

## 건식세척기술을 이용한 철도 도상자갈 정화 연구

### A Study for Remediation of Railroad Ballast Gravel Using Dry Washing Method

배지용 · 정태양 · 김재현 · 이상탁 · 주형수 · 오승택 · 조영민\* · 박덕신

Jiyong Bae · Taeyang Jeong · Jae Hun Kim · Sang Tak Lee · Hyung Soo Joo ·  
Seung-Taek Oh · Youngmin Cho · Duckshin Park

**Abstract** This study proposes a newly developed dry washing method for removing pollutants such as total petroleum hydrocarbon (TPH) and oxidized iron from the surface of ballast gravel. A batch-type dry washing method showed a good performance in a previous study. In this study, a continuous-type dry washing system, instead of a batch-type system, was prepared to improve the efficiency of the system. A drier and a separator were also applied to this system as pre-treatment process, and the performance of this system was evaluated. In this experiment, blasting media was blasted on the polluted gravels through 12 nozzles by a pressure of 5-6kg/cm<sup>2</sup> for 20-30 mins to remove TPH and oxidized iron. It was found to be possible to remove 80-90% of TPH and oxidized iron by using this system. Several ways to improve the performance were suggested in this study.

**Keywords** : Soil pollution, Soil remediation, Railroad ballast gravel, Dry washing, TPH

**초 록** 본 연구에서는 오염된 자갈을 정화하기 위해서 새로운 방식의 건식세척장치를 제작하여 석유계총탄화수소 (TPH) 및 산화철의 저감 성능을 알아보았다. 기존 연구에서는 회분식 처리 방식이 적용되었으나, 본 연구에서는 정화 성능 및 처리 효율 향상을 위하여 연속식 처리 방식을 적용하였다. 또한 오염자갈의 전처리를 위하여 건조기 및 선별기를 적용하였다. 본 실험에서는 총 12개의 노즐을 통해 약 5-6kg/cm<sup>2</sup>의 압력으로 20-30분 동안 연마재를 자갈에 분사하여 석유계총탄화수소(TPH)와 산화철의 저감 성능을 확인하였다. 실험결과 석유계총탄화수소(TPH)와 산화철 모두 약 80-90%의 높은 처리효율을 나타냈다. 본 연구에서는 향후 추가 연구를 통해 정화효율을 높일 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

**주요어** : 토양오염, 오염토양복원, 철도 도상 자갈, 건식 세척 방법, 석유계총탄화수소(TPH)

## 1. 서 론

토양환경오염에 대한 규제가 점차 강화되면서 철도부지의 토양오염 문제가 크게 부각되고 있는데, 이는 철도부지에 폐연료나 폐윤활유 및 기타 중금속 등의 다양한 오염물질이 누적되어왔기 때문이다. 특히, 최근에는 철도부지를 대규모 건축개발사업이나 공원화 사업 등으로 활용하고자 하는 노력들이 이어지면서 철도토양오염 및 복원문제가 크게 부각되고 있다[1]. 철도부지에서도 도상자갈은 궤도의 최상단에 부설되므로 오염도가 가장 심한데, 주요 오염물질로는 철도차량의 누유와 낙유 및 윤활유 등에 의한 석유계총탄화수소(TPH)와 차륜과 선로 사이의 마찰 등에 의하여 발생하는 산화된 철가루 등이 있다[1,2].

기존 오염자갈의 처리 방법으로는 물과 계면활성제를 사용하는 수세척 처리 방법과 과산화수소와 같은 화학적 산화제를 이용하는 화학적 처리 방법이 있다[3]. 수세척 처리 방법의 경우 처리효율이 낮고, 2차 오염물질인 폐세척수가 다량으로 발생되기 때문에 경제성이 매우 낮다. 또한 화학적 처리 방법의 경우 가격이 비싼 과산화수소 등의 화학적 처리제를 다량으로 사용하기 때문에 많은 비용이 소요될 뿐만 아니라 처리 과정 중에 유독물질 발생 및 2차 토양오염의 우려가 있다. 아울러 향후 자원순환 기본법의 강화에 따라 폐 도상자갈의 매립도 점차 어려워질 전망이다.

일반적으로 도상자갈의 석유계총탄화수소(TPH) 및 산화철 성분의 오염물질들은 대부분 표면에 흡착되어 있는 형태로 존재하

\*Corresponding author. E-mail: ymcho@krii.re.kr.

© 2017 The Korean Society for Railway. All rights reserved.

<https://doi.org/10.7782/JKSR.2017.20.3.365>



Fig. 1. Batch-type dry washing equipment for gravel.

기 때문에 표면의 오염물질을 제거함으로써 정화가 가능하다[4]. 이에 Fig. 1과 같은 오염도상자갈을 처리하기 위한 건식 세척 기술이 개발되었다. 건식세척기술은 처리효율이 높고, 2차 오염물질의 발생량이 수세척 처리 방법이나 화학적 처리 방법에 비하여 훨씬 적은 친환경 기술이다. 그러나, 기존의 오염자갈 건식 처리 기술은 규모가 작아 현장에 적용이 가능한 사업화 단계에는 이르지 못한 실정이었다[4,5]. 이에 본 연구에서는 기존의 회분식 처리 방법의 문제점을 보완한 연속식 처리 장치를 제작하였다. 여기에 기존 건식 처리 기술의 문제점인 습기가 많은 자갈의 처리효율 저하와 이물질 등에 의한 운전시 문제점 등을 보완할 수 있도록 건조장치와 선별기를 적용하였다. 이렇게 제작한 시스템을 이용하여 실제 철도부지에서 채취한 오염자갈에 대한 세척 성능을 확인하였다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 실험 장치

#### 2.1.1 선별기

건식 세척 기술의 현장 적용에 있어서 가장 큰 문제점 중의 하나는 작은 이물질 등이 장치 내로 유입되어 관로 또는 노즐을 막는 것이었는데, 이에 본 연구에서는 Fig. 2의 선별기를 적용하여 이물질을 사전에 제거할 수 있도록 하였다. 선별기에는 메시의 크기가 20mm인 망이 설치되어 자갈의 크기 22.4-63mm인 자갈만 선별할 수 있도록 하였다. 선별기의 처리 능력은 시간당 5ton으로 설계하였고, 우측에 달린 모터에 의하여 경사진 상판이 흔들리도록 함으로써 크기 20mm 이하의 이물질을 제거할 수 있도록 하였다.



Fig. 2. Separator used in this study to collect ballast gravel pieces larger than 20mm.

### 2.1.2 건조기

또한, 건식 세척 기술은 오염자갈에 습기가 많으면 그 처리 효율이 떨어지는데, 본 연구에서는 이러한 문제를 극복하기 위하여 Fig. 3과 같이 오염자갈 표면의 습기를 제거할 수 있는 건조기를 제작하여 적용하였다. 본 연구에 사용된 건조기는 로터리 킬른 형태로 안에 스크류 날이 부착되어 있고, 스크류 날 사이에 가이드가 부착되어 있어 킬른 내에서 자갈은 회전을 하면서 이송이 되도록 하였다. 시간당 처리능력 5ton으로 설계하였고, 액화압축가스(LPG)를 연료로 사용하는 버너가 장착되어있어 온도를 100-400°C 범위에서 조절이 가능하다. 본 연구에서는 오염자갈의 표면만 건조하면 되므로, 건조 온도는 110°C로 설정하였다. Fig. 4는 축열식 연소장치(Regenerative Thermal Oxidizer, RTO)로 건조기 내에서 연소되어 나오는 VOCs 성분들을 포집하여 650-900°C로 산화 분해하여 대기오염물질을 정화하여 배출하도록 하였다.



Fig. 3. Rotary kiln for drying contaminated ballast and desorbing some contaminants from the surface of ballast.



Fig. 4. Regenerative thermal oxidizer (RTO) for decomposing the volatile organic carbons emitted during drying process.

### 2.1.3 건식세척장치

본 연구에는 Fig. 5와 같이 시간당 5ton 처리가 가능한 연속식 처리 방식의 건식세척장치를 제작하여 실험에 사용하였다. 본 건식세척장치는 자갈을 투입하는 인 컨베이어, 자갈을 세척하는 드럼 컨베이어, 사용한 연마재를 오염물질 및 먼지와 분리하는 먼지집진부, 그리고 자갈을 배출하는 아웃 컨베이어 등 총 4개의 부분으로 구성되어있다. 특히 오염자갈이 세척되는 드럼 컨베이어에서는 노즐을 통해 연마재를 고압으로 분사하여 오염자갈 표면의 오염물질을 물리적으로 제거하게 되고, 드럼 컨베이어 내의 자갈은 드럼 컨베이어의 스크류 날과 가이드에 의해 회전운동을 하면서 이송이 이루어지도록 하였다. 이송되는 자갈은 12개의 노즐을 통하여 분사되는 연마재에 의해 고루 세척이 가능하며 사용된 연마재는 드럼 하부에 모인 후 먼지집진부에서 오염물질 및 먼지 등과 분리되어 다시 연마재 노즐을 통해 오염자갈에 분사될 수 있도록 하였다.



Fig. 5. Continuous-type dry washing equipment for gravel.

## 2.2 실험 방법

### 2.2.1 오염자갈의 채취 및 투입

본 연구에 사용된 오염자갈은 철도부지의 분기기 및 선로 주변에서 채취하여 실험에 사용하였다. 분기기 주변에서 채취한 자갈은 석유계총탄화수소(TPH)의 정화효율 실험에 사용하였고, 선로 주변에서 채취한 자갈은 산화철의 정화효율 실험에 사용하였다. 본 연구에 사용된 건식세척장치는 시간당 5ton의 자갈을 처리할 수 있도록 설계되었는데, 본 실험에서는 자갈을 투입하는 인 컨베이어에 24초 동안 자갈 33kg을 투입함으로써 시간당 5ton의 자갈(초당 1.38kg)을 처리할 수 있도록 하였다.

### 2.2.2 연마재 투입 및 실험방법

본 실험에서 사용된 연마재는 금강사(Alumina Oxide)로 화학조성은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 96.5%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.14%, TiO<sub>2</sub> 0.20%, SiO<sub>2</sub> 0.67%, CaO 0.18%, ZrO<sub>2</sub> 0.14%이고, 크기는 0.088-0.125mm였다. 연마재 사용량은 105-150kg 범위에서 투입하여 실험을 수행하였는데, Table 1에 나타낸 바와 같이 연마재 150kg을 투입하여 7시간 동안 실험을 진행하였을 때 12kg 가량의 연마재가 손실되는 것으로 나타나, 향후 연구에서의 연마재 초기 투입량은 135kg으로 실험을 진행하였다. 또한, 발생하는 손실량만큼 연마재량을 투입하여 연마재의 원활한 순환 및 연마효율을 유지하였다.

**Table 1.** Amount of abrasive discharged from the equipment over time.

Time (hr)	Pressure (bar)	Total amount of abrasive (kg)	Total loss of abrasive (kg)
2	6	105	5
3	6	130	7
5	6	135	9.5
7	6	150	12

연마재를 분사하여 자갈 표면에서 탈착된 오염물질은 싸이클론을 이용한 입도분리를 통해 별도로 모아서 지정폐기물로 처리된다.

오염자갈의 드럼 컨베이어 내 체류시간에 따른 오염자갈 정화효율을 알아보기 위하여 연마재 분사압력은 6bar로 고정된 상태에서 처리시간을 24-50분까지 다양하게 변화하여 실험을 수행하였다. 또한, 체류시간은 30분으로 고정된 상태에서 연마재 분사압력을 4-7bar로 다양하게 변화하여 실험을 수행하였다. 본 시험의 재현성을 확보하기 위하여 체류시간 30분, 분사압력 6bar의 조건에서 추가로 2회씩 더 실험을 수행하여 자갈표면 내 흡착된 산화철 및 석유계총탄화수소(TPH)의 제거 효율을 알아보았다.

### 2.2.3 선별기를 이용한 선별방법

선별기에는 Fig. 6과 같이 1회에 약 250kg의 자갈을 투입하여 지름 20mm 이하의 자갈이 아닌 이물질은 제거할 수 있도록 하였다. 이 때 250kg의 자갈은 선별기 위 자갈시로 취부 면적의 50-70%를 차지할 수 있도록 투하하였으며 투하시간을 15초, 40초, 90초로 변화시켜 진행하였는데, 각 투하시간에 따른 선별 소요 시간은 각각 20초, 60초, 100초로 나타났다.



**Fig. 6.** Testing the performance of screen equipment.

### 2.2.4 건조기를 이용한 건조방법

건조기에는 건식세척장치와 동일하게 시간당 5ton의 자갈을 투입하였고, 이 때 건조기의 내부 온도는 약 110°C로 설정하였다. 건조기 내부 온도를 110°C로 설정한 이유는 최소한의 온도 조건에서 자갈표면의 수분을 탈착시키기 위한 것으로 불필요한 온도증가에 따른 에너지 손실을 최소화하도록 하였다. 건조기 내부에서 석유계총탄화수소 (TPH)로 오염된 자갈을 건조할 경우 발생할 가능성이 있는 휘발성 가스 등의 연소성 가스는 축열식 연소장치(RTO)를 통하여 600°C 이상의 온도에서 처리 후 배출되도록 하였다. 분진 및 배가스 처리효율 실험은 축열식 연소장치 및 건식세척장치의 운전 전과 운전 후를 비교하였다. Benzene, toluene, xylene의 경우에는 축열식 연소장치의 말단 부분인 굴뚝 상단에서 배출되는 공기를 포집하여 측정하였으며, 비산먼지의 경우에는 건식세척장치의 집진기 말단인 블로어 배출부에서 공기를 포집하여 측정하였다.

### 2.2.5 석유계총탄화수소(TPH)와 산화철 분석방법

처리 전과 후의 자갈시료는 모두 의뢰자 제시법으로 분석을 진행하였다. 석유계총탄화수소(TPH)의 경우에는 원자갈시료 약 250g에 잠길 정도의 디클로로메탄을 넣어준 후 3분간 초음파 추출하여, 진공여과 혹은 원심분리한 뒤, 무수황산나트륨 10g을 추가하여 탈수하여 최종부피가 2ml 될 때까지 농축하여 기체 크로마토그래피(Gas chromatography, GC)를 사용하여 분석하였다. 중금속 추출의 경우에는 자갈시료를 정제수로 적신 후, 크기에 따라 진한염산과 질산을 부피비(3:1)로 맞춘 왕수를 적정량 사용하여, 섭씨 30°C에서 1시간 수평 진탕하여 중금속 용출한 후 유도 결합 플라즈마 발광 분석기(Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectroscopy, ICP-OES)로 농도 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 실험 결과

#### 3.1.1 건식세척장치를 이용한 오염자갈 정화 효율

자갈시료 표면의 오염물질 농도는 3회 측정하여 평균값을 제시하였다. 세척 전 자갈시료의 석유계총탄화수소(TPH) 농도는 약 2,096mg/kg, 산화철 농도는 735mg/kg이었다. 오염자갈의 드림 컨베이어 내부 체류시간을 24분, 30분, 35분, 42분 등으로 변화시키면서 이에 따른 석유계총탄화수소(TPH)의 농도 및 정화효율 변화를 Fig. 7에, 산화철의 농도 및 정화효율 변화를 Fig. 8에 도시하였다. 석유계총탄화수소(TPH)는 체류시간을 24분 이상으로 할 경우 정화효율이 80% 이상으로 매우 우수하게 나타났으며, 체류시간을 그 이상으로 더 증가시켜도 정화효율은 증가하지 않았고, 오히려 다소 감소하는 것처럼 나타났는데, 이는 세척된 자갈 간 오염농도의 균일성 확보가 어려운 자갈을 시료로 하는 본 분석의 한계에 기인한 것으로 보인다. 의미 있는 정화효율의 증가는 체류시간 24분 이내의 구간에서 나타났는데, 이는 기존 Cho [5] 등의 연구에서도 단시간 내에 처리가 됨을 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 실제 상용화가 가능한 80% 이상의 정화효율이 나타나는 체류시간 24분 이상의 조건으로 처리한 후의 자갈시료만 포집하여 분석하여 보고하였기에 체류시간의 증가에 따른 정화효율을 볼 수 없었다. 산화철의 경우에는 체류시간을 24분보다 증가시킬 때 정화효율이 다소 증가하는 것으로 나타나기는 하였으나, 이 역시 석유계총탄화수소(TPH)의 경우와 마찬가지로 의미 있는 증가라고 볼 수는 없었다. 이에 본 연구에서는 오염자갈의 드림 컨베이어 내부 체류시간을 30분으로 고

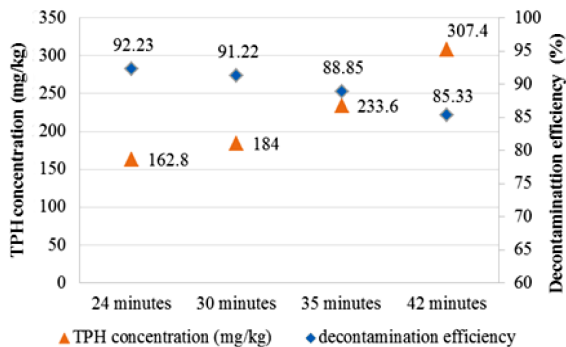


Fig. 7. Change in the average concentration (triangle) and % decrease of TPH (square) on the surface of ballast after applying different cleaning times (24, 30, 35, 42 minutes).

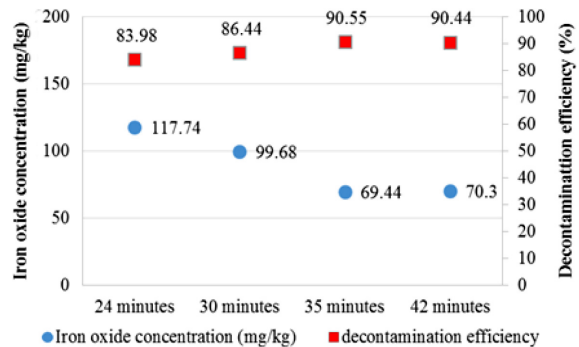


Fig. 8. Change in the average concentration (circle) and % decrease (square) of iron oxide on the surface of ballast after applying different cleaning times (24, 30, 35, 42 minutes).

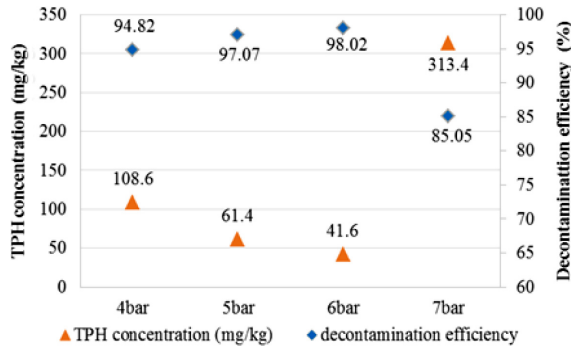


Fig. 9. Change in the average concentration (triangle) and % decrease of TPH (square) on the surface of ballast after applying different pressures for spraying abrasive (4, 5, 6, 7 bars).

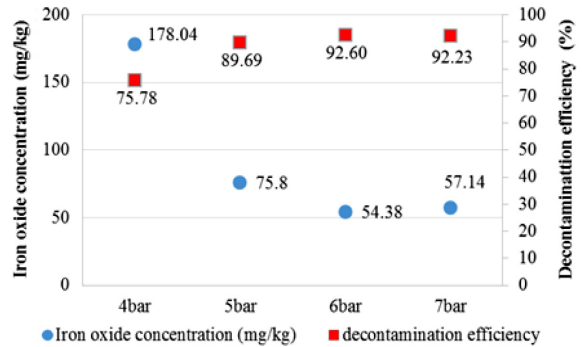


Fig. 10. Change in the average concentration (circle) and % decrease (square) of iron oxide on the surface of ballast after applying different pressures for spraying abrasive (4, 5, 6, 7 bars).

정하였다.

오염자갈의 드럼 컨베이어 내부 체류시간을 30분으로 설정한 상태에서 연마재 분사 압력 변화에 따른 석유계총탄화수소 (TPH)의 농도 및 정화효율 변화를 Fig. 9에, 산화철의 농도 및 정화효율 변화를 Fig. 10에 나타냈다. Fig. 9와 Fig. 10에 나타난 바와 같이 석유계총탄화수소(TPH)와 산화철 모두 대체로 분사압력이 증가함에 따라 정화효율도 증가하는 것으로 나타났다. 그러나, 7bar에서는 오히려 정화효율이 다소 저하되는 것으로 나타났는데, 이는 기존 Cho [5]의 결과에서도 유사한 경향이 관찰되었다. 7bar에서 정화효율이 감소하는 이유를 본 연구에서는 명확히 규명할 수 없었으나, 노즐의 연마재 분사가 원활하지 않았기 때문인 것으로 보이며, 이를 해결하기 위해서는 고압에서도 분사가 가능하도록 노즐 설계의 변경이 필요할 것으로 보인다. 본 연구에서는 위의 실험 결과를 바탕으로 처리량 5ton/h, 체류시간 30분, 압력 6bar을 최적의 운전조건으로 결정하였다.

### 3.1.2 선별기의 선별 효율

선별기를 이용한 실험 결과를 Table 2에 나타내었다. 선별기에 250kg의 자갈을 투입하여 운전한 결과, 입도 20mm 이상의 자갈만 선별할 수 있었고, 이물질 약 2kg이 발생하였다. 발생한 입도 20mm 이하의 이물질은 잔자갈 및 미세 입경의 모래 또는 토사 등이었는데, 이러한 이물질이 건식세척장치 안으로 들어가게 된다면, 연마재가 분사되는 노즐부가 막혀 정화효율을 크게 저하시키고, 장치수명을 단축시킬 수 있으므로 전처리 과정으로서의 선별기를 통한 입도 분급은 매우 중요하다. 본 실험에서는 이미 선별되어진 자갈을 굴삭기로 퍼 올리는 과정에서 상대적으로 적은 양의 모래 또는 흙이 투입자갈 중에 포함되었지만, 실제 철도 등의 복원 현장에서 적용시에는 이보다 더 많은 양의 모래 또는 흙이 포함될 것으로 판단된다. 따라서 대량의 오염자갈을 단기간에 정화하기 위해서는 선별기의 역할이 매우 중요할 것으로 판단된다.

Table 2. Weight of gravels passing through the screen equipment.

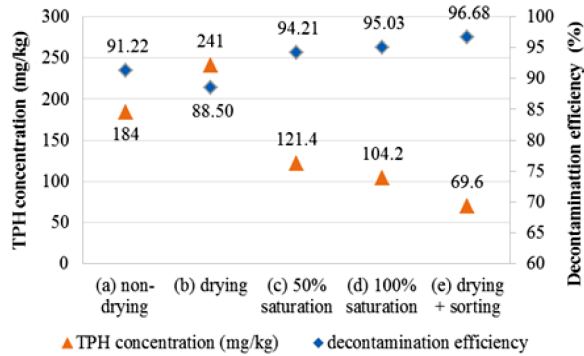
Initial weight (kg)	Weight of > 20 mm (kg)	Weight of < 20 mm (kg)	Percentage of < 20 mm (%)
250	248	2	1
250	248	2	1

### 3.1.3 건조기 및 선별기를 이용한 통합건식세척장치 효율

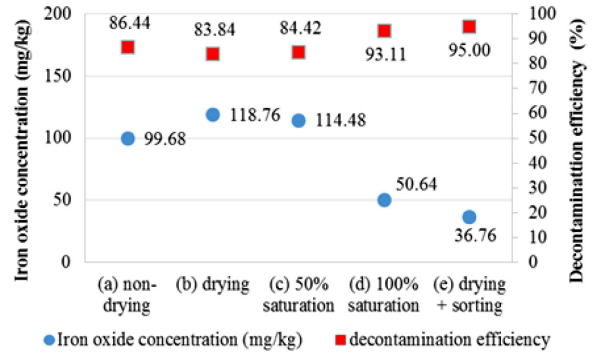
통합세척장치 효율 실험은 건조하지 않은 자갈군, 건조만 한 자갈군, 건조와 선별을 모두 한 자갈군, 인위적으로 함수비를 50%로 조절한 자갈군, 인위적으로 함수비를 100%로 조절한 자갈군 등 총 5개의 군으로 나누어 진행하였다. 여기서 자갈의 함수비는 도상자갈 한 개를 물로 가득 채운 비커 안에 2시간 이상 담가두었을 때 무게를 측정하고, 110°C의 오븐에서 24시간동안 건조하여 측정한 무게를 측정하여 무게의 차이에 해당하는 물의 양을 자갈이 함유할 수 있는 최대 습윤량으로 규정하였다. 3회에 걸쳐 실험 한 결과 Table 3에 나타난 바와 같이 자갈은 포화상태에서 약 1% 미만의 물을 함유할 수 있었고, 이를 바탕으로 자갈시료에 50% 함수비를 위해서는 170g의 물을, 100% 함수비를 위해서는 350g의 물을 분사하여 습윤 및 건조한 후에 세척 실험을 진행하였다. 실험결과 Fig. 11과 Fig. 12에 나타난 바와 같이 석유계총탄화수소(TPH)와 산화철로 오염된 자갈 모두 건조와 선별을 모두 한 자갈군에서의 정화효율이 가장 높은 것으로 나타났다. 사이클론을 이용한 순환을 통해 연마재, 석분

**Table 3.** Water contents of gravels in dried and wet conditions.

Sample	Dry condition (g)	Wet condition (g)	Water amount (g)	Water contents (%)
A	70.8	71.3	0.5	0.70
B	248.3	250.6	2.3	0.92
C	201.9	203.6	1.9	0.83
A+B+C	521.0	525.5	4.6	0.86



**Fig. 11.** Change in the average concentration (triangle) and % decrease of TPH on the surface of ballast by applying different physical conditions, a) washing equipment only, b) drying, c) providing moisture content to 50% saturation level, d) providing moisture content to 100% saturation level and e) drying and sorting prior to employing washing equipment.



**Fig. 12.** Change in the average concentration (circle) and % decrease of TPH on the surface of ballast by applying different physical conditions, a) washing equipment only, b) drying, c) providing moisture content to 50% saturation level, d) providing moisture content to 100% saturation level and e) drying and sorting prior to employing washing equipment.

및 협잡물을 선별하는 장치의 특성상 선별을 통하여 잔자갈 및 협잡물을 장치 투입 전에 선제 제거하여 줌으로써 분사부의 막힘현상 등을 방지할 수 있어 자갈 표면 세척의 효율을 증대할 수 있다. 실제 오염자갈은 디젤 및 경유 등이 혼합되어 반건조 상태로 자갈 표면에 존재하며, 액체 오염원 특성상 자체 점성 및 습윤상태 등에 의해 자갈 표면에 물리적으로 흡착하게 된다. 또한 외부에 노출된 환경에 포설되어 있어, 강수 등에 의한 지속적인 수분 공급과 건조과정을 거치게 된다. 이로 인해 자갈의 표면 오염물질은 완전 건조상태부터 습윤상태까지 다양한 물리적 상태로 존재하게 된다. 따라서 건조기를 도입하여 자갈 표면에 존재하는 수분을 완전 건조시켜 줌으로써 자갈 표면 오염물질의 건조상태를 균일하게 해주어 이 후 건식세척장치를 도입하여 세척을 진행할 때 오염물질의 탈착이 균일하고 용이하게 될 수 있도록 해준다.

### 3.1.4 분진 및 배가스 처리효율

분진 및 배가스 처리효율 실험 결과, Table 4에 나타난 바와 같이 benzene, toluene, xylene 모두 운전 전, 후 기준치를 초과하지 않는 모습을 보였으며, 비산먼지 또한 운전 전, 후 모두 기준치를 초과하지 않는 것으로 나타났다.

**Table 4.** Dust and VOC concentrations before and after running of equipment.

Pollutants	Before operation	After operation	Standard
Benzene (ppm)	0.0013	0.0013	10
Toluene (ppm)	0.1092	0.0037	10
Xylene (ppm)	0.0108	0.0050	1
Total suspended particle (mg/m <sup>3</sup> )	0.2500	0.2000	0.5

## 4. 결 론

본 실험에서는 기존의 회분식 방식이 아닌 연속식 방식의 오염자갈 건식세척장치를 개발하고, 여기에 처리효율을 높일 수 있

도록 선별기와 건조기를 설치한 후 시간당 5ton의 처리속도로 대량의 자갈을 연속식으로 처리하면서 오염자갈의 석유계총탄화수소(TPH)와 산화철 정화성능을 알아보았다. 실험 결과 석유계총탄화수소(TPH)와 산화철 모두 80% 이상 정화할 수 있음을 확인하였다. 건식세척장치의 최적 운전 조건은 체류시간 30분, 압력조건 6bar로 나타났으며 이 조건에서는 90% 이상의 매우 높은 정화효율을 나타냈다. 건식세척장치만 이용하여 세척을 하였을 때도 충분히 높은 효율을 보였으나, 건조기와 선별기를 이용하였을 때에는 정화효율이 95% 이상으로 더 높일 수 있음을 확인할 수 있었으며, 이를 통해 기존의 회분식 처리 방법 대신에 연속식 처리 방법과 선별기술, 건조기술을 추가함으로써 대량의 오염자갈 처리가 가능함을 확인할 수 있었다. 또한, 처리 중 발생하는 분진 및 배가스의 처리 및 사용한 연마재의 지속적 재활용 등을 통하여 환경친화적으로 오염자갈을 처리할 수 있음도 확인할 수 있었다. 향후 경제성 향상을 위한 선별기, 건조기, 건식세척장치의 운전조건 및 운전 순서 등에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

## 후 기

본 연구는 국토교통부 국토교통기술사업화지원사업의 연구비지원(16TBIP-C093846-02)에 의해 수행되었습니다.

## References

- [1] B. Wilkomirski, B. Sudnik-Wojcikowska, H. Galera, M. Wierzbicka, M. Malawska (2011) Railway transportation as a serious source of organic and inorganic pollution, *Water, Air, and Soil Pollution*, 218 (1-4), p. 333-345.
- [2] S.W. Oa, T.G. Lee (2009) Investigation of soil pollution status for railroad depot, *Journal of the Korean Society for Railway*, 12(5), pp. 788-792.
- [3] L. Di Palma, E. Petrucci (2014) Treatment and recovery of contaminated railway ballast, *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences*, 38, pp. 248-255.
- [4] Y. Cho, D. Park, T.-S. Kwon, J.-Y. Lee (2015) Study of the performance of a dry cleaning method for polluted ballast gravel of railroad fields, *Journal of the Korean Society for Railway*, 18(6), pp. 552-557.
- [5] Y. Cho, D. Park, Y. Choi, J.-I. Lim, K.-H. Kim (2005) Remediation of contaminated ballast by blasting technology, *Proceedings of Korean Society for Railway*, Uiwang, Korea, pp. 100-106.
- [6] I.-H. Lee (2010) Improvement of Dry-blasting efficiency for ballast used as aggregate of paved track, *Journal of the Korean Society for Railway*, 13(1), pp. 78-83.
- [7] C.-D. Nam (2004) A study of the technical treatment within an environmental appetency for the ballast water, *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, 28(8), pp. 129-139.
- [8] S.-W. Oa, T.-G. Lee (2009) Investigation of soil pollution status for railroad depot, *Journal of the Korean Society for Railway*, 12(5), pp. 788-792.
- [9] I.-H. Lee (2009) Aggregate criterion for paved track considering recycling of railway ballast, *Journal of the Korean Society for Railway*, 12(4), pp. 481-487.
- [10] Y. Cho, J.-Y. Lee, C.-G. Lee, W.-S. Jung, *et al.* (2009) Study on the pilot-scale remediation system for polluted railroad ballast gravels, *Proceedings of Korean Society for Railway*, Jeju, Korea, pp. 3236-3241.
- [11] I.-W. Lee, J.-I. Lim, S.-G. Lee (2009) The dry cleaning machine to recycling the used ballast as a aggregate of the paved track, *Proceedings of Korean Society for Railway*, Gyeongju, Korea, pp. 1525-1529.
- [12] Y. Cho, J.-Y. Lee, T.-S. Kwon, W.-S. Jung, *et al.* (2012) Field application of dry washing technology for polluted railroad ballast gravel, *Proceedings of Korean Society for Railway*, Gyeongju, Korea, pp. 819-824.
- [13] I.H. Lee, S.I. Kim, Y.J. Kim, T.H. Kim, C.S. Jeong (2015) A Study on the development of waterless gravel cleaning equipment for high-speed train rapid-hardening track, *Proceedings of The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Daejeon, Korea, p. 7.

(Received 24 January 2017; Revised 13 April 2017; Accepted 16 May 2017)



**Taeyang Jeong** : jeong900@oikos.co.kr

OIKOS. Co., Ltd., #1007, 96, Gamasan-ro, Geumcheon-gu, Seoul, 153-775, Korea

**Jae Hun Kim** ; jhkim@oikos.co.kr

OIKOS. Co., Ltd., #1007, 96, Gamasan-ro, Geumcheon-gu, Seoul, 153-775, Korea

**Sang Tak Lee** : stlee0723@oikos.co.kr

OIKOS. Co., Ltd., #1007, 96, Gamasan-ro, Geumcheon-gu, Seoul, 153-775, Korea

**Hyungsoo Joo** : hsjoo1214@oikos.co.kr

OIKOS. Co., Ltd., #1007, 96, Gamasan-ro, Geumcheon-gu, Seoul, 153-775, Korea

**Seung-Taek Oh** : stoh@oikos.co.kr

OIKOS. Co., Ltd., #1007, 96, Gamasan-ro, Geumcheon-gu, Seoul, 153-775, Korea

**Youngmin Cho** : ymcho@krri.re.kr

Korea Railroad Research Institute, 176 Railroad Museum Road, Uiwang, Gyeonggi 16105, Korea

**Duckshin Park** : dspark@krri.re.kr

Korea Railroad Research Institute, 176 Railroad Museum Road, Uiwang, Gyeonggi 16105, Korea