

실 열차구간에서 측정된 강화노반재료별 궤도틀림 진행 평가

Trend of the track irregularity with reinforced Railroad Roadbed materials measuring in Service Railroad line

최찬용 이지하 박창우 김성수
Chan yong Choi Jee Ha Lee Chang Woo Park Sung Soo Kim

ABSTRACT

The railroad roadbed plays an important role in distributing and transferring the train loading to subgrade, preventing subgrade from bearing softened by providing appropriate stiffness for subgrade, and eventually supporting the track structures. Presently, the reinforced roadbed was widely constructed in high speed line and is proceeding a research about economical thickness and methodologies for the design of reinforced roadbed. Field test section is located at Kongbu line which is from Suwon to Pungtack. In this study, field test were measured a track irregularity with several types of reinforced roadbed materials by using Track Master. The field testing were conducted between March, 2006 and March, 2007.

1. 서론

강화노반은 상부노반위에 흙보다 강성이 큰 재료를 사용하여 도상층 하부에서 전달되는 응력을 노반 상부에서의 허용하중(응력)이하로 감소시키는 역할을 한다. 따라서, 도상에 의한 노반의 훼손을 방지하며, 특히 강우 등에 의하여 발생하는 팽팽을 줄여준다. 이러한 기능은 철도의 사용성(serviceability)을 높이기 위한 매우 중요한 기능을 한다. 현재 고속철도에서는 강화노반이 적극적으로 시공되고 있으며 경제적인 강화노반두께 및 설계법에 대한 연구가 진행되고 있다. 그러나, 일반철도에서는 우수한 강화노반 재료임에도 불구하고 현장 시공실적은 없으며, 현장부설시험구간에만 일부 시공된 실적이 있다. 이 논문에서는 1999년 경부선 수원~천안간 2복선구간에서 시공된 강화노반 현장부설구간에 대하여 시일경과에 따른 궤도틀림 진행추이를 강화노반재료와 흙 노반과 비교하였다.

현재 열차가 운행중인 선로이기 때문에 궤도 제거 등을 통한 육안조사는 제약적이다. 따라서, 먼저 궤도검측차량에서 추출된 궤도틀림자료(2000년~2005년)를 분석하여 강화노반(슬래그, 쇄석)과 흙 노반과의 궤도틀림 진행정도를 비교 검토하였으며, 상기 구간에 정밀한 조사를 실시하기 위하여 연구원에서 보유하고 있는 Track Master를 이용하여 1년간 강화노반 재료별 궤도틀림 진행정도를 비교하였다. 궤도틀림 추이 분석은 슬래그 강화노반구간(50m), 쇄석강화노반구간(50m), 흙노반구간(50m)로 나누어 각각의 표준편차를 구하고, 다시 전 구간(150m)에 대하여 표준편차를 계산하였다.

* 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 선임연구원 정희원

E-mail : cychoi@krrri.re.kr

TEL:(031)460-5317 FAX:(031)460-5319

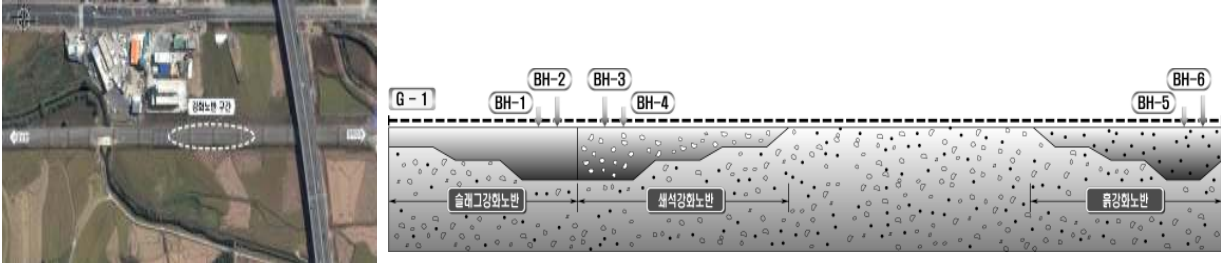
** 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 선임연구원 정희원

*** 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 주임연구원 비희원

**** 건설교통부 철도정책팀 사무관 정희원

2. 현장개요

강화노반 현장시험구간은 앞서 언급한바와 같이 1999년도에 시공하여 현재 운행중인 선로로서 경부선 수원~천안간 2복선 구간 중 서울기점 상2선 70k400m~560m 구간으로 원지반은 논이며, 양질의 토사를 이용하여 성토고 3m, 폭 10m, 비탈구배 1:1.5로 되어져 있다. 현장부설구간은 총 200m구간으로 슬래그, 쇄석, 흙노반 각 각 50m로 이루어진 현장이다. <사진 1>은 강화노반 현장부설위치와 단면도를 나타내었다.



<사진 1> 현장위치 및 단면도

2.1 강화노반재료의 물리적 특성

<표 1>은 평태 강화노반 현장의 원지반과 성토재, 강화노반재료의 기본 물성값이다. 강화노반으로 사용된 재료는 제철소에서 생산된 부산물인 수경성입도조정고로슬래그(HMS-25)를 최대입경 25mm에 맞도록 D개발(주)에서 재가공하여 판매하고 있는 슬래그를 사용하였으며, 고로슬래그 입도분포곡선은 도로용 철강슬래그(KS F2535)의 입도분포곡선기준 상·하한치를 만족하고 다짐시험결과 최대건조밀도(γ_{dmax})는 2.1gf/cm^3 , 최적함수비(ω_{opt})는 9.5% 값을 가진다. 또한, 입도 조정 쇄석(M-40)은 경기도 안성에 위치한 S개발(주) 채석장에서 채취한 것을 사용하였으며, <표 2>에는 실내시험을 통한 입도 조정 쇄석의 품질을 나타냈는데 그 결과 KS에 규정된 골재의 품질규정을 만족하였다.

<표 1> 현장에서 사용된 재료별 기본물성시험결과

시 료 명		성토-1	원지반-1	고로슬래그
다짐시험	최적함수비, %	10.3	10.3	9.5
	최대건조단위중량, tf/m^3	1.98	1.98	2.1
입도시험	#4 통과량, %	55.6	47.7	-
	#200 통과량, %	3.5	7.2	4.8
균등계수(C_u)		22.2	45.9	
곡률계수(C_g)		1.78	1.33	

<표 2> 쇄석의 공학적 성질

암석명	비 중			흡수율 (%)	공극률 (%)	단위용적중량 (kg/m^3)	실적율 (%)	일축압축강도 (kg/cm^2)	마모율 (%)	안정성 (%)
	절대건조비중	표면건조포화비중	겉보기비중							
호상편마암	2.65	2.67	2.70	0.71	42.10	1,540	57.90	829	24.1	4.3

3. 휴대용 궤도검측장비(Track Master)의 개요

강화노반의 재료별 궤도틀림 진행도를 검토하기 위하여 연구원에서 보유하고 있는 Track Master를 사용하여 궤도틀림을 검측하였다. Track Master는 휴대용으로 다양한 DATA의 취득과 현장 적용성이 매우 우수한 장비이다. <사진 2>와 <표 3>은 Track Master의 전경사진과 장비제원이다.

<표 3> Track Master 장비제원

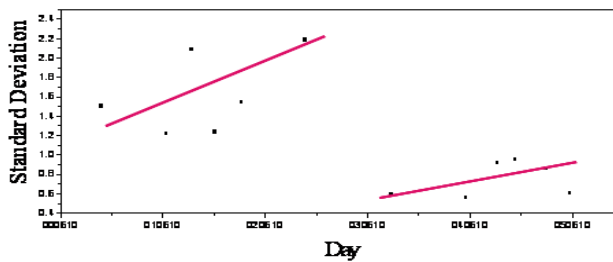


<사진 2> Track Master 전경

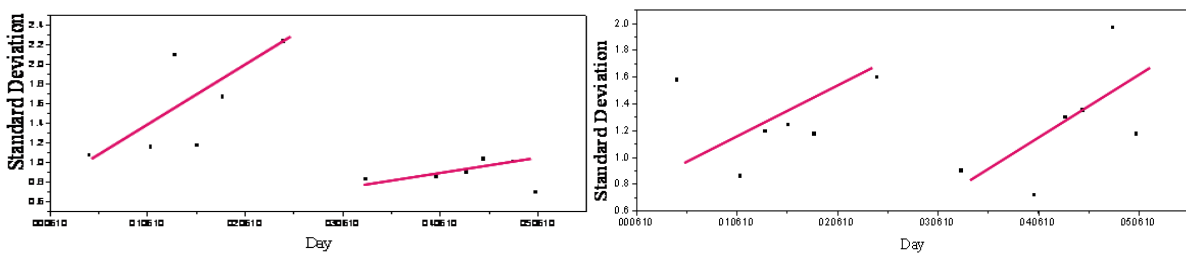
분류	제원
측정항목	평면선형(좌,우), 고저(좌,우), 궤간, 수준, 비틀림
실측현장	2m
측정간격	0.5m
주행속도	4km/h
측정범위	평면선형 : -20mm ~ 10mm(2m 현) 고 저 : ±10(2m 현) 궤 간 : -25mm ~ 45mm 수 준 : ±120mm
분해력	평면선형 : 2/100mm 고 저 : 1/100mm 궤 간 : 4/100mm 수 준 : 3/100mm
측점수	14400 측점(연장 약 7.2km)

3.1 궤도검측차량을 통한 강화노반 재료별 궤도틀림 결과

궤도검측차량을 통해 검측한 궤도틀림자료는 1년에 4회 측정한다. <그림 1> ~ <그림 3>은 궤도검측차량을 통해 과거 5년간 궤도틀림결과를 나타내었다. 그림에서와 같이 열차운행 초기에는 노반 및 도상부의 안정화가 덜 되었기 때문에 강화노반, 흙노반 모두 궤도틀림진행이 급속히 진행되었다. 이후 궤도가 점차적으로 안정화가 되면서 강화노반의 궤도틀림진행이 감소하고 있는 것을 볼 수 있다. 따라서 간접적으로 강화노반재료가 노반 안정성에 우수한 재료임을 확인 할 수 있었다.



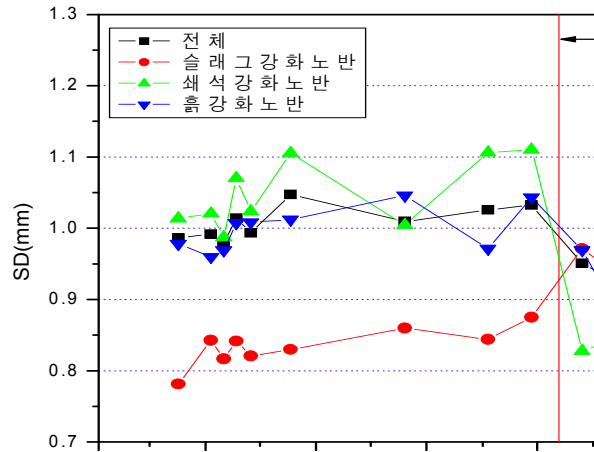
<그림 1> 슬래그강화노반 궤도틀림분석('00. 6 ~ '05. 6)



<그림 2> 쇄석강화노반 궤도틀림분석('00. 6 ~ '05. 6) <그림 3> 흙 노반 궤도틀림분석('00. 6 ~ '05. 6)

3.2 Track Master를 통해 검측한 강화노반재료별 궤도틀림 진행

이 논문에서 궤도틀림 검측은 2006년 2월부터 2007년 2월까지의 매달 1회씩 계측을 실시하였으며, 2006년 10월경에 1중 다짐작업을 실시하였다. <그림 4>은 Track Master를 통해 검측된 강화노반 재료별 궤도틀림(좌, 우)표준편차 추이이다. 그림에서와 같이 강화노반 구간은 전반적으로 양호한 궤도틀림 추이를 보이고 있으며, 다짐작업 이후 슬래그 강화노반의 경우에는 궤도틀림 표준편차의 추이가 다소 증가하다가 이후에 점차적으로 안정화를 보이고 있다. 또한, 다짐작업 이전에 슬래그구간보다 표준편차가 큰 쇄석, 흙노반의 경우에는 다짐효과로 인해 좌, 우 궤도틀림 표준편차가 감소되어 다짐작업의 효과를 본 것으로 나타났다.

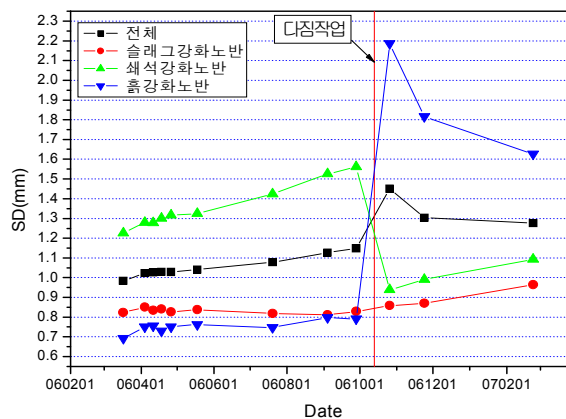


<그림 4> 강화노반재료별 궤도틀림(좌우) 표준편차 추이

<그림 5>는 강화노반 구간별 궤도틀림(고저) 표준틀림 진행 추이이다. 다짐작업 이전에 현장구간에 측정한 궤도틀림 진행 추이를 보면 쇄석강화노반의 진행도가 가장 크며, 슬래그노반이 가장 안정화된 진행을 보이고 있다.

흙노반의 경우에는 다짐작업 이전에는 안정화 추이를 보이다가 다짐작업을 실시한 이후 급격하게 표준편차가 증가하였으며, 이후 점차적으로 안정화 추세를 보이고 있었으며, 쇄석구간에서는 다짐작업 이전에는 표준편차의 추이가 가장 크게 증가하다가 다짐작업이후 안정화되어 표준편차가 감소되었다. 또한, 슬래그 구간에서는 다짐작업이후 궤도틀림 표준편차 진행추이가 다짐작업 이전보다 기울기가 크게 발생하였다.

일반적으로 궤도보수를 실시하면 쇄석노반 구간과 같이 궤도틀림 추이가 감소하고 다시 점차적으로 증가하는 추이를 보이는 것이 가장 일반적이다. 그러나, 본 측정결과를 볼 때 매우 양호하거나 안정화된 구간에서는 다짐작업이 오히려 역효과를 야기할 수 있는 경우도 발생할 수 있다는 것을 알 수 있다. 따라서, 무조건적인 보수작업보다는 궤도틀림 진행추이를 관찰하여 보수작업을 실시하여야 할 것으로 판단된다.

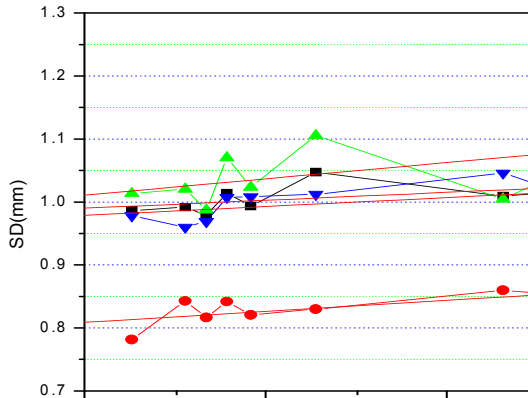


<그림 5> 강화 구간별 궤도틀림(고저) 표준편차 추이

<그림 6>과 <표 4>는 다짐작업 이전까지의 강화노반 구간별 좌우틀림 진전 선형회귀분석 결과이다. 쇄석구간이 진전율이 상대적으로 높은편이고, 슬래그와 흙노반은 거의 유사한 진전율을 보이고 있다.

<그림 7>과 <표 5>는 다짐작업 이전까지의 강화노반 구간별 고저틀림 진전 선형회귀분석 결과이다. 쇄석구간이 진전율이 상대적으로 높은편이고, 슬래그노반이 가장 작으며, 슬래그 노반의 경우 거의 진전되지 않고 있다. 따라서, 궤도틀림 진전도 평가결과 슬래그노반이 가장 좋으며, 흙, 쇄석노반 순으로 측

정되었다. 쇄석강화노반의 경우 궤도틀림 진전도가 크게 발생한 것은 쇄석구간이 다른 구간보다 선로 어깨폭이 부족하고 매우 협소하다. 따라서, 이러한 현장조건이 반영된 결과라고 판단된다.



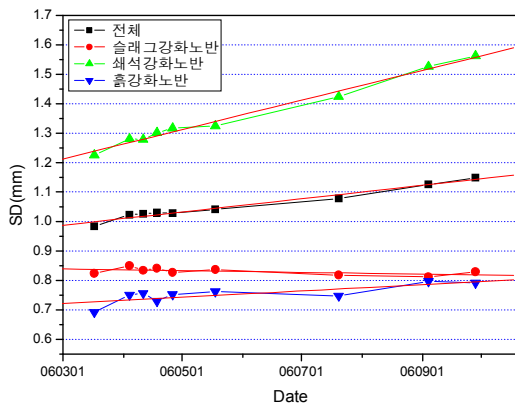
<그림 6> 강화 구간별 좌우틀림 진전 선형 회귀분석

<표 4> 좌우틀림 표준편차의 진전율

구분	기울기(진전율)
슬래그 강화노반	2.87E-4
쇄석 강화노반	4.23E-4
흙 노반	2.32E-4
전체	2.07E-4

<표 5> 고저틀림 표준편차의 진전율

구분	기울기(진전율)
슬래그 강화노반	-0.93E-4
쇄석 강화노반	16.4E-4
흙 노반	3.46E-4
전체	7.37E-4



<그림 7> 강화 구간별 고저틀림 진전 선형 회귀분석

4. 결론

일반철도 강화노반 현장부설구간에 강화노반재료와 흙노반과의 궤도틀림 진전도를 정량적으로 평가하기 위하여 약 1년간 측정한 자료를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 궤도틀림 분석한 결과 쇄석구간이 상대적으로 높은편이며, 흙노반이 그 다음이며 슬래그 구간은 거의 진전되지 않고 양호한 진전도를 보였다.
- 2) 일반적으로 궤도보수를 실시하면 궤도틀림 추이가 감소하고 다시 점차적으로 증가하는 추이를 보이는 것이 가장 일반적인 형태이나, 궤도틀림 상태가 매우 양호하거나 안정화된 구간에서는 다짐작업이 오히려 역효과를 야기할 수 있는 경우도 발생할 수 있다. 따라서, 무조건적인 보수작업보다는 궤도틀림 진행추이를 관찰하여 보수작업을 실시하여야 할 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

1. 오지택, 민경주, 한승용(2000), "궤도틀림의 표준편차를 이용한 궤도품질의 평가에 관한 연구", 학술발표대회 논문집, 대한토목학회
2. 이진욱, 양신추, 홍진완(1999), "차량고속주행시 차량 및 궤도거동에 미치는 궤도틀림의 영향", 학술발표대회 논문집, 대한토목학회
3. 한국철도기술연구원(1999), 철도노반재료로서 고로슬래그 활용화 방안 연구, 보고서
4. 한국철도기술연구원(2006), 토공노반 최적두께 산정을 위한 설계표준기술연구(1차년도), 연구보고서
5. Coenraad Esveld(1989), "Modern railway track", MRT-Production