

ปัญหาและความเป็นไปได้ในการออกแบบ ปรับปรุงสะพานเพื่อยุทธวิธีข้ามลำน้ำของทหารช่าง ในประเทศโดยการวิเคราะห์และออกแบบ โครงสร้างสะพานที่มีอยู่

Problems and Solutions for the Improvement of Military Bridge of the Royal Thai Army Corps of Engineers using Structural Design

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน การใช้งานสะพานเพื่อยุทธวิธีข้ามลำน้ำมีบทบาทแพร่หลายทั้งงานในกองทัพ เช่น การฝึกยุทธวิธีข้ามลำน้ำ การฝึกตามวงรอบต่างๆ และงานในการสนับสนุนด้านกิจการพลเรือน เช่น การบรรเทาสาธารณภัย เป็นต้น แต่ยุทธโศภณในกองทัพมีอยู่อย่างจำกัด และมีสมรรถภาพไม่สูงนัก เนื่องจากมีสภาพชำรุดทรุดโทรมไปตามกาลเวลา การปรนนิบัติบำรุงและซ่อมบำรุงกระทำไม่ได้ทันการณ์หรือไม่เป็นไปตามที่ระบุไว้ในคู่มือเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูง และยังคงจำเป็นต้องพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างชาติ ส่งผลให้การใช้งานสะพานเพื่อยุทธวิธีข้ามลำน้ำติดขัดด้วยปัญหาต่างๆ และมีความล่าช้า

คณะผู้วิจัยจึงได้ออกแบบวิธีการและอุปกรณ์เพื่อปรับปรุงข้อบกพร่องและพัฒนาขีดความสามารถของสะพานยุทธวิธีข้ามลำน้ำที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งได้แก่ สะพาน เอ็ม 4 เรือทุ่นโลหะผสม และสะพานโครงแผงขนาดกลาง Medium Girder Bridge (MGB) ซึ่งสะพานทั้ง 2 ชนิดนี้ มีการใช้งานเป็นประจำและมีศักยภาพสูงแต่มีความแตกต่างกันในด้านรูปแบบโครงสร้าง ส่งผลให้มีขีดความสามารถและขีดจำกัดที่ต่างกัน คณะผู้วิจัยจึงได้นำข้อดีของสะพานทั้ง 2 ชนิดมาประยุกต์รวมกัน โดยคำนึงถึงความสำคัญทั้งทางด้านการทหาร ด้านวิศวกรรม และด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยนำความรู้ทั้งในด้านการวิเคราะห์โครงสร้าง การออกแบบโครงสร้างเหล็ก กำลังวัสดุ และการประมาณราคามาประยุกต์ใช้ในการวิจัย

ผลจากการวิจัย คณะผู้วิจัยจึงได้ออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบเพื่อเชื่อมต่อระหว่างโครงสร้างสะพานทั้ง 2 ชนิด ซึ่งสามารถประยุกต์รวมประสิทธิภาพและคุณลักษณะที่ดีของสะพานทั้ง 2 ชนิดเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งจะเป็นประโยชน์แก่การปฏิบัติการกิจของกองทัพและอาจเป็นนวัตกรรมที่มีประโยชน์ต่องานด้านวิศวกรรมของประเทศไทยต่อไป

คำหลัก : สะพานเพื่อยุทธวิธีข้ามลำน้ำ, สะพานโครงแผงขนาดกลาง, สะพาน เอ็ม 4, MGB

Abstract

The Royal Thai Army corps of engineers deploys military bridges in many aspects such as military training, regional conflict and civil affairs. In civil affairs, military bridges are deployed in natural disaster area. However, the bridge equipments currently in service have limited usage and inefficient capability because some of their parts are out of service due to poor maintenance and limited budgets. The Royal Thai Army has been relying on foreign technology making it impossible to deploy military bridge efficiently without any delay in maintenance.

This research focuses on the study of the problems and tries to find solutions for the improvement of the operation of military bridges currently in possession of the Royal Thai Army. The research will investigate bridge type M4 and Medium Girder Bridge (MGB). Both type of bridges are normally being deployed and have high capabilities. The research will try to apply military, engineering and economics knowledge to improve their usage through the investigation of the problems from the officers and NCOs using the bridges in the corps of engineer. Finally, the researcher will use knowledge in structural engineering to analyze and design the steel structure and estimate the cost of fabrication on solution design.

In conclusions, the research has produced the prototype design of the adapter frame that can be deployed to integrate the use of the top deck of the M4 bridge and the bottom part of the MGB. This solution can be further studied and tested for the actual usage in the future. The adapter will benefit the Royal Thai Army and Thailand.

Keywords : Military Bridge, Bridge type M4, Medium Girder Bridge (MGB)

1. คำนำ

เนื่องจากกองทัพมีความจำเป็นต้องสั่งซื้อสะพานเพื่อใช้ในยุทธวิธีข้ามลำน้ำของทหารช่างจากต่างประเทศในราคาสูงเนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ประเทศไทยยังไม่สามารถผลิตเองได้ การศึกษาปัญหาและหาทางพัฒนายุทธโปกรณ์ที่มีอยู่แล้วให้เกิดการนำไปใช้ให้ได้ประโยชน์สูงสุด จะช่วยประหยัดงบประมาณในการสั่งซื้อยุทธโปกรณ์สะพานข้ามลำน้ำเป็นอย่างมากในอนาคต

จากข้อมูลการศึกษาเบื้องต้น พบว่าสะพานเครื่องหมุนลอยชนิดต่างๆ ที่กองร้อยทหารช่างสะพานผสม ที่ 18 กรมการทหารช่าง (ช.ร้อย.18) จังหวัดราชบุรี มีรูปแบบสะพานที่ทางหน่วยได้ใช้งานอยู่อย่างสม่ำเสมอ 2 ชนิด คือ **สะพาน เอ็ม 4 เรือทุ่นโลหะผสม (M4 Bridge)** และ **สะพาน โครงแผงขนาดกลาง เอ็ม จี บี (Medium Girder Bridge, MGB)** โดยเฉพาะสะพาน MGB ถือเป็นสะพานที่มีประโยชน์อเนกประสงค์ คือ สามารถใช้เป็นทั้งสะพานเครื่องหมุนมัน สะพานเครื่องหมุนลอย หรือแพยุทธวิธี สะพานทั้งสองแบบมีรายละเอียดดังนี้

1.1 สะพาน เอ็ม 4 เรือทุ่นโลหะผสม

สะพาน เอ็ม 4 (M4) เรือทุ่นโลหะผสม (ดังแสดงในรูปที่ 1) เป็นสะพานที่ดัดแปลงมาจากสะพาน เอ็ม 4 ที 6 (M4T6) ทุ่นยางลมอัด ซึ่งได้ซื้อมาจากประเทศเกาหลี (1) แต่ในปัจจุบันทุ่นยางได้เสื่อมสภาพจนไม่สามารถใช้งานได้ แต่เครื่องบนของสะพานยังอยู่ในสภาพดี กรมการทหารช่างจึงได้ทำการวิจัยและพัฒนาใช้เรือทุ่นโลหะผสมแทนทุ่นยางที่ชำรุดเพื่อใช้ประกอบกับเครื่องบนของสะพาน เอ็ม 4 ที 6 ที่มีอยู่เดิม



รูปที่ 1 สะพาน เอ็ม 4 เรือทุ่นโลหะผสม

1.2 สะพานโครงแผงขนาดกลาง เอ็ม จี บี (Medium Girder Bridge, MGB)

สะพานโครงแผงขนาดกลาง เอ็ม จี บี ออกแบบโดย “The British Military and Engineering Establishment Christchurch” แห่งประเทศอังกฤษ (1) โดยในขั้นต้นใช้แทนสะพานเบลีย์แบบช่วงเดียว (เอ็ม 2) แต่ต่อมาได้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในราชการทหารและการคมนาคมเร่งด่วนฉุกเฉินรวมทั้งงานบุกเบิกในการสร้างถนนและเริ่มมีการนำมาใช้ในกองทัพบกอังกฤษเมื่อปี ค.ศ. 1971 ปัจจุบันนี้มีประเทศต่างๆ ทั่วโลกประมาณ 20 ประเทศได้ซื้อไปใช้ในราชการทหาร

สะพานโครงแผงขนาดกลางเป็นสะพานที่ใช้โครงแผง ซึ่งเป็นคานยาวทอดตามแนวนอนจากหัวไปจรดท้ายสะพาน ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนย่อยๆ ซึ่งถอดแยกออกจากกันได้ง่ายและสามารถประกอบติดตั้งเป็นสะพานได้หลายแบบรวมทั้งแพสะพาน (ดังแสดงในรูปที่ 2)



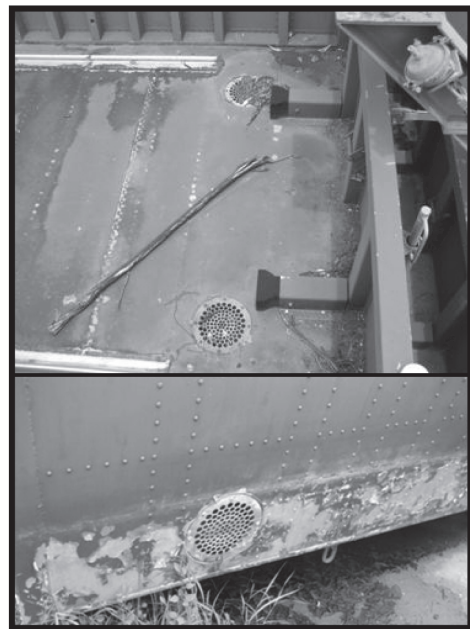
รูปที่ 2 สะพานโครงแผงขนาดกลาง เอ็ม จี บี

จากการศึกษาพบว่าข้อเสียของสะพาน เอ็ม 4 เรือทุ่นโลหะผสมอยู่ที่ตัวเรือซึ่งไม่มีระบบระบายน้ำอัตโนมัติ (2) เมื่อนำไปใช้งานขณะมีฝนตกจะต้องให้กำลังพลระบายน้ำออกตลอดเวลาเพื่อป้องกันเรือจม หากมีกระแสไฟฟ้าอาจใช้เครื่องดูดน้ำได้แต่โดยทั่วไปแล้วจะหาแหล่งไฟฟ้าได้ลำบากในพื้นที่ปฏิบัติงาน การระบายน้ำออกหมดเป็นไปได้อย่างในช่วงฤดูฝนจึงทำให้มีน้ำขังอยู่ตลอดเวลาทำให้พื้นที่ปฏิบัติงานเปียกและไม่สะดวก (ดังแสดงในรูปที่ 3) ถึงแม้ว่าจะมีปัญหาที่ตัวเรือแต่เครื่องบนของสะพานมีข้อดีคือมีน้ำหนักเบา มีความสะดวกและรวดเร็วในการประกอบใช้

เมื่อนำสะพาน เอ็ม 4 เรือทุ่นโลหะผสมมาเปรียบเทียบกับสะพานโครงแผงขนาดกลาง MGB จะพบว่าเครื่องล่างหรือตัวเรือของสะพาน MGB มีข้อได้เปรียบคือสามารถระบายน้ำได้อัตโนมัติเนื่องจากมีระบบวาล์วระบายน้ำ (ดังแสดงในรูปที่ 4) แต่สะพาน เอ็ม 4 เรือทุ่นโลหะผสมมีข้อได้เปรียบคือมีเครื่องบนที่เบาและสะดวกในการใช้งานกว่าเครื่องบนของสะพาน MGB ซึ่งหนักกว่ามากและไม่สะดวกในการติดตั้ง รูปที่ 1 และรูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างเครื่องบนทั้ง 2 แบบอย่างชัดเจน จากเหตุผลดังกล่าว ข. ร้อย. 18 จึงใช้ประโยชน์จากสะพาน MGB แบบแพน้อยมาก ทำให้เรือของ MGB ไม่ได้นำไปใช้งานทั้งที่มีสมรรถนะสูง



รูปที่ 3 น้ำขังในเรือทุ่นโลหะผสม สะพาน เอ็ม 4



รูปที่ 4 ระบบระบายน้ำอัตโนมัติของตัวเรือสะพาน MGB

2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้ศึกษาปัญหาและความเป็นไปได้ เพื่อปรับปรุงสะพานยุทธวิธีข้ามลำน้ำของทหาร ข้างที่มีอยู่ให้ใช้ประโยชน์ได้สูงสุดโดยการออกแบบ ต่อเติมเรื่อทุ่นของสะพานโครงแผงขนาดกลาง (MGB) ให้สามารถเข้าร่วมกับเครื่องบนของ สะพานแบบ เอ็ม 4 ได้

3. การดำเนินการวิจัย

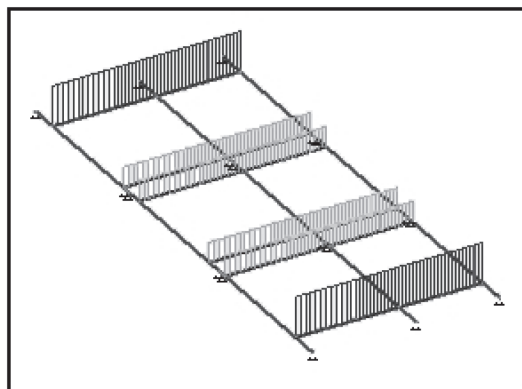
จากการประชุมกับนายทหารในหน่วย ข. ร้อย. 18 เพื่อเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของ สะพาน เอ็ม 4 เรื่อทุ่นโลหะผสม และสะพาน โครงแผงขนาดกลาง (MGB) เพื่อหาข้อตกลงใน การปรับปรุงและวิจัยว่าจะเป็นไปได้ในแนวทางใด การประชุมในแต่ละครั้งได้มีการเสนอแก้ไข ปรับปรุงแนวความคิดการออกแบบจากเดิมเพื่อให้ได้ผลประโยชน์ที่สูงที่สุดตามความต้องการ ของผู้ใช้จริง จุดหมายสำคัญคือจะทำการ ปรับปรุงให้เครื่องบนของสะพาน เอ็ม 4 สามารถ ประกอบเข้ากับเครื่องล่างของสะพาน MGB ได้ เพื่อนำข้อดีของทั้งสองสะพานมาใช้ร่วมกัน

4. การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง

วัสดุที่ใช้ในการผลิตสะพานทางทหารนั้น ปกติมักจะใช้โลหะผสมอะลูมิเนียมแบบ 7020 T6 ซึ่งเป็นโลหะผสมอะลูมิเนียมกำลังสูงมีจุดคราก (yield stress) ที่ 290 MPa หากแต่ถ้าเป็นวัสดุที่ หาได้ยากในประเทศและมีราคาสูง (4) ผู้วิจัยจึง มีแนวความคิดที่จะใช้เหล็กในการออกแบบโครง เสริมที่จะนำมาประกอบกับตัวเรือของสะพาน MGB ถึงแม้ว่าเหล็กจะมีน้ำหนักมากกว่าโลหะผสม อะลูมิเนียมถึงประมาณ 3 เท่าตัวแต่โลหะผสม อะลูมิเนียม จะมีราคาสูงกว่าเหล็กประมาณ 1.5 เท่า และโครงเหล็กเสริมจะมีน้ำหนักไม่มากเมื่อ เทียบกับน้ำหนักสะพานเครื่องบนลอยทั้งชุด

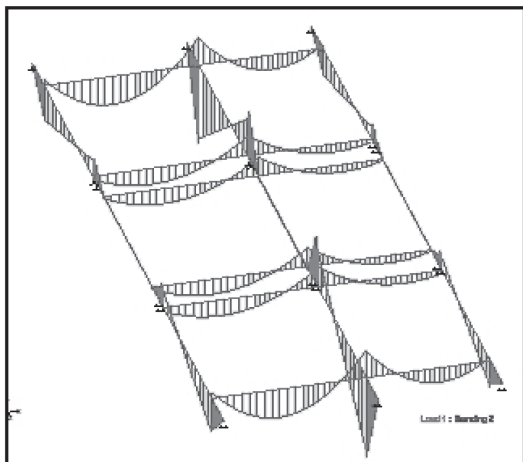
และในปัจจุบันการใช้งานของสะพานเหล่านี้ นั้น จะเน้นเป็นการใช้งานในกิจการพลเรือน ทาง คณะผู้วิจัยจึงไม่เห็นความจำเป็นที่จะต้องใช้ โลหะผสมอะลูมิเนียมเพื่อความเบา หากการ ออกแบบโดยใช้เหล็กได้คำนึงถึงการติดตั้งเพื่อ การใช้งานแล้วนั้น การประกอบใช้งานจะเป็นไป ได้อย่างรวดเร็วเช่นกันและการใช้เหล็กจะส่งผล ให้ราคาการผลิตต่ำลงและสามารถหาวัสดุได้ใน ประเทศส่งผลให้มีความเป็นไปได้มากขึ้นในการ ผลิตโครงต้นแบบเพื่อทำการทดสอบการรับแรง ก่อนนำไปใช้งานจริง

ในการวิเคราะห์โครงสร้างโดยกำหนดให้ สะพานรับน้ำหนัก ชั้น 70 ซึ่งหมายความว่ารับ น้ำหนักยานพาหนะน้ำหนักไม่เกิน 70 ตันตาม สะพานโครงแผงขนาดกลาง MGB เพราะฉะนั้น แรงที่ถ่ายทอดมาที่โครงเสริมจะเป็นแรงแผ่ตาม คานเชื่อมรับน้ำหนักดังแสดงในรูปที่ 5 แรงนี้มี ค่าที่ 147 KN/m และ 73.5 KN/m เป็นแรงที่ รวมถึงน้ำหนักของเครื่องบนของสะพาน เอ็ม 4 และเป็นแรงที่คูณตัวคูณน้ำหนักตามหลักการ ออกแบบโดยวิธีคูณความต้านทานและน้ำหนัก บรรทุก (Load Resistance Factor Design, LRFD)

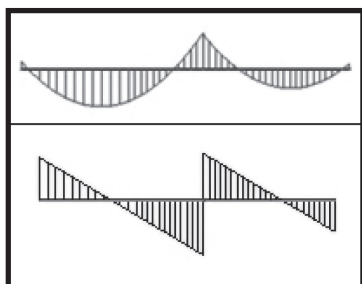


รูปที่ 5 แรงแผ่บนคานของโครงเสริม

จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางโครงสร้าง STADD PRO แรงดัดและแรงเฉือนที่เกิดขึ้นสามารถแสดงให้เห็นดังในรูปที่ 6 และ 7 รูปที่ 6 แสดงให้เห็นแรงดัดในโครงเสริมแบบ 3 มิติ และรูปที่ 7 แสดงให้เห็นแรงดัดและแรงเฉือนของคานที่รับแรงจากเครื่องบนโดยตรง แรงดัดและแรงเฉือนจากการวิเคราะห์โครงสร้างสามารถนำไปออกแบบโครงสร้างเสริมโดยใช้วิธี LRFD (3) เพื่อให้การออกแบบมีความเป็นไปได้ในการผลิตในประเทศ วัสดุที่นำมาออกแบบเป็นเหล็กรูปพรรณขึ้นรูปเย็นแบบกล่อก (Cold Formed Carbon Steel Structural Tubing) มาตรฐาน ASTM A500 เกรด B ซึ่งมีกำลังครากที่ 290 MPa



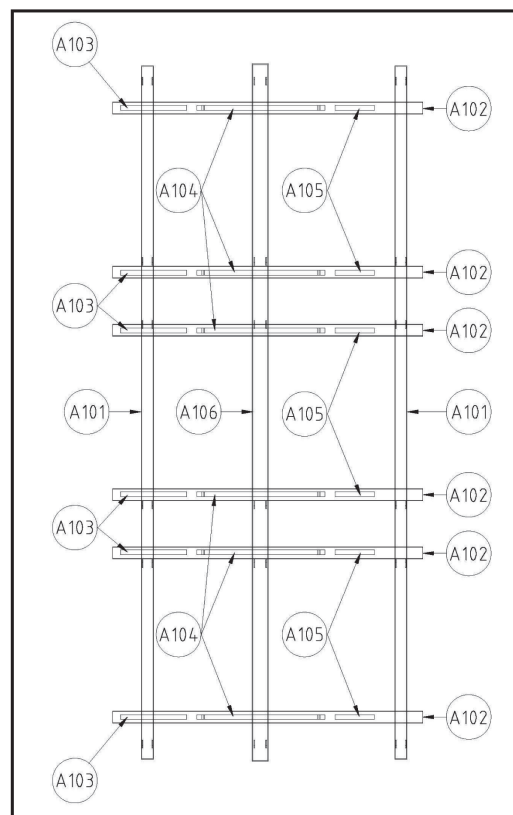
รูปที่ 6 แรงดัดในโครงเสริมแบบ 3 มิติ



รูปที่ 7 แรงดัดและแรงเฉือนของคาน

5. ผลการวิจัย

ผลจากการออกแบบโครงเสริมที่ใช้เหล็กรูปพรรณขึ้นรูปเย็นแบบกล่อกมาเชื่อมต่อได้ผลดังแสดงในรูปที่ 8 และรายละเอียดวัสดุ ดังแสดงในตารางที่ 1 และมีน้ำหนัก 1,893 กิโลกรัม โดยมีคานรับน้ำหนักเป็นเหล็กรูปพรรณขึ้นรูปเย็นแบบกล่อกตามที่ระบุในแบบคือหมายเลข A101 A102 และ A106 ส่วนหมายเลข A103 A104 และ A105 เป็นเหล็กแผ่นหนา 60 มิลลิเมตร เพื่อใช้ต่อกับสลักยึดกับเครื่องบนของสะพาน เอ็ม 4



รูปที่ 8 รายละเอียดแบบโครงเสริม

ตารางที่ 1 รายละเอียดวัสดุของแบบโครงสร้างเสริม

หมายเลข	จำนวน	รูปแบบของเหล็ก	น้ำหนัก (kg)
A101	2	RHS 200 X 150 X 5	226
A102	6	SHS 150 x 150 x 6	622
A103	6	PL 60.3	231
A104	6	PL 60.3	447
A105	6	PL 60.3	137
A106	1	SHS 200 X 200 X 9	230
น้ำหนักรวม (kg)			1,893

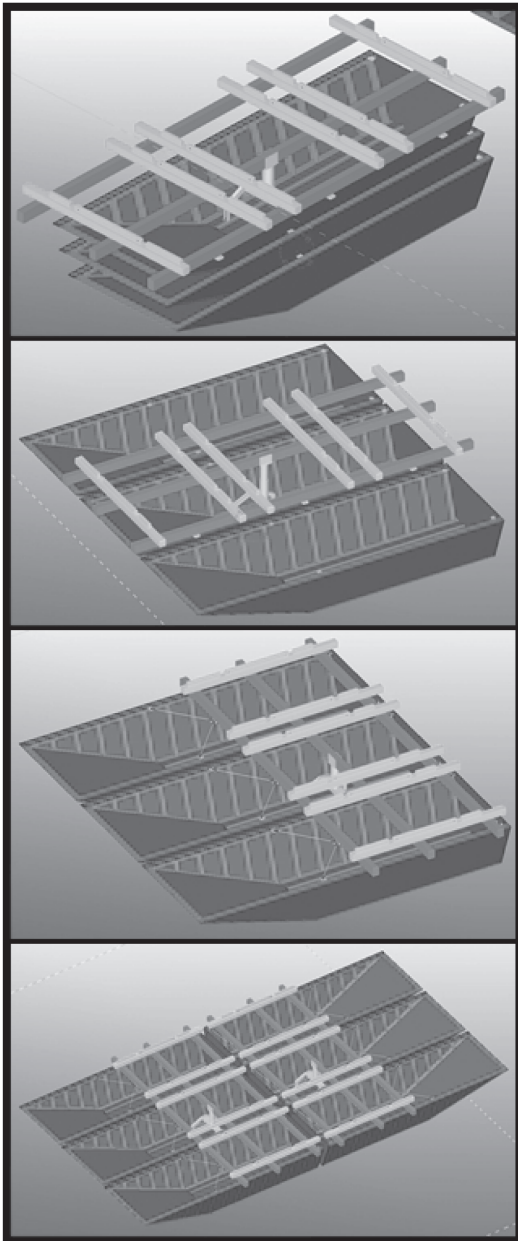
จากที่ได้กล่าวไว้ในเบื้องต้นในเรื่องของการใช้งาน เนื่องจากเรือของสะพาน MGB จะถูกขนส่งโดยซ้อนกัน 3 ลำต่อรถบรรทุก 1 คัน ดังแสดงในรูปที่ 9 ดังนั้นโครงสร้างเสริมได้ถูกออกแบบให้วางไว้ด้านบนของเรือในขณะเคลื่อนย้ายทางบก รูปที่ 10 แสดงขั้นตอนการใช้งานของโครงเหล็กเสริมซึ่งมี 4 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกคือการขนส่งมาถึงสถานที่ปฏิบัติงาน ขั้นที่สองคือการปล่อยเรือลงน้ำ ขั้นที่สามคือการหมุนโครงเสริม 90 องศาเพื่อนำเรืออีกสองลำเข้ามาประกอบโดยมีแกนแนยัดเรือแต่ละลำไว้และในขั้นตอนสุดท้ายคือการนำเรืออีกหนึ่งชุดมาประกอบเข้ากับด้านบนของสะพาน เอ็ม 4



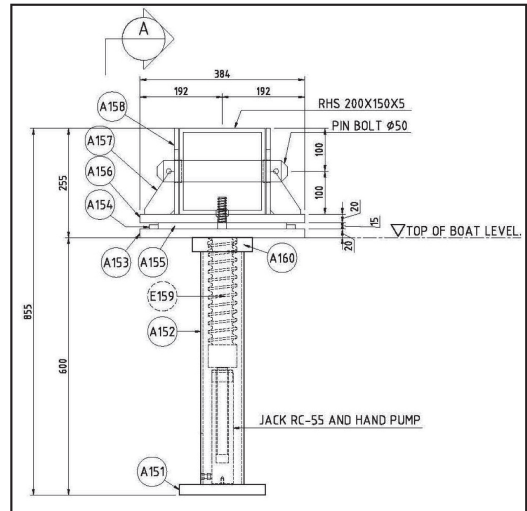
รูปที่ 9 การขนส่งเรือของสะพาน MGB

ในขั้นตอนที่สามการออกแบบโครงเสริมจะต้องมีโครงด้านล่างเพื่อใช้ยกระดับโครงเสริมให้พ้นจากการาบเรือเพื่อที่จะทำการหมุนโครงเสริมให้อยู่ในตำแหน่งใช้งานในขณะติดตั้งประกอบกับเรืออีกสองลำ การออกแบบจะใช้โครงเหล็กที่มีแม่แรงอยู่ด้านในและใช้เครื่องอัดไฮดรอลิก แบบใช้แรงโยก แบบของส่วนยกโครงเสริมได้แสดงไว้ในรูปที่ 11 และรูปที่ 12 ในขณะขนส่งและใช้งานและขณะหมุนเพื่อติดตั้ง รายละเอียดวัสดุได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 ซึ่งมีน้ำหนักรวมที่ 244 กิโลกรัม

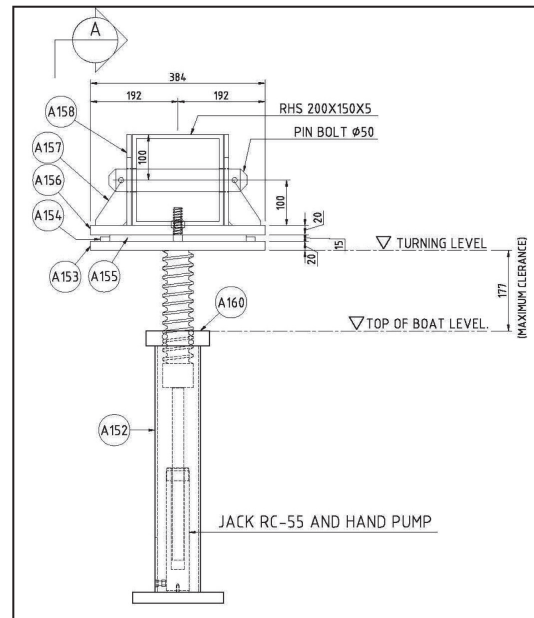
เพราะฉะนั้นน้ำหนักทั้งหมดของโครงเสริมจะรวมกันประมาณ 2.5 ตันต่อเรือ 3 ลำ ซึ่งน้ำหนักนี้รวมถึงขาที่ยังเพื่อรับส่วนยกโครงเสริมด้วยแพหนึ่งชุด ดังแสดงในรูปที่ 10 ประกอบด้วยเรือ 6 ลำในขั้นตอนที่ 4 จึงจำเป็นต้องใช้เหล็กทั้งหมดประมาณ 5 ตัน หากใช้ราคาปัจจุบันของเหล็กที่ประมาณ 33 บาทต่อกิโลกรัม ราคาวัสดุของโครงเสริมจะเป็น 165,000 บาท



รูปที่ 10 ขั้นตอนการใช้งานโครงเสริม



รูปที่ 11 ส่วนยกโครงเสริมช่วงขนส่งและใช้งาน



รูปที่ 12 ส่วนยกโครงเสริมช่วงหมุนเพื่อติดตั้ง

ตารางที่ 2 รายละเอียดวัสดุของส่วนยกโครงเสริม

หมายเลข	จำนวน	รูปแบบของเหล็ก	น้ำหนัก (kg)
A151	2	PL 25	43
A152	2	DIA 100	15
A153	2	PL 20	54
A154	4	PL 10	3
A155	2	PL 15	32
A156	2	PL 20	54
A157	8	PL 10	3
A158	4	PL 10	17
A159	2	RB DIA67	17
A160	2	PL 32	8
น้ำหนักรวม (kg)			244

6. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปัญหาที่ผู้ปฏิบัติงานใน ช. ร้อย. 18 พบระหว่างปฏิบัติหน้าที่เกี่ยวกับการใช้สะพาน เติม 4 เรือท่อนโลหะผสมและสะพานโครงแผ่นขนาดกลาง MGB ที่ใช้เป็นแพสะพาน จากการศึกษพบว่า หากสามารถนำเครื่องบนของสะพาน เติม 4 มาใช้ร่วมกับเรือของสะพาน MGB ได้ จะเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานอย่างมาก คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบโครงเหล็กเสริมเพื่อเป็นต้นแบบสำหรับผลิตขึ้นเพื่อทำการทดสอบการรับแรงก่อนนำไปใช้งานจริงในอนาคต

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก กองทุนเพื่องานวิจัยโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

เอกสารอ้างอิง

- (1) กรมการทหารช่าง. **สะพานเครื่องหนุนมัน**. ราชบุรี : โรงพิมพ์โรงเรียนทหารช่าง, 2546.
- (2) นนร.ธนกร งามจริงจิต, นนร.ทวีชัย ชูเชิด, นนร.สุธีร์ ไชวทะเล, นนร.พิชฌันทร์ พรประสิทธิ์, นนร.ธนิต พุ่มดิษ. **ปัญหาและความเป็นไปได้ในการออกแบบปรับปรุงสะพานเพื่อยุทธวิธีข้ามลำน้ำของทหารช่างในประเทศโดยการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างสะพานที่มีอยู่**. ปรัญญานิพนธ์ กองวิศวกรรมโยธา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า, 2550.
- (3) วินิต ช่อวิเชียร และวรนิติ ช่อวิเชียร, **การออกแบบโครงสร้างเหล็ก**. กรุงเทพฯ : ป. สัมพันธ์พาณิชย์, 2550.
- (4) John Dwight. (1998). **Aluminum Design and Construction**, New York.