

# 콘크리트궤도 토공노반의 허용잔류침하량 결정에 관한 연구

## Study of Determination of Allowable Residual Settlement of Concrete Track Roadbed for High-Speed Railway

이일화\*                      양신추\*\*                      장승엽\*  
Lee, Il-Wha   Yang Shin-Chu   Jang Seung-Yup

---

### ABSTRACT

An active application of concrete track is being expected for the future construction of Korean railroad. For the successful concrete track construction and design in earthwork areas, the residual settlement should be reasonably estimated using the proper method. The concrete track is extremely vulnerable to the damage of residual settlement. However, at the transition areas such as bridge approach, differential settlement will likely occur due to difference of stiffness, poor drainage and poor ground treatment. The maintenance is very difficult for excessive settlement on existing line, it is need to constrain the residual settlement in step of design. In this paper, it is performed the determination of the allowable residual settlement through various study to understand the residual settlement behavior of concrete track roadbed.

---

### 1. 서론

최근 철도건설시 궤도구조 선정 추세는 유지관리 측면에서 유리한 콘크리트궤도를 적극적으로 도입하려 하고 있으며, 경부고속철도 2단계, 호남고속철도 등 국내에서도 콘크리트궤도의 본격적인 적용이 예상된다. 콘크리트궤도는 충분한 주행안정성을 확보할 수 있고 유지관리비를 대폭적으로 절감시킬 수 있다는 장점을 가지고 있다. 하지만 유지보수상의 문제점은 하부구조 즉, 콘크리트층을 지지하고 있는 성토층과 원지반에서의 침하문제이다. 궤도에서 국부적인 궤도틀림이 발생하였을 경우에는 체결장치 등을 이용하여 조정이 가능하지만, 하부구조가 원인이 되는 과도한 침하나 변형이 발생할 경우에는 유지보수가 대단히 어려워지게 된다. 즉 하부구조의 강성차, 노반의 연약화나 배수불량에 의한 노반 침하가 발생하였을 경우에는 하부구조 자체를 보강하여야만 하기 때문에 열차를 차단할 수 없는 영업선에서는 유지보수에 많은 어려움이 따른다. 그러므로 토공구간에 콘크리트궤도를 건설할 경우에는 침하에 대비한 모든 가능한 변수를 고려하여 보다 안전측으로 설계하여야 한다. 본 논문에서는 콘크리트궤도 허용잔류침하량 산정을 위하여 시공조건, 유지보수조건 및 주행안전, 구조적안정성 등을 검토하여 합리적인 기준 제시 방안을 검토하는 것을 목표로 하였다.

### 2. 허용잔류침하량 산정 방안

노반의 침하는 장기적 거동을 보이기 때문에 정량적 분석 또는 예측이 어려워 과거에는 매우 엄격한 기준을 적용하였으나, 최근에는 기술개발 및 경험에 의해 다소 완화되는 경향이 있다. 침하기준 산정을 위한 검토항목으로는 궤도구조, 시공조건, 환경조건 등을 복합적으로 검토하여 결정하여야 하며 유지관

---

\* 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 선임연구원, 정희원

E-mail : [iwlee@krti.re.kr](mailto:iwlee@krti.re.kr)

Tel : (031)460-5326 Fax: (031)460-5319

\*\* 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 책임연구원, 정희원

리성을 고려한 설계를 위하여 침하특성과 사용상의 문제점을 분석하여 설계기준을 정립할 필요가 있다. 본 논문에서는 이를 위해 국내외 관련 자료를 통해 콘크리트궤도의 침하특성을 분석하였고, 이를 바탕으로 궤도측면에서 안정성 확보가 보장되는 허용 잔류침하량 산정 방안을 제시하고자 하였다. 다음 표 1에 허용잔류침하량 산정을 위한 본 논문에서 검토한 항목 및 내용을 정리하였다.

표 1. 허용잔류침하량 산정을 위한 검토 항목 및 내용

	검토 항목	검토 내용
1	콘크리트궤도구조	궤도의 허용휨응력 및 유지보수 조건 등
2	원지반 및 노반조건	노반설계조건 및 호남고속철도 예정노선의 연약지반 특성
3	국내외 침하관련 연구결과	침하와 관련된 해석, 시험, 현장시공 결과
4	국내외 침하계측자료	일본, 대만 및 경부고속철도 2단계 침하계측자료
5	국외 허용잔류침하 기준	독일, 일본, 대만 설계기준
6	주행 안정성	차량/궤도 상호작용 해석을 통한 주행안정성
7	체결구 조정능력	Vossloh System 300 & Pandrol SFC의 고저조정 가능 범위
8	연약지반 처리비용	연약지반처리공법에 대한 경제성
9	궤도LCC 평가	침하량별(20, 30mm) LCC 평가 결과

### 3. 콘크리트궤도 토공노반의 침하 특성

토공노반의 침하는 쌓기하중 등의 사하중에 의한 원지반의 침하, 쌓기 자체의 압축하중 및 열차 하중에 의한 쌓기부 침하로 크게 구별된다. 이중 쌓기하중 및 열차하중은 단기간 내에 발생하여 잔류침하에는 거의 영향을 미치지 않지만, 원지반침하는 궤도 안정성에 지속적인 영향을 미치기 때문에 철저한 대책이 필요하다. 특히 접속개소 등에서는 부등침하의 발생가능성이 크기 때문에 철저한 조사와 대책이 필요하다. 토공노반 침하의 주요 원인은 지반조사 미흡, 원지반처리 불량, 성토다짐불량, 배수불량, 접속처리 미흡 등이며 대부분은 침하문제는 복합적인 원인으로 발생한다. 침하방지를 위해서는 철저한 사전조사를 필요로 하는데, 사전조사에는 지반조사, 침하예측, 대책공법의 적용 등이 검토되어야 한다. 일반적으로 지반조사는 일정거리마다 수행되지만, 국부적인 지반결함이 예상되는 구간에서는 연속적인 조사를 수행할 필요가 있다. 침하량에 대한 산정은 지형 및 지질 조건, 환경적 요인, 열차주행 특성, 토공재료 등에 대한 정확한 자료 분석이 요구되기 때문에 장기간에 걸쳐 시공되는 철도건설에서는 대단히 어려운 작업이라 할 수 있다. 특히 침하특성에 대한 분석은 주로 현장계측을 통하여 이루어지게 되는데, 시공중 발생하는 침하량을 계측하고 이를 바탕으로 잔류침하량을 예측하여야 한다. 그러나 예측값은 매우 편차가 심하기 때문에 시공관리 및 유지관리에 적용하기에는 논란의 여지가 많다. 본 절에서는 그 동안 경험하고 수집하였던 침하관련 자료의 검토 결과를 아래와 같이 정리하였다.

- 1) 콘크리트궤도의 실물반복재하시험(25톤, 300만회) 결과, 노반에서의 누적변위량은 0.35mm로서 열차 하중에 의한 노반의 침하량은 무시할 만한 수준인 것으로 나타났다. 독일에서는 통상적으로 열차하중에 대한 노반의 침하량을 5mm 정도로 고려하고 있으며, 일본에서는 1mm 이하인 것으로 추정하고 있다.
- 2) 열차하중에 대한 탄소성해석 결과, 일반적인 전면기초에 작용하는 구조물 하중에 비해 그 크기가 상당히 작으며, 자갈궤도와 비교할 때도 열차하중이 강성이 큰 슬래브에 의해 지중에 골고루 분산되어 설계하중하에서의 노반에 발생하는 변위(1.0~1.5mm)나 응력(0.3~0.5kg/cm<sup>2</sup>) 수준이 매우 작은 것으로 나타나 구조적 안정성은 높은 것으로 나타났다.
- 3) 일본고속철도 침하계측자료에 대한 분석 결과, 잔류침하량은 열차운행 후 1-2년 이내에 수렴하는 것

으로 나타났으며, 지지 지반이 양호하고 양질의 성토 재료 및 충분한 시공관리에 의해 최종 침하량 목표치(30mm) 이내로 억제하는 것이 충분히 가능한 것으로 분석되었다.

- 4) 대만고속철도 침하계측자료에 대한 분석 결과, 대부분은 기준을 만족하는 것으로 나타났지만 취약개소의 경우, 지표침하가 과도하게 발생하여(15mm/9개월) 측정침하량은 기준을 만족하지만, 예측침하량은 기준을 상회하는 경우가 발생하였다. 취약개소는 매우 국부적으로 발생하였기 때문에, 노반공사시 적절한 조치가 수행된다면 충분히 예방이 가능할 것으로 판단된다.
- 5) 경부고속철도 2단계 침하계측자료(11공구)에 대한 분석 결과, 노반공사 완료후 지표침하계에서의 계측값은 최대 9개월 동안 1개소를 제외하고는 3mm 이내로 수렴하였다. 계측침하량 값은 일반적인 토공구조물의 침하량과 비교할 때 매우 작은 것으로 나타났는데, 이는 대부분이 암성토로 이루어진 구간으로서 흙성토에 비해서 초기침하 측면에서는 다소 유리한 것으로 판단된다.
- 6) 국내의 관련 자료 및 연구결과를 종합하면, 원지반 및 흙쌓기 시공시 엄격한 기준과 시공관리가 수반된다면 콘크리트궤도 토공노반의 침하량은 충분히 제어할 수 있는 것으로 분석되었다.

#### 4. 열차주행안정성 검토

주행안전 및 구조안정성 한계에 대한 분석결과, 침하관리 한계는 주로 주행안전에 의해 좌우되며 접속부 경사처짐의 경우 20~30mm 수준에서 관리되어야 하는 반면 국부노반침하의 경우는 불과 몇 mm 수준에서 관리되어야 하는 것으로 나타났다. 접속부에서의 부등침하는 접속부 슬래브길이에 따라 증가하고 접속슬래브 길이가 10m 일 때 한계치는 약 20mm, 15m 이상일 때는 30mm이상을 한계치로 볼 수 있으므로 상당한 여유가 있음을 알 수 있다. 그러나 국부노반침하의 경우는 동적운중값이 매우 작은 궤도틀림에서도 큰 변화를 나타내고 있어서 매우 까다로운 관리가 필요한 것으로 나타났다. 그러나 본 절에서 분석한 한계값은 궤도틀림 관리에 있어서의 한계값이므로 총 잔류침하량의 허용값과는 차이가 있다.

#### 5. 체결장치 조정능력을 고려한 보수한계

아래 표 2는 대표적인 Vossloh System 300과 Pandrol SFC 체결장치의 보수한계를 정리하여 나타냈다. 모두 베이스 플레이트 하부에 플라스틱 심플레이트(shimplate)를 삽입하거나 교체하는 방법으로 고저조정이 이루어진다. 표에 따르면 레일체결장치에 의해 조정될 수 있는 한계는 대략 50mm 내외까지 가능한 것으로 제시되어 있으나 앵커볼트가 횡압에 대해 충분한 저항력을 가지고 있는지에 대한 충분한 검토가 필요하다. 따라서 현재로서는 보수적으로 보아 앵커볼트의 교체나 steel plate 삽입 등 비교적 간단한 방법으로 선형조정을 시행할 수 있는 25~30mm 내외를 보수한계로 보는 것이 타당할 것으로 판단된다. 국내의 허용 잔류침하량 기준을 분석해보면 대부분 궤도 부설 후를 기준으로 20~30mm 내외로 기준을 정하고 있었고, 체결장치에 의한 보수한계에 그 근거를 두고 있다.

표 2. 대표적인 레일체결장치의 보수한계 예

종류	고저조정		좌우조정	
	조정방법	조정한계	조정방법	조정한계
Vossloh System 300	레일패드 교체, 높이조절용 Plastic Shimplate 및 Steel Plate 삽입	+56mm*/-4mm	Guide plate 교체	±8mm
Pandrol SFC	Shimplate 삽입/교체	+55mm**/-5mm	베이스플레이트의 톱니와서 이용	±18mm

#### 6. 허용잔류침하량별 연약노반처리비용 비교

호남고속철도 예정노선에서 취득한 자료를 바탕으로 하여 허용잔류침하량의 기준(20mm, 30mm)에 따른 지반의 침하량, Pre-loading 성토높이, 지반보강공법 등을 예비적으로 산정하였으며 이에 따른 개략공

사비를 산출하였다. 공법은 국내에서 적용성이 높은 모래다짐말뚝과 쇠석말뚝에 대해 대표단면(계획고 15.0m, 연약층 심도 11.5m, 총연장 12.0km)을 기준으로 허용잔류침하량을 검토한 결과, 허용잔류침하량 기준(20mm 또는 30mm)이 연약지반 개량비용에 미치는 영향은 5% 이내인 것으로 분석되었다. 그러나, 콘크리트궤도건설에서 일반적인 연약지반처리공법으로 침하억제를 하는 것은 한계가 있으므로 적용 시에는 파일슬래브공법이나 심층혼합공법 등 보다 적극적인 침하억제공법이 적용될 가능성이 있다. 현재로서는 적용사례가 없어서 구체적으로 비교하기는 어렵지만 이러한 특수공법이 적용된다면 잔류침하량 기준에 따라 비용이 크게 증가할 수 있을 것으로 판단된다.

### 7. 토공구간에서의 콘크리트궤도 LCC분석

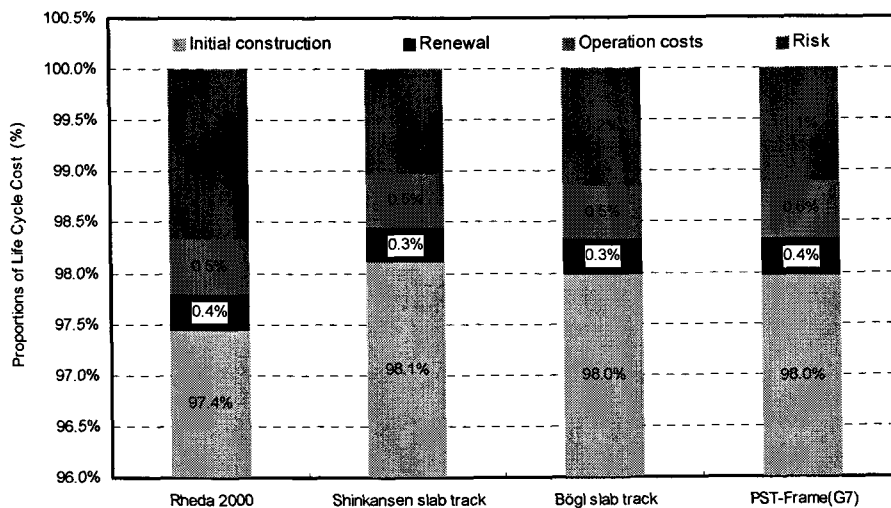


그림 1. 궤도형식별 토공구간 LCC 비율 비교

이상의 검토에서 결국 잔류침하량 기준은 20~30mm에서 결정되는 것이 타당할 것으로 판단된다. 그렇다면 최종적으로 20mm로 정할 것인가 30mm로 정할 것인가 하는 문제가 남게 되는데, 이는 총 생애주기 비용의 측면에서 고려되어야 할 문제이다. 총 생애주기비용(LCC)의 측면에서 살펴보면 콘크리트궤도에서 유지보수비용(Risk + Operational costs)은 전체 시공비용(노반치환비용을 포함한 경우)의 약 1.5~2.2%에 불과한 것으로 나타났다(그림 1). 따라서 잔류 침하량 기준을 20mm로 낮추더라도 유지보수 비용의 증가는 전체 LCC의 2% 내외가 될 것으로 예상된다. 즉, 시공비를 줄이는 것이 전체 LCC 절감에 더 도움이 됨을 알 수 있다. 특히 콘크리트궤도에서 적극적인 침하억제공법을 도입할 경우를 고려하면 시공비에 미치는 영향은 더욱 커질 것이다. 결론적으로 허용 잔류침하량 기준은 체결장치의 보수한계를 최대 30mm까지 확보하도록 하는 전제 하에 궤도부설 후 30mm로 정하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

### 8. 결 론

본 논문에서는 국내 실정에 적합한 콘크리트궤도의 허용잔류침하량을 산정하기 위한 것으로 국내외의 다양한 자료와 연구 결과를 검토하여, 이를 바탕으로 차량의 주행안정성 및 궤도의 구조안정성, 체결장치의 조정능력, 연약지반 처리비용, LCC분석 등을 수행하여 다음과 같은 기준(안)을 제안하였다.

콘크리트궤도의 노반침하는 궤도 부설 완료 후를 기준으로 하고 시공기면(Formation Level)에서 열차하중에 따른 침하와 흠뻑기 및 원지반 침하의 합이 30mm를 넘지 않는 것으로 한다. 이 경우 열차하중에 의한 침하는 별도의 계산이 없는 경우에는 5mm를 적용하며, 따라서 열차하중에 의한 침하를 제외한 노반의 허용 잔류침하량은 25mm를 넘지 않아야 한다.

### 참 고 문 헌

1. G7고속전철 기술개발사업 보고서(2002), 한국철도기술연구원
2. 호남고속철도 궤도형식 선정 및 토공구간 콘크리트궤도 적용에 따른 지반안정성 검토(2007), 한국철도기술연구원
3. 이일화, 이수형, 강윤석, “고속철도용 콘크리트궤도 토노반의 거동 특성”, 한국철도학회 논문집, 2006.
4. 石田誠, 三浦重, 河野昭子, 軌道動的應答モデルとこの解析結果. 鐵道總研報告, Vol.11 No.2, 鐵道總合技術研究所, 日本, pp. 19-26. 1997
5. 鐵道構造物等 設計標準・同解説(省力化軌道用土構造物)(1999), 鐵道綜合技術研究所
6. Taiwan High Speed Railway Earthwork Design Specification, 2001
7. Richtlinie 836, Erdbauwerke planen, bauen und instand halten, DB, 1999
8. ERRI D71 Deformation properties of ballast. Stresses in the rails, the ballast and in the formation resulting from traffic loads, RP No.10 Vol.1, European Rail Research Institute, The Netherlands, pp. 27-31. 1970
9. J. Eisenmann, G. Leykauf, “Feste Fahrbahn für Schienenbahnen”, Sonderdruck aus, Beton Kalender, 2000.
10. J. Eisenmann, G. Laykauf, “Beton-Fahrbahnen”, 2nd Edition, Ernst & Sohn a Wiley Company. 2001.