

# 콘크리트궤도에 고속분기기 설치를 고려한 교량설계 및 시공기법

## Design and Construction Method Considering Turnout for High-speed on The Bridge with Concrete Track

김인재\*      오세영\*\*      주환중\*\*\*  
Kim, In-Jae   Oh, Sei-Young   Joo, Hwan-Joong

### ABSTRACT

The concrete track is being used at the Phase II of the Kyeongbu High Speed Railway and New Constructed Honam High Speed Railway. When it makes a decision of bridge type, It has to consider about longitudinal forces of Continuous Welded Rail, Displacement at the end of bridges, Up-lift forces for fastener on the track. If it is installed turnout on the bridge, There is likelihood of the deck twist by applying the each difference longitudinal forces at the 4 each rails and the buckling by concentration of rail stress at the turnout. Moreover, If it is installed turnout on the continuous bridge and REJ(Rail Expansion Joint) on the main track or turnout track. It is hard to keep a safety for rail because of coming to twist or folding at the expansion of deck on the turnout track. Therefore when it is a design of bridge with turnout. It need to take bridge type to minimize an additional axial force and a displacement at the turnout. This paper makes a study of the composite steel arch bridge that is able to resolve criteria requirements of safety for track with turnout and suggest a helpful design method for bridge considering track with turnout by being based on design and construction method of Eonyang Bridge at the north part of Ulsan Station in Phase II of the Kyeongbu High Speed Railway.

### 1. 서론

분기부를 장대화하는 경우 분기부에서 장대레일 축력이 증가하므로 좌굴안전성 및 선형유지를 위해 궤광 강성을 높이는 방법으로 분기침목을 목재에서 콘크리트로, 레일 중량화, 고변분기기 적용 등을 반영하여 왔다. 또한 분기기를 교량 상에 설치하는 경우 교량 하부구조의 영향이 적은 라멘교나 분기기 전체를 한 개의 스판으로 한 연속보를 설치하고 단부에 레일신축이음매를 설치하는 방법이 적용되어 왔다.

경부고속철도 2단계 구간 및 호남고속철도 전 노선에 대하여 콘크리트궤도를 적용함에 따라 자갈도상보다 세밀한 검토가 필요하다. 교량형식에 따라 레일의 축력, 교량상판의 처짐, 상향력 등이 다르므로 교량 설계단계부터 궤도구조를 고려하여 설계가 되어야 한다. 특히 교량 상에 분기기가 설치되는 경우는 분기부가 4개의 레일로 구성되어 있어 각기 다른 축력이 작용하여 레일간의 직각틀림, 분기부에서의 응력집중으로 인한 좌굴이 일어날 가능성이 있다. 또한 연속보 상에 분기기를 설치하고 분선 및 분기선에 레일신축이음매를 설치하면 분기선 측의 신축부에서 궤간틀림 및 엇갈림 등이 발생하여 안전성 확보가 어렵다. 따라서 교량 설계 시 분기기에 부가축력 및 변위가 안전한 범위 내에 위치할 수 있는 교량구조 선택이 필요하다. 경부고속철도 울산역의 신설방침에 따라 역 전후의 교량에 부분선용 분기기 설치(F46)가 필요하였으며 고속도로 및 국도를 통과함에 따라 안전 확보가 필요하였다.

이러한 조건을 해결할 수 있는 교량구조인 강합성 아치교에 대하여 고찰하고 동일형식으로 공사에 반영된 경부고속철도 울산역 북측에 위치한 언양고가의 설계 및 시공사례를 토대로 향후 분기기가 있는 교량설계 시 도움이 될 수 있는 방안을 제시하였다.

\* 정회원, 한국철도시설공단 고속철도사업단 부장

E-mail : injaero@hanmail.net

TEL : (042)607-4762 FAX : (042)607-4779

\*\* 한국철도시설공단 영남지역본부 부장

\*\*\* (주)교량과 고속철도 대표이사

## 2. 분기기의 구성

열차 또는 차량을 한 궤도에서 타 궤도로 전환시키기 위하여 궤도상에 설치한 설비를 분기기라 하며 분기기는 포인트(point)부, 크로싱(crossing)부, 리드(lead)부의 3부분으로 구성된다. 분기기 각 부의 명칭은 그림1과 같으며 우리나라에서 가장 많이 사용하고 있는 분기기는 편개 분기기이다. 분기기의 주요 부재는 텡레일(tongue rail), 크로싱(crossing), 가드레일(guard rail)이 있다.

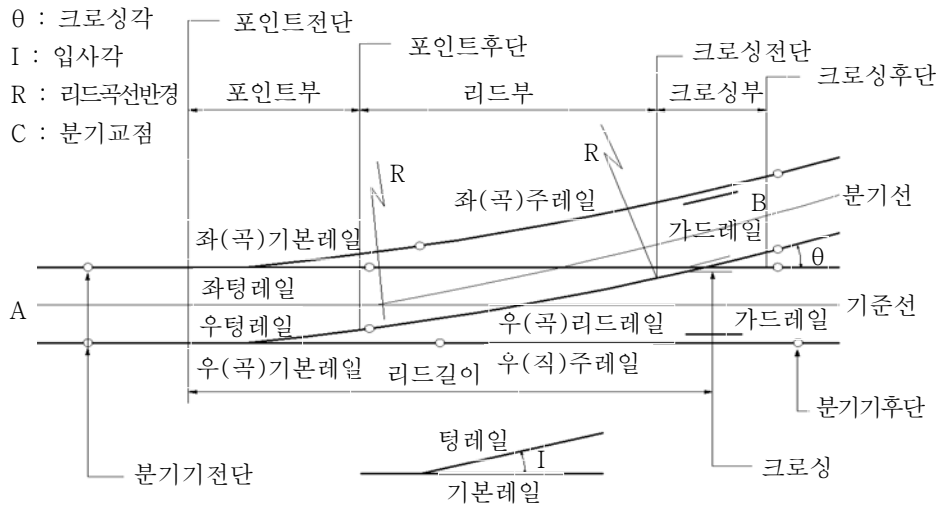


그림1 분기기 각부의 명칭

크로싱(crossing)부는 궤간선이 서로 교차하는 부분을 말하며 노스레일(nose rail)과 윙레일(wing rail)로 구성되어 있다. 이 부분을 열차가 통과 시에는 결선부가 있어 충격력에 의해 승차감이 좋지 않으며 재료에 대한 손상이 진행되어 유지보수 시 취약개소로 분기기를 선정하여 관리하는 중요한 이유가 된다.

## 3. 분기기의 역학적 분석

장대레일은 소음진동의 저감이나 궤도보수량의 경감에 매우 효과가 있으며 보다 광범위하게 적용되는 것이 바람직하다. 그러나 분기기를 포함하여 장대레일화 하는 것은 분기기의 구조적인 특성을 감안하여 선정되어야 한다. 일반적으로 분기기를 포함하여 장대레일화 할 경우 축력은 일반적인 궤도보다 높게 되거나 텡레일에서 직각틀림이 발생하게 된다.

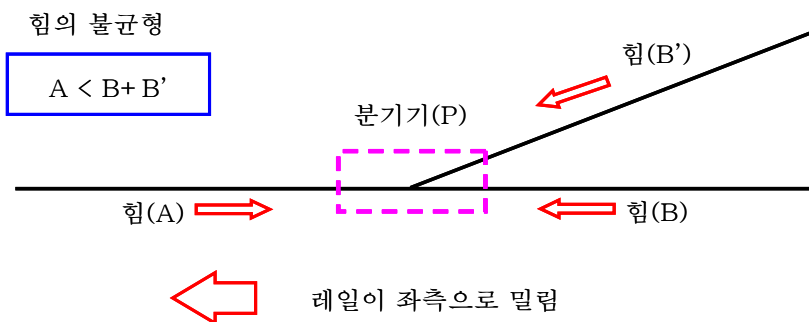


그림 2 분기기가 포함된 장대레일의 축력 작용도

위의 그림2는 분기기가 포함된 장대레일을 약도로 표시한 것으로 P가 분기부에 해당되며 분기기전후가 장대레일이라면 P로부터 충분히 떨어진 점 A, B, B'에서의 축력은 통상적으로 일반구간의 장대레일 부동구간과 같게 된다. 만약 P점을 완전히 고정하였다고 가정하면 P점으로 향하는 힘은 좌측 1의 힘에 대하여 우측 2의 힘으로 되기 때문에 힘의 불균형이 초래된다. 분기기는 완전하게 고정이 불가능하기 때문에 P점은 A측으로 힘이 밀리게 되며 A로부터 P에 향하는 힘이 B, B'에서 P로 향하는 힘의 합계와 같게 되어 균형상태로 된다. 이 결과 레일축력은 P에서 A측 방향으로 상승하게 되고 B 및 B'측에서는 저하하게 되며 이때의 기본레일은 분기전후의 일반 장대레일과 접속하고 있는 반면 크로싱에 접속하는 레일은 그 선단이 텅레일로 되어 있기 때문에 이동량이 크게 되며 상대적인 직각틀림이 생기게 된다. 그림3은 기준선 및 분기선측 모두를 장대레일로 했을 경우에 대하여 해석한 결과이며 35%정도의 레일축력이 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 이 부가축력이 생기는 범위는 기준선측만 장대레일로 했을 경우 분기기 텅레일 후단(힐부)으로부터 분기기전단 방향으로 약10~20m, 기준선과 분기선 모두를 장대레일화 한 경우에는 약 30~40m정도가 된다.

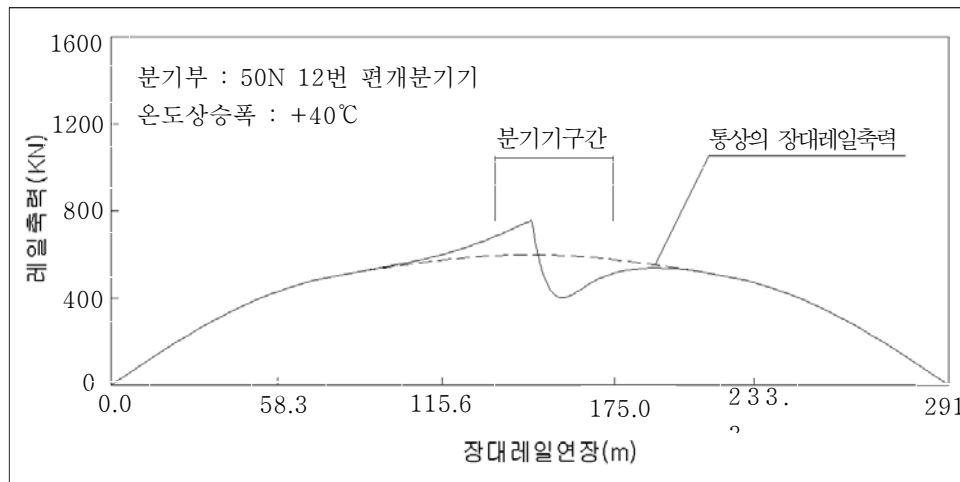


그림3 분기기가 포함된 장대레일 부동구간의 축력분포도

분기기가 교량 상에 설치할 경우에는 토공부에서의 축력분포도에 교량의 축력이 더하여 진다. 교량 상의 가동 단 부근에서 축력이 커지게 되는데 여기에 분기기를 설치하게 되면 분기기구간에서 증가된 축력이 부가적으로 작용하게 되어 안전성확보에 영향을 미치게 된다. 또한 포인트부에서 기본레일과 텅레일이 상대적으로 이동이 크게 될 우려가 있으므로 이에 대한 검토가 필요하며 해석 시 힐부의 구조적인 특성을 감안하여야 한다.

### 3. 해석모델 설정

분기기는 장대레일로 되어 있는 기본레일(Stock rail)과 힐(Hill)부에서 끝나는 리드레일(Lead rail)로 구성되어 있다. 분기기 구조는 포인트부, 리드부, 크로싱부로 나누어지며 해석 모델링할 때에는 포인트부인 경우 기본레일에 대하여만 해석요소로 적용하고 텅레일은 포함하지 않으며 이는 텅레일이 침목이나 기본레일에 구속력이 없기 때문이다. 따라서 분기기에 대한 해석모델링은 힐부에서 크로싱부까지로 구분된다.

분기기 구간의 모델링은 그림4와 같이 레일길이 방향에 대해서 침목자체를 절점으로 하여 상부의 레일과 하부의 교량을 비선형 스프링으로 직렬 연결시켰다. 이는 일반구간과 다르게 분기침목이 복선에 걸쳐 1개의 침목으로 연결하는 경우가 있으며 1개의 침목에 6개의 레일이 올라가게 되므로 도상중저항력이 크게 됨에 따라 도상저항력보다는 레일체결장치의 체결력이 축력에 미치는 영향이 클 것으로 보아 일반구간과 다르게 모델링하였다.

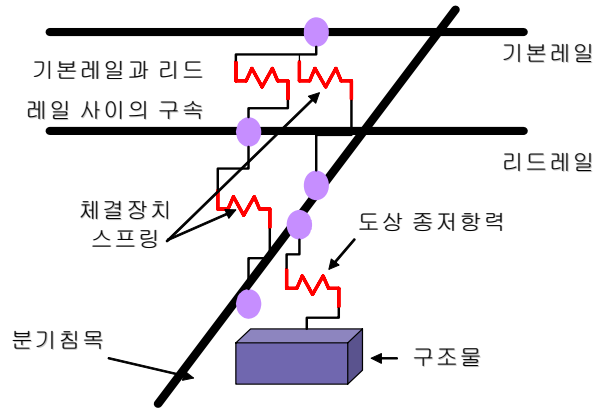


그림4 분기부의 유한요소모델

레일 종방향력은 체결장치의 종저항력에 상당하는 비선형스프링과 도상종저항력에 상당하는 비선형 스프링을 침목절점 요소에서 연결시켜 상호 작용력을 전달하도록 하였으며 레일 직각방향(횡방향)으로 작용하는 체결장치의 횡저항력은 강결로 거동하는 스프링과 도상횡저항력에 상당하는 비선형 스프링을 침목절점 요소에 연결시켜 상호작용력이 전달되도록 하였다. 콘크리트궤도인 경우에는 구조물과 분기침 목이 일체화 되므로 도상저항력은 반영되지 않는다.

#### 4. 언양고가 설계현황

##### 4.1 당초설계

언양고가의 하부에는 울산고속국도와 국도24호선이 통과하고 있어 구조물 시공 시 각별한 안전조치가 필요하여 구조물 설계 시 강합성교를 ILM공법으로 시공토록 반영하였다.

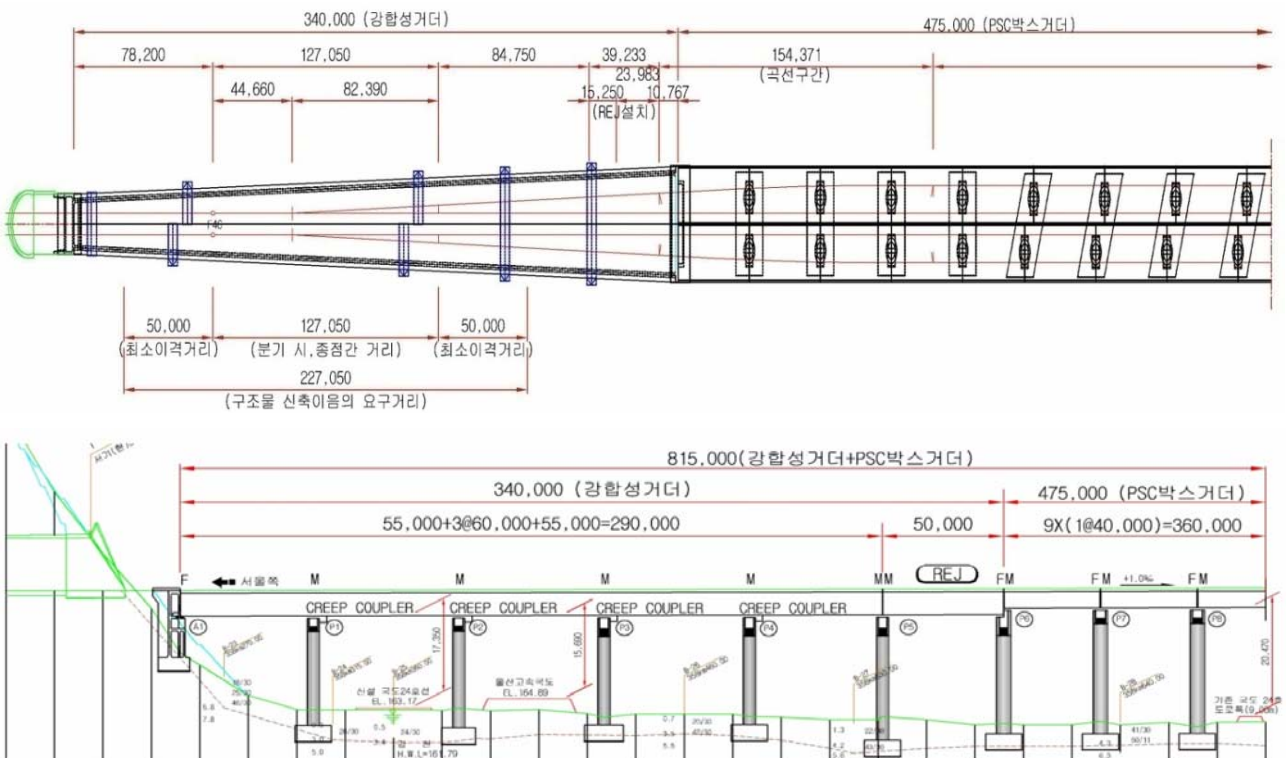


그림5 언양고가 분기부 당초 도면

당초 언양고가는 자갈궤도를 전제로 설계 시 반영하였으며 교량구조물의 배치는 분기기의 연장(127.05m)에 구조물 신축이음간 최소이격거리 100m(양측X50m)를 반영하여 총 227.05m의 연속보가 요구된다. 따라서 290m의 연속된 강합성교를 배치하고 P5와 P6사이에 레일신축이음장치가 설치되도록 50m의 단순보를 배치하였다. 이러한 경우 레일신축이음장치는 본선에 2틀 및 부분선에 2틀이 설치되어야 하며 부분선의 2틀은 곡선부에 설치하게 된다. 2단계 구간의 궤도구조를 자갈궤도에서 콘크리트궤도구조로 변경됨에 따라 부분선에 설치되는 레일신축이음장치의 선형유지가 곤란하여 안전에 취약해짐을 발견하였다. 교량은 길이방향으로 신축변위가 생기며 부분선에 설치된 레일신축이음장치는 곡선부에 설치되어 있어 교량이 신축하면 레일신축이음장치의 선형은 그림6과 같이 어긋나게 된다.

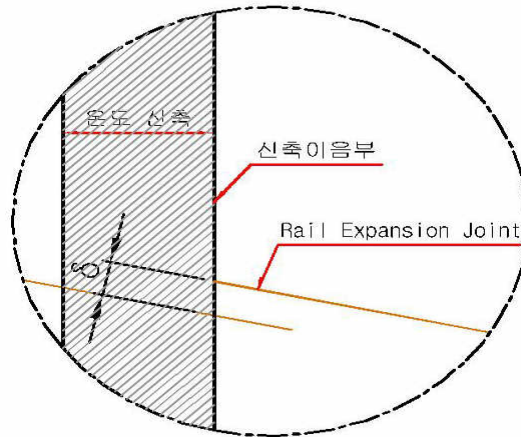


그림6 부분선부에 설치되는 레일신축이음장치의 선형틀림

또한 내진성능 측면에서는 A1에 고정점으로 하고 수평력 지지를 위한 Creep Coupler를 설치함에 따라 고정점교대(A1)에서 대부분의 지진수평력에 저항하고 Creep Coupler로 연결된 가동단 교각에서 분산된 지진 수평력에 저항하여야하는 불리한 측면이 있다. 시공성 측면에서 보면 강교제작, 용접, 가설 시 정밀한 시공관리, ILM 제작장 설치, 강교제작 소요공기 증가(32개월)가 된다. 유지관리측면에서 보면 취약개소인 분기기와 레일신축이음장치 수량 증가, Creep Coupler, 교량받침, 유지관리를 위한 통로확보 등 유지관리 요소 등이 증가된다. 이러한 이유로 언양고가의 구조를 안전성확보, 공사기간, 유지관리 측면 등을 고려하여 레일신축이음장치가 필요 없는 구조물 설치를 검토하게 되었다.

#### 4.2 개선된 교량설계

개선된 교량을 설계하기 위해서는 우선 콘크리트궤도로 형식변경에 따른 교량 상 배수계통 조정, 교량 상 분기기 설치 조건, 공사기간, 유지관리 측면 등을 고려하여 강합성 아치교 형식을 그림7 및 그림8과 같이 제안하였다.



그림7 언양고가 강합성아치교

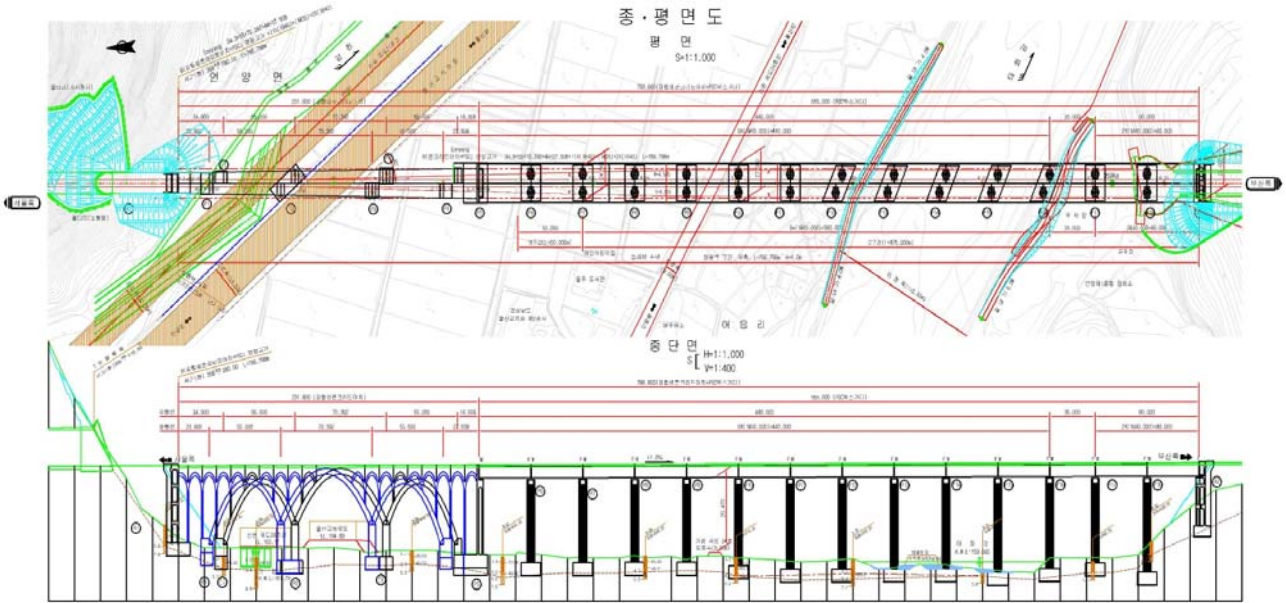


그림8 언양고가 분기부 변경 도면

이러한 형식은 F46고속분기기 적용조건에 만족하고 레일신축이음장치가 필요 없으며 내진성능 측면에서도 구조효율성이 우수한 아치형 구조이므로 각 교각에서 발생하는 지진수평력은 고정 아치구조의 자중에 의한 수평력과 상쇄되어 지진수평내력 감소로 내진 성능이 우수하게 되며 강교부분의 축소 및 콘크리트구조부 증가로 시공용이, 공기단축(20개월), 품질관리 측면에서도 유리하다. 또한 유지관리 측면에서도 유지관리요소의 감소 및 비용절감, 점검 및 조치가 용이하다.

분기부를 장대레일화 한 경우 그림9와 같이 분기부에서 온도하중에 의한 부가축력을 확인하고 그림 10과 같이 제동하중에 의한 부가축력을 구하여 종합부가축력이 허용응력 범위 내에 있는지 확인하여야 한다.

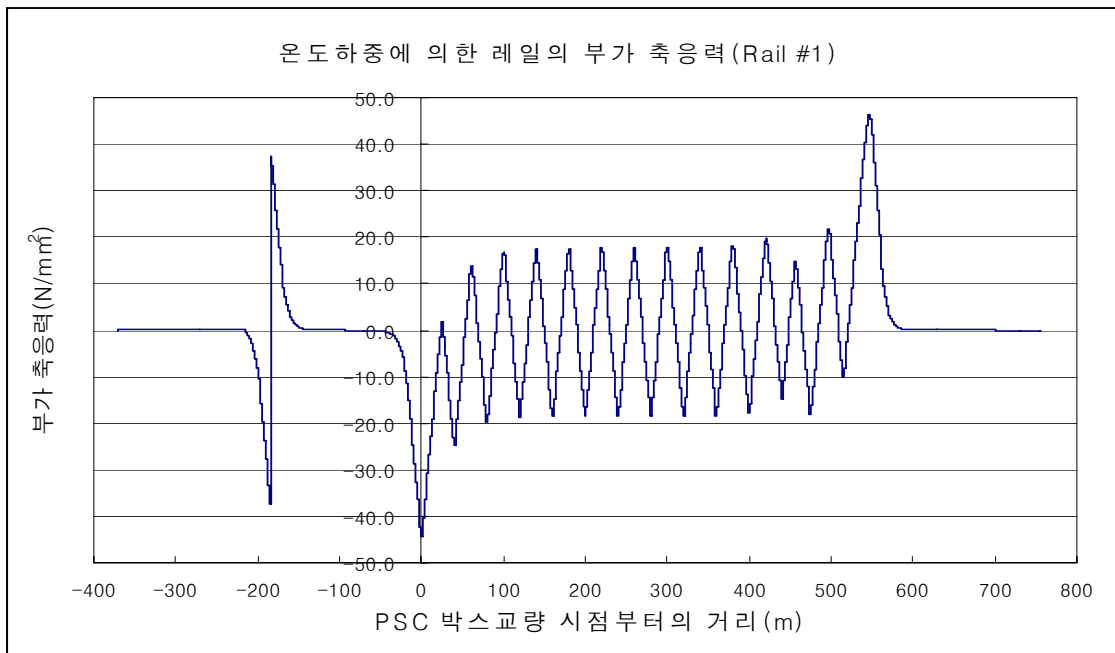


그림9 분기부에서 온도하중에 의한 부가축력

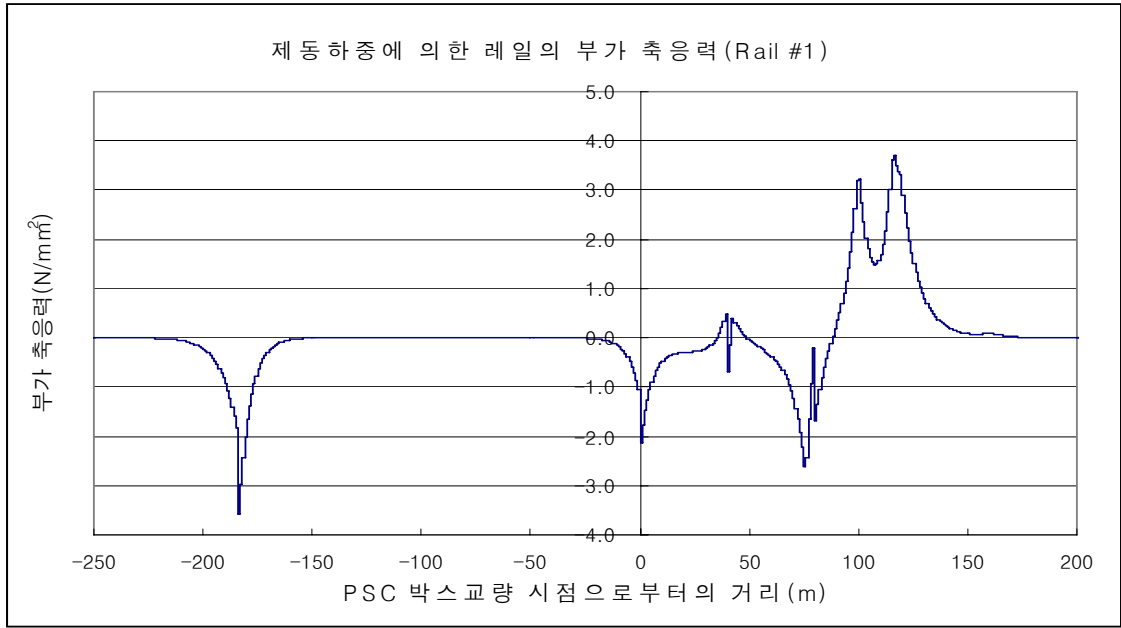


그림10 제동하중에 의한 레일부가 축응력

강합성 아치부는 강재에 콘크리트로 속채움하는 구조로 도로횡단구간 가설이 용이하고 그림11과 같이 슬래브 내부를 시멘트 처리된 자갈과 모래로 속채움하여 하부구조로 원활하게 하중을 전달할 수 있는 구조를 채택하였다.

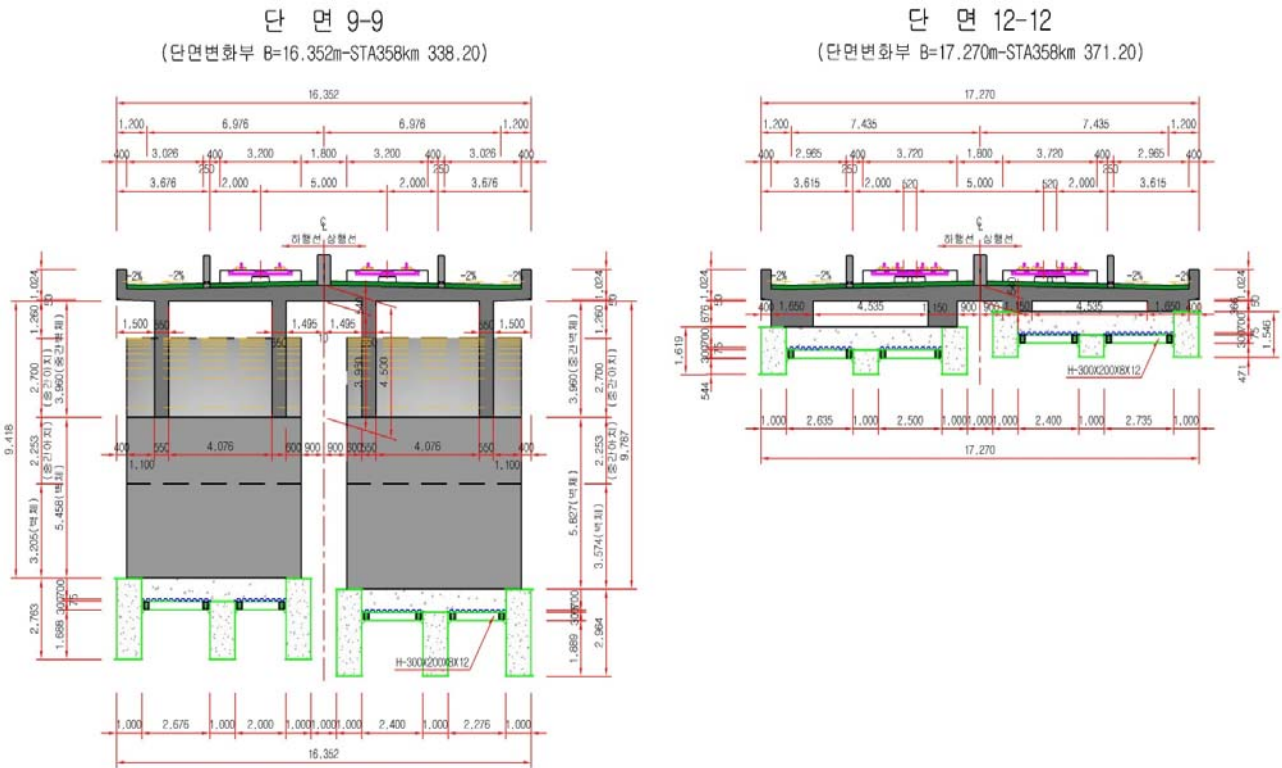


그림11 강합성 아치부 횡단면도

또한 상부슬래브의 작용하중이 하부아치의 축력으로 전달되어 전체구조물의 변형량을 감소시키고 연속고정아치 형태의 하부구조이므로 수평력 및 모멘트상쇄로 인해 수평변형 및 아치 부재력이 감소된다.

그림12와 같이 하부아치 위에 지간 11m간격의 소아치를 설치하여 다경간 상부구조형식을 구현하였

으며 다수의 소아치 벽체 설치로 교량의 수평강성이 증가되고 열차 종방향 하중에 대한 수평 변형량이 감소된다.

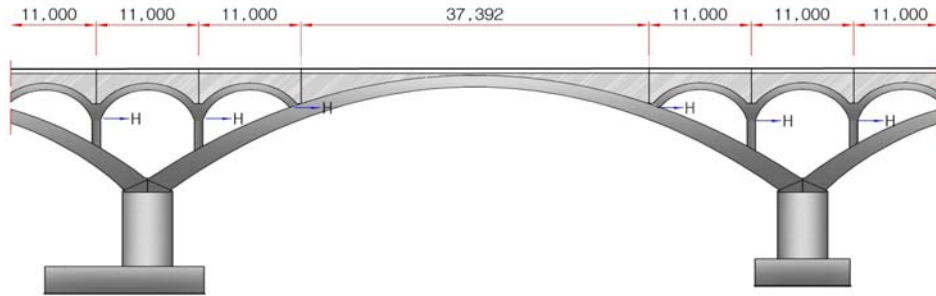


그림12 교량의 아치구조

소아치 스프링부의 벽체건조수축 및 온도에 따른 신축을 유도하고 조인트에서 균열을 유도하기 위해 벽체의 신축이음을 설치하였으며 벽체의 인장응력 해소 및 주 구조물의 손상방지를 위함이다.

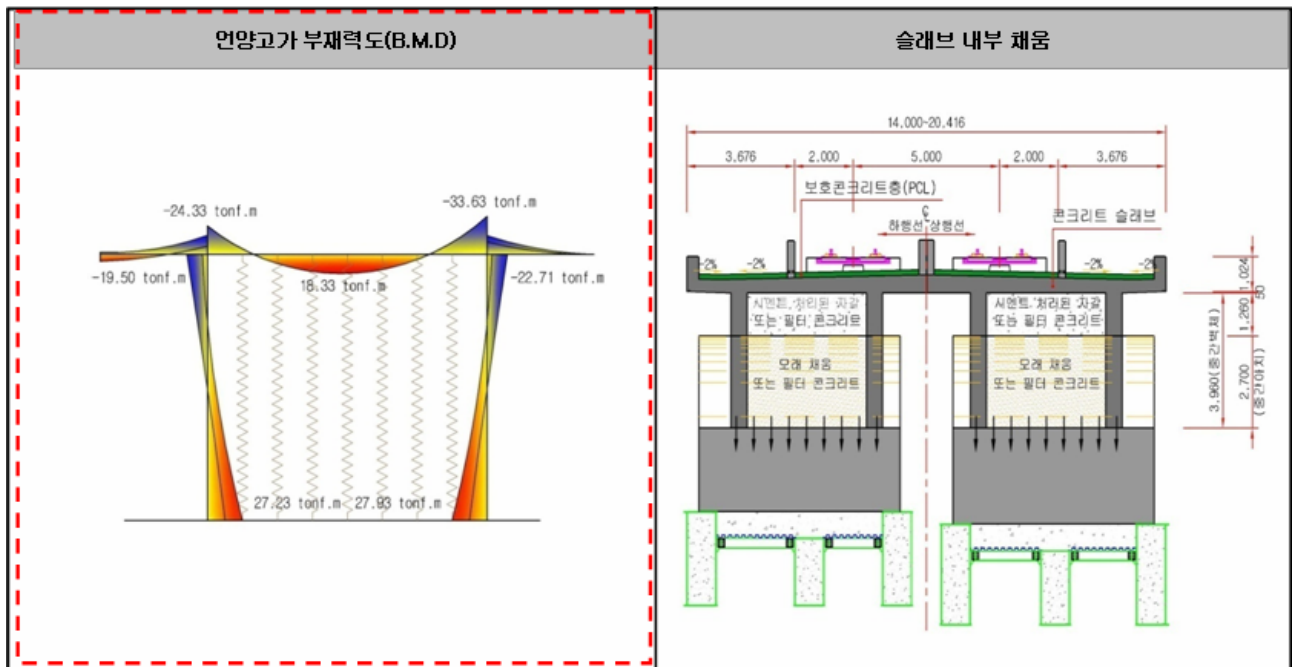


그림13 언양고가 부재력도 및 슬래브 내부채움

공기 및 시공성 확보방안으로 가설트러스를 이용한 오버헤드크레인 가설런칭공법을 채택하였으며 공법은 먼저 가설트러스를 강합성 아치 외측에 설치하고 거더 상단에 강아치 가설용 이동크레인을 설치한다.



그림14 가설트러스를 이용한 오버헤드크레인 가설런칭공법

그림14와 같이 이동크레인을 이동하여 공장에서 조립하여 운반된 강아치를 정위치로 이동하고 아치 스프링부를 연결한 후 강아치 내부를 콘크리트로 채우게 된다.

유지관리측면에서 그림15와 같이 주아치 중앙부에 유지관리 계단을 설치하고 벽체 전면에는 유지관리



점검대를 설치하였으며 이로 인해 접근성이 용이하여 교량의 손상도를 수시로 확인할 수 있다.

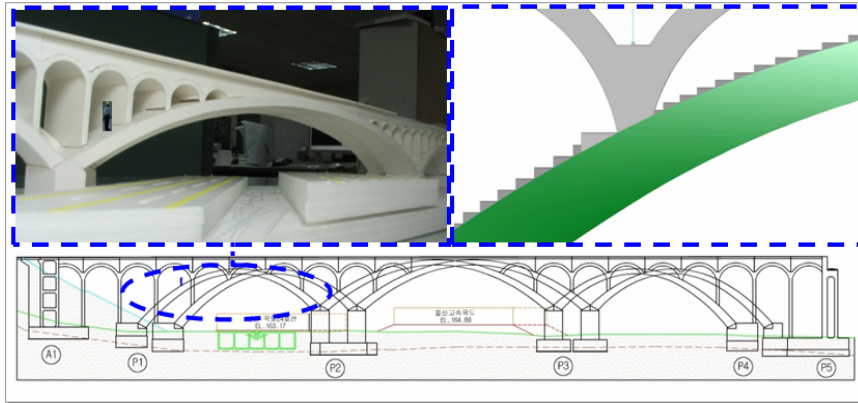


그림15 아치부 상면에 유지관리를 위한 계단설치

## 5. 결론

교량은 철도를 구성하는 중요한 구조물이며 선로의 선형이 직선화되고 정거장도 교량 상에 설치되는 경우가 많아졌다. 따라서 불가피하게 분기기와 같이 특수구조가 교량 상에 설치하게 되면서 구조해석이 복잡하게 되었으며 안전확보 측면에서 많은 검토와 안전대책이 필요하게 되었다. 본 논문에서의 결론은 다음과 같다.

- 철도교량의 설계순서를 당초 구조물형식결정→정적안전성확보→동적안전성확보→궤도안전성확보에서 선형 및 궤도구조결정→궤도안전성이 확인된 구조물형식결정→정적·동적 안전성확보 순서로 조정되어야 한다.
- 분기기와 같이 특수구조가 설치되는 교량에서는 안전성확보 및 유지관리측면에서 유리한 강함성아치교와 같은 특수교량구조의 채용이 적극 검토되어야 한다.
- 고속도로와 국도와 같이 교량하부에 통행량이 많은 도로를 횡단할 때에는 통행차량의 안전 확보가 최우선되어야 하며 공사기간이 최소화될 수 있는 공법을 적극 검토되어야 한다.

## 참고문헌

1. 三浦 重, 柳川秀明, “로그레일과一體化した分岐器のレール軸力特性” RTRI REPORT Vol.3, No.1 pp36-42, 1989.
2. 金斗煥, 高相訓, “分岐部長大레일화시의 軸力舉動特性分析” 구조물진단 학회지 제5권 제2호 pp163-174, 2000
3. 岩佐裕一, 片岡宏夫, 柳川秀明, “分岐器介在로그레일의適用範圍の擴大” RTRI REPORT Vol.20, No.4 pp11-16, 2006.
4. 김인재, 양신추, 한상철, “교량과 분기기 상호작용에 관한 연구” 철도학회 학술지, 2006.12