

## 누적통과톤수와 도상횡저항력과의 상관관계에 대한 연구 Study on the relationship of cumulative passing tonnage and lateral resistance of ballast

박경태<sup>†</sup>, 김영철<sup>\*</sup>, 김성일<sup>\*\*</sup>, 박용걸<sup>\*\*\*</sup>

Kyung-Tae Park<sup>†</sup>, Young-chul Kim<sup>\*</sup>, Sung-II Kim<sup>\*\*</sup>, Yong-Gul Park<sup>\*\*\*</sup>

**Abstract** One of the ballast in track component resists the force of vertical direction, longitudinal direction and lateral direction. In particular, lateral resistance of ballast is closely related to buckling strength, therefore the lateral resistance of ballast is important element to determine the track stability. But, the reduced lateral resistance of ballast and track strength threaten the stability of train operation because track maintenance-class 2 machine work and sleeper exchange- disturbs the ballast. This study find that it measures the variations in the amount of lateral resistance of ballast regarding to class2 machine work ballast cleaning. It realizes the restoring force characteristic of lateral resistance of ballast based on cumulative passing tonnage after calculating the cumulative passing tonnage and analyze correlation between the cumulative passing tonnage and the lateral resistance of ballast.

**Keywords** : lateral resistance of ballast , buckling strength, correlation, cumulative passing tonnage

**초 록** 궤도구성 요소 중 하나인 도상자갈은 연직방향, 종방향, 횡방향의 힘에 저항한다. 특히 횡방향 힘에 저항하는 도상횡저항력은 궤도 좌굴강도와 밀접한 관계가 있는 요소로 궤도의 안정성을 결정하는 중요한 인자이다. 그러나, 수시로 2종 기계작업, 침목교환 등 도상을 교란하는 궤도 유지보수작업 시행으로 인해 도상횡저항력은 감소되며 궤도강도 또한 저하되어 열차운행의 안정성을 위협하고 있다. 본 연구에서는 2종 기계작업 후 도상횡저항력의 증감량을 측정하고 누적통과톤수를 산정하여 누적통과톤수에 따른 도상횡저항력의 복원 특성을 파악하고 상관관계에 대해 분석 및 고찰을 하고자 한다.

**주요어** : 도상횡저항력, 좌굴강도, 상관관계, 누적통과톤수

### 1. 서 론

궤도구조는 연직방향, 횡방향, 그리고 수직방향력에 대해 도상자갈에 의해 지지된다. 연직방향에 대한 도상저항력은 궤도계수로 횡방향 및 종방향에 대해서는 도상횡저항력과 도상종저항력으로 표현된다. 궤도의 좌굴안전성에는 도상횡저항력이 많은 영향을 미친다. 도상횡저항력의 크기는 침목의 치수, 크기, 중량, 단위길이 당 침목부설수량 외에도 도상 단면형상, 도상입자의 형상 및 중량 다짐 등에 따라 달라질 수 있다.

† 교신저자: 서울과학기술대학교 철도전문대학원 글로벌시스템학과(niceguy95@korail.com)

\* 한국철도공사 연구원 기술연구처

\*\* 한국철도기술연구원 책임연구원, 공학박사

\*\*\* 서울과학기술대학교 철도전문대학원 교수, 공학박사

선로유지관리지침(2015.03.19.)에 의하면 도상 자갈의 교환 즉 자갈치기는 일반철도 도상 내 토사혼입율이 25%이상, 고속철도 도상의 자갈을 22.4mm 체가름시 통과율이 20%이상, 배수가 불량한 분니개소와 도상자갈이 마모되어 도상자갈로서의 기능이 감소되었다고 판단되는 경우에 시행하며 이는 보선작업지침(2008.11.21.) 중 2종 기계작업 즉, 밸러스트 클리너(Ballast Cleaner)에 의하여 도상자갈을 전체적으로 치고(전체치기), 친 개소에 새 자갈을 보충하여 밸러스트 레귤레이터(Ballast Regulator)로 정리하여 멀티폴 타이탐퍼(Multiple Tie Tamper)로 다지고 도상면을 밸러스트 콤팩터 (Ballast Compactor), 또는 궤도안정기(Dynamic Track Stabilizer)로 달고 다지는 작업을 말한다.

도상 작업 후에는 도상의 횡저항력이 많게는 약 50%정도 감소되며 이로 인해 궤도의 좌굴 저항강도가 감소되어 궤도, 특히 장대레일의 좌굴에 매우 취약한 상태가 될 수 있다.

본 연구는 2종 기계작업 후 저하된 도상횡저항력의 증감량을 측정하여 도상횡저항력의 복원특성을 분석하고 누적통과톤수와 도상횡저항력과의 상관관계를 밝히고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 측정개요

#### 2.1.1 현장개요

도상횡저항력은 00선(하) 75k500~ 78k130 구간에서 시행했으며 측정개소는 총 6개소로 직선부, 완화곡선부, 원곡선부로 나누어 각 선형마다 2개소 씩 측정하였다. 측정기간은 2종 기계작업 직전부터 시작하였으며 마지막 측정 시까지 약 3주가 소요되었다.

선로조건은 토공노반의 자갈도상으로 50kg 레일과 PCT로 이루어진 장대레일 부설구간이며 곡선반경은 600m 이다.

#### 2.1.2 도상횡저항력의 개요 및 측정방법

도상횡저항력이란 도상자갈 중의 궤광을 궤도와 직각방향으로 수평이동 하려 할 때 침목과 도상자갈 사이에 생기는 1m당 최대저항력(kgf/m)으로 침목이 2mm 이동 시 측정되는 저항력(kgf/m)을 말하며 이론식은 다음의 식(1)과 같다.

$$r = P/2a \quad (1)$$

r : 도상횡저항력(kgf/m), P : 침목저항력 (kgf/개), a : 침목배치간격(m)

도상횡저항력을 측정하는 방법에는 궤광 전체를 횡방향으로 당겨 그때의 힘과 변위를 측정하는 방법(Track Panel Pull Test, TPPT)과 궤광에서 분리한 한 개의 침목을 밀면서 그때의 힘과 변위를 측정하는 방법(Single Tie Push Test, STPT)이 있다. 본 연구에서는 후자인 STPT 방법을 적용하여 측정하였다.

## 2.2 측정결과

2종 기계작업 시행 전 도상횡저항력을 측정하여 원래의 도상저항력을 확인하였고 작업직 후, 6시간 경과 후 및 이후 3주간에 걸쳐 도상횡저항력을 측정하였다.

열차의 통과순수는 열차운행정보시스템에서 해당 날짜, 시간에 통과한 KTX, ITX-새마을, 무궁화 및 회송 열차를 그룹핑하고 각 대표열차별 환산량수에 차중률을 곱하여 산정하였다. 하중이 비교적 큰 화물열차는 각 열차별로 분류하여 산정하였다.

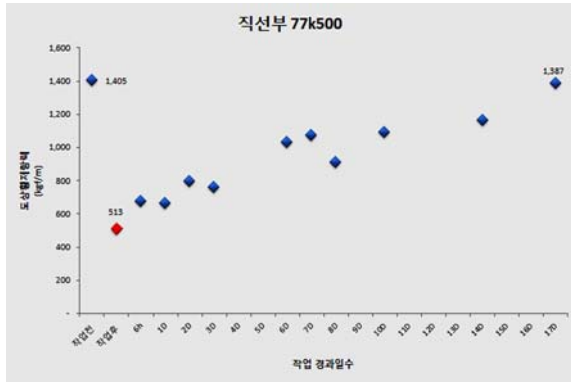


Fig. 1 직선부 도상횡저항력 측정결과(1)

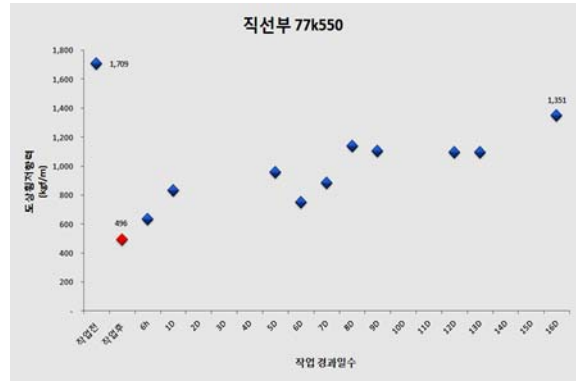


Fig. 2 직선부 도상횡저항력 측정결과(2)

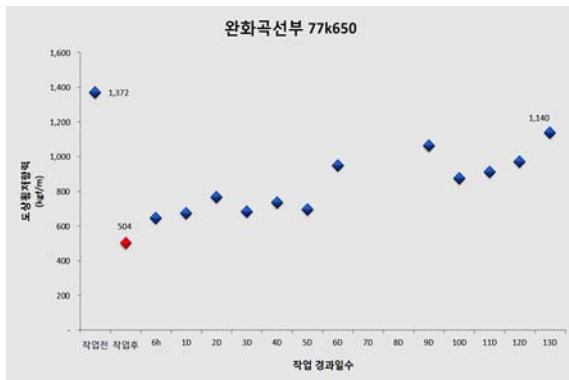


Fig. 3 완화곡선부 도상횡저항력 측정결과(1)

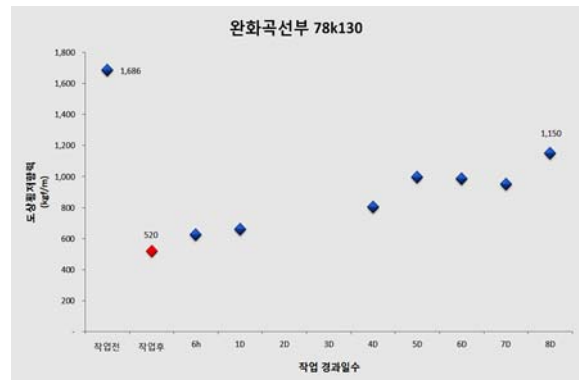


Fig. 4 완화곡선부 도상횡저항력 측정결과(1)

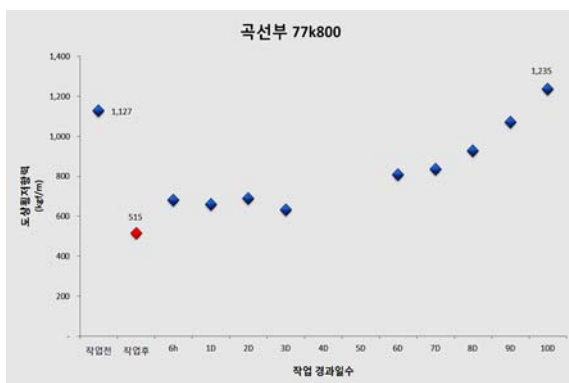


Fig. 5 원곡선부 도상횡저항력 측정결과(1)

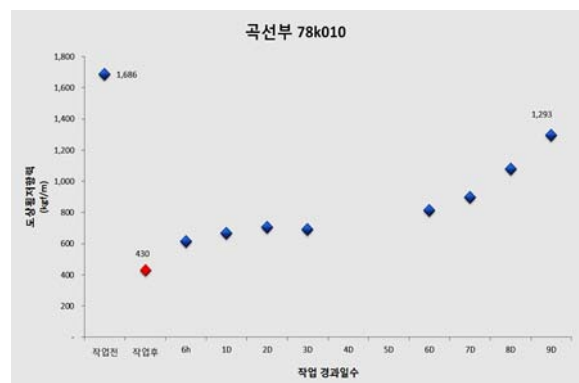


Fig. 6 원곡선부 도상횡저항력 측정결과(1)

작업직후 직선부의 도상횡저항력은 496kgf/m와 515kgf/m 까지 감소되어 기준치를 밑도는 구간도 있으나 시간경과에 따라 선형으로 도상저항력이 증가하여 빠르게 회복되는 것으로 나타난다. 완화곡선부의 도상횡저항력은 504kgf/m와 520kgf/m 까지 감소되었으나 직선부와 비슷하게 선형으로 도상횡저항력이 증가되고 있음을 알 수 있다. 원곡선부는 430kgf/m와 515kgf/m 까지 저하되어 기준치를 밑도는 구간도 있었으나 빠르게 도상횡저항력이 증가하여 77k800 지점의 경우는 초기 도상횡저항력보다 높은 수치를 나타내었다.

### 2.3 상관계수 및 추세선 분석

#### 2.3.1 상관계수 분석

Table 1 누적통과톤수와 도상횡저항력의 상관계수

구분	위치	상관계수	비고
직선	77k500	0.95	
	77k550	0.88	
완화곡선	77k650	0.87	
	78k130	0.96	
원곡선	77k800	0.88	
	78k010	0.91	

엑셀의 분석도구를 이용하여 누적통과톤수와 도상횡저항력을 분석한 결과 상관계수가 0.87~0.95로 나타나 상관관계가 높거나 아주 높은 것으로 나타났다. 다만 직선, 곡선 등 선형에 따른 상관관계 즉 상관계수의 차는 거의 없는 것으로 분석되었다

#### 2.3.2 누적통과톤수와 도상횡저항력의 상관관계 및 추세선

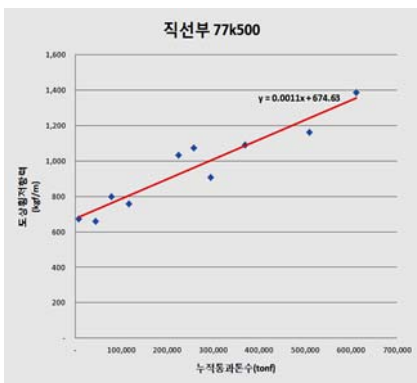


FIG. 7 직선부 도상횡저항력 VS 통과톤수(1)

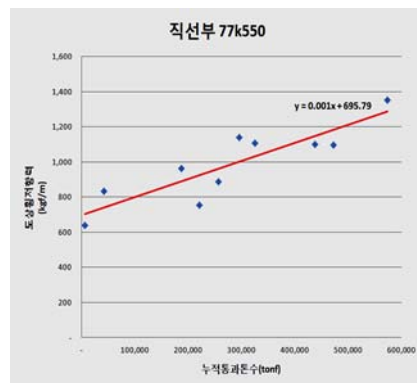


FIG. 8 직선부 도상횡저항력 VS 통과톤수(2)



Fig. 9 완화곡선부 도상횡저항력 VS 통과톤수(1)

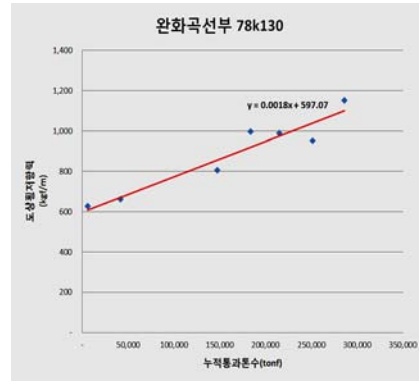


Fig. 10 완화곡선부 도상횡저항력 VS 통과톤수(2)

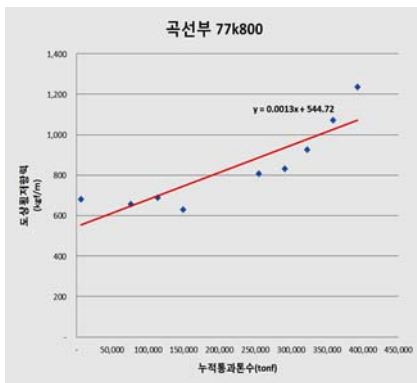


Fig. 11 원곡선부 도상횡저항력 VS 통과톤수(1)

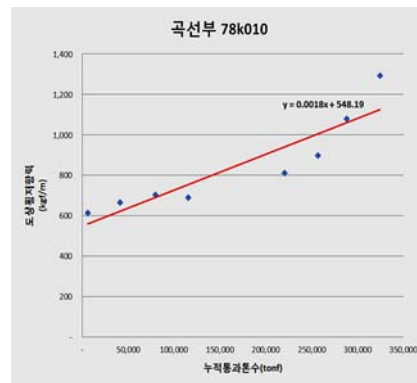


Fig. 12 원곡선부 도상횡저항력 VS 통과톤수(2)

각 구간별 추세선은 기울기 0.009~0.0018사이의 값을 가지며 Y절편은 536.54~695.79의 값을 나타낸다. 전반적으로 선형적인 증가를 보여주는 1차 방정식의 형태로 정리할 수 있다. Table 2는 작업 전·후 도상횡저항력과 도상횡저항력 복원률 대비 누적통과톤수를 나타내고 있다.

Table 2 도상횡저항력 복원률과 누적통과톤수

위치		도상횡저항력(kgf/m)			복원률과 누적통과톤수(kiloton)			초기도상횡저항력 복원 예상일(일)
		작업전	작업후	비율	50%	70%	100%	
직선	77k500	1,405	513	37%	25	280	663	19
	77k550	1,709	496	29%	158	500	1,013	29
완화곡선	77k650	1,372	504	37%	53	358	816	23
	78k130	1,441	520	46%	68	228	468	13
원곡선	77k800	1,127	515	25%	14	187	447	13
	77k810	1,686	430	36%	163	351	632	18

2중 기계작업 후 도상횡저항력은 초기 도상횡저항력의 25%~46%이며, 초기 도상횡저항력으로 복원되기 위한 통과톤수는 447 ~ 1,013 kiloton 이다.

측정구간 전체의 일평균 열차통과톤수는 약 35 kiloton 으로 작업 후 저하된 도상횡저항력에서 작업전 측정된 초기 도상횡저항력으로 복원시까지의 각 지점마다 편차는 있지만 추세선식을 활용하여 예측시 최소 13일에서 최대 29일 가량 걸리며 평균적으로는 19일이 걸리는 것으로 분석되었다.

### 3. 결 론

2중 기계작업으로 인해 감소된 도상횡저항력의 복원특성을 파악하기 위해 00선(하) 75k500 ~ 78k130에서 시행한 현장측정 결과를 분석한 내용은 다음과 같다.

1. 2중 기계작업 후 도상횡저항력은 초기 도상횡저항력의 25%~46% 정도로 매우 낮게 측정되었다.

2. 열차통과톤수에 따른 도상횡저항력의 복원특성은 평균적으로 0.0012의 기울기와 613의 y절편을 가지는 1차 선형함수식에 따라 증가하는 것으로 분석되었다.

3. 측정구간의 초기 도상횡저항력으로 복원되기 위한 통과톤수는 447 ~ 1,013 kiloton 으로 평균 673 kiloton 의 누적 통과톤수가 필요함을 알 수 있으며 이는 평균적으로 약 19일의 시간이 지나면 원 상태의 도상횡저항력으로 복원된다는 의미로 볼 수 있다.

4. 누적통과톤수와 도상횡저항력을 분석한 결과 상관계수가 0.87~0.96으로 나타나 상관관계가 높거나 아주 높은 것으로 나타났다. 즉 누적통과 톤수가 클수록 도상횡저항력도 증가됨을 알 수 있다.

5. 누적통과톤수에 따른 도상횡저항력의 복원 특성은 직선, 원곡선, 완화곡선 등 선형 조건과는 크게 관련이 없는 것으로 나타났다.

### 참고문헌

[1] KR (2015.3), "Guideline of track maintenance"

[2] KR (2008.11), "Track works guideline"

[3] Lim, Nam Hyoung (2004. 10), "The Effect of Ballast class-2 Work on Lateral Ballast Resistance, KSCE, pp. 4322-4327."

[4] Young-Chul Kim(2015.10), "Characteristics Study of Lateral Resistance according to the Ballast Work of CWR, KSR, pp700-706"