

도상저항력이 궤도 안전성에 미치는 영향

A Study on the Influence of Track Stability for Ballast Resistance Force

박준명¹, 이방우², 박선규³, 이종득⁴

Jun-Myung Park, Bang-Woo Lee, Sun-Kyu Park, Jong- Lee

Key word : Railway Bridge, Track Stability, Ballast

Abstract

Transportation by railroad is superior to other transport in a mass transport, stability, rapid transit, delightfulness and low-pollution etc.

But, it need to ensure a track stability that supports the train-load for high-speed in transportation by railroad. Ballast resistance force resists against the buckling of track taking a rail-tie's place. So, it plays an important role in a careful train-service.

So, in this papers, we forced on measuring and theorizing about the Ballast Resistance Force that play a key role in track stability and high-speed. And we studied the mechanical property.

Finally, we suggested the method of securing Ballast Resistance Force and the report for a careful train-service in high-speed.

1. 서 론

철도는 육상교통 기관중 대량성, 안전성, 고속성, 쾌적성, 저공해성 등 다른 교통기관에 비하여 우수한 점을 가지고 있다. 철도수송에 있어 열차가 고속으로 안전하게 주행하기 위하여 열차하중을 직접 지지하고 있는 궤도의 안전성이 확보되어야 한다.

궤도구조는 도상, 침목, 레일 및 기타 부속품으로 구성되는데, 그 중 도상은 레일 및 침목으로부터 전달되는 열차하중을 넓게 분산시켜 노반에 전달하고 침목을 소정위치에 고정시키는 역할을 하며 침목을 단성적으로 지지하고 열차 충격력을 완화시켜 선로의 파괴를 경감시키고 승차기분을 좋게하는 역할을 한다.

도상저항력은 침목을 소정위치에 견고하게 안치하여 궤도의 전후 밀림 즉 복진이나 횡밀림(장출, 좌굴)에 대한 저항작용을 하므로서 열차안전운행에 중요한

역할을 하게 된다.

근대교통수단에 있어 속도, 빈도, 쾌적은 필수적인 것으로서 세계각국이 철도속도향상에 노력을 경주하고 있으며, 앞으로 계속하여 열차의 고속화를 도모하기 위하여는 궤도강도를 높이는 것이 필수적으로 이 궤도의 중요 요소인 도상의 연구가 요구된다.

따라서 본 연구에서는 열차고속화와 열차안전운행에 있어 중요한 위치를 차지하는 도상저항력에 관하여 그 이론을 정립하고 역학적 성질 및 도상저항력을 측정하여 분석고찰함으로써 도상저항력 확보 및 열차 안전운행에 필요한 자료를 제시함을 목적으로 한다.

2. 도상저항력 이론

2.1 도상저항력의 역할

2.1.1 궤도에 작용하는 힘

열차의 차륜에 의하여 궤도에 작용하는 힘을 레일면에 수직인 윤중, 레일길이 방향에 직각으로 작용하

*1 비회원, 성균관대학교 토목환경공학과 박사과정

*2 정회원, 대전지방철도청 시설국 선로주임

*3 정회원, 성균관대학교 토목환경공학과 부교수

*4 정회원, 한국철도대학 시설토목과 교수

는 횡압, 레일길이 방향으로 작용하는 축력의 3종류로 생각할 수 있다.

차륜의 정지시, 운중은 차량의 자중과 축배치에 의하여 정하여지지만, 주행시에는 곡선전향의 횡압, 곡선 통과시 불평형 원심력, 열차의 사행동, 차량동요 및 분기기 통과시 등 궤도의 특수개소에서의 충격력 등이 발생한다. 도상저항력은 다음의 식(1)으로 계산한다.

$$Y = P/2a \dots \dots \dots (1)$$

- Y : 도상저항력(kg/m)
- P : 침목저항력(kg/개)
- a : 침목배치간격(m)

2.1.2 궤도의 좌굴과 도상저항력

(1) 궤도의 좌굴

궤도의 횡변형은 열차하중의 영향을 받는 횡압에 의한 변형의 문제외에 온도상승시의 레일축압력에 의한 횡방향의 저항력을 잃어 좌굴을 발생시키는 경우가 있다.

일반적으로 온도상승에 의한 축압력을 받는 궤도의 횡변형 상태를 Fig. 1에서 보여준다. 온도상승에 따라 축압력이 증가하면 초기에는 미소한 변위가 서서히 증대하여, 한계점 A에 도달하면 대변위의 B점으로 비약하게 되는데, 이것이 궤도의 좌굴(장출)현상이다. 여기서 평형상태인 경우 실선과 같이 A점을 극대치로 하여, 극소치 C점을 지나 B점에 연속하는 관계가 있다. 여기서 AC간은 불안정하며 그 외 초기 A간, CB간은 안정한다.

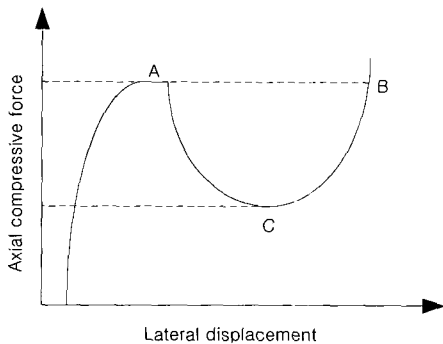


Fig. 1 궤도좌굴

(2) 좌굴방저항력

도상횡저항력은 장대레일의 온도에 의한 축력 및 신축량과는 관계없으나 장대레일좌굴방지를 위하여 중요하다. 도상종저항력이 횡저항력의 1.5배인 궤도구조에 있어 좌굴에 대한 궤도조건의 영향에 관하여 이론적인 해석을 한 결과에 의하면 도상횡저항력의 효과는 Fig. 1의 C점, A점에서 크게 나타나며, 좌굴저지 저항력으로서 도상횡저항력이 장대의 효과를 가진다. 또한 미소변위에 있어서 도상횡저항력의 확보가 좌굴 발생을 억제하는데 중요하다. 도상종저항력은 종래부터 고려한 Fig. 1의 C점, 즉 최저좌굴강도에 있어서는 상당한 효과가 있으나, A점 즉 좌굴발생축압력에 관하여는 거의 효과를 갖지 않는다.

2.2 도상저항력의 특성

(1) 도상의 역학적 성질

도상자갈의 품질은 필요한 기능을 얼마나 잘 만족시키느냐에 따라 결정되며, 도상단면의 기하학적 설계와 재료로서의 경제성과 유용성에 영향을 준다. 도상은 레일이나 침목 등과는 달리 완전한 탄성체가 아니고 입상체의 집합으로서의 탄성적인 성질을 나타낸다. 자갈에 반복하중이 가해지면 잔류변형이 축적되는데, 그 이유는 자갈이 하중을 받게되면 개개 입체 자체는 탄성변형을 하나 입체는 상호간에 이동되므로 입체간 마찰을 일으킨다. 이 마찰저항 이상의 하중이 가해지면 입체 상호간에 변위가 발생된다.

도상자갈의 두가지 중요한 거동은 단기의 탄성응답 및 장기의 영구변형과 퇴화이다. 도상자갈의 파괴에는 진동가속도가 중요시된다. 그 이유는 진동가속도의 증대에 따라 입체간의 마찰이 크게 감소되는 것으로 생각되기 때문이다. 그러므로 열차의 속도향상에 따라 진동가속도가 커지므로 궤도파괴가 증대하게 된다.[1,2]

$$F = aW + b\gamma G_e + c\gamma G_s \dots \dots \dots (2)$$

- F : 침목1개당 도상횡저항력(kg)
- W : 침고중량(궤광중량 포함 : kg)
- γ : 도상의 단위용적중량(kg/cm³)
- G_e : 침목단면 상연의 단면 1차 모멘트(cm³)
- G_s : 침목측면 상연의 단면 1차 모멘트(cm³)

a, b, c : 계수

2.2.2 열차하중재하시 및 진동시의 도상저항력

(1) 열차하중 재하시 도상저항력

레일두부에 윤증이 작용하면 레일은 상하방향으로 탄성변형을 한다. 정적 윤증재하점에서 멀어짐에 따라 침하량은 감소하다가 이윽고 상방으로 변위하는 형태로 되며, 상방변위량이 최대치에 도달한 후 감소하는데, 상방변위량이 궤광중량에 의한 탄성침하량을 넘는 상태로 되면, 이른바 뜬 침목이 생긴다. 침목저면이 부상하는 경우에는 도상저항력은 이 분담량 만큼 감소한다.

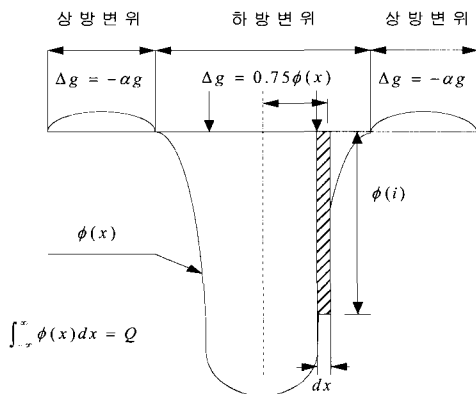


Fig. 2 횡도상의 분배

정적 윤증재하시의 도상저항력은 Fig. 2와 같이 상방변위가 생기고 있는 위치에서는 감소하지만, 재하점 부근에서는 현저하게 증가하는데, 이것은 재하하중이 궤광자체의 질량에 비하여 크기 때문이다. 이때의 도상횡저항증가분 Δg 는 Fig. 2와 같은 분포를 한다. 상방변위영역의 α 는 0~0.3정도이다.

(2) 진동시의 도상저항력

P.C침목 께자갈 궤도에 있어 진동시 침목에 횡압을 주면 침목은 극히 초기의 부분을 제외하면 속도가 일정하게 천천히 이동한다. 도상횡저항력은 초기는 완만하게 증가하지만, 곧 일정치에 도달하여, 극소의 변동을 나타내면서 이 일정한 값을 유지한다. 이 도상횡저항력에 진동성분이 나타나는 점은 정적인 경우와 다르다. 점증부분의 특성은 정적인 경우와 특히 다른

점은 없으나, 궤도의 안정정도는 일정치에 도달한 후의 도상횡저항력에 의하여 나타나게 되며, 도상횡저항력의 진동산란치는 진동가속도가 크에 따라 감소한다. 이 때 가진 진동수가 많아지면 이 감소의 정도가 크게 된다.[3]

3. 현장측정 및 측정데이터

3.1 현장측정

현장측정은 열차운행선에서 직선, 곡선의 선로상태에서 전동식 침목저항측정기 KS-625형을 사용하여 중, 횡의 침목저항을 측정하여 도상저항력으로 환산하였다.

3.2 측정데이터

(1) 선별평균 도상저항력

Table 1 도상 및 침목평균 저항력

측정선	침목저항력(kg/개)		도상저항력(kg/개)	
	횡	중	횡	중
경부선	975	1,412	838	1,247
경인선	963	569	820	510
경원선	741	961	622	803
중앙선	920	820	808	739
평균	912	1,257	794	1,055

(2) 도상부설 상태별 도상저항력

Table 2 도상어깨폭에 따른 침목의 횡도상 저항(kg/개)

구분	폭(cm)	90	85	80	75	70	65	60	50	45	40
		P.C 침목 구간	장대 레일	1,271	1,056	1,234	1,075	1,286	1,101	1,031	1,118
	장척 레일	1,240		1,055		1,332		1,044	1,276	885	885
목침목 구간						933		727	672		526
평균		1,256	1,056	1,189	1,075	1,194	1,101	911	856	984	646

(3) 침목종별 도상저항력

Table 3 침목종별 도상저항력

구분	횡저항			종저항		
	기타	평균		기타	평균	
측정개소수	22	18	40	21	9	30
침목저항 (kg/개)	1,093	1,081	1,088	1,578	1,431	1,534
도상저항 (kg/m)	975	894	939	1,411	1,172	1,339

4. 분석 및 고찰

4.1 분석

(1) 분석방법

운행선 궤자갈 도상 구간의 도상저항력 측정테아타로 궤도관리상태와 도상의 다짐정도가 각각 비슷하다고 판단되는 P.C침목과 장대레일 부설구간 P.C침목의 일반구간, 목침목부설구간으로 구분하여 도상저항력에 관한 각종 분석을 하였다.

(2) 도상부설단면과 횡저항력

일반적으로 도상어깨폭과 도상어깨높이(더돋기)가 증가할수록 도상횡저항력이 증가한다고 할 수 있으므로 단순히 선형결합의 형식을 취하면 다음의 식(3)이 성립한다.

$$g_t = A_0 + A_1X_1 + A_2X_2 \dots \dots \dots (3)$$

- g_t : 침상목횡저항력(kg/개)
- X_1 : 도상어깨폭(cm)
- X_2 : 도상어깨높이(cm : 더돋기)
- A_0, A_1, A_2 : 정수

여기서 P.C침목부설구간에 대하여 종회귀분석한 결과 정수 A_0, A_1, A_2 가 Table 5와 같은 값을 얻었다.

Table 5 P.C 침목구간의 침목횡저항의 회귀분석치

계수	A ₀	A ₁	A ₂	F측정
장대레일구간	942	0.267	19.734	7.41 > F ₂₂ ^t (0.01)=5.72
장척레일구간	729	2.959	23.626	7.16 > F ₂₂ ^t (0.01)=6.93

(3) 도상부설상태와 종저항력

도상저항력에 영향을 미치는 것은 여러 요인이 있으나 그 중에서 침목배치간격과 토사혼입율의 영향이 크다고 생각하여 이에 관한 상관관계를 분석한 결과, 목침목부설구간에 대하여 토사혼입율 5%~43%, 침목배치간격 0.53~0.63m 범위에서 다음의 식(4)와 같은 회귀방정식이 구하여 졌다.

$$r_t = e^{(11.542 + 1.679X_3 - 10.779a)} \dots \dots \dots (4)$$

- r_t : 목침목종저항력(kg/개)
- X_3 : 도상중 토사를 뺀 실자갈의 율
- a : 침목배치간격(m)

$$X_3 = 1 - \frac{\text{토사혼입율}(\%)}{100} \text{으로 구한다.}$$

(4) 종저항력과 횡저항력의 상관관계

종, 횡의 침목저항력은 서로 밀접한 관련이 있으며, 이의 상관관계를 다음의 식(5)와 같이 표현할 수 있으며, 선형관계로 생각하여 단순회귀분석하여 상관관계의 정수를 Table 5와 같이 구하였으며, 이에 대한 분산분석을 검정한 결과 이 회귀식의 적용범위는 저항력이 2000kg/개 까지이다.

$$r_t = Bg_t \dots \dots \dots (5)$$

- r_t : 침목종저항력(kg/개)
- g_t : 침목횡저항력(kg/개)
- B : 정수

Table 5 횡저항력과 종저항력 회귀분석 상관관계 계수

구분		계수B	F 측정
P.C.T	장대레일	1.467	419.6 > F161 (0.01) = 8.53
	장척레일	1.330	151.8 > F141 (0.01) = 8.86
목침목구간		1.423	323.0 > F141 (0.01) = 8.86

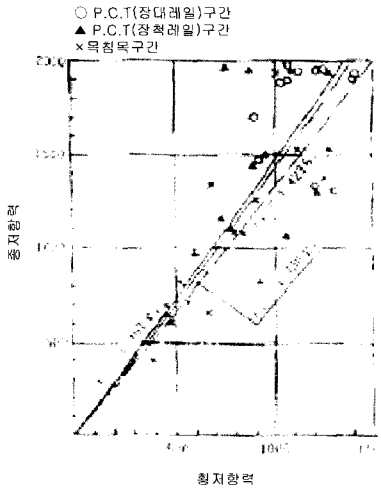


Fig. 3 횡저항력과 종저항력

4.2 고찰

(1) 도상저항력 특성의 고찰

도상부설상태와 저항력의 상관관계 분석결과 횡저항력은 도상어깨높이와 폭, 종저항력은 침목부설간격 및 토사혼입율과 밀접한 관련이 있음을 알 수 있었다. 본 측정에서는 도상 어깨폭이 40~90cm, 도상어깨높이가 0~20cm의 범위의 도상을 측정하였는데 도상어깨폭이 70cm일 때 가장 큰 저항력을 나타냈지만, 도상어깨폭의 확대에 따른 도상횡저항력의 증가는 고르지 않은데, 이것은 도상저항력이 여러 요인과 복합적으로 영향을 받기 때문이다.

회귀식에 의하면 도상횡저항력의 증가를 위해서는 도상어깨폭의 확대보다 어깨높이를 증가시키는 것이 유리함을 알 수 있으며, 침목종별에 있어 P.C 침목은 목침목에 비하여 일반운행선 구간에서 80%(종), 40~50%(횡), 시험구간에서 60%(종, 횡)정도 크게 도상저항력이 발생하였다.

도상종저항력은 일반적으로 안정된 궤도에서는 도

상횡저항력보다는 크게 나타나는데, 본 측정의 평균치를 보면 종저항력은 횡저항력에 비하여 일반 운행선에서 1.3~1.4배, 시험구간에서 1.5배이며, 따라서 횡저항력의 확보가 우선적임을 알 수 있다.

(2) 도상저항력향상 방법의 고찰

도상저항력이 부족하다고 우려되는 개소에서 이를 향상하기 위해서는 선로의 도상단면을 크게 하는 방법, 침목과 도상자갈의 마찰저항을 증가시키거나, 침목부설수를 조정하는 방법, 도상보수에 있어 저항력을 효과적으로 증가시키는 방법등을 생각할 수 있다.

또한 효과적인 도상횡저항력의 향상을 위해서는 침목단부에 취부하여 2배 정도의 도상저항력의 확보가 가능한 좌굴방지판의 취부와 도상작업의 성력화와 진동문제의 감소를 위하여 유도상탄성침목의 개발이 검토되어야 할 것이다.

5. 결론

도상횡저항력을 향상시키기 위해서는 도상어깨높이의 더돈기가 도상어깨폭의 확대보다 효과적임을 알 수 있었다. 도상 종별로 볼 때 꺾자갈에 콩자갈을 30%정도 혼합하므로써 도상저항력의 향상이 가능함을 알 수 있었다. P.C침목구간에 있어 정상적인 도상 다짐 상태일 때에는 현재의 도상부설기준으로도 장대레일 궤도의 도상중, 횡저항력 기준인 500kg/m를 확보하기에는 별문제가 없음을 알 수 있었다. 목침목구간에 있어서는 2급선의 경우 현재의 도상부설기준으로도 500kg/m 도상저항력(종, 횡) 확보가 가능하고, 3급선의 경우 횡저항력은 확대, 종저항력은 토사혼입율의 제한으로 장척레

일 궤도의 도상저항력 기준인 400kg/m의 확보가 가능하나, 좌굴방지판의 취부와 Amticreeper의 부설이 검토되어야 한다.

참고문헌

1. 佐藤吉雄 의 1인 “各種 有道床 軌道の 道床橫抵抗力과 그 特性” 鐵道線路25-5 日本鐵施設協會 1977.5 pp. 9~12
2. 宮井徵 의 3인 “營業線에 있어서 道床橫抵抗力” 鐵道技術研究資料40-4 研友社 東京 1983. 11 pp. 23~24
3. 鈴木俊 · 의 2인 “動的載荷時의 道床縱抵抗力” 鐵道技術 43-11 研友社 東京 1986. 11 pp. 406