

**강화노반재료별 장기 궤도틀림 진행 평가**  
**Trend of the Long-term track irregularity with Reinforced Railroad**  
**Roadbed materials**

최찬용\*                      이지하\*\*                      박태환\*\*\*  
Choi, Chan-yong              Lee, Jee-Ha              Park, Tae-Hwan

---

**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 Kyungbu line which is from Suwon to Cheonan 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 April, 2008.

---

**1. 서론**

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 분니 등을 억제시켜준다. 이러한 기능은 철도의 사용성(serviceability)을 높이기 위한 매우 중요한 기능을 수행한다. 국내 고속철도에서는 강화노반 시공이 의무적이지만, 일반철도의 경우에는 쇄석과 같은 강성이 큰 재료로 시공하지 않고 흙 재료로 시공하고 있는 실정이다. 따라서 일반철도의 경우에는 강화노반을 설치하고 있지 않고 있는 상황이다. 1999년에 한국철도기술연구원에서는 강화노반의 성능을 점검하고자 경부선 수원 ~ 천안간 2복선구간 평택 인근 약 200m를 현장 시험부설구간으로 선정하여 운영하고 있다. 현재 이 구간에는 열차가 운행 중인 선로이기 때문에 열차운행에 따른 궤도틀림 진행 등으로 강화노반 재료의 장기 거동을 간접적으로 확인 할 수밖에 없다. 따라서 이 논문에서는 연구원에서 보유하고 있는 Track Master를 이용하여 2년 2개월간 장기 강화노반 재료별(슬래그, 쇄석, 흙) 궤도틀림 진행 정도를 비교 분석하였다. 궤도틀림 추이 분석은 슬래그 강화노반구간(50m), 쇄석강화노반구간(50m), 흙노반구간(50m)으로 나누어 각각의 표준편차를 구하고, 다시 전 구간(150m)에 대하여 표준편차를 계산하였다.

---

\* 최찬용, 한국철도기술연구원 철도구조물연구실, 정회원,  
E-mail : cychoi@krri.re.kr TEL : (031)460-5317 FAX : (031)460-5319  
\*\* 이지하, 한국철도기술연구원 철도구조물연구실, 정회원  
E-mail : jhlee@krri.re.kr TEL : (031)460-5325 FAX : (031)460-5319  
\*\*\* 박태환, 한국철도기술연구원 철도구조물연구실, 비회원  
E-mail : xoghks0316@krri.re.kr TEL : (031)460-5314 FAX : (031)460-5319

## 2. 현장부설구간의 개요

강화노반 현장시험구간은 앞에서 언급한바와 같이 현재 운행중인 선로로써 경부선 수원 ~ 천안 간 2복선 구간 중 서울기점 상2선 70k380m ~ 70k555m 구간으로 원 지반은 논이며, 양질의 토사를 이용하여 성토고 3m, 폭 10m, 비탈구배 1:1.5로 되어져 있다. 부설구간은 총 200m구간으로 슬래그, 쇄석, 흙노반 각각 50m로 이루어진 현장이다. 다음 사진 1과 그림 1은 강화노반의 현장부설 구간 위치 및 단면도를 나타내었다.



사진 1. 현장 위치

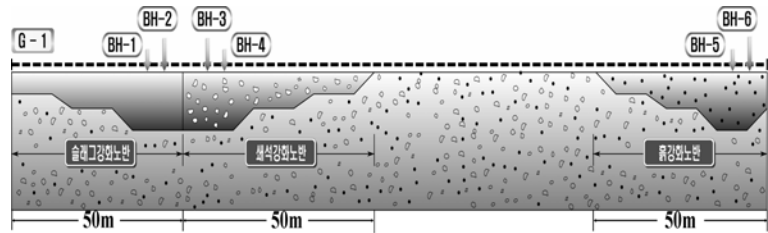


그림 1. 현장 단면도

### 2.1 현장 노반재료의 물성치

표 1은 평택 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 ( $\gamma_{dmax}$ )는  $2.1 \text{ gf/cm}^3$ , 최적함수비 ( $\omega_{opt}$ )는 9.5% 이상 값을 가진다. 또한, 입도조정 쇄석(M-40)은 경기도 안성에 위치한 S개발(주) 채석장에서 채취한 것을 사용하였으며, 표 2에서는 실내시험을 통한 입도조정 쇄석의 품질을 나타내었는데 그 결과 KS에 규정된 골재의 품질 규정을 만족하였다.

표 1. 현장에서 사용된 재료별 기본물성시험결과

시료명		성토-1	원지반-1	고로슬래그
다짐시험	최적함수비( $\omega_{opt}$ ), %	10.3	10.3	9.5
	최대건조단위중량( $\gamma_{dmax}$ ), $\text{tf/m}^3$	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	비중(Gs)			흡수율 (%)	공극률 (%)	단위용적중량 ( $\text{kgf/m}^3$ )	실적율 (%)	일축압축강도 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	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

## 2.2 Track Master 장비의 개요

강화노반의 재료별 궤도틀림 진행정도를 검토하기 위하여 연구원에서 보유하고 있는 Track Master를 사용하여 궤도 틀림을 검측하였다. Track Master는 휴대용으로 다양한 데이터의 취득과 현장 적용성이 매우 우수한 장비로 외국에서 뿐만 아니라 국내에서도 현재 적용중이다. 표 3과 사진 2는 Track Master의 장비제원 및 전경사진 이다.

표 3. Track Master 장비제원

분류	제원
측정 항목	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)



사진 2 Track Master 전경

## 3. 실험결과 및 분석

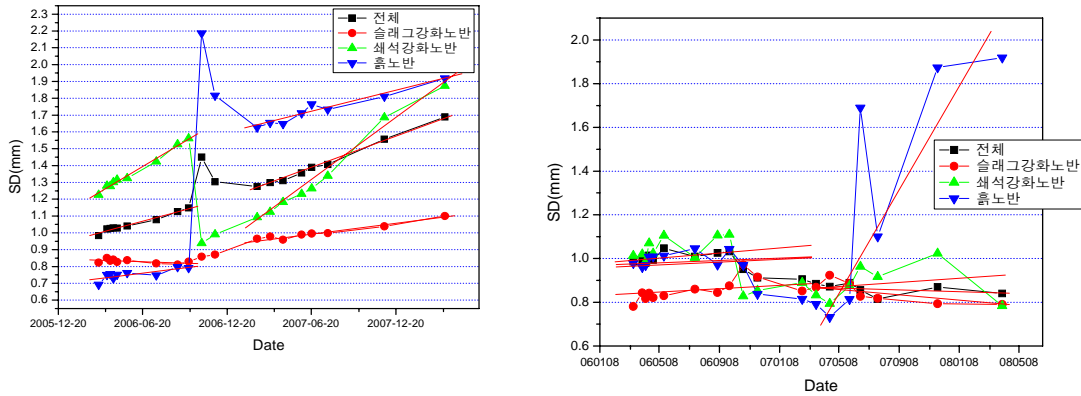
### 3.1 Track Master를 통하여 검측된 장기 궤도틀림 진행 분석

06년 3월부터 08년 4월 까지 2년간의 궤도 면(고저)틀림의 표준편차의 추이를 그림 2에 나타내었다. 슬래그 강화노반구간(40m), 쇄석 강화노반구간(60m), 흙노반구간(60m)로 나누어 각각의 표준편차를 구하고, 다시 전구간(160m)에 대하여 표준편차를 계산하여, 측정 일자에 대하여 추이를 도시한 것이다. 06년 9월 까지 각각의 구간이 모두 점진적인 궤도틀림 진전을 보이며 1.5mm 미만의 상당히 양호한 값을 보여주고 있으며, 쇄석강화노반의 경우에서 가장 큰 값을 보여주고 있다. 슬래그 강화노반의 경우 궤도틀림의 진전이 거의 없었다. 06년 10월 이후 궤도보수 작업이 수행된 것으로 판단된다. 흙노반의 경우 궤도보수작업 직후 현저하게 면틀림의 표준편차가 증가 하였다. 흙노반의 경우 안정되어 있는 궤도에 도상다짐작업을 수행하여 도상자갈을 불안정하게 한 결과로 볼 수 있다. 쇄석강화노반의 경우는 흙노반의 경우와는 정반대로 보수작업 직후 현격히 궤도 면틀림 표준편차가 감소하였으며 보수작업 직후 안정화 된 것으로 보인다. 그러나 여러 시험대상의 노반 중에서 가장 면틀림의 진전율이 크다.

슬래그 강화 노반의 경우는 도상다짐작업 후 큰 변화가 없으며 오히려 미소하게 면틀림이 악화 된 것이 관찰되었다. 진전율도 작업전과 후가 거의 변화가 없다. 작업의 효과가 거의 나타나지 않았다.

현재까지 측정된 결과를 보면 면틀림의 경우 표준편차는 슬래그 강화노반이 가장 작은 값을 보이고 있다. 그러나 궤도보수작업의 효과가 나타나지 않는데 이는 작업전에도 궤도틀림의 값이 크지 않은 이유도 있을 것으로 판단된다. 진전율에 있어서도 슬래그 강화노반이 가장 작다. 쇄석강화노반의 경우는 다짐작업의 효과가 가장 크게 나타나고 있으나, 궤도틀림의 진전율이 크다. 줄틀림의 경우 쇄석강화노반에서는 도상다짐 작업의 효과가 확실히 나타나고 있으며, 슬래그 강화노반에서는 작업의 효과가 나타나지 않았다. 전반적으로 궤도틀림의 표준편차가 크지 않으나 흙노반의

경우 줄틀림이 경우는 다른 강화도상에 비하여 현저히 틀림이 크게 발생하였다. 도상다짐작업 후 오히려 도상층이 불안정해지는 결과를 보여주고 있다. 다른 시험결과와 복합적인 검토가 필요하다.



(a) 면틀림

(b) 줄틀림

그림 2. 강화 구간별 케도 면틀림 및 줄틀림 진전

표 4. 보수작업 전의 케도 면틀림 및 줄틀림 표준편차의 진전율

구분	면틀림 기울기(진전율)		줄틀림 기울기(진전율)	
	작업전	작업후	작업전	작업후
슬래그 강화노반	1.0E-4	3.3E-4	2.9E-4	-3.0E-4
쇄석 강화노반	15.7E-4	24E-4	4.2E-4	0.4E-4
흙 노반	9.0E-4	6.9E-4	2.3E-4	33.5E-4
전체	8.3E-4	10.4E-4	2.1E-4	-0.8E-4

#### 4. 결론

2년간의 케도틀림 자료를 분석하여 강화노반별 케도틀림의 진전 추세를 분석하였다. 각각 1개 소의 데이터만으로 단정적인 결론을 내리는 것은 불가능 할 것이나, 가까운 거리에 동일 한 열차 운행 환경과 원지반 위에 부설되었으므로 비교적 유사한 비교조건을 갖추었다고 볼 수 있으며 상이한 노반구조의 기초적인 비교자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

노반 종류별 케도틀림의 진전율 검토 : 면틀림과 줄틀림의 결과를 종합해 보면 흙노반의 경우가 가장 크고 슬래그노반의 경우가 가장 작다고 할 수 있다. 특히 면틀림의 결과를 보면 케도보수 작업 전후의 결과가 비교적 유사하므로 어느 정도 신뢰할 수 있다고 할 것이다.

노반 종류별 케도틀림 표준편차의 비교 : 케도틀림 표준편차를 케도의 상태를 나타내는 일종의 지표로 볼 때 슬래그 강화노반이 가장 작다고 할 수 있다. 흙노반과 쇄석강화노반의 경우는 케도 보수작업 전후에 상당히 큰 편차를 보여주었다.

도상다짐작업의 효과 : 도상다짐작업의 효과는 쇄석강화노반이 가장 많이 나타났다. 그리고 흙노반의 경우는 도상다짐작업이 역효과를 내는 현상이 관찰되기도 하였다. 그 원인에 대해서는 다른 시험자료와 종합적으로 검토할 필요가 있다. 슬래그노반의 경우는 도상다짐의 효과가 거의 나타나지 않았는데 이는 작업전의 케도상태가 나쁘지 않았던 이유도 있을 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 오지택, 민경주, 한승용(2000), "궤도틀림의 표준편차를 이용한 궤도품질의 평가에 관한 연구", 학술발표대회 논문집, 대한토목학회
2. 한국철도기술연구원(2007), 토공노반 최적두께 산정을 위한 설계표준기술연구(2차년도), 연구보고서
3. Coenraad Esveld(1989), "Modern railway track", MRT-Production