

HEC-HMS 모형에 의한 장기유출량과 EFDC 모형을 이용한 호소 내 수질특성 분석

김 연 수* / 김 수 전** / 김 형 수***

Analysis of Water Quality Characteristics Using Simulated Long-Term Runoff by HEC-HMS Model and EFDC Model

Yon Soo Kim* / Soo Jun Kim** / Hung Soo Kim***

요약 : 호소의 경우, 장기간 수류의 체류현상이 발생하는데, 특히, 수심방향의 수층에 따른 호소 내 수류와 수질 문제는 하천에서의 수질 문제와 다르다고 할 수 있다. 따라서 호소 수체 내의 수류와 수질을 시간에 따라 모의할 수 있는 3차원 비정상 상태의 수질모형을 적용하는 것이 유리하다고 할 수 있다. 3차원 모형은 댐이나 호소에서 수심방향으로 수층을 구분하여 수질모의가 가능하고 보다 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있다. 이에 본 연구에서는 3차원 모형인 EFDC를 이용하여 섬진강 댐의 운암호에 대한 수질 모의를 실시하였다. GIS기반의 강우-유출 모형인 HEC-GeoHMS와 HEC-HMS를 이용하여 장기유출량을 산정하고, 관측된 수위, 기상, 수온, 총 질소, 총 인에 대하여 입력 자료를 구축하였으며, EFDC 모형 적용을 위해 수심을 3개의 층으로 구분하고 5,634개의 격자를 추출하여 격자망을 구성한 후 운암호 내의 수질 변화를 시공간적으로 모의하였다. 장기유출 모의 결과 전체적으로 실제 유출량을 잘 반영한 것으로 나타났으며, 수질 모의를 통해 오염원 인자들에 따른 거동특성을 확인할 수 있었고 모의 수질은 관측 수질을 적절히 반영하는 것으로 판단된다. EFDC는 적절한 수질모의가 가능할 것으로 판단되며 향후 상수원의 취수 및 관리 대책 수립 등을 위한 지원을 기초도구로 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

핵심용어 : HEC-HMS, EFDC, 장기유출량, 수질

Abstract : For the lake case, the detention phenomenon of water body occurs and stays for a long time. Especially, following the layer of water depth direction, the lake body and water quality problems are different from the water quality of river. So according to time, the stream and water quality can be simulated by the 3-Dimensional Model, which can divide water layer for reservoir or lake. The water quality simulation result will become more reliability. For this study, the 3-Dimension Model - EFDC was used to simulate water quality of Unam reservoir in the Sumjin Dam. The HEC-GeoHMS and HEC-HMS Rainfall - Runoff Model based on GIS were used to estimate long-term runoff, and input data was constructed to the observed water level, meteorological data, water temperature, T-N and T-P. In order to apply the EFDC model, water depth was divided into 3 layers and 5,634 grids were extracted. After constructing the grid net, the water quality change of Unam reservoir in time and space was simulated. Overall, long term runoff simulation reflected the actual observed runoff well, through the water quality simulation, according to the pollution factors, the behavior characteristics can be checked, and the simulated water quality can be properly reflected. The function of EFDC has been confirmed, which water quality can be properly simulated. In the near future, to establish countermeasures for Intake Facilities of Watershed and Management, this support which some basic tools can be applied is in expectation.

keywords : HEC-HMS, EFDC, Long Term Runoff, Water Quality

+ Corresponding author : sookim@inha.ac.kr

* 정회원 · 노아솔루션(주) · 기술연구소 · 연구원 · 공학석사, E-mail : civil.engineer@hanmail.net

** 정회원 · Columbia University · The IRI for Climate and Society · 박사후과정 · 공학박사, E-mail : soojuny@empal.com

*** 정회원 · 교신저자 · 인하대학교 교수 · 토목공학과·공학박사, E-mail : sookim@inha.ac.kr

1. 서 론

우리나라의 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. 소양호, 충주호, 대청호, 운암호 등은 이러한 목적에 의한 댐 건설로 만들어진 인공호로 각종 용수의 대형 취수원으로 이용되고 있으며, 상수원보호구역으로 합리적인 수질관리 및 취수방안의 수립이 필요한 지역이다. 이러한 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 경우 하천보다 많은 수량을 보유하고 있지만 인간에 의한 활용도는 떨어진다. 또한 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 호소 수체 내의 수류와 수질을 시간에 따라 모의할 수 있는 3차원 비정상 상태의 수질모형을 적용하는 것이 유리하다고 할 수 있다. 3차원 모형은 댐이나 호소에서 수심방향으로 수층을 구분하여 수질모의가 가능하고 보다 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있다.

본 연구는 실제 유역 형상 및 매개변수를 고려할 수 있는 HEC-HMS를 이용하여 장기유출량을 산정하고, 흐름방향 보다 수심방향으로의 특성이 강하게 작용하는 댐이나 호소에서는 3차원 수

리·수질 모형인 EFDC를 적용하여 호소 내의 수질변화를 모의하였다. EFDC 모형은 3차원 수리·수질 모형으로 연안, 강, 호수, 하구 등에 적용 가능하며 수리분야와(Harmrick, 1992) 수질분야(Park, et al, 1995)가 개발되고 발전되었으며, 미국 버지니아 주의 제임스강, 요크 강의 하구와(Hamrick, 1995a,b) 체서피크 만(Hamrick, 1994)에 적용되었다. 그 중 체서피크 만에 적용된 모형은 현재 광범위한 환경연구에 사용되고 있다. 또한 플로리다 주 인디언강 개펄의 북쪽 부근에서 담수유입에 관한 연구를 위해 사용되었으며(Moustafa and Hamrick, 1994) 플로리다 주 에버그레이드스에서 대규모 습지 모의에 관한 연구(Hamrick, 1994b), 플로리다 주 Okeechobee 호에서의 수온 모의에 관한 연구를 하는데 사용되기도 하였다(Harmrick, 1996). TMDL 지원 시스템 지원을 위하여 뉴스 강의 하구(Tim A. Wool, et al, 2003), 펜실베이니아주의 위사히콘 강(Rui Zou, et al, 2006)과 세인트루이스 만의 지류(Zhijun Liua, et al, 2008)에 대한 EFDC와 WASP의 연계모형이 적용되기도 하였다. 국내 지역에서 EFDC를 이용한 연구로는 평택호의 부유사 거동 및 준설에 따른 수질변화를 예측(이정우, 2005)과 새만금 방조제 완공에 따른 수리특성이 변화된 호 내부의 수질 평가(서승원 외, 2008) 및 갑문의 개폐에 따른 수리학적 현상을 EFDC를 이용한 적용성을 검증(정희영, 2010), 팔당호를 대상으로 수문 및 수질 변화 모의를 통한 시공간적인 수리·수질 변화를 평가(정광욱, 2007)에 적용되었으며, 남강댐 진양호(정영원, 2010), 부안댐(김연수 등, 2010)과 용담호의 수리학적 거동 및 수질예측과(이용성, 2009) 용담호의 부유사 거동예측과 WASP를 연계한 수질모의(권기환, 2010)등에 적용되어 수리 및 수질모의에 관한 연구들이 수행되었다. 이와 같이 최근 국내에서도 호소 및 저수지에 대하여 EFDC 모형을 적용한 사례는 많이 있으나, 강우-유출 모형을 이용한 장기유출량 자료의 적용에 따른 호소 내의 수질 거동특성에 대하여 EFDC를 이용한 연구사례는 없는 것으로 파

약되고 있다. 따라서 본 연구에서는 강우-유출 모형에 의해 장기유출을 모의하고, 이를 EFDC 모형에 적용하여 호소 내 수질 거동 특성을 파악 함으로서 유출이 환경에 미치는 영향의 예측이나 수질관리의 중요한 현상에 대해 신뢰성을 높이고자 한다.

이며, 평균고도는 EL. 301.60m이다. 섬진강 댐 운암호 인근에 위치하고 있는 기상청 관할 기상관측소는 임실, 장수, 전주, 정읍기상관측소 4개소가 있으며, 수위유량 관측소는 관촌 수위유량 관측소 1개소, 수질측정망은 운암호1, 운암호2, 운암호3 수질측정망 3개소가 위치하고 있다.

2. 연구방법

2.1 대상지역 및 자료수집

본 연구의 대상지역은 섬진강 댐 상류유역인 운암호로 한반도의 남해안 중서부에 위치하고 있는 섬진강 유역은 우리나라 4대강 유역의 하나로써, 동경 126°51'50" ~ 127°53'05", 북위 34°40'26" ~ 35°50'0" 사이에 위치하고 있으며, 동쪽으로 낙동강유역, 서쪽으로 영산강유역과 동진강유역, 북쪽으로 금강유역 및 만경강유역과 각각 경계를 이루고 있다. 섬진강 하구지점의 유역면적은 4,911.89km², 유로연장은 223.86km, 유역평균폭은 21.94km, 형상계수는 0.1이고, 유역형태는 수지상

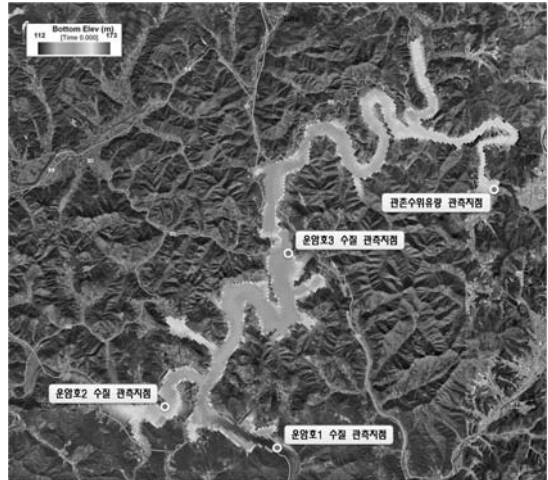


Fig 1. 운암호 내 관측자료 수집지점

Table 1. 섬진강댐 수위·유량 관측소

관측 소명	관측 종별	위 치			하구로부터 거리 (km)	영점 표고 (EL. m)
		주 소	위 도	경 도		
관 촌	T/M	전북 임실군 관촌면 호암	35-39	127-14	117.4	201.1

Table 2. 섬진강댐 운암호의 호소수 수질측정망

측정 망명	구분	위 치		자료구축 시작년도
		주 소	표준 유역명	
운암호1	호소수	전북 임실군 강진면 용수리 (댐 앞)	섬진강댐	1990
운암호2	호소수	전북 임실군 운암면 운암리(운암도선장 앞)	섬진강댐	1990
운암호3	호소수	전북 정읍시 산내면 장면리(사승나루터 앞)	추평천하류	1990

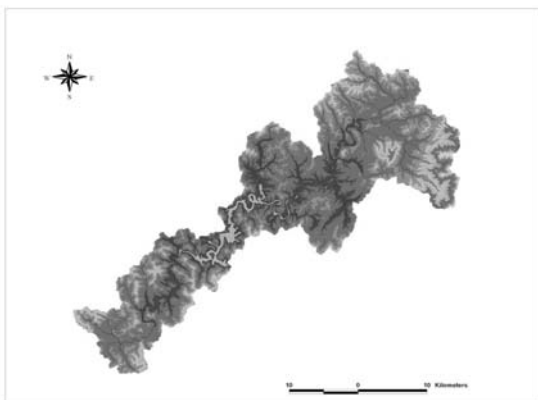
2.2 HEC-GeoHMS 모형과 HEC-HMS 모형 구축

HEC-GeoHMS는 HEC(Hydrologic Engineering Center)에서 GIS를 이용하여 복잡한 유역의 지형특성인자와 수문학적 인자를 추출하여 HEC-HMS 모형의 입력변수를 제공하며 수문학적 처리과정 단계에서는 하상길이, 하상경사, 유역 중심점 등 유역의 각종 수문학적 특성들의 정보를 산출한다. HEC-GeoHMS모형을 이용하여 Fig 2와 같이 대상 유역의 유역 특성 및 매개변수를 산정하였다. 대상유역의 30m DEM을 이용하여 1,000m 분포형 격자로 분할하고 토양도와 토지이용도를 이용하여 각 격자별 SCS CN계수를 산정하였다. 본 연구에서는 분포형 격자 파일을 생성하기 위하여 SHG (Standard Hydrologic Grid) 방법을 사용하였다.

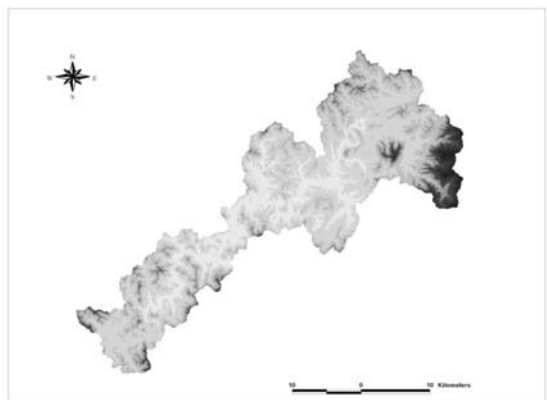
HEC-HMS는 임의 유역의 수문학적·수리학적 인자들의 상호 연관성을 사용하여 유역의 강우로 인한 지표면 유출을 모의하는 단기(event) 유출모형으로 단위도 방법과 하도추적방법을 바탕으로 레이다 자료 등의 격자망으로 구성된 강우량자료에 적용할 수 있는 선형 분포형 모형이 포함되어

있다. 또한, 장기(continuous) 유출모의를 위하여 Soil moisture accounting loss rate method와 Deficit constant loss rate method가 적용되고, 증발산 영향을 고려하기 위해 월 일정량 자료나 Priestly-Taylor method를 통해 장기유출이 가능토록 모형화 하였다(한국수자원학회, 2008). HEC-HMS를 이용한 장기유출모의 결과에서도 모형화된 알고리즘의 적용성이 높은 것을 확인할 수 있다(Todd H. Bennett, et al, 2000).

HEC-GeoHMS를 이용하여 구축한 섬진강 댐 운암호 유역의 HEC-HMS에 각 관측소가 차지하는 면적을 전체 면적으로 나눈 것을 가중값으로 하여 평균한 방법(weighted average)인 Thiessen의 가중법을 적용하고, 시간강우를 Thiessen 면적가중치 방법에 적용하여 유출량을 산정하였으며, 유출량 산정 시 필요한 강우의 손실량 계산은 SCS 방법, 하도 추적은 Muskingum-Cunge 방법을 이용하여 직접유출(direct runoff)을 산정하였고, 기저유출(base flow)은 월별로 무강우가 지속되는 기간 동안 하천유량의 평균을 월 일정량 방법에 적용하여 장기유출량을 산정하였다.



(a) 운암호 유역의 현황



(b) 운암호 유역의 DEM구성

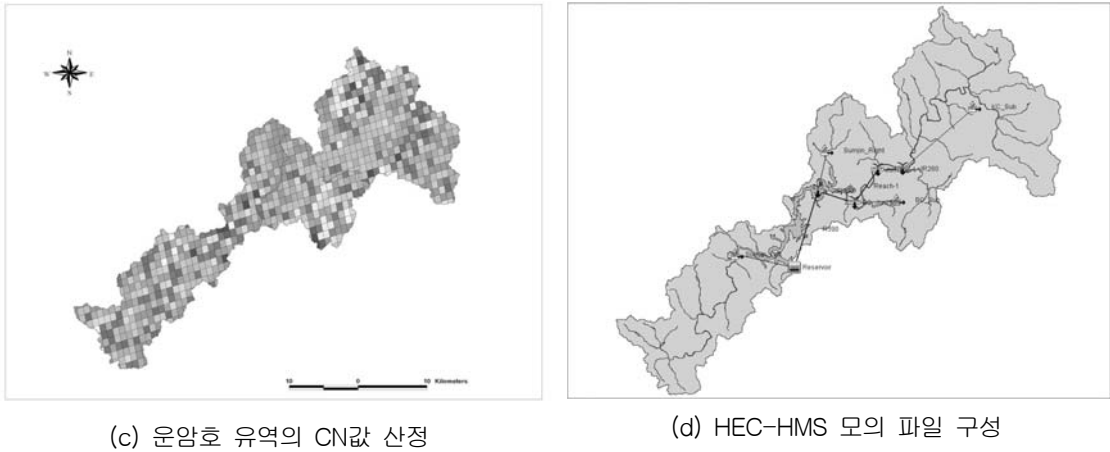


Fig 2. 강우-유출 모의를 위한 모형 구축

2.3 EFDC 모형 구축

EFDC (Environmental Fluid Dynamics Code) 모형은 Virginia Institute of Marine Science에서 개발된 모형으로 2·3차원 해수유동과 물질이동을 재현할 수 있는 다변수 유한차분 모형이다 (Hamrick, 1992). 또한 수직·수평적으로 2차원 및 3차원화가 용이하며, 수질 모형과 퇴적물 이동

모형 접합이 용이하다는 장점을 가지고 있다. EFDC 모형은 Fig 3과 같이 총 4개의 모듈로 구분할 수 있으며 이 중 유체역학 모의 모듈은 Fig 4와 같이 6개의 유동모듈로 구성되어 있다. Hydrodynamics 모듈의 모델링 결과인 수심, 유속, 혼합 등의 자료들은 수질모의(Water Quality), 부유사 이동(Sediment transport), 독성물질 (Toxics) 모의를 위한 입력 자료로 사용된다.

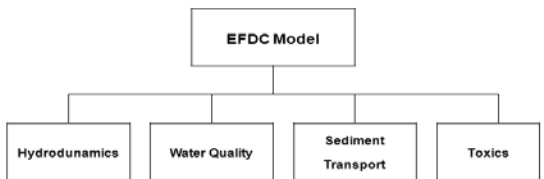


Fig 3. EFDC 모형의 주요 모듈

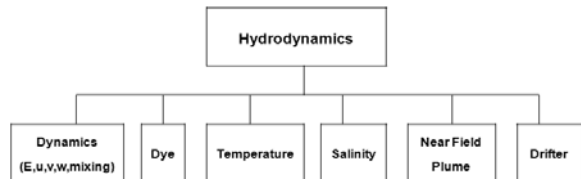


Fig 4. EFDC Hydrodynamic 모듈

EFDC모형의 지배방정식 중에서 수리동역학 부분은 직교곡선수평좌표계(curvilinear orthogonal horizontal coordinates)와 시그마 연직좌표계(sigma vertical coordinate)를 기반으로 3차원 정수역학 방정식의 형태로 구성되어 있다.

직교곡선수평좌표계와 시그마 연직좌표계에서 3차원 연속방정식은 다음 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} \partial_t(m_x m_y \zeta) + \partial_x(m_y H u) + \partial_x(m_x H v) \\ + \partial_z(m_x m_y w) = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, u, v 는 x, y 방향에서 수평속도성분 (m/sec), w 는 변환된 무차원 연직좌표계 z 에서의 연직유속성분(m/sec), H 는 전체 수심 ($= h + \zeta$)(m), h 는 기준면하 수심(m), ζ 는 기준면에서의 수면변위(m), m_x, m_y 는 곡선좌표계 임의의 거리 $ds^2 = m_x^2 dx^2 + m_y^2 dy^2$ 을 만족시키는 metric tensor의 대각성분의 제곱근이다.

변환된 무차원 연직좌표계 z 에서의 연직유속 성분은 실제좌표의 연직유속 w^* 와 다음 식 (2)와

같은 관계를 가지고 있다.

$$w = w^* - z(\partial_t \zeta + um_x^{-1} \partial_x \zeta + vm_y^{-1} \partial_y \zeta) + (1-z)(um_x^{-1} \partial_x h + vm_y^{-1} \partial_y h) \quad (2)$$

직교곡선수평좌표계와 시그마 연직좌표계에서 u 방향과 v 방향에 대한 3차원 운동방정식은 다음 식 (3)과 식 (4)와 같다.

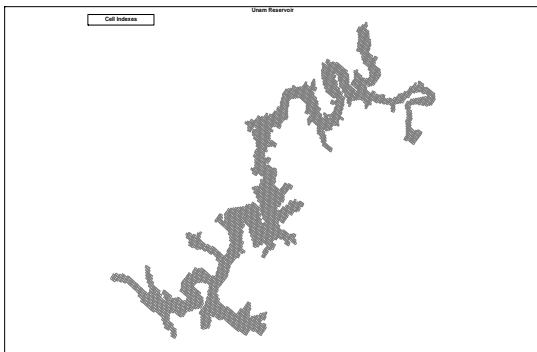
$$\begin{aligned} & \partial_t(m_x m_y H u) + \partial_x(m_y H u u) + \partial_y(m_x H v u) \\ & + \partial_z(m_x m_y w u) - (m_x m_y f + v \partial_x m_y - u \partial_y m_x) H v \\ & = -m_y H \partial_x (g \zeta + p) - m_y (\partial_x h - z \partial_x H) \partial_z p \\ & + \partial_z(m_x m_y H^{-1} A_v \partial_z u) + Q_u \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \partial_t(m_x m_y H v) + \partial_x(m_y H u v) + \partial_y(m_x H v v) \\ & + \partial_z(m_x m_y w v) - (m_x m_y f + v \partial_x m_y - u \partial_y m_x) H u \\ & = -m_x H \partial_y (g \zeta + p) - m_x (\partial_y h - z \partial_y H) \partial_z p \\ & + \partial_z(m_x m_y H^{-1} A_v \partial_z v) + Q_v \end{aligned} \quad (4)$$

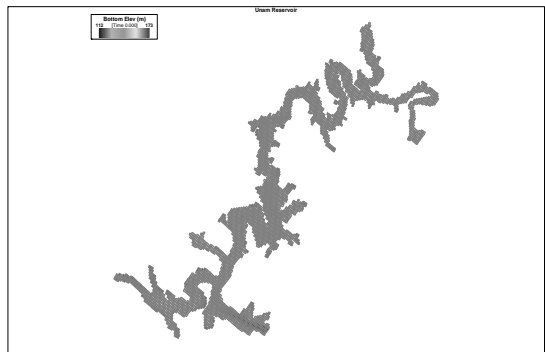
여기서, p 는 압력(Pa), 수심 z 에서 기준수압 ($p_0 g H (1-z)$)과의 차를 p_0 로 나눈 값, f 는 Coriolis parameter, Q_u, Q_v 는 momentum source-sink term(kg m/sec)이다.

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 대상구역의 수리 데이터를 생성하기 위하여 EFDC 모델을 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 않기 때문에 운암호로 유입되는 본류에 대한 자료만을 나타내었다.

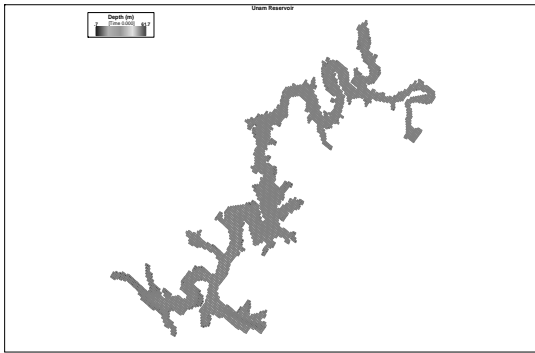
운암호의 수질오염원 거동특성을 모의하기 위한 모델의 격자 구성은 Fig 5와 같이 구성하였다. 모의를 위한 횡단방향으로 104개와 종단방향으로 91개로 한 수평방향으로 1,878개의 Segment와 수심방향을 3개 층으로 구분하여 총 5,634개의 단위격자로 수체를 구분하여 모의하였으며, 직교곡선좌표계의 직교성 판별을 한 결과 평균값이 4.036 정도(< 25 이하)로 격자구성이 적절히 이루어 졌음을 알 수 있다.



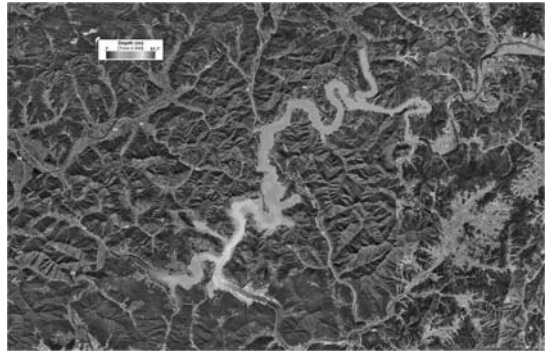
(a) EFDC 격자 구성



(b) 격자별 하상고 입력



(c) 격자별 수심 입력



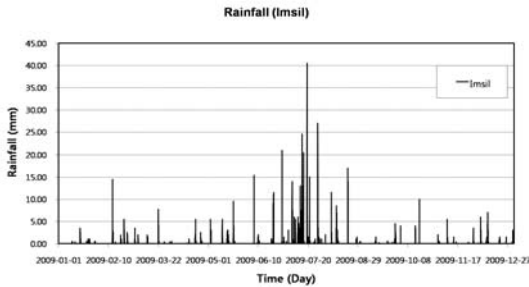
(d) 대상구역의 위성사진

Fig 5. EFDC 모형 적용을 위한 격자 구성

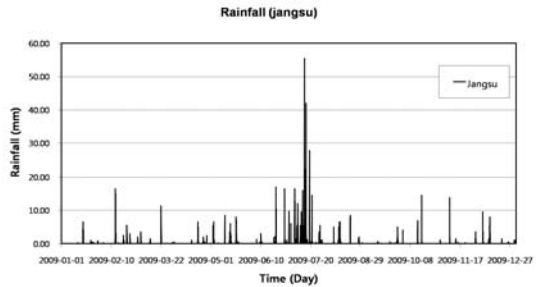
2.4 모형의 입력자료 구성

섬진강 댐 운암호를 대상으로 HEC-GeoHMS 모형을 이용하여 대상 유역의 유역 특성 및 매개 변수를 산정하고 HEC-HMS에 입력하였다. Fig 6의 임실, 장수, 전주, 정읍 기상관측소의 2009년

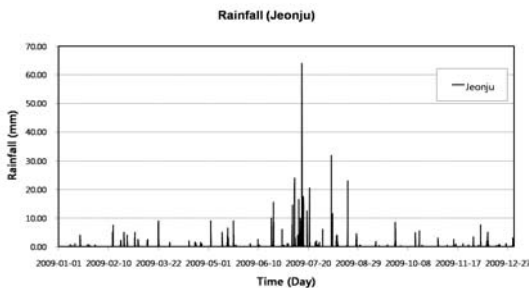
1월 1일부터 2009년 12월 31일까지의 시간강우량을 Thiessen 가중법을 이용하여 가중치를 적용한 후 직접유출량과 월 일정량 방법을 이용한 기저유출량을 모의를 통해 운암호2, 운암호3 지점에 대하여 장기유출량을 산정하였다.



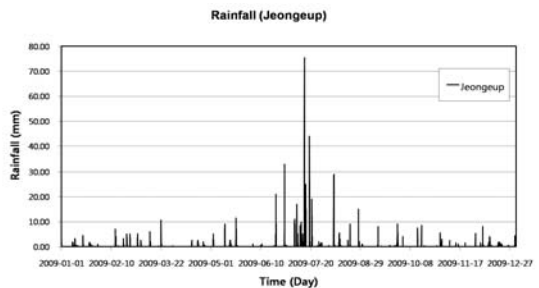
(a) 임실기상관측소 시강우



(b) 장수기상관측소 시강우



(c) 전주기상관측소 시강우

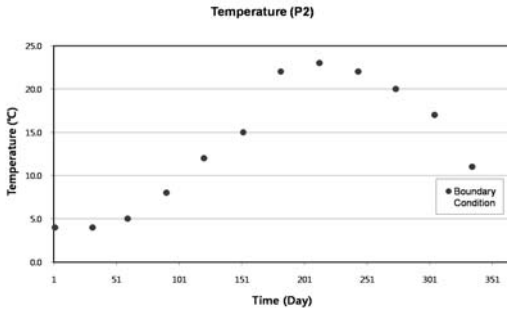


(d) 정읍기상관측소 시강우

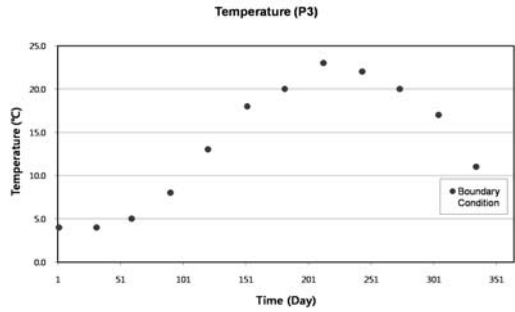
Fig 6. 유출량 산정을 위한 강우 입력자료

수온과 수질 모의 및 보정은 EFDC를 이용하여 섬진강 댐 운암호를 대상으로 2009년 1월 1일부터 2009년 12월 31일까지의 수온(입력조건 수온), 수질(DOrg N, NH₄-N, NO₃-N, T-P)에 대한 환경부 수질측정망 자료를 이용하였다. 섬진

강 댐 관측지점의 실측 수온자료를 이용하여 입력 조건 내 수온모의 및 보정을 실시하였으며, 환경부 수질측정망 지점 중 운암호2, 운암호3 지점의 수질 자료를 이용하여 수질모의를 하였고, 운암호 1 지점을 통하여 보정을 실시하였다.

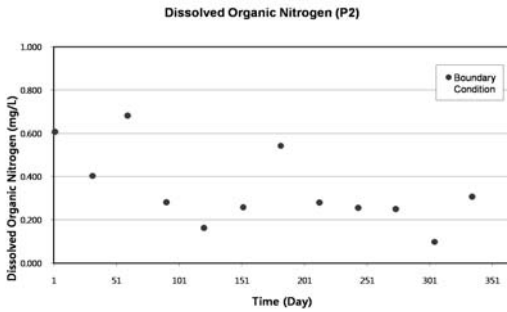


(a) 운암호2 지점의 수온

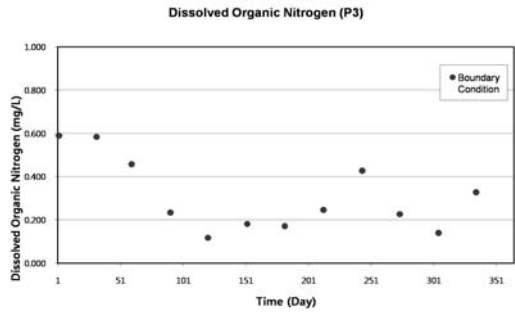


(b) 운암호3 지점의 수온

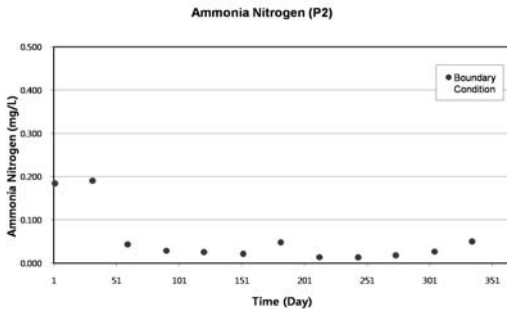
Fig 7. 운암호 경계조건 지점의 수온 자료



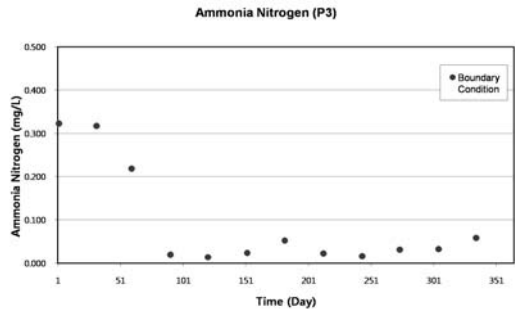
(a) 운암호2 지점의 수질(DOrg N)



(b) 운암호3 지점의 수질(DOrg N)



(a) 운암호2 지점의 수질(NH₄-N)



(b) 운암호3 지점의 수질(NH₄-N)

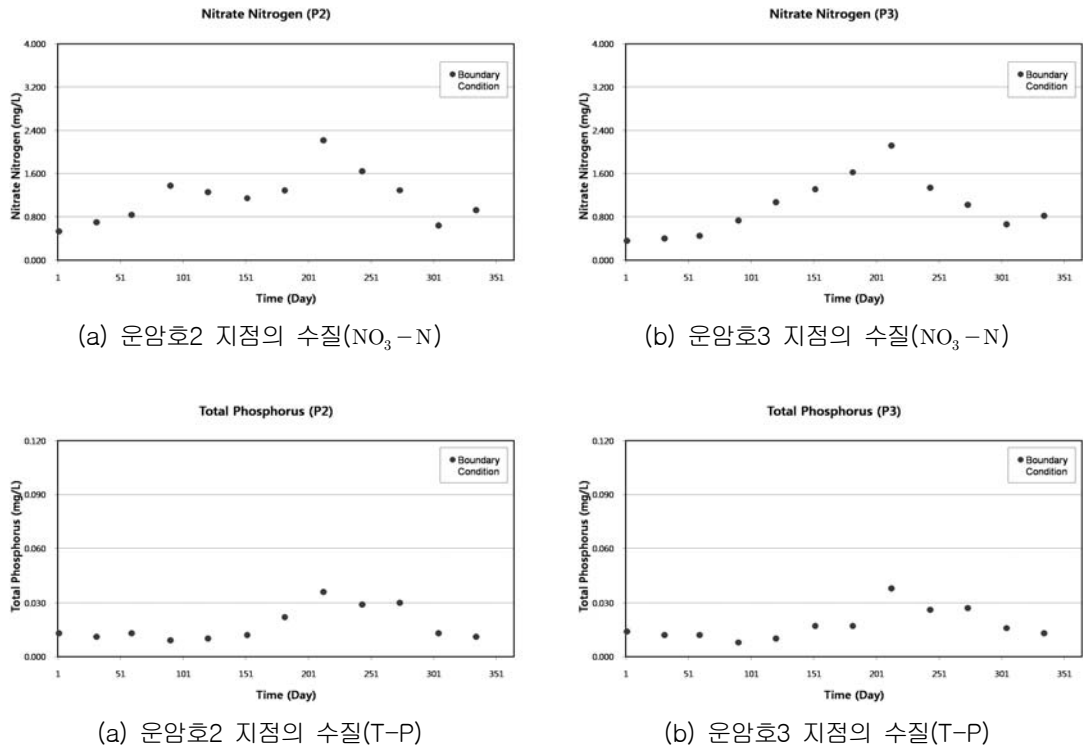


Fig 8. 운암호 경계조건 지점의 수질 자료

Table 3. 운암호 경계조건 지점의 수온 및 수질 자료

구분	수온 (°C)		D _{Org} N (mg/L)		NH ₄ - N (mg/L)		NO ₃ - N (mg/L)		T-P (mg/L)	
	운암호2	운암호3	운암호2	운암호3	운암호2	운암호3	운암호2	운암호3	운암호2	운암호3
1월	4.0	4.0	0.606	0.589	0.184	0.322	0.529	0.355	0.013	0.014
2월	4.0	4.0	0.404	0.584	0.190	0.317	0.697	0.399	0.011	0.012
3월	5.0	5.0	0.681	0.457	0.043	0.218	0.834	0.448	0.013	0.012
4월	8.0	8.0	0.281	0.233	0.029	0.019	1.372	0.732	0.009	0.008
5월	12.0	13.0	0.162	0.118	0.025	0.014	1.256	1.067	0.010	0.010
6월	15.0	18.0	0.258	0.182	0.021	0.023	1.148	1.309	0.012	0.017
7월	22.0	20.0	0.543	0.170	0.048	0.052	1.285	1.627	0.022	0.017
8월	23.0	23.0	0.279	0.245	0.014	0.022	2.213	2.116	0.036	0.038
9월	22.0	22.0	0.255	0.426	0.013	0.016	1.640	1.334	0.029	0.026
10월	20.0	20.0	0.249	0.227	0.018	0.031	1.295	1.021	0.030	0.027
11월	17.0	17.0	0.099	0.139	0.027	0.032	0.638	0.659	0.013	0.016
12월	11.0	11.0	0.307	0.327	0.050	0.058	0.922	0.817	0.011	0.013

3. 결과 및 고찰

3.1 HEC-HMS를 이용한 장기유출 모의

섬진강 댐 운암호를 대상으로 HEC-GeoHMS 모형을 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 Fig 9~Fig 10과 같이 장기유출량을 산정하였다. 산정된 유출량과 관촌 수위유량 관측소의 실측자료에 대한 결정계수 R^2 는 0.574~0.623, Pearson 상관관계분석은 0.758~0.789로 Table 4와 같으며, 전체적으로 실제 유출량을 잘 반영한 것으로 나타났다.

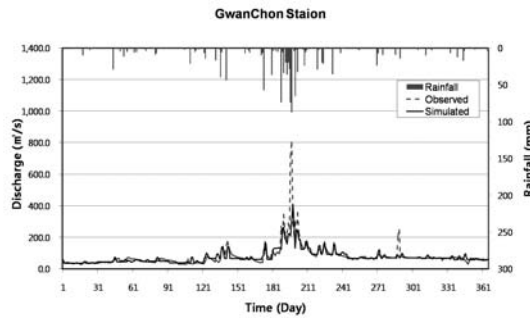
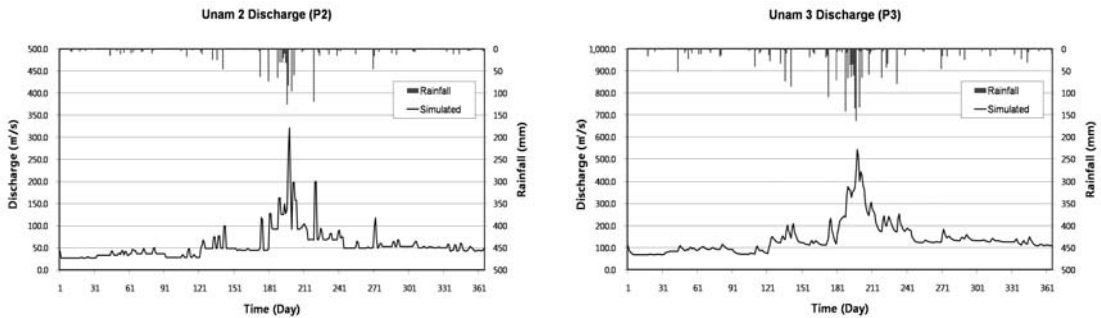


Fig 9. 관촌 수위유량관측지점의 장기유출량 산정



(a) 운암호2 지점의 장기유출 산정

(b) 운암호3 지점의 장기유출량 산정

Fig 10. 운암호 경계조건 지점의 장기유출량 산정

Table 4. 실측자료에 의한 결정계수 및 상관계수 검토

구분	자료개수 (일)	평균 유출량 (m³/s)	표준편차	상관계수	결정계수
관촌 지점 관측자료	365	79.15	70.06	-	-
관촌 지점 모의자료	365	75.48	44.84	0.784	0.614
운암호2 경계조건 지점	365	55.85	34.38	0.758	0.574
운암호3 경계조건 지점	365	138.97	73.19	0.789	0.623

3.2 EFDC 모형을 이용한 수온 및 수질모의

본 연구에서는 본 연구에서의 수질 모의 및 보정은 EFDC를 이용하여 2009년 환경부 수질측정망 수질자료를 이용하였다. 섬진강댐 관측지점의 실측 수온자료를 이용하여 입력조건 내 수온모의 및 보정을 실시하였으며, 환경부 수질측정망 지점 중 운암호2, 운암호3 지점의 수질 자료를 이용하여 수질모의를 하였고 운암호1 지점을 통하여 보정을 실시하였다. 수온과 수질 모의 및 보정 결과 수온은 Fig 11과 Table 5와 같이 비교적 보정이 잘 된 것으로 판단되며, 수질 또한 Fig 12와 Table 5와 같이 전체적인 경향성은 잘 나타내고 있다. 수온의 경우 8월부터 11월 사이 구간에 모의된 수온이 높은 경향을 나타냈으며, 수질은

T-N의 경우 8월과 11월 실측값과 0.50mg/L 이상의 오차를 보였으며, T-P의 경우 8월과 11월 실측값과 0.15mg/L 이상의 오차가 있는 것으로 나타났다. 이는 수질 변화를 모의 및 예측하기 위해서는 정확한 입력 자료를 필요로 하지만, 환경부의 수질측정망의 경우 월 1회 측정된 기록만이 존재하기에 실제 강우 및 유출량에 의한 비점오염 부하량의 거동 형태를 적절하게 반영되지 못하였을 가능성이 높음에 따라 실질적인 평균농도 관측값으로 보기에는 어려움이 있다. 모의결과와 실측수질의 오차범위가 20% 내에 들어오지 못하는 달도 있지만 실측치와 비슷한 수질 거동 특성을 보이는 것으로 판단되었으며, 전체적으로 모의된 수질이 실측결과를 잘 반영하는 것으로 나타났다.

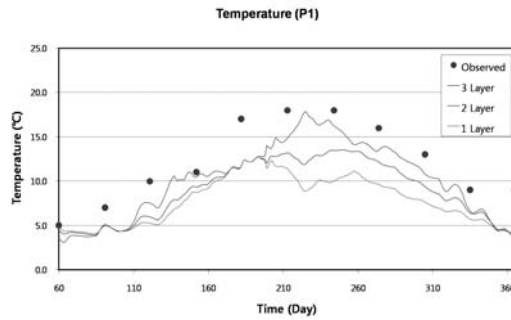
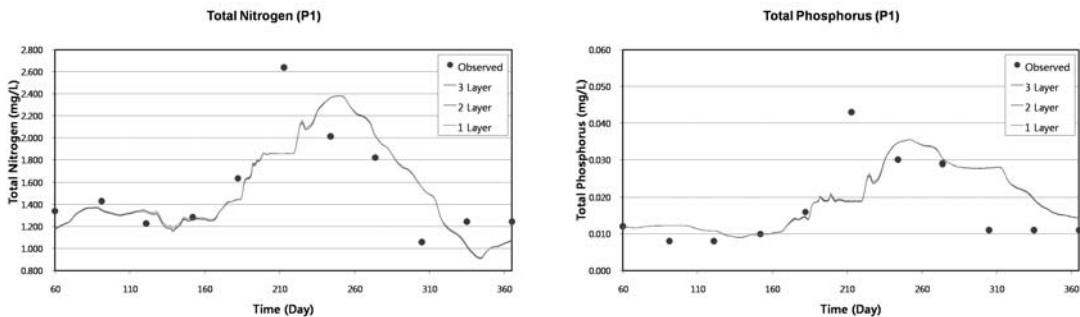


Fig 11. 운암호1 지점의 수층별 수온 모의결과



(a) 운암호1 지점의 수층별 수질(T-N) 모의결과

(b) 운암호1 지점의 수층별 수질(T-P) 모의결과

Fig 12. 운암호1 지점의 수층별 수질 모의결과

Table 5. 운암호1 지점의 수층별 수질 모의 결과

구분	수온 (°C)				T-N (mg/L)				T-P (mg/L)			
	관측	3층	2층	1층	관측	3층	2층	1층	관측	3층	2층	1층
3월	5.0	3.59	4.46	4.76	1.342	1.173	1.175	1.181	0.012	0.012	0.012	0.012
4월	7.0	5.08	5.01	4.98	1.429	1.347	1.348	1.357	0.008	0.012	0.012	0.012
5월	10.0	7.51	5.96	5.26	1.225	1.331	1.332	1.344	0.008	0.011	0.011	0.011
6월	11.0	10.45	9.34	8.73	1.283	1.261	1.264	1.275	0.010	0.010	0.010	0.010
7월	17.0	11.75	11.77	11.78	1.639	1.449	1.447	1.444	0.016	0.015	0.015	0.014
8월	18.0	14.87	13.18	11.36	2.638	1.858	1.857	1.858	0.043	0.019	0.019	0.019
9월	18.0	16.24	13.47	10.01	2.013	2.365	2.365	2.367	0.030	0.035	0.035	0.035
10월	16.0	13.52	12.15	9.63	1.822	2.016	2.015	2.012	0.029	0.030	0.030	0.030
11월	13.0	10.76	9.34	7.61	1.057	1.554	1.553	1.553	0.011	0.028	0.028	0.028
12월	9.0	6.64	6.42	5.73	1.244	1.027	1.026	1.016	0.011	0.020	0.019	0.019

4. 결 론

본 연구에서는 섬진강 수계 중 섬진강 댐 상류의 운암호를 대상유역으로 정하여 수문과 수온 및 수질 관측자료(DOrg N, NH₄-N, NO₃-N, T-P)를 토대로 HEC-HMS를 이용하여 장기유출 모의를 하였다. 그리고 3차원 수리수질동역학 모델인 EFDC를 이용하여 수온 및 수질(T-N, T-P) 모의를 실시하였다. 연구를 통해 도출된 결론은 다음과 같다.

1. GIS기반의 강우-유출 모형인 HEC-GeoHMS와 HEC-HMS를 이용하여 장기유출을 모의하였으며, 관측 수위유량관측지점과의 상관계수는 0.758~0.789, 결정계수는 0.574~0.623으로 나타났으며 전체적으로 실제 유출량을 잘 반영한 것으로 나타났다. HEC-GeoHMS와 HEC-HMS를 이용하여 유입량을 산정한다면 실제 유역 형상 및 매개변수를 고려할 수 있기에 유역면적에 비례한 비유량법보다 강우-유출모형을 적용하는 것이

타당할 것으로 판단된다.

2. 3차원 수리수질 동역학 모델인 EFDC를 이용한 운암호 내 수온과 수질의 모의 및 보정 결과 전체적인 경향성은 잘 나타내고 있으나, 8월과 11월에 T-N은 0.50mg/L 이상, T-P는 0.15mg/L 이상 실측값과의 오차를 보였다. 수질 변화의 모의 및 예측하기 위해서는 정확한 입력 자료를 필요로 하지만 수질 관측자료의 경우 월 1회 측정된 기록만이 존재하였고, 수층별로 존재하지 않기에 강우 및 유출량에 의한 비점오염 부하량이 일부 구간에서 적절하게 반영되지 못하였을 것으로 판단되며, 모델링의 정확성 향상을 위해서는 정도 있는 자료구축이 필요할 것으로 확인되었다.
3. 호소에서의 수질변화에 대한 모의는 횡방향보다 수심방향에 대하여 면밀한 모의가 필요하며 3차원 수리·수질 동역학적 모델인 EFDC는 호소 수질 모의에 있어 수심방향으로 수층으로 구분하여 상하간의 수질변화를 비교적 정확하게 모의하는 것으로 나타났다.

대형 취수원인 인공호와 최근 4대강 사업과 같이 장거리에 걸친 수리·수질 특성, 지체 현상 또는 유하시간의 증가에 따른 수질변화, 지류의 회석 및 수공 구조물에 영향에 따른 수질예측 및 관리에 3차원 수리·수질 모델링을 적용하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 건설교통부 (2005), 섬진강 하천정비기본계획
- 권기환 (2010), “EFDC와 WASP7.3을 이용한 저수지의 성층현상과 수리·수질모의에 관한 연구”, 석사학위 논문, 충남대학교
- 김연수, 김수전, 장권희, 이건행, 김형수 (2010), “EFDC 모형을 이용한 부안댐의 오염원 거동 특성 분석”, **제36회 대한토목학회 정기학술대회 초록집**, pp.149
- 대한환경공학회 (1999), 호수의 수질관리, 풍남
- 박석순 (2009), 수질관리학, 해치, pp.239-332
- 서동일, 권기환, 박병준 (2009), EFDC를 이용한 3차원 수리-수온 모델링, **한국수자원학회 2009년도 학술발표회 초록집**, pp.2220-2224
- 서승원, 이화영 (2008), “새만금호 완공에 따른 수질변화 모의”, **대한토목학회논문집**, 제28권, 제1B호, pp.79-93
- 옥치상, 이주상, 박홍석, 백병천, 이병인 (1999), 수질 및 수자원 관리, 대학서림, pp.213-270
- 유명진, 김용환, 박현진, 심유섭, 오덕수, 이용운, 장인성, 한입섭 (2006), 수질관리, 동화기술, pp.373-392
- 이동주 (2009), EFDC 활용 길잡이, 구미서관
- 이용성 (2009), “EFDC와 WASP7.2를 이용한 저수지 3차원 수리·수질모의 기법 연구”, 석사학위 논문, 충남대학교
- 이정우 (2005), “3차원 수리·수질 모형, EFDC를 이용한 저수지의 수질모의에 관한연구”, 석사학위, 충남대학교
- 정광욱 (2007), “BASINS/WinHSPF 및 EFDC의 한강유역과 팔당호 적용을 통한 3차원 통합수질 예측시스템 개발”, 박사학위 논문, 건국대학교
- 정희영 (2010), “EFDC 모형을 이용한 새만금 담수호 퇴적변화 분석”, 석사학위 논문, 충북대학교
- 정영원 (2010), “EFDC-WASP을 이용한 저수지의 3차원 수리·수질 변화모의”, 석사학위 논문, 인제대학교
- 한국수자원학회 (2008), 제19회 수공학Workshop 교재
- Hamrick, J.M. (1992a), “A Three-Dimensional Environmental Fluid Dynamics Computer Code: Theoretical and Computational Aspects”, The college of William and Mary, Virginia Institute of Marine Science, Special Report, Vol.317, pp.6
- Hamrick, J.M. (1992b), “Estuarine environmental impact assessment using a three-dimensional circulation and transport model, Estuarine and Coastal Modeling”, Proceedings of the 2nd International Conference, M. L. Spaulding et al, Eds., American Society of Civil Engineers, pp.292-303
- Hamrick, J.M. (1994a), “Linking hydrodynamic and biogeochemical transport models for estuarine and coastal waters, Estuarine and Coastal Modeling”, Proceedings of the 3rd International Conference, M. L. Spaulding et al, Eds., American Society of Civil Engineers, New York, pp.591-608
- Hamrick, J.M. (1994b), “Evaluation of island creation alternatives in the Hampton Flats of the James River”, a report to the U. S. Army Corps of Engineers, Norfolk District, The College of William and Mary, Virginia Institute of Marine Science, Gloucester Point, VA.

- Hamrick, J.M. (1995a), "Calibration and verification of the VIMS EFDC model of the James River", Virginia, The College of William and Mary, Virginia Institute of Marine Science, Special Report, in preparation.
- Hamrick, J.M. (1995b), "Transport and fate of water surface deposited radionuclides in the James and York Rivers", unpublished memo to Los Alamos National Laboratory HAZMAT Team, Virginia Institute of Marine Science, Gloucester Point, VA.
- Hamrick, J.M. (1996), "Application of the EFDC hydrodynamic model to Lake Okeechobee". a report to South Florida Water Management District, JMH-SFWMD -96-2, John M. Hamrick, Consulting Engineer, Williamsburg, VA, pp.63
- Moustafa, M.Z., and Hamrick, J.M. (1994), "Modeling circulation and salinity transport in the Indian River Lagoon. Estuarine and Coastal Modeling", Proceedings of the 3rd International Conference, M. L. Spaulding et al, Eds., American Society of Civil Engineers, New York, pp.381-395
- Park, K., Kuo, A.Y., Shen, J., and Hamrick, J.M. (1995), "A Three-Dimensional Hydrodynamic-Eutrophication Model (HEM-3D): Description of Water Quality and Sediment Process Submodels", Special Report, Virginia Institute of Marine Science, College of William and Mary.
- Rui Zou, Stephen Carter, Leslie Shoemaker, Andrew Parker, and Thomas Henry (2006), "Integrated Hydrodynamic and Water Quality Modeling System to Support Nutrient Total Maximum Daily Load Development for Wissahickon Creek, Pennsylvania", Journal of Environmental Engineering, Volume 132, Issue 4, pp. 555-566
- Tim A. Wool, Steven R. Davie, and Hugo N. Rodriguez (2003), "Development of Three-Dimensional Hydrodynamic and Water Quality Models to Support Total Maximum Daily Load Decision Process for the Neuse River Estuary, North Carolina", Journal of Water Resources Planning and Management, Volume 129, Issue 4, pp. 295-306
- Todd H. Bennett, and John C. Peters (2000), "Continuous Soil Moisture Accounting in the Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System (HEC-HMS)", Building Partnerships Proceedings of Joint Conference on Water Resource Engineering and Water Resources Planning and Management 2000, ASCE, Minnesota, pp. 1-10
- Zhijun Liua, William L. Kingerya, David H. Huddlestonb, Faisal Hossainb, Wei Chenc, Noor B. Hashimd & Janna M. Kieffer (2008), "Modeling nutrient dynamics under critical flow conditions in three tributaries of St. Louis Bay", Journal of Environmental Science and Health, Part A, Volume 43, Issue 6, pp. 633-645

- 논문접수일 : 2011년 09월 28일
- 심사의뢰일 : 2011년 09월 30일
- 심사완료일 : 2011년 12월 26일