

도상자갈 표면 유류 오염물질의 물리적 제거방안 연구

Physical remediation of ballast gravels contaminated by oil pollutants

조영민* 이재영** 정우성** 박덕신** 강해숙** 김희만*** 임종일****
Cho, Youngmin Lee, Jae-Young Jung, Woo-Sung Park, Duck-Shin Kang, Hae-Sook Kim, Hee-Man Lim, Jong-il

ABSTRACT

The ballast gravels are often contaminated by various pollutants, like diesel fuel, lubricants, and heavy metals. Especially, the gravels near the switching are apt to be polluted by the lubricant. Because this lubricant can pollute the soil of track, the contaminated ballast gravels should be cleaned immediately. In this study, a physical desorption method was used to remove the oil contaminants from the surface of the ballast gravels. Thermosetting resin was used as a media for physical remediation of ballast gravels. The total petroleum hydrocarbon of the gravels was monitored over time. In addition, scanning electron microscopic images were obtained to observe the removal of the oily pollutants from the surface of the gravels.

1. 서 론

1.1 철도토양의 유류오염

철도가 국내에 도입된지 100년이 지난 지금 그동안 토양에 누적된 유류 오염물질의 영향이 최근에도 끊임없이 나타나고 있다. 이에 따라 환경부와 지방자치단체의 철도 토양오염에 대한 규제가 가시화되었고, 이에 막대한 비용을 들여 오염토양의 복원사업이 이루어지고 있다. 특히, 유류 오염의 주된 원인은 지하나 지상에 위치한 유류 저장 탱크 및 기관차 급유지역에서의 유류 유출, 철도차량에서 발생하는 연료, 그리스, 윤활유 등의 누유와 낙유 등으로 매우 다양하다. 철도토양의 유류 오염을 방지하기 위하여, 디젤 기관차의 낙유 개소 정비, 철도차량 정치장에 대한 롤패드, FRP, 철판 등의 설치, 철도차량 입·출고선의 콘크리트 포장 등을 시행하고 있으나, 이미 오염된 오염토양에 대해서는 막대한 비용이 소요되는 오염토양 복원사업 이외에는 현재 마땅한 처리 방안이 없는 실정이다. 특히, 철도 작업장 및 오염 유발시설물은 밀집해 있지 않고 넓은 지역에 분포되어 있으며, 철도부지의 토양 오염에 대한 기초 자료가 부족하고, 오염도의 파악과 오염원의 관리 및 제어에 많은 어려움이 있기 때문에 철도의 토양오염 문제를 해결하는 데에는 앞으로도 많은 시간과 비용이 소요될 것으로 보인다.

1.2 도상자갈의 유류 오염

현재 많은 국내·외 철도 선로에 도상자갈이 사용되고 있는데, 도상자갈은 선로의 가장 윗부분에 부설되기 때문에 가장 쉽게 오염이 이루어진다. 특히, 분기기의 경우에는 상당량의 윤활유가 도유

* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정희원

** 한국철도기술연구원

*** 에이비엔씨 코리아(주)

**** 코레일 환경팀장, 정희원

되어 자갈오염을 가중시킨다. 이러한 자갈 표면의 오염물질은 중력 및 우수 등에 의하여 지속적으로 선로 하단부로 이동하여 노반 및 노반 하부의 토양을 오염시킨다. 이 토양 주위를 흐르는 지하수가 오염되면, 주변 토양도 오염되어 점차 오염지역이 확대된다.

현재 오염된 철도자갈의 교체작업 중에 수거된 오염자갈은 매립 형태로 폐기되고 있다. 이 때 수거된 철도자갈은 대부분 표면이 심하게 오염되어 있기 때문에 지정폐기물로 지정되어 매립되고 있는데, 이러한 오염물질은 침출수, 매립가스, 악취 등의 형태로 계속해서 장기적으로 환경에 악영향을 미치게 되므로 매립보다는 오염물질의 분리 및 처리가 필요하다. 점차 매립장 부족 현상이 심화되고 있으며, 이에 따라 매립비용 단가도 지속적으로 상승하고 있기 때문에 매립이 아닌 다른 처리 방법의 필요성이 점차 부각되고 있다. 아울러 도상자갈의 교체를 위해서는 신자갈이 필요한데, 신자갈의 확보를 위해서 산림 및 생태계 파괴가 계속되고 있다. 그러나, 정부의 산림 파괴 관련 규제 강화와 환경단체 및 국민들의 생태계 파괴에 대한 반대 여론 등으로 인하여 신자갈의 공급 또한 점차 어려워지고 있기 때문에, 도상자갈의 재활용 연구가 크게 부각되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 오염된 철도 도상자갈로 인해 선로 주변의 토양이 심각하게 오염되는 것을 방지하기 위하여 오염된 도상자갈을 현장에서 정화하는 시스템을 개발하고자 하였다. 오염된 도상자갈을 주기적으로 정화하면 노반 및 주변 토양의 오염을 최소화할 수 있어 오염토양 복원에 소요되는 비용을 대폭 절감할 수 있다. 본 사업에서는 선로의 가장 상단부에 부설되는 통상 갯 자갈로 불리는 도상자갈 표면의 유류, 중금속 및 기타 유기오염물질을 표면처리기술 중의 하나인 블라스팅 기술을 이용해서 물리적으로 제거하는 기술을 개발하고자 한다.

1.3 플라스틱 미디어를 이용한 물리적 유류 오염물질 제거

철도용 도상자갈은 오염물질이 대부분이 표면에 존재하기 때문에 표면의 오염물질만 제거해주면 다시 재활용이 가능하다. 따라서, 철도자갈 표면의 오염물질을 물리적으로 제거한 후에 다시 부설하고, 분리된 오염물질을 모아서 따로 처리하면 처리시간과 비용을 대폭 절감할 수 있을 뿐만 아니라 토양오염의 확산을 어느 정도 방지할 수 있다. 본 연구에서는 블라스팅 기술을 이용하여 오염된 자갈의 표면에 미디어를 분사하여 오염물질을 제거하는 연구를 수행하였다. Blasting 기술은 단시간에 많은 양의 오염된 철도자갈을 처리할 수 있기 때문에 대량의 자갈이 광범위한 지역에 부설된 철도현장에 적합하다. 지금까지는 도상자갈의 가격이 매우 저렴하고, 매립이 비교적 용이하여 경제성이 적었으나, 점차 도상자갈의 채취가 어려워지고, 토양오염에 대한 규제가 확대되며, 지정폐기물인 오염자갈의 매립비용이 증가하는 것을 감안할 때 충분한 경제성을 가질 것으로 보인다. 이에 본 연구에서는 오염된 철도자갈에 대하여 blasting을 이용하여 그 정화성능을 시험하여 blasting의 정화능력 및 경제성에 관한 기초 자료를 얻고자 하였다.

2. 실험

2.1 실험 장치 구성

본 실험의 장치는 다음 그림과 같이 간단한 구조로 구성하였으며, 압축공기를 이용하여 미디어를 분사기 노즐을 통하여 오염된 철도자갈에 분사하도록 되어 있다. 이 때 분사 방법에 따라 흡입식 시스템(Suction air blast system)과 직압식 시스템(Direct pressure blast system)으로 나눌 수 있는데, 본 실험에서는 직압식 시스템과 흡입식 시스템을 모두 시험하여 유류 오염자갈의 정화성능을 비교하여 보았다.

흡입식 시스템은 고압의 압축공기가 브라스트 노즐을 통과하여 분출될 때 내부에 발생하는 부압에 의해 미디어를 흡입하여 압축공기와 함께 분사시키는 시스템으로 분사거리는 최대 20~40cm 정도로 비교적 짧으나, 미디어를 재사용할 수 있으므로 연속작업이 가능하며 필요에 따

라 여러 개의 분사기를 연결할 수 있으므로, 자동화가 용이하다. 흡입식 시스템을 이용한 실험에서는 한 번에 100여개의 오염된 자갈을 넣어준 후 처리시간의 경과에 따라 처리된 오염자갈 시료를 채취하여 정화성능을 알아보았다.

직압식 시스템은 탱크 내부압력이 일정기압으로 유지된 상태로 미디어를 압축공기를 이용하여 직접 분출시키는 방식으로 분사거리는 최대 1.8m이고, 분사속도는 약 250fps였다. 직압식 시스템에서는 한 번의 실험에 3~4개 가량의 오염된 자갈에 대하여 직접 미디어를 분사하는 방법으로 실험을 수행하였다.

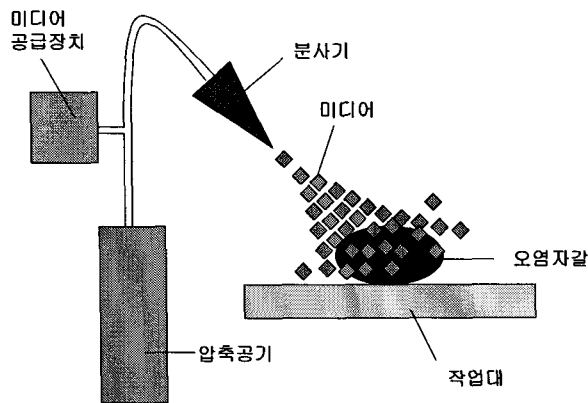


그림 1. 실험장치의 모식도

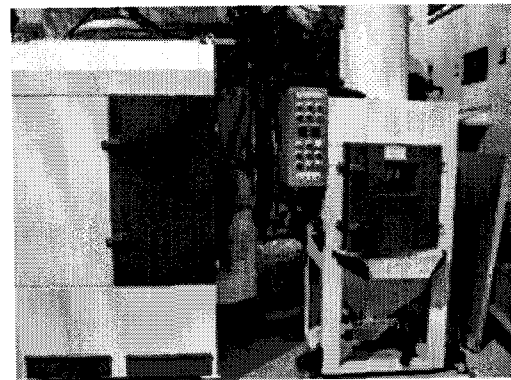


그림 2. 실험장치의 사진

2.2 실험 및 분석

미디어는 30~40 mesh의 열경화성 수지인 멜라민 수지와 우레아 수지, 그리고 드라이아이스를 사용하였으며, 자갈의 종류에 따라 수 분 간 미디어를 오염자갈의 표면에 분사하면서 시간의 변화에 따른 정화 성능을 실험하였다. 정화처리된 유류오염자갈은 GC/FID (Gas chromatography with a flame ionization detector)를 이용하여 총석유계탄화수소 (TPH; Total Petroleum Hydrocarbon)을 분석함으로써 정화정도를 분석하였다.

3. 결과

3.1 직압식 시스템을 이용한 정화

유류로 오염된 자갈에 대하여 초기 TPH 농도가 높은 경우와 낮은 경우에 대하여 직압식 시스템을 이용하여 처리시간을 다양하게 변화시켜 가면서 정화 효율을 살펴보았다. 오염도가 낮은 자갈의 경우에는 3분 후에 약 87% 가량 정화가 되는 것을 볼 수 있었으며, 오염도가 높은 자갈의 경우에는 3분 후에 약 93% 가량 정화가 되는 것을 볼 수 있었다.

표 1. 유류오염자갈의 처리시간의 변화에 따른 TPH 변화 (직압식 시스템)

시간(분)	TPH 농도(mg/kg)	
	오염도 낮음	오염도 높음
0	108	532
0.5	87	288
1	69	101
2	23	75
3	14	36

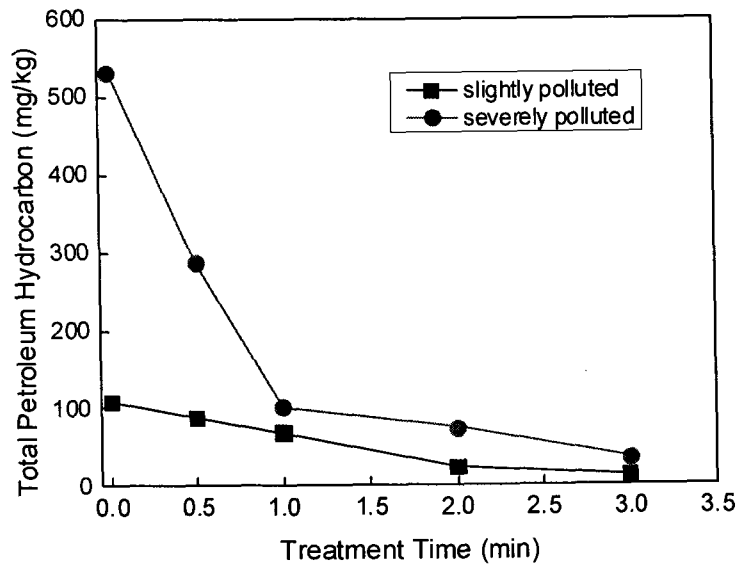


그림 3. 처리 시간에 따른 TPH 값 변화 (직압식 시스템)

오염도가 낮은 경우와 높은 경우 모두 초기의 TPH 감소속도가 빨랐으며, 시간이 지남에 따라 감소속도가 감소하는 것을 볼 수 있었다. 이는 자갈 표면에 다중막을 형성하는 유류의 경우는 미디어에 쉽게 흡착함으로써 쉽게 자갈에서 탈착이 이루어지나 자갈 표면에 직접 흡착된 유류는 처리에 더 많은 시간이 소요됨을 알 수 있다.

3.2 흡입식 시스템을 이용한 정화

흡입식 시스템을 이용하여 초기오염 농도가 매우 높은 자갈에 대하여 시간에 따른 처리효율을 살펴보고, 다음 표에 나타내었다. 흡입식의 경우에는 직압식에 비하여 분사기의 개수가 증가하기 때문에 압력이 더 낮음에도 불구하고, 처리효율은 유사하게 나타났다. 다만, 직압식 시스템에 비하여 초기 TPH 농도가 훨씬 높은 고농도의 오염된 도상자갈을 사용하였기에 그 효율을 직접 비교하기에는 무리가 있었다. 그러나, 본 실험 결과 일반적인 토양의 유류오염기준인 2000 mg/kg 을 넘는 도상자갈이 30초만에 기준 이하로 오염도가 낮아졌으며, 처리 3분 만에 약 43% 정도의 처리 효율을 나타냈으며, 10분 후에는 68.6% 가량의 처리 효율을 나타냈다.

표 2. 유류오염자갈의 처리시간의 변화에 따른 TPH 변화 (흡입식 시스템)

시간(분)	TPH 농도(mg/kg)
0	2737
0.5	1805
3	1559
10	860

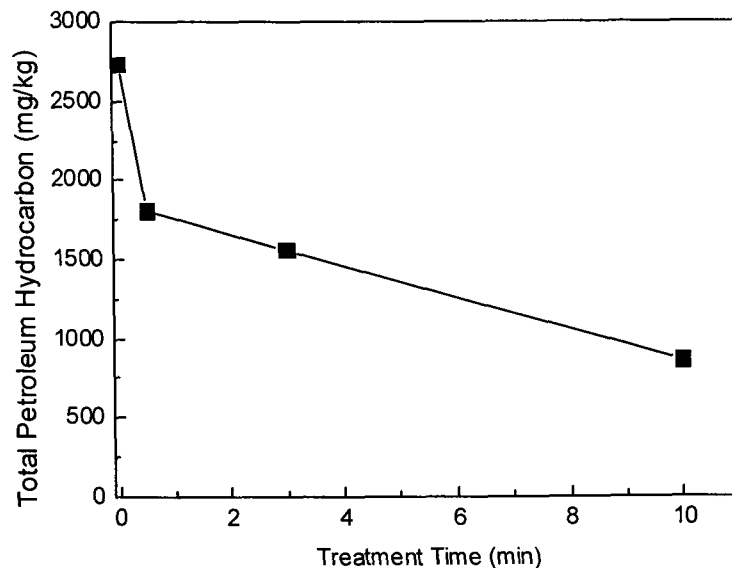


그림 4. 처리 시간에 따른 TPH 값 변화 (흡입식 시스템)

3.3 드라이아이스를 이용한 정화

직압식 처리장치에 플라스틱 미디어 대신에 고체화된 이산화탄소인 드라이아이스를 분사하여 정화정도를 시험하였다. 드라이아이스는 다른 플라스틱 미디어와 달리 처리 후에 기체인 이산화탄소로 날아가기 때문에 처리한 미디어와 유류오염물질의 분리가 용이하다는 장점이 있다. 초기농도가 4,504 mg/kg으로 오염도가 매우 심한 오염자갈에 대하여 실험을 수행하였다. 초기 30초 동안 TPH가 급격히 감소한 이후에는 완만하게 감소하는 것을 볼 수 있었다. 30초부터 10분까지는 농도가 거의 일정하게 감소하여 처리 속도가 거의 같음을 알 수 있었다. 처리 시작 3분 후에 약 71%의 오염물질이 처리되었으며, 10분 후에는 87%의 높은 처리효율을 나타냈다. 본 기술의 실용화를 위해서는 향후 처리시간을 더 증가시키면서 어느 정도까지 저감할 수 있는지, 또한 드라이아이스가 플라스틱 미디어에 비하여 가격이 비싼 점을 고려한 처리비용 대비 효율 비교 등의 경제성 연구 등을 수행할 필요가 있다. 아울러 본 연구에서 사용되는 드라이아이스는 화학공정에서 부산물로 생성되는 물질이 사용되지만, 드라이아이스가 기화된 형태인 이산화탄소가 본질적으로 대표적인 온실가스인데, 실제로 본 기술을 실용화할 때에 지구 온난화에 대한 영향도 함께 연구되어야 할 것이다.

표 3. 유류오염자갈의 처리시간의 변화에 따른 TPH 변화 (드라이아이스 시스템)

시간(분)	TPH 농도(mg/kg)
0	4504
0.5	2737
1	1537
2	1373
3	1286
5	1012
10	551

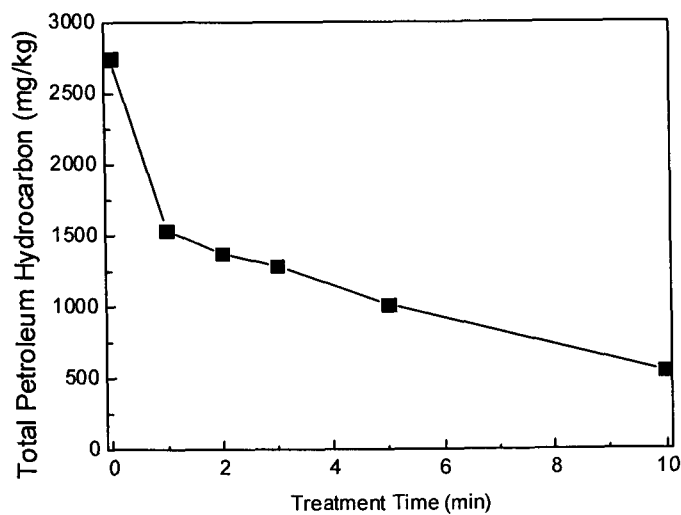


그림 5. 처리 시간에 따른 TPH 값 변화 (드라이아이스 시스템)

4. 결론

본 연구에서는 유류로 오염된 철도자갈에 대하여 직압식 시스템과 흡입식 시스템 및 드라이아이스를 미디어로 사용하는 시스템 등 세 가지 시스템을 적용하여 보았다. 오염물질의 초기 농도가 달라 세 방법의 결과를 직접적으로 비교하기에는 무리가 있었으나, 세 방법 모두 유류로 오염된 도상자갈의 정화에 어느 정도 효과가 있는 것을 확인할 수 있었다. 향후 시간에 따른 처리량, 사용된 미디어의 양에 따른 처리량, 그 외 유류가 아닌 중금속 및 기타 입자상 물질로 오염된 자갈의 정화효율 비교, 각 방법의 처리효율 대비 경제성 비교 등의 연구를 수행함으로써 본 기술의 실용화 연구를 추가적으로 수행하고자 한다.

참고문헌

1. 정우성, 김용기, 권성태, 조준호, 박덕신, 이덕희(1999), "철도 토양환경 개선에 관한 연구", 한국철도기술연구원.
2. 정우성, 김용기, 박준서, 박덕신, 이덕희, 이철규(2002), "철도 오염자갈의 복원방안에 관한 기초연구", 한국철도기술연구원.