

EFDC 모형을 활용한 서낙동강 유역의 수질개선 방안

Measures to improve water quality for West Nakdong basin using EFDC model

강보승*, 공혁준**, 박인혁***, 신익환****
Bo Seung Kang, Hyuk Jun Kong, In Hyeok Park, Ik Hwan Shin,

요 지

서낙동강 하류에 국내 최초로 친수구역 활용에 관한 특별법에 따른 부산 에코델타시티(Eco Delta City, EDC) 조성 사업이 시행 중에 있으며, 친수공간 확보 및 친수활동에 대한 관심의 증가로 서낙동강 수질개선에 대한 필요성이 증가하고 있다. 이에 부산 EDC 사업에서는 친수활동을 위한 목표 수질(Ⅱ급수)을 설정하고 목표수질을 달성하기 위해 EFDC 모형을 활용하여 서낙동강 유역의 수질개선 방안을 검토하였다. 서낙동강 유역의 하수처리 정비 등을 통한 오염 부하의 삭감, 부산 EDC 사업의 오염부하 삭감 및 서낙동강, 평강천, 맥도강 물순환 등의 대책을 통하여 목표 수질을 달성할 수 있을 것으로 연구되었다.

핵심용어 : 서낙동강, 부산EDC, EFDC, 오염부하량, 대저-녹산수문

1. 서론

서낙동강은 낙동강 최 하류단인 하구부 삼각주 지역에 위치한 하천으로 과거 낙동강 본류였으나 농업용수 등의 공급을 목적으로 1935년 대저수문과 녹산수문을 설치하면서 낙동강의 파천이 되었다. 서낙동강 수계에는 서낙동강, 평강천, 맥도강 등 국가하천(3개)을 비롯한 조만강 등 지방하천이 15개 포함되어 있으며, 하천의 흐름이 수문에 의해 제한된 호소화된 하천이다. 또한 유역내 김해평야가 위치하고, 김해시, 부산시의 급격한 도시화 및 비계획적 개발 등으로 점·비점오염원이 증가하여 수질이 급격히 나빠지고 있다.

본 서낙동강 유역에 친수구역 활용에 관한 특별법에 의한 대규모 부산 EDC 친수사업이 진행됨에 따라 친수공간과 친수활동에 대한 관심이 증가하고, 서낙동강 수질개선의 필요성의 증가로 부산 EDC 사업에서 친수활동을 위한 목표 수질(Ⅱ급수)을 설정하고, 목표수질을 달성하기 위해 과거 수행된 연구과제, 유역오염원 자료, 하수도정비기본계획 등을 검토하여 3차원 모델인 EFDC를 활용한 물순환 방안을 통한 서낙동강 수질개선 방안을 제시하였다.

2. 서낙동강 물순환 검토

서낙동강은 과거 2004년부터 수질개선에 대한 필요성과 관심이 많았으며, 낙동강유역환경청을 중심으로 다수의 연구가 진행되어 다양한 대책을 제한하였으며, 전형적인 호소형 하천의 개선을 위한 대저~녹산 수문을 활용한 강제 물순환 방안을 제안하였다. 따라서, 낙동강살리기 사업에서 서낙동강 물순환을 유도할 목적으로 맥도강과 낙동강을 연결하는 맥도수문을 설치하였고, 낙동강 본류 9CMS(대저수문 6CMS, 맥도수문 3CMS)를 유입하는 계획(부산시, 2010; 낙동강살리기사업(41,42) 실시설계 보고서)을 세웠으나 시행되지 않은

* 정회원 · K-water 수변사업처 차장 · E-mail : kang7184@kwater.or.kr

** 비회원 · K-water 에코델타시티건설단 차장 · E-mail : muyea@kwater.or.kr

*** 비회원 · K-water 수변기획처 선임연구원 · E-mail : ihpark@kwater.or.kr

**** 비회원 · K-water 수변사업처 대리 · E-mail : s2k@kwater.or.kr

것으로 조사되었다. 본 연구에서는 낙동강살리기 사업에서 제안한 물순환 방안뿐 아니라, 대저, 맥도, 녹산 등 수문 및 펌프시설을 이용한 추가적인 방안을 검토하였다.

3. EFDC 모델의 구축

3.1 EFDC 모델의 개요

EFDC(Environmental Fluid Dynamic Code) 모델은 Virginia Institute of Marine Science(Hamrick, 1992)에서 개발되어 U.S. EPA와 Tetra Tech, Inc.에 의해 개발·관리되고 있는 3차원 유동모델이며, 수질모델, 부유사 이동 및 독성 물질 모델과 연결된 통합 버전의 모델로 사용되고 있다. EFDC 모델 내부의 수질 모델인 HEM3D(Park et al., 1995)는 미국 공병단에서 개발하여 Chesapeake Bay에 적용된 바 있는 3차원 수질모델인 CE-QUAL-ICM(Cerco and Cole, 1993)을 기반으로 한다.

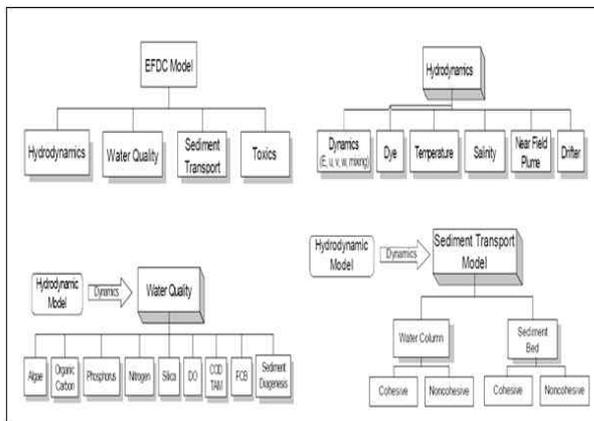


그림 1. EFDC 모델 구조

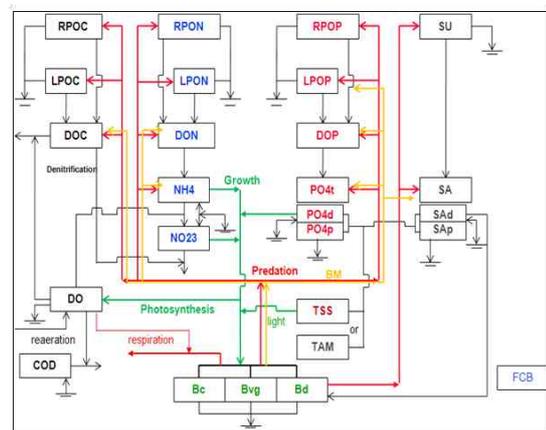


그림 2. HEM3D 모델 구조

3.2 모의격자 및 모의조건 구성

수질 예측을 위한 모의 격자의 구성은 서낙동강수계(국가하천) 하천기본계획 보고서(국토해양부, 부산지방국토관리청, 2012)에서 실측된 수치지도도를 사용하였고, 모의격자 크기는 평균 73.5m×85.5m로 총 1,428개의 활성격자를 구성하였다. 모의구간 경계조건은 소유역 15개 지점, 서부하수처리장, 수문 5개 지점(대저수문, 녹산 1수문, 녹산 2수문, 신포수문, 맥도수문) 및 배수 펌프장 3개 지점(녹산 배수장, 신포배수장, 맥도배수장)으로 구성하였다. 모의격자의 수위-저수량 관계는 서낙동강수계(국가하천) 하천기본계획 보고서(국토해양부, 부산지방국토관리청, 2012)에 제시된 수위-저수량 관계를 비교하였고 R^2 값이 0.9919로 신뢰도가 높은 것으로 나타났다.

유량은 수문의 관리청인 부산시 강서구청에서 각 수문별 유속계를 설치하여 시간별 유속 측정 및 유량을 산정한 수문일보를 작성·관리하고 있어 반영하였고, 유역의 총 유입유량은 녹산 수문의 시간별 수위자료와 수위-체적 곡선을 이용하여 산정하고, 산정된 유입유량을 유역-면적비를 이용해 소유역별 유입유량으로 산정·반영하였다.

수질자료는 소유역 인근의 환경부 수질측정망(물환경정보시스템)에서 운영되는 6개 지점(서낙동강 1~4, 신어천, 낙동강하구연2) 및 부산 보건환경연구원에서 운영되는 7개 지점(낙동강분기전, 예안천, 주중천, 평강천 상·하류, 맥도강, 지사천)의 월 측정자료를 이용하였으며, 실측 일을 확인하여 모델에 적용하였다. 일부 실측 자료가 없는 평강천, 맥도강 내부 소유역은 소유역 인근의 평강천, 맥도강의 측정 수질이 유입되는 것으로 가정하여 적용하였다.

4. 친수활동을 위한 목표수질 및 검토 지점

우리나라에는 친수활동을 위한 명확한 친수활동 수질등급은 없다. 단지, 환경정책기본법 상 II급수일 경우 정수처리 후 수영용수로 활용할 수 있으며, 본 부산 EDC 사업의 환경영향평가시 환경부에서 친수활동을 위해서 II급수를 제안하였다. II급수 달성의 적정성을 오염총량관리기본계획, 낙동강하구인 중권역 물환경 관리계획의 서낙동강 목표수질 및 지역특성 등을 고려해 볼 때 서낙동강 전체의 수질목표를 II급수로 설정하는 것은 다소 무리가 있는 것으로 판단되어 본 사업의 친수활동 영향권을 중심으로 II급수 달성을 위한 수질 검토 지점으로 설정하였다.



그림 3. EFDC 모델 격자 및 모의조건 구성

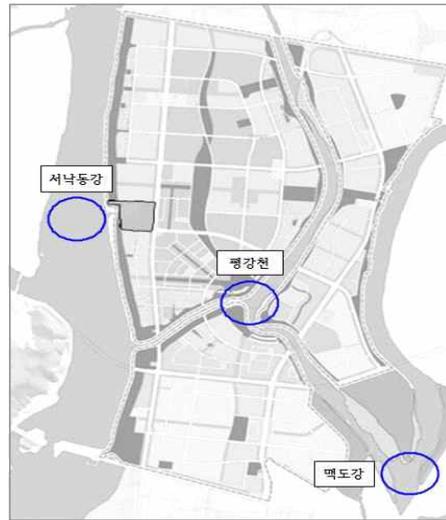


그림 4. 수질검토 지점

5. 모델 적용 수질개선 방안

5.1 유역 오염원 저감대책 반영

서낙동강 유역의 오염원 저감대책은 크게 부산 EDC 사업 내부의 저감대책과 그 외 유역의 저감대책으로 나눌 수 있으며, 부산 EDC 사업 내부는 하수처리장 신설을 통한 해양 방류의 점오염원 대책과 저영향개발기법(LID)를 포함한 인공습지, 장치형 여과 시설 등을 도입하는 비점오원 대책을 제안하였고, 모델에 반영하였다. 부산 EDC 사업 외 유역의 저감대책은 지자체별로 기 수립한 하수도 정비 기본계획(부산광역시, 부산광역시 하수도 정비 기본계획(변경) 보고서, 2010, 김해시, 김해시 하수도 정비 기본계획(변경) 보고서, 2013)을 2025년 기준으로 반영하였다. 김해시의 해당 지역은 대동, 화목, 장유이고, 부산시는 서부, 녹산지역이다. 부산시의 하수도 정비 기본계획은 당초 2030년까지 추진하는 것으로 되어 있어 2025년으로 조기 시행하는 것으로 가정하여 반영하였다.

5.2 물순환 저감대책 반영

물순환 저감대책은 최대한 현실의 동적 변화를 반영하기 위하여 수문 개방시간을 고려하여 적용하였다. 수문개방 시 유입되는 유량은 대저수문의 경우 현재 운영되는 자료를 분석하여 수문 개방시 시간당 평균 유량인 80CMS가 유입되는 것으로, 맥도수문은 설계 유량인 20CMS가 유입되는 것으로 가정하고 수문 개방시간을 조정하여 물 순환량을 증가시켰다. 순환을 위한 배수는 조위차에 의해 운영되는 녹산 수문을 이용하며 배수가 안 되는 경우도 다수 발생하여 수위 증가의 위험이 있으므로 녹산 펌프장의 펌프를 이용한 강제 배수로 가정하였고, 물 순환량 증가에 따른 수위 변화를 최소화하여 반영하였다. 이에 유역저감대책을 포함하여 적용된 물순환 시나리오는 표 1과 같다.

표 1. 물순환에 의한 저감 대책 모의 시나리오

| 구분 | 세부 내용 | | | | |
|-------|-------|------------------|-----------------|-----------|---------------------------|
| | 기준 연도 | 물순환 | | | 유역부하량 삭감 |
| | | 대저수문 개방시간 | 맥도수문 개방시간 | 녹산 펌프장 배수 | |
| 시나리오5 | 2018년 | 2hr (6.6CMS) | 4hr (3.3CMS) | ○ | 하수도정비기본계획 (2015년 계획시행) |
| 시나리오6 | 2025년 | 2hr (6.6CMS) | 4hr (3.3CMS) | ○ | 하수도정비기본계획 (부산시 조기시행) |
| 시나리오7 | | 4hr (13.3CMS) | 6hr (5.0CMS) | ○ | |

※ 물순환은 다양한 시나리오는 검토되었으며, 그 중 최종 시나리오만 제시하였음

6. 모의결과

6.1 유입유량 증가에 따른 수위상승

서낙동강 수계는 관리수위 -0.3m로 관리되고 있어 물순환에 따른 유입유량 증가는 수위상승을 야기할 수 있으나, 서낙동강, 맥도강 계획홍수량 대비 유입유량 증가를 검토해 볼 때 증가(4.8%, 7.1%)가 미미하여 수위상승에 따른 하천재해가능성은 낮은 것으로 검토되었다.

6.2 시나리오별 수질 모의결과

시나리오별 모의결과는 1차로 연평균의 목표수질(Ⅱ등급) 달성여부를 검토하였고, 2차로 연평균 달성 시나리오에 대해서 월별 검토를 통하여 목표수질 달성 가능한 달을 최종 확정하였다. 3개의 시나리오 중 2018년을 모의한 시나리오 5의 경우 서낙동강, 평강천, 맥도강 전 지역의 연평균 BOD가 3.4~4.3mg/L로 Ⅲ등급을 나타내었고, 동일한 물순환에 유역 하수도정비기본계획 조기 시행 시 2025년을 모의한 시나리오 6에서는 서낙동강, 평강천이 연평균 3.1mg/L, 3.2mg/L로 Ⅲ등급을 맥도강이 3.0mg/L로 Ⅱ등급을 나타내었다. 따라서, 시나리오 5, 6은 연평균 Ⅱ등급을 만족하지 못하였다.

시나리오 7의 경우 물순환량 증가 및 유역 하수도정비기본계획 조기 시행시 2025년을 모의 하였으며, 서낙동강, 평강천, 맥도강의 연평균 BOD는 2.8~3.0mg/L로 Ⅱ등급 수준을 나타내는 것으로 모의되었다.

표 2. 모의 수질결과(연평균)

[단위 : mg/L]

| 구분 | 지점 | | | | | | | | |
|-------|------|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| | 서낙동강 | | | 평강천 | | | 맥도강 | | |
| | BOD | T-N | T-P | BOD | T-N | T-P | BOD | T-N | T-P |
| 시나리오5 | 3.4 | 3.161 | 0.096 | 4.3 | 2.788 | 0.090 | 4.0 | 2.745 | 0.088 |
| 시나리오6 | 3.1 | 3.034 | 0.090 | 3.2 | 2.668 | 0.082 | 3.0 | 2.649 | 0.083 |
| 시나리오7 | 3.0 | 2.867 | 0.090 | 2.9 | 2.599 | 0.083 | 2.8 | 2.587 | 0.084 |

특히, 시나리오 7의 월별 수질 모의결과를 검토하면, 4월~9월까지 BOD 기준으로 모든 하천에서 3mg/L이하로 목표수질을 만족하고 있어 친수활동 시기로 나타났다.

표 3. 시나리오 7 모의 수질결과(월)

[단위 : mg/L]

| 구분 | 서낙동강 | | | 평강천 | | | 맥도강 | | |
|-----|------|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|
| | BOD | T-N | T-P | BOD | T-N | T-P | BOD | T-N | T-P |
| 1월 | 4.3 | 3.538 | 0.162 | 4.6 | 3.575 | 0.168 | 4.3 | 3.403 | 0.163 |
| 2월 | 4.1 | 3.498 | 0.148 | 3.9 | 2.994 | 0.121 | 3.7 | 2.949 | 0.128 |
| 3월 | 4.2 | 3.743 | 0.123 | 3.7 | 2.922 | 0.093 | 3.6 | 2.888 | 0.103 |
| 4월 | 2.7 | 3.050 | 0.082 | 2.8 | 2.643 | 0.065 | 2.6 | 2.609 | 0.067 |
| 5월 | 2.6 | 2.585 | 0.052 | 2.3 | 2.517 | 0.048 | 2.3 | 2.486 | 0.049 |
| 6월 | 3.0 | 2.526 | 0.085 | 2.6 | 2.148 | 0.075 | 2.4 | 2.22 | 0.076 |
| 7월 | 2.3 | 2.774 | 0.109 | 2.2 | 2.426 | 0.110 | 2.2 | 2.464 | 0.097 |
| 8월 | 2.2 | 2.380 | 0.080 | 1.8 | 2.190 | 0.080 | 1.7 | 2.210 | 0.069 |
| 9월 | 2.7 | 2.243 | 0.065 | 2.1 | 2.112 | 0.055 | 2.1 | 2.116 | 0.056 |
| 10월 | 3.3 | 2.388 | 0.062 | 3.1 | 2.212 | 0.055 | 3.0 | 2.224 | 0.061 |
| 11월 | 2.0 | 2.885 | 0.052 | 3.3 | 2.805 | 0.063 | 3.2 | 2.830 | 0.071 |
| 12월 | 2.5 | 2.797 | 0.055 | 2.6 | 2.640 | 0.062 | 2.6 | 2.648 | 0.068 |
| 연평균 | 3.0 | 2.867 | 0.090 | 2.9 | 2.599 | 0.083 | 2.8 | 2.587 | 0.084 |

기존 여러 연구결과에 따르면 물순환시 서낙동강 보다 상대적으로 수질이 양호한 낙동강 본류 물을 유입함에 따라 호소화된 서낙동강의 체류시간을 감소시켜 하천화 함으로 수질개선의 효과가 있는 것으로 보고되고 있고, 본 연구에서도 물순환을 통해 체류시간을 50% 이상 감소하는 것으로 나타나 수질개선에 긍정적인 영향이 검토되었다.

표 4. 물순환에 따른 체류시간 변화

| 구분 | 연평균수위(EL.m) | 체적(m ³) | 일평균 방류량(m ³ /day) | 평균 체류시간(day) | 비고 |
|-------|-------------|---------------------|------------------------------|--------------|----------|
| 실운영 | -0.36 | 27.99 | 2.30 | 12.2 | 2011년 자료 |
| 시나리오7 | -0.36 | 27.99 | 5.06 | 5.5 | |

6.3 종합결론

EFDC를 활용한 서낙동강 유역 수질개선 방안 검토결과 정채된 하천의 개선에 물순환의 효과가 큰 것으로 나타났으나 물순환은 원수의 수질에 영향을 받음에 따라 근본적인 유역 오염 저감이 필요할 것으로 판단된다. 서낙동강은 수질 및 유역 현황이 앞으로 다양하게 변화 할 것이며, 지속적인 모델을 활용해 서낙동강의 수질개선을 검토해 나갈 예정이다.

참고문헌

1. 부산광역시(2010), 낙동강살리기사업(41,42) 실시계획 보고서
2. 국토해양부, 부산지방국토관리청(2012), 서낙동강수계(국가하천) 하천기본계획 보고서
3. 환경부, 물환경정보시스템, <http://water.nier.or.kr>
4. 부산광역시(2010), 부산광역시 하수도 정비 기본계획(변경) 보고서
5. 김해시(2013), 김해시 하수도 정비 기본계획(변경) 보고서
6. 서낙동강유역관계기관합동(2005), 서낙동강 수질개선 종합대책
7. 낙동강수계관리위원회(2007~2009), 서낙동강 유역 오염도 현황 조사 및 수질개선방안 수립
8. 경성대학교(2009), 서낙동강/맥도강/평강천 흐름복원을 위한 맥도수문 목표수량 설정 및 수질개선 효과 검토