

2차원 이송-확산 모형을 이용한 취수장 유입 수질 예측

Water Quality Modeling for Intake Station by 2-dimensional Advection-Dispersion Model

김재동¹ · 김지훈² · 김영도^{3*} · 송창근⁴ · 서일원⁴

Kim, Jae Dong¹ · Kim, Ji Hoon² · Kim, Young Do^{3*} · Song, Chang Geun⁴ · Seo, Il Won⁴

1 (주)EPS엔지니어링, 2 K-water 연구원, 3 인제대학교 환경공학부(낙동강유역환경연구센터), 4 서울대학교 건설환경공학부
(2011년 3월 27일 접수 ; 2011년 9월 29일 수정 , 2011년 10월 4일 채택)

Abstract

In this study, the influences of pollutant from Dae-po Stream and So-gam Stream located at the downstream of Nak-dong River on the water quality at Mul-geum water intake station were analyzed using RAMS model. Field measurements of velocity by ADCP, and water quality distribution of BOD and TP by water sampling were carried out to present the input and verification data for numerical simulations. The comparison between RAM2 and ADCP measurement, which aimed for the analysis of 2-D velocity distribution around Mul-geum water intake station showed that two results matched well along the spanwise direction. The prediction of pollutant concentration by RAM4 agreed fairly well with the measured data except for the points nearby right banks in the vicinity of tributary pollutant source. Flushing effect by the increase of mainstream discharge in Nak-dong River was analyzed to provide the damage mitigation in preparation for the accidental water pollution. With increasing mainstream discharge, high velocity and increased water quantity induced increasing dilution effect, thereby decreasing the inflow pollutant concentration rapidly.

Key words : RAMS, RAM2, RAM4, water intake station, ADCP, flushing effect

주제어 : RAMS, RAM2, RAM4, 취수장, ADCP, 수세효과

1. 서론

국내의 경우 수자원의 60% 이상을 하천으로부터 취수하여 공급하므로 지속적이며 안정적인 수자원 확보를 위해서는 하천의 사행부와 지류 유입부에서의 혼합과정과 취수장으로 유입되는 오염물질의 농도 해석이 매우 중요하다. 특히 낙동강 하류부는 부산광역시와 경상남도의 주요한 상수원으로, 공단으로부터 방류된 폐수가 지류를 통해 낙동강

본류로 유입되므로 취수장에서 안전한 원수를 취수하기 위해서는 지천 오염부하량에 의한 이송확산 분석과 취수장으로 유입되는 농도를 2차원 수치해석을 통해 분석해야 한다. 그 동안 자연하천에서의 오염물질의 2차원 이송확산 해석에 가장 널리 사용된 모형은 미연방 도로국(U.S. Federal Highway Administration)과 Brigham Young 대학의 Environmental Modeling Research Laboratory (EMRL)에서 Norton 등(1973)에 의해 개발된 SMS

* Corresponding author Tel:+82-55-320-3252, E-mail: ydkim@inje.ac.kr(Kim, Y.)



그림 1 대포천에서 낙동강 본류로 유입되는 탁수

(Surface Water Modeling System)이다. SMS의 모형 중 RMA-4가 오염물질의 이송확산 해석에 이용되지만 이 모형은 유한요소법이 수리학 분야에 적용되기 시작한 1970년대 초반에 개발된 모형으로 수치적으로 안정적인 결과를 도출하지만 최신 수치기법을 반영하지 못하고, 만곡부에서 오염원의 확산거동을 왜곡하므로 실제 자연하천에서의 적용성 측면에서 많은 제약이 있었다. 또한 모의 영역 내부 절점에 유입되는 오염원이나 수질사고에 의한 순간 질량주입에 의한 혼합거동을 해석할 수 없고, 수질모의 인자가 보존성 오염물질과 감쇠계수로 반응성이 조절되는 비보존성 오염물질의 해석에 국한되므로, BOD-DO 연계모의, 수온모의, SS 모의 등에 있어서 많은 한계점을 가지고 있다. 따라서 이와 같은 제약점과 한계점을 극복하기 위해 순수 국내 기술로 개발되어 현재 상용화를 앞둔 RAMS(River Analysis and Modeling System)를 이용한 모의가 최근 활발하게 진행되고 있다. RAMS(서일원 등, 2010c)를 자연하천에 적용한 연구사례를 살펴보면 다음과 같다. 서일원과 송창근(2007)은 한강 본류구간에서 비보존성 오염물질의 확산거동에 대한 연구를 수행하였고, 서일원 등(2009b)은 팔당호 수계에서 발생할 수 있는 오염물질 유입사고에 따른 수질예측을 수행하였으며, 서일원 등(2008)은 한강 감조구간에서의 비정상 흐름조건에 따른 혼합거동에 대한 연구를 수행하였고, 서일원 등(2010a)은 일본의 Tone River에 RAMS 모형을 적용하고 항공사진 유속측정 결과와 비교검증을 수행하였으며, 서일원과 김성은(2010)은 낙동강 본류구간에 RAM2와 RAM4 모형을 적용하여 흐름해석과 부유사 거동모의를 수행한 바 있다.

본 연구에서는 지천오염원이 취수장 유입 수질에 미치는 영향을 RAMS 모형을 이용하여 해석함으로써 수질예보모형에 대한 RAMS 모형의 적용성을 검토하였다. 낙동강 하류에 위치한 물금취수장은 그림 1과 같이 맞은편 공단지역에 위치한 대포천과 소감천의 수질에 직접적인 영향을 받으므로 모형의 적용영역으로 선정하고, 수치모의를 위한 입력



그림 2 물금취수장 주변 위성사진

자료와 계산결과의 검증자료를 확보하기 위해 ADCP를 이용한 유속측정과 시료 채수를 통한 수질측정을 수행하였다. 또한 발생 가능한 수질사고에 대한 피해 저감대책을 마련하기 위해 낙동강 유량 증대에 따른 수세효과를 분석하였다.

2. 현장 실측

본 연구에서는 그림 2와 같이 낙동강 하류부에 위치한 대포천과 소감천으로부터 본류로 유입되는 오염부하량이 지천 반대측 좌안에 위치한 물금취수장에 미치는 영향을 분석하기 위해 그림 3과 같은 현장실측과 수치모델링을 수행하였다. 현장 실측은 수치모델링을 위한 입력자료와 검증자료를 제공하기 위해 실시하였으며, ADCP를 이용한 유속측정과 BOD 및 TP 수질측정을 위한 시료 채수에 관한 세부적인 내용은 다음과 같다.

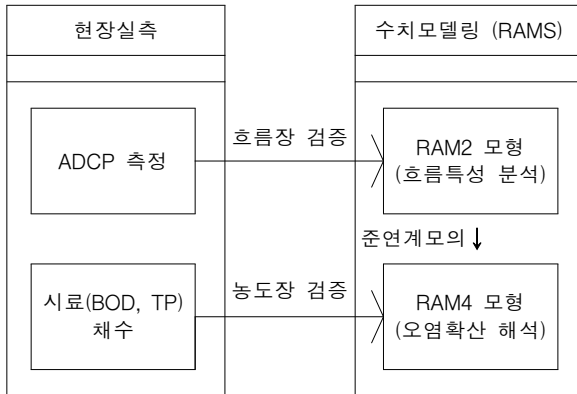


그림 3 취수장 유입수질 해석을 위한 현장 실측 및 수치모델링



그림 5 유속측정단면



그림 4 분류와 지류에서의 유속 측정

2.1 유속측정

낙동강 하류부에 위치한 물금취수장 부근에서의 유량 및 유속 측정을 위해 ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)가 장착된 RDInstrument사의 Q-boat를 사용하였으며, 지류에서의 유속측정은 Valeport 사의 프로펠러 유속계를 사용하였다(그림 4). 측정된 유속 및 유량은 2차원 흐름해석을 위한 입력자료와 검증자료로 이용하였다. 낙동강 본류의 유속 및 유량 측정은 홍수기인 2008년 8월에 그림 5와 같은 11개의 횡단면에서 수행되었으며, 그림 6에 ADCP 측정 결과를 도시하였다. 가로축은 우안으로부터 횡방향 거리이며, 세로축은 수심과 유속 측정 결과이다. 유량이 많고 유속이 비교적 높은 홍수기에 측정이 이루어졌으므로, 모의구간의 평균 수심은 약 6 m, 유속은 0.08~0.30 m/s의 범위를 나타냈다. 대상영역에 위치한 지천인 대포천과 소감천은 소하천으로 강우 발생 시 유량이 급격히 증가하여 본류로 유입되기 때문에 강우가 발생한 시점인 2008년 6월 20일, 28일과 7월 2일에 유량측정이 이루어졌다. 대포천의 유량은 교량에서 측정하였고, 소감천의 유량은 도섭법으로 측정하였다. 표 1에 측정일 별 관측된 유량 값을 수록하였다. 대포천의 유량이 소감천에 비해 높으며, 7월 2일에 측정된 유량은 비교적 큰 강우 이후에 측량이 이루어

표 1 지천유량 (단위: m³/s)

측정일자	대포천	소감천
08.06.20	1.23	0.56
08.06.28	1.69	0.63
08.07.02	11.85	1.50

저서 상대적으로 높은 유량이 나타났다. 표 1의 유량 중 6월 28일 측정값은 4.2절의 이송확산모의를 위한 지천 입력유량으로 이용하였으며, 측정일 별 3개의 유량값은 4.3절의 수세효과 분석에서 낙동강 본류 유량 변화에 따른 지천 유입유량으로 이용하였다.

2.2 수질측정

물금취수장 부근에서 수질의 2차원적 분포를 측정하기 위해 2008년 10월 23일에 그림 7과 같이 물금취수장의 2개의 취수구를 중심으로 상하류 방향 3개의 횡단측선 구간과 지천합류 구간에서 수질측정이 이루어졌다. 각 측선 별 4~5개의 지점을 선정하여 수질을 측정하였으며 횡단측선 구간을 배로 가로지르면서 총 16개의 지점에서 채수하였다. 채수된 시료는 수질공정시험법에 의해 분석하였으며, 수질분석 항목은 BOD와 TP로 하였다. 그림 8은 수질분석을 위한 시료채수 장면이며, 표 2는 수질분석 결과를 나타낸 것이다. 상류와 하류 구간의 평균값을 분석해보면 대포천과 소감천이 합류하기 전인 상류에서는 BOD, TP 값이 모두 낮은 것을 알 수 있으며, 중류와 하류에서 분석 농도 값이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 대포천(15)에서는 TP, 소감천(16)에서는 BOD 값이 다른 구간에 비해 상대

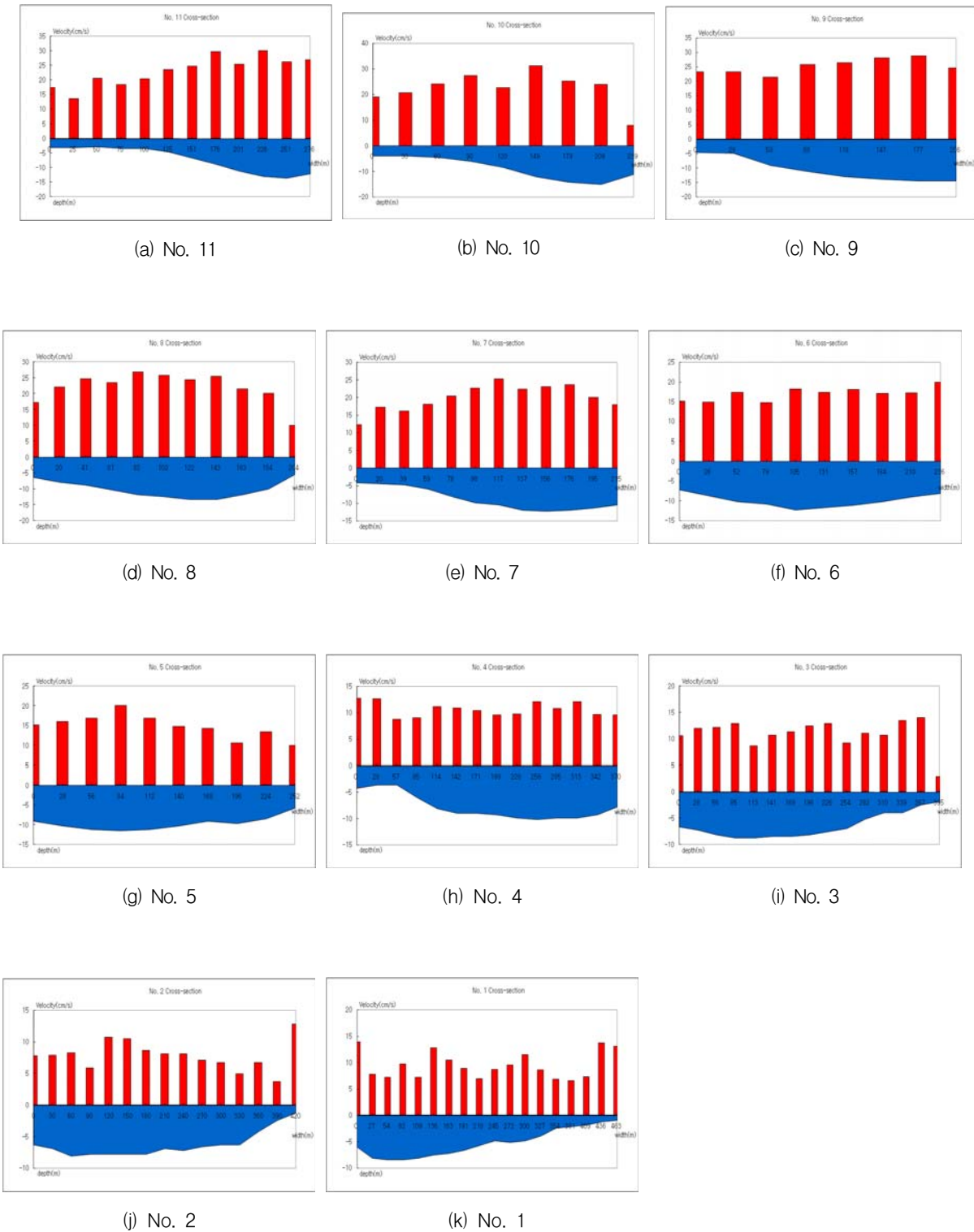


그림 6 ADCP를 이용한 낙동강 본류에서의 수심 및 유속 측정 결과

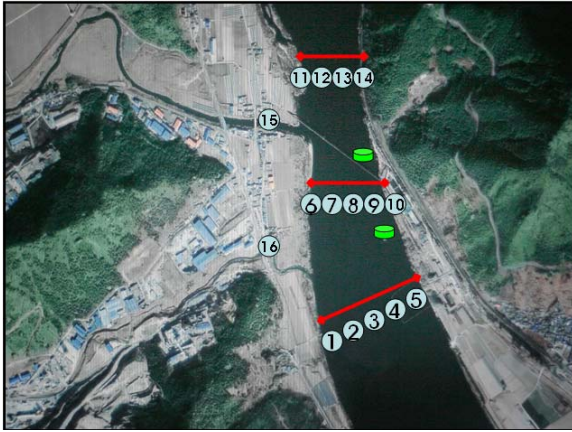


그림 7 시료채수구간



그림 8 BOD 및 TP 측정을 위한 시료채수

적으로 크게 나타나는데 강우 발생으로 인한 비점오염원의 유입으로 판단된다. 이러한 영향으로 강우 발생 시 소하천인 대포천과 소감천에서 급격한 유량증가로 낙동강 본류로의 유입이 이루어지고 대포천이 유입되는 지점부터 낙동강 본류 수질 농도 값들의 증가가 나타난 것으로 사료된다.

3. 수치모형

RAMS(서일원 등, 2010c)는 2001년부터 시작된 21세기 프론티어 연구개발사업 중 수자원의 지속적인 확보기술 개발사업의 세부과제인 '하천흐름 및 하상변동해석기술개발', 'RAMS 개발', 'RAMS 적용'의 연구를 통해 개발된 소프트웨어이다. RAMS는 복잡한 지형과 흐름 조건을 갖는 자연하천의 흐름, 오염물질의 이송·확산, 하상변동을 모의할 수 있는 SU/PG기법을 이용한 2차원 유한요소 수치해석 프로그램으로, 흐름해석 모형인 RAM2, 수질해석 모형인 RAM4, 하상변동해석 모형인 RAM6, 그래픽 사용자 환경의 전·후처리 모듈인 RAMS-GUI로 구성되어 있다. 본 연구에서는 RAMS 모형 중 자연하천에서의 흐름 및 수질해석모형인 RAM2와 RAM4를 낙동강 하류구간에 위치한 물금취수장 영역에 적용하여, 취수장 주변의 흐름특성을 분석

표 2 수질분석결과

No.	BOD (ppm)	TP (ppm)
1	2.68	0.31
2	2.60	0.40
3	2.32	0.33
4	2.22	0.39
5	3.10	0.32
6	1.24	0.44
7	3.82	0.36
8	0.98	0.31
9	1.76	0.31
10	2.3	0.37
11	0.74	0.32
12	0.72	0.31
13	2.32	0.38
14	1.70	0.31
Avg.(1,2,3,4,5)	2.58	0.35
Avg.(6,7,8,9,10)	2.02	0.36
Avg.(11,12,13,14)	1.37	0.33
15	1.88	0.80
16	5.18	0.40

하고, 지천유입 오염원의 분류에서의 이송확산해석을 수행하였다.

RAM2는 RAMS의 하천흐름 해석모듈로서, 3차원 Navier-Stokes 방정식을 시간적분과 수심적분 한 후, 정수압 가정과 천수흐름 가정에 의해 유도된 보존형 2차원 천수방정식을 지배방정식으로 한다. 식(1)은 질량보존방정식, 식(2)는 운동량보존방정식을 의미한다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} + \frac{gh^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial z_0}{\partial x} + gn^2 \frac{p(p^2 + q^2)^{1/2}}{h^{7/3}} = 0 \quad (2a)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} + \frac{gh^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial z_0}{\partial y} + gn^2 \frac{q(p^2 + q^2)^{1/2}}{h^{7/3}} = 0 \quad (2b)$$

여기서, p 와 q 는 각각 종횡방향 유속에 수심 h 를 곱한 값이며, n 은 조도계수, z_0 는 바닥하상고, g 는 중력가속도를 의

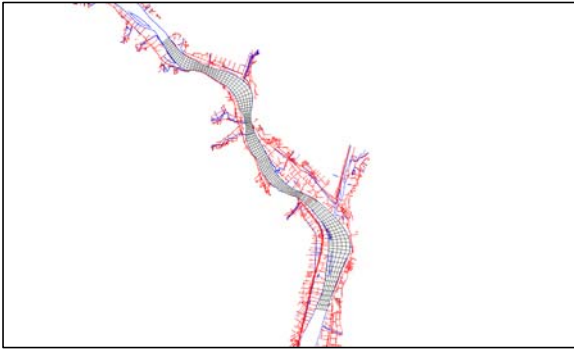


그림 9 모의영역 유한요소망

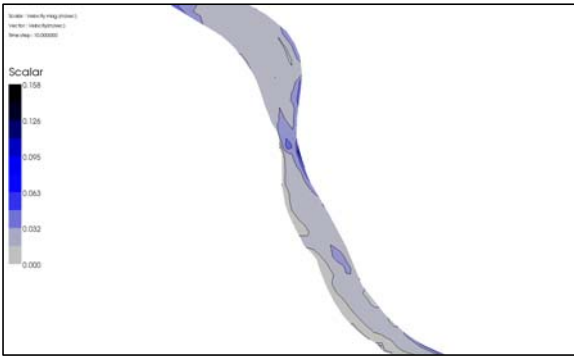


그림 10 등유속도

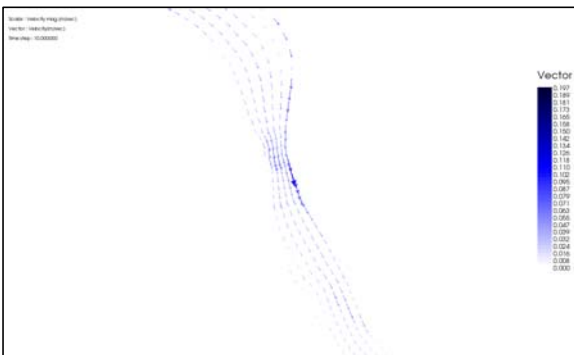


그림 11 유속벡터도

미한다. 삼각형 요소와 사각형 요소 및 혼합 요소와 2차 요소 등을 모두 포함하여 요소망을 구축할 수 있으며, SU/PG 기법을 이용한 유한요소모형을 통해 지배방정식을 이산화한다(최승용 등, 2009).

RAM4는 RAMS의 하천수질 해석모델로서, 비압축성 유체에서 물질의 3차원 이송확산 방정식을 수심 적분된 2차원 이송-분산 방정식을 지배방정식으로 사용하는 2차원

유한요소모형이다. 반응항과 생성·소멸항을 포함하는 RAM4의 지배방정식은 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(hC)}{\partial t} + \frac{\partial(huC)}{\partial x} + \frac{\partial(hvC)}{\partial y} \\ & - \frac{\partial}{\partial x} \left[h \left(D_{xx} \frac{\partial C}{\partial x} + D_{xy} \frac{\partial C}{\partial y} \right) \right] \\ & - \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(D_{yx} \frac{\partial C}{\partial x} + D_{yy} \frac{\partial C}{\partial y} \right) \right] - khC - Q = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 C 는 수심 적분된 농도로서 사용자가 구하고자 하는 값이다. u 와 v 는 수심적분된 유속, k 는 반응성 오염물질의 감쇠계수, Q 는 생성 또는 소멸 함수이다. D_{xx} , D_{xy} , D_{yx} 및 D_{yy} 는 분산텐서로 식 (4)와 같다(Seo 등, 2008).

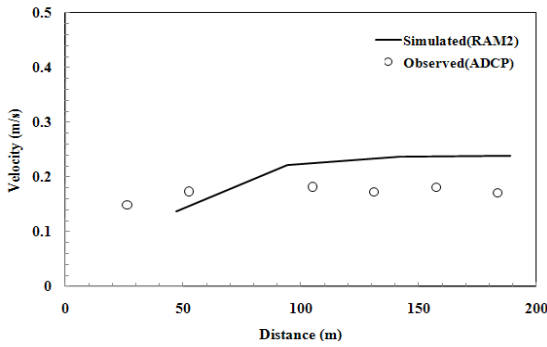
$$\begin{aligned} D_{xx} &= D_L \frac{u^2}{U^2} + D_T \frac{v^2}{U^2}, & D_{xy} &= D_{yx} = (D_L - D_T) \frac{uv}{U^2}, \\ D_{yy} &= D_T \frac{u^2}{U^2} + D_L \frac{v^2}{U^2} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 U 는 유속 벡터의 크기($\sqrt{u^2 + v^2}$), D_L 은 종분산계수, D_T 는 횡분산계수로 사용자에게 의해 입력된 값으로 정의된다. 분산텐서는 주흐름방향이 직교좌표계의 방향과 일치하지 않을 경우에 분산이 주흐름 방향을 따르도록 보정해주는 역할을 하게 된다. RAM4의 반응항과 생성 또는 소멸항을 이용하는 경우, 순간 유입된 오염물질의 모의(이명은과 서일원, 2008), 비보존성 오염물질의 모의(서일원과 송창근, 2007), BOD-DO 연계 모의(서일원 등, 2010b), 수온 모의(Seo et al., 2010), 부유사 모의(서일원 등, 2009a) 등을 수행할 수 있는 모형으로 확장이 가능하다.

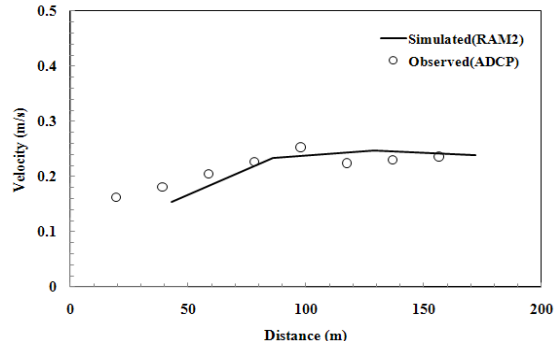
4 수치모의

4.1 취수장 주변의 흐름특성

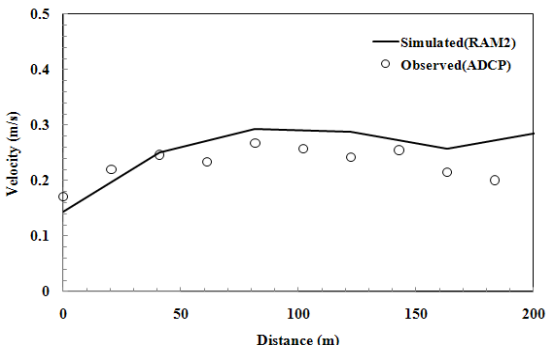
낙동강 하천기본계획(국토해양부, 2009)에 제시된 지형 자료를 바탕으로 그림 2와 같이 두 개의 지천(대포천, 소감천)과 물금취수장을 포함하는 구간을 RAMS 모형의 적용영역으로 선정하였다. 수치모의를 위한 유한요소망은 그림 9와 같이 590개의 선형 사각망요소와 714개의 절점으로 구성하였다. 상류단 경계조건은 낙동강 하구둑 방류량인 145 CMS를 입력하였고, 각 지천의 유입유량은 표 1에 제시된 08년 6월 28일에 프로펠러 유속계를 이용하여 실측된 유량값을 입력하였다. 하류단 수위 경계조건은 유량 및



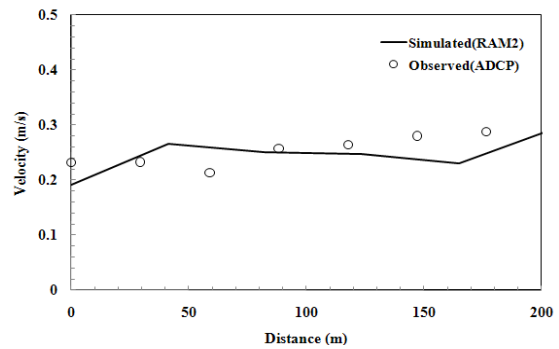
(a) 6번 단면



(b) 7번 단면



(c) 8번 단면



(d) 9번 단면

그림 12 RAM2와 ADCP 측정값 비교

표 3 이송확산모의를 위한 입력자료

유량(m ³ /s)		주입농도(mg/l)		기저농도(mg/l)		감쇠계수(day ⁻¹)		분산계수(m ² /s)	
		BOD	TP	BOD	TP	BOD	TP	D _L	D _T
낙동강본류	145.0	-	-	1.37	0.33	0.1	0.3	10.0	1.0
대포천	1.69	1.88	0.80						
소감천	0.63	5.18	0.40						

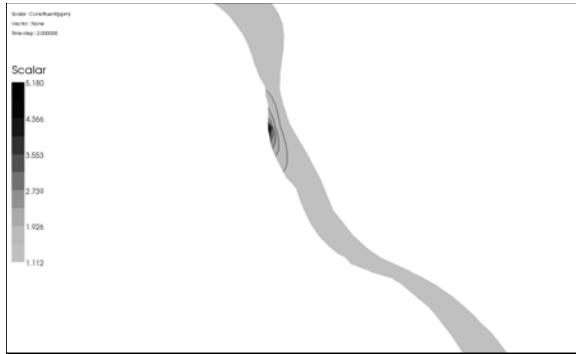
지형조건을 바탕으로 HEC-RAS 계산을 수행하여 얻어진 EL. 5.5 m를 사용하였다. 조도계수는 낙동강 하천기본계획(국토해양부, 2009)에 제시된 값인 0.025를 입력하였으며, 마름/젓음 처리기법으로는 Element Elimination & Renumbering 기법을 적용하였다. 그림 10과 11에 취수장 주변에서의 등유속도와 유속벡터도를 도시하였다. 만곡부 외측에서 유속이 커짐을 확인할 수 있으며, 특히 협착부의 좌안측에서 0.18 m/s 정도의 비교적 빠른 유속이 나타났다.

물금취수장 취수구 주위에서의 2차원적 유속분포를 분석하기 위해 그림 5의 취수장 주변 6, 7, 8, 9번 단면에서의 RAM2에 의한 수치모의 결과를 2008년 8월에 수행된

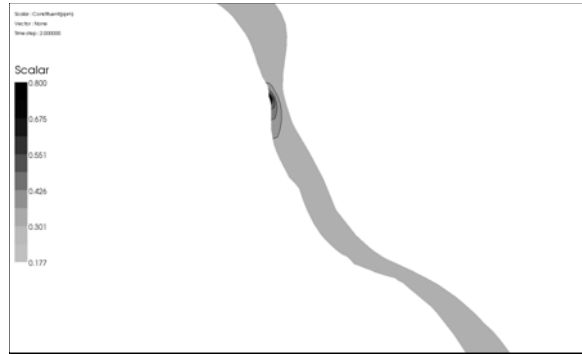
ADCP 유속 측정값과 비교하였다(그림 12). 7번과 8번 단면에서 횡단면을 따른 유속의 증감경향이 잘 일치하고 있으며, 9번 단면에서도 평균 유속이 근사함을 확인할 수 있다. 그러나 6번 단면은 물금취수장의 2개의 취수구 사이에 위치하여 유속의 교란이 심하게 발생하므로 실측값에 비해 RAM2에 의한 계산값이 약간 높게 나타났다.

4.2 지천 오염원에 의한 이송확산 모의

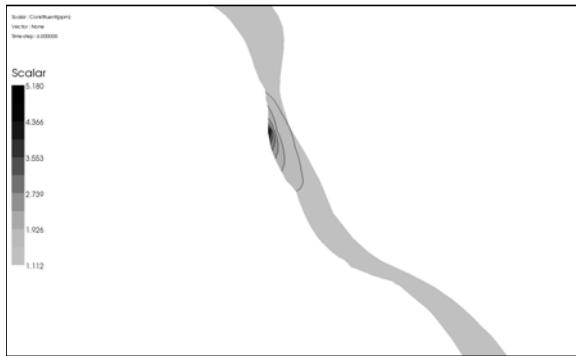
본 연구에서 적용한 흐름해석모형인 RAM2와 이송확산 해석모형인 RAM4는 그림 3과 같이 준연계(semi-coupled) 되어 있으므로, RAM2의 유속결과가 RAM4의



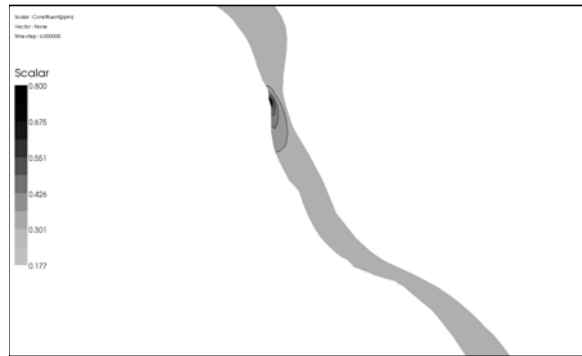
(a) 2hr



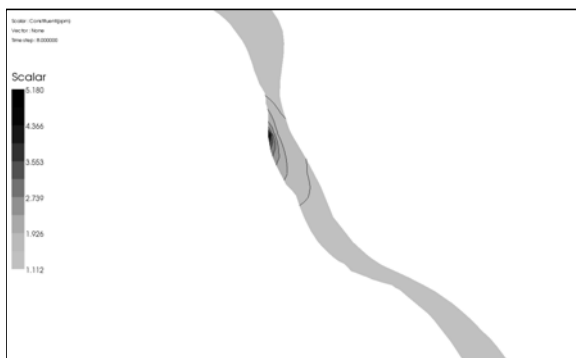
(a) 2hr



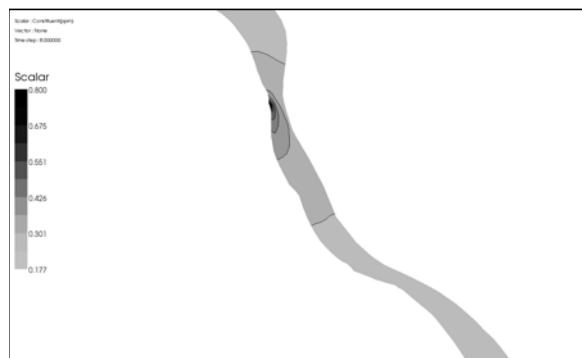
(b) 6hr



(b) 6hr



(c) 8hr



(c) 8hr

그림 13 시간에 따른 BOD 농도장

그림 14 시간에 따른 TP 농도장

흐름장으로 입력된다. 따라서, 그림 10~12에 제시된 유속장을 바탕으로 표 3의 모의조건을 입력하여 RAM4 모의를 수행하였다. 지천 유입농도는 표 2의 수질분석 자료 중 대포천(No. 15)과 소감천(No. 16)에서 실측한 값을 이용하였고, 기저농도는 현장 채수 시 최상류 단면에 해당하는 11~14번 구간의 평균값을 입력하였다. 분산계수의 경우, 국내 하천은 실측자료가 매우 부족하고, 국내 하천에 적합

한 경험식이 존재하지 않으므로, 기존 연구문헌을 참고(서일원 등, 2009b)하여, 국내 4대강 유역의 이송확산 모의 시 널리 이용되는 $D_L = 10 \text{ m}^2/\text{s}$ 와 $D_T = 1 \text{ m}^2/\text{s}$ 를 적용하였다.

그림 13과 14는 표 3의 모의조건에 의한 시간에 따른 BOD와 TP의 농도장을 나타낸 것이다. BOD와 TP의 확산 거동 모의 시 중형분산계수는 동일한 값을 입력하였고, 유

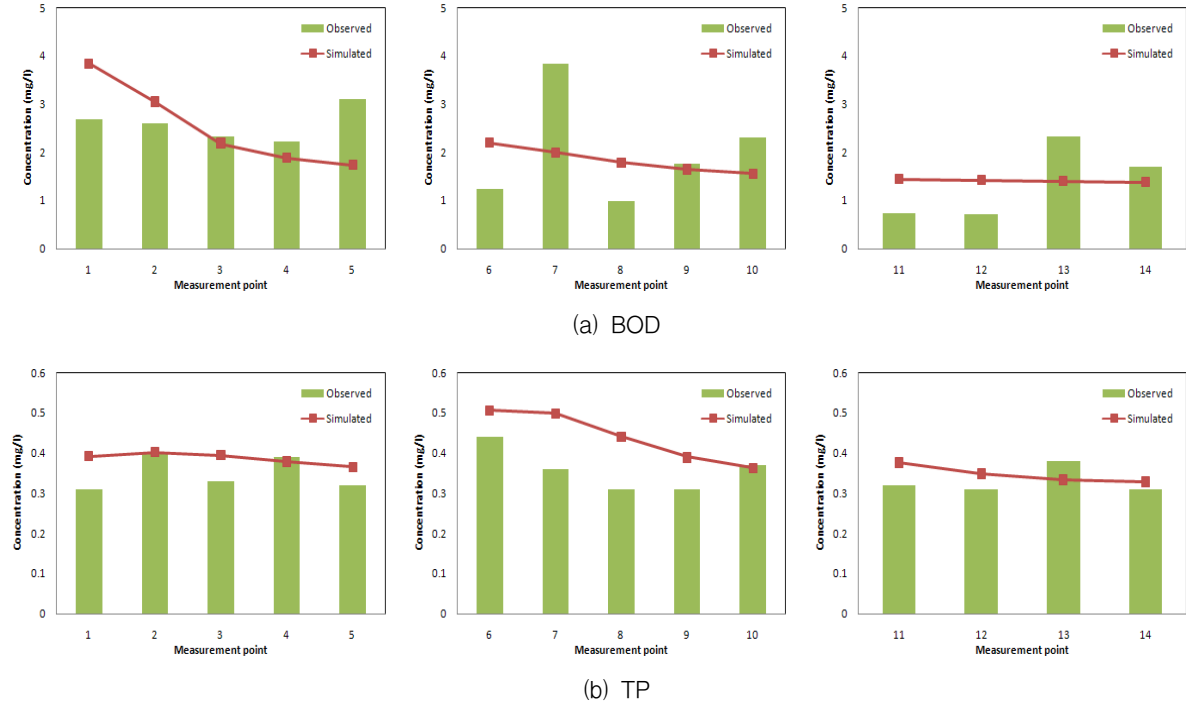


그림 15 수치모의 값과 실측 값 비교

표 4 수세효과 분석을 위한 수치모의 조건

시나리오	유량(m ³ /s)			폐놀유입량(ppm)	
	낙동강	대포천	소감천	대포천	소감천
QL	393.0	1.69	0.63	5.0	5.0
QM	1513.0	11.85	1.50		
QH	1617.0	1.23	0.56		

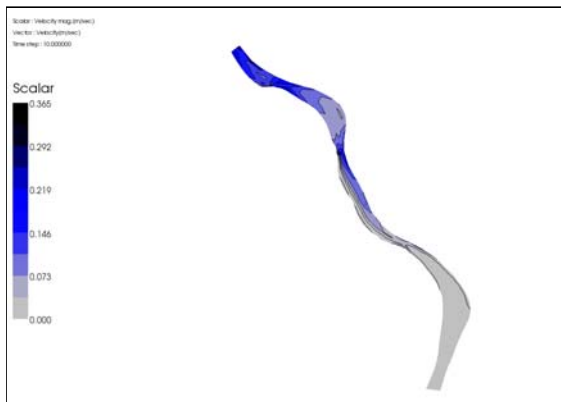
속장도 그림 10과 11에 주어진 동일한 흐름조건을 입력하였으나, 감쇠계수와 지천 유입 농도 및 기저농도가 다르므로, 오염원의 확산 양상이 매우 다르게 나타났다. BOD의 경우 시간이 흐름에 따라 하류방향으로의 확산이 두드러졌으나, TP의 경우 중방향 퍼짐현상이 넓게 나타났다. 그림 15는 그림 7에 표시된 지천을 제외한 14개 지점에서 RAM4의 계산값과 실측값을 비교한 것으로서 실측치와의 비교를 위하여 정상상태에 도달한 이후의 모의결과를 이용하였다. 수치모의값과 실측값이 평균적으로 일치하지만 1번, 6번 및 7번 측정점에서 큰 차이를 보였다. 1, 6, 7번 측정점은 지류 오염원에 매우 인접하여 우안측에 위치해 있으므로, 평균적 중방향 확산을 의미하는 표 3의 분산계수에 의해 오염확산을 모의하는데 한계가 있었다. 이 문제는 지류에 인접한 우안측 요소의 물성치를 변화시켜서 새로운 분

산계수를 입력하여 해결할 수 있을 것으로 판단되며, 다만 본 연구에서는 검보정에 사용할 실측자료의 제한으로 인하여 요소별 분산계수 입력 방법은 고려하지 않았다.

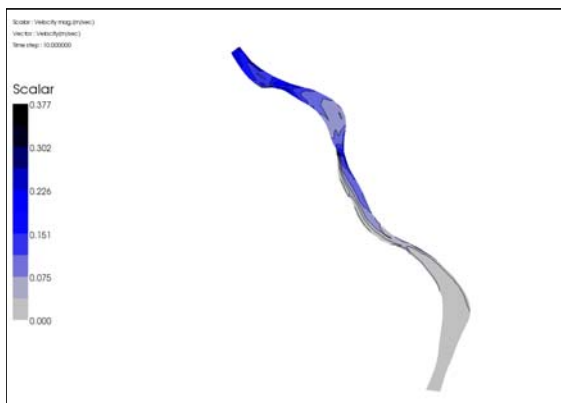
4.3 폐놀 수질사고 피해저감을 위한 수세효과 분석
물금취수장의 맞은편에 위치한 대포천과 소감천 주위에는 많은 공장들이 위치하고 있으므로 수질사고가 발생할 경우 지천을 통해 낙동강 본류로 유입된다. 본류로 유입된 오염물질은 물금취수장에서 취수되므로 이와 같은 수질사고에 대한 효과적인 대책을 마련하는 것은 매우 중요하다. 앞서 실측값과의 비교를 통해 흐름 및 수질모형의 검보정이 완료되었다고 간주하고, 대포천과 소감천 주변의 공장에서 사고로 인해 독성 오염물질이 유입될 경우를 가정하여 수치모의를 실시하였다. 표 4와 같이 지천인 대포천과 소감천으



(a) 393 m³/s



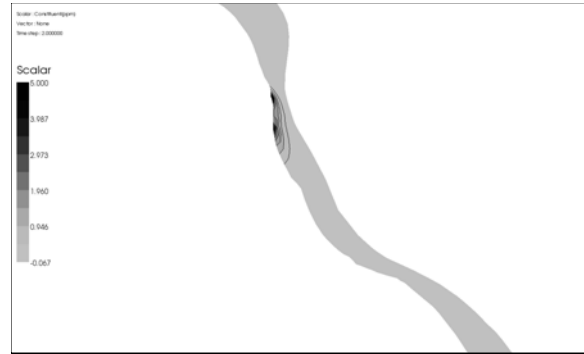
(b) 1513 m³/s



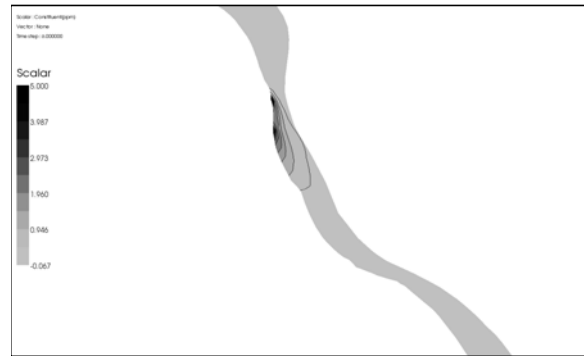
(c) 1617 m³/s

그림 16 유량 별 등유속도

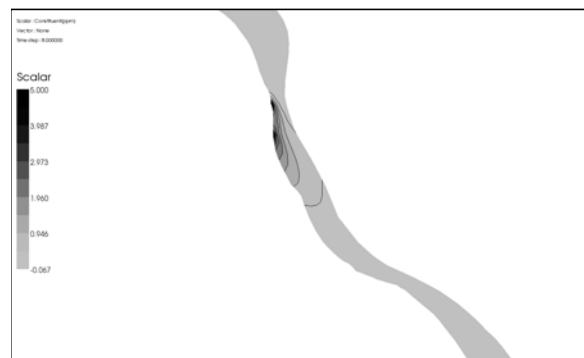
로부터 5 ppm의 페놀이 본류로 유입되는 경우, 낙동강 본류 유량에 따른 오염확산거동을 해석하기 위한 수질모의 시나리오를 구성하였다. 흐름모의를 위한 경계조건으로 낙동강 본류의 유량은 낙동강 하구둑 방류량을 기준으로 하였으



(a) 2hr



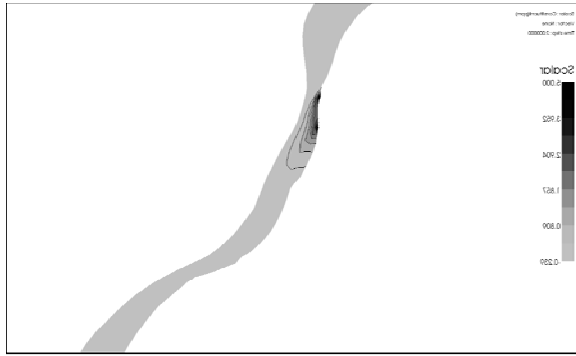
(b) 6hr



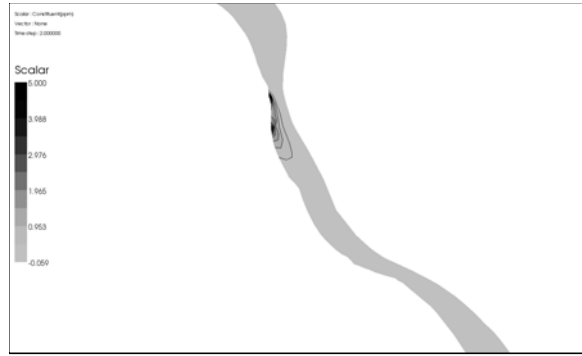
(c) 8hr

그림 17 시간에 따른 QL에 의한 농도장

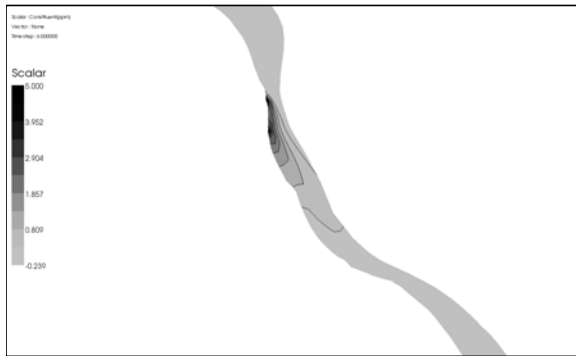
며, 대포천과 소감천의 유량은 표 1의 실측 유량자료를 입력하였다. 하류단 경계조건인 수위자료는 이를 바탕으로 HEC-RAS에서 계산된 결과를 입력하였다. 페놀의 감쇠계수는 0.134/day(Kumar 등, 2005; Arutchelvan 등, 2006)로 설정하였으며, 기저농도는 없는 것으로 간주하였다. 그림 16은 유량별 등유속도를 나타낸다. 유량이 증대될 수록 협착부와 만곡부 외측에서의 유속이 크게 증가하였으며, 물



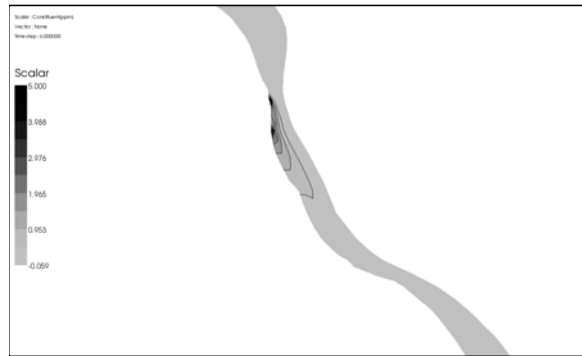
(a) 2hr



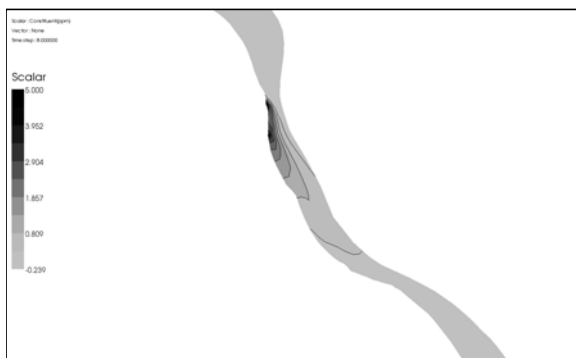
(a) 2hr



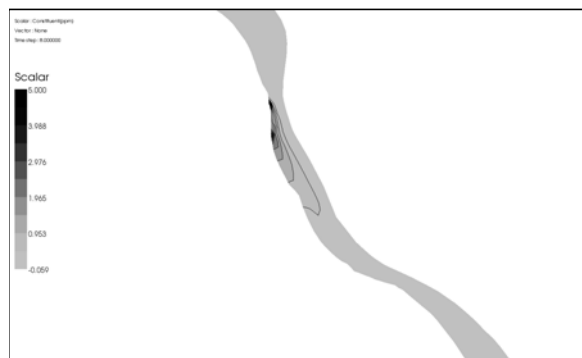
(b) 6hr



(b) 6hr



(c) 8hr



(c) 8hr

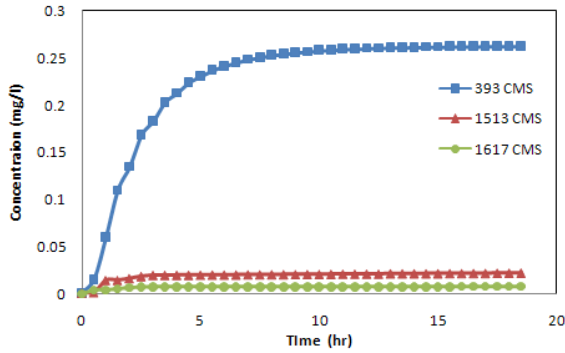
그림 18 시간에 따른 QM에 의한 농도장

그림 19 시간에 따른 QH에 의한 농도장

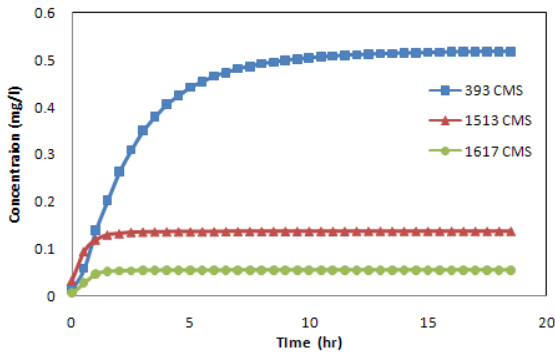
금취수장 부근에서 상하류 및 좌우안의 유속차이가 크게 발생하였다.

그림 17~19는 시간에 따른 표 4의 시나리오에 의한 농도장을 나타낸다. QL과 QM의 농도장을 비교해 보면, QM의 경우 상대적으로 높은 유속이 발생하여 QL에 비해 종방향으로 길게 오염원이 확산되었으며, 오염원 유입시점으로 부터 약 2시간 후 QM은 하폭방향으로 넓게 퍼져나가서 좌

안에 영향이 미치지 시작했으나, QL의 경우에는 하천의 중앙부위까지만 오염원이 도달하였다. QH의 경우 큰 유량에 의해 오염물질의 횡혼합이 완료되지 않고 우안에 치우쳐 하류로 퍼져나가므로 좌안에 위치한 물금취수장에 미치는 영향이 다른 시나리오에 비해 현저히 낮았다. 그림 20은 낙동강 본류 유량에 따른 물금취수장 1번 취수구와 2번 취수구로의 유입 농도를 나타낸 그래프이다. 본류 유량이 증가할



(a) 1번 취수구



(b) 2번 취수구

그림 20 수세효과에 의한 취수장 유입 농도 변화

수록 높은 유속과 증대된 수량에 의한 희석효과가 두드러지므로, 취수구로 유입되는 오염물질의 농도는 급격히 감소하였다. 분류 유량이 393 CMS에서 1,513 CMS로 3.85배 증가함에 따라, 1번 취수구로의 유입농도는 약 13배 감소하였으며, 2번 취수구로의 유입농도는 약 4배 감소하였다. 2번 취수구에는 대포천과 소감천으로부터 유입된 오염물질의 영향이 함께 작용하므로 1번 취수구에 비해 상대적으로 농도가 높게 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 지천오염원이 취수장 유입 수질에 미치는 영향을 2차원 이송확산모형을 이용하여 해석하기 위해, 낙동강 하류부에 위치한 대포천과 소감천으로부터 본류로 유입되는 오염부하량이 물금취수장에 미치는 영향을 RAMS 모형을 이용하여 분석하였다. RAM2를 이용한 취수장 주변의 흐름특성 해석과 RAM4를 이용한 지천 오염원에 의한 이송확산 모의를 위한 입력자료와 검증자료를 확보하기 위

해 현장실측을 수행하였다. 낙동강 본류에서는 물금취수장 부근 11개의 횡단면에서 ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)가 장착된 RDInstrument사의 Q-boat를 사용하여 유속 및 수심을 측정하였으며, 지류에서의 유속측정은 Valeport 사의 프로펠러 유속계를 사용하였다. 또한 물금취수장의 2개의 취수구를 중심으로 상하류 방향 3개의 횡단측선 16개의 지점에서 시료를 채수하여 BOD와 TP의 수질을 측정하였다.

물금취수장 취수구 주위에서의 2차원적 유속분포를 분석하기 위해 RAM2에 의한 수치모의 결과를 ADCP 유속 측정값과 비교한 결과 횡단면을 따른 유속의 증감경향이 잘 일치하였으나, 물금취수장의 2개의 취수구 사이에서는 유속의 교란이 심하게 발생하여, 실측값에 비해 RAM2에 의한 계산값이 약간 높게 나타났다. RAM4에 의한 취수장 주변의 농도분포와 실측값을 비교한 결과 지류 오염원에 매우 인접하여 우안측에 위치해 있는 측정점을 제외하고는 평균적으로 잘 일치하였다.

또한 발생 가능한 수질사고에 대한 피해 저감대책을 마련하기 위해 낙동강 유량 증대에 따른 수세효과를 분석하였다. 분류 유량이 증가할수록 높은 유속과 증대된 수량에 의한 희석효과가 두드러지므로, 취수구로 유입되는 오염물질의 농도는 급격히 감소하여 분류 유량이 3.85배 증가함에 따라, 1번 취수구로의 유입농도는 약 13배 감소하였으며, 2번 취수구로의 유입농도는 약 4배 감소하였다.

감사의 글

본 논문은 2006년도 인제대학교 학술연구조성비 보조에 의한 것이며, 이에 감사드립니다. 또한 본 연구에서 사용한 RAMS 모형은 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 2-3-3; 과제명: RAMS 적용)에 의해 개발된 것임을 알려드립니다.

참고문헌

- 국토해양부 (2009) 낙동강수계 하천기본계획(변경) 보고서.
- 서일원, 김성은 (2010) RAMS 및 SMS 모형을 이용한 낙동강 본류 구간의 흐름분석 및 부유사 거동 모의, 2010 한국방재학회 학술발표회 논문집, pp.316-319.
- 서일원, 김성은, Yasuhisa M., Tadaharu I. (2010a) 항공사진 유속분석 자료를 이용한 1차원 및 2차원 하천흐름 해석모형의 검증, 제36회 대한토목학회 정기학술대회 발표논문 초록집, p.123.

- 서일원, 송창근 (2007) 2차원 이송분산모형을 이용한 한강 분류 구간에서의 BOD 거동 모의, 대한토목학회논문집, 27(6B), pp.573-581.
- 서일원, 송창근, 이명은 (2008) 한강 감조구간에서의 흐름 및 혼합 거동, 대한토목학회논문집, 28(6B), pp.731-741.
- 서일원, 전인옥, 송창근, 신재현 (2009a) 2차원 하천해석모형을 (RAMS)을 이용한 남한강 준설에 따른 부유사 영향 검토, 제35회 대한토목학회 정기학술대회 논문집, pp.737-740.
- 서일원, 최남정, 전인옥, 송창근 (2009b) 팔당호에 유입된 비보존성 오염물질의 혼합거동, 대한토목학회논문집, 29(3B), pp.221-230.
- 서일원, 최황정, 김성은 (2010b) BOD와 DO 거동 해석을 위한 수평 2차원 유한요소모형의 개발 및 검증, 2010 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp.749-753.
- 서일원, 한건연, 최성욱, 김홍식 (2010c) 지표수 거동해석을 위한 RAMS의 사용자 설명서 및 튜토리얼, SWRRC TR 2010-16.
- 이명은, 서일원 (2008) 순간 유입된 오염물질의 혼합 모의 시 질량 오차 산정, 대한토목학회논문집, 28(5B), pp.475-483.
- 최승용, 김병현, 김상호, 한건연 (2009) 2차 요소를 이용한 2차원 상향가중 유한요소모형, 한국수자원학회논문집, 42(12), pp.1053-1067.
- Arutchelvan, V., Kanakasabai, V., Elangovan, R., Nagarajan, S., and Muralikrishnan, V. (2006) Kinetics of High Strength Phenol Degradation Using *Bacillus Brevis*, *Journal of Hazardous Materials*, B129, pp.216-222.
- Kumar, A., Kumar, S., and Kumar, S. (2005) Biodegradation Kinetics of Phenol and Catechol Using *Pseudomonas Putida* MTCC 1194, *Biochemical Engineering Journal*, 22, pp.151-159.
- Norton, W. R., King, I. P., and Orlob, G. T. (1973) A Finite Element Model for Lower Granite Reservoir, U.S. Army Corps of Engineers, Walla Walla District, Walla Walla, Washington.
- Seo, I. W., Choi, H. J., and Song, C. G. (2010) Two-dimensional Finite Element Model for Analysis of Heat Transport in Rivers, *The 6th ISEH 2010*, pp.277-282.
- Seo, I. W., Lee, M. E., and Baek, K. O. (2008) 2D Modeling of Heterogeneous Dispersion in Meandering Channels, *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(2), pp.196-204.