교량상 장대레일의 축력 영향인자의 민감도 분석에 관한 연구

A Study on the Sensitivity of Influencing Parameters on Axial Force in CWR on a Viaduct

전희광* 최진유** 최일윤** 양신추** 정장용***

Chun, Hee-Kwang Choi, Jin-Yu Choi, Il-Yun, Yang Shin-Chu, Jeong, Jang-Yong

ABSTRACT

Trouble by excessive axial stress in CWR layed on a bridge is frequently happen, and this problem is induced from lack of considering on the track/structure interface on preliminary design stage. In this study, the sensitivity evaluation for the major influencing parameters, that is, expansion length of span, stiffness of super structure, arrangement of bearing, and strength of sub-structure, to the axial force in CWR on a bridge is conducted. From the sensitivity study, the guideline to reduce axial force efficiently in CWR for bridge engineer was suggested. The suggested guideline may not applicable for every case, but it is helpful for preliminary design of bridge.

1. 서 론

장대레일을 부설되는 교량의 설계시, 교량 설계 후에 교량상에 부설된 장대레일에 발생되는 축력이 허용범위를 초과하여 곤란을 겪는 경우가 자주 발생되고 있다. 이러한 문제는 기본계획시에 궤도와 구조물의 인터페이스에 대한 개념의 부족으로 기본계획시 교량의 특성이 그 교량상에 부설된 장대레일의 축력에 미치는 영향을 미리 고려하여 교량 설계를 수행하지 않았기 때문이다. 교량상에 부설된 장대레일의 축력과 변위에 영향을 미치는 인자는 교량 상부구조의 고정지점간 거리, 상부구조의 경간구성, 상부구조 휨강성, 형고 및 중립축위치, 하부구조 종저항력, 교좌장치배열, 궤도형식, 궤도 종저항력 등 기하학적·재료적 요인과 아울러 온도하중, 시/제동하중, 열차수직하중의 크기 및 위치 등 하중조건에 의하여 영향을 받게 된다. 이상의 장대레일 축력 영향인자 중 하중조건과 재료적 조건은 일반적으로 설계기준 또는 정책적인 요인에 의해 정해지기 때문에 규정에 따른 하중과 재료적 특성을 고려하여 검토를 수행하게 된다. 그런데 구조물의 기하학적 요인은 일반적인 교량의 설계조건에 더하여 장대레일과 교량의 상호작용을 고려하여 결정하는 것이 합리적이다. 그러나 앞에서 언급한 여러 가지 영향인자들을 고려한 장대레일과 교량의 종방향 상호작용 해석이 다소 복잡하고 또 궤도설계자가 아닌 교량설계자들에게는 어려운 요인이 있어 기본설계 시에 다양한 검토가 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 즉 여러 가지 경우 교량 경간장, 경간구성, 지점배치, 형고 등을 고려하여 최적화된 교량의 기본계획이 이루어지기 어렵기 때문에 교량 설계 후 궤도를 설계하는 중에 문제가 발생되는 경우가 많이 발생하고 있다. 본 연구에서는 장대레일의 축력에 영향을 미치는 여러 가지 영향인자들 중에서 상부구조의 고정점간 거리, 상부

* 전희광 : 비회원, 한국철도시설공단, 건설본부 건설계획팀, 부장
E-mail : ob-chun@hanmail.net
TEL : (042)607-3892 FAX : (042)607-3899
** 정회원, 한국철도기술연구원, 차륜궤도연구실
*** 비회원, 한국철도시설공단, KR기술연구소, 연구PM

강성, 교각의 강성, 지점배치 등에 대한 축력저감 민감도를 분석하여 교량설계시 교량 설계자들이 장대레일 축력감소를 위해 고려할 수 있는 방안들에 대한 우선순위를 제시함으로서 보다 효율적인 교량설계를 수행할 수 있는 지침을 제시하였다.

2. 궤도-구조물 상호작용 해석 모델

궤도/교량 상호작용해석 전용해석프로그램을 사용하여 장대레일 축력을 해석하였다. 연구에 사용된 해석프로그램은 하중의 단계적 재하, 자갈도상궤도의 비선형 특성, 복선궤도와 교량과의 상호작용을 고려할 수 있도록 개발되었다. 레일과 교량을 2차원 보요소(Beam Element)로 모형화하였고, 레일과 교량 사이의 연결요소는 비선형성 스프링으로 고려하였다. 열차하중이 작용하는 경우와 작용하지 않은 경우에 대한 도상종저항력 모델은 그림 2.1과 같다. 궤도의 모델링은 해석시 구간 좌·우 끝단의 교량 조건에 따른 해석상의 오차를 줄이고 열차하중의 재하길이를 확보하기 위하여 교량구간 좌, 우측으로 토공구간이 300m씩 더 있는 것으로 가정하였다.(1)

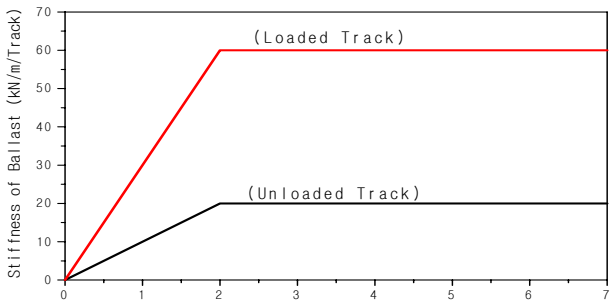

그림 2.1. 궤도 종저항력과 변위선도(자갈궤도)

해석은 장대레일 축력에 대한 안전성을 검토할 수 있는 전용프로그램인 CWRAP를 사용하였으며 해석을 위한 기본 모델링은 다음 그림 2.2와 같다.(2)

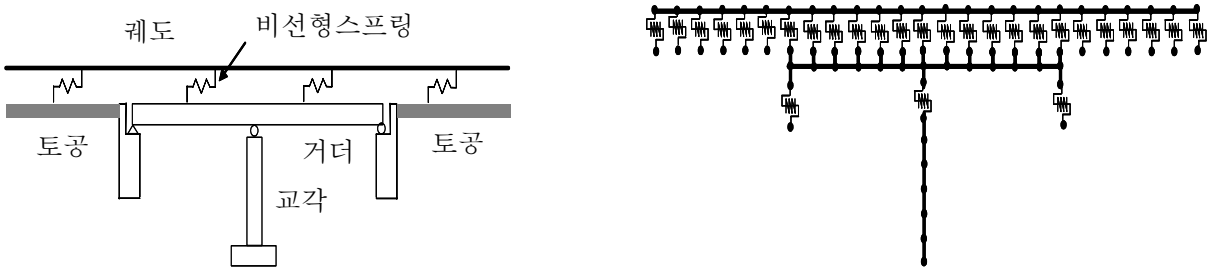

그림 2.2. 궤도-교량 상호작용 해석 기본 모델링

3. 레일축력 영향인자별 민감도 분석

교량상 장대레일의 부가축력에 영향을 미치는 여러 가지 기하학적 인자들에 대한 정량적인 영향도 분석을 위하여 교량의 경간구성에 따른 고정점간 거리, 각 형식별 지점배치, 하부강성을 변화시켜가면서 해석을 수행하였다. 상부구조의 경간수에 따른 영향은 경간수가 8~10경간이 이상이 되면 일정한 값으로 수렴하는 경향을 보이므로 경간수를 8경간으로 가정하였다.(3)

교량의 경간장은 레일신축이음의 설치없이 일반적으로 적용될 수 있는 것으로 알려진 경간장인 20m~90m

까지 변화시켜 가면서 경간장의 변화에 따른 축력의 변화량을 FM방식의 지점배치인 경우에 대하여 분석하였다. 이 때 교량상부 강성의 현실성을 유지하기 위하여 교량의 처짐이 현행 호남고속철도 설계기준에 제시되어 있는 복선재하시 L/600의 처짐이 발생하도록 상부강성을 결정하였다. 상부구조의 강성에 의한 영향 분석을 위해서 경간장을 30로 고정하고, FM방식의 지점이 배치된 교량에 대하여 상부구조의 강성을 기준강성에서 100%까지 변화시켜가면서 축력의 변화를 살펴보았다. 하부구조강성의 영향 역시 경간장 30m교량에 FM방식의 지점이 배치된 교량에 대하여 기준강성을 중심으로 100%까지 강성을 증가시키면서 축력에 미치는 영향도를 분석하였다. 지점배치에 의한 영향도 분석은 경간길이를 30m~50m의 교량에 대하여 지점배치를 변화시켜가면서 발생되는 축력의 크기를 분석하였다. 각각의 경우에 있어서 작용하중은 온도하중과 시제동하중, 수직하중을 고려하였다.

3.1 고정점간 거리에 따른 영향 분석

고정점간 거리에 따른 영향 분석을 위한 해석모델은 다음 그림 3,1과 같으며, 하부구조의 강성은 무한강성을 가지는 것으로 가정하였다.

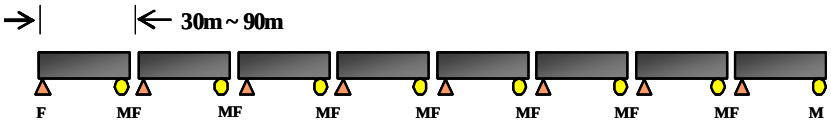

그림 3.1 고정점간 거리에 따른 레일축력 변화 분석을 위한 해석 모델

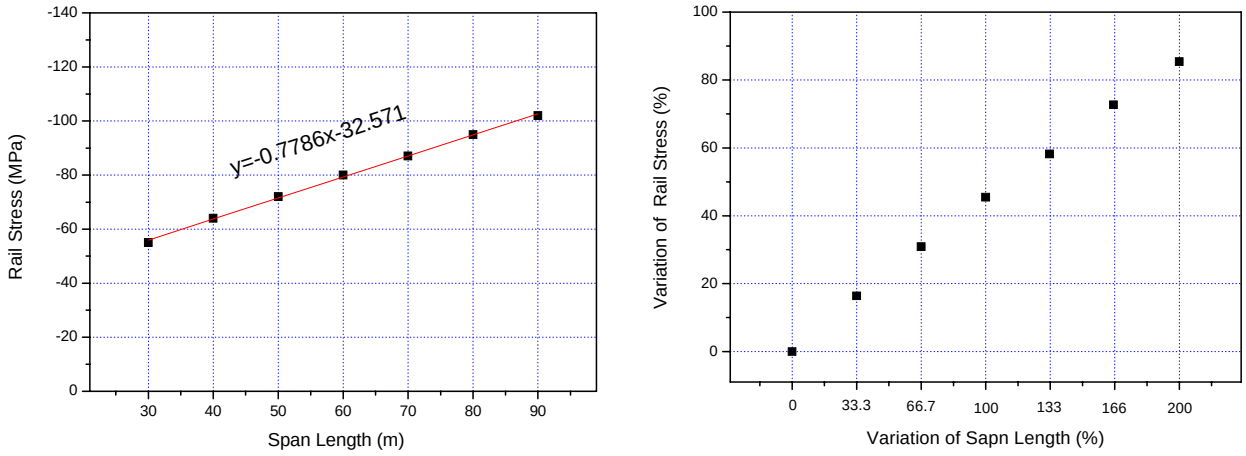

그림 3.2 고정점간 거리에 따른 레일 축력 변화량 및 변화율

그림 3.2는 교량의 고정점간 거리의 증가에 따른 축력의 변화를 나타낸 그림인데, 고정점간 거리의 증가에 비례하여 축력의 증가율이 거의 선형적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 고정점간 거리 증가율에 따른 축력증가율 그래프를 살펴보면 고정점간 거리가 100% 증가할 경우, 축력이 약 80%증가하는 경향을 보이고 있다. 다시 말해 만약 교량 전체의 길이가 180m일 경우, 교량의 고정점간 거리를 30m로 6개의 경간으로 구성하는 경우보다 고정점간거리를 60m로 3개 경간으로 구성하는 경우에 약 80% 정도 축력이 증가되는 것을 알 수 있다.

3.2 상부구조의 강성에 따른 영향 분석

상부구조 강성 증가에 따른 영향 분석을 위한 해석모델은 다음 그림 3.3과 같으며, 하부구조의 강성은 무한강성을 가지는 것으로 가정하였다.

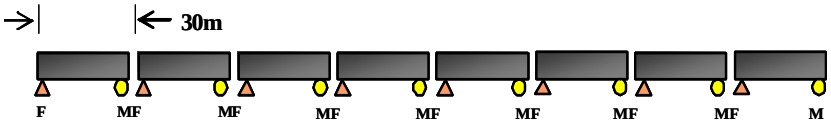

그림 3.3 상부구조 강성변화 따른 레일축력 변화 분석을 위한 해석 모델

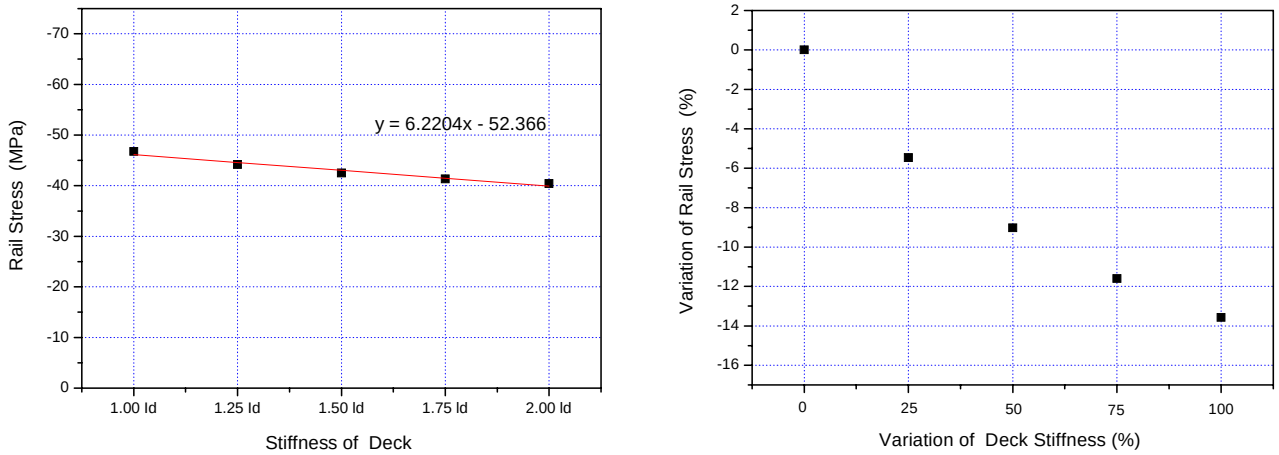

그림 3.4 상부구조 강성변화에 따른 레일 축력 변화량 및 변화율

그림 3.4는 교량의 상부구조의 강성 증가에 따른 축력의 변화를 나타낸 그림인데, 상부강성의 증가에 비례하여 축력의 증가율이 거의 선형적으로 감소하는 것을 볼 수 있지만 그 변화량이 적다는 것을 알 수 있다. 상부구조 강성의 증가율에 따른 축력증가율 그래프를 살펴보면 상부구조의 강성이 100% 증가할 경우, 최대 약 14%의 축력 감소율을 보이고 있다. 즉 상부구조 강성변화가 축력의 변화에 미치는 영향이 크지 않음을 알 수 있다.

3.3 하부강성의 변화에 따른 영향 분석

하부구조 강성 증가에 따른 영향 분석을 위한 해석모델은 다음 그림 3.5와 같으며, 하부구조의 강성은 기준강성(Ko)에서 2배까지 증가시켜 보았을 때의 축력변화를 비교하여 보았으며 그 결과는 다음 그림 3.6과 같다.

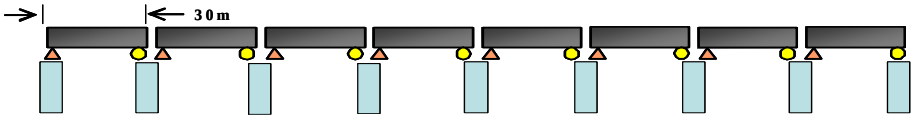

그림 3.5 하부강성 변화 모델

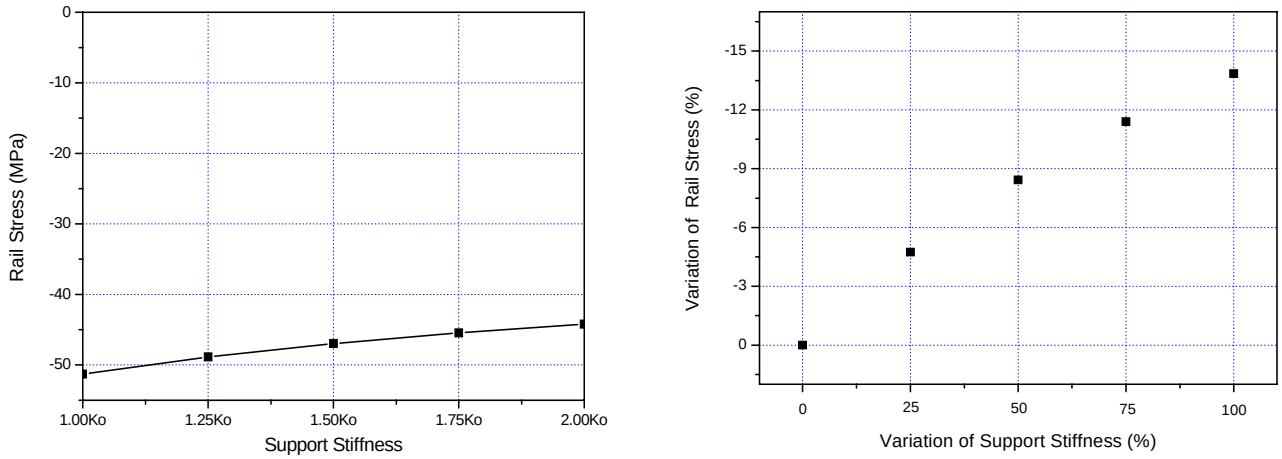

그림 3.6 하부강성에 따른 축력 변화

하부구조 강성의 증가에 비례하여 축력의 증가율이 거의 선형적으로 감소하지만 그 변화량이 적다는 것을 알 수 있으며, 강성의 증가율에 따른 축력증가율 그래프를 살펴보면 하부구조의 강성이 100% 증가할 경우, 최대 약 14%의 축력 감소율을 보이고 있다. 즉 상부구조 강성변화와 마찬가지로 하부구조의 강성변화가 축력의 변화에 미치는 영향이 크지 않음을 알 수 있다.

3.4 지점배치에 따른 영향 분석

지점배치에 의한 축력저감 효과를 일아보기 위하여 단순교에서 가능한 지점배치 방식인 FMFM(MFMF), MFFM, FMMF 방식의 지점배치에 대하여 교량에 발생하는 축력을 비교하여 어떤 형식의 지점배치가 가장 효율적으로 축력을 저감시킬 수 있는가에 대하여 알아보았으며, 이 때 상부구조의 강성은 경간길이별로는 동일하고 경간길이가 다른 경우에는 동일처짐량이 발생하도록 가정하였다. 하부구조의 강성은 모든 경우에 동일한 것으로 가정하였다. 단순교의 3가지 경우의 지점배치형상은 다음과 그림 3.7과 같으며, 축력해석 결과는 온도하중, 시제동하중, 수직하중에 대한 영향을 각각에 대한 영향과 각 하중을 합산했을 경우에 대하여 분석하여 보았다.

그림 3.7 단순교의 지점배치

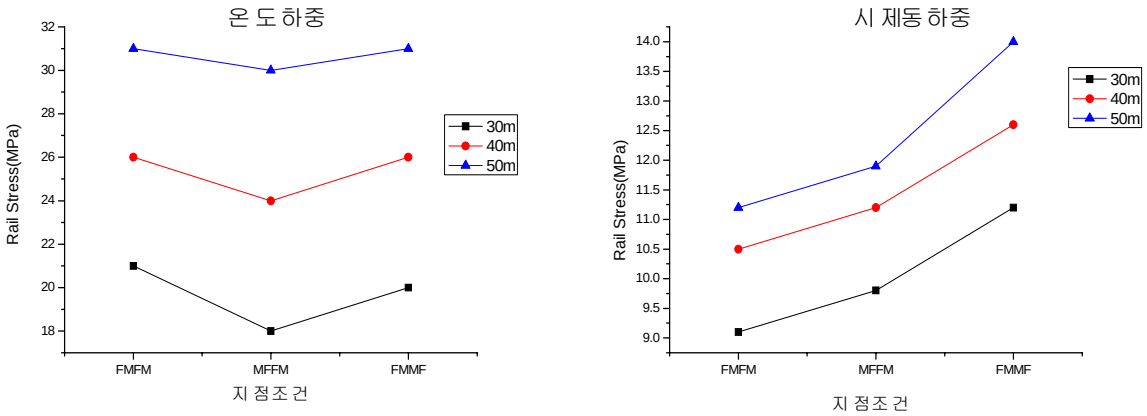

그림 3.8 단순교의 지점배치에 따른 축력 변화(계속)

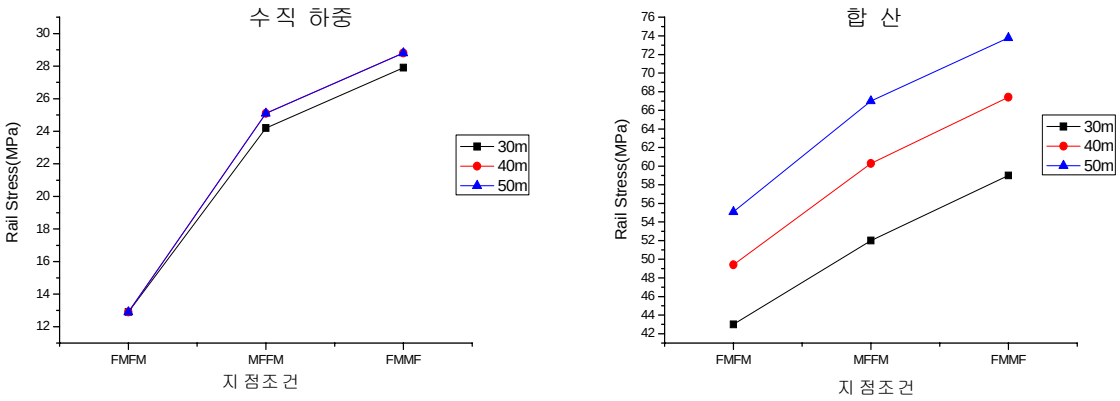

그림 3.8 단순교의 지점배치에 따른 축력 변화(계속)

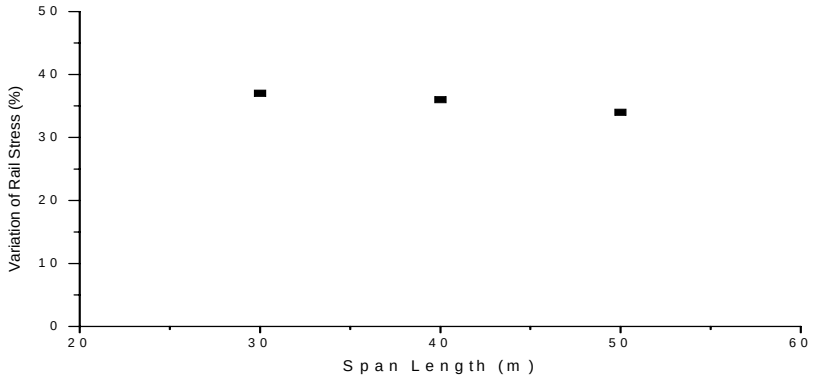

그림 3.8 단순교의 지점배치에 따른 축력 변화율 (FMFM vs FMMF)

온도하중에 의해서는 경간길이에 관계없이 FMFM방식일 경우 가장 큰 축력이 발생하고, MFFM 방식일 경우 가장 작은 출력이 발생한다. 그러나 시제동하중과 수직하중에 의해서는 경간길이에 관계없이 FMFM방식이 가장 작은 축력이 발생되고 FMMF방식을 경우 가장 큰 축력이 발생된다. 3가지 작용하중을 합산한 경우에도 경간길이에 관계없이 FMFM방식이 가장 작은 축력이 발생되고 FMMF방식을 경우 가장 큰 축력이 발생되는데, 이는 온도하중 작용시 FMFM방식과 FMMF방식의 축력차이가 크지 않음에 비하여 수직하중에 의해서는 축력의 차이가 크게 나타나기 때문에 수직하중 작용 시 가장 큰 축력을 발생시키는 FMMF방식에서 종합적으로 가장 큰 축력이 발생된다. 부가축력이 가장 작게 나오는 FMFM방식과 가장 크게 나오는 FMMF방식의 지점배치를 비교해 보았을 때, 경간길이 따라 약 35% 정도 축력이 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 일반적으로 FMFM 방식보다 MFFM방식이 축력이 발생되는 것으로 알려져 있지는 이는 온도하중을 고려했을 경우에만 해당되고, 시제동하중과 수직하중을 함께 고려할 경우에는 오히려 FMFM방식이 가장 작게 축력일 발생함을 알 수 있다. 그러나 상부구조의 강성이 매우 커서 수직하중에 의한 영향이 작아진다면 그 경향이 달라질 수 도 있다.

4. 결론

장대레일의 축력에 영향을 미치는 여러 가지 영향인자들 중에서 상부구조의 고정점간 거리, 상부구조의

강성, 하부구조의 강성, 지점배치 등에 대한 축력저감 민감도를 분석하여 보았으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 고정점간 거리에 따른 축력변화를 분석한 결과, 고정점간 거리에 의한 축력 민감도가 가장 크게 나타나 경간길이 100% 증가시 80%의 축력이 증가되어 고정점간 거리에 의한 영향이 거의 지배적인 영향을 미치는 것을 정량적으로 확인할 수 있었다.
2) 상부구조의 강성과 하부구조의 강성변화에 따른 해석결과에서는 상부구조와 하부구조의 강성이 100% 증가할 때, 축력이 두 경우 모두 약 14% 정도 축력이 감소되는 것을 알 수 있는데, 실제적으로 동일 설계조건의 교량에서 상부구조나 하부구조의 강성 변화율을 100% 까지 둘 수 없으므로 상·하부 구조의 강성변화가 장대레일의 축력변화에 미치는 영향이 거의 없다고 판단된다.
3) 교좌장치의 배치에 따른 축력 저감효과를 보면 FMFM방식이 MFFM방식이나 FMMF 방식보다 축력이 작게 발생하고 해석에 고려한 교량형식의 경우 약 30%의 정도의 차이가 발생함을 알 수 있다.
4) 따라서, 교량상 장대레일의 축력을 저감시키기 위해서는 상부구조의 고정점간 거리의 축소라는 것을 알 수 있었으며, 다음으로 지점배치, 상부구조나 하부구조의 강성 조절의 순서로 고려하는 것이 가장 효율적으로 축력을 저감시킬 수 있다는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. “궤도-교량 종방향 상호작용 해석 지침(안)”(2008), 한국철도시설공단.
2. 양신추, 이지하, 서사범(2000), “철도교량상의 장대레일 축력 해석기법 개발”, 대한토목학회 논문집, Vol.20 No.5-D, pp. 581~591.
3. 최일윤, 조현철, 최진유, 양신추(2007), “교량설계를 위한 장대레일 축력 특성 분석”, 2007 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp.1395-1400.