบทความ (3-6 คำ)

Abstract: This is a template of your full paper for publishing on RTNA Journal of Science and Technology. Use Word for Windows (Microsoft) by tuning 4.5 cm. from top, 3.5 cm. from bottom, 2.5 cm. from right and from left in the Microsoft Word page setup on A4 (21 cm. × 29.7 cm.) sheets. Use double-column format width of 7.7 cm. with a space between columns of 0.6 cm. after the Key-Words. Use 14pt, TH SarabunPSK for writing the abstract. The length of paper should not longer than 10 pages. For the words *Abstract* and *Key-Words* use bold-Italics.

Keywords: Leave one blank line after the Abstract and write your Key-Words (6 - 10 words)

1. บทนำ

ชื่อบทความภาษาไทย (ใช้ 20pt TH SarabunPSK ตัวเข้ม กลางหน้า) ตามด้วยชื่อบทความภาษาอังกฤษ (ใช้ 20pt TH SarabunPSK ตัวหนา กลางหน้า) จากนั้นเว้น 1

บรรทัด ตามด้วยชื่อผู้ประพันธ์ (ใช้ 16pt TH SarabunPSK ตัวหนา กลางหน้า) ภาค/สาขาวิชา สถาบัน/มหาวิทยาลัย (ใช้ 14pt TH SarabunPSK กลางหน้า) และที่อยู่/ประเทศ (ใช้ 14pt TH SarabunPSK กลางหน้า) จากนั้นระบุ



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

email และ web site ของผู้ประพันธ์ (ใช้ 14pt TH SarabunPSK กลางหน้า)

2. หัวข้อใหญ่

สำหรับชื่อหัวข้อใหญ่ใช้ 16pt TH SarabunPSK ตัวหนา ชิดขอบซ้าย เรียงลำดับหัวข้อด้วย 1, 2, 3,... (ไม่ใช่ I, II, III,.....) การขึ้นหัวข้อใหม่แต่ละครั้งให้เว้น 1 บรรทัด สำหรับสมการคณิตศาสตร์ให้จัดเรียงด้วย (1), (2), (3),.....

2.1 หัวข้อย่อยลำดับที่ 1

หัวข้อย่อยลำดับที่ 1 ใช้ 14pt TH SarabunPSK , ตัวหนา ชิดขอบซ้าย เรียงลำดับหัวข้อด้วย X.1, X.2, X.3,...

2.1.1 หัวข้อย่อยลำดับที่ 2

หัวข้อย่อยลำดับที่ 2 ใช้ 14pt TH SarabunPSK, ตัวหนา ชิดขอบซ้าย เรียงลำดับหัวข้อด้วย X.1.1, X.1.2, X.1.3,...

3. รูป ตาราง และการอ้างอิง

รูปใช้คำ รูปที่ 1, รูปที่ 2,... จัดกึ่งกลางใต้รูปตามลำดับ ส่วนตารางใช้คำ ตารางที่ 1, ตารางที่ 2,... จัดกึ่งกลางบนตารางตามลำดับ

การอ้างอิงให้เรียงลำดับเป็น [1], [2], [3],... และการเขียนแสดงเอกสารอ้างอิงใช้ระบบตัวเลข (ไม่ใช่ระบบนาม-ปี)

4. สรุป

เพื่อให้ทุกบทความที่ได้รับการพิจารณาตีพิมพ์มีรูปแบบที่ตรงกัน ผู้ประพันธ์จะต้องจัดทำบทความตามต้นแบบ ไม่นั้นบทความของท่านจะถูกส่งคืนเพื่อปรับปรุงรูปแบบให้ตรงกับต้นแบบนี้

5. กิตติกรรมประกาศ

(ถ้ามี)

เอกสารอ้างอิง

- *International Book*

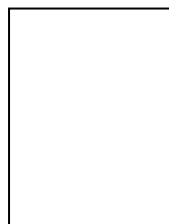
[1] F. Glover and M. Laguna, *Tabu Search*, Kluwer Academic Publishers, Norwell, 1997.

- *International Journal*

[2] R.J. Sury, "Aspects of assembly line balancing," *International Journal of Production Research*, vol. 9, 1971, pp.8-14,

- *International Conference*

[3] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," *Proceeding of IEEE Conference on Neural Networks*, vol. 4, 1995, pp.1942-1948.



ประวัติผู้ประพันธ์ : ผู้ประพันธ์ระบุประวัติโดยย่อของตนเอง ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับประวัติการศึกษา ตำแหน่งสถานที่ทำงาน และงานวิจัยที่สนใจ พร้อมรูปถ่ายขนาด 2 ซม.× 2.4 ซม.



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

Title of the Paper

AUTHORS' NAMES

Department, University

Address, COUNTRY

youremailaccount@xxx.xxx.xx http://www.yourwebaddress.xxx.xx

Abstract: This is a template of your full paper for publishing on RTNA Journal of Science and Technology. Use Word for Windows (Microsoft) by tuning 4.5 cm. from top, 3.5 cm. from bottom, 2.5 cm. from right and from left in the Microsoft Word page setup on A4 (21 cm. × 29.7 cm.) sheets. Use double-column format width of 7.7 cm. with a space between columns of 0.6 cm. after the Key-Words. Use 10pt, Times New Roman for writing the abstract. The length of paper should not longer than 10 pages. For the words *Abstract* and *Key-Words* use bold-Italics.

Keywords: Leave one blank line after the Abstract and write your Key-Words (3-6 words)

1. Introduction

The title of the paper you must use 16pt, Centered, Bold, Times New Roman. Leave one blank line and then type AUTHORS' NAMES (in Capital, 12pt Times New Roman, bold, centered), Department (in 12pt Times New Roman, centered), University (in 12pt Times New Roman, centered), Address (in 12pt Times New Roman, centered), COUNTRY (in Capital, 12pt Times New Roman, centered). Then you must type your e-mail address youremailaccount@xxx.xxx.xx and your Web Site address http://www.yourwebaddress.xxx.xx (both in 10pt Times New Roman, centered). The heading of each section should be printed in small, 14pt, left justified, bold, Times New Roman. You must use numbers 1, 2, 3, ... for the sections' numbering and not Latin numbering (I, II, III, ...)

2. Section

Please, leave two blank lines between successive sections as here. Mathematical Equations must be numbered as follows: (1), (2), ..., (99) and not (1.1), (1.2),..., (2.1), (2.2),... depending on your various Sections.

2.1 Subsection

For subsection heading, small letters, 12pt, left justified, bold, Times New Roman as here.

2.1.1 Sub-subsection

When including a sub-subsection you must use, for its heading, small letters, 10pt, left justified, bold, Times New Roman as here.

3. Figures and Tables

Figures and Tables should be numbered as follows: Fig.1, Fig.2, ... etc Table 1, Table 2,etc. Type the corresponding number of references in square brackets as shown at the end of this sentence [1].

4. Conclusion

Please, follow our instructions faithfully; otherwise you have to resubmit your full paper. This will enable us to maintain uniformity in the journal. Thank you for your cooperation and contribution.

References

- *International Book*

[1] F. Glover and M. Laguna, *Tabu Search*, Kluwer Academic Publishers, Norwell, 1997.

- *International Journal*

[2] R.J. Sury, "Aspects of assembly line balancing," *International Journal of Production Research*, vol. 9, 1971, pp.8-14,

- *International Conference*

[3] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," *Proceeding of IEEE Conference on Neural Networks*, vol. 4, 1995, pp.1942-1948.



Authors' biography: The author should include a brief biography, interest research topic and scanned personal 2 cm. × 2.4 cm. photo in the original manuscript only.



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

โรงเรียนนายเรือ



วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557

บทความวิจัย

- 1. The Study of Maekhong River Bank Protection due to the Construction of The North-South Economic Corridor Bridge Project** 1
น.อ.พินัย จินชัย รน.
- 2. EMC Applications for the Navy: Reverberation Chamber Tests** 14
น.ท.ชิตวัน เขยสกุล รน.
- 3. Land Movement Studies using Continuous GPS Technique at Phrachunlachomkiao Fort** 21
น.อ.สมมาตร เนียมนิล รน. Wim Simons
- 4. การพัฒนาปืนใหญ่ต่อสู้อากาศยานอัตรจรสำหรับกองพลนาวิกโยธิน** 25
Development of Self-Propelled Anti-Aircraft Artillery for Royal Thai Marine Division
น.ท. ผศ. อุดมศักดิ์ บุญประเสริฐ รน.
- 5. การทดสอบประจำหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในระบบจำหน่าย ตามมาตรฐาน มอก.384-2543** 31
The Routine Test of Distribution Transformer According to TIS 384-2543
บุญเลิศ ลือเฉย
- 6. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์แต่ละชนิด** 37
The Comparison of Solar Cell Panels Efficiency
จิระศักดิ์ ลินสุขอุดมชัย
- 7. การวิเคราะห์เปรียบเทียบการดูดซับพลังงานของท่อผนังบางที่มีรูปร่างหน้าตัดหลายภายใต้แรงดัด** 46
Comparative analysis of energy absorption of thin walled tubes with various section geometries subjected to bending
สมญา ภูนะยา รัฐพงศ์ ปฏิกานัง
- 8. วงจรคูณสัญญาณกระแสสี่ควอดแรนต์ใช้แรงดันต่ำและกำลังงานต่ำโดยใช้มอสทรานซิสเตอร์แบบชาเกตปล่อยลอย** 58
Low-Voltage Low-Power Four-Quadrant Current Multiplier Using Floating Gate-MOS Transistors
มนตรี คำเงิน จิระศักดิ์ ชาญวุฒิธรรม

บทความวิชาการ

- 9. หุ่นยนต์สังหาร และการยอมรับจากมวลชนนุษย์ชาติ** 65
น.ท.สิริรัตน์ ไตรวิรัตน์ รน.