

해수교환 방파제 설치에 따른 수질개선효과

한동준*·이달수

강원도립대학 환경위생과* 한국해양연구원 연안·항만공학연구본부

Effect of Water Quality Improvement by Seawater Exchange Breakwater Install

Dong-Joon Han*·Dal-Soo Lee

**Dept. of Environmental Sanitation Engineering, Gangwon Provincial University
Coastal and Harbor Engineering Research Division, KORDI*

Abstract

This study was carried out for verification of efficiency of seawater exchange breakwater which was installed in joomoongin harbor for the first time in our country.

The joomoongin harbor, where seawater exchange breakwater has been constructed, shows typical for fishery and tourist port city specifics of greatest pollutants discharge volume in spring and summer, when tourist inflow and fishery activity is most vigorous.

On the East Sea seawater flux through seawater exchange breakwater for the smallest waves (up to 0.5 m) was found out to be 1,526-3,052 m³/day. After construction of seawater exchange breakwater, Zone 1 and Zone 2 of stagnant water inside the port were found to be a lot improved. Zone 3, adjacent to outport area, was found to be lower comparing with Zone 1 and Zone 2.

The results of statistical analysis show that comparing with water quality improvement effect before and after seawater exchange, water quality after installation of seawater exchange breakwater became much better, primarily because of physical change around the harbour.

Key words : seawater exchange breakwater, harbor water quality

*Corresponding author E-mail : handj@kangwonpu.ac.kr

I. 서론

현재 전국 각 항구에 설치되어 있는 재래식 방파제는 항내를 정온한 상태로 유지시켜 항구의 기능을 향상시키고자 설치되었다. 그러나 이러한 재래식 방파제는 항내를 정온한 상태로 유지시킬 수는 있으나 항내의 정체수역을 유발함으로써 항내의 수질악화가 발생시킨다.^{1),2)} 이러한 재래식 방파제는 우리나라 대부분의 항구에 설치되어 있으며 특히 조석 간만의 차가 서해안과 남해안보다 적은 동해안의 경우 항내의 정체수역 발생빈도가 크다.

현재 항내의 수질개선을 위한 새로운 기능을 함유한 다목적 방파제에 대한 필요성이 제기되어 해수교환 방파제에 대한 많은 연구가 국내에서 진행되고 있다. 일반적으로 해수교환 방파제는 항내·회로의 양방향 흐름을 유도하기 위해 기존 방파제에 도수로를 만들거나 일부를 절개하여 해수 유통을 원활하게 하는 방식과 항내로의 일방향 흐름을 강화할 수 있는 유공방파제를 기존 방파제 일분에 설치하는 방식으로 구분할 수 있으며 구조형식에 따라 파이프 내장 혼성제, 유수실 내장 혼성제, 전위 유수실 내장 진동수로 혼성제로 나뉘어 진다.²⁾ 해수순환 방파제를 설치하는 목적은 외항의 청정한 해수를 내항으로 유입 시킴으로서 정체되어 있는 항내의 수질을 정화하는데 그 목적이 있다. 또한 해수순환 방파제로 유입되는 유입수로 인하여 해수흐름을 원활히 하고 체류시간을 짧게 함으로서 항내를 정화하고 외항의 풍부한 산소로 정체되어 있는 내항에 공급시킴으로서 항내의 혐기성화를 방지하여 청정한 항내 수질을 유지하고자 한다. 그러나 최근까지 우리나라에서는 이러한 해수교환 방파제가 설치된 곳이 없어 실제 연구는 실험실에서 수리모형실험을 통한 성능검사 및 수치해석에 대한 연구가 대부분 이었다. 그러나 2003년 2월 우리나라에서도 해수교환 방파제의 시범사업으로 주문진항에 해수교환 방파제를 건설하여 그

효율성을 검증하고 있다.

본 연구는 주문진항에 해수교환 방파제가 건설되기 이전부터 해수교환 방파제가 건설되어 운영되고 있는 현재까지의 장기적인 모니터링을 통하여 국내 최초로 건설된 해수교환시설의 효과를 검증하고자 수행되었다.

II. 조사 방법

1. 조사지점

해수교환 방파제의 효율성을 검증하기 위하여 본 연구에서는 해수교환 방파제가 건설되기 이전부터 주문진항을 대상으로 장기적인 모니터링을 실시하였다. 조사기간은 2002년 5월부터 2005년 12월까지 진행되었으며 조사 및 분석은 월 1회함을 원칙으로 하였다.

조사기간 동안 주문진항의 수질에 영향을 미칠 수 있는 물리적인 변화를 살펴보면, 2002년 9월에는 주문진 하수처리시설이 완공되어 시운전이 수행되었으며 2003년 01월부터 본격 가동되어 주문진 항내로 유입되는 하수량은 급감하였다. 해수교환시설의 설치시기는 2004년 04월에 준공되어 그 이후부터 본격적인 외항의 해수가 내항으로 지속적으로 유입되었다.

조사지점은 Table 1과 Fig. 1에 제시한 바와 같이 주문진 내항 12지점과 외항 3지점으로 총 15개 지점을 선정하여 수질조사를 실시하였으며 시료채취는 수심에 따라 상, 하층으로 구분하여 각 지점 당 2개의 시료를 채취하였고, 깊이별 용존산소, 염도 및 수온 변화는 현장에서 조사하였다. 또한 외항으로부터 유입되는 유입유량을 측정하기 위하여 6개의 토관으로부터 유속을 측정하였다.

2. 분석방법

모든 실험은 환경부의 수질오염공정시험법, 해양수산부의 해양환경공정시험법, 미국의 Standard Methods에 준하여 현장분석을 제외한 항목에 대해서는 시료 채취, 운반 후

실험실에서 즉시 분석을 실시하였다.^{3),4),5)} 또한 해수교환에 따른 통계학적 유의성을 SPSS 11.0 통계 패키지를 이용하여 분산분석(Analysis of Variance : ANOVA)을 실시하였으며 주요 분석요인으로는 주문진 하수처리장 설치 전·후와 해수교환 방파제 설치 후를 구분하여 분석을 실시하였다.

Table 1. Investigation site coordinate.

구분 지점	북위	동경
1	37°53'28"N	128°50'03"E
2	37°53'25"	128°49'58"
3	37°53'25"	128°50'01"
4	37°53'25"	128°50'05"
5	37°53'21"	128°50'01"
6	37°53'17"	128°49'55"
7	37°53'17"	128°50'03"
8	37°53'14"	128°50'00"
9	37°53'11"	128°49'55"
10	37°53'11"	128°50'03"
11	37°53'06"	128°50'03"
12	37°53'01"	128°50'02"
13	37°52'56"	128°50'12"
14	37°53'12"	128°50'11"
15	37°53'24"	128°50'12"

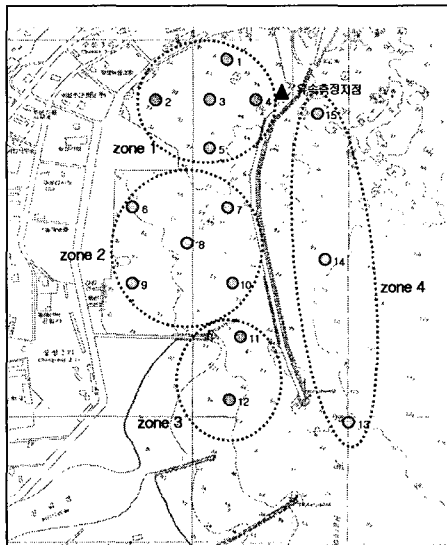


Fig. 1. Investigation site

III. 결과 및 고찰

1. 주문진항 오염원 현황

주문진항 수질에 영향을 미치는 오염원은 항내로 유입되는 생활하수, 주변의 어로활동으로 발생하는 오염물질, 신리천을 통하여 항내로 배출되는 오염물질 등으로 구분할 수 있다. 2002.12월 하수종말처리장이 건설된 이후에 주문진에서 발생하는 하수와 주변의 농공단지에서 배출되는 오폐수가 현재는 하수종말처리장으로 유입되고 있으나 차집판거가 미설치된 일부 하수가 여전히 항내로 유입되고 있다. 또한 우기시 비점오염원에서 항내로 유입되는 폐수등을 들 수 있으며 특히 여름철의 경우 활발한 어로활동과 관광객 증가로 인해 발생하는 각종 폐수 및 폐기물 등을 들 수 있다.⁶⁾ 오염물질의 배출을 분기별로 구분하면 관광객과 항내 어로활동이 활발한 2/4분기와 3/4분기가 배출량이 많고 상대적으로 1/4분기와 4/4분기가 오염원 배출이 적은 것으로 조사되어 전형적인 어업 및 관광항구로서의 특징을 보이고 있다.

2. 해수순환 방파제

현재 주문진항에 설치된 해수교환 방파제는 이달수(2001)등이 국내 최초로 개발한 월류제를 설치한 경사식 해수교환 방파제이다. 월류제를 설치한 경사식 해수교환 방파제는 해수 유입량이 크며, 항내 정온도가 우수하고 전면유입구와 도수파이프를 방파제 후면에 탄력적으로 설치할 수 있는 장점을 가지고 있다.^{1),7)} Fig. 2와 3에서는 주문진항에 설치한 방파제 모형도와 현장설치 사진을 제시하였다.

해수교환시설의 유입수량을 산정하기 위하여 최근 2차에 걸쳐 유속 등의 조사를 실시하였으나, 외항의 파도가 너무 낮아 유량의 변화폭을 고찰하기에 어려움이 있었다. 그러나 2차에 실시한 유속으로 주문진항으로 유입되는 유량을 산정한 결과, 6개의 유입관을 통하여 총 1,526 - 3,052m³/day이 유입

되는 것으로 나타났다. 이는 동해안의 파도형태를 볼 때 0.5m 미만의 가장 낮은 상태에 측정된 것으로 최소 유입유량이라 할 수 있다. 그럼에도 불구하고 현장의 수질과 투명도는 매우 양호했으며, 수중에 잠수한 연구원은 해수의 유입을 느낄 수 있음을 언급하였으며, 현장조사를 통한 어민 및 주민들은 해수교환 시설 설치이후 많은 수질개선이 일어났음을 증명하여 해수교환으로 인한 가시적인 효과가 발생한 것으로 사료된다.

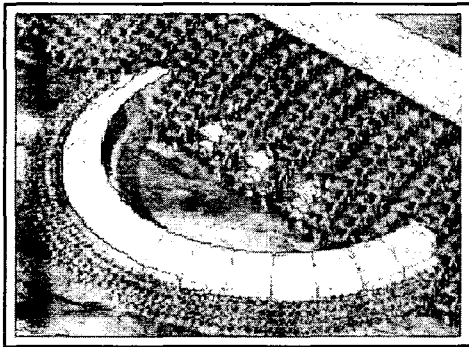


Fig. 2. Schematic view of water exchange breakwater



Fig. 3. Photograph of seawater exchange breakwater install

3. 수질개선 효과

해수순환에 대한 수질개선 효과를 조사하기 위하여 주문진 내항 12지점과 외항 3지점

총 15개 지점을 선정하여 월별 1회 수질 및 저질을 분석함으로써 모니터링 하였다. 또한 15개 지점에 대한 수질개선 효과를 효과적으로 관측하기 위하여 가장 정체가 심한 1~5 지점을 Zone 1, 그 다음으로 정체가 심한 6~10 지점을 Zone 2, 비교적 외항과 인접한 11~12 지점을 Zone 3, 외항인 13~15 지점을 Zone 4로 구분하였다.

일반적으로 항내에서 발생할 수 있는 정체수역은 지속적인 오염물질의 증가와 외부로부터 유입되는 산소공급량의 급감으로 인하여 항내의 수질이 급격히 악화되어 생태계에 영향을 미치게 되고 심할 경우 심안 악취를 동반할 수도 있다. 따라서 정체구역의 해소를 통한 원활한 용존산소 공급은 항내의 수질을 정화할 수 있는 지료로 사용될 수 있다. Table 2와 Fig. 4에는 해수교환에 따른 2003년 대비 2004년과 2005년 용존산소 개선비율과 해수순환에 따른 수질변화 현황을 제시하였다. 용존산소의 개선효과는 Zone 1 지역은 3.4~176.9%, Zone 2 지역은 0.3~98.1%, Zone 3 지역은 2.1~64.2%로 개선효과가 뚜렷하게 나타났다. 특히 해수가 직접적으로 유입되는 Zone 1 지역의 경우 수질개선효과가 가장 크게 나타났으며 외항과 가까운 Zone 3 지역은 해수유입이 Zone 1 지점이나 Zone 2 지점 보다는 원활하기 때문에 개선효과가 낮게 조사되었다. 용존산소 감소로 인해 항내의 수질악화는 결국 항내의 오염물질 농도를 증가시킬 수 있는데 Table 3과 Fig. 5에는 2003년 대비 2004년과 2005년의 유기물 농도인 COD 개선효과와 해수순환에 따른 수질변화 현황을 제시하였다. Zone 1 지점의 개선효과는 0.0~90.5%, Zone 2, Zone 3 지점의 개선효과는 각각 0.0~80.8%, 0.0~70.7%로 용존산소와 마찬가지로 해수가 직접 유입되는 Zone 1 지점과 Zone 2 지점의 경우가 개선효과가 크게 나타났으며 비교적 해수교환이 원활한 Zone 3 지점 역시 개선효과가 높은 것으로 조사되었다.

Table 2. Water quality improvement by seawater exchange(DO)

		Zone 1					Zone 2					Zone 3		Zone 4			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
2004 개선 효과 (%)	2월	9.0	3.4	6.3	3.6	0.9	1.5	0.3	1.0	5.1	0.9	-8.3	-2.5	-4.6	-4.1	-4.6	
	3월	6.1	-1.9	2.9	-2.1	-2.9	-6.4	3.9	6.6	10.8	1.8	-3.4	-4.2	-2.0	4.1	0.6	
	4월	18.1	16.0	26.2	8.5	19.7	18.2	18.2	20.6	5.2	10.3	3.7	1.3	9.8	7.9	8.0	
	5월	7.6	5.6	40.7	22.0	16.8	25.5	2.0	5.8	16.4	7.3	11.5	-6.9	-3.3	2.4	6.4	
	6월	42.0	90.0	172.0	62.5	86.9	72.6	54.5	67.5	71.3	40.8	55.5	12.4	3.6	1.8	0.7	
	7월	15.8	7.5	32.0	18.6	15.9	15.5	17.1	20.6	34.7	26.6	18.4	9.6	-2.5	-1.9	0.2	
	9월	31.7	34.3	65.1	71.2	39.2	52.8	42.7	49.3	48.3	38.4	17.4	-6.4	-1.7	-6.4	-4.9	
	10월	55.2	91.7	83.4	60.9	85.2	71.0	59.6	64.0	70.8	33.4	64.2	14.8	8.4	7.3	6.4	
	11월	38.1	24.7	23.7	39.1	38.7	17.3	29.9	24.8	14.2	53.2	27.9	16.1	4.1	2.8	10.6	
	12월	25.6	21.8	26.3	31.3	25.3	20.9	15.3	23.8	26.2	30.5	22.8	24.5	13.5	13.2	11.0	
	2005 개선 효과 (%)	2월	15.2	11.0	11.7	11.5	1.5	8.6	2.8	-1.8	-0.5	-0.9	-11.4	-6.5	-6.4	-6.3	0.6
		3월	8.4	8.2	6.8	10.7	10.1	6.2	6.6	2.2	7.1	4.2	-6.4	-4.1	-5.3	0.4	-1.8
4월		7.7	7.6	8.8	8.0	9.5	11.9	12.2	24.7	10.1	8.8	3.9	-0.1	11.2	11.0	11.6	
5월		24.3	24.5	61.4	15.7	18.3	44.5	18.8	17.1	27.8	29.8	20.2	5.1	1.6	0.4	4.5	
6월		56.3	119.6	176.9	69.9	90.2	98.1	60.6	71.0	69.9	45.2	63.9	9.1	3.5	4.1	3.6	
7월		13.8	-14.9	-2.3	-0.8	6.3	17.5	12.6	22.5	32.7	21.5	9.9	2.1	-7.2	-4.7	11.0	
8월		11.5	3.3	11.7	11.4	16.3	12.8	21.8	29.0	18.6	33.0	23.8	-5.2	-5.0	-6.8	-12.0	
9월		21.8	24.8	53.4	47.5	20.2	47.2	29.8	37.3	29.9	22.9	7.5	-18.3	-13.8	-14.3	-14.8	
10월		22.6	48.4	43.7	14.1	47.2	59.0	16.9	25.5	23.3	0.4	26.4	-2.4	-2.6	-4.0	-1.3	
12월		22.4	3.8	14.4	15.9	15.8	16.2	10.7	11.5	16.2	19.2	10.1	3.4	4.0	7.3	1.9	

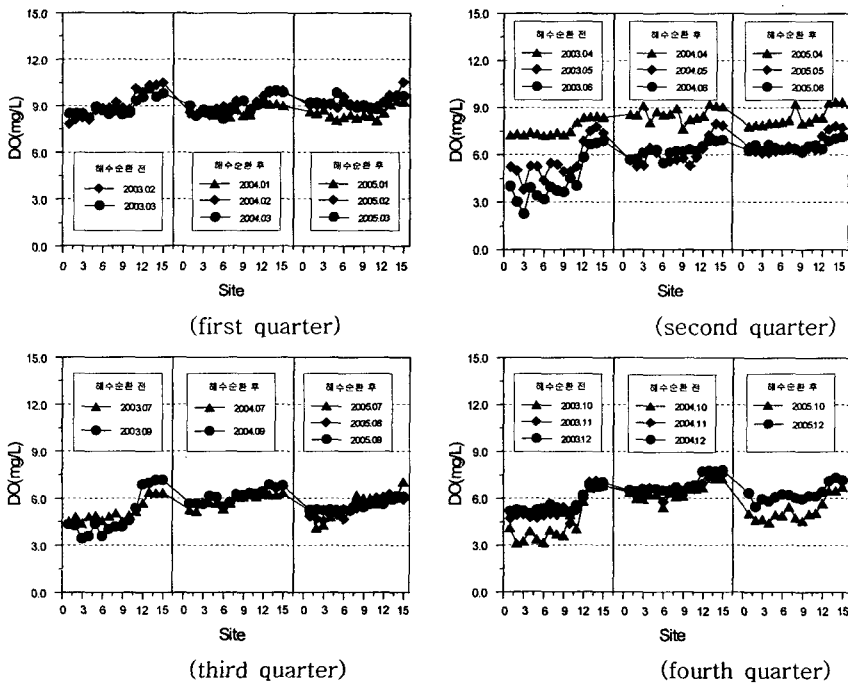


Fig. 4. Variation of Water quality by seawater exchange(DO)

Table 3. Water quality improvement by seawater exchange(COD)

		Zone 1					Zone 2					Zone 3		Zone 4			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
2004 개선 효과 (%)	2월	55.6	45.8	50.0	86.7	57.9	63.0	63.6	33.3	43.8	50.0	55.6	20.0	-33.3	-22.2	12.5	
	3월	56.7	57.6	47.4	77.3	47.4	60.9	45.0	16.7	52.9	60.0	50.0	8.3	23.1	0.0	45.5	
	4월	78.6	74.6	64.9	90.5	90.0	79.2	73.9	68.4	75.0	68.6	67.6	68.3	43.5	7.7	41.7	
	5월	57.1	55.3	58.5	78.7	70.6	58.3	63.6	57.5	50.0	46.4	61.8	28.6	50.0	33.3	33.3	
	6월	63.5	31.9	52.8	72.3	47.1	30.8	41.2	54.8	4.2	33.3	33.3	27.8	0.0	14.3	33.3	
	7월	65.5	26.0	28.6	60.9	46.2	26.3	38.1	50.0	5.9	20.8	20.0	57.1	66.7	47.4	57.9	
	9월	26.2	-12.5	5.9	35.5	16.7	0.0	20.7	37.5	0.0	40.7	45.5	33.3	28.6	0.0	-20.0	
	10월	51.4	47.1	44.8	48.1	37.0	30.8	50.0	33.3	46.2	30.4	14.3	25.0	0.0	-30.0	-9.1	
	11월	63.3	57.1	70.4	58.3	42.9	15.8	61.9	65.2	50.0	45.5	33.3	33.3	27.3	-50.0	0.0	
	12월	33.3	0.0	44.4	40.0	52.4	0.0	23.1	0.0	9.1	-11.1	40.0	47.4	20.0	-25.0	-42.9	
	2005 개선 효과 (%)	2월	33.3	8.3	-9.1	66.7	47.4	44.4	18.2	-22.2	-31.3	-85.7	-16.7	-100.0	-11.1	-33.3	-50.0
		3월	60.0	39.4	-26.3	31.8	42.1	30.4	0.0	-50.0	-5.9	-20.0	-11.1	-33.3	7.7	-50.0	9.1
4월		71.4	87.3	78.4	74.6	71.4	50.0	76.1	78.9	80.8	65.7	67.6	70.7	47.8	-23.1	-16.7	
5월		68.3	66.0	66.0	66.0	52.9	33.3	54.5	50.0	52.9	42.9	52.9	23.8	30.0	20.0	16.7	
6월		68.3	66.0	77.4	74.5	52.9	7.7	17.6	52.4	16.7	55.6	-16.7	33.3	-66.7	-14.3	20.0	
7월		79.3	68.0	52.4	73.9	38.5	36.8	33.3	45.5	41.2	50.0	0.0	28.6	33.3	15.8	36.8	
8월		43.2	46.3	60.5	64.7	19.4	37.1	33.3	16.1	64.3	63.0	20.0	42.9	23.1	0.0	0.0	
9월		47.6	45.0	41.2	61.3	26.7	20.0	17.2	31.3	35.7	63.0	18.2	42.9	14.3	-40.0	0.0	
10월		45.9	26.5	24.1	63.0	25.9	23.1	21.4	8.3	38.5	56.5	33.3	50.0	0.0	0.0	9.1	
12월		0.0	0.0	44.4	25.0	28.6	28.6	7.7	-20.0	9.1	0.0	40.0	36.8	0.0	-12.5	-14.3	

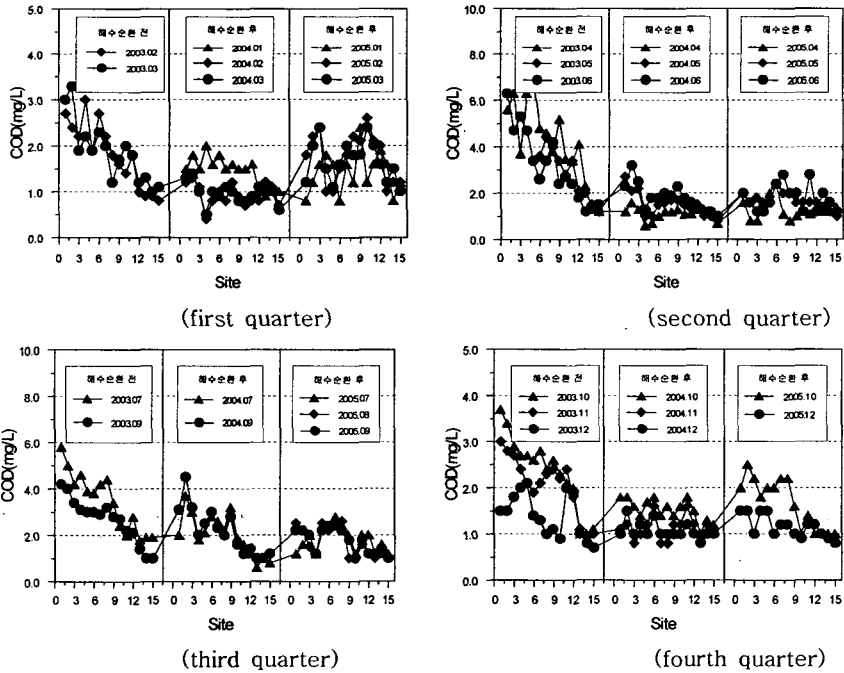


Fig. 5. Variation of Water quality by seawater exchange(COD)

T-N과 T-P와 같은 영양염류가 항내에 풍부하게 되면 장기적으로 인근 연안에 부영양화나 적조현상일 발생할 가능성이 있다. Table 4와 Fig 6에는 T-N, Table 5와 Fig 7에는 T-P의 개선효과 및 해수순환에 따른 수질변화 현황을 제시하였다. 해수의 T-N 농도는 암모니아성질소(NH₃-N)와 질산성질소(NO₃-N), 아질산성질소(NO₂-N)의 합으로 합산하게 되는데 대부분 암모니아 형태로 존재하고 있었으며 해수교환 방파제 건설로 인한 2003년 대비 2004년과 2005년 개선효과는 Zone 1 지점은 1.3~270.4%, Zone 2 지점은 1.0~93.3%, Zone 3 지점은 0.9~87.4%로 특히 정체수역인 Zone 1, Zone 2 지점의 경우 개선효과가 용존산소와 COD의 경우보다 매우 크게 나타났다. Zone 1, Zone 2 지점은 항내에서 가장 정체가 심한 지역으로 각 지점별 수질차이가 적고 안정적임을 감안하여 볼 때 개선효과가 크게 나타나 이는 해수

교환의 영향을 직접적으로 받았다고 할 수 있다. T-P의 경우 Zone 1 지점에서의 개선효과는 0.0~78.0%, Zone 2, Zone 3 지점의 개선효과는 각각 0.0~48.1, 0.0~33.3%로 조사되었다. T-P의 경우 전체적인 개선효과는 T-N처럼 높은 개선효과를 가져오지는 않았지만 2002년 12월 이후 하수종말처리장이 건설된 이후에도 약 10~30% 이상이 개선된 것으로 조사되었고, 실제 항내의 질소량에 비하여 T-P 농도가 낮게 조사되었기 때문에 여러 인자들을 고려하면 T-P 개선효과도 효과적으로 이루어진 것으로 사료된다. 특히, T-P는 퇴적 저질 층에서 재 용출되는 경우가 많은 비중을 차지하는데, 태풍 루사의 영향으로 주문진항 일부에서 시행된 준설사업의 효과와 해수교환으로 인한 용존산소 공급으로 용출율이 낮은 것에 기인된 것으로 판단된다.

Table 4. Water quality improvement by seawater exchange(T-N)

		Zone 1					Zone 2					Zone 3			Zone 4		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
2004개 선효 과 (%)	2월	7.4	11.4	5.7	5.2	4.2	1.5	3.8	6.8	3.4	1.7	2.1	-1.0	-1.1	-0.9	-0.3	
	3월	35.7	24.4	19.1	18.4	10.5	8.1	8.0	11.1	4.6	6.2	4.7	-0.2	1.1	1.3	0.5	
	4월	157.1	270.4	53.3	146.0	45.9	9.7	20.1	41.8	18.4	18.2	4.0	0.9	52.3	3.5	1.7	
	5월	87.5	86.8	83.1	89.9	75.8	65.5	76.7	79.6	78.3	72.0	74.2	60.1	69.3	83.3	78.2	
	6월	87.7	87.6	83.9	87.6	90.8	78.7	82.2	79.2	82.6	74.3	74.2	60.4	56.2	56.7	38.5	
	7월	88.2	88.8	86.3	89.7	91.8	80.6	75.8	81.8	84.0	83.1	67.2	75.5	58.2	44.7	28.0	
	9월	77.5	70.8	79.4	79.8	80.6	34.0	26.6	38.0	48.3	55.7	22.6	33.0	-5.7	-4.9	-203.4	
	10월	79.4	32.3	79.1	76.5	67.8	29.7	3.6	18.5	42.9	47.9	13.8	-3.6	-110.8	-127.2	-120.9	
	11월	71.1	55.7	77.8	73.0	63.0	7.8	-21.1	9.8	-20.7	17.3	-1.8	-32.2	-104.7	-80.2	-152.1	
	12월	48.9	1.3	41.0	54.8	23.9	3.5	1.6	-4.0	-58.2	2.8	-44.5	-16.2	-36.3	0.8	-37.2	
	2005개 선효 과 (%)	2월	62.0	64.0	65.4	63.5	56.2	58.1	48.5	65.2	57.5	39.1	50.4	-59.6	13.6	0.9	-21.0
		3월	69.3	68.3	70.7	74.8	65.9	55.3	60.3	72.0	71.9	63.0	49.8	-1.4	20.9	12.2	-2.5
4월		87.9	91.6	76.9	80.0	72.0	50.7	53.9	58.9	52.2	49.4	23.1	-19.0	80.1	27.0	6.7	
5월		87.6	85.5	83.5	86.1	85.4	76.2	72.8	80.1	83.7	73.0	71.7	43.6	66.0	73.8	71.8	
6월		66.3	73.6	62.1	58.5	78.6	70.9	70.8	65.8	74.2	59.7	55.3	22.8	55.1	56.1	35.6	
7월		81.2	83.3	79.2	77.9	82.0	62.6	77.9	90.4	89.2	93.3	87.4	79.0	56.0	49.8	42.4	
8월		64.2	66.4	65.3	59.4	49.8	12.3	43.9	77.6	57.6	82.5	80.1	73.8	6.1	13.4	-36.2	
9월		56.2	53.2	65.4	55.2	52.5	5.2	22.5	54.9	60.3	82.4	72.9	69.2	8.2	23.2	-79.3	
10월		66.4	56.4	62.7	65.8	61.8	18.4	27.2	50.2	64.9	76.5	69.9	46.9	1.1	-9.8	-3.3	
12월		22.7	2.8	37.2	43.7	20.6	-1.3	1.0	-8.5	7.1	33.5	-3.1	-5.9	-3.5	6.5	-25.5	

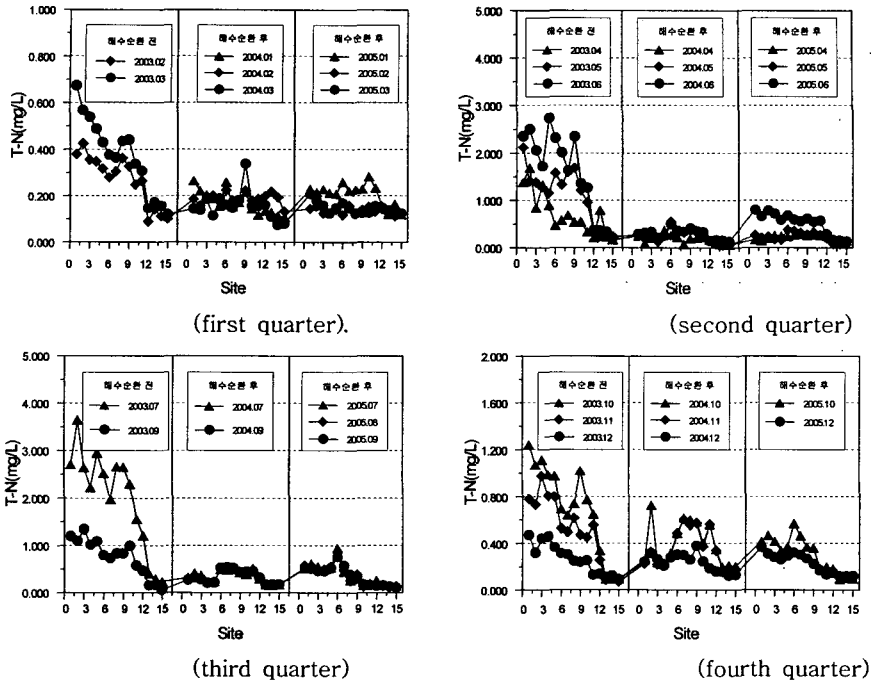


Fig. 6. Variation of Water quality by seawater exchange(T-N)

Table 5. Water quality improvement by seawater exchange(T-P)

		Zone 1					Zone 2					Zone 3		Zone 4			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
2004 개선효과 (%)	2월	54.8	30.2	32.7	35.6	31.0	31.7	20.0	18.5	23.7	14.3	14.8	-81.3	-28.6	-11.1	0.0	
	3월	71.4	64.2	61.5	78.0	-17.6	-165.5	14.8	33.3	14.7	8.3	7.1	30.8	25.0	73.9	53.6	
	4월	47.6	21.6	55.8	42.9	-6.5	-108.0	8.3	-68.4	-3.2	-48.1	-66.7	26.1	11.1	52.9	29.4	
	5월	16.7	42.5	33.3	59.5	28.6	16.7	7.7	5.0	8.7	12.0	16.7	0.0	15.4	23.1	0.0	
	6월	28.2	13.5	30.2	61.7	27.6	-15.8	-4.8	-7.1	-5.3	-11.1	-36.4	-36.4	21.4	37.5	33.3	
	7월	57.8	33.3	28.2	59.5	51.3	7.4	3.4	7.7	-3.8	7.1	-26.3	14.3	7.7	33.3	27.3	
	9월	50.0	12.5	26.7	59.4	42.9	8.3	14.3	7.4	0.0	5.3	-10.0	6.3	0.0	52.9	23.1	
	10월	55.0	26.3	17.9	16.7	8.3	9.1	-4.2	-33.3	-30.0	-33.3	-76.5	-9.5	14.3	60.0	33.3	
	11월	45.9	-33.3	7.1	-4.2	-38.5	4.8	-20.8	-40.0	-25.0	-56.3	-85.0	-60.0	21.4	66.7	20.0	
	12월	41.2	3.6	7.7	11.5	3.6	7.7	-13.6	-33.3	0.0	-33.3	-7.7	-25.0	53.8	66.7	50.0	
	2005 개선효과 (%)	2월	67.7	41.9	40.4	42.2	3.4	31.7	3.3	3.7	28.9	0.0	7.4	-25.0	28.6	33.3	33.3
		3월	71.4	54.7	10.3	44.0	29.4	10.3	-3.7	20.0	32.4	16.7	14.3	30.8	20.8	13.0	35.7
4월		71.4	67.6	69.8	39.3	45.2	28.0	4.2	5.3	38.7	25.9	19.0	17.4	33.3	52.9	64.7	
5월		20.0	37.5	27.3	48.6	22.9	16.7	0.0	-5.0	26.1	4.0	-66.7	-58.3	-53.8	-30.8	-60.0	
6월		0.0	10.8	32.6	42.6	-24.1	-52.6	-42.9	-57.1	-57.9	5.6	-54.5	-63.6	-21.4	6.3	40.0	
7월		53.3	63.2	64.1	69.0	64.1	48.1	-13.8	-3.8	-15.4	0.0	-10.5	33.3	-61.5	-25.0	-45.5	
8월		47.6	31.4	14.3	23.5	11.1	0.0	-9.5	-33.3	0.0	4.3	0.0	11.1	-28.6	-40.0	9.1	
9월		45.0	37.5	46.7	56.3	35.7	33.3	-42.9	3.7	-20.0	-5.3	0.0	25.0	-20.0	29.4	7.7	
10월		25.0	15.8	21.4	46.7	16.7	18.2	8.3	-14.3	0.0	-22.2	-17.6	14.3	-28.6	6.7	16.7	
12월		5.9	0.0	23.1	30.8	21.4	15.4	-4.5	-22.2	14.3	-11.1	15.4	0.0	38.5	25.0	20.0	

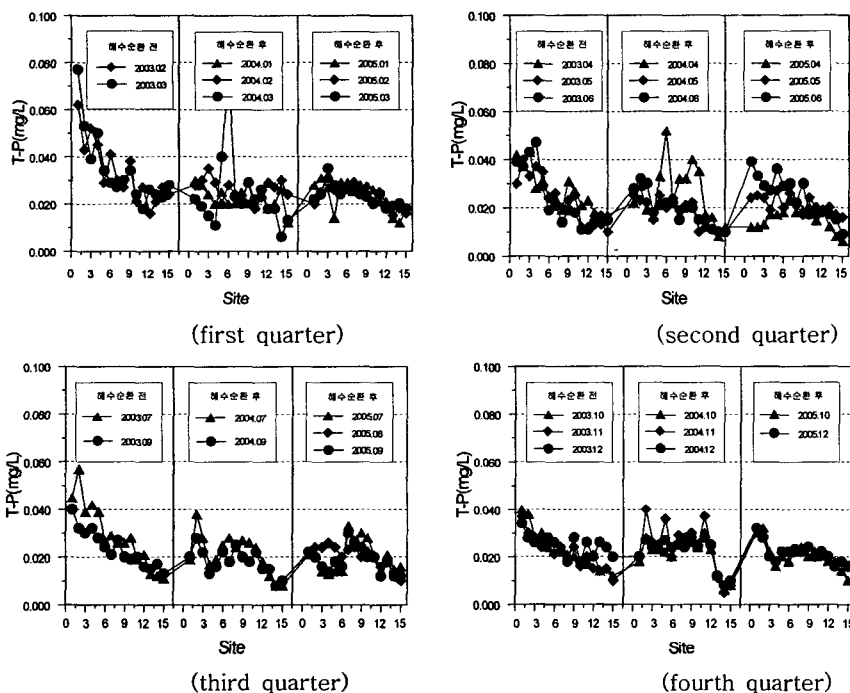


Fig. 7. Variation of Water quality by seawater exchange(T-P)

4. 수질개선의 유의성 검증

주문진항 해수교환시설에 대한 통계학적 유의성 검토를 위하여 주문진 하수처리장 건설 전(2002.05~2002.12), 하수처리장 건설 후(2003.02~2003.12) 그리고 해수교환시설 건설 후(2004.01~2005.12)에 대한 각 요인에 대한 일원배치분산분석을 실시하였다. 분석방법은 SPSS 11.0 통계패키지를 이용하였으며 분석방법에 적용된 분산분석(Analysis of Variance : ANOVA)은 분산의 원인이 어디에 있는가를 알아보는 통계적 방법이다. 조사지점은 Zone 1, 2, 3 지점을 대상으로 실시하였으며 Zone 4 지점은 외항에 위치해 있으므로 유의성 검증에서 제외하였다.

Table 6은 용존산소와 COD에 대하여 각 요인 분석 결과를 제시하였다. 요인분석결과 하수처리 전후를 기준하였을 경우 용존산소

와 COD 모두 통계적인 유의성이 거의 없는 것으로 조사되었다. 반면 해수교환시설을 기준으로 하였을 경우 거의 모든 지점에서 통계적으로 유의성이 있는 것으로 조사되었다. 따라서 하수종말처리장 건설에 따른 항내 수질의 효과적인 개선은 어려운 것으로 조사되었다. 이러한 이유는 하수처리장 건설로 항내로 유입되는 하수량은 감소되거나 비점오염원을 통하여 지속적으로 항내로 오염물질이 유입되고 항내 정체수역으로 인해 외항으로 효과적으로 확산되지 못한다는 것을 의미한다. 그러나 해수교환의 경우 2절의 유입유량 측정결과 하루 최소 1,526 - 3,052m³/day의 해수가 항내 최대 정체지역인 Zone 1으로 효과적으로 유입됨으로 항내의 해수의 흐름을 원활하게 유도하여 오염물질들을 효과적인 외항으로의 확산을 유도하기 때문인 것으로 사료된다.

Table 6. The result of statistics analysis by multiple comparison method(DO, COD)

다중 비교방법에 의한 DO 분석							
종속변수	요 인(I)	요 인(J)	평균차 (I-J)	표준오차	유의확률	95% 신뢰구간	
						하한값	상한값
Zone1	하수처리 전	하수처리 후	3.950E-02	.3173	.999	-.6849	.7639
		해수교환 후	-1.4009	.2819	.000*	-1.9513	-.8504
	하수처리 후	하수처리 전	-3.9500E-02	.3173	.999	-.7639	.6849
		해수교환 후	-1.4404	.2522	.000*	-2.1240	-.7567
	해수교환 후	하수처리 전	1.4009	.2819	.000*	.8504	1.9513
		하수처리 후	1.4404	.2522	.000*	.7567	2.1240
Zone2	하수처리 전	하수처리 후	4.634E-02	.3130	.998	-.7040	.7967
		해수교환 후	-1.3251	.2781	.000*	-1.8952	-.7551
	하수처리 후	하수처리 전	-4.6341E-02	.3130	.998	-.7967	.7040
		해수교환 후	-1.3715	.2488	.000*	-2.0516	-.6913
	해수교환 후	하수처리 전	1.3251	.2781	.000*	.7551	1.8952
		하수처리 후	1.3715	.2488	.000*	.6913	2.0516
Zone3	하수처리 전	하수처리 후	-.5344	.4979	.687	-1.8750	.8062
		해수교환 후	-1.1953	.4424	.024*	-2.2545	-.1361
	하수처리 후	하수처리 전	.5344	.4979	.687	-.8062	1.8750
		해수교환 후	-.6609	.3957	.372	-1.7777	.4559
	해수교환 후	하수처리 전	1.1953	.4424	.024*	.1361	2.2545
		하수처리 후	.6609	.3957	.372	-.4559	1.7777

다중 비교방법에 의한 COD 분석							
Zone1	하수처리 전	하수처리 후	.3102	.2162	.597	-.3594	.9799
		해수교환 후	2.2784	.1921	.000*	1.7584	2.7984
	하수처리 후	하수처리 전	-.3102	.2162	.597	-.9799	.3594
		해수교환 후	1.9682	.1718	.000*	1.4793	2.4570
	해수교환 후	하수처리 전	-2.2784	.1921	.000*	-2.7984	-1.7584
		하수처리 후	-1.9682	.1718	.000*	-2.4570	-1.4793
Zone2	하수처리 전	하수처리 후	.5045	.1727	.065	-2.3606E-02	1.0327
		해수교환 후	1.6200	.1534	.000*	1.1819	2.0581
	하수처리 후	하수처리 전	-.5045	.1727	.065	-1.0327	2.361E-02
		해수교환 후	1.1155	.1372	.000*	.7520	1.4789
	해수교환 후	하수처리 전	-1.6200	.1534	.000*	-2.0581	-1.1819
		하수처리 후	-1.1155	.1372	.000*	-1.4789	-.7520
Zone3	하수처리 전	하수처리 후	.2063	.1712	.663	-.2930	.7055
		해수교환 후	.9676	.1521	.000*	.5921	1.3432
	하수처리 후	하수처리 전	-.2063	.1712	.663	-.7055	.2930
		해수교환 후	.7614	.1361	.000*	.3534	1.1693
	해수교환 후	하수처리 전	-.9676	.1521	.000*	-1.3432	-.5921
		하수처리 후	-.7614	.1361	.000*	-1.1693	-.3534

* .05 수준에서 평균차가 큼.

T-N과 T-P에 대한 각 요인별 분석결과는 Table 7에 제시하였다. T-N과 T-P 역시 용존산소와 COD의 결과와 유사하게 하수처리 전·후를 기준하였을 경우에는 통계적인 유의성이 거의 없는 것으로 조사되었으나 해수교환 후를 기준으로 하였을 경우 거의 모든 지점에서 통계적으로 유의성이 있는 것으로 조사되었다. 지점별로 살펴보면 정체수역인 Zone 1, 2 지점의 경우 해수교환으로 대부분 통계적인 유의성이 검증되었으나 외항과 인접한 Zone 3의 경우 특히 T-P의 경우는 통계적 유의성이 없는 것으로 조사되었다. T-P의 이러한 원인은 Zone 3는 외항과 바로 인

접해 있고 3절에서 언급한 바와 같이 하수종말처리장 건설에 따른 일부 개선효과와 태풍 루사로 인한 일부 퇴적층 제거에 따른 영향인 것으로 사료된다.

현재까지 주문진항 하수종말처리장 설치 전·후와 해수교환시설 건설 등 물리적 변화에 대한 수질개선효과를 검증해본 결과 정체수역내의 자연스런 해수유입으로 항구로서의 정온수역을 유지할 수 있었으며, 내항 및 외항으로의 해수순환 흐름이 원활해져 전체적으로 주문진항의 수질개선은 매우 효과적으로 이루어진 것으로 사료된다.

Table 7. The result of statistics analysis by multiple comparison method(T-N, T-P)

다중 비교방법에 의한 T-N 분석							
종속변수	요 인(I)	요 인(J)	평균차 (I-J)	표준오차	유의확률	95% 신뢰구간	
						하한값	상한값
Zone1	하수처리 전	하수처리 후	8.825E-02	.1475	.974	-.4801	.6566
		해수교환 후	1.0197	.1310	.000*	.5040	1.5353
	하수처리 후	하수처리 전	-8.8252E-02	.1475	.974	-.6566	.4801
		해수교환 후	.9314	.1172	.000*	.6716	1.1912
	해수교환 후	하수처리 전	-1.0197	.1310	.000*	-1.5353	-.5040
		하수처리 후	-.9314	.1172	.000*	-1.1912	-.6716
Zone2	하수처리 전	하수처리 후	.2489	.1460	.635	-.3223	.8200
		해수교환 후	.8555	.1298	.001*	.3260	1.3849
	하수처리 후	하수처리 전	-.2489	.1460	.635	-.8200	.3223
		해수교환 후	.6066	.1161	.000*	.3711	.8420
	해수교환 후	하수처리 전	-.8555	.1298	.001*	-1.3849	-.3260
		하수처리 후	-.6066	.1161	.000*	-.8420	-.3711
Zone3	하수처리 전	하수처리 후	.1257	.1317	.905	-.4119	.6633
		해수교환 후	.4171	.1170	.123	-9.0506E-02	.9248
	하수처리 후	하수처리 전	-.1257	.1317	.905	-.6633	.4119
		해수교환 후	.2915	.1047	.009*	6.465E-02	.5183
	해수교환 후	하수처리 전	-.4171	.1170	.123	-.9248	9.051E-02
		하수처리 후	-.2915	.1047	.009*	-.5183	-6.4648E-02
다중 비교방법에 의한 T-P 분석							
Zone1	하수처리 전	하수처리 후	5.405E-03	2.450E-03	.371	-3.5909E-03	1.440E-02
		해수교환 후	1.856E-02	2.177E-03	.000*	1.001E-02	2.710E-02
	하수처리 후	하수처리 전	-5.4045E-03	2.450E-03	.371	-1.4400E-02	3.591E-03
		해수교환 후	1.315E-02	1.947E-03	.000*	9.489E-03	1.682E-02
	해수교환 후	하수처리 전	-1.8559E-02	2.177E-03	.000*	-2.7103E-02	-1.0015E-02
		하수처리 후	-1.3155E-02	1.947E-03	.000*	-1.6820E-02	-9.4889E-03
Zone2	하수처리 전	하수처리 후	1.101E-02	2.308E-03	.008*	2.428E-03	1.960E-02
		해수교환 후	1.036E-02	2.050E-03	.013*	1.782E-03	1.893E-02
	하수처리 후	하수처리 전	-1.1011E-02	2.308E-03	.008*	-1.9595E-02	-2.4276E-03
		해수교환 후	-6.5455E-04	1.834E-03	.877	-3.0131E-03	1.704E-03
	해수교환 후	하수처리 전	-1.0357E-02	2.050E-03	.013*	-1.8932E-02	-1.7817E-03
		하수처리 후	6.545E-04	1.834E-03	.877	-1.7040E-03	3.013E-03
Zone3	하수처리 전	하수처리 후	8.472E-03	2.982E-03	.211	-3.4570E-03	2.040E-02
		해수교환 후	6.881E-03	2.650E-03	.360	-4.9858E-03	1.875E-02
	하수처리 후	하수처리 전	-8.4716E-03	2.982E-03	.211	-2.0400E-02	3.457E-03
		해수교환 후	-1.5909E-03	2.370E-03	.574	-4.9735E-03	1.792E-03
	해수교환 후	하수처리 전	-6.8807E-03	2.650E-03	.360	-1.8747E-02	4.986E-03
		하수처리 후	1.591E-03	2.370E-03	.574	-1.7917E-03	4.973E-03

* .05 수준에서 평균차가 큼.

IV. 결론

내항의 수질을 개선하기 위한 목적으로 국내 최초로 건설되고 시범 운영중인 해수교환 방파제의 효율성을 검증하기 위한 장기적 모니터링을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 주문진항의 주요 오염원으로는 미처리된 생활하수와 우기 시 비점오염원에서 배출되는 폐수 등을 들 수 있다. 또한 오염원

배출현황을 분기별로 구분하면 관광객 유입과 어로활동이 활발한 2/4분기와 3/4분기가 배출량이 많은 것으로 조사되어 전형적인 어업 및 관광항구로서의 특징을 보이고 있다.

2. 동해안의 최소 파도형태(0.5m 미만)를 고려한 해수교환 시설을 통해 유입되는 6개의 유입관을 통하여 유입되는 유량은 1,526 - 3,052m³/day로 조사되었다.
3. 해수교환시설 건설 후 유기물을 비롯한 영양염류의 개선효과는 정체수역인 Zone 1 과 Zone 2가 가장 많이 개선된 것으로 조

사되었으며 외항과 인접한 Zone 3의 경우 Zone 1과 Zone 2보다는 개선효과가 낮게 조사되었으나 해수교환 이전과 비교하면 높은 개선효과를 가져왔다.

4. 하수처리 전·후와 해수교환 방파제 건설등항 주변의 물리적 변화에 따른 통계학적 분석결과 하수처리 전·후의 수질개선효과보다 해수교환 방파제 건설에 따른 수질개선효과가 매우 큰 것으로 조사되었다.

참고문헌

1. 정신택외 3인 : 잠제가 설치된 유공형 해수교환방파제의 도수량 특성 분석, Ocean and Polar Research, Vol. 26(3), 2004.
2. 이달수의 4인 : 해수교환방파제의 형상별 순유입유량 특성 비교, Ocean and Polar Research, Vol. 225(3S), 2003.
3. AWWA, WEF and APHA : Standard Method 19th Edition, 1995.
4. 국립수산진흥원 : 해양환경공정시험방법, 1997.
5. 최규철외 7인 : 수질오염공정시험방법주해, 동화기술, 2002.
6. 동해지방해양수산청 : 주문진항 해수교환 시설 설치공사사전 모니터링 최종보고서, 2004.06
7. 한국해양연구원 : 해양정책·R&D 동향, 해수교환방파제의 실용화 연구, 2001.10.
1. 정신택외 3인 : 잠제가 설치된 유공형 해수교환방파제의 도수량 특성 분석, Ocean