

장대레일 축력을 고려한 고속철도 특수교량의 변수별 분석 Parameter Study for Long-Span Bridge of High-Speed Railway considering CWR Axial Force

이종순† 조수익* 박만호** 주환중*** 남형모***
Jong-Soon Lee Soo-Ik Cho Man-Ho Park Hwan-Joong Joo Hyoung-Mo Nam

ABSTRACT

Application of long-span bridge, which is affected by parameters such as span length, shoe boundary condition, track property and stiffness of superstructure and substructure etc., can vary. Especially, by CWR aspects of the axial force, that can be less constraints of construction depending on whether the application of rail expansion joint(REJ), which has disadvantaged in terms of maintenance.

In this study, it was performed parameter study for multiple variables (shaft length, the upper and lower cross-section characteristics, track characteristics, etc.) in terms of CWR aspects. Structure-rail interaction analysis was applied to the typical simple span PSC Box and 3 span continuous bridge Extradosed Bridge(50m+80m+50m) excluding REJ. If you set the boundary e of variables for long-span railway bridge excluding REJ through the this study, when designing future is expected to be able to useful.

1. 서론

장대레일의 적용은 진동 및 소음 저감, 궤도재료의 손상 감소와 승차감 향상 등의 장점이 있어 최근 일반적으로 사용되고 있다. 그러나 장대레일은 교량상판에 의한 온도 신축과 열차의 시.제동하중 및 수직하중에 의하여 부가응력 및 변위가 발생하게 되는데, 장대레일에 대한 정밀하고 기술적인 관리가 요구된다. 장대레일에 대한 안전성에 대한 충분한 검토 부재시 레일의 좌굴, 선로파단 등의 열차탈선 요인이 되어 대형사고의 원인이 될 수 있으므로 궤도-교량 상호작용 해석을 통하여 장대레일의 안전성을 향상시킬 필요가 있다. 특히, 장대레일의 특성상 장대교량과 같이 특수한 상황에서의 궤도-교량 상호작용에 의한 레일 축력 등에 대한 안전성 검토는 필수검토 항목이라고 할 수 있다.

고속철도에서 특수교량은 도로의 특수교량과 달리 엄격한 기준에 의하여 그 적용이 제한적이었으나, 이탈리아의 PO river, 중국의 천웅주대교 등 설계, 시공 사례가 점차 증가하고 있다. 국내 경부고속철도에서는 아치교량인 모암고가, 언양고가, 중괘고가가 유일한 실정이었으나 최근 호남고속철도 대안설계에서 Extradosed 교 2개소가 적용된 바 있다. 특수교량의 특성상 경간 길이, 받침 경계조건, 궤도 특성, 상부와 하부 강성 등의 종합적인 변수에 의하여 그 적용성이 다양해 질 수 있을 것으로 판단된다. 특히 장대레일의 축력적인 측면에서 볼 때 유지관리 측면에서 불리한 레일신축이음매(REJ)의 적용 유무에 따라 형식상 제약을 덜 받을 수 있다. 따라서, 본 연구는 고속철도 특수교량에서의 장대레일 축력에 주 영향을 미치는 변수들에 대한 분석

† 정회원, (주)교량과고속철도, 부설연구소, 팀장
E-mail : light726@ibrec.com
TEL : (02)565-4592 FAX : (02)557-4080

* 정회원, 한국철도시설공단, KR연구원, 시설연구 팀장

** 정회원, 한국철도시설공단, KR연구원, 개발기획 과장

*** 정회원, (주)교량과고속철도, 대표이사

**** (주)교량과고속철도, 부설연구소, 대리

을 통하여 장대레일 적용에 있어서 레일신축이음의 적용 유무에 따른 변수의 범위(boundary)를 설정하기 위한 변수분석을 수행하였다. 기존 연구는 일반적인 교량 경간 길이에 대한 변수분석이 수행된 사례[1]가 있으나, 본 연구는 특수교량의 장경간 교량의 적용을 고려하고자 Extradosed 교량을 대상으로 선정하였다.

2. 궤도-교량 종방향 상호작용 해석

2.1 궤도-교량 종방향 상호작용 해석 모델

고속철도 특수교량상의 장대레일의 적용에 따른 궤도-교량 종방향 상호작용 해석을 수행하기 위한 모델은 다음 그림과 같다. 대상 구조물은 특수교량의 특성을 반영하기 위하여 호남고속철도 2-3공구 대안설계에서 적용된 Extradosed 교량을 대상으로 하였으며[2], 경간길이는 변수로 포함하여 상호작용 해석을 수행하였다. 구조해석에 사용한 프로그램은 NE/NASTRAN을 solver로 사용한 BRIC[3]을 이용하였다.

도상에 의한 종방향 저항력은 콘크리트 궤도를 대상으로 레일과 교량 사이에 bi-linear 스프링 요소가 일정한 간격으로 등분포되어 있는 것으로 가정하여 다음 그림과 같이 고려하였다[4].

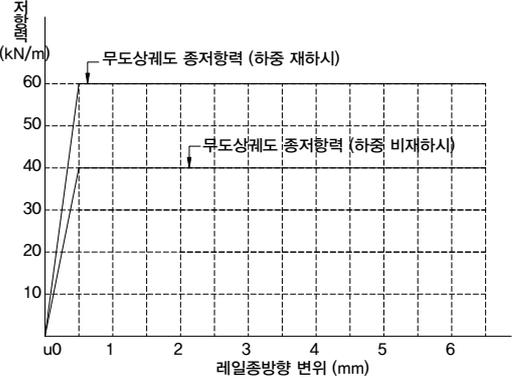


그림 2. 도상 종방향 저항력

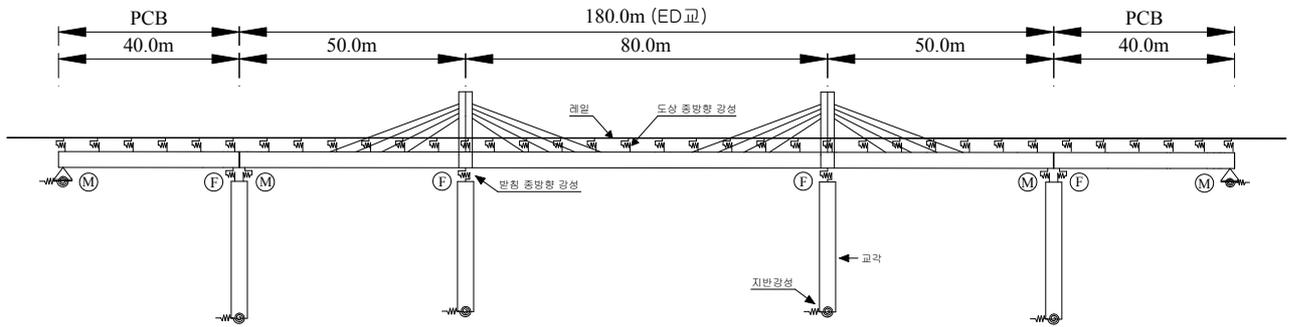


그림 1. 상호작용 해석 모델 개요도

2.2 궤도-교량 종방향 상호작용 해석 방법 및 해석 변수

도표 1. 해석 매개변수

구분	해석 매개변수
상부강성	0.5EI, 1.0EI, 1.5EI
	주경간 1.0EI = 5.887×10^8 kN·m ² 측경간 1.0EI = 5.359×10^8 kN·m ²
하부강성	0.5K, 1.0K, 2.0K (1.0K: P1, P4 = 3.5×10^5 kN/m, P2 = 7.1×10^5 kN/m P3 = 6.8×10^5 kN/m)
경간길이	50m+80m+50m, 60m+96m+60m, 70m+112m+70m (50m+80m+50m : 호남고속철도 2-3공구 적용 Extradosed 교량 경간구성)
상부구조물 지지조건	(M-F)-(M-F-F-M)-(F-M) PC Box - Extradosed - PC Box
궤도형식	콘크리트 궤도
교량형식	콘크리트 교량

※ 상부강성 1.0EI, 하부강성 1.0K = 호남고속철도 2-3공구 적용 Extradosed 교량 강성 궤도-교량 종방향 상호작용에 영향을 미치는 요인으로 교량의 상.하부강성, 궤도의 강성 및 교량의

경계조건 및 온도신축길이 등이 있으며, 작용하중은 온도하중, 시.제동하중 및 수직하중을 고려하여야 한다. 고속철도 특수교량에서의 궤도-교량 종방향 상호작용 해석을 수행시 고려한 매개변수는 도표 1 과 같이 정리하였다.

궤도-교량 종방향 상호작용 해석에서 재하되는 하중은 온도하중, 시제동하중 및 수직하중으로 구분된다. 온도하중은 교량상판에 온도에 따라 신축하여 레일에 부가축력 및 변위를 유발하는 하중을 의미하며, 강교 35℃ 하중을 재하하였다. 시동하중은 33kN/m/궤도에 재하길이 30m 이하로 재하하며, 제동하중은 15kN/m/궤도에 재하길이 400m 이하로 재하하였다.

수직하중은 다음 그림 3과 같이 호남고속철도 설계하중을 재하하였으며, 충격계수는 고려하지 않았다. 레일 부가축력해석에서 하중의 재하위치는 하중 조합별 최대 부가응력이 발생하는 위치에 재하하였다.

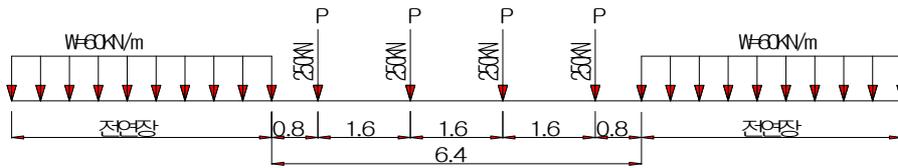
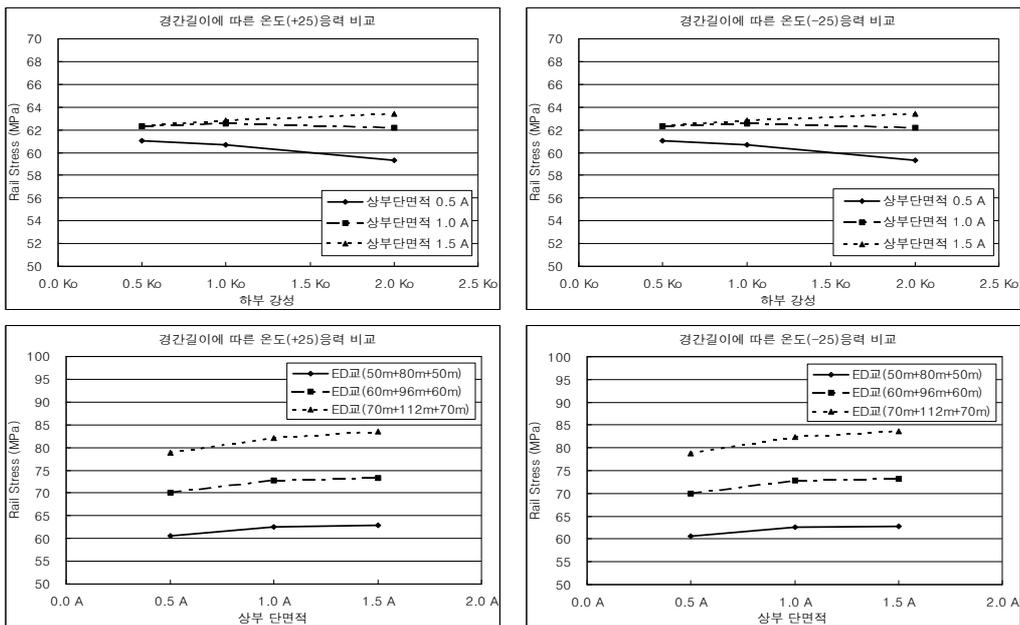


그림 4. 수직하중

3. 특수교량의 궤도-교량 종방향 상호작용 해석 결과

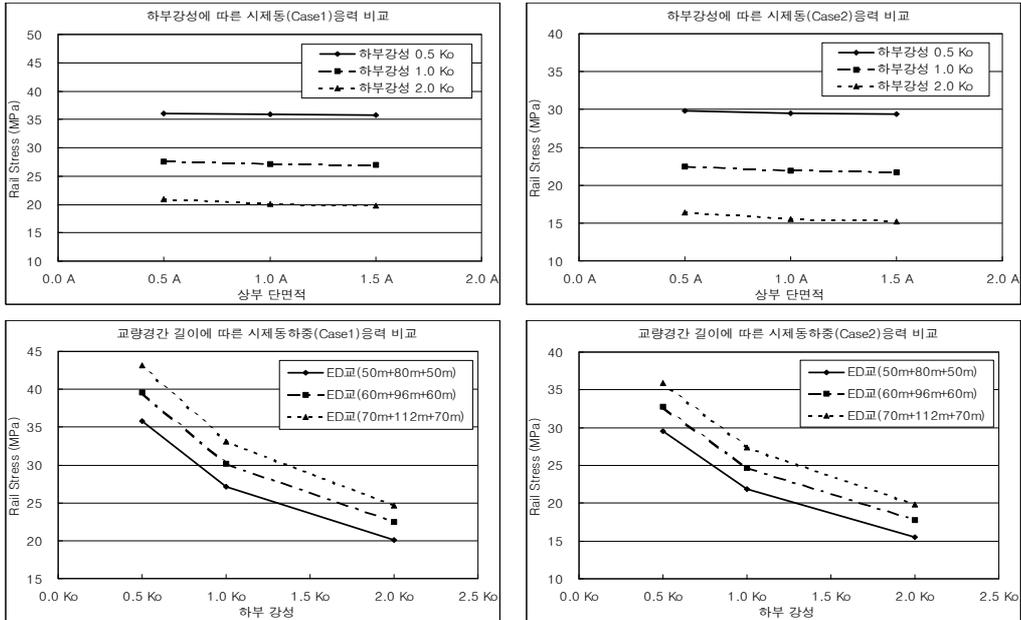
3.1 하중 조건별 장대레일 부가응력

3.1.1 온도 하중



온도하중에 의한 상부단면적 및 하부강성의 변화시 장대레일 부가응력에 미치는 영향은 미미한 것을 확인할 수 있으며, 경간길이가 증가하면서 장대레일 부가응력의 변화가 크게 발생함을 확인할 수 있다.

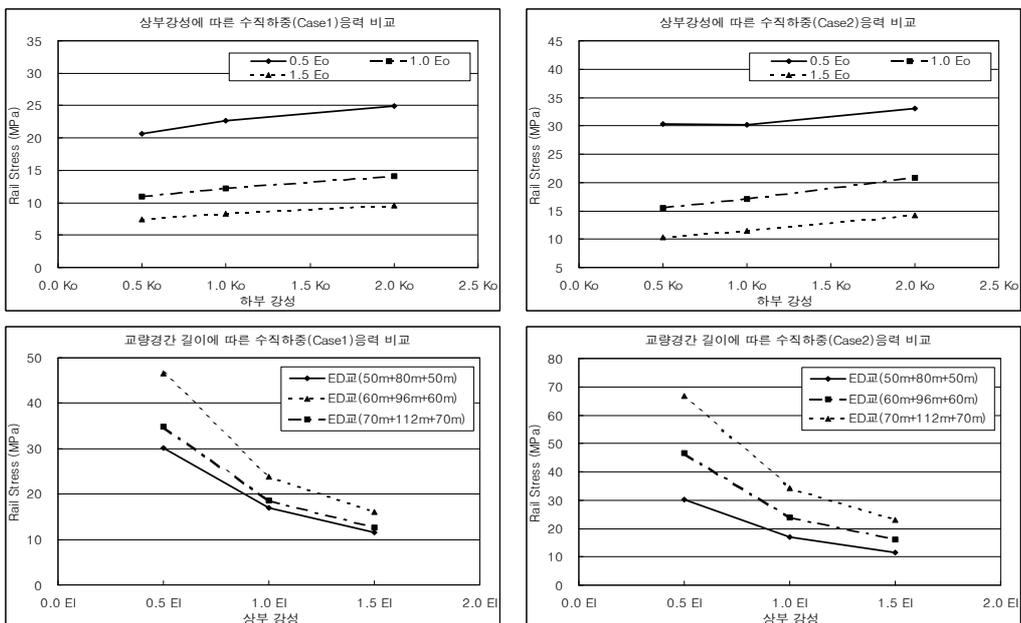
3.1.2 시.제동 하중



하부강성을 변화시켜 레일부가응력을 비교한 결과 시제동하중에 의한 레일부가응력이 하부 강성에 반비례 관계임을 확인할 수 있으며, 상부단면적 변화는 시제동 하중에 의한 레일응력에 미치는 영향이 미미함을 확인할 수 있다.

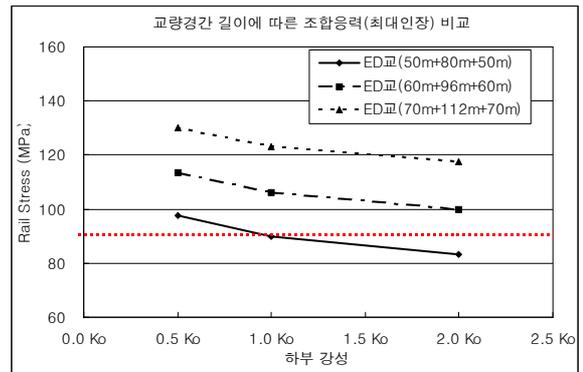
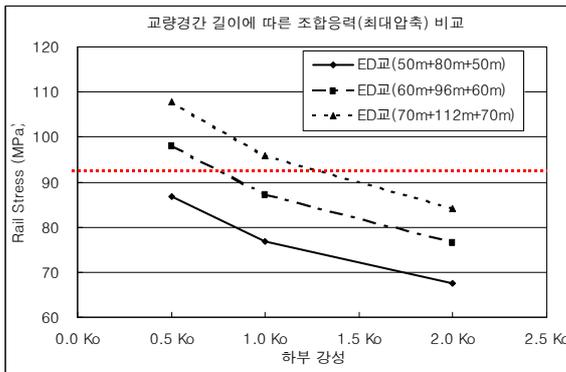
3.1.3 수직하중

상부강성을 변화시켜 레일응력을 비교한 결과 수직하중에 의한 레일응력이 상부 강성에 반비례 관계로 나타났다. 또한, 하부 강성을 0.5Ko, 1.0Ko, 2.0Ko로 변화시키면 수직하중에 의한 레일응력은 다소 증가하는 경향을 보였다.

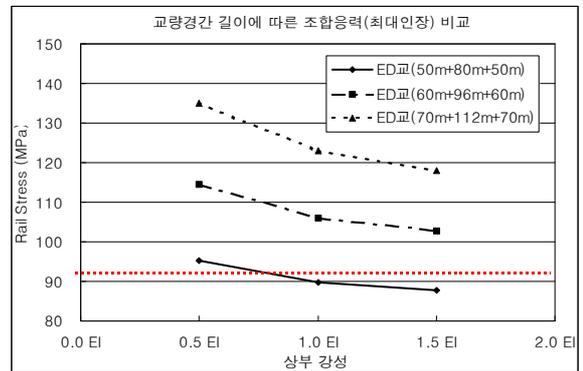
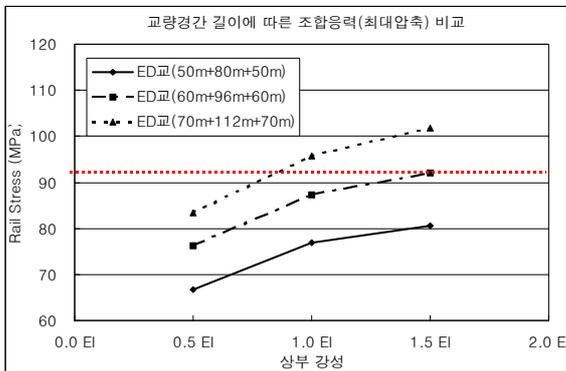


3.1.4 조합응력

(1) 상부강성 1.0EI



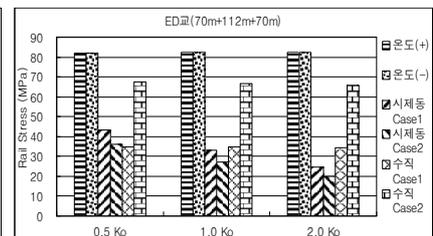
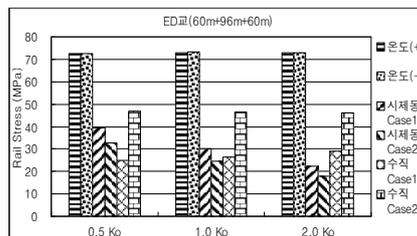
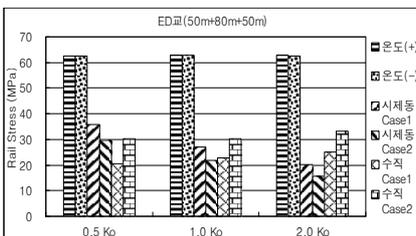
(2) 하부강성 1.0Ko



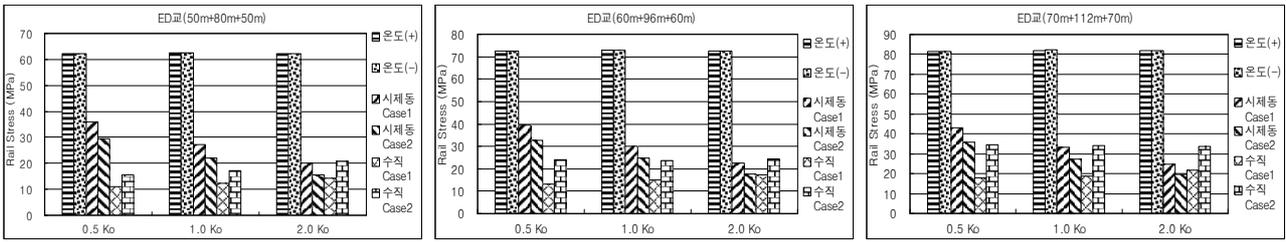
조합응력 검토 결과를 살펴보면 하부강성이 커질수록 최대압축응력과 최대인장응력 모두 감소하는 것으로 나타났다. 반면, 상부강성이 커질수록 최대압축응력은 증가하고 최대인장 응력은 감소하는 것으로 나타났다. 상부강성의 증가가 장대레일 응력저감 측면에서 불리하게 작용할 수도 있는 이유는 응력 조합시 각각의 하중에 의해 인장과 압축이 발생하는 위치에 기인하는 것으로 실제 교량 현황에 맞게 다양한 하중 조합의 검토가 필요하다. 교량 경간길이에 따른 장대레일 부가응력이 기준을 초과하는 경우에 대해서는 활동체결구(ZLR) 적용 및 레일신축이음매(REJ) 적용을 통한 해석을 수행하여 장대레일 축응력 측면에서 적용가능한 교량 범위를 제안할 수 있다.

3.2 하중별 장대레일 최대 부가응력

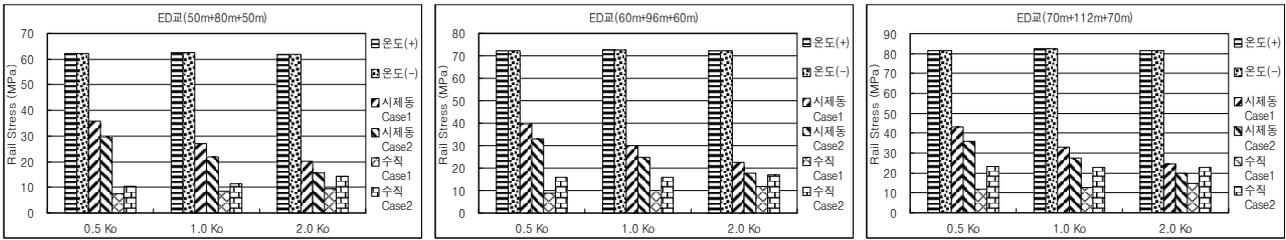
(1) 상부강성 0.5 EI, 상부 단면적 1.0 A 일때



(2) 상부강성 1.0 EI, 상부 단면적 1.0 A 일때



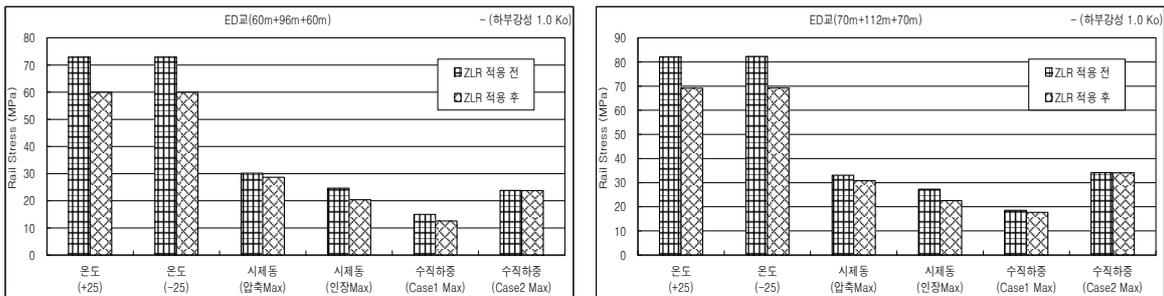
(3) 상부강성 1.5 EI, 상부 단면적 1.0 A 일때



하중별 매개변수에 의한 장대레일 부가응력을 검토한 결과 시제동하중에 의한 상부강성이 증가할수록, 하부강성이 증가할수록, 경간길이가 짧을수록 시제동하중 및 수직하중에 의한 레일부가응력이 감소하는 경향을 확인할 수 있다. 수직하중에 의한 레일 부가응력은 하중 재하 위치에 따라 응력이 가중되는 효과가 있으므로 현황에 따라 불리한 조건으로 하중을 재하하여 고려하여야 한다.

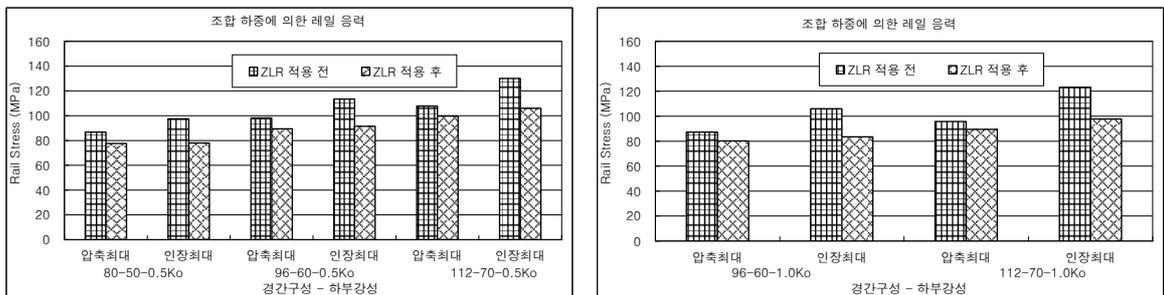
3.3 활동체결구(ZLR) 적용시 장대레일 부가응력

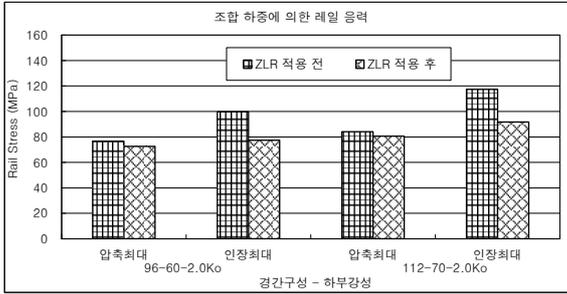
3.3.1 하중조건별 장대레일 부가응력



활동체결구 적용 후 온도하중에 의한 레일부가응력이 10~15MPa, 시제동하중에 의하여 5MPa 정도 감소하는 것을 확인할 수 있다. 즉 활동체결구는 장대레일 부가응력이 기준을 일부 초과하는 경우에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

3.3.2 조합하중에 의한 장대레일 부가응력



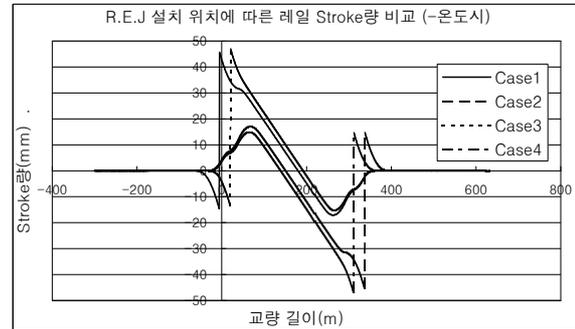
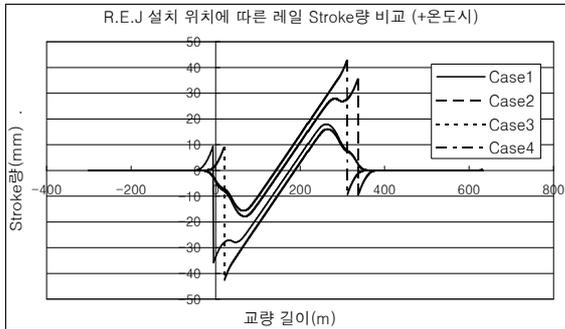


활동체결구 적용시 경간구성 및 하부강성에 따른 조합하중에 의한 레일 부가응력은 인장시 약 20MPa, 압축시 약 10MPa이 감소하는 것을 확인할 수 있으며, 부가응력 기준을 크게 상회하는 경우는 레일신축이음을 적용하여야 할 것으로 판단된다.

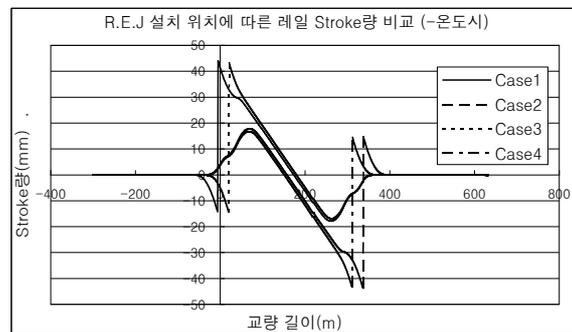
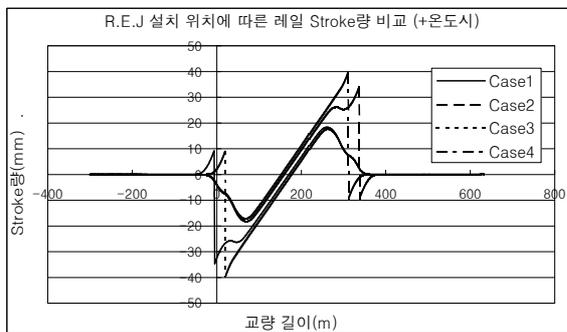
3.4 레일신축이음 적용시

- Case 1 : 교량 시점측 교대로 부터 5m 이격된 토공부에 R.E.J 설치
- Case 2 : 교량 종점측 교대로 부터 5m 이격된 토공부에 R.E.J 설치
- Case 3 : ED교 시점 가동단에 인접한 일반 교량부 경간 중앙에 R.E.J 설치
- Case 4 : ED교 종점 가동단에 인접한 일반 교량부 경간 중앙에 R.E.J 설치

(1) 상부강성 1.0 EI, 하부강성 0.5 Ko, 70m + 112m + 70m



(2) 상부강성 1.0 EI, 하부강성 1.0 Ko, 70m + 112m + 70m



레일신축이음을 배제한 형식 중에서 장대레일 축응력 측면에서 기준을 만족하지 못하는 경우에 대해서는 레일신축이음매를 적용하는 경우에 대한 해석 수행 결과 레일신축이음을 적용하는 경우 레일허용응력까지 저항하므로 응력에 대한 여유가 많다. 레일신축이음 적용시 레일신축이음의 위치에 따른 레일 Stroke량을 검토한 결과 +온도시는 시점 또는 종점측의 토공부에 레일신축이음을 설치하는 경우(Case 1, Case 2)가 레일Stroke량이 적은 것을 확인할 수 있으며, -온도시는 레일신축이음 위치와 상관없이 레일신축이음

Stroke량이 유사함을 확인할 수 있다. 그러므로 레일신축이음은 교량상보다는 토공부에 설치하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 또한 레일신축이음의 Stroke량은 교량 경간 구성 등에 따라 제한적으로 적용되어야 할 것으로 판단된다.

4. 결론

고속철도 특수교량의 적용에 있어 중요한 변수인 장대레일 부가응력은 교량형식, 경간길이, 상·하부강성 등에 따라 달라지므로 장대레일 안전성 검토 측면에서의 매개변수 분석을 수행하였다.

- (1) 상부강성 및 하부강성은 온도하중에 의한 영향이 미미한 것을 확인할 수 있으며, 조합응력시 하부강성 및 상부강성이 증가할수록 장대레일 부가응력이 감소함을 확인하였다.
- (2) 활동체결구는 장대레일 부가응력이 기준을 일부 초과하는 경우에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.
- (3) 레일신축이음을 적용하는 경우 경간길이에 따른 장대레일 부가응력 기준을 대부분 만족할 수 있을 것으로 판단되며, 레일신축이음은 교량상보다는 토공부에 설치하는 것이 효율적임을 확인하였다.
- (4) 실제 고속철도 특수교량의 설계시에 적용하여 반영할 수 있는 변수별 범위에 대한 추가적이고 세부적인 해석 및 검토가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 차세대고속철도 기술개발사업의 “저진동 궤도(플로팅 슬래브궤도) 개발 및 특수교량 성능향상 기술 개발” 과제(09PRTD-A051416-03-000000)의 지원으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 최일윤, 조현철, 양신추, 최진유, 유진영, “장대레일 부가축력 및 변위 검토를 위한 설계차트 개발 (I)”, 한국철도학회 논문집, 제12권, 제4호, 2009. 8, pp. 574 ~ 581
2. 호남고속철도 대안설계(2-3공구)
3. BRIC,(궤도-교량 종방향 상호작용 해석 프로그램), (주)교량과고속철도
4. UIC code 774-3R, 2001