

임하호 유역 토양의 광물학적 침전성 연구

Study on Precipitation of the Minerals in the Soil of Imha Reservoir Watershed

김연정¹⁾ · 유삼환²⁾ · 정형진³⁾ · 백승철⁴⁾ · 이성민⁵⁾ · 서을원[†]
 Kim, Yeonjeong · You, Samhwan · Jeong, Hyungjin · Baek, Seungcheol ·
 Lee, Sungmin · Seo, Eulwon

ABSTRACT : The present study was undertaken to investigate the characteristic of suspended matter in soils of Imha-Dam area by turbidity. Soil sampling was conducted at 5 points of Yeongyang (Turbid area) and 2 points of Cheongsong (Clean area). Experimental analysis was conducted using those samples. The pH of water in the soils at turbid area was higher than that of clean area. X-ray diffraction analysis showed that every sample consists in mainly quartz, illite and feldspar before precipitation. After precipitation for 3 days, the content of quartz and feldspar was decreased and the content of illite was increased at turbid area. The soil of Sinheung (St. 6) at clean area was analyzed only illite. SEM-EDS analysis showed the much content of SiO₂ as to every sample before precipitation, but K₂O, MgO, Al₂O₃, CaO and Fe₂O₃ with illite was increased after precipitation for 3 days as to every sample. Experimental results exhibited that the major mineral of turbid water was illite at turbid area and clean area.

Keywords : Imha reservoir, Turbidity, Illite, Clay mineral

요 지 : 본 논문은 반변천 상류지류(임하댐 유입지천 유역)의 토양들에 의해 탁수 발생 시 부유된 물질의 특성을 규명하고자 하였다. 토양시료는 탁수유발 지역인 영양 일대 5개 지점과 청정지역인 청송 일대 2개 지점에서 시료를 채취하여 실험을 수행하였다. 청정지역 토양에 비하여 탁수지역 토양을 증류수에 분산 시 pH가 높게 나타나는 경향을 보이고 있었다. 탁수지역 토양의 XRD 분석결과 침전 전에는 모든 시료에서 석영, 일라이트, 장석 등이 확인되었다. 3일간 침전 후 탁수지역의 부유물은 대부분 석영(Quartz)과 일라이트(Illite)가 주로 존재하였다. 청정지역의 신흥교 토양에는 일라이트(Illite)만 조사되었다. 원소 분석결과 모든 지점에서 침전 전 다량의 SiO₂로 구성되었던 광물질들이 3일간 침전 후, SiO₂의 함량은 줄어든 반면 일라이트의 주요 구성성분인 K₂O, MgO, CaO, Al₂O₃ 및 Fe₂O₃의 함량은 상대적으로 증가하는 양상을 보였다. 따라서 탁수를 유발시키는 주요 광물질은 일라이트(Illite)임을 확인하였다.

주요어 : 임하호, 탁도, 일라이트, 점토광물

1. 서 론

임하호는 여름철 우기마다 상류에 광범위하게 분포하는 백악기 세일층이 풍화 침식된 다량의 콜로이드성 점토광물 질과 조암광물 입자들이 호소에 유입되고 있다(황상구 등, 2006). 추장호 등(2006)에 의하면 호소에 유입되는 초 미세 입자성 광물질은 쉽게 침강되지 않는 특성을 갖고 있다. 따라서 탁수 입자들이 장시간에 걸쳐 부유되어 장시간에 걸쳐 심각한 탁수 현상이 나타나고 있고 이로 인해 경제, 사회적으로 문제점을 유발하고 있다.

일반적으로 토양은 기존 광물의 잔류물, 점토광물 및 유기물 등으로 구성되어 있다. 이 중 점토광물은 기존 광물의

풍화에 의해 형성되며, 넓은 비표면적과 높은 이온치환 능력을 갖고 있기 때문에 산화물이나 유기물과 함께 토양 내에서 일어나는 여러 화학반응에 깊이 관여하게 된다(이상수 등, 2002). 그러므로 지반이 암석으로 존재할 경우와 풍화현상을 거쳐 수계로 유입될 경우 다양한 양상의 변화를 가져오게 된다.

김연정 등(2007)은 최근 안동댐과 임하댐에 대하여 강우 강도에 따른 탁수의 발생 경향을 조사하고 채취된 시료의 광물을 비교 분석한 결과 탁도 및 부유 고형물의 농도변화는 서로 유사한 경향을 보이며, 탁도 유발 물질의 구성 조성도 유사한 것으로 조사되었지만, 각 광물의 함량은 차이가 나는 것으로 보고하였다. 황상구 등(2006)은 임하호 탁도

1) 비회원, 안동대학교 응용화학과 박사과정

2) 비회원, 안동대학교 생물학과 석사과정

3) 비회원, 안동대학교 생약자원학과 교수

4) 정회원, 안동대학교 토목공학과 교수

5) 정회원, 영동대학교 토목환경공학과 교수

† 비회원, 안동대학교 생명과학과 교수(E-mail : ewseo@andong.ac.kr)

증가의 근본 원인을 제시하기 위하여 토양과 탁수 내의 입자를 대상으로 탁수를 유발시키는 주요 지질의 성분과 분포, 성질, 상태를 파악하고 이의 풍화물이 임하호로 유입되는 경로를 추적하고 호수 내에서의 탁도를 증가시키는 부유물질의 종류와 거동상태를 감정한 결과, 영양지역의 고화가 덜 된 동화지층과 도계층의 적갈색과 적색의 세일과 알코스 사암이 탁수를 유발하는 주원인으로 보고한 바 있다. 또한 신재기 등(2003)은 팔당호에서 입자성 물질의 거동을 파악함과 동시에 여름철의 고탁수에 포함된 입자 크기를 측정하고 입자 분포도를 조사하여 최근 저수지 수환경에서 부영양화와 관련하여 대표적인 비점 오염물질로써 관심이 고조되고 있는 탁수와와의 관계를 파악하고자 한 바 있다.

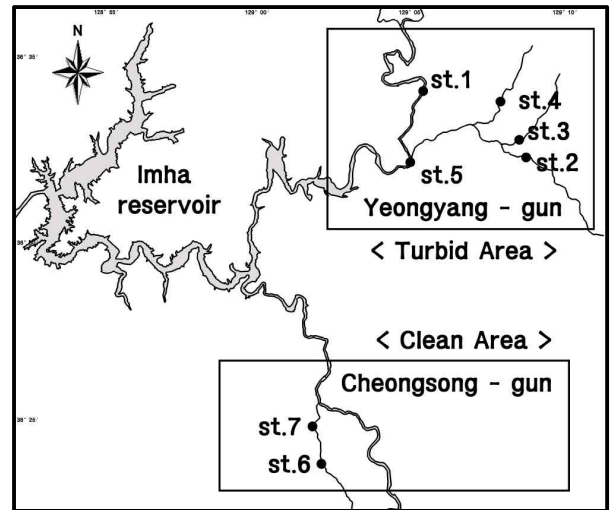
이와 같은 연구는 탁수 발생의 원인 규명과 그 대책을 수립하는데 많은 도움이 되고 있으나, 지금까지 연구는 탁수가 발생된 하천수에서 시료를 채취하여 입자의 특성을 분석하고 그 연계성을 조사하여 왔었다. 이와 같은 경우 탁수가 발생된 하천의 시료 채취 시점과 방법에 따라 그 지역을 대표하는 입자의 특성을 규명하는데 다소 어려움이 있어 그 연계성에 대한 연구에는 다소 미비한 점이 있었다. 따라서 암석이 풍화되어 발생된 토양을 대상으로 수계에 분산하여 입자의 침전성과 침전 시간에 따른 부유되는 광물들의 특성을 조사하여 그 연계성을 조사 연구할 필요성이 있다. 이를 위해 본 논문에서는 임하호 상류지역에 위치한 영양군 일대의 주요 탁수 유발 지역과 청송군 일대의 비교적 청정수역을 대상으로 토양을 채취하여 수계에 분산하여 시간에 따른 침강성, 탁도의 변화 및 장시간 탁도를 발생시키는 주요 광물질의 특성을 비교 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 시료 채취 및 실험 방법

본 연구는 임하호 상류일대에서 세일층으로 부터 영양군 일대 탁수 유발 수역 5개 지점과 청송군 일대 청정 수역 2개 지점의 풍화된 토양 시료를 이용하여 수행하였다. 각 지역의 시료채취 지점을 그림 1에 나타내었다. 시료 채취는 토양으로 구성된 절계면 선상의 1m × 1m 반경 내에서 5 지점의 시료를 임의적으로 약 200g씩 취하여 혼합 후, 45mesh 표준체로 낙엽 등과 같은 이물질과 0.35mm 이상 입자들을 제거하여 사용하였다. 채취된 시료들은 110℃에서 8시간 건조하여 사용하였다.

실험 방법은 Jar test를 이용하여 pH 6.1인 증류수 1.5 L에 각 지역의 토양 시료 300g을 넣고 10분간 100rpm으로 교반하여 탁수를 만들었다. 교반 후 정제된 탁수로부터 바



St.1 : Samsan, St.2 : Dapgok, St.3 : Wolli, St.4 : Okgye, St.5 : Heunggu, St.6 : Sinheung, St.7 : Deokcheon

그림 1. 임하호의 시료채취 지점

닥에서 5cm 지점에 배수구를 설치하여 일정 시간마다 탁수 50mL씩 취하여 탁수 속에 포함된 광물질의 특성을 분석하였다. 시료 채취 시간은 최초 교반을 멈춘 직후, 침전 3분, 30분, 3시간, 30시간 및 3일 후에 대하여 탁수 시료를 준비하였다.

2.2 분석방법

시간의 경과에 따른 탁수 시료는 pH(CH/MP 220, Mettler-toledo)를 측정하여 각 지역의 토양이 수계로 유입시 변화를 조사하였다. 또한 각 지역적 광물의 특징에 따른 침전 경향을 알아보기 위하여 침전 시간에 따른 탁도(2100P, Marker) 분석을 실시하였다. pH와 탁도는 각 시료당 5회 측정하여 측정값의 최대값과 최소값을 error bar로 표시하였다. 토양 시료의 구성광물 구조분석을 위해서는 X-선 회절분석기 (RAPID-S, Rigaku)를 사용하여 측정하였으며, 탁수 내 광물질의 침전성에 따른 구성 광물의 화학성분을 분석하기 위하여 에너지 분산형 X선 측정기(JSM-6300, Jeol)를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 pH 변화

주요 탁수 유발 지역과 청정 수역의 토양이 수계로 유입시 호수의 pH 변화를 유추하기 위하여 시간의 경과에 따른 탁수시료의 pH 변화를 조사하여 그림 2에 제시하였다. 탁수 유발 지역인 흥구교(St. 5) 지역의 경우는 시간의 경과에도 불구하고 탁수의 pH가 초기 30분간 평균 7.2 이상을 유

지함으로써 가장 높게 나타났으며, 청정 수역인 덕천교(St. 7) 지역 시료는 3일 경과 후, pH가 6.1까지 떨어지는 양상을 보이고 있다. 이와 같은 결과는 대부분의 지역의 pH가 6.9~7.2 사이를 유지하는 것에 반하여 이 지역의 토양에 포함되어 있는 특정 광물질이 용출되어 수질의 pH를 변화시키는 것으로 판단된다.

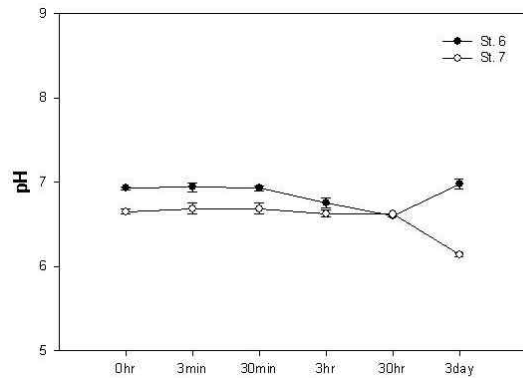
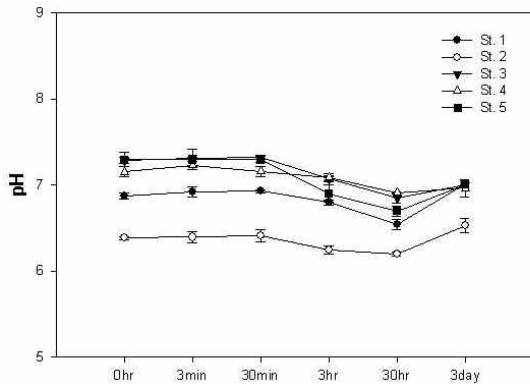
탁수 유발 지역인 원리교(St. 3)와 옥계교(St. 4)지역 시료의 경우 토양시료를 증류수에 분산시키고 30분 경과까지 pH는 다소 높게 나타났으나 시간의 경과에 따라 다른 지역의 pH와 유사한 경향을 보이고 있다. 이와 같은 현상은 초기 토양시료 분산시에는 토양 내의 광물질들이 고탁도로 분산되어 있어 이들 입자들이 pH 변화에 직·간접적인 영향을 받은 것으로 사료된다. 그 외 삼산교(St. 1), 답곡교(St. 2) 및 신흥교(St. 6) 지역의 시료들은 pH 변화에 크게 영향을 주지 않았다.

이와 같이 일부 탁수유발 지역의 토양에서는 다소 pH가 높게 나타나는 경향을 보이고 있으나 시간의 경과에 따라 청정 수역과 비교 결과 큰 차이점은 나타나지 않았다. 그러나 침전 시간의 경과에 따라 탁수지역은 전반적으로 pH가 감소했다가 다시 상승하는 경향을 보이는데 비하여 청정지

역의 덕천교(st. 7)는 감소하는 경향을 보였다. 이는 탁수지역의 토양은 물에 분산 된 탁수 입자들이 수중의 pH 변화에 직접적인 영향을 주고 있음을 시사하며, 그 양이 많기 때문에 pH 변화에 영향을 줄 수 있으나 청정 수역의 토양은 물속에 충분한 입자들이 분산되지 않아 수중의 pH 변화에 직접적인 영향을 주지 못한 것으로 판단된다.

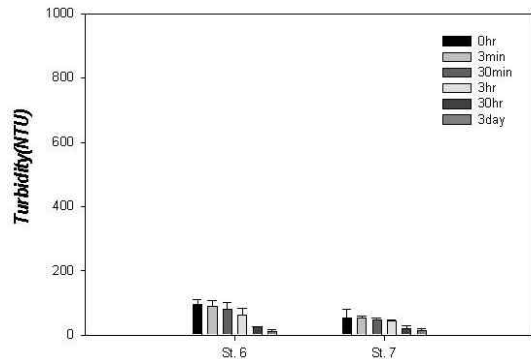
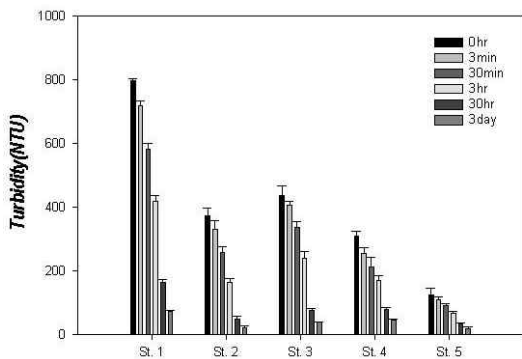
3.2 탁도변화

탁수지역과 청정지역 토양이 물 속에서 시간의 경과에 따른 침전성을 조사하기 위하여 탁도 변화를 조사하였다(그림 3). 초기에 가장 높은 탁도를 유발시킨 지역은 삼산교(St. 1)로서 최고 798NTU를 나타내었으며, 가장 낮은 지역은 덕천교(St. 7)로 55.1NTU를 나타내었다. 답곡교(St. 2), 원리교(St. 3) 및 옥계교(St. 4)에서도 250NTU 이상의 다소 높은 초기 탁도가 나타났으며 이들 지역의 특성이 탁도 90% 이상이 제거되는데 30시간 이상의 침전 시간이 필요하였다. 이와 같은 결과는 이들 지역의 시료 특성상 초기 고탁도를 유발시키는 토양들이 쉽게 침전 되지 않는 작은 미립자성 광물질을 다량 함유하고 있음을 의미하며, 이들 입자들이 장시간 수중에 분산되어 수질 악화의 직접적인 원인이 된다.



St.1 : Samsan, St.2 : Dapgok, St.3 : Wollli, St.4 : Okgye, St.5 : Heunggu, St.6 : Sinheung, St.7 : Deokcheon

그림 2. 침전시간에 따른 pH 변화



St. 1 : Samsan, St. 2 : Dapgok, St. 3 : Wollli, St. 4 : Okgye, St. 5 : Heunggu, St. 6 : Sinheung, St. 7 : Deokcheon

그림 3. 시간경과에 따른 탁도의 변화

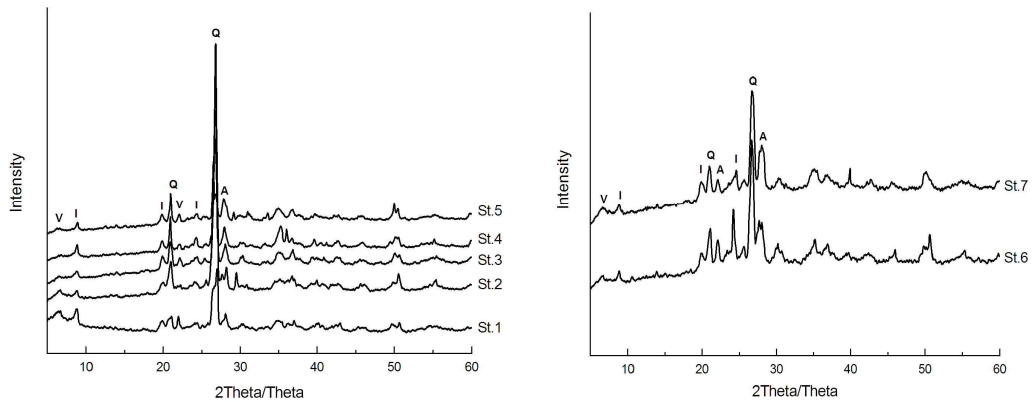
원리교(St. 3) 시료의 경우, 초기에 400 NTU 이상의 높은 탁도를 유지하였으나 침전 30시간 시점에서는 초기 탁도가 55 NTU로 가장 낮은 덕천교(St. 7) 시료와 유사한 경향을 보여주었으며, 침전 시간 30시간 이후 시점에서는 타 지역 시료에 비하여 낮은 탁도값을 보였다. 이와 같은 결과는 토양 속에 포함되어 있는 광물질의 특성에 따라 초기에 고탁도를 유발시켜도 수중에서 미립자로 존재하는 광물질의 양이 소량이면 탁도가 수질 악화에 직접적인 원인으로 작용하지 않는 것으로 사료된다.

탁수지역의 토양들은 대부분 수중에 분산과 동시에 높은 탁도를 유지하는데 비하여 청정수역의 토양들은 대부분 수중에 분산 시 낮은 탁도를 유지하였다. 이와 같이 토양이 수중에 분산됨과 동시에 고탁도를 유지하는 지역의 토양들이 시간의 경과함에 따라 침전되는 속도 또한 늦게 나타났다. 탁수지역의 토양들은 침전 시간이 경과함에 따라 일정한 탁도 제거율을 보여줌으로 침전 시간별 탁도 제거율의 경향이 유사하였으나 청정지역은 초기에 발생된 탁도가 침전 시간

이 경과함에 따라 큰 차이를 보이지 않고 있다. 이와 같은 원인은 탁수지역의 시료들은 0.5~500 μ m 까지 다양한 분포를 갖는 입자 크기의 토양들이 균일한 비율로 혼합되어 있음을 의미하며, 청정 수역 시료는 주로 24시간에 걸쳐 서서히 침전이 발생되는 수 μ m 입자 분포가 적음을 의미한다.

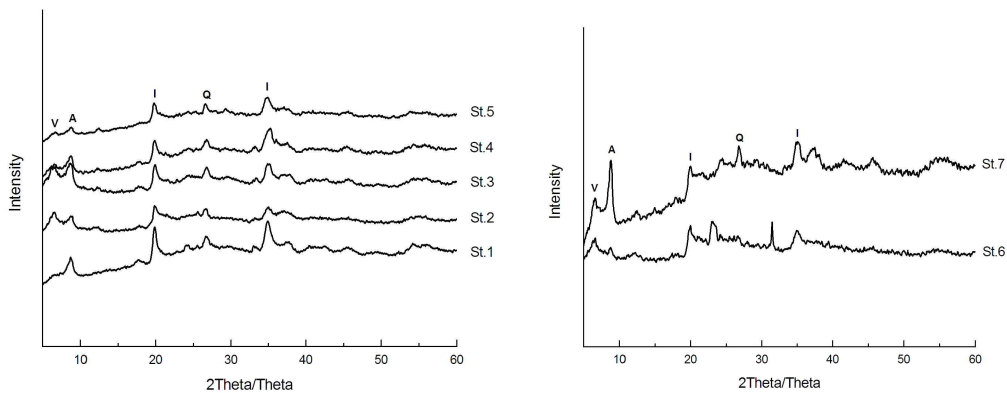
3.3 XRD 분석결과

임하댐 상류 지역의 탁수지역과 청정지역을 나누어 7개 지점 토양에 대하여 수중에 분산 직, 후 부유된 시료와 3일간 침전 후 부유된 시료에 대하여 XRD을 분석함으로써, 수중에서 장시간 침전되지 않고 분산되어 있는 광물질의 성분을 확인하였다(그림 4, 그림 5). 수중에 분산된 직 후 부유시료에서는 대부분 지역에서 석영(Quartz), 일라이트(Illite) 및 알바이트(Albite)가 존재하였다. 탁수 지역인 영양일대에서 채취된 시료(St. 1~St. 5)는 짙은 적갈색 토양이며, 청정 수역인 청송일대에서 채취된 시료(St. 6, St. 7)는 대부분 모



V : Vermiculite, I : Illite, Q : Quartz, A : Albite,
St. 1 : Samsan, St. 2 : Dapgok, St. 3 : Wollli, St. 4 : Okgye, St. 5 : Heunggu, St. 6 : Sinheung, St. 7 : Deokcheon

그림 4. 침전초기 XRD 분석 결과



V : Vermiculite, I : Illite, Q : Quartz, A : Albite,
St. 1 : Samsan, St. 2 : Dapgok, St. 3 : Wollli, St. 4 : Okgye, St. 5 : Heunggu, St. 6 : Sinheung, St. 7 : Deokcheon

그림 5. 침전 3일 후 XRD 분석 결과

래성분의 토양으로 이루어져 있다. XRD 패턴에서 확인 할 수 있듯이 청정 수역의 토양에 비하여 탁수지역의 토양에서 일라이트(Illite)가 더욱 발달되어 있는 것으로 확인 되었다. 청정 수역에서도 침전되지 않고 부유되어 있는 대부분의 광물질 또한 일라이트(Illite)인 것으로 조사되었다.

Sedmale 등(2006)에 의하면 일라이트(Illite)는 칼슘 탄산염과 마그네슘 탄산염 광물들의 함량에 따라 2종류로 분류되는데, 임하댐 상류에 분포된 일라이트(Illite)는 주로 칼슘 탄산염이 많이 함유된 일라이트(Illite)인 것으로 확인되었다. Alvarez-Puebla 등(2005)의 연구 결과에 의하면 일라이트(Illite)의 결정상 가장 큰 피크 분석은 (002)면에 10.06 Å d-value를 갖는다고 보고한 바 있는데, 임하댐 상류에 분포된 일라이트(Illite) 또한 이와 일치되고 있다.

3일간 침전 후 상등액의 시료에서는 가장 큰 비중을 차지하던 석영(Quartz)은 현저히 감소하고 일라이트(Illite)가 가장 큰 비중으로 확인 되었다. 특히 청정지역의 St. 6 지점의 경우, 석영(Quartz)은 거의 나타나지 않았으며, 대부분 일라이트(Illite)만 관찰되었다. 임하댐 유역의 주요 광물 성분은 점토광물로서 주로 석영, K장석, 사장석, 일라이트(Illite) 및 녹니석으로 알려져 있다(황상구 등, 2006). 이와 같은 결과로 보아 임하댐 상류지점 대부분의 토양에서 일라이트(Illite)가 존재하며, 이들은 장시간에 걸쳐 수중에 부유되어 침전되지 않는 것으로 나타났다.

3.4 SEM-EDS 분석 결과

탁수지역 및 청정지역의 토양을 증류수에 분산시킨 후 부유된 탁수 유발 물질들에 대한 구성원소의 변화에는 대부분 큰 차이점을 보이지 않고 있었다. 표 1에서 보는 바와

같이 각 지점별 시료를 분산 직 후, 상등액 시료와 3일 동안 침전 후, 상등액 시료의 원소 분석 결과는 현저한 차이를 보이고 있으나 탁수 지역과 청정지역 간의 현저한 차이점은 보이지 않고 있었다. Na₂O는 3일 침전 후 전 지점에 대하여 약 1/2 정도 감소하였으며, MgO는 약 2배 이상 증가한 현상을 보이고 있었다. Al₂O₃는 대부분의 지점에서 증가하는 양상을 보이고 있었으며, K₂O와 SiO₂는 대부분 감소하였다. 3일 경과 후 CaO는 청정지역인 청송의 신흥지역(St. 6)이 10배 이상 증가하였으며, 이는 XRD 결과와 비교 분석 시 칼슘염으로 이루어진 일라이트가 다량 부유되어 있다고 사료된다. 그 외 대부분의 지점에서도 2배 이상 증가한 경향을 보이고 있었다.

이와 같이 CaO의 현저한 증가 양상은 SiO₂로 구성된 석영(Quartz)성분이 침전되고 칼슘이 함유된 광물질이 부유되어 있음을 의미한다. Fe₂O₃는 대부분 지점에서 증가하였다. 탁수지역과 청정지역 모든 지점에서 SiO₂는 침전 전 후 전체적으로 가장 많은 양을 차지하였으며, 침전 전 약 55% 이상 차지하던 SiO₂ 비율이 3일 침전 후 20% 이상 감소되었다. CaO, Fe₂O₃, K₂O, Al₂O₃ 및 MgO는 상대적으로 증가하는 추세를 나타내었다. 이와 같은 결과로 보아 초기에 부유되어 있던 석영(Quartz)과 일라이트(Illite) 중 시간의 경과에 따라 석영(Quartz)은 쉽게 침전되지만 일라이트(Illite)는 침전되지 않고 부유되어 있는 것을 알 수 있었다.

일라이트 광물은 물속에서 작은 판상모양으로 형성되어 있으므로 넓은 비표면적을 갖는 동시에 침전이 잘 되지 않는 특성이 있다. 특히 농업분야에서 무기질 비료로 널리 활용(Barbro 등, 2007)되고 있어 홍수시 수계 유입되어 탁수 발생 원인이 되기도 한다. 넓은 비표면적 특성으로 인하여

표 1. 침전 초기와 3일 후 EDS 시험 결과

지점	침전시간	Compound (%)						
		Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
St. 1	0hr	1.32	1.49	15.47	61.23	4.88	0.85	14.77
	3day	0.39	2.21	23.24	43.65	9.48	1.89	19.13
St. 2	0hr	1.13	1.70	14.95	63.08	3.41	1.43	14.29
	3day	0.44	2.82	23.55	42.42	4.85	4.33	21.59
St. 3	0hr	1.44	1.28	16.72	60.55	3.95	1.09	14.96
	3day	0.55	2.39	25.28	43.77	6.47	2.90	18.63
St. 4	0hr	1.63	1.58	15.59	59.95	4.42	0.93	15.91
	3day	0.60	2.87	22.86	44.43	6.88	2.20	20.16
St. 5	0hr	1.80	2.32	14.87	58.13	4.49	3.14	15.27
	3day	1.03	4.06	18.25	40.60	7.06	10.33	18.68
St. 6	0hr	2.22	0.85	17.83	60.47	4.99	1.93	11.71
	3day	0.86	2.06	20.21	42.05	6.58	11.56	16.68
St. 7	0hr	1.94	1.76	18.07	55.90	4.77	1.55	16.01
	3day	0.88	2.88	22.23	41.22	5.87	2.39	24.53

(Ramon 등, 2005) 새로운 membrane filter로 개발 되고 있다 (Khemakhem 등, 2007). 또한 일라이트는 구리, 납 및 카드뮴과 같은 중금속을 흡착하는 특성으로 인하여 중금속 흡착제로 연구 되어 지고 있다(Xueyuan Gu 등, 2007). 김연정 등(2007)은 반변천 상류 주변 토양을 이용한 중금속 이온 흡착제거 특성을 연구하여 구리, 아연, 카드뮴의 제거 효율이 98% 이상으로 나타난 결과를 얻을 수 있었다. 이와 같은 결과 또한 반변천 상류 주변 토양에 일라이트 성분이 다량 함유되어져 있기 때문이라 사료된다.

4. 결론

임하댐 상류지역의 탁수지역으로 알려진 영양일대 5개 지점과 청정지역으로 알려진 청송일대 2개 지점의 토양을 대상으로 광물학적 침전특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 탁수지역 토양에는 다소 pH가 높게 나타나는 경향을 보이고 있었으나 시간이 경과하면 청정지역과 비교 결과 큰 차이점은 나타나지 않았다. 그러나 침전 시간의 경과에 따라 탁수지역은 전반적으로 pH가 감소했다가 다시 상승하는 경향을 보이는데 비하여 청정지역은 모든 지역의 시료에서 같은 경향을 나타내지 않았다.
- (2) 탁도는 침전 시간의 경과에 따라 탁수지역의 토양들은 초기에 고탁도를 발생시키면서 빠른 침전성을 보였으나, 청정지역 토양들은 초기부터 저탁도를 유지하면서 침전성을 보였다.
- (3) 7개 지점의 토양을 증류수에 분산시켜 3일간 침전 시간 후 부유되어 있는 입자들의 특성을 분석한 결과, 탁수지역과 청정지역의 부유물들은 대부분 일라이트(Illite)만이 존재하였다.
- (4) 원소분석 결과 모든 지점에서 침전 전 다량의 SiO₂로 구성되었던 광물질들이 3일간 침전 후, SiO₂의 함량은 20%이상 줄었고, 일라이트의 주요 구성성분인 K₂O, MgO, CaO, Al₂O₃ 및 Fe₂O₃의 함량은 상대적으로 증가하였다. 따라서 탁수지역에서 장시간 침전되지 않고 탁도를 유발시키는 주요 광물질은 일라이트(Illite)로 판단된다.

참고 문헌

1. 김연정, 황해연, 김윤희, 류상훈, 백승철, 서을원 (2007), 반변천 상류 주변 토양의 중금속 이온 흡착제거 특성, *한국지반환경공학회논문집*, Vol. 8, No. 2, pp. 5~9.
2. 김정진, 정용식, 김정근, 이상욱, 김영훈 (2007), 강우 강도에 따른 임하댐 및 안동댐 유입하천의 탁도 변화와 탁도 유발물질의 광물학적 특성 연구, *한국광물학회지*, Vol. 20, No. 3, pp. 213~222.
3. 신재기, 강창근, 황순진 (2003), 팔당호에서 수중 탁도의 일 변동과 고탁수의 입자 분포, *한국하천호수학회지*, Vol. 36, No. 3, pp. 257~268.
4. 우의, 박혁진 (2004), 옥천대지역 -제천·금산·김천-에 분포하는 화강암 및 화강 편마암의 풍화분류에 관한 고찰, *대한자원지질학회지*, Vol. 37, No. 3, pp. 355~364.
5. 이상수, 김수진 (2002), 온산공업지역 산성 토양 프로파일 내에서의 점토광물의 생성과 중금속 이온의 거동에 관한 광물학적 연구, *한국광물학회지*, Vol. 15, No. 1, pp. 1~10.
6. 추창오, 고은영, 오수진, 이성우, 김병기, 이지은, 김영규 (2006), 2004년 가창댐 탁수의 원인과 부유물질의 환경지질학적 특징, *한국광물학회지*, Vol. 19, No. 1, pp. 49~61.
7. 황상구, 정기영 (2006), 안동 임하댐 유역의 지질과 임하호 고탁수의 원인, *대한자원환경지질학회지*, Vol. 39, No. 6, pp. 771~786.
8. Barbro Ulen and Sven Snall (2007), Forms and Retention of Phosphorus in an Illite-Clay Soil Profile with a History of Fertilisation with Pig Manure and Mineral Fertilisers, *Geoderma*, Vol. 137, pp. 455~465.
9. Sedmale, G., Ingunda Sperberga, Uldis Sedmalis and Zenonas Valancius (2006), Formation of High-Temperature Crystalline Phases in Ceramic from Illite Clay and Dolomite, *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 26, pp. 3351~3355.
10. Alvarez-Puebla, R. A., David, S. dos Santos Jr., Carolina Blanco, Jesus, C. Echeverria and Julian J. Garrido (2005), Particle and Surface Characterization of a Natural Illite and Study of its Copper Retention, *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 285, pp. 41~49.
11. Khemakhem, S., Amar, R. Ben and Larbot, A. (2007), Synthesis and Characterization of a New Inorganic Ultrafiltration Membrane Composed Entirely of Tunisian Natural Illite Clay, *Desalination*, Vol. 206, pp. 210~214.
12. Xueyuan Gu and Les J. Evans (2007), Modelling the Adsorption of Cd(II), Cu(II), Ni(II), Pb(II) and Zn(II) onto Lithia Illite, *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 307, pp. 317~325.

(접수일: 2009. 11. 25, 심사일: 2009. 12. 11, 심사완료일: 2010. 1. 12)