

AHP기법을 이용한 댐 유역의 탁수 위험도 평가

Evaluation of Watershed Turbid Water Risk using AHP method

Dimension Estimation in River Basin

최동진*, 염경택**, 류태상***, 한장운****, 이근상*****

Dong Jin Choi, Kyung Taek Yum, Tae Sang Ryu, Geun Sang Lee

요 지

유역에서의 수자원관리에 큰 과제로 대두되고 있는 댐의 탁수문제에 대한 종합적인 대책 마련을 위해서 국내 댐 유역의 탁수발생의 가능성과 탁수 발생시 피해 가능성에 대한 체계적인 검토가 이루어져야 한다. 본 연구에서는 댐의 탁수문제에 대한 종합적인 대책을 마련하기 위해 댐 유역의 탁수 위험도를 평가할 수 있는 방법을 개발하였다. 종합적인 탁수 위험성을 평가하기 위해서 탁수 평가지표를 개발하였고, 이를 통해서 5개 댐 유역에 대한 시범평가를 실시하였다.

탁수 위험도 평가를 위해서 평가 분야를 탁수 취약성과 탁수 피해성, 탁수 영향의 3가지 분야로 구분하여 계층화된 형태로 종합지표화하였고, AHP기법을 적용하여 평가분야와 세부평가지표에 대한 가중치를 결정하였다. 시범평가 결과 5개댐 중 실제 탁수발생 현상은 일부 댐에서만 높게 나타나고 있으나, 대부분의 댐들이 탁수발생 잠재성이 높은 것으로 확인되었다. 평가 대상 댐 중에서는 임하댐과 소양댐 순으로 종합적인 탁수위험도가 높은 것으로 나타났다.

탁수 평가 지표를 개발하기 위하여, 기존의 국내외의 조사결과 등을 토대로 90여개의 탁수관련 인자들을 탁수발생 잠재성, 과거 탁수 발생 여부, 탁수 영향 등의 3가지 분야로 분류하여 최종적으로 7가지의 세부평가항목(강우지표, 유역지질, 토사유출량, 최고탁도, 고탁도 지속기간, 용수이용량, 호소생태기능)을 결정하였다. 7가지의 지표들은 탁수와 상관성을 고려하여 표준화시켰고, 세부 평가항목들의 가중합이 종합적인 평가지표가 되도록 하였다.

댐의 탁수 위험성에 대한 평가는 댐유역의 종합적인 탁수 위험도 평가와 분야별 평가, 댐별 세부항목 평가로 구분하여 이루어졌다. 시범평가는 국내의 주요 5개 수계별로 1개의 댐을 선정하여 이루어졌다. 추가적으로 AHP의 적용시 생길 수 있는 지표의 중복성과 상호연계성, 평가자의 편향 등으로 인한 문제들을 어떻게 해결하여야 하는지에 대해서도 검토하였다.

핵심용어 : 탁수, 유역관리, 평가지표, AHP, 댐관리

1. 서론

최근 하천과 댐의 탁수가 사회적 관심을 끌고 있다. 탁수는 강우에 의해 유역의 토사가 흘러들어 생기는 흙탕물로 우리나라에서는 홍수기에 볼 수 있는 자연스러운 현상이었다. 그런데 최근 일

* 정회원 · 국토환경연구소 · E-mail : water@eco.re.kr
** 정회원 · 한국수자원공사 댐유역관리처장 · E-mail : yumkt@kwater.or.kr
*** 정회원 · 한국수자원공사 댐유역관리처 하천유역팀장 · E-mail : ryuts@kwater.or.kr
**** 정회원 · (주)한국종합기술 이사 · E-mail : jwhan@kecc.co.kr
***** 정회원 · 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 · E-mail : ilovegod@kwater.or.kr

부 댐에서 과거와는 비교할 수 없을 정도의 높은 탁도의 탁수가 발생하여, 몇 개월 동안 깨끗해지지 않고 지속되는 현상이 자주 발생하고 있다. 이러한 고탁도 탁수의 장기화는 정수처리 비용을 증가시키고 어획량을 감소시켜며 하천 생태환경을 악화시키는 등 물이용과 하천관리에 많은 문제를 낳고 있어 이에 대한 대책이 필요하다.

탁수 장기화의 원인으로는 여러 가지가 지적되고 있다. 기후변화의 영향으로 인한 국지적 집중호우, 고랭지 밭 등 강우시 다량의 토사 유출을 유발시키는 과도한 하천 주변 토지의 개발, 탁수에 취약한 지형과 지질 등이 탁수를 유발하는 요인들로 보고되고 있다. 예를 들어, 태풍 ‘에위니아’가 한반도에 상륙한 2007년 7월 소양호유역의 시간 최대 강우량이 88mm를 기록한 바 있으며, 이로 인해 고랭지밭 및 수해지역을 중심으로 다량의 토사가 하천과 저수지로 유입돼 고탁수 방류가 장기화 되는 문제를 가져온 바 있다(김정곤, 2009).

탁수로 인한 사회경제적, 환경적 피해를 예방하고, 탁수 발생을 저감하기 위한 유역차원의 탁수대책을 세우기 위해서는 탁수의 발생가능성과 탁수의 영향 등에 대한 종합적인 평가가 필요하다. 본 연구는 종합적인 탁수대책을 세우기 위해 필요한 유역차원의 탁수위험도를 평가하기 위한 방법론을 제시한다. 탁수대책을 세우기 위한 탁수 위험도의 평가는 토사유출량을 산정하거나 탁수농도를 예측하는 것과는 다른 접근이 필요하다. 유역차원의 대책을 세우기 위해서는 토사유출량이나 탁수농도, 강우 등의 물리적 지표들만을 기준으로해서는 안되고, 유역의 여러 가지 사회경제적 특성과 탁수로 인한 영향 등을 종합적으로 고려하여야 한다. 본 연구에서는 다기준 의사결정 방법의 가장 대표적인 방법 중의 하나는 AHP기법을 통해서 탁수위험도를 평가한다.

탁수 위험도 평가를 위해서 평가 분야를 탁수 취약성과 탁수 피해성, 탁수 영향의 3가지 분야로 구분하여 각 분야별 평가지표를 선정하였다. 또, AHP기법을 적용하여 평가분야와 세부평가지표에 대한 가중치를 결정하고, 이를 토대로 5개 댐 유역에 대한 시범평가를 실시하였다.

2. 탁수위험도 평가 방법

2.1 유역 탁수 평가지표의 선정과 표준화

탁수 위험도 평가 인자는 크게 탁수발생 유발인자와 탁수피해관련 인자로 구분할 수 있다. 탁수 발생 유발인자들은 평가지표의 일반적 분류 체계를 기준으로 할 때, Driving Force에 해당하고, 탁수피해 인자들은 State에 해당한다. 토사유출량이나 탁수를 예측하기 위한 모델링 작업에서는 Driving Force(강우, 지형, 지질, 토지이용 등)만을 고려하면 되지만, 사업 계획 수립을 위한 잠재성 평가에서는 State를 나타내는 인자(토사발생량, 탁수피해 등)들도 고려하여야 한다.

탁수 위험도와 관련된 인자들 중에서 탁수위험에 미치는 영향의 중대성과 인자간 중복성, 유역간 비교가능성 등을 고려하여 탁수 위험도 평가를 위한 지표를 도출한다. 예를 들어, 강우는 탁수 발생의 가장 근원적이고 중요한 요인이지만, 유역간 차이가 크지 않아 개별 댐간의 탁수잠재성을 비교하는데 한계가 있다. 토사발생량의 경우 탁수 발생가능성을 평가할 수 있는 중요한 지표이지만, 토사발생량을 산정하기 위해 사용되는 모든 인자(매개변수)들이 유역별 특성을 정확하게 반영하고 있다고 보기는 힘들다. 따라서 토사발생량만으로 탁수잠재성을 평가하는 것은 평가와 정확성과 객관성의 측면에서 위험성이 크다. 평가 지표간 중복성이 있더라도, 탁수잠재성을 나타내는 주요한 인자들을 가능한 모두 포함시키되, 평가방법에서 인자간의 중복성과 상호작용을 고려하여야 한다. 즉, 탁수위험도 평가에 필요한 정보를 최대한 활용하되, 인자간의 상호관계로 인한 영향을 고려하여 평가하여야 한다.

탁수 잠재성 평가지표를 도출하기 위해서 기존 문헌연구와 조사자료 등을 토대로 90개의 탁수 관련 인자 및 지표의 목록을 작성하고, 각 인자들의 특성에 따라 취약성(잠재성), 피해성(탁수발생), 대응성 관련 분야로 분류하였다. 탁수 잠재성 평가를 위한 핵심 지표 선정에 위해 각 인자 및 지표들을 분류하고, 전문가 회의를 통해서 지표선정의 원칙을 설정하고 7개의 인자를 탁수 잠재성평가지표로 선정하였다.

표 1. 탁수 위험도 평가를 위해 선정된 7개의 지표

번호	평가지표	설 명
1	강우빈도	50mm/hr 이상 강우강도의 2000년대 빈도수
2	유역지질	지질특성 코드화 및 점수화
3	토사유출량	RUSLE인자 산정 및 토사유출량 산정
4	호소생태기능	호소 내 멸종위기종, 어류서식종수, 외래어종수 등
5	고탁도지속기간	최근 5년간 연중 탁도 30NTU 이상인 일수의 평균
6	최고 탁도	최근 5년간 30NTU 이상인 탁도의 평균
7	용수이용량	생활, 농업, 공업용수 전체 이용량

지표선정의 원칙은 ① 탁수와 어느 정도 관련성이 있는가 ② 댐유역별 상대적인 비교가 가능한가 ③ 모든 댐유역에 대해서 신뢰성 있는 데이터의 확보가 가능한가 ④ 다른 지표들과 중복성은 없는가 ⑤ 명확하고 간단하여 이해가 쉬운가 등이다.

각 지표는 상대적 비교를 위해서 100점 만점으로 표준화되었고, 5단계의 등급으로 평가점수를 구분할 수 있도록 구성되었다. 아래 표는 강우강도의 표준화 방법을 제시한 것이다.

표 2. 탁수 위험도 평가를 위한 지표의 표준화 사례 (강우강도)

등 급	1등급	2등급	3등급	4등급	5등급
평 점	80 ~ 100	60 ~ 80	40 ~ 60	20 ~ 40	0 ~ 20
강우강도	20.8 ~ 26	15.6 ~ 20.8	10.4 ~ 15.6	5.2 ~ 10.4	0 ~ 5.2
	50mm/h 이상 강우의 연평균 빈도수로 1970년대 이후 최대값인 26을 100을 설정				

2.2 탁수 위험도 평가 기법

탁수 잠재성 평가는 개별지표에 의한 평가, 분야별 평가, 종합 평가의 세가지 차원에서 수행하였다. 개별지표에 의한 평가에서는 강우, 지질, 토사유출량, 호소생태기능, 탁도, 용수이용량을 댐별로 비교하여 분야별 취약성과 피해가능성 등을 평가한다. 분야별 평가에서는 평가분야를 탁수발생 잠재성, 탁수발생빈도, 탁수영향 등의 분야로 구분해서 댐별로 표준점수를 비교하여 평가한다. 아래 <그림 1>에서 <그림 3>까지는 분야별 평가 결과를 제시한 것이다.

종합평가는 개별 지표들의 가중합을 비교하는 방식으로 수행하였다. 지표별 가중치의 선정은 AHP 기법에 의해서 결정한다. AHP 기법의 가장 큰 특징은 의사결정이 고려되는 다양하고 복잡한 평가요소들을 주요 요소와 세부 요소로 계층화하여, 계층별 요소들에 대한 쌍대비교(pairwise comparison)를 통해 평가자의 지식, 경험, 직관을 포착하여 의사결정에 도달하는 것이다. 이것은

적용이 쉬울 뿐만 아니라 평가에 참여한 연구진의 전문적 판단을 적절히 유도해 낼 수 있어 다수 인자, 다수의 의사결정자, 다기준, 불확실성 등의 요인이 복합적으로 작용하는 사회, 정치, 기술, 경제 분야의 의사결정에 널리 사용되고 있다.

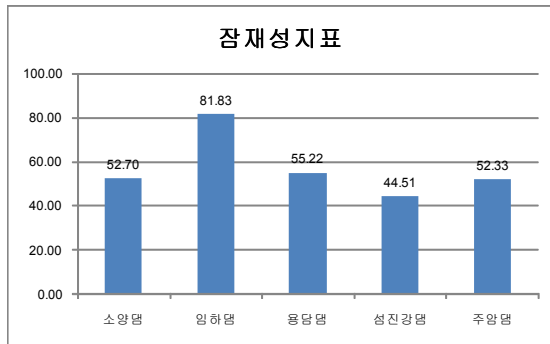


그림 1. 탁수잠재성 지표의 유역간 비교

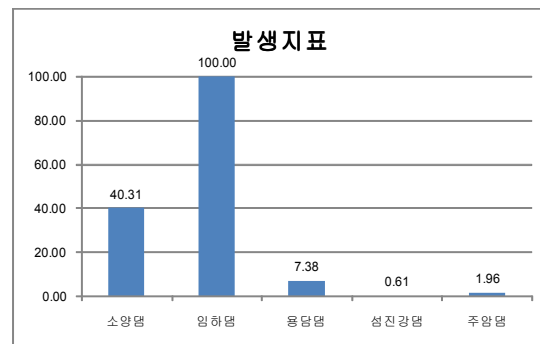


그림 2. 탁수발생 지표의 유역간 비교

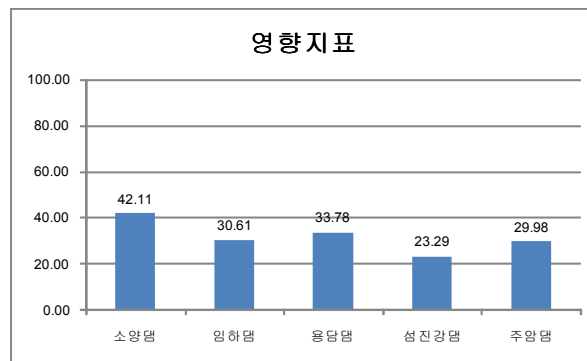


그림 3. 탁수영향 지표의 유역간 비교

대다수의 의사결정 문제가 해결 방안의 단순화를 위하여 고려되는 구성요소들 간 독립성을 가정하였다. 그러나 대부분의 의사결정 문제는 그 특성상 요소들 간의 수평적 상호관계와 수직적인 종속성이 존재하기 때문에 단순히 계층적 구조만으로는 설명할 수 없는 경우가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 기법이 ANP(analytical Network process)이다. ANP는 평가요소의 상호간의 종속성을 수용함으로써 AHP 모형처럼 평가요인들이 상하로만 연결되는 형태가 아니라 좌우로도 연결되므로 네트워크 형태를 갖게 된다. 본 연구에서도 AHP와 ANP의 기법을 각각 적용하여 그 결과를 비교하였다.

3. 탁수 위험도 평가 결과

AHP기법 적용하여 평가요소별 가중치를 산정하고 종합적인 평가결과를 비교하였다. 또, AHP 기법 적용시 문제가 되는 평가요소들 간의 중복성을 고려하여 적용한 결과의 신뢰성을 검증하기 위해서 ANP기법을 도입하여 AHP적용 결과와 비교하였다.

시범평가 결과 5개댐 중 실제 탁수발생 현상은 일부 댐에서만 높게 나타나고 있으나, 대부분의 댐들이 탁수발생 잠재성이 높은 것으로 확인되었다. 평가 대상 댐 중에서는 임하댐과 소양댐 순으

로 종합적인 탁수위험도가 높은 것으로 나타났다. 세부 평가 항목별 중복성과 상호의존성을 고려하기 위해서 ANP기법을 적용하여 AHP 적용 결과와 비교하였더니, 댐별 종합평가 점수가 달라졌지만, 전체적인 경향과 점수 순위에는 큰 차이가 없었다.

표 3. 탁수위험도의 표준화 결과(AHP)

구분	소양	임하	용담	섬진	주암
종합평가 점수(점)	49.32	77.69	41.48	30.75	36.94

표 4. 탁수위험도의 종합적인 평가 결과(ANP)

댐명	Ideals	Normals	Raw
소양	0.578341	0.207500	0.085862
임하	1	0.358786	0.148463
용담	0.436443	0.156589	0.064796
섬진	0.347724	0.124758	0.051624
주암	0.424672	0.152366	0.063048

감 사 의 글

본 연구는 국토해양부와 환경수자원공사가 지원하는 “수계단위의 탁수예방 기본계획 수립 용역”의 일환으로 수행되고 있으며, 이 계획에 참여하고 있는 분야별 전문가들의 협력으로 이루어지고 있다. 지원과 협력에 깊은 감사를 드린다.

참 고 문 헌

1. Thomas L. Saaty(2000) 리더를 위한 의사결정
2. Dave Rosgen(2006) Watershed Assessment of River Stability and Sediment Supply(WARSSS)
3. Rozann W. Saaty(2003) The Analytic Hierarchy Process (AHP) for Decision Making and the Analytic Network Process (ANP) for Decision Making with Dependence and Feedback
4. Andrew J. Gunther, Lisa Jacobson (2002) Evaluating the Ecological Condition of the South Bay: A Potential Assessment Approach
5. Brisbane City Council(2006) Erosion Hazard Assessment
6. Washington State Department of Ecology(2001) Stormwater Management Manual for Western Washington
7. 김정곤(2009). 기후변화에 따른 탁수관리 현황 및 대책, ‘기후변화 대응 물 환경 관리’ 심포지엄