

선로분기기 주변 철도토양의 동전기-펜톤 공정 정화에 따른 전해질 농도의 영향

Effect on electrolyte concentration during the ElectroKinetic-Fenton Process for contaminated soil around railroad turnout

강해숙*, 정우성†, 윤성택**, 권태순***, 이철규****, 김희만*****

Hae-Suk, Kang, Woo-Sung, Jung, Yun, Sung-Taek, Kwon, Tae-Soon, Lee, Cheul-Kyu and Kim, Hee-Man

ABSTRACT

Generally, railroad soil around turnout was caused by leakage of lubricant oils during its maintenance. So, TPH concentration in soil was much higher than standard in Soil Environment Law. In addition, railroad site was still difficult to assess due to railcar operation.

This research was conducted to investigate the effect on electrolyte concentration during the Electrokinetic-Fenton process for contaminated soil around railroad turnout. As a result, experimental result shows that TPH removal in soil and amount of EOF were changed depending on electrolyte concentration. In future, the removal efficiency can be enhanced to optimize concentration in EK-Fenton Process.

1. 서론

선로분기기 주변 토양은 시설물의 지속적인 유지보수 작업으로 인해 토양이 오염되며, 이는 현행 철도용지(나 지역)에 대한 토양오염우려 기준보다 오염물질의 농도가 훨씬 높게 나타나기 때문에 문제가 되고 있다. 그러나 선로분기기의 경우, 기관차 운행에 따른 접근성이 제한되므로, 부지 내 오염토양을 정화하기가 쉽지 않다.

철도 토양의 주된 오염원인 유류는 대부분 용해도가 낮고, 토양에 강한 흡착력을 보이기 때문에 일반적으로 동전기 공법만으로 처리하기가 어렵다. 그러나 펜톤 산화 공정의 경우 토양 내 Fe의 산화작용($H_2O_2 + Fe^{2+} \rightarrow OH \cdot + OH^- + Fe^{3+}$)을 통해 발생된 $OH \cdot$ 라디칼에 의해 다양한 유기오염물질을 산화시켜 제거하는 능력을 가지고 있다.

따라서, 본 연구에서는 선로분기기 주변 오염토양을 복원하기 위해 과산화수소를 이용한 동전기-펜톤 공정을 적용하여 전해질 농도에 따른 영향을 살펴보았다. 또한 일정한 전압 아래에서 오염물질의 제거에 대한 전해질의 pH, EOF(electroosmotic flow)의 pH와 양, 전류(current)에 따른 효과를 알아보기 위해 조사해보았다.

† 책임저자 : 정희원, 한국철도기술연구원, 철도환경연구실, 실장

E-mail : wsjung@krri.re.kr

TEL : (031) 460-5362 FAX : (031) 460-5279

* 비회원, 한국철도기술연구원, 철도환경연구실, 연구원

** 비회원, 고려대학교, 지구환경과학과, 교수

*** 정희원, 한국철도기술연구원, 시험인증팀, 선임 연구원

**** 정희원, 한국철도기술연구원, 철도환경연구실, 선임 연구원

***** 정희원, 한국철도공사 부산지사, 안전환경팀, 팀장

2. 실험 재료 및 방법

실험은 A 지역에서 채취한 선로분기기 주변 토양을 대상으로 하였으며, 그림 1과 같이 3개의 EK 반응기(4×4×18)에 전극을 설치하여 전해질인 NaCl의 농도에 따른 TPH 제거 효율 테스트를 해보았다.



그림 2 EK 반응기 설치 모습

반응기 내 토양은 선로분기기 주변 토양으로 약 220g와 증류수 60mL를 혼합하여 채웠으며, 전해질은 NaCl로 0.05M(R1), 0.1M(R2), 0.2M(R3)의 농도를 사용하였다. 또한 과산화수소(H₂O₂)의 농도는 0.1%(v/v)을 사용하였다. 각각의 반응기에는 10V의 전압으로 동일하게 걸어주었으며, 전류의 변화량을 매일 측정하였다.

실험 기간은 약 25일 동안 수행하였으며, 매일 일정 전압 아래, 반응기내로 흐르는 전해질의 pH, EOF의 pH와 축적되는 양을 측정하였다.

실험 종료 후에는 반응기 내 토양을 반응기의 전극으로부터 2cm간격으로 5등분한 뒤, 106°C의 오븐에서 24시간 동안 건조 시킨 후, 토양공정시험법에 따라 TPH를 추출한 후, GC/FID(Varian, USA)를 사용하여 토양 내 잔류 TPH 농도를 분석하였다.

3. 결과 및 토의

아래 그림 2와 같이 전해질 농도별 pH 변화는 시간이 증가할수록 대부분 pH가 감소되면서 산성화되었고, 전해질 농도에 따라서는 크게 차이가 없었다. 그러나, EOF의 pH는 0.2M의 전해질 농도에서는 pH가 감소하는 경향을 보였으나, 다른 0.05M과 0.1M의 전해질 농도에서는 초반에 약간 감소하다가 증가하는 경향을 보였다. 이는 반응기 내 전기 이동으로 인해 토양 내 이온들이 (+)전극으로 이동했기 때문에 pH가 증가하는 것을 볼 수 있다.

전류의 경우 전해질농도가 높을수록 전류가 높게 나타났으나, 대부분이 10V 전압에서 1.0~1.5mA 정도로 전류가 매우 낮게 발생되었다. 그러나 실험 10~12일경에 갑작스런 전류 감소가 나타났는데, 이는 전해질 용액의 교체로 인한 것으로 보인다.

EOF의 양에서도 시간이 증가할수록 0.2M의 전해질 농도만 제외하고, 나머지 전해질 농도에서는 계속 EOF의 양이 증가하는 것을 알 수 있었다.

실험 종료 후 동전기-웬톤 산화 공정으로 인한 TPH 제거 효율을 알아보기 위해서, 반응기내 토양을 5cm 간격으로 5등분 내어 토양 내 잔류 TPH 분석을 해 본 결과, 잔류 TPH 평균 농도의 결과는 아래 표 2와 같고, 일부 샘플 지점은 오히려 잔류 TPH 농도가 증가하였으며, 전반적으로 TPH 제거효율이 높게 나타나지 않았다. 이는 EOF가 이동되면서 토양내에서 계속 이동되지 못하고 특정지점에 축적되어 오염물질의 농도를 증가시킨 것으로 판단된다. 특히 0.2M의 전해질 농도에서는 거의 TPH가 제거 되지

않음 나타냈다. 따라서 전해질 농도가 증가할수록 EOF가 토양 내 TPH 제거효율에 크게 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

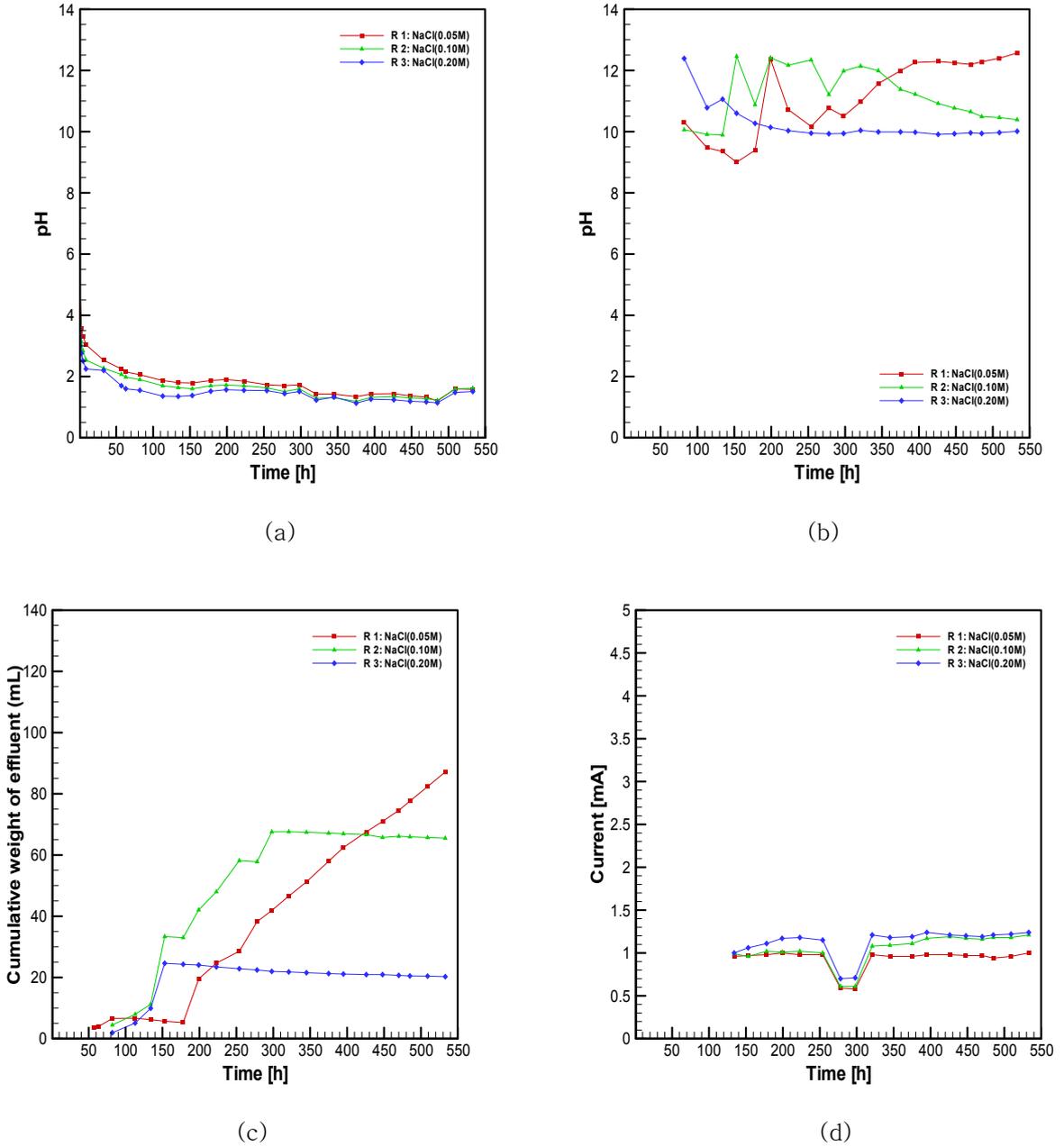


그림 2. 시간에 따른 전해질의 농도별 pH, EOF pH, Current의 변화 모습: a) 전해질 pH, b) EOF pH, c) EOF의 양, d) Current

표 1. 실험 종료 후 반응기 내 토양의 샘플링 지점별 수분 함량

	1R-1	1R-2	1R-3	1R-4	1R-5	2R-1	2R-2	2R-3	2R-4	2R-5	3R-1	3R-2	3R-3	3R-4	3R-5
수분 함량 (%)	24.7	6.63	22.58	22.13	22.07	20.98	19.72	20.46	20.68	21.62	25.22	23.13	23.3	24.38	27.33

표 2. 전해질 농도에 따른 반응기 토양의 샘플링 지점별 TPH 농도

	토양 내 잔류 TPH 평균 농도(mg/kg)	TPH 제거효율(%)
1R-1	19552.19	25.08
1R-2	29941.25	-14.73
1R-3	18628.37	28.62
1R-4	27175.07	-4.13
1R-5	21606.45	17.21
2R-1	28434.46	-8.96
2R-2	34823.79	-33.44
2R-3	21931.22	22.87
2R-4	25524.75	2.19
2R-5	32652.63	-25.12
3R-1	29293.95	-12.25
3R-2	30537.06	-17.02
3R-3	28274.23	-8.34
3R-4	30160.8	-15.57
3R-5	27110.01	-3.88
Initial	26096.62	

4. 결론

본 연구에서는 선로 분기기 주변 오염토양을 정화하기 위해 동전기-펜톤 공정을 사용하여 전해질의 농도에 따른 토양 내 TPH 제거 효율성에 대해 알아보았다.

전해질의 pH는 펜톤 산화로 인해 지속적으로 감소하는 경향을 나타냈으며, 반대로 EOF의 pH는 대부분이 pH가 증가하였다. 그러나 전류의 경우, 10V의 전압에서 1.0-1.5mA로 매우 낮게 발생되었으며, 오염물질 제거에 영향을 미치지 못함을 알 수 있었다. 또한 전해질 농도가 높을수록 EOF 양이 증가하지 않았으며, 전해질 농도에 따른 TPH 제거 효율 역시 증가하지 않고, 오히려 TPH 농도가 증가함을 보이기도 했다. 이는 EOF가 토양 내에 원활하게 이동하지 못하고 오히려 토양 내 축적됨으로써 오염물질의 농도를 가중시킴을 알 수 있었다. 결과적으로 전해질 농도에 따라 토양 내 TPH 제거 특성 및 EOF의 양은 다르게 나타났으며, 향후 추가적인 실험인자를 보완하여 토양 내 TPH 제거 효율을 높이기 위해서 추후 실험을 더 수행할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 한국철도기술연구원, 철도오염토양 복원공정 개발을 위한 기초연구 최종보고서, 2006
2. 한국철도기술연구원, 철도 선로분기기 하부 토양 정화방법 연구, 2007
3. 이재영 외, 철도토양의 오염원인 및 정화에 관한 기초 연구, 한국지하수토양환경학회, 2007
4. 한국철도기술연구원, 복합오염 철도토양 정화공법 개발 1차년도 최종보고서, 2007
5. 한국철도기술연구원, 복합오염 철도토양 정화공법 개발 2차년도 최종보고서, 2008
6. 한국철도기술연구원, 철도 환경성 개선 및 평가 시스템 개발 1차년도 최종 보고서, 2009