콘크리트 궤도가 설치된 지반의 침하거동 분석 및 안정성 확보 방안에 관한 연구

장종효[*], 이병석[**], 고건우[**]
[*]한국철도시설공단
[**]전북대학교 토목공학과
e-mail:leebs@jbu.ac.kr

A Study on the Settlement Behavior Analysis of the Ground with Concrete Track and Method of Securing the Stability

Hyo-Jong Jang[*], Byung -Suk Lee[*], Gun-woo Ko[*]
[*]Korea Rail Network Authority
[**]Jeonbuk National University, Dep. of civil Eng.

요 약
콘크리트 궤도는 철도에 보편적으로 설치되고 있는 자갈도상궤도에 비하여 초기 설치비용이 비싼 단점이 있으나, 하중에 대한 저항력이 매우 크기 때문에 궤도의 비틀림이 거의 발생하지 않고, 양호한 선형을 유지할 수 있으며, 공장에서 콘크리트 궤도를 사전제작하는 경우에는 날씨의 영향을 받지 않고 고품질의 궤도 제작이 가능하다. 또한, 현장에서 시공하는 경우 시간과 노동력의 최소화가 가능하고, 유지보수에 대한 경제적 관점에서 유리한 측면이 있어 여러 철도에 콘크리트 궤도를 적용하고 있다. 본 논문에서는 콘크리트 궤도가 설치된 지반에 대하여 계측시스템을 통해 측정된 침하량을 검토하여 지반의 침하거동을 분석하고, 콘크리트 궤도의 안정성을 확보하는 데 필요한 방안을 검토하여 콘크리트 궤도를 설치하는 경우 현장에서 활용될 수 있는 연구결과를 도출하고자 한다.

1. 서론

우리나라의 철도는 1899년 일본에 의해 서울과 인천을 잇는 철도가 처음으로 개통된 이후로 호남선, 함경선 등 철도가 건설되어 경제적 착취에 이용되었으나, 일본으로부터의 독립과 6·25전쟁이 종료된 이후부터는 국가발전에 필요한 인력과 자원을 수송하는 데 중추적인 역할을 수행하면서 많은 발전을 이루었다. 특히 1970년대부터는 경제가 급속하게 발달함에 국민 생활에 발맞추기 위해 노선의 확대하고, 해무(HEMU, High Electric Multiple Unit)를 개발하여 최고속도가 430km/hr인 고속철도를 건설하는 등 현대화를 진행하고 있다. 철도의 현대화로 인하여 열차의 중량이 증가하고, 고속화됨에 따라 철도의 안전을 확보하고, 철도를 이용하는 승객에게 좋은 승차감을 제공하기 위해 콘크리트 궤도의 설치 또한 증가하고 있다.

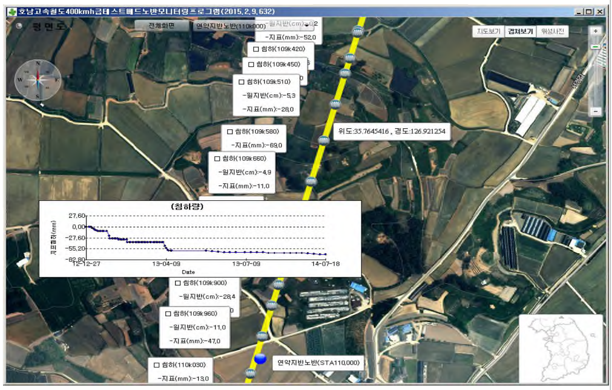
콘크리트 궤도는 철도에 보편적으로 설치되고 있는 자갈도상궤도에 비하여 초기 설치비용이 비싼 단점이 있으나, 하중에 대한 저항력이 매우 크기 때문에 궤도의 비틀림이 거의 발생하지 않고, 양호한 선형을 유지할 수 있으며, 공장에서 콘크리트 궤도를 사전제작하는 경우에는 날씨의 영향을 받지 않고 고품질의 궤도 제작이 가능하다(이종태, 2016). 또한, 현장에서 시공하는 경우 시간과 노동력의 최소화가 가능하고, 유지보수에 대한 경제적 관점에서 유리한 측면이 있어 독일, 네덜란드, 스페인, 일본 등 세계 각국이 고속 및 도시철도에 적용하고 있다. 이러한 흐름에 뒤처지지 않기 위해 우리나라에서도 경부고속철도와 호남고속철도를 비롯하여 여러 철도에 콘크리트 궤도를 적용하고 있다.

그러나 콘크리트 궤도는 설치되는 지반의 다양한 요인으로 인해 지반에서의 변형 및 침하가 발생하는 경우, 궤도의 비틀림이 발생하여 열차의 안정성을 크게 감소시킬 수 있으며, 이로 인해 많은 인명 및 재산피해를 유발할 수 있다. 그러나 국내의 경우, 콘크리트 궤도에 대한 정확한 설계기준과 허용침하량 기준이 정립되어 있지 않고, 외국의 설계기준에 의존하고 있어 국내의 선로 환경을 고려한 설계기준의 마련이 시급하다(심진호, 2011).

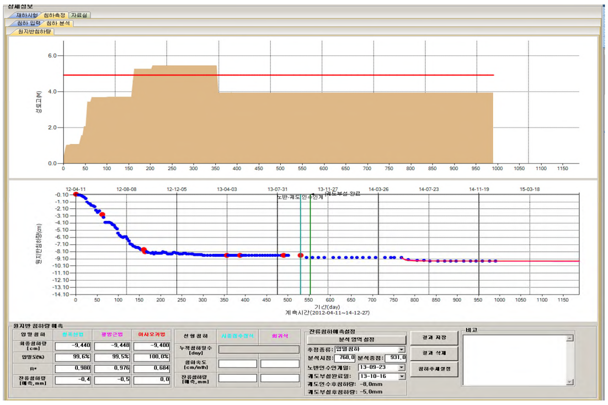
이에 따라 본 논문에서는 호남고속철도 내에 콘크리트 궤도가 설치된 지반에 대하여 계측시스템을 통해 측정된 침하량을 검토하여 지반의 침하거동을 분석하고, 콘크리트 궤도의 안정성을 확보하는 데 필요한 방안을 검토하여 콘크리트 궤도를 설치하는 경우 현장에서 활용될 수 있는 연구결과를 도출하고자 하였다.

2. 침하거동 분석 방법

2.1 계측시스템에 의한 방법



① GIS를 활용한 측점별 침하량 확인



② 각 측점에서의 상세 침하량 확인

[그림 1] 계측시스템을 통한 측점별 침하량 확인

계측시스템은 각 측점의 위치와 구조물의 종류, 흙쌓기 높이, 침하량 등의 필수정보와 연약지반개량공법, 원지반의 지층조건, 지하수위와 같은 현장의 지층조건, 주변 구조물의 정보를 확인할 수 있는 선택정보를 확인할 수 있도록 데이터베이스(D/B)화되었다.

2.2 침하예측법에 의한 예측 결과와 칠제 침하량 결과 비교

콘크리트 궤도가 설치된 여러 측점 중 30개소에 대하여 침하량 측정 결과를 토대로 쌍곡선법, $\sqrt{S}$ 법, 아사오카(Asaoka)법을 적용하여 최종 침하량을 예측한 결과를 표 1과 그림 2에 정리하여 나타내었다.

[표 1] 최종침하량 예측 결과의 비교

측점 위치	실제 침하량 (mm)	쌍곡선법 (mm)	$\sqrt{S}$ 법 (mm)	아사오카법 (mm)
Sta. 1	18.0	37.4	39.3	25.3
Sta. 2	38.0	45.5	54.0	49.4
Sta. 3	43.0	47.5	50.1	43.1
Sta. 4	34.0	36.0	37.1	33.4
Sta. 5	32.0	37.9	44.0	29.6
Sta. 6	48.0	77.9	79.3	48.8
Sta. 7	21.0	23.7	25.5	26.6
Sta. 8	38.0	47.2	60.0	38.2
Sta. 9	50.0	60.6	74.8	50.2
Sta. 10	44.0	47.4	49.2	44.1
Sta. 11	38.0	39.4	40.4	37.6
Sta. 12	37.0	39.1	40.3	35.0
Sta. 13	61.0	70.2	76.4	61.1
Sta. 14	37.0	42.8	47.4	38.1
Sta. 15	24.0	26.7	29.0	30.9
Sta. 16	14.0	53.1	32.9	16.1
Sta. 17	15.0	54.6	34.5	계산 안됨*
Sta. 18	27.0	52.5	55.6	52.8
Sta. 19	28.0	56.3	59.4	33.9
Sta. 20	41.0	계산 안됨*	68.3	43.2
Sta. 21	36.0	계산 안됨*	51.8	38.0
Sta. 22	53.0	계산 안됨*	계산 안됨*	55.4
Sta. 23	18.0	32.5	33.6	33.3
Sta. 24	16.0	23.6	26.5	16.7
Sta. 25	19.0	35.8	37.1	23.7
Sta. 26	24.0	51.7	43.8	25.5
Sta. 27	16.0	27.5	33.5	67.3
Sta. 28	19.0	31.5	32.6	19.8
Sta. 29	15.0	28.4	30.0	16.2

계산 안됨* : 최종 침하량이 수렴되지 발산되어 계산할 수 없음.

쌍곡선법, $\sqrt{S}$ 법, 아사오카(Asaoka)법을 적용하여 예상침하량을 산정한 후 산정한 결과를 실제 침하량과 비교한 결과, 아사오카(Asaoka)법를 적용하여 최종 침하량을 예측한 경우에 실제 침하량과 유사한 침하량을 보이는 것으로 나타났으며, 약 73%가 5mm 이내의 오차를 보여 동일한 조건에서 23%인 쌍곡선법과 16%인 $\sqrt{S}$ 법과 비교할 때 상당히 정밀한 결과를 보이는 것으로 나타났다.

3. 지반의 안정성 확보 방안

콘크리트 궤도를 설치한 지반에 대하여 계측시스템과, 침하예측법을 활용하여 침하거동을 분석한 결과, 계측을 통해 비교확인한 결과 콘크리트 궤도가 설치된 지반의 침하를 예측하는 경우에는 아사오카(Asaoka)법을 적용하는 경우가 가장 근접한 결과를 얻을 수 있는 것으로 분석되었다. 따라서 아사오카(Asaoka)법을 적용하여 최종침하량 예측하고, 실제 발생되는 침하량을 비교·검토한다면 현장에서 콘크리트 궤도가 설치된 지반의 안정성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

호남고속철도 내의 콘크리트 궤도가 설치된 지반에 대하여 계측시스템을 통해 측정된 침하량을 검토하고, 침하예측법을 사용하여 지반의 침하거동을 분석하여 다음과 같은 연구결과를 도출하였다. 침하예측법을 사용하여 최종침하량을 예측하고 이를 실제 침하량과 비교·분석한 결과, 아사오카법를 적용한 경우 약 73%의 예측 침하량이 실제 침하량과 5mm 이내의 오차를 보여 가장 유사한 결과를 보이는 것으로 나타나 현장에서 침하거동을 분석하는 경우 아사오카법을 활용하여 콘크리트 궤도가 설치된 지반에 대한 침하거동의 분석이 이루어진다면 지반의 안정성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 국토교통부 "철도의 건설기준에 관한 규정", 국토교통부고시 제2014-607호.,2014
2. 국토교통부 , "철도설계기준(노반편)", 건설기술정보시스템. 2015
3. 김자연 "콘크리트궤도 처짐을 고려한 고속철도 속도대역별 노반 응력 분석", 서울과학기술대학교 철도전문대학원, 박사학위논문. 2018,
4. 심진호 "경부고속철도 콘크리트궤도의 비교분석과 장기계측을 통한 침하 연구", 우송대학교 철도대학원, 석사학위논문.2011,
5. 이동훈 , "환경하중 및 열차하중에 의한 프리캐스트 콘크리트 슬래브 궤도의 응력분포 해석", 고려대학교 대학원, 석사학위논문. 2016
6. 이종태 "콘크리트궤도 유지보수에 관한 연구", 배재대학교 대학원, 석사학위논문.2016,
7. 전희광 "열차속도와 하중변화에 따른 고속철도 콘크리트 슬래브궤도의 거동특성 연구", 서울과학기술대학교 철도전문대학원, 박사학위논문.2015,
8. 한국철도시설공단 "선로유지관리지침".2016,
9. 홍철기 "토 노반상 콘크리트 궤도에 있어서 노반변위를 고려한 차량-궤도 상호 작용에 관한 연구", 서울산업대학교 철도전문대학원, 박사학위논문.2007,
10. Asaoka, A. "Observation Precedure of Settlement Prediction", Soil and Foundation, Vol. 18, No 4, pp. 87-101.1978,
11. Balasubramaniam, A. S. and Brenner, B. P. "Consolidation and Settlement of Soft Clay in Soft Clay Engineering", Elsevier, Amsterdam.1981,
12. Mikasa, M. "Consolidation of Soft Clay", Tokyo, Kajima- shuppan-kay.1963,