

# 고속선 도상자갈 재사용을 위한 자갈세척시스템 개발에 관한 연구

## A Study on the development of waterless gravel cleaning system for high-speed train ballast gravel recycle

이일화\*, 김상일\*\*, 김용준\*\*, 김동일\*\*, 김태호\*\*, 정찬세\*\*†

IlHwa Lee\*, Sangil Kim\*\*, Yongjun Kim\*\*, Dongil Kim\*\*, Taeho Kim\*\*, Chanse Jeong\*\*†

**Abstract** Rapid-hardening track technology for the high-speed railway gravel track has been developed to effectively improve a chronic maintenance of the high-speed railway gravel track. The roadbed is a necessary part for the rapid-hardening track technology and it is highlighted to recycle current ballast gravel on the high-speed railway, for smoothly supporting gravel to the roadbed, after cleaning. For this reason, the blasting-based waterless cleaning method is widely researched which has low cost, high performance of clearing and no environmental waste. In this paper, we describe the development of waterless ballast gravel cleaning progress and machine for recycling ballast gravel on a high-speed railway.

**Keywords** : Ballast Gravel, Ballast Gravel Recycle, Blasting, Waterless Gravel Cleaning

**초 록** 고속철도 자갈궤도의 고질적인 유지보수 요인을 효과적으로 개선하기 위해 고속철도 자갈궤도구간의 급속경화궤도기술 개발이 이루어지고 있다. 이러한 급속경화궤도는 노반이 필수적이며, 이 공정에 필요한 세척자갈의 공급의 위해 현 고속철도 자갈궤도의 도상자갈을 세척하여 재사용하는 방법이 대두되고 있다. 이에 세척효율이 높고 환경폐기물이 없고 비용이 낮은 블라스팅을 이용한 건식세척방법에 대해 많은 연구가 이루어지고 있다. 따라서 본 논문에서는 고속철도 도상자갈을 재사용하기 위한 건식자갈세척시스템과 그에 따른 건식자갈세척장비의 개발에 대하여 기술한다.

**주요어** : 도상자갈, 자갈 재사용, 블라스팅, 건식자갈세척

## 1. 서 론

현재 국내의 고속철도 주행 시 사용하고 있는 자갈궤도구간을 콘크리트궤도로 구조변경하기 위한 급속경화궤도기술개발이 활발히 진행 중인데 이것은 구조변경 시 효과적인 유지보수 비용 저감, 승객들의 승차감 향상, 열차의 주행안전이 확보가 가능하기 때문이다. 급속경화궤도기술은 자갈노반에 급속경화 몰타르를 주입하여 시공 2시간 이내에 열차가 운행할 수 있는 콘크리트 강도를 발현하는 기술이다. 이러한 급속경화궤도의 품질은 몰타르의 성분과 자갈의 품질에 의해 결정되며 따라서 자갈을 세척하는 기술이 대두되고 있다.

† 교신저자: (주)퓨처리스트(chansejeong@futist.co.kr)

\* 한국철도기술연구원

\*\* (주)퓨처리스트

이와 관련된 연구로 조영민 등 7명[1]은 오염된 철도도상자갈의 대량정화시스템에 대해 연구하였고, 이일화 외 2명[2]은 포장궤도 골재로서의 도상자갈 재활용을 위한 건식세척 장치에 대해 연구하였다. 이일화는 도상자갈 재활용을 고려한 포장궤도 골재 기준에 대해 연구를 수행하였다.[3] 조영민 외 12명[4]은 철도 오염자갈의 건식세척 기술 실용화에 대해 연구를 하였고 이일화 외 4명[5]은 고속선 급속경화 궤도용 건식세척장비 개발에 대하여 연구를 진행 하였다.

건식세척방법은 흡입공정, 선별공정, 건조공정, 세척공정, 배출공정으로 총 5단계의 공정으로 이루어지며 건식세척공정은 흡입, 선별, 건조공정을 통합한 전처리 공정과 세척, 배출공정을 통합한 후처리 공정으로 구분할 수 있다.

본 논문에서는 고속선 도상자갈을 급속경화궤도 구조변경 시 재사용을 위한 자갈세척시스템과 각 시스템에 대한 건식세척장비의 개발에 대해 기술하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 건식자갈세척공정

#### 2.1.1 전처리 공정

전처리공정은 흡입, 선별, 건조공정을 통합하여 전처리 공정이라 하며 흡입공정은 건식자갈세척 시 자갈을 일정하게 건식세척장비에 공급하는 공정이다. 건식자갈세척장비에 투입되는 자갈의 양은 장비의 용량을 결정하는 것이기 때문에 매우 중요한 공정이다. 자갈의 투입을 일정하게 하기 위하여 자갈조절용 플레이트를 설치하여 자갈을 조절할 수 있도록 한다.

선별공정은 자갈의 입도를 22~60mm의 크기에 맞게 선별하는 공정이다. 선별공정은 크게 2단계로 나누어지며 첫번째 단계에서 60mm보다 큰 자갈을 선별하고 두번째 단계에서 22mm보다 작은 자갈을 선별한다. 자갈을 선별하는 방법으로 드럼을 이용하는 방법과 선별체를 이용하는 방법이 제안되고 있으며 두 가지 방법에 대하여 3D설계 및 구조해석을 통해 안정적이고 효과적인 방법을 선정하여 장비를 제작할 예정이다.

건조공정은 자갈 표면에 있는 수분을 제거하는 공정이다. 자갈표면의 수분은 건식자갈세척 시 세척효율을 저하시키고 투사재를 뭉치게 하여 세척효율을 저하시키는 문제를 발생시킨다. 따라서 자갈표면의 수분을 제거하는 것이 매우 중요한 공정이며 자갈표면의 수분을 제거하는 방법으로 마이크로웨이브를 이용하는 방법, 열풍기를 이용하는 방법, 고압공기를 이용하는 방법 등이 제안되고 있으며 제작비용과 장비의 크기를 고려하였을 때 고압공기를 이용하는 방법을 적용한다.

#### 2.1.2 후처리 공정

후처리공정은 세척, 배출공정을 통합하여 후처리 공정이라 하며 세척공정은 세척된 자갈의 품질을 결정하는 공정이다. 자갈의 품질은 콘크리트궤도 설치 시 콘크리트의 강도를 결

정하는 요소가 된다. 자갈세척 방법으로 본 연구에서는 건식세척방법이 제안되고 있으며 세척 시 발생하는 2차 폐기물과 세척시간 및 효율, 처리비용이 가장 낮은 장점이 있다. 또한 투사방법으로 임펠러를 이용한 건식세척방법의 적용도 고려한다. 기계식 임펠러를 적용할 경우 블라스팅에 사용되는 대형 콤프레셔가 필요 없으며 투사재의 투사력과 투사량이 블라스팅보다 크기 때문에 같은 시간에 많은 용량을 처리할 수 있는 장점이 있다.

배출공정은 세척된 자갈을 배출하는 공정으로 컨베이어를 이용하여 자갈을 배출한다.

## 2.2 자갈세척장비

자갈세척장비는 자갈세척공정에 부합하며 연속작업이 가능하도록 구성되며 1일 8시간 기준 70m<sup>3</sup>의 용량을 처리할 수 있어야 한다. 1일 8시간 70m<sup>3</sup>의 기준은 노반의 1일 처리거리를 100m로 설정하였을 때 약 100m<sup>3</sup>의 자갈이 필요하게 되며 장비의 2편성 기준으로 1편성 당 약 50m<sup>3</sup>의 처리용량이 요구된다. 여기에 안전율을 1.4로 적용하여 70m<sup>3</sup>의 처리용량을 기준으로 설정하였다.

### 2.2.1 전처리 장비 개발

전처리장비는 흡입공정, 선별공정, 건조공정을 하나의 장비에서 순차적으로 진행될 수 있도록 구성되며 흡입공정은 버킷 모양의 자갈 투입구에서 일정량의 자갈을 공급하고 선별공정은 선별채 또는 드럼형상의 선별장치를 통해 이루어진다. 선별장치를 통해 선별된 자갈들은 건조장치에서 자갈의 표면의 수분이 제거되며 전처리장비의 컨베이어를 통해 후처리장비인 건식자갈세척기로 이동한다. 현재 전처리장치는 3가지 개념으로 제안되고 있으며 각 개념도는 Fig. 1과 같다.

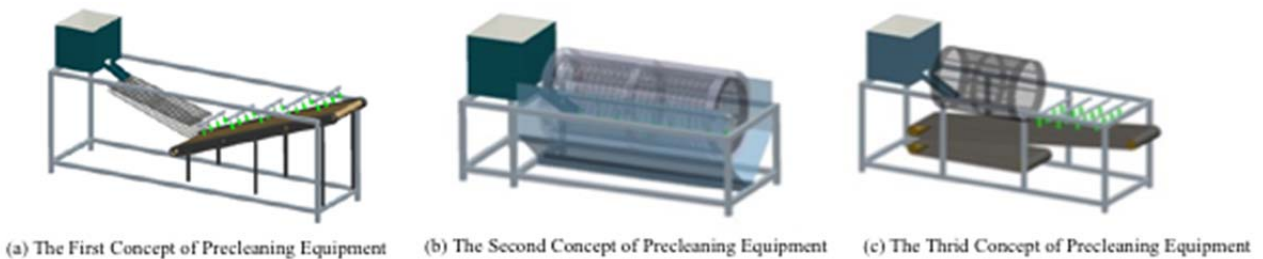


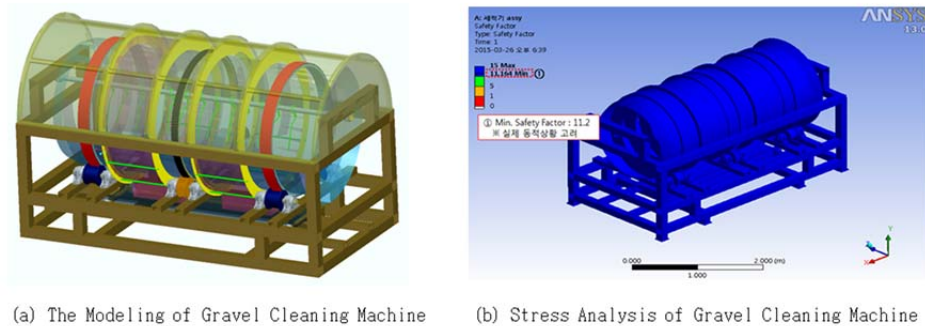
Fig. 1 The Concept of Precleaning Equipment

### 2.2.2 후처리 장비 설계 및 제작

후처리장비는 세척공정을 진행하는 건식자갈세척기와 배출공정을 진행하는 배출컨베이어로 구분되며 건식자갈세척기는 현재 3D 모델링과 구조해석을 통해 사전 검증을 하였다.

건식자갈세척기는 연속작업이 가능하도록 드럼형태의 구조와 드럼을 지지하는 프레임으로 구성되며 건식자갈세척기의 구동은 5hp 3상 220V의 AC모터로 구동된다. 건식자갈세척기의 자갈 세척방식은 흡입식 노즐을 이용한 블라스팅 방식을 적용하여 설계하였다. 건식자갈세척장비는 연속작업을 하며 1일 8시간 70m<sup>3</sup>의 용량을 처리해야 하므로 구조적 안정성이 요구되어지

므로 설계된 건식자갈세척기를 대상으로 구조해석을 실시하여 장비의 적용성을 검토하였다. 건식자갈세척기의 구조해석결과 재료 항복강도의 10%수준과 장비의 안전율 해석결과 11.2로 일반 동적 기기의 안전율이 10~15임을 고려하였을 때 적절한 수준의 설계가 이루어 짐을 확인할 수 있었다. 설계된 건식자갈세척기는 Fig. 2와 같다.



**Fig. 2** The Mechanical Engineering of Gravel Cleaning Machine

### 2.2.3 건식자갈세척기 성능시험

제작된 건식자갈세척기를 대상으로 성능시험을 실시하였으며, 시험내용은 장비의 동작과 장비의 처리용량을 측정하는 장비동작시험과 자갈의 세척효율을 알아보기 위한 세척효율시험으로 구분하여 실시하였다. 성능시험은 건식자갈세척기의 대상 자갈이 많은 고속철도기지 내에서 이루어졌으며 고압투사를 위해 65마력 콤프레셔와 장비의 전원공급을 위한 100kW 발전기를 설치하였으며 설치되어진 장비는 Fig. 3와 같다.



**Fig. 3** The Installed Gravel Cleaning Machine

장비동작시험은 장비의 원활한 동작을 검토함과 동시에 처리용량을 측정하는 시험으로 장비의 원활한 동작이 이루어지는지 알아보기 위해 4시간 무부하 작동테스트를 실시하고 장비의 처리용량의 20%수준의 자갈을 투입하여 장비의 동작확인을 실시하였으며 작동 테스트결과 건식자갈세척기가 원활히 작동하는 것을 확인할 수 있었다. 장비의 처리용량을 확인하기 위하여 0.4m<sup>3</sup>의 자갈을 투입하여 배출되는 양과 시간을 측정하였다. 측정결과 0.4m<sup>3</sup>의 처리시간을 약 2분으로 이러한 결과를 기반으로 처리용량을 계산하였을 때 1일8시간 기준 96m<sup>3</sup>의 처리용량이 계산되었다. 이는 장비의 목표처리용량인 70m<sup>3</sup>의 137%로 목표 처리용량보다 월등한 성능을 보였다.

건식자갈세척기의 자갈세척효율을 확인하기 위해 현장에서 육안으로 비교검사를 실시하였다. 자갈의 세척 전 표면의 이물질로 인해 자갈 본연의 색깔을 확인할 수 없었지만 세척 후 자갈 본연의 색깔을 확인할 수 있어 건식자갈세척기의 세척효과가 있다는 것을 확인하였으며 자갈의 세척 전후 상태는 Fig. 4와 같다.



Fig. 4 The Result of Gravel Cleaning

### 3. 결론

본 논문에서는 고속선 급속경화궤도 기술 개발에 따른 도상자갈 재활용을 위한 건식자갈세척시스템과 그에 따른 건식자갈세척장비의 개발에 관한 연구를 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 건식자갈세척공정은 흡입공정, 선별공정, 건조공정, 세척공정, 배출공정의 총 5단계로 이루어지며 흡입, 선별, 건조공정을 전처리공정이라 하고 세척, 배출공정을 후처리공정이라 한다.

- 전처리장비는 3종류의 방식이 제안되고 있으며 선별채, 드럼타입, 복합타입의 방식이 있다.

- 건식자갈세척기는 연속작업이 가능한 드럼형태의 세척구조와 드럼을 지지하는 프레임으로 구성되며 흡입식 노즐을 이용한 블라스팅 방식으로 자갈을 세척하도록 개발하였다.

- 건식자갈세척기의 구조해석결과 건식자갈세척기의 설계는 재료의 항복강도의 10%수준이고 전체 안전율은 11.2로 적절한 수준의 설계가 이루어진 것을 확인하였다.

- 장비의 동작 시험을 통해 장비가 원활히 작동하는 것을 확인하였으며 정비의 처리용량은 목표처리용량 대비 137%의 용량을 처리할 수 있음을 확인하였다. 또한 자갈의 세척 전후 상태를 육안으로 비교검사를 통해 자갈의 이물질이 제거됨을 확인하여 건식자갈세척의 효과가 있음을 확인하였다.

본 연구를 통해 개발되는 건식자갈세척시스템과 건식자갈세척장비는 향후 고속철도 급속경화궤도 노반 건설을 위한 세척자갈공급을 위한 자갈 세척에 사용될 것이며 세척을 통해 재사용될 자갈의 품질 및 세척효율 향상을 위한 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것이다.

## 후 기

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원(고속철도 자갈궤도 급속정화기술 개발, 15RTRP-B065581-03)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- [1] Y.M. Jo *et al* (2009) Study on the pilot-scale remediation system for polluted railroad ballast gravels, *KORMARC*, pp. 3236-3241
- [2] I.H Lee *et al* (2009) The Dry Cleaning Machine to Recycling the used Ballast as a Aggregate of the Paved Track, *KORMARC*, pp. 1525-1529
- [3] I.H Lee (2009) Aggregate Criterion for Paved Track Considering Recycling of Railway Ballast, *KORMARC*, 4, pp. 1525-1529
- [4] Y.M. Jo *et al* (2012) Field Application of Dry Washing Technology for Polluted Railroad Ballast Gravel, *KORMARC*, pp. 819-824
- [5] I.H Lee *et al* (2015) Improvement of Dry-blasting Efficiency for Ballast used as Aggregate of Paved Track, *KORMARC*, 13, pp. 1525-1529