

강화노반재료에 따른 궤도틀림 진행 평가

Trend of the track irregularity with Reinforced Railroad Roadbed materials

최찬용* 이지하** 박창우*** 김성수***
Choi, Chan Yong Lee, Ji Ha Park Chang Woo Kim, Sung Soo

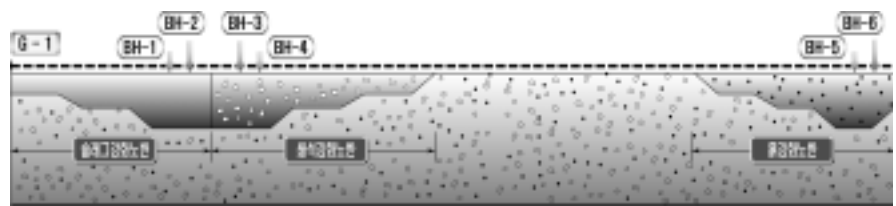
1. 서 론

강화노반은 상부노반위에 흙보다 강성이 큰 재료를 사용하여 도상층 하부에서 전달되는 응력을 노반상부에서의 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 강화노반재료임에도 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 강화노반 재료별 궤도틀림 진행정도를 비교하였다. 궤도틀림 추이는 2개월 동안의 비교적 단기간이지만 궤도틀림의 표준편차의 추이를 구할 수 있었다. 궤도틀림 추이 분석은 슬래그 강화노반구간(50m), 쇄석강화노반구간(50m), 흙노반구간(50m)로 나누어 각각의 표준편차를 구하고, 다시 전 구간(150m)에 대하여 표준편차를 계산하였다.

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>에서와 같이 현장부설구간에 사용된 원지반과 성토재, 강화노반재료별 기본물성시험결과를 정리하였다. 고로슬래그의 경우는 포항제철에서 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(w_{opt})는 9.5% 값을 가진다.

*정회원, 정회원, 한국철도기술연구원 궤도노반연구팀 선임연구원 · E-mail: cychoi@krii.re.kr
**정회원, 정회원, 한국철도기술연구원 궤도구조연구팀 선임연구원 · E-mail: jhlee@krii.re.kr
***정회원, 정회원, 한국철도기술연구원 궤도노반연구팀 연구원 · E-mail: cwpark1@krii.re.kr
****정회원, 정회원, 건설교통부 기반시설본부 사무관 · E-mail: kimss57@moct.go.kr

<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	

본 현장시험에 사용된 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 2> 쇄석의 공학적 성질

암석명	비 중			흡수율 (%)	공극률 (%)	단위 용적 중량 (kg/m ³)	실적율 (%)	일축 압축 강도 (kg/cm ²)	마모율 (%)	안정성 (%)
	절대 건조 비중	표면 건조 포화 비중	겉보기 비중							
호상 편마암	2.65	2.67	2.70	0.71	42.10	1,540	57.90	829	24.1	4.3

2.3 현장에 사용된 케도검측장비의 개요

일반적으로 철도 유지보수에서 사용되어지는 EM-120이라는 장비가 케도틀림 검측에 사용되어지는데 평택 강화노반 현장 여건 상 Track Master라는 장비를 사용하여 케도틀림을 검측하였다. 이는 보다 다양한 DATA의 취득과 현장 적용성에 있어 매우 우수하기 때문이다. <사진 2>와 <표 3>은 Track Master의 전경사진과 장비제원을 나타내었다.

<표 3> Track Master 장비제원



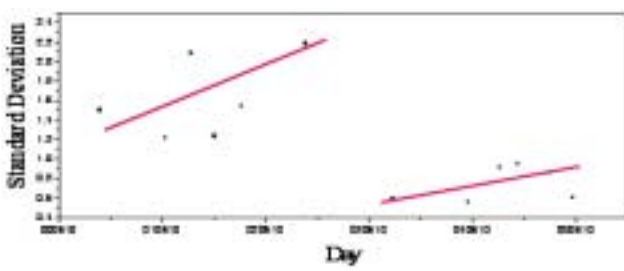
<사진 2> Track Master 전경

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)

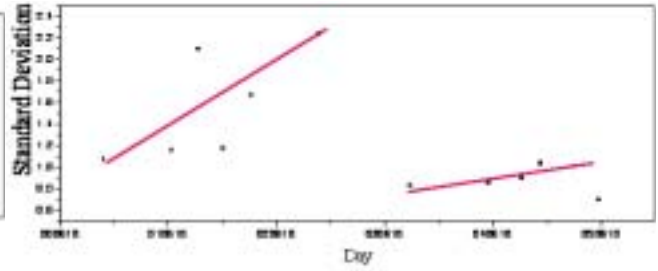
3. 현장케도틀림 조사

케도검측차량에서 얻은 케도틀림자료는 1년에 4회 측정하기 때문에 측정수의 부족 등으로 인해 강화노반두께별 내구성을 평가하기에는 한계가 있으며, 이동 간 측정이기 때문에 동일 지점이라고 볼 수 없는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 수동식으로 케도틀림을 계측하여 노반두께별, 재료별 분석하였다.

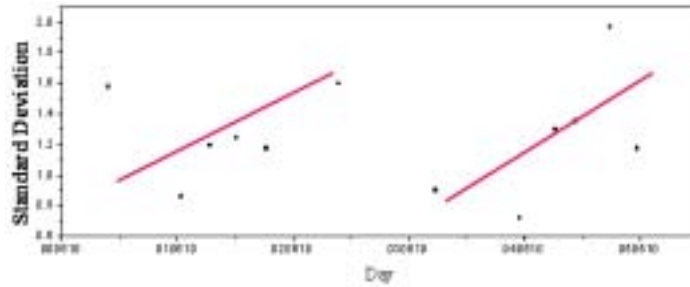
<그림 1> ~ <그림 3>은 케도검측차량을 통해 과거 5년간 케도틀림결과를 나타내었다. 그림에서와 같이 열차운행 초기에는 노반 및 도상안정화가 덜 되었기 때문에 강화노반, 흙노반 모두 케도틀림진행이 급속히 진행되었으나, 케도 안정화이후 강화노반의 경우 케도틀림진행이 점차적으로 감소하고 있는 것을 볼 수 있다. 따라서 간접적으로 강화노반재료가 내구성이 우수한 재료임을 알 수 있었다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이 케도검측차를 통해 얻은 케도틀림자료는 이동하면서 자료를 얻기 때문에 동일지점이라고 볼 수 없으며, 노반재료별, 두께별로 정확한 측정을 하는데 한계가 있다.



<그림 1> 슬래그강화노반 케도틀립분석('00. 6~'05. 6)

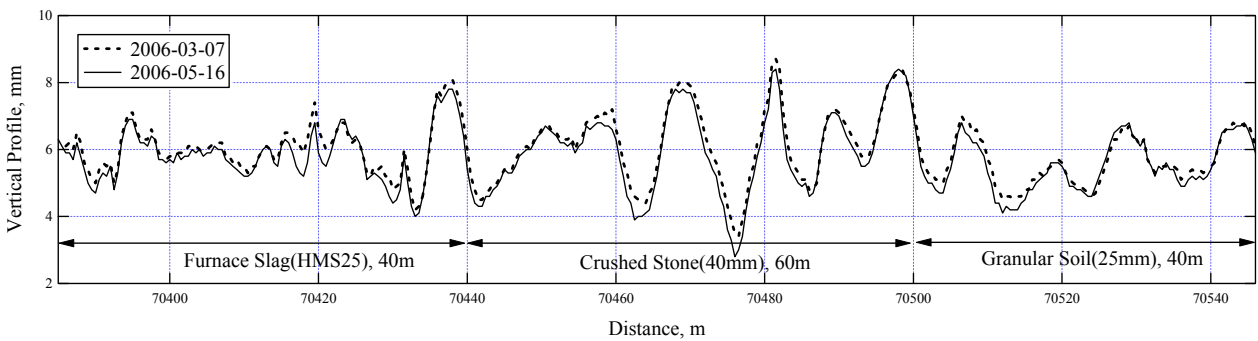


<그림 2> 쇄석강화노반 케도틀립분석('00. 6~'05. 6)



<그림 3> 흙 노반 케도틀립분석('00. 6~'05. 6)

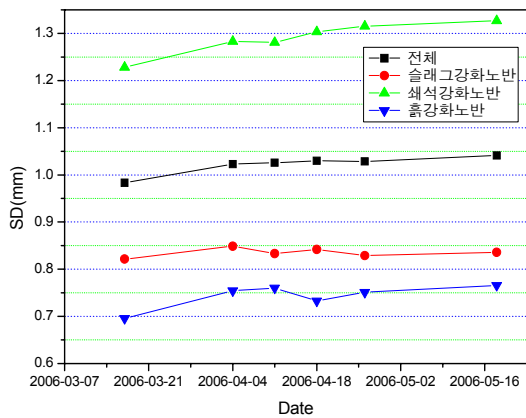
<그림 4>는 Track Master를 사용하여 최근 2개월간 측정된 면(고저)틀립 그래프이다. 측정 기간 동안 케도틀립이 눈에 띄게 증가하지 않았으며 0.5mm 이내의 편차를 보이고 있다. 이는 측정대상 선로의 열차 통과 톤수가 많지 않고 측정기간이 비교적 짧은데 기인하는 것으로 판단된다. 물론 측정기간 동안 케도 보수작업도 투입되지 않았다. 따라서 대상 케도는 비교적 안정화 된 상태를 보이고 있으며, 보다 명확한 케도틀립의 진전 추이를 파악하기 위해서는 향후 장기적인 계측을 통해 케도틀립의 추이를 분석할 필요가 있을 것으로 사료된다.



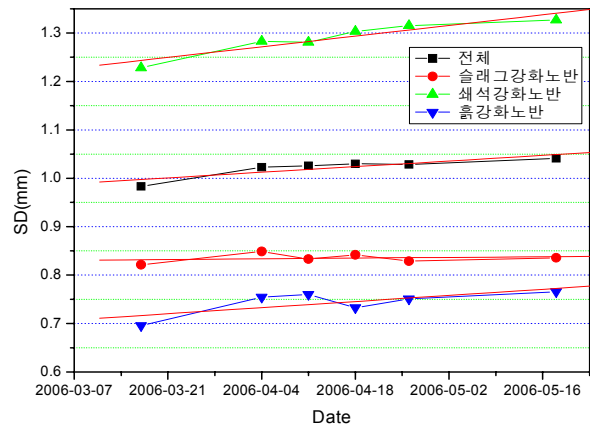
<그림 4> Track Master를 이용한 케도틀립분석

2개월 동안의 비교적 단기간이지만 케도틀립의 표준편차의 추이를 <그림 5>에 나타내었다. 슬래그 강화노반구간(50m), 쇄석 강화노반구간(50m), 흙노반구간(50m)로 나누어 각각의 표준편차를 구하고, 다시 전구간(150m)에 대하여 표준편차를 계산하여, 측정 일자에 대하여 추이를 도시한 것이다. 각각의 구간이 모두 1.5mm 미만의 상당히 양호한 값을 보여주고 있으며, 전구간을 합산한 결과는 약 1.0mm이다.

<그림 6>은 계산된 표준편차 추이를 선형회귀분석 결과를 그래프로 도시한 것이며, <표 4>는 그 결과 값이다. 슬래그 강화노반이 가장 작은 기울기를 보이며, 쇄석 강화노반이 가장 큰 값을 보이고 있다. 그러나 회귀분석의 특성상 데이터가 많을수록 신뢰성 있는 결과를 도출 할 수 있으므로 보다 신뢰성 있는 결과를 얻기 위해서는 앞에서 언급한 바와 같이 추가적인 계측을 통하여 지속적인 모니터링이 필요하다.



<그림 5> 강화 구간별 궤도틀림 표준편차 추이



<그림 6> 강화 구간별 궤도틀림 진전 선형 회귀분석

<표 4> 궤도틀림 표준편차의 진전을

구분	기울기(진전율)
슬래그 강화노반	1.0E-4
쇄석 강화노반	15.7E-4
흙 노반	9.0E-4
전체	8.3E-4

4. 결론

현재 궤도틀림 진전도 평가는 계측기간이 약 2개월 정도 계측한 자료를 분석한 결과이므로 강화노반재료와 흙노반과의 궤도틀림 진전도를 정량적으로 평가하기에는 미흡하지만, 향후 장기계측이 수행하게 되면 상당히 유용한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 각 재료별 궤도틀림 진전도 평가결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 궤도틀림 분석의 경우 궤도틀림장비를 이용한 과거 5년간 값을 비교한 결과 슬래그 강화노반과 쇠석 강화노반의 경우 보수 후 면틀림의 변화가 안정적인 것을 알 수 있으나 흙 노반의 경우 그 차이가 없는 것으로 나타났다.
2. Track Master를 사용하여 2개월간 계측한 결과 각 구간이 모두 1.5mm 미만의 상당히 양호한 값을 보이고 있었으며, 표준편차 추이를 선형회귀분석결과 슬래그강화노반이 가장 작은 기울기를 보이고 있으며, 쇠석 강화노반이 가장 큰 값을 보이고 있었다.

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