

도상안정제 살포방법에 대한 고찰.

Consideration on Track Ballast Binder of Urethane Ingredient Spray Methods

이승열*†, 전일식*, 맹주철*, 최형수*

Syeung-Youl Lee*†, Il-Sik Jeon*, Joo-Cheol Maeng*, Hyung-Soo Choi*

Abstract It is typically a well-known fact that gravel ballast track have high frequency of maintenance than the concrete ballast track. So, track maintenance manager effort reducing frequency of maintenance. In Gyeong-bu high speed line, 1 step region track consists of gravel ballast track. In infancy of management, track manager used ballast binder of epoxy ingredient. But, it had some problems such as maintenance difficulties and its brittle fracture. In recent years, track manager use ballast binder of urethane ingredient.

This study analyzed ballast vibration acceleration where linear is tangent track and roadbed consists of soil, which spray methods and spray quantities were applied differently. Spray methods are two kinds which one is spraying inner of track gauge and outer of track gauge from tie edge to 30cm, the other is spraying inner of track gauge from rail bottom edge to 30cm and outer of track gauge from tie edge to 30cm. Spray quantities are also two kinds which one is 1.5kg/m^2 the other is 3.0kg/m^2 .

Keywords : Ballast Stabilizer, Spray Methods

초 록 자갈도상 궤도에서는 콘크리트 도상 궤도보다 유지보수 빈도가 높게 나타나는 것은 일반적으로 잘 알려진 사실이다. 그러므로 자갈도상 궤도의 관리자는 유지보수 빈도를 줄이고자 노력을 기울이고 있다. 경부 고속선 1단계구간에서는 자갈도상으로 구성된 궤도에 대해 초창기에 고결제를 이용하여 접속구간 등에 대한 고저틀림을 억제하고자 하였으나 유지보수의 어려운 점과 취성과파괴 등의 문제가 발생하기도 하였다. 최근에는 도상안정제 살포를 통해 고저틀림의 발생을 억제하고 있다. 본 연구에서는 경부고속선 1단계 구간 중 선형은 직선이며 노반은 토공구간인 개소에 도상안정제의 살포량과 살포형식을 달리하여 도상진동가속도의 변화를 관찰하였다. 살포방식은 궤간 내측 전체부분과 궤관외측의 30cm까지 살포하는 전면살포방식과 궤간 내측 30cm부분과 궤간외측 침목 끝단 30cm까지 살포하는 부분살포방식으로 구분하였으며 살포량은 단위면적당 1.5kg/m^2 및 3.0kg/m^2 으로 살포하는 방식을 혼합하여 4가지 방식에 대해 도상진동가속도의 변화추세를 분석하였다.

주요어 : 도상안정제, 살포방법

1. 서 론

도상안정제는 당초 고속선에서 자갈비산 문제를 해결하기 위해 개발되었다. 하지만 도상안정제는 자갈의 유동억제를 통해 궤도틀림 방지에도 효과가 있는 것으로 알려지기 시작하였다. 현재 자갈도상 궤도에 적용이 가능한 합성수지제는 에폭시 계열과 우레탄 계열이 있으며, 재료의 특성을 반영하여 각각 “도상고결제”와 “도상안정제”로 구분할 수 있다.

† 교신저자: 한국철도공사 연구원(musiclee@korail.com)

* 한국철도공사 연구원

국내 고속선에서 초창기에는 도상고결제를 주로 사용하였으나 유지보수의 어려운 점과 취성과 파괴 등의 문제가 발생하였으며 최근 5년 사이에 도상안정제의 사용이 시작되었다. 하지만 도상안정제 사용에 대해서 사용량에 대한 근거가 마련되어 있지 않았다. 따라서 본 연구에서는 비운행선에서 도상안정제의 일부 성능과 운행선 구간에서 선형은 직선구간이며 노반은 토공부인 개소에서 도상안정제의 살포량과 살포방식을 다양화하여 도상진동가속도의 변화 추세를 분석하였다.

2. 도상안정제 성능 현장 실험

2.1 비운행선상 실험

2.1.1 도상횡저항력

도상횡저항력은 일반선의 경우 500kgf/m, 고속선의 경우 900kgf/m로 하한치가 정해져 있다. 도상횡저항력은 레일의 횡방향 압축력이 레일의 좌굴 형태로 나타날 때 그에 대한 침목의 저항력을 말하는 것이다. 각각의 침목이 저항하는 힘을 침목 저항력 P로 나타내고 침목의 간격을 a 라고 하면 도상저항력(γ)은 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$\gamma = \frac{P}{2a} \tag{1}$$

도상횡저항력은 침목 체결구를 해체하여 한 개의 침목으로 측정하지만, 궤광은 일체 거동을 한다는 가정하에 이루어지며, 침목의 횡방향 이동량이 갑자기 커지기 시작하는 수치인 침목 횡변위 2mm일 때의 하중을 식(1)에 대입하여 계산한다.

도상횡저항력 측정은 경부고속선 영동 보수기지내에서 수행하였으며 그 결과는 다음 Table 1과 같다.

Table 1 Ballast lateral resistance

도상안정제 종류	살포량 (kg/m ²)	도상횡저항력(kg/m),(변위)	
		살포전	살포후
A	3.0	9.2(2mm)	16.7(0.60mm)
B	3.0	7.5(2mm)	16.7(0.25mm)
C	3.0	6.7(2mm)	16.7(0.45mm)
D	3.0	5.4(2mm)	16.7(0.20mm)
A	6.0	5.8(2mm)	16.7(0.57mm)
D	6.0	5.4(2mm)	16.7(0.08mm)

Table 1에 따르면 도상안정제 살포후 횡저항력은 충분히 확보가 되는 것으로 나타났다.

2.2 운행선상 실험

2.2.1 실험개요 및 분석 방법

본 연구에서는 도상안정제 살포방법은 크게 2가지 방법으로 분류하고 살포량은 각각 3kg/m^2 와 1.5kg/m^2 로 분류하여 실험 하였다. 살포방법은 다음 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서 Section A는 전면살포방법이며 Section B는 부분살포방법으로 구분할 수 있다.

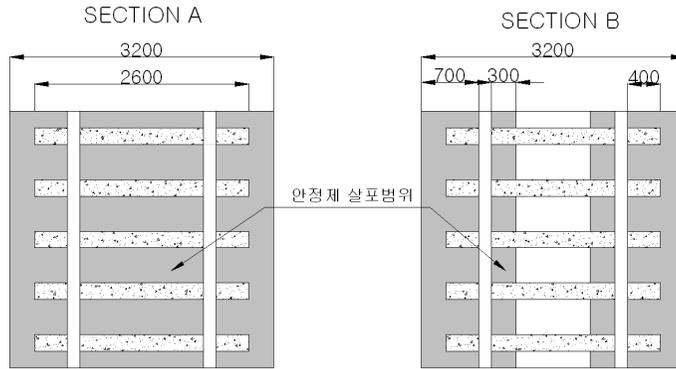


Fig. 1 Ballast binder spraying methods

현장실험은 경부고속선 207K445~207K490(T1)에서 2011년 6월 시험살포를 수행하였다. 시험살포구간은 직선구간에 토공구간으로 1종 기계작업과 뜬침목 제거작업을 수행한 후 도상안정제를 살포하였다. 도상안정제 살포 개요와 센서 매립위치에 대한 개요는 다음 Fig. 2와 같다.

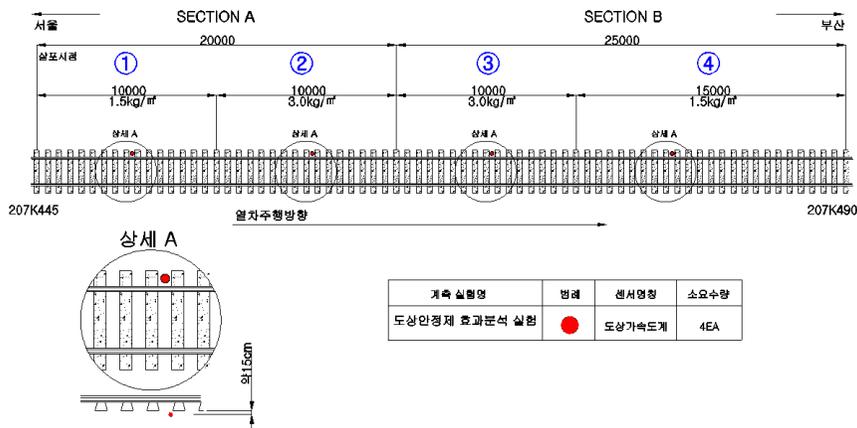


Fig. 2 Test method of Performance according to ballast binder spraying methods

Fig. 2는 실험 방법을 나타내며 주요 측정항목은 도상진동가속도이다. 진동가속도계는 침목 하면으로 부터 약 15cm 정도의 깊이로 매설하였으며 진동가속도의 절대적인 크기보다는 RMS와 RMQ의 변동율을 분석하였다. Fig. 2의 살포방법과 살포량은 Table 2와 같다.

변동율에 대해 분석을 수행한 이유는 가속도계 매설시 최대한 수직으로 매설을 해야 하지만

실제로 가속도계 매설후 그 기울기의 변화하는 경우가 발생하기 때문이다. 변동율에 대한 수식은 다음 식(2)와 같다.

$$\text{변동율}(\%/ \text{day}) = \frac{\text{후기측정 } RMS(RMQ) - \text{초기측정 } RMS(RMQ)}{\text{초기측정일로부터 후기측정일까지 경과일수}} \quad (2)$$

Table 2 Spraying Methods and quantities by section

구간	살포방법	살포량	
		단위면적당 (kg/m ²)	궤도 1m 당 (kg/m)
①	전면살포	1.5	3.45
②		3	6.9
③	부분살포	3	4.8
④		1.5	2.4

2.2.2 진동가속도 측정치 분석

도상진동가속도 측정은 도상안정제 살포후 6회에 걸쳐 측정하였다. 측정데이터에 대한 도상진동가속도의 변형율은 다음 Table 3과 같다. Fig. 3은 실측된 RMS의 값을 보여주고 있다. 구간 ④의 경우에 변화가 심하게 나타나고 있으며 나머지 구간에서는 대체로 평이한 변화를 보이고 있다.

Table 3 Ballast vibration acceleration changing rate

구간		①	②	③	④	측정일 (기준일2010-06-12)
변동율 RMS(%/day)	2차	0.01	-0.30	0.35	0.19	2011-06-28 (16일 경과)
	3차	-0.29	-0.06	0.16	0.30	2011-07-18 (36일 경과)
	4차	-0.24	-0.07	0.07	-0.38	2011-08-16 (65일 경과)
	5차	-0.05	0.01	0.03	0.23	2011-09-08 (88일 경과)
	6차	-0.19	-0.16	-0.09	-0.03	2011-09-27 (107일 경과)
변동율 RMQ(%/day)	2차	-0.40	-0.44	0.13	-0.02	2011-06-28 (16일 경과)
	3차	-0.62	-0.12	0.09	0.00	2011-07-18 (36일 경과)
	4차	-0.41	-0.06	0.03	-0.45	2011-08-16 (65일 경과)
	5차	-0.03	0.07	0.03	0.27	2011-09-08 (88일 경과)
	6차	-0.29	-0.20	-0.11	-0.09	2011-09-27 (107일 경과)

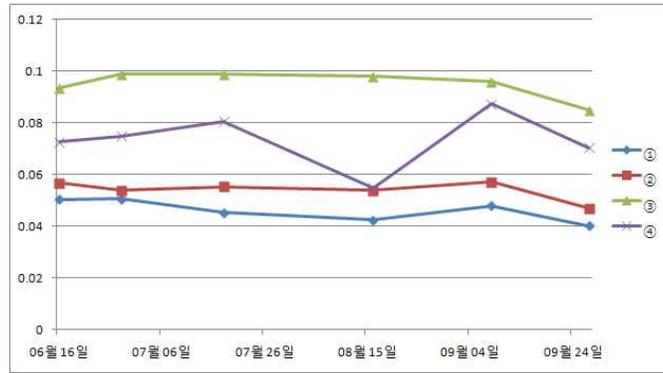


Fig. 3 Ballast vibration acceleration (RMS)

앞의 데이터로만 살포방법과 살포량의 적정성에 대해서 판단하기는 어렵기 때문에 본 연구에서는 통계적 기법을 도입하였다. 살포구간에 대해 각각의 인자인 살포방법과 살포량에 대해 2표본 t-Test를 수행하였다.(신뢰수준 95%)

살포량에 대해서는 살포량이 많은 경우(3.0kg/m^2)와 살포량이 적은 경우(1.5kg/m^2)로 구분하였다. 살포량이 많은 구간은 ②, ③구간이 되며 살포량이 적은 구간은 ①, ④구간이 된다.

2표본 t-Test에 대한 가설은 다음과 같다.

귀무가설(H_0): 안정제 살포량에 따라 진동가속도 변동율의 차이가 없다.

대립가설(H_1): 안정제 살포량에 따라 진동가속도 변동율의 차이가 있다.

미니탭을 이용한 2표본 t-Test의 결과는 다음 Table 4와 같다.

Table 4 Result of two-sample t-Test by spray quantities

	N	평균	표준 편차	SE 평균
살포량이 많다	10	-0.006	0.178	0.056
살포량이 작다	10	-0.045	0.232	0.073
차이 = μ (살포량이 많다) - μ (살포량이 작다)				
차이 추정치: 0.0390				
차이의 95% CI: (-0.1571, 0.2351)				
차이의 T-검정 = 0 (대 not =): T-값 = 0.42 P-값 = 0.679 DF = 16				

위의 결과에서 P값이 0.05보다 큰 값으로 나타났다. 이는 귀무가설을 채택하게 되는 근거이므로 도상안정제 살포량에 따른 진동가속도 변동율의 차이는 없음을 증명하는 것이다.

살포방법 또한 살포량과 같은 방법으로 2표본 t-Test를 수행하였다. 그에 대한 가설은 다음과 같다.

귀무가설(H_0): 안정제 살포방법에 따라 진동가속도 변동율의 차이가 없다.

대립가설(H_1): 안정제 살포방법에 따라 진동가속도 변동율의 차이가 있다.

미니탭을 이용한 2표본 t-Test의 결과는 다음 Table 5와 같다.

Table 5 Result of two-sample t-Test by spray methods

	N	평균	표준 편차	SE 평균
전면살포	10	-0.134	0.118	0.037
부분살포	10	0.083	0.215	0.068
차이 = μ (전면살포) - μ (부분살포)				
차이 추정치: -0.2170				
차이의 95% CI: (-0.3847, -0.0493)				
차이의 T-검정 = 0 (대 not =): T-값 = -2.80 P-값 = 0.015 DF = 13				

위의 결과에서는 살포량과는 달리 P값이 0.05보다 작게 나타났다. 이는 살포방법에 따라 도상가속도의 변동율에 차이가 있다고 판단할 수 있다. 차이의 추정치가 -값이 나타나므로 이는 부분살포보다는 전면살포가 더 효과적임을 알 수 있다.

본 연구에서는 상기의 4가지 살포방식에 대해 실험계획법에 의거하여 데이터를 분석하였다. (RMQ 변동율에 대해 한정하여 분석)

요인에 대한 주효과도와 교호작용도는 Fig. 4 및 Fig. 5와 같다.

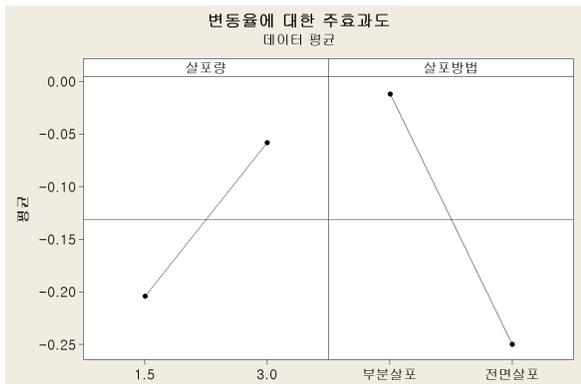


Fig. 4 Main effect diagram (RMQ)

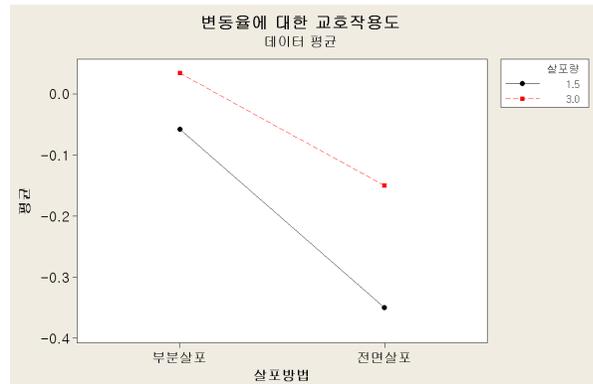


Fig. 5 Interaction diagram (RMQ)



Fig. 6 Cube diagram about Ballast vibration acceleration changing rate (RMQ)

Fig. 4에서는 살포량이 많을수록 변동율이 크게 나타나며 살포량이 작은 경우에 변동율이 작게 나타났다. 살포방법에 있어서는 부분살포시에 변동율이 크게 나타나는 것으로 확인되었다. 살포량과 살포방법을 개별적으로 분석했을 경우에는 살포량은 도상진동가속도의 변동율에 영향을 크게 미치지 않는 것으로 나타났으며 살포방법은 전면살포방법이 효과적인 것으로 나타났다. Fig. 5의 교호작용도에 의하면 살포량과 살포방법 상호간의 교호작용은 없는 것으로 나타났다. Fig. 6은 ①, ②, ③, ④구간에 대한 도상진동가속도 변동율의 평균을 나타내고 있다. 변동율이 낮은 순으로 살포방식을 배열하면 전면살포(1.5kg/m²)-전면살포(3.0kg/m²)-부분살포(1.5kg/m²)-부분살포(3.0kg/m²)의 순으로 나타난다.

3. 결론

본 연구에서는 비운행선상에서 도상안정제 살포 전·후의 횡저항력을 측정 비교하였으며 운행선상에서는 안정제의 살포량과 살포방식을 달리하여 도상진동가속도를 측정하였으며 통계적 기법으로 도상진동가속도의 변동율을 분석하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 도상안정제의 살포 전·후 도상횡저항력을 비교한 결과 살포전에 비해 살포후의 횡저항력이 매우 크게 증대되는 것을 확인할 수 있었다.
2. 선형은 직선이며 하부 노반은 토공인 구간에서 살포방식 2가지와 살포량을 2가지로 혼합하여 도상진동가속도의 변동율을 측정하여 통계적 기법인 2표본 t-Test를 활용하여 분석한 결과 전면살포(1.5kg/m²)-전면살포(3.0kg/m²)-부분살포(1.5kg/m²)-부분살포(3.0kg/m²)의 순으로 나타났다. 다만 이 결과는 현장 시험을 1개소에서 수행한 결과이므로 신뢰성을 높이기 위해서는 보다 많은 실험이 이뤄져야 할 것이다.

참고문헌

- [1] H.C. Kim (2008) Basis of the industrial statistics and utilization, Hanul Press.
- [2] S.B. Seo (2006) Track Engineering, Book Gallery Press.