

상류 지질에 따른 탁수 발생 특성

김종태	안동대학교 지구환경과학과
추창오	안동대학교 지구환경과학과
오대열	대구공업대학 토목건설과
정교철	안동대학교 지구환경과학과

1. 서 론

1993년 12월에 준공된 임하댐은 다목적댐으로 유역은 안동시, 영양군, 청송군을 포함하여 $1,361\text{km}^2$ 의 면적을 차지하고 있다. 준공 후 2001년까지 임하호의 탁도는 연도별 최고탁도가 100 ~ 250NTU, 지속일수는 1 ~ 3개월 정도에 머물렀으나, 2002년 태풍 루사, 2003년 태풍 매미에 의한 집중강우로 인하여 고탁도를 나타내었으며 지속일수도 2003년에는 315일에 이르러 연중 고탁수가 지속되고 있는 실정이다. 이처럼 탁수가 장기화됨에 따라 댐의 기능 저하는 물론, 수자원으로서의 효용가치가 떨어져 지역의 관광감소를 비롯한 경제활동 위축, 하류지역에 위치한 정수장의 처리비용이 증가하는 등의 문제가 야기되고 있다.

임하호의 탁수에 대한 조사연구는 거의 없으며 특히 유역에 대한 체계적인 자료와 강우 시 하천의 탁수발생에 대한 구체적인 조사가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서 임하댐 유역의 지질과 강우 시 주요 하천별 수질과 유량을 조사하고, 강우에 따른 유역 현장조사를 실시하여 탁수 발생 원인을 규명할 필요가 있다.

2. 탁수 발생 현황 조사

임하호로 유입되는 하천은 반면천과 용전천으로 나눌 수 있다. 임하 다목적댐은 낙동강 하구로부터 약 356km 상류이고 낙동강 주요지류인 반면천 합류점으로부터 약 16km 상류에 위치하고 있다. 유역 내 행정구역으로는 청송군이 가장 넓은 면적을 차지하고 있으며, 영양군, 안동시, 포항시의 순을 나타내고 있다. 임하댐 유역의 10년간 연평균 강수량은 $1,028\text{mm}$ 로 $626 \sim 1,559\text{mm}$ 의 범위를 나타내고 있으며, 여름철 6월과 9월 사이에 연간 강수량의 67%가 집중되어 있다. 특히 2002년 8월에는 태풍 루사의 영향으로 672.4mm 의 강우를 기록하는 등 과거 10년간 8월의 강수량이 전체 강수량의 23.7%를 차지하고 있다.

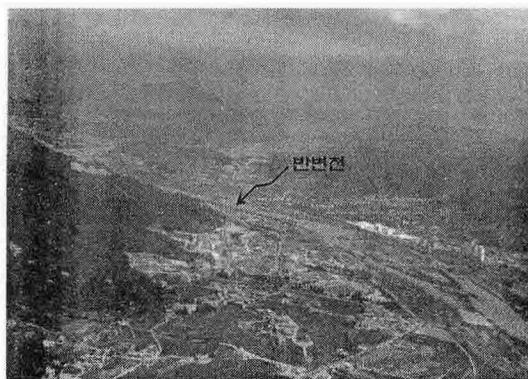


그림 1. 임하댐 하류 반변천 항공사진.

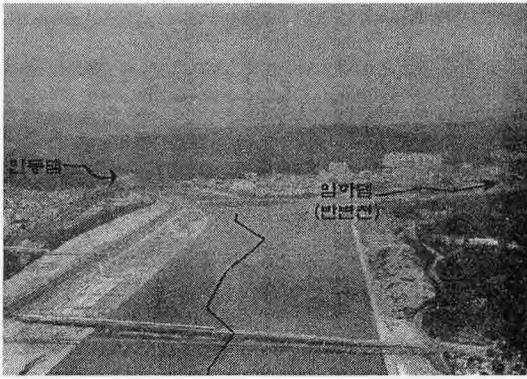


그림 2. 안동댐하류와 임하댐 하류의 합류지점.

3. 지질 조사

조사지역은 안동시의 일부와 영양군 및 청송군의 일부를 포함하는 광범위한 지역에 해당되며, 1:50,000 축척의 지질도록으로는 『예안도록』, 『도계동도록』, 『중평동도록』, 『영양도록』 및 『청송도록』에 해당됨으로써 연구자에 따라 각기 다른 지층명을 부여하는 등 매우 다양하고 복잡한 지질분포를 보이나, 광역적인 지질계통을 살펴보면, 중생대 백악기에 발달된 퇴적분지인 경상누층군의 북부지역에 해당되는 지역으로 그 특성을 한정할 수 도 있다. 따라서, 이번 연구지역의 개략적인 지질계통은 선캄브리아기의 평해통과 원남통, 시대미상의 우백질 화강 편마암, 쥬라기에서 백악기의 안동화강암, 울련산층, 동화치층, 가송동층, 청량산층, 도계동층, 각력질 안산암 등과 신생대 제4기의 충적층의 계통을 나타내고 있다.

반변천 지류 및 영양군일대의 지질특성은 적색계통의 세일과 실트암이 적색탁수 발생원으로 작용하는 것으로 판단되며 특히 반변천 상류유역을 남북 내지 북북서 ~ 남남동 방향으로 도계동층이 발달되어 있어 가장 중요한 근원물이 될 것으로 판단된다.

그 외 임동면과 영양군 지역의 동화치층과 가송동층에도 적색계열의 세일과 실트암이 발달하고 있어서 이들도 탁수물발생의 잠재요소로 작용할 가능성이 높다. 토양발달 및 풍화대 발달 정도를 살펴보면 토양의 다수는 하천 인근의 경작지로 활용되고 있어서 이들이 홍수시에 탁수를 주로 발생시킬 것으로 판단되며, 자연적 토양발달 심도와 풍화대 발달정도는 사면경사가 급한 것으로 볼 때, 토양심도는 비교적 얕은 것으로 판단되어 자연적인 풍화대와 토양발달 작용으로 인한 탁수 발생 가능성은 적을 것으로 사료된다. 도로사면과 경사지의 세일의 풍화, 침식정도는 사암에 비하여 빠르게 진행되고 있으나, 토양형성에 대한 기여도는 인위적 요소(경작지)에 비하면 적을 것으로 판단된다.

용전천 지류 및 청송군일대 지질, 사면 및 토양발달 상태를 보면 화산암 및 화강암이 대부분 분포하고 있어서 탁수와 직결되는 미립질의 점토광물을 적게 함유하고 있으며, 사면경사가 급한 것으로 볼 때, 토양발달심도는 얕은 것으로 판단된다. 또한, 화성암의 형성과 관련된 열변성작용으로 인하여 암질이 단단하여 풍화작용이 진행되기 어려울 것으로 판단된다. 따라서 풍화물의 형성과 자연적인 토양발달정도는 미약할 것이며, 이로 인한 탁수발생 정도는 반변천에 비해 상대적으로 적을 것으로 생각된다.

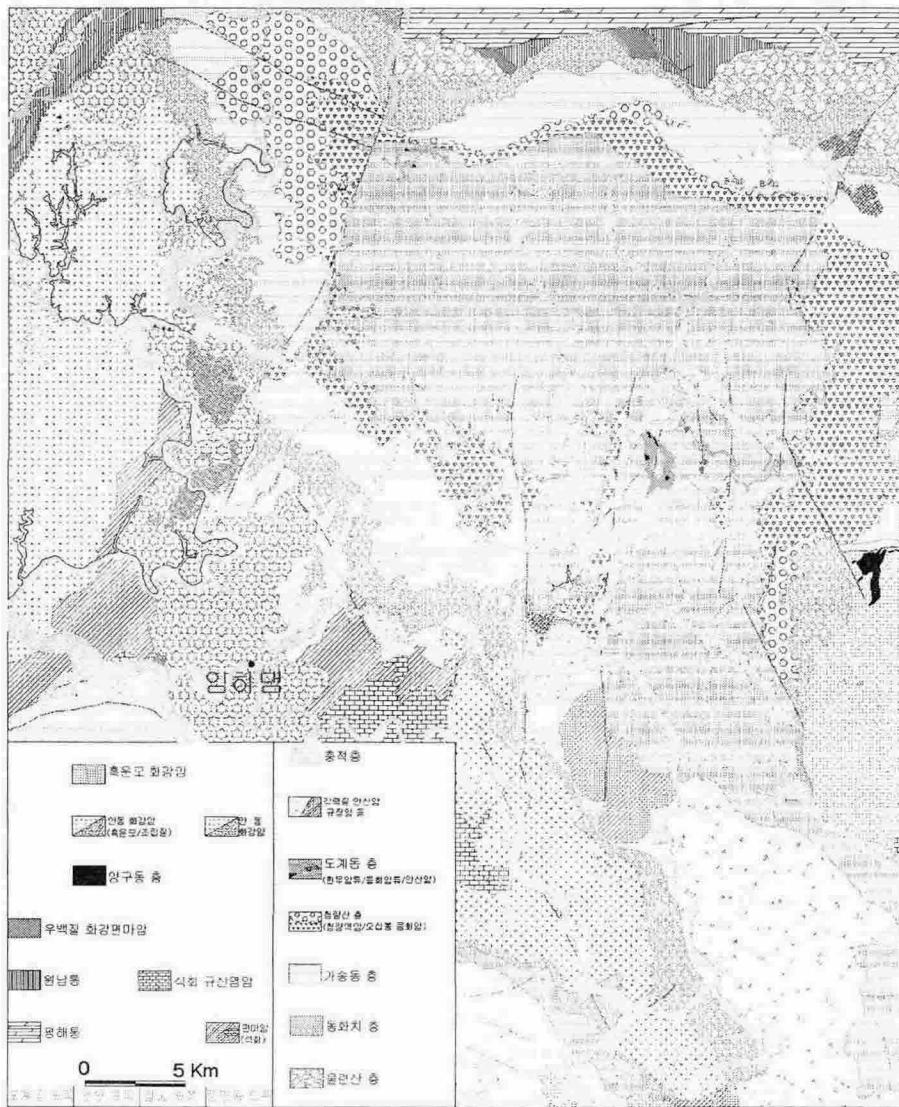


그림 3. 임하댐 및 상류지역의 지질도.

4. 수질 및 탁수발생유역 조사

탁수조사 대상 하천은 반변천과 용전천 및 그 지천 총 20개 하천을 대상으로 하였다. 조사지점 선정은 각 하천의 최하류에 위치한 교량을 원칙으로 하여 각 하천의 유역을 최대한 포함하도록 하였으며, 조사지점 대상 교량 중 유량/수질 등에 큰 영향을 줄 수 있는 인자 (보, 접수, 배출구, 수로 등) 가 있을 경우 그 상류측 교량으로 하였다. 수질조사는 강우에 의한 탁수발생시 총 5회차를 실시하였으며 각 하천의 유량을 측정하기 위하여 단면측량을 실시하고 수위표를 설치하였다. 탁수의 발생원과 유입경로를 규명하기 위하여 유역현장조사를 실시하고 각 수질조사 후 강우로 인한 유역 현황을 파악하기 위하여 현장조사를 실시하였다.

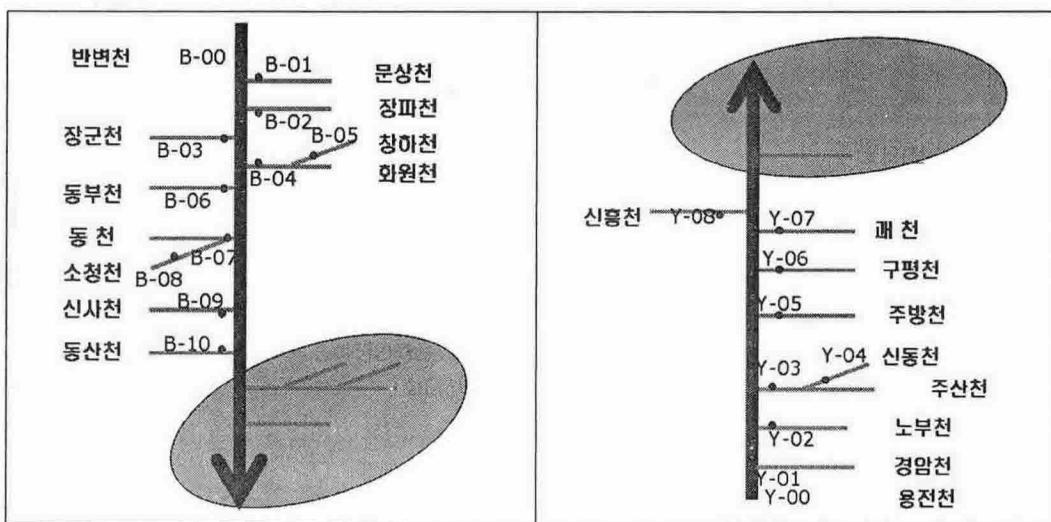


그림 4. 조사대상 하천 수계 모식도 (녹색부분은 저수구역 해당 하천).

4.1. 수질조사 결과

수질조사 기간중 임하댐유역 평균 강우량은 1회차 30.1mm, 2회차는 시간당 30mm 이상의 집중강우를 포함한 48.7mm, 3회차는 장마에 의한 지속강우 158.9mm, 4회차는 태풍 디앤무 내습에 따른 219.8mm, 5회차는 146.1mm를 나타내었다.

이번 연구에서는 하천의 탁수측정 지점이나, 주요 지천 지역에서 하천 상류쪽 50m 구간내에서 잘 발달한 풍화토양을 대상으로 토양심도 5cm 지점에서 유기물질과 쇄설물(자갈)을 제거한 후, 토양을 1kg 채취하였다. 일 20mm 이상의 강우시에는 하천의 탁수를 각 지점별로 2L 씩 채취하여 입도분석과 부유물질의 광물성분을 분석하였다. 한편, 풍화토양과의 구성물질 비교를 위하여 댐탁수를 형성하고 있는 실제의 부유물을 건조시켜 이들의 입도와 구성 물질을 분석하였다. 이 경우도 마찬가지로 2L를 채수하여 실온에서 증발, 건조시킨 후, 시료를 제작하였다.

1-3회의 수질조사결과 전반적으로 문상천, 장군천, 장파천, 동부천 등 반변천의 지천에서 탁도, SS 등의 수질항목이 용전천의 지천들에 비하여 높게 나타났다. 수온, DO, pH 등은 하천에 따른 큰 경향성이 없었으며 T-N, T-P 등 영양물질은 전반적으로 높게 나타나지는 않았다.

4.2. 탁수발생유역 조사

총 6회에 걸쳐 실시한 유역현장조사 내역을 요약하면 반변천의 최상류인 반변원류의 경우, 탁도는 낮은 값을 보이고 있으며 산사태 발생과 약간의 경작지가 분포하나 전체적으로 탁수발생원이나 탁도는 낮을 것으로 판단되었다.

반변천의 상류측 첫 지천인 문상천은 탁도가 비교적 높으며 붉은색을 보여 반변원류에 비하여 고탁수가 발생하는 것을 알 수 있었다. 그 원인으로서 공사로 인한 탁수발생이 있었으며, 종점기준 5,200m 부근 좌안 농경수로로부터 탁수 유입이 확인되었다. 그 유입원인은 농경수로의 배수구역에 해당하는 산지에 임도가 위치하고 있어 노면과 사면의 절개면이 그대로 노출되어 강우 시 상당한 탁수가 발생하고 있음을 확인할 수 있었으며, 토양 또한 풍화가 진행된 적색의 세일층임을 알 수 있었다. 따라서, 일부 공사 영향을 비롯한 임도와 산 절개면, 토질에 따른 탁수 발생이 원인으로 조사되었다.

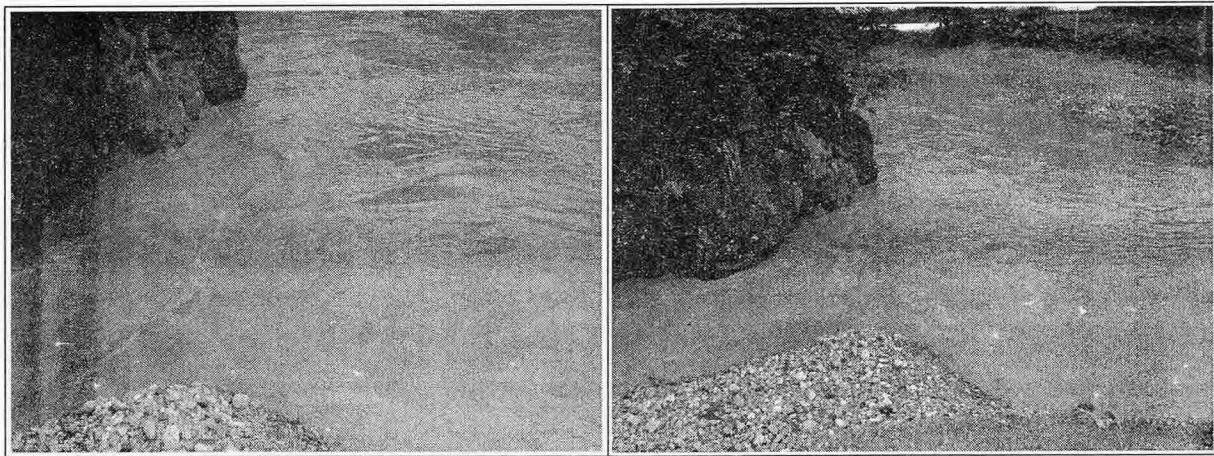


그림 5. 반변천으로 유입되는 문상천의 탁수 합류장면.

반변천의 상류에서 두 번째 지천인 장파천은 마을 용수로와 소하천에서 탁수 유입, 사태 현장과 산사면의 토사유실로 탁수가 발생되고 있는 것을 확인하였다. 특히 하류부분은 골짜기를 통해 토사가 유실되어 하천으로 유입되고 있었다.

전체적으로 경작지와 산사면으로부터 탁수 발생이 있음을 알 수 있었으며, 중상류측에서 진행되고 있는 도로공사의 영향도 상당부분 탁수발생에 기여할 것으로 판단되었다. 장군천은 사면경작지와 식생 없는 급사면 나지가 존재하고, 경작지 경유 소하천에서 탁수 유입을 확인할 수 있었다. 따라서, 공사 등 일시적 원인보다 경작지와 사면의 영향이 클 것으로 조사되었다.

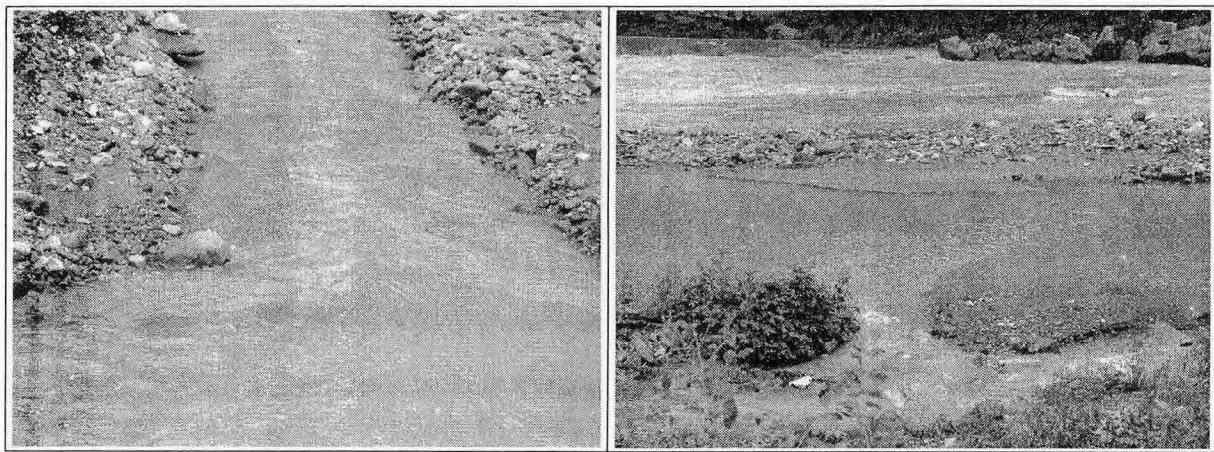


그림 6. 장파천 탁수 유입현장.

화원천은 사면경작지와 절개지 및 사태현장이 다수 존재하고, 주로 농경지 경유 소하천에서 탁수가 유입됨으로써, 농경지와 급사면에 의한 탁수발생이 클 것으로 판단되었다. 화원천의 지천인 창하천의 탁도는 낮은 값을 보였으며, 수해복구 공사 등 일시적인 탁수발생 영향이 크고, 상류측 창수계곡은 수질이 양호한 것으로 조사되었다. 일부 공사 등에 의한 일시적 영향이 주원인으로 판단되었다.

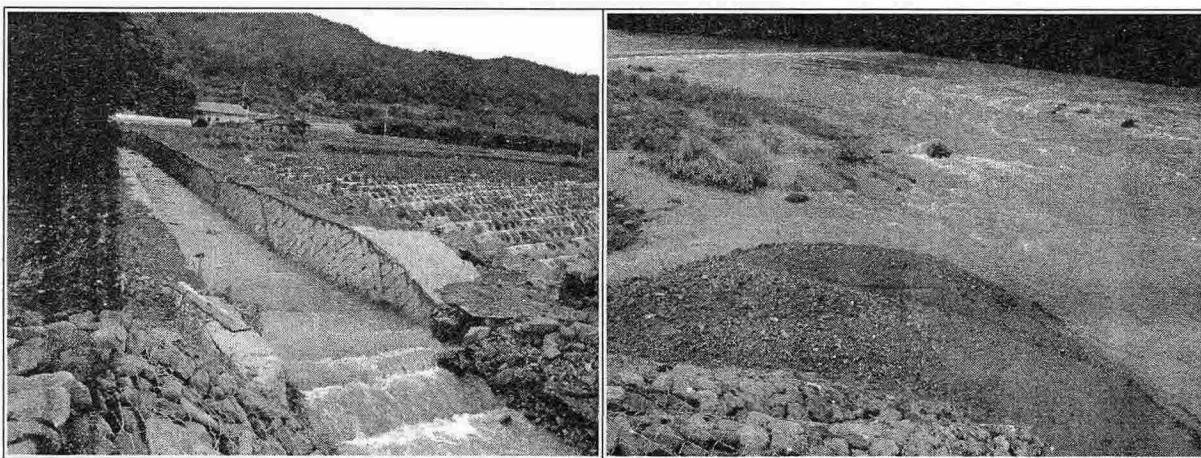


그림 7. 화원천 탁수 발생 지역.

영양 읍내를 관통하는 동부천은 상대적으로 유로연장이 짧고 유역면적이 적으나 장기간의 제방공사, 산사태를 비롯한 강우에 의한 유실현장이 다수 존재하고 경작지 토사유출에 의한 하천유입현장 등이 큰 원인으로 확인되었다. 따라서 공사로 인한 탁수발생과 함께, 산사태 등으로 인한 토사유출이 큰 원인으로 판단되었다. 동천은 반변천의 지천 중 용전천 다음으로 유로연장이 길고 유역면적이 넓으며 붉고 탁도가 높은 하천으로, 주로 사면경작지, 농경지 경유 소하천의 붉은 탁수 유입, 사태에 의한 토사유입현장이 다수 존재하였다. 따라서, 주로 경작지와 사태 등 사면의 불안정 요인이 큰 것으로 판단되었다.

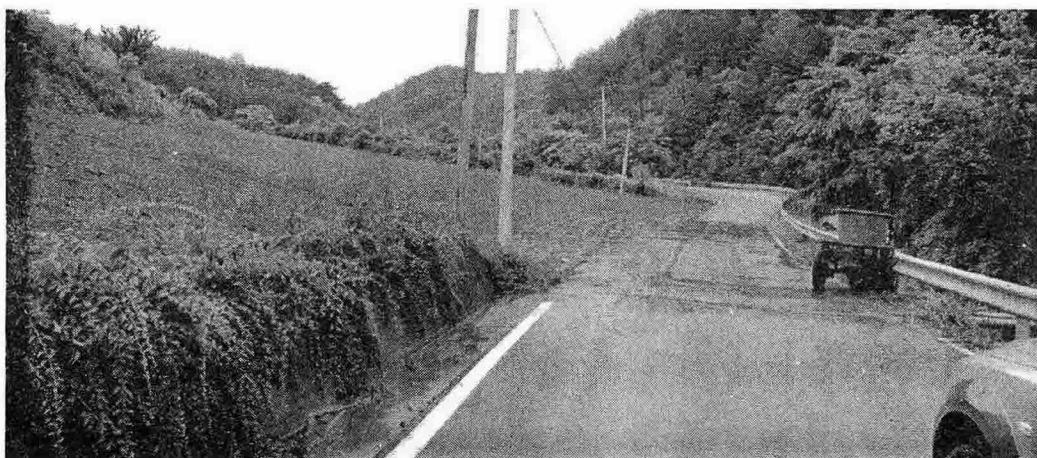


그림 8. 동부천 종점 5300m 지점 사면경작지 토사유실.(하천으로 이어짐)

동천의 지천인 소청천은 탁도가 상대적으로 낮은 값을 보였으며 주로 사면경작지와 사태에 의한 원인으로 판단되었다. 즉, 사면경작지와 사태에 의한 영향으로 조사되었다. 신사천은 탁도가 약간 높은 편이며 사면경작지가 다수분포하고 사태가 일부 발생한 하천이다. 특히, 상류측 하천사면이 부실하며 사면경작지, 사태, 하천범람 등이 탁수발생 원인으로 작용할 것으로 판단되었다.

동산천은 중상류측의 급경사 경작지와 하류측 수해복구 및 우회도로 공사, 하천사면 부실이 주요 탁수발생원으로 조사되어, 공사 등 일시적 영향과 급사면 경작, 산사면 등의 영향이 복합적으로 작용할 것으로 판단되었다.

용전천의 최상류인 용전원류는 탁도는 낮으나 하천사면 제방이 없는 구간이 많고 경작지가 일부 분포하고 있으나 탁수발생 우려는 적을 것으로 판단되었다. 용전천 상류측 첫 번째 지천인 경암천은 일부 사면경작지와 과수원이 분포하나 수질이 매우 양호한 하천이며 탁수발생 우려가 적을 것으로 판단되었다. 노부천은 서원교 부근의 수해복구공사가 장기간 실시된 바 있으나, 공사 완공후 탁수발생은 적었으며, 유역 급경사지나 나지가 비교적 적어 탁수발생 우려가 적을 것으로 조사되었다.

주산천은 하류측 골재채취로 골재채취 및 공사등에 의한 일시적 발생이 있으나, 탁수발생 우려는 적을 것으로 조사되었다. 주산천의 지천인 신동천은 경작절개면과 사면경작지가 분포하고, 하천사면정비가 필요하나 대체적으로 수질은 양호한 편으로서 탁수발생 우려는 적을 것으로 조사되었다. 주방천은 약간의 사면경작지 분포하나, 수질이 양호하고 탁수발생의 우려가 적은 하천으로 조사되었다. 하류구간의 도로 및 교량 공사와 인접지역의 골재채취로 인하여 일시적인 탁수발생이 있음이 확인되었다.

신흥천은 탁도가 높은 하천으로, 주변에서 유입되는 소하천은 비교적 수질이 양호하고 본류 제방유실 등 하천사면이 부실한 것으로 조사되었다. 특히, 시점 상류측 솔치재 방향으로 비포장도로 확장공사로 인한 토사 유실로 탁수발생이 큰 것으로 조사되었다. 비포장도로의 노면 토사가 거의 대부분 유실되어 암반이 드러난 구간이 상당부분 확인되었다. 따라서 신흥천은 산사면과 도로공사에 의한 장기간 토사 유실 등의 원인이 클 것으로 판단되었다.

5. 결 론

임하호의 탁수현상은 이 유역에 분포한 특유의 미세한 점토광물질을 함유한 세일층이 강우에 의해 침식된 토사가 하천으로 흘러들어 임하호에 유입되어 발생하는 현상으로 이 유역의 지형, 지질적인 특성과 함께 태풍으로 인한 집중호우로 발생한 다수의 산사태, 경작지 유실, 토사붕괴 및 임하댐의 관리기능이 복잡하게 얹혀 발생한 것으로 판단된다. 임하호 탁수 현상은 지형지질적인 특성과 함께 집중강우로 인한 많은 토사붕괴와 댐저류에 의한 장기화가 복합적으로 작용하여 발생한 것으로 댐의 기능을 최대한 유지하면서 탁수 저감을 달성하기 위해서는 합리적인 대책을 수립하여 종합적으로 관리되어야 할 것이다.

참고문헌

- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 15th Edition, Water Pollution Control Federation, Washington, DC, 1980.
- Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes, U.S. EPA 1979.
- Process Design Manual for Suspended Solids Removal, U.S. EPA Technology Transfer, January 1975.
- Water Treatment Plant Design, American Water Works Association, 6666w. Quincey Avenue, Denver, Colorado 80235.