

# 철도노반의 개량방법

## The Improvement Method of Railway Roadbed

심재범\*  
Sim, Jae-Bum

### ABSTRACT

A major part of permanent way maintenance effort is justified by inadequacies in the track substructure and in particular in drainage conditions, which need to be put right across the entire network. In most cases nowadays, improvements of the substructure can be carried out on rail to a high standard of quality. However, this entails substantial movements of material for the removal of spoil and provision of new material. In the future, recycling of old material on site, and use of geosynthetics, will be necessary to help considerably reduce this volume.

### 1. 서론

우리나라의 대부분의 철도선로는 1960년대 이전에 건설되었다. 당시의 철도건설은 오늘날의 견지에서 보면 거의 상상할 수 없는 차량속도로 설계되었고, 재료, 구조 및 다짐과 관련된 토공의 품질은 부수적인 역할을 하였다. 이에 따라 노반의 지지력은 오늘날 기술적으로 요구하는 시방기준에 훨씬 미달되고 이것은 또한 유지보수비용의 증가의 원인이 된다.

기존 철도선로의 개량시 공사반우처에서는 기초공학에 근거한 기술적인 규정에 따라 토공을 근본적으로 새로이 건설해야 되는 필요성이 있는지 혹은 다만 시공기면 상부면의 보강이 하나의 충분한 해법이 되는지에 대해 의문을 갖게 된다.

노반개량의 장점은 구조물에 대한 추가적인 조치가 불필요한 얇은 슬라 깊이, 레일 및 침목의 재건설 불필요, 신속한 건설 공정, 적은 운영장애 및 저렴한 공사비용을 들 수 있다. 그러나 기술적으로 적합한 노반의 완전한 치환은 대부분 짧은 선로구간과 특수한 경우 또는 신설건설 공사에 한해 사용된다.

따라서, 본문에서는 기존선로에 구축된 노반의 개선을 위해 많이 사용되고있는 레일과 결합된 노반의 개량방법에 대해 기술하고자한다.

### 2. 토질역학적인 이론적 근거

하나의 교통로가 기술적으로 합당한 지에 대한 판단 기준은 구성요소인 레일 및 침목, 자갈 토상층 및 노반의 상관작용에서 토질역학적 및 상부구조의 기술적인 적합성에 대한 지식이다.

\* 한국연도대학 교수, 경희관

자갈도상층 및 노반은 다른 모든 구성요소와 마찬가지로 특유의 작용 하중들을 지지하고, 노반에 작용하는 응력들을 허용된 한계 내에서 유지할 수 있어야 한다. 시공기던 상부면에서 흙의 압축응력의 크기는 작용하중, 상부구조의 하중분산 효과, 자갈층의 탄성계수와 보조도상 및 노반의 탄성계수의 기능에 영향을 미친다(그림 1).

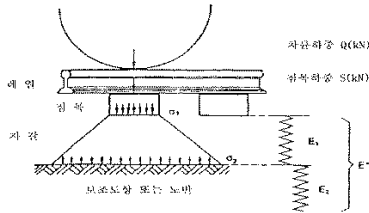


그림 1. 침복 아래의 응력상태

그 결과 상부구조와 하부구조는 공동으로 하중전이를 실현시키고, 어느 정도의 한계 내에서 레일 및 침복과 자갈층에 의한 하중을 양호하게 분산시켜 시공기던의 재하응력을 경감시킨다. 그러나 상부구조가 임의의 불리한 시공기던의 상태에서는 흙의 압축응력을 허용된 범위 내에서 제한할 수 없다.

노반에서의 높은 작용 응력은 기초파괴까지 유발하는 토질역학적인 과잉응력, 시공기던의 변형 및 형태변화, 자갈도상층의 탄성계수의 경감 및 그에 따른 지지력의 감소와 레일, 침복 및 체결구의 과잉응력 등과 같은 연쇄적인 원인을 야기시킨다(그림 2).

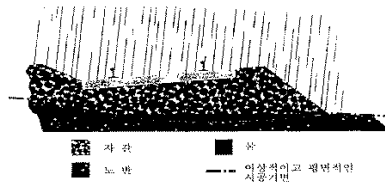


그림 2. 기초파괴/시공기던 상부면에서의 변형

또한, 이러한 연쇄효과는 기상의 영향에 의해 더욱 심화되고, 그결과 노반면으로의 물의 침투증가, 노반 탄성계수의 계속 감소로 인한 노반의 지지력 감소, 아이스렌즈(ice lens) 형성과 이에 따른 선로의 분니현상 발생 등을 야기시켜 교통로의 상태를 더욱 나쁘게 한다. 이렇게 특정 지위지고 통행하기 어려운 노반의 지지거동은 레일위치의 기하학적인 변경에 의해 해결되기보다는, 이러한 근본적인 결함은 더 나아가 상부구조의 유지보수 및 기업경영에 상응하는 아래와 같은 단점으로 나타난다.

- 자갈도상이 최소한의 지지력을 유지할 때까지 결함 및 장애의 제거
- 레일, 침목 및 체결구와 같은 구성요소의 내구성 감소
- 기업경영상 자율성의 감소
- 기업경영 비용의 증가

따라서, 유럽에서는 월도노반의 지지력 개선방안으로 자갈 섞인 모래층을 노반보호층으로 사용하거나 또는 토목섬유시스템을 활용한 노반의 개량방법에 대한 대해 많은 연구를 하고 있다. 노반의 탄성계수가 약  $60\text{MN/m}^2$ 인 불리한 선로의 경우 30cm두께의 하나의 자갈 섞인 모래층의 설치를 통해 흙의 압축응력을 30%이상 감소시키고, 그 결과 하중이 아주 큰 경우에도 좌중응력을 허용범위 이내로 유지시켜 노반의 손상을 방지할 수 있다. 또한 노반과 원지반면 사이에 토목섬유를 부설하면 노반층의 두께를 약 10cm정도 감소시킬 수 있다.

### 3. 노반보호층에 대한 기술적인 요구조건

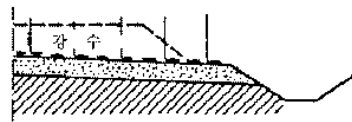
기능이 훌륭한 하나의 보조도상은 아래와같은 요구조건들을 충족시켜야한다.

- ① 노반보호층은 노반층과 노반보호층 또는 노반보호층과 자갈도상층의 사이에서 입자들이 인접한 토층의 경계면으로 관통하는 것을 방지해야 한다. 즉 Terzaghi의 필터규칙을 만족해야한다(그림3).
- ② 노반보호층은 노반보호층의 시공기면 위에 내린 강수(降水)를 대부분 측구쪽으로 유도 하기 위해 투수계수가 작아야한다. 투수계수(K)가 약  $10^{-6}\text{m/s}$ 에 달해야 한다(그림4).



조건 : Terzaghi의 필터규칙

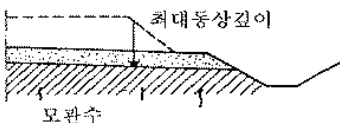
그림 3. 세립토의 침투방지



조건 : 투수계수  $\leq 10^{-6}\text{m/s}$

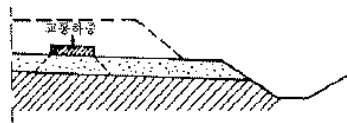
그림 4. 작은 투수계수

- ③ 노반보호층은 동상에 안전해야 하고, 원지반에 존재하는 지하수는 모관상승고까지 상승 하지 않아야 한다. 아이스 렌즈(ice lens)형성의 위험 때문에 Casagrande의 동상기준 을 충족해야한다(그림5).
- ④ 노반보호층은 교통하중으로부터의 응력을 분산시켜 원지반이 파인응력을 받지 않도록 지지력이 있어야 한다. 평판재하시험 결과 산정된 변형계수( $E_v2$ )가  $50\text{MN/m}^2$ 보다 커야 한다(그림6).



조건 : Casagrande의 동상기준

그림 5. 동상에 대한 안전



조건 : 양호한 다짐  $E_v2 \geq 50\text{MN/m}^2$

그림 6. 지지 및 응력분산

- ⑤ 노반보호층은 압축성이 양호하고, 차량, 레일 및 지반의 진동에 대해서 추파수 저항력이 강해야 함은 물론 이러한 진동을 충분히 완화시켜야 한다. 따라서 위의 조건을 만족시키기 위해서는 균등계수(U)가 7보다 커야 한다.(그림7)



조건 : 균등계수  $\geq 7$

그림 7. 진동의 완화

#### 4. 철도노반의 개량방법

##### 4.1 자갈 섞인 모래로 형성된 노반보호층 설치

불량한 원지반을 하부구조로서 하나의 자갈층을 설치하여 지지력이 있는 노반층으로 조성하려던 초기의 시도는 결국은 실패로 나타났다. 강수(降水)는 자갈층으로된 하부구조의 비교적 큰 공극을 침투하여 원지반을 연약화 시키고, 이로인해 전흙물이 자갈도상층으로 침투하는 분비현상을 야기시켰다.

모든 노반의 개량의 목적은 통상적인 노반평단면을 이상적인 형태로 구체화하는데 있으며, 아래 그림 8은 이에 대한 대안으로 개발된 자갈 섞인 모래로 형성된 노반보호층의 설치단면을 보여준다.

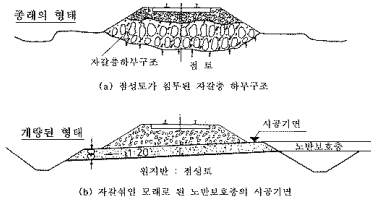


그림 8. 노반의 개량 형태

##### 4.2 토목섬유 시스템을 활용한 철도노반 개량 방법

최근 국내외에서는 건설재료를 절약하기 위해 토목섬유시스템(geosynthetics system)을 활용한 노반개량 공법의 사용이 증가되는 추세에있다. 토목섬유는 점토질의 원지반층과 노반층 혹은 노반층과 노반보호층 사이에서 입자들이 서로 관통하는 것을 방지하기 위해 인접한 토층의 경계면에 보설되며, 이 경우 필터의 안정성이 증명되어야 한다(그림9).

노반의 지지력이 불충분한 경우에는 두꺼운 노반보호층의 대안으로 보강기능의 지오그리드(geogrid)를 사용할수 있으며, 보강기능의 지오그리드는 노반의 두께를 감소시키는 등 기술적으로 많은 장점을 갖고 있다.

지지력이 부족한 노반에서 추가적으로 분리 및 필터문제가 발생한 경우에는 특별히 개발된 복합포(geocomposite)가 사용된다.

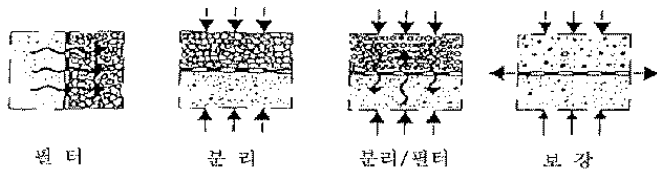


그림 9. 토목섬유의 기능의 도식적 서술

아래 그림 10은 지오그리드(geogrid)를 원지반 및 노반의 경계면에 포설하여 노반 및 보조도상층의 두께를 줄이는 노반 개량방법을 나타낸다.

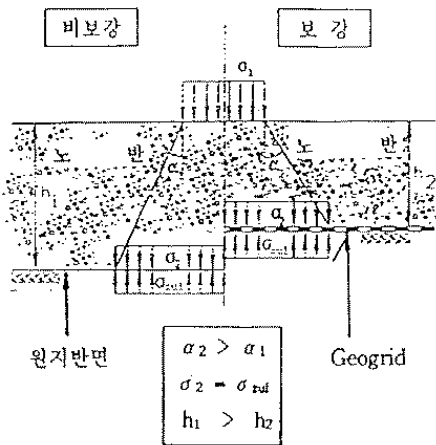


그림 10. 노반의 두께 감소

$$\Delta h = h_1 - h_2$$

## 5. 결론

노반의 개량은 철도선로에 대한 점증되는 기술적인 요구조건들과 함께 그 중요성이 더욱 부각되고 있다. 하나의 노반개량의 높은 조성비용을 고려하여 필요성 및 요구조건들과 관련한 기술적 근거들에 대해서는 엄격한 주의가 필요하다.

따라서 본문에서는 노반 보호층에 대한 기술적인 요구조건들과 함께 현재 국내외에서 많이 연구되고 있는 자갈 섞인 모래 및 토목섬유시스템을 활용한 노반 개량방법에 대해 기술하였다. 우리나라에서는 아직까지 철도선로의 노반분야에 대한 연구가 미흡한 실정이므로, 앞으로 이 분야에 대한 연구가 활발히 진행되어야 하겠다.

## 참고문헌

1. 심재범(2000), "토목섬유 시스템을 활용한 철도노반의 보강효과 및 설계기법 개발에 관한 연구", 박사학위 논문
2. Deutsche Bundesbahn(1977), "Merkblatt Planumsverbesserungen mit Kiessanden"
3. C.Goebel, K.Lieberenz, F.Richter(1996), "Der Eisenbahnunterbau", Eisenbahn-Fachverlag, Heidelberg, Mainz, pp.235~248
4. W.Henn(2003), "Entwicklungslinien in der Planumsverbesserung", Eisenbahningenieur, 제54권 9호, pp12~18
5. H.Koerber, K.Martinek(1985), "Die Planumsverbesserung-technische Grundlagen, Planung and Ausfuehrung", Seminar fuer Bruecken-und konstruktiven Ingenieurbau, Deutsche Bundesbahn