

3차원 수질모델을 이용한 토지변화에 따른 호소 내 수질 변화 모의

Simulation of Lake Water Quality Changes following the Land Change by Three Dimensional Model

김연수*·김수준**·곽재원***·김덕길****·김형수*****

Yon Soo Kim, Soo Jun Kim, Jae Won Kwak, Duck Gil Kim, Hung Soo Kim

요 지

우리나라의 강우특성은 여름철인 6월~9월에 집중되며 대부분이 일시에 집중적으로 발생하여 하천을 통하여 호소 및 바다로 유입된다. 이러한 강우특성으로 여름철에 집중되는 강우로 인한 하천의 유량을 댐과 같은 수공시설물을 통해 저류시킴으로써 하류지역의 홍수피해를 예방하고 이용할 수 있는 물을 안정적으로 확보할 수 있도록 하고 있으나 대형 인공호의 유역에서는 인구 증가와 상업 및 공업화에 따른 토지이용이 변화함에 따라 오염물질의 유입이 증가하고 있는 추세이다. 댐이나 호소는 지표면에 고여 있는 수체를 말하며 물이 천천히 흐르거나 흐름이 전혀 없는 경우도 있다. 댐이나 호소에서는 장기간 수류의 지체현상이 발생하므로 발생하는 수체 및 수질의 문제가 하천과는 다르다고 할 수 있다(서동일 등, 2009). 호소의 물은 정체되어 있기 때문에 흐르는 물에 비해 자정능력이 부족하고 바닥에 퇴적된 유기물이 분해되어 수질에 나쁜 영향을 미치기 때문에 수질관리에 여러 가지 어려움이 따른다(박석순, 2009). 따라서 흐름방향 보다 수심방향으로의 특성이 강하게 작용하는 댐이나 호소에서는 3차원 수리·수질 모형의 적용이 타당하며 본 연구에서는 이를 위하여 EFDC를 적용하였다. 섬진강 유역의 경우 전체유역의 65.8%가 임야로 이루어진 산림유역으로 비교적 적은 양의 유역오염물질이 발생하지만 산불이나 벌채와 같은 산림의 손실은 홍수기 때 유역오염물질의 발생 및 유출을 증가시켜 주변수체의 수질을 악화시킬 우려가 있다. 이에 본 연구에서는 운암호 수질측정망 상류 유역면적인 526.23km²에 대하여 토지변화 시나리오를 임야의 25%, 50%, 75%가 손실되어 나대지화 되었다고 가정하고, EFDC 모형을 이용하여 산림지역의 소실에 따른 토지피복 변화가 섬진강 댐 운암호의 수질에 미치는 영향 정도를 파악하였다.

핵심용어 : EFDC, 운암호, 토지변화, 수질모의

* 정회원·노아솔루션(주) 기술연구소 연구원 공학석사(E-mail : civil.engineer@hanmail.net)
** 정회원·인하대학교 토목공학과 공학박사 (E-mail : soojuny@empal.com)
*** 정회원·인하대학교 토목공학과 박사과정 (E-mail : firstsword@naver.com)
**** 정회원·인하대학교 토목공학과 박사과정 (E-mail : k1004dk@hanmail.net)
***** 정회원·인하대학교 토목공학과 교수 공학박사 (E-mail : sookim@inha.ac.kr)

1. 서론

한반도의 강우특성은 연간 일정하게 발생하는 유럽과 달리 여름철인 6월~9월에 집중되며 대부분이 일시에 집중적으로 발생하여 하천을 통하여 호소 및 바다로 유입된다. 이러한 강우특성으로 여름철에 집중되는 강우로 인한 하천의 유량을 댐과 같은 수공시설물을 통해 저류시킴으로서 하류지역의 홍수피해를 예방하고 이용할 수 있는 물을 안정적으로 확보할 수 있도록 하고 있다.

우리나라는 대형 자연호가 전무하며 대부분의 호소가 댐 건설로 만들어진 인공호로 호소의 물은 정체되어 있기 때문에 흐르는 물에 비해 자정능력이 부족하고 바다에 퇴적된 유기물이 분해되어 수질에 나쁜 영향을 미치기 때문에 수질관리에 여러 가지 어려움이 따른다(박석순, 2009). 따라서 우리나라 대부분의 수체에서는 시간에 따라 모의할 수 있는 비정상 상태의 수질모델이 적용되어야 한다.

본 연구에서는 실제 유역 형상 및 매개변수를 고려할 수 있는 HEC-HMS를 이용하여 장기유출량을 산정하고, 흐름방향 보다 수심방향으로의 특성이 강하게 작용하는 댐이나 호소에서는 3차원 수리·수질 모형인 EFDC를 적용하여 섬진강 댐 내의 오염원 거동특성을 분석하였으며, 이를 통해 유출이 환경에 미치는 영향의 예측이나 수질관리의 중요한 현상에 대해 이해를 높이고자 하였다.

2. 장기유출 및 수질변화 모의를 위한 모형

2.1 HEC-HMS를 이용한 장기유출 모의

섬진강 댐 운암호를 대상으로 HEC-GeoHMS모형을 이용하여 대상 유역의 유역 특성 및 매개변수를 산정하고 HEC-HMS에 입력하였다. 임실, 장수, 전주, 정읍 기상관측소의 시간강우량을 Thiessen 가중법을 이용하여 가중치를 산정한 후 직접유출량 및 월 일정량 방법을 이용하여 기저유출량을 모의하여 장기유출량을 산정하였다. 산정된 유출량을 관측 수위유량 관측소의 실측자료와 Pearson 상관관계분석을 통하여 비교 검토하였다. 검토결과 그림 1과 같이 상관계수는 0.758~0.789로 전체적으로 실제 유출량을 잘 반영한 것으로 나타났다.

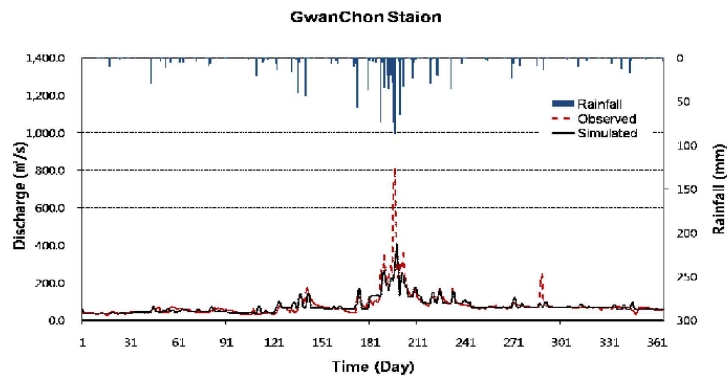


그림 1. 관측 수위유량관측지점의 장기유출량 산정 결과

2.2 EFDC 모형

EFDC 모형을 이용한 3차원 수리·수질 모의를 수행하기 위하여 대상구간에 대한 각종 입력조건과 지형자료가 요구된다. EFDC 모형을 이용한 수치모의에 사용되는 지형자료는 실제의 지형을 격자망으로 구성하여 표현하게 된다. 본 연구 대상유역의 수리 데이터를 생성하기 위하여 그림 2 ~ 그림 3과 같이 EFDC 모형을 구성하였으며 격자구성을 위해 필요한 지형 파일은 섬진강 하천정비기본계획(2006)의 실측 횡단면과 1:25,000 수치지형도를 참고하여 구성된 격자망에 AutoCAD와 ArcGIS의 Extension 중 Kriging 방법을 이용하여 지형자료를 보간 및 입력하였고 운암호의 수심을 고려하여 3개 층으로 이루어진 3차원 지형을 생성하였다. 섬진강 댐 운암호 외 지류에 대해서는 등수심도 자료가 필요하지 않

기 때문에 운암호로 유입되는 본류에 대한 자료만을 나타내었다. 모의를 위한 횡단방향으로 104개와 종단방향으로 91개로 한 수평방향으로 1,878개의 Segment와 수심방향을 3개 층으로 구분하여 총 5,634개의 단위격자로 수체를 구분하여 모의하였다.

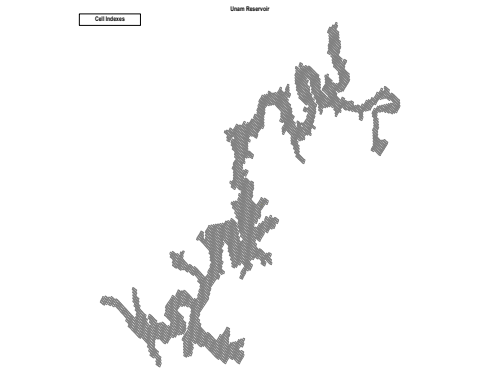


그림 2. EFDC 격자 구성

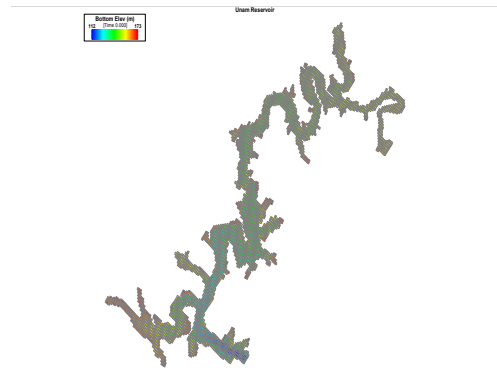


그림 3. 격자별 하상고 입력

3. 입력자료 구성 및 모의 결과

3.1 입력자료 구성

섬진강 유역의 경우 전체유역의 65.8%가 임야로 이루어진 산림유역이다. 산림유역에서는 다른 토지 이용 형태에 비하여 비교적 적은 양의 유역오염물질이 발생한다. 그러나 산불이나 벌채와 같은 산림의 손실은 임야지역을 나대지화 시키고 홍수기 때 유역오염물질의 발생 및 유출을 증가시켜 주변수체의 수질을 악화시킨다.

본 연구에서는 운암호3 수질측정망 상류의 유역면적인 526.23km²에 대하여 토지변화 시나리오를 구성하였다. EFDC의 시나리오 구성은 섬진강 댐 운암호의 우측 운암호3 수질관측망 상류에서 산불이나 벌채 등으로 인한 산림유역 소실에 따른 토지피복변화로 인한 홍수기 때 운암호1 지점에서의 오염원 거동형태를 파악하고자 한다. 다음의 표 1은 운암호3 수질측정망 상류 지점의 토지이용현황으로 지목별 원단위를 적용하여 평상시 및 시나리오에 따른 T-N과 T-P의 발생부하량을 산정하였다.

표 1. 시나리오에 따른 토지이용변화 (T-N, T-P)

지목별	면적 (㎡)	구분	발생부하량 (kg/day)	시나리오 1 (kg/day)	시나리오 2 (kg/day)	시나리오 3 (kg/day)
합계	526,225,477	T-N	1,684.503	2,765.541	3,846.579	4,927.617
		T-P	113.333	297.739	482.146	666.553
전	40,786,314	T-N	385.023	385.023	385.023	385.023
		T-P	9.789	9.789	9.789	9.789
답	56,573,622	T-N	371.123	371.123	371.123	371.123
		T-P	34.510	34.510	34.510	34.510
임야	376,340,471	T-N	827.949	620.962	413.975	206.987
		T-P	52.688	39.516	26.344	13.172
대지	7,135,495	T-N	97.685	1,385.710	2,673.735	3,961.761
		T-P	14.985	212.563	410.142	607.721
기타	45,389,575	T-N	2.723	2.723	2.723	2.723
		T-P	1.362	1.362	1.362	1.362

3.2 모의 결과

시나리오에서는 임야지역 중 각각 25%, 50%, 75%의 산림지역이 나대지로의 토지피복 변화가 발생함에 따라 비점오염원의 유입이 섬진강댐 운암호에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

임야지역의 25%가 나대지로 토지이용의 변화가 발생하는 시나리오1에서는 실측 보정 수질 대비 수질 대비 T-N은 0.02~0.21배 증가하였고, T-P는 0.26~2.17배 증가하였으며, 임야지역의 50%가 나대지로 토지이용의 변화가 발생하는 시나리오2에서는 보정 수질 대비 T-N은 0.03~0.29배 증가하였고, T-P는 0.40~3.50배 증가하였으며, 임야지역의 75%가 나대지로 토지이용의 변화가 발생하는 시나리오3에서는 실측 보정 수질 대비 T-N은 0.04~0.34배 증가하였고, T-P는 0.54~4.75배 증가하였다.

시나리오별 수질 모의결과 산림지역에서는 비교적 적은 양의 오염물질이 발생하지만 산림지역이 나대지로의 피복변화가 이루어질 경우 유역의 비점오염원이 급증하였고, 격자 및 수층별 수체의 수질오염 거동특성을 확인할 수 있었다. 임야가 대부분을 차지하는 섬진강댐 운암호의 경우 산림유역이 많은 부분을 차지하고 있기에 오염물질을 저감시키는 관리방안으로서 EFDC와 같은 모형의 적용성을 확인하였다.

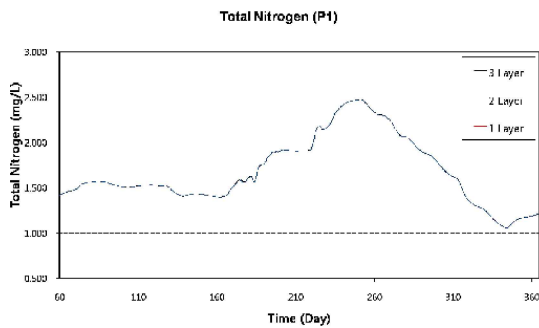


그림 4. 시나리오1의 T-N 모의 결과

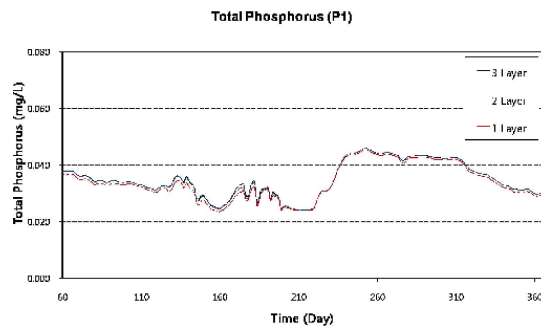


그림 5. 시나리오1의 T-P 모의 결과

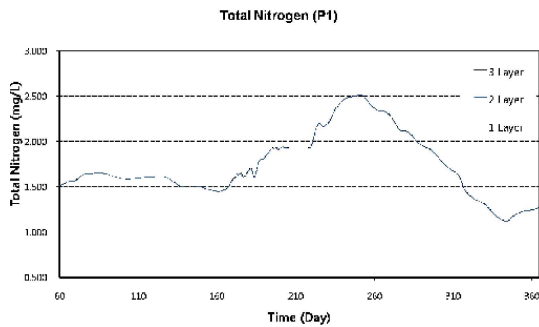


그림 6. 시나리오2의 T-N 모의 결과

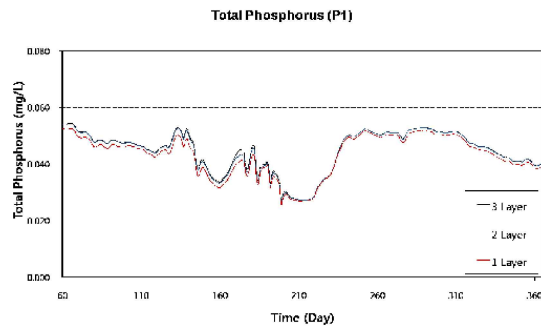


그림 7. 시나리오2의 T-P 모의 결과

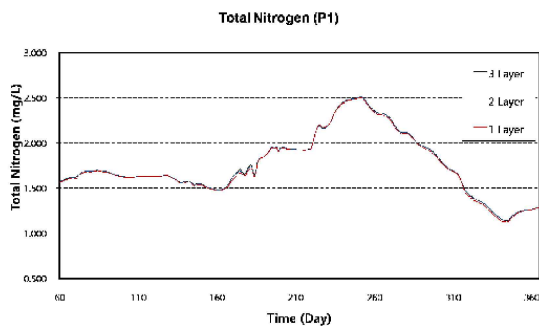


그림 8. 시나리오3의 T-N 모의 결과

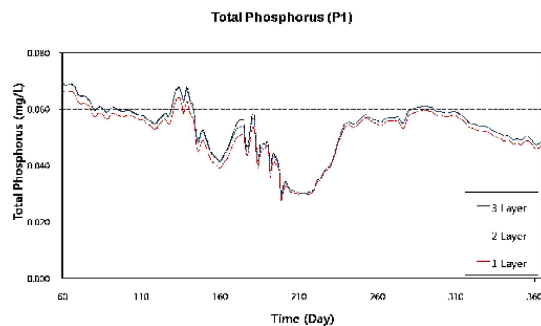


그림 9. 시나리오3의 T-P 모의 결과

4. 결론

본 연구에서는 토지이용 상태의 변화에 따른 수질거동 특성을 검토하고자 강우-유출 모형인 HEC-HMS를 이용하여 장기유출을 모의하고 3차원 수리·수질 모형인 EFDC 모형을 적용하였다. 섬진강 댐 유역을 대상유역으로 설정하고 토지이용 특성을 고려하여 임야지역이 각각 25%, 50%, 75%가 나 대지로 토지피복의 변화가 각각 시나리오 1, 2, 3으로 발생한다고 가정하여 오염원 유입이 섬진강 댐의 운암호에 미치는 영향의 정도를 파악하였다.

모의 결과 시나리오1에서는 보정 수질 대비 T-N은 0.02~0.21배 증가하였고, T-P는 0.26~2.17배 증가하였다. 시나리오2에서는 모의 결과 보정 수질 대비 T-N은 0.03~0.29배 증가하였고, T-P는 0.40~3.50배 증가하였다. 시나리오3에서는 모의 결과 보정 수질 대비 T-N은 0.04~0.34배 증가하였고, T-P는 0.54~4.75배 증가하였다. 시나리오별 모의 결과 산림유역에서는 비교적 적은 양의 오염물질이 발생하지만 산림훼손이 발생할 경우 유역오염물질이 증가하고 유출을 증가시킴으로서 주변 수체의 수질을 악화시키는 것을 확인할 수 있었다.

3차원 모형의 적용은 수자원에 대한 각종 작용이 환경에 미치는 영향의 예측이나 수질관리의 중요한 현상에 대한 신뢰성을 높일 수 있으며, 실질적으로는 오염물질의 이동특성을 파악하고 유입량 오염물질을 효과적으로 최소화하는 방안을 검토하는데 적절한 모의가 가능할 것으로 판단된다. 특히, 호소와 같이 흐름이 정체되어 있는 구간에 대한 적용성이 더욱 우수할 것으로 판단되며, 향후 4대강 사업 이후에 하천 수리수질 모형으로 활용성이 기대된다.

참고 문헌

1. 김연수, 김수진, 박재원, 김덕길, 김형수 (2011), 3차원 수질 모형을 이용한 섬진강 댐의 오염원 거동특성 분석, 2011년 한국습지학회 정기학술발표대회, pp.153-157
2. 김연수, 김수진, 장권희, 이진행, 김형수 (2010), EFDC 모형을 이용한 부안댐의 오염원 거동특성 분석, 제36회 대한토목학회 정기학술대회 초록집, pp.149
3. 서동일, 권기환, 박병준 (2009), EFDC를 이용한 3차원 수리-수온 모델링, 한국수자원학회 2009년도 학술발표회 초록집, pp.2220-2224
4. 이동주 (2009), EFDC 활용 길잡이, 구미서관
5. 박석순 (2009), 수질관리학, 해치, pp.239-332
6. Craig, P.M. (2009), User's Manual for EFDC_Explorer: A Pre/Post Processor for the Environmental Fluid Dynamics Code, Dynamic Solutions Intl, LLC
7. Tetra Tech (2007), The Environmental Fluid Dynamics Code User Manual, Tetra Tech, Inc.