

용담댐의 영향분석을 위한 금강의 수질모델링

Water Quality Modelling of the Keum River - Effect of Yongdam Dam

이 은 형* / 서 동 일**

Lee, Eun Hyoung / Seo, Dong Il

Abstract

Effects of Yongdam Dam discharge conditions on water quality of the Keum River and Daechung Lake inflow were analyzed for various scenarios using WASP5 water quality model. Three different groups of scenarios were tested: 1) Two different weather conditions; the lowest flow year and the highest flow year since the beginning of Daechung Dam operation in 1981, 2) Five discharge flow rates; 5.4, 8.9, 12.4, 16.4 m³/s and field observed flow during the study period, 3) Three conditions of discharge water quality; first grade, second grade by Korean water quality standard and field observed water quality. Effect of changes in Yongdam Dam discharges was greater for dry year. The increase of discharge from the Yongdam Dam will improve water quality of downstream areas only when the water quality of the discharge is equal or better than that of downstream areas. Field observed water quality data show that BOD concentrations are lower than first grade level but TN and TP concentrations are exceeding 5th and 3rd grade level in Korean standard, respectively. Considering that nutrient control methods in watershed areas of Yongdam dam are limited, it is expected that nutrient concentrations from Yongdam Dam discharge will be higher than 2nd grade water quality standard level. Therefore, it would be important to develop practical management strategies in the watershed area of Yongdam Dam based on field conditions for conservation of water quality in downstream areas

keywords : Yongdam Dam, Keum River, Daechung Lake, WASP5, Nutrient Concentration, Water Quality Standard

요 지

용담댐의 건설에 따른 방류조건 변화가 대청호의 유입수질에 미치는 영향을 파악하기 위하여 WASP5 모델을

* 충남대학교 환경공학과 박사후 연구원, 공학박사

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

** 충남대학교 환경공학과 부교수, 공학박사

Associate Professor, Dept. of Environmental Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Republic of Korea
(E-mail : seodi@cnu.ac.kr)

이용하여 BOD, 총인 그리고 총질소 농도를 예측하였다. 수질 예측 시나리오는 크게 다음과 같이 세 가지로 구분하였다; 첫째, 금강의 유량이 대청댐의 운영이 시작된 이래 최대 갈수년(1994)과 최대 풍수년(1987)과 같다고 보는 두 가지 조건, 둘째 용담댐에서 방류되는 유량을 연구기간 중(1998년) 실측된 유량과 같다고 보는 경우와 용담댐 방류 계획안에 따라 각각 5.4, 8.9, 12.4, 16.4 m³/s로 방류되는 경우 등 다섯 가지 유량조건, 셋째, 용담호에서 방류되는 수질이 1998년에 실측된 수준을 유지하는 경우와 우리 나라 수질기준으로 1급수와 2급수에 해당되는 경우 등 세 가지 수질 조건

수질 예측 결과 용담댐으로부터의 방류량의 변화는 금강의 수질과 밀접한 관계를 나타내었으며 금강의 수량이 적은 경우 용담호의 영향은 더욱 뚜렷하게 나타났다. 특히 총질소와 총인 농도의 경우는 각 조건에 대하여 용담댐으로부터의 방류량이 증가됨에 따라 점차로 수질이 개선되는 경향을 나타내었다. 그러나 BOD 농도의 경우는 실측 수질(98년 환경부 측정자료)이 1급수(1 mg/ℓ) 보다 양호한 수질을 나타내므로 1급수(1 mg/ℓ)와 2급수(3 mg/ℓ)의 수질로 방류되는 것을 가정하는 경우에는 방류량의 증가에 따라 용담호 하류의 수질은 오히려 악화되는 결과를 나타내는 것으로 예측되었다. 용담호 부근의 현재 수질은 총질소의 경우는 5급수의 기준(1.5 mg/ℓ)을 상회하며, 총인의 농도는 3급수 (0.03 ~ 0.06 mg/ℓ) 정도의 수질을 나타낸다. 유역에서 영양염류의 오염부하를 관리하는 것이 기술적, 경제적으로 한계가 있는 것을 감안할 때, 용담호 방류수내의 영양염류 농도는 크게 개선되지 못할 것으로 예상된다. 따라서 용담호의 방류량 변화가 대청호의 수질에 미치는 영향은 용담호와 용담호 하류부의 수질 및 유량조건에 따라 각각 다르며, 합리적인 수자원의 관리를 위해서는 현실적인 자료 및 여건을 충분히 고려하여 분석하고 판단하는 것이 바람직하다.

핵심용어 : 용담호, 금강, 대청호, WASP5, 영양염류, 수질기준

1. 서론

하천 및 호수의 수질관리를 위해서는 유역 및 수계에서의 오염물질 순환과정을 바르게 이해하여야 하며 이러한 목적을 위하여 수질 모델이 사용되고 있다. 그러나 수질 모델의 올바른 적용을 위해서는 대상유역의 문제를 정확하게 파악하는 것이 가장 중요하며, 유역의 특성을 파악하여 최적의 모델을 선택하여야 한다. 하천의 수질을 예측할 수 있는 대표적인 모델로 정상상태모델인 QUAL2E를 들 수 있으며, 비정상상태 모델로는 WASP, CE-QUAL-RIV1, WQRRS, HEC-5 등이 대표적이다(Wurbs, 1995).

우리 나라에서는 하천의 수질 모의를 위해 주로 QUAL2E 모델이 사용되고 있다. 안 상진 등(1991)은 금강유역의 하천유지유량 산정을 목적으로 사용한 바 있으며, 한 건연 등(1995)도 한강하류부에서의 총질소와 총인 농도예측을 위해서 QUAL2E 모형을 적용하였다. 이 외에도 다수의 연구 사례가 보고된 바 있다(송 교욱 등, 1993; 전 경수 등, 1993; 김 선미, 1995; Lee, 1998; 허 인량 등, 1999). 그러나 QUAL2E 모델은 정상상태 모델로서 계절 변화에 따른 수질 변화를 모의할 수 없는 단점이 있다. 본 연구에서는 계절별로 각기 다른 유량 및 수질 조건에 따른 하류의 수질변화

를 모의할 수 있는 WASP5을 선택하였다.

WASP5 수질 모델은 미국 환경부(CUSEPA)에서 개발된 수질모델로 하천, 호소 및 하구 등에 광범위하게 사용될 수 있다. 국내에서는 팔당호(조 흥연 등, 1993), 대청호(서 동일, 1998a; 최 광희 등, 2000), 시화호(서 동일 등, 2001) 등 주로 호수의 성층 현상 및 수질 변화 모의를 위해 적용된 사례가 많다. 하천에 대해서는 상대적으로 적용사례가 적은 편이기는 하나 Cho(2001)는 WASP 모델을 남대천에 적용하여 발전 방류의 영향을 분석한 바 있으며, 신재기 등(2000)은 대청댐 하류의 금강에 대해 그리고 한국수자원공사(1996)에서 낙동강 유역에 적용한 한 것들이 대표적인 예이다. 미국의 경우 WASP 모델은 하천의 TMDL 설정을 위한 연구에 광범위하게 사용되고 있는 추세이다(Ward 등, 1999). 미국에서도 하천의 수질 모의에 적용된 예를 다양하게 찾아볼 수 있으며 (Benaman 등, 1996; Hajda 등, 1996; Warwick 등, 1997) Lung 등(1995)은 WASP 모델을 Upper Mississippi River 와 Lake Pepin에 함께 적용하기도 하였다.

금강 상류에 위치한 용담댐은 2001년 11월에 준공되었으며 본격적인 가동이 시작되는 경우에는 전라북도 지역의 용수 공급을 위하여 기존에 대청호로 유입되던 유량이 대폭 감소됨에 따라 용담호 하류의 금강 및 대

청호의 수질에 상당한 영향이 발생될 것으로 예상되고 있다. 따라서 본 연구에서는 WASP5 모델을 이용하여 용담호의 유량 조건, 방류 조건 및 수질 조건의 변화에 따른 하류의 수질 변화를 예측하고자 하였으며, 이러한 수질 모의 결과는 용담댐, 금강 및 대청호의 합리적인 수질 관리 대안 수립을 위한 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 연구 지역 및 연구 방법

2.1 연구지역 개요

전북 진안군 용담면 월계리에 위치한 용담호는 Fig. 1에 나타난 바와 같다. 용담호의 유역면적은 930 km²로 서 대청호 전체 유역면적 4,134 km²의 약 22.5%를 차지하고 있으며, 저수 용량은 815×10⁶ m³로 대청호의 저

수용량 1,490×10⁶ m³의 약 55% 가량에 해당된다. 용담댐은 2001년 10월에 준공되었으며, 현재 전주권 유역에 생활 및 공업 용수로 135만 m³/일 그리고 하류 하천유지용수로 43만 2천 m³/일의 용량을 공급할 예정이다.

2.2 연구 방법

2.2.1 용담호 하류 하천의 소구간 구분

용담댐 방류지점으로부터 대청호 입구에 해당되는 장계교 지점까지의 구간을 1차원 흐름 상태를 나타내는 하천구간으로 보고 수질모델링을 실시하였다. 모의를 위한 소구간 구분은 남대천, 봉황천, 영동천, 초강천 그리고 보청천 등의 유입 지류 및 하천의 지형을 고려하여 Fig. 2에 나타내었으며 총 8개의 소구간으로 구분하

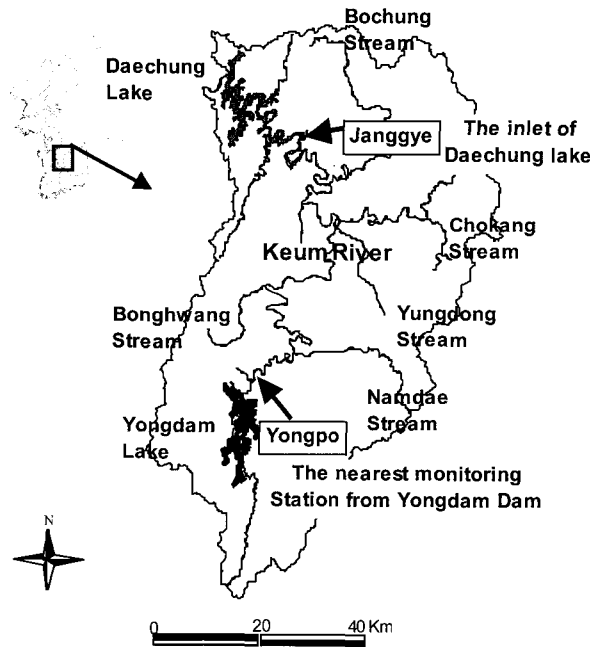


Fig. 1. Daechung and Yongdam Lake Watershed Area

Table 1. Watershed Areas of Major Tributaries of Daechung Lake

| | Daechung Lake | Yongdam Lake | Namdae Stream | Bonghwang Stream | Yungdong Stream | Chokang Stream | Bochung Stream | Okchun Stream | Main Stream |
|--|---------------|--------------|---------------|------------------|-----------------|----------------|----------------|---------------|-------------|
| Watershed Area (km ²) | 4,134 | 930 | 456 | 244 | 148 | 681 | 496 | 120 | 1,059 |
| Modified Watershed Area (km ²) | 4,134 | 930 | 599 | 348 | 346 | 812 | 700 | 120 | 279 |

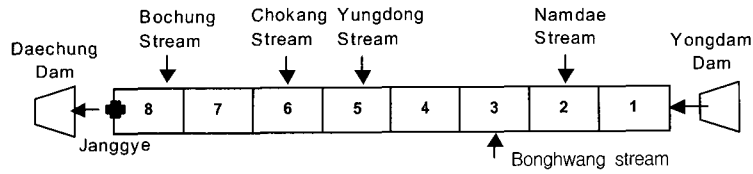


Fig. 2. Segmentation of the Downstream of Yongdam Lake

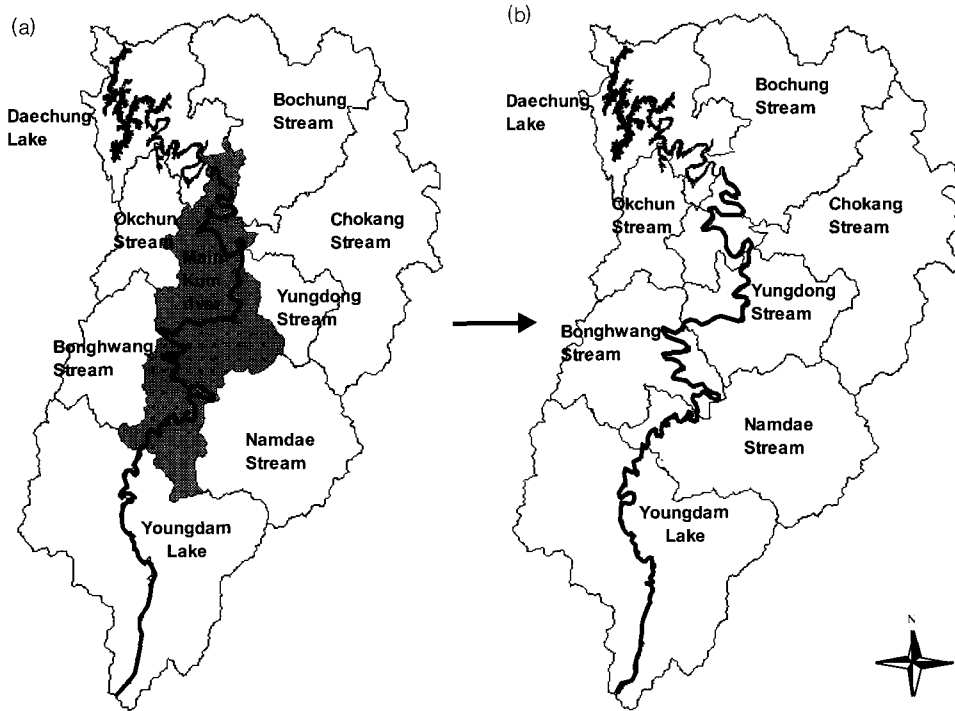


Fig. 3. Watershed Areas of Tributaries of the Daechung Lake.
(a) Actual Areas, (b) Modified Areas in This Study

였다. 한국수자원공사(1992)에서는 각 하천의 유역면적을 Table 1과 같이 제시하였으나 본 연구에서는 Fig. 3(a)와 같이 금강 본류에 인접하여 주요 지류의 유역면적에 포함되지 않는 유역에 대해서 강우시 유출이 가장 가까운 하류의 지류를 통해 본류의 각 소구간으로 유입하는 것으로 가정하여 전체 유입유량을 재분배하였다. 이러한 가정 하에 재 산정된 유역면적 및 구분을 Table 1과 Fig. 3(b)에 나타내었다.

2.2.2 모델의 보정

용담댐하류 지천들의 시간별 유량은 지속적으로 실측된 자료가 없으므로 본 연구에서는 1998년 실측된 대청호 유입량과 각 지천의 유역면적을 고려하여 월평

균으로 분배된 각 지류의 유량을 해당 연구기간의 유량 자료로 사용하였으며, 본류 및 각 지류의 수질은 1998년 환경부의 상시측정자료를 이용하여 보정 자료로 사용하였다. Fig. 4는 용담호 하류지점인 용포지점 및 각 유입지류의 수질 농도를 나타내고 있다. WASP5 모델에서 사용된 각종의 계수들은 사용자 설명서(Ambrose 등, 1993)에 나타난 기본값 또는 문헌값(Bowie, 1985)을 우선적으로 사용하였으며 측정자료와 계산 결과를 비교하는 시행착오 과정을 통하여 보정하였다.

2.2.3 모델의 검증

1998년 자료를 이용한 보정 결과를 검증하기 위하여 1999년과 2000년의 측정 자료를 이용하여 수질 모의를

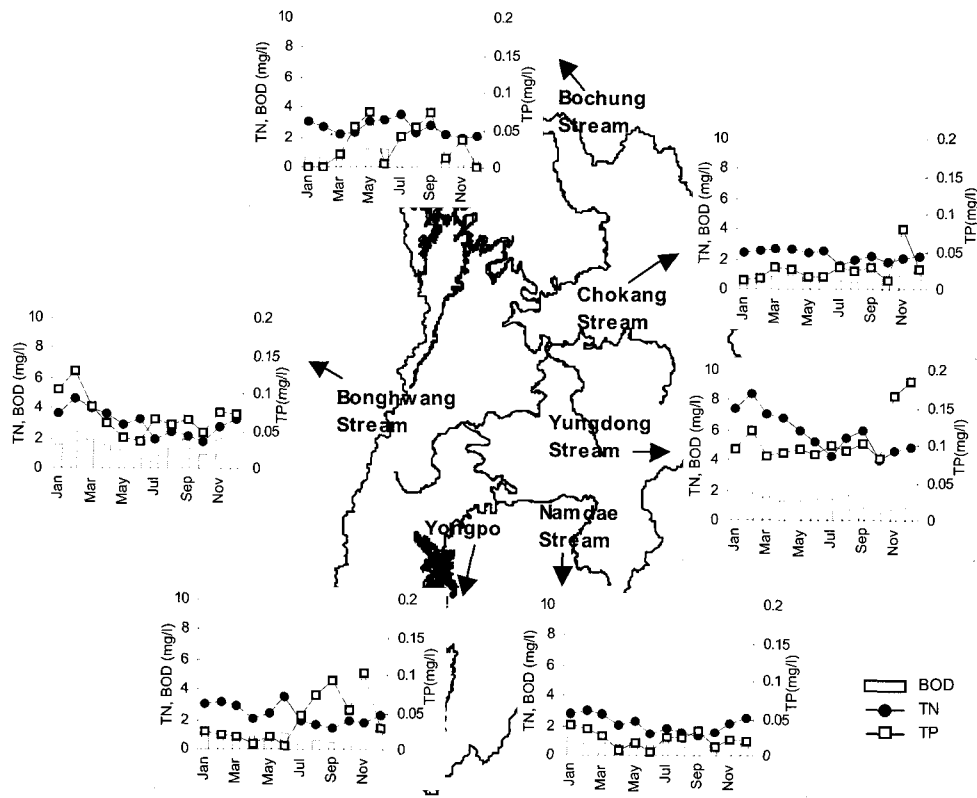


Fig. 4. Water Quality of Main Stream and Tributaries

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/sec | 1st, 2nd Grade and Observed |
| Scenario 3 | | 8.9 m/sec | 1st, 2nd Grade and Observed |
| Scenario 4 | | 12.4 m/sec | 1st, 2nd Grade and Observed |
| Scenario 5 | | 16.4 m/sec | 1st, 2nd Grade and Observed |
| Scenario 6 | The highest flow year (1987) | Observed Flow | 1st, 2nd Grade and Observed |
| Scenario 7 | | 5.4 m/sec | 1st, 2nd Grade and Observed |
| Scenario 8 | | 8.9 m/sec | 1st, 2nd Grade and Observed |
| Scenario 9 | | 12.4 m/sec | 1st, 2nd Grade and Observed |
| Scenario 10 | | 16.4 m/sec | 1st, 2nd Grade and Observed |

Table 3. Estimated Monthly Averaged Inflows of Major Tributaries in the Keum River for the Lowest Flow Year (1994)

(Unit : m/sec)

| | Discharge Flow Rates | | | | | Namdae Stream | Bonghwang Stream | Yungdong Stream | Chokang Stream | Bochung Stream |
|------|----------------------|-----|------|------|----------|---------------|------------------|-----------------|----------------|----------------|
| | Assumed | | | | Observed | | | | | |
| Jan. | 5.4 | 8.9 | 12.4 | 16.4 | 4.2 | 2.7 | 1.5 | 1.5 | 3.6 | 3.4 |
| Feb. | 5.4 | 8.9 | 12.4 | 16.4 | 4.0 | 2.6 | 1.5 | 1.5 | 3.5 | 3.3 |
| Mar. | 5.4 | 8.9 | 12.4 | 16.4 | 7.2 | 4.6 | 2.7 | 2.7 | 6.3 | 7.0 |
| Apr. | 5.4 | 8.9 | 12.4 | 16.4 | 4.9 | 3.1 | 1.8 | 1.8 | 4.3 | 4.0 |
| May | 5.4 | 8.9 | 12.4 | 16.4 | 9.4 | 6.0 | 3.5 | 3.5 | 8.2 | 7.8 |
| Jun. | 5.4 | 8.9 | 12.4 | 16.4 | 2.6 | 1.7 | 1.0 | 1.0 | 2.3 | 2.2 |
| Jul. | 5.4 | 8.9 | 12.4 | 16.4 | 14.8 | 9.5 | 5.5 | 5.5 | 12.8 | 12.2 |
| Aug. | 5.4 | 8.9 | 12.4 | 16.4 | 7.7 | 4.9 | 2.9 | 2.8 | 6.7 | 6.3 |
| Sep. | 5.4 | 8.9 | 12.4 | 16.4 | 2.3 | 1.5 | 0.9 | 0.8 | 2.0 | 1.9 |
| Oct. | 5.4 | 8.9 | 12.4 | 16.4 | 6.0 | 3.8 | 2.2 | 2.2 | 5.2 | 4.9 |
| Nov. | 5.4 | 8.9 | 12.4 | 16.4 | 2.7 | 1.7 | 1.0 | 1.0 | 2.3 | 2.2 |
| Dec. | 5.4 | 8.9 | 12.4 | 16.4 | 2.3 | 1.5 | 0.8 | 0.8 | 2.0 | 1.9 |

Table 4. Estimated Monthly Averaged Inflows of Major Tributaries in the Keum River for the Highest Flow Year (1987)

(Unit : m/sec)

| | Discharge Flow Rates | | | | | Namdae Stream | Bonghwang Stream | Yungdong Stream | Chokang Stream | Bochung Stream |
|------|----------------------|------|------|------|----------|---------------|------------------|-----------------|----------------|----------------|
| | Assumed | | | | Observed | | | | | |
| Jan. | 5.4 | 8.9 | 12.4 | 16.4 | 18.3 | 11.7 | 6.8 | 6.8 | 15.9 | 15.1 |
| Feb. | 5.4 | 8.9 | 12.4 | 16.4 | 16.6 | 10.6 | 6.2 | 6.1 | 14.4 | 13.6 |
| Mar. | 5.4 | 8.9 | 12.4 | 16.4 | 11.9 | 7.6 | 4.4 | 4.4 | 10.3 | 9.7 |
| Apr. | 5.4 | 8.9 | 12.4 | 16.4 | 7.8 | 5.0 | 2.9 | 2.9 | 6.7 | 6.4 |
| May | 5.4 | 8.9 | 12.4 | 16.4 | 7.7 | 4.9 | 2.9 | 2.9 | 6.7 | 6.3 |
| Jun. | 5.4 | 8.9 | 12.4 | 16.4 | 20.5 | 13.1 | 7.6 | 7.6 | 17.8 | 16.8 |
| Jul. | 41.5 | 41.5 | 41.5 | 41.5 | 117.9 | 75.4 | 43.8 | 43.5 | 102.3 | 97.0 |
| Aug. | 65.6 | 65.6 | 65.6 | 65.6 | 145.8 | 73.3 | 54.1 | 53.9 | 126.5 | 123.0 |
| Sep. | 40.5 | 40.5 | 40.5 | 40.5 | 31.0 | 19.8 | 11.5 | 11.5 | 26.9 | 25.5 |
| Oct. | 5.4 | 8.9 | 12.4 | 16.4 | 4.8 | 3.1 | 1.8 | 1.8 | 4.2 | 3.9 |
| Nov. | 5.4 | 8.9 | 12.4 | 16.4 | 9.0 | 5.8 | 3.3 | 3.3 | 7.8 | 7.4 |
| Dec. | 5.4 | 8.9 | 12.4 | 16.4 | 5.2 | 3.3 | 1.9 | 1.9 | 4.5 | 4.3 |

실시하였다. 검증을 위한 모의시에도 보정시와 같이 대청호 유입유량을 이용하여 지류별 유량을 산정하였으며 환경부의 측정 자료를 이용하였다.

2.2.4 수질 예측 시나리오의 구성

수질 예측 시나리오는 아래와 같이 크게 세 가지로 구분하였으며, Table 2에 정리하여 나타내었다.

1) 유입 유량 조건

1981년부터 2000년까지 대청호의 유입유량을 조사한 결과는 Fig. 5와 같다. 1987년은 연간 유입량이 $4,768 \times 10^6$ m³로 수량이 가장 풍부하였던 시기였으며, 1994년은 연간 유입량이 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 시나리오

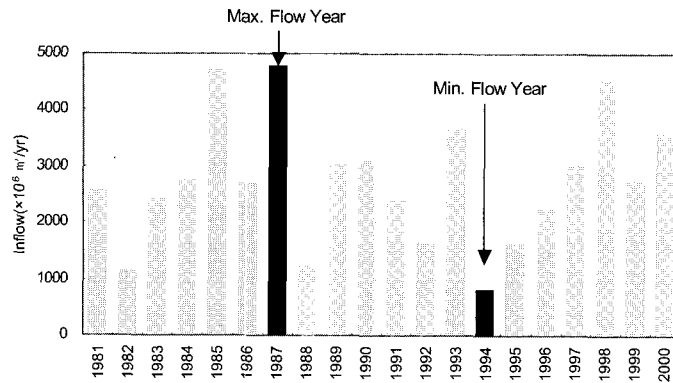


Fig. 5. Observed Annual Inflows to Daechung Lake (1981~2000)

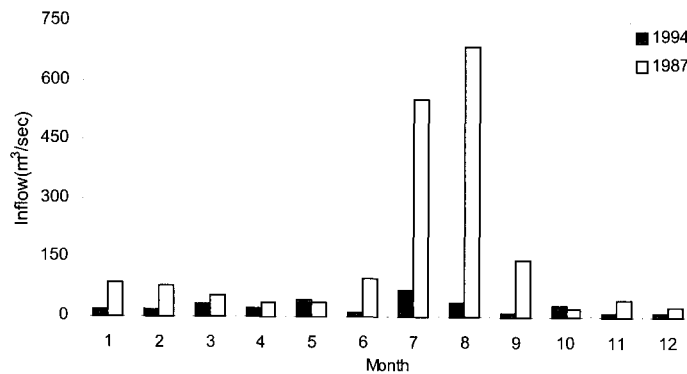


Fig. 6. Monthly Inflow to Daechung Lake for Two Flow Conditions

를 구성하였다.

2) 방류량 조건

용담댐 실시 설계시에는 저수위를 E.L. 228.5 m로 설정하고 하천유지 용수량을 5.4 m³/sec로 결정한 바 있다(한국수자원공사, 2000). 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 등 총 5개의 방류량 조건이 하류에 미치는 영향에 대하여 모의하였다. 여기에서 용담호의 실측 유량은 1994년과 1987년의 대청호의 실제 유입량을 용담호의 유역면적비로 환산하여 산정한 월평균 유량을 의미한다. 대청호의 수질에 영향을 미치는 각 지류의 유량은 실측자료가 충분하지 않은 관계로 대청호 유입유량을 기준으로 각 유역 면적에 따라 분배하였다. 1994년과 1987년의 월평균 대청호 유입량은

Fig. 6에 나타내었으며, 이를 이용하여 산정된 각 하천의 유입유량은 Table 3과 Table 4에 각각 나타내었다. 최대 풍수년인 1987년의 경우에는 풍수기인 7월부터 9월에 대청호의 월류유량에 비례하여 용담댐의 여수로를 통해 잉여의 유량이 방류되는 것으로 가정하여 모의하였다.

3) 수질 조건

용담호의 수질은 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 1998년 금강 본류의 용포지점에 대해 환경부에서 측정된 수질이 유지되는 경우, 용담댐 건설 후 용담호의 유역 및 수질 관리에 의해 호소수 수질 기준으로 1급수가 방류되는 경우, 그리고 2급수가 방류되는 조건에 대하여 구분하여 수질 모의를 실시하였다.

3. 결과 및 분석

3.1 모델 보정 및 검증 결과

대청호 입구 지점인 장계교 지점(Fig. 1참조)에 대한 BOD, 총질소 그리고 총인 농도를 1998년의 실측 자료를 이용하여 보정하고 1999년과 2000년의 실측 자료를 이용하여 검증한 결과는 Fig. 7에 나타난 바와 같다. 1998년의 보정 결과, BOD와 총질소 농도는 실측치를 비교적 잘 반영하고 있는 것으로 나타났으나, 총인 농도의 경우는 실측치에 비해 다소 낮은 경향을 나타내고 있다. 총인 농도의 6월과 8월의 예측치는 실측치에 비해 낮은 농도를 나타내고 있다. 이 시기는 우리나라의 기후 특성상 다량의 강우가 발생하는 시기이나 수질 농도 측정치들은 평상시에 월 1회 채취된 시료를 분석하여 얻어진 것으로 진정한 의미의 월평균 자료로 보기는 어렵다. 총인은 여타 항목에 비하여 고형물질의 증가에 특히 민감하게 증가되는 경향을 나타내는 것으로 보고된 바 있으며(서동일, 1998a) 보정 결과는 이러한 점을 나타내 주는 것으로 판단된다.

BOD 농도의 경우 2년 동안 검증기간에도 비교적

실측치와 유사한 모의 결과를 나타내고 있으며, 총인과 총질소 농도의 경우 일부 기간을 제외하면 실측농도를 잘 반영하고 있는 것으로 분석된다. 본 연구의 목적은 용담호의 방류조건 변화에 따른 금강의 상대적인 수질 변화를 예측하는 것이므로 위와 같은 보정 및 검증 결과를 이용하여 나타내는 데에는 큰 무리가 없을 것으로 판단된다. Table 5는 수질모델의 보정에 의해 설정된 매개변수값들을 나타낸다.

3.2 유역별 오염부하량

용담호 하류의 금강과 대청호의 수질에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 각 지천을 통하여 유역으로부터 유입되는 오염부하량이다. 각 지천의 부하량은 위에서 나타난 바와 같이 재분배한 월별 유량과 1998년에 실측된 농도를 사용하여 산정하였다. Table 6은 1994년과 1987년에 대하여 산정한 년평균 부하량의 변화를 나타내고 있다. 특기할 만한 것은 Table 1에 나타난 바와 같이 유역면적이 상대적으로 작은 영동천의 경우 BOD 부하가 여타 유역에 비하여 작은 반면, 총인과 총질소 부하량은 월등하게 높은 것으로 나타나고 있다. Fig. 8

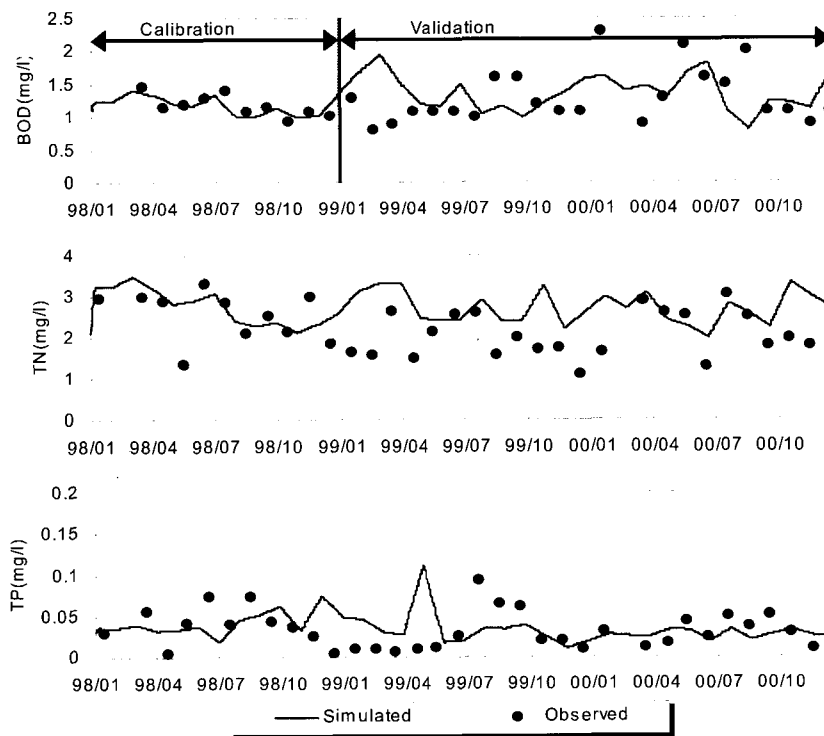


Fig. 7 Validation of Calibration Result at the Inlet of Daechung Lake

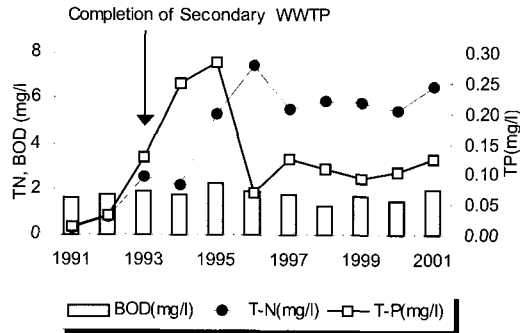


Fig. 8 Water Quality of Yungdong Stream

Table 5. Available Water Quality Constants for WASP5

| Water Quality Variable | Definition | Unit | Value |
|------------------------|---|-------|--------|
| CBOD | CBOD deoxygenation rate at 20°C | 1/day | 0.04 |
| | Temperature coefficient | - | 1.03 |
| | Decomposition rate of CBOD in the sediment at 20°C | 1/day | 0.0003 |
| | Half-saturation constant for carbonaceous deoxygenation oxygen limitation | - | 0.5 |
| TN | Nitrification rate at 20°C | 1/day | 0.015 |
| | Denitrification rate at 20°C | 1/day | 0.004 |
| | Mineralization rate of dissolved organic nitrogen | 1/day | 0.06 |
| | Decomposition rate of constant for Organic Nitrogen in the sediment at 20°C | 1/day | 0.0002 |
| | Temperature coefficient | - | 1.08 |
| TP | Mineralization rate of dissolved organic phosphorus | 1/day | 0.07 |
| | Decomposition rate of organic phosphorus in the sediment at 20°C | 1/day | 0.0004 |
| | Fraction of dead and respired phytoplankton phosphorus recycled to organic phosphorus | - | 0.5 |
| | Temperature Coefficient | - | 1.05 |

에 나타난 바와 같이 영동천은 영동 하수종말처리장의 가동이 시작된 1993년 이후에 총인과 총질소의 농도가 급격히 증가된 현상을 나타내고 있다. 이는 영동천의 하수처리장이 2차 처리 시설로서 영양염류의 처리가 이루어지지 않기 때문에 오염발생원에서 하천에 전달되는 부하량이 오히려 증가하는 데 기인한다. 이러한 현상은 전국적으로 발견되는 현상으로 처리장 하류의 부영양화 문제를 가속화 시키는 원인이 되고 있으며 시급하게 해결하여야 할 과제이기도 하다.

Table 6에 나타난 바와 같이 용담댐 방류구로부터 유출되는 부하량이 차지하는 비율은 각 시나리오에 따라 크게 다르다. 1998년에 용포지점에서 실측된 수질로

방류되는 경우, BOD, 총질소 그리고 총인의 부하량은 대청호로 유입되는 유입 부하량의 19%, 20%, 23% 가량을 각각 나타낸다. BOD의 실측농도는 평균 0.77 mg/l로서 1 급수의 기준치 (1 mg/l)보다 낮은 값을 나타낸다. 그러나 2 급수의 수질(3 mg/l)을 경계농도로 사용하는 경우 용담호의 부하량은 49%로 대폭 증가하는 것으로 산정되어 하류 수질에 큰 영향을 나타내게 된다. 대청호 등 여타 대형 저수지의 수질변화 경향을 고려해 볼 때 용담호 방류수의 BOD 농도는 2급수의 수준까지 악화되지 않을 것으로 예상된다. 그러나 대청호의 COD 농도는 지속적으로 증가하는 경향이므로(서동일, 1998b) 추후에는 용담호에서도 COD 농도 변화에 대

Table 6. Fractions of Contribution of Pollutant Load from Yongdam Dam to the Keum River

| | | Discharged Water Quality | | | Namdae Stream | Bonghwang Stream | Yungdong Stream | Chokang Stream | Bochung Stream |
|------------------------------|-----------|--------------------------|-----------|----------|---------------|------------------|-----------------|----------------|----------------|
| | | 1st Grade | 2nd Grade | Observed | | | | | |
| The lowest flow year (1994) | BOD(kg/d) | 489 | 1468 | 375 | 263 | 281 | 225 | 347 | 385 |
| | % | (25) | (49) | (20) | | | | | |
| | TN(kg/d) | 97 | 196 | 1166 | 663 | 557 | 1861 | 966 | 1,050 |
| | % | (2) | (4) | (19) | | | | | |
| TP(kg/d) | 5 | 15 | 20 | 7 | 13 | 20 | 12 | 16 | |
| % | (7) | (18) | (23) | | | | | | |
| The highest flow year (1987) | BOD(kg/d) | 2,851 | 8,551 | 2,185 | 1,731 | 1,638 | 1,313 | 2,022 | 2,244 |
| | % | (25) | (49) | (20) | | | | | |
| | TN(kg/d) | 570 | 1,140 | 6,796 | 3,867 | 3,246 | 10,645 | 5,632 | 6,118 |
| | % | (2) | (4) | (19) | | | | | |
| TP(kg/d) | 28.5 | 85.5 | 115.9 | 41 | 75 | 113 | 67 | 95 | |
| % | (7) | (18) | (23) | | | | | | |

Table 7. Predicted Concentrations at the Inlet of Daechung Lake

| | | | Observed Flow | 5.4 m/sec | 8.9 m/sec | 12.4 m/sec | 16.4 m/sec |
|------------------------------|------------|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| The lowest flow year (1994) | BOD (mg/l) | Observed quality | 1.13 | 1.14 (0.3) | 1.11 (-1.7) | 1.10 (-3.2) | 1.08 (-4.5) |
| | | 1st grade | 1.15 (1.8) | 1.15 (1.7) | 1.14 (0.5) | 1.13 (-0.5) | 1.12 (-1.4) |
| | | 2nd grade | 1.63 (43.6) | 1.63 (43.8) | 1.82 (60.6) | 1.96 (73.2) | 2.09 (84.3) |
| | TN (mg/l) | Observed quality | 2.69 | 2.70 (0.1) | 2.66 (-1.4) | 2.63 (-2.6) | 2.60 (-3.5) |
| | | 1st grade | 2.14 (-20.6) | 2.14 (-20.8) | 1.87 (-30.7) | 1.67 (-38.0) | 1.50 (-44.4) |
| | | 2nd grade | 2.20 (-18.7) | 2.19 (-18.8) | 1.95 (-27.9) | 1.76 (-34.7) | 1.60 (-40.6) |
| | TP (mg/l) | Observed quality | 0.041 | 0.041 (0.6) | 0.042 (1.3) | 0.042 (1.5) | 0.042 (1.5) |
| | | 1st grade | 0.032 (-21.9) | 0.032 (-22.5) | 0.029 (-30.0) | 0.026 (-35.4) | 0.025 (-40.1) |
| | | 2nd grade | 0.037 (-8.9) | 0.037 (-9.5) | 0.036 (-11.9) | 0.035 (-13.6) | 0.035 (-15.0) |
| The highest flow year (1987) | BOD (mg/l) | Observed quality | 1.15 | 1.15 (0.6) | 1.15 (-0.1) | 1.14 (-0.7) | 1.13 (-1.2) |
| | | 1st grade | 1.16 (0.9) | 1.17 (2.4) | 1.17 (1.6) | 1.16 (1.1) | 1.16 (0.9) |
| | | 2nd grade | 1.61 (39.8) | 1.54 (33.8) | 1.62 (40.9) | 1.69 (47.0) | 1.76 (53.0) |
| | TN (mg/l) | Observed quality | 2.73 | 2.72 (-0.4) | 2.71 (-1.0) | 2.69 (-1.5) | 2.68 (-2.0) |
| | | 1st grade | 2.18 (-20.3) | 2.34 (-14.5) | 2.21 (-19.2) | 2.10 (-23.1) | 2.01 (-26.4) |
| | | 2nd grade | 2.23 (-18.5) | 2.39 (-12.6) | 2.27 (-16.9) | 2.17 (-20.5) | 2.08 (-24.0) |
| | TP (mg/l) | Observed quality | 0.040 | 0.043 (6.6) | 0.043 (6.3) | 0.043 (5.9) | 0.042 (5.5) |
| | | 1st grade | 0.033 (-18.9) | 0.034 (-15.2) | 0.033 (-18.8) | 0.032 (-21.8) | 0.031 (-23.5) |
| | | 2nd grade | 0.038 (-6.5) | 0.039 (-4.1) | 0.038 (-5.4) | 0.038 (-6.4) | 0.037 (-7.3) |

*values in () indicate % of increase or decrease from values of observed flow column

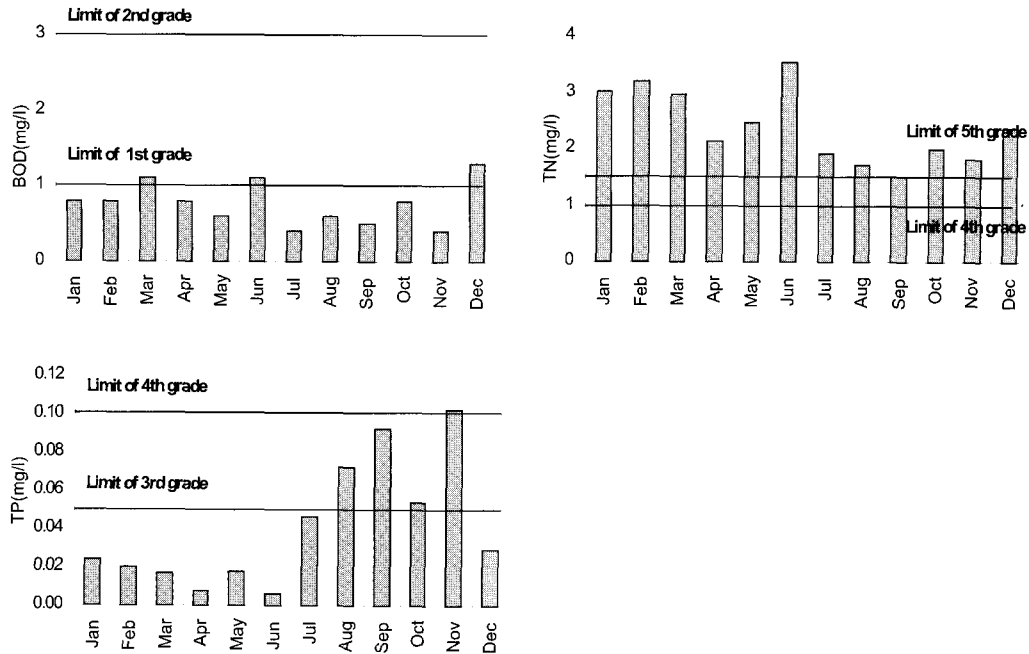


Fig. 9 Observed water quality at Youngpo(The nearest monitoring station from Yongdam dam site, 1998)

한 연구가 필요할 것으로 판단된다. Fig. 9에 나타난 바와 같이 용포 지점의 총질소와 총인의 실측농도는 모두 2급수의 수질기준을 상회하는 것으로 관찰되었다 (대전광역시, 2000; 한국수자원공사, 2000). 가뭄이 심하였던 1994년을 기준으로 보았을 때 총인의 경우 1급수(0.01 mg/l 이하)와 2급수(0.03 mg/l)의 수질로 방류될 경우 대청댐 유역전체에서 발생하는 오염부하의 비중은 23%에서 7%와 18%로 각각 감소하게 되며 총질소의 경우에 1급수(0.20 mg/l 이하)와 2급수(0.40 mg/l)의 수질로 방류될 경우 대청댐 유역전체에서 발생하는 오염부하의 비중은 19%에서 2%와 4%로 각각 감소하게 되어 대폭적인 수질 개선이 예상된다. 총인이나 총질소 농도를 대폭 감소시키기 위해서는 각각 고도처리를 실시해야 한다. 그러나 용담댐 유역과 같이 점오염원이 산재되어 있고 농경지 또는 삼림 등과 같은 비점오염원의 영향이 절대적인 지역에서 영양염류의 농도를 대폭적으로 감소시키는 현실적으로 많은 어려움이 있을 것으로 예상된다.

3.3 시나리오별 수질 예측 결과

앞서 기술한 여러 가지 시나리오에 대하여 대청호의

입구인 장계교 지점의 수질 변화 경향을 예측하였다. Fig. 10과 Fig. 11은 장계교 지점에서 각각의 시나리오에 대해 최대 갈수년(1994년)과 최대 풍수년(1987년)의 BOD, 총질소 그리고 총인의 연중 농도 변화 추이를 보여 주고 있다. Table 7은 각 시나리오에 대하여 항목별 실측 수질 농도 및 실측 유량이 방류되었을 경우의 수질 농도와 비교하여 산정된 농도의 증가율 또는 감소율을 나타내고 있다. 전반적으로 용담호의 수질이 양호한 경우 용담호로부터 방류량이 증가함에 따라 하천의 수질농도는 감소하는 경향으로 예측되었으나, 용담호의 수질이 양호하지 않은 경우에는 하천의 수질농도가 오히려 증가될 수도 있는 것으로 예측되고 있다.

1) BOD 농도

방류수의 BOD 농도가 실측 수질로 방류되는 경우에는 용담댐의 방류량이 증가함에 따라 하류의 수질이 개선되는 것을 알 수 있다. 용담댐의 방류량이 8.9 m³/sec 이상인 경우 수질 개선효과가 나타나고 있다. 그러나 용담댐의 방류수가 1 mg/l 인 경우 용담댐의 방류량은 12.4 m³/sec 이상이 되어야 대청호 입구의 수질이 개선되는 효과가 발생하는 것으로 나타나고 있다.

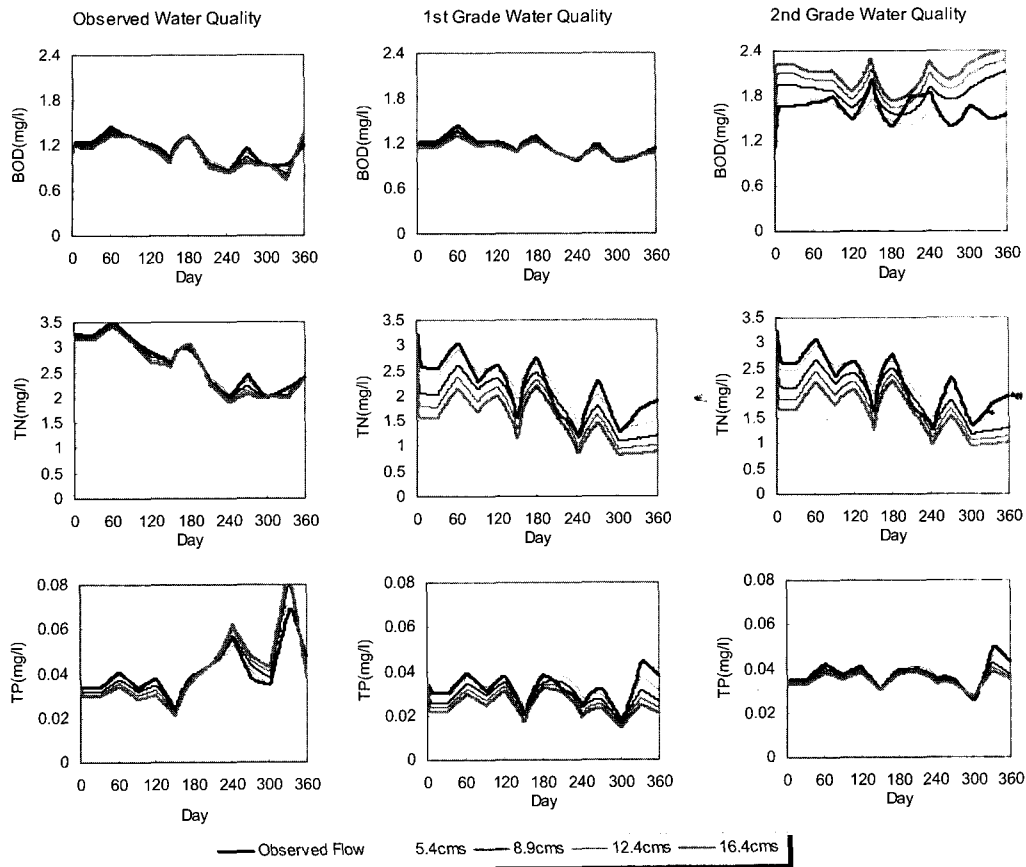


Fig. 10 Simulation Results at the Inlet of the Daechung Lake for Different Discharge Conditions of Yongdam Dam in the Lowest Flow Year (1994)

반면 방류수의 BOD 농도가 2급수 (3 mg/l) 로서 실제보다 높게 가정되는 경우에는 방류량 증가로 인하여 오히려 대청호 입구의 수질이 악화되는 것으로 예측되었다. 그러나 앞서 언급하였듯이 용담댐의 방류수질 농도는 현재의 실측수질보다 악화되지 않을 것으로 예상된다.

유량이 풍부한 1987년의 경우에도 실측수질이 유지되는 경우 $8.9 \text{ m}^3/\text{sec}$ 부터 하류에 수질이 개선되는 효과를 발생시키고 있으나 용담댐의 방류수질이 1 mg/l 이상인 경우 용담댐은 금강 상류의 다른 배수구역에 비하여 상대적으로 오염물질총량이 증가하여 대청댐 입구의 수질에 악영향을 미치는 것으로 평가되고 있다.

2) 총질소 농도

총질소의 경우는 1급수(0.2 mg/l)와 2급수(0.4 mg/l)로 방류된다고 보았을 때 모든 경우에 있어서 방류

량이 증가함에 따라 대청호 입구의 수질이 대폭 개선되는 것으로 나타났다. 그러나 용포지점의 실측 총질소 농도가 $1.5 \sim 3.0 \text{ mg/l}$ 의 범위에 있는 것을 감안할 때 위와 같은 경우는 실현 불가능한 일이다.

연구 기간중의 실측유량과 실측수질이 유지된다고 보았을 때, 최대 갈수년에는 $8.9 \text{ m}^3/\text{sec}$ 이상이 되어야 대청호 입구의 수질이 개선되는 것으로 산정되었으며 최대 풍수년에는 $5.4 \text{ m}^3/\text{sec}$ 가 방류되어도 개선효과가 있는 것으로 나타났다. 그러나 각 경우에서 용담댐으로 유입되는 잉여 수량은 여수로를 통하여 방류되는 것으로 가정되어 있으므로 최대 풍수년의 실제 $5.4 \text{ m}^3/\text{sec}$ 는 최저 유량을 나타내므로 실제 평균 유량은 $5.4 \text{ m}^3/\text{sec}$ 보다 훨씬 크다.

3) 총인 농도

총인 농도의 경우 실측 농도의 수준으로 방류될 경

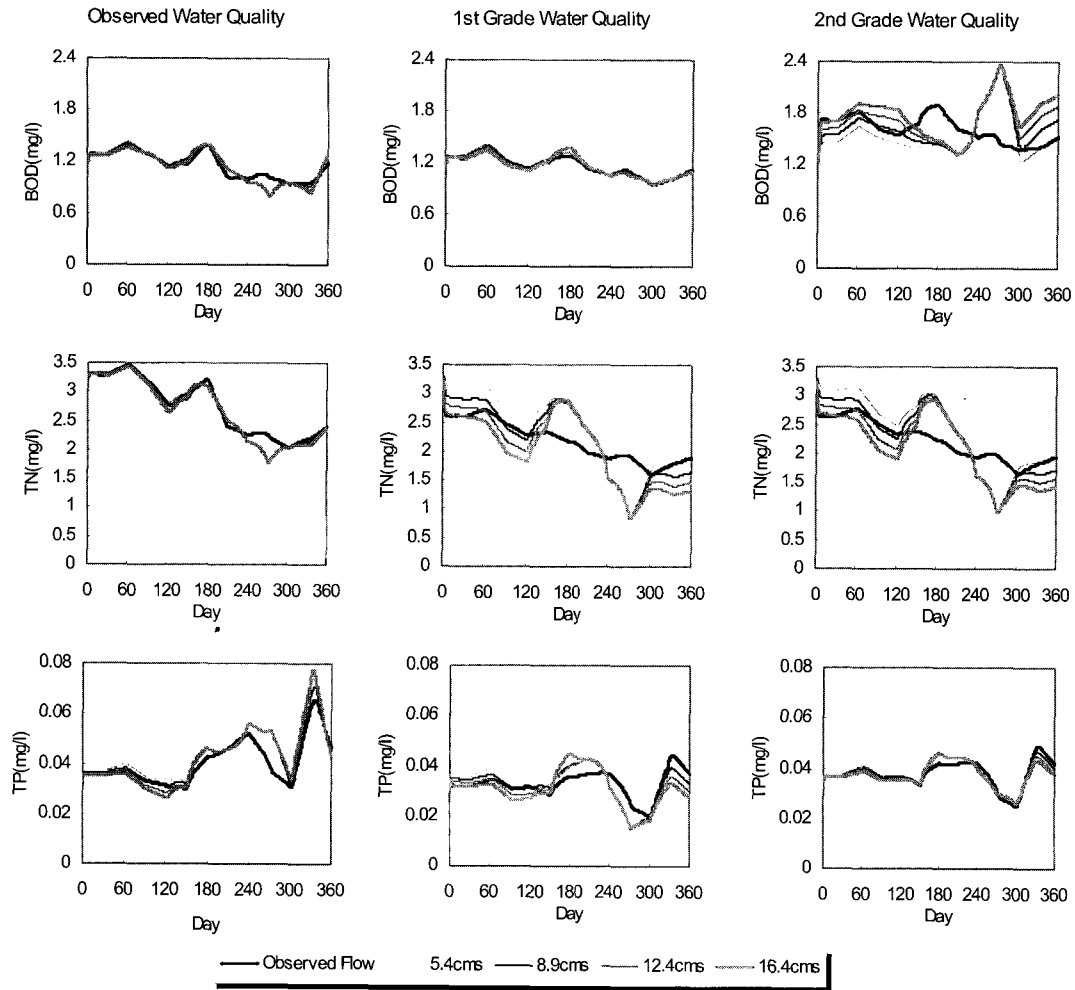


Fig. 11 Simulation Results at the Inlet of the Daechung Lake for Different Discharge Conditions of Yongdam Dam in the Highest Flow Year (1987)

우 대청호의 수질에 악영향을 미칠 것으로 예상되고 있다. 따라서 용담댐의 방류수질이 2 급수 (0.03 mg/l) 이하로 개선이 되어야만 비로소 용담댐의 방류에 의하여 수질개선 효과가 발생할 수 있을 것으로 보인다.

4. 결 론

본 연구에서는 용담댐 건설 후 방류량의 변화에 따른 금강의 수질 변화를 예측하고자 수질 모의를 실시하였다. 용담호 유입 유량 조건은 1981년부터 2000년까지 대청호 유입유량을 분석하여 최대 갈수년인 1994년과 최대 풍수년인 1987년을 두 가지의 한계 조건으로 가정하였으며, 용담호로부터의 방류량은 실시 설계시

하천유지 용수량으로 산정된 $5.4 \text{ m}^3/\text{sec}$ 와 $8.9 \text{ m}^3/\text{sec}$, $12.4 \text{ m}^3/\text{sec}$, $16.4 \text{ m}^3/\text{sec}$, 그리고 실측유량이 방류되는 상황을 고려하였다. 용담호 방류수질은 1급수, 2급수 그리고 현재의 실측농도가 유지되는 경우를 구분하여 수질을 모의하였다. 용담호의 현재 수질은 BOD 농도는 하천수 수질 기준으로 1급수보다 양호하나, 총인 농도의 경우는 하절기에 0.06 mg/l 이상의 수준으로서 호소수 수질 기준으로는 4급수 이상을 나타내며, 총질소 농도는 년중 1.5 mg/l 이상으로서 호소수 수질기준으로 5 급수 수준을 상회하고 있다.

용담하류 하천수질은 용담호로부터의 방류수질과 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다. BOD의 경우 실측

농도 수준을 유지할 경우 용담호의 방류량이 최대 갈수년을 기준으로 8.9 m³/sec 이상이 되어야 대청댐 입구의 수질이 향상되는 것으로 예측되었으며 1급수의 수준을 유지할 경우는 최소 12.4 m³/sec 이상을 유지하여야 하는 것으로 산정되었다. 총인과 총질소의 경우 용담호의 방류수질이 1급수 또는 2급수의 기준을 만족하는 양호한 수준을 유지할 경우 방류량의 증가에 따라 수질농도가 개선되나 방류수의 수질농도가 증가되는 경우 하류의 농도 개선 폭이 현저하게 감소되고 있는 것을 알 수 있다.

용담호 방류수의 수질농도가 실측농도의 수준을 유지한다고 가정한 경우, 대청호 입구의 총질소 농도가 개선되는 효과를 발생시키기 위해서는 최대 갈수년을 기준으로 8.9 m³/sec 이상을 방류해야 하는 것으로 나타나고 있다. 그러나 총인의 경우는 현재와 같은 수질을 유지한다고 보았을 때, 방류량의 증가에 따라 하류의 수질은 거의 변화가 없거나 다소 악화되는 것으로 분석되고 있다.

우리 나라 상류의 하천은 대체적으로 BOD 농도는 양호한 반면 영양염류의 농도가 매우 높은 경향을 나타내고 있다. 따라서 대청호의 녹조현상에는 주요 지류에서 유입되는 영양염류농도가 가장 큰 원인이 되는 분석되고 있다. 용담호의 경우 하수처리장의 건설을 통해 유기물질의 제어는 효과적으로 이루어질 것으로 예상되나 영양염류의 제어는 크게 미흡할 것으로 전망된다. 이는 용담댐의 경우도 녹조현상이 필연적으로 발생될 것을 의미한다.

대청호 입구의 수질은 대청호 전체의 오염부하량 발생량과 용담호 방류수가 포함하고 있는 오염부하량의 상대적인 비율과 하천내의 분해 기작이 복합적으로 작용하여 나타나는 현상에 의해 결정된다. 이는 금강 및 대청호의 수질 관리를 위해서는 반드시 용담호의 수질 개선이 전제되어야 하는 것을 시사한다. 본 연구는 용담호의 수질이 영양염류를 포함하여 2급수 보다 양호한 수질로 대폭적으로 개선되어야만 비로소 용담호의 방류량이 증가함에 따라 용담 하류의 수질에 개선효과가 나타날 수 있는 것으로 분석하고 있다. 따라서 유역의 오염원을 발생원에서부터 관리하는 등 용담호의 조건에 맞는 영양염류 관리 대책이 마련되어야 하며 이에 대한 연구 및 기초자료 확보에 힘을 기울여야 한다.

참 고 문 헌

김선미 (1995). QUAL2E모형을 이용한 금강 하류의

수질 변화에 관한 연구, 충남대학교 환경공학과 석사학위 논문

대전광역시 (2000). 대청호 상수원 수질보전연구 대전광역시 보고서

서동일 (1995). 저수시 수질측정 및 오염부하량 산정 한국건설기술연구원 보고서.

서동일 (1998a). 댐유역 오염물질 이동특성에 관한 연구, 연구보고서, 한국수자원공사 보고서

서동일 (1998b). "대청호의 성층현상에 의한 부영양화 특성과 수질관리 방안에 관한 연구", 대한환경공학회지, 20(9), 1219~1234

서동일, 최재훈, 이은형, 이해근 (2001). "EUTRO5를 이용한 시화호 수질모델 보정 및 검증", 대한환경공학회지, Vol. 23, No. 1, pp. 131~139

송교욱, 안옥성, 박청길 (1993). "낙동강 수계 수질관리를 위한 모델링(II)", J. of KSWQ, Vol. 9, No. 1, pp. 54~66

신재기, 임창수 (2000). "금강중류부에서의 수질모의에 관한 연구", 한국수자원학회논문집, 제33권 제2호 pp. 145~157

안상진, 김종섭 (1991). "금강유역의 하천유지유량 산정", 한국수문학회지, Vol. 24, No. 1, pp. 83~92

전경수, 이길성 (1993). "QUAL2E 모형의 한강수계 적용", 상하수도학회지, Vol. 3, pp. 43~56

조홍연, 이길성, 한광석 (1993). "WASP4 모형에 의한 팔당호 수질모델링", 수공학연구발표회논문집, pp. 519~526

한건연, 송재우, 김상호, 백경원 (1995). "한강 하류부에서의 총질소와 총인에 대한 수질모의", 한국수자원학회지, Vol. 28, No. 4, pp. 137~146.

한국수자원공사 (1992). 전국하천 조사서

한국수자원공사 (1994 ~ 2000). 다목적댐 수질 환경연감

한국수자원공사 (1996). 대하천 오염물질 이송·확산 예측 및 저감대책에 관한 연구보고서, 수자원연구소 WRRl-WS-95-3

한국수자원공사 (2000). 용담다목적댐 건설사업 수질보전 대책수립 보고서

한국수자원공사 홈페이지 <http://www.kowaco.or.kr>

허인량, 이건호, 최지용, 정의호, 이용석 (1999). "한강상류 유역 수질보전에 관한 연구(II)", 한국물환경학회지, 제15권 제3호 pp. 305~314

Ambrose, R B., Wool, T. A. and Martin, J. L

- (1993). The water quality analysis simulation program, WASP5 Guidance Manual, USEPA
- Benaman, Jennifer and Neal E. Armstrong (1996). Modeling of dissolved oxygen in the Houston Ship Channel using WASP5 and geographic information systems, Center for Research in Water Resources, Univ. of Texas Austin
- Bowie, G. L. et al (1985). Rates, constant and kinetics formulaions in surface water quality modeling(2nd), USEPA, EPA/600/3-85/040
- Cho, Jae-Heon (2001) "The impact of hydroelectric power plant discharge on the water quality of the Namde River", Environmental Engineering Research, KSEE, Vol. 6, No. 3, pp. 123-130
- Hajda, P. and V. Novotny (1996). "Modeling impact of urban and upstream nonpoint sources on eutrophication of the Milwaukee river", *Wat. Sci. Tech.* 44, pp. 153~158.
- Lee, Youngsoo (1998). "Application of QUAL2E model for simulation of dissolved oxygen concentration in Pawtuxet river", *J. of Environmental Engineering Research*, Vol. 3, No. 3. pp. 157~165.
- Lung, W. and C. E. Larson (1995), "Water Quality Modeling of Upper Mississippi River and Lake Pepin", Vol. 121, No. 10, pp. 691-699.
- Ward, G.H and J. Benaman (1999). Models for TMDL application in Texas watercourses, Online report CRWR-99-7, Center for Research in water Resources, The Univ. of Texas at Austin
- Warwick, J. J., Cockrum, D. and Horvath, M. (1997). "Estimation non-point-Source loads and associated water quality impacts", *J. Water Res. Planning and Mgmt.*, 123(Sept./Oct.). pp. 302~310
- Wurbs, Ralph A. (1995). *Water Management Models-A Guide to Software*, Prentice Hall PTR
- (논문번호:02-35;접수:2002.5.23/심사완료:2002.08.26)