

영산강 중류부의 오염물질 이송특성 연구

Study on Pollutant Diffusion in the Midstream of Youngsan River

김정민*, 박성천**, 김동수***, 문병석****

Jung Min Kim, Sung Chun Park, Dong Soo Kim, Byoung Seok Moon

요 지

본 연구에서는 영산강의 수질이 가장 심각한 광주하수처리장 방류구 직하류부에 대한 오염물질 확산에 시·공간적 분포양상을 파악하기 위하여 대상하천 영산강 본류의 25km구간에 RMA4 모델을 적용하여 오염물질의 농도변화를 예측하였다.

RMA4 모델의 적용을 위하여 RMA2 모델을 수행하여 구한 출력자료를 입력자료 사용하였으며, 수치모델의 적용을 위하여 연구 대상하천의 25km구간에 대하여 유한요소망은 2,304개의 절점과 7,635개의 요소로 구성하였다. 광주하수처리장 방류구 직하류부에 대한 오염물질 확산에 시·공간적 분포양상을 파악하기 위하여 광주하수종말처리장의 방류수에 의한 오염물질유입에 대한 4개의 시나리오를 작성하여 RMA4 모델을 수행하였으며, 광주하수종말처리장의 평균방류량 6.13cms와 BOD 수질기준 110mg/L(2004년 하수종말처리장 유입원수의 평균농도)의 농도를 유입 오염물질로 가정하여 영산강의 저수기의 유출량을 대상으로 오염물질 유입시간에 따라 4개의 시나리오에 대한 오염물질의 확산의 시·공간적 분포양상, 유하길이에 대한 오염물질의 최대 오염원농도 도달시간을 제시하였다.

핵심용어 : 오염물질 확산, RMA4 모델, RMA2 모델, 최대 오염원농도 도달시간

1. 서론

영산강수계의 수질개선에 관한 기존의 연구들은 주로 장래의 수질예측과 목표수질을 만족할 수 있는 오염부하량의 삭감을 산정, 수질보전을 위한 하천유지유량의 결정 그리고, 오염총량제를 위한 최대허용오염부하량 결정 등 영산강의 수자원을 양질의 수자원으로 보전함과 동시에 목표수질 달성 등의 수질개선을 위한 연구가 활발히 진행되어 왔으나 그에 따른 수질개선 사업으로 이어지지 못하여 지속적으로 영산강 수질은 악화되어 5대강 수계 중에서 가장 심각한 상황에 이르게 되었다. 기존의 연구결과에 의하면 영산강 수질을 악화시키는 여러 가지 요인 중 광주하수종말처리장의 방류수 역할이 많은 영향을 받는 것으로 보고되고 있다.

본 연구에서는 최근 1991년 낙동강 수계에서의 폐놀방류사건을 거울삼아 영산강 수계의 불의의 수질오염 사고에 대비한 기초자료를 확보함으로써 수질오염사고에 대한 대책을 수립할 수 있을 것으로 판단되므로 본 연구에서는 오염원의 유입부를 광주하수종말처리장의 방류구로 설정하고 저수기에 대한 오염물질의 거동특성을 파악하기 위하여 광주하수처리장 방류구의 직하류부에서부터 25km 하류구간에 대하여 RMA4모델을 적용하여 오염물질의 다량이 하천으로 유입되는 경우 수질악화 등으로 인한 수질오염의 영향을 최소화하기 위한 사후 대책의 기초자료를 제공하고자 한다.

* 정회원·송촌종합건설 SOC 사업부E-mail : sin600866@hanmail.net
** 정회원·동신대학교 토목공학과 교수E-mail : psc@dsu.ac.kr
*** 정회원·광주보건환경연구원 폐기물과E-mail : kds4429@dreamwiz.com
**** 정회원·서남대학교 토목공학과 조교수E-mail : mbs0235@seonam.ac.kr

2. 입력자료 및 경계조건

저수지 오염물질의 이송-확산 해석을 위해 하상자료 구축과 경계조건 등은 다음과 같다. 적용 구간은 영산강 광신대교로부터 송월 배수장을 횡 방향으로 연결한 지점까지의 약 25km를 설정하여 계산을 수행하였다. 이 구간에는 황룡강과 지석천이 합류하며 구간하폭이 780~330m 내외이며 평균하상 경사는 1/2,460~1/1,330 정도이고, 단면자료는 1/25,000의 수치지도를 이용하였으며 지류유입은 황룡강과 지석천의 유입만 고려하였다. 조도계수는 수치모델에 있어서 수리량에 결정적인 영향을 줄 수도 있지만 2차원 수치모델에 있어서는 하천의 만곡에 의한 수위상승 등이 적절히 계산되므로 1차원모델과는 다른 의미를 갖는다. 일반적으로 조도계수는 하상자료 또는 지형조건을 고려하여 Manning에 의해 제안되는 것으로 『영산강하천정비기본계획(보안), 건설교통부, 1998』에서 조사된 개수전의 0.030을 이용하였다. 그림 1은 수치모델의 적용을 위한 유한요소망으로 2,304개의 절점과 7,635개의 요소로 구성하였다.

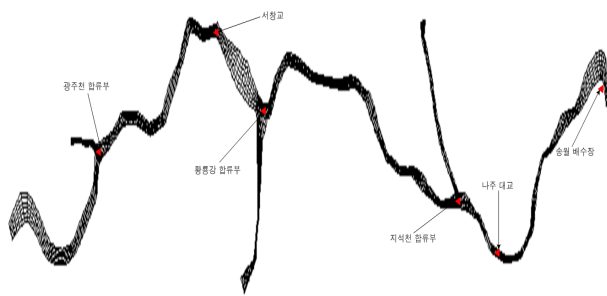


그림.1 대상하천의 유한요소망

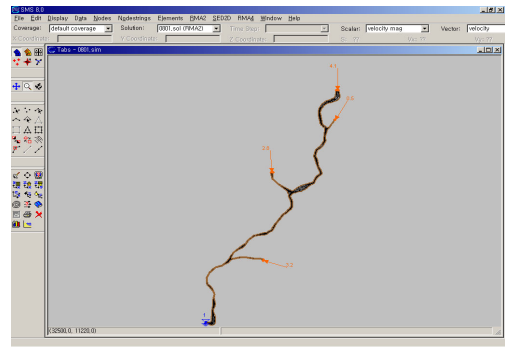


그림. 2 경계 조건

오염농도변화예측을 위한 RMA4 모델은 RMA2 모델에서 구한 출력자료를 입력자료로 사용하여 모델을 구성하였다. 그림 2와 같이 영산강 상류부 4.1cms, 광주천 0.5cms, 황룡강 2.8cms, 지석천 3.2cms를 유량의 경계조건으로 사용하였고, 하류단 수위조건은 『영산강하천정비기본계획(보안), 건설교통부, 1998』의 단면자료를 입력자료로 HEC-RAS 모델을 구축하고 모델 실행결과를 이용하여 영산포지점의 수위조건은 1.0m로 적용하였다.

3.오염물질의 거동 특성분석

3.1 기본가정 및 시나리오

오염물질의 거동특성을 해석하기 위하여 오염물질의 유입부를 광주하수종말처리장의 방류구로 설정하였으며, 유입되는 유량은 광주하수종말처리장의 평균방류량 6.13cms로 하고, 오염물질의 농도는 2004년도 광주하수종말처리장 유입원수의 평균 BOD농도인 110mg/L로 가정하여 오염물질 유입시간에 따라 30분, 1시간, 3시간, 24시간으로 표. 1과 같이 4개의 시나리오를 작성하였다. 그리고 오염물질의 거동특성은 유입되는 오염물질에 대하여 한정하기 위하여 지류에서 유입되는 오염물질은 고려하지 않았으며, 영산강의 저수기에 대한 오염물질의 거동특성을 해석하였다.

표. 1 오염물질의 유입시간에 따른 시나리오

구 분	유 입 부	유입 유량	유입 농도	유입시간
시나리오 1	광주하수종말처리장의 방류구	6.13cms	110mg/L	30min
시나리오 2	광주하수종말처리장의 방류구	6.13cms	110mg/L	1hr
시나리오 3	광주하수종말처리장의 방류구	6.13cms	110mg/L	3hr
시나리오 4	광주하수종말처리장의 방류구	6.13cms	110mg/L	24hr

3.2 오염물질 거동양상

3.2.1 시나리오 1에 대한 분석

시나리오 1은 광주하수종말처리장의 방류구에서 유량 6.13cms, 유입 BOD 농도 110mg/L로 영산강에 30분 동안 유입되는 경우로 시간별 오염물질의 거동양상은 그림 1의 (a)~(d)와 같으며, 유입시간에 대한 유하길이별 최대오염농도 도달시간은 그림 1의 (e)와 같다. 최대오염농도 도달시간은 약 2.6 km 인 마복지점에서 48분 후 22mg/L, 약 5.5 km 인 서창교지점에서 6시간 12분 후 11mg/L, 로 나타났고, 서창교지점에서는 최대농도와 최소농도가 같은 것으로 나타나 완전혼합이 이루어진 것으로 판단되며, 회귀분석을 통하여 최대오염농도 도달시간을 식으로 표현하면 $y = 1.9655x - 4.3103$ 으로 분석되었다. 여기서 y는 시간(hour)을 나타내며, x는 거리(km)를 나타낸다.

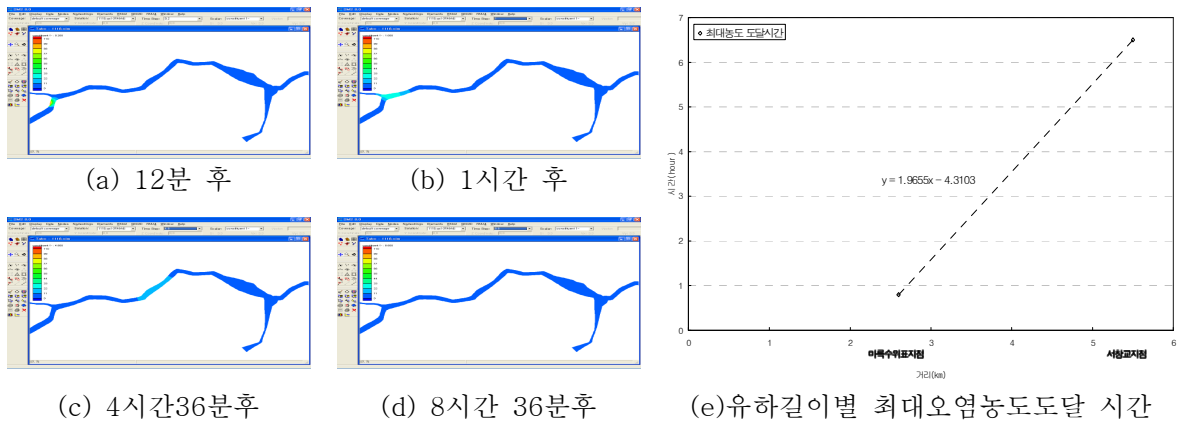


그림.1 시나리오 1에 대한 오염물질 거동양상 및 유하길이별 최대오염농도도달 시간

3.2.2 시나리오 2에 대한 분석

시나리오 2는 광주하수종말처리장의 방류구에서 유량 6.13cms, 유입 BOD 농도 110mg/L로 영산강에 1시간 동안 유입되는 경우로 시간별 오염물질의 거동양상은 그림 2의 (a)~(d)와 같으며, 유입시간에 대한 유하길이별 최대오염농도 도달시간은 그림 2의 (e)와 같다. 최대오염농도 도달시간은 약 2.6 km 인 마복지점에서 1시간30분후 44mg/L, 약 5.5 km인 서창교지점에서 6시간30분후 11mg/L, 약 7.6km인 황룡강 합류부지점, 약 14km인 지석천 합류부지점, 약 17.2 km인 나주수위표지점, 약 22km인 송월배수장지점에서는 최대농도와 최소농도가 같은 11mg/L의 농도분포가 나타나 완전혼합이 이루어진 것으로 판단된다. 1시간 방류시 최대오염농도 도달시간을 회귀식으로 표현하면, $y = 8.3941\ln(x) - 6.8158$, 결정계수는 0.9906이다.

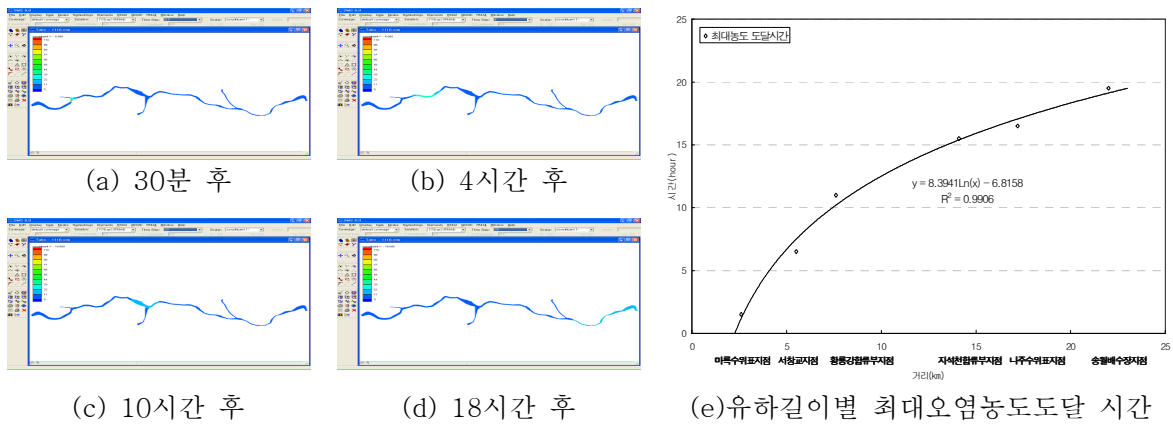


그림.2 시나리오 2에 대한 오염물질 거동양상 및 유하길이별 최대오염농도도달 시간

3.2.3 시나리오 3에 대한 분석

시나리오 3은 광주하수종말처리장의 방류구에서 유량 6.13cms, 유입 BOD 농도 110mg/L로 영산강에 3시간 동안 유입되는 경우로 시간별 오염물질의 거동양상은 그림 3의 (a)~(d)와 같으며, 유입시간에 대한 유하길이별 최대오염농도 도달시간은 그림 3의 (e)와 같다. 최대오염농도 도달시간은 약 2.6 km인 마루지점에서 2시간30분후 77mg/L, 약 5.5 km인 서창교지점에서 8시간 후 55mg/L, 약 7.6km인 황룡강합류부지점에서 11시간30분후 44mg/L, 약 14km인 지석천합류부지점에서 16시간 후 33mg/L, 약 17.2 km인 나주수위표지점에서 16시간 30분후 33mg/L, 약 22km인 송월배수장지점에서 19시간30분후 33mg/L의 농도분포를 보이고 있다. 이를 최대오염농도도달시간을 회귀식으로 표현하면, $y = 7.8089\ln(x) - 4.938$, 결정계수는 0.9936 이다.

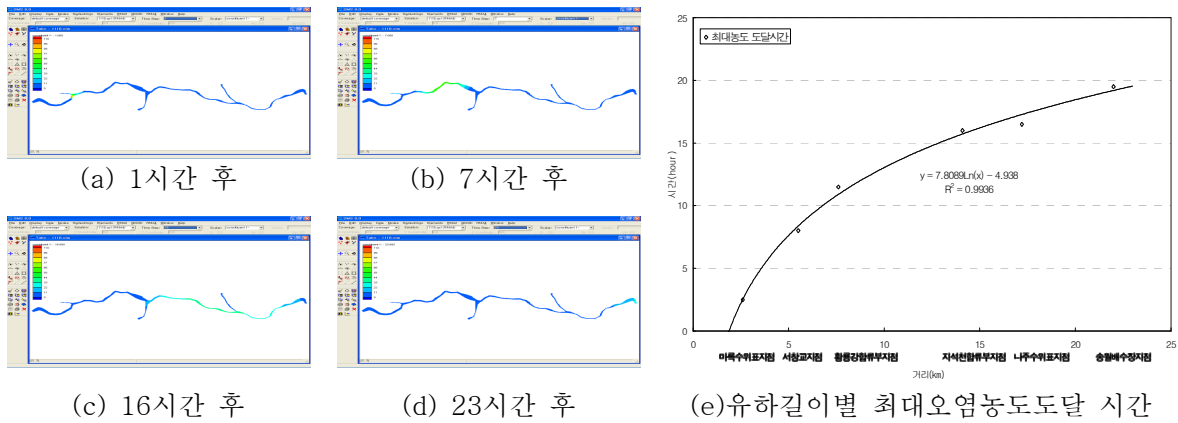


그림.3 시나리오 3에 대한 오염물질 거동양상 및 유하길이별 최대오염농도도달 시간

3.2.4 시나리오 4에 대한 분석

시나리오 4는 광주하수종말처리장의 방류구에서 유량 6.13cms, 유입 BOD 농도 110mg/L로 영산강에 24시간 동안 유입되는 경우로 시간별 오염물질의 거동양상은 그림 4의 (a)~(d)와 같으며, 유입시간에 대한 유하길이별 최대오염농도 도달시간은 그림 4의 (e)와 같다. 최대오염농도 도달시간은 약 2.6 km인 마루지점에서 6시간후 88mg/L, 약 5.5 km인 서창교지점에서 12시간 후 88mg/L, 약 7.6km인 황룡강합류부에서 17시간 후 88 mg/L, 약 14km인 지석천합류부지점에서 22시간 후 88mg/L, 약 17.2 km인 나주수위표지점에서 24시간 후 88 mg/L, 약 22km인 송월배수장지점에서 28시간 후 77mg/L의 농도분포를 보이고 있다. 이를 최대오염농도도달 시간을 회귀식으로 표현하면, $y = 9.9625\ln(x) - 4.0347$, 결정계수는 0.9839이다. 여기서 y는 시간(hour)을 나타내며, x는 거리(km)를 나타낸다.

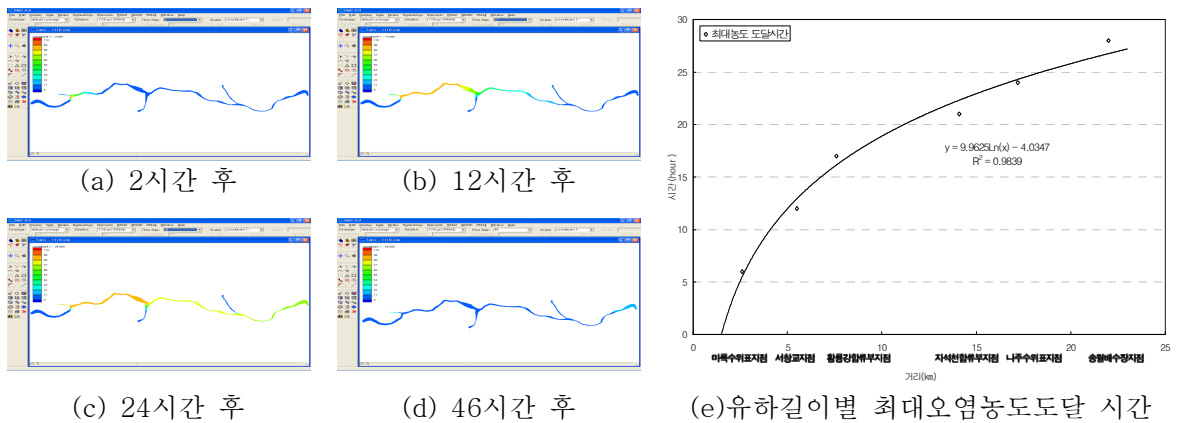


그림.4 시나리오 4에 대한 오염물질 거동양상 및 유하길이별 최대오염농도도달 시간

4. 결론

본 연구에서는 영산강 중류부의 오염물질의 확산특성을 분석하기 위하여 대상하천의 약 25km구간에 대하여 RMA4모형을 적용하였다. RMA4모형을 적용하기 위하여 오염물질 유입시간에 따라 4개의 시나리오를 작성하여 저수기의 유출량에 대한 오염물질의 거동특성과 유하길이별 최대오염농도 도달 시간을 해석하였다. 그 결과 마루지점은 상류 좌안에서 유입하는 하수종말처리장의 방류로 인하여 마루지점의 오염물질 농도 분포는 공간적으로 변화가 있으나 하류부로 갈수록 완전혼합으로 인하여 오염물질의 농도분포 차이가 감소하는 것을 알 수 있었고, 하수종말처리장에 의한 오염물질 유입시간이 길어질수록 최대오염농도가 증가하여 유입시간과 최대오염농도는 비례관계를 보였다. 또한 오염물질의 유하길이별 거동특성을 분석하면 광주하수종말처리장에서 황룡강 합류점까지는 수리적인 특성에 의해 오염원의 거동이 비교적 느린 반면, 황룡강 합류 후 부터는 오염원의 빠른 거동 양상을 보였다. 마지막으로 본 연구에서 제시한 회귀분석식은 오염사고에 대응하기 위한 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 판단되나, 본 연구에서는 하천의 구조물에 고려하지 않은 결과이나 보다 정확한 해석을 위해서는 하천의 구조물을 정밀하게 반영하여 그에 따른 영향을 고려한 해석이 필요한 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) 김용구, 박성천(2003), 진화알고리즘을 이용한 QUAL2E 모형의 반응계수 추정과 탐진강 수질예측, 대한상하수도학회지, 대한상하수도학회, 17권 5호, pp682~689.
- (2) 박성천, 강성후, 이관수(1998), 수질보전을 위한 영산강의 하천유지유량 결정, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회 18권 제II-1호, pp1~11.
- (3) 영산강 하천정비 기본계획, 건설교통부. 1998.12.
- (4) 한국하천일람, 건설교통부. 2002.12.
- (5) 국가 수자원관리 종합정보시스템(wamis.go.kr)
- (6) 고재형(2002). RMA-4 모형을 이용한 한강하류부의 오염물질 확산 특성 분석. 경기대학교 석사학위 논문.
- (7) 윤용남, 김중훈, 박무종(1994). “RMA-4에 의한 한강하류부에서의 오염물 확산이송 특성연구”, 대한토목학회 학술발표회 논문집(II), 대한토목학회, pp. 89-92.
- (8) 윤세의, 이종태, 한정석, 김정수(2000). “실험수로에서 식용색소를 이용한 종확산계수 측정”, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 744-749.
- (9) 박무종, 김중훈, 윤용남(1994). “RMA-4에 의한 한강 하류부에서의 오염물 확산이송 특성 연구”, 대한토목학회 학술발표회 논문집(II), 대한토목학회, pp. 89-92.
- (10) 서일원, 정태성 (1994). “자연하천에서의 종확산계수 추정식 개발”, 대한토목학회 학술발표회 논문집(II), 대한토목학회, pp. 101-104.
- (11) 정용태, 박원길 (2000). “RMA4 모형에 의한 동천하류부에서의 현탁물질확산 특성 연구”, 환경관리학회지 제6권 제3호, 환경관리학회, pp. 315-322.
- (12) 신동석, 류재근 (1999). “RMA 모형을 이용한 팔당호 수질의 예측(1)”, 한국물환경학회지 제15권 제1호, 한국물환경학회, pp. 99-105.