

# 상호작용을 고려한 철도 토공-교량 접속부의 설계 및 유지관리

이 일 화\*

## 1. 머리말

구조물 접속부는 최근 교통시설이 고속화, 고밀화 되면서 관심이 높아지고 있는데, 철도에서의 구조물 접속부는 토공-교량 구간(경부고속철도의 경우, 280개소)을 비롯하여, 토공-터널, 토공-지중구조물, 콘크리트궤도-자갈도상궤도 등 궤도를 지지하는 노반의 지지강성이 급격히 변화하는 구간을 말한다. 철도분야에서는 고속전철이 건설되면서 접속부에 대한 관심이 높아졌지만, 과거에 건설된 기존선에서는 접속부의 특성이 고려되지 못했었다. 그 결과, 기존선의 접속부, 특히 교량과 토공 접속부에서는 주행안정성에 영향을 미칠 만큼 문제가 되기도 하였다. 그 동안 접속부의 설계와 유지보수에 대한 다양한 제안이 있지만, 접속부에서의 발생하는 문제를 최소화하는 획기적인 해결책은 나오지 않고 있다. 접속부는 선로 중 가장 복잡한 부분 중 하나로서 노반강성 불균일에 의한 노반침하, 교량의 변형 등

으로 인하여 궤도 틀림이 자주 발생하는 취약구간이다. 교대와 뒤채움 사이의 접촉면 충격은 통과톤수에 따라 심화되므로 접속구간을 안전 및 승차감 기준 요구사항에 따라 유지하기 위해서는 유지보수 비용 또한 높아지게 된다. 이러한 문제점 때문에 접속부에 대한 엄격한 설계기준이 요구되지만, 구조의 복잡성 때문에 실질적 표준이나 기준을 도입하기는 쉽지 않다. 이는 다양한 형식의 교량, 장대레일의 거동, 뒤채움 토공재료의 종류, 궤도/노반/교량/차량 등의 상호작용 등을 적절히 설명할 수 있는 정보가 부족하기 때문이었다. 상호작용 문제가 고려된 설계

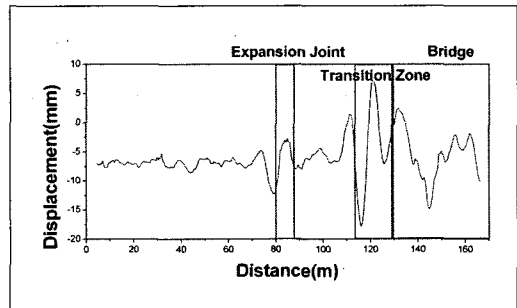


그림 1. 토공-교량 접속부에서의 전형적인 레일변위 (기존선 판형교 구간)

\* 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 선임연구원 (iwlee@krri.re.kr)

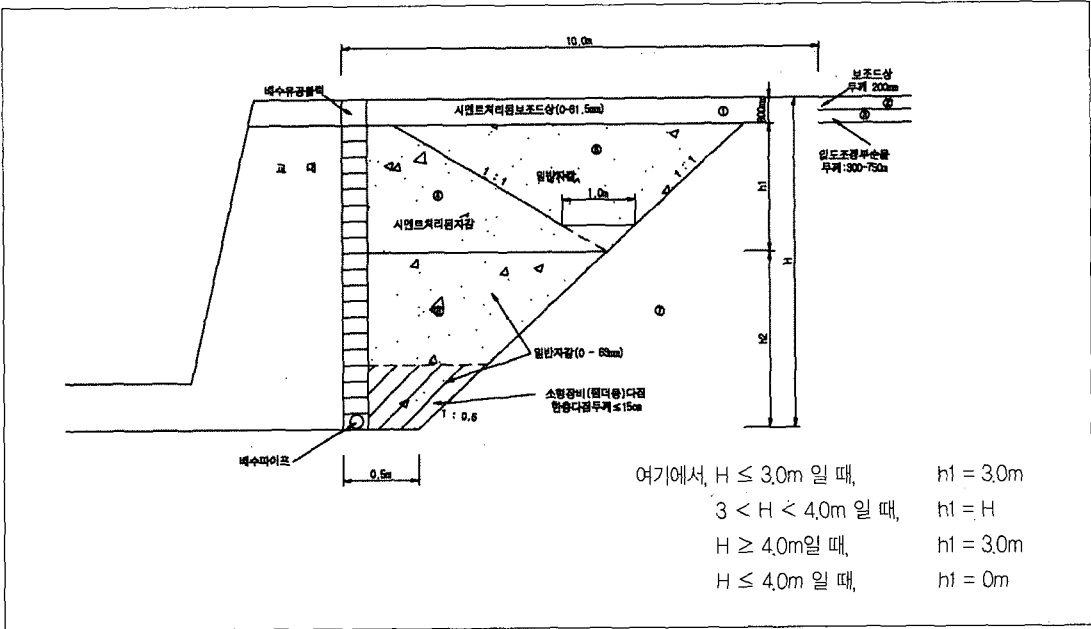


그림 2. 경부고속철도의 접속부 단면(서울-대구 1단계 구간)

및 유지보수 최적화를 위해서는 다양한 문제에 대한 정보 확보와 많은 분석이 요구된다. 또한 이러한 노력이 안전 운영과 유지보수 요구사항에 적합하도록 하여야 한다.

## 2. 교량-토공 접속부

철도에서 접속구간(transition zone)은 교량과 토공, 터널과 토공 그리고 자갈도상궤도에서 콘크리트 도상궤도로 옮겨가는 구간 등을 포함하여 궤도의 하부지지강성이 급격히 변화하는 구간을 말한다. 즉, 궤도시스템의 지지강성이 변화하는 구간으로서 철도의 안정성과 내구성에 큰 영향을 미치는 구간이다. 이러한 구간에서는 반복적인 열차주행에 따른 불균등 침하가 발생되고 진입구간인 토공부에 누적

되어 상대적인 과대 침하가 발생된다. 이러한 침하는 차량의 운행 안정성에 영향을 미침은 물론 승차감의 저하 등으로 인한 지속적인 유지보수를 필요로 하게 하는 요인이 된다. 접속부 설계 및 유지관리에 있어서 가장 중요한 요소는 구간별 노반강성차를 최소화하는 것으로서 최근 노반설계시에는 이러한 문제점을 저감시키기 위해서 토공 구간에 강성이 큰 방향으로 압축성이 작은 재료를 사용하여 그림 2와 같이 완화구간(approach block)을 설치하는 것을 의무화하고 있다.

## 3. 접속부에서의 궤도손상 및 원인

접속부에서 열차주행에 의한 궤도손상 및 원인은 궤도, 교량, 토공 등이 서로 복잡하게 작용하여 발생

표 1. 접속부 뒷채움재료의 품질 기준

| 기호 | 명 치          | 재질 및 다짐도   |
|----|--------------|--|
| ①  | 시멘트 처리된 보조도상 | $D_{max} = 31.5\text{mm}$ (3% 시멘트), 다짐도 $\geq 100\%$<br>$E_{v2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$ , $E_{v2}/E_{v1} < 2.2$ |
| ②  | 보조도상         | $D_{max} = 31.5\text{mm}$ , 다짐도 $\geq 100\%$<br>$E_{v2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$ , $E_{v2}/E_{v1} < 2.2$         |
| ③  | 입도조정 부순돌     | $D_{max} = 125\text{mm}$ , $E_{v2} \geq 80 \text{ MN/m}^2$ , $E_{v2}/E_{v1} < 2.3$                               |
| ④  | 시멘트 처리된 자갈   | $D_{max} = 63\text{mm}$ (3% 시멘트)<br>$E_{v2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$ , $E_{v2}/E_{v1} < 2.2$                     |
| ⑤  | 일반자갈         | $D_{max} = 63\text{mm}$ , $E_{v2} \geq 80 \text{ MN/m}^2$ , $E_{v2}/E_{v1} < 2.3$                                |
| ⑥  | 일반자갈         | $D_{max} = 63\text{mm}$ , $E_{v2} \geq 80 \text{ MN/m}^2$ , $E_{v2}/E_{v1} < 2.3$                                |
| ⑦  | 토공표준돌기       |  |

표 2. 접속구간에서의 궤도손상영향요소와 설계시 고려사항

| 구분   | 궤도손상영향요소  | 설계를 위한 고려사항   |
|------|---|---|
| 노반분야 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 노반의 침하</li> <li>- 도상의 침하</li> <li>- 성토사면의 전단 변형</li> <li>- 배수불량</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 뒷채움 표준단면</li> <li>- 뒷채움 재료선정 기준</li> <li>- 뒷채움 다짐도</li> <li>- 배수공법 및 배수재</li> </ul>                              |
| 궤도분야 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 궤도 마모, 변형 및 열화 발생</li> <li>- 궤도틀림의 발생 누적</li> <li>- 횡저항력의 감소</li> <li>- 교량 변위로 인한 단부의 궤도상승</li> <li>- 토공부와 교량부의 궤도강성차</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 장대레일의 안정성, 축력해석</li> <li>- 궤도 기하구조개선</li> <li>- 레일 장대화</li> <li>- 궤도강성의 연속화</li> <li>- 궤도/교량/노반의 상호작용</li> </ul> |
| 교량분야 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 교량의 횡강성 부족</li> <li>- 교량의 열팽창</li> <li>- 단부 회전에 의한 변형(거더형 교량)</li> <li>- 축 팽창으로 인한 교량단부의 변형 (제동력과 가속력 및 온도의 영향)</li> </ul>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 변위에 대한 표준 한계</li> <li>- 교량단부에서의 회전 한계</li> <li>- 경간의 길이 및 교대 높이</li> </ul>                                       |

하게 된다. 하나의 발생요인은 또 다른 요인에 영향을 미치게 되며, 최종적으로는 궤도틀림 또는 파괴를 유발하게 된다. 궤도 유지보수상 접속부에서 발생하는 대표적인 문제점과 설계시 고려해야 할 사항을 정리하면 표 2와 같다. 본 절에서는 각 분야별로 접속부의 성능에 영향을 미치는 인자에 대하여 기술한다.

### 3.1 토공 분야

#### (가) 노반 침하

노반 침하는 접속부 문제의 일차적인 원인이며 또한, 궤도기하구조 손상의 주요 원인이 된다. 대부분의 경우, 뒷채움재의 침하는 재료의 다짐불량이나 노반연약화에 의해 발생하며 대체로 신설노선 건설

시 시에 주로 나타난다. 뒤채움 재료로는 마찰각이 큰 입상토가 사용되기 때문에 침하는 건설초기에 단 기간 동안 발생하며 시간이 경과할수록 침하량은 감소하게 된다. 그러나 재료가 불량하거나 배수가 불량할 경우, 장기적인 압밀침하 발생 가능성이 크며 지속적인 유지보수가 필요하게 된다.

**(나) 도상 손상**

도상 손상의 발생은 접속부의 상호작용(궤도/노반/교량)에 의한 충격하중이 주요 원인이다. 대부분의 경우, 접속부 유지보수시 도상 손상이 보고되고 있으며, 특히 교량상부구조가 교체된 구간에서 많이 발생한다. 이는 교량상부구조 교환시 이완된 도상이 충분히 다져지지 않기 때문이며, 빈번한 도상다짐작업도 원인이 될 수 있다.

**(다) 배수불량**

흙쌓기재료 자체의 배수불량과 뒷채움재가 배수가 잘 되지 않는 재료나 구조로 시공될 때 발생한다. 배수불량은 노반의 지지력을 급격히 감소시키기 때문에 노반유지관리에 있어 배수는 가장 중요한 요소이다. 배수시스템이 설치된 경우에도 배관이 오염되거나 미세 물질들로 배수통로가 막힐 수 있다. 특히 흙깎기부가 인접한 접속부에서는 지표수가 체류되지 않도록 하여야 한다.

**(라) 성토사면의 전단 변형**

대부분의 선로는 흙쌓기부 상부가 좁기 때문에 교량단부에서 문제가 발생한다. 열차 하중 및 궤도-교량 상호작용으로 인한 동적 영향 때문에, 성토사면에 과도한 전단 변형이 발생하여 궤도 침하를 유발할 수 있다. 이러한 현상은 도상 사라짐(ballast

disappearance)의 한 원인이 된다.

**(마) 동상**

노반이나 흙쌓기 사면의 파괴는 동상에 의해서도 발생할 수 있다. 겨울철에 배수가 불량한 구간이나 체류가 발생한 구간에서 동결과 해빙이 반복되면서 나타난다.

**3.2 궤도 분야**

**(가) 수직적 결합**

궤도 수직결합은 노반침하의 의해 발생하는 초과 하중 또는 과대변위로 인하여 발생한다. 접속부의 궤도틀림은 일반적으로 속도에 따라 약 5m 이상의 선로에 걸쳐 영향을 끼치며 초기발생 후 일정 시간이 경과하면 급속하게 증가하는 경향이 있다. 궤도의 수직결합에 의해 발생할 수 있는 문제점은 운영 시 안정성 저해, 차량 및 레일의 마모와 손상, 속도 제한, 승차감 저하, 소음 진동의 증가 등이다.

**(나) 수평적 결합**

위치별 수직변위의 차에 의한 마찰면 부족으로 인하여 도상횡저항력이 감소하여 궤도좌굴이 발생한다. 이와 같은 도상횡저항력의 감소는 탄성이 높은 교량에서 특히 문제가 된다. 또한 교량의 신축은 차량 제동력으로 인하여 매우 높은 축응력을 발생시킬 수 있으며, 최대 축응력은 도상횡저항력이 가장 약한 구간에서 발생하게 된다.

**(다) 침목의 상승(Floating sleeper)**

국부적으로 노반 및 도상 침하가 발생하게 되면 일부 침목은 도상과 떨어져 있는 상태가 되게 된다.

궤도에 하중이 작용하지 않는 경우에는 도상과 침목 사이에 틈이 있음을 의미한다. 열차가 통과하게 되면 침목과 도상의 반복적 접촉으로 도상과 하부노반에 높은 충격하중이 발생시키며, 도상파쇄 등에 의해 침하가 발생한다.

### 3.3 교량 분야

#### (가) 교량의 휨강성

하중을 받는 조건에서 교량의 휨강성 부족은 교량 단부의 회전을 발생시키며, 교량의 양단 접촉부에 있는 궤도의 축방향 이동을 유발하여 불연속성으로 인한 동적하중을 증가시킨다. 교량단부에서 회전이 발생할 경우, 토공부의 수동파괴를 유발할 수도 있다.

#### (나) 교량의 신축

자갈도상궤도를 사용한 교량의 경우, 신축으로 인한 교량의 축방향 이동이 발생되며 장대레일을 사용한 경우에는 교량 단부에 가장 심각한 압축 및 인장 손상이 발생한다.

#### (다) 토공부와 교량부의 강성차

교량부와 토공부의 강성차로 인하여 궤도에서 발생하는 탄성변위량이 일치하지 않기 때문에 궤도기하 구조가 완벽한 경우에도 동적하중은 하부구조의 과도한 변위를 유발시킬 수 있는 큰 충격하중을 발생시킨다. 이러한 과하중은 토공부의 침하 및 탄성변위를 증가시키는 등 손상을 유발하게 되기 때문에 강성이 큰 교량부에서는 저탄성패드 등의 사용이 추천된다.

#### (라) 교대기초 설계

교대기초는 충분한 지지력 갖도록 설계되어야 한

다. 특히, 콘크리트도상궤도인 경우에는 교대침하가 전혀 발생되지 않게 시공되어야 한다.

## 4. 관련 설계규정

### 4.1 토공 설계

#### (가) 뒷채움 구조

궤도를 지지하는 노반은 기본적으로 궤도시스템 문제의 일차적인 원인을 제공한다. 일반적으로 노반은 압축성이 있는 자연재료로 구성되고 교대는 강성이 큰 콘크리트구조물로 조성되기 때문에 뒷채움재는 두 구조물의 강성차를 최소화할 수 있는 구조로 조성되어야 한다. 뒷채움 구조를 결정할 시에는 열차운행조건, 궤도구조, 교량형식, 노반조건, 지형조건 등을 면밀히 검토하여야 한다.

#### (나) 뒷채움 재료

뒷채움을 위해 다양한 종류의 재료가 사용될 수 있으며, 그 중 입도분포가 양호한 쇄석이 소요 다짐도를 충족할 수 있고 배수성능이 우수하기 때문에 많이 사용된다. 최대입경은 다짐이 가능한 범위로 제한되며, 다짐두께와 관계가 있다. 일반적으로 입자의 최대 직경은 600mm이며 다짐층 두께의 절반 이하이어야 한다.

#### (다) 뒷채움재의 다짐

노반의 내구성 확보를 위해서는 뒷채움재료는 충분한 다짐이 되어야 한다. 불충분하게 다져진 노반의 압밀침하는 접촉부 변형의 주된 원인이 되며 향후 유지보수를 증가시킨다. 일반적으로, 뒷채움재의

다짐도는 최대건조밀도  $DPr \geq 95\%$ 이 요구되며 상부노반층에서는 보다 높은 값(예, 다짐도  $DPr \geq 105\%$ 이상)이 요구된다. 최근 유럽에서는 EV2값을 기준으로 많이 사용하고 있다. 역삼각형 형태의 어프로치 블록 구조를 사용할 경우, 블록의 하단부에서 중량 다짐장비를 사용하기 어렵기 때문에 다짐관리에 특히 주의하여야 한다.

### (라) 배수

접속부에서의 배면 배수는 설계 및 유지관리에 있어 매우 중요한 요소이다. 배수층은 교대배면에 미립자가 없는 다공성(porous) 콘크리트 블록 등으로 시공되며 최근에는 토목섬유, 역청재료, PVC파이프 등이 많이 사용되고 있다. 뒷채움재에서 원활한 배수가 어려우면, 추가 배수층을 흙쌓기층이나 경사 표면에 설치한다.

## 4.2 궤도 설계

### (가) 장대레일의 안정성

UIC 리플렛 774-3의 최신판에서는 다음 조건(UIC60, CWR,  $R_{min}=1500m$ )에서 콘크리트침목에 도상두께가 30cm인 자갈도상궤도에서 레일응력의 기준값을 다음과 같이 제시하고 있으며 추가적인 축력해석을 요구한다.

- 추가 압축 레일 응력  $< 72 N/mm^2$   
(약  $30^\circ C$ 의  $\Delta T$ 에서)
- 추가 인장 레일 응력  $< 92 N/mm^2$   
(약  $38^\circ C$ 의  $\Delta T$ 에서)

### (나) 궤도 구조

접속부에서는 궤도의 종류, 운행속도, 캔트, 곡선

반경 등이 상이하기 때문에 궤도구조에 적용되는 특별한 기준은 없다. 궤도구조 검토시 저속에서는 탈선 이 첫 번째 설계 기준이 되는 반면, 고속에서는 횡-레일의 상호작용에 의한 동하중과 피로가 고려된다.

### (다) 레일 장대화

교대상에 신축 이음매를 설치하는 것은 피해야 하며, 장대레일화가 권장된다. 장대레일에서는 접속부를 기준으로 도상의 프로파일이 좌우 변형에 대하여 동일하게 거동하는지 점검해야 한다.

### (라) 궤도강성의 연속화

궤도 설계시에도 가능한 접속부의 강성차를 최소화하도록 하는 조치가 필요하다. 교량에서 자갈도상 궤도를 이용하는 것은 궤도의 균일성을 유지하기 위한 가장 효과적인 방법 중 하나이며 필요시, 보강레일, 저탄성패드 등을 사용한다.

## 4.3 교량 설계

### (가) 변위에 대한 표준 한계

UIC 리플렛과 유럽 예비표준 ENV 1991-3에서 권장하는 허용변위값( $\psi$ )은 표 3과 같다. 이 값들은 속도 범위 및 경간 길이의 함수로 연속 구조에 대해 1.1, 단경간 구조에 대해 2.0, 2경간 구조에 대해 1.5를 곱하여 적용한다.

### (나) 교량의 회전한계

자갈도상궤도의 접속부인 경우, 단부회전에 의한 수직변위는 도상의 횡저항력을 급격히 감소시키게 된다. 그러므로 장대레일이 적용된 교량에서는 이에 대한 고려를 하여야 한다. 단부회전은 수직변위의

표 3. 교량 구조에 대한 최대 상대수직변위 y/L

| 속도 범위<br>[km/h] | 경간 L[m] |         |         |         |          |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|----------|
|                 | L≤15    | 15<L≤30 | 30<L≤50 | 50<L≤90 | 90<L≤120 |
| v≤120           | 1/500   | 1/900   | 1/800   | 1/600   | 1/600    |
| 120<v≤160       | 1/900   | 1/1200  | 1/1200  | 1/800   | 1/600    |
| 160<v≤200       | 1/1000  | 1/1400  | 1/1500  | 1/1300  | 1/600    |
| 200<v≤280       | 1/1200  | 1/1500  | 1/2100  | 1/2100  | 1/1400   |
| 280<v≤350       | 1/1500  | 1/1600  | 1/2100  | 1/2400  | 1/2200   |

표 4. 교량별 회전한계

|   | 단선교량                           | 복선교량                           | 속도가 220km/h 이상인 경우                 |
|---|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| 교대인 경우[θ]                                   | 6.5 × 10 <sup>-3</sup> radians | 3.5 × 10 <sup>-3</sup> radians | 2 × 10 <sup>-3</sup> /h(m) radians |
| 연속 2경간인 경우[θ <sub>1</sub> +θ <sub>2</sub> ] | 10 × 10 <sup>-3</sup> radians  | 5 × 10 <sup>-3</sup> radians   | 4 × 10 <sup>-3</sup> /h(m) radians |

※ 여기서 h는 레일과 교량 배어링간의 거리

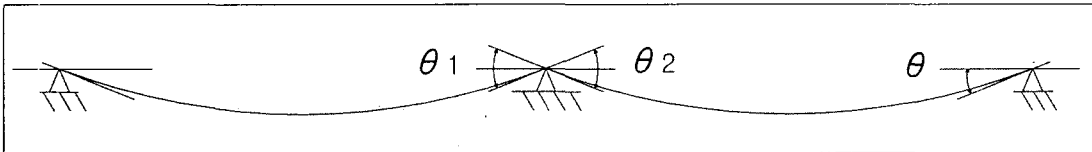


그림 3. 교량 회전한계값의 위치

한계값과 직접적으로 연관되며 추천되는 회전한계는 표 4와 같다.

#### 4.4 고속선에서의 고려사항

현재까지 고속선 접속부의 어프로치블럭 연장에 대한 상세한 연구결과는 발표되지 않았으나, 유럽설계사에서는 15m 이상을 추천하고 있으며, 성토의 높이에 따라 접속 연장을 결정하도록 추천하고 있다. 독일(DB)과 대만고속철도에서는 교량-토공 접속부(approach block)의 연장을 20m 이상으로 하고 있으며 최고 성토고의 4배까지 제시하고 있다. 또한 고속선에서 압밀 침하 위험을 낮추기 위하여 흙쌓기 높이의 잠정적 한계를 약 10m로 고려하며 잔류침하에 대해서는 20mm 정도(자갈도상궤도인 경

우)까지는 허용하고 있다.

충분한 노반지지력 확보를 위하여 콘크리트도상궤도의 경우, 노반(상부노반)은 콘크리트층 아래 최소 2.5m 깊이까지 설계되어야 한다. 자갈도상궤도에서도 이와 유사한 수준의 범위로 연장되어야 할 필요가 있다. 또한 고속선인 경우, 특별히 노반의 결빙 방지와 원활한 배수에 대한 검토가 요구된다. 결빙과 배수불량은 뒷채움재의 지지력을 급격히 떨어뜨리는 원인이 되므로 고속선에서는 반드시 이에 대한 검토가 필요하다.

#### 5. 유지보수의 효율화

향후 유지보수 방향은 유지보수의 빈도를 줄이는

표 5. 접속부 유지관리기준과 계측결과와의 비교

| 계측항목         | 비고                              | 기준값                    | KTX(시험주행시)             | 비율  |
|--------------|---------------------------------|------------------------|------------------------|-----|
| 차체상하진동가속도    | RTR추천값<br>※20Hz Low-Pass Filter | 1,3m/sec <sup>2</sup>  | 0,24m/sec <sup>2</sup> | 18% |
| 윤증변동율        | RTR추천값                          | 0,13                   | 0,117                  | 91% |
| 레일응력         | RTR추천값                          | 900kgf/cm <sup>2</sup> | 569kgf/cm <sup>2</sup> | 63% |
|              | 독일고속철도기준                        | 714kgf/cm <sup>2</sup> |                        | 79% |
| 10m현 면틀림(고저) | 경부고속철도유지관리기준                    | 7mm                    | 1,4mm                  | 20% |
| 10m현 줄틀림(방향) | 경부고속철도유지관리기준                    | 7mm                    | 2,09mm                 | 29% |
| 레일수직탄성변위     | 신간선주행판정기준                       | 4mm                    | 0,478mm                | 12% |
|              | 독일고속철도기준                        | 1,5mm                  |                        | 32% |

방향으로 나아가야 하기 때문에 현상에 대한 조치보다는 계획적인 유지보수가 필요하다. 또한 접속부에서의 효율적인 유지보수를 위해서는 설계단계에서부터 유지보수 방안이 고려되어야 한다. 즉, 문제 해결을 위한 접근 방안을 확보하여 설계하는 것도 필요하다. 자갈도상궤도의 경우, 국부적 궤도변형은 도상다짐 등을 통하여 보수가 가능하나, 콘크리트도상궤도인 경우에는 보수가 매우 어렵기 때문에 설계단계에서 충분한 고려를 하여야 한다.

### 5.1 결함의 원인 조사

유지보수를 감소시키기 위해서는 결함의 원인을 찾기 위한 검사가 선행되어야 한다. 발생 현상의 원인에 대한 조치가 취해지지 않으면 반복적인 문제가 지속되기 때문이다. 궤도가 자주 손상될 경우, 궤도 기하구조의 보수는 그 자체만으로는 충분하지 않으며 노반 침하, 교량 및 궤도의 변형도 고려해야 한다.

### 5.2 유지보수 기준의 선정

접속부 상에서의 궤도계측 결과는 충격하중의 영

향으로 상당히 편차가 크다. 이러한 제반의 변화에 대해서는, 그 변화를 파악할 수 있고 대체적인 물리적 의미를 이해할 수 있을 뿐, 구체적인 현상을 파악하기는 어렵다. 지금까지는 자료가 다소 부족한 편이지만 보다 많은 자료가 수집되어 분석이 가능해지면 접속부 구간에서의 계측값의 변동에 대한 이해가 가능하고, 차후 유지보수시 계측 자료를 통한 이상 유무 결정이 보다 용이해질 것으로 사료된다. 계측된 자료를 접속부에 적용할 수 있는 기준값과 비교하면 표 5와 같다. 표에서 KTX자료는 개통전 시험선에서의 계측결과로서 현재 상태와는 차이가 있을 수 있다. 기준값은 지금까지 명확하게 제시되어 적용되는 접속부 유지보수기준이 없기 때문에 일본철도종합연구소에서 추천하는 기준, 신간선 주행판정기준, 독일고속철도기준 및 국내 궤도관리기준을 참고로 비교하였다. 상대적으로 궤도관점에서의 관리기준보다는 차량주행관점에서의 관리기준(궤도를 립 또는 차체진동가속도)이 궤도의 연속적인 상태평가에 유리하다.

### 5.3 데이터베이스 구축



접속부에서의 거동은 각 선로의 특성과 열차조건, 지반조건 등이 복합적으로 작용하여 발생한다. 또한 단기거동보다는 장기거동에 대한 자료 확보가 중요하다. 그래서 유럽에서는 각 요소에 대한 개별 계측을 수행하여 시스템화하고 그 자료를 공유하여 사용하고 있다. 이러한 자료는 향후 새로운 접속부 설계 및 유지관리를 위한 모델 개발에 필요하다.

#### 5.4 유지보수지침의 마련

접속부에서의 유지보수 효율화를 위해서는 신속하고 합리적인 대처가 필요하다. 발생된 문제를 신속하게 식별하고 해결책을 제시하기 위해서는 검사 체크리스트가 마련되어야 하며, 진단을 통해 재료의 보강이나 교체를 신속하게 결정하여야 한다. 유지보수의 방법 및 절차는 접속부의 형태에 따라 다양해질 수 있으므로, 지침은 거의 모든 종류의 교량을 포함하여야 한다. 또한 지침의 체크리스트를 통하여 필요한 유지보수 형태와 시기를 예상할 수 있어야 한다.

#### 5.5 유지보수를 위한 설계 표준화

효율적인 유지보수 시스템을 구축하기 위해서는 설계 표준화가 선행되어야 한다. 접속부의 다양성과 복잡성으로 인하여 표준도면 작성은 어렵더라도 유지보수를 위한 기본적인 설계지침 제정은 필요하다.

### 6. 권장사항

다음의 권장사항은 ERRI(European Rail

Research Institute)의 “Bridge End” 위원회에서 제안하고 있는 사항이며, 기본적으로 궤도/노반/교량의 상호작용에 대한 고려를 전제하고 있다.

#### 6.1 지반 분야

접속부 뒤택음재와 원지반의 침하는 접속부 궤도 기하구조를 손상시키는 가장 큰 요인이기 때문에 지반공학 분야에서의 권장사항은 대부분 장기거동(압밀침하 등)에 관한 규정의 필요성이다. 하지만 현실적으로 장기거동에 대한 규명은 매우 어렵기 때문에 현재까지 유지관리 또는 데이터베이스를 활용하여 선로조건에 적합한 규정 제정이 요구되며 시험평가를 통하여 접속부에서의 실제 장기거동에 대한 규명이 필요하다. 유럽에서는 접속부 노반구조에 대한 표준을 통일하려 하고 있으며, 침하기준 및 유지관리에 대한 새로운 기법을 도입하려 하고 있다. 또한 접속부 문제와 동반된 배수시스템, 지반보강공법 및 강성완화 슬래브의 적용 등을 추천한다. 특히 고속선의 경우에는 접속부에서의 허용가능침하량, 승차감, 안전측면에서의 기준 마련이 필요하다. 노반과 관련된 설계규정은 궤도와 교량 설계 표준에 적합하게 구성되어야 한다.

#### 6.2 궤도 분야

접속부 설계시 궤도/노반/교량을 모두 고려한 시스템 설계가 요구된다. 이를 위하여 접속부에서의 이동하중에 대한 해석을 상세히 수행할 수 있는 동적해석모델 및 실험이 요구된다. 또한 접속부에서의 교량신축 및 제동력 등에 의해서 발생하는 레일의 종저항력이나 신축이음매에 대한 구체적인 규정이

필요하다. 특히 장대레일을 접속부 상에서 신뢰성 있게 적용하기 위한 기술적 기반을 마련하여야 한다.

### 6.3 교량 분야

기존 교량의 경우에는 교량 및 교대배면의 성능개선에 대한 사안으로서 주 내용은 교량시스템 손상 영향인자 조사, 교대 배수시설 개선, 교량 유지보수 절차, 강성변화 슬래브의 설치 방안, 교대보강 방안 등이 필요하다.

신설 교량의 경우는 궤도/노반/교량 사이의 상호작용을 포함하여 온도변화, 제동력, 충격하중 등을 고려한 시뮬레이션과 상호작용 자료에 대한 통계적 분석과 관련된 연구가 필요하다.

## 7. 맺음말

현재까지 토공-교량 접속부의 설계와 유지보수

에 대한 다양한 제안이 있지만, 문제를 최소화하는 획기적인 해결책은 아직 나오지 않고 있다. 접속부는 다양한 구조형식, 기후적 영향, 지형적 영향, 하중 조건 등으로 인하여 복잡하게 거동하기 때문에 문제를 정확히 예측하는 것은 불가능하지만 이러한 문제점에 대처하기 위한 효율적인 수단을 강구할 필요가 있다. 지금까지 접속부에서 발생하는 문제의 원인과 현상에 대해서는 잘 알려져 있기 때문에 이러한 자료를 바탕으로 상호작용을 고려한 대책이 필요하다. 현재까지 우리나라를 비롯하여 외국에서도 접속부 설계시 궤도/노반/교량/차량 분야 간의 정보공유 또는 공동작업이 부족하였다. 대부분의 경우 경험적인 방법으로 접속부를 설계하였고, 각 분야별 관련 설계표준이나 지침이 별도로 정해졌으며, 특히 차량과의 상호작용에 근거한 설계 지침 등이 명확하게 명시되거나 이해되지 않았었다. 접속부 구조는 각 각이 상이하하여 하나의 표준을 적용하는 것은 어렵지만 향후 효율적 유지보수를 감안한다면 설계지침과 같은 업무자료가 마련될 필요가 있다 하겠다.

