

진흥제 퇴적물 시추코아시료의 깊이별 원소 축적 변화 연구

윤윤열* · 양동윤 · 남육현 · 조수영 · 이길용

한국지질자원연구원

(2005. 12. 12. 접수, 2006. 1. 25. 승인)

The study of elemental depth distribution at the Jinheung catchment sediment core

Yoon Yeol Yoon*, Dong Yoon Yang, Wook Hyun Nahm, Soo Young Cho and Kil Yong Lee

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), 30 Gajung-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-350, Korea

(Received December 12, 2005, Accepted January 25, 2005)

요 약 : 전라북도 정읍시 진흥제 저수지의 퇴적물에서 직경 5 cm의 시추 코아를 채취하였다. 환경 변화에 따라 퇴적물에 포함된 미량원소들의 변화를 알기위해 시추코아를 1 cm 간격으로 분리한 후 각층의 주성분 및 미량성분을 중성자방사화분석법을 사용하여 분석하였다. 깊이별 각 원소들의 분포를 조사한 결과 17 cm 깊이에서 최저치를 나타내었으며, Na, K의 경우 깊이가 깊어질수록 함량이 증가하였다. 또한 퇴적물의 입도크기를 분석한 결과 17 cm 지점에서 입도크기가 작아지는 현상이 관측되고 강우량 자료와 비교한 결과 이 지점에서 미량원소들의 함량이 감소하는 경향이 나타나 이 깊이가 1969년 최대 갈수기 때의 퇴적층으로 여겨져 이를 근거로 퇴적속도는 연간 $0.197 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 가 되었다.

Abstract : Drilled sediment core was acquired from Jinheung catchment which was located at Jeollabuk-do Jeongeup city. Elements concentration variation were studied by neutron activation analysis using sediment core by divided 1 cm depth interval. The concentration of major element such as Na, K were increased but Fe was decrease with depth. Minimum elements concentration and particle size were observed at 17 cm depth. This depth was considered 1969 year which was great dry year recorded from the rain fall data and the sedimentation rate was calculated $0.197 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{year}^{-1}$.

Key words : sediment core, neutron activation analysis, element distribution

1. 서 론

1970년대 이후 지구환경문제, 빈발하는 이상기후와 관련된 자연재해의 급증등이 계기가 되어 지구환경변

화에 대한 관심이 세계적으로 고조되고 있다. 과거 생태계에서 경험되는 광역적 환경변화는 주로 온도와 습도의 변화에 기인하나, 산업혁명 이후 인간에 의해 발생된 유해 인공물질에 의한 오염 등으로 인한 환경

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)42-868-3654 Fax : +82-(0)42-863-9404

E-mail: yyyoon@kigam.re.kr

변화는 인류의 활동이 확대되어 지구생태계의 완충능의 허용한도를 초과하거나 거의 분해되지 않는 등 새로운 환경문제로 대두되고 있다. 또한 인구의 폭발적 증가로 인한 도시화, 지구온난화, 산성우, 산림감소, 사막화, 유해화학물질의 증가로 인한 생태계의 파괴가 진행되고 있으며, 이것들은 모두 그 영향과 대응에 관하여 예측하기가 곤란하다.

육상에서 과거 환경변화는 주로 호소의 퇴적물에 기록되며, 퇴적물의 이동은 당시 기후조건과 밀접한 연관이 있다. 특히, 대홍수가 발생하면 다량의 퇴적물이 이동되고, 지형조건과 홍수량 및 그 에너지의 크기에 따라 호소에 쌓이는 퇴적물의 특성이 결정된다^{1,7}. 그러므로 인간의 인위적 간섭이 일어나지 않은 호소를 대상으로 현재의 기후상황에서 퇴적물의 거동을 관찰하면, 이를 근거로 가까운 과거의 퇴적환경을 유출할 수 있으며, 또한 역사 기록을 참조하면 환경추적 결과의 검증 및 보완도 가능하게 된다.

호수 퇴적물들은 과거 환경에 대한 다양한 정보를 축적하고 있으므로 다양한 분석법을 통하여 과거 환경변화를 해석할 수가 있다. 그러므로 호수 퇴적층 시추코아를 깊이별로 분석을 하면 과거 생태계로 유입된 원소들의 변화를 알 수가 있다. 퇴적물층의 중금속변화는 최근 인류에 의한 오염 영향을 알 수가 있어 1970년대 이후 많은 연구가 진행되어왔고 그중 특히 Hg에 대한 연구가 활발하였다⁸. 또한 산업화로 인한 주변 도시로부터 다양한 중금속들이 강과 하천을 통해 호수를 오염시킨 경우를 최근 아르헨티나의 Patagonia 호수의 퇴적물코아 시료를 사용하여 연구한 결과가 발표되었으며⁶, Zhou⁹는 하구 주변의 퇴적물을 채취하여 입자크기 및 주원소 미량원소를 분석하여 과거 수십년간 주변 환경에 의해 일어난 오염영향을 조사하였다.

본 연구에서는 과거 수십년간 인간활동에 의해 발생하는 자연적 오염 정도를 파악하고자 주변에 심각한 오염원이 존재치 않고 퇴적층의 준설등 인위적 변화를 받지 않은 소규모 저수지를 선택하고 호심의 중심에서 퇴적물 코아 시료를 채취하여, 퇴적층의 깊이에 따른 주원소 및 미량원소의 함량 변화를 중성자방사화분석법(Neutron Activation Analysis)을 사용하여 조사하였다.

2. 실험

2.1. 시료준비

진흥제는 북위 35°41'42", 동경 126°55'13"의 정읍시

감곡면에 위치한 조그만 전담용저수지로서 일제시대인 1945년전에 처음 개발된 후 지금까지 퇴적층을 준설을 하지 않아 인위적 환경 교란이 발생하지 않은 소규모 저수지이다. 실험에 필요한 퇴적 침전물 시료를 채취하기 위하여 저수지 중앙의 수면 약 1.5 m 아래의 퇴적층을 직경 5 cm 인 중력코아시추기를 사용하여 약 40 cm 길이의 코아시료를 채취하였다. 채취한 시료는 PE tube로 옮긴 후 양끝을 밀봉한 다음 실험실로 가져와 저온 냉장고에 보관하였다.

퇴적층에 따른 원소분석을 위해 코아 시료를 1 cm 간격으로 티타늄 칼을 사용하여 절단한 후 무게를 측정된 다음 전기로에서 60°C로 24시간 건조시켰다. 건조된 시료는 수분함량을 알기 위해 다시 무게를 측정한 후 퇴적층에 포함된 불순물을 제거한 다음 분말로 만든 후 습도변화가 없는 데시케이터안에 보관하였다. 퇴적물의 입도크기 및 밀도변화를 측정된 후 각 깊이별 원소 변화를 관찰하기 위하여 시료를 agate mortar를 사용하여 분쇄한 후 주원소는 XRF를 사용하여 분석하였으며, 미량원소들은 중성자방사화분석을 이용하여 분석을 하였다.

2.2. 중성자조사

준비된 시료 약 200 mg을 중성자조사용 PE vial에 넣고 밀봉한 후 절대분석에서 함량계산을 위해 필요한 중성자선속 측정용 monitor인 Au(Au/Al alloy wire: 0.1274% of gold, R/X, USA)와 Co(Co/Al alloy wire: 1% of cobalt, Degussa, FRG)로서 내부 시료용기의 측면에 감싸주는 형태로 부착하여 중성자선속의 차이에 의한 분석 불확도를 최소화하고자 하였다. 준비된 시료 용기는 중성자조사용 PE rabbit 용기에 넣고 또한 분석의 정확도를 측정하기위해 NIST 2709 퇴적물 표준시료와 함께 원자력 연구소 HANARO PTS 조사공에서 10분간 중성자 조사시켰다. 조사시 열중성자 선속은 $2.3 \times 10^{14} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이었다.

2.3. 분석조건

주원소분석을 위하여 시료 1 g에 lithium tetraborate 5.5 g을 혼합한 후 전기로에서 용융시켜 glass disc를 만든 다음 XRF(Shimadzu, XRF-1700)를 사용하여 주원소를 분석하였다.

미량원소 분석은 중성자 조사가 끝난 시료를 3일간 냉각시킨 다음 측정용기로 옮긴 후 HPGe(relative efficiency; 30%, FWHM; 1.9 keV at 1.33 MeV, EG&G) 반도체 검출기를 사용하여 1000초 동안 중반

감기 핵종인 ^{76}As , ^{82}Br , ^{42}K , ^{140}La , ^{24}Na , ^{122}Sb , ^{153}Sm , $^{239}\text{Np}(\text{U})$ 을 측정하고, 20일 냉각 후 5000초 동안 장반 감기 핵종인 ^{141}Ce , ^{60}Co , ^{51}Cr , ^{152}Eu , ^{59}Fe , ^{181}Hf , ^{177}Lu , ^{86}Rb , ^{46}Sc , $^{233}\text{Pa}(\text{Th})$, ^{169}Yb , ^{65}Zn 를 측정하였다. 시료에 함유되어 있는 무기 원소들의 함량계산은 분석방해 보정이 포함되어 있는 단일비교체법(SCM-IF)을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

진흥제는 1945년 이전 일제 강점기에 축조된 면적이 약 0.1 km^2 미만의 작은 저수지로서 축조 이후 현재까지 바닥을 준설한 기록이 없었다. 따라서 약 60~70년에 걸친 퇴적물이 비교적 상태로 퇴적되어 있으며 깊이가 1.8 m 이내로 얕아 바닥에 퇴적되는 시간이 짧으므로 최근 수십년간의 퇴적환경을 연구하는데 좋은 환경을 가진 지역이다. 또한 저수지 주변은 농경지로서 외부 환경에 의한 급격한 오염원이 존재하지 않아 급격한 인위적 변화 영향이 없어 자연적 퇴적환경 변화를 관찰하기 좋은 저수지이다.

퇴적환경을 관찰하기 위하여 깊이별 퇴적층의 입도와 밀도를 분석한 결과인 Fig. 1에서 10 cm 미만의 깊이에서는 수분의 함량이 60% 이상으로 많아 밀도는 낮게 나타나며, 최근 퇴적된 환경으로 입자의 크기 또한 작은 편이었다. 그 이후의 깊이에서는 함수율이 약 30% 정도로 일정하며, 밀도는 약 2.6 g/cm^3 정도로 일정하고 입자의 크기 또한 약 $7.0\sim 7.5 \mu\text{m}$ 정도로 일정한 편이었다. 그러나 17 cm 지점에서 밀도와 입자의 크기가 급격히 감소하는 현상이 나타났다. 진흥제 퇴적

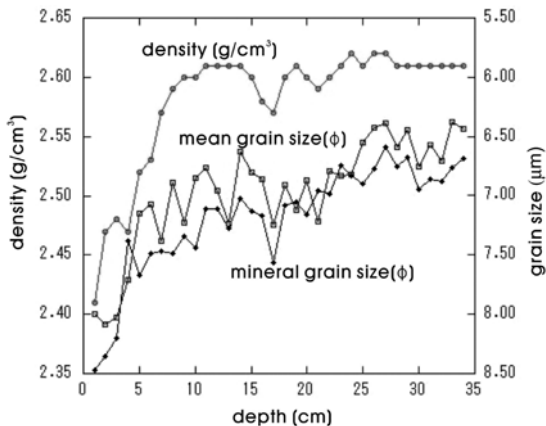


Fig. 1. Density and grain size distribution with depth of sediment core.

층의 입도와 강수관계를 알기 위하여 지난 수십년간 전주 기상청에서 수집된 이 지역의 강수자료를 검토한 결과 1969년이 대갈수기로 기록되어 이때는 저수지로 유입되는 물이 거의 없어 저수지에 부유되는 미세입자들만 퇴적되는 현상으로 인해 밀도와 입도가 낮은 퇴적층이 나타난 것으로 여겨진다. 이러한 현상들은 강수와 퇴적물의 관계를 규명한 Kashiwaya¹⁰, Shimada¹¹의 연구결과에서 잘 설명이 되고 있다. 이상의 결과를 근거로 퇴적층의 무게와 1969년 최대 갈수기때의 퇴적층으로 여겨지는 지점을 근거로 구한 진흥제 퇴적물의 퇴적속도는 연간 $0.197 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 로 계산되었다.

퇴적물의 주원소 및 미량원소의 함량분포를 나타낸 Fig. 2와 3의 결과에서, 주원소들은 깊이에 따라 그 함량변화가 거의 없으나 Fe의 함량은 표면 부근과 25 cm 지점 부근은 비슷한 값을 가지며 표면에서 점점 작아지는 경향을 나타내고 있으며, 밀도와 입도의 결과와 같이 17 cm 지점에서 최소값을 나타낸 후 다시 증가하는 경향을 나타내었다. Si, Na와 K의 경우 표면부터 깊이가 깊어질수록 함량이 증가하고 있으나

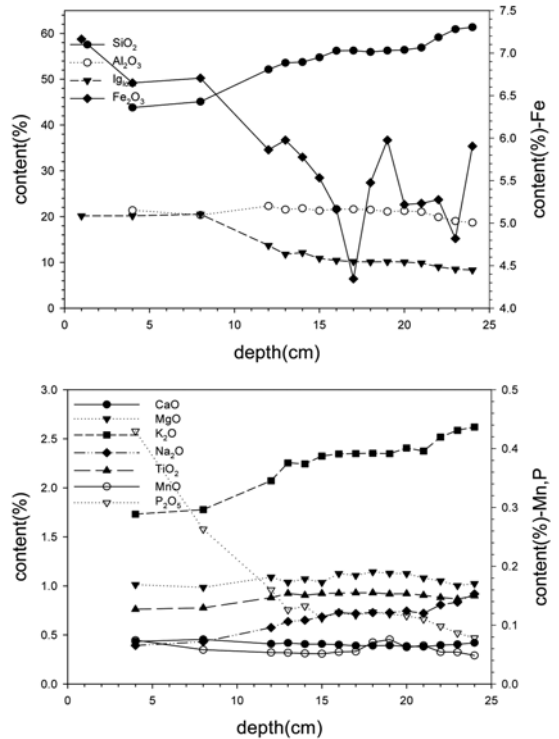


Fig. 2. Major elements content distribution with depth of sediment core.

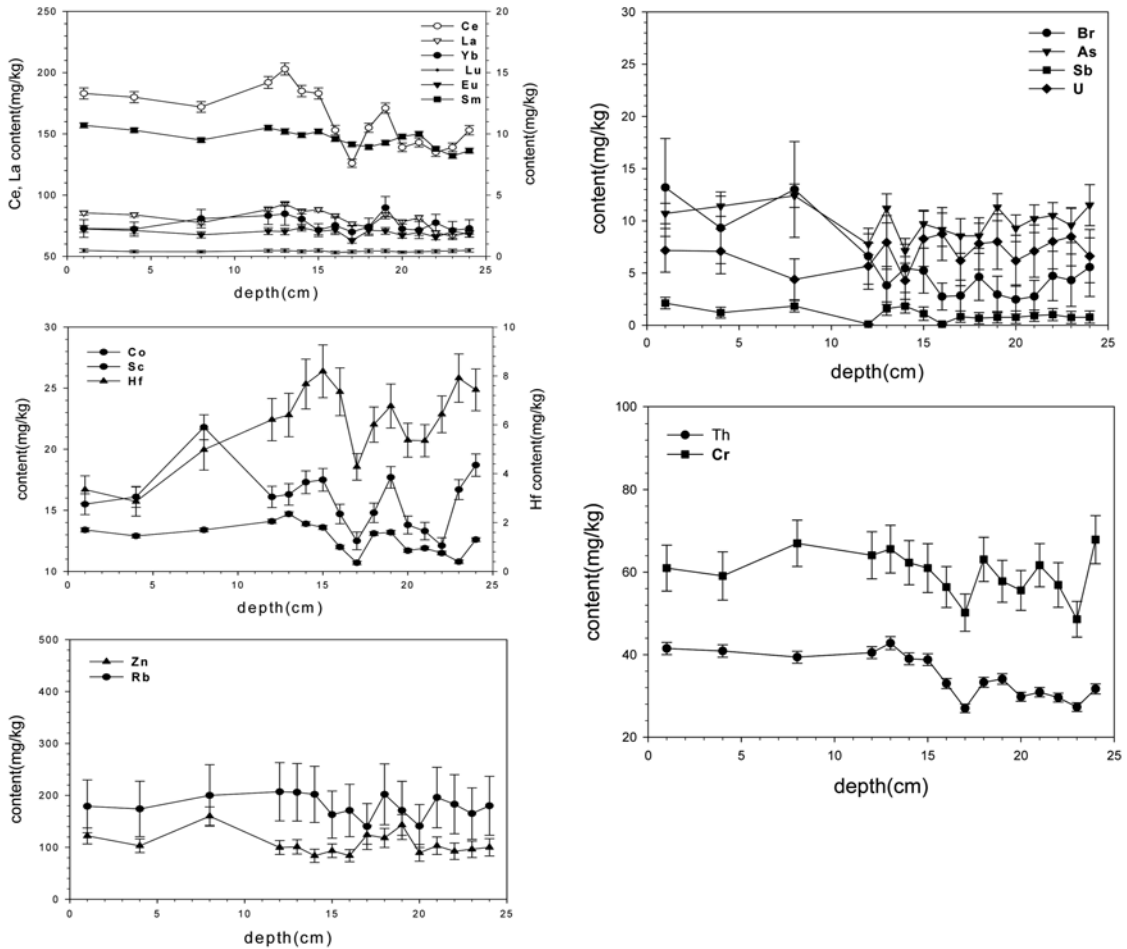


Fig. 3. Minor elements content distribution with depth of sediment core.

17 cm 지점에서 농도 변화는 관찰되지 않았다. 이것은 표면에서는 물과의 반응에 의해 쉽게 용해되어 Na와 K의 함량이 작아지는 것으로 여겨진다. P의 함량은 표면 10 cm 부근까지 감소하다가 이후 일정한 함량값을 나타내는데 이것은 주변의 농경지에서 유입된 인산비료의 영향때문으로 여겨진다. 또한 ignition loss 결과에서도 표면 부근의 10 cm 미만의 깊이에서는 유기물등의 영향으로 약 20% 정도 손실되나 그 이후에는 약 10%로 일정하였다. 미량원소들의 분석 결과에서 대부분 깊이에 따라 함량변화가 크지 않으나 Ce, Co, Hf의 경우 약 15 cm 부근에서 최대 농도를 나타내고, 입도크기와 마찬가지로 17 cm 지점에서 감소하는 현상이 나타났다. 또한 분석된 대부분의 미량원소들인 Cr, Eu, La, Rb, Sc, Sm, Th, Yb, U의 함량도 감소하였다. 원소의 함량과 총유기탄소량이 상관관계를

가지는데¹² 분석결과에서는 총탄소량과 상관성이 있는 ignition loss 자료와 원소 함량과는 상관성이 나타나지 않았다. 이로 미루어 강수량에 따라 저수지에 유입되는 퇴적물에 포함된 광물의 영향이 있을 것으로 여겨진다. 이것은 강수량에 따라 저수지에 유입되는 퇴적물의 입도가 크게 차이 나므로 퇴적물에 포함된 광물의 종류가 다르기 때문에 함량 변화가 나타난 것으로 여겨진다. 미량원소의 분석 결과에서 유해원소인 As, Cr, Sb, Zn 등이 표면 7~8 cm 미만에서의 함량이 대체로 높게 나타나는데 이것은 1990년대 이후 에너지 소비량과 농약의 사용량이 급격히 증가한 현상으로 인해 오염된 대기중의 미세 먼지가 퇴적된 영향으로 추정된다. 희토류 원소들은 암석의 특징을 구별하기 위해 많이 이용되는 원소들이다. 퇴적물의 광물특성을 알기위해 희토류원소 분석결과에서 대부분의 원소들

의 함량변화는 크지 않았으나 Ce만 유독 큰 변화를 나타내었다. 그러나 이 결과로 광물의 특성은 알 수가 없었다.

4. 결 론

과거의 환경변화를 알기 위해서 퇴적물에 대한 연구가 많이 행해지고 있다. 최근 수십년간의 환경변화를 알기위해 퇴적환경을 연구한 진흥제 저수지는 1945년 이전 일제시대에 건설된 저수지로 깊이가 1.8 m 이내로 얕고 지금까지 저수지를 준설한지 않아 퇴적환경 연구에 적절한 지역이다. 퇴적 시추코아를 분석한 결과 10 cm 미만의 깊이에서는 수분함량이 높아 입도크기 및 밀도가 상대적으로 낮게 나타나고 있으며, 그 이후의 깊이에서는 약간의 변화를 가지고 있다. 퇴적층의 입도크기는 강수량의 변화와 밀접한 관계를 가지고 있어서 강우가 많을 경우 큰 입자들이 쉽게 이동 하여 쌓이게 되며, 강우가 적은 갈수기때는 고운 입자들만 이동이 되므로 약 17 cm 부근에서 입자크기가 작아지는 현상을 볼 수가 있는데 이는 1969년 갈수기때의 퇴적층으로 추정 되어져 이를 근거로 계산된 퇴적속도는 연간 $0.197 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 이었다. 원소들의 농도분포 결과에서 Na, K, Si의 경우 깊이가 깊어질수록 양이 증가하며, Fe는 점점 감소하다가 입도 크기가 작은 17 cm 지점에서 최소값을 나타내었다. 또한 분석된 대부분의 원소들인 Ce, Co, Cr, Eu, Hf, La, Rb, Sc, Sm, Th, Yb, U의 함량도 감소하였다. 따라서 원소 분석과 퇴적물의 물리화학적 특성을 분석하면 이들 자료를 통해 과거의 환경변화를 유추할 수 있는 유용한 수단이 된다.

참고문헌

1. C. S. Mueller, G. J. Ramelow and J. N. Beck, *Water, Air, Soil Pollut.*, **43**, 213(1989).
2. J. N. Beck, G. J. Ramelow, R. S. Thompson, C. S. Mueller, C. L. Webre, J. C. Young and M. P. Langley, *Hydrobiol.*, **192**, 149(1989).
3. C. Hardaway, W. J. Sheu and J. R. Meriwether, *Microchem.*, **58**, 127(1989).
4. S. M. B. Oliveira, F. E. Larizzatti, D. I. T. Favaro, S. R. D. Moreira, B. P. Mazzilli and E. L. Piovano, *J. Radioanal. Chem.*, **258**, 531(2003).
5. E. L. Piovano, F. E. Larizzatti, D. I. T. Favaro, S. M. B. Oliveira, S. R. Damatto, B. P. Mazzilli and D. Ariztegui, *J. Limnol.*, **63**, 21(2004).
6. R. Guevara S, A. Rizzo, R. Sanchez and M. Arribere, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **265**, 481(2005).
7. D. Schlze, A. Kruger, H. Kupsch, C. Segebade and D. Gawlik, *Sci. Total Environ.*, **206**, 227(1997).
8. S. R. Aston, R. Bruty, R. Chester, R. C. Padgham, *Nature*, **241**, 450 (1973).
9. H. Zhou, X. Peng, J. Pan, *Continental Shelf Research*, **24**, 1857 (2004).
10. K. Kashiwaya, S. Ochiai, H. Sakai, T. Kawai, *Nature*, **410**, 71 (2001).
11. T. Shimada, K. Kashiwaya, M. Hyodo, T. Masuzawa, *Jap. Geomorp. Union*, **23-3**, 415 (2002).
12. Y. Y. Yoon, D. Y. Yang, W. H. Nahm, S. Y. Cho, K. Y. Lee, Proceedings of the 4th International Symposium on Terrestrial Environmental Changes in East Eurasia and adjacent Areas, Gyeongju, Korea, 2005.