

해수유입과 강우유출 영향에 따른 용원수로의 염분도 변화 예측 Prediction of Salinity Changes for Seawater Inflow and Rainfall Runoff in Yongwon Channel

추 민 호* / 김 영 도** / 정 원 무***

Choo, Min Ho / Kim, Young Do / Jeong, Weon Mu

Abstract

In this study, EFDC (Environmental Fluid Dynamics Code) model was used to simulate the salinity distribution for sea water inflow and rainfall runoff. The flowrate was given to the boundary conditions, which can be calculated by areal-specific flowrate method from the measured flowrate of the representative outfall. The boundary condition of the water elevation can be obtained from the hourly tidal elevation. The flowrate from the outfall can be calculated using the condition of the 245 mm rainfall. The simulation results showed that at Sites 1~2 and the Mangsan island (Site 4) the salinity becomes 0 ppt after the rainfall. However, the salinity is 30 ppt when there is no rainfall. Time series of the salinity changes were compared with the measured data from January 1 to December 31, 2010 at the four sites (Site 2~5) of Yongwon channel. Lower salinities are shown at the inner sites of Yongwon channel (Site 1~4) and the sites of Songjeong river (Site 7~8). The intensive investigation near the Mangsan island showed that the changes of salinity were 21.9~28.8 ppt after the rainfall of 17 mm and those of the salinity were 2.33~8.05 ppt after the cumulative rainfall of 160.5 mm. This means that the sea water circulation is blocked in Yongwon channel, and the salinity becomes lower rapidly after the heavy rain.

Keywords : sea water inflow, rainfall runoff, salinity, EFDC, outfall

요 지

본 연구에서는 해수유입과 강우유출에 따른 용원수로 내의 염분도 분포를 모의하기 위해 EFDC (Environmental Fluid Dynamics Code) 모형을 이용하였다. 유량경계조건은 대표 방류구에서 유출되는 양을 모니터링하여 면적비 유량법으로 산정하였으며, 수위경계조건으로는 시간별 조위 값을 입력하였다. 강우량에 따른 염분도 모의 결과는 일 강우량 245 mm의 유출조건을 반영하였으며, 그 결과 Site 1~2 지점과 망산도 부근 방류구가 위치한 곳에서는 염분도가 0 ppt에 가까운 수치가 나타났으며, 반면 비강우시에는 30 ppt가 넘는 것으로 나타났다. 용원수로 내측지점(Site 2~5)에서의 2010년 1월 1일~12월 31일까지의 염분도 시계열 변화 모의결과와 월별 실측값을 비교하여 나타내었다. 용원수로의 지점별 염분도를 분석한 결과, 내측지점(Site 1~4)과 송정천지점(Site 7~8)에서 염분도가 낮게 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로 망산도 부근 염분도를 집중적으로 조사한 결과, 1차 조사결과 누적강우량은 17 mm로 염분도 농도는 21.9~28.8 ppt로 측정되었으며, 2차 조사결과 누적강우

* 인제대학교 환경공학과 석사과정 (e-mail: minilater@natel.com)

Department of Environmental Engineering, Inje University, Gyeongnam 621-749, Korea

** 교신저자, 인제대학교 환경공학과(낙동강유역환경연구소) 조교수 (e-mail: ydkim@inje.ac.kr, Tel: 055-320-3252)

Corresponding author, Assistant Prof., Department of Environmental Engineering, Inje University, Gyeongnam 621-749, Korea.

*** 한국해양과학기술원 연안개발에너지연구부 (e-mail: wmjeong@kiost.ac)

Korea Institute of Ocean Science & Technology, Gyeonggi 426-744, Korea

량은 160.5 mm로 염분도 농도는 2.33~8.05 ppt로 나타났다. 결과적으로 용원수로에서는 해수의 순환이 원활하게 이루어지지 않으므로, 이로 인하여 염분도의 차이가 크게 나타났으며 특히 강우시에는 염분도가 급격히 낮아지는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 해수유입, 강우유출, 염분도, EFDC, 방류구

1. 서 론

가덕도 주변 해역은 낙동강 하천수의 영향을 많이 받는 하구 환경을 가지는 동시에 가덕도 북쪽 연안의 부산 신항만 개발, 가덕도와 거제도를 잇는 거가대교 건설, 그리고 주변 지역의 개발 등으로 해양환경에 대한 외해 영향이 커지고 있는 실정이다. 부산 신항만 해역은 장기적인 개발계획에 따라서 인공적인 해양구조물 및 시설물로 인해 해안선 지형 및 단면 변화가 발생하고 이로 인해 수역의 해수순환이 점진적으로 변화하는 지역이다. 2010년 부산 신항만은 개발 단계로서 자연 해안을 매립하여 접안시설로 이용하고 외해로부터 입사하는 파랑을 막기 위해 방파제 등을 축조함으로써 인근 해역의 해수유동 변화 및 퇴적환경의 변화, 항만공사 중 또는 완공 후 오염물질 확산 양상의 변화가 예상된다(Kim, 2011). 진해 용원해역은 부산신항 개발사업의 일환으로 추진된 북컨테이너부두 조성사업 및 항만 배후단지 조성사업으로 전면 해역이 매립되어 원활한 해수흐름이 차단되고 송정천 하구 지점의 견마도 북쪽 통로를 이용한 선박이동만이 가능한 좁고 긴 수로형태로 변형되었다. 용원수로의 평균 너비는 약 100 m 정도이며, 길이는 3,600 m 정도로 세장비가 아주 큰 수로에 해당한다. 따라서 용원수로에 유입되는 오염물질은 수로에 체류되어 서서히 확산되는 양상을 보일 것으로 판단된다(Cho et al., 2008). 부산 신항 개발공사와 더불어 용원수로의 수질변화를 통해 2002년 이후 용원입구 1개 지점과 용원수로 내해 2개 지점을 포함한 3개 지점에서 지속적으로 관측되어 왔다(BRMAPO, 2007; BRMAPO, 2008).

한편 진해 용원수로의 환경악화 문제로 수로 내에 우수로가 설치됨에 따라 바닷물의 염도가 낮아지고 물이 제대로 순환되지 않아 집수정에서 수로의 바닷물을 끌어다 사용하는 데 있어 어려움이 있다. 우수로를 통한 빗물이 유입됨으로 인하여 수족관의 염분이 낮아져 어류에 영향을 미치며, 대량의 담수는 급격한 염분농도의 저하를 초래하고, 그러한 변화는 서식하는 생물들의 서식환경을 파괴하는 결과로 나타나기도 한다(Lee et al., 2011). 이러한 문제와 관련하여 지속적으로 민원이 제기되고 있는 상황에서,

진해 용원수로의 정량적인 환경변화 양상 분석결과 없이는 명확한 답변 또는 효과적인 환경개선 대책수립이 곤란하므로 현황 분석차원에서 용원수로의 환경변화에 대한 객관적이고 정량적인 분석 결과를 필요로 하고 있다.

우리나라에서는 염분도와 관련하여 하구와 해수의 모형으로도 연구되고 있으며, 그 예로 EFDC 모형을 이용한 담수화호의 염분분포모의(Jung et al., 2010), 경인운하 수로에서 해수유입에 의한 염분농도의 변화(Lee et al., 1998), 해수교환에 따른 영산강 하구역 염분 확산 영향 범위 수치 실험(Park et al., 2006), EFDC 모형을 이용한 낙동강 하구둑 염수침입방지 기능 평가(Son et al., 2009), EFDC 모형을 이용한 새만금호 내 해수유통량에 따른 오염물질 혼합 변화 모의(Jung et al., 2009), 홍수기 하구로 유입된 담수로 인한 만에서의 염분분포 변화에 관한 연구(Lee et al., 2011) 등의 예를 찾아 볼 수 있다.

본 연구에서는 강우 유출시 용원수로 내 해수유입의 영향을 파악하기 위해 현장조사 자료를 충분히 활용한 지점별 염분도 조사, 집수정 염분도 조사 및 망산도 내에서의 집중 염분도를 조사 및 분석을 실시하였으며, EFDC 모델로 분석한 자료를 바탕으로 다각적인 분석을 수행하여 보다 객관적이고 신뢰할 수 있는 결과를 제시하여 향후 용원수로 내의 환경개선을 위한 자료로 활용하고자 한다.

2. 현장조사

2.1 조사지점 및 방법

용원수로 조사지점의 위치는 Fig. 1과 같다. 용원수로는 12개 지점으로 수로 내해로부터 외해까지 지점별 번호를 선정하여 용원수로 내해지점(Site 1~Site 6), 송정천 2개 지점(Site 7~Site 8), 외해지점(Site 9~Site 12)에서 샘플을 채취하였으며, 내해지점인 Site 2~Site 3에서의 집수정 총 8개 지점에 대해서 조사를 실시하였다. 용원수로 지점별 염분도 조사와 집수정 염분도 조사는 2011년 9월~2012년 6월까지 총 11회 조사하였으며, 측정장비는 conductivity meter (YSI 85)를 이용하였으며, 현장에서 직접 측정하였다.

2.2 지점별 염분도 조사 결과 및 분석

용원수로의 지점별 염분도를 분석하기 위하여 2011년 9월~2012년 6월까지 총 11회 측정된 값을 평균으로 계산하여 Table 1에 나타내었다. 지점별 염분도 조사결과 내해지점(Site 1~Site 4)에서는 염분도가 낮게 나타났으며, 송정천지점(Site 7~Site 8)에서도 염분도가 낮게 나타났다. 이러한 원인으로 해수유통의 순환이 제대로 이루어지지 않은 것과 강우시 빗물이 방류구로 유출됨으로 인하여 염분도가 낮아지는 것으로 판단된다. Fig. 2는 지점별 염분도 분석을 나타낸 것이다.

2.3 집수정 염분도 조사결과 및 분석

용원수로 내 지점별 Site 2~Site 3 사이에 위치해 있는 집수정 총 6개 지점의 염분도를 분석하기 위하여 2011년 9월~2012년 6월까지 총 11회 측정된 값을 Table 2에 나타내었다. 집수정에서의 염분도 조사는 만조시 측정하였으며, 그 결과 용원수로 내측지점인 C.W-1지점이 다른 지점들보다 염분도가 낮아지는 결과가 나왔으며, 이러한 원인으로 해수유입이 원활하지 못한 것으로 판단된다.



Fig. 1. Salinity Survey Point in Yongwon Channel

Table 1. Average of Salinity in Yongwon Channel

Site	2011 (ppt)				2012 (ppt)								Average
	09.20	10.26	11.29	12.22	01.26	02.24	03.23	04.09	05.02	05.10	06.28		
1	20.2	26.1	27.7	27.7	28.7	30.6	28.1	27.5	12.9	25.1	23.6	26.5	
2	25.0	26.3	25.5	28.1	29.3	30.6	29.4	30.2	15.5	26.8	27.0	27.8	
3	26.9	28.2	29.5	30.4	30.9	31.3	29.7	30.1	19.7	27.6	28.6	29.3	
4	28.1	28.4	19.4	28.6	30.1	31.7	30.0	30.3	21.7	22.4	28.4	27.7	
5	28.8	29.6	30.3	31.3	31.8	32.3	30.0	29.7	22.5	27.6	30.5	30.2	
6	29.1	30.3	31.5	32.1	32.3	32.6	30.9	31.2	18.3	30.9	32.6	31.3	
7	22.3	28.2	20.1	29.8	30.6	31.4	30.1	30.7	10.6	25.8	29.0	27.8	
8	29.2	28.6	22.0	28.8	30.2	31.6	31.1	30.9	8.4	23.6	32.7	28.9	
9	29.1	30.3	31.5	32.2	32.5	32.8	30.9	31.3	20.3	30.7	32.6	31.4	
10	29.4	30.8	32.2	32.7	33.0	33.2	31.4	31.4	29.9	31.6	32.8	31.8	
11	28.9	31.1	33.2	33.0	32.9	32.8	31.9	32.8	32.8	29.7	32.7	31.9	
12	32.7	32.5	32.3	32.6	32.8	32.9	33.4	33.1	33.2	33.2	32.8	32.8	
Average	27.5	29.2	27.9	30.6	31.3	32.0	30.6	30.8	20.5	27.9	30.3	29.8	

2.4 망산도 내 염분도 조사결과 및 분석

용원수로 내 강우량에 의한 염분도를 집중적으로 조사하기 위해 망산도 부근으로 선정하여 집중적으로 조사하였다. 조사방법으로는 망산도 부근에 총 48개를 지점에 대해 누적강우량 조사를 2회 실시하였으며, 측정장비는 conductivity meter (YSI 85)를 이용하였으며, 현장에서 직접 측정하였다.

1차 집중 염분도 조사일시는 2012년 6월 16일이며 누적강우량이 17.0mm이고, 만조 시기일 때 측정하였다. 그 결과를 Table 3에 나타냈으며, 방류구가 위치하고 있는

부분과 해수순환이 잘 되지 않는 부분에서 염분도가 낮게 나타났으며, 염분도가 높게 나타난 부분은 해수순환이 잘 되거나, 방류구의 영향이 적은 곳으로 나타났다. 2차 집중 염분도 조사는 조사일시는 2012년 7월 12일이며, 누적강우량이 160.5mm로 1년 중 큰 강우량이라고 포함되는 강우이다. 그 결과를 Table 4에 나타냈으며, 방류구가 위치하고 있는 부분과 육지와 가까운 부분은 염분도가 낮게 나타났다.

1차 집중 염분도 결과 염분도가 높게 측정될 때에는 28.8 ppt로 나타났으며, 낮게 측정되었을 때에는 21.9 ppt로 나타났다. 2차 집중 염분도 결과 누적강우량이 커 염분

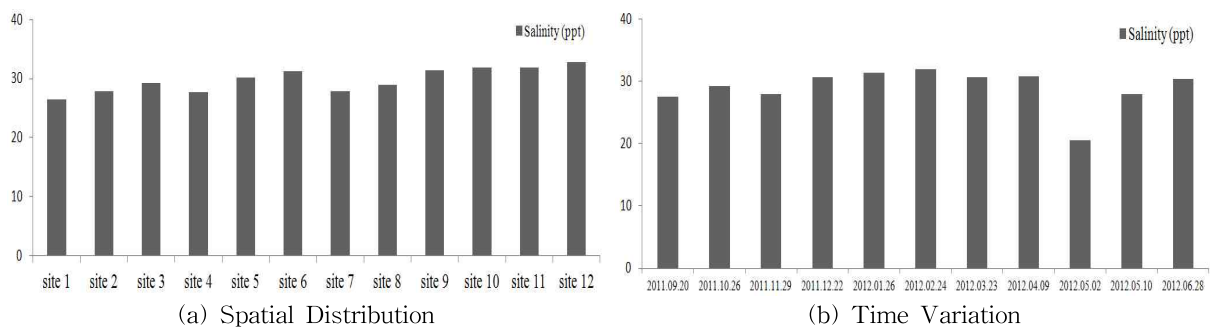


Fig. 2. Analysis of Salinity in Yongwon Channel

Table 2. Results of Collecting Well Salinity

Collecting Well	2011 (ppt)					2012 (ppt)					
	09.20	10.26	11.23	11.29	12.22	01.26	02.24	03.23	04.09	05.10	06.28
C.W-1	26.8	15.1	22.5	18.8	25.0	32.0	30.8	28.3	30.0	26.3	28.3
C.W-2	22.4	22.6	25.2	22.4	27.3	30.3	30.5	29.5	30.7	27.7	28.1
C.W-3	27.6	24.5	25.3	22.6	28.6	30.9	30.1	28.8	29.2	27.1	29.8
C.W-4	30.9	28.0	26.6	26.1	29.4	31.5	30.9	28.9	30.3	27.7	29.7
C.W-5	25.8	28.2	26.3	27.2	28.7	32.5	31.2	30.1	30.6	27.5	28.4
C.W-6	23.6	29.1	28.8	28.4	29.6	31.7	30.9	31.1	30.5	31.2	30.5

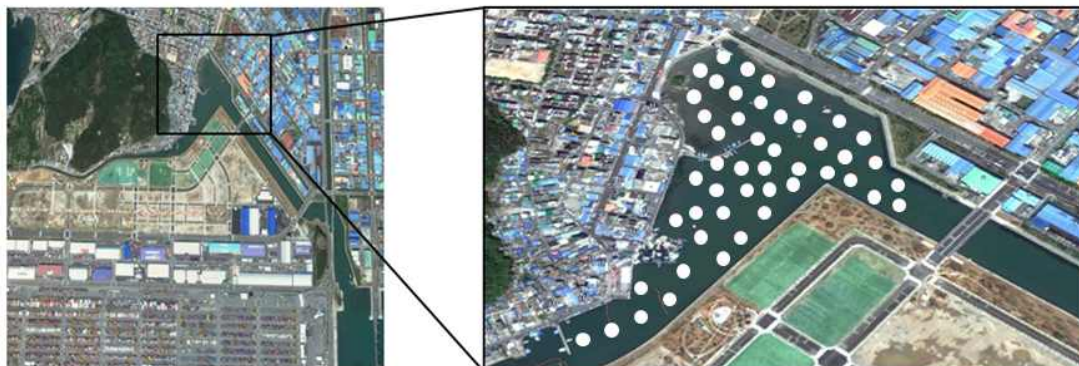


Fig. 3. Salinity Investigation Region and Points

Table 3. Results of 1st Field Survey

Number	Salinity (ppt)	Number	Salinity (ppt)	Number	Salinity (ppt)	Number	Salinity (ppt)
1	25.0	13	24.8	25	26.1	37	27.1
2	28.3	14	24.9	26	26.5	38	26.4
3	25.8	15	25.2	27	26.0	39	27.0
4	25.5	16	26.1	28	26.0	40	27.3
5	26.0	17	26.4	29	22.4	41	26.8
6	27.3	18	28.3	30	23.1	42	26.1
7	26.6	19	27.4	31	24.9	43	25.5
8	26.9	20	25.7	32	25.6	44	27.5
9	28.8	21	25.7	33	25.7	45	24.9
10	28.5	22	26.3	34	25.3	46	27.2
11	27.3	23	24.9	35	21.9	47	27.2
12	25.9	24	27.3	36	23.5	48	24.6

Table 4. Results of 2nd Field Survey

Number	Salinity (ppt)	Number	Salinity (ppt)	Number	Salinity (ppt)	Number	Salinity (ppt)
1	3.9	13	4.1	25	5.6	37	5.0
2	3.7	14	2.8	26	7.0	38	5.4
3	3.7	15	2.5	27	7.1	39	7.1
4	3.8	16	2.8	28	7.1	40	7.4
5	3.0	17	3.4	29	7.4	41	7.0
6	2.5	18	2.6	30	7.3	42	7.2
7	2.1	19	3.8	31	7.2	43	7.2
8	2.0	20	6.8	32	7.6	44	7.4
9	2.7	21	5.1	33	7.6	45	7.5
10	2.8	22	4.6	34	7.7	46	7.7
11	4.2	23	4.1	35	3.8	47	7.7
12	4.9	24	4.9	36	3.9	48	7.4

도가 높게 측정된 값은 7.7 ppt로 나타났으며, 염분도가 낮게 측정된 값은 2.0 ppt로 나타났다. 이에 대한 결과를 Table 5에 나타냈다. Fig. 4는 누적강우량에 따른 염분도 분포결과를 나타낸 것이며 누적강우량이 클수록 전체적으로 염분도의 낮음이 뚜렷하게 나타났으며, 가장 낮은 부분은 원으로 표시를 하였으며, 방류구에서 유출되는 영향으로 가장 낮게 조사되었다.

3. 모형의 적용

3.1 EFDC 모형의 개요

본 연구에 사용된 모형은 EFDC (Environmental Fluids

Dynamics Code)로 연안, 하구, 호소, 습지, 저수지 등의 유동 및 물질수송을 재현 및 모의하는 3차원 수치모델로서 미국 VIMS (Virginia Institute of Marine Science)에서 개발되었으며, 미국 환경청 (EPA; Environmental Protection Agency)의 공인 모델로 지정되어 있다. EFDC는 크게 유동, 퇴적물이동, 수질의 세 요소로 구성하고 있으며, 유동모델 부분은 수온과 염분이 함께 고려된 3차원 천수방정식을 기본으로 구성되어 있다. EFDC 모델은 연속방정식과 수평방향 운동방정식, 열·염보존 방정식, 그리고 퇴적물을 포함한 물질보존방정식들로 구성되어 있으며, 열·염 보존 방정식은 밀도차에 의해 발생하는 경압력에 의한 운동방정식과 연계되어 있다. 복잡한 해안선 및 수심

변화에 대해서 수직방향으로 σ 좌표계를 사용하고 수평방향으로는 직교 또는 곡선직교좌표계를 사용한다(Hamrick, 1992; Hamrick, 1994a; Hamrick, 1994b). Mellor & Yamada level 2.5 turbulent closure scheme을 사용하며, Mass conservation scheme을 사용한 조건대 처리가 가능하고, 수평와동 점성계수로 Smagorinsky type diffusivity를 사용하고 있다(Mellor and Yamada, 1982; Smagorinsky, 1963).

3.2 모델 입력 자료 구성

수치모형을 이용한 염분분포를 모의하기 위하여 필요한 자료인 지형자료, 평면격자자료, 경계조건(조위, 염분농도, 유출량) 등이 있다. SMS(Surface Water Modeling System) 모형을 이용하여 격자망을 구성하였다. 격자체계는 직교좌표계를 사용하였고, 총 활성화된 셀 개수는 347개이다. YW1~YW3은 비점모니터링에서 실측된 유

출량과 비교하여 강우량 대비 유출량을 산정하였으며, YW4 같은 경우는 큰 방류구로 해당되며 면적비 유량법으로 산정하여 기입하였다. 경계조건으로 해수 유입되는 염분은 30 ppt로 입력하였으며, Site 2~Site 5까지 총 4개의 지점에 대하여 모니터링 자료(2010년)의 실측값을 사용하였다.

3.3 염분도 시계열 모의 결과 비교

모델 입력 자료의 신뢰성을 확인하기 위해 모델에서 계산된 값과 실측자료를 비교하여 R^2 (Coefficient of Determination), AME (Absolute Mean Error), RMSE (Root Mean Square Error)을 산정하였다(Table 6).

용원수로 내 4개 지점에서의 2010년 1월 1일부터 12월 31일까지의 염분도 시계열 변화를 모델 예측값과 월별 실측값을 비교하여 Fig. 6에 나타내었으며, 각 지점의 염분도의 값과 R^2 , AME와 RMSE 값을 Table 7에 나타냈다.

Table 5. Cumulative Rainfall and Salinity Results

Survey	Cumulated Rainfall (mm)	Max (ppt)	Min (ppt)
2012.06.16	17.0 mm	28.8	21.9
2012.07.12	160.5 mm	7.7	2.0

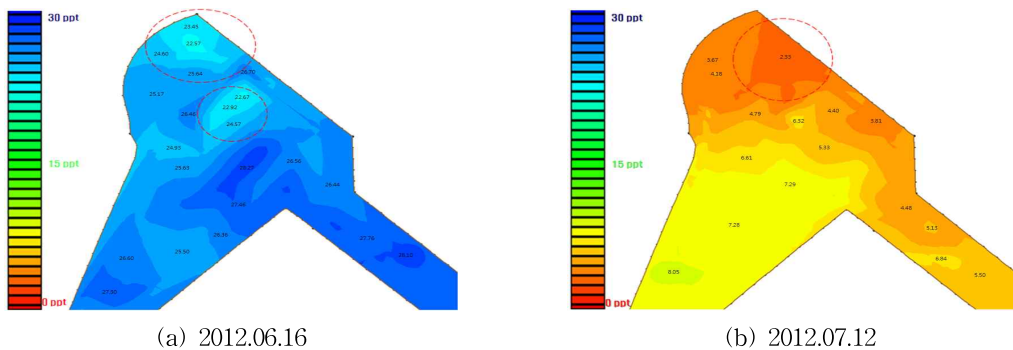


Fig. 4. Results of Salinity Distribution for Cumulative Rainfall

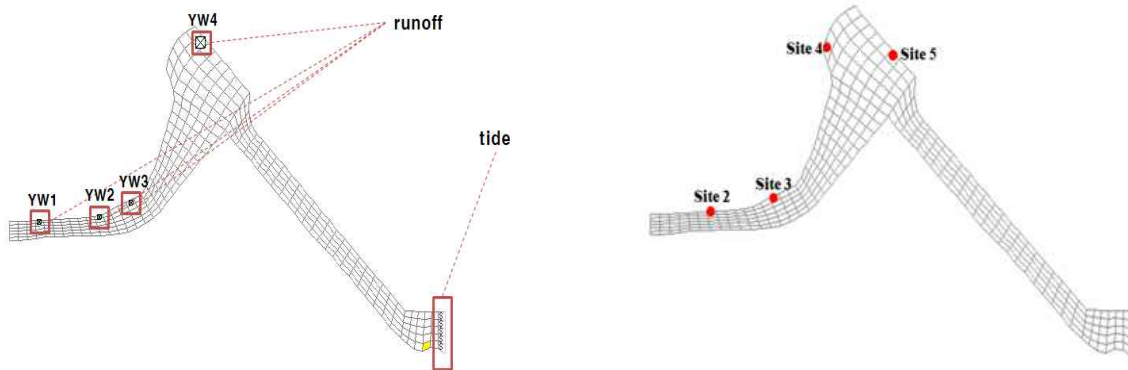


Fig. 5. Numerical Grids and Boundary Conditions in Yongwon Channel

Table 6. Statistical Indices for Evaluating Model Accuracy

Statistical Index	Equation	Desired value
Coefficient of Determination	$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_o - Q_f)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_o - Q_{ave})^2}$	1
Absolute Mean Error	$AME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_f - Q_o $	0
Root Mean Square Error	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [Q_f - Q_o]^2}$	0

* Q_o : observations, Q_f : simulations, Q_{ave} : mean of observations, N : Total number of observations.

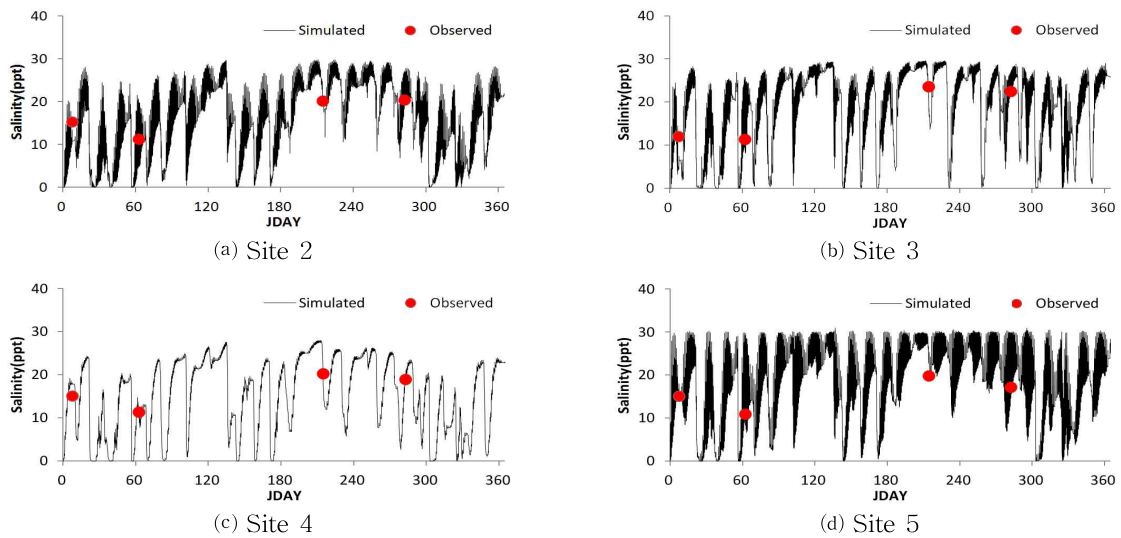


Fig. 6. Comparisons of Observed and Simulated Salinity at (a) Site 2 (b) Site 3 (c) Site 4 (d) Site 5

Table 7. Results of Error Analysis

Site	Time	Sim (ppt)	Obs (ppt)	R^2 (ppt)	AME (ppt)	RMSE (ppt)
2	10.01.07	16.29	15.22	0.8220	1.28	1.88
	10.03.04	12.24	11.26			
	10.08.03	19.81	20.15			
	10.10.10	20.53	20.36			
3	10.01.07	12.59	11.96	0.7856	1.74	2.94
	10.03.04	11.31	11.38			
	10.08.03	17.76	23.60			
	10.10.10	22.90	22.48			
4	10.01.07	17.86	15.10	0.8879	0.84	1.39
	10.03.04	11.20	11.40			
	10.08.03	20.61	20.29			
	10.10.10	18.89	18.95			
5	10.01.07	15.32	15.08	0.9470	2.10	2.47
	10.03.04	7.48	10.98			
	10.08.03	22.96	19.87			
	10.10.10	15.69	17.25			

모의결과 Site 2와 Site 3에서의 R^2 는 0.8220, 0.7856 ppt, AME는 1.28, 1.74 ppt, RMSE는 각각 1.88, 2.94 ppt로 적절히 모의된 것으로 나타났다. Site 4와 Site 5에서의 R^2 는 0.8879, 0.9470 ppt, AME는 0.84, 2.10 ppt, RMSE는 각각 1.39, 2.47 ppt로 나타났다. 2010년 3월 4일의 염분도가 낮게 모의되는 경향은 강우로 인하여 염분도가 낮게 나타나는 것으로 판단된다.

4. 결과 및 고찰

강우량에 따른 EFDC 수치모의를 나타낸 결과 2011년 7월 27일 일강우량이 245 mm일 때와 유출이 없다고 가정하였을 때 염분도 결과를 비교해보면, 일 강우량 245 mm 반영하여 모의한 결과 용원수로 내해 쪽 수질 조사지점 Site 1과 Site 2 지점과 망산도 부근 방류구가 위치한 곳에서는 염분도가 0 ppt에 가까운 수치가 나타났으며, 반면 강우가 없을 경우 30 ppt를 넘는 것으로 나타났다. 이는 강우로 인한 유출로 담수 유입과 수로내의 염분이 강우로 인하여 떨어지는 것 때문으로 판단된다. 2011년 10월 12일 일강우량이 52 mm일 때 염분도를 모의한 결과 용원수로 내해 수질 조사지점 Site 1, Site 2 지점과 망산도 부근 방류구가 위치한 곳에서 낮은 염분도를 나타난 것을 볼 수 있다. Fig. 7은 EFDC 수치모의 결과를 나타낸 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 용원수로 내 빗물이 방류구 유출에 따른

해수의 염분도 영향을 파악하고자 지점별 염분도 자료, 집중성 염분도 자료 및 망산도 내 집중 염분도 측정된 자료를 활용하였으며, 본 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

- 1) 용원수로 내 염분도 현황 정밀조사 및 해수인입시설의 염분영향 분석 결과 내해지점(Site 1~Site 4)에서는 염분도가 낮게 나타났으며, 외해지점(Site 9~Site 12)에서는 염분도가 높게 나온 것으로 나타났다. 그리고 송정천지점(Site 7~Site 8)에서는 염분도가 낮게 나타나는 원인으로 해수유통의 순환이 원활하게 이루어지지 않은 것과 강우시 빗물이 방류구로 유출되기 때문에 염분도가 낮아지는 것으로 판단된다.
- 2) 강우량에 의한 염분도를 집중적으로 조사하기 위해 망산도 부근으로 집중적으로 조사한 결과 1차 조사결과 염분도의 농도는 21.9~28.8 ppt로 측정되었고, 2차 조사결과 누적강우량이 160.5 mm로 나타났다. 그 결과 방류구가 위치하고 있는 부분과 육지와 가까운 부분은 염분도가 낮게 나타났으며, 염분도의 농도는 2.0~7.7 ppt로 측정되었다. 이러한 결과로 용원수로에서는 강우에 의하여 염분도의 영향을 크게 미치는 것으로 나타났으며, 해수유입이 원활하게 이루어지지 않을 시에는 염분도의 변화가 잘 이루어지지 않아 악영향을 미칠 것으로 판단된다.
- 3) 본 논문에서의 염분도 모의 시계열 모의 결과 Site 2~Site 5에서의 실측값을 비교한 결과 대체적으로 R^2 는 0.7856~0.9470, AME는 0.84~2.10, RMSE는 1.39~2.94로 적절히 모의된 것으로 판단된다.

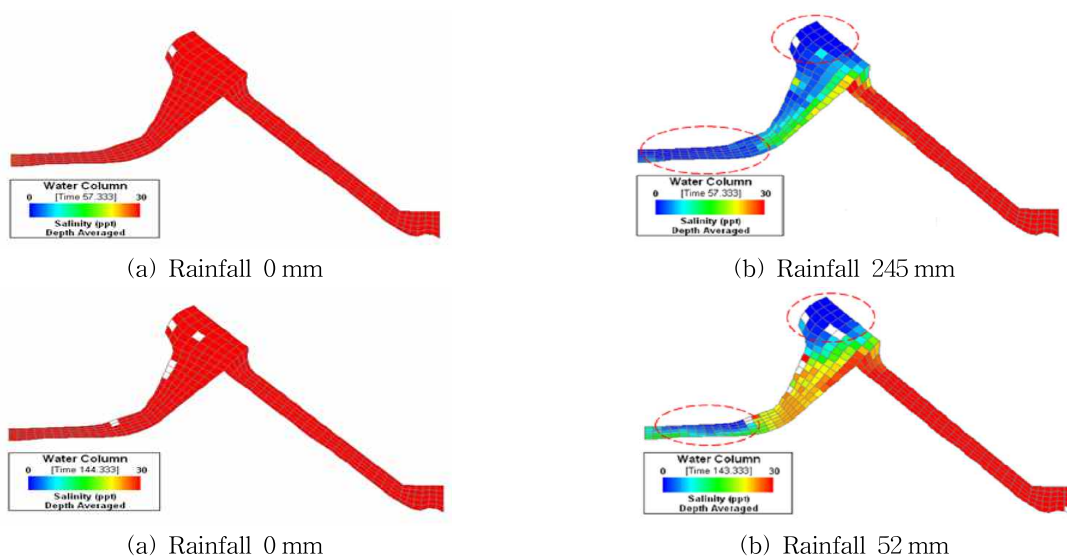


Fig. 7. Results of EFDC Simulations

4) 강우량에 의한 EFDC 수치모의 결과 일강우량이 245mm일 때와 방류구에서의 유출이 없다고 가정하였을 때 염분도 결과를 비교하였을 때, 일 강우량 245mm 반영하여 모의한 결과 용원수로 내해 쪽 수질 조사지점 Site 1과 Site 2 지점과 망산도 부근 방류구가 위치한 곳에서는 염분도가 0ppt에 가까운 수치가 나타났으며, 반면 강우가 없을 경우 30ppt를 넘는 것으로 나타났다. 또한 일강우량이 52mm일 때 염분도 결과 망산도 부근에서의 낮게 나타나는 것으로 모의되었다. 용원수로 내에서는 강우시와 비강우시일 때 큰 차이로 나타났으며, 특히 망산도 부근에 강우량이 160.5mm일 때의 염분도 측정값과 비슷한 양상을 보이고 있으므로 용원수로 내에서는 강우유출에 따른 영향을 크게 받는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 부산지방해양항만청 부산항건설사무소의 지원을 받아 한국해양과학기술원 및 ㈜세광종합기술단 공동주관으로 수행중인 부산항 신항 해양수리현상 연구개발용역 중 용원수로의 수질변화 분석 및 대책 검토 위탁 과제에 의해 수행된 것임

References

- BRMAPO (Busan Reginal Maritime Affairs & Port Office). (2007). *Notice of result of the Busan New post environmental impact assessment*. Busan Port Construction Office, Busan New Port Co., Ltd., Busan Port Authority Report.
- BRMAPO (Busan Reginal Maritime Affairs & Port Office). (2008). *Notice of result of the Busan New post environmental impact assessment*. Vol. 1. Busan Port Construction Office, Busan New Port Co., Ltd., Busan Port Authority Reports.
- Cho, H.Y., Chae, J.W. Park J.G., and Koo, M.S. (2008). "Trend Analysis of the COD and Nutrients Concentrations in the Yongwon Channel, Chinhae." *Journal of the Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, KSOE, Vol. 20, No. 4, pp. 421-428. (in Korean).
- Hamrick, J.M. (1992). *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 317, 63 pp.
- Hamrick, J.M. (1994a). *Linking hydrodynamic and bio-geochemical 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, 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.
- Jeong, H.Y., Ryu, I.G., and Chung, S.W. (2009). "Simulations of pollutant mixing regimes in seamangeum lake according to seawater exchange rates using the EFDC model." *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, KSCE, Vol. 51, No. 6, pp. 53-62. (in Korean).
- Jung, K.W., Seong, C.H., Lee, E.J., and Park, S.W. (2010). "Simulation of salinity in iwon estuary lake using EFDC model." *Proceeding of Korea Water Resources Association*, KWRA, pp. 1500-1504. (in Korean)
- Kim, B.S. (2011). *The Characteristics of Sea Water Quality Change due to the Construction Process of Busan New-port*. Interdisciplinary Program of Ocean Industrial Engineering, Graduate School, Pukyong National University. pp. 1-104. (in Korean).
- Lee, H.S., Ishikawa, T., Kim, Y.S., and Chae, H.S. (2011). "Study on salinity distribution change by the fresh water at the bay in flood." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 44, No. 1, pp. 23-30. (in Korean).
- Lee, K.S., Oh, S.T., and Hwang, S.Y. (1998). "Variation of salt concentration for the intrust sea water in the Kyongin navigation channel." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA Vol. 31, No. 2, pp. 209-219. (in Korean).
- Mellor, G.L., and Yamada, T. (1982). "Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems." *Rev. Geophys. Space Phys.*, Vol. 20, pp. 851-875.
- Park, Y.W., Cho, Y.K., Sin, Y.S., and Lee, C.H. (2006). "Simulation of salt intrusion and mixing influence for Yongsan estuary regarding Seawater exchange."

Proceeding of Korea Water Resources Association,
KWRA, pp. 557-561. (in Korean).

Son, Y.K., Jeong, S.M., Cha, K.U., and Hur, Y.T. (2009).
“A functional assessment of Nakdong river barrage
for preventing salinity intrusion using EFDC model.”

Proceeding of Korea Water Resources Association,
KWRA, pp. 2018-2022. (in Korean).

논문번호: 13-026	접수: 2013.03.03
수정일자: 2014.01.28/02.10	심사완료: 2014.02.10