

2004년 가창댐 탁수의 원인과 부유물질의 환경지질학적 특성

Environmental Geological Characteristics of Suspended Matter and Turbidity Water at Gachang Dam in 2004

추 창 오 (Chang Oh Choo)¹ · 고 은 영 (Eun Young Koh)¹ · 오 수 진 (Soo Jin Oh)¹ ·
이 성 우 (Seong Woo Lee)¹ · 김 병 기 (Byoung-Ki Kim)¹ · 이 지 은 (Ji-Eun Lee)¹ ·
김 영 규 (Yeongkyoo Kim)^{1,*}

¹경북대학교 지질학과

(Department of Geology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea)

요약: 본 연구는 댐으로 유입되는 하천수의 수질과 부유물질의 특성 분석을 통하여 댐의 탁수발생 원인을 환경지질학적으로 규명하는 데 있다. 이를 위하여 2004년 5월부터 8월까지 3회에 걸쳐 가창댐의 본 댐 유역, 수변과 상류지역의 토양, 암석, 유입하천을 대상으로 댐 원수와 하천수, 토양, 암석, 부유물질의 특성을 ICP, IC, 입도분석기, XRD, SEM로써 분석하였다. 상류에서 하류로 갈수록 EC, 탁도, 양이온, 음이온의 농도가 증가하는데, 이는 풍화와 같은 지질학적인 영향으로 이온들의 총량이 증가하기 때문이다. 부유물과 토양내의 주 광물조성은 질석, 일라이트, 카올리나이트, 석영, 장석, 철수산화물 등이었다. 토양의 경우, 상류에서 하류로 갈수록 세립질 10% 구간(d10)의 입자의 양이 약간 증가하며, 부유물은 댐에 가까워질수록 질석의 함량이 증가한다. 그러나 본 유역을 구성하는 암석은 대부분 유사함을 보이고 이러한 지질분포특성에 의하여 부유물과 토양의 광물조성의 변화는 거의 나타나지 않는다. 부유물을 구성하는 점토광물들은 주변의 토양 구성광물과 유사하며 주변 모암의 풍화작용에 의해 생성된 토양으로부터 유래된 것을 지시한다.

주요어 : 가창댐, 탁수, 부유물질, 질석, 일라이트

ABSTRACT: This study was undertaken to investigate the origin of suspended matter to induce turbidity water in Gachang dam in view of environmental geology. During the period from May to August 2004, field works and sampling were carried out three times at the dam and along its streams, and chemical and mineralogical analyses such as ICP, IC, particle size analyzer, XRD and SEM were made on water, soil and suspended matter in water. Electrical conductivity (EC), turbidity, the contents of cation and anion increase from upstream toward the dam mostly due to the geological factors such as weathering of the rocks causing the increase of the total ion content. Vermiculite, illite, kaolinite, quartz, feldspar and iron hydroxide are commonly found in suspended matters in water and soils. Finer particles (d10) in soil increase slightly toward downstream and the vermiculite content is highest in the dam water. Since geological differences are not significant,

*교신저자: ygkim@knu.ac.kr

mineralogy are similar in suspended matters and soils. Clay mineral compositions present in suspended matters were almost the same as those in soils, indicating the origin of soils by weathering of host rocks and being transported to the dam by stream water.

Key words : Gachang dam, turbidity water, suspended matter, vermiculite, illite

서 언

홍수시에 댐이나 호소로 유입되는 현탁입자는 저수용량의 감소, 부영양화 및 오염물질의 이동 등의 여러 가지 문제를 발생시킨다(Parker *et al.*, 2000; Bibby and Webster-Brown, 2005). 댐이나 호소에서 탁도를 유발하는 물질로는 토사류를 이루는 순수한 무기물질이 대부분을 차지하며, 그 외에 천연유기물 또는 산업폐수와 가정하수로부터 유입되는 각종 무기물, 유기물, 박테리아, 미생물, 조류(algae) 등도 탁도를 유발하는 물질이 된다. 최근 들어 간헐적으로 발생하는 하절기의 국지성 집중강우는 그 패턴을 정확하게 예측하기가 매우 어렵다. 특히 2003~2004년도에는 집중강우와 태풍의 영향으로 일부 댐들은 한번 탁도가 높아진 후에 고농도의 탁도가 장기간 지속되는 바람에 정수장의 효율적인 가동뿐 만 아니라 각종 산업용수, 농업용수 공급에 제동이 걸렸으며, 수생생태계에도 나쁜 영향을 미칠 것이라는 우려도 제기된 바 있다.

무엇보다도 지질학적 요소를 무시한 채 수계 발달과 담수량을 주요 근거로 입지를 선정하여 댐을 건설한 경우에는 홍수기나 호우시마다 주변지질로부터 고농도의 탁수가 형성되어 막대한 양의 부유물이 댐으로 유입된다. 예를 들어, 임하댐은 2003~2004년 동안에 발생한 고탁도가 수개월 이상 지속되어 댐의 기능제한과 환경문제로 상당한 어려움을 겪은 바 있으며, 최근까지도 탁수발생 저감을 위하여 대대적인 하천정비와 사면보강에 막대한 예산을 투입하고 있는 실정이다. 임하댐의 경우는 상류지역에 광범위하게 분포하는 백악기 세일층로부터 풍화침식된 다량의 콜로이드성 점토광물질이 댐에 유입된 후에도 쉽게 침강되지 않는 특성을 가지고 있다(한국수자원공사, 2004).

탁수가 자연적인 요인에 기인하는 경우에는 구역이 방대할 뿐만 아니라, 탁수의 원인이 다양하고 복잡한 기구에 의하여 발생하는 만큼

상당한 조사기간과 연구가 필요하다(Tattersall *et al.*, 2003). 즉 탁수를 발생시키는 다양한 외부기원의 일차적인 인자들을 규명하기 위해서는 장기간에 걸친 총체적인 수리학적, 지질학적 접근이 필요하다. 그 중에서도 저수지 관리상 탁수물질의 유입특성과 탁수물질 자체에 대한 특성규명이 선행되어야 한다.

현재 댐 탁수의 부유물에 대한 국내의 연구는 녹조와 같이 조류발생에 기인한 탁수연구를 제외하면 매우 드물며, 가창댐에 관한 수질변화 연구는 특정 지역에서 수심에 따른 수질변화를 다룬 것이다(김성곤, 2002). 그 이유는 그간 심각한 수준의 댐 탁수발생이 드물었을 뿐만 아니라 수리지질학적 차원에서 연구를 수행하지 않았기 때문이다. 임하호를 비롯한 퇴적암 세일지역에 건설되었거나, 건설 예정인 댐에서는 탁수가 이미 발생하였거나, 향후에 발생할 가능성이 높다. 최근에 드러난 댐 탁수문제는 댐건설과 지표수관리가 토목수리학 뿐 아니라 지질학적 특성도 상당히 중요함을 인식시키는 계기가 되었다.

대구시의 가창댐은 2003년 9월 태풍 ‘매미’가 지나간 직후 댐의 탁도는 허용기준인 30 NTU (Nephelometric Turbidity Unit)를 수심배나 초과하는 12,000 NTU까지 도달한 뒤, 6개월이 지난 2004년 상반기까지도 211 NTU를 유지하여 댐의 탁수가 장기간 지속되었다. 그로 인하여 댐의 원수를 정수하는 과정에서 많은 토사부유물로 인하여 정수비용이 증가하였고, 하루평균 5만 5000톤의 수돗물 생산량이 1만 5000톤으로 감소되어 대구시 수성구 일대의 수돗물 공급에 차질이 빚어진 바 있다. 가창댐이 고농도의 탁수를 유지하고 있는 원인에 대해서는 홍수기에 다량으로 유입된 부유물질에 기인한 것이라는 막연한 추론 외에는 지질학적인 접근해석이 이루어지지 않은 상태에 있다.

본 연구는 강우시에 가창댐으로 유입되는 하천수의 수질과 부유물질의 특성을 통하여 댐의 탁수발생 원인을 규명하는 데 있다. 이를 위하

여 2004년 5월부터 8월에 걸쳐 가창댐의 본 댐 유역, 수변과 상류지역의 토양, 암석, 유입하천을 대상으로 댐 원수와 하천수, 토양, 암석, 부유물질의 특성을 분석하였다.

연구지역

가창댐 개요

대구광역시 달성군 가창면 용계동과 오동에 걸쳐 있는 가창댐은 1918년 3월에 오동의 남산인 청룡산을 최고봉으로 하고 동쪽으로 654 m 고지와 245 m 고지, 서쪽으로는 624 m 고지를 연결하는 분수령에서 북쪽으로 경사진 지점에 축조되었다. 그 후 여러 차례에 증축과정을 거쳐 1986년 8월 16일에 식수전용 저수지로 완공되었는데, 댐축 길이 210 m, 댐높이 28 m, 높이 28 m, 넓이 8 m, 유효수심 14 m (고수위 123 m, 저수위 109 m), 만수면적 240,000 m², 집수면적은 43 km³, 저수용량은 910만톤 규모이다. 취수탑은 내경 24 m, 높이 27 m로 원형 철근콘크리트조로 이루어져 있으며, 댐의 취수구는 500 mm 4개, 취수터널은 폭 2 m, 높이 2 m, 길이 220 m로 구성되어 있고, 자연유하식으로 도수관을 통해 수성구 가창 신정수장으로 도수된다.

수계 및 지질

가창댐과 그 주변의 광역지질은 중생대 백악기 하양층군, 유천층군, 불국사 화강암류로 구성되어 있다(그림 1). 그러나 본 조사지역에 해당하는 본 댐, 상류하천과 수변구역, 댐에 영향을 주는 분수령 전체구역은 화성암으로 이루어져 있다. 풍화에 상대적으로 강한 화성암 분포지는 고지대를 형성하여 하천의 상류지역을 이룬다. 사면의 경사는 급한 편으로 평균 40도 이상의 고각이 주를 이루며, 수직절리와 수평절리가 국부적으로 관찰된다. 고지대의 중사면 이상에는 절벽과 테일러스(talus)가 발달하며 급경사 지역이 많다. 토양발달은 산사면의 하단부와 하천인근을 따라 발달한 소폭의 경작지 제외하고는 전반적으로 불량한 편이다. 하천의 최상류는 비슬산 북동부 중단부에서 발원하는데 분수령 인근은 유동안산암질 각력암을 경계로 화강반암으로 이루어져 있으며, 그로부터 하류 쪽인 수계와

가창댐 수변구역은 관입석영안산암질 각력암으로 이루어져 있다. 댐수변 상류의 일부 지역은 석영몬조나이트를 포함한다. 수계 중 대표적인 지류는 북서에서 남동방향(본류 왼쪽의 지류), 남동에서 북서방향으로(본류 오른쪽의 지류) 발달하며, 이들은 남서에서 북동쪽으로 발달하고 있는 본류에 합류된다.

연구방법

야외조사 및 시료채취

가창댐과 가창댐 인근의 광물학적인 및 수리지질학적인 특성분석을 위하여 2004년 5월부터 8월 기간 중에 토양과 물 시료채취가 이루어졌다. 점토질의 미세입자는 공극이 포화되거나 강우강도가 강한 경우에 토양으로부터 잘 빠져 나오기 때문에 탁수시료 채취는 조사일 이전 및 당일의 강수량 및 태풍의 영향 등을 고려하여 3차례에 걸쳐 이루어졌는데 이는 각각 갈수기, 장마기(우기), 태풍 통과 직후였다. 시료채취 일주일 전부터 당일까지의 강수량(대구기상대 기상연보, 2004)은 1차 시료채취 전 일주일 동안에는 1.0 mm, 2차에는 46.0 mm, 3차에는 333.3 mm였다. 또한 1차 시료채취 전 24시간 이내 동안의 강수량은 0 mm, 2차 시기에는 40 mm, 3차 시기에는 125 mm가 기록되어 2차 및 3차 조사시 토양유실이 쉽게 발생할 수 있는 조건이었다.

시료채취는 하천분수령의 최상류지점(P1)으로부터 하천이 본 댐에 합류된 후 본격적인 댐을 형성하는 부분인 댐 중단부(P8)까지 순차적으로 이루어졌으며, 본류와 합류하는 지천의 경우 본류와 해당 지천에서 각각 채취하였다(그림 1). 댐수역 최하단부에 해당하는 제방 선착장 부근(P9)에서도 시료를 채취하여 하천수와 댐의 수질과 부유물질의 특성을 비교하였다.

1차 시료채취는 갈수기인 2004년 5월 26일에 이루어졌으며 물시료 10개와 물시료를 채취한 인근지역에서 1차에 한하여 토양시료 10개, 각 지질별로 암석시료를 3개를 채취하였다. 2차 시료채취는 7월 15일, 3차 시료채취는 태풍 '메기' 통과 직후인 8월 23일에 각각 물시료 10개를 채취하였다. 토양시료는 하천인근에서 탁수물질을 공급하기 쉬우며, 토양유실에 취약한 사면을 대상으로 1 kg 채취하였으며, 암석시료는 지질본

포와 풍화진행 양상을 관찰에 적합한 부분을 채취하였다.

분석방법

채취한 물시료와 토양시료, 암석시료를 가지고 야외측정, 시료채취, 실내분석 등을 포함한 종합적인 연구가 수행되었는데 물시료는 현장에서 온도, pH, Eh, EC를 측정하고, 실험실로 운반하여 탁도를 측정한다. 0.45 μm 멤브레인 여과지로 부유물질을 걸러낸 후 실내 실험을 수행하였다. 수질분석용으로 여과한 물시료는 질산(HNO_3)으로 산처리하여 양이온 분석을 하였고, 다른 하나는 산처리 없이 음이온 분석을 하였다. 양이온은 ICP를 이용하여 Pb, Li, Na, K, Mg, Ca, Sr, Ba, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Ag, Zn, Cd, Al, Bi, As, Si를 분석하였고, 음이온은 IC를 이용하여 F, NO_3 , Cl, SO_4 를 분석하였다.

필터링을 하지 않은 물시료 원수는 DRT-15CE Turbidimeter를 이용하여 탁도를 측정하였고, 30 NTU가 넘는 물시료에 한하여 원심분리를 통해 물시료 내에 있는 부유물질을 농집시켰다. 이들 시료는 추후 입도분석, X선 회절분석(XRD) 및 전자현미경 관찰에도 사용되었다.

채취한 토양시료는 토양양정 시험법에 따라서 토양시료 5 g과 증류수 30 mL를 혼합한 뒤 30분 후에 pH를 측정하였다. 토양시료는 74 μm 와 980 μm 의 체분석을 실시한 뒤 각각의 중량을 측정하여 전체 토양시료에 대한 함량을 백분율로 구하였으며, 980 μm 를 통과한 세립시료를 대상으로 다음과 같은 3가지 실험을 추가로 수행하였다. 세립 토양시료 50 g을 증류수와 함께 2 L의 혼탁액을 만들어 매스실린더에서 48시간에 걸쳐 입자의 침전속도를 측정하였고, 시작점과 48시간 도달 후에 혼탁액의 수위의 90% 지점에서 15 mL를 채취하여 탁도분석을 하였다.

이 연구에서는 미립질로 구성되는 탁수유발 물질의 특성 규명이 가장 중요한 부분이기 때문에 레이저입도측정기를 이용하여 탁수내 부유물질과 토양을 대상으로 극미립질까지의 입도측정을 실시하였다. 레이저 입도측정기는 입자의 크기에 따라 레이저빔의 산란각을 측정함으로써 0.02~2000 μm 범위의 극미립자의 크기와 분도분포를 연속적으로 측정할 수 있다. 또한 본 기기는 공학용체 분석과는 달리 표면적과 체적비

를 계산하기 때문에 극미립자~세립자 범위의 입도분포 측정에 매우 효과적이다. 본 측정에서는 Malvern사의 Mastersizer 2000을 이용하였으며, 시료를 1,000 mL 비커의 물에서 충분히 분산시킨 상태에서 측정하였다. 토양시료는 시료채취 당시나 실험실에서 전처리과정 중에 건조되거나, 입자가 서로 엉겨 붙어 있거나, 측정시 수중에서 응집되는 현상을 최대한 방지할 목적으로 초음파를 10분간 가하여 분산시킨 후 입도를 측정하였다. 그리고 시료마다 각 5회씩을 반복하여 측정함으로써 오차를 최소화시켰다.

탁수 부유물과 토양시료의 구성광물 감정을 위하여 XRD분석을 실시하였다. XRD (Rigaku Geigerflex RAD3-C, $\text{CuK}\alpha$)를 사용하여 3°에서 45°까지 0.02° 간격으로 10초씩 주사하여 측정하였다. 질석의 경우 보다 정확한 감정과 층간의 팽윤성을 실험하기 위하여 건조기에서 에틸렌글리콜을 이용하여 60°C하에서 24시간 동안 포화반응을 시켰다.

주사전자현미경(scanning electron microscope, SEM)과 에너지분산 스펙트럼(energy dispersive spectrum, EDS)을 이용하여 부유물질과 토양의 구성광물의 종류, 형태, 크기 및 조직을 관찰하고 화학성분을 분석하였다. 미세부유물질과 토양시료의 경우 대부분 미립질의 점토질이나 철수산화물로 구성되어있기 때문에 금을 이용한 표면코팅법을 사용하는 경우에는 해상도의 저하를 가져오기 쉽다. 본 연구에서는 백금으로 코팅한 시편을 제작하였다. SEM 관찰의 경우 Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM, HITACHI model S-4200)를 사용하였는데, 이는 기존의 SEM에 비해서 해상도가 탁월하다. FE-SEM 관찰시의 가속전압과 전류는 각각 20 kV 및 10 nA 조건이었다. 관찰시의 배율은 최대 50,000배까지 확대하였으며, 주로 100~10,000 범위의 배율에서 작업하였다. 지질별로 채취한 암석시료는 박편을 제작하여 편광현미경으로 암석의 종류와 풍화진행 특성을 관찰하였다.

결 과

수질특성

본 댐과 상류의 하천의 현장수질 측정과 양이

Table 1. Physical and chemical properties of waters (concentration unit: mg/L)

	P1	P3-2	P4-1	P4-2	P5	P8	P9	
pH	8.32	8.22	8.07	8.15	8.41	8.88	7.74	
EC	25.10	98.50	136.00	66.60	96.10	69.90	64.90	
NTU	1.15	2.09	159.00	2.00	30.50	20.60	97.00	
Na	2.31	3.67	4.30	3.40	3.81	3.07	2.92	
K	0.14	0.60	1.17	0.57	0.77	0.58	0.56	
Mg	0.78	2.49	3.28	1.37	2.26	2.39	2.42	
Ca	1.98	16.08	4.17	8.89	14.03	9.90	8.38	
Sr	0.01	0.07	0.08	0.03	0.07	0.04	0.04	
Ba	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	
Cr	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	First sampling
Fe	0.05	0.09	0.04	0.06	0.07	0.13	0.08	
Zn	0.07	0.10	0.05	0.08	0.04	0.08	0.04	
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Al	0.01	0.05	0.01	0.02	0.06	0.16	0.05	
Bi	0.61	1.17	0.14	0.44	0.04	0.85	0.32	
As	0.04	0.01	0.01	0.02	0.01	0.04	0.03	
Si	5.50	6.77	7.05	6.42	6.34	5.66	6.23	
NTU	1.31	11.50	17.80	5.42	35.70	27.30	31.50	
Na	1.84	3.15	2.83	2.88	3.19	2.83	3.06	
K	0.14	0.62	0.40	0.39	0.65	0.55	0.57	
Mg	0.73	1.15	1.38	1.07	1.42	1.58	2.07	
Ca	2.03	6.92	8.02	4.73	10.02	8.78	8.62	
Sr	0.01	0.03	0.03	0.02	0.04	0.04	0.04	
Ba	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
Cr	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	
Mn	0.00	0.03	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	Second sampling
Fe	0.05	0.06	0.11	0.06	0.16	0.11	0.17	
Zn	0.13	0.09	0.10	3.03	7.61	0.18	0.16	
Cd	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	
Al	0.07	0.10	0.11	0.04	0.22	0.11	0.16	
Bi	0.16	0.05	2.46	0.12	0.11	0.17	0.13	
As	0.01	0.03	0.07	0.04	0.03	0.09	0.06	
Si	5.83	7.90	6.83	7.48	7.09	6.71	6.59	
pH	6.33	6.28	6.49	6.35	6.39	6.44	6.34	
EC	21.00	33.10	41.00	28.90	33.80	55.60	56.00	
NTU	1.98	7.79	3.65	5.63	7.68	32.60	37.80	
Na	1.85	2.41	2.58	2.37	2.81	2.54	2.80	
K	0.23	0.32	0.24	0.25	0.32	0.57	0.59	
Mg	0.65	0.84	0.81	1.04	1.05	1.24	1.32	
Ca	1.70	2.97	4.13	3.36	3.19	7.16	7.74	
Sr	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	
Ba	0.02	0.03	0.10	0.03	0.03	0.04	0.04	
Cr	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	Third sampling
Mn	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	
Fe	0.05	0.13	0.06	0.09	0.11	0.43	0.51	
Zn	0.08	0.06	0.08	0.05	0.06	0.07	0.07	
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Al	0.03	0.14	0.05	0.09	0.12	0.72	0.76	
Bi	0.25	0.21	0.14	0.09	0.16	0.16	0.14	
As	0.02	0.06	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	
Si	5.12	6.45	6.43	6.40	7.97	6.82	6.98	

Unit of EC = μS

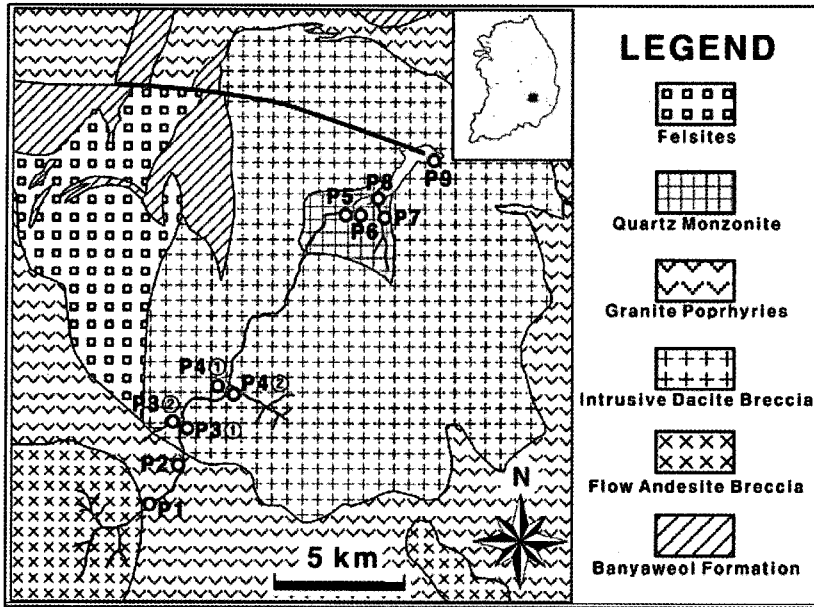


Fig. 1. Geological and sampling location map around Gachang dam, southern Daegu.

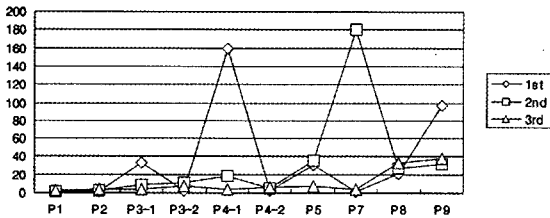


Fig. 2. Turbidities of water samples.

온에 대한 화학성분의 분석결과는 표 1에 나타난 바와 같다. 하천수와 댐의 pH의 경우 건기와 우기간에 큰 차이를 보여준다. 건기인 1차조사 시에는 7.74~8.88범위를 보이는데, 천부지하수가 계곡수로서 유출되는 최상류 지점(P1)의 pH는 8.32이고 댐 중단부(P8)는 8.88로서 높고, 댐 최하단부인 P9의 pH는 7.74이다. pH는 시료채취 지점과 시기마다 다양하여 뚜렷한 경향성은 나타나지 않는다. 태풍통과 시점인 3차조사시의 pH는 6.28~6.49범위를 보이는데 건기에 비하여 변동폭은 작으며, 강우의 영향으로 pH는 훨씬 낮다. 이 경우 본 댐 제방부(P9)에서도 6.5 이하로 비슷하게 나타난다. 이는 홍수기라서 짧은 시간 내에 상류로부터 다량의 하천수가 유입되며, 댐은 계속 방류를 하기 때문에 댐과 상류하천수의 수질은 큰 차이가 없는 것으로 보인다.

전기전도도(EC)의 경우 1차와 3차 모두 상류에서 하류로 갈수록 증가하는 경향을 보인다. 1차 조사시에는 25.1~136 μS 범위인데 최상류 지점(P1)은 25.1이고 댐 중단부(P8)는 69.9로서 하류로 갈수록 증가한다. 특히 지천이 합류하는 본류지점(P3-1, P4-1)에서 가장 높게 나타난다. 홍수기인 3차 조사시에는 21~56 μS 범위인데 최상류에서 중류로 가면서 약간씩 증가하는 경향이 있으나, 그 이후부터는 일관성이 없이 변동을 보인다. 댐 제방(P9)에서도 전기전도도가 높게 나타나지만, 이 수치도 일반적인 하천수의 범위에 들어간다.

Eh측정은 1차 조사시에만 이루어 졌는데 Eh 범위는 일반적인 하천수의 Eh값과 유사하며, 대기에 노출된 산화환경을 지시한다.

탁도의 경우 전반적으로 조사시기에 상관없이 상류에서 하류로 갈수록 점진적으로 증가하는 경향을 보인다(그림 2). 탁도의 경우 1차 및 2차 조사시에 중류에서 변동폭이 크지만 최상류는 매우 깨끗한 수질을 보인다. 1차 및 2차의 높은 탁도는 2003년 태풍 '매미'의 피해 복구 공사가 진행됨으로 인하여 공사구간에서 특히 높게 나타나고 있다. 댐의 경우 1차 조사시 탁도는 97 NTU로서 비교적 탁한 상태를 유지하였으나, 2, 3차 조사시에는 상당히 감소한 것이 특

Table 2. Anion concentrations of stream and dam waters (concentration unit: mg/L)

	F	Cl	NO ₃	SO ₄	total		
P1	0.26	1.47	2.47	4.10	8.30	First Sampling	
P3-2	0.06	2.52	3.55	7.14	13.27		
P4-1	0.07	3.26	6.58	10.82	20.73		
P4-2	0.00	1.89	3.50	4.54	9.93		
P5	0.07	3.00	5.73	7.66	16.45		
P8	0.00	2.13	3.50	5.59	11.22		
P9	0.01	1.63	4.15	5.40	11.18		
P1	0.03	0.73	2.30	2.78	5.84		Second Sampling
P3-2	0.09	1.50	2.44	4.05	8.07		
P4-1	0.01	1.63	3.55	4.60	9.79		
P4-2	0.05	1.94	2.45	3.84	8.28		
P5	0.07	1.53	3.54	5.57	10.71		
P8	0.20	1.97	3.25	5.21	10.62		
P9	0.01	2.11	3.72	5.74	11.59		
P1	0.01	0.93	1.96	2.50	5.40	Third Sampling	
P3-2	0.35	1.40	2.52	8.12	12.39		
P4-1	0.00	1.54	3.00	4.06	8.60		
P4-2	0.02	1.37	2.62	3.87	7.88		
P5	0.01	1.11	2.73	4.65	8.50		
P8	0.02	1.72	3.67	4.64	10.06		
P9	0.00	1.64	3.91	4.73	10.28		

징적이다. 이것은 2004년도 하절기로 가면서 2003년 태풍으로 유래되었던 가창댐의 부유물질들이 서서히 침강하고 있었기 때문인 것으로 볼 수 있다. 심지어는 홍수기에도 하천의 탁도는 댐 중단부(P8)를 제외하면 8 NTU 이하로서 상당히 깨끗한 수질을 보여준다. 이는 금번의 태풍통과 중에서 유실되는 토양의 양이 2003년에 비하여 적었기 때문에 하천수 중의 부유물질의 양도 미미한 상태임을 지시한다. 그러나, 본 댐에 와서는 유속이 매우 느려지므로 그동안 운반되어 온 입자들로 인하여 상대적으로 높은 탁도를 보인다. 특히 P8과 P9 지점에서는 탁도가 40 NTU에 육박하는 것으로 나타나는데 이는 댐 탁수의 허용측정 기준인 30 NTU를 초과하는 수치이다. 그러나, 이때가 홍수기인 점을 고려한다면 2003년의 태풍 '매미'에 비할 때 금번 태풍으로 인한 탁도발생은 미미하다고 볼 수 있다.

본 연구에서 양이온의 농도는 최상류에서 하류로 가면서 증가하지만 조사지점에 따라서 변동폭이 있어서 체계적인 일관성은 떨어진다. 전술한 바와 같이 전기전도도도 하류로 가면서 증가하는데, 양이온의 증가 양상과도 밀접히 관련된다. 즉 하류로 가면서 용탈되는 이온들의 총

량이 증가하기 때문에 양이온 함량과 전기전도도가 함께 증가하는 것이다. Ca는 다른 양이온들에 비해 상대적으로 뚜렷하게 증가한다. Ca가 급증하는 경우 모암이 안산암질 각력암 지역에서 더 뚜렷한데, 이로 볼 때 지질의 영향도 받는 것으로 해석된다. 즉 모암인 안산암질 각력암이 상대적으로 높은 비율의 Ca를 함유하고 있고 광물안정도가 낮은 Ca사장석을 많이 포함하고 있기 때문이다. 하류로 갈수록 풍화에 약한 Ca사장석의 용탈작용 때문에 Ca의 총부하량의 증가로 그 양이 증가하는 것으로 해석된다. 그러나 지질별로 명확하게 구분되는 수질특성은 관찰되지 않는다. 이는 수계가 짧고 경사가 급하며, 암질에 따른 구성광물의 차이가 거의 없기 때문에 충분한 물-암석반응을 반영하지 못하는 것으로 해석된다.

전체적으로 볼 때 홍수기인 3차 조사시 양이온의 절대값이 다른 시기에 비하여 낮았는데 이는 태풍의 영향으로 인해 단기간에 강수량이 급증하여 이온들의 농도가 희석되었기 때문이다. 그렇지만 양이온은 홍수기인 3차 조사시에도 하류로 갈수록 그 총량은 증가한다. Ca는 증가도가 가장 높으며, Si, Na 및 Mg도 점진적으로 증가

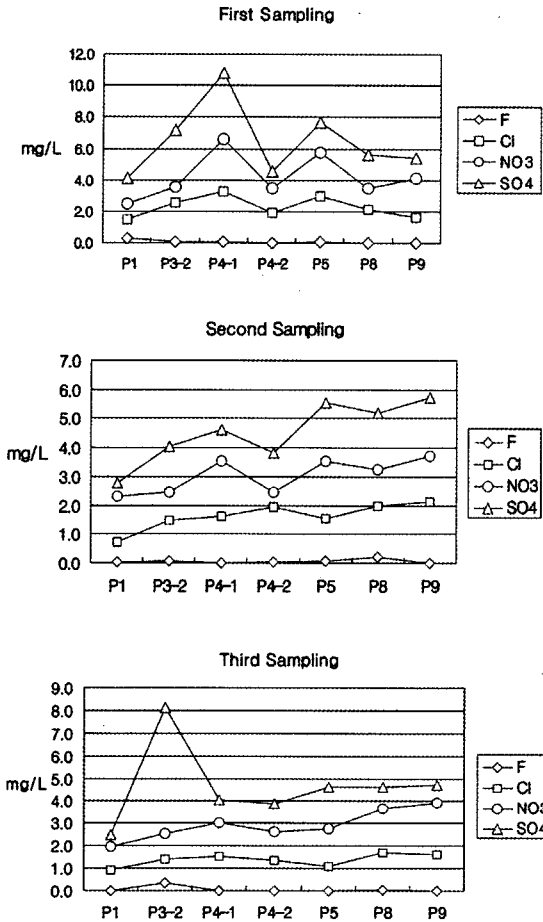


Fig. 3. Variations of anion concentration in stream and dam waters.

한다. 특이한 점은 Al이 2, 3차 조사시에 댐 내에서 미량으로 검출된다는 점이다. 이는 Al을 함유하는 콜로이드성 점토 미립자들이 분석여과지를 통과하거나, 수중에 미량으로 용해되어 있기 때문이다. 일반적으로 중성범위의 자연수에서 Al의 용해도는 매우 낮기 때문에(Drever, 1997; Langmuir, 1997), 실제로 이것이 물에 용해된 상태라고 판단하기에는 추가적인 정밀조사가 요구된다. 그러나 분명한 점은 홍수기 동안에 Al이 최하류와 본 댐의 저장수에서 탁수 발생이 현저한 경우에 검출되며, 그 함량도 다른 조사시에 비하여 더 높게 나온다는 점이다.

본 연구지역의 하천수와 댐에서 Ni, Co, Cu, Pb, Cd 와 같은 중금속 이온들의 함량은 거의 불검출이거나 극미량범위로 나타나는데, 이는

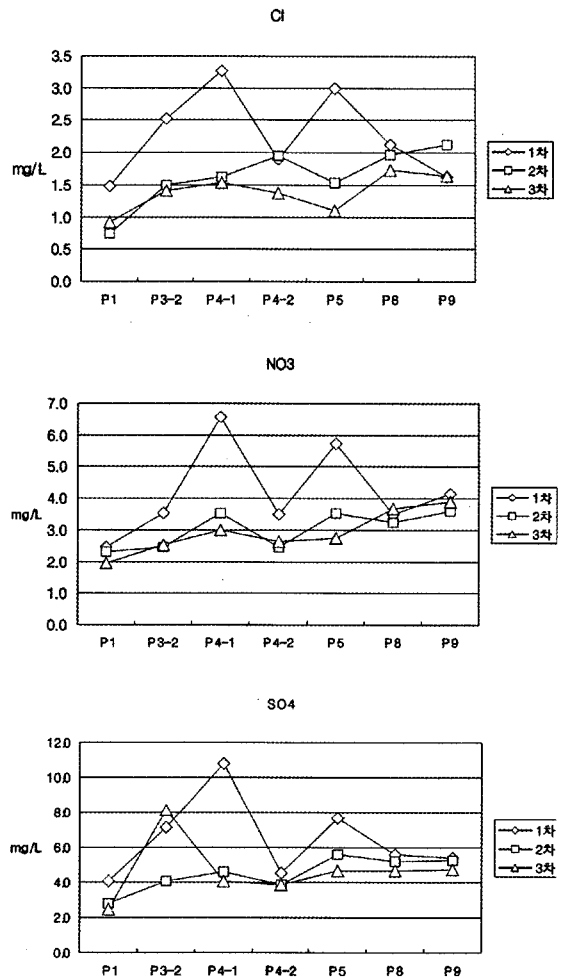


Fig. 4. Variations of anions with respect to sampling sites and investigation times.

일반적인 지질현상에 의한 자연수의 범위이다. 따라서 본 수계와 댐의 경우 인위적, 자연적인 요인에 의한 중금속 이온의 영향은 없는 것으로 판단된다.

음이온의 경우도 양이온과 마찬가지로 하류로 갈수록 그 농도가 전반적으로 증가하는 것으로 나타난다(표 2). 이는 인근의 농경지의 인위적인 요인과 더불어 풍화작용과 같은 자연적 영향에 의해 증가한 것으로 볼 수 있다. 주요 음이온들 가운데서 농도가 높은 순서는 SO₄, NO₃, Cl 및 F 순이다(그림 3). SO₄는 1차 조사시에는 P4-1까지는 증가하다가 이후에는 감소하며 2차 조사시에 점진적인 증가가 뚜렷하고, 3차 조사

Table 3. Particle size of suspended matters at 10 % finer range

sites	size (μm)	sampling times	geology
P3-1	2.235	second	dacitic breccia
P4-1	1.744	second	dacitic breccia
	1.029	first	
P5	2.901	second	quartz monzonite
	3.973	third	
P7	1.902	second	quartz monzonite
P8	1.041	second	quartz monzonite
	0.992	first	
P9	1.455	second	quartz monzonite
	2.071	third	

시에는 P3-2에서 급증하다가 다시 하강하여 점진적으로 증가한다(그림 4). NO₃는 최상류와 하류간에 2배로 증가하며 1차 조사시에는 일부지점에서 큰 변동 폭을 보이지만(1차 조사시 탁도의 증가가 일치하는 지점) 2차 및 3차 조사시에는 변동폭이 작았다. Cl은 최상류에서 P4까지는 2배로 증가하고, 역시 1차 조사시에 그 변동폭이 가장 크다. 이온들의 변동폭은 1차에서 가장 크고 2차 3차로 갈수록 작아진다. 특히 1차조사시 변동폭이 가장 크며 이는 탁도가 가장 높은 시료채취 위치와 일치한다. 즉 전체적인 증가가 아닌 부분적 음이온의 증가는 앞에서 서술한 것과 같이 2003년 태풍 ‘매미’의 피해 복구 공사로 인한 탁도 증가와 연관있으며 이는 하천퇴적물 내에 용해되어 있던 이온들이 하천수로 유입되어 생긴 결과로 판단된다. 불소는 P1, P3-2, P8에서 간헐적으로 0.2 mg/L를 초과하는 경우가 있으나, 조사시기에 따라서 증감의 폭이 커서 특정한 지점에서 농도의 일관성을 보이지는 않는다(그림 3). 각 조사기간을 통틀어 볼 때 0~0.35 mg/L 범위까지 나타나지만, 불검출인 지점이 여러 곳 있으며, 분석시료 총 21개 중에서 18개가 0.1 mg/L 이하로 나타나 일반적인 하천수의 수질에 해당한다.

암석 및 풍화

박편관찰 결과, 안산암질 각력암 화강반암 및 관입석영안산암질 각력암의 주 구성광물로는 석영, 장석, 운모류, 각섬석류 등이 공통적으로 관찰된다. 장석은 알바이트, 미사장석류가 주를 이

루고, 밀메카이트 조적도 관찰된다. 이들은 입자의 가장자리나 깨진 틈을 따라 건운모화 변질작용이나 풍화작용을 받았으며, 화산암류의 경우, 세립질인 기질부와 반정을 보인다. 반정은 외곽이 용식되거나, 깨진 틈을 보인다. 주 암석의 구성광물로 석영, 장석이 함유되어 있는것은 토양의 구성광물과도 잘 일치한다. 그러나 본 암석들은 석영함량이 높고 치밀하여 일반적으로 풍화에는 상대적으로 강한 것으로 나타났다.

입자의 침강특성과 입도분포

매스실린더를 이용하여 토양을 물에 분산시켜 입자의 침강속도를 측정된 결과, 각 지점마다 토양입자의 침강속도가 다르게 나타난다. 대부분의 시료에서 침강 3시간 경과후에는 부유물의 색이 옅어지는 경향을 보였다. 점토질 입자들이 여전히 부유상태에 있으며, 매우 느리게 침전하고 있음을 알 수 있다. 점토질 퇴적물의 침강속도를 Stokes 법칙에 적용한 Jackson (1969)의 실험에 따르면 5 μm 입자가 5 cm 침강하는데 37분, 2 μm 입자는 3시간 50분이 걸리는 것으로 알려져 있다. 본 침강실험에서도 이와 유사한 입자크기가 침강되는 것으로 볼 수 있다. 침강 44시간 경과후에는 탁도가 50~85%까지 감소한다. 이 정도의 시간이 경과한 경우, 부유물은 거의 0.1 μm 이하의 콜로이드성 입자로 볼 수 있다. 특히 P5와 P8 지점의 토양시료의 경우, 침강속도가 가장 느리다. 입도측정 결과에 따르면 이들 지점의 토양은 세립질 10% 구간의 입자함량비가 다른 지역에 비해 높게 나타난다.

입자의 크기를 레이저 입도분석기를 이용하여 측정된 결과는 표 3과 그림 5와 같다. 입도분포와 입자의 크기는 조사시기마다 다르며, 채취지점에 따라서도 일관성은 없다. 이는 댐과 하천에서 지속적인 흐름이 발생하며, 유량변동과 강우량의 차이가 크기 때문에 특정한 경향을 보이지 않은 것으로 해석된다. 그럼에도 입도분석 결과에 따르면 세립질 10% 구간의 입자는 대개 2 μm 이하로 나타난다. 이러한 미세립질의 점토광물들은 유수의 흐름이 있는 곳에서는 중력에 비하여 수평성분인 흐름요소의 영향이 커서 빨리 침강하기가 어렵다. 댐 하류로 갈수록 미세입자는 잘 가라앉지 않아 총량이 상대적으로 증가하게 되면 댐의 탁도에 직접적인 영향을 미

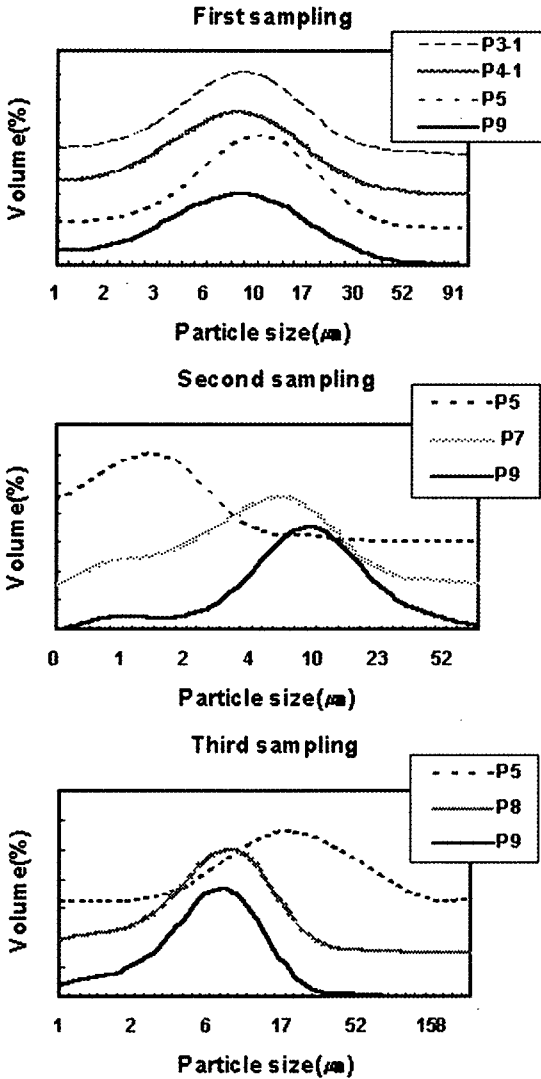


Fig. 5. Particle size distribution of suspended matters. Volume increment is marked as 2% interval.

치게 될 것이다. 이 같은 미세 입자들은 주로 점토광물로 구성되는데, 이들의 형태가 판상형이기 때문에 잘 가라앉지 않게 되며, 궁극적으로는 하천이나 댐의 표층수의 탁도에도 영향을 미친다. 홍수기인 3차 조사시의 입자는 다른 조사기에 비하여 다소 큰 편이 특징적이다. 이는 유속이 빠르고 유량이 풍부한 시기이므로 보다 조립질의 입자들도 운반능력이 증가한 유수에 의하여 쉽게 이동되기 때문이다(Van Put *et al.*, 1994).

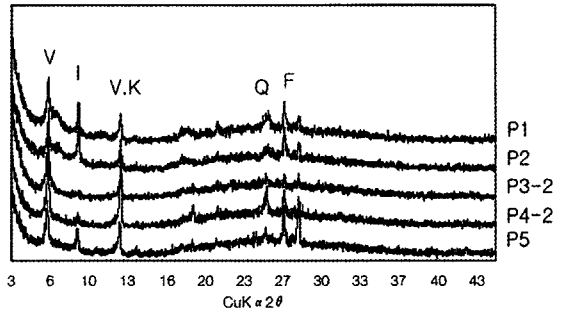


Fig. 6. X-ray diffraction pattern of soil samples. V: vermiculite, I: illite, K: kaolinite, Q: quartz, F: feldspar.

입자의 광물학적 특성

강우시에는 토양공극이나 입자표면을 피복하고 있던 점토광물과 철수산화 광물은 토양으로부터 쉽게 분리되어 유수에 의해 운반, 이동된다. 그러므로 점토질 광물의 종류와 함량비가 탁수발생의 가장 중요한 결정인자가 될 것이다. XRD 분석결과, 하천 유역 풍화토양의 경우 주로 석영, 장석을 비롯하여 질석, 일라이트, 카올리나이트와 같은 점토광물 및 철수산화물이 함유되어 있음을 보여준다(그림 6). 전체적으로 시료에 따른 광물조성의 차이는 인지되지 않는다. 단지 석영, 장석의 함량비가 약간 상이한 정도이며, 점토광물인 질석, 일라이트, 카올리나이트가 일정하게 산출된다. 이는 채취된 토양에는 조립의 쇄설성 입자가 상당량 포함된 상태이므로 석영과 장석 위주의 조암광물이 항상 포함되는데 기인된 것이다.

댐과 하천탁수내 부유물은 풍화토양의 광물 조합과 동일하다(그림 7). 탁수의 부유물은 쇄설성 광물입자인 장석과 석영을 제외하면, 거의 질석과 일라이트가 주를 이루며, 소량의 카올리나이트와 철수산화광물이 수반된다. 따라서, 탁수는 풍화토양으로부터 유래한 것으로 판단된다. 즉 풍화된 토양에 느슨하게 결합되어 있던 세립질의 콜로이드성 점토광물이 호우시에 토양공극으로부터 빠져 나와 유수에 실려 댐으로 운반되어 온 것으로 해석된다. 또한 상류에서 하류까지 하천의 지점에 따른 광물조성 변화도 거의 나타나지 않는다. 즉 유역내에서는 하천지점과 무관하게 탁수의 구성광물 조합은 동일하게 나타난다. 그러나 하류로 갈수록 질석, 일라이트

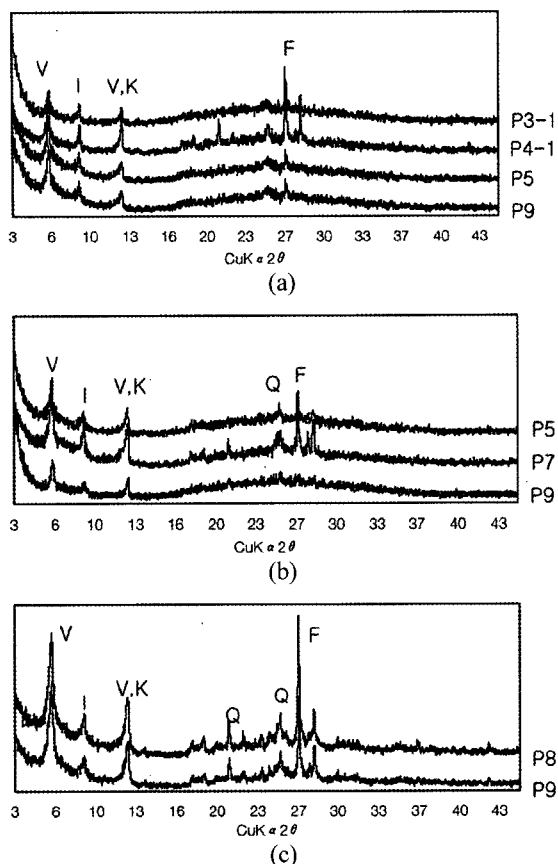


Fig. 7. X-ray diffraction patterns of suspended matters in stream and dam waters. (a) First sampling, (v) Second sampling, (c) Third sampling. V: vermiculite, I: illite, K: kaolinite, Q: quartz, F: feldspar.

트, 카올리나이트의 함량이 증가하며, 쇄설성 입자인 장석과 석영은 감소한다. 특히 질석의 함량은 댐에서 증가하는 특징이 있다. 3차 조사시에는 석영과 장석이 상당량 함유된다. 이는 홍수기이므로 쇄설성입자들이 유수에 다른 시기에 비하여 쉽게 운반되었기 때문이다(그림 7).

본 연구지역에서 가장 대표적인 탁수부유물인 P8시료에 대하여 에틸렌글리콜로 층간포화 실험을 실시한 결과(그림 8), 14 Å의 피크의 변화가 없는 것을 보여주며 이는 14 Å 피크가 스멕타이트가 아닌 질석의 피크임을 지시해 준다. 질석은 일라이트나 운모류의 풍화과정에서 잘 형성되는데(Velde, 1985), 본 댐에서 상대적으로 증가한 현상은 초기의 일라이트가 물 속에서 오

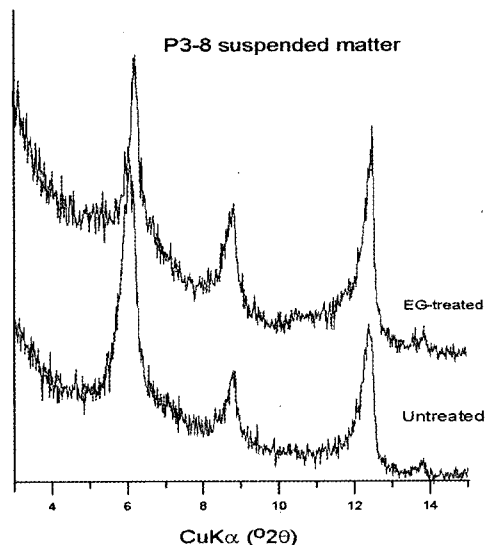


Fig. 8. XRD patterns showing vermiculite when treated with ethylene glycol. Sampling at P8 during the third investigation.

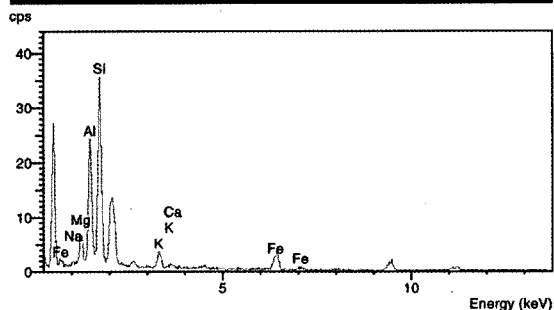
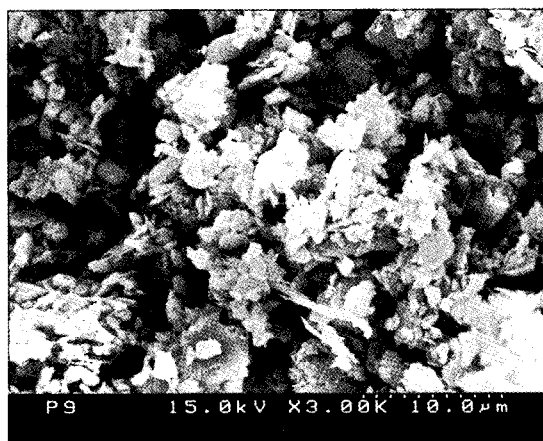


Fig. 9. SEM image of suspended matters at P9 and EDS. x 3,000.

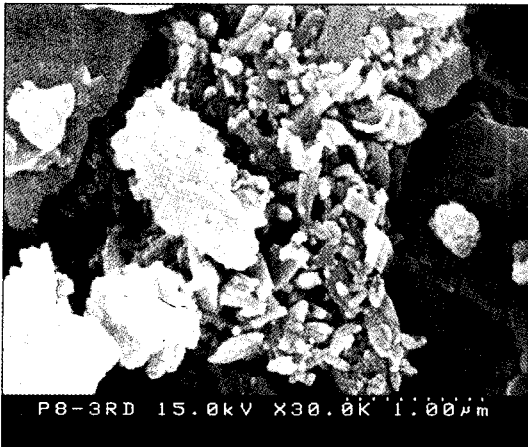


Fig. 10. SEM image of iron hydroxide and clay minerals. x 30,000.

랜 기간동안 노출되어 있으므로 풍화작용이 계속 진행되고 있기 때문으로 볼 수 있다. 이 같은 현상은 임하댐의 경우와도 비슷하다(한국수자원공사, 2004).

댐내 부유물, 하천탁수의 부유물 및 하천 인근의 풍화토는 전자현미경 관찰 및 화학성분 분석 결과, 지역에 따른 특이한 차이는 발견되지 않는다. 탁수내 부유물 입자들의 크기는 1~10 μm 범위가 가장 우세한데, 이는 전술한 레이저 입도 분석 결과와도 잘 일치한다. 부유물에 대하여 주사전자현미경(SEM)과 에너지분산 스펙트럼(EDS)분석을 실시한 결과, 대부분의 부유물 광물성분은 Si, Al, K, Mg, Fe, Ca, O 등으로 나타나 질석, 일라이트, 카올리나이트, 장석, 철수산화물 등인 것으로 감정되었다. 특히 가장 흔한 점토광물들은 엽편상의 형태를 띠어 이들은 전형적인 일라이트와 질석에 해당된다. 이같은 현상은 전술한 X선 회절분석 결과와도 잘 일치한다.

그림 9는 댐 내 전형적인 탁수부유물인 P9 시료를 주사전자현미경으로 관찰한 것이다. 입자들은 엽편상이나 판상이 주를 이루는데 신장된 2~3 μm 크기의 점토광물들이 치밀하게 엉겨 있음을 알 수 있다. 이들의 전체적인 부분에 대하여 EDS 분석을 실시한 결과에 따르면 atomic% 기준으로 볼 때 O 58.25, Mg 3.36, Al 11.23, Si 19.02, K 2.15, Ca 0.31, 및 Fe 5.25의 값을 보인다. 이로 볼 때 질석, 일라이트, 카올리나이트, 철수산화광물 등이 함유되어 있음을 알 수 있

다. 탁수입자들은 철수산화광물을 흔히 함유하게 되는데, 이는 탁수가 황갈색의 물빛을 나타내게 하는 주요인으로 작용한다. P8시료의 경우 폭 0.1 μm , 길이 0.5 μm 정도의 극미립질의 철수산화물의 집합체가 잘 관찰된다(그림 10).

토 의

하류로 갈수록 하천수의 EC, 양이온, 음이온의 농도가 증가하는데, 이는 토양의 공극수로부터 이온들이 강우에 의하여 용탈되어 운반되기 때문이다. 댐과 하천 부유물의 광물조성은 채취 지점과는 무관하게 풍화토양의 광물조성과 같다. 특히 탁수발생에 가장 중요한 요소인 점토광물은 토양, 하천수 및 댐의 부유물질에서 동일한 광물조합을 보이는데 이는 댐 상류 및 주변지역의 토양의 점토광물들이 강우에 의하여 유실된 후 유수에 의하여 댐으로 운반되었기 때문이다. 부유물을 형성하는 미세입자들은 물리화학적인 특성변화가 없는 상태에서 댐으로 운반, 이동된 것이며, 강우에 의하여 풍화토양으로부터 직접 유래한 것으로 보아야 할 것이다. 홍수기나 유량이 풍부한 계절동안에는 유속은 평균시속이 최소한 수 km이므로 본 수계처럼 지질이 비교적 간단하고, 영향을 주는 지천의 수가 적고, 하천구간이 짧은 구간의 경우에는 일단 분수령 영역의 토양이 유실되면 짧은 시간내에 부유물질은 댐까지 도달할 수 있다.

실제로 강우시에 유출되는 미세입자의 절대량이 댐 탁수의 형성에 영향을 주는데 본 댐의 경우, 3차 조사시처럼 태풍통과 직후에도 탁도가 비교적 낮았음을 고려할 때, 우려할 만한 수준의 고탁도를 유발한 자연적인 발생인자는 거의 없었다고 보아도 될 것이다. 즉 홍수기에도 최상류의 경우 탁도가 매우 낮은 수준이고, 하류로 갈수록 증가하지만 건기의 댐에 비하여서도 상당히 낮다. 이로 볼 때 2004년 8월 태풍통과 시에는 강우에 의하여 유실된 미세입자들의 양이 적었으며, 이로 인한 탁수유발 정도도 상당히 낮은 것으로 볼 수 있다.

이상과 같은 결과로 볼 때 가창댐의 본격적인 탁수가 장기간 유발된 것은 지난 2003년 9월 태풍 '매미' 당시에 상류의 산사태와 제방붕괴, 댐으로 대거 흘러 들어온 토사의 미세한 입자가 쉽게 가라앉지 않아 높은 탁도가 오랜 기간동안

유지된 것으로 볼 수 있다.

본 조사구역의 경우 암질분포와 토양발달 상태를 검토해 볼 때, 풍화가 진행되어 토양화가 되더라도 댐의 탁수를 발생할 만한 정도의 점토 광물이 대량으로 형성될 지질학적 조건은 아니다. 그러나 최근 빈번하게 발생하고 있는 국지성 집중강우가 동반된다면 통상적인 예측수준을 초과하여 산사태나 제방, 농지유실이 발생하면 토사유출에 따른 부유물의 총량이 급증하게 된다. 따라서 국내의 주요 댐의 경우 상류지역을 대상으로 심도있는 사면안정성 분석, 토양유실량 모델링, 토양과 탁수부유물의 광물학적 분석, 하천유출 특성을 종합하여 탁수유발물질의 최대 가능범위를 예측할 필요가 있다.

결 론

2004년 5월부터 8월 동안 3회에 걸쳐 가창댐의 본 댐 유역, 수변과 상류지역의 토양, 암석, 유입하천을 대상으로 댐 원수와 하천수, 토양, 암석, 부유물질의 특성을 연구한 결과는 다음과 같다.

상류에서 하류로 갈수록 EC, 탁도, 양이온, 음이온의 농도가 증가하는데, 주로 지질학적인 영향으로 이온들의 총량이 증가하기 때문이다. 부유물과 토양내의 광물조성은 질석, 일라이트, 카올리나이트, 석영, 장석, 철수산화물 등이다. 토양의 경우 상류에서 하류로 갈수록 세립질 10% 구간의 입자의 양이 약간 증가하며, 부유물내의 질석의 함량은 지속적인 일라이트의 풍화로 댐에서 증가한다. 유사한 암질로 구성되기 때문에 지질분포에 따른 부유물과 토양의 광물조성의 변화는 거의 나타나지 않으며, 탁도를 유발시키는 점토광물들은 주변 모암의 풍화작용에 의해 생성된 것들이 직접 하천으로 유출된 것으로 판단된다. 상류지역 토양과 부유물질의 광물학적 특성과 탁도결과를 종합해 볼 때, 가창댐의 경우 2003년 태풍 '매미'의 영향으로 탁도가 증가하였으며 2004년 당해 홍수기 동안 유입된 탁수 부유물질은 향후 가창댐의 탁도에 미치는 영향

이 크지 않을 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었으며(KRF-2004-015-C00571) 이 연구에 사용된 XRD와 FE-SEM은 한국기초과학연구원(KBSI)에서 수행되었다.

참 고 문 헌

- 김성곤 (2002) 가창댐 담수 수질의 연중변화. 경북대학교 산업대학원, 석사학위논문, 80p.
- 대구기상대 (2004) 기상년보.
- 한국수자원공사 (2004) 임하댐 탁수저감 방안 수립.
- Bibby, R.L. and Webster-Brown, J.G. (2005) Characterization of urban catchment suspended urban particulate matter (Auckland region, New Zealand); a comparison with non-urban SPM. *Sci. Total Environ.* 343, 177-197.
- Drever, J.J. (1997) *The Geochemistry of Natural Waters*. Prentice Hall. 436p.
- Jackson, M.L. (1969) *Soil Chemical Analysis- Advanced Course*. Madison, Wis, 895p.
- Langmuir, D. (1997) *Aqueous Environmental Geochemistry*. Prentice Hall, 600p.
- Parker, J.T.C., Fossum, K.D., and Ingersoll, T.L. (2000) Environmental audition-chemical characteristics of urban stormwater sediment and implications for environmental management, Maricopa County, Arizona. *Environ. Manage.* 2000, 26, 99-115.
- Tattersall, G.R., Elliott, A.J., and Lynn, N.M. (2003) Suspended sediment concentrations in the Tamar estuary. *Estuar. Coast. and Shelf Sci.* 57, 679-688.
- Van Put, A., Van Grieken, R., Wilken, R. and Hudec, B. (1994) Geochemical characterization of suspended matter and sediment samples from the Elbe River by EPXMA. *Water Res.* 28, 645-655.
- Velde, B. (1985) *Clay Minerals: A physico-chemical explanation of their occurrence*. *Development in Sedimentology* 40. Elsevier, Amsterdam. 427p.

2006년 3월 13일 원고접수, 2006년 3월 20일 게재승인.