

용담댐의 영향분석을 위한 대청호 수질모델링 Water Quality Modelling of Daechung Lake - Effect of Yongdam Dam

서 동 일* / 이 은 형**

Seo, Dong il / Lee, Eun Hyoung

Abstract

Water quality in Daechung Lake was predicted for various discharge conditions of Yongdam dam. The same scenarios were applied as in the previous paper by the authors for Keum River water quality modeling. Effects in water quality due to changes in discharge conditions from Yongdam Dam were less distinct to the Daechung Lake than to the inflowing Keum River due to sink processes in the lake. For the minimum flow year, it is appropriate to maintain Yongdam dam discharge rate to 8.9 m³/sec considering the current field conditions and future predictions of TN and TP concentrations of Yongdam dam. Effect of Yongdam dam discharge conditions to the Daechung Lake water quality were stronger for drier years. However it should be noted that the effects were dependent upon the water quality of Yongdam discharge at the same time. Therefore, water quality management effort should be emphasized before the discussion over the discharge volume of Yongdam dam. The input data sets for simulations in this study were formulated using the available data and assumptions based on authors experiences for the fields. Therefore, continued data collection effort will ensure the validity of this study.

Keywords : Water Quality Modeling, WASP5, Daechung Lake, Yongdam Dam, Keum River

요 지

용담댐 건설 후 방류 유량 및 방류 수질의 변화에 따라 계산된 금강상류의 모의결과를 이용하여 대청호 수질 변화를 예측하였다. 용담댐의 방류수량, 수질 그리고 대청호의 유량 시나리오는 이 은형 등(2002)이 금강의 모의를 위해 사용한 것과 동일하게 보였으며, 각 경우의 결과를 연구기간중의 실측수질과 실측유량을 사용했을 경우의 결과와 비교하였다. 용담호 방류량의 변화는 대청호 입구의 수질에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났으나, 대청호 댐 부근의 수질에는 영향이 상당 부분 완화되어 나타나는 경향을 나타냈다. 이는 BOD, TN 그리고 TP 성분들이 대청호 내부를 이동하면서 분해 또는 침강하여 제거되었기 때문에 나타나는 현상이다. 최대 갈수년을 기준으로 보았을 때, 용담댐의 방류량은 TP 농도 기준으로는 최소 8.9 m³/sec 이상을, TN 농도를 기준으로 볼 때는 8.9 m³/sec 이하를 유지하는 것이 바람직할 것으로 예측되었다. 따라서 대청호의 수질에 영향을 미치지 않는 적정 수준의

* 충남대학교 환경공학과 부교수, 공학박사

Associate Prof., Dept. of Environmental Engrg., Chungnam National Univ., Daejeon 305-764, Korea
(E-mail : seodi@cnu.ac.kr)

** 충남대학교 환경공학과 박사후 연구원, 공학박사

Post Doctoral Fellow, Dept. of Environmental Engrg., Chungnam National Univ., Daejeon 305-764, Korea
(E-mail : leh@cnu.ac.kr)

용담댐 방류량은 8.9 m³/sec 인 것으로 분석된다. 대청호의 수질에 미치는 영향은 갈수년에 특히 분명하게 나타나고 있으며 동시에 용담호의 수질에 따라 크게 다른 양상을 보이고 있다. 즉 용담댐 방류수의 수질이 일정 수준이하를 유지하는 경우에 한해서 용담호의 방류량이 증가함에 따라 대청호의 수질에 개선효과가 나타나는 것으로 분석되고 있다. 본 연구에서는 확보가 가능한 자료와 저자들의 경험에 의해 제작된 시나리오를 근거로 수질예측을 실시하였다. 향후 용담호 및 용담댐 방류수 그리고 금강 상류 및 대청호의 오염원 그리고 수문 및 수리학적 거동에 대한 자료가 보일 경우 더욱 합리적인 예측이 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 수질모델링, WASP5, 대청호, 용담댐, 금강

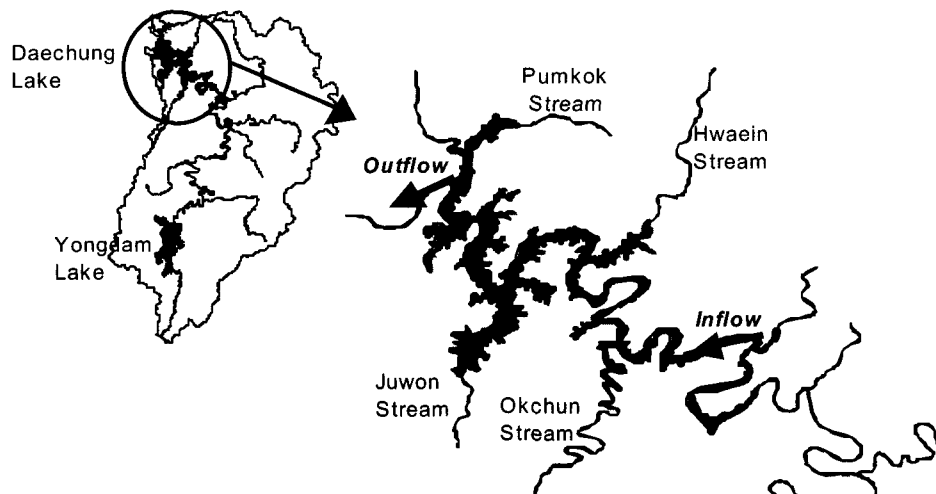
1. 서론

대청댐은 1981년에 완공되었으며, 대청호 하류지역의 홍수 피해 저감, 우리나라 중부권의 수자원 및 에너지 공급원의 역할을 하고 있다. 그러나 최근 들어 대청호는 부영양화 현상에 의한 조류의 과잉번식으로 인하여 수질문제가 반복적으로 발생되고 있으며 수자원의 이용에 지장을 초래하고 있다. 대청호의 수질 보전에 관련한 연구는 다수의 기관 또는 연구자들에 의해 수행된 바 있으나(서동일 외, 1998; 서동일, 1998; 류광현, 1997; 한국수자원공사, 1990, 1991, 1993, 2000a), 대부분 연구들이 단기간에 종료되어 실제로 수질 관리의 의사결정에 필요한 자료가 부족하여 수질 문제의 근본적인 해결 방안은 이루어지지 않는 실정이다.

한편, 서해안 지역의 종합 개발계획이 수립되면서, 전주권을 포함한 서해안지역의 용수공급을 위한 방안으로 대청호의 상류인 전북 진안군에 용담호가 2001년에

완공되었다. 용담댐의 운영이 시작되면 대청호의 평수시 유입 유량의 약 75% 가량이 전주권으로 공급되어 용담호 하류의 금강 및 대청호의 수질에도 많은 영향을 초래할 것으로 예상된다. 이에 대하여 이은형 등(2002)은 용담댐의 방류조건 변화가 용포 지점(용담댐 방류구)에서 장계 지점(대청댐 입구) 사이의 금강 상류에 미치는 영향을 수질모델링 기법을 이용하여 분석한 바 있다.

본 연구는 용담댐의 여러 가지 운영조건에 따른 대청호의 수질 변화를 파악하고자 WASP5(Ambrose et al., 1993) 수질모델을 이용하여 수질모의를 실시하였다. WASP5 모델은 미국 EPA에서 개발되었으며, 1차원, 2차원 및 3차원 모의가 가능하고, 하천, 호소 및 하구 등에 광범위하게 적용될 수 있다. 국내에서는 팔당호(조홍연 외, 1993), 시화호(서동일 외, 2001), 용담호(서동일, 2001a), 대청호(박일홍, 2002) 등의 다수의 호소에 대하여 수질 변화 모의를 예측하기 위하여 적용된 사례가 있다.



2. 연구 지역 및 연구 방법

2.1 연구지역 개요 및 수질 현황

대청호 유역은 행정구역상 전북의 장수군, 진안군, 무주군과 충남의 금산군, 충북의 영동군, 보은군, 옥천군, 청원군 및 대전시의 대덕구, 동구의 일부지역을 포함하고 있다. 대청호의 유역면적은 4,134 km²이며, 총 저수량은 1,490×10⁶ m³으로 우리나라에서 세 번째로 큰 호수이다. 본 연구에서는 충북 옥천군 군북면의 장계교 지점을 대청호와 금강 상류의 기준이 되는 것으로 가정하였으며, 대청호로 유입되는 하천으로는 옥천천, 회인천, 품곡천, 주원천 등을 고려하였다. Fig.1은 대청호 유역 및 대청호 주변의 유입하천의 위치를 나타내고 있

다.

Fig. 2는 1992년부터 2001년까지 측정된 대청호 내 6개 지점의 항목별 평균 수질 농도를 나타내고 있다(한국수자원공사, 1992 ~ 2001). 대청호의 수질은 호소수의 수질 기준 항목인 COD 농도를 기준으로 볼 때 1996년까지는 호소수질 기준 2등급인 3 mg/l 이하의 수준을 보이다가 1997년 이후에는 급격하게 증가하여 3 mg/l 이상으로서 3 등급의 수질을 나타내고 있다. 특히 하절기에는 수질 악화 현상이 뚜렷이 나타나고 있다. 그러나 COD 농도는 점차로 증가되는 반면, BOD 농도는 1996년 이후 꾸준히 감소되는 경향을 보이고 있다. 서동일(1998)은 이러한 현상에 대해, 대청호 상류의 처리장 건설 등 유기성 오염물질의 제어를 위한 노력에 의하여 BOD 유입부하는 감소하였으나 상류의 농

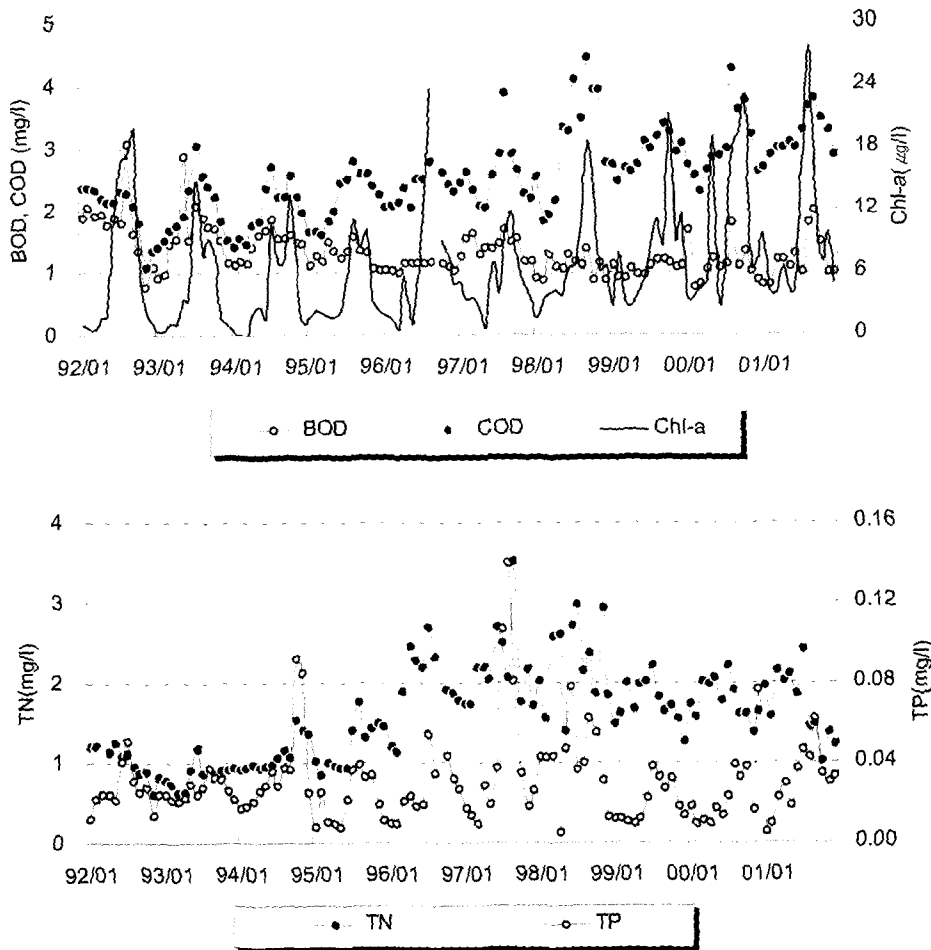


Fig. 2 Water Quality Variations of Daechung Lake

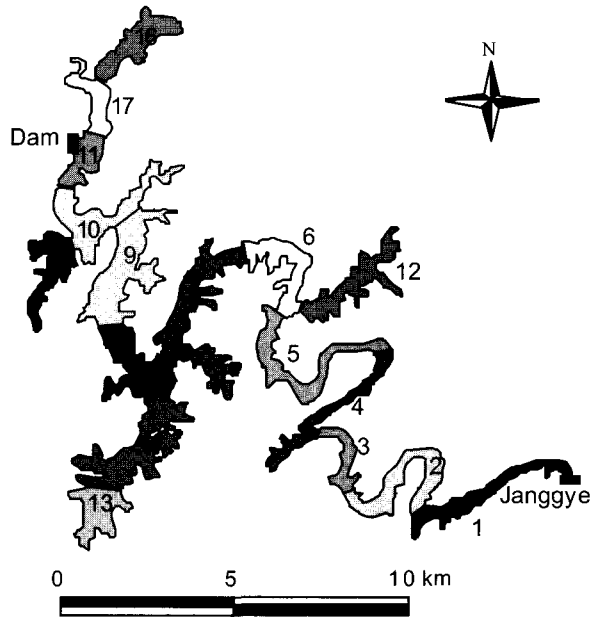


Fig. 3 Segmentation of Daechung Lake(Plane View)

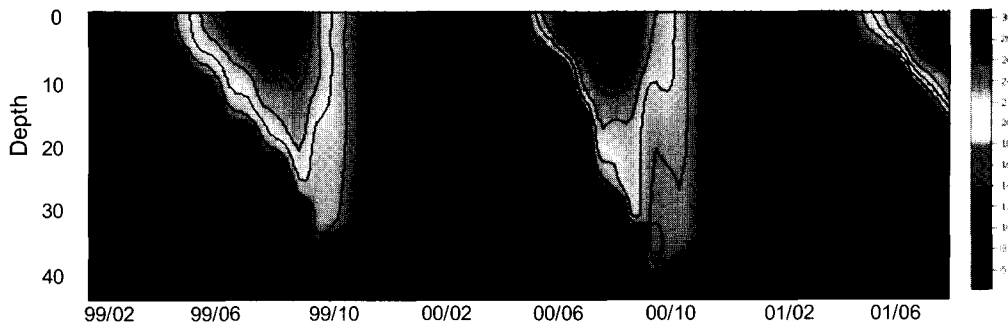


Fig. 4 Depth-time Diagram of Temperature in Daechung Lake

지 및 도시 개발면적의 증가에 따라 난분해성 유기물 유입이 증가되고 부영양화에 의하여 조류가 과잉 성장 함으로서 호수 내부의 유기물 생산이 증가한 것에 기인 하는 것으로 보고한 바 있다. 실제로 대청호내의 엽록 소 농도와 COD 농도 변화 주기 및 경향은 일치하는 현상을 나타내고 있다. TN과 TP 농도 또한 계절적으로 변화가 심하며 대체적으로 하절기에 높은 농도를 나타내고 있다. TN 농도는 1995년까지 1 mg/l 수준을 유지하였으나 1996년 이후 2 mg/l 수준으로 급격하게 증가하여 호소수 수질기준으로 5등급 이상의 악화된 수질을 나타낸다. TP 농도는 1995년 이후 전반적으로 감

소된 경향을 나타내나 계절적인 편차가 더욱 뚜렷하게 나타나는 것을 관찰할 수 있으며, 이는 대청호의 TP농도 변화가 비점오염원에 의한 영향이 지배적인 것을 시사한다.

2.2 연구 방법

2.2.1 대청호 소구간 구분

수질 모의를 위한 대청호의 소구간 구분은 Fig. 3에 나타난 바와 같이 장계교 지점을 시점으로 댐측 지점까지 길이 방향으로 11개의 소구간으로 구분하고 각 지류 유입구간을 따로 구분하여 총 17개의 모의 구간을

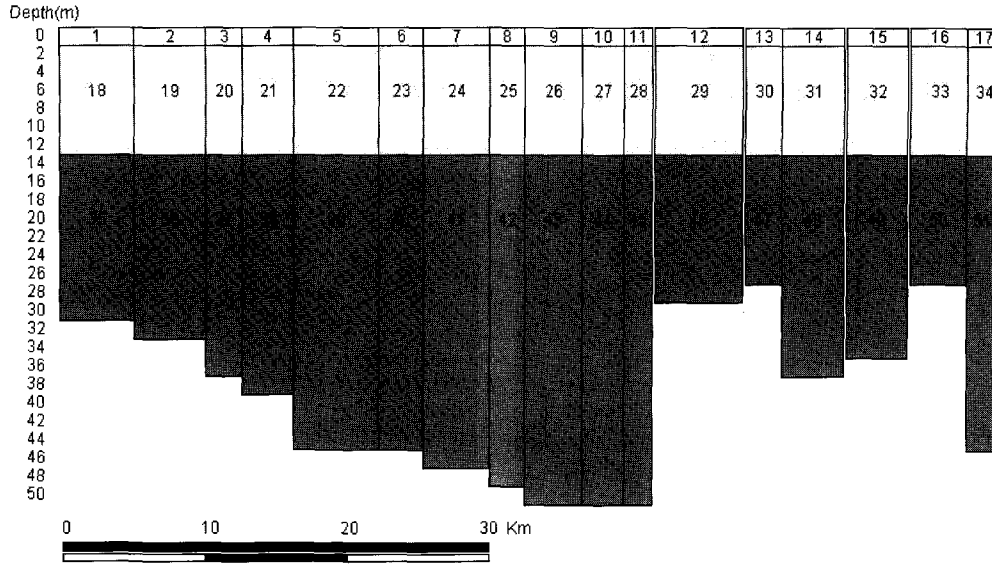


Fig. 5 Segmentation of Daechung Lake (2-D Side View).

구성하였다. 대청호의 성층현상에 의한 수직방향 소구간 구분은 수심별로 측정된 수온 자료를 이용하여 구분하였다. 1999년 2월부터 2001년 8월까지 댐축지점에 대해 수심별로 측정된 수온분포를 Fig. 4에 나타내었으며, 수온 성층현상은 4월경에 발생하기 시작되어 점차로 발달하다가 10월부터 점차 소멸되는 경향을 나타내고 있다. 전이층의 위치는 수심 11~34 m 구간에서 형성되며, 홍수시 탁류는 수온 및 부유물질의 농도차로 인하여 약 14 m의 수심에서 밀도류를 형성하는 것으로 보고된 바 있다 (박일홍, 2002). 대청호의 수층은 총 3개의 층으로 구분하였는데, 밀도류의 이동층인 14 m를 기준으로 상층과 하층으로 구분하였으며, 조류의 성장현상을 모의하기 위하여 대청호의 평균 투명도 2.2 m를 기준으로 표층과 상층으로 다시 구분하였다. 따라서 대청호의 수층은 Fig. 5에 나타난 바와 같이 총 52개로 구분되었다.

2.2.2 유량 흐름분포 구성

대청호로 유입되는 금강 본류 및 유입지류의 유역면적은 Table 1에 나타내었으며, 금강본류의 유역면적이 대청호 전체 유역면적의 93% 이상을 차지하고 있다. 본 연구의 보정 및 검증 작업이 수행된 1998년부터 2000년까지 대청호의 월평균 유입유량 및 유출유량은 Fig. 6에 나타난 바와 같다. 각 지류별 유입 유량은 주기적으로 실측된 자료가 존재하지 않으므로 유역면적에 비례하여 유입되는 것으로 가정하고 배분하였다. Fig. 1에 나타난 바와 같이, 대청호 내 유량의 주요 유출입 경로는 금강 본류 및 대청호내 4개의 하천으로부터의 유입과 댐을 통한 발전 및 여수로 방류 그리고 대전취수탑 및 청주취수탑을 통한 취수 등으로 구성된다. 호내의 각 소구간의 수심은 일정하게 증가 또는 감소되며, 유입 또는 유출되는 유량은 면적비에 따라 변화하는 것으로 가정하였다. 이러한 작업은 특정 소구간의 수심이

Table 1. Watershed Areas of Main Stream and Major Tributaries of Daechung Lake

	DaechungLake	Keum River	Okchun Stream	Hwaein Stream	Juwon Stream	Pumkok Stream
Watershed Area(km ²)	4134.0	3849.8	119.5	81.1	41.6	41.9
Ratio(%)	100	93.1	2.9	2.0	1.0	1.0

자료) 한국수자원공사

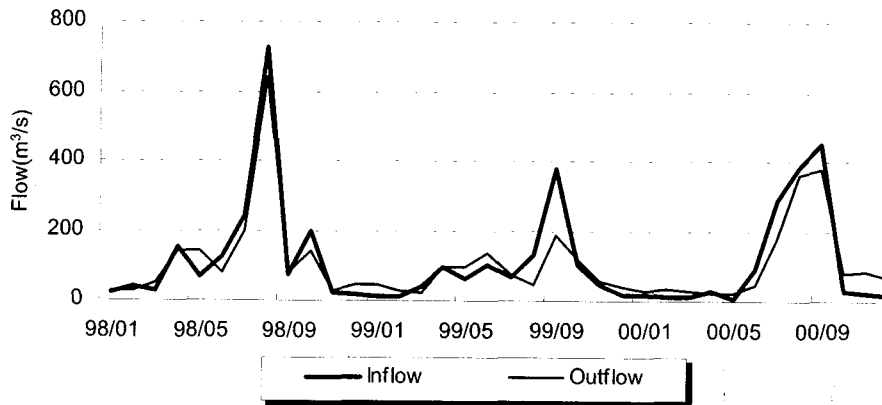


Fig. 6 Flow Variations of Daechung Lake

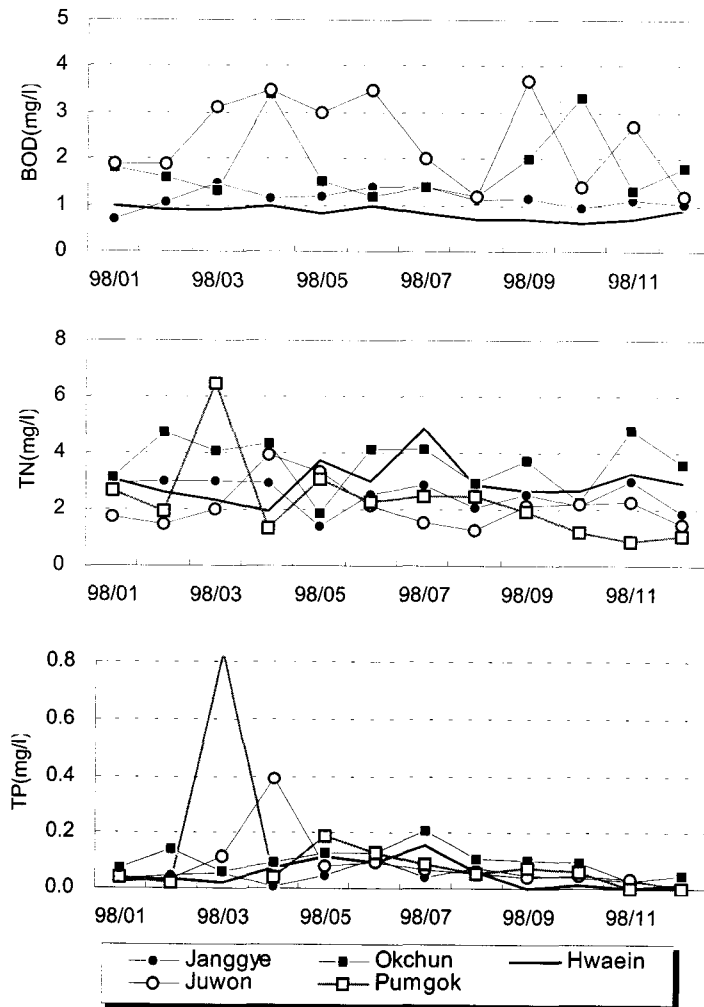


Fig. 7 Observed Water Quality of Major Inflows of Daechung Lake

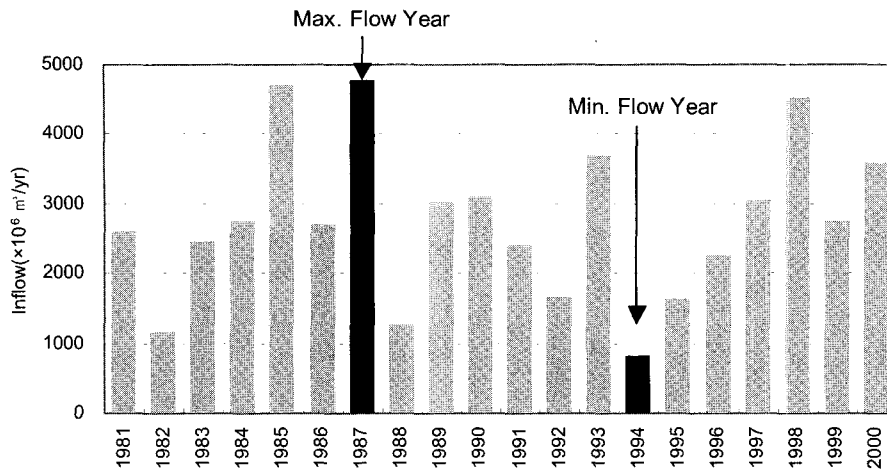


Fig. 8 Observed Annual Inflows to Daechung Lake (1981~1997)

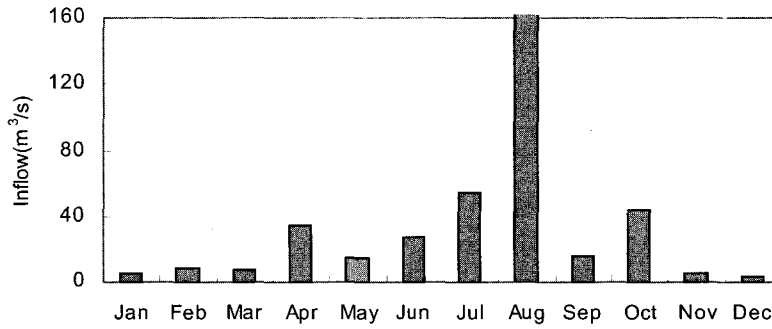


Fig. 9 Observed Inflow of Daechung lake

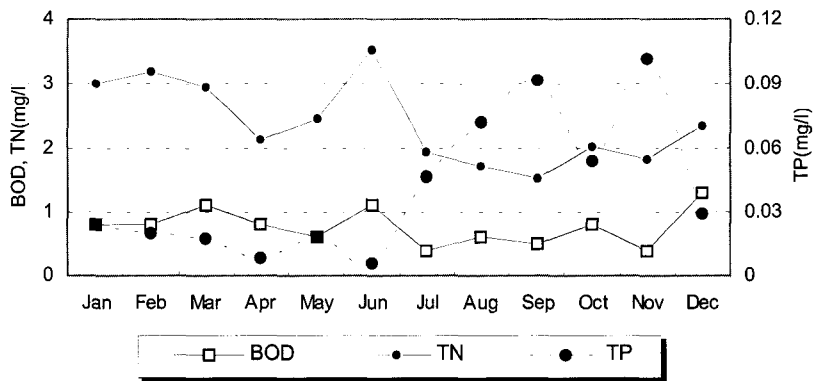


Fig. 10 Observed Water Quality at Yongpo (Yongdam Discharge Point)

비정상적으로 크게 되거나 작게 되는 것을 방지하여 실제적인 물질수지를 유지하고, 프로그램이 정상적으로 수행되게 하기 위하여 매우 중요하다.

2.2.3 유입지천의 농도

경계조건으로 사용되는 본류 수질은 금강의 장계교 지점에서 그리고 대청호내의 가장 큰 지류인 옥천천에서 매일 측정된 한국수자원공사의 사용하였으며, 회인천, 주원천, 품곡천의 수질 자료는 환경부의 수질측정망 자료를 이용하여 보정 자료로 사용하였다(Fig. 7).

2.2.4 모델의 보정

보정을 위한 대청호의 실측자료는 1998년 한국수자원공사에서 실측된 값을 사용하였다. WASP5 모델에서 사용된 각종의 계수들은 사용자 설명서(Ambrose et al, 1993)에 나타난 기본값 또는 문헌값(Bowie et al, 1985; 서동일 외, 2001; 박일홍, 2002)을 우선적으로 사용하였으며 측정자료와 계산 결과를 비교하는 시행착오 과정을 통하여 보정하였다.

2.2.5 모델의 검증

앞서 1998년 자료를 이용하여 보정된 수질반응 계수 등을 이용하여 1999년과 2000년의 실측 자료를 이용하여 수질 모델 보정 결과를 검증하였다. 검증을 위한 모의시에도 보정시와 마찬가지로 연도 별 대청호의 유입유량을 이용하여 지류별 유량을 산정하였으며, 경계 농도 및 대청호내 농도는 1999년과 2000년 한국수자원공사와 환경부의 측정 자료를 이용하였다.

2.2.6 수질 예측 시나리오의 구성

수질 예측 시나리오는 이은형 등(2002)에 의하여 금강 상류의 모의에 사용된 것과 동일하게 가정하였으며,

Table 2에 정리하여 나타내었다. 이와 같은 수질 예측 시나리오를 이용하여 용담호 방류지점부터 대청호 유입 지점까지 금강 상류하천에 수질 예측을 실시하였으며, 본 연구에는 위 연구의 최종결과를 대청호 수질모의를 위한 경계 농도로 사용하였다.

1) 유입 유량 조건

1981년부터 2000년까지 대청호의 유입유량을 조사한 결과는 Fig. 8과 같으며, 1987년은 연간 유입량 4.768×10^6 m³로 수량이 가장 풍부하였던 시기였으며, 1994년은 연간 유입량 827×10^6 m³로 가장 가뭄이 심했던 시기로 나타났다. 본 연구에서는 위의 두 시기가 대청호의 최대 유량과 최소 유량을 각각 대표하는 것으로 가정하고 이들을 중심으로 수질모델링 시나리오를 구성하였다.

2) 방류량 조건

용담댐 실시 설계시에는 저수위를 EL. 228.5 m로 설정하고 하천유지 용수량을 5.4 m³/sec로 결정 한 바 있다(한국수자원공사, 2000b). 본 연구에서는 실시 설계시 결정된 5.4 m³/sec로 방류하는 경우와 방류량을 8.9 m³/sec, 12.4 m³/sec, 16.4 m³/sec로 증가시켜 방류하는 조건 및 실측 유량 조건(Fig. 9) 등 총 5개의 방류량 조건이 대청호에 미치는 영향에 대하여 모의하였다.

3) 수질 조건

용담호의 수질은 1998년 금강 본류의 용포지점에 대해 환경부에서 측정된 수질을 용담호의 방류수질로 가정하였으며(Fig. 10), 용담댐 건설 후 용담호의 유역 및 수질 관리에 의해 호소수 수질 기준으로 1급수가 방

Table 2. Scenarios for Water Quality Predictions

	Weather Condition	Discharge Flow Rates	Discharge Water Quality
Scenario 1	The lowest flow year (1994)	Observed Flow	1st, 2nd grade, and Observed
Scenario 2		5.4 m/s	1st, 2nd grade, and Observed
Scenario 3		8.9 m/s	1st, 2nd grade, and Observed
Scenario 4		12.4 m/s	1st, 2nd grade, and Observed
Scenario 5		16.4 m/s	1st, 2nd grade, and Observed
Scenario 6	The highest flow year (1987)	Observed Flow	1st, 2nd grade, and Observed
Scenario 7		5.4 m/s	1st, 2nd grade, and Observed
Scenario 8		8.9 m/s	1st, 2nd grade, and Observed
Scenario 9		12.4 m/s	1st, 2nd grade, and Observed
Scenario 10		16.4 m/s	1st, 2nd grade, and Observed

류되는 경우, 그리고 2급수가 방류되는 조건으로 구분하였다. 이를 이용한 대청호 입구까지의 하천 수질 모델링이 기 실시되었으며(이 은형 등, 2002)본 연구에서는 모의 결과를 대청호 경계농도로 사용하였다.

3. 결과 및 분석

3.1 수질모델 보정 및 검증 결과

Fig. 11은 대청호 내 댐축지점의 상하층 평균 BOD, TN, TP 농도의 보정 및 검증 결과를 나타내고 있다. BOD농도는 대체적으로 보정 기간과 검증기간에 모두 실측치를 잘 반영하고 있다. TN 농도는 1998년의 보정 결과는 실측치에 비해서는 다소 낮게 나타났으나 검증기간의 모의값은 실측자료와 잘 일치하고 있다. TP 농도의 모의 결과는 보정 기간에는 실측치를 잘 반영하

고 있는 편이나 검증기간의 모의치는 실측치에 비해 다소 높게 나타나고 있다. 질소 또는 인 농도의 보정 및 검증에서 나타나는 차이는 유입지류의 농도를 월 1회 임의 채취된 시료를 분석한 자료를 사용함으로써 강우의 영향을 적절하게 반영하지 못하여 나타나는 현상으로 분석된다. 서동일(2001a, 2001b)은 우리나라의 호소에서 강우가 발생하였을 경우 연속 수질 측정을 수행한바 있으나 극히 일부의 경우를 제외하면 수질모델링을 위해서 현장에서 적극적으로 수량 및 수질 자료를 실측하는 예는 찾아보기 어려운 실정이다.

전반적으로 수질모델의 보정 및 검증 결과는 대청호의 대체적인 수질 경향을 잘 나타내고 있는 것으로 판단된다. Table 3은 수질모델의 보정에 의해 결정된 매개변수 값들을 나타낸다.

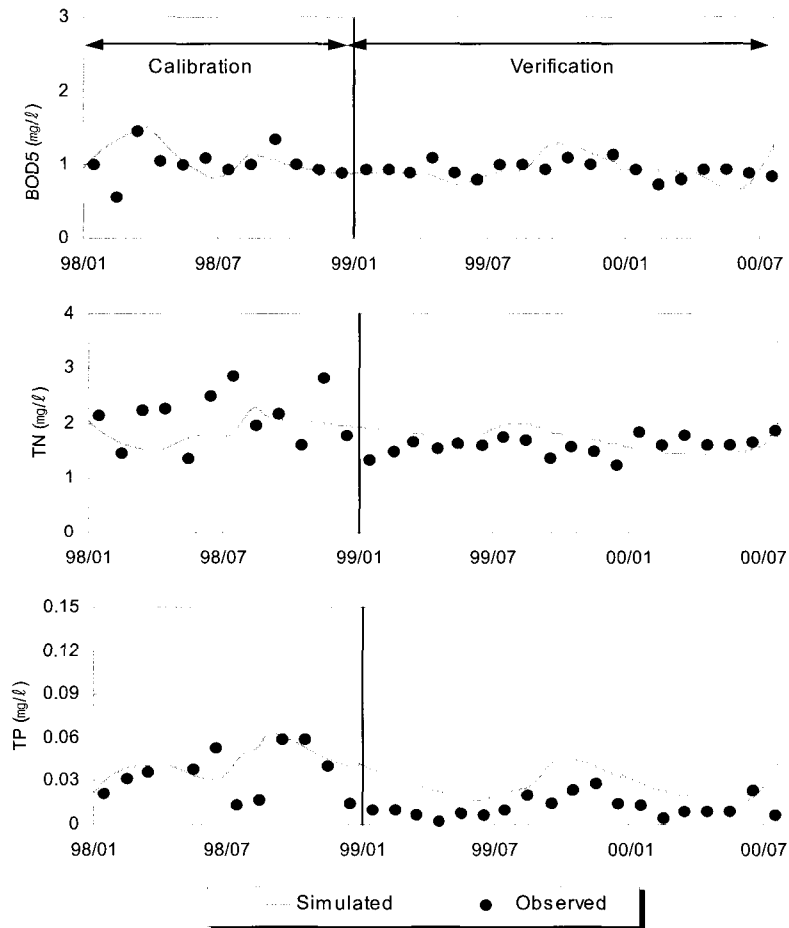


Fig. 11 Calibration and Validation Results at Daechung Lake(Dam Site)

Table 3. Calibrated Water Quality Constants of Daechung Lake

Water Quality Variable	Definition	Unit	value
CBOD	CBOD deoxygenation rate at 20°C	1/day	0.01
	Temperature coefficient	-	1.047
	Decomposition rate of CBOD in the sediment at 20°C	1/day	0.0004
	Half-saturation constant for carbonaceous deoxygenation oxygen limitation	-	0.5
TN	Nitrification rate at 20°C	1/day	0.13
	Half-saturation constant for denitrification-oxygen limitation	mg O ₂ /L	2.0
	Denitrification rate at 20°C	1/day	0.04
	Half-saturation constant for nitrification-oxygen limitation	mg O ₂ /L	0.1
	Mineralization rate of dissolved organic nitrogen	1/day	0.01
	Decomposition rate of constant for Organic Nitrogen in the sediment at 20°C	1/day	0.0004
	Temperature coefficient	-	1.08
TP	Mineralization rate of dissolved organic phosphorus	1/day	0.22
	Decomposition rate of organic phosphorus in the sediment at 20°C	1/day	0.0004
	Temperature Coefficient	-	1.08
	Fraction of dead and respired phytoplankton phosphorus recycled to organic phosphorus	-	0.8
Chl-a	Saturated growth rate of phytoplankton	1/day	2.5
	Temperature Coefficient	-	1.066
	Nitrogen half-saturation constant for nitrogen for phytoplankton growth	mg-N/L	0.025
	Phosphorus half-saturation constant for phytoplankton growth	mg-P/L	0.001
	Endogenous respiration rate of phytoplankton at 20°C	1/day	0.02
	phosphorus-to-carbon ratio in phytoplankton	mg-P/L	0.025
	Nitrogen-to-carbon ratio in phytoplankton	mg-N/L	0.25

3.2 시나리오별 수질 예측 결과

앞서 기술한 여러 가지 시나리오에 대하여 대청호 내 댐축지점에 대한 수질 변화 경향을 예측하였다. Fig. 12와 Fig. 13은 댐축 지점에서 각각의 시나리오에 대해 최대 갈수년(1994년)과 최대 풍수년(1987년)의 BOD, TN 그리고 TP의 연중 농도 변화 추이를 보여 주고 있다. Table 4는 각 시나리오에 대한 항목별 연 평균 수질 농도 및 실측 유량이 방류되었을 경우의 수질 농도와 비교하여 산정 된 증가율 또는 감소율을 나타내고 있다.

3.2.1 BOD 농도

최대 갈수년인 1994년의 경우 BOD농도는 용담댐의

방류량이 5.4 m³/s 일 경우를 제외하고는 방류량의 증가에 따라 대청호 수질이 점차로 악화되는 것으로 모의되었다. 용담댐의 수질이 1급수의 수질(1 mg/l)로 방류될 경우에는 8.9 m³/s까지 방류할 경우 대청호의 수질이 개선되는 것으로 나타났으며, 용담댐이 2등급의 수질(3 mg/l)로 방류하는 경우, 용담댐의 방류는 전체적으로 대청호의 수질을 악화시키는 요인으로 작용한다. 서동일(2001a)은 용담댐의 평균 수질이 유역에서 아무런 수질관리 관련 대책이 시행되지 않았을 경우 0.72~0.98 mg/l의 범위를 나타내며, 관련 대책이 시행되는 경우 0.6 mg/l 이하를 나타낼 것으로 예측한 바 있다. 따라서 실제로는 용담댐의 방류량 증가에 따라 대청호의 수질이 크게 악화될 것으로 예상되지는 않는다. 최

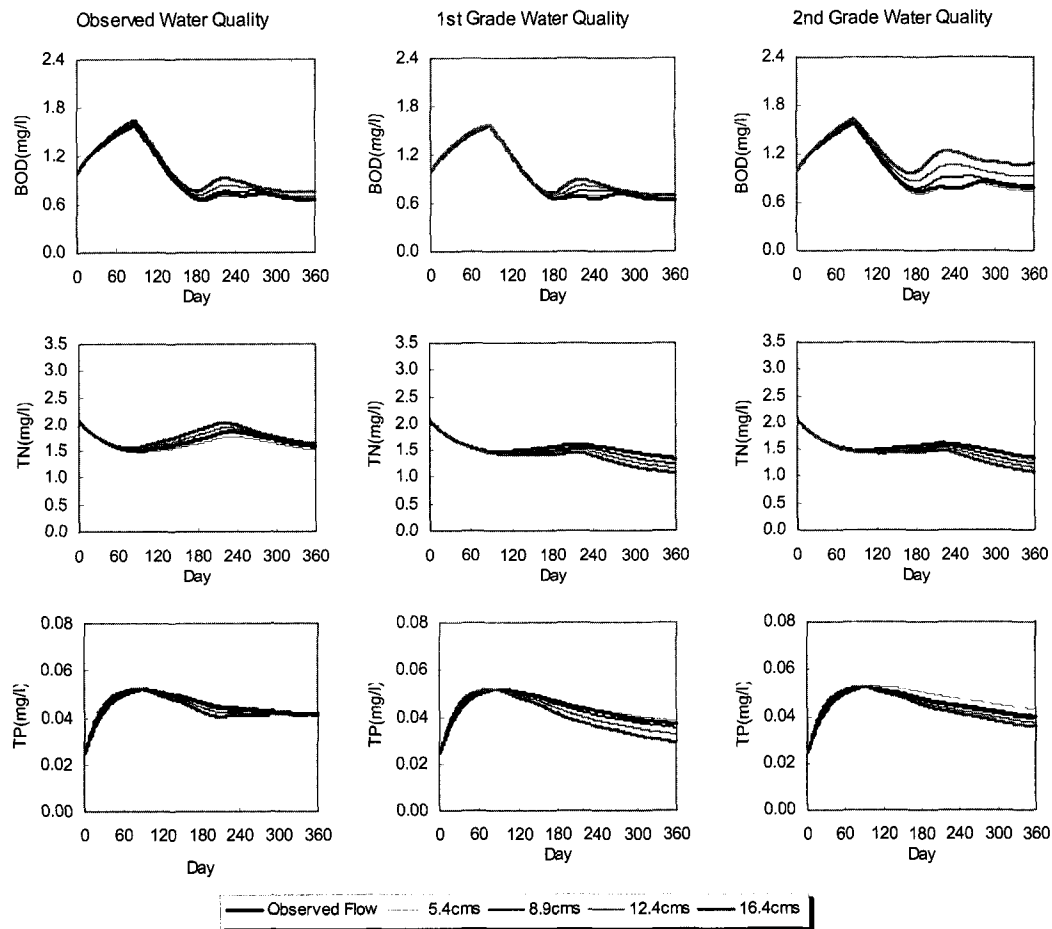


Fig. 12 Predicted Concentrations at Daechung Dam for different discharge conditions of Yongdam Dam in the lowest flow year(1994)

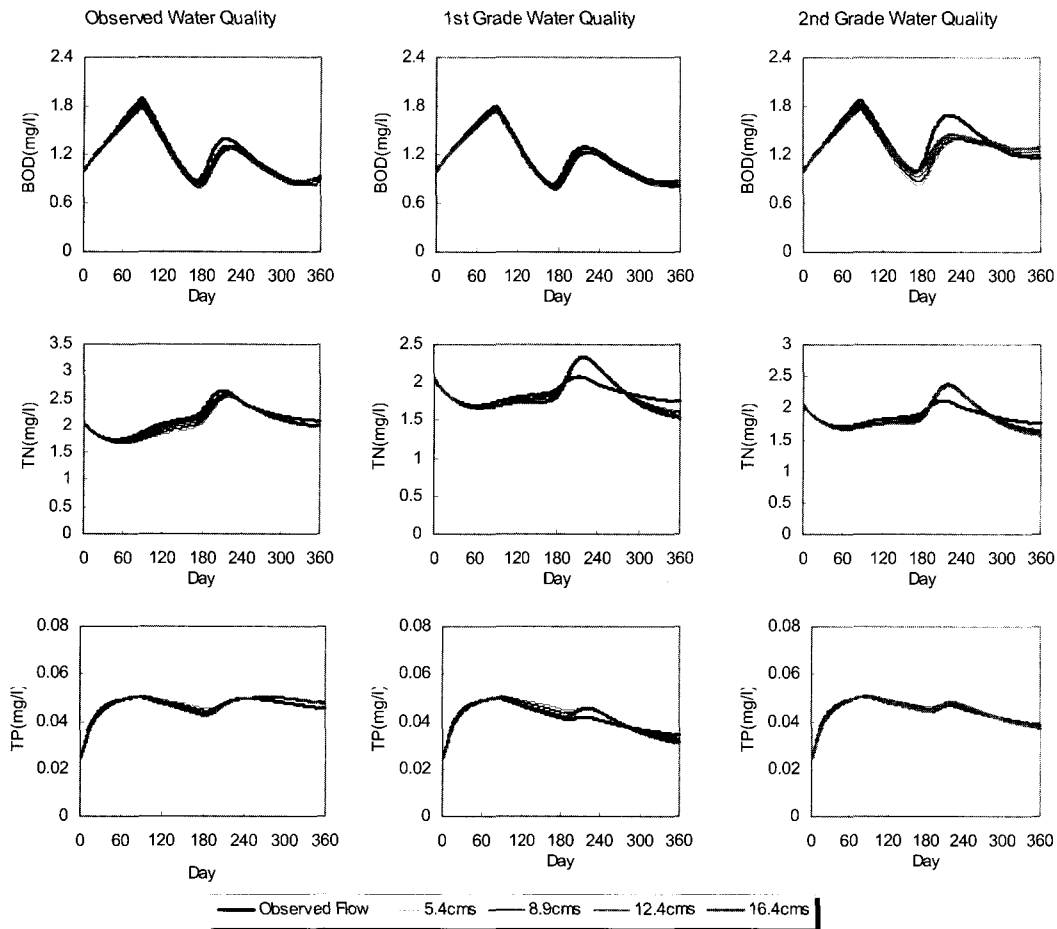


Fig. 13 Predicted Concentrations at Daechung Dam for different discharge conditions of Yongdam Dam in the highest flow year(1987)

대 풍수년인 1987년의 경우 각 지류에서 증가된 오염 부하에 의하여 위의 경우와 비교하여 수질이 다소 악화 되는 것으로 예상되며, 용담호의 수질이 2 급수의 수준 을 나타낼 경우 대청호의 수질을 악화시키는 것으로 예 측되었다. 용담호의 수질이 1급수를 나타낼 경우 대청 호의 수질 향상에 도움이 되는 것으로 나타나고 있으나 이러한 경향은 용담댐의 방류량이 증가할수록 감소하는 것으로 분석되고 있다.

3.2.2 TN 농도

TN 농도의 경우는 1급수(0.2 mg/l)와 2급수(0.4 mg/l)로 방류된다고 보았을 때 최대 갈수년인 1994년 에는 용담댐의 방류량이 증가함에 따라 대청호의 수질 이 향상되는 것으로 예측되었다. 그러나 실측수질이 유

지되는 경우에는 용담댐의 방류량이 증가함에 대청호의 수질에 악영향을 미치는 것으로 나타나고 있으며 실측 수질이 유지되는 경우에는 12.4 m/s 이상의 경우 대청 호의 수질 악화를 초래하는 것으로 예측되고 있다. 한 편 서동일 (2001) 은 용담호의 평균 TN 농도가 2 mg/ l 이상을 보일 것으로 예측한 바 있다. 따라서 용담댐 의 방류량이 증가됨에 따라 대청호의 TN 농도에는 악 영향을 미칠 것으로 예상되며 최대 갈수년을 기준으로 보았을 때 8.9 m/s를 초과하는 것은 바람직하지 않다.

최대 풍수년인 1987년의 경우에는 갈수년에 비하여 전반적으로 수질이 악화되는 경향을 나타내고 있으나 용담댐의 방류량의 증가가 대청호의 TN 농도에 미치 는 영향정도는 점진적으로 감소하고 있다.

Table 4. Predicted Depth Averaged Concentrations in Daechung Lake

*Inflow Condition	**Discharge Quantity		Observed Flow (Scenario1)	5.4 m/s (Scenario1)	8.9 m/s (Scenario1)	12.4 m/s (Scenario1)	16.4 m/s (Scenario1)
	Discharge Quality						
The lowest flow year (1994)	BOD (mg/ℓ)	Observed quality	0.95	0.93 (-1.7%)	0.96 (1.3%)	0.99 (4.5%)	1.03 (8.6%)
		1st grade	0.93 (-1.9%)	0.92 (-2.8%)	0.94 (-0.7%)	0.96 (1.4%)	0.99 (4.1%)
		2nd grade	1.00 (5.7%)	0.99 (3.8%)	1.04 (9.9%)	1.11 (17.4%)	1.21 (27.1%)
	TN (mg/ℓ)	Observed quality	1.69	1.64 (-3.3%)	1.68 (-0.6%)	1.73 (2.0%)	1.77 (4.8%)
		1st grade	1.54 (-8.8%)	1.52 (-10.1%)	1.49 (-12.0%)	1.46 (-14.1%)	1.41 (-16.7%)
		2nd grade	1.55 (-8.5%)	1.53 (-10.0%)	1.50 (-11.5%)	1.47 (-13.3%)	1.43 (-15.6%)
	TP (mg/ℓ)	Observed quality	0.045	0.045 (0.2%)	0.045 (-0.8%)	0.044 (-1.6%)	0.044 (-2.6%)
		1st grade	0.044 (-2.8%)	0.044 (-1.9%)	0.043 (-4.6%)	0.042 (-7.5%)	0.040 (-11.1%)
		2nd grade	0.045 (0.2%)	0.047 (4.5%)	0.045 (-0.6%)	0.044 (-2.1%)	0.043 (-3.7%)
The highest flow year (1987)	BOD (mg/ℓ)	Observed quality	1.23	1.14 (-7.0%)	1.16 (-5.8%)	1.17 (-4.5%)	1.19 (-3.0%)
		1st grade	1.19 (-3.3)	1.13 (-8.1%)	1.13 (-7.5%)	1.14 (-6.8%)	1.16 (-5.7%)
		2nd grade	1.39 (13.7%)	1.27 (3.3%)	1.29 (5.4%)	1.32 (7.64%)	1.35 (10.3%)
	TN (mg/ℓ)	Observed quality	2.13	2.02 (-4.9%)	2.04 (-4.1%)	2.06 (-3.4%)	2.07 (-2.6%)
		1st grade	1.85 (-13.1%)	1.86 (-12.4%)	1.85 (-13.0%)	1.84 (-13.7%)	1.83 (-14.1%)
		2nd grade	1.87 (-12.4%)	1.88 (-11.6%)	1.87 (-12.1%)	1.86 (-12.6%)	1.85 (-13.3%)
	TP (μg/ℓ)	Observed quality	0.046	0.047 (2.1%)	0.047 (1.7%)	0.047 (1.3%)	0.047 (0.8%)
		1st grade	0.042 (-10.3%)	0.043 (-7.5%)	0.042 (-8.5%)	0.042 (-9.6%)	0.042 (-10.2%)
		2nd grade	0.044 (-4.3%)	0.045 (-2.9%)	0.045 (-3.3%)	0.045 (-3.7%)	0.044 (-4.4%)

* Inflow into Daechung Lake
 ** Discharge from Yongdam Dam

3.2.3 TP 농도

최대 갈수년인 1994년의 모의 결과, 용담댐의 TP 농도가 실측농도의 수준 또는 2 급수의 수준으로 방류되는 경우에는 8.9 m/s 이상 방류되어야 대청호의 수질에 악영향을 미치지 않는 것으로 나타나고 있다. 서동일(2001a)은 용담호의 담수후 평균 TP 농도는 30~40 $\mu\text{g}/\ell$, 환경기초시설등이 설치된 경우에는 20 ~ 30 $\mu\text{g}/\ell$ 수준을 나타낼 것으로 예측한 바 있다. 따라서 용담댐 방류수의 TP 농도는 2 급수의 경계농도인 30 $\mu\text{g}/\ell$ 수준을 나타낼 것으로 예상된다. 최대 풍수년의 경우 용담댐의 방류수질이 2 급수 이하로 유지되는 경우에는 대청호의 수질에 악영향을 미치지 않는 것으로 예측되었다. 이러한 경향은 용담댐의 방류량이 증가할수록 점차적으로 뚜렷하게 나타나는 경향으로 분석된다.

4. 결 론

용담댐 건설 후 방류 유량 및 방류 수질의 변화에 따라 계산된 금강상류의 모의결과를 이용하여 대청호 수질 변화를 예측하였다. 용담댐의 방류 수량, 수질 그리고 대청호의 유량 시나리오는 이 은형 등(2002)이 사용한 것을 동일하게 이용하였으며, 각 시나리오별 결과를 실측수질과 수량을 사용했을 경우의 결과와 비교하였다. 대청호의 수질모델은 1998년의 실측자료를 이용하여 보정되었으며 1999년과 2000년의 실측 자료를 이용하여 검증되었다. 수질모델의 보정 및 검증 결과는 현장의 실측자료와 잘 일치하는 것으로 나타났다. 용담호의 방류량의 변화는 대청호 입구의 수질에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났으나 대청호의 댐부근의 수질에는 영향이 상당 부분 완화되어 나타나는 경향을 나타냈다. 이는 BOD, TN 그리고 TP 성분들이 대청호에서 수개월간의 체류시간을 통하여 호내에서 이동하면서 분해 또는 침강하여 제거되었기 때문에 나타나는 현상이다.

최대 갈수년을 기준으로 보았을 때, 용담댐의 방류량은 TP 농도 기준으로 최소 8.9 m/s 이상, TN 농도를 기준으로 볼 때는 8.9 m/s 이하를 유지하는 것이 바람직할 것으로 예측되었다. 따라서 대청호의 수질에 영향을 미치지 않는 적정 수준의 용담댐 방류량은 최대 갈수년을 기준으로 보았을 때 8.9 m/s 인 것으로 분석된다. 그러나 용담댐의 방류량 증가에 따라 대청호의 TN 농도가 증가하는 경향을 나타내는 것은 매우 주목할 만한 일이다. 현행 호소수질 기준에 의하여 TN/TP 의 비가 17 이상인 경우 질소농도는 조류성장의 제한요소

가 되지 않으므로 문제시하지 않고 있다. 이는 우리나라 호소 전반적인 현상이기는 하나, 암모니아성 질소 또는 질산성 질소 등이 생태계와 인체보건에 위해를 끼칠 가능성이 있다는 점에서 간과해서는 안될 부분이며 우리나라의 자연수계에 증가하는 질소 농도에 대한 대책 마련이 시급한 실정이다.

대청호 상류의 금강과 대청호의 수질은 대청호 유역에서 발생하는 오염물질 유입량과 하천 및 호수내의 분해 기작이 복합적으로 작용하여 변화된다. 용담댐 방류수의 증가가 대청호의 수질에 미치는 영향은 갈수년에 특히 분명하게 나타나고 있으며 동시에 용담호의 수질에 따라 크게 다른 양상을 보이고 있다. 즉 용담댐 방류수의 수질이 일정 수준이하를 유지하는 경우에는 용담호의 방류량이 증가함에 따라 대청호의 수질에 개선 효과가 나타나는 것으로 분석되고 있다. 따라서 용담호의 적정 방류량을 거론하기 앞서 용담댐의 수질 관리 문제를 우선적으로 고려하여야 한다. 본 연구에 사용된 자료는 가용한 자료와 저자들의 경험에 의해 제작된 시나리오에 의하여 가공되었으며 수질예측에 사용되었다. 향후 용담호 및 용담댐 방류수 그리고 금강 상류 및 대청호의 오염원 및 유량 거동에 대한 자료가 보완될 경우 더욱 합리적인 예측이 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 류광현 (1997). 대청호의 성층특성 및 수질변화에 관한 연구. 석사학위논문, 충남대학교.
- 박일홍 (2002). 대청호의 성층특성 및 유입지류에 의한 호내 수질변화 분석. 석사학위논문, 충남대학교.
- 서동일 외 (1998). **댐유역 오염물질 유입특성 및 영향에 관한 연구**. 한국수자원공사.
- 서동일 (1998). "대청호의 성층현상에 의한 부영양화 특성과 수질관리 방안에 관한 연구." **대한환경공학회지**, 20(9), pp. 1219~1234.
- 서동일, 최재훈, 이은형, 이혜근 (2001). "EUTRO5를 이용한 시화호 수질모델 보정 및 검증." **대한환경공학회지**, Vol. 23, No. 1, pp. 131~139.
- 서동일 (2001a). **용담다목적댐 건설사업 상수원보호 구역지정 보고서**, 한국수자원공사.
- 서동일 (2001b). **동화댐 상수보호 구역 설정을 위한 수질 예측**, 도화기술공사.
- 이은형, 서동일 (2002). "용담호의 방류조건 변화가

- 대청호 유입수질에 미치는 영향.” **한국수자원 학회 논문집**, Vol. 35, No. 5, pp. 525-539.
- 조흥연, 이길성, 한광석 (1993). “WASP4 모형에 의한 팔당호 수질모델링.” **수공학연구발표회논문집**, pp. 519~526.
- 한국수자원공사 (1990). **대청댐 저수지 모델 생태계를 이용한 부영양화 방지 수법 연구**
- 한국수자원공사 (1991). **다목적댐 수질예측에 따른 오염저감 최적화 방안에 관한 연구 보고서.**
- 한국수자원공사 (1992 -2001). **다목적댐수질조사보고서.**
- 한국수자원공사 (1993). **댐저수지 수질회복기술개발에 관한 연구 보고서.**
- 한국수자원공사 (2000a). **댐저수지 탁류 및 오염물질 이송·확산 모의기술 개발.**
- 한국수자원공사 (2000b). **용담다목적댐 건설사업 수질 보전 대책수립 보고서.**
- Ambrose, R B., Wool, T. A. and Martin, J. L (1993). *The water quality analysis simulation program WASP5 Guidance Manual*, USEPA.
- Bowie, G. L. et al (1985). *Rates, constant and kinetics formulations in surface water quality modeling(2nd)*. USEPA, EPA/600/3-85/040.
- (논문번호:02-69/집수:2002.09.10/심사완료:2002.10.25)