

# 종방향 활동체결구를 사용한 당산철교 장대레일화 사례

## CWR for Seoul Subway No 2 DangSan Bridge by ZLR (Zero Longitudinal Restraint)

이덕영\* · 공선용\*\* · 권순섭\*\*\* · 김은\*\*\*\*

Lee Duck Young · Kong Sun Yong · Kwon Soon Sub · Kim Eun 1)

### ABSTRACT

DangSan Bridge of Seoul Subway No 2 was rebuilt by safety reason. From Dec 1996 to Dec 1999 we were in charge of permanent way design of this rebuilt project. Especially we applied maintenance free system on the bridge by Cologne Egg alternative(ALT1) base plate and CWR (Continuous Welded Rail) by ZLR(Zero Longitudinal Restraint) for 125m(south approach section), 120m long(north approach section). This thesis generally introduce for CWR by ZLR which was first adapted CWR system in Korea.

## 1. 서 언

1999년 11월 재 개통된 서울지하철2호선 당산철교는 궤도분야에서 국내에서 최초로 종방향 활동체결구에 의한 전구간 장대레일화와 방진형 Base Plate 및 콘크리트 도상을 사용한 생력화 궤도를 채택하였다. 본 발표는 향후 경량전철 궤도설계에서도 적극적인 활용이 기대되고 일반지하철 고가구간, 국철교량에서도 활용이 기대되는 특수 궤도시스템인 당산철교 궤도의 설계과정, 약 4년간 운영을 통한 검증내용을 소개 하고자 한다.

## 2. 당산철교 궤도설계

### 2.1 당산철교 개황

#### 1) 당산철교의 소개

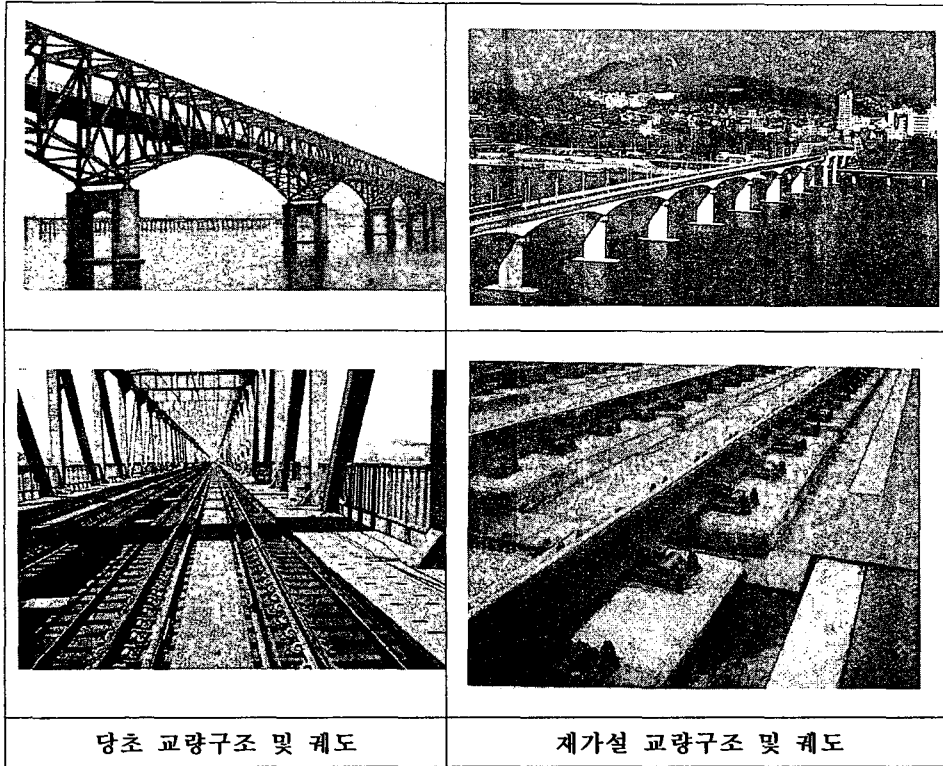
본 당산철교는 1980년 2월~1983년 7월간 공사 끝에 시운전을 거쳐 1984년 5월22일 운행을 개시하였다. 그러나 운영중 1992년 10월 세로보 균열 발견이래 계속적으로 여러 세로보에서도 균열이 진행되어 국내외 기술진에 의한 각종안전진단, 보강작업을 검토한 결과 일정기간 사용이 가능한 것으로 제시되기도 하였으나, 사회적인 분위기 및 각 분야 전문가들의 의견을 수렴 1995년12월5일 철거후 재시공하기로 결정되었으며 각종계획, 조사, 설계를 거친후 1996년 12월31일 운행중단과 동시에 교체공사에 착수 1999년 11월22일 재개통 되었다.

본 교량은 총연장 1,360.025m로서 당초 접속경간은 40~45m 3~4경간 연속형인 하로 판형교로, 하천부는 경간90m인 3경간 연속형 중로 트러스로 구성되었으나 재 개통후에는 접속경간은 연속형인 하로강 Box형교로, 하천부는 연속형 상로 강Box형으로 변경 시공하였다.

#### 2) 운영중 절두산성지에서의 민원

본 당산철교의 강북접속부 구간은 주변지역주민 및 인근 절두산 성지로부터 계속 민원이 야기되었던 구간으로 이에 대한 대책으로 제진제 부착, 서행운전방식으로 민원해소를 위한 노력을 하였으나 계속되는 민원에 시달렸다. 실제 본 교량 교체공사 계획시 노선을 하강하저로 통과하도록 요청하였을 정도로 소음, 진동에 대한 민원이 심하였던 구간이었다. 따라서 본 교량계획시에는 방음, 방진에 특별조치가 요청되는 특수성이 있었다.

1) \*정회원 · (주)유신코퍼레이션 철도부 전무이사  
\*\*정회원 · 서울특별시 지하철공사 철도토목처장  
\*\*\*정회원 · 삼성물산 건설부문 중앙선 덕소-양수간 복선전철 개량공사 현장소장  
\*\*\*\*정회원 · 한국철도기술연구원 궤도구조연구그룹 선임연구원

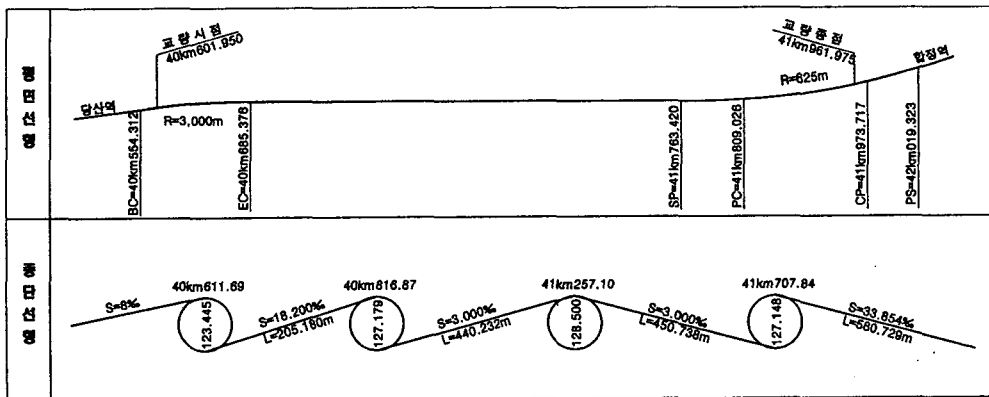


### 3) 선형 개요

재시공시 선형은 하부구조를 활용해야하는 본 교량의 특성때문에 기존선형과 동일하게 설치되었다.

평면선형 : 교량의 시점부인 당산 정거장 종점부(40km601.95)로부터 하천부 종점을 지나 강북접속부(41km763.42)구간 시점부까지는 직선을 이루고 있으며 그 이후 교량 종점까지는 R=625m으로 설치되었다.

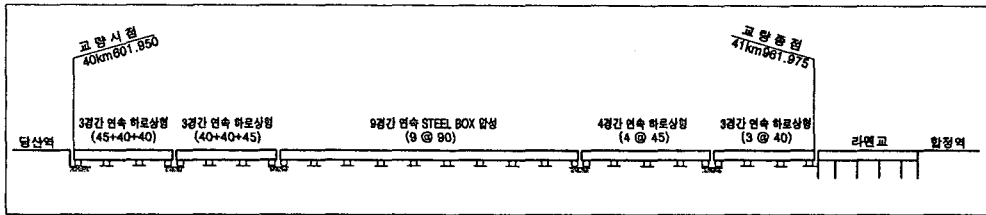
종단선형 : 교량의 시점부인 당산 정거장 종점부(40km601.95)으로부터 S=+18.2‰ L=205.18m/ S=+3.0‰ L=440.232m/ S=-3‰ L=450.738m 나머지구간은 평면선형 R=625m와 경합되며 S=-33.854‰로 설치되었다.



## 2.2 당산철교 궤도설계개요

### 1) 장대레일을 고려한 당산철교의 경간배치 계획

본 당산철교의 경간배치는 기존교각을 그대로 사용하는 관계로 기존교량과 경간이 동일하게 적용하여야 하였다. 단지 경간의 추가 연속화만이 가능한 조건이었다. 따라서 토목 구조팀과 장대레일을 전제로 한 속의 끝에 하천부는 기존 교량의 경간배치가 3×3@90m이었음에 비하여 거어더와 장대레일이 동일하게 신축하도록 하기위하여 9@90m인 9경간 연속거어더를 채택하였다.



경간배치 약도

#### (1) 당산철교 궤도의 요구사항

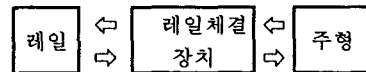
당산철교는 기존교량을 철거후 재시공 하여야하는 특수성 때문에 일반교량과는 상이하게 아래와 같이 특별한 사항이 요구되었다.

- 첫째 : 기존교각을 그대로 사용하는 관계로 사하중은 종형위에 교량 침목을 설치한 무도상 궤도로 운영되던 기존궤도 시스템에 근접한 시스템을 사용 할 것
- 둘째 : 강북구간 절두산 성지 및 주변주민들로부터 계속 제기되었던 민원을 감안하여 소음, 진동을 최소화 할 수 있고 장대레일화 적용성이 우수하며, 방진성이 우수한 궤도구조를 적용 할 것
- 셋째 : 자재의 수급에 어려움이 없으며 본선과 호환성이 우수할 것
- 넷째 : 유지보수가 필요 없는 생력화 궤도구조 일 것

### 2) 당산철교의 장대레일화 방안

본 당산철교의 장대레일화는 교량상 장대레일의 기본가정 중 “장대레일 설치시 강 거어더 온도와 레일온도는 같고 온도 상승량, 하강량도 같다” 와 거어더는 레일에 의해 구속되지 않고 온도 변화 에 따라 자유 신축한다” 등 2가지의 가정을 기본으로 접근하였으며 본 교량이 콘크리트도상 (Non- ballasted) 궤도로서 교량의 Deck slab와 일체가 되기 때문에 거어더가 온도에 의하여 신축하므로 인 하여 이에따라 장대레일 및 교량 하부구조에 추가하중이 발생하게하기 때문에 장대레일화가 제한된다.

본 당산철교 교량은 거어더 신축에 따른 레일축력의 전달과정은 아래와 같으며 거어더의 신축이 즉시 레일축력에 영향을 끼치므로 특별한 대책을 수립하여야 하였다.



#### (1) 당산철교의 장대레일화 공법 적용

Non-ballasted track에 적용 가능한 장대레일 공법인

- 체결력을 하향 조정하는 공법
- 종방향 활동체결구를 적용하는 공법을 검토하였으며 교량의 경간배치, 선형, 하부구조 등을 종합 검토한 결과 종방향 활동체결구를 사용하여 장대화하는 공법이 가장 합리적인 공법으로 판단 되었다.
- 종방향 활동 체결구를 사용하여 전구간을 장대화하는 공법 개요  
본공법은 체결구에서 종방향 활동기능을 갖도록하는 공법으로서 기본개념은 체결구를 체결하여도 레일저부에 직접 체결력이 전달치 않도록 종방향으로는 저항력이 없고 레일의 상방향 활동, 전도에만 저항도록 하는 공법이다.  
본 공법은 장대레일에 종방향 저항력이 발생하지 않기 때문에 하부구조에 추가로 종방향력이

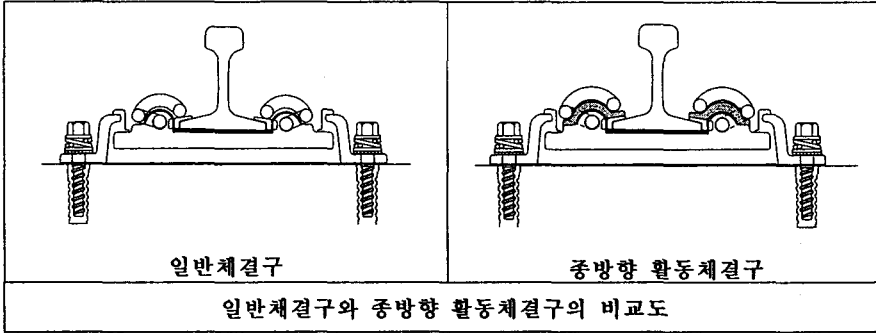
작용하지 않는다. 즉 하부구조 설계시 장대레일 축하증을 고려할 필요가 없는 공법이다.

이 공법 사용시 종방향 저항력은 단지 레일 자중만이 작용하는데 마찰저항을 자중의 약 20%로

$$\text{가동구간 길이} = \frac{\text{기본공식 } \ell = \frac{E \cdot A \cdot \beta \cdot t}{R}}{0.12\text{kg/cm}} = 7,018\text{m}$$

에서

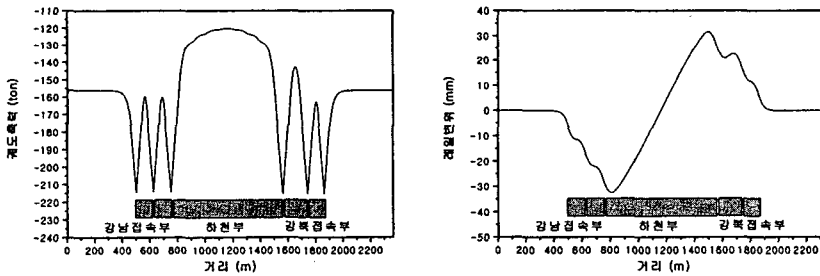
보아 복진 저항력이 약 60kg/m  
×0.2 = 12kg/m 로서 가동구간  
길이는 매우 길어 완전하게 자유  
신축하는 구조로 해석하였다.



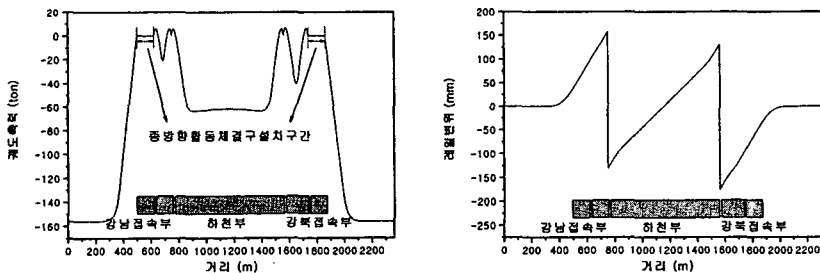
본 종방향 활동체결구 사용공법은 거어더의 신축이 레일축력에 영향을 미치지 않음으로 실제로 레일에 작용하는 응력을 최소화 할 수 있다. 따라서 거어더 신축에 따라 레일에 축방향 압축응력이 작용하지 않아 레일장출 염려가 없으며 적용가능 연장은 교량의 연장과는 직접적으로 무관하고 단지 공급되는 신축이음의 스트로크에 따라 적용가능 연장이 결정된다.

## (2) 축력해석 결과

□ 신축이음매, 활동체결구 설치전(최대축력 : 215.34 ton)



□ Case I (접속부 끝단에 125m-120m 길이로 종방향활동체결구 설치)



### (3) 당산철교에 종방향 활동체결구의 불가피성

본 당산철교에서의 장대레일화와 관련하여 종방향 활동체결구는 아래와 같은 불가피성이 있었다.

첫째 : 3@40m 이상으로 형성된 접속부 신축에 따라서 수반되는 레일축력이 기준치인 105톤을 상회하고 특히 강부접속부의 경우는 선형문제 때문에 레일신축이음매를 사용 할 수 없기 때문에 종방향 활동체결구를 사용하지 않을 경우 장대레일화가 불가능하였다.

둘째 : 장대레일에 의한 교각 등 하부구조 축력을 최소화하여 구조적인 안정성을 기할 수 있다.

셋째 : 장대레일 축력전달이 않되기 때문에 온도변화에 의한 레일응력을 최소화할 수 있어 레일의 수명을 연장 할 수 있다.

넷째 : 제동 및 시동하중이 작용시에는 열차하중에 의한 수직력에 의하여 레일과 Base Plate간의 마찰에 의하여 같이 저항하기 때문에 상당한 저항력을 보유하게 된다.

## 2.3 궤도구조의 선정

### 1) 당산철교 궤도구조 선정

궤도구조는 종방향 활동이 가능한 일반 자갈도상, 콘크리트 도상인 - 일본식, 독일식 Vossloh형, K형 체결구를 취부할 수 있는 뉴넬버그형, Cologne Egg ALT1형 등을 검토한 결과

자갈도상 : 사하중이 7ton/m를 상회하여 당초 트러스의 사하중(약 5ton/m)보다 크고, 계속되는 유지보수문제를 고려 배제하였음.

일본식 : 목침목에 취부를 전제로 개발된 형식으로 콘크리트 도상에 적용하기 위하여는 별도의 방진 패드를 부착해야하는 부담과 우리가 일반적으로 사용하는 체결구와 상이하여 유지보수용 자재를 별도로 확보해야하는 부담이 있어 배제하였으며,

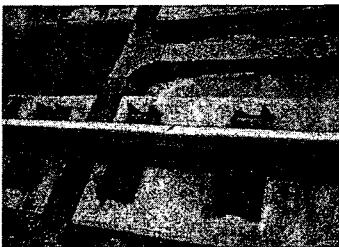
독일식 뉴넬버그형 : 체결구가 우리가 일반적으로 사용하는 팬드롤형과 상이한 K-Type을 취부하여야 하기 때문에 자재수급문제가 있어 배제하였다.

독일식 Cologne Egg ALT1형 : 체결구가 우리가 일반적으로 사용하는 팬드롤형을 사용할수 있으며 당시 국내업체가 생산을 준비하고 있었고, 홍콩의 신공항 접근철도인 칭마대교에서 적용하고 있었으며, 실제 무도상 및 콘크리트 도상 궤도에 설치 운영중인 호주로 출장 현지에서 당산철교와 유사한 도상구조에서 적용하여 기능성이 입증 될 수 있음을 확인 한 후 이를 선정하였다.

### 2) 레일신축이음매 선정

레일신축이음매는 교량공간에 단순보를 배치하는 형태가 아니었기 때문에 편축형과 양단형이 선정가능 하였다. 그러나 본 당산철교에서는 열차주행성을 제고하기 위하여 거어더 신축에따라 스위치레일이 이동하는 과정에서 미세하지만 궤간의 변화가 전제되는 편축형보다는 스위치레일이 고정되어 거어더 신축시에도 궤간의 변화가 없는 양단형(고정형)을 선정하였다.

당산철교에서는 레일 신축이음매 스트로크를 본교량 설계시 요구되는 스트로크(온도에 의한 신축량 416mm + 거어더의 처짐에 의한 추가 신축량, 15mm + 여유량 30mm 총 461mm ±230.5mm)와 당시 국내에서 공급 여건등을 감안하여 ±250mm(500형)를 사용하였다.

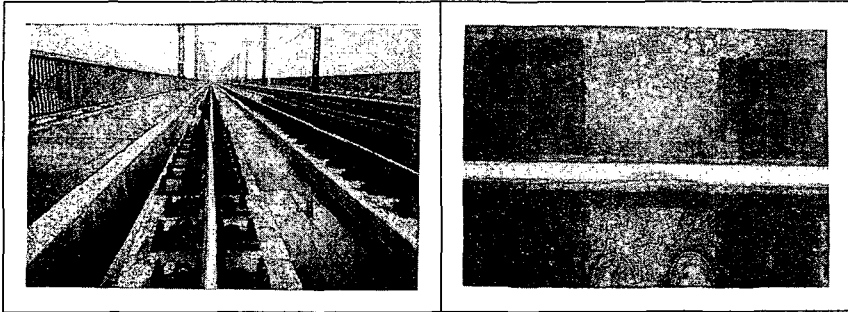


### 3) 접착식 절연이음매 선정

전구간 장대레일화를 목표로 궤도를 설계하였으나 궤도회로 구성을 위한 절연이음매에서는 유간이 작지만 이음매부 통과에 따른 충격이 불가피하게 발생하게 된다. 따라서 본 당산철교에서는 장대레일화에 지장이 없도록 접착식 절연이음매를 사용하였으며 이음매부 통과시 충격을 최소화 할 수 있는 45°형 접착식 절연이음매를 배치하였다.

## 2.4 종방향 활동체결구의 적용성 검증

현장에서 종방향 활동체결구 적용구간과 인접한 보통체결구 구간에서의 밀림량을 조사하였는데, 현재 부설되어 있는 궤도가 Cologne Egg ALT1형으로서 특별한 밀림의 흔적은 발견 할 수 없었다. 단지 레일신축 이음매의 경우 거어더의 신축에 의한 이동흔적이 남아 있었다.



## 2.5 당산철교 궤도구조의 유지보수 실적 분석

당산철교에서 채택한 콘크리트 도상은 개통 이래 현재까지 순회 외에는 특별한 유지보수실적이 없이 운영되고있는 생력화 궤도이다. 또한 방진형 BasePlate를 사용하여 열차운행중 진동을 효과적으로 흡수하여 콘크리트도상에 충격이 전달되지 않기때문에 콘크리트면에 균열등 손상을 발견 할 수 없었다.

## 2.6 민원개소 처리

강북 접속구간인 민원개소는 궤도·토목분야에서 종합적으로 접근하였다.

궤도분야 : 방진 방음에 가장 기본적으로 적용되는 전구간 장대레일화를 하였으며 이 과정에서 종방향 활동 체결구를 사용하였으며, 저진동 방진 BasePlate를 사용하여 열차운행중 발생하는 진동의 최소화 및 진동에 의한 강교의 2차소음을 근원적으로 차단하도록 계획하였다.

토목분야 : 기존교각에 미치는 사하중을 최소화하기 위하여 강구조를 채택하였으나 콘크리트 상판을 적용하여 강교만 채택시 발생하는 진동에 의한 2차 소음을 감소토록 하였다. 열차운행중 거어더의 진동이 교각을 통하여 지반으로 전달되는 것을 방지하기 위하여 주경간인 하천부의 시중점부를 가동Sheo를 제외한 중간부에는 LRB Sheo를 적용하고, 일반 접속부는 Rubber Sheo를 사용토록하여 거어더의 진동을 흡수토록 하였으며, 레일과 차륜간 접촉에 의하여 발생하는 소음이 수음부로 전달되는 것을 근원적으로 차단하기 위하여 방음터널을 설치하도록 계획하였다.

## 2.7 종방향 활동체결구를 활용한 장대레일 공법의 향후 활용계획

종방향 활동체결구를 사용하여 장대레일화 하는 기법은 본 당산철교에서 효과적으로 활용되어 검증됨을 기점으로 부산지하철 2호선 연장 양산선, 부산지하철 3호선 고가구간에서 사용하도록 계획되어져 있으며, 또 본격적으로 건설이 활성화 될 것으로 기대되는 경량전철 교량, 지반이 연약한 교량구간 및 당초 장대레일 중하중이 적용되지 않은 기존철도 교량구간에서 활용이 예상된다.

## 3. 맺 음 말

당산철교에서 채택한 종방향 활동체결구를 사용한 장대레일화는 R=625m, S=33.9%인 선형이 불량한 구간에서 적용 년간 약 0.6억톤/궤도인 열차하중이 통과하는 본교량을 약 4년간 기능상 아무런 무리가 없이 사용되고 있으며, 유지보수가 필요하지 않은 생력화 궤도로 효과적으로 운용되고 있다.

따라서 소음·진동에 의한 민원의 근본적인 해소를 위하여 기본적으로 채택하여야 하는 장대레일화를 위하여, 당초에 장대레일 중하중이 반영되지 않은 기존 교량에서의 장대레일화, 지반조건이 열악한 지역에서 하부구조에 장대레일 중하중을 최소화하여 하부구조 공사비를 현저하게 저감시킬 수 있는 장대 레일화 기법으로 향후 경량전철, 지하철, 국철에서의 활용이 적극적으로 추천된다. 끝