

연구노트

## 국내 6개 다목적댐 저수지의 담수 전·후 수질 비교평가

박재충 · 신재기\* · 송영일\*\* · 정용문 · 송상진

K-water 수자원사업처 · K-water 연구원\* · 한국환경정책 · 평가연구원\*\*

(2010년 7월 20일 접수, 2011년 2월 14일 승인)

### Water Quality Assessment for pre and post-Impoundment of 6 Multipurpose Dam Reservoirs in Korea

Jae-Chung Park · Jae-Ki Shin\* · Young-Il Song\*\* · Yong-Moon Jeong · Sang-Jin Song

Water Resources Business Dept., K-water, Daejeon, Korea

Korea Institute of Water and Environment, K-water, Daejeon, Korea\*

Environmental Appraisal Center, Korea Environmental Institute(KEI), Seoul, Korea\*\*

(Manuscript received 20 July 2010; accepted 14 February 2011)

### Abstract

This study was carried out to assess the variations of water quality caused by the dam construction on the river. Six dams-Yongdam, Miryang, Hoengseong, Boryeong, Jangheung and Buan- constructed recently in Korea were selected for the study. Chemical oxygen demand(COD) was increased in the initial stage of water storage at dams compared to the lotic(river) environment, but after 3 years it was maintained lower and stabilized concentrations. Five dams except for Jangheung Dam were maintained Ia-Ib grade conditions under the water quality criteria of Korea. The concentrations of total nitrogen(T-N) were decreased under the lentic(reservoir) environment compared to the river status. Total phosphorus(T-P) was decreased 13~63% at the reservoir condition. We concluded that increase of COD concentration was due to the debris organic materials of the land, but temporary phenomenon. T-N and T-P concentrations were decreased at the lentic condition compared to the lotic.

Keywords : Dam construction, Lentic(Reservoir), Lotic(River), Impoundment, Water quality

## 1. 서론

환경영향평가는 사업을 시행하기 전에 환경영향을 예측하여 저감방안을 강구하고, 사업의 착공·운영단계에서 모니터링을 통해 저감계획의 적정성을 평가 및 보완하는 2단계의 체계로 구성·운영되고 있다. 환경영향평가를 시행할 때에는 환경영향평가법 제8조에서 규정하는 생활환경, 자연생태환경 및 사회·경제 등 6개 분야에 대한 환경영향을 검토하여야 하며, 총 21개의 세부항목에 대하여 영향평가를 수행한다(환경부, 2008a). 평가항목 중 수환경 분야의 검토는 환경영향평가서 작성 등에 관한 규정에 따라 사업자는 집수구역, 하류 영향지역을 대상으로 기존 자료조사와 현지조사를 병행하여 갈수기, 저수기, 평수기 및 풍수기별로 지표 수질현황을 조사하고 공사시와 운영시로 구분하여 사업이 수질에 미치는 영향을 검토하게 된다(환경부, 2008b). 또한, 환경영향평가가 완료되면 공사시부터 준공 후 일정 기간까지 사업의 착공과 운영으로 발생할 수 있는 주변의 환경변화 파악과 피해를 방지하기 위하여 사후환경영향조사를 시행하게 된다.

일반적으로, 하천에 댐을 건설하면 정체와 영양염을 기반으로 활발한 내부생산에 의한 유기물 증가로 호소는 급격히 부영양화될 것으로 우려한다. 댐 건설로 침수된 육상식생과 영양염을 함유한 토양은 어류나 저서성무척추동물에게 서식지, 산란처를 제공하고 생산량을 높일 수 있으나, 유기물 농도를 증가시킬 수 있고 조류(algae)의 발생량을 높이는 결과를 초래하기도 한다(Thornton *et al.*, 1990). 댐 건설사업의 환경영향평가에서는 하천의 유수환경(lotic environment)이 댐으로 인한 정수환경(lentic environment)으로 변화됨에 따라 예상되는 주변 생태계, 수리, 수질 등의 각종 문제점과 발생 가능성을 예측하여 그 영향을 피하거나 최소화되도록 저감방안을 수립하여 시행하고 있다. 담수 후의 수질보전을 위하여 상시만수위 내에 존재하는 수목, 영년작물, 오염 토양과 각종 폐기물을 담수 전에 제거한다(한영성과 윤석화, 2007). 그리고, 생태계 영향저감을 위해 어류 산란장, 동물 이

동통로, 생태습지, 양서·파충류 서식·산란장 및 수달 서식지 등을 조성하며, 댐의 상·하류 단절을 최소화하기 위해 어도설치를 검토하거나 유전자 교환 프로그램을 시행하기도 한다. 또한, 다양한 예측 기법을 활용하여 호소화에 따른 수질변화를 예측하고 수중폭기장치, 오폐수처리시설과 수생식물재배지 등을 조성하여 수질을 보전하고자 한다(한국수자원공사, 2009).

그러나, 하천이 댐에 의해 정수환경으로 변화되면서 기존의 수생태계는 새롭게 형성된 호소환경에 적응된 생물상으로 변화하여 천이가 이루어지며, 수체는 부영양화(eutrophication)에 의해 표층에서의 조류(algae) 과잉 발생(Harper, 1992), 유역에서 유래된 탁수(turbid water)가 호소 내 중층에 장기 체류(추창오 등, 2006), 심층의 산소 고갈(박재충 등, 2006)에 의한 혐기성 가스발생과 영양염·중금속 재용출 등으로 인한 수질악화 우려는 불가피하다. 이에 따라, 생태계 및 수질변화에 대한 다양한 연구가 수행되어 왔으나 기존의 연구들은 하천이나 호소상태에서 각각의 생태계, 수질변화를 보고하였을 뿐 댐 담수로 하천이 호소상태로 변화되는 시기를 대상으로 한 연구는 매우 드물다. 본 연구는 댐 건설로 하천환경이 호소환경으로 변화되는 댐 담수 전·후의 수질변화를 조사·분석함으로써 현재 조성 중인 댐 저수지의 수질관리방안 수립에 활용하고 댐 건설을 위한 환경영향평가의 장래 수질예측에 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 연구 대상지

국내에는 15개의 다목적댐이 운영되고 있으며, 한탄강댐, 영주댐, 성덕댐, 군위댐 등이 현재 건설 중에 있다. 본 연구는 현재 운영 중인 다목적댐 중에서 1990년대 후반 이후 준공된 용담댐, 밀양댐, 횡성댐, 보령댐, 장흥댐, 부안댐 등 6개 댐을 대상으로 하였다(표 1). 용담댐은 금강 상류인 전북 진안군에 위치하며 전주권(전주, 군산, 익산)을 포함한 서

표 1. 연구 대상지 개요

구 분	용담댐	밀양댐	횡성댐	보령댐	장흥댐	부안댐
위 치	전북 진안군	경남 밀양시	강원 횡성군	충남 보령시	전남 장흥군	전북 부안군
저수용량(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	815.0	73.6	86.9	116.9	191.0	41.5
저수면적(km <sup>2</sup> )	36.2	2.2	5.8	5.8	10.3	3.0
유역면적(km <sup>2</sup> )	930	95.4	209	163.6	193	59
유입하천	금강	단장천	섬강	성주천	탐진강	직소천
담수개시	2000.11	2001.12	1999.12	1996.10	2004.12	1995.9

해안지역의 용수공급과 금강 중·하류지역의 홍수 피해 경감을 위해 건설되었으며, 밀양댐은 밀양강의 지류인 단장천에 건설된 댐으로 경남 밀양시, 양산시 및 창녕군 일원의 용수공급 등을 위한 다목적 댐이다. 횡성댐은 섬강 지류에 건설되어 원주시를 포함한 섬강 중·하류지역에 각종 용수공급을 담당하며, 보령댐은 보령시, 서산시 등 충남 서북부 일원에 각종 용수를 공급하고 웅천천 하류 일대의 상습적인 홍수피해 경감을 담당한다. 장흥댐은 목포시, 장흥군, 강진군 등에 용수 공급, 하류 하천의 유허개선과 홍수조절을 담당하며, 부안댐은 변산반도에 위치한 댐으로서 전북 부안군, 고창군을 비롯한 인근 서해안지역의 급수난 해소와 홍수조절을 목적으로 건설되었다(그림 1).

## 2. 재료 및 방법

건설 중인 댐은 환경영향평가법에 따라 건설기간을 포함하여 준공 후 5년까지 사후환경영향조사를 시행하여야 하며, 이 후에는 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률(환경부, 2009)에 따라 정기적으로 수질환경을 조사하게 된다. 댐 운영단계에서의 조사항목, 조사시기 등은 환경부의 수질측정망 운영계획에서 정하고 있으나, 환경영향평가에서는 조사시기, 방법 등에 대하여 포괄적으로 정하고 있을 뿐 구체적인 조사항목에는 별도의 규정이 없다. 따라서, 댐 건설사업 시행자는 환경정책기본법 제10조의 환경기준에서 정하는 호소에서 사람의 건강보호 기준항목 17개, 생활환경 기준 9개 항목을 기본 조사항목으로 선정하고 댐이 위치하는 입지의 특성에 따라 화약류(한탄강댐), 중금속류(영주댐, 군위댐)

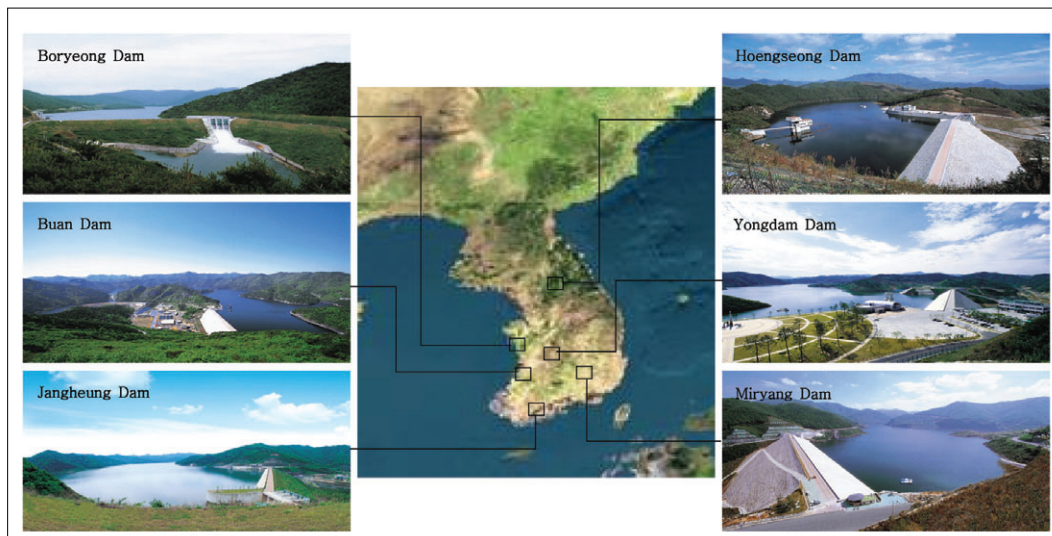


그림 1. 연구 대상지 위치도 및 전경

등의 항목을 추가로 조사하게 된다. 댐 건설기간에 용담댐 31개, 밀양댐 17개, 횡성댐 30개, 보령댐 27개, 장흥댐 33개 및 부안댐은 29개 항목을 각각 조사하여 항목의 종류와 수에는 차이가 있으나, 수온, DO, pH, COD, T-N과 T-P는 공통적으로 조사되었으며 담수 후에도 동일 항목을 포함하여 정기적인 조사가 이루어지고 있다.

본 연구는 댐을 담수하기 전(Pre)의 하천상태(River)가 담수 후(Post) 호소상태(Reservoir)로 변하는 시기의 수질변화를 조사하였다. 수온, DO, pH와 유기물 지표항목인 COD, 수계 부영양화 지표항목인 T-N, T-P와 N/비 등 7개 항목을 대상으로 댐 담수 전·후의 수질변화를 비교하였다. 하천상태의 수질은 각 댐의 건설기간 동안 수행한 사후환경영향조사의 결과이며(한국수자원공사, 1998, 1999, 2002, 2003, 2004, 2007), 담수 후의 수질은 해당 댐에서 실시하는 수질측정망 운영자료이다(www.kwater.or.kr). 각 댐의 댐축지점(그림 1)을 조사지점으로 선정하여 동일 지점에서 하천상태일 때 3년간(Pre-3~Pre-1)의 수질과 댐을 담수한 후 5년(Post+1~Post+5)까지의 수질을 조사하였다. 담수 전(Pre)의 수질은 대상 하천에서 매년 4회 조사한 결과의 연 평균치이고, 담수 후(Post)의 수질은 호소의 상·중·하층에서 매일 1회 조사한 결과의 연 평균치

이다. 다만, 가장 최근에 담수된 장흥댐의 Post+5는 2010년 1월부터 5월까지의 평균을 사용하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 기초 수질 (수온, DO 및 pH)

최근에 건설된 6개의 다목적댐을 대상으로 담수 전(Pre)인 하천상태와 담수 후(Post)인 호소상태의 기초 수질변화를 조사하였다(표 2). 수온은 하천상태보다 담수로 인해 수심이 증가한 호소상태에서 낮아지는 결과를 보였다(그림 2a). 하천상태에서 연평균 수온은 13.9~21.7°C의 분포로 위치별 편차가 컸으나 담수 후에는 12.4~15.4°C의 분포로서 편차가 3°C 이내인 결과를 보였다. DO는 담수 후에 전체적으로 감소하여 8.1~10.0mg/L의 범위로서 보령댐과 장흥댐은 증가하였고 용담댐, 밀양댐 등에서는 감소하였다(그림 2b). pH는 다른 항목에 비해 댐별, 연도별 편차가 상대적으로 적었으며(그림 2c), 담수 전과 후에 각각 7.2~7.7, 6.8~7.4의 범위를 보여 시기별, 위치별로 안정된 상태를 유지하였다.

#### 2. 유기물 (COD)

유기물 지표항목인 COD는 모든 댐에서 담수 직후에 증가하였다가 점차 감소하여 담수 후(Post) 3

표 2. 댐별 담수 전·후 수온, DO 및 pH 변화

구분	용담댐			밀양댐			횡성댐			보령댐			장흥댐			부안댐		
	수온	DO	pH	수온	DO	pH	수온	DO	pH	수온	DO	pH	수온	DO	pH	수온	DO	pH
담수 전(Pre)	17.3	9.3	7.6	14.3	9.8	7.5	16.2	10.6	7.3	21.7	8.7	7.2	18.5	9.4	7.7	13.9	8.8	7.3
담수 후(Post)	12.8	8.1	7.3	12.4	9.7	6.9	14.2	9.1	7.3	15.4	9.4	7.3	13.4	10.0	7.4	13.2	8.5	6.8
증 감(%)	-26.1	-12.3	-4.2	-13.6	-1.4	-8.1	-12.3	-14.5	1.2	-29.0	8.4	1.9	-27.8	5.9	-3.3	-4.7	-3.2	-5.7

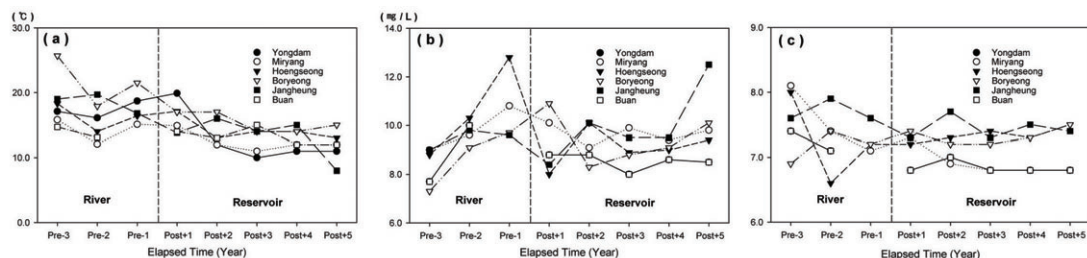


그림 2. 댐 담수 전·후 (a)수온, (b)DO 및 (c)pH 변화 (세로 점선 왼쪽은 하천상태, 오른쪽은 호소상태)

년부터는 하향 안정화되는 상태를 유지하였으나 장흥댐은 상이한 경향을 보였다(그림 3).

용담댐은 하천상태에서 1.9~2.1mg/L(평균 2.0mg/L)의 범위를 보였다. 댐 담수 후에는 2.5~3.7mg/L(평균 3.0mg/L)의 범위로 평균 50.0%가 증가하였으나 댐 담수 직후(Post+1)에 최고 3.7mg/L까지 증가한 후 점차 감소하여 담수 후 4년(Post+4)부터 2.5mg/L의 안정된 상태를 유지하였다. 밀양댐은 타 댐에 비해 낮은 COD 농도를 보였으며, 담수 전에 1.0~1.8mg/L(평균 1.3mg/L)가 담수 후에는 1.3~2.4mg/L(평균 1.6mg/L)의 범위로 평균 23.0%가 증가되었다. 담수 초기(Post+1)에는 2.4mg/L까지 증가하였으나 담수 후 2년부터 호소 환경기준 Ia 등급의 안정된 상태를 유지하였다(그림 3). 횡성댐과 보령댐은 담수 전에 각각 1.0~1.9mg/L(평균 1.4mg/L), 1.7~2.4mg/L(평균 2.1mg/L)의 범위였으나, 담수 후에는 2.0~3.2mg/L(평균 2.3mg/L), 2.2~2.8mg/L(평균 2.5mg/L)의 범위로 각각 64.3%, 19.0% 증가하였다. 장흥댐과 부안댐은 담수 전에 각각 2.3~3.5mg/L(평균 2.9mg/L), 1.1~2.5mg/L(평균 1.8mg/L)의 범위에서 담수 후에 2.8~3.7mg/L(평균 3.3mg/L), 2.3~3.2mg/L(평균 2.7mg/L)의 범위로 13.8%, 50.0%

가 각각 증가하였다(표 3).

용담댐에 대한 선행 연구에서 COD는 Chl-a와 0.76~0.95의 범위로 높은 상관성을 보였으며, 담수 전에 주로 농경지로 이용되었던 지역에 축적된 영양염류와 잔존 유기물이 담수가 시작되면서 용출되어 조류 발생량을 증가시킨다고 추정할 바 있다(유순주 등, 2005). 본 연구에서도 용담댐을 포함한 대상 댐들은 담수 직후에 COD 농도가 증가하였으나, 점차 감소하여 담수 후 3년부터는 호소에서의 환경기준 Ib 등급 이하의 양호한 수질상태를 유지하였다. 다만, 장흥댐은 담수 직후부터 3년까지는 감소하였다가 담수 4년(Post+4)부터 증가하는 경향을 보였다.

### 3. 영양염류 (T-N, T-P 및 N/P Ratio)

T-N 농도는 담수 전(Pre)에 평균 0.713~2.065mg/L의 범위에서 담수 후(Post)에는 0.671~1.795mg/L의 범위로 최소 6.0%(장흥댐)에서 최대 18.0%(횡성댐)까지 감소하였으나, 밀양댐은 0.775mg/L에서 0.841mg/L로 8.6%가 증가하였다(표 4). 그림 3과 같이 COD는 담수 직후에 농도가 증가한 반면, T-N은 담수에 의한 일정한 증가경향은 없었으나 담수 후 3년(Post+3)부터 하향 안정

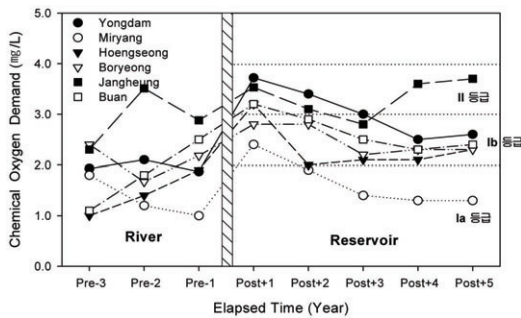


그림 3. 댐 담수 전·후 COD 변화 (빛금부분 왼쪽은 하천상태, 오른쪽은 호소상태)

표 3. 댐별 담수 전·후 COD 변화

구분	용담댐	밀양댐	횡성댐	보령댐	장흥댐	부안댐
담수 전(Pre)	2.0	1.3	1.4	2.1	2.9	1.8
담수 후(Post)	3.0	1.6	2.3	2.5	3.3	2.7
증감(%)	50.0	23.0	64.3	19.0	13.8	50.0

표 4. 댐별 담수 전·후 T-N 변화

구분	용담댐	밀양댐	횡성댐	보령댐	장흥댐	부안댐
담수 전(Pre)	2.065	0.775	1.890	2.055	0.713	1.308
담수 후(Post)	1.795	0.841	1.549	1.726	0.671	1.179
증감(%)	-13.0	8.6	-18.0	-16.0	-6.0	-9.9

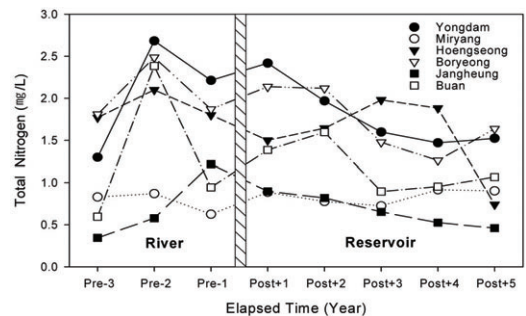


그림 4. 댐 담수 전·후 T-N 변화 (빛금부분 왼쪽은 하천상태, 오른쪽은 호소상태)

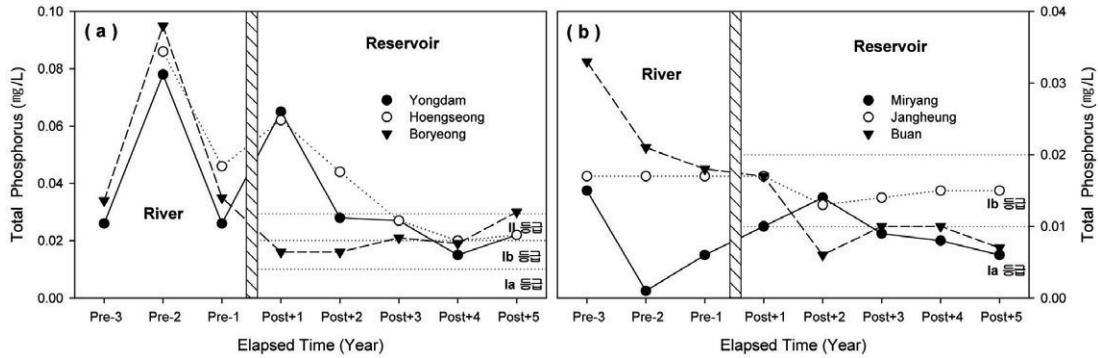


그림 5. 댐 담수 전·후 T-P 변화 (빛금부분 왼쪽은 하천상태, 오른쪽은 호소상태)

화되는 경향은 COD와 유사하였다(그림 4). 횡성댐의 경우 담수 후 3년까지 지속적으로 증가하여 최고 1.980mg/L(Post+3)를 보였으나 점차 감소하여 5년 후에는 0.741mg/L(Post+5)를 보였다.

이정호 등(2002)이 국내의 10개 호수를 대상으로 한 연구에서와 같이 대부분의 호소에서 조류(algae) 생장의 제한영양염으로 작용하는 T-P는 담수 전(Pre)에 0.04mg/L 이상이고 담수 후(Post)에도 0.02mg/L 이상을 유지하는 고농도 group(그림 5a)과 담수 전부터 0.02mg/L 이하를 유지하는 저농도 group(그림 5b)으로 구분되었다. 고농도 group인 용담댐, 횡성댐, 보령댐의 담수 전 농도는 0.043~0.066mg/L의 범위로서 횡성댐에서 상대적으로 높은 농도를 보였다. 담수 후에는 0.020~0.035mg/L의 범위로 보령댐에서 최대 62.7%가 감소한 결과를 보였다. 저농도 group인 밀양댐은 T-N과 마찬가지로 T-P도 28.2%가 증가하였으나 증가폭은 0.002mg/L에 불과하여 댐 담수 전·후의 T-P 변화는 없다고 볼 수 있다. 반면, 장흥댐은 0.002mg/L가 감소하였으나 담수 전·후의 농도변화는 없는 것으로 판단된다(표 5). 부안댐은 담수 후에 평균 58.3%가 감소한 0.010mg/L로 밀양댐과 유사한 낮은 농도를 유

지하였다. T-P도 T-N과 같이 담수 직후에 증가하는 일정한 경향은 없었으나 담수 후 3년부터는 낮은 상태로 안정화되는 경향은 유사하였다.

담수 전(River)의 평균 N/P비는 32~343의 범위였으며 담수 후(Reservoir)에는 45~137의 범위를 보였다. 담수 전에 최고치는 밀양댐에서 870이었고, 담수 후에는 부안댐에서 266이었다. 최저치는 횡성댐, 장흥댐에서 각각 24, 25였으며, 나머지 댐들은 37~82의 범위를 보였다. 보령댐과 장흥댐은 담수 후에 지속적으로 N/P비가 낮아졌으며, 용담댐, 밀양댐, 횡성댐, 부안댐은 증가하는 경향을 보였다(그림 6). 현행 호소 환경기준에서는 TN/TP의 비율이 16 이상이면 총질소의 기준을 적용하지 않는다. Smith(1982)는 TN/TP가 10~17의 범위에서는 인과 질소가 동시에 제한영양염(limiting nutrient)으로 작용할 수 있고 그 이하에서는 질소에 의해 조류 생장이 제한된다고 하였다. 연구대상

표 5. 댐별 담수 전·후 T-P 변화

구분	용담댐	밀양댐	횡성댐	보령댐	장흥댐	부안댐
담수 전(Pre)	0.043	0.007	0.066	0.055	0.017	0.024
담수 후(Post)	0.031	0.009	0.035	0.020	0.015	0.010
증 감(%)	-27.5	28.2	-47.0	-62.7	-12.9	-58.3

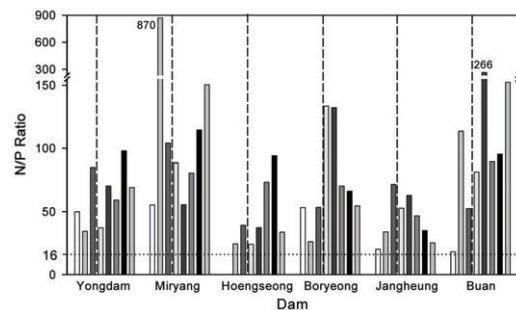


그림 6. 댐 담수 전·후 N/P Ratio 변화 (댐별 세로 점선 왼쪽은 하천상태, 오른쪽은 호소상태)

댐들의 제한영양염은 인(phosphorus limitation)으로 판단되지만 N/P비가 낮은 황성댐, 장흥댐은 인, 질소에 의해 선택적으로 제한을 받는 조류(algae) 종의 발생량이 증가할 수 있고, T-P가 상대적으로 높은 용담댐, 보령댐은 여름철 강우조건에 따라 조류 대량발생(water bloom)의 가능성이 상존한다고 판단된다(임안숙과 이옥민, 2007; Hecky and Kilham, 1988).

#### IV. 결론

최근에 건설된 6개 다목적댐을 대상으로 댐을 건설하기 전의 하천상태에서 담수로 인해 호소상태로 변화되는 시기의 수질변화를 조사·분석하였다.

외부 기온의 영향을 받는 수온은 수체 체적이 증가된 호소상태가 0.7~6.3℃(4.7~29.0%)의 범위에서 낮아졌으며, DO는 하천상태보다 낮아졌으나 8.1~10.0mg/L의 범위로 풍부한 상태를 유지하였다. pH는 댐 건설 전·후, 위치별, 연도별 차이가 1.2~8.1%의 범위에서 변화하여 타 항목에 비해 안정된 상태를 유지하였다. COD는 담수 초기에 증가하였으나 담수 3년 이후에는 하향 안정화되어 장흥댐을 제외한 댐들은 수질환경기준 Ia~Ib 등급의 양호한 수질상태를 유지하였다. T-N은 COD와 같이 담수 초기에 증가하는 일정한 경향은 없었으나 밀양댐을 제외한 전체 댐에서 담수 후에 농도가 감소하는 경향은 동일하였으며, T-P는 최대 63%까지 감소(보령댐)하여 Ia~Ib 등급의 수질상태를 유지하였다. 유기물 지표항목인 COD는 담수 초기에 증가하였지만 T-N, T-P는 댐 건설 전에 비해 감소하여 담수로 인한 영양염 증가현상은 없었다.

본 연구의 결과로 판단할 때 6개 댐을 포함하여 현재 건설 중인 댐의 건설단계에서 오염원을 제거하는 수질관리방안은 적절하다고 판단되지만, 담수 초기에 COD가 일시적으로 증가하는 현상은 잔존하던 육상 유기물에 기인한 것으로 사료되므로 담수 전에 보다 적극적인 유기물 제거가 필요하다고 본다. 향후, 댐 건설 전·후의 오염부하량 변동, 수

리·수문학적 변화 등을 수질변화와 연계하여 설명하는 추가 연구가 수행되어야 할 것이다.

#### 참고문헌

- 박재충, 박정원, 신재기, 2006, 안동호에서 중층 저산소층 형성의 요인 분석, 한국하천호수학회지, 39(1), 1-12.
- 유순주, 채민희, 황종연, 이재안, 박종겸, 최태봉, 2005, 담수 이후 용담호 영양상태 변동 요인 분석, 한국물환경학회지, 21(4), 360-367.
- 이정호, 박종근, 김은정, 2002, 국내 주요 호수의 식물플랑크톤 종조성 및 영양단계 평가, Algae, 17(4), 275-281.
- 임안숙, 이옥민, 2007, 경기도 6개 호소의 수질 영양단계 및 지표종에 관한 연구, Algae, 22(2), 69-85.
- 추창오, 고은영, 오수진, 이성우, 김병기, 이지은, 김영규, 2006, 2004년 가창댐 탁수의 원인과 부유물질의 환경지질학적 특징, 한국광물학회지, 19(1), 49-61.
- 한국수자원공사, 1998(1999, 2002, 2003, 2004, 2007), 보령다목적댐(부안댐, 용담댐, 황성댐, 밀양댐, 장흥댐) 건설사업 사후환경영향보고서, 1435p.
- 한국수자원공사, 2009, 영주다목적댐 건설사업 환경영향평가서.
- 한영성, 윤석화, 2007, 청정 상수원 확보를 위한 평림댐 수몰지 내 지장물 철거 및 폐기물 처리, 물과 미래, 40(1), 40-44.
- 환경부, 2008a, 환경영향평가법(법률 제9037호).
- 환경부, 2008b, 환경영향평가서 작성 등에 관한 규정(환경부 고시 제2008-223호).
- 환경부, 2009, 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률(법률 제9433호).
- Harper, D., 1992, Eutrophication of freshwaters-Principles, problems and restoration, Chapman & Hall, London, 327p.

Hecky R. E. and P. Kilham, 1988, Nutrients limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: A review of recent evidence on the effects of enrichment, *Limnol. Oceanogr.*, 33, 796-822.

Smith, V. H., 1982, The nitrogen and phosphorus dependence of algal biomass in lakes:

An empirical and theoretical analysis, *Limnol. Oceanogr.*, 27, 1101-1112.

Thornton, K. W., B. L. Kimmel and F. E. Payne, 1990, *Reservoir limnology: Ecological perspectives*, John Wiley & Sons, Inc., 246p.

최종원고채택 11. 02. 15