

연구논문

댐 배수조작에 따른 저수지내 탁수변화 모의

– 대청댐을 대상으로 –

이재일 · 서세덕 · 이규성 · 하성룡

충북대학교 도시공학과

(2009년 10월 08일 접수, 2009년 12월 21일 승인)

Simulation of Turbid Water in the Stratified Daecheong Reservoir during Gate Operation

Jae-Yil Lee · Se-Deok Seo · Gyu-Sung Lee · Sung-Ryong Ha

Department of Urban Engineering, Chungbuk National University

(Manuscript received 8 October 2009; accepted 21 December 2009)

Abstract

Due to severe flooding, the long-term residence of turbidity flows within the stratified Daecheong Reservoir have lengthened. A long-term residence of turbidity flows within the stratified Daecheong Reservoir after floods has been major environmental issue. The objective of this study was to assess the impact to water supply from the hydrodynamics and turbidity outflow. Two gate operation scenarios were investigated. Scenario A refers to gate operations according to rainfall events, and scenario B refers to gate operations according to inflow. From the results of scenario A, the SS concentrations decreased from 0.44mg/l to 0.54mg/l at the front of the dam, whereas SS concentrations increased from 0.24mg/l to 1.24mg/l at the intake points at Munhi and Daejeon. From the results of scenario B, the SS concentrations decreased from 0.61mg/l to 0.83mg/l at the front of Dam; however, SS concentrations also decreased from 0.16mg/l to 0.48mg/l at the intake points at Munhi and Daejeon. It seems that it may be more efficient to control turbidity by creating additional outflows of generated discharge after intensive rainfalls than not.

Keywords : reservoir, discharge, turbidity, gate operation

1. 서론

1. 연구 배경 및 목적

우리나라는 몬순기후의 영향으로 연평균 강우량의 50~60%가 하절기에 집중되고 있다(An *et al.*, 2000). 홍수기간의 집중강우는 유역의 과도한 토양 침식을 유발시키며, 이로 인해 발생된 탁수가 저수지로 유입되어 저수지내 표층수 하부에 위치하는 밀도성층의 형태로 고탁수층을 형성하여 저수지로 유입된다. 이를 적기에 배제하지 않을 경우에는 장기간 체류하는 고밀도 탁수층이 저수지내에서 수평방향의 확산현상과 연직방향의 전도현상으로 인하여 저수지 전 영역에 확산된다(이봉수, 2008). 탁수의 장기화는 수계내 빛 투과량 감소로 저수지내 용존산소 결핍, 정수처리비용 증가, 수생태계 교란, 레크레이션 활동의 저하로 인한 경제적 손실 등 다양한 문제점을 유발하고 있으나(신명자 등, 2009; 박재충 등, 2005; Akan *et al.*, 2003), 근본적으로 탁수문제를 해결하기는 어려운 실정이다. 국내 저수지에서 탁수문제를 해결방안으로 가장 많이 사용되는 방법은 선택배제시설을 이용한 탁수배제 방법이다. 하지만 이 방법은 선택배제시설이 구축되지 않은 저수지에서는 적용할 수 없는 문제를 가지고 있다.

따라서, 고정된 위치에 있는 발전방류구를 통한 방류가 저수지내 미치는 탁수의 영향을 분석하는 연구가 활발히 진행 중이다. 신재기 등(2006)은 표층수를 방류하는 용담호를 대상으로 한 연구에서 표층수 방류가 탁수의 침강성을 저하시켜 상층부의 탁도를 장기화시킬 수 있다고 지적하였으며, 정용락 등(2007)은 EL 52m에 위치한 대청댐의 발전방류구의 높이를 EL 70m로 조작한 시나리오를 설정하여 연구한 결과 탁수층이 교란을 일으켜 탁도의 개선효과는 거의 없다는 결론을 도출하였다. 박재충 등(2008)은 심층수의 고정 취수구를 통해 방류하는 안동호를 대상으로 연구한 결과, 중층에 위치한 밀도류가 방류구 방향으로 점차 유인되어 효과적인 탁수배제 효과를 가져왔다는 결론을 도출하였다.

따라서, 본 연구의 목적은 저수지 유역의 강우 유·무 및 유입량을 고려한 발전방류의 배수조작이 저수지내 탁수에 미치는 영향을 모의함에 있다.

2. 연구의 범위

연구 대상지는 1975년 착공하고 1981년에 준공되어 대전권과 청주권을 비롯한 인근 대도시와 금강 하류지역(공주, 부여 등)의 상수원수를 공급하는 대청호이다(그림 1). 대청댐은 높이 72m, 길이 495m, 체적 123만 4천m³의 중력식 콘크리트댐과 사력댐으로 구성된 복합형 댐으로 금강하구로부터 150km 상류지점인 대전시 동북방 16km, 청주시 남방 16km지점에 위치해 있다. 행정구역상으로는 전라북도 장수군, 진안군, 무주군과 충청남도 금산군, 충청북도 영동군, 보은군, 옥천군, 청원군 및 대전시의 일부지역을 점유하고 있다. 주요시설로는 저수용량 14억 9천만m³의 본댐과 조정지댐이 있으

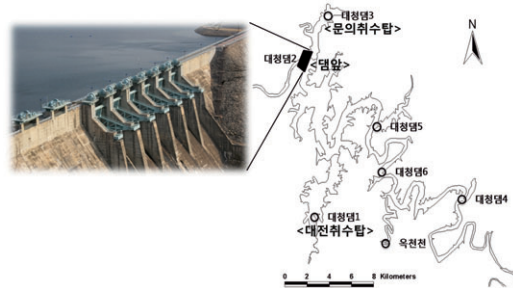


그림 1. 연구 대상지

표 1. 대청댐 제원

| 특 성 | 값 | 특 성 | 값 |
|----------------------------|----------|---------------------------|---------|
| 계획홍수(EL,m) | 80.0 | 상시만수위(EL,m) | 76.5 |
| 상시만수위용량(백만m ³) | 1,241.6 | 홍수기제한수위(EL,m) | 76.5 |
| 홍수조절용량(백만m ³) | 250.0 | 저수위(EL,m) | 60.0 |
| 저수위용량(백만m ³) | 451.7 | 용수공급가능수위(EL,m) | 47.1 |
| 총저수용량(백만m ³) | 1,490.0 | 유효저수용량(백만m ³) | 790.0 |
| 정격사용수량(cms) | 132.0 | 계획방류량(cms) | 6,000.0 |
| 최대방류량(cms) | 11,507.0 | 무피해방류량(cms) | 1,000.0 |

며, 본댐 주변에는 저수지 내의 물이 다른 지역으로 넘치지 못하도록 하는 3개의 보조댐이 있다. 추동과 문의면에 취수탑이 있으며, 본댐 발전방류구(EI. 52m), 그리고 홍수조절을 위한 여수로(Tainter gate, EI. 64.5m)가 있다(표 1). 연구대상기간은 태풍 루사와 매미가 영향을 미친 2001~2003년까지로 선정 하였다.

II. 이론적 배경

1. 탁도의 개요

탁도는 물속의 부유입자로 인한 빛의 산란으로 발생하는 물의 투명도의 감소정도를 나타내는 기준이다. 탁도가 높아지면 빛 투과율이 줄어들게 된다. 수중식물의 성장과 수중유기물의 생존을 위해서는 빛의 투과가 반드시 필요하다. 따라서 탁도의 측정은 수질의 산정에 있어 매우 중요한 요소이다. 하천 및 저수지에서의 탁도는 주로 유역내 침식의 영향으로 점토미립자나 실트 또는 유기입자가 수체로 씻겨들어 가면서 발생한다.

탁도 측정단위는 통상 NTU(Neuphelometry Turbidity Unit)를 사용하고, 먹는물 수질기준에서는 1NTU이하, 호소수질기준에서는 SS기준 1mg/L를 1급수, 5이하를 2급수, 15이하를 3급수 등으로 구분하고 하천 수질기준에는 25이하를 1급수 판정을 하고 있다.

2. 배수조작을 위한 방류역학

탁수배제를 효율적으로 수행하기 위해서는 밀도성층에 따른 접근흐름유속을 제한해야 한다. 그림 2에서 보는 바와 같이 방류유속이 증가하면 밀도성층으로 인한 영향은 줄어들게 되어 일정한 유속값보다 큰 경우에는 밀도성층이 전혀 없는 위치흐름과 동일한 형태가 된다. 취수시설에의 접근흐름이 밀도흐름에서 위치흐름으로 전이해갈수록 탁수배제 효율은 떨어진다(Fischer *et al.*, 1979).

일반적으로 여름철 국내 저수지에서의 수온은 수표면이 약 25℃ 정도이고, 심수층의 최저온도가 약

5~6℃의 값을 지닌다. 또한 수심 5~10m 사이에서 바람에 의한 혼합효과로 1차적인 수온약층을 이루고, 25~30m 범위에서 빛의 투과여부에 따른 2차적인 수온약층을 이룬다. 2차 수온약층이후에는 급격한 온도변화를 보이며, 이러한 비선형 밀도분포로 인하여 유입된 탁수층은 대개 2차 수온약층 위쪽으로 형성된다. 이와 같은 온도 및 탁도분포를 갖는 저수지에서 취수시설에서의 방류탁도는 밀도성층 구조와 방류위치, 그리고 방류량에 따라 다양하게 나타난다(한국수자원공사, 2004)

3. 모델의 선정

현재 국내에서 많이 사용되고 있는 저수지 수질 모델은 WASP모델(Ambrose *et al.*, 1993)과 CE-QUAL-W2모델이 있다(Cole *et al.*, 1999). WASP모델은 3차원 수질 해석이 가능하지만 WASP모델의 수치해석 모형인 DYNHYD는 성층 현상을 반영하지 못하고, 홍수 유입에 따른 밀도류 형성 등 복잡한 저수지 수리현상을 잘 반영하지 못한다. 반면, CE-QUAL-W2모델은 황방향 평균 2차원 수리·수질 해석수치모델로서 폭이 좁고 수심이 깊은 우리나라 저수지에 매우 적합한 모델이다. 따라서, 본 연구에서는 CE-QUAL-W2모델을 선

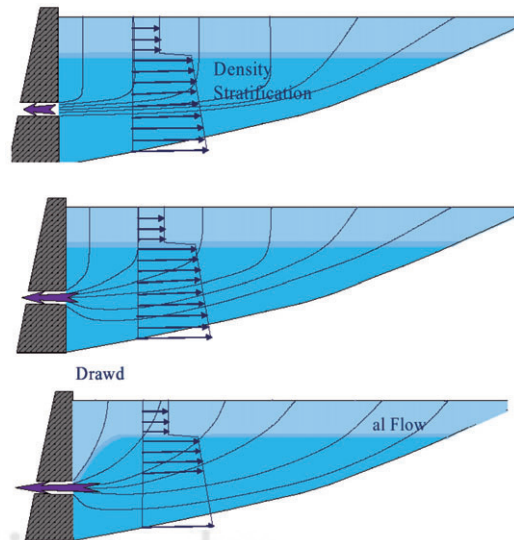


그림 2. 방류유속에 따른 밀도 접근흐름의 변화(Fischer *et al.*, 1979)

정하였다.

4. 모델의 평가

모의 결과의 적합성 평가는 절대평균오차(Mean Absolute Error, MAE), 평균제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE), 평균절대백분위오차(Mean Absolute Percent Error, MAPE)를 사용하였다.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_i - Q_i| \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Q_i - P_i|}{|P_i|} \times 100 \quad (3)$$

여기서,
 Q_i : 실측유량, P_i : 모의유량, n : 실측 및 모의유량 데이터의 개수

RMSE는 모의 결과의 평균오차를 나타내는 지표이며, 0에 가까울수록 모델의 정확도가 우수하다는 것을 뜻한다. 또, MAPE에 대한 예측의 평가는 다음과 같다.

- 0% ≤ MAPE ≤ 10% : 매우정확한 예측
- 10% ≤ MAPE ≤ 20% : 비교적 정확한 예측
- 20% ≤ MAPE ≤ 50% : 비교적 합리적 예측
- MAPE ≥ 50% : 부정확한 예측

III. 연구방법

1. CE-QUAL-W2모형 구축

1) 수질자료 및 초기 조건 구성

모델에 입력되는 수질자료는 수자원공사와 금강유역환경청에서 월1회 실측한 데이터를 활용하여 구축하였다. 측정 지점명은 본댐이 위치한 '대청댐 2', 문위취수탑이 위치한 '대청댐 3', 대전취수탑이 위치한 '대청댐 1', 옥천천의 '옥천천' 및 대청호로 유입되는 본류인 장계교 위치의 '대청댐 4'를 활용

하여 수질입력 자료를 구축하였다. CE-QUAL-W2모델에 입력되는 유량자료는 수자원관리정보 시스템에서 자료를 활용하여 구축하였다(그림 1).

2) 기상자료 구축

CE-QUAL-W2 모델에 입력되는 기상자료(기온, 이슬점, 풍향, 풍속, 운량)를 입력하였다. 대청댐의 기상자료는 대청호 인근에 위치한 기상청의 자동기상 관측소인 대청 기상관측소의 자료를 사용하였다.

2. 저수지내 탁수모의

CE-QUAL-W2모델에서는 탁도에 대한 직접적인 모의가 불가능하다. 따라서 탁도와 SS의 실측값을 활용, 상관관계를 이용하여 모의를 수행하였다. 회이천 합류점인 '대청댐 5'와 댐측인 '대청댐 2' 지점 모두 1에 가까운 R²값을 보였으며, 대청댐 2지점은 SS=0.7×Turbidity, 대청댐 5지점은 SS=0.4×Turbidity의 관계식을 적용하여 모의된 SS값을 Turbidity로 환산하여 검·보정에 활용하였다.

또한, CE-QUAL-W2를 이용한 탁수모의에서 가장 어려운 점은 물리적 인자가 아닌 탁도를 적절히 모의하는데 있다. CE-QUAL-W2 모형에서 밀도는 온도와 SS의 함수로 다음과 같은 식으로 계산된다(Cole *et al.*, 2003).

$$\rho = \rho_{T_w} + \Delta\rho_S \quad (4)$$

여기서,
 ρ : 밀도,
 ρ_{T_w} : 수온의 함수로서의 물의 밀도
 $\Delta\rho_S$: 부유물질에 의한 밀도의 증가분

이며, 다음식이 사용된다.

$$\rho_{T_w} = 999.8452594 + 6.793952 \times 10^{-2} T_w - 9.095290 \times 10^{-3} T_w^2 + 1.001685 \times 10^{-4} T_w^3 - 1.120083 \times 10^{-6} T_w^4 + 6.536332 \times 10^{-9} T_w^5 \quad (5)$$

$$\Delta\rho_S = (\Delta\rho_{sal} \text{ or } \Delta\rho_{TDS}) + \Delta\rho_{SS} \quad (6)$$

여기서,
 $\Delta\rho_{sal}$: 염분도에 의한 밀도 변화,
 $\Delta\rho_{TDS}$: 염분도에 의한 밀도 변화
 $\Delta\rho_{SS}$: 염분도에 의한 밀도 변화

로서, 강우로 인한 탁수 유입시에는 $\Delta\rho_{TDS}, \Delta\rho_{scl} \ll \Delta\rho_{SS}$ 로서 식 (7)의 ΔP_S 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta P_S = \Phi_{SS} \left(1 - \frac{1}{SG}\right) \times 10^{-3} \quad (7)$$

여기서,

Φ_{SS} : 부유물질의 농도, SG : 부유물질의 비중

3. 매개변수 선택 및 선정

CE-QUAL-W2모델에서는 저수지 바닥의 마찰 저항력을 Manning의 조도계수 또는 Chezy 계수로 입력하며 저항의 크기는 유속에 비례한다. 증발, 바람에 의한 응력, 태양복사에너지에 의한 열 교환은 저수지 수표면 경계의 열 교환에 영향을 미치는 요소이다. 바람에 의한 에너지 교환은 풍속, 풍향 그리고 수변 지형과 식생에 의한 바람차단효과에 의해 결정되며 CE-QUAL-W2에서 반영하는 매개변수는 WSC(Wind sheltering coefficient)이다.

AX(Longitudinal eddy viscosity)는 시간과 횡방향에 대한 운동량 방정식의 매개변수로서 운동량의 종방향 난류 확산비를 나타낸다. 반면 DX(Longitudinal eddy diffusivity)는 횡방향 평균 질량과 열의 종방향 난류 확산비를 나타낸다.

Chezy계수의 기본값은 $70m^{1/2}/sec$ 이며 저수지 내 유속이 작은 경우 민감도가 작은 것으로 알려져 있다. 대기와 저수지 수표면 경계에서 열교환에 고려되는 것은 증발, 바람에 의한 응력, 그리고 태양복사에너지에 의한 열교환이다. 바람에 의한 에너지 교환은 시간적으로 변하는 풍속과 풍향 그리고 저수지 수변의 지형과 식생에 의한 바람 차단효과에 의해 결정되며 WSC는 바람의 차단효과를 정량적으로 반영하는 매개변수이다. WSC는 계절별로 그리고 저수지 구간별로 달라질 수 있다. WSC는 저수지 수온 성층 예측에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며 가장 먼저 보정을 해야 하는 매개변수에 해당한다. 일반적으로 저수지 주변이 산지이거나 식생이 우거져 있는 경우 0.5~0.9 정도의 값을 적용하며, 완전 개방된 저수지의 경우 10을 적용한다.

표 2. 최종선정된 매개변수

| 매개변수 | 단위 | 기본값 | 보정후 |
|---|-----------------------|------|---------|
| Horizontal eddy viscosity (AX) | m ² /sec | 1.0 | 1.0 |
| Horizontal eddy diffusivity (DX) | m ² /sec | 1.0 | 1.0 |
| Chezy bottom friction factor (CHEZY) | m ^{1/2} /sec | 70 | 70 |
| Wind sheltering coefficient (WSC) | - | 0.85 | 0.1~0.5 |
| Fraction solar radiation absorbed at water surface (BETA) | - | 0.45 | 0.55 |
| Light extinction for pure water (EXH20) | 1/m | 0.9 | 0.3 |
| Coefficient of bottom heat exchange (CBHE) | Wm ² /sec | 0.3 | 1.2 |
| Suspended solids settling rate (SSS) | m/day | 1.0 | 0.2 |

BETA는 태양복사에너지 중 저수지 수면으로부터 0.6m 깊이에 흡수되는 비율을 나타내는 매개변수이다. 저수지 바닥과 상부 수체 경계면에서의 열교환은 저수지 바닥 퇴적층 온도(TSED)에 의해 결정된다. 모형에서 저수지 퇴적층의 온도와 열교환계수는 시간과 공간적으로 변동이 없는 것으로 가정한다. 일반적으로 저수지 바닥 퇴적층의 온도는 퇴적층 상부 수체의 연평균 수온을 사용한다(정세용 등, 2005). SSS(Suspended solids settling)는 부유물질의 침강속도에 영향을 미치는 매개변수이다.

2001년을 대상으로 모델의 보정을 실시하였으며, 시행착오법에 의하여 최종적으로 모델에 반영된 매개변수는 표 2와 같다.

4. SS 검 · 보정 결과

SS 보정결과 절대평균오차는 댐축인 '대청댐 2'에서는 평균 0.17, 회인천 합류후인 '대청댐 5'에서는 평균 1.16로 나왔으며, 평균제곱근오차는 각각 0.08, 0.29, 평균절대백분율오차는 각각 40.51, 40.41로 비교적 합리적으로 모의 되었다(표 3).

SS 검증결과 절대평균오차는 댐축인 '대청댐 2'에서는 평균 0.51, 회인천 합류후인 '대청댐 5'에서는 평균 1.75로 나왔으며, 평균제곱근오차는 각각

표 3. 대청댐 2/대청댐 5지점의 SS 보정결과

| | | MAE | RMSE | MAPE |
|-------|----|------|------|-------|
| 대청댐 2 | 평균 | 0.17 | 0.08 | 40.51 |
| | 최소 | 0.04 | 0.04 | 19.82 |
| | 최대 | 0.42 | 0.15 | 52.43 |
| 대청댐 5 | 평균 | 1.16 | 0.29 | 40.41 |
| | 최소 | 0.03 | 0.04 | 16.46 |
| | 최대 | 2.08 | 0.42 | 55.27 |

표 4. 대청댐 2/대청댐 5지점의 SS 검증결과

| | | MAE | RMSE | MAPE |
|-------|----|------|------|-------|
| 대청댐 2 | 평균 | 0.51 | 0.13 | 40.67 |
| | 최소 | 0.02 | 0.03 | 12.18 |
| | 최대 | 1.61 | 0.28 | 93.40 |
| 대청댐 5 | 평균 | 1.75 | 0.30 | 33.44 |
| | 최소 | 0.05 | 0.06 | 20.14 |
| | 최대 | 4.22 | 0.51 | 43.28 |

0.13, 0.30, 평균절대백분율오차는 각각 40.67, 33.44로 비교적 합리적으로 모의 되었다(표 4).

5. 시나리오 설정

현재 대청댐의 방류량의 조절은 일정량 계획된 하류하천의 유지유량 및 농업용수와 일기예보에 의하여 댐 운영자의 주관적인 의사결정에 의하여 결정된다. 따라서, 댐 배수조작의 시나리오 설정은 다음 사항을 유의하여야 한다.

저수지의 고유기능인 담수의 역할을 해하지 않는 범위에서 배수조작이 이루어져야 한다. 즉, 갈수기 용수공급에 필요한 용수량이 확보되지 않는 상태에서 기준치 이상의 방류량 증가는 현실적으로 불가능하다. 특히 대청댐과 같은 대형다목적 댐은 이·치수기능을 동시에 충족시켜야 하므로 이 기능들의 상호배타적 관계를 충분히 고려한 상황에서 시나리오를 설정하여야 한다.

1) 시나리오A (강우 유·무에 따른 배수조작)

2003년 댐유역 평균 강우량을 살펴보면 4월 18일부터 강우량이 증가함을 확인할 수 있다. 홍수기의 지속적인 강우는 유입수의 증가로 이어지며 댐 수위 조절을 위한 발전방류량의 변화를 가져온다. 5

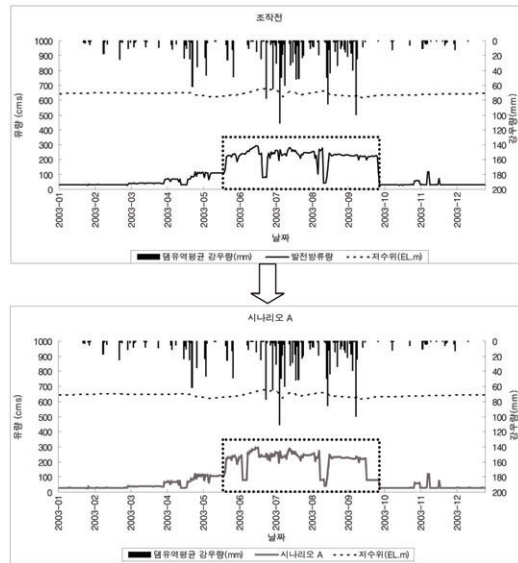


그림 3. 시나리오 A

월 24일 이전 대청댐의 평균 발전방류량은 52cms에 불과하지만, 홍수기 강우로 인한 댐 수위 조절을 위하여 대청댐은 증가방류를 실시하고, 5월 24일~10월 1일까지 총 130일간 평균 발전방류량은 225cms에 이른다.

하지만 2003년 강우예보의 불확실성으로 인하여 비강우시에도 증가방류를 시행하거나, 강우시에도 증가방류를 시행하지 않은 날이 존재한다. 따라서, 시나리오A는 대청댐 유역의 강우 유·무에 따라 발전방류량을 조작한 시나리오이다(그림 3).

2) 시나리오B (유입량 기준 배수조작)

2003년의 대청댐 유입량은 5월 24일~9월 20일까지, 장마와 태풍 '매미'로 인하여 유입량이 급격히 증가하였다. 이때의 평균 유입량은 424.3cms로 계산되었다.

평균 유입량을 산출한 120일중 424.3cms를 초과하는 일수는 단 37일에 불과하였으며, 이 기간동안 집중강우가 이루어졌다고 판단할 수 있다. 따라서, 시나리오 B는 평균 유입량을 초과하는 37일간의 발전방류량을 기존 방류량의 30%를 증가하여 방류하는 시나리오이다(그림 4).

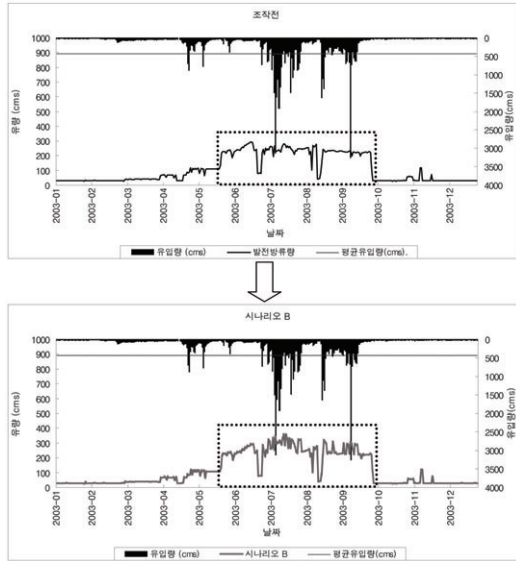


그림 4. 시나리오 B

IV. 연구결과

1. 시나리오 분석 대상지

시나리오결과 분석 대상지점은 그림 1과 같이 총 3지점이다. 본댐은 하루 하천의 유량 및 수질에 직접적인 영향을 주기 때문에 선정하였다. 또, 문의취수탑과 대전취수탑은 정수장에 원수를 공급하는 취수탑이 위치하고 있다. 원수의 수질은 정수장의 수처리 비용에 직접적인 영향을 주며, 가정에서 사용하는 상수에 영향을 줄 수 있는 중요한 지역이므로 분석 대상지에 포함하였다.

시나리오 결과 분석기간은 배수조작을 시작한 5월부터 12월까지 총 8개월이다.

2. 지점별 모의결과 분석

1) 댐축

시나리오 A와 B는 다소 상이한 결과를 보였다. 5월부터 12월까지 조작전 댐축의 SS평균농도는 3.78mg/l였으나, 시나리오 A의 댐축 SS평균농도는 3.85mg/l로 평균 0.07mg/l가 증가하였다. 반면 시나리오 B는 3.71mg/l로 0.07mg/l가 감소하였으며, 조작전 대비 -1.94%의 농도 저감효과를 보였다

표 5. 지점별 분석결과(SS)

| 지점 | 시나리오 | 평균농도 (mg/l) | 농도차 (mg/l) | 저감율 (%) |
|-------|-------|-------------|------------|---------|
| 댐축 | 조작전 | 3.78 | - | - |
| | 시나리오A | 3.85 | +0.07 | +1.80 |
| | 시나리오B | 3.71 | -0.07 | -1.94 |
| 문의취수탑 | 조작전 | 3.08 | - | - |
| | 시나리오A | 3.18 | +0.11 | +3.50 |
| | 시나리오B | 2.88 | -0.20 | -6.26 |
| 대전취수탑 | 조작전 | 2.96 | - | - |
| | 시나리오A | 3.12 | +0.16 | +5.35 |
| | 시나리오B | 2.66 | -0.30 | -9.68 |

(표 5, 그림 6).

2) 문의취수탑

문의취수탑의 결과도 댐축과 비슷한 경향을 보이거나 변화폭은 더욱 컸다. 조작전 문의취수탑의 SS평균농도는 3.08mg/l였으나, 시나리오 A의 문의취수탑 SS평균농도는 3.18mg/l로 평균 0.11mg/l가 증가하였다. 반면 시나리오 B는 2.88mg/l로 0.20mg/l가 감소하는 경향을 보였으며, 조작전 대비 -6.26%의 농도 저감효과를 보였다(표 5, 그림 6).

3) 대전취수탑

대전취수탑의 변화폭은 더욱 크게 나타났다. 조작전 대전취수탑의 SS평균농도는 2.96mg/l였으나, 시나리오 A의 대전취수탑 SS평균농도는 3.12mg/l로 평균 0.16mg/l가 증가하였다. 반면, 시나리오 B는 2.66mg/l로 0.30mg/l가 감소하는 경향을 보였으며, 조작전 대비 -9.68%의 농도 저감효과를 보였다(표 5, 그림 6).

3. 수심별 모의결과 분석

그림 5와 같이 강우시 대청호로 유입되는 탁수는 성층현상에 의하여 형성된 수온약층으로 강하게 유입되었으며, 탁수층은 El.44~64m에 형성되었다. 따라서, 탁수층과 비탁수층을 구분하여 시나리오 결과를 분석하였다.

댐축에서 탁수층과 비탁수층을 구분하여 평균농도를 산정한 결과 조작전 탁수층의 SS평균농도는

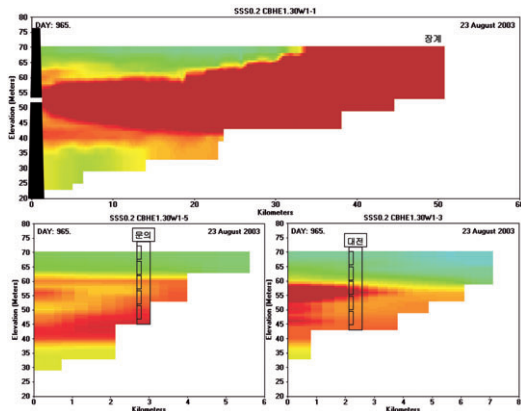


그림 5. 탁수 유입현상

3.78mg/l, 비탁수층의 SS평균농도는 3.80mg/l로 계산되었다. 조작전과 비교하여 농도가 증가한 시나리오 A는 탁수층 3.90mg/l, 비탁수층 3.82mg/l로 탁수층에서의 농도증가가 확연히 높았다. 농도저감 효과를 보인 시나리오 B에서는 탁수층의 농도가 3.58mg/l로 0.21mg/l감소한 경향을 보인 반면 비탁수층의 농도는 3.80mg/l로 변화가 없었다.

문의취수탑 지역에서 조작전 탁수층의 SS농도는 3.29mg/l, 비탁수층의 농도는 2.24mg/l로 계산되었다. 시나리오 A의 탁수층과 비탁수층의 SS평균농도는 각각 3.43mg/l, 2.43mg/l로 계산되었으며, 시나리오 B의 탁수층과 비탁수층의 SS평균농도는 각각 2.99mg/l, 1.37mg/l로 탁수층보다 비탁수층의 농도저감 효과가 두드러졌다.

대전취수탑 지역에서 조작전 탁수층의 SS농도는

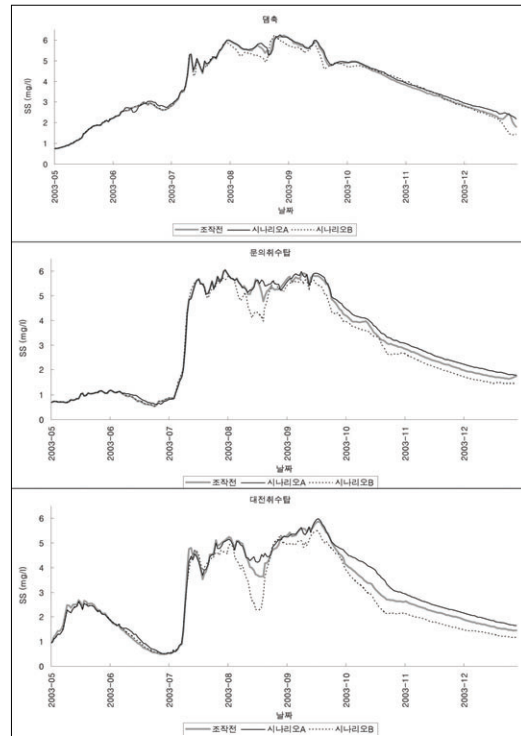


그림 6. 지점별 분석 결과

3.20mg/l, 비탁수층의 농도는 2.21mg/l로 계산되었다. 시나리오 A의 탁수층과 비탁수층의 SS평균농도는 각각 3.40mg/l, 2.50mg/l로 계산되었으며, 시나리오 B의 탁수층과 비탁수층의 SS평균농도는 각각 2.83mg/l, 1.55mg/l로 탁수층보다 비탁수층의 농도저감 효과가 두드러졌다(표 6).

V. 결론

본 연구에서는 선택배수시설이 없는 대청댐을 대상으로 고정된 위치에서 방류하는 발전방류구의 배수 조작이 저수지내 미치는 탁수의 영향을 모의하였다.

배수조작 시나리오는 땀죽의 경우 유·무를 기준으로 조작한 시나리오 A와 홍수기 평균 유입량을 산출하고 평균 유입량을 초과하는 기간은 기존 방류량의 30%를 증가방류한 시나리오 B로 구성하였다.

시나리오 A결과 땀죽에서의 SS평균농도는 조작전 3.78mg/l에서 조작후 3.85mg/l로 0.07mg/l가 증가하는 경향을 보였으며, 문의취수탑과 대전취수

표 6. 탁수/비탁수층 분석결과(SS)

| 지점 | 시나리오 | 탁수층 농도(mg/l) | 비탁수층 농도(mg/l) |
|-------|-------|--------------|---------------|
| 땀죽 | 조작전 | 3.78 | 3.80 |
| | 시나리오A | 3.90 | 3.82 |
| | 시나리오B | 3.58 | 3.80 |
| 문의취수탑 | 조작전 | 3.29 | 2.24 |
| | 시나리오A | 3.43 | 2.43 |
| | 시나리오B | 2.99 | 1.37 |
| 대전취수탑 | 조작전 | 3.20 | 2.21 |
| | 시나리오A | 3.40 | 2.50 |
| | 시나리오B | 2.83 | 1.55 |

탐에서도 각각 0.11mg/l, 0.16mg/l가 증가하는 경향을 보였다. 시간대로 살펴보면 9월 20일부터 증가폭이 두드러졌다. 기존의 댐 운영은 장마철 강우 종료인 9월 20일 이후에도 발전방류구를 통하여 지속적으로 평균 250cms를 하류하천으로 9월 29일까지 방류하였으나, 시나리오 A는 강우종료와 함께 증가방류를 중지하였다. 따라서 9월 20일 이후부터의 농도차이는 강우로 인하여 저수지로 유입된 탁수가 강우종료 후에도 저수지내에서 계속 체류하였고, 10일간의 증가방류가 체류하고 있는 탁수를 효과적으로 배제되었기 때문이다.

시나리오 B의 결과는 조작전과 비교하여 댐측, 문의취수탑, 대전취수탑 지역에서 각각 0.07mg/l, 0.20mg/l, 0.30mg/l의 농도저감 효과를 보였다. 이는 조작전의 농도대비 최대 9.68%까지 저감하는 효과를 가져왔다. 집중강우시 댐으로 도달하는 탁수를 증가방류를 통하여 보다 효과적으로 탁수배제가 이루어졌기 때문이라 판단된다.

탁수층과 비탁수층을 구분하여 지점별로 분석한 결과 댐측에서는 시나리오 A, B 모두 탁수층에서의 농도변화가 두드러졌다. 수온약층에 형성된 탁수가 E1.52m에 위치한 발전방류의 증가방류로 신속하게 배제되었기 때문이다. 반면, 문의취수탑과 대전취수탑에서의 농도변화는 비탁수층에서 더 큰 변화를 보였다. 대청댐은 저수지로 유입되는 총유입수의 90% 이상이 본류로부터 유입되는 특성을 가지고 있고, 집중강우시 본류로부터 강하게 유입되는 유입수는 지류에 직접적으로 영향을 준다. 즉, 지류로부터 유입되는 유입수가 본류와 만나 댐측으로 이동하는 것이 아니라, 댐측으로 이동하는 본류가 역으로 취수탑이 위치한 지류로 확산되는 현상을 보인다. 문의취수탑과 대전취수탑의 탁수변화 이유는 댐측처럼 직접적으로 탁수를 배제한 효과가 아닌 확산에 의한 간접적인 영향 때문이라 판단된다.

따라서, 저수지내 체류하고 있는 탁수의 효과적인 배제를 위하여 일정기간 증가방류를 시행하는 방법, 유입량을 고려한 탄력적인 방류량 조절 및 지류확산을 막기 위한 직접본류 탁수배제 방법 등이

상호 유기적으로 이루어진다면 보다 효율적으로 수자원관리를 할 수 있을 것으로 사료된다.

사 사

이 논문은 2008년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- 박재충, 정석원, 박정원, 김호준, 2008, 심층 방류하는 안동호 내 탁수의 거동, 한국하천호수학회, 42(3), 360-366.
- 박재충, 박정원, 신재기, 이희무, 2005, 인공호에서 문순과 태풍 강우에 의한 고탁수층의 이동과 소멸특성, 한국육수학회, 38(1), 105-117.
- 신명자, 이종은, 서울원, 2009, 탁수가 임하호에 식하는 수중 어류에 미치는 영향, 생명과학회지, 19(8), 1112-1118
- 신재기, 허진, 이홍수, 박재충, 황순진, 2006, 표층수를 방류하는 저수지(용담호)에서 문순 탁수환경의 공간적 해석, 한국물환경학회지, 22(5), 933-942.
- 이봉수, 2008, 임하댐 방류량-탁수배제량 상관관계 분석, 충남대학교대학원 석사학위논문.
- 정용락, 김유경, 이홍수, 류환, 신상일, 정세웅, 2007, 선택취수에 따른 대청호 탁수 조절효과 및 수질영향 분석, 한국물환경학회·대한상하수도학회, 2007공동 춘계학술발표회 논문집, 22-31.
- 정세웅, 오정국, 박재호, 윤성완, 2005, CE-QUAL-W2 모형의 수온 민감도분석 및 보정, 대한상하수도학회·한국물환경학회, 2005공동 추계학술발표회 논문집, 50-60.
- 한국수자원공사, 2004, 밀도성층화된 저수지내 탁수배제시설 접근흐름에 관한 수치해석연구 (1차년도).

- Akan, A. O. and R. J. Houghtalen. 2003, Urban Hydrology, Hydraulics and Stormwater Quality : Engineering Applications and Computer Modeling, John Wiley & Sons.
- Ambrose, R. b. Jr., Woo., T. A., and Martin, J. L., 1993, WASP5 A Hydrodynamic and Water Quality Model Theory, User's Manual and Programmer's Guide, U.S. Environment Protection Agency, Athens, GA
- An, K. G. and Jones, J. R., 2000, Factor Regulating Bluegreen Dominance in a reservoir Directly Influenced by the Asian Monsoon, *Hydrobiologia*, 432(1-3), 37-48.
- Cole, T. M. and Wells, S. A., 2005, CE-QUAL-W2: A two dimensional, Laterally averaged, Hydridynamic and Water quality Model, Version 3.2 user's manual. Instructional report EL-95-1, U.S Army Corps of Engineer, Vicksburg, MS.
- Hugo B. Fischer, E. John List, Robert C. Y. Koh, Jorg Imberger, and Norman H. Brooks, 1979, *Mixing in Inland and Coastal Water*, ACADEMIC PRESS, Inc.

최종원고채택 09. 12. 26