

유한요소해석을 통한 장간조립교 주요 부재의 안정성 분석 연구

A Study on the Analysis for the Stability of Bailey Panel Bridge by FEM

이 종 우*	이 재 영*	조 성 식**	유 삼 현*
Jong-Woo Lee	Jae-Young Lee	Seong-Sik Cho	Sam-Hyun Yoo
최 현 호*	윤 우 섭*	김 태 양*	
Hyun-Ho Choi	Woo-Seob Yun	Tae-Yang Kim	

Abstract

In this paper, the results of computational analysis for the stability and F.S.(Factor of Safety) of Bailey Panel Bridge have been presented by FEM(Finite Element Method). The computational analysis was conducted by using LUSAS V14.0 that is a program applicated in the field of Civil Engineering. 6-free beam elements and 3-free truss elements were considered and F.S. against Yield Stress of main sections(considered self-weight and Live-Load) was investigated through the linear-elastic analysis method. The results showed that currently used sections of bailey bridge satisfied for the standard F.S. unit and could be operated in drill of troops and battle fields.

Keywords : F.S.(안전율), FEM(유한요소해석), Yield Stress(항복응력), 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 유한요소해석을 통한 안정성 분석 결과를 제시한 것이다.

M2 장간조립교(Bailey Panel Bridge)에 관한 운용개념

및 현재 제기되고 있는 문제점, 제한사항은 이전에 발표한 ‘장간조립교 주요 부재의 강도 분석 연구’^[1~3]를 참조하길 바라며 본 연구의 목적은 유한요소해석을 통해 장간조립교 부재의 안정성을 분석하고 운용능력이 부족하다고 판단될 시 대안을 모색하는데 있다.

본 연구에서는 선형탄성해석을 통해 부하하중에 따른 각 주요부재의 항복응력에 대한 안전율을 검토하였다. 그리고 주요 부재에 대해 오일러의 좌굴식에 의해 좌굴강도를 계산하고 이에 대한 안정성을 검토하였다. 마지막으로 해석 결과 큰 범선응력이 발생하는 주요 부재의 파괴에 대한 구조물의 안전성을 검토하여 주요 부재의 항복, 결손 및 좌굴 등에 따른 파괴가 전체 구조물의 안전을 변화에 미치는 영향을 검토하였다^[4,5].

† 2011년 3월 1일 접수~2011년 5월 13일 게재승인

* 육군사관학교(Korea Military Academy)

** 고려대학교(Korea University)

책임저자 : 이종우(jonglee@kma.ac.kr)

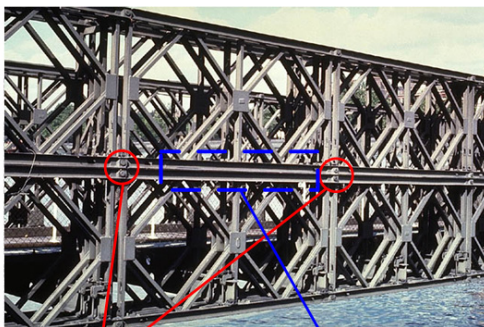


Fig. 1. 장간조립식 교량

2. LUSAS 모델 및 방법

해석프로그램은 LUSAS V14.0을 사용하였고, 해석법은 선형-탄성해석 방법을 통해 6-자유도 보요소와 3-자유도 트러스요소를 고려하였다. M2 장간조립교 구조물의 자중과 차량하중에 대한 모델을 구성하여 해석하였다.

본 연구는 유한요소해석법을 통해 외력의 작용에 대한 구조물의 거동을 규명하였다. 본 구조물은 일반적인 트러스교량의 형식을 띠고 있는데, Fig. 2에서 보는 바와 같이 상현재 및 하현재는 사재와 수직재로 지지되어 있고, 각각의 절간이 핀접합으로 되어 있기 때문에 상현재 및 하현재는 모멘트까지 전달할 수 있는 보(Beam)요소로 모델링 하고 핀접합으로 되어 있는 요소에 대해서는 휨구속을 제거하여 실제 접합상태를 고려한 유한요소 모델을 이용하였다.



핀(Pin)접합
- 보요소 끝단의
회전자유도 구속 제거

보요소로 모델링

Fig. 2. 모델의 접합형식 및 적용 모델링 기법

결론적으로 상현재 및 하현재는 보요소로 모델링하고 사재, 수직재, 가로 연결판 및 하부 가로보는 트러스요소로 모델링하였다. 즉, 상현재 및 하현재는 축력에 의한 범선응력 뿐만 아니라 휨모멘트에 의한 범선응력을 모두 고려하였고 나머지 주요 부재에 대해서는 축력에 의한 범선응력 성분만을 고려하여 재료적 항복 여부를 검토하였다. 재료의 물성치는 탄성계수가 210GPa, 항복응력은 300MPa이다. Fig. 3은 강재의 응력-변형률 선도를 나타내고 있다¹⁶⁾.

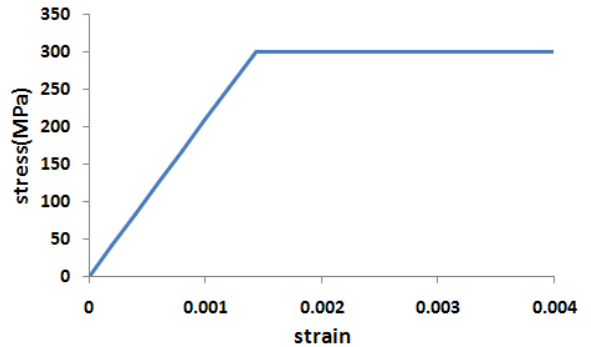
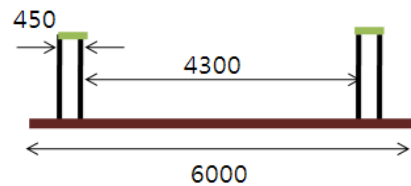
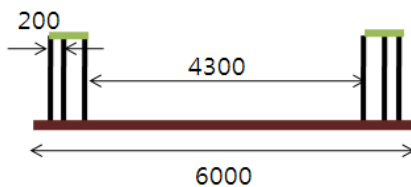


Fig. 3. 강재의 응력-변형률 곡선

본 연구에서는 단일복식 교량과 단일 삼중식 교량의 2가지 모델을 구성하여 부재별 응력을 검사하고, 교량 자중 및 활하중(트럭하중) 적용 시 구조물의 안전성 변화를 유한요소해석을 통하여 검토하였다. Fig. 4는 해석대상 교량의 단면도이다.



(a) 단일복식 교량의 단면도



(b) 단일삼중식 교량의 단면도

Fig. 4. 해석 대상 교량의 단면도

3. 부재별 응력 검사

본 장에서는 상·하현재 및 사재의 범선 응력분포에 대한 유한요소해석 결과를 나타내었다. 고려한 하중은 앞서 언급한대로 해석 대상 교량의 자중과 기준 급수 기준에 의한 차랑하중이고 두 하중을 각각 해석하여 해석 결과를 중첩, 최종 해석 결과를 나타내었다. 차랑하중은 가장 큰 전단력과 굽힘모멘트를 계산하기 위해 교랑 중앙에 놓여있다고 가정하여 교랑 모델 중앙부에 분산하여 집중하중으로써 재하 하였다. Fig. 5와 6에는 각 하중조합에 따른 교랑의 변형형상을 나타내고 있다.

가. 상·하현재의 각 하중별 범선응력 분포

1) 단일복식 교랑

Fig. 5와 6에서는 교랑의 자중 및 차랑하중에 따른 교랑 상·하현재의 범선응력을 교랑의 길이방향에 따라 내측과 외측으로 분리하여 도시하였다. 대칭적인 교랑의 형태와 재하되는 하중의 대칭성에 따라 해석 결과 역시 지간 중앙부를 따라 대칭적으로 나타나기 때문에 지간 중앙을 기준으로 왼쪽 구간의 결과만을 그래프로 도시하였다. 즉 0.0m ~ 18.0m 사이의 부재에 대한 범선응력을 그래프로 도시하였다.

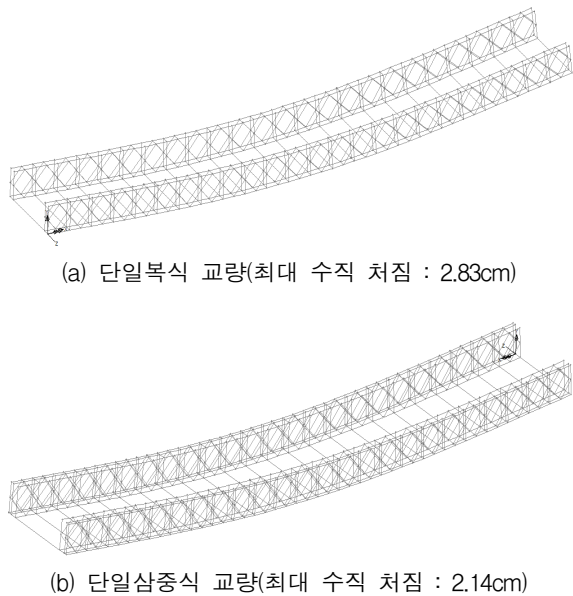


Fig. 5. 선형-탄성해석에 의한 구조물의 변형도(자중, Self Weight)

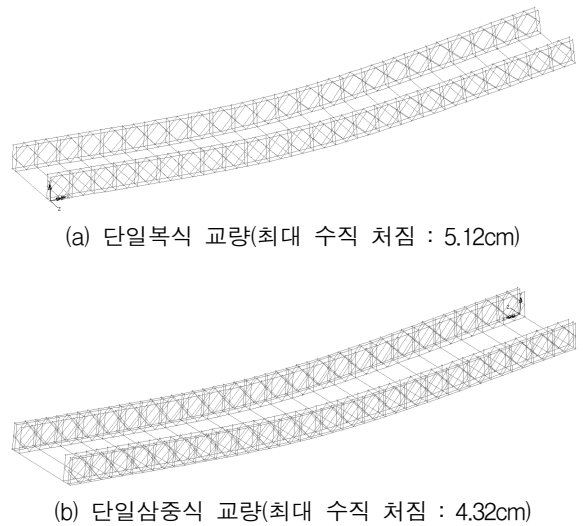
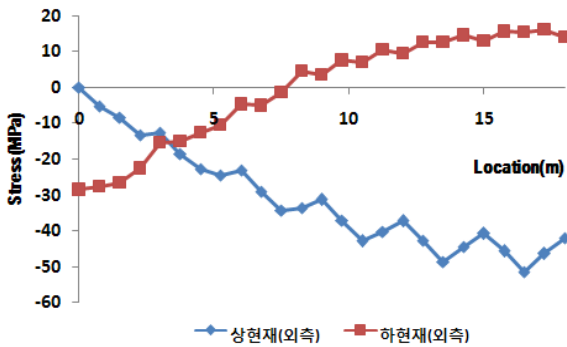


Fig. 6. 선형-탄성해석에 의한 구조물의 변형도(차랑 하중, 34.0ton)

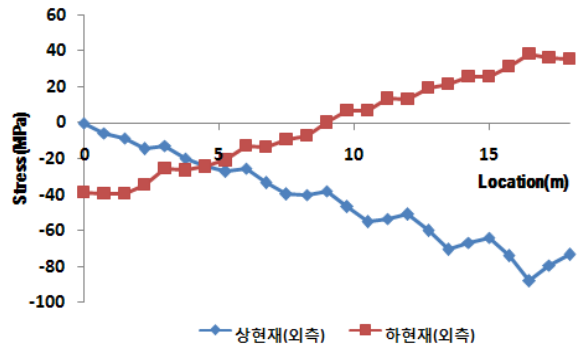
상현재와 달리 하현재의 경우 교랑의 양 지점은 교축방향도 구속된 양단 핀 조건으로 해석되었기 때문에 축방향 반력이 발생하였는데 이는 인근하는 하현재가 압축력이 발생하는 역할을 하였다. 따라서 상현재는 압축재, 하현재는 인장재의 역할을 하는 일반 단순지지형식의 트러스 교랑과 달리 본 교랑의 하현재는 지점으로부터 약 0.2L 되는 지점의 부재까지는 압축응력이 발생하는 해석결과를 보이고 있다.

Fig. 7, 8과 같이 범선응력의 분포가 해석결과로 나타났는데, 상현재의 경우 중앙지간으로 갈수록 압축응력이 커지고 앞서 언급한대로 하현재의 경우 지점부 부재는 압축응력을 받고 있고 중앙지간으로 갈수록 응력이 작아지다가 인장응력이 발생, 인장력을 부담하는 부재의 역할을 하는 것으로 나타나고 있다. 응력의 크기를 살펴보면 상현재의 경우 최대 압축응력은 두 하중의 경우 모두 지간의 중앙부에서 나타났으며 그 크기는 교랑 자중에 의해 내측 상현재에서 -51.41MPa, 차랑하중에 의해 내외측 상현재에서 -88.17MPa가 발생하였다.

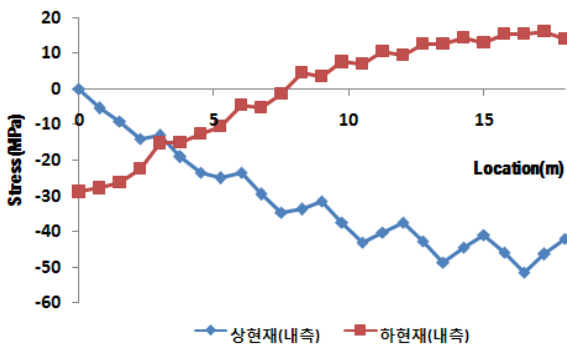
하현재의 경우 최대 압축응력은 -28.85Mpa, 최대 인장응력은 16.19Mpa가 발생하여, 상하현재 모두 압축력이 지배적인 것으로 나타났다. 차랑하중에 대해서는 상현재의 경우 -88.17MPa의 최대 압축응력이 발생하였고 하현재의 경우 -39.49Mpa 및 38.19의 최대 압축, 인장응력이 발생하였다. 즉, 차랑하중에 대해서 상현



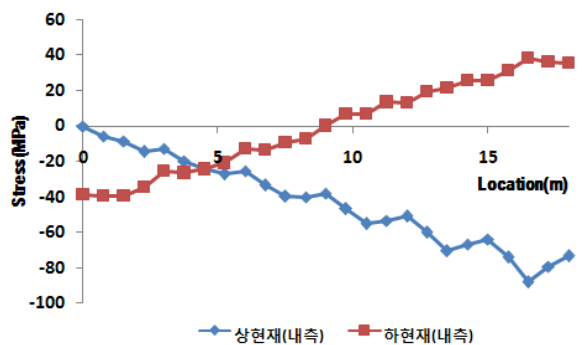
(a) 외측 상 · 하현재(abs.max : -51.36MPa)



(a) 외측 상 · 하현재(abs.max : -88.17MPa)



(b) 내측 상 · 하현재(abs.max : -51.41MPa)



(b) 내측 상 · 하현재(abs.max : -88.17MPa)

Fig. 7. 교량 자중에 의한 상 · 하현재의 법선 응력 분포(단일복식 교량)

Fig. 8. 차량하중에 의한 상 · 하현재의 법선 응력 분포(18.0ton, 0km/h)

재는 압축응력이, 하현재는 인장응력이 지배적인 것으로 나타났는데 인장응력과 압축응력의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

2) 단일삼중식 교량

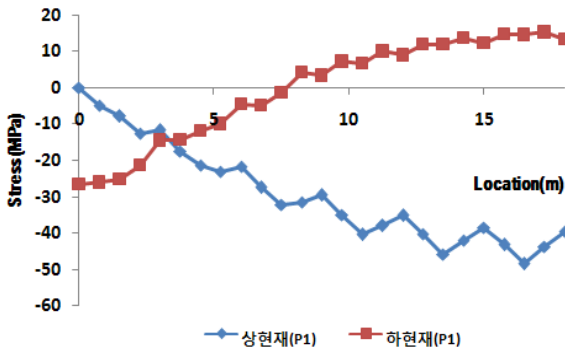
교량의 자중 및 차량하중에 따른 교량 상 · 하현재의 법선응력을 교량의 길이방향에 따라 Fig. 9와 같이 P1, P2, P3로 분리하여 도시하였다. 대칭적인 교량의 형태와 재하되는 하중의 대칭성에 따라 해석 결과 역시 지간 중앙부를 따라 대칭적으로 나타나기 때문에 지간 중앙을 기준으로 왼쪽 구간의 결과만을 그래프로 도시하였다. 즉 0.0m ~ 18.0m 사이의 부재에 대한 법선응력을 그래프로 도시하였다. 상현재와 달리 하현재의 경우 교량의 양 지점은 교축방향도 구속된 양단 핀 조건으로 해석되었기 때문에 축방향 반력이 발생하였는데 이는 인근하는 하현재가 압축력이 발생하는 역할을 하였다.



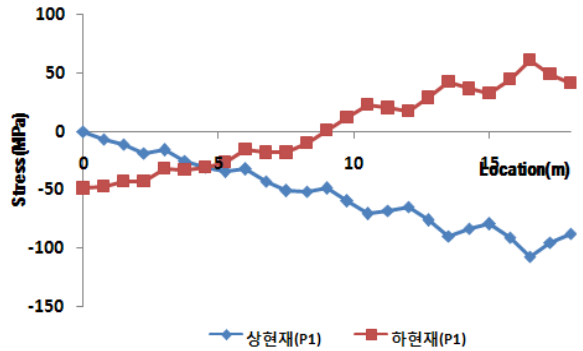
Fig. 9. 검토 패널의 정의(최외측-P1, 최내측-P3)

따라서 상현재는 압축재, 하현재는 인장재의 역할을 하는 일반 단순지지형식의 트러스 교량과 달리 본 교량의 하현재는 지점으로 부터 약 0.2L 되는 지점의 부재까지는 압축응력이 발생하는 해석결과를 보이고 있다.

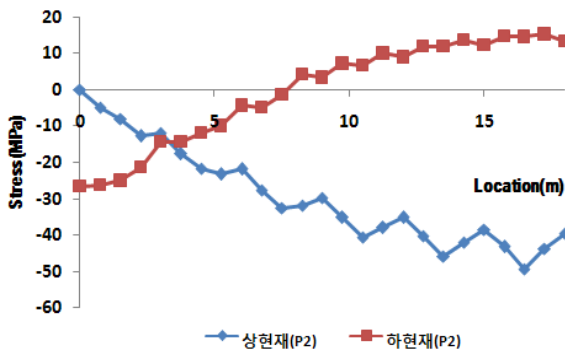
교량 자중과 차량하중에 의한 상 · 하현재의 법선응력 분포 해석 결과가 Fig. 10 및 11과 같이 나타났는데, 상현재의 경우 중앙지간으로 갈수록 압축응력이 커지고 하현재의 경우 지점부 부재는 압축응력을 받고 있고 중앙지간으로 갈수록 응력이 작아지다가 인



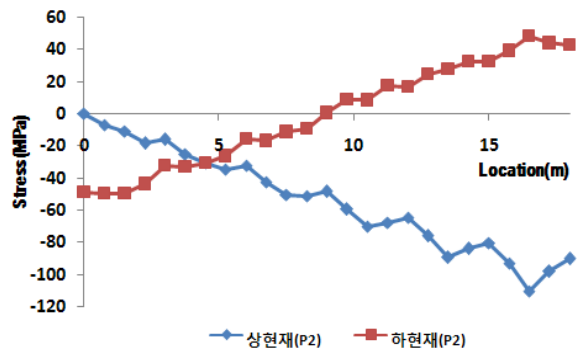
(a) P1축 상·하현재(abs.max : -48.48MPa)



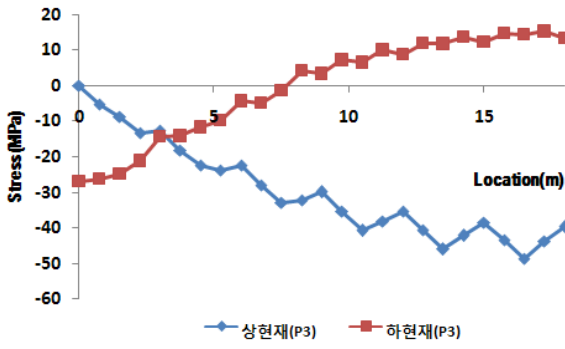
(a) P1축 상·하현재(abs.max : -107.3MPa)



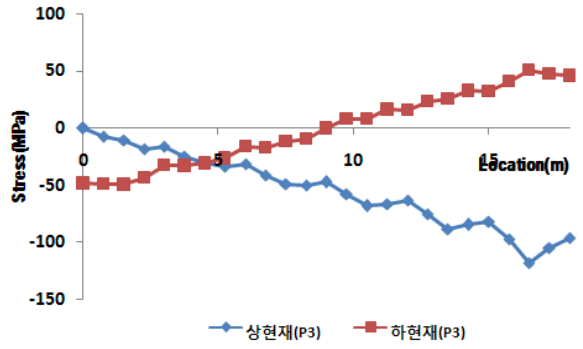
(b) P2축 상·하현재(abs.max : -49.39MPa)



(b) P2축 상·하현재(abs.max : -110.04MPa)



(c) P3축 상·하현재(abs.max : -48.58MPa)



(c) P3축 상·하현재(abs.max : -118.05MPa)

Fig. 10. 교량 자중에 의한 상·하현재의 법선 응력 분포(단일삼중식 교량)

Fig. 11. 차량하중에 의한 상·하현재의 법선 응력 분포(34.0ton, 0km/h)

장응력이 발생, 인장력을 부담하는 부재의 역할을 하는 것으로 나타나고 있다.

최대 압축응력의 발생위치를 살펴보면 상현재의 경우 두 하중 모두 지간의 중앙부에서 나타났으며, 그 크기는 교량 자중에 의해 P2축 상현재에서 -49.39MPa,

차량하중에 의해 P3축 상현재에서 -118.05MPa가 발생하였다. 하현재의 경우 최대 압축응력 및 최대 인장응력은 교량 자중에 의해 -26.95MPa, 15.30MPa가 발생하였고 차량 하중에 의해서는 -49.71MPa, 60.97MPa가 발생하였다.

나. 사재의 각 하중별 법선응력 분포

여기에서는 교량 길이방향에 따라 사재에 발생하는 축력에 의한 법선응력을 도식하고 분석하였다. 앞선 상, 하현재의 해석과 마찬가지로 교량의 자중 및 차량 하중에 대한 해석결과를 각각 도식하였고 Fig. 12와 같이 절간에 배치되어있는 사재를 상부와 하부 사재로 구분하여 해석결과로 검토 하였다. Fig. 13~16의 x 축은 사재의 번호를 나타내는데 사재의 번호는 Fig. 12와 같이 지점부터 교량 기간중앙까지 순차적으로 번호를 임의로 정의하였다. 즉, 1번 부재는 기간에 가장 가까운 절간의 사재이고 번호가 더해질수록 기간 중앙부에 가까운 것으로써 총 24개의 부재에 대해 해석결과를 도식하였다.(24번 부재는 기간 중앙에 가장 가까운 사재이다.)

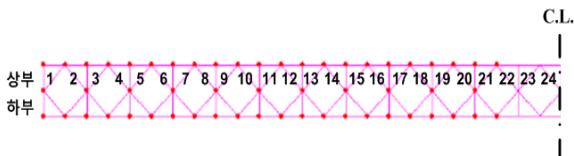
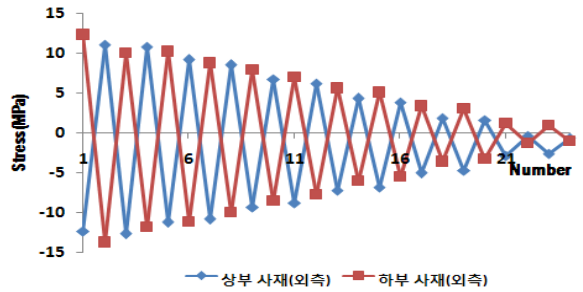


Fig. 12. 사재 절간 및 번호 정의

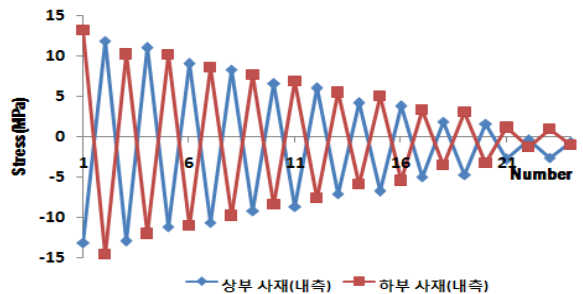
1) 단일복식 교량

Fig. 13은 교량 자중에 의한 사재의 법선응력을 나타내고 Fig. 14는 차량 하중에 의한 법선응력을 나타내고 있다. 사재는 축방향력만 발생하는 트러스요소로 가정하였기 때문에 축력성분에 의해 압축응력 또는 인장응력이 발생한다. Fig. 13과 14에서 나타난 바와 같이 법선응력의 발생 패턴이 하중 형태에 따라 다른데, 이는 작용하는 외력의 형태의 차이에 의한 것이다.

교량 기간에 따라 균일하게 분포하는 교량의 자중과 기간 중앙에 집중하중으로써 작용하는 차량하중에 따라 교량에 발생하는 전단력의 분포형태가 다른데, 사재는 트러스형태의 교량에서 이러한 전단력을 분담하는 구조체이기 때문에 작용하는 하중의 형태에 큰 영향을 받게 된다. 즉, 단순지지교량 또는 본 교량과 같은 양단 핀 지지교량의 경우 등분포하중에 의한 보의 전단력은 양 지점부가 가장 큰 절대값을 가지고 기간 중앙부로 갈수록 작아지다가 기간 중앙부에서 0이 되는 분포를 갖는데 반해 기간 중앙부에 집중하중이 작용할 경우 보의 전단력은 양 지점부에서 기간 중앙부까지 작용하는 집중하중의 절반의 크기로서 분포하게 된다. 따라서 교량 자중에 의한 사재의 법선응력 분포는 그 절대값의 크기가 중앙기간으로 갈수록 점

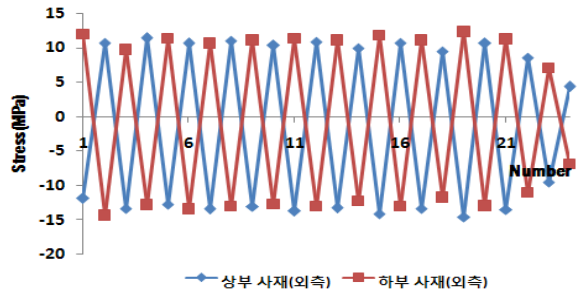


(a) 외측 사재(abs.max : -13.68MPa)

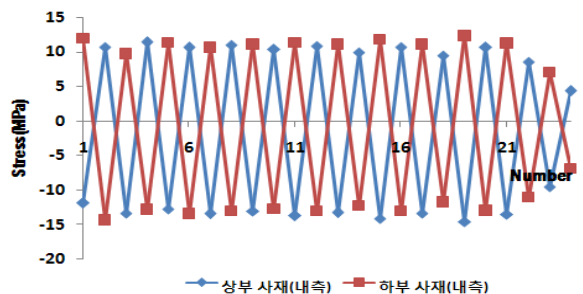


(b) 내측 사재(abs.max : -14.56MPa)

Fig. 13. 교량 자중에 의한 사재의 법선 응력 분포



(a) 외측 사재(abs.max : -14.51MPa)



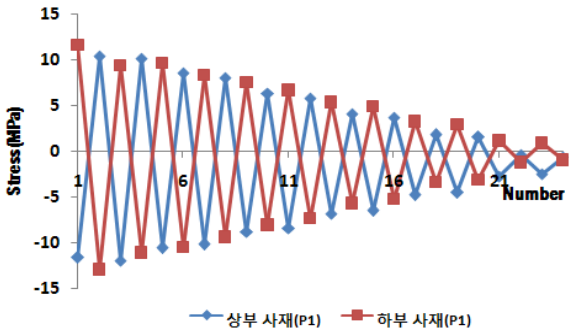
(b) 내측 사재(abs.max : -14.51MPa)

Fig. 14. 차량 하중에 의한 사재의 법선 응력 분포

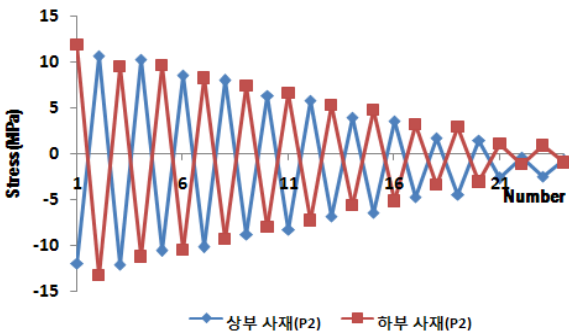
차 줄어들어 0에 가까워지는 반면 차량 하중에 의한 사재의 법선응력 분포는 전 지간에 걸쳐 그 크기가 거의 같은 형태로 발생함을 알 수 있다. 해석 결과 사재에 발생하는 최대 압축 응력은 교량 자중에 대해서 -14.56MPa 및 13.15MPa가 발생하였고, 차량 하중에 대해서는 -14.51MPa 및 12.32MPa가 발생하였다.(양수 : 인장응력, 음수 : 압축응력)

2) 단일삼중식 교량

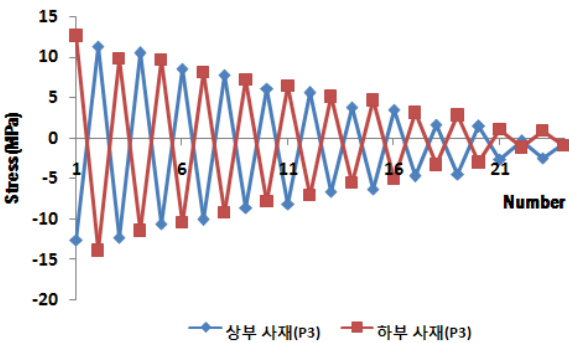
Fig. 15는 교량 자중에 의한 사재의 법선응력을 나타내고, Fig. 16은 차량 하중에 의한 법선응력을 나타내고 있다. 사재는 축방향력만 발생하는 트러스요소로 가정하였기 때문에 축력성분에 의해 압축응력 또는 인장응력이 발생한다.



(a) P1측 사재(abs.max : 12.90MPa)

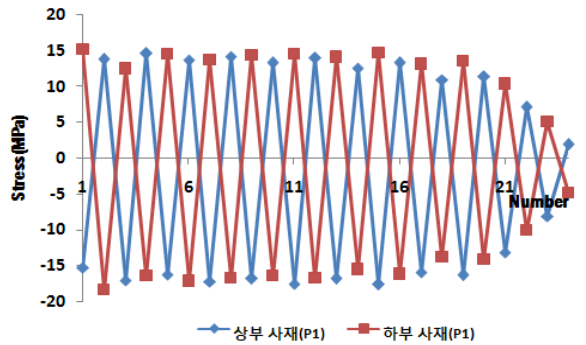


(b) P2측 사재(abs.max : 13.19MPa)

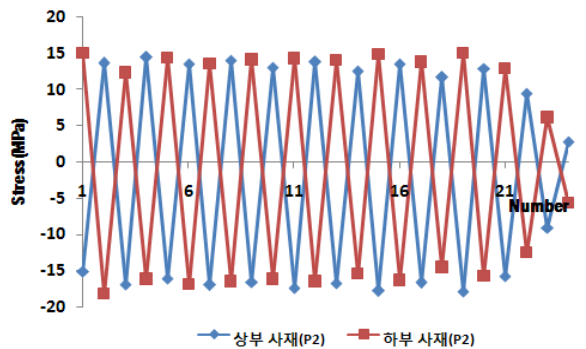


(c) P3측 사재(abs.max : -13.90MPa)

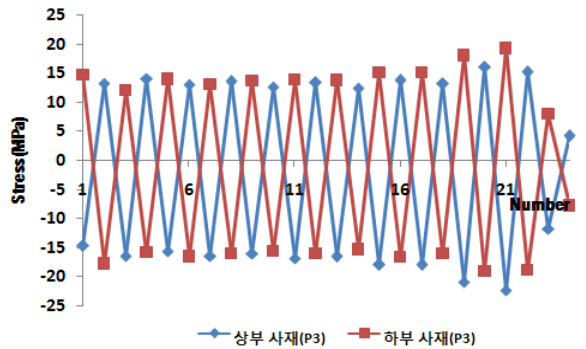
Fig. 15. 교량 자중에 의한 사재의 법선 응력 분포



(a) P1측 사재(abs.max : -18.32MPa)



(b) P2측 사재(abs.max : 18.15MPa)



(c) P3측 사재(abs.max : -22.36MPa)

Fig. 16. 차량 하중에 의한 사재의 법선 응력 분포

Fig. 15와 16에서 나타난 바와 같이 범선응력의 발생 패턴이 하중의 경우에 따라 다른데, 이는 작용하는 외력 형태의 차이에 의한 것이다. 교량 지간에 따라 균일하게 분포하는 교량의 자중과 지간 중앙에 집중하중으로써 작용하는 차량하중에 따라 교량에 발생하는 전단력의 분포형태가 다른데, 사재는 트러스형태의 교량에서 이러한 전단력을 분담하는 구조물이기 때문에 작용하는 하중의 형태에 큰 영향을 받게 된다. 즉, 단순지지교량 또는 본 교량과 같은 양단 핀 지지교량의 경우 등분포하중에 의한 보의 전단력은 양 지점부가 가장 큰 절대값을 가지고 지간 중앙부로 갈수록 작아지다가 지간 중앙부에서 0이 되는 분포를 갖는데 반해 지간 중앙부에 집중하중이 작용할 경우 보의 전단력은 양 지점부에서 지간 중앙부까지 작용하는 집중하중의 절반의 크기로써 분포하게 된다.

따라서 교량 자중에 의한 사재의 범선응력 분포는 그 절대값의 크기가 중앙지간으로 갈수록 점차 줄어들어 0에 가까워지는 반면 차량 하중에 의한 사재의 범선응력 분포는 전 지간에 걸쳐 그 크기가 거의 같은 형태로 발생함을 알 수 있다.

해석 결과 사재에 발생하는 최대 응력은 교량 자중에 대해서 -13.9MPa 및 13.19MPa가 발생하였고, 차량 하중에 대해서는 -22.36MPa 및 18.15MPa가 발생하였다.(양수 : 인장응력, 음수 : 압축응력)

4. 구조물의 안전율 분석⁽⁷⁾

본 검토에서는 압축력을 받는 주요 부재의 이론식(기동부재에 대한 오일러의 탄성좌굴식)에 의한 탄성좌굴강도가 충분히 확보되어 있다고 판단되어 트러스형태의 교량에 대해 선형-탄성해석을 통해 재료적 항복에 대한 안전율을 검토하였다. 고려한 하중형태는 교량의 자중과 차량 하중이고 차량 하중은 급수기준인 18.0tonf를 고려하였다. 도로교설계기준(2005, 대한토목학회)에서는 활하중에 대해 충격하중도 고려하기 때문에 본 검토에서는 차량하중에 충격계수를 고려한 결과를 검토하였고, 강재의 재료적 항복에 대한 안전율을 최대 응력이 발생하는 상, 하현재 및 사재 등의 주요 부재에 대해 다음과 같이 산출하였다. 그리고 상현재 또는 사재 등의 주요 부재의 파괴가 구조물의 안전성에 미치는 영향을 분석하였다.

가. 단일복식 교량

Table 1에는 자중과 차량하중(18.0ton, 0km/h)에 대한 각 부재의 최대 범선응력을 나타내고 항복응력에 대한 안전율을 나타내었는데 나타난 바와 같이 상현재가 가장 큰 압축응력이 발생하여 가장 작은 안전율(2.15)을 보이고 있고 상대적으로 수직재가 가장 작은 압축력 및 가장 큰 안전율(23.29)을 보이고 있다. 본 구조물은 주로 압축력에 의한 압축응력이 지배적인 구조물으로써 부재 단면의 재료적 항복뿐만 아니라 부재의 좌굴에 대해서도 검토할 필요가 있다. 수직재 및 사재로 지지된 하나의 상현재 및 인접한 두 수직재로 지지된 상현재의 좌굴 강도를 오일러의 탄성좌굴식에 의해 계산하면 다음과 같다.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{kl^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 1855446}{750^2} = 6,836.7 \text{ kN}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{kl^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 1855446}{1500^2} = 1,709.2 \text{ kN}$$

이를 좌굴응력으로 환산하면 아래와 같다.

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{6836.7}{3438} \times 10^3 = 1,988.6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{1709.2}{3438} \times 10^3 = 497.2 \text{ MPa}$$

즉, 본 구조물의 상, 하현재는 수직재 및 사재가 충분히 보강되어 유효좌굴길이가 매우 짧아 좌굴에 대해서는 큰 안전율을 보인다고 판단할 수 있고 각 부재의 주요 파괴 요인은 과도한 범선응력에 따른 부재 단면의 항복인 것으로 판단된다.

가장 작은 안전율을 보이는 부재는 상현재이고 강재의 항복강도(300MPa)에 대한 안전율은 2.15로 산출되었는데 허용 설계 응력을 부재의 항복응력에 대해 어느 정도까지 허용하느냐에 따라 이 안전율은 달라질 수 있다. 하현재, 수직재 그리고 사재의 경우 안전율이 충분히 확보되었다고 볼 수 있으나 상현재의 경우 부재의 항복응력에 대해 2.15의 수준으로 안전율이 분포하므로 보다 더 안전성을 도모하기 위해서는 주요부재 단면의 확대 등의 보강이 필요할 것이라 판단된다.

Table 1. 각 부재 별 최대 법선응력과 안전율

구 분	법선응력 (MPa)	항복응력 (MPa)	항복응력에 대한 안전율(F.S)
상현재	-139.53	300.0	2.15
	-139.58	300.0	2.15
하현재	-67.04	300.0	4.47
	-67.41	300.0	4.45
수직재	-12.88	300.0	23.29
	-13.32	300.0	22.52
사재	25.05	300.0	11.98
	-28.92	300.0	10.37

나. 단일삼중식 교량

Table 2에는 자중과 차량하중(34.0ton, 0km/h)에 대한 각 부재의 최대 법선응력을 나타내고 항복응력에 대한 안전율을 나타내었는데 나타난 바와 같이 상현재가 가장 큰 압축응력이 발생하여 가장 작은 안전율(P3, 1.80)을 보이고 있고 상대적으로 수직재가 가장 작은 압축력 및 가장 큰 안전율(P1, 21.07)을 보이고 있다.

장간조립교 구조물은 주로 압축력에 의한 압축응력이 지배적인 구조물으로써 부재 단면의 재료적 항복 뿐만 아니라 부재의 좌굴에 대해서도 검토할 필요가 있다. 수직재 및 사재로 지지된 하나의 상현재 및 인접한 두 수직재로 지지된 상현재의 좌굴 강도를 오일러의 탄성좌굴식에 의해 계산하면 다음과 같다.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{kl^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 1855446}{750^2} = 6,836.7 \text{ kN}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{kl^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 1855446}{1500^2} = 1,709.2 \text{ kN}$$

이를 좌굴응력으로 환산하면 아래와 같다.

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{6836.7}{3438} \times 10^3 = 1,988.6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{1709.2}{3438} \times 10^3 = 497.2 \text{ MPa}$$

즉, 본 구조물의 상, 하현재는 수직재 및 사재가 충분히 보강되어 유효좌굴길이가 매우 짧아 좌굴에 대해서는 큰 안전율을 보인다고 판단할 수 있고 각 부재의 주요 파괴 요인은 과도한 법선응력에 따른 부재 단면의 항복인 것으로 판단된다.

가장 작은 안전율을 보이는 부재는 상현재이고 안전율은 1.80로 산출되었는데 허용 설계 응력을 부재의 항복응력에 대해 어느 정도까지 허용하느냐에 따라 이 안전율은 달라질 수 있다. 하현재, 수직재 그리고 사재의 경우 안전율이 충분히 확보되었다고 볼 수 있으나 상현재의 경우 부재의 항복응력에 대해 약 1.80의 수준으로 안전율이 분포하므로 보다 더 안전성을 도모하기 위해서는 주요부재 단면의 확대등의 보강이 필요할 것이라 판단된다.

Table 2. 각 부재 별 최대 법선응력

구 분	법선응력 (MPa)	항복응력 (MPa)	항복응력에 대한 안전율(F.S)
상현재	P1 -155.79	300.0	1.93
	P2 -159.42	300.0	1.88
	P3 -166.63	300.0	1.80
하현재	P1 75.57	300.0	3.97
	P2 -75.54	300.0	3.97
	P3 -75.37	300.0	3.98
수직재	P1 -14.24	300.0	21.07
	P2 -14.31	300.0	20.96
	P3 -14.51	300.0	20.68
사재	P1 -31.22	300.0	9.61
	P2 -31.34	300.0	9.57
	P3 -31.67	300.0	9.47

5. 결론

본 연구는 합동참모본부에서 의뢰한 “노후된 병참선 교량 복구자재 강도 검증을 통한 병참선 복구능력 제고”를 위한 연구로서 현재 야전에서 사용되는 필수적인 교량인 장간조립교의 안정성 여부를 유한요소해석을 통해 살펴보았다.

- LUSAS 프로그램을 이용한 유한요소법으로 장간조립교의 하중분포와 응력의 정도를 해석한 결과, 단일 복식 및 삼중식의 경우 34ton 차량의 하중을 고려하여도 기준강도(300MPa)를 벗어나지 않았다.
- 주요 부재의 안전을 분석을 통해 단일복식 및 단일삼중식 구조 모두에서 상현재의 안전율이 2.15와 1.80으로 가장 낮게 나타났으나, 충분한 안전율을 확보하고 있는 것으로 판단된다.
- 실험을 통한 강도 측정 결과와 모델링 해석 결과, 기술교범에 나타난 교량급수의 조정 없이 현재의 장간조립교에 적용 가능할 것으로 판단된다.

결론적으로 장간조립교 주요 부재의 강도는 기술교범상의 교량급수 적용 하 지속적인 운용에 문제가 없는 것으로 판단된다.

References

- [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] 국방과학연구소, 연구보고서 “간편조립교의 시험평가비법”, 1988.
- [5] W. S. King, and L. Duan, “Experimental Investigations of Bailey Bridges”, Technical Notes, J. of Bridge Eng., 2003.
- [6] Dieter, Mechanical Metallurgy 3rd, MacGraw-Hill, 1989.
- [7] 대한토목학회, 도로설계기준, 2005.