

## 퇴적환경에서 농경지토양으로부터 인의 용출과 화학적 특성변화 연구

김재곤<sup>1\*</sup> · 김탁현<sup>1</sup> · 이진수<sup>1</sup> · 이규호<sup>2</sup> · 한소영<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국지질자원연구원 지질환경재해연구부, <sup>2</sup>연세대학교 지구시스템학과

\*jgkim@kigam.re.kr

### 1. 서론

우리나라의 농경지토양은 영양염류가 과다하게 집적되어 있으며, 강우에 의한 토양유실 및 퇴적은 지표수 부영양화의 주요한 인자로 알려져 있다. 농경지토양의 하천 혹은 호수 퇴적은 토양의 산화-환원환경이 급격히 변하게 되며 이러한 환경변화는 특정광물의 용해 및 생성과 영양염류의 용출 및 고정을 야기한다. 인산염의 농도는 지표수 부영양화의 limiting factor로 알려져 있다. 토양에서 인산염은 Fe, Al, Ca화합물에 흡착 혹은 인산염화합물의 형태로 많이 존재한다. 담수에 의하여 조성된 환원환경은 산화철과 산화망간 광물을 용해시키며 산화철과 산화망간에 흡착되어 있는 인산염은 광물의 용해에 수반되어 토양공극수로 용출되는 것으로 알려져 있다.

### 2. 연구방법

부산시 회동저수지 상류부의 발토양을 대상으로 시험을 실시하였으며 토양의 광물조성, 전기전도도(EC), pH, 유기물함량, 수용성 양이온, C, S, N, 산화철, 산화망간, 양이온교환능(CEC), 인의 존재형태를 분석하였다. 호수환경에서 퇴적에 따른 화학적 특성변화와 영양염류의 용출특성을 파악하기 위하여 직경 50cm 깊이 60cm의 원통형 microcosm제작하여(그림 1) 토양을 30cm 채우고 증류수를 토양으로부터 15cm까지 담수하였다. 6개월간 주기적으로 syringe pump를 이용하여 상등수 및 토양공극수를 채취(1ml min<sup>-1</sup>)하여(그림 2) 대기접촉을 최소화하기 위하여 질소가 충전된 glove box에서 인의 농도와 화학적 특성을 신속히 분석하였다.

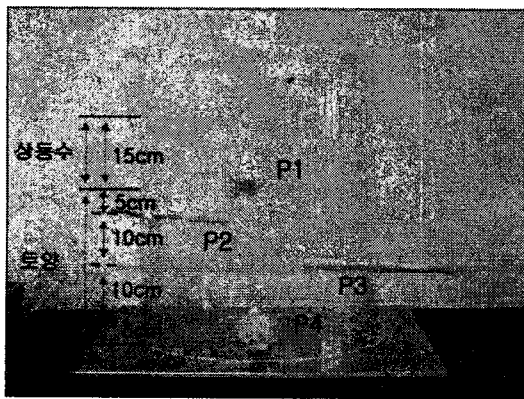


그림 1. Microcosm.

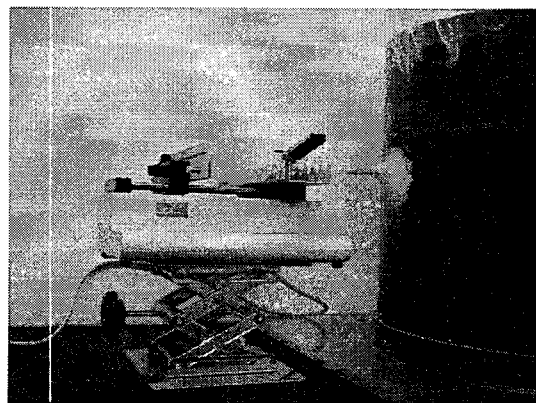


그림 2. Syringe pump를 이용한 시료채취.

### 3. 결과 및 토의

#### 토양특성

석영, 장석, smectite와 kaolinite가 주구성광물이며 미량의 dolomite가 존재하였다. 토양의 화학적 특성을 표 1에 나타내었다.

pH	EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	CEC ( $\text{cmol}_c/\text{kg}$ )	LL.*	C	S	N %	Mn-oxide	Fe-oxide
4.9	117.7	18.3	6.76	1.5	0.009	0.15	0.5	1.3

Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	total P ( $\text{mg}/\text{kg}$ )
2.3	5.2	12.2	2.7	0.1	29.8	7.3	602.09

표 1. 토양의 화학적 특성. \*ignition loss.

토양의 총인은 602.09  $\text{mg kg}^{-1}$ 으로 높으며 99% 이상의 인이 Al- and Fe-bound형태였다(표 2).

Al- and Fe-bound P	Adsorbed during NaOH extraction	Occluded in Fe-oxide	Ca-bound	Organic	Total*
598.2	0.0	0.0	3.0	0.89	602.09

표 2. 토양 내의 존재형태별 P함량과 총P함량. \*summation of inorganic and organic P.

#### 상등수 및 토양공극수의 화학적 특성 및 인의 용출

담수 후 약 5주 후부터 토양의 색은 yellowish red에서 grey로 변하였다. 또한 토양층의 상부에 산화철의 함량이 높은 두께 2mm이하의 산화층이 형성되었다. 토양공극수와 상등수의 pH는 8에서 지속적으로 감소하여 담수 후 3주부터 6으로 안정화되었다. 전기전도도(EC)는 담수 초기 5주 동안에는  $400\mu\text{S cm}^{-1}$ 에서  $100\mu\text{S cm}^{-1}$ 로 감소하다가  $800\mu\text{S cm}^{-1}$ 로 증가하였다. 상등수의 Fe와 Mn의 농도는 지속적으로 감소하였으나 토양공극수에서는 담수 3주 후에 급격히 증가하였다(그림 3, 4). 상등수와 최상위층(5cm깊이)의 토양공극수의 인 농도는 지속적으로 감소하여  $0.5\text{ mg l}^{-1}$ 이하를 유지하였으나 중간층(15cm깊이)과 하부층(25cm깊이)의 토양공극수의 인 농도는  $0.5 - 1.8\text{ mg l}^{-1}$ 의 농도를 유지하였다. 담수 후 토양공극수의 인 농도의 증가는 산화철과 산화망간의 용해에 의하여 용출된 인에 기인하는 것으로 판단된다. 낮은 상층수의 인 농도는 토양표층에 형성된 산화층에 의하여 인이 흡착되고 토양공극수로부터 유입이 차단되어 나타나는 현상으로 판단된다. 따라서 토양층에서 용출되는 인의 상층수로 유입을 효과적으로 차단하기위하여 토양층의 표면에 형성된 산화층의 안정화기술 개발이 요구되고 있다.

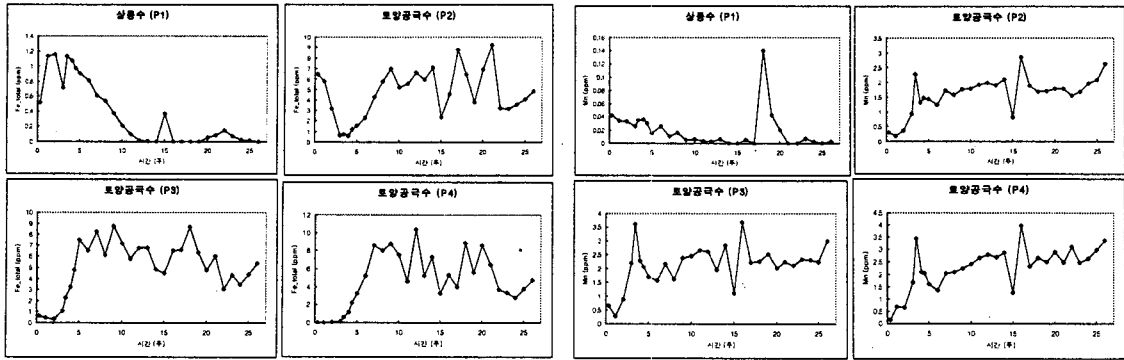


그림 3. 담수기간에 따른 상등수와 토양공극수의 Fe농도 변화.      그림 4. 담수기간에 따른 상등수와 토양공극수의 Mn의 농도 변화.

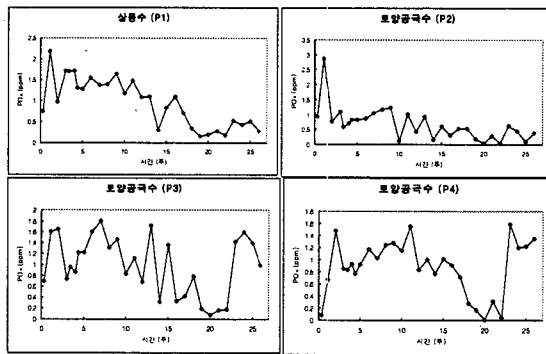


그림 5. 담수에 의한 상등수와 토양공극수의  $PO_4^{3-}$  농도 변화.

#### 4. 결론

- 담수에 의한 환원환경의 조성으로 산화철과 산화망간의 용해도가 증가함.
- 산화철과 산화망간에 흡착되어 있는 인은 광물의 용해도 증가로 지속적으로 토양공극수로 용출됨.
- 토양의 표층에 형성된 산화층은 토양공극수로부터 상등수로 인의 유입을 효과적으로 차단함.