

강우 강도에 따른 임하댐 및 안동댐 유입하천의 탁도 변화와 탁도유발물질의 광물학적 특성 연구

Studies on Variations of Turbidity with Strength of Rainfall and
Mineralogy of turbidity-causing materials in Imha and Andon-Dam

김 정 진 (Jeong Jin Kim) · 정 용 식 (Yong Sik Jung)¹ · 김 정 곤 (Jung Gon Kim)² ·
이 상 욱 (Sang Wook Lee)² · 김 영 훈 (Young Hun Kim)^{3,*}

안동대학교 지구환경과학과
(Department of earth and environmental sciences, Andong National University)

¹안동대학교 응용화학과
(Department of applied chemistry, Andong National University)

²수자원공사 수자원연구원
(Korea Water Resources Corporation)

³안동대학교 환경공학과
(Department of environmental engineering, Andong National University)

요약 : 안동댐과 임하댐 유입수의 탁도 및 부유고형물의 농도변화는 서로 유사한 경향을 보이며, 강우강도에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 탁도 및 부유고형물의 농도는 임하댐유역이 안동댐 유역에 비해 높으며, 임하댐 유역에서는 반변천 유역이 용전천 유역보다 높게 나타난다. 강우로 인한 탁도 발생 후 시간에 따른 입도분포와 구성광물은 안동댐과 임하댐 모두 큰 차이가 나타나지 않는다. X-선회절분석 결과 탁도유발물질의 구성광물은 버미큘라이트, 일라이트, 카올리나이트, 석영, 사장석으로 안동댐과 임하댐의 광물 조성은 유사하지만 각 광물의 함량은 차이가 난다.

주요어 : 탁도, 부유고형물, 입도분포, X-선회절분석, 탁도유발물질

ABSTRACT : Changes of turbidity and suspended solid concentration of inflow tend to be very similar in Andong and Imha dam, and show significant effect on the amount of rainfall. Concentrations of suspended solid and turbidity in Imha are higher than these of Andong dam, and Banbyon have higher values than that of Yongjeon stream in Imha dam. There is no difference in size distribution and mineral composition of the suspended particles in Andong and Imha dam. The turbidity-causing materials are composed of vermiculite, illite, kaolinite, quartz and albite. X-ray diffraction analysis shows that

*교신저자: youngkim@andong.ac.kr

turbidity-causing materials are have similar mineralogy between Andong and Imha Dam, but they have different abundance.

Key words : turbidity, suspended solid, size distribution, X-ray diffraction analysis, turbidity-causing materials

서 론

홍수기에 발생하는 탁수는 갈수기에 비하여 탁도가 높으며 자연적인 현상으로 여겨진다. 일반적으로 강우종료 후 탁수의 탁도는 줄어들며 대형저수지에 유입된 물의 탁도도 낮아진다. 우리나라의 경우 강우특성상 강수량의 2/3 정도가 하절기에 집중되므로 집중호우에 의한 토양 침식이 활발한 하절기에 탁수발생도 집중된다. 탁수발생의 원인은 여러 가지가 있으나 상류의 토지이용도 및 피복도, 강우의 강도, 등의 자연적, 인공적 원인의 영향이 가장 크며 유역의 토지개발, 주택도로 건설과 골재채취, 하천정비사업, 준설 등의 각종 인공적 원인에 의한 비중이 증가되고 있는 실정이다(신재기와 정선아, 2005; 신재기 외, 2006).

최근 발생하는 탁수는 과거와 달리 쉽게 탁도가 제거되지 못하고 장기간 유지되면서 양질의 수자원 확보의 어려움, 방류 시 심미적 문제, 생태적 문제 등의 다양한 문제를 발생시킨다. 인접한 지역에 위치한 안동댐의 경우 임하호에 비하여 탁수의 탁도가 쉽게 제거되며 집중강우 후에도 탁도가 오래 유지되지 않는 것으로 보고 되고 있다. 이러한 차이가 나는 원인은 여러 가지가 있으나 우선적으로 상류지역의 지질학적 특성의 차이, 유하거리의 차이 등이 거론될 수 있다. 임하호 상류지역에는 백악기 하양층군과 유천층군에 속하는 퇴적암류가 가장 넓게 분포하고 있으며 강우강도가 큰 경우 쉽게 유실되어 하천으로 유입된다(황상구와 정기영, 2006). 유입된 입자의 분포에서 작은 입자의 분율이 큰 경우 입자는 쉽게 침강하지 못하고 계속적으로 탁도를 유발한다. 반면 안동호 상류지역은 화강암이 많이 분포하며 탁수 발생 시 유입되는 입자도 작은 입자의 분율이 매우 작으며 대부분의 입자가 쉽게 침강하는 특성을 갖고 있다(한국수자원공사, 2005; 추창오 외, 2006).

최근 집중호우 시 고탁도의 탁수가 발생하고 있기 때문에 탁수발생예측, 탁수관리방안 마련을 위하여 탁수발생지역에서 지속적인 모니터링이

필요하다. 대부분의 선행연구는 각 지점에서 탁수 발생경향에 집중하고 있다. 본 연구에서는 강우강도에 따른 탁수의 발생경향을 조사하고, 특히 기존 조사에서 탁수의 발생경향이 대비되는 안동댐 유역과 임하댐 유역을 동시에 비교하여 그 특징을 연구하고자 한다. 각 강우 시 채취된 시료의 광물을 비교분석하였으며 임하댐 및 안동댐 유역에서 채취한 시료의 입도분석을 통하여 강우 강도 및 유역에 따른 입도분포를 비교하였다.

연구 방법

시료채취는 강우 시 임하댐과 안동댐 유역으로 하천수가 유입되는 지점에서 실시하였다. 임하댐 유역은 탁수 발생의 특성이 다른 반변천의 광덕교 부근과 용전천의 덕천교 부근에서 시료를 채취하였으며, 안동댐유역은 댐에서 비교적 가까운 지점인 백운지교 부근에서 시료를 채취하였다(그림 1). 현장조사와 시료채취는 2006년 7월 집중강우 시 3회에 걸쳐 강우강도 및 수위 변화에 따라 1~6시간 간격으로 실시하였다.

현장에서는 pH, 수위, 수온을 측정하였으며 약 2 리터 정도의 탁수를 채수하여 탁도, 부유고형물(SS: Suspended Solid), 입도분석 및 분리한 탁도유발물질에 대한 X-선회절분석을 실시하였다. 채취한 수질시료에 대한 탁도는 모델 Hach 2100N의 탁도계를 이용하였으며 부유고형물은 수질오염공정시험법에 준하여 분석하였다. 입도분석은 모델 Malvern Mastersizer 2000을 이용하여 분석하였다. 원심분리기를 이용하여 분리한 탁도유발물질에 대한 구성광물 분석은 모델명 Rigaku, D/max-2000의 X-선회절분석기를 이용하였으며, 분석 조건은 $CuK\alpha$, 40 kV, 35 mA, 주사속도 $1^\circ 2 \theta / \text{min}$ 로 하였다.

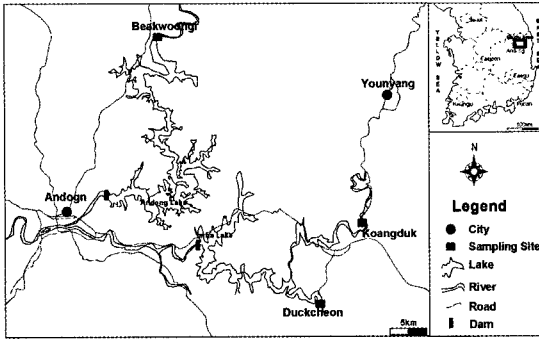


Fig. 1. Map of hydrological system of Imha and Andong Dam areas and sample locations.

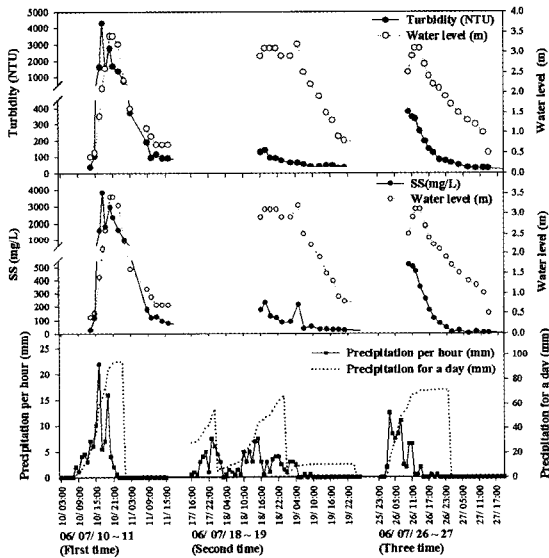


Fig. 2. Turbidity, concentration of SS, water level, and the precipitation per hour at the Imha-dam area (Koangduk bridge).

연구 결과 및 토의

입하댐 유역의 강우강도 및 강우량에 의한 탁도 변화

그림 2는 입하댐 상류인 반변천 유역의 광덕교 부근에서 강수량에 따른 수위변화와 부유고형물, 탁도 변화를 나타낸 것이다. 7월 10일부터 11일 사이에 최고 20 mm/hr 이상의 집중호우가 나타나며, 이때 수위 최고 3 m 이상, 유입수의 탁도는 최고 4308 NTU로 탁도와 부유고형물의 변화는

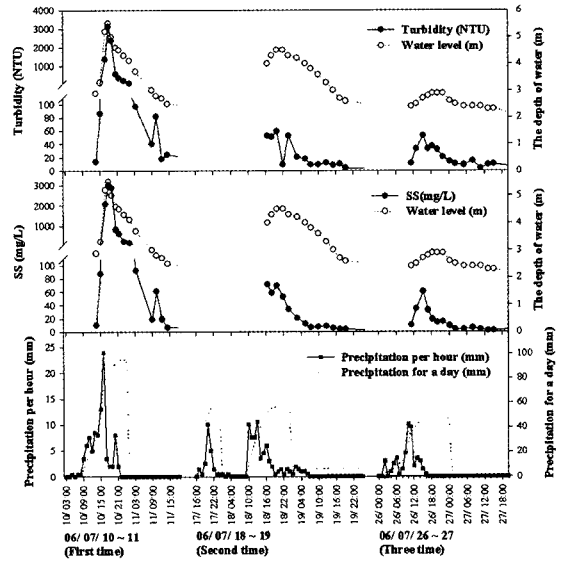


Fig. 3. Turbidity, concentration of SS, water level, and the precipitation per hour at the Imha-dam area (Duckcheon bridge).

매우 유사한 경향을 보여주고 있다. 7월 18일부터 19일까지 강우 강도는 7월 10일부터 11일보다 약한 10 mm/hr 이하이며, 유입수의 탁도도 최고 약 140 NTU로 높지 않다. 탁도와 수위의 최고점은 약 12시간 정도 차이가 나타난다. 시료채취지점에서의 수위는 7월 10~11일과 유사한 최고 3 m 정도이며 유입수의 탁도는 매우 낮다. 이러한 결과는 탁도와 부유고형물의 농도는 강우강도에 매우 밀접한 관계가 있으며 총 강우량과는 낮은 상관관계가 있음을 보여준다. 7월 26일부터 27일의 경우에도 특정 시간에 강우 강도가 7월 18일부터 19일보다 강하며 탁도 및 부유고형물의 농도가 7월 18~19일에 비해 높게 나타난다.

그림 3은 입하댐 상류 용전천 유역의 덕천교 부근에서 강수량에 따른 수위변화와 부유고형물, 탁도 변화를 나타낸 것이다. 대부분 반변천 유역과 매우 유사한 경향을 나타내지만 같은 시간대의 탁도 및 부유고형물은 반변천유역에 비하여 낮다. 7월 10일~11일의 강우시 탁도는 최고 3117 NTU이며, 수위와 탁도의 최고점은 거의 일치한다. 강수가 중단된 후 유입수의 수위 감소기울기보다 탁도의 감소기울기가 큰 것을 알 수 있으며, 이는 유량의 감소속도보다 탁도의 감소속도가 큰 것을 의미한다. 7월 18~19일의 강우시 선행강우에 의한 유입수의 수량은 7월 10일~11일과

Table 1. Particle size distribution in river water near the Koangduk Bridge (unit: %)

Date	~ 0.5 μm	0.5~ 1 μm	1~ 5 μm	5~ 10 μm	10~ 50 μm	50~ 100 μm	100~ 500 μm	500~ 1000 μm	1000 μm~	Total
10/ 14:50	0.22	1.36	3.89	9.33	46.04	18.70	8.63	6.80	5.03	100
10/ 16:30	0.37	2.48	9.36	17.98	49.63	13.55	6.60	0.03	0.00	100
10/ 17:30	0.49	3.14	12.45	20.34	45.76	10.94	5.39	1.48	0.00	100
10/ 17:30	0.63	3.62	13.57	21.38	46.30	10.08	4.40	0.02	0.00	100
10/ 18:40	0.38	2.15	6.92	13.26	48.29	18.03	10.84	0.13	0.00	100
10/ 20:05	0.38	2.45	9.60	17.28	48.80	14.22	7.28	0.00	0.00	100
10/ 21:05	0.38	2.44	9.74	18.83	51.27	12.28	4.84	0.22	0.00	100
10/ 23:00	0.56	3.13	10.76	17.76	46.67	12.64	7.70	0.77	0.00	100
11/ 01:00	0.38	2.51	9.48	19.06	52.32	11.26	4.91	0.09	0.00	100
11/ 03:00	0.48	2.87	10.13	18.92	51.74	11.24	4.60	0.02	0.00	100
11/ 08:40	0.60	3.03	9.54	19.24	53.12	10.19	4.28	0.00	0.00	100
11/ 10:10	0.17	1.03	3.35	7.32	28.38	9.45	13.78	24.90	11.63	100
11/ 12:00	0.39	1.97	6.22	13.81	38.39	9.02	12.53	11.97	5.70	100
18/ 16:10	0.23	1.58	5.33	13.23	50.60	14.90	7.65	4.43	2.05	100
18/ 17:40	0.29	1.83	5.53	12.97	50.29	13.09	8.62	4.56	2.82	100
18/ 19:30	0.14	1.31	4.24	10.08	47.02	16.59	9.03	7.38	4.19	100
18/ 21:30	0.27	1.60	5.41	11.35	42.89	13.65	9.18	9.94	5.70	100
18/ 23:25	0.26	1.76	5.99	14.01	53.58	14.43	9.31	0.67	0.00	100
19/ 02:30	0.31	2.04	7.10	16.83	55.97	12.01	5.59	0.16	0.00	100
19/ 05:00	0.12	1.05	3.58	7.82	47.96	15.13	8.96	8.87	6.51	100
26/ 10:50	0.00	0.16	0.64	1.22	3.55	0.63	1.08	40.54	52.17	100
26/ 12:15	0.32	2.00	7.02	15.29	50.76	12.20	6.46	4.30	1.66	100
26/ 13:15	0.30	1.89	6.40	13.18	43.99	12.15	9.13	8.62	4.34	100
26/ 14:50	0.33	1.88	5.99	12.57	50.78	14.50	8.88	4.00	1.08	100
26/ 16:40	0.48	2.43	8.20	16.13	48.34	10.27	5.27	5.60	3.28	100
26/ 18:05	0.36	1.79	4.99	11.98	54.78	13.45	5.44	4.49	2.72	100
26/ 19:40	0.45	2.17	7.28	15.45	41.81	8.85	5.24	11.28	7.47	100
26/ 21:40	0.36	1.79	6.24	15.00	46.75	11.98	13.99	3.03	0.87	100

과 크게 다르지 않으나 탁도는 비교적 낮는데 이는 탁도가 강우강도와 연관성이 있다는 것을 지시해준다. 7월 26일~27일의 강우 시 최고 탁도는 52.6 NTU로 10일~11일과 18일~19일의 두 강우 사상에 비해 낮은 값을 나타낸다.

임하댐 유역의 탁도유발물질의 입도분석

그림 4와 5는 임하댐의 반변천 유역의 댐 유입 지점인 광덕교와 용전천의 덕천교에서 채취한 유입수에 포함된 입자의 평균입도를 나타낸 것이다. 입도의 크기는 유입량 및 강우강도에 큰 영향을 받지 않는 것을 알 수 있다. 이는 강우강도가 클 때 유역에서 유출되는 입자의 크기도 클 수 있지만 이동과정에서 제거되고 댐에 유입되는 입자의

평균크기는 유입수의 유량에 의한 영향은 작은 것으로 나타나고 있다.

표 1은 임하댐 유입수인 반변천 유역 광덕교 부근의 입도분포를 시간대 별로 나타낸 것이다. 시간별 분포에서 뚜렷한 차이는 없으나 대부분의 시료에서 1 μm 이하의 입자가 존재하며, 10~50 μm의 입자가 가장 많다. 특이한 현상은 7월 10일 14:50 시료를 제외한 초기시료는 1,000 μm 크기의 입자가 존재하지 않으나 7월 11일 10:10시료부터 1,000 μm 크기의 입자가 존재하는 것으로 나타나고 있다. 이는 시간이 지남에 따라 탁도와 부유고형물가가 낮아지지만 비교적 굵은 입자가 포함된 것으로 판단된다. 시간에 따른 부유고형물의 농도는 다르나 각 시료 입도분포는 유사하게 나타난다. 7월 18일~19일과 26일의 시료의 경우

Table 2. Particle size distribution in river water near the Duckcheon Bridge (unit: %)

Date	~0.5 μm	0.5~ 1 μm	1~ 5 μm	5~ 10 μm	10~ 50 μm	50~ 100 μm	100~ 500 μm	500~ 1000 μm	1000 μm ~	Total
10/ 15:10	0.06	0.62	1.81	4.35	33.01	26.02	24.69	5.75	3.69	100
10/ 16:50	0.28	1.79	5.95	12.89	52.38	17.01	9.66	0.05	0.00	100
10/ 17:50	0.25	1.88	6.83	14.48	51.23	14.97	10.16	0.21	0.00	100
10/ 19:00	1.07	4.58	13.95	18.96	41.08	10.91	8.87	0.59	0.00	100
10/ 20:35	0.57	3.53	11.91	20.73	50.49	8.60	4.16	0.00	0.00	100
10/ 21:30	1.02	4.08	10.92	17.07	46.19	10.15	5.78	3.62	1.17	100
10/ 23:20	0.59	3.26	10.47	18.30	43.76	6.58	3.96	8.43	4.66	100
11/ 01:15	0.44	2.42	7.16	15.59	48.79	8.37	4.82	7.85	4.57	100
11/ 03:20	0.45	2.46	7.30	16.03	46.48	6.70	3.74	10.89	5.95	100
11/ 10:30	0.28	1.62	4.81	14.32	52.54	8.82	4.84	7.45	5.30	100
11/ 21:00	0.50	2.44	5.64	17.99	59.41	7.73	3.71	0.58	2.01	100
18/ 16:30	0.19	1.42	4.35	10.22	48.98	15.81	9.07	6.18	3.78	100
18/ 18:00	0.11	1.06	3.33	8.02	44.95	18.35	10.49	8.37	5.32	100
18/ 19:50	0.25	1.74	5.54	12.17	49.06	12.65	6.53	7.22	4.84	100
18/ 21:50	0.13	1.25	3.57	7.02	51.71	21.45	7.47	4.75	2.65	100
18/ 23:50	0.11	0.99	2.59	5.87	46.84	21.94	10.13	7.16	4.37	100
19/ 02:50	0.06	0.63	1.67	4.46	50.85	20.73	7.38	8.02	6.20	100
26/ 13:00	0.09	0.92	2.80	7.65	50.41	14.12	7.47	10.52	6.00	100
26/ 15:15	0.10	1.08	3.46	9.94	57.39	11.47	4.99	6.82	4.74	100
26/ 17:00	0.10	0.89	2.59	7.40	49.46	16.66	7.74	8.98	6.18	100

1 μm 이하의 입자분포는 7월 10일~11일 시료에 비해 적으나 1,000 μm 크기의 입자가 존재한다.

표 2는 덕천교에서 채취한 시료의 평균 입도분포를 나타낸 것으로 7월 10일~11일의 강수시 초기에 큰 입자가 많지만 시간이 지남에 따라 점차 작아지는 경향을 보인다. 10일 20시 이후 시료는 입자 크기에는 큰 변화가 없으나 시료 간 편차가 있는 것으로 나타났으며, 10~50 μm의 입자의 분포비율이 가장 높다. 7월 18일~19일과 26일~27일의 강우 시 강우강도 및 탁도의 변화에 따라 평균입도의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 평균 입도는 시료에 따라 차이는 있으나 수위 및 탁도의 변화경향과 상관성은 없는 것으로 보인다. 이는 상류에서 유입되는 탁도유발물질의 입자 크기는 강우강도가 강할 경우 클 것으로 예상되나, 유역을 이동한 후 댐에 유입되는 탁도유발물질의 입도는 유입량 및 탁도와 낮은 상관관계를 나타낸다.

안동댐 유역의 강우강도 및 강우량에 의한 탁도변화

그림 6은 안동댐 유역의 백운지교 부근에서 측정된 유입수의 탁도, 부유고형물의 변화와 수위 및 상류지역의 시간별 강수량을 나타낸 것이다. 탁도와 부유고형물의 농도 변화는 매우 유사한 경향을 낸다. 7월 10일~11일의 경우 탁도가 최고 1077 NTU로 수위 최고점과 탁도의 최고점은 거의 일치한다. 7월 18일~19일 강우 시 강우강도는 7월 10일~11일에 비하여 강하지 않았으며 유입수의 탁도도 높지 않은 것을 알 수 있다. 7월 18일~19일의 경우 유입수의 수위 즉 유입량과 탁도의 최고점은 선행강우로 인하여 측정되지 않았다. 7월 26~27일의 경우에 탁도의 최고점은 관측되었으나 탁도값은 앞선 2회의 강우 경우와 비교하여 매우 낮은 값을 나타낸다. 안동댐 상류 지역에서의 강우강도는 임하댐유역에 비하여 높지 않으나 넓은 유역면적에 의해 유입수의 수위는 매우 높으며 탁도는 상대적으로 낮다. 7월 18

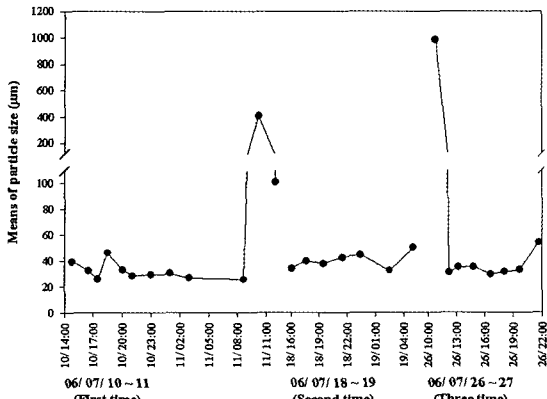


Fig. 4. Average particle size variations of river water inflow into Imha dam near the Koangduk Bridge.

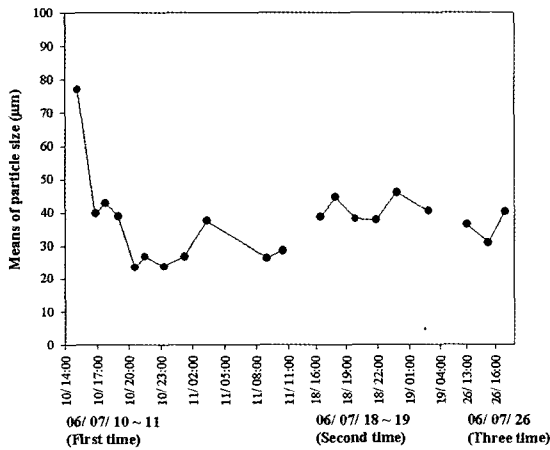


Fig. 5. Average particle size variations of river water inflow into Imha dam near the Duckcheon Bridge.

~ 19일의 경우 유입수량은 7월 10~11일과 비슷하나 탁도는 매우 낮게 유지되었다. 이 결과는 유입수의 탁도는 유입수량보다 유역의 강우강도와 관련성이 있다는 것을 시사해 준다.

표 3은 안동댐 유역의 백운지교에서 채취한 유입수에 포함된 입자의 평균입도를 나타낸 것이다. 입자의 크기는 유입량 및 강우강도에 큰 영향을 받지 않은 것을 알 수 있다(그림 7). 이는 강우강도가 클 때 유역에서 유출되는 입자의 크기도 클 수 있지만 이동과정에서 제거되고 댐에 유입되는 입자의 평균크기는 유입수의 유량에 큰 영향을 받지 않는 것으로 생각된다. 두 강우에서 평균입

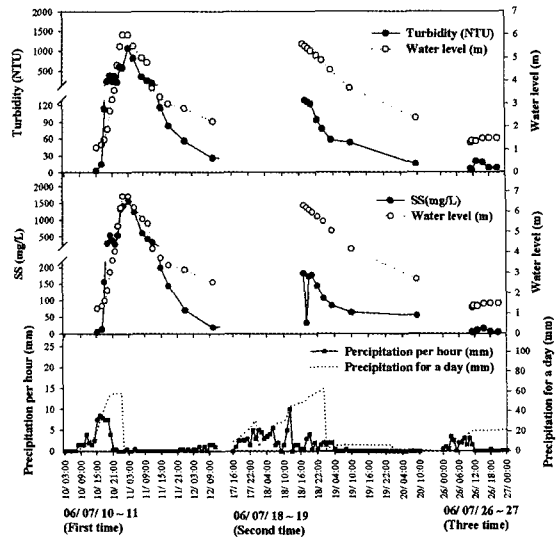


Fig. 6. Turbidity, concentration of SS, water level, and the precipitation per hour at the Imha-dam area (Beakwoongi bridge).

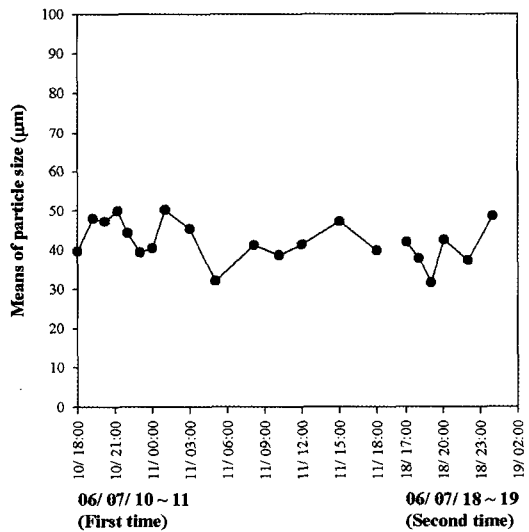


Fig. 7. Average particle size variations of river water inflow into Imha dam near the Beakwoongi Bridge.

자의 크기는 시료 간 차이는 있으나 시간별 입도 분포의 두드러진 차이는 보이지 않으며 임하댐 유역의 광덕교 및 덕천교에 비하여 미세입자의 비율이 낮게 나타난다.

전홍진(2004) 등은 임하호와 안동호로 유입된 탁수의 유입특성 및 거동에 대하여 연구하였으며

Table 3. Particle size distribution in river water near the Beakwoongi Bridge (unit: %)

Date	~0.5 μm	0.5~ 1 μm	1~ 5 μm	5~ 10 μm	10~ 50 μm	50~ 100 μm	100~ 500 μm	500~ 1000 μm	1000 μm~	Total
10/ 18:00	0.24	1.45	3.80	8.59	51.14	20.07	9.13	4.02	1.56	100
10/ 19:12	0.27	1.51	4.23	8.90	48.32	18.74	11.33	4.29	2.40	100
10/ 20:10	0.22	1.42	4.51	10.71	51.77	18.68	12.08	0.62	0.00	100
10/ 21:00	0.23	1.41	4.31	8.95	45.73	19.28	11.59	5.36	3.13	100
10/ 22:00	0.28	1.67	5.45	11.33	45.80	17.20	10.01	5.77	2.50	100
10/ 23:00	0.14	1.23	4.84	13.10	54.96	17.31	8.32	0.08	0.00	100
11/ 00:00	1.12	3.56	10.32	14.60	46.88	14.79	8.29	0.43	0.00	100
11/ 01:00	0.13	1.23	3.57	7.53	50.02	24.37	13.15	0.00	0.00	100
11/ 03:00	0.31	1.90	6.92	14.26	48.96	16.18	11.26	0.20	0.00	100
11/ 05:00	0.25	1.81	8.02	18.36	53.07	12.84	5.54	0.10	0.00	100
11/ 08:10	0.24	1.54	5.73	13.47	49.60	15.45	9.42	3.37	1.18	100
11/ 10:10	0.21	1.54	6.20	14.34	51.13	15.88	9.42	1.27	0.00	100
11/ 12:00	0.19	1.37	5.26	12.57	46.64	13.50	8.79	7.63	4.05	100
11/ 15:00	0.19	1.34	4.42	9.56	45.34	15.77	10.14	8.26	4.98	100
11/ 18:00	0.19	1.26	4.15	9.32	45.99	15.65	8.74	8.63	6.07	100
18/ 17:05	0.23	1.60	5.26	11.15	51.65	14.98	8.28	4.39	2.45	100
18/ 18:05	0.33	2.18	8.11	15.39	51.78	12.68	9.51	0.02	0.00	100
18/ 19:00	0.23	1.54	4.84	10.84	53.95	12.81	5.93	6.72	3.15	100
18/ 20:05	0.32	2.26	9.54	19.94	42.99	11.14	13.78	0.03	0.00	100
18/ 22:00	0.21	1.59	5.73	11.56	46.10	13.77	7.71	7.79	5.54	100
19/ 00:00	0.15	1.40	4.56	10.42	57.15	15.81	9.84	0.67	0.00	100

상류지역의 지질학적 특성 외에 유달거리, 저수용량 등의 인자도 탁수거동에 영향을 미치는 것으로 발표하였다. 그들의 연구결과에 의하면 임하호와 안동호 댐축수역의 탁도분포현황 분석결과 댐축까지 유달된 탁수는 최대밀도층이 심수층 이하로 침강되지 않으며 탁수방류에 의한 배제효과로 소멸되고 있는 것으로 나타났으며 안동호의 경우 댐축지점 탁수층 형성구간에 취수구가 위치하여 탁수층 배제가 용이한 것으로 보고 있다. 또한 안동호가 임하호보다 유달시간과 피크탁도의 현저한 차이가 있는 것으로 조사되었으며, 이는 안동호가 임하호보다 유달거리가 길고 저수용량이 크기 때문으로 판단하였다. 임하댐의 경우 저수용량이 안동댐에 비해 작으나 유입탁도 부하량은 크며 이는 임하호의 경우 탁수에 대한 허용 환경용량이 초과되기 쉬운 것으로 보고되었다(정홍진 외, 2003; 정세용 외 2004).

탁도유발물질에 대한 X-선회절분석

임하댐의 덕천교와 광덕교, 안동댐 유역의 백운지교 부근의 탁도유발 물질에 대한 무방위, 정방위, 정방위 에틸렌글리콜처리 시료를 이용하여 X-선 회절분석을 실시하여 광물감정을 실시하였다. 무방위 시료에 대한 X-선회절분석결과 광물의 함량에 약간의 차이가 있으나 구성광물은 거의 유사하다(그림 8). 14 Å 회절선은 에틸렌글리콜 처리결과 임하댐과 안동댐 모두 버미큘라이트이다(그림 9). 선행 연구에 의하면 임하댐에서의 탁도유발물질 중 버미큘라이트와 일라이트는 임하댐 상류의 풍화토양과 퇴적암에 함유된 것이며, 카올리나이트는 암석의 풍화과정에서 생성된 것으로 추정했다(정기영과 김수진, 1994; 황상구와 정기영, 2006).

임하댐 유역 광덕교와 덕천교 부근에서 채취한 시료는 버미큘라이트, 일라이트, 카올리나이트,

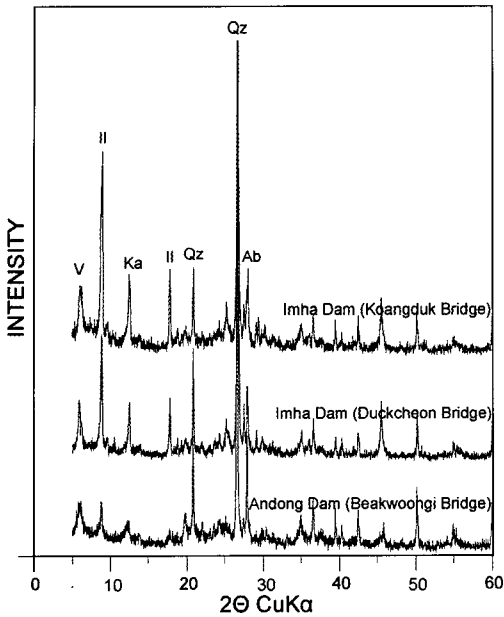


Fig. 8. X-ray diffraction patterns of turbidity-causing materials in Andong and Imha Dam Area. V: vermiculite, II: illite, Ka: kaolinite, Qz: quartz, Ab: Albite.

석영, 사장석으로 구성되어 있으며, 에틸렌글리콜 처리 후 14 Å 회절선이 변화가 없는 것으로 보아 층준 전하가 높은 것으로 추정된다. 안동댐 유역의 백운지교 부근에서 채취한 시료의 구성광물은 버미큘라이트, 일라이트, 카올리나이트, 석영, 사장석 등이며, 에틸렌글리콜 처리결과 14 Å 회절선의 변화가 거의 없어 안동댐 유역의 버미큘라이트 역시 층준 전하가 높은 것으로 추정할 수 있다.

표 4는 SIROQUANT 컴퓨터프로그램을 이용한 X-선회절정량분석 결과로 임하댐의 점토광물의 함량비는 광덕교와 덕천교에서 각각 50.0%와 45.7%이며, 안동댐의 백운지교 부근에서는 32.0%이다. 석영과 사장석은 임하댐유역의 광덕교 40.4%와 9.6%, 덕천교 45.5%와 8.8%이며 안동댐 유역의 백운지교에서는 55.8%와 12.2%이다. 임하댐과 안동댐 유역의 모두 탁도 유발물질은 버미큘라이트, 일라이트, 카올리나이트와 같은 점토광물이며, 임하댐 유역에서 이와 같은 점토광물의 함량이 높은 것이 특징이다. 따라서 점토광물의 함량이 높은 임하댐 유역에서 집중 강우에 의해 탁도가 발생했을 때 탁도가 오래 지속될 가능성

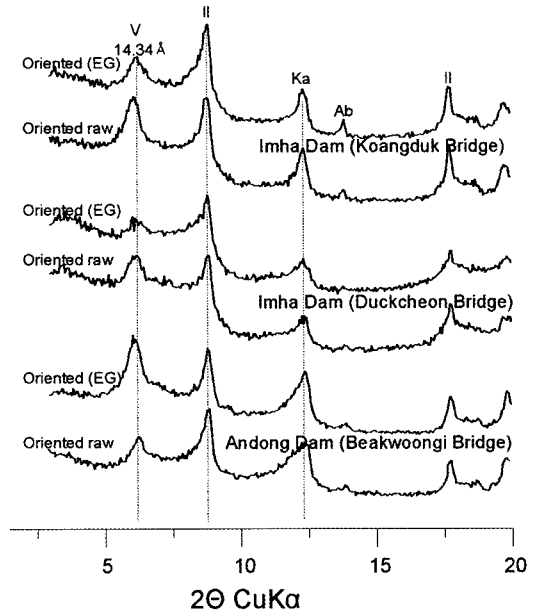


Fig. 9. X-ray diffraction patterns of turbidity-causing materials from Andong and Imha Dam area treated with ethylene glycol. V: vermiculite, II: illite, Ka: kaolinite, Ab: Albite.

이 높다.

탁도유발물질에 대한 주사전자현미경분석

주사전자현미경 관찰결과 탁도유발물질은 대부분 불규칙한 형태의 판상의 점토광물과 그 외 막대 형태나 구형태의 광물을 관찰할 수 있다(그림 10). 임하댐 유역의 광덕교 부근의 시료는 정확한 감정은 어려우나 불규칙한 형태로 존재하는 광물은 버미큘라이트와 일라이트로 추정되며 그 외 석영입자를 관찰할 수 있다(그림 10A). 덕천교 부근의 시료는 불규칙한 형태의 사장석과 주변의 작은 판상의 일라이트를 관찰할 수 있다(그림 10B). 안동댐 유역의 백운지교 부근의 시료는 대부분 석영과 사장석 입자로 구성되어 있으며, 카올리나이트는 어느 정도 결정도가 높은 판상의 카올리나이트의 집합체도 관찰할 수 있다(그림 10C, D).

임하댐과 유역의 암질은 각각 중생대 퇴적암이며, 안동댐 유역은 선캄브리아기 변성암과 쥐라기 화강암이다(황상구, 2002). 주사전자현미경 관찰결과 임하댐 유역의 탁도유발물질 중 점토광물은

Table 4. Quantitative analysis data by SIROQUANT program for turbidity-causing materials in Andong and Imha Dam Area (unit: %)

Area	Vermiculite	Illite	Kaolinite	Quartz	Albite	Total
Koangduk	17.3	17.9	14.8	40.4	9.6	100
Duckcheon	17.7	15.4	12.6	45.5	8.8	100
Beakwoongi	13.5	8.2	10.3	55.8	12.2	100

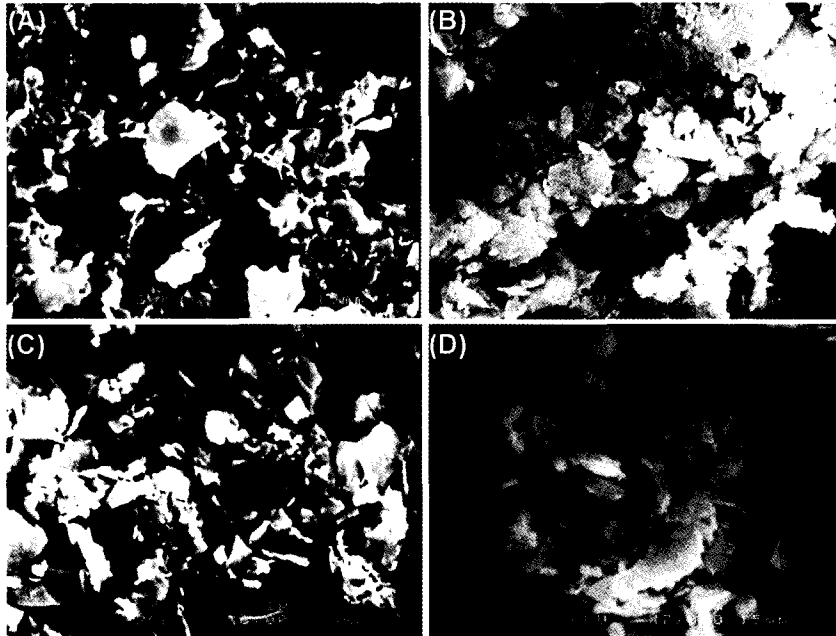


Fig. 10. SEM photomicrographs of turbidity-causing materials from Andong and Imha Dam area. (A) near the Koangduk Bridge, (B) near the Duckcheon Bridge, (C) and (D) near the Beakwoongi Bridge.

결정도가 아주 낮은 불규칙한 판상을 나타내고 안동댐의 경우 특정한 형태를 갖지 않은 석영과 사장석을 많이 포함하고 있으며, 결정도가 상당히 높은 카올리나이트 결정을 관찰할 수 있다. 이는 임하댐과 안동댐의 탁도유발물질의 기원이 다르기 때문인 것으로 생각된다.

결 언

유입수의 탁도 및 부유고형물의 변화는 매우 유사한 경향을 나타내며, 강수량보다 강우강도에 큰 영향을 받는다. 이는 일반적으로 강우강도가 낮으며 강수량은 높은 장마철보다 강수량은 작으나 강우강도가 강한 태풍이 내습한 경우에 탁수가 발생할 가능성이 있다. 탁도 및 부유고형물농도는 임하댐유역이 안동댐 유역에 비해 높게 나

타내며 임하댐 유역에서는 반변천유역에서 용천천유역보다 높은 탁도 값을 나타내어서 유역의 지질과 관련이 있을 가능성이 높다. 각 시료의 입도분석결과 시료간의 입자크기의 차이는 있으나 시간별 입도분포는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

탁도유발물질에 대한 X-선 회절분석결과 주 구성광물은 버미큘라이트, 일라이트, 카올리나이트, 석영과 사장석 등으로 임하댐과 안동댐 유역에서 유사한 광물조성을 나타낸다. 그러나 임하댐유역의 탁도유발물질에 일라이트와 카올리나이트 같은 점토광물의 함량이 안동댐 유역보다 훨씬 높아 집중강우로 인한 탁수발생 시 임하댐 유역이 오랜 시간 동안 탁도가 지속될 가능성이 크다. 정방위 시료에 대한 에틸렌글리콜 처리 실험결과 14 Å 회절선의 변화가 없는 것으로 보아 높은

층준 전하를 가진 것으로 추정된다.

주사전자현미경 관찰결과 임하댐과 안동댐 유역의 탁도유발물질 중 점토광물의 결정도와 형태의 차이를 관찰할 수 있는데, 이는 임하댐과 안동댐의 탁도유발물질의 기원이 다르기 때문인 것으로 추정된다.

사 사

논문내용에 대해 세심하게 검토하고 부족한 부분을 지적해 주신 지질자원연구원 손병국 박사님과 익명의 심사위원께 감사드립니다.

참 고 문 헌

신재기, 정선아 (2005) 탁수환경 저수지에서 수중 DO의 시공간적 분포, 한국물환경학회/대한상하수도학회, 공동춘계학술발표회 논문집, 금오공과대학 4월 22일, 707-780.

신재기, 허진, 이홍수, 박재충, 황순진 (2006) 표층수를 방류하는 저수지(용담호)에서 문순 탁수환경의 공간적 해석, 한국물환경학회지, 22(5), 933-942.

전홍진, 권재국, 이근채, 김관휘, 이씨동, 이선주 (2003)

임하호 탁수 유입특성 및 호소내 거동연구, 대한상하수도학회/한국물환경학회, 공동춘계학술발표회 논문집, BEXCO 11월 13일, P201-P204.

정기영, 김수진 (1994) 산청지역 고령토의 성인: 광물 및 조직분석 연구. 지질학회지, 30(3), 262-283

정세용, 박기영, 한건연, 전홍진 (2004) 임하호 탁수 거동 분석을 위한 CE-QUAL-W2 모형의 적용, 대한환경공학회, 춘계학술연구발표회 논문집, 경성대학교 4월 29일, 1220-1225.

추창오, 고은영, 오수진, 이성우, 김병기, 이지은, 김영규 (2006) 2004년 가창댐 탁수의 원인과 부유물질의 환경지직학적 특징, 한국광물학회지, 19(1), 49-61.

한국수자원공사 (2004) 임하댐 탁수저감방안 수립 보고서.

한국수자원공사 (2005) 임하호 유역 소하천별 탁수 발생 현황조사.

황상구, 장윤득, 이윤종 (2002) 안동저반 심성암류의 암석학적 성인, 암석학회지, 11(3), 200-213.

황상구, 정기영 (2006) 안동 임하댐 유역의 지질과 임하호 고탁수의 원인, 자원환경지질학회지, 39(6), 771-786.

2007년 8월 29일 원고접수, 2007년 9월 19일 게재승인.