

가동 브라켓 구조물의 내구 성능 향상 방안 연구

박용석^{1*}, 서정범²
¹인하공업전문대학 기계과, ²한틀엔지니어링

A Study on the Durability Improvement of Movable Bracket Structures

Yong-Suk Park^{1*} and Jeong-Beom Seo²

¹Dept of Mechanical Engineering, Inha Technical College

²Hantle Engineering

요 약 전차에 전기를 공급하는 장치인 가동 브라켓 구조물은 전차가 통과할 때 반복적인 하중을 받는다. 이러한 반복하중은 가동 브라켓 구조물을 구성하는 나사들을 풀리게 하는 가진원이 되고 있다. 본 논문에서는 전산 시뮬레이션을 이용하여 반복적인 진동에 의한 볼트 풀림에 대한 원인과 대책에 대하여 연구하였다. 그 결과 전산 시뮬레이션 모델이 구축되어 가동브라켓 구조물의 동적응답 해석이 가능하게 되었다. 가동 브라켓 구조물의 볼트 풀림에 대한 주된 가진 주파수 영역이 200 Hz 미만임을 확인하였으며, H 빔의 강성을 증가함으로써 볼트풀림을 방지할 수 있음을 알 수 있었다. 아울러 볼트 풀림 원인이 되는 300, 600Hz 대역에서 발생하는 하부밴드 브라켓의 진동 모드를 확인하였으며, 강성을 올리는 것은 200Hz 이상에서의 볼트 풀림을 방지할 수 있는 효과를 나타냄을 확인하였다.

Abstract The movable bracket structure, which is an apparatus for supplying electric power to a running electric locomotive, is applied by a repeated load during the passage of the electric locomotive. Such a repeated load becomes an excitation source that causes screws constituting the movable bracket structure to be loosened. This study was conducted on the causes and countermeasures of the bolt loosening caused by the repeated vibration using a computer simulation. As the result, a simulation model was constructed to enable the dynamic analysis of the movable bracket structure. It could be found that the principal excitation frequency range for the bolt loosening of the movable bracket structure was less than 200 Hz. In addition, the bolts are prevented from being loosened by increasing stiffness of H beams. The vibration mode of a lower band bracket is found to be triggered in a frequency range between 300 and 600 Hz. And the increase in stiffness of the lower band bracket exhibits the effect to avoid the bolt loosening at a frequency range of 200 Hz or more.

Key Words : Movable bracket structure, Electric locomotive, H Beams, Lower band bracket, Catenary

1. 서론

고유가 시대에 대비하며 친환경적이며 안전성과 편리함을 추구하는 고속철도는 차세대 교통수단으로 자리잡고 있다. 향후 도시간 광역 철도망 형성으로 이용이 보다 크게 확대될 예정이다. 가선계는 전차에 동력을 공급하는 장치를 말하며, 고속 전철의 동력공급은 가선계(catenary)로부터 열차에 부착된 집전계(pantograph)를 통하여 이루어진다. 열차의 고속화에 따라 발생하는 전차선로와 집전

장치와의 동적상호작용의 안정화는 매우 중요한 분야로 이에 대한 연구가 국내에서도 1990년대 초반부터 진행되었다[1].

전차에 동력을 공급하는 장치인 가선계(catenary) 동특성 연구가 진행되어 왔다[2-4].

전차선과 조가선을 지지하기 위하여 지주(철주, 철탑, 콘크리트주, I형강 등)에 설치한 외팔보를 가동 브라켓(movable bracket)이라 한다. 가동 브라켓의 재질에 따른 성능비교에 대한 연구[5]가 진행되었고, Lee[6]은 고속주

본 논문은 2009년도 인하공업전문대학 교내연구비 지원에 의해 수행되었음.

*교신저자 : 박용석(yspark@inhac.ac.kr)

접수일 11년 01월 18일 수정일 11년 02월 17일

게재확정일 11년 03월 10일

행시 경간 지지점인 가동 브라킷에 작용하는 동적하중을 수치해석으로 검토하였다.

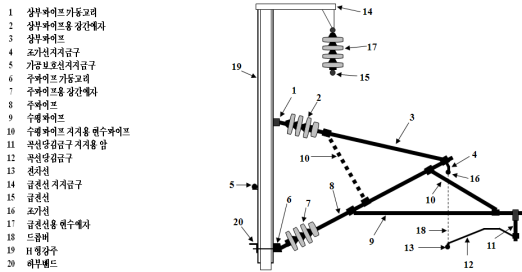
대부분의 연구들이 가선계의 특성과파악에 대한 연구들로 가선계를 지지하는 가동 브라킷을 지주에 고정, 장착하는 가동 브라킷 구조물에 대한 특성 해석은 전무한 실정이다. 가동 브라킷 구조물은 전차가 진행할 때 주기적으로 만나게 되며, 이 때 발생하는 충격하중에 의하여 진동이 발생하고 가동 브라킷 구조물을 연결하는 주요 볼트들이 풀어지는 현상이 발생하게 된다. 전차와 같이 주기적으로 가동 브라킷 구조물에 하중을 주는 경우에는 일반적으로 구조물의 내구 연한에 대한 설계 규격이나 설치 방법의 제한이 요구된다. 이러한 규격을 정하기 위해서는 많은 경험이 필요하지만, 최근에는 전산 시뮬레이션을 통하여 많은 경험에서 도출할 수 있는 정보들은 얻어 내고 있다.

본 연구에서는 가동 브라킷 구조물의 볼트 풀림을 예측할 수 있는 전산 시뮬레이션 모델을 개발하고, 성능을 향상시킬 수 있는 방법에 대해서 연구하였다.

2. 시스템의 모델링

2.1 가동브래킷의 구조

가동브래킷은 그림 1과 같이 카네터리 가선방식의 전차선로에서 전차선(13)과 조가선(16)을 지지하기 위하여 전주 혹은 하수간에 설치한 외팔보를 브라킷(bracket)이라 하며, 온도 변화에 의한 전차선, 조가선의 신축에 따라 좌우로 회전하는 구조로 이루어져 있다.



[그림 1] 가동 브라킷 구조물

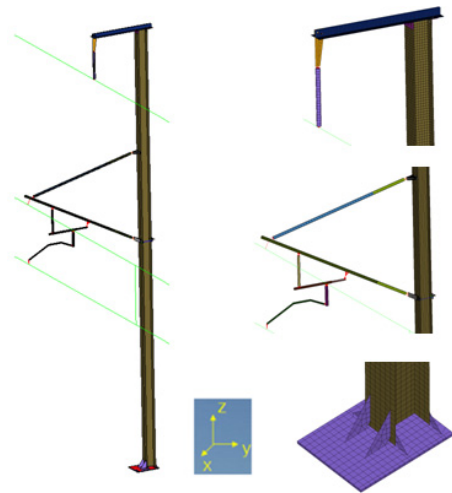
2.2 전산 시뮬레이션 모델 구축

전산해석에는 Altair사의 HyperWorks를 사용하였으며, RADIOSS Linear 9.0을 이용하여 해석하였다. 가동 브라킷 구조물의 각 부위는 쉘(Shell, CQUAD4, CTRIA3)로 모델링하였으며, 주물 부재는 솔리드(Solid, CTETRA)로

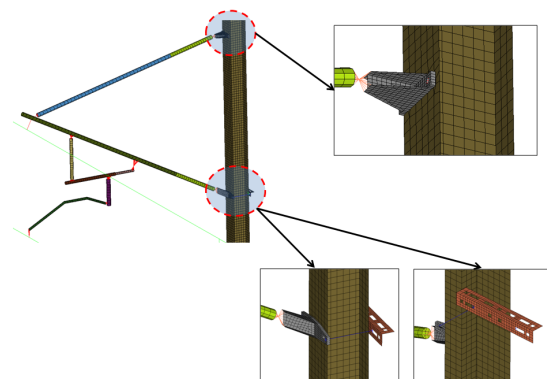
모델링 하였다.(총 사용 Node : 13,818개) 애저는 솔리드로 단순화 하여 모델링 하였으며, 무게와 강성을 등가 처리하였다. 표 1은 해석에 사용된 물성치를 나타내고 있으며, 그림 2는 전체모델을, 하부밴드(그림1에서 (20)번) 상세모델은 그림 3과 같이 구성하였다.

[표 1] 해석에 사용된 물성치

| Parameter | Steel | Insulator |
|------------------------|-----------------------|----------------------|
| $E [kg_f/mm^2]$ | 21,097 | 13,000 |
| $\rho [kg_f s^2/mm^4]$ | 7.9×10^{-10} | 1.6×10^{-9} |



[그림 2] 가동 브라킷 구조물의 전체 모델



[그림 3] 가동 브라킷 구조물의 조가선과 전차선의 볼트 체결부위 상세 모델

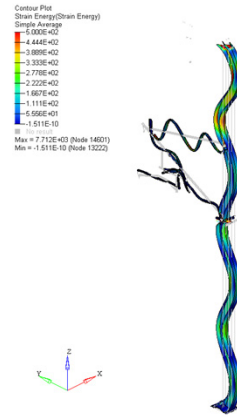
2.3 고유진동해석

전산 시뮬레이션 모델의 검증 및 튜닝 작업을 먼저 수행하였다. 이는 타당성 있는 전산 시뮬레이션 모델을 구

성함으로써 이를 바탕으로 하여 가동 브라켓 구조물에서 발생할 수 있는 원인을 도출 함으로써, 내구 성능 향상 방안을 위한 파라미터를 규명 수행하는데 정확성을 부여하기 위함이다. 고유진동해석을 통한 시스템의 고유진동수는 표 2와 같으며, 1~3차 모드는 그림 4와 같다.

[표 2] 시스템의 고유주파수

| 주파수 | 해석 결과 [Hz] |
|-----|------------|
| 1 | 55 |
| 2 | 120 |
| 3 | 300 |
| 4 | 517 |
| 5 | 612 |
| 6 | 1430 |

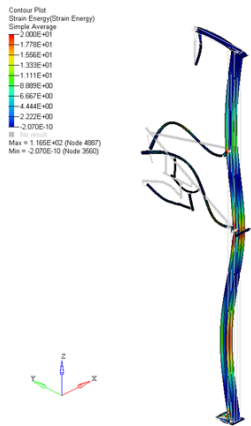


(c) 3차 모드형상, 3Hz

[그림 4] 가동 브라켓 구조물의 모드 형상

2.4 실 하중 해석

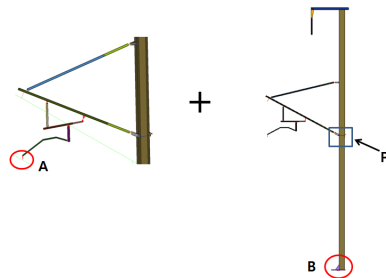
실 하중에서의 응답을 해석하기 위해서는 전차가 가동 브라켓 구조물 지나갈 때 작용하는 가진원과 가진원의 전달 경로를 규명해야 한다. 이러한 하중은 가동 브라켓 구조물이 설치되어 있는 지반의 특성과 전차의 진행 속도 등과 연관성이 있다고 판단되며, 본 연구에서는 다음과 같은 가정을 통하여 전달되는 가진원을 정의하였다. 전차가 가동 브라켓 구조물을 지나갈 때를 살펴 보면, 그림 5에서와 같이 1차적으로 가동 브라켓 구조물 지지부(A 지점)로 지반을 통하여 전후방향(X, Y 방향)으로 하중이 전달되고 있으며, 전차선 크랩프(B 지점)에 전차 진행방향(X 방향)으로 충격하중이 작용한다고 생각할 수 있다.



(a) 1차 모드형상, 55Hz

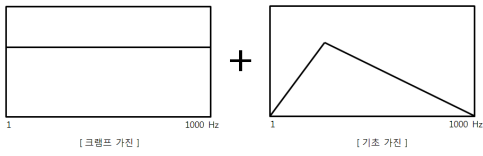


(b) 2차 모드형상, 120Hz

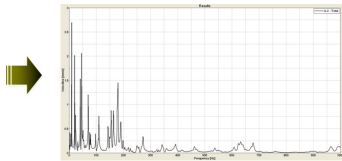
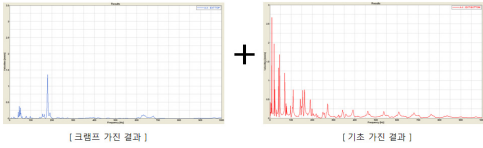


[그림 5] 크랩프 및 기초 가진 위치 설정

가진력은 충격하중인 크랩프 가진과 기초가진으로 그림 6a 과 같이 부여하였으며, 조가선과 전차선의 볼트 체결부위(P점)에서의 응답은 그림 6b 와 같이 나타나고 있음을 볼 수 있었다.



a. 가진력



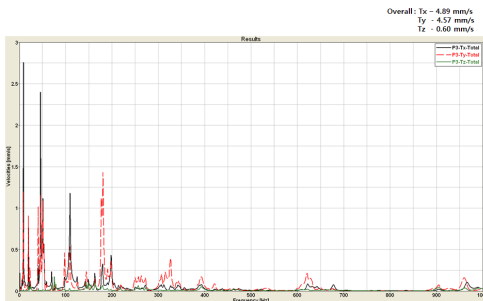
b. 실 하중 응답 해석 결과

[그림 6] 가진력과 시스템의 응답해석

본 논문에서 구축한 모델의 정도는 볼트 풀림 예측이나 향상에 사용하기에는 충분할 것으로 판단된다.

2.5 볼트 풀림 원인 및 개선

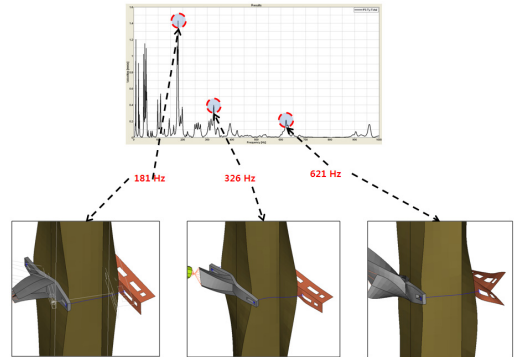
가동 브라킷 구조물에서 주된 볼트 풀림이 예상되는 하부밴드 브라킷(조가선과 전차선의 볼트 체결부위), P점에 대하여 검토하여 보았다.



[그림 7] 하부밴드 브라킷에서의 응답(P)

실 하중 해석결과는 그림 7과 같으며, 각 방향 별 응답을 살펴보면, x와 y 방향 응답이 크게 나타나고 있다. 볼트의 축방향은 y 방향이고, 반복적인 진동에 의한 볼트 풀림은 볼트의 축방향 진동으로 판단되어진다. y방향 진동을 살펴 보면 200, 300, 600Hz 대역에서 주기적으로 응답이 발생하는 것으로 보여 진다. 이러한 y 방향 진동을 줄이는 것이 볼트 풀림을 방지하는 것으로 판단된다. 그래서 181, 326, 621Hz에서 발생하는 진동 모드를 계산하

여 보았다.

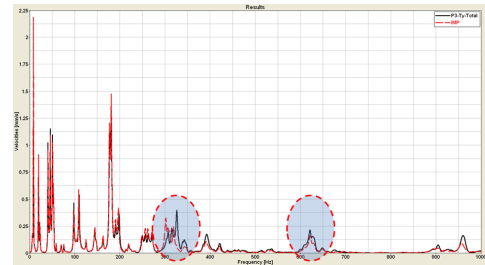


[그림 8] 주파수별 진동 모드 양상

각 모드들을 살펴 보면 하부 밴드를 이루는 브라킷의 로컬 진동과 H 빔의 로컬 진동임을 알 수 있다.

이러한 진동모드의 응답을 줄이기 위하여 두 가지 개선 안을 적용하여 보았다.

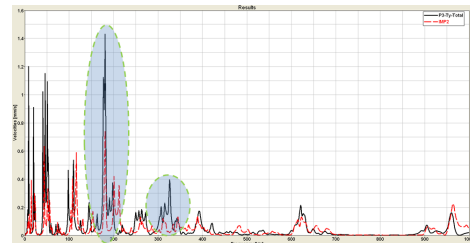
개선 안 1 : 하부 밴드 브라킷의 두께 증대 + 볼트 직경 증대



[그림 9] 개선 안 1 효과 확인

326, 621Hz에서 개선 효과가 나타남을 알 수 있다.

개선 안 2 : 개선 안1 + H 빔 두께 증대



[그림 10] 개선 안 2 효과 확인

하부 밴드 브라킷의 강성을 올리는 것은 200Hz 이상에서 효과를 나타내며, H 빔의 강성을 올리는 것은

200Hz 미만에서 효과를 나타내고 있음을 알 수 있었다.

181Hz 는 H 범의 강성에 따른 지배적인 주파수이며, 브라킷의 두께 및 볼트 지름을 2배 증가하였을 때, 응답이 줄어드는 것을 알 수 있었다.

아울러 하부밴드 브라킷의 강성증가 방법은 두께의 증가뿐 아니라 현재 있는 홈을 삭제하거나, 형상을 변경하는 등 다양한 방법이 존재한다.

위의 결과로 알 수 있는 것은 볼트 풀림 방지를 위해서는 가동 브라킷 구조물의 뼈대라 할 수 있는 H 범의 설계가 중요하다는 것을 알 수 있다.

3. 결론

이상과 같이 가동 브라킷 구조물에 대한 전산 해석을 통해 연구한 결과는 아래와 같다.

1. 전산 시뮬레이션 모델이 구축되어 가동브래킷 구조물의 동적응답 해석이 가능하게 되었다.
2. 가동 브라킷 구조물의 관심 진동 특성은 200Hz 미만임을 알 수 있었으며, 볼트 풀림의 주된 가진 주파수 영역임을 확인하였으며, H 범의 강성을 증가함으로써 볼트풀림을 방지할 수 있음을 알 수 있었다.
3. 아울러 볼트 풀림 원인이 되는 300, 600Hz 대역에서 발생하는 하부 밴드 브라킷의 진동 모드를 확인하였으며, 하부 밴드 브라킷의 강성을 올리는 것은 200Hz 이상에서 볼트 풀림을 방지할 수 있는 효과를 나타냄을 확인하였다.
4. 전차가 가동 브라킷 구조물을 통과할 때 발생하는 진동을 볼트체결 부위에서 측정된 입력신호가 확보된다면, 다양한 가동 브라킷 구조물의 설계를 할 수 있는 기반을 구축하였다.

참고문헌

[1] 정대현, 최연선, "고속전철 Catenary-Pantograph계의 동적 응답에 대한 수치해석", 대한기계학회 춘계학술대회논문집(I), pp.127-130, 1991.

[2] 김정수, 안성태, "TGV-K 가선계의 동적응답 해석", 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp. 262-268, 1998.

[3] Kim J. S. and Choi B. D., "A Study on Dynamic Characteristics of a Catenary System", Transaction of KSNVE, Vol.9, No.2, pp.317-323, 1999.

[4] Kim J. S. and Park S. H., "Dynamic Simulation of KTX Catenary System for Changing Design Parameters", Transaction of KSNVE, Vol.11, No.2, pp.346-353, 2001.

[5] 윤용한, 임금광, 양병남, "가동 브라킷의 개선방안", 한국철도학회 2005년도 추계학술대회 논문집, Nov. 01, pp.688-693, 2005.

[6] 이승일, 최연선, "고속전철 가선계 가동브래킷의 동적하중 계산", 한국철도학회 논문집, Vol.9, No.5, pp.588-593, 2006.

[7] 안영훈, 김철수, 이승일, "기존선 가동브래킷 곡선 당김 금구의 완충기능 필요성", 한국철도학회 2007년도 춘계학술대회 논문집, May 17, pp.219-222, 2007.

박 용 석(Yong-Suk Park)

[정회원]



- 1986년 2월 : 인하대학교 기계공학과(공학사)
- 1988년 2월 : 인하대학교 대학원 기계공학과(공학석사)
- 1996년 2월 : 인하대학교 대학원 기계공학과(공학박사)
- 1995년 3월 ~ 2004년 2월 : 대전대학 부교수
- 2004년 3월 ~ 현재 : 인하공업전문대학 기계과 교수

<관심분야>

회전체 동역학, 진동 및 구조해석

서 정 범(Jeong-Beom Seo)

[정회원]



- 1991년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)
- 1993년 2월 : 인하대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 1993년 2월 ~ 2005년 2월 : 현대자동차 선행해석팀
- 2005년 3월 ~ 2006년 12월 : 알테어엔지니어링 구조팀장
- 2007년 1월 ~ 현재 : 한틀엔지니어링 대표

<관심분야>

NVH 해석, 내구해석, 시스템 개발, 신기술개발