마산만 재해방지시설을 이용한 해수교환 방안에 관한 연구

† 김권수 · 유하상* · 김강민*

† (주)세일종합기술공사, * (주)세일종합기술공사

A Study on the Water Exchange Plan with Disaster Prevention Facilities in Masan Bay

† Gweon-Su Kim · Ha-Sang Ryu* · Kang-Min Kim*

† Seil Engineering Co., LTD., Seoul 150-051, Korea

* Seil Engineering Co., LTD., Seoul 150-051, Korea

요 약 : 마산만은 반폐쇄성 해역으로, 느린 유속과 육상오염물질의 하천부하 등으로 인해 심각한 수질문제를 가지고 있으며, 동시에 폭풍해일에 취약한 입지적 특성을 나타내고 있다. 이 중 폭풍해일 저감대책으로 제시된 재해방지시설을 운용함과 동시에 이를 마산만 내측 수질개선에 활용하는 방안을 모색하였다. 즉, 재해방지시설을 가동하여 마산만 내측과 외측의 수위조건이 다를 때 발생하는 수두차를 이용하여 만 내·외의 해수를 교환하였다. 재해방지시설의 위치를 기존 만 입구부, 마창대교 인근, 그리고 돌섬 인근으로 가정하였으며, 선박운행 횟수와 연간조위를 분석하여 통항빈도가 가장 낮은 새벽시간(01~05) 및 수두차가 가장 큰 대조기에 운용된다고 가정하였다. 또한, 재해방지시설과 함께 약 10km 길이의 유출·입 관로를 통한 내·외해수의 해수교환 촉진을 위한 추가 실험안을 구성하였다. 수치모의 결과, 현재상태의 경우 마산만 전체 해수교환율은 38.62%를 나타냈으며, 모든 실험안에서 마산만 내 모든 구역에서 꾸준한 증가 추세를 보이고 있다. 이에 반해, 마산만 입구부와 비교한 마산만 내측의 해수교환율은 매우 낮게 나타나 반폐쇄성 내만해역의 특성을 잘 재현하는 것으로 판단된다. 재해방지시설과 관로를 이용한 실험안을 분석한 결과, 현재상태와 비교하여 재해방지시설을 운용한 경우 해수교환율이 높고, 그 운용빈도가 많아질수록 더 많은 순환이 이루어지는 것으로 나타났다. 또한, 재해방지시설에 의해 발생한 수두차를 이용하여 관로를 통해 해수를 유입 혹은 유출한 경우 마산만 가장 내측의 수질이 개선되는 것으로 나타났다. 재해방지시설의 위치는 마창대교 남측과 비교하여 마산만 입구와 돌섬에 위치한 경우 해수교환 효과가 더 좋게 나타났다. 한편 마산만 전체영역에 대한 해수교환율은 만 입구에 재해방지시설이 위치한 경우가 돌섬에 위치한 경우보다 높지만, 마산만 내측을 포함한 해수교환율은 반대로 돌섬에 위치한 경우가 더 높게 나타났다.

핵심용어 : 마산만, 반폐쇄성 해역, 재해방지시설, 해수교환, 해수교환율

Abstract : Masan bay with a semi-enclosed waters has serious water quality problems due to the low flow and river pollution load from land, and shows the vulnerable locational characteristics to storm surge. We are seeking the way of both operating disaster prevention facilities and water quality improvement measures in the bay. That is, the water was exchanged using the head difference occurred by operating disaster prevention facilities. The location of disaster prevention facilities was assumed to be in the inlet of the bay, in the vicinity of Machang bridge, and in the vicinity of Dot island and the operation time was assumed to be early morning hours(01~05) considering the number of shipping passage and annual tide, and spring tide of the largest head difference. In addition, the experiment case of water exchange including the in-outflow feeder pipe was tested. According to the simulation results, water exchange rate in all experiments has shown a steady increase. Water exchange rate of the whole of Masan bay in the case of present is 38.62%. The water exchange rate on the inside of Masan bay compared with the inlet of bay, appeared to be very low. Thus, we judged that the characteristics of semi-enclosed waters were well reproduced. On the results of the experiment of disaster prevention facilities and in-outflow feeder pipe, the case of the operation of disaster prevention facilities, water exchange rate is high compared with the case of present. And, the higher the operating frequency, the more water exchange is appeared. The cases of water exchange prevention facilities through the in-outflow feeder pipe caused by the head difference, also showed the highest improvement of the water quality. Compared with the south of Machang bridge, the effect of water exchange was better in the inlet of Masan bay and Dot island. On the other hand, the inlet of Masan bay is higher than Dot island as for water exchange of the whole of Masan bay, but opposite, water change rate including Masan inside was higher in the case of Dot island.

Key words : Masan bay, semi-enclosed waters, disaster prevention facilities, water exchange, water exchange rate

† Corresponding author : 연희원, kimksu@hanmail.net 070) 8622-7985

* 연희원, coolman70@hanmail.net 070) 8622-7981

* 종신회원, kikami72@gmail.com 070) 8622-7982

주) 이 논문은 “마산만 재해방지시설을 이용한 해수교환 방안에 관한 연구”란 제목으로 “2013 한국해양·해양공학회 학술발표논문집(경상대학교, 2013.11.21-22, pp.220-223)”에 발표되었음.

1. 서론

마산만은 최대 폭이 5km, 남북으로 길이가 8.5km의 반폐쇄성 해역으로, 마산만 내측 평균유속은 3cm/s 이하의 분포를 보여 해수교환이 불량하다. 마산만은 육상오염물질의 하천부하와 활발하지 못한 해수순환으로 인해 부영양화되고 적조가 빈번히 발생하고 있다. 따라서, 2000년 2월 해양오염방지법 개정에 따라 인천·시화연안, 광양만, 부산연안, 울산연안과 함께 5대 특별관리 해역으로 고시된 바 있으며, 2008년부터 연안오염총량관리가 시행되고 있다(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, GYEONGNAM, 2008). 또한, 마산만은 2003년 태풍 MAEMI 내습 당시 마산 시가지 1/3이상이 침수되고 1,769억원의 재산피해와 18명의 사망자가 발생하였고, 최근 태풍 SANBA(2012)에 의해 침수피해를 입는 등 폭풍해일에 취약한 입지적 특성을 나타낸 바 있다. 이에 따라 기후변화에 따른 재해발생률을 저감하기 위하여 마산만 입구에 위치한 모도와 구산면 수정리를 잇는 시설연장 약 780m의 재해방지시설 계획이 수립된 바 있다.

마산만의 악화된 수질을 개선하기 위하여 1990년대 이후 마산만 수질오염 원인분석과 마산만 내측에 축적된 오염원 배출 및 해수교환 방안에 대한 지속적인 연구가 수행되었다. Lee et al.(1990)은 마산만 퇴적물의 오염에 관해 연구하였고, Kim et al.(1994)은 생태계모형을 이용하여 부영양화 제어에 대해 논의했으며, Ju et al.(2000)은 부영양화 모형을 이용한 수질을 예측한 바 있다. 또한, 해수교환율 산정을 위해 Jung (1996)은 조류(tidal current)에 관한 3차원 해수유동 수치실험을 실시하였고, Ryu et al.(1998)은 입자추적모형을 이용하여 내만의 해수교환율을 산정한 바 있으며, Park et al.(2011)은 조석주기에 따른 해수교환율의 변화를 연구하였다.

본 연구에서는 전술한 재해방지시설을 이용하여 태풍 등에 의한 폭풍해일과 저감 용도와는 별도로 마산만 내측의 수질을 개선하는 방안을 모색하였다. 재해방지시설을 가동하여 만 내측과 외측의 수위 조건이 다를 때 발생하는 수두차를 이용하여 마산만 내·외의 해수를 교환하였다. 수치실험안은 먼저 재해방지시설 위치를 기존 만 입구부인 모도와 마창대교 인근, 그리고 돌섬 인근으로 가정하여 해양환경개선 차원에서의 최적의 재해방지시설 위치를 검토하였다. 또한, 마산만 내측과 외측에 해수 유출·입관로(feeder pipe)를 설치한 후 재해방지시설에 의해 발생한 수두차를 이용하여 관로를 통해 외해수를 만내로 이동·유입시키고 내해수를 외해로 이동·유출시켜 마산만의 수질을 개선하고자 하였다.

수치실험을 위하여 해수유동과 염료확산에 의한 해수교환율을 동시에 고려할 수 있는 EFDC(Environmental Fluid Dynamics Code) 모델의 동수역학 모듈과 Dye 모듈을 활용하였고, 재해방지시설은 선박운항시간을 고려하여 새벽시간에 가동되도록 하였다. 그리고 마산만 구역별 해수교환율을 비교·검토하여 최적의 해수교환 방안을 마련하고자 하였다.

Fig. 1 Computed area and Model verification point

2. 모델수립 및 검증

2.1 모델 수립

해수유동 실험은 현재 국내에서 많이 사용되고 있는 미 EPA에서 공인된 EFDC모형을 이용하였다. EFDC모형은 연속방정식과 운동방정식 및 물질보존방정식 등으로 구성되어 있으며(Craig, P.M., 2004), 수직방향으로 σ 좌표계, 수평방향으로 직각 및 직교곡선 좌표계를 사용하고 있다. 수치실험시 영역은 동서방향으로 18.35km, 남북방향으로 16.40km의 해역으로 설정하여 마산만 전체와 모도, 진해항 및 남측으로 심리와 수도를 포함하였으며, 격자는 동서방향 368개, 남북방향 329개의 50m 정격자로 구성하여 대상해역의 해상도를 최대한 반영하도록 하였다.

Table 1 Overview of numerical experiments

Item		Contents
Model		EFDC(Environmental Fluid Dynamics Code)
Grid	Area	18.35km × 16.40km
	Spacing	50m
	Numbers	368 × 329
Conditions	Boundary	M ₂ , S ₂ , K ₁ , O ₁
	Initial	Mean sea level (DL + 0.984m)

2.2 모델 검증

모델검증은 국립해양조사원에서 실시한 마산 검조소자료(2003.1~2003.12)와 연속조류 관측자료(2005.6)를 이용하였다.

조위 및 조류검증은 4대분조(M_2 , S_2 , K_1 , O_1)를 이용하여 생성된 시계열과 수치모의된 동일지점 계산치 시계열을 비교하였다. 조위의 경우 그 결과 진폭과 위상이 거의 일치하고 있으며, 조류의 경우 북방성분 진폭이 다소 차이를 보이고 있으나, 대체적으로 위상과 유속이 일치하여 해수유동 모델의 재현성은 양호한 것으로 판단된다(Fig. 2, 3).

3. 입력자료 분석

3.1 선박 운항시간 검토를 통한 운용시간 결정

Fig. 2 Tide calibration

Fig. 3 Current calibration

마산만 재해방지시설 가동에 따른 폐쇄가 입·출항 선박 운항에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 2008년부터 2011년까지 외항선과 내항선의 운항기록을 분석하였다. 4년에 걸친 자료를 평균하여 분석한 결과, 다음 Fig. 4의 월별 선박운항 결과에 도시한 바와 같이 12개월에 걸쳐 7.5~8.9%로 나타나 대체로 균등한 분포를 보이고 있다.

그러나 하루 24시간을 기준으로 분석하였을 경우 통항 빈도는 00~06시 사이가 2.44% 이하이고, 특히 01~05시 사이가 2.14% 이하로 가장 낮은 빈도를 나타냈다(Fig. 5). 따라서 입·출항 선박 운항 빈도가 가장 낮은 01~05시 사이에 재해방지시설이 운용된다고 가정하여, 마산만 폐쇄 조건이 선박운항에 미치는 영향을 최소화하도록 하였다.

Fig. 4 Number of monthly shipping passage(%)

Fig. 5 Number of hourly shipping passage(%)

3.2 연간 조위 및 수두차 분석

마산만 재해방지시설의 연간 가능 가동횟수를 검토하기 위하여 조위 예측 프로그램을 이용해 365일 연간 조위를 분석하였다(Fig. 6). 선박 통항을 고려하여 01~05시 사이에 재해방지시설을 운용하였을 경우, 외해수위가 내해수위보다 높을 때 유입관로를 통하여 외해수가 들어오고, 반대의 경우 유출관로를 통해 수질 등급이 낮은 물이 빠져나가도록 설정하였다. 수두차에 의한 해수교환 효과를 극대화하기 위하여 Fig. 7에 도시한 바와 같이 대조기 중 수두차가 가장 큰 경우를 선택하여 수치모의 실험의 입력자료로 활용하였다. 따라서, 월 2회의 대조기를 고려할 경우 연간 약 24회 재해방지시설이 운용될 것으로 예상된다.

Fig. 6 Analysis of annual tide

Fig. 7 Analysis of operation time

4. 수치모의

4.1 개요

재해방지시설에 의해 발생된 수두차로 마산만 내해수와 외해

수를 교환하는 방안은, 관로를 통해 유출 혹은 유입된 유량과 직접적인 관련이 있을 것으로 판단된다. 또한, 재해방지시설의 위치가 만 입구에 있는지 혹은 만 내측 깊숙히 위치(돌섬 인근)해 있는가에 따라 마산만 내에서 소규모 영역별로 해수교환율이 달라질 것으로 예상된다.

따라서, 본 연구에서는 먼저 재해방지시설 위치를 시설연장 약 780m의 기존 만 입구부(Gate1), 시설연장 약 950m의 마창대교 남측(Gate2), 그리고 시설연장 약 900m 돌섬 서측과 동측(Gate3)으로 구성하여 해수교환 실험을 수행하였다(Fig. 8). 또한, 재해방지시설과 함께 관로를 이용하여 해수교환율을 추가 분석하였다. 이때 재해방지시설의 운용시각은 전술한 연간 조위 분석결과를 기초로 대조기 중 수두차가 가장 클 때 운용하는 방안(1개월 2회, 1년 24회)과 그날을 기준으로 전·후 1일씩 더해 총 3일을 운용하는 방안(1개월 6회, 1년 72회)을 검토하였다.

관로는 유입과 유출 모두 직경 3m의 원관, Manning 조도계

Fig. 8 Experiment case of the location of disaster prevention facilities and feeder pipe

수 n 은 0.014, C 는 0.8, 길이 약 10km로 가정하여 Manning 식에 의한 유량을 계산한 후 수치실험시 입력자료로 이용하였다.

4.2 모의 결과

재해방지시설 및 관로를 이용한 해수교환율을 검토하기 위하여 수치실험 초기조건은 Gate1을 기준으로 만 내측 전체는 Dye=1, 외측은 Dye=0으로 구성하였으며(Fig. 9), 현재상태에 대한 365일 이후 해수교환 결과를 Fig. 10에 제시하였다. 또한, 마산만 전체를 A, B, C, D 4개의 구역으로 나누어 각 영역에 대한 해수교환율을 산정하였다(Fig. 11). 재해방지시설 위치 및 관로의 고려여부에 따라 365일 후의 해수교환 실험 결과와 해수교환 시계열 결과를 Fig. 12, 13에 도시하였다.

Table 2 Experiment case of the location of disaster prevention facilities and feeder pipe

Experiment Case	Gate location	Number of annual open and close	Apply of Feeder pipe
Present	-	-	-
G1-24	Gate 1	24	No
G1-24-AB	"	24	Yes
G1-72	"	72	No
G1-72-AB	"	72	Yes
G2-24	Gate 1	24	No
G2-24-AB	"	24	Yes
G2-72	"	72	No
G2-72-AB	"	72	Yes
G3-24	Gate 3	24	No
G3-24-AB	"	24	Yes
G3-72	"	72	No
G3-72-AB	"	72	Yes

해수교환 시계열 결과(Fig. 13)에 따르면 해수교환율은 모든

영역에서 꾸준한 증가 추세를 보이고 있고 실험안과 무관하게 $A < A+B < B < A+B+C < \text{전체}(A+B+C+D) < D$ 로 나타났다.

재해방지시설과 관로가 없는 현재상태의 경우 마산만 입구부인 D구역의 해수교환율은 60.89%인데 비해 마산만 가장 내측에 위치한 A구역의 해수교환율은 12.29%로 나타나 마산만 전체에 대한 해수교환 불균형상태를 보이고 있으며, 전체 $(A+B+C+D)$ 해수교환율은 38.62%로 나타났다.

재해방지시설만 고려하여 1년에 24회 운용한 경우, Case G1-24는 B~D 구역 모두 현재상태 대비 해수교환율 변화율(계획상태교환율/현재상태교환율*100)이 11.07~13.37% 증가하고 있으나 A구역은 변화율이 1.79% 증가에 그치고 있다. 한편, Case G2-24는 A~D 구역 모두 G1-24에 비해 해수교환율이 낮은 수치를 보였다. 돌섬에 재해방지시설이 위치한 Case G3-24는 D구역의 변화율이 3.45%, 만 전체가 9.4%로 Case G1-24에 비해 낮게 나타났으나, B와 C구역의 변화율이 22% 이상으로 높은 수치를 보였다. 이러한 결과는 만 내측의 Dye가 만입구를 통해 외해측으로 빠져나가기 때문으로 판단된다.

1년 72회 운용한 경우, 24회 운용한 실험안과 비교하여 Gate 1~Gate 3 모두 A구역의 변화율은 20% 이상 증가한 반면, D구역의 변화율은 -3~ 5%로 감소하거나 소폭 증가하였으며, 이는 전술한 바와 같이 Dye가 외해로 이동하기 때문으로 판단된다.

재해방지시설과 더불어 유출·입 관로를 설치한 경우, 1년 24회와 72회 운용한 실험안 모두 Gate 1~Gate 3의 A구역에서 관로가 없는 실험안에 비해 변화율이 20% 이상 높은 결과를 보여, 관로의 유출·입 위치를 돌섬 북쪽에 둔 영향이 큰 것으로 나타났다.

수치실험안을 분석한 결과, 현재상태와 비교하여 재해방지시설을 운용하고, 그 빈도가 많아질수록 해수교환율이 높은 것으로 나타났으며, 관로에 의한 해수 유출·입 영향으로 마산만 내측의 수질 개선 효과가 나타나는 것으로 판단된다. 한편, 마

Fig. 9 Initial dye distribution

Fig. 10 Result of water exchange rate after 365days

Fig. 11 Comparison area of water exchange rate

Table 3 The comparison of water exchange rate after 1year(365days) per experiment case

Experiment Case		Water Exchange rater after 1year(%)						
		A	B	C	D	A+B	A+B+C	A+B+C+D
Present		12.29	19.66	35.60	60.89	17.39	22.32	38.62
Gate 1	G1-24	12.51	21.92	40.36	67.63	19.03	24.80	42.90
	Change rate(%)	1.79	11.50	13.37	11.07	9.43	11.11	11.08
	G1-24-AB	15.62	23.45	40.89	67.72	21.04	26.41	43.87
	Change rate(%)	27.10	19.28	14.86	11.22	20.99	18.32	13.59
	G1-72	15.18	27.23	44.40	71.03	23.51	29.17	46.86
	Change rate(%)	23.52	38.50	24.72	16.65	35.19	30.69	21.34
	G1-72-AB	19.26	29.46	45.89	71.53	26.31	31.61	48.48
	Change rate(%)	56.71	49.85	28.90	17.47	51.29	41.62	25.53
Gate 2	G2-24	12.24	20.69	38.01	62.57	18.08	23.47	40.00
	Change rate(%)	-0.41	5.24	6.77	2.76	3.97	5.15	3.57
	G2-24-AB	14.97	22.06	38.54	62.76	19.88	24.93	40.92
	Change rate(%)	21.81	12.21	8.26	3.07	14.32	11.69	5.96
	G2-72	14.97	24.91	41.20	63.44	21.84	27.08	42.45
	Change rate(%)	21.81	26.70	15.73	4.19	25.59	21.33	9.92
	G2-72-AB	18.02	26.83	42.66	64.15	24.11	29.13	43.93
	Change rate(%)	46.62	36.47	19.83	5.35	38.64	30.51	13.75
Gate 3	G3-24	12.77	24.14	44.37	62.99	20.64	27.05	42.25
	Change rate(%)	3.91	22.79	24.63	3.45	18.69	21.19	9.40
	G3-24-AB	15.22	25.30	44.79	63.18	22.19	28.30	43.05
	Change rate(%)	23.84	28.69	25.81	3.76	27.60	26.79	11.47
	G3-72	16.69	28.62	44.59	61.06	24.94	30.26	43.28
	Change rate(%)	35.80	45.57	25.25	0.28	43.42	35.57	12.07
	G3-72-AB	19.16	30.22	45.92	61.80	26.81	31.98	44.59
	Change rate(%)	55.90	53.71	28.99	1.49	54.17	43.28	15.46

창대교 남측(Gate 2)에 재해방지시설이 위치한 경우보다 마산만 입구(Gate 1)와 돌섬(Gate 3)에 위치한 경우의 해수교환율이 더 높은 결과를 보였다. 그리고, 만입구를 포함한 전체(A+B+C+D)에 대한 해수교환율은 Gate 1이 Gate 3보다 높은 반면, 마산만 내측 A구역과 B구역을 포함한 해수교환율은 Gate 3이 더 높게 나타났다.

5. 결 론

마산만은 남북 길이가 8.5km의 반폐쇄성 내만해역으로서, 느린 유속과 육상오염물질의 하천부하 등으로 인해 만 내측이 부영양화되고 적조가 발생하는 등 수질 문제는 심각한 문제로 대두되었다. 또한, 태풍 MAEMI(2003), SANBA(2012) 등에 의해 침수로 인한 인명과 재산피해가 발생하여 폭풍해일에 취

약한 입지적 특성을 나타낸 바 있고, 2011년 국토해양부는 기후변화에 따른 재해 저감대책으로 만 입구에 재해방지시설 계획을 수립한 바 있다.

본 연구에서는 전술한 재해방지시설을 폭풍해일과 저감대책으로 운용함과 동시에 마산만 내측 수질개선에 활용하는 방안을 모색하였다. 재해방지시설 위치를 기존 만 입구부, 마창대교 인근, 그리고 돌섬 인근으로 가정하였다. 그리고 선박운항 횟수와 연간조위를 분석하여 통항빈도가 가장 낮은 새벽시간(01~05) 및 수두차가 가장 큰 대조기에 운용된다고 가정하였다. 또한, 재해방지시설과 함께 약 10km 길이의 유출·입 관로를 통한 내·외해수의 해수교환 촉진을 위한 추가 실험안을 구성하였다.

수치모의 결과, 모든 실험안에서 해수교환율은 마산만 내 모든 구역에서 꾸준한 증가 추세를 보이고 있다. 현재상태의 경

Fig. 12 Results of water exchange after 1year(365days) per experiment case

우 마산만 전체 해수교환율은 38.62%인데 비해, 마산만 입구 부와 비교한 마산만 내측의 해수교환율은 매우 낮은 것으로 나타나 반폐쇄성 내만해역의 특성을 잘 재현하는 것으로 판단 된다.

구와 돌섬에 위치한 경우 해수교환 효과가 더 좋게 나타났다. 한편 마산만 전체영역에 대한 해수교환율은 만 입구에 재해방지시설이 위치한 경우가 돌섬에 위치한 경우보다 높지만, 마산만 내측을 포함한 해수교환율은 반대로 돌섬에 위치한 경우

Fig. 13 Results of the change of water exchange rate during 1 year(365days) per experiment case

재해방지시설과 관로를 이용한 실험안을 분석한 결과, 현재 상태와 비교하여 재해방지시설을 운용한 경우 해수교환율이 높고, 그 운용빈도가 많아질수록 더 많은 순환이 이루어지는 것으로 나타났다. 또한, 재해방지시설에 의해 발생된 수두차를 이용하여 관로를 통해 해수를 유입 혹은 유출한 경우 마산만 가장 내측의 수질이 개선되는 것으로 나타났다.

재해방지시설의 위치는 마창대교 남측과 비교하여 마산만 입

가 더 높게 나타났다.

수치모의 실험결과로부터 재해방지시설과 관로를 이용한 해수교환 방안과 함께 마산만 내측의 수질 개선 가능성을 검토 하였다. 장기적인 해수 순환과정과 수두차를 이용한 해수교환 결과를 통해 반폐쇄성 해역의 수질관리방안 검토차원에서 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

Reference

- [1] Craig, P.M.(2004), User's manual for EFDC-Explorer, A pre/post processor for the environmental fluid.
- [2] Ju, J.G., Hwang, B.G. and Lee, J.R.(2000), "Water-quality Prediction using a Eutrophication Model", Korean Society on Water Environment, Korean society of Water and Wastewater, Korea Water and Wastewater Works Association Joint Spring Conference, pp.351-353.
- [3] Jung, T.S.(1996), "Three-Dimensional Numerical Modelling of Tidal Currents in Masan-Jinhae Bay", J. of Korean Society of Civil Engineers, Vol. 16-2-1, pp.63-72.
- [4] Kim, J.G., Park, C.K. and Kim K.S.(1994), "The application of ecosystem model for the eutrophication control in Masan Bay in summer", J. of the Korean Environmental Sciences Society, Vol 3-3, pp. 185-195.
- [5] Lee, C.W., Min, B.Y., Kwon, Y.T., Yang W.J., Lee K.W.(1990), "A Study on the contamination of heavy metals and organochlorine compounds in sediments from Masan Bay" The environment research institute Kyungnam university, 12, pp. 5-24.
- [6] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2008), "The First Plan of Water Quality Improvement for the Special Management of Masan Bay", pp. 1-234.
- [7] Park, S.E., Lee, W.C., Hong, S.J., Kim, H.C. and Kim, J.H.(2011), "Variation in Residence Time and Water Exchange Rate by Release Time of Pollutants Over a Tidal Cycle in Masan Bay", J. of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, Vol. 14-4, pp. 249-256.
- [8] Ryu, C.R., Kim, J.K. and Seol, D.G.(1998), "The Tidal Water-Exchange Estimation Method based on Particle Tracking Model", J. of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, Vol. 12-4, pp.76-82.

원고접수일 : 2013년 11월 15일

심사완료일 : 2013년 12월 3일

원고채택일 : 2013년 12월 4일