

การศึกษาและวิจัยสลักเหล็กทดแทนสลักอะลูมิเนียมที่ชำรุดของสะพานทหาร เอ็ม จี บี  
Study and Research of the Iron Pin to Replace the M.G.B. (Medium Girder Bridge)  
Military Bridge Aluminum Pin

ร้อยโทหญิง ธัญญลักษณ์ เอียสกุล<sup>1\*</sup>

Lieutenant Thunyaluck Aiesakul<sup>1\*</sup>

รองศาสตราจารย์ ดร.วิฑิต ปานสุข<sup>2</sup>

Associate Professor Dr. Withit Pansuk<sup>2</sup>

พันเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพร นุตยะสกุล<sup>3</sup>

Colonel Assistant Professor Dr. Nuthaporn Nuttayasakul<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330 ประเทศไทย

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University,  
Bangkok 10330, Thailand

<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330 ประเทศไทย

<sup>2</sup>Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University,  
Bangkok 10330, Thailand

<sup>3</sup>กองวิชาวิศวกรรมโยธา ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า  
นครนายก 26001 ประเทศไทย

<sup>3</sup>Department of Civil Engineering, Academic Division, Chulachomklao Royal Military  
Academy, Nakhon Nayok 26001, Thailand

\*Corresponding Author. E-mail : ayethunyaluck@gmail.com

(Received: July 4, 2022, Revised: August 26, 2022, Accepted: September 2, 2022)

**บทคัดย่อ :** ในทางทหารสะพานเป็นยุทธโศภรณ์ที่มีความสำคัญสำหรับการส่งกำลังทหารเข้าไปในพื้นที่สู้รบในยามสงคราม อีกทั้งยังมีประโยชน์ในการใช้งานด้านงานเร่งด่วนฉุกเฉิน รวมทั้งงานบุกเบิกในการสร้างถนน หรือการใช้ในยามเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติ ได้แก่ น้ำท่วม ซึ่งเป็นเหตุทำให้ทางถูกตัดขาด ทหารช่างจึงใช้สะพานทหารในการเข้าไปแก้ปัญหาบรรเทาความเดือดร้อนแก่ผู้ประสบภัยได้ ซึ่งถือเป็นงานบรรเทาสาธารณภัย ในปัจจุบันสะพานทหาร เอ็ม จี บี เกิดการชำรุดในบริเวณข้อต่อของสลักสะพาน จึงทำให้ไม่สามารถใช้งานได้ รวมทั้งวัสดุที่ใช้ทำสลักสะพานนั้น เป็นวัสดุที่ไม่มีการผลิตเนื่องจากเป็นความลับทางการทหารของประเทศที่ผลิต การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดของสะพานทหาร เอ็ม จี บี และนำผลที่ได้เปรียบเทียบกับและวิเคราะห์กับแรงเฉือน โมเมนต์ที่ได้ศึกษาเพื่อหาวัสดุเหล็กทดแทนวัสดุอะลูมิเนียมที่ชำรุด โดยจากการทดสอบความแข็งแรงของวัสดุเหล็ก S45C พบว่ามีความแข็งแรงและสามารถใช้ทดแทนวัสดุอะลูมิเนียมที่ชำรุดในปัจจุบันได้

**คำสำคัญ:** สลักเหล็ก สะพานทหาร เอ็ม จี บี แรงเฉือน โมเมนต์ดัด

**Abstract :** In the military, bridges are important equipment for deploying troops into combat areas. It is also useful in urgent emergency applications. Including road construction or natural disasters, such as floods, which cause the road is cut therefore use the military bridge to solve problems and alleviate the suffering for the victims. At present, the MGB Military Bridge is damaged in the pin of the bridge, as a result Bridge is not working. The material used to make the bridge is not manufactured because it is a military secret of the country of production. The purpose of this research was to study the shear and moment behavior of the MGB Military Bridge and to compare the results and analyze it with the shear force and bending moment studied to find steel material to replace the damaged aluminum material. From testing the strength of S45C steel material, it is found that it is strong and can be used to replace the damaged aluminum material.

**Keywords:** Iron Pin, Medium Girder Bridge Military, Shear force, Bending Moment

## 1. บทนำ

สะพาน คือ สิ่งที่สร้างหรือทำขึ้นสำหรับข้ามแม่น้ำ ลำคลอง เป็นต้น สิ่งที่สร้างหรือทำขึ้นลงในน้ำสำหรับขึ้นลง [1] สะพานเป็นสิ่งก่อสร้างที่ช่วยร่นระยะทางและลดเวลา ในการเดินทางได้เป็นอย่างมาก สะพานสามารถถูกสร้างขึ้นจากต้นไม้หรือก้อนหินที่สามารถหาได้ง่ายจากธรรมชาติ ด้วยการนำต้นไม้มาวางพาดเป็นทางเดินข้ามระหว่างสองฝั่ง หรือการนำก้อนหินมาวางเรียงกันให้เป็นทางเดิน เป็นต้น การออกแบบสะพานและความสูงของสะพานจะขึ้นอยู่กับสิ่งกีดขวางด้านล่าง รวมถึงการจราจรด้านล่าง เช่น รถ เรือ สามารถผ่านได้ การก่อสร้างสะพานมีจุดประสงค์เพื่อให้การสัญจรมีการต่อเนื่องระหว่างทางที่มีการสร้างไว้แล้ว ซึ่งถ้ามองย้อนกลับไปในอดีต อาจกล่าวได้ว่าสะพานในยุคเริ่มแรกไม่มีความซับซ้อนในการสร้างเมื่อเทียบกับปัจจุบัน ในอดีต สังคมไทยได้พัฒนาการสร้างสะพานข้ามแม่น้ำมานานแล้วดังปรากฏหลักฐานตั้งแต่สมัยอยุธยา ส่วนใหญ่เป็นสะพานขนาดเล็กซึ่งพอร่องรอยรากฐานและซากของสะพานอยู่พอสมควรตามเกาะเมืองอยุธยา อาทิ สะพานป่าถ่าน ซึ่งเป็นสะพานข้ามคลองเล็ก ๆ บริเวณหน้าวัดมหาธาตุและวัดราชบูรณะ สะพานชีกุล เป็นสะพานข้ามคลองเล็ก ๆ ในเมือง ทั้งยังพบสะพานอีกหลายแห่งที่ใช้เป็นทางสัญจรข้ามคลองท่อ ซึ่งคลองขุดขวางตัวเมืองอยุธยาเพื่อใช้เป็นทางสัญจรหลักในสมัยนั้น

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนานำความรู้ทางด้านวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้ โดยออกแบบสะพานให้มีความซับซ้อนและมีความทันสมัยมากขึ้น โดยนำการออกแบบและสถาปัตยกรรมสะพานในยุโรปมาเป็นต้นแบบ เช่น สะพานปง อาเล็กซ็องดร์ ทรีว (Pont Alexandre III) กรุงปารีส ถูกนำมาเป็นต้นแบบของสะพานมัฆวานรังสรรค์ ซึ่งใช้ข้ามคลองผดุงกรุงเกษม นอกจากนี้การออกแบบสะพานที่หลากหลายแล้วยังสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากขึ้น มีเทคโนโลยีการสร้าง เช่น การพัฒนาทางด้านวัสดุศาสตร์

ที่เข้ามาดำเนินการเพื่อให้มีความปลอดภัยในการใช้งาน และสามารถออกแบบการใช้งานให้ถูกประเภทยิ่งขึ้น

ในทางทหาร สะพานเป็นยุทธโศปกรณ์ที่มีความสำคัญสำหรับการส่งกำลังทหารเข้าไปในพื้นที่สู้รบ ในยามสงครามหน่วยทหารมีความต้องการสะพานที่สามารถสนับสนุนยานพาหนะของกองพลทหารราบ มีความคล่องตัวสามารถประกอบสร้างได้ง่ายและสามารถขนส่งได้หลายรูปแบบ ทั้งยานพาหนะบรรทุกทุกดังแสดงในภาพที่ 1 รวมถึงการขนส่งทางอากาศ เพื่อให้การดำเนินการทางยุทธวิธีเป็นไปตามแผนที่วางไว้ ดังนั้น ทหารช่างจึงจำเป็นต้องมียุทธโศปกรณ์ที่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

สะพานทหารยังมีประโยชน์อื่นนอกเหนือจากใช้ฝึกทหาร คือสามารถใช้ในงานเร่งด่วนฉุกเฉิน งานบุกเบิกในการสร้างถนน การใช้ในยามสงคราม รวมทั้งใช้ในกรณีที่เกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติ ได้แก่ น้ำท่วม ซึ่งเป็นเหตุทำให้ทางถูกตัดขาด ทหารช่างจะใช้สะพานทหารในการเข้าไปแก้ปัญหาบรรเทาความเดือดร้อนแก่ผู้ประสบภัยได้ ซึ่งถือเป็นงานบรรเทาสาธารณภัย

สะพานทหาร เอ็ม จี บี (M.G.B. Medium Girder Bridge) ดังแสดงในภาพที่ 2 เป็นสะพานที่ได้ออกแบบโดยประเทศอังกฤษ ซึ่งได้พัฒนามาจากสะพานเบลีย์ M2 ซึ่งเริ่มใช้ในกองทัพอังกฤษเมื่อ พ.ศ. 2514 ซึ่งปัจจุบันมีใช้มากกว่า 20 ประเทศ ทั้งสหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย ไทย ฯลฯ เป็นสะพานโครงแวงขนาดกลางที่มีน้ำหนักเบาสร้างด้วยกำลังคน ชิ้นส่วนของสะพานทำด้วยโลหะผสม 3 อย่าง คือ สังกะสี แมกนีเซียมอัลลอยด์ และอะลูมิเนียม ชิ้นส่วนที่หนักที่สุดหนักไม่เกิน 200 กิโลกรัม สามารถใช้กำลังพลเพียง 2-6 นาย ในการยก รับน้ำหนักได้ตั้งแต่ 17-60 ตัน และการประกอบสร้างสะพานทหาร เอ็ม จี บี แบบโครงสองชั้นยังสามารถเพิ่มการใช้งานที่มากขึ้นอีกด้วย [2]



ภาพที่ 1 การเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนประกอบของสะพาน  
ทหาร [3]



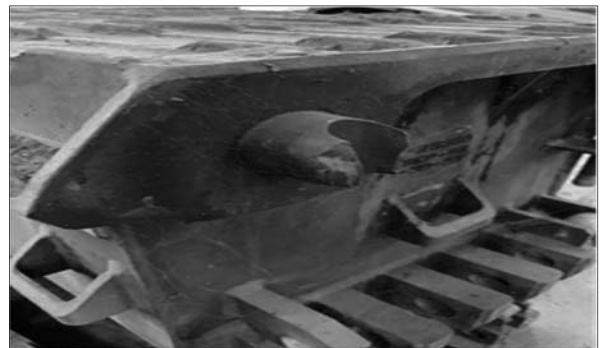
ภาพที่ 2 สะพานทหาร เอ็ม จี บี แบบโครงสองชั้น  
ขณะใช้งาน [3]

ปัจจุบันสะพานทหาร เอ็ม จี บี เกิดการชำรุดในบริเวณข้อต่อของสลักสะพาน จึงทำให้ไม่สามารถใช้งานตัวสลักสะพานในชิ้นส่วนโครงบนของสะพานทหาร เอ็ม จี บี ดังภาพที่ 3 ได้ และมีลักษณะการชำรุดของสลักสะพานในส่วนของโครงบนของสะพานทหาร เอ็ม จี บี ดังภาพที่ 4 โดยวัสดุที่ใช้ทำสะพานนั้นเป็นวัสดุที่ไม่มีการผลิตเนื่องจากเป็นความลับทางการทหารของประเทศที่ผลิต โดยกรมการทหารช่างได้ทำการซ่อมสลักสะพานด้วยวัสดุอะลูมิเนียมที่มีเกรดใกล้เคียงกับวัสดุอะลูมิเนียมที่ชำรุดในปัจจุบัน แต่เมื่อนำกลับมาใช้งานพบว่า เกิดการชำรุดที่ตัวสลักสะพานเช่นเดิม ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความ

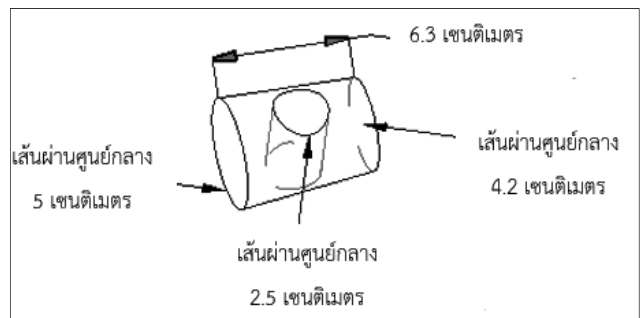
สำคัญของปัญหาที่ได้กล่าวไปข้างต้นจึงได้ทำงานวิจัยเพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงเฉือนและโมเมนต์ของสะพานทหาร ทำการทดสอบวัสดุเหล็กเพื่อทดแทนวัสดุที่ชำรุดในปัจจุบัน



ภาพที่ 3 ชิ้นส่วนโครงบนสะพานทหาร เอ็ม จี บี



ภาพที่ 4 สลักสะพานทหาร เอ็ม จี บี ชิ้นส่วนที่ชำรุด



ภาพที่ 5 ขนาดสลักสะพานทหารช่าง เอ็ม จี บี

## 2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงเฉือนและโมเมนต์ของสะพานทหาร เอ็ม จี บี

2.2 เพื่อหาวัสดุทดแทนวัสดุที่ชำรุดในปัจจุบัน

## 3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 3.1 เอกสารที่เกี่ยวข้อง

#### 3.1.1 สะพานทหาร เอ็ม จี บี

สะพานทหาร เอ็ม จี บี ออกแบบโดยประเทศอังกฤษเพื่อใช้ในราชการทหารและการคมนาคม งานเร่งด่วนฉุกเฉิน งานบรรเทาสาธารณภัย และงานบุกเบิกในการสร้างถนน เริ่มใช้ในกองทัพประเทศอังกฤษ เมื่อ พ.ศ. 2514 ในปัจจุบันนี้มีประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกมากกว่า 20 ประเทศ ได้ซื้อไปใช้ในราชการทหาร เช่น ประเทศกลุ่มนาโต้ (NATO) ได้แก่ สหรัฐอเมริกา แคนาดา เดนมาร์ก ฮอลแลนด์ และอิตาลี ในทวีปเอเชีย ได้แก่ ประเทศฟิลิปปินส์ สิงคโปร์ ปากีสถาน และไทย เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันสะพานทหาร เอ็ม จี บี ได้จัดเก็บอยู่ที่กรมการทหารช่าง ช.ร้อย 18 กองร้อยทหารช่างสะพานผสม ค่ายภานุรังษี ส่วนที่ 2 อำเภอเมืองราชบุรี จังหวัดราชบุรี [2]

คุณลักษณะสะพานทหาร เอ็ม จี บี เป็นสะพานที่มีขนาดเบาสามารถประกอบสร้างได้ด้วยกำลังคนและสามารถประกอบสร้างได้หลายแบบ มีน้ำหนักเบาและขนย้ายได้ง่ายโดยสามารถใช้กำลังคนเคลื่อนย้ายได้ด้วยความคล่องตัว ประกอบ สร้าง และถอดแยกออกจากกันได้อย่างสะดวก

ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของสะพานทหาร เอ็ม จี บี ทำด้วยโลหะผสม 3 อย่าง คือ สังกะสี แมกนีเซียมอัลลอยด์ และอะลูมิเนียม ทำให้น้ำหนักเบา ชิ้นส่วนที่หนักที่สุดหนักไม่เกิน 200 กิโลกรัม ชิ้นส่วนอื่น ๆ สามารถใช้กำลังพลยกเพียง 2-6 นาย เมื่อประกอบสร้างแล้วจะมีความกว้าง 4.01 เมตร การรับน้ำหนักของยานพาหนะขึ้นอยู่กับแบบของการสร้างและความยาวของสะพาน ซึ่งสามารถรับ

น้ำหนักได้ตั้งแต่ 16-60 ตัน [2] แสดงสะพานทหาร เอ็ม จี บี แบบโครงชั้นเดียวดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การประกอบสะพานทหาร เอ็ม จี บี [3]

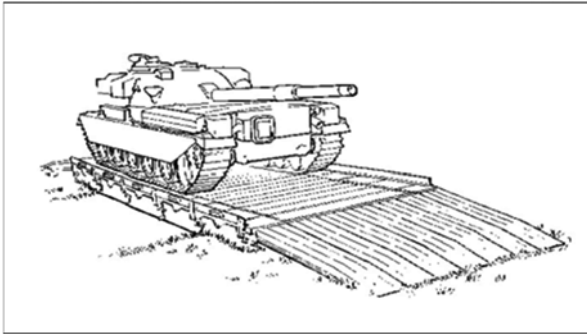
สะพานทหาร เอ็ม จี บี สามารถประกอบสร้างได้ 2 ลักษณะ ดังนี้

1) การประกอบสร้างสะพานทหาร เอ็ม จี บี แบบโครงชั้นเดียว รายละเอียด ดังตารางที่ 1 และภาพที่ 7

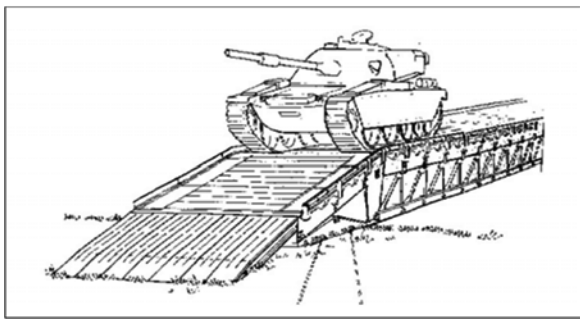
ตารางที่ 1 รายละเอียดการประกอบสร้างของสะพานแบบโครงชั้นเดียว [2]

สะพานทหาร เอ็ม จี บี แบบโครงชั้นเดียว	การรับ น้ำหนัก (ตัน)	ความ ยาว ของ สะพาน (เมตร)	ความ กว้างผิว จราจร (เมตร)	เวลาใน การ สร้าง (นาท)	จำนวนคน ในการ สร้าง (คน)
สะพานช่วงเดียวชั้นเดียว	60	7.9	4	20	8
	40	9.8	4	23	8
	16	11.6	4	30	10

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าความยาวของสะพานมีผลโดยตรงต่อการรับน้ำหนัก กล่าวคือสะพานที่มีความยาวสั้นที่สุดจะสามารถรับน้ำหนักได้มากที่สุด



ภาพที่ 7 สะพานทหาร เอ็ม จี บี แบบโครงชั้นเดียว [2]



ภาพที่ 8 สะพานทหาร เอ็ม จี บี แบบโครงสองชั้น [2]

2) การประกอบสร้างสะพานทหาร เอ็ม จี บี แบบโครงสองชั้น แสดงดังภาพที่ 8 รายละเอียด ดังตารางที่ 2 ดังนี้

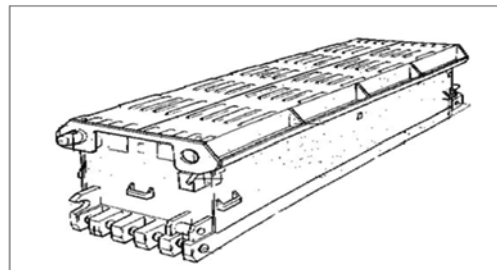
ตารางที่ 2 รายละเอียดการประกอบสร้างของสะพานทหาร เอ็ม จี บี แบบโครงสองชั้น [2]

สะพานทหาร เอ็ม จี บี แบบโครงสองชั้น	การรับน้ำหนัก (ตัน)	ความยาวของสะพาน (เมตร)	ความกว้างผิวจราจร (เมตร)	เวลาในการสร้าง (นาที)	จำนวนคนในการสร้าง (คน)
สะพานช่วงเดียวสองชั้น	60	31.1	4	60	24
	40	38.6	4	65	28
	16	49.4	4	75	24
สะพานช่วงเดียวสองชั้น เสริมความแข็งแรง	60	49.4	4	100	31

จากตารางที่ 2 รายละเอียดการประกอบสร้างของสะพานทหาร เอ็ม จี บี แบบโครงสองชั้น แสดงดังภาพที่ 8 การประกอบสร้างสะพานช่วงเดียวสองชั้นสามารถรับน้ำหนักมากที่สุด 60 ตัน ซึ่งเท่ากับการรับน้ำหนักของสะพานช่วงเดียวชั้นเดียว โดยมีข้อดีคือ มีความยาวของสะพานที่มากกว่า แต่มีข้อเสียคือ การใช้เวลาในการประกอบสร้างที่นานกว่าและใช้กำลังพลในการประกอบสร้างจำนวนมาก ซึ่งไม่เหมาะในการใช้งานในสถานการณ์เร่งด่วน

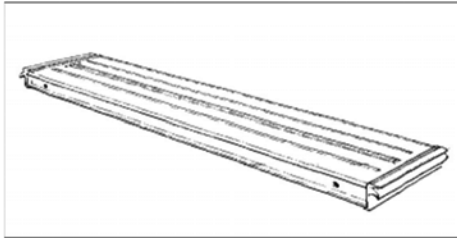
3.1.2 ชั้นส่วนหลักของสะพานทหาร เอ็ม จี บี ที่ใช้ในการวิเคราะห์

1) ชั้นส่วนโครงบน (Top Panel) ของสะพาน แสดงดังภาพที่ 9 มีขนาดความกว้าง 0.647 เมตร ความยาว 1.829 เมตร ความสูง 0.543 เมตร และน้ำหนัก 175 กิโลกรัม [2]



ภาพที่ 9 ชั้นส่วนโครงบนของสะพาน [2]

2) ชั้นส่วนแผงพื้น (Deck Unit) ของสะพาน แสดงดังภาพที่ 10 ขนาดความกว้าง 0.438 เมตร ความยาว 2.796 เมตร ความหนา 0.168 เมตร และน้ำหนัก 74 กิโลกรัม [2]



ภาพที่ 10 ชิ้นส่วนแผงพื้นของสะพาน [2]

### 3.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 3.2.1 พฤติกรรมของความเค้น-ความเครียด

ระดับการแปรรูปหรือเปลี่ยนรูปของโครงสร้างหนึ่ง ๆ จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของแรงกระทำที่กระทำต่อระบบ โดยเมื่อโลหะส่วนใหญ่ซึ่งถูกกระทำด้วยแรงดึงซึ่งมีขนาดไม่สูงนัก ความเค้น ( $\sigma$ ) และความเครียด ( $\epsilon$ ) ที่เกิดขึ้นจะแปรผันตรงซึ่งกันและกันตามความสัมพันธ์ “กฎของฮุก (Hooke’s Law)” ดังสมการที่ 1

$$\sigma = E\epsilon \quad (1)$$

และค่าคงที่ของการแปรรูป E เรียกว่า โมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) หรือโมดูลัสของยัง (Young’s Modulus) (มีหน่วยเป็น จิกะปาสคาล) ซึ่งเป็นค่าบอกระดับความแข็งแรงของวัสดุ [4]

สำหรับวัสดุไอโซโทรปิก ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น โมดูลัสเฉือนและอัตราส่วนปัวซองมีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ 2

$$E = 2G(1 + \nu) \quad (2)$$

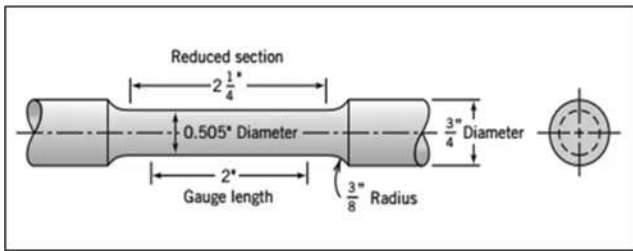
ตารางที่ 3 โมดูลัสความยืดหยุ่น โมดูลัสเฉือน และอัตราส่วนปัวซองของโลหะบางชนิดที่อุณหภูมิห้อง [4]

Metal Alloy	โมดูลัสของยัง		โมดูลัสของแรงเฉือน		อัตราส่วนของปัวซอง
	GPa	10 <sup>6</sup> psi	GPa	10 <sup>6</sup> psi	
อะลูมิเนียม	69	10	25	3.6	0.33
ทองเหลือง	97	14	37	5.4	0.34
ทองแดง	110	16	46	6.7	0.34
แมกนีเซียม	45	6.5	17	2.5	0.29
นิกเกิล	207	30	76	11.0	0.31
เหล็กกล้า	207	30	83	12.0	0.30
ไทเทเนียม	107	15.5	45	6.5	0.34
ทังสเตน	407	59	160	23.2	0.28

จากตารางที่ 3 โมดูลัสของสภาพยืดหยุ่นเป็นค่าบอกระดับความแข็งแรงของวัสดุ ซึ่งพบว่าเหล็กมีความแข็งแรงและคงทนกว่าอะลูมิเนียม และจากการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุเหล็กที่นำมาทดแทนวัสดุอะลูมิเนียมที่ชำรุดของสะพานทหาร เอ็ม จี บี พบว่าสามารถใช้วัสดุเหล็กในการทดแทนวัสดุอะลูมิเนียมได้ และในส่วนของความคงทน สามารถใช้งานได้ยาวนานกว่าวัสดุอะลูมิเนียม

#### 3.2.2 การทดสอบแรงดึง

วิธีการทดสอบความเค้น-ความเครียดของวัสดุ คือ การทดสอบแบบใช้แรงดึง ซึ่งสามารถหาค่าสมบัติทางกลหลายค่าที่สำคัญต่อการออกแบบทางกลได้ ในการทดสอบนี้ชิ้นงานทดสอบจะถูกดึงตามแนวยาวของชิ้นงาน โดยแรงดึงมีลักษณะเป็นแรงดึงตามแนวแกนเพียงแนวเดียว ชิ้นงานทดสอบมาตรฐานแสดงดังภาพที่ 11 [4]



ภาพที่ 11 ชิ้นงานทดสอบแรงดึงแบบที่มีหน้าตัดเป็นวงกลม [4]

### 3.3 การเขียนเส้นอิทธิพลโดยใช้หลักการของ Müller-Breslau

เส้นอิทธิพล (Influence Line) สามารถเขียนได้โดยใช้หลักการของ Müller-Breslau ที่เสนอโดยศาสตราจารย์ชาวเยอรมัน Heinrich Müller-Breslau ในปี ค.ศ. 1886 หลักการนี้สรุปได้ว่า “เส้นอิทธิพลสำหรับฟังก์ชันผลตอบสนองของแรงหนึ่ง ๆ สามารถหาได้จากการเปลี่ยนรูปของโครงสร้างที่ไม่มีความต้านทานฟังก์ชัน ผลตอบสนองของแรงนั้น และค่าของฟังก์ชันผลตอบสนองของแรงดังกล่าวสามารถหาได้จากการให้ระยะกระจัด 1 หน่วย (Unit Displacement) ณ ตำแหน่งและทิศทางเดียวกับฟังก์ชันผลตอบสนองของแรงนั้น” โดยหลักการนี้สามารถใช้ได้สำหรับการเขียนเส้นอิทธิพลของแรงและโมเมนต์เท่านั้น (แรงปฏิกิริยา แรงเฉือน โมเมนต์ตัด หรือแรงตามแนวแกน) จะไม่สามารถใช้ได้กับเส้นอิทธิพลสำหรับการโก่งตัว อย่างไรก็ตามหลักการนี้สามารถประยุกต์ใช้ได้ไม่เฉพาะแต่คานเท่านั้น ยังสามารถประยุกต์ใช้ได้กับโครงข้อหมุนและโครงข้อแข็ง และโครงสร้างสถิตินิยาม (Statically Indeterminate) ได้อีกด้วย [5]

โดยน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับโครงสร้างสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ น้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกจร โดยน้ำหนักบรรทุกคงที่ คือ น้ำหนักของ

ตัวโครงสร้าง ส่วนน้ำหนักบรรทุกจรเป็นน้ำหนักที่กระทำกับโครงสร้างต่าง ๆ กล่าวได้ว่าเป็นน้ำหนักบรรทุกซึ่งไม่อยู่กับที่ (เช่น ผู้อยู่อาศัย) หรือเป็นน้ำหนักเคลื่อนที่ เช่น ยานพาหนะ จึงอาจกระทำกับโครงสร้างที่ตำแหน่งต่าง ๆ ได้ ชิ้นส่วนของโครงสร้างตลอดจนหน้าตัดแต่ละหน้าตัดจะได้รับอิทธิพลจากน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ กันเมื่อตำแหน่งที่น้ำหนักบรรทุกกระทำเปลี่ยนไป การเกิดปฏิกิริยาตอบสนอง เช่น โมเมนต์ แรงเฉือน แรงปฏิกิริยา ในตำแหน่งต่าง ๆ จะมีค่าแตกต่างกันไปด้วย จึงจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์โดยใช้เส้นอิทธิพลเพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงเฉือนและโมเมนต์ของสะพานทหาร เอ็ม จี บี

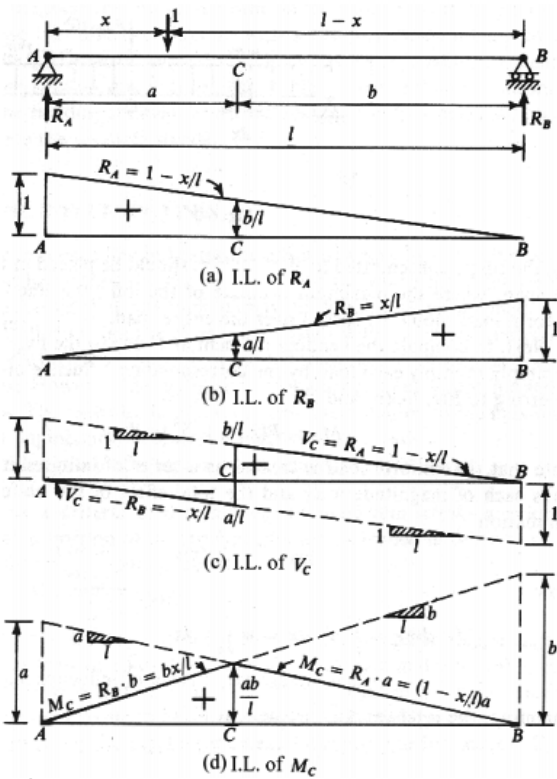
เส้นอิทธิพลแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1) เส้นอิทธิพลเนื่องจากแรงกระทำเป็นจุด (Concentrated Force) ในการหาเส้นอิทธิพลของคาน จะทำการให้แรงหรือน้ำหนักบรรทุก 1 หน่วย (Unit Load) กระทำต่อคาน ดังนั้น “ถ้าคานถูกกระทำโดยแรงขนาด  $F$  ที่ตำแหน่งเดียวกับที่แรง 1 หน่วยกระทำแล้ว ค่าของแรงปฏิกิริยาของแรงเฉือนหรือของโมเมนต์ตัดที่เกิดจากแรง  $F$  ที่จุดที่เราสนใจนั้นจะมีค่าเท่ากับผลคูณของฟังก์ชันอิทธิพลกับขนาดของแรง  $F$  นั้น โดยพิจารณาคาน AB ตามภาพที่ 12

จากภาพที่ 12 แผนภาพเส้นอิทธิพลของแรงปฏิกิริยาที่ จุด A ( $R_A$ ) เมื่อมีแรง  $F$  กระทำอยู่ที่ระยะ  $X$  จากจุด A แล้ว แรงปฏิกิริยา  $R_A$  จะมีค่าดังสมการที่ 3 ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยการใช้สมการความสมดุลของผลรวมโมเมนต์รอบจุด B ของคานมีค่าเท่ากับศูนย์ [5]

$$F \left( 1 - \frac{X}{L} \right) \quad (3)$$





ภาพที่ 12 เส้นอิทธิพลของแรงปฏิกิริยา  $R_A$  และ  $R_B$  แรงเฉือน  $V_C$  และโมเมนต์ดัด  $M_C$  ของคานช่วงเดียวแบบรองรับธรรมดา (Sample Beam) [5]

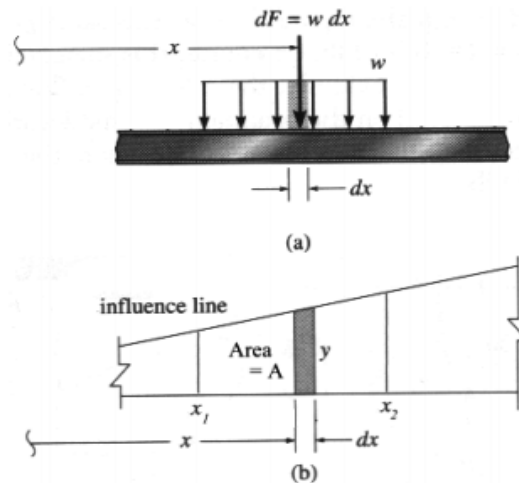
2) เส้นอิทธิพลเนื่องจากแรงกระทำแผ่กระจายสม่ำเสมอ (Uniform Load) ในการพิจารณาส่วนของคานที่ถูกกระทำโดยแรงแผ่กระจายสม่ำเสมอ  $W$  (Uniformly Distributed Load) อธิบายตามภาพที่ 13 แสดงให้เห็นว่าค่าแรงลัพธ์ของแรง  $W$  ที่กระทำอยู่บนส่วนของคาน  $dx$  จะมีค่าเท่ากับ  $dF = w dx$  และถ้าแรงลัพธ์นี้ วางอยู่ที่ตำแหน่ง  $x$  ซึ่งมีพิสัยของเส้นอิทธิพลของแรงปฏิกิริยาหรือของแรงเฉือน หรือของโมเมนต์ดัดเท่ากับ  $y$  ตามภาพที่ 13 แล้วค่าของแรงปฏิกิริยาหรือของแรงเฉือน หรือของโมเมนต์ดัดจะมีค่าดังสมการที่ 4 [5]

$$dF(y) = (w dx) (y) \tag{4}$$

ดังนั้น ผลรวมของแรงลัพธ์  $dF$  จาก  $x_1$  ถึง  $x_2$  มีค่าดังสมการที่ 5 [5]

$$\int_{x_1}^{x_2} wy dx = w \int_{x_1}^{x_2} y dx \tag{5}$$

โดยที่  $\int_{x_1}^{x_2} y dx$  เป็นพื้นที่ใต้แผนภาพเส้นอิทธิพลตามที่แสดงดังภาพที่ 13 ดังนั้น สรุปได้ว่า “ค่าของแรงปฏิกิริยา หรือค่าของแรงเฉือนหรือของโมเมนต์ดัดที่เกิดจากแรงกระทำแผ่กระจายสม่ำเสมอจะมีค่าเท่ากับผลคูณของพื้นที่ใต้แผนภาพเส้นอิทธิพลกับค่าของแรงกระทำแผ่กระจายสม่ำเสมอ  $w$ ”



ภาพที่ 13 ค่าของแรงเฉือนหรือของโมเมนต์ดัดที่เกิดจากแรงกระทำแผ่กระจายสม่ำเสมอ [5]

### 3.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Yu Tian และคณะ [6] ได้นำเสนอแนวทางการคำนวณความล้าของพื้นผิวของรันเวย์ของสนามบินโดยใช้ทฤษฎี Palmgren Miner ในการคำนวณความเสียหายสะสมและใช้แนวคิดเรื่องเส้นอิทธิพล รวมทั้งการวัดการหมุนของล้อเครื่องบิน พบว่าการตอบสนองต่อความเครียดที่มีผลสำคัญนั้นเกิดจากเครื่องบิน B777-200 ซึ่งทำให้เกิดความเสียหายสะสม

Silva Almeida และ Oliveira Neto [7] ได้เสนอการสร้างระนาบอินฟลูเอนซ์ (Influence Surfaces) ของการเคลื่อนที่และโมเมนต์ดัดด้วยวิธีบาวนด์รีเอลิเมนต์

(Boundary Element) โดยใช้เอลิเมนต์ที่ขอบเป็นพหุนามกำลังสองหรือขอบแบบโค้ง งานวิจัยนี้ใช้แนวคิดเรื่องเส้นอิทธิพลในการวิเคราะห์ โดยทำการวางแรงหนึ่งหน่วยไปบนตำแหน่งต่าง ๆ ทั่วแผ่นพื้นเพื่อคำนวณหา ค่าตอบสนองที่สนใจ จากนั้นนำค่าดังกล่าวมาสร้างเป็นระนาบอินฟลูเอนซ์ โดยใช้วิธี Least Square

Razouki และ Al-Ani [8] ทำการศึกษาเรื่องเส้นอิทธิพลของโมเมนต์ดัดเพื่อนำไปวิเคราะห์กับแผ่นพื้นคอนกรีต โดยใช้วิธีเชิงวิเคราะห์ในรูปแบบอนุกรมฟูเรียร์ (Fourier Series) ของทฤษฎีแผ่นบางแบบการเสียรูปน้อย งานวิจัยนี้ทดสอบโดยการวางน้ำหนักหนึ่งหน่วยลงบนตำแหน่งต่าง ๆ ของแผ่นพื้นเพื่อหาค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นกับแผ่นคอนกรีต

Jun Zhao และคณะ [9] ได้ศึกษาหมุดย้ำเหล็กสแตนเลส ที่ใช้ในการยึดเหล็กโครงสร้าง โดยทำการสร้างแบบจำลองโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) วิเคราะห์เพื่อศึกษาตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อกำลังการรับแรงเฉือนของการเชื่อมต่อแบบหมุดย้ำ โดยคำนึงถึงพื้นที่ จำนวนกลุ่มของการเชื่อมต่อแบบหมุดย้ำ เปรียบเทียบผลกับการทดสอบชิ้นงานในการรับแรงเฉือนในเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ไฮดรอลิก WEW-300 โดยเครื่องทดสอบมีกำลังโหลดสูงสุด คือ 300 KN การทดสอบดำเนินการโดยการดึงควบคุมด้วยอัตราคงที่ 2-5 มิลลิเมตร/นาที จนกว่าชิ้นงานทดสอบจะถูกทำลาย ความสามารถในการรับแรงเฉือนเกิดในช่วงพลาสติกหรือการเปลี่ยนรูปแบบถาวรนั้นจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำหมุดย้ำทำจากสแตนเลสซึ่งมีขีดจำกัดความยืดหยุ่นต่ำและการกระจายความเค้นระหว่างหมุดย้ำมีความสม่ำเสมอ

Um-E-Azraa และคณะ [10] ได้ทดสอบคุณสมบัติและพฤติกรรมของวัสดุโครงสร้างด้วยเครื่องอเนกประสงค์ UTM (Universal Testing Machine) โดยชิ้นงานทดสอบต้องทำการทดสอบจนกระทั่งเกิดความล้มเหลว ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ประกอบไปด้วยความเค้นและความเครียดของวัสดุ ซึ่งกระจายอยู่ภายในวัสดุระหว่างการทดสอบ แรงดึงของ

วัสดุ การยึดตัวสูงสุด สามารถเป็นแนวทางในการเลือกใช้วัสดุในงานโครงสร้างต่าง ๆ ได้อย่างปลอดภัย

จากงานวิจัยที่ผ่านมา ยังไม่มีการศึกษาการใช้วัสดุทดแทนสำหรับตัวสลักสะพานทหาร เอ็ม จี บี จึงได้ทำการศึกษาเพื่อนำวัสดุเหล็กทดแทนวัสดุอะลูมิเนียมที่ชำรุดในปัจจุบัน

#### 4. วิธีดำเนินการศึกษา

##### 4.1 การศึกษาข้อมูล

ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลทั้งขนาดและน้ำหนักของสะพานทหาร เอ็ม จี บี ที่กรมการทหารช่าง ช.ร้อย 18 กองร้อยทหารช่างสะพานผสม ค่ายภาณุรังษี ส่วนที่ 2 อำเภอเมืองราชบุรี จังหวัดราชบุรี และศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมจากเว็บไซต์โรงเรียนทหารช่าง [5]

##### 4.2 การเก็บตัวอย่างและการตรวจสอบวัสดุที่ใช้ทำ

สะพานทหาร เอ็ม จี บี

งานวิจัยนี้ได้นำตัวอย่างชิ้นส่วนของสลักสะพานทหาร เอ็ม จี บี ที่ชำรุดไปทำการวิเคราะห์โดย บริษัทควอลิตี้เทค จำกัด (มหาชน) อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ซึ่งเป็นบริษัทที่ได้รับมาตรฐานสากลในการตรวจสอบและรับรองคุณภาพของวัสดุ ทดสอบโดยใช้เครื่อง Optical Emission Spectrometer ซึ่งเป็นเครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี

##### 4.3 การวิเคราะห์หาตำแหน่งรับแรงสูงสุดโดยใช้

หลักการเส้นอิทธิพล

นำข้อมูลของสะพานทหาร เอ็ม จี บี ที่ประกอบใช้งานแบบสะพานช่วงเดียวชั้นเดียวซึ่งเป็นการประกอบสร้างที่สามารถรับน้ำหนักได้มากที่สุด โดยรับน้ำหนักได้สูงสุด 60 ตัน มาทำการวิเคราะห์ ซึ่งโครงสร้างสะพานจะถูกกระทำโดยแรงที่เคลื่อนที่ได้ (Moving Load) ซึ่งส่งผลให้ค่าของแรงเฉือนและโมเมนต์ภายในที่จุดใดจุดหนึ่งของคาน เปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งของน้ำหนักบรรทุกนั้น ๆ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของแรงเฉือนและโมเมนต์ที่จุดดังกล่าวสามารถหาได้โดยการเขียนเส้นอิทธิพลของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด

4.4 การวิเคราะห์หาแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด

เมื่อทราบตำแหน่งแรงภายนอกที่กระทำบนชิ้นส่วน โครงบนของสะพานทหาร เอ็ม จี บี ที่สูงที่สุดแล้วจึงนำมา คำนวณวิเคราะห์หาแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น เพื่อ หาวัสดุทดแทนที่สามารถรับแรงได้เหมาะสมกับการใช้งาน

4.5 การทดสอบวัสดุทดแทน

ทดสอบความเค้น-ความเครียดของวัสดุทดแทน โดยใช้เครื่องอเนกประสงค์ UTM ซึ่งแสดงดังภาพที่ 14 ในการทดสอบ ซึ่งสามารถหาค่าสมบัติทางกลของวัสดุ โดยชิ้นงานทดสอบจะถูกดึงตามแนวยาวของชิ้นงาน โดย แรงดึงมีลักษณะเป็นแรงดึงตามแนวแกน



ภาพที่ 14 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ UTM

5. ผลการศึกษา

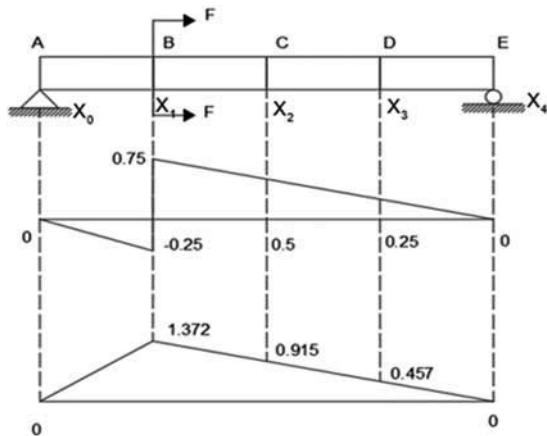
5.1 ผลการตรวจสอบองค์ประกอบธาตุของชิ้นส่วน สลักสะพานที่ชำรุด ทำการทดสอบโดยใช้เครื่อง Optical Emission Spectrometer ซึ่งเป็นเครื่องวิเคราะห์ส่วน ประกอบทางเคมี พบว่าสลักสะพานทหาร เอ็ม จี บี ที่ชำรุดมีองค์ประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของสลักชิ้นส่วน สะพานทหาร เอ็ม จี บี ที่ชำรุด

องค์ประกอบทางเคมี (%)				
อะลูมิเนียม (Al)	ซิลิคอน (Si)	เหล็ก (Fe)	ทองแดง (Cu)	แมงกานีส (Mn)
92.63	0.1133	0.1730	0.2030	0.2350
แมกนีเซียม (Mg)	สังกะสี (Zn)	โครเมียม (Cr)	ไทเทเนียม (Ti)	นิกเกิล (Ni)
1.89	4.51	<0.0010	0.0203	0.0030
โคบอลต์ (Co)	ดีบุก (Sn)	วานาเดียม (V)	โบรอน (B)	เซอร์โคเนียม (Zr)
<0.0020	<0.0050	0.0037	<0.0010	0.1990

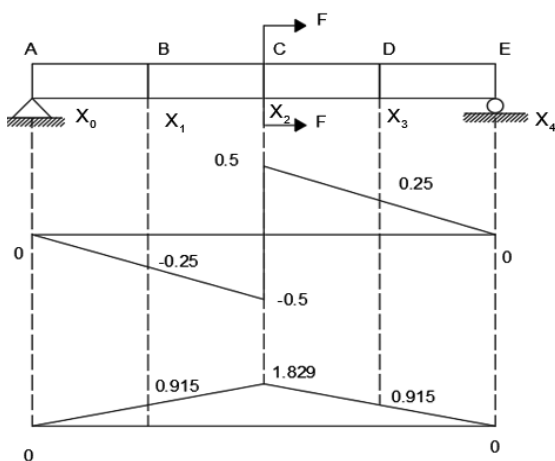
จากตารางที่ 4 พบว่าสลักชิ้นส่วนสะพานทหาร เอ็ม จี บี ที่ชำรุด มีองค์ประกอบของธาตุอะลูมิเนียม (Al) 92.63 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในช่วง 90.5 ถึง 94.8 เปอร์เซ็นต์ มีธาตุสังกะสี (Zn) 4.51 ซึ่งอยู่ในช่วง 4.0 ถึง 5.0 และมีธาตุแมกนีเซียม (Mg) อยู่ในช่วง 1 ถึง 2 เปอร์เซ็นต์ จากองค์ประกอบทางเคมีพบว่า มีธาตุอีกหลายธาตุที่มีค่า ใกล้เคียงกับอะลูมิเนียมชนิด 7204 จากองค์ประกอบทาง เคมีดังกล่าว มีธาตุวานาเดียมเพียงแค่ 0.0037 เปอร์เซ็นต์ โดยคุณสมบัติของวานาเดียม (V) สามารถปรับปรุงความ แข็งแรงและความเหนียว ซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ เหล็ก

5.2 ผลการคำนวณตำแหน่งแรงเฉือนและ โมเมนต์ดัดสูงสุดของสะพานโดยใช้หลักการเส้นอิทธิพล (Influence Line Diagram) แสดงในภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ตำแหน่งที่รับแรงเฉือนสูงสุดที่จุด B

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองในภาพที่ 15 พบว่า ตำแหน่งแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดสูงสุดของสะพานอยู่บริเวณตำแหน่ง B ซึ่งเกิดขึ้นบริเวณปลายชิ้นส่วนของชิ้นส่วนโครงบนสะพานชิ้นแรกแต่ในส่วนของค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น ไม่ใช่ตำแหน่งที่รับแรงและโมเมนต์ดัดที่สูงที่สุด ซึ่งแสดงในภาพที่ 16



ภาพที่ 16 ตำแหน่งที่รับโมเมนต์ดัดสูงสุดที่จุด C

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองในภาพที่ 16 พบว่า บริเวณกึ่งกลางสะพานหรือตำแหน่งที่จุด C ไม่ใช่บริเวณที่เกิดแรงเฉือนสูงที่สุดในสะพานแต่เป็นตำแหน่งที่มีค่าโมเมนต์ดัดสูงที่สุด

ดังนั้นจากการวิเคราะห์โดยใช้หลักการเส้นอิทธิพล ซึ่งแสดงดังภาพที่ 15-16 จึงสรุปได้ว่าบริเวณที่รับแรงเฉือนสูงสุด คือ บริเวณจุด B ของตัวสะพานและบริเวณที่รับโมเมนต์ดัดสูงสุดคือ บริเวณจุด C ของตัวสะพาน

### 5.3 ผลการวิเคราะห์แรงเฉือนและโมเมนต์ดัด

วิเคราะห์การใช้งานสะพานทหาร เอ็ม จี บี แบบสะพานช่วงเดียวชั้นเดียว ที่มีความยาวประมาณ 8 เมตร ใช้ชิ้นส่วนโครงบนสะพาน 4 ชิ้น มีความกว้างผิวจราจร 4 เมตร สามารถรับน้ำหนักได้ 60 ตัน (60,000 กิโลกรัม) และใช้ร่วมกับรถถังหลัก T-84 OPLLOT-M ซึ่งเป็นรถถังขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากที่สุด โดยมีน้ำหนักพร้อมรบ 51,000 กิโลกรัม ความกว้าง 3.775 เมตร ความยาว 7.075 เมตร และความสูง 2.215 เมตร ทำการวางน้ำหนักบรรทุกทุกจุดที่มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ โดยวางในส่วนของแผนภาพเส้นอิทธิพลของแรงเฉือนที่มีค่าเป็นบวก เพื่อทำการคำนวณหาแรงเฉือนที่เกิดขึ้นสูงสุดจากการคำนวณพบว่าแรงเฉือนสูงสุดบนสะพานทหาร เอ็ม จี บี มีค่าเท่ากับ 74,457.51 นิวตัน โดยชิ้นส่วนโครงบนสะพาน ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนสลักสะพาน 2 ชิ้น ทำให้ค่าของแรงเฉือนที่เกิดบนสลัก 1 ชิ้นมีค่าเท่ากับ 37,228.76 นิวตัน

การคำนวณหาโมเมนต์ดัดสูงสุดบนสะพานทหาร เอ็ม จี บี ช่วงเดียวชั้นเดียว รับน้ำหนักสูงสุด 60 ตัน โดยตำแหน่งวางรถถังหลัก T-84 OPLLOT-M ที่กึ่งกลางสะพาน พบว่าค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดมีค่า 241,846.02 นิวตันต่อเมตร

### 5.4 วิเคราะห์หาพื้นที่หน้าตัดและวิเคราะห์ความเค้นเฉือนของสลักสะพานทหาร เอ็ม จี บี

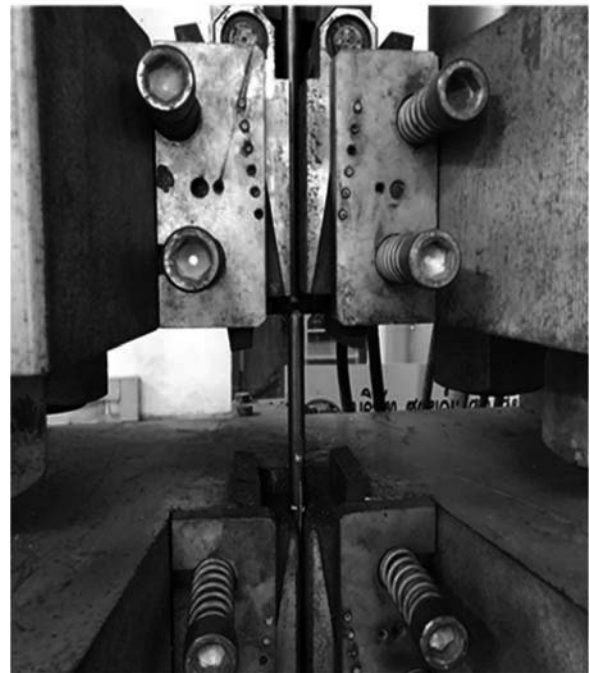
จากการชำรุดของตัวสลักพบว่า เกิดการชำรุดบริเวณส่วนกลางของสลัก จึงทำการหาพื้นที่หน้าตัดบริเวณดังกล่าว โดยใช้โปรแกรม AutoCAD 2020 มีค่าเท่ากับ 583.12 ตารางมิลลิเมตร ค่าความเค้นเฉือนเท่ากับ 63.84 เมกะปาสคาล และค่าความเค้นอัด 14.01 เมกะปาสคาล

### 5.5 การทดสอบวัสดุทดแทน

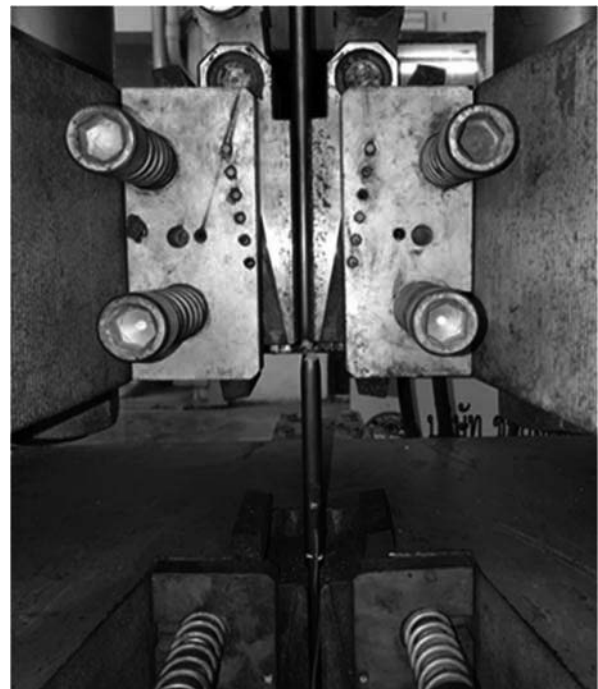
ทำการทดสอบความเค้น-ความเครียดของวัสดุโดยใช้เครื่องอเนกประสงค์ UTM ในการทดสอบ เพื่อหาค่าทางกลของวัสดุเหล็ก S45C โดยทำการทดสอบ 3 ชิ้น ซึ่งเป็นวัสดุเดียวกัน โดยใช้วิธีทดสอบมาตรฐาน American Testing and Materials Authority ASTM E8/E8M สำหรับการทดสอบแรงดึงของวัสดุโลหะ ดังภาพที่ 17-19 โดยจากการทดสอบวัสดุ S45C พบว่าบริเวณที่วัสดุขาดออกจากกันจะเกิดขึ้นที่บริเวณด้านบนและมีระยะใกล้เคียงกันของตัวจับยึดวัสดุทั้ง 3 ชิ้นงานทดสอบ



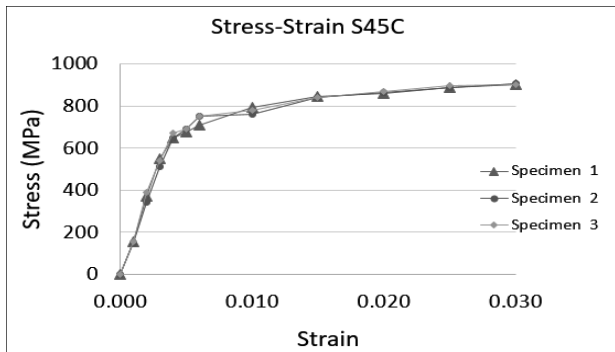
ภาพที่ 17 การทดสอบการดึงวัสดุชิ้นงานที่ 1



ภาพที่ 18 การทดสอบการดึงวัสดุชิ้นงานที่ 2



ภาพที่ 19 ทดสอบการดึงวัสดุชิ้นงานที่ 3



ภาพที่ 20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชิ้นงาน

จากภาพที่ 20 ซึ่งแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชิ้นงาน พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเค้นจุดคราก (Yield Strength) และความต้านแรงดึง (Tensile Strength) ใกล้เคียงกันมาก ซึ่งเมื่อนำค่าทดสอบที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยสามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบวัสดุ S45C

ชิ้นงาน	มอดูลัสของยัง (GPa)	อัตราส่วนของปัวซอง	ความเค้นจุดคราก (MPa)	ค่าความต้านแรงดึง (MPa)
1	205.16	0.29	530.38	917.56
2	203.13	0.29	537.45	915.63
3	206.76	0.29	539.47	920.45
ค่าเฉลี่ย	205.02	0.29	535.77	917.88

จากตารางสรุปผลการทดสอบวัสดุพบว่า มีค่าเฉลี่ยของมอดูลัสของความยืดหยุ่น (Young's Modulus) เท่ากับ 205.02 จิกะปาสคาล ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนปัวซอง (Poisson's Ratio) 0.29 ค่าเฉลี่ยความเค้นจุดคราก 535.77 เมกะปาสคาล ซึ่งเป็นค่าที่บอถึงความต้านทานต่อการแปรรูปถาวรของโลหะนั้นๆ และค่าเฉลี่ยของความต้านแรงดึง 917.88 เมกะปาสคาล ซึ่งบอถึงค่าความเค้นที่จุดสูงสุดเท่าที่โครงสร้างหนึ่ง ๆ จะสามารถทนรับได้ หากมีความเค้นเกิดขึ้นเท่ากับความเค้นนี้และต่อเนื่องไปชิ้นส่วนนั้นจะแตกหักในที่สุด

## 6. สรุปและอภิปรายผล

จากการทดสอบวัสดุเหล็ก S45C มีค่าเฉลี่ยความเค้นจุดครากเท่ากับ 535.77 เมกะปาสคาล ซึ่งเป็นค่าที่ใช้บ่งชี้การรักษาสภาพการเปลี่ยนรูปของวัสดุ หากวัสดุได้รับแรงและก่อให้เกิดความเค้นต่ำกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุนั้นจะสามารถคืนสภาพเดิมเมื่อนำแรงกระทำออก แต่แรงกระทำที่เกิดขึ้นกับตัวสลักสะพานที่ทำให้เกิดการชำรุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 63.84 เมกะปาสคาล และรวมถึงค่าความเค้นอัดที่กระทำกับตัวสลักสะพานโดยมีค่าเท่ากับ 14.01 เมกะปาสคาล ซึ่งมีค่าแรงกระทำน้อยมากเมื่อเทียบกับความเค้นจุดคราก จึงสรุปได้ว่าสามารถใช้เหล็ก S45C ทดแทนวัสดุอะลูมิเนียมที่ชำรุดได้อย่างปลอดภัย และยังเป็นวัสดุที่หาได้ในประเทศ รวมทั้งมีราคาที่ไม่สูงมากเมื่อเทียบกับวัสดุอะลูมิเนียม

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนพัฒนา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า สำหรับเงินทุนวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ ข.ร้อย 18 กองร้อยทหารช่างสะพานผสม ค่าวิทยากรรังสี ส่วนที่ 2 จังหวัดราชบุรี สำหรับข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง กับงานวิจัย และขอขอบคุณกองวิชาวิศวกรรมโยธา ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ที่สนับสนุนเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ UTM

## 8. บรรณานุกรม

- (1) ราชบัณฑิตยสถาน “พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2554 เฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เนื่องในโอกาสพระราชพิธีมหามงคลเฉลิมพระชนมพรรษา 7 รอบ 5 ธันวาคม 2554” กรุงเทพฯ: ราชบัณฑิตยสถาน, 2556.
- (2) วีรวิทย์ สิทธาบุษย์ และคณะ “สะพานทหารช่างกับการบรรเทาสาธารณภัย” ราชบุรี: กรมการทหารช่าง, 2556, หน้า 21-30.
- (3) การจัดการความรู้โรงเรียนทหารช่าง กรมการทหารช่าง “สะพานทหารช่างกับการบรรเทาสาธารณภัย” 2556, [http://1.179.128.11/KM\\_Bridge\\_Collect.html](http://1.179.128.11/KM_Bridge_Collect.html).
- (4) William D. Callister, “Material Science and Engineering: An Introduction” United States of America, 2007, pp. 131-145.
- (5) สุนิต สุภาพ “หลักพื้นฐานการวิเคราะห์โครงสร้าง Fundamental of Structural Analysis” กรุงเทพฯ: เอ็ม แอนด์ เอ็ม เลเซอร์พริ้นต์, 2558, หน้า 119-225.
- (6) Yu Tian, Peng Xiang, Shifu Liu, Jianming and Rui Tang, “Improving airport runway rigid pavement design using influence surfaces” Construction and Building Materials, vol. 284, pp. 1-3, 2021.
- (7) Silva Almeida V and Oliveira Neto L., “Influence surfaces by boundary element/ least square methods coupling,” Engineering with Computers, vol. 31, pp. 231-246, 2015.
- (8) Razouki S.S and AL-Ani S.H., “Bending moment influence surfaces for rectangular concrete plates simply supported at three edges and built-in at the fourth edge,” Journal of Engineering, vol. 16, pp. 4795-4821, 2010.
- (9) Jun Zhao, Yang Peng, Wang Su and Jun Dong, “Finite element analysis of the shear capacity of stainless-steel blind-rivet connections,” Journal of Constructional Steel Research, vol. 179, pp. 3-7, 2021.
- (10) Um-E-Azraa, Ramesh Nayaka and Mayur Appaiah, “Design of a mild steel specimen using FEA and tensile test data,” Materials Today: Proceedings, vol. 5, pp. 2605-2608, 2018.