

Lysimeter를 이용한 인산석고 침출수 발생특성

저심심 · 박수호* · 김성욱* · 강검** · 이우범*,†

코오롱글로벌(주) 상해대표처 화학팀 · *전남대학교 환경시스템공학과

**코오롱(중국)투자유한회사 인사기획팀

(2016년 11월 8일 접수, 2016년 11월 24일 수정, 2016년 11월 28일 채택)

Characteristics of Leachate for Phosphogypsum in a Lysimeter Experiment

Qin-Qin Chu · Soo-Ho Park* · Sung-Ug Kim* · Jian Jiang** · Woo-Bum Lee*,†

Chemical Team, Shanghai Office, Kolon Global Corp.

**Department of Environmental System Engineering, Chonnam National University*

***Planning&HR team, Kolon China Investment Co., Ltd.*

(Received 8, November 2016, Revised 24, November 2016, Accepted 28, November 2016)

Abstract

The purpose of this study is to investigate the characteristics of leachate generation for phosphogypsum recycling. Lysimeter was prepared and the timing, quantity and quality of leachate were analyzed according to the mixing ratio of soil and phosphogypsum. As a result, the leachate was expected to occur about 162 days later. The leachate was discharged at the latest because the water storage capacity of general soil was larger than that of phosphogypsum. Due to the pH buffering ability of soil, the pH was lower as the mixing ratio of phosphogypsum increased. Leachate water quality decreased exponentially with time. Therefore, it was concluded that the phosphogypsum can be recycled if it is properly mixed with the soil.

Keywords : Phosphogypsum, Lysimeter, Leachate, Water quality variation, Permeability coefficient

1. 서 론

인산석고(phosphogypsum)는 인산비료 생산과정에서 발생하는 산업부산물로서 주요성분은 대부분 이수석고(dihydrate, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)이고 인(P_2O_5), 불소(F), 유기물질 등을 포함하고 있다. 인산석고는 인광석($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$)에 물(H_2O)과 황산(H_2SO_4)을 첨가·반응시켜

형성된 결정체이며, 이와 같은 과정에서 형성된 석고는 분리·여과과정에서 과산화일인산(H_3PO_4)을 분리시킨 후, 슬러리 상태로 석고 매립장으로 이송된다¹⁻³⁾. 석고 매립장으로 이송된 슬러리 상태의 인산석고는 침전되고, 이때 발생된 침출수는 다시 회수하여 사용하게 된다. 이와 같은 과정을 통하여 발생하는 인산석고는 인광석 1톤에 대하여 석고 부산물

†Corresponding author E-mail: woolee@jnu.ac.kr

이 약 4.5~5.5톤 발생된다⁴⁾.

전 세계적으로 인산석고는 15,000만톤/년 정도 발생되며, 특히 미국은 플로리다 등에서 약 7,000만톤 정도 발생하여 세계 발생량의 약 50%정도를 차지하며, 인도는 4,000~5,000만톤/년, 일본은 275만톤/년, 남아프리카는 36~48만톤/년이 발생되고 있다⁵⁻⁷⁾.

국내에서는 탈황석고, 인산석고, 티탄석고 등을 포함한 부산석고의 발생량은 약 331만톤/년이며, 이중 인산비료 생산과정에서 발생하는 인산석고의 양은 약 157만톤/년 이상 발생되고 있다. 현재, 국내의 인산석고 재활용은 약 90만톤/년으로 인산석고 전체 발생량의 약 58% 정도를 활용하고 있다¹⁾.

인산석고에 대한 국내외 연구는 다양한 분야에서 이루어지고 있으나, 국내의 인산석고 활용연구는 석고보드, 시멘트 첨가제, 식물성장 촉진제 등 한정된 분야에서 연구를 수행하고 있는 실정이며, 대부분은 석고적치장에 야적되고 있다^{4,8)}.

인산석고의 재활용을 위하여 법적으로 성토재로서의 활용이 가능하나, 성토재로의 활용부지 선정, 환경문제 등 많은 제약이 따르고 있어 재활용이 활발히 이루어지기 어려운 실정이며, 석고장 주변 침출수 누출로 인한 인근해역이 오염 가능성 등 다양한 2차적인 환경문제 발생가능성이 존재하므로, 하루빨리 인산석고에 대한 대책이 필요한 실정이다⁸⁾.

그러나, 인산석고를 성토재로서 활용시 침출수의 발생량과 수질특성은 인산석고에 함유되어 있는 유기물질의 양, 기간 및 수분함량과 수분저장능력 등에 따라 매우 상이하기 때문에 그 값을 추정 및 예측하기가 용이하지 않아 침출수의 처리공정의 산정과 설계를 위해서는 침출수의 발생량과 수질에 대한 정확한 자료가 필요하다.

따라서, 본 연구의 목적은 인산석고의 재활용을 위하여 인산석고와 일반토양의 혼합율에 따른 Lysimeter 실험을 통해 침출수의

발생시기 및 양을 예측하고 침출수에 함유되어 있는 각종 성분을 분석하여, 인산석고 침출수의 발생특성을 파악하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 대상시료

인산석고(PG)는 비료생산과정에서 발생한 산업부산물로, 일정한 공정을 거쳐 슬러리 상태로 석고 매립장에 모아지게 된다. 슬러리 상태로 석고 매립장으로 투여된 석고 슬러리는 자연적으로 침출수가 빠져나가 석고만이 쌓이게 된다. 본 연구에서 사용된 인산석고는 매립장에 야적되어 있는 석고를 사용하였으며, 일반토양(Soil)은 전라남도 남해지역의 화강토를 사용하였다. 시료는 일반토양 100%, 일반토양 70%+인산석고 30%, 일반토양 50%+인산석고 50%를 혼합하여 제조하였다.

2.2. 실험방법

본 실험에 사용한 Lysimeter의 단면도를 Fig. 1에 나타냈으며 아크릴로 제작하였다. 시료의 지지를 위하여 밑면에 자갈층을 10 cm, 모래 15 cm로 하고 시료를 충전시켰으며, 분사장치를 설치하여 물을 주입시켜 주었고, 일평균 1.24 L를 주입하였다.

Lysimeter 시험에서 1주 동안 발생한 침출수를 채취하여 pH, TSS, CODcr, T-N, T-P를 수질오염공정시험법에 의해 분석하였다⁹⁾.

3. 결과 및 고찰

3.1. 침출수 발생시기 예측

Lysimeter 실험으로부터 물의 주입량은 여수시 연간 평균 강수량인 1,600 mm/year로 가정한 후, 증발산량을 Thornwaite¹⁰⁾식으로 구하여 580 mm/year로 산정하였으며, 표면 유출을 15%로 가정하여 연간 침투량을 실험

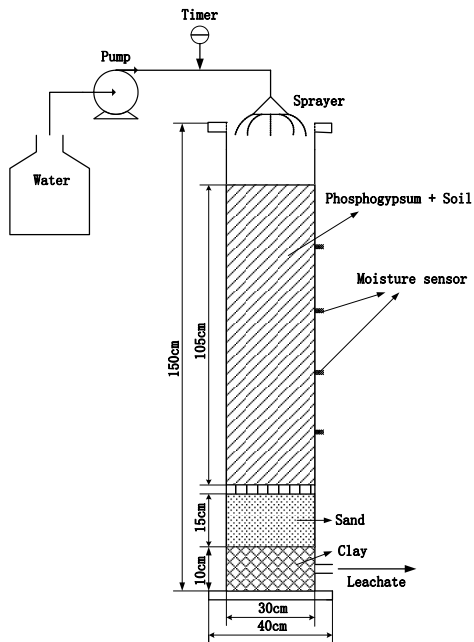


Fig. 1. Schematic diagram of lysimeter.

에 적용하였다.

실험결과 침출수는 상부에 처음으로 물을 주입한 날로부터 21일 후에 발생하였으며, Lysimeter 실험에서 강우량만 고려하고 주입 수량을 연평균 강우량의 4배로 주입하여 실험한 결과를 기초로 하여 현장 적용시 침출수 발생시기 R을 아래와 같이 계산하였으며, 그 결과, 162 day로 산정되었다.

3.2. 투수특성

대상 시료에 대한 투수계수를 산정한 결과, 투수계수는 $1.437 \times 10^{-6} \sim 5.810 \times 10^{-6}$ cm/sec로 나타났다. 현행 복토재 등 재활용을 위한 투수계수의 기준은 없으나 폐기물관리법에서는 투수계수가 낮은 양질의 토사를 활용하도록 되어 있으며, 일반적으로 토사의 투수계수 범위는 $1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-7}$ cm/sec의 범위이다. 따라서, 본 실험결과 일반토사의 투수계수 범위 내에 있어 복토재 등으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

3.3. 주입수량과 침출수 발생량의 관계

Fig. 2에 일반토양, 인산석고 30% 및 인산석고 50%에 대한 주입수량과 침출수량 관계를 나타내었으며, 실험 시작 후 20일이 지난 후 lysimeter에서 침출수가 발생하기 시작하였다. 일반토양의 경우 수분저장능력 비교적 높아 침출수가 가장 늦게 발생하였으며, 인산석고 30% 및 50% 경우 거의 비슷하게 발생하였다. 따라서, 침출수의 발생량은 수분저장능력에 많은 영향이 있는 것으로 판단된다.

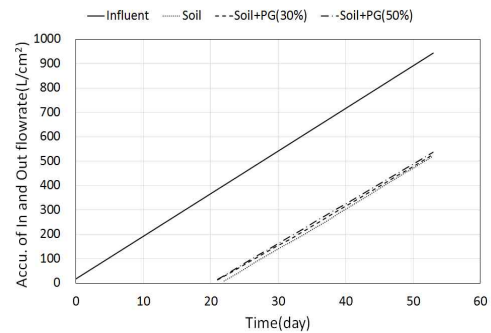


Fig. 2. Relationship between influent and leachate.

3.4. 침출수 수질변화

Single reactor 모델의 기본 가정은 시료가 field capacity에 도달되어야 침출수가 발생한다는 점과, field capacity에 도달되는 동안 오염물질이 생성되며, 생성되는 오염물질은 침출수로 전환되어 유입수의 확산과 희석이 이루어진다는 점이다.

따라서 Lysimeter로부터 발생하는 침출수의 초기농도는 매우 높은 값을 지니고 있고, 유입수의 의한 확산과 희석이 오염물질의 발생율과 평형을 이루는 steady state에 도달될 때까지 계속된다.

Fig. 3은 침출수가 발생한 후부터 측정한 pH 결과이다. 시간이 지남에 따라 모두 pH가 증가하고 있는 것으로 나타났으며, 일반토양의 pH가 높게 나타났고, 인산석고의 혼합비

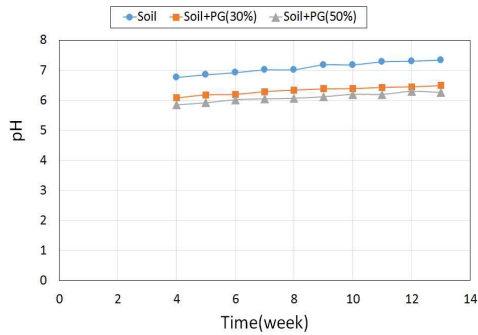


Fig. 3. Variation of pH in leachate.

율이 높을수록 pH가 낮게 나타났다. 이는 일반토양이 인산석고보다 pH 완충능력이 크기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 4~Fig. 7은 시간에 따라 침출수의 TSS, CODcr, T-N, T-P의 변화를 나타내고 있다. 침출수의 각 농도는 시간에 따라 지수 함수적으로 감소하고 있음을 알 수 있다. 또한, 각 항목별로 차이는 있으나, 약 12주 이후부

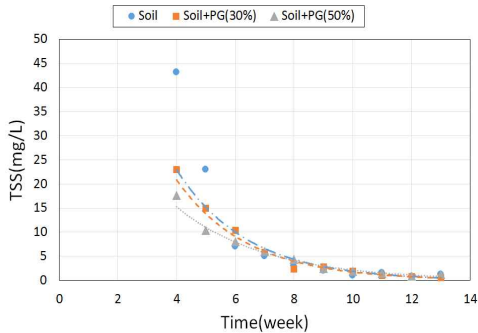


Fig. 4. Variation of TSS in leachate.

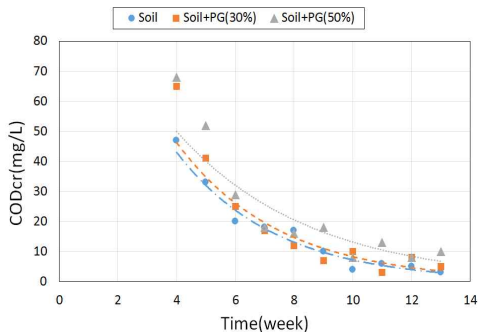


Fig. 5. Variation of CODcr in leachate.

터 수질이 안정되는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구의 목적은 인산석고의 재활용을 위하여 인산석고와 일반토양의 혼합물에 따른 침출수 발생특성을 파악하고자 하였다. 침출수 발생시기는 약 162일로 나타났으며, 일반토양의 수분저장능력이 인산석고에 비해 커서 가장 늦게 침출수가 배출되었다. 인산석고 혼합토의 pH가 5.8~6.7로 일반토양보다 낮게 나타났으며, 이는 일반토양의 pH 완충능력과 중화능력 때문인 것으로 판단된다. 침출수의 TSS, CODcr, T-N, T-P는 시간에 따라 모두 지수적으로 감소하였으며, 이는 유입수의 의한 확산과 희석이 이루어진 것으로 판단된다. 따라서, 인산석고를 일반토양과 적절히 혼합하여 재활용할 경우 수질문제는 발생하지 않을 것으로 판단된다.

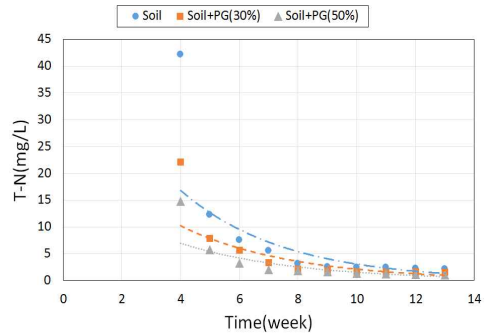


Fig. 6. Variation of T-N in leachate.

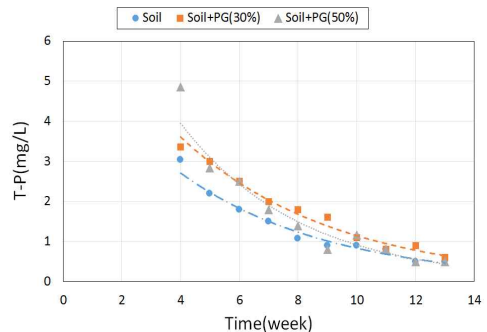


Fig. 7. Variation of T-P in leachate.

사 사

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업단지공단
의 생태산업단지구축사업의 일환으로 수
행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

1. 이용수, 정형식, 정하익(2001), 성토재료로
서 인산석고의 공학적·환경적 특성, 한국지
반공학회논문집, 17(4), pp. 331-339.
2. 서동은, 김영상, 이우범, 김원봉, 유봉선
(2008), 인산석고와 폐 EPS Beads를 혼합한
경량토의 공학적 특성, 한국지반공학회 추
계학술대회, pp. 492-497.
3. 이용수, 정형식(2002), 일일 및 중간복토재
로서 인산석고 재활용을 위한 실험 연구,
한국지반공학회논문집, 18(1), pp. 133-140.
4. 이용수, 김정호, 정형식(2003), 인산석고 혼
합토의 환경적 영향에 관한 연구, 한국폐기
물자원순환학회지, 20(5), pp. 547-552.
5. El-Shall, H., Abdel-All, E. A. and Moudgil,
B. M.(2000), Effect of surfactants on
phosphogypsum crystallization and filtration
during wet-process phosphoric acid production,
Sep. Sci. Technol., 35, pp. 395-410.
6. Garg, M., Singh, M. and Kumar, R.(1996),
Some aspects of the durability of a
phosphogypsum-lime-flyash binder,
Construction Building Mater., 10, pp.
273-279.
7. Singh, M.(2002), Treating waste phospho
-gypsum for cement and plaster manufacture,
Cem. Concr. Res., 32(7) pp. 1033-1038.
8. 남해화학주식회사(2001), 인산부산석고의
매립성토재 및 지반재료로서 유효활용에
관한 연구.
9. 환경부(2011), 수질오염공정시험기준, 환경
부 고시 제2011-103호.
10. Wrench, B. P., and Blight, G. E.(1985),
Compressibility of neutralized phospho
-gypsum. Proceedings of the Eleventh
International Conference on Soil Mechanics
and Foundation Engineering, Vol. 3, pp.
1321-1326.