



김영도 | 인제대학교
환경공학부 조교수
(ydkim@inje.ac.kr)

도암댐 수질관리를 위한 통합탁수관리시스템 구축

김영도 강부식¹⁾ 홍일표²⁾ 노희진³⁾

1. 서론

국내 기후 특성상 하절기에 집중되는 강우로 인해 댐의 건설은 홍수조절, 용수확보 및 전력생산 등의 목적에 있어서 불가피하다. 이와 같은 저수지와 하류하천은 댐 수문 개폐에 따른 흐름변화로 인하여 수체의 거동 및 수질 변화가 발생하며, 일반적인 하천과는 다른 특성을 지니게 된다. 또한 수심이 깊은 저수지의 경우에는 흐름 방향과 더불어 수심 방향의 특성도 중요하며, 수리 및 수질 모형의 연계를 통한 3차원적인 해석을 필요로 한다(정영원, 2009). 본고에서의 연구 대상인 도암댐은 송천유역에 위치하며, 1989년에 유역변경을 통한 발

전용 댐으로 건설되었으나 방류수에 영향을 받는 남대천의 수질이 악화되면서 운영이 중단되었고, 이후 댐 방류수는 그대로 송천으로 흘러보냄으로써 송천 하류부의 수질에 악영향을 미치고 있는 실정이다.

본 연구에서는 도암댐 유역의 통합탁수관리시스템을 구축하기 위하여 유역모형과 호소모형을 연계하였으며, 호소에 적합한 모형을 선정하고, 호소를 포함한 유역의 영향을 파악해보기 위해 소유역 단위로 모의를 해보았다. 크게

1) 단국대학교 토목환경공학과 부교수 (bskang123@naver.com)
2) 한국건설기술연구원 연구위원/ 한국물포럼 사무국장 (iphong@kict.re.kr)
3) 인제대학교 환경공학부 박사과정 (0185114479@nate.com)

상류유역과 호소 구간으로 나누어 상류유역은 유역모형인 SWAT을 이용하고, 이 결과를 호소 부분의 유입 경계조건으로 적용하여 호소의 수리 및 수질모형인 EFDC-WASP의 연계를 통해 통합수질관리시스템을 구축하였다.

보고를 통해 저수지의 수질관리를 위하여 호소 단독이 아닌 저수지와 연결되어 있는 상류 유역과 하류하천까지 포함한 유역 단위의 관리가 향후 탁수관리뿐만 아니라 통합수질관리까지 아우를 수 있는 새로운 시각을 형성하는 계기가 되었으면 한다.

2. 대상유역 현황

도암호 유역은 행정구역상 강원도 평창군 대관령면에 속하며 남한강 상류 중권역에 해당하면서 도암댐 표준유역으로 그 면적은 149.42km²이고 유로연장은 22.72km이다. 본류는 송천이며, 지류인 차항천, 대관령천, 그리고 용평천을 포함하고 있다. 도암호 유역의 토지이용 현황분석 결과 산림지역은 62.0%, 농업지역은 31.7%로 대부분 산림과 농업지역으로 이루어져 있다. 한편 토사 유출이 우려되는 고랭지 농업 활동 중인 밭농사 지역은 16.5%로 비교적 높은 비율을 차지하고 있기 때문에 관리가 필요할 것으로 보인다. 또한 도암호 유역의 밭 면적은 2,470ha로 아래 표에서 제시한 바와 같이 경사도가 15% 이상인 밭이 전체의 22.8%에 해당하여 토사유출

이 심한 지리적 특성을 갖고 있음을 알 수 있다.

도암댐은 강원도 평창군 대관령면 수하리에 위치해 있는 댐으로 1989년 8월 유역변경을 위해 경사 코아형 석괴댐으로 건설되었다. 남한강 최상류인 송천에 댐을 막아 이루어진 도암호의 물을 지하도수로를 이용하여 동해안에 떨어지게 하여 강릉수력발전소에서 발전하는 형태이며 수로 터널의 길이는 15.6km, 낙차는 640m로서 국내 최대이다. 그러나 도암댐과 함께 건설된 강릉수력발전소로 인해 강릉시 남대천의 수질 오염 문제가 야기되어 2001년부터 현재까지 발전방류가 중단된 상태이다.

〈표 3〉 도암호 및 도암댐의 일반 제원

댐의 높이 (m)	72
댐의 길이 (m)	300
유역면적 (km ²)	149.42
만수면적 (km ²)	2.2
총저수용량(유효저수용량)(10 ⁶ m ³)	51.4(39.7)
상시만수위(저수위)(EL, m)	707(680)
평균수심 (m)	26
수리학적 체류시간 (일)	142.35
연평균 강수량 (mm)	1,115
연평균 강수량 (m ³ /s)	4.79
정격 사용수량 (m ³ /s)	16.8

출처 : 수계별 호소환경 및 생태조사(한강수계관리위원회, 2009)

〈표 1〉 도암댐 유역 토지이용 현황

지목	시가화지역	농업지역			산림지역	초지	수역	기타	합계
		논	밭	기타					
면적(ha)	277.0	175.7	2,470.0	2,092.5	9,258.1	329.6	164.7	174.4	14,942
비율(%)	1.85	1.18	16.53	14.00	61.96	2.21	1.10	1.17	100

출처 : 도암호유역 비점오염관리대책(환경부, 2007)

〈표 2〉 도암댐 유역 고도별 고랭지 밭 비율

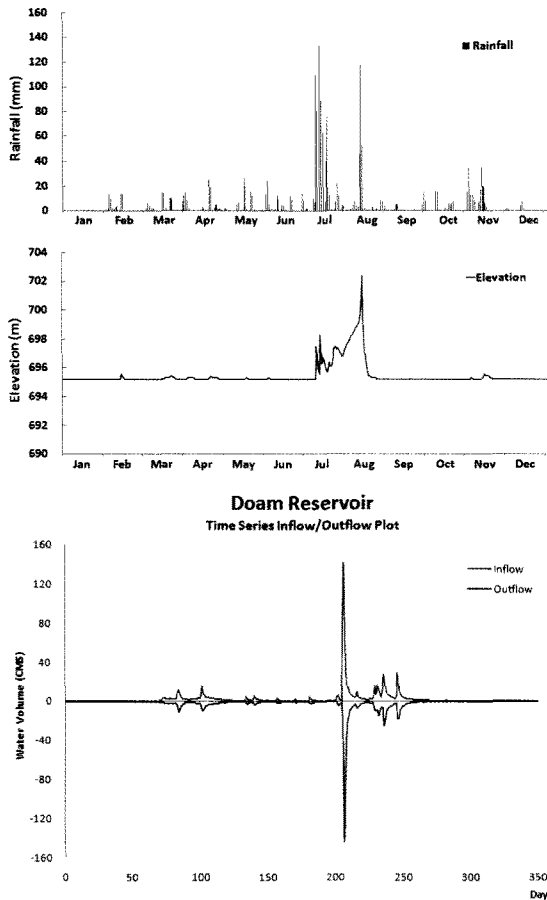
합계	< 7%	7-15%	15-30%	>30%
2,470.1ha(100.0%)	837.4ha(33.9%)	1,069.3ha(43.3%)	548.2ha(22.2%)	15.2ha(0.6%)

출처 : 도암호유역 비점오염관리대책(환경부, 2007)

3. 대상유역 현황 조사 및 분석

3.1 댐 수문자료 분석

〈그림 1〉은 2009년 도암댐 수문자료를 분석한 것이다. 도암댐의 경우 홍수조절 효과가 미미하여 강우가 집중되는 하절기에 유입량과 방류량이 유사한 형태로 증가하는 것을 확인할 수 있으며, 특정 기간을 제외하고는 EL. 695m의 수위를 유지하는 것으로 나타났다.

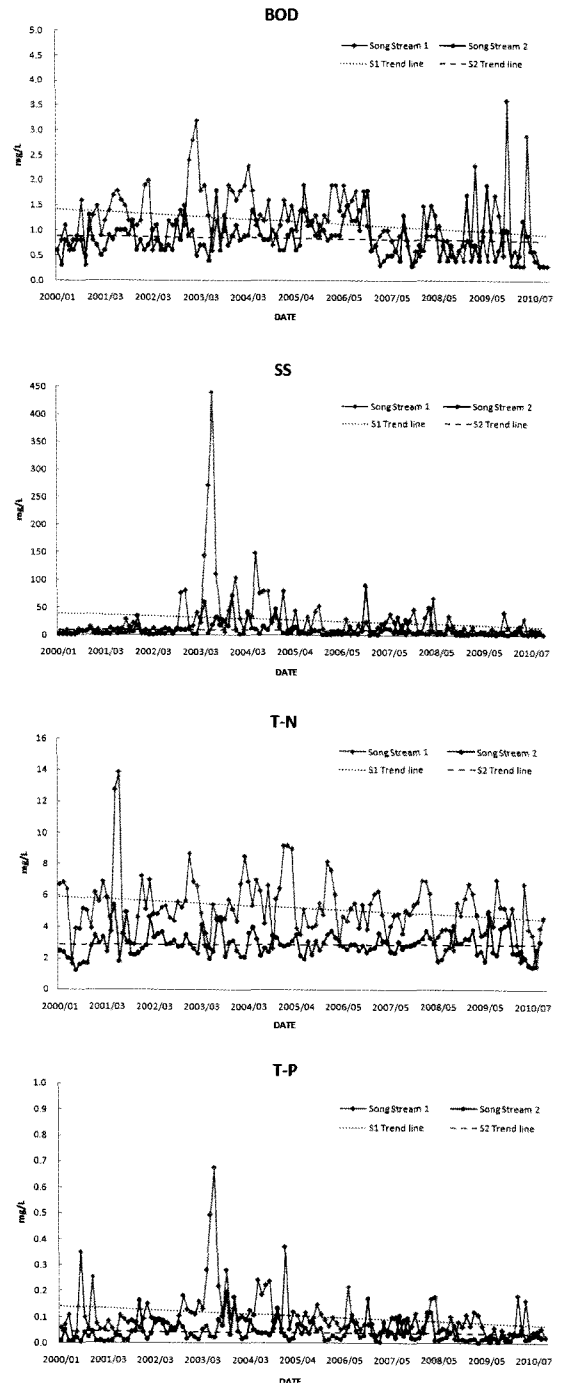


〈그림 1〉 도암댐 유역 강수량과 도암댐 수위 변화 및 유입·방류 현황

3.2 수질분석

최근 10년간의 환경부 수질측정망 자료를 분석한 결과, 최근 들어 전반적으로 수질이 좋아지는 추세를 보이나 SS의 경우 탁수발생이 심했던 시기의 하절기를 기준으로 그 피해가 장기화 되는 것을 확인할 수 있다. 이는 대상 지역의 고령

지 발뿐만 아니라 약 70여개의 소규모 목장, 스키장, 골프장 및 콘도의 건설 등에 따른 토사유출이 탁수 발생의 원인으로 판단된다.

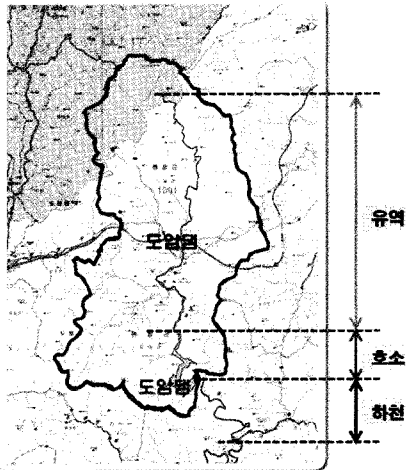


〈그림 2〉 도암댐 유역 수질변화(2000~2010)

4. 통합탁수관리시스템 구축 현황

4.1 통합탁수관리시스템의 개요

최근 강원도 내 여러 지역에서 폭우 시 토양침식이 증가하여 탁수가 발생하고 저수지에 저류되어 하류하천으로의 고탁수 방류가 장기화됨으로써 하류 하천유역에 악영향을 미치는 사례가 증가하였다. 이로 인한 고탁수 현상의 장기화는 하류에서 정수장애헌을 유발하고, 관광자원의 감소, 생태계의 변화 등 다양한 피해를 유발한다(한강수계관리위원회, 2008). 따라서 본고에서는 유역, 저수지, 하천에 이르는 통합적인 모델링을 이용하여 탁수관리방안을 모색하고자 하였다.



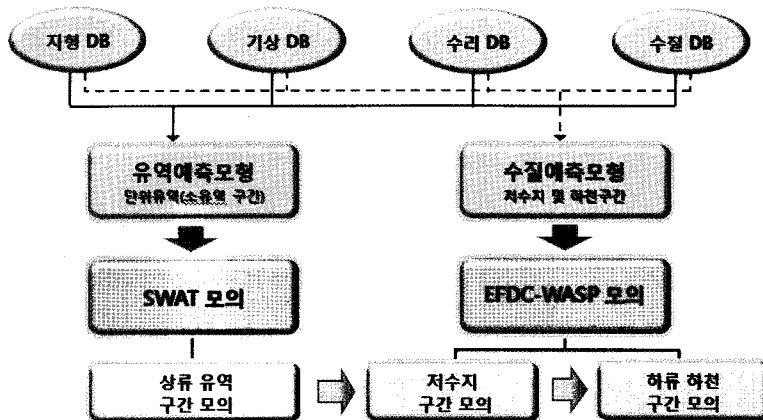
(그림 3) 도암댐 유역 통합탁수관리시스템 구간

탁수종합대책보고서(국토해양부, 2010)를 바탕으로 도암댐 통합탁수관리시스템을 구축하기 위하여 기상 및 토양 등의 자료를 이용한 유역모형(SWAT) 모의를 통하여 상류 부분인 도암호 유역의 수질을 선행 모의하고 그 결과를 호소 및 하천의 수리-수질(EFDC-WASP) 모델링에 연계하여 유역전체의 영향을 분석·예측함으로써 “하천-호소-하천”이 하나의 시스템화 된 통합관리시스템을 구축하였다.

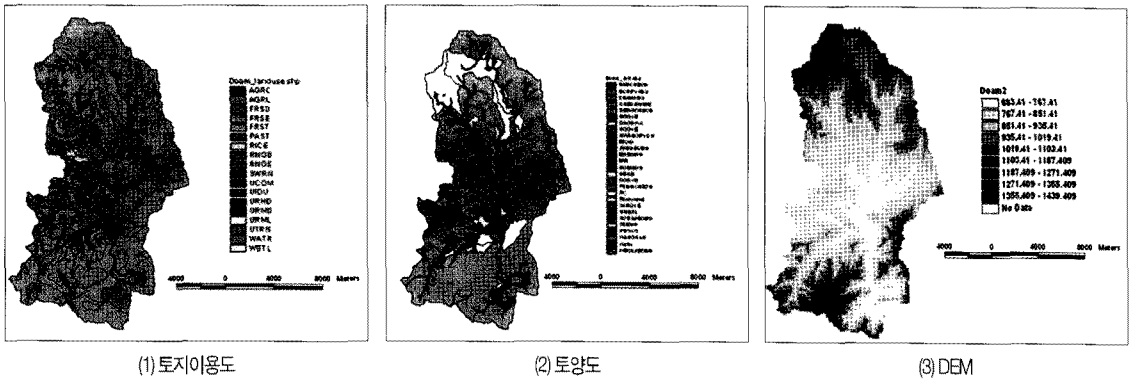
4.2 도암댐 유역 통합탁수관리시스템의 구축

4.2.1 유역모형(SWAT)

SWAT(Soil and Water Assessment Tool) 모형은 장기 강우-유출모형 (Continuous Rainfall-Runoff Model)으로 장기간에 걸친 다양한 토양속성과 토지이용 그리고 관리상태의 변화에 따른 크고 복잡한 유역의 유출량 및 미계측유역의 비점오염원을 추정하기 위해 미국 농무성 농업연구소 (USDA, ARS)에 의해 개발된 유역모델이다. SWAT 모형은 일단위 모의가 가능한 유역단위의 준분포형 장기강우유출 모형으로서 4가지 부모형(수문 부모형, 토양유실 부모형, 영양물질 부모형, 하도주적 부모형)으로 구성되어있다. 이 중에서 수문 부모형은 저류 방정식에 의해 일단위로 물수지를 산정하며, 침식과 유사량은 수정된 범용토양유실공식(MUSLE)에 의해 각 수문반응단위(HRU)에 따라 추정된다. 또한



(그림 4) 도암댐 유역 통합탁수관리시스템 모식도



(그림 5) 도암댐 유역 유역모델 입력자료

SWAT 모형에서의 영양물질인 질소와 인의 기작은 작물잔류물과 시비량에 의한 순환으로 이루어진다(김정민, 2009).

4.2.2 수리모형(EFDC)

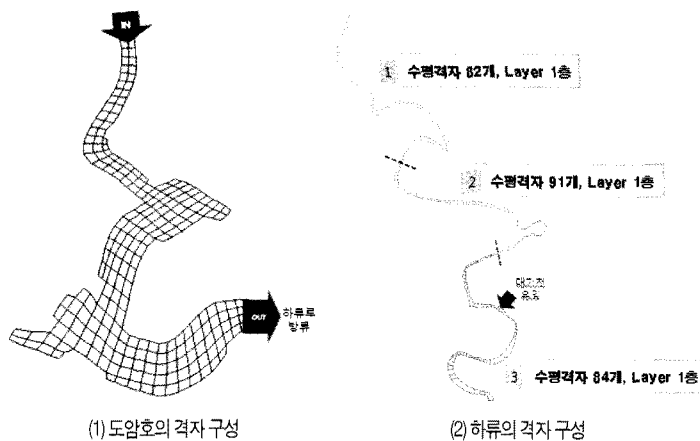
EFDC(Environmental Fluid Dynamics Code) 모형은 초기에 하구 및 해양에서의 적용을 위해 개발되었으며 현재는 저수지, 호소 등에서도 활발히 연구 및 적용되고 있다. 유체의 이동, 염분 및 온도 모의 등 3차원적 모의가 가능하다. 또한 댐 또는 암거 등의 치수 구조물을 해석하고 얇은 수체에 대한 wet/dry 현상이 모의 가능하다. 특히 본 연구에서는 수질모형인 WASP(Water quality Analysis Simulation Program)와 연계를 위하여 EFDC-Hydro를 사용하였다. 수리모형에 반영할 격자는 SMS를 이용하여 가변격자를 생성하였으며 유역모형을 기반으로 한 모의를 위해 댐 부분과 하류 부분으로 나누어 격자를 구성하였다.

4.2.3 수질모형(WASP)

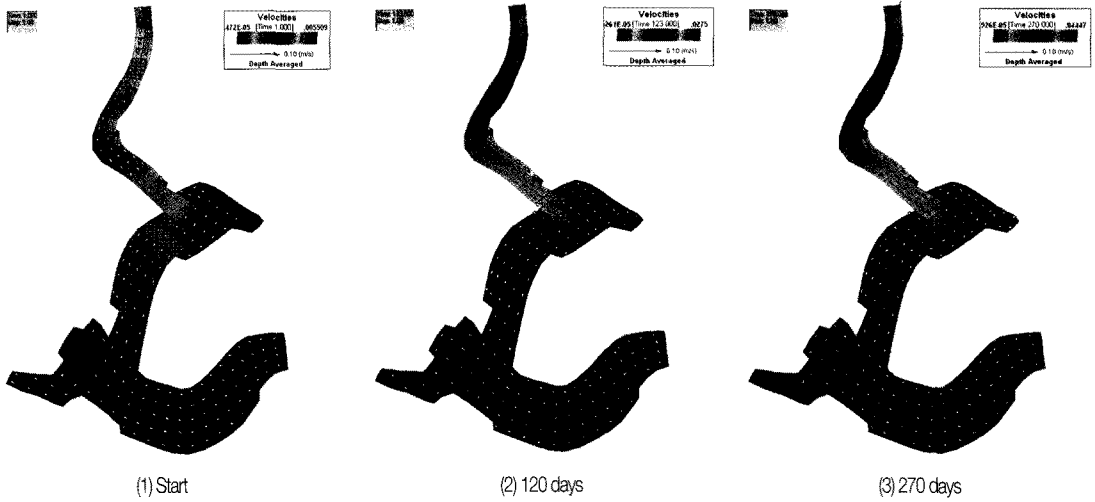
WASP는 1981년 미국 환경청에서 개발한 수질모형으로 하천, 저수지, 하구, 해안 등 광범위한 수계에 적용 가능한 프로그램이다. 특히 각 입력조건을 원하는 시간간격에 따라 입력 가능한 동적 모델로 대상 수체를 3차원으로 구획하여 사용할 수 있는 장점을 지니고 있다. 본 연구에서는 EFDC와의 연계를 위해 WASP 7을 이용하였다.

4.3 통합탁수관리시스템을 통한 수질 예측 예시

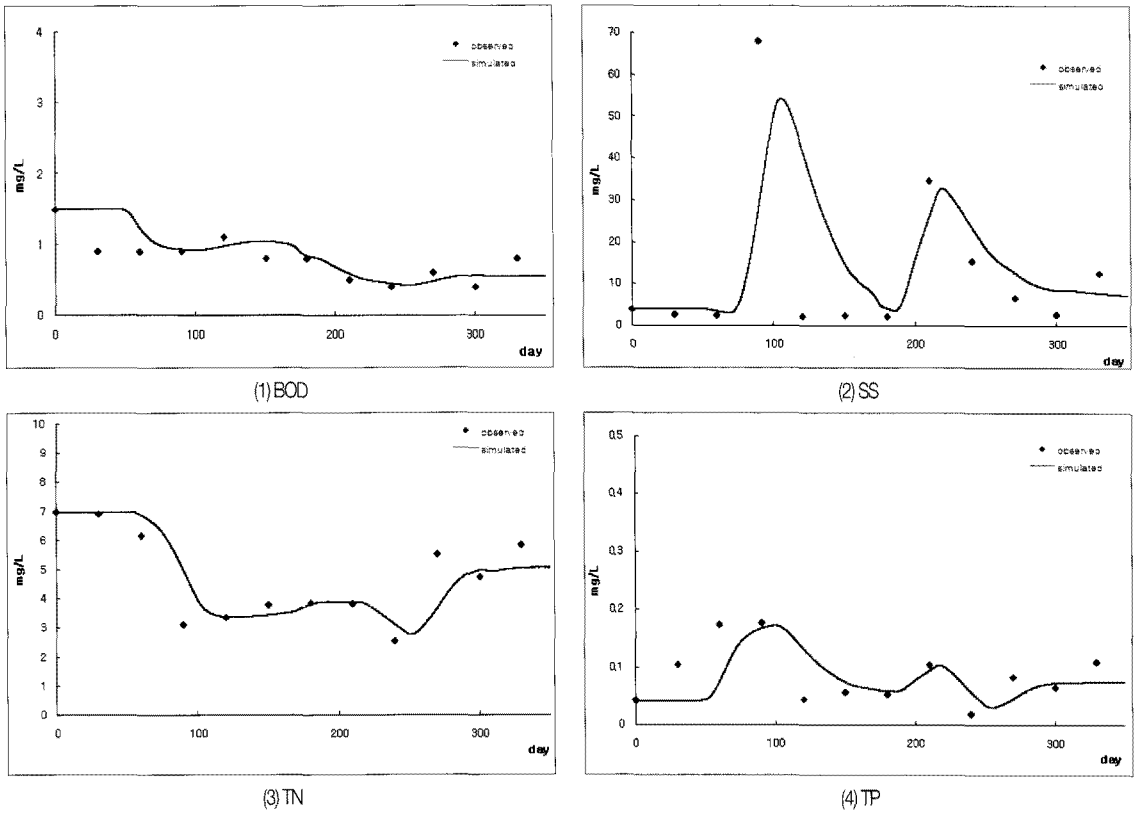
(그림 7)은 도암호 내 유량 경계 조건에 따른 유속장 모의를 나타낸 것이며, 수리모형의 검·보정은 저수지 수위 변화 자료와의 비교를 통하여 수행하였다. (그림 8)은 이와 같은 수리계산 결과를 이용하여 수질모형의 검·보정을 수행한 결과를 나타낸 것이다. 실측치와 모의치의 경향이 비슷한 것으로 비추어 온도 및 바람 등 매개변수뿐만 아니라 유량 및 유



(그림 6) 도암댐 유역 구간별 격자구성



〈그림 7〉 도암호 유속장 모의 결과

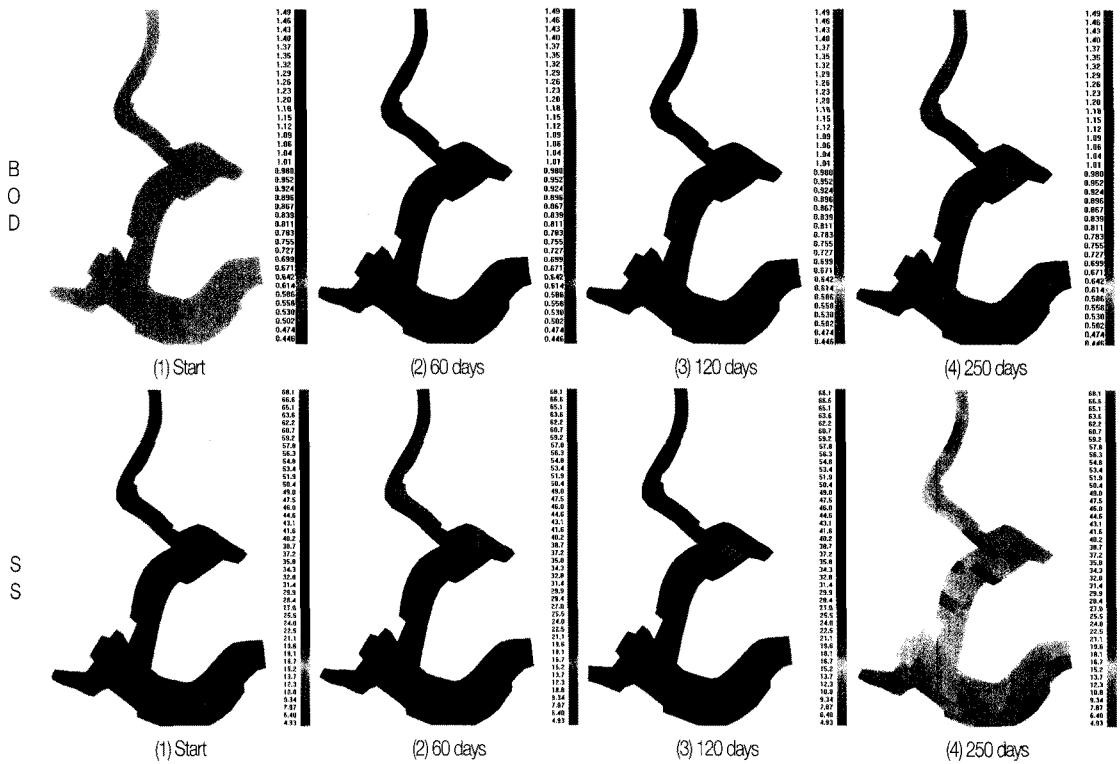


〈그림 8〉 도암호 수질모형검·보정 결과

속 등의 수문조건이 저수지의 특성으로 잘 구현되었음을 확인할 수 있다. 〈그림 9〉는 시간대별 도암호의 농도장의 수평적 분포를 나타낸 것이다.

5. 결론

댐 건설은 홍수조절 및 전력생산 등의 목적에 있어서 수자원의 가치를 높이는 중요한 역할을 하고 있다. 하지만 댐 운



(그림 9) 도암호 농도장 모의결과

영으로 인해 하류하천에 수질을 악화시키는 영향을 끼침으로써 저수지 단독 해석만이 아닌 하천과 저수지가 연계된 형태를 포함하고 있는 유역의 통합적 영향을 분석해 보는 데에 초점을 맞추었다. 이에 본고에서는 상류와 저수지 간에 미치는 영향을 파악하고 연구 대상유역에 대한 통합탁수관리시스템을 구축해 보았다. 통합적 유역관리를 위하여 하천과 저수지 부분을 상류와 본류로 나누어 상류 부분은 저수지 유입 이전까지의 하천이 포함된 유역을 유역모형인 SWAT모형으로 선행하고 이 결과를 호소에 적합한 모형인 EFDC-WASP 모형 조건에 반영하여 저수지의 수질을 모의하고자 하였으며 현재 본 시스템의 적용성을 검토하고 있는 단계이다.

유역모형으로 사용된 SWAT 모형과 호소모형인 EFDC-WASP의 연계는 매개변수의 특성 파악이 가능하다면 앞으로 도암댐뿐만 아니라 다른 하천-저수지를 포함한 유역관리에 적절히 이용될 수 있는 시스템이라 사료된다. 또한 앞으로 연구 대상지역과 같은 유역관리에 실제 적용되기 위한 보완단계를 거친다면 탁수 및 수질을 고려한 저수지운영 의사

결정지원을 위한 도구로서 매우 유용하게 활용될 것으로 기대된다. 🐼

감사의 글

본 연구는 (사)한국물포럼 주관으로 정인옥학술장학재단의 지원에 의해 수행되었으며, 이와 같은 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 국토해양부(2010), 탁수종합대책보고서.
- 김정민(2009), SWAT-SWMM 연계모의를 이용한 서낙동강 유량 및 수질 관리방안 연구, 인제대학교 석사학위논문.
- 정영원(2009), EFDC-WASP을 이용한 저수지의 3차원 수리·수질 변화 모의, 인제대학교 석사학위논문.
- 한강수계관리위원회(2008), 한강수계 탁수저감대책 마련을 위한 연구.
- 한강수계관리위원회(2009), 수계별 호소환경 및 생태조사 : 2008년(1년차) 보고서.
- 환경부(2007), 도암호유역 비점오염관리대책.