

장간조립교 주요 부재의 강도 분석 연구

A Study on the Analysis for the Strength of Bailey Panel Bridge

이종우* 유삼현* 김인수* 김태양*
 Jong-Woo Lee Sam-Hyun Yoo In-Soo Kim Tae-Yang Kim

최현호* 윤우섭* 김영철**
 Hyun-Ho Choi Woo-Seob Yoon Young-Cheol Kim

Abstract

In this paper, the results of experimental analysis for the chemical composition and strength verification of Bailey Panel Bridge have been presented. Some of main sections of bailey bridge collected from military engineer troops were prepared for the chemical composition and strength verification. The composition test and strength verification were conducted by using the optical microscope and Scanning Electron Microscope(SEM), Automatic Control Spark Emission Spectrometer(OBLF), X-ray Fluorescence Spectroscopy(XRF) and Instron measurement. The results showed that currently used sections of bailey bridge passed the strength verification and could be operated in drill of troops and battle fields.

Keywords : Strength Verification(강도 검증), Baily Panel Bridge(장간조립교)

1. 서론

본 논문은 합동참모본부에서 제기한 “노후된 병참선 교량 복구자재 강도 검증을 통한 병참선 복구능력 제고 연구”에 대한 연구결과를 바탕으로 장간조립교 주요부재의 강도검증 분석 결과를 제시한 것이다.

M2 장간조립교(Bailey Panel Bridge)는 공병여단(야공단) 교량중대에 편제되어 기동부대의 기동지원, 병참선

및 주보급로 유지보수 등 지역피해복구 지원을 위해 교량중대의 기술지원을 받아 주로 야공대대 및 사단 공병대대에 의해 운용된다. 운용지역은 적 위협을 고려하여 군단급 이상 근접작전지역에서도 운용 가능하나 다른 종류의 군용교량보다 구축을 위한 제한사항(인원, 시간, 장비소요 등)이 많이 발생하기 때문에 적의 직사화기 및 곡사화기의 위협에 비교적 안전한 후방지역에서 주로 운용한다^[1].

M2 장간조립교가 국내에 도입된 시기는 한국전쟁 당시이며, 1970년대에 미군으로부터 인수 후 공병부대에 보급되어 현재까지 우리군의 주요 간격 극복 장비로써 운용되고 있다^[2]. 그러나 M2 장간조립교는 장비 운용의 중요성에 비해 보관 장소의 미비 등 여러 가지 제

† 2010년 10월 15일 접수~2011년 1월 20일 게재승인

* 육군사관학교(Korea Military Academy)

** 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 이종우(jonglee@kma.ac.kr)

한사항으로 인하여 수십 년 동안 야적된 상태로 관리되고 있는 실정이며, 이러한 형태의 장비관리 및 부재 노후로 인해 부재의 강도에 현저한 저하가 진행되었을 것으로 우려된다.

현재 우리가 처해있는 안보 현실을 직시해 볼 때 앞으로 전력증강을 위한 새로운 무기체계가 채택되어 국방비 소요는 기하급수적으로 증가할 것이며, 간격극복을 위한 장간조립교의 대체장비로 차기 전술교량이 2013년부터 전력화될 것으로 계획되어 있지만, 현재 우리 군이 보유하고 있는 전량을 대체장비로 조기에 전력화하기는 여러 가지 여건을 감안할 때 매우 어려운 현실이다.

따라서 M2 장간조립교가 유사시 후방지역에서 간격극복 주력장비로 앞으로도 당분간 운용될 것으로 예측되는바 현존 전력의 효율성을 극대화 하여야 할 방안을 모색해야 할 필요성이 부각되고 있다.

이러한 취지에서 장간조립교 부재의 노후화에 따른 강도 검증과 부재의 강도 검증을 거친 후, 운용능력이 부족하다고 판단될 시 대안을 모색하는데 연구의 목적이 있다.



Fig. 1. 장간조립식 교량

2. 부재의 성분 분석 및 강도 검증

강도 시험의 목적은 설계타당성 및 요구조건을 만족하는지 여부를 확인하기 위해서이며 철강 부재의 항복 강도 및 특성을 확인하는 것이다. 장간조립교의 구조적 강도시험은 주요 구성품이 설계기준에 의해서 요구된 안전율을 가지고 있는지를 확인하고, 몇 십년간의 사용 및 보관으로 인한 예측하기 어려운 구조적 및 재

료 특성적 현상이 발생했거나 발생할 가능성이 있는지를 확인하기 위해서 인장, 압축 및 굽힘 강도 시험을 하였다.

우리나라의 기후 및 기상은 온대성 기후이고 한반도의 경우 단일 기후 지역으로 가정하여 국내 여러 지역에 보관중인 장간조립교의 상태는 동일한 것으로 가정하였다. 장간조립교의 여러 부재 중 중요 부분인 장간, 횡골 등 6개 부분의 강도 시험을 위한 부재를 000에 위치한 000공병부대에서 획득하였다. 000공병부대는 강이 인접하여 산지, 평야 등 상대적으로 습도가 낮은 지역보다 장간조립교의 보관 및 관리가 가장 열악한 환경에 처해있는 것으로 판단하였다.

가. 강도 검증을 위한 사전 연구

1) 시험 샘플 수집

현재 야전 공병부대에서 각종 교육훈련 시 사용되고 있으며, 장기간 야적한 상태에서 관리하고 있는 장간조립교를 시험 샘플로 선정하여 주요 부재별로 각각 3개씩 시험 샘플을 수집하였다. 기술교범 5(6)-312 장간조립교(육군본부, 2005)^[3]에 따라서 장간조립교의 부재 중 가장 큰 하중을 받는 장간, 종주 교골 등의 주요 부분을 산소-아세틸렌 용접기로 절단하였고, 용접열에 의한 열변형 방지 및 재료의 특성을 유지하기 위하여 Fig. 2와 같이 강도 시험 시편의 크기보다 약 20배 범위로 절단하였다.

2) 시편 가공 및 실험

장간조립교 부재의 강도를 측정하기 위해서 대한민국 인장강도 시험 규격에 맞는 표준시편으로 주요 부재인 장간, 종주 및 교골 등을 가공하였다. 단 횡골에 대한 시편은 본 샘플의 기하학적 한계로 인해 제작하지 못하였다. 인장시편은 한국표준규격, KS B0801(인장시험 시편 규격 4호, 직경 7mm, 표점거리 25mm)의 봉형 표준으로 가공을 하였고, 압축시편은 8mm × 20mm, 굽힘시편은, KS B0803(굽힘시험 시편 규격), 길이 150mm, 너비 8mm로 제작하였다. 가공간 발생하는 열변형을 최소화하기 위해서 냉간가공을 실시하였으며 Fig. 3은 밀링 및 선반으로 제작한 장간조립교 주요 부재의 인장시편 형상을 보여준다.

나. 부재의 성분 분석

1) 장간조립교 부재의 성분 분석

1970년대에 미군으로부터 M2 장간조립교를 인수한

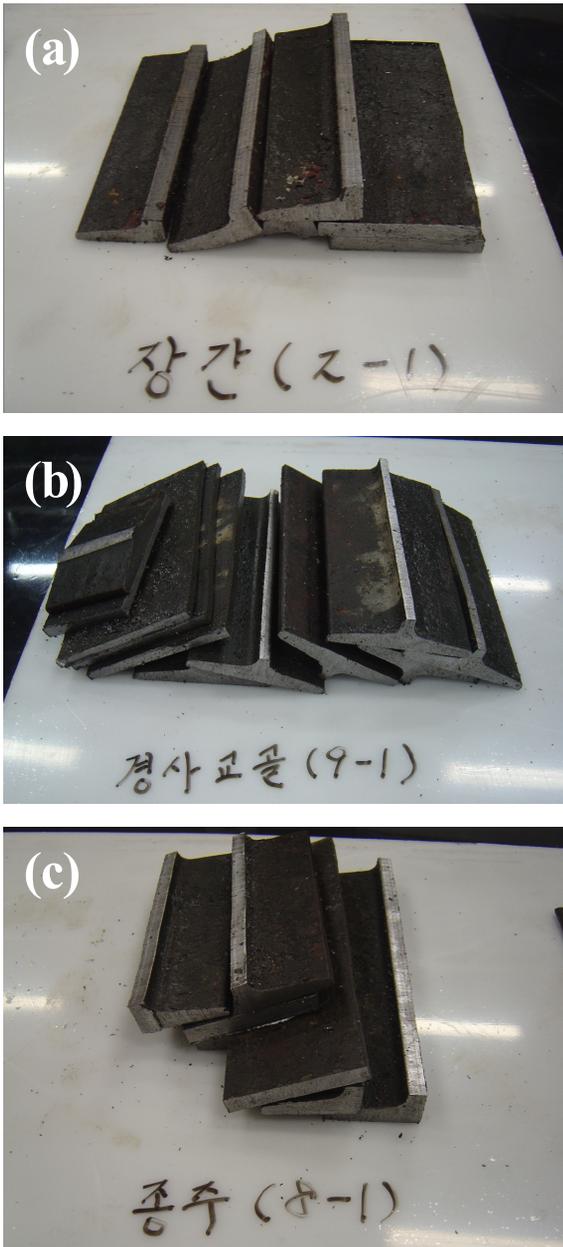


Fig. 2. (a)장간, (b)경사 교골, (c)종주

후 공병부대에서 관리하고 있으나, M2 장간조립교 자재의 성분에 대한 자료가 없어 강도시험에 앞서 성분 분석 실험을 먼저 수행하였다. 문헌 조사를 통하여 장간조립교에 사용된 강은 미국재료시험협회규격(ASTM : American society for Testing Materials)의 고강도저합금 구조용강(High-Strength Low-Alloy Structural Steel)인

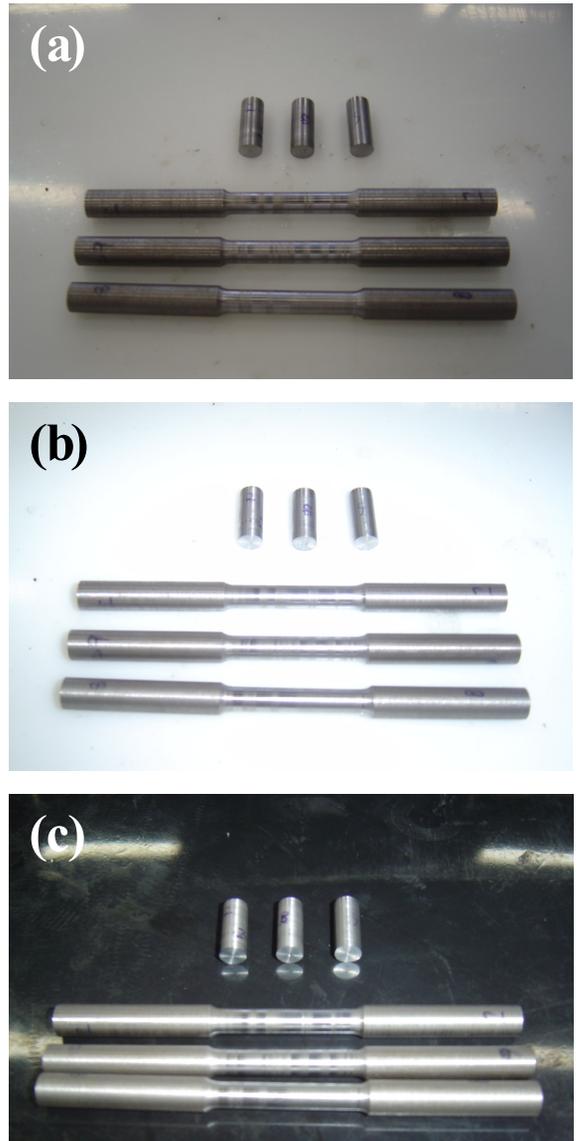


Fig. 3. (a)장간시편, (b)교골시편, (c)종주시편

ASTM A242강으로 확인되었으며 미국에서는 1941년부터 생산이 시작되었다. 1940~50년대 미국 US steel, Bethlehem steel 등의 회사에서 A242강을 생산하였으며 조성은 회사마다 약간의 차이를 보이고 있다. A242강은 부식에 대한 저항이 좋고 인장강도가 높아서 구조용에 사용된다.

000공병부대에서 수집된 부재의 조직을 광학현미경, 주사전자현미경(SEM)으로 관찰하였다. 광학현미경 관찰은 표면을 부식처리하여 50배에서 200배까지 다양

한 배울에서 조직을 관찰하였으며 입자크기는 약 10~20 μm 이다. 장간, 종주, 횡골 등 여러 부재를 관찰한 결과 Fig. 4와같이 매우 유사한 조직 형태를 띠고 있다. 관찰 결과는 전형적인 저탄소강의 조직을 나타내고 있으며 기저부(Matrix)와 기저상이 균질하게 형성되어 있다.

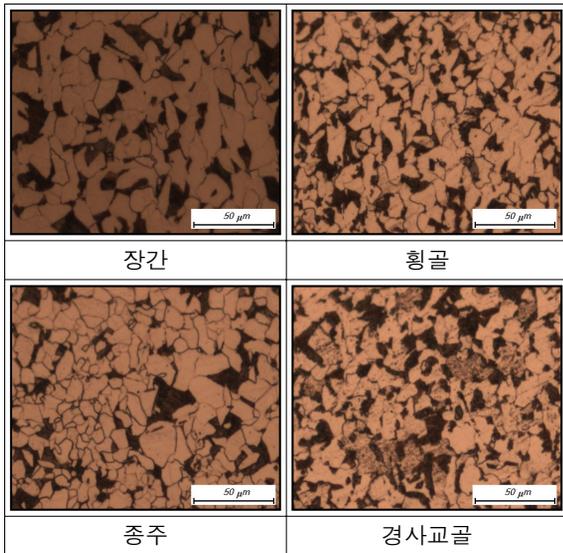


Fig. 4. 부재의 조직사진(광학 현미경)

물체의 표면검사와 화학적 조성을 손쉽게 알 수 있는 장비인 주사전자현미경을 이용하여 고배율에서 A242강의 조직을 관찰하였다. 500배에서 2,000배까지 시편을 검사하였으며 탄소강의 조성표와 문헌을 통한 확인 결과, 장간조립교의 주요 부재는 페라이트(Ferrite) 기저상과 비늘모양의 펄라이트(Pearlite) 미세조직으로 구성되어 있어 A242강의 전형적인 모습을 관찰할 수 있다. Fig. 5는 여러 가지 부재의 주사전자현미경 사진이다.

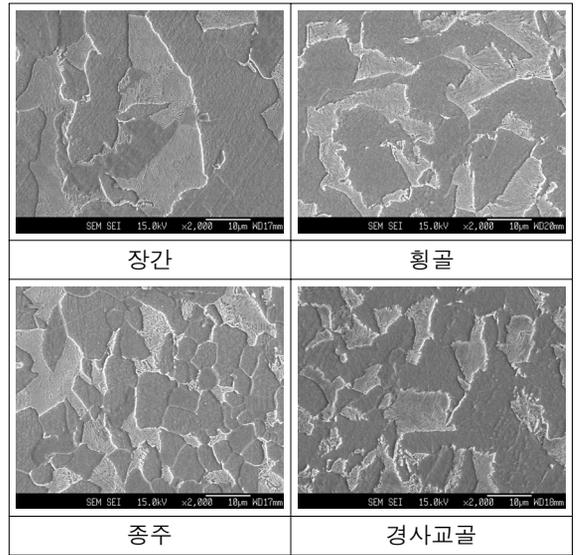


Fig. 5. 부재의 조직사진(전자 현미경)

2) 조성 검사⁽⁴⁾

강재의 화학적 조성검사는 여러 가지 방법으로 측정하는데 재료의 파괴없이 다양한 형태의 시편을 검사할 수 있는 X-ray 형광분석법으로 표면의 조성을 측정하였다. 원자번호 14이하의 원소는 형광분석으로는 측정할 수 없기 때문에 강의 가장 중요한 요소인 탄소의 검출은 이루어지지 않았다. 화학적 조성 결과는 Table 1에서 보는 바와 같다. 부재별로 오차 범위 내에서 거의 동일한 조성임을 알 수 있다.

보다 정밀한 분석을 위하여 발광분광분석기를 이용하여 시편의 화학적 조성을 검사하였다. Table 2는 여러 가지 부재의 화학적 조성결과를 보여주고 있다. 열관 및 후반의 ASTM A242-93A의 화학적 조성은 탄소(C)는 0.15%이하, 망간(Mn)은 1.00%이하, 인(P)은 0.15%이하, 황(S)은 0.05%이하, 구리(Cu)는 0.2%이하로 규정되어 있으나 측정된 화학적 조성과는 약간의 차이

Table 1. X-ray 형광분석법으로 측정된 부재의 화학적 조성

부재	화학적 조성(%)										
	Mn	Cu	Si	Ni	Al	Cr	V	Sn	S	Mo	P
장간	1.0473	0.5821	0.3545	0.7834	0.1531	0.1139	-	-	0.0289	0.0262	0.0753
종주	1.1931	0.3632	0.3263	0.0966	0.0966	0.0671	0.0391	0.0385	0.0263	0.0166	0.0110
교골	1.2336	0.5222	0.3514	0.8136	0.0854	0.0092	-	-	0.0226	0.0113	0.0192

Table 2. 발광분광분석법으로 측정된 부재의 화학적 조성

부재	화학적 조성(%)											
	C	Mn	Cu	Si	Ni	Al	Cr	V	Sn	S	Mo	P
장간	0.2380	0.9117	0.4144	0.210	0.617	0.0119	0.072	0.002	0.003	0.0251	0.0217	0.0475
종주	0.178	1.027	0.2552	0.189	0.082	0.0023	0.041	0.0297	0.031	0.024	0.015	0.0073
교골	0.189	1.08	0.3864	0.196	0.657	0.0107	0.076	0.0016	0.02	0.0218	0.0117	0.0137

를 보이고 있다. A242강이 최초 생산될 당시의 강의 종류와 회사에 따라 화학적 조성에 약간의 차이가 있음을 알 수 있다.

다. 강도 검증^(5,6)

강도 시험은 인스트론(Instron) 측정기를 이용하여 실시하였다. 압축시험은 압축력에 대한 재료의 저항력인 항압력을 측정하는 것으로 깨지기 쉬운 취성 재료를 시험하였을 때 가장 잘 나타난다. 그러나 데이터의 오차를 최소화하기 위해서 압축시험을 먼저 실시하여 측정되는 전압과 컴퓨터의 디지털 수치로 변화되는 관계에 대한 사전 검증을 실시하였다.

1) 인장시험

재료에 인장력을 가해 기계적 성질을 조사하는 방법으로 준정적(Quasi-Static) 부하기준인 분당 3mm의 속도로 시편에 인장력을 가하였다. 장간, 종주, 경사교골 시편을 각각 3회씩 측정하여 평균값을 구하였다. Fig. 6~8은 부재의 응력과 변형률 선도를 나타낸다. ASTM A242-93A의 항복강도는 350MPa 기준이며, 측정결과 장간과 종주의 항복강도는 약 370MPa, 경사교골의 경우 318MPa으로 측정되었다. 경사교골은 지면에서 장간조립교를 연결하는 부위로 교량의 하중을 직접적으로 받는 부재는 아니며 교량의 안정성과는 관계가 없다. 그러나 상대적으로 인장강도가 낮게 측정된 이유는 첫째, 경사교골은 다른 종류의 강으로 생산되었거나, 둘째, 인장강도를 측정된 부분이 상대적인 재료 내부의 결함이 존재하여 강도가 다소 저하될 수 있다. 그러나 정확한 원인을 찾아내기 위해서는 더 많은 연구가 필요하다.

2) 굽힘 실험

굽힘 모멘트를 구하기 위하여 암스러식 만능시험기를 사용하여 굽힘에 대한 굽힘강도와 장간조립교 부

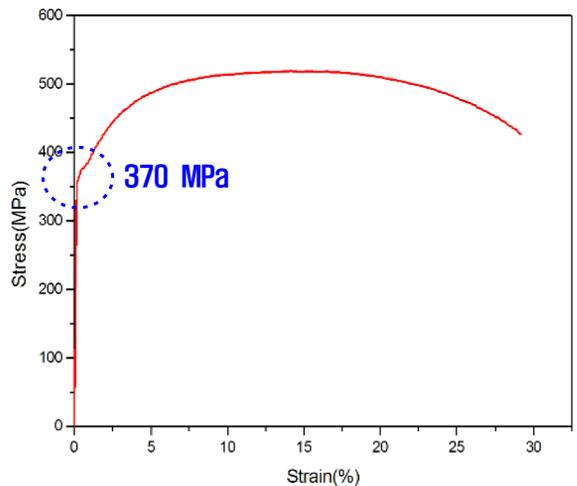


Fig. 6. 장간의 응력 - 변형률 선도

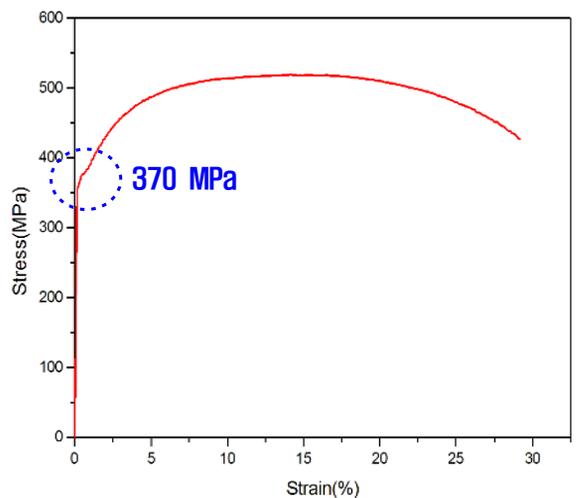


Fig. 7. 종주의 응력 - 변형률 선도

재의 연성 및 균열의 유무를 동시에 시험하기 위해서 주요 부재의 굽힘 실험을 실시하였다. 측정된 굽힘 모

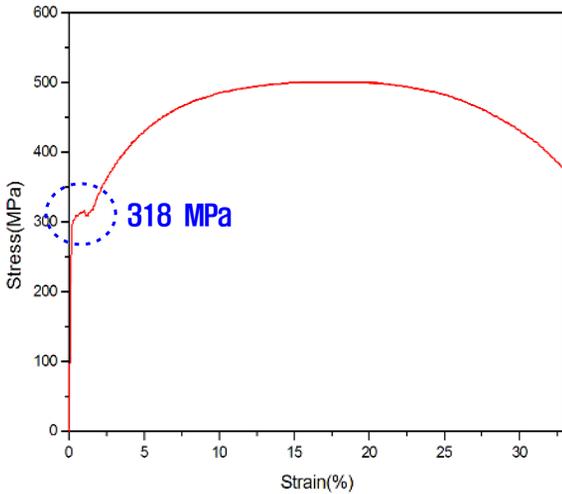


Fig. 8. 교골의 응력 - 변형률 선도

멘트는 장간 93.67kN·m, 종주 99.29kN·m, 경사교골 92.60kN·m으로 나타났다. 이는 교법에 제시한 주요 부재의 기준 모멘트인 30kN·m(10ft·ton)보다 높은 값을 가지며 따라서 재료의 굽힘 강도는 생산 당시의 기준을 충족하고 있음을 알 수 있다.

3) 부식저항

실제 모든 장간조립교를 실내 창고에 보관할 수 없기 때문에 각종 부재에는 도색이 되어 있지 않는 표면에 녹이 쓴 상태를 쉽게 관찰할 수 있다. 장간조립교에 사용된 구조용 강 of의 중요한 특징은 인장 및 항복강도, 피로강도, 균열에 대한 인성과 부식 저항이다. 금속 부식은 구조물의 화학적 조성을 변화시켜 강도를 저하시킬 수 있으므로 구축된 구조물의 안전을 위협하는 중요한 요소이다.

장간조립교는 부식에 강한 A242강을 사용하였고, 표면에 코팅을 하여 내부부식을 더욱 강화하였다. 그러나 생산된 지 50년이 지나고 여러 부대에서 주로 야적 상태로 보관하고 있는 장간조립교는 주요 부재 표면에서 형성된 부식현상을 쉽게 찾아볼 수 있다.

Copson, H. R.은 오랜 기간동안 여러 가지 강 of의 부식정도를 실험하였는데 1941~1959년까지 약 18년간 미국 뉴저지주의 Bayonne에서 A242강 of의 부식실험을 실시하였다.^[7] 부식으로 인한 재료 of의 두께 손실은 0.05mm/18년으로 연간 약 0.0027mm of의 두께 손실이 나타난다. 다시 말하면 100년이 경과하면 0.27mm of의 두께가 부식으로 인하여 손실됨을 의미한다. 위

of의 실험 지역은 사계절이 뚜렷한 우리나라와 비슷한 기후를 보이고 있으나 실험에서 사용된 재료는 표면에 보호 코팅막이 없고, 표준시편으로 가공한 후 태양에 약 39도의 각도로 세워서 측정 of 실험자료이다. 따라서 표면에 부식 저항 코팅과 표면 도색으로 부식을 최소화한 장간조립교 of의 부재가 위 of 실험 재료보다 부식이 더욱 느리게 진행된다고 판단할 수 있다.

그러나 현재 조립되어 영구적으로 사용되는 장간조립교가 아닌 조립되지 않는 부재를 측정 of 결과이므로 조립상태에서 피로로 인한 국부 부식은 매우 드물다고 판단되고 결론적으로 부식으로 인한 장간조립교 부재 of 강도 저하는 매우 미미하지만 부재 내부 of 결합, 국소적 of 부재 of 응력집중으로 인한 국부부식현상은 부분적 of 강도 of 저하를 초래할 수 있다고 판단된다.

3. 결론

본 연구는 합동참모본부에서 의뢰한 “노후된 병참선 교량 복구자재 강도 검증을 통한 병참선 복구능력 제고”를 위한 연구로서 현재 야전에서 사용되는 필수적 of 교량인 장간조립교 of 안정성 여부를 강도 검증과 부식 저항을 실험을 통해 살펴보았다.

- 장간조립교 부재 of 재료는 부식에 강하고 주로 구조용에 많이 사용되는 ASTM A242강이며 시험에서 측정 of 주요 부재 of 강도 및 굽힘 모멘트는 기준 항복강도 및 굽힘 모멘트보다 높은 수치를 보이고 있다.
- 장간조립교 부재 of 표면 부식은 부재 강도에 거 of 영향이 없는 것으로 판단되나, 재료내부 of 결합 또는 응력 of 집중으로 존재할 수 있는 특정 부위 of 국부적 of 부식 of 심화는 부재 강도 of 저하를 발생시킬 수도 있다.

결론적으로 장간조립교 주요 부재 of 강도 자체에는 지속적인 운용에 있어 문제가 없는 것으로 판단된다. 장차 이러한 결과를 바탕으로 유한요소 해석 프로그램을 이용한 실제 장간조립교 of 다양한 부하부여 시 하중 of 분포 및 교법상 of 굽수 충족 여부를 연구할 예정이다.

Reference

- [1] 육군본부, 기술교범 5(6)-277 장간조립교, 2007.
- [2] Bailey Bridges, Inc. [www. Baileybridge.com](http://www.baileybridge.com)
- [3] 육군본부, 기술교범 5(6)-312 군용교량 구축 및 관리, 2005.
- [4] Dieter, Mechanical Metallurgy 3rd, MacGraw-Hill, 1989.
- [5] “간편조립교의 시험평가비법”, 국방과학연구소, 연구보고서, 1988.
- [6] W. S. King, and L. Duan, “Experimental Investigations of Bailey Bridges”, Technical Notes, J. of Bridge Eng., 2003.
- [7] H. R. Copson, “Long-time Atmospheric Corrosion Tests on Low-alloy Steels”, ASTM 60, pp. 650~657, 1960.