

## 수계단위 탁수예방 대책 수립을 위한 학제간 연구

### Interdisciplinary Research for Pre-prevention Measures of turbid water with Watershed Units

염경택\*, 조용덕\*\*, 김재윤\*\*, 반양진\*\*\*, 박봉진\*\*\*,

Kyung Tak Yum, Yong Deok Cho, Jae Yun Kim, Yang Jin Ban, Bong Jin  
Park,

#### 요 지

최근 임하댐, 소양강댐을 대상으로 탁수의 문제가 심각하게 제시되고 있으며, 이에 대한 대책을 수립하기 위해 정부, 공공연구기관, 대학 등에서 다양한 연구를 진행하고 있으나 탁수 발생에 대한 근본적인 대책 수립과 이의 효과에 대한 분석이 이루어지고 있지 않은 실정이다. 현시점에서 탁수발생의 근본적인 원인을 규명하고 이에 대한 대책이 계획적이고 치밀하게 수립되어야 할 것으로 판단된다.

우리나라의 기후변화는 지난 100년(1906~2005) 동안 평균 기온이 약 1.5°C 상승하였으며, 강우강도가 큰 집중호우의 발생빈도는 약 18% 증가한 반면, 강우일수는 약 14% 감소하는 추세에 있다. 또한, 지구온난화로 인하여 식생대, 어종 등 생태계가 아열대성 기후로 진행되고 있으며, 탁수발생의 원인은 이상기후로 인한 강우강도의 증가뿐만 아니라, 집중홍수 빈발, 식생대(Vegetation) 변화와 유역관리(Watershed Management) 소홀 등의 복합적인 원인에 의하여 새롭게 발생하는 현상이다. 또한, 최근의 탁수는 댐 상류는 물론 수계전반에 걸쳐 발생하고 있으며, 지난 2007년 발생한 북한강 수계의 탁수문제 등에서 이제는 정부차원의 체계적인 발생원인 규명과 대책 마련이 필요한 실정이다.

댐 및 하천으로 유입되는 탁수는 저수지의 고탁도 현상의 장기화를 야기시키며, 이로 인해 댐 저수지 및 하류하천 수질악화, 정수처리 비용 증가 등 댐 저수지의 효율적인 수질관리가 어려운 실정이다. 한편, 고농도의 인(P)이 유입되어 저수지내 부영양화(Eutrophication) 및 수생태계의 변화를 초래하고 있다. 앞으로도 잠재적 탁수발생 가능성이 커질 것으로 전망됨에 따라 탁수발생 메커니즘 규명, 댐 저수지내 수리동역학적 거동특성 및 생태계에 영향(Ecological Impact) 등 탁수와 관련된 미개척 분야의 연구가 시급한 상황이다.

댐과 유역을 분리하여 수립된 기존의 대책으로는 탁수발생의 근본적인 원인규명과 대책 수립이 어려운 실정이므로 수계단위로 탁수에 대한 연구가 진행되어야 한다. 따라서 수계별로 탁수발생의 근본적인 원인을 규명하기 위하여는 수계별 탁수발원지 및 발생원인 조사, 댐 저수지의 수리동역학적 탁수거동 해석, 탁수발생 잠재성 평가, 수계단위 탁수예방 대책 수립을 위한 우선순위 결정 등을 포함한 학제적인(Interdisciplinary) 연구를 진행할 계획이다.

**핵심용어** : 탁수(turbid water), 수계(watershed), 부영양화(Eutrophication),  
학제적연구(Interdisciplinary research)

\* 한국수자원공사 댐·유역관리처 처장, \*\* 한국수자원공사 댐·유역관리처 과장,

\*\*\* 한국수자원공사 댐·유역관리처 팀장

## 1. 탁수발생 원인

최근 임하댐, 소양강댐을 대상으로 탁수의 문제가 심각하게 제시되고 있으며, 이에 대한 대책을 수립하기 위해 정부, 공공연구기관, 대학 등에서 다양한 연구를 진행하고 있으나 탁수 발생에 대한 근본적인 대책 수립과 이의 효과에 대한 분석이 이루어지고 있지 않은 실정이다. 현시점에서 탁수발생의 근본적인 원인을 규명하고 이에 대한 대책이 계획적이고 치밀하게 수립되어야 할 것으로 판단된다. 탁수발생은 수만가지의 원인에 의해서 발생되지만 현재까지 알려진 바에 의하면 다음과 같은 사항이 검토되어 질 수 있다.

### 1.1 한반도 기후변화

전 지구적으로 온난화가 주요한 화두로 대두되고 있으며, 국가간 회의시에도 주요한 주제로 다루어지고 있는 실정이다. 특히 우리나라의 기후변화는 지난 100년 동안 평균 기온이 약 1.5°C 상승한 것으로 그림 1.1에서 보여주고 있다. 그리고 IPCC<sup>1)</sup> 4차 보고서에 의하면 전 지구적으로도 지난 100년간 약 0.6°C 기온이 상승한 것으로 보고된 바 있다.

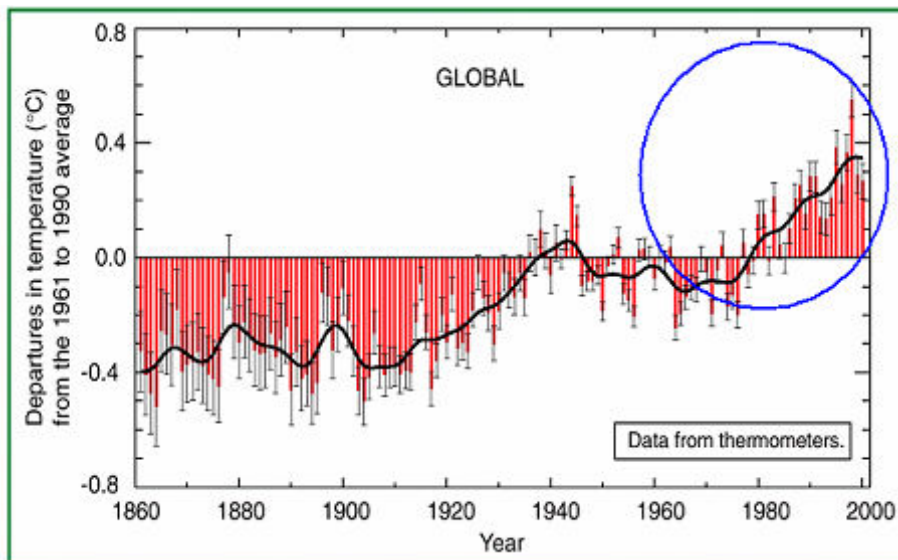


그림 1.1 한반도의 평균기온 변화추이(1860~2000)

기상청에 의하면 우리나라는 현재 열대야<sup>2)</sup> 장기현상과 국지성 집중호우의 빈발 등 온대성 기후에서 아열대성 기후로 진행이 되고 있다고 밝힌 바 있으며, 그림 1.2에서는 지역별 열대야 발생 일수가 증가되고 있는 추이를 확인할 수 있다.

1) IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change, 세계기상지구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)이 공동으로 설립한('88) 기후변화에 관한 정부간 패널

2) 열대야(熱帶夜)는 야간의 최저 기온이 25°C 이상인 밤을 뜻한다. 일본의 기상 에세이스트 구라시마 아쓰시(倉嶋厚)가 만든 말이다. 단, 일본 기상청이 통계로 하는 것은 야간 최저기온에 의한 열대야가 아니고 하루(0~24시) 중 최저 기온이 25°C 이상인 날이며 이에 관련해서 특별한 명칭은 없다.

### 지역별 열대야 발생일수 (자료 : 기상청)

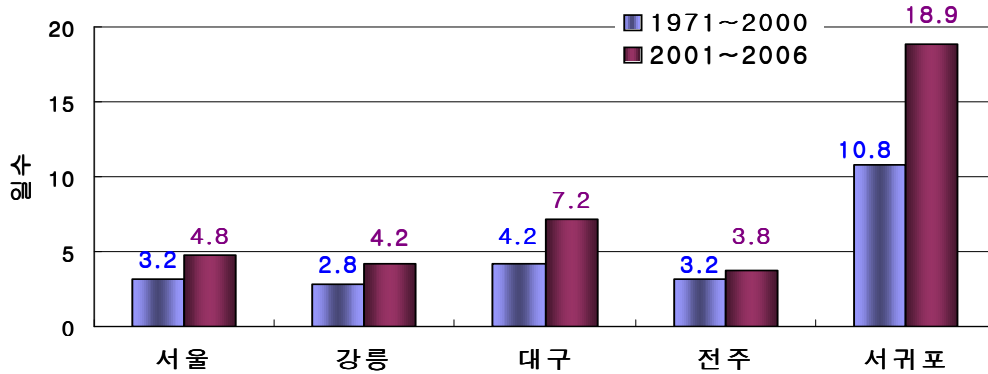


그림 1.2 우리나라 지역별 열대야 발생일수

### 1.2 한반도 강우변화

우리나라의 전형적인 강우패턴은 평갈수기에 비가 적으며 홍수기에 국내강우의 60~70% 이상 집중됨에 따라 효율적인 수자원관리가 어려운 실정이다. 이와 같은 현상이 최근에는 기후변화로 인해 강우의 패턴이 변화되고 있으며, 강우일수는 감소 추세이나 강우강도가 큰 집중호우의 발생 빈도가 많아지고 있는 추세이다. 특히, 1920년대에 비하여 최근 20년동안 연강수량은 7% 증가한 반면에 강우일수는 14% 감소하였고 강우강도도 약 18% 증가하고 있어, 수자원관리가 더욱더 어려워지고 있는 실정이다. 더욱이, 강우총량은 과거와 비슷하지만 100mm/day 이상의 강우일수가 1.5배 이상 증가되고 있는 것을 확인할 수 있었다. 그림 1.3에서는 년도별 강우강도, 강우일수 및 연강수량의 변화 추이를 나타내고 있다.

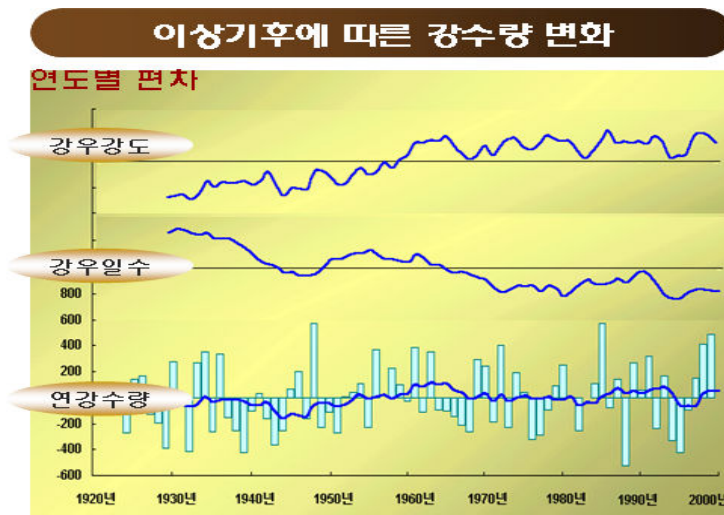
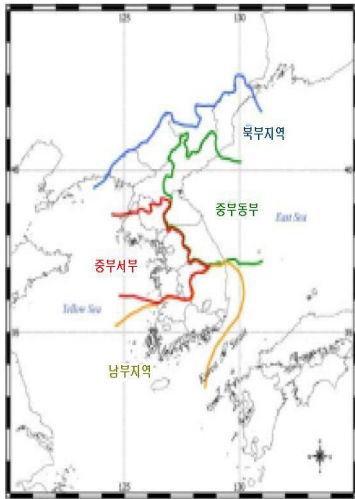


그림 1.3 이상기후에 따른 강수량 변화 추이

한편, 최근에 기상청에서는 최근 장마 두에도 계속되는 집중호우 현상을 감안하여 6월에서 8월 여름철을 우기로 명명하는 방안을 검토중에 있는 것으로 조사되었다.

### 1.3 생태계의 변화

지구 온난화는 기후, 기상뿐만 아니라 우리나라 생태계의 변화에도 관련이 되어 질 수 있다. 지구 온난화로 인하여 식생대, 어종 등 생태계가 아열대성으로 진행될 전망이며, 한국정책평가연구원(2003) 자료에 의하면 2100년까지 한반도의 온대림이 아열대림으로 상당부분 진행될 것이라고 발표된 바 있다. 이와 같은 현상은 범 지구적 기후변화에 맞춰 국토개발 및 관리에도 새로운 기후변화가 고려되어 진행되어야 할 것으로 판단된다.



【한반도의 온대아한대림 영향분석(2100년까지)】

지역		삼림변화량 (온대 → 아열대림)
식생	남부지역(난온대림)	34.99%
	중부서부(냉온대림)	16.18%
	중부동부(냉온대림)	3.16%
	북부지역(아한대림)	3.11%
어류	동해, 서해('05)	아열대성 어종 (노랑가오리 등) 출현

※ 출처 : 한국환경정책평가연구원(2003), 국립수산물과학원

### 2. 탁수발생 현황

최근 탁수문제는 위에서 언급된 바와 같이 기상변화로 인한 강우강도 증가, 집중호우의 빈발과 식생대의 변화와 유역관리의 소홀 등 복합적인 원인에 의해서 발생된 새로운 현상이라고 판단되며, 이와 같은 현상이 일시적인 event 형이 아닌 장기적이며, 특정댐에서 발생하는 것이 아니고, 전 수계에 걸쳐서 탁수 현상이 발생되고 있다. 표 2.1에 의하면 댐별 최고탁도 발생년도가 지역별 강우강도의 변화에 따라 상이한 점을 확인할 수 있으며, 이는 탁수발생이 일부댐에 국한된 것이 아니고, 내·외부적인 영향에 따라 탁수 발생정도가 다르다는 것을 알 수 있다.

표 2.1 국내 주요 다목적댐의 탁수발생 현황 (최근 5년간)

구분	소양	임하	안동	합천	대청	황성	밀양	주암
탁수일수(30 NTU 이상)	226	315	41	20	50	28	15	13
최고탁도 (NTU)	328	1,221	159	283	126	67	92	98
최대강우강도 (mm/hr)	88	76	60	75	61	60	77	41
발생년도	'06	'03	'06	'04	'02	'06	'06	'06

또한, 상기에서 언급된 바와 같이 최근의 탁수는 댐 상류는 물론 수계전반에 걸쳐 발생하고 있

으며 2007년 북한 지역으로부터 유입된 흙탕물로 인해서 남북을 연결하고 있는 하천에 대해서는 “남북공유하천 공동관리”의 문제로 까지 확대되고 있는 실정이며, 이는 정부차원의 체계적인 발생 원인규명과 대책의 마련이 필요할 것으로 판단된다. 표 2.2에서는 2007년 8월 27일 북한강 수계에 서의 탁수발생현황을 나타내고 있으며, 그림 2.1에서는 소양강댐 방류수, 의암댐, 청평댐 및 팔당 댐별로 탁도농도의 변화 추이를 보여주고 있다.

표 2.2 북한강수계 탁수발생 현황 ('07. 8. 27)

강우량(mm)	탁 수 량 (백만m <sup>3</sup> )			
	계	평화의댐	화천댐	춘천댐
610	784	24	626	134

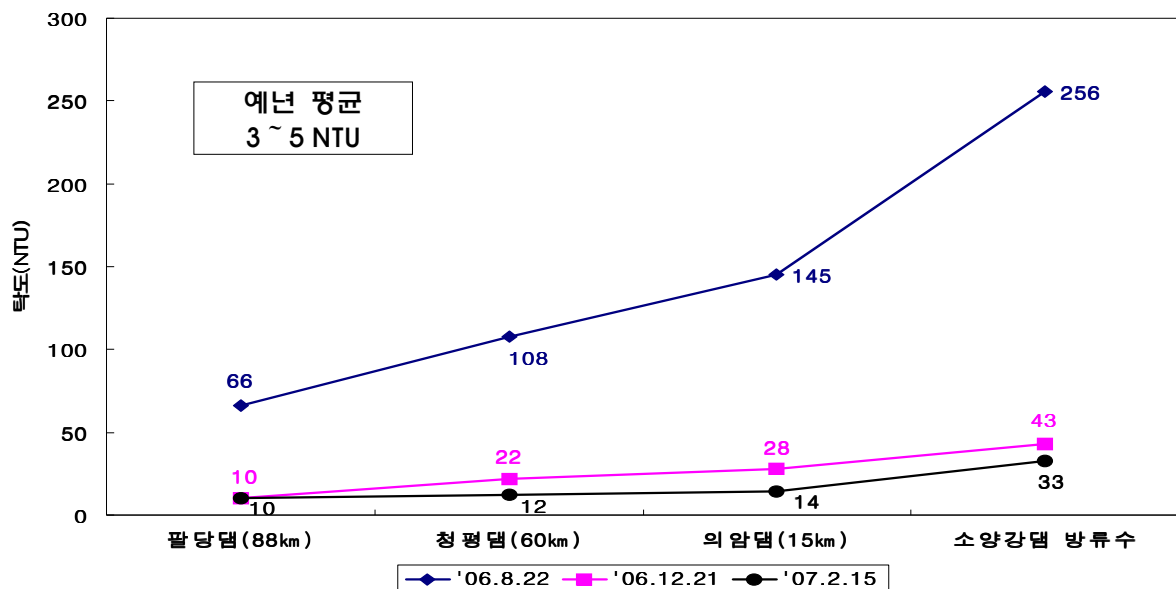


그림 2.1 북한강 수계 지점별 탁도농도 변화 추이

### 3. 탁수대책 수립을 위한 새로운 접근방안

탁수의 발생은 기후, 강우, 수리·수문, 지형지질, 식생, 토양, 유역 및 하천의 특성 등 복잡 다양한 원인에 의해서 결정되어질 수 있으며, 이는 단순히 몇 개 분야의 전문가에 의해서 해결될 수 없으므로, 탁수발생 원인과 발생기작의 철저한 원인분석과 탁수가 저수지 및 하천생태에 어떠한 영향을 미칠 것인가에 대한 영향분석 등을 포함할 수 있는 학제간(Interdisciplinary) 연구가 진행되어야 하며, 특히 개별댐이 아닌 수계단위에서 종합적으로 탁수발생원인과 유출경로 및 댐과 댐간의 연계성에 대한 검토가 종합적으로 이루어지고, 근본적인 탁수발생 종합대책이 수립되어야 할 것으로 판단된다.

이를 위해서 탁수문제는 기후변화 등 건전한 국토관리 및 개발차원의 큰 틀에서 접근하여 수계단위의 학제적인 조사연구와 대책이 수립되어야 할 것이다.

#### 4. 수계단위 탁수발생 사전예방 종합대책 수립

탁수발생 종합대책 수립을 위해서 수계단위 탁수예방 기본계획을 수립하여 세부 Action Plan 을 수립한 후에 수계단위 탁수발생 사전예방 종합대책을 수립할 계획이며, 수계단위 탁수예방 기본 계획시에는 수계별 탁수발원지 및 발생원인조사, 댐 저수지내 수리동역학적 탁수거동해석, 수계단위 탁수거동 모의 및 모니터링 계획과 탁수발생 잠재성평가 및 수계별 사업추진 우선순위에 대한 결정과 수계단위 탁수예방 종합대책 수립을 위한 연차별 계획을 수립한 후에 수계단위 탁수발생 사전예방 종합대책을 수립할 계획이다.

특히 본 연구는 학제간 연구 진행을 위해 여러 분야에 걸쳐 연구가 진행 될 계획이며, 연구분야는 기후변화 등 기상분야, 지형·지질 및 GIS 분야, 생태영향분야, 토사유출 평가, 탁수발생 잠재성 평가지표 개발 및 잠재성 평가, 탁수거동 모의를 위한 적용모델 평가 및 선정, 수리동역학적 탁수거동해석, 탁도기준 설정을 위한 기술적 평가 및 제도적 접근방안 및 탁수발생 최소화를 위한 유역관리방안 등에 대한 연구가 진행될 계획이다.

#### 5. 결 론

탁수발생의 근본적인 대책 수립을 위해서는 탁수발생 원인과 유출특성에 대하여 명확하게 규명되어야 한다. 이를 위해서는 앞서 언급한 바와 같이 탁수와 관련된 여러분야의 전문가가 공동참여하여 연계할 수 있는 다학제간 연구를 진행할 계획이며, 연구의 방향은 개별댐에서 수계단위로 확대하여 댐을 중심으로 하천과 유역을 연계할 수 있는 통합유역관리 개념에서의 탁수예방 기본 계획과 종합대책을 수립할 계획이다.