

인산염을 이용한 납오염 토양 고정화 반응의 가속화

이의상, 이상봉*, 이인원*

상명대학교 토목환경공학부, *(주)에코솔루션 (euisang@smu.ac.kr, sblee@ecosol.co.kr, inwon@ecosol.co.kr)

<요약문>

Immobilization is seen as a promising technology for lead remediation. In a laboratory experiment, immobilization of lead with soluble P was tested as a function of reaction time and P concentration. The P treated with an acidic solution to enhance heavy metal immobilization was worked into the soil, and within 7 days, lead was stabilized. Different molar ratios of soluble phosphates (superphosphate and KH_2PO_4) would be considerably effective to accelerate the formation of highly insoluble minerals due to the lack of leachable Pb in the contaminated soil. Although it was demonstrated that the addition of soluble phosphates with an acidic solution significantly reduced available lead in soil up to over 95%, remaining phosphorus in soil matrix might cause a possible groundwater eutrophication in the near future.

key word : immobilization, lead, soluble phosphate, contaminated soil

1. 서론

중금속에 의한 토양오염은 그 진행과정이 서서히 이루어지면서 한번 오염되면 자연적인 치유나 정화가 곤란하며, 토양이 오염된 경우 지표수 및 지하수의 수질에도 악영향을 미치게 되는 등 주변 환경에 2차 오염을 유발시키게 된다. 이러한 2차 오염은 지하수 유동에 의하여 오염되지 않은 지역으로 확산되어지므로 오염된 지역이 점차 광범위해진다. 이렇게 중금속으로 오염된 토양은 그 위험성이 광범위하고 오염된 토양을 회복시키는데 장기간과 막대한 비용이 소요되므로 토양오염 방지를 위한 사전관리와 대책이 중요하다 하겠다. 납과 같이 중금속으로 오염된 토양을 정화하기 위해서는 주로 물리적, 화학적인 처리 방법을 사용하고, 대표적인 방법으로 토양 세척을 통해 오염물을 분리하는 방법과, 고형화 및 안정화를 통한 처리 등이 있다. 특히 최근 들어 미국 등에서 최종 폐기물의 침출특성에 대한 규제가 가시화되면서, 고형화와 안정화 등은 오염 물질의 최종처리를 위한 기술로 향후 그 중요성과 기능이 더욱 증가할 것으로 보여 진다. 그 중, 안정화는 오염물의 용해도나 유동성을 제한하여, 환경에 미치는 영향을 최소화하기 위한 기술로, 일반적으로 첨가제를 이용하며, 화학적 반응을 수반한다. 현재까지 연구 결과, 납은 인산염 이온과 결합하여 화학적으로 안정한 인산염계 납 화합물을 형성함이 알려졌다. 따라서, 본 연구는 납 인공오염토양에 수용성 인산염을 첨가하여 토양 내에 존재하는 중금속을 효과적으로 고정화시키기 위한 방법을 찾고자 수행되었다.^{1~4)}

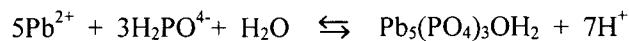
2. 연구방법

2.1 시료 및 재료

본 연구에 사용된 시료는 야산의 오염되지 않은 토양을 채취하여 토양오염공정시험법에 따라 풍건시킨 다음, 체를 쳐서 균일화한 후 $Pb(NO_3)_2$ 를 사용하여 토양오염공정시험법에 따른 용출시 납의 농도가 2300mg/kg 이 되도록 토양을 오염시켜서 준비하였으며, 인산염의 공급원으로는 인산2수소칼륨(KH_2PO_4) 과 경제성을 고려하여 인산비료인 과인산석회(과석)을 사용하여 실험을 수행하였다.

2.2 기준량

인산염의 주입량은 인산염을 토양에 주입시 토양의 다양한 물리화학적, 생물학적 기작에 의해 불용화 되는 양과 다음의 이론적인 반응식을 기초로 하여 납고정화를 위해 토양에 주입하는 인산염의 양을 합산하여 산정하였다.



2.3 용출실험

토양오염공정시험법에 따라 분석용시료 10g을 정밀히 취하여 100mℓ 삼각플라스크에 넣고 0.1N 염산용액 50mℓ를 넣을 후 항온수평진탕기를 사용하여 30℃를 유지하면서 1시간 진탕한 다음 거름종이 5B로 여과하였다. 전처리한 시료는 원자흡광광도계를 사용하여 납을 분석하였다.

2.4 실험방법

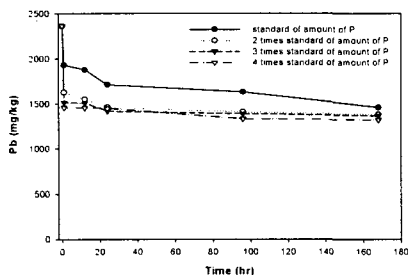
토양내 납과 반응하여 불용성의 금속인산염을 형성하는데 필요한 적정 주입량과 반응시간을 알아보기 위하여 납 인공오염토양 10g에 인산염(과석, KH_2PO_4)을 주입량에 따라 증류수와 산성용액에 녹여 주입하여 15℃ 인큐베이터에 넣어 시간별로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

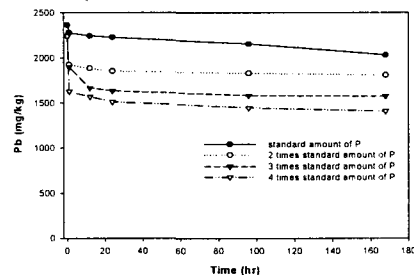
3.1 증류수에 녹인 인산염의 납 고정화

인산염제제(KH_2PO_4 , 과석)를 주입량에 따라 증류수에 녹인 후 균일하게 오염시킨 납 인공오염토양에 주입한 후 반응시간에 따른 납의 용출량, 인산염의 농도의 결과를 그림 1, 그림 2에 나타내었다.

결과를 살펴보면 인산염제제를 기준량의 4배를 투입한 경우 1일이 지나면 납이 인산염과 결합하여 고정화율이 34~36%를 보이고 있다. 이는 인산염과 납이 결합하여 hydroxypyromorphite를 형성하기 때문으로 판단되며, 인의 경우, 인산염제제를 투입하지 않은 토양에 비해 수 백배 높은 용출수 중 인농도를 보이고 있다.

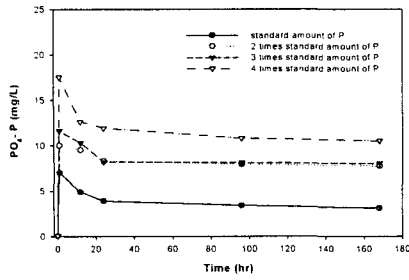


(a) 과석

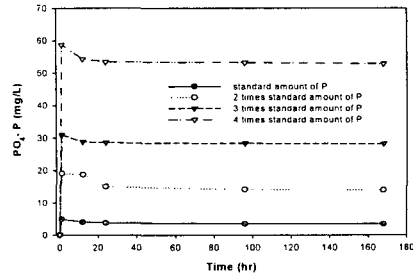


(b) KH_2PO_4

그림 1. 인산염의 주입량과 반응시간에 따른 토양중 잔류납 농도변화(증류수)



(a) 과석

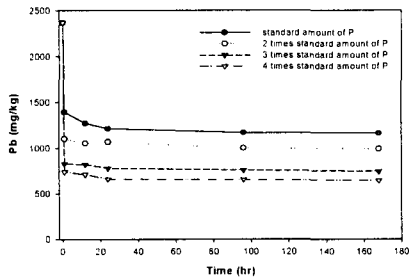


(b) KH₂PO₄

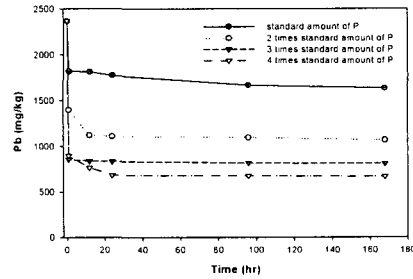
그림 2. 인산염의 주입량과 반응시간에 따른 용출수중 인 농도변화(증류수)

3.2 산성용액에 녹인 인산염의 납 고정화

인산염을 산성용액에 녹여 반응시킨 결과 앞의 실험과 같이 인산염의 주입량을 증가할수록 용출되는 납의 양은 감소하는 것을 알 수 있으며, 인산염 주입량을 기준량의 4배로 하여 산성용액에 녹여 납과 반응시킨 결과 1시간만에 빠르게 반응을 일으켜 hydroxypyromorphite를 형성하였고, KH₂PO₄와 과석의 고정화 효율은 61%, 67%를 나타내었다. 또한 인산염의 주입량을 기준량의 20배를 투여한 결과 납의 고정화 효율은 약 95% 이상을 나타내었으나 잔류하는 인의 농도가 증가함을 볼 수 있다.

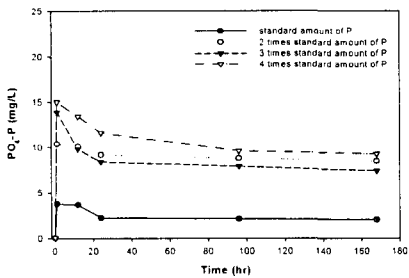


(a) 과석

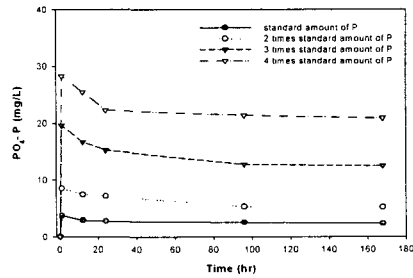


(b) KH₂PO₄

그림 3. 인산염제제의 주입량과 반응시간에 따른 납의 고정화(산성용액)



(a) 과석



(b) KH₂PO₄

그림 4. 인산염제제의 주입량과 반응시간에 따른 인의 농도(산성용액)

3. 결론

- 1) 인산염을 산성용액에 녹여 오염토양에 주입하면 고정화반응이 가속화되어 1시간내에 납과 인산염이 반응하여 불용성의 hydroxypyromorphite를 형성하였고, 인산염의 주입량에 따라 효율은 95% 이상을 나타내었다.

- 2) 산성용액을 녹인 인산염(과석, KH_2PO_4)의 주입량이 증가할수록 고정화 효율은 증가하나 잔류하는 인도 증가하여 지하수의 부영양화를 일으킬 수 있으므로 잔류하는 인을 제거할 수 있는 방법을 모색하여야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 환경부 “차세대 핵심 환경기술 개발사업”의 일환으로 수행되고 있으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 박혜경, “중금속에 의한 토양오염 현황에 관한 연구,” 전남대학교 (1999).
2. 조현정, 허종, “인산염계 유리를 이용한 납 오염토양 및 지하수 정화” 대한 환경공학회(1998)
3. Michael V. Ruby, Andy Davis, Andrew Nicholson, “In Situ Formation of Lead Phosphates in Soil as a Method to Immobilize Lead”, Environ. Sci. Tech. 28(4), 646-654, 1994
4. Panagiotis Theodoratos, Nymphodora Passiopi, “Evaluation of monobasic calcium phosphate for the immobilization of heavy metals in contaminated soils from Lavrion”, Journal of Hazardous materials, Vol. 94, pp. 135-146, 2002