

종방향 활동체결구를 이용한 영종대교 남측 접속교량의
장대레일화 사례
CWR for Young Jong Great Bridge South Approach
Section by ZLR (Zero Longitudinal Restraint)

이덕영* · 양신추** · 권순섭*** · 김용만****

Lee Duck Young · Yang Sin Chu · Kwon Soon Sub · Kim Yong Man

ABSTRACT

For New In-Cheon Airport. South Approach Section of Young Jong Great Bridge is to be special concerned to CWR due to substructure was already constructed former railroad bridge design specification. So we applied maintenance free system and CWR (Continuous Welded Rail) by ZLR(Zero Longitudinal Restraint) at bridge expansion joint part. This thesis generally introduce for CWR by ZLR at South Approach Section of Young Jong Great Bridge.

1. 서 언

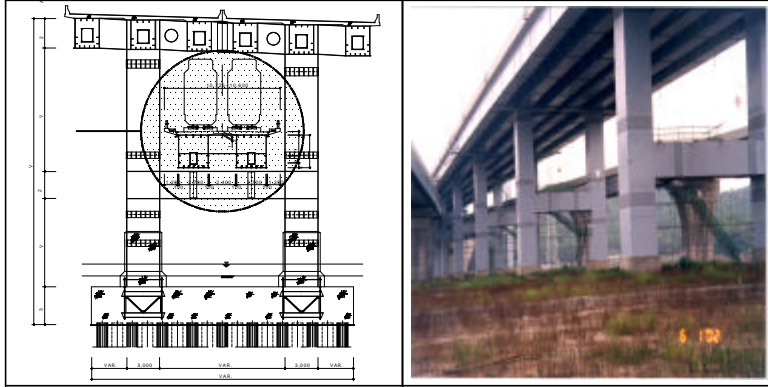
인천 국제공항 접근철도 및 고속도로 겸용인 Double Deck로 설치된 영종대교와 남측에서 접속되는 철도교량은 강Box 거어터교로서 3@60m+2@60m+3@60m+2@60m+2@60m 등 연속교로 구성되어 있다. 상부에 위치한 고속도로는 이미 철도교 설계기준이 개정전 선시공되어 인천국제공항 개항과 함께 신공항 고속도로가 운영되고 있으며, 2004년 현재 후속공정으로 철도교량의 상부공을 시공하고 있다. 따라서 본 교량은 고속도로와 교각을 같이 사용토록 계획되어져 고속도로가 운영되고 있어 기 설치된 기초, 교각 등을 변경 할 수 없는 조건이며 당시의 철도교 설계시방서와 현 시점에서 설계시방서의 상이한 조건, 사회의 변화 등을 반영하여 설계한 내용을 소개 하고자한다.

* 정회원 · (주)유신코퍼레이션 철도부 전무이사
** 정회원 · 한국철도기술 연구원 궤도토목연구본부 책임연구원
*** 정회원 · 삼성물산 건설부문 중앙선 덕소-양수간 복선전철 개량공사 현장소장
**** 정회원 · 주식회사 포스코건설 토목환경사업본부 차장

2.영종대교 남측접속교량의 현황

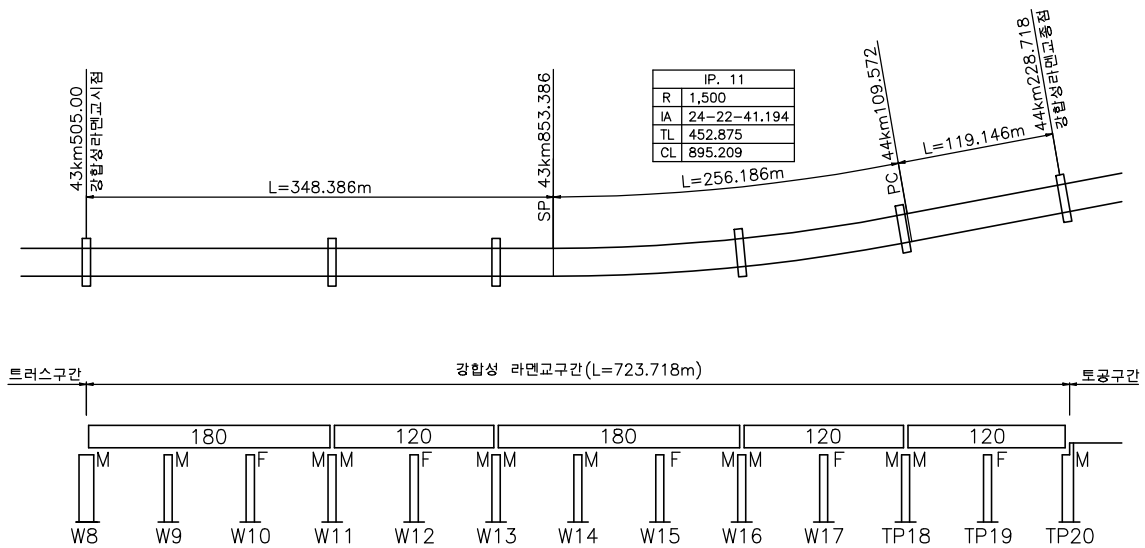
2.1 영종대교 남측접속부 개황

1) 영종대교 남측접속부의 현황



본 영종대교 남측 접속 경간은 라멘 교각으로 당초 계획대로 시공이 완료 되어 상부에 위치한 인천국제공항 전용 고속도로가 이미 운행하고 있는 상태 이다. 본 구간의 경우에는 고속도로에 의한 자재반입에 한계가 있어 교각옆에 가설도로를 설치하고 본 가설도로를 통하여 레일 등 주요자재를 반입하여야 한다.

2) 영종대교 남측접속부의 선형 및 경간배치



영종대교의 트러스와 접속되는 남측접속부는 강Box거어더교로서 당초 자갈도상으로 계획되어 있었으며 종단구배는 -19.0% 당시 강철도교 설계시방서 제13조에 따라 장대레일 중하중을 고려하지 않았다. Box 거어더교의 경간은 3@60m+2@60m+3@60m+2@60m+2@60m 등 연속교로 구성되어 있다. 상부에는 고속도로가 운영중에 있어 하절기 정도 전후에는 직사광선을 받지 않을 수도 있으나 오전, 오후에는 직사광선의 영향을 받기 때문에 레일온도는 일반구간과 동일하게 -20℃~60℃까지 변화하는 것으로 산정하였다.

트러스와 접속부에는 약 350m구간이 직선으로 계획되어 있으며 나머지 구간은 R=1,500m인 완화곡선 및 원곡선으로 구성되어 있다. 설계를 진행하는 과정에서 일부 거어더의 지층배치를 변경하는 방안도 검토하였으나 고정단에는 이미 제동하중 및 시동하중이 작용하도록

계획하여 교각의 기초, 기둥 등 하부구조가 설치되어져 있는 상태로 변경이 현실성이 없어 당초 계획한 고정단 위치를 변경 없이 그대로 적용하도록 계획하였다.

또한 본 남측 접속부에서 채택한 고정점간 거리를 120m는 변경전 UIC기준에 의하여 레일 신축 이음매를 배치없이 장대레일화가 가능한 거리이다.

3) 신규 철도교 설계시방서의 변경내용 분석

당초 93년도 설계당시의 철도교 설계 시방서와 2003년 설계당시의 설계시방서는 궤도와 관련하여 아래와 같은 사항이 크게 변경되었다.

항 목	93년도 시행시 당초 설계기준	2003년도 시행시 설계기준	비 고
자갈의 사하중	실제단면에서 자갈도상 무게 산출	향후 유지보수시 자갈의 추가 살포를 고려 자갈무게에 30%할증	
장대레일 종하중	강철도교 설계시방서 제13조에 의거 자갈도상인 관계로 고려하지 않음.	1ton/m/궤도의 장대레일 종하중을 고려하도록 규정	

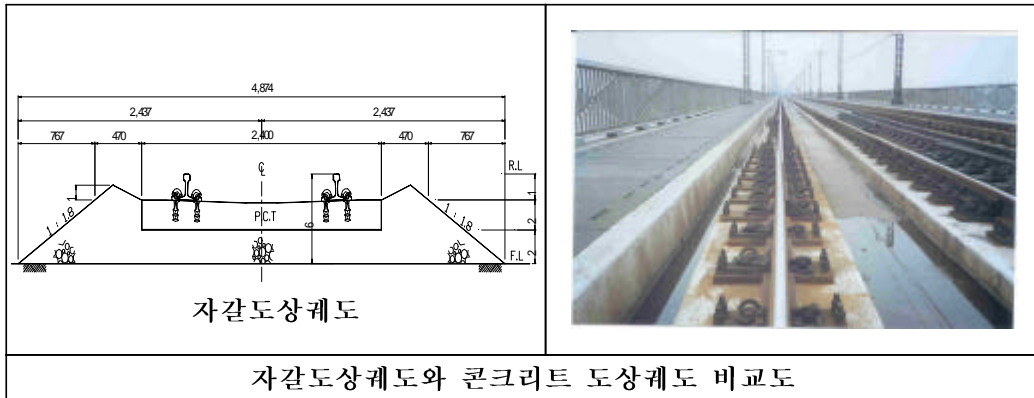
그러나 교각이 이미 설치되어져 상부에 신공항 접근 고속도로가 운영중인 상태에서 설계기준의 변경사항을 모두 반영하는 데에는 현실적인 한계가 있었다. 따라서 본 구간을 설계시에는 구조분야와 협력하여 기존구조물에 변경이 없도록 설계에서 이를 극복하는 방안을 찾아야 하였다.

3.영종대교 남측접속교량구간의 궤도설계

3.1 영종대교 남측 접속교량구간의 궤도구조 검토

1) 영종대교 남측 접속교량구간의 궤도구조선정의 기본방향

- ◇ 접속교량의 궤도구조는 기존교각위에 부설해야 하는 점을 착안하여 아래와 같이 계획하였다.
 - 첫째 : 기존교각을 그대로 사용하는 관계로 궤도는 당초에 계획하였던 사하중보다 적을 것.
 - 둘째 : 유지보수의 최소화를 위하여 생력화 궤도구조일 것.
 - 셋째 : 자재의 수급에 어려움이 없으며 본선과 호환성이 우수할 것.
 - 넷째 : 교량의 특수성을 고려하여 하부구조에 작용하는 장대레일 종하중을 최소화 할 수 있는 궤도구조일 것.
- ◇ 궤도구조의 개요
 - 자갈도상을 적용시 유지보수용 추가분 30%를 적용하면 기존교각에 추가하중을 부담하게 하는 문제가 있고 유지보수의 최소화를 위하여 생력화 궤도로 선정함.
 - 본 인천국제공항철도 한강통과 교량구간 등 인근 교량에서 사용예정이어서 타구간과의 호환성이 있고 체결구에서 종방향 활동성을 유지할수 있는 ALT-II 형식을 적용토록 계획하였다.



3.2 영종대교 남측 접속교량의 장대레일화 계획

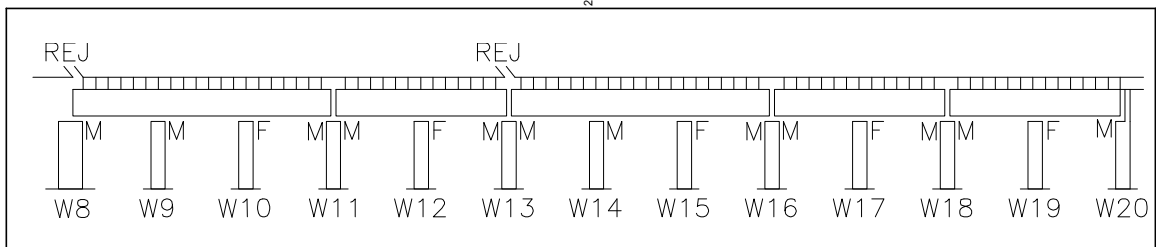
1) 영종대교 남측 접속교량의 장대레일화 방안 검토

◇ 장대레일 조건 :

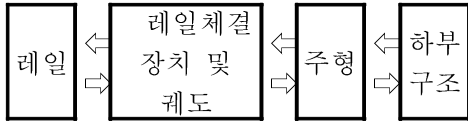
- 좌굴에 대한 소요 횡방향 저항력 확보 ⇨ 충분한 도상어깨폭 확보
- 레일 절손시 개구량을 일정치 이하로 유지 ⇨ 절손시 개구량을 69mm이하로 유지
- 장대레일 축력에 의한 레일응력을 일정치 이내로 관리 ⇨ 장대레일 축응력을 1,400kg/cm² 이하로 유지 (Rail Road Engineering 2nd Edition WILLIAM W. HAY. CHAPTER 15)
- 하부구조에 추가 종방향력 발생의 최소화 ⇨ 체결력의 최소화를 통한 장대레일 축력의 최소화
- W13 교각부에는 거어더 자체의 온도에 의한 신축량이 75.6mm로서 레일절손시 개구량의 확대를 감안하고 레일축력이 크게 형성됨을 감안하여 레일신축이음매를 배치 장대레일에 의한 축력이 타교각으로 전이되지 않도록 계획함.

(1) 전구간 일반체결구 적용방안

본 남측 접속교량의 장대레일화는 교량상 장대레일의 기본가정 중 □□장대레일 설정시 강 거어더 온도와 레일온도는 같고 온도 상승량, 하강량도 같다□□와 거어더는 레일에 의해 구속되지 않고 온도 변화에 따라 자유신축한다□□등 2가지의 가정을 기본으로 접근하였으며 본 교량이 고정점간의 거리가 120m-180m로서 거어더가 온도에 의하여 신축시 이에따라 장대레일에는 축응력이 1,400kg/cm²을 상회하며, 교량 하부구조에 과도한 추가하중이 발생하게하기. 때문에 장대레일화가 제한된다.



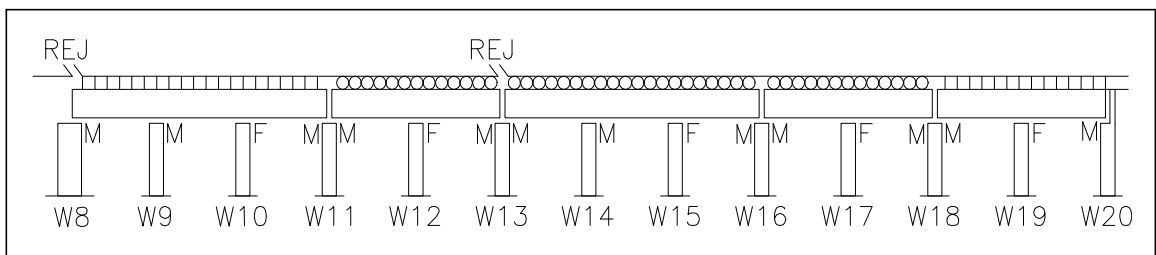
본 남측 접속교량구간을 일반체결구(팬드롤 e2000 시리즈) 를 사용한 장대레일화를 위하여는 연속교 신축부마다 레일 신축이음매를 사용하여 장대레일축력이 타 연속거어더로 전달되지 않도록 하여야하나 본 교량의 후반부에는 R=1,500m 곡선 및 완화곡선구간으로 레일신축이음매를 설치 할 수 없어 현실성이 없는 방안이다.



(2) 전구간 체결력이 하향 조정된 체결구 적용방안

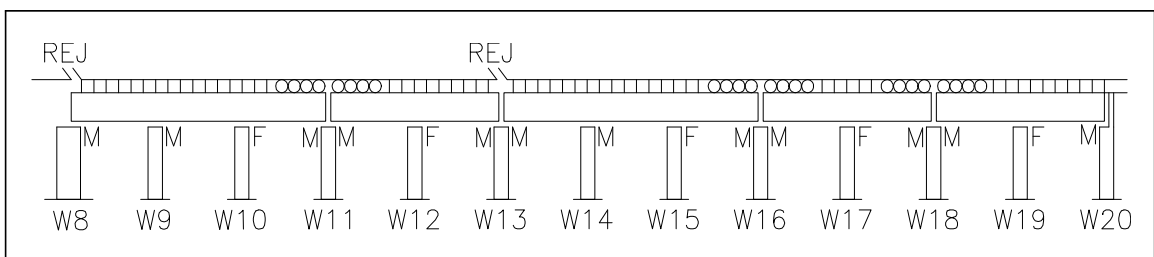
과단시 개구량이 69mm를 상회하게되는 W8 및 W13교각부근에는 레일신축 이음매를 배치 하면 전구간 일반체결구를 적용하는 방안에 비하여 체결력이 하향조정된 체결구(PR115A)를 사용함으로써 장대레일 축력 및 교량 하부구조에 전가되는 장대레일 종하중을 적게할 수 있는 장점이 있다.

(3) 거어더별로 종방향 활동체결구 적용방안

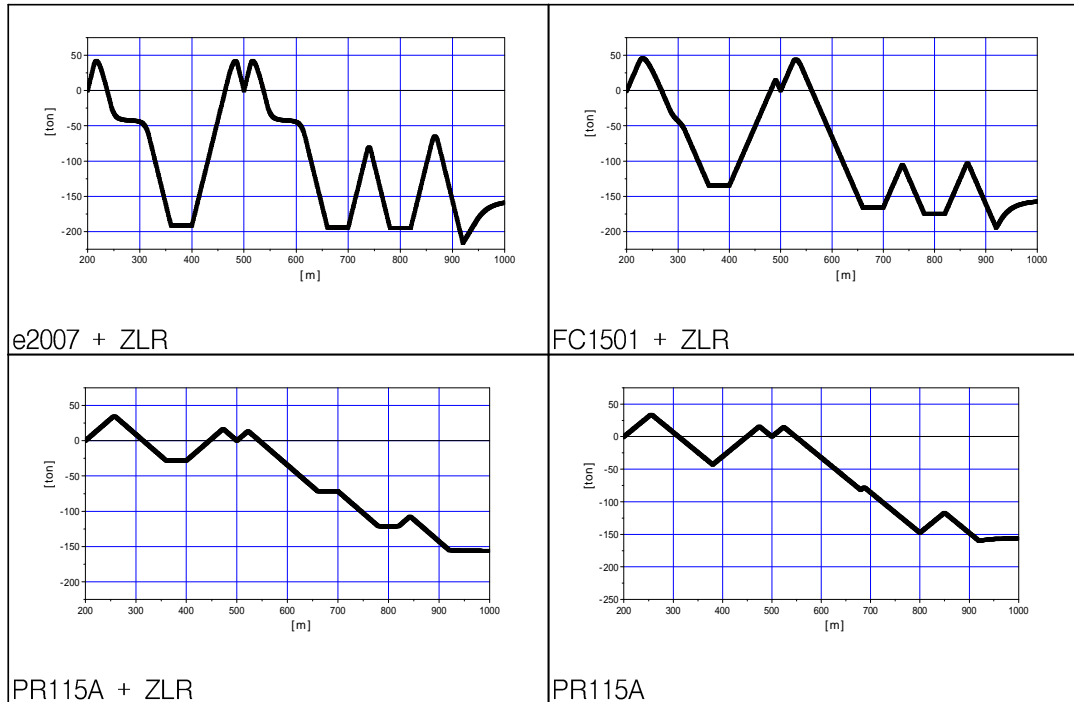


W11~W13 거어더, W13~W16 거어더 및 W16~W18 거어더구간에 대하여 종방향활동체결구를 적용하고 W13에는 레일신축이음매를 배치하는 방안으로 장대레일축력 및 교량 하부구조에 전가 되는 장대레일 종하중을 원천적으로 제거 할 수 있다. 온도변화에 의한 레일 신축이음의 스트로크 소요치가 약 200mm이며 거어더의 처짐에의한 스트로크 및 지진시까지를 감안할 경우 약±280mm 로서 현재 국내에서 생산공급이 가능하다. 그러나 이 경우 120km/h로 운행하는 신공항열차의 주행에 따른 소음,진동을 최소화하는 방안이 심도 있게 검토되어야 하였다.

(4) 부분적인 종방향 활동체결구 적용방안



e2007, FC1501 및 체결력이 하향조정된 체결구(PR115A)를 사용하고 거어더의 신축이음부에 레일신축이음매의 배치 및 약 40m 구간에 종방향 활동체결구(ZLR)를 사용하도록 하여 거어더 신축이음부에 작용하는 장대레일 축력 및 교량 하부구조에 전가되는 장대레일 종하중을 최소화 할수 있었다. 이 경우 과단시 개구량이 69mm 이내로 처리 할 수 있고 120km/h로 운행하는 본 신공항열차의 주행에 따른 소음, 진동의 영향이 크게 없는 것으로 판단되었다.



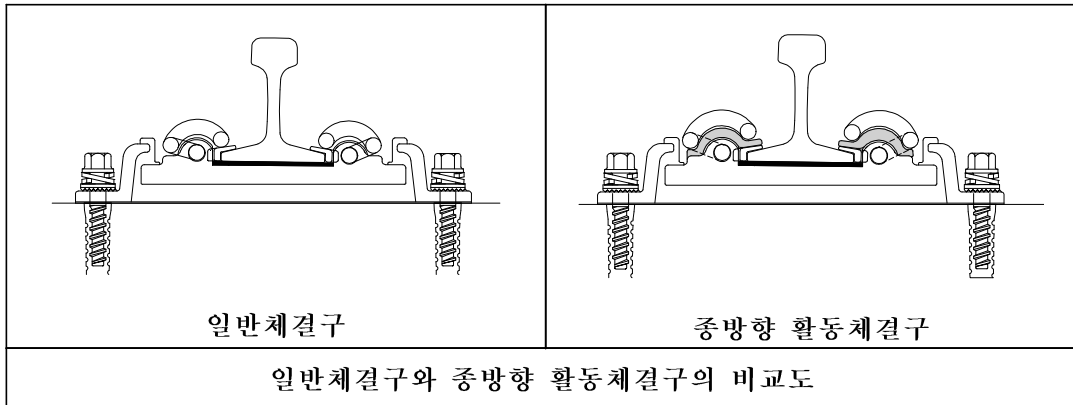
2) 영종대교 남측 접속교량의 장대레일화 방안

◇ 장대레일화를 위한 주요 검토내용

- 축응력이 집중되는 W11, W16, W18에 레일신축이음매를 배치하는 방안은 W16, W18 지점은 R=1,500m인 곡선구간 및 완화곡선 구간으로 현재 국내에서 R=1,500m인 곡선형신축이음매의 생산이 현실성이 없어 채택이 불가하다.
- W13 지점에서는 거어더의 신축량 자체가 75.6mm로서 레일 절손시 개구량이 69mm보다 크게 확대되어 부득이 레일신축 이음매를 채택해야 한다.
- 교각에 작용하는 장대레일 축력을 최소화 하기위하여 우리가 통상사용하고 있는 E2000 시리즈 보다는 체결력이 다소 하향 조정된 체결구의 채택이 바람직하다.
- 본 남측 접속교량은 기존교각을 사용하여 상부구조 및 궤도를 부설해야하는 특수성 때문에 일반교량과는 상이하게 아래와 같이 특별한 장대레일화가 요구되었다.

◇ 장대레일화 개요

- 교각 W8 부근은 접속트러스 구간의 신축량을 감안하여 레일신축이음매를 배치한다.
- W13 교각부에는 거어더 자체의 신축량이 75.6mm로서 레일절손시 개구량의 확대를 감안하고 고정점으로부터의 길이가 길어 레일축력이 크게 형성됨을 감안하여 레일신축이음매를 배치 장대레일에 의한 축력이 타교각으로 전이되지 않도록 계획한다.
- 평면곡선이 계획된 교각 W14이후구간은 레일신축이음매의 배치 없이 장대레일화를 처리하도록 계획한다.
- 교각 W11, W16, W18을 중심으로 진후 각각 20m 구간에는 장대레일축력에 의한 하부구조에 장대레일 종하중을 최소화하기 위하여 체결력이 하향조정된 체결구와 종방향 활동체결구를 사용한다.



3) 레일신축이음매 선정

레일신축이음매는 교량중간에 단순보를 배치하는 형태가 아니었기 때문에 편측형과 양단형이 선정가능 하였다. 그러나 본 접속교량은 열차의 주행속도가 120km/h로 비교적 고속주행하며 열차 주행을 제고하기 위하여 거어더 신축에 따라 스위치레일이 이동하는 과정에서 미세하지만 궤간의 변화가 전제되는 편측형보다는 스위치레일이 고정되어 거어더 신축시에도 궤간의 변화가 없는 양단형(고정형)을 선정하였다.

접속교량에서는 레일 신축이음매 스트로크를 본교량 설계시 요구되는 스트로크 (온도에 의한 총 신축량 $\pm 72\text{mm}$ + 거어더의 처짐에 의한 추가 신축량 20mm + 지진시 추가 신축량 $\pm 62\text{mm}$ + 여유량 30mm 등 총 + 184mm , -164mm)로서 국내에서 공급 여건 등을 감안하여 $\pm 250\text{mm}$ (500형)를 채택하였다.

3.3 종방향 활동체결구를 활용한 장대레일 공법의 향후 활용계획

종방향 활동체결구를 사용하여 장대레일화 하는 기법은 이미 서울지하철 2호선 당산철교에서 효과적으로 활용되어 검증된 공법이다.

본 인천국제공항 전용철도는 물론 현재 시공중인 부산지하철 3호선 고가구간, 현재 설계중인 부산지하철 2호선 연장 양산선 등에서 사용하도록 계획 되어져 있으며, 또 본격적으로 건설이 활성화 될 것으로 기대되는 경량전철 교량의 경우 강철도교 설계시방서에서 제시한 장대레일 종하중 1ton/m /궤도를 적용시에 발생하는 하부구조 부담을 경감 시킬 수 있다. 또한 종방향 활동체결구의 사용은 지반이 연약한 교량구간 및 당초 장대레일 종하중이 적용되지 않은 기존철도 교량구간에서 활용이 예상된다.

4. 맺 음 말

본 영종대교 남측 접속교량에서 적용한 종방향 활동체결구는 교각에 작용하는 장대레일 종하중을 현저히 저감함은 물론 장대레일 축하중을 줄일수 있어 기존교량, 지반이 연약한 지역에서의 장대레일 종하중을 저감 할 수 있으며 유지보수가 필요하지 않은 생력화 궤도로 효과적으로 운용되고있다. 따라서 소음·진동에 의한 민원의 근본적인 해소를 위하여 기본적으로 채택하여야 하는 장대레일화를 위하여, 당초에 장대레일 종하중이 반영되지 않은 기존 교량에서의 장대레일화, 해안가, 매립지 등 지반조건이 열악한 지역에서 하부구조에 장대레일 종하중을 최소화하여 하부구조 공사비를 현저하게 저감시킬 수 있는 장대레일화 기법으로 향후 경량전철, 지하철, 국철에서의 활용이 적극적으로 추천된다. 끝