

항내 해수교환을 위한 소통구 시설에 관한 연구 <上>



정익한
(주) 세광종합기술단

1. 서론

종래의 항만 및 어항건설은 화물을 안전하고 효율적으로 수송한다는 항만의 고유기능에만 중점을 두고 외곽시설에 둘러싸인 정온수역 확보만을 고수하여 왔다. 그 결과, 항만수역이 외해와 격리되어 해수교환 차단 및 항내 유입된 오염물질의 정화기능이 상실되어, 수질이 악화되고 악취가 발생하여 어항주변의 위락시설을 이용하는 방문객의 수가 감소되어 지역어민소득 및 경제에 직접적인 영향을 미치고 있는 것으로 파악됨으로써 이에 대한 대책 수립이 필요하게 되었다.

항내수역은 지역민과 어항을 방문하는 관광객의 생활공간이며, 휴식공간으로 종래의 어항기능을 탈피하여 청정 어항 개발을 목표로 해수소통시설을 어항계획 초기부터 고려하여야 한다.

여기서는 항내수질개선을 위한 성공적인 국내의 시공 사례를 소개하고, 금회 동해지방 해양수산청에서 대안 설계로써 수행된바 있는 공촌항 개발계획시 적용된 해수교환시설 도입 내용을 간략히 설명하므로써 향후 해수교환시설물 설계에 참고자료로써 활용할 수 있으면 한다.

2. 국·내외 개발사례

방파제로 차폐된 항만내에서는 정온하고 양호한 수변공간이 형성되어, 항만기능 이외에도 다양한 형태의 어항 이용이 시도되고 있으나 이와같은 차폐역 확보에 의한 수질악화는 피할 수 없게 된다. 이러한 문제는 항이 내만에 깊이 굴입되어 있는 기존 소규모의 어항에서 수질오염이 현저하여 신설될 어항계획시 해수소통시설을 도입함으로써 수질개선을 도모하고 있는 실정이다. 항내수질을 보전하거나 개선하기 위한 방법은 오염수의 유입이나 발생을 원천적으로 차단하는 방법과 해양에너지를 이용한 외해수를 항내로 유입시켜 희석하는 방법 등이 있으나 일반적으로 해양에너지를 이용하는 방법이 많이 연구되고 있으며, 이 방법은 조류와 파랑을 이용하는 방법 등으로 구분할 수 있다.

본 개발사례에서는 외곽시설인 방파제를 이용하여 구조물의 주기능인 파랑을 제어 항내의 정온도를 확보하여 부두 이용성을 높이는 방파제 본래의 목적외에 파에 의한 유체운동을 이용, 해수를 항내에 유입시키는 기능을 갖는 해수교환형 방파제를 일부제체구간에 설치하여 항내 수질을 유지 또는 개선하는 방법 등의 개발사례 등을 소개할 것이다.

2.1 국내개발사례

가. 주문진항

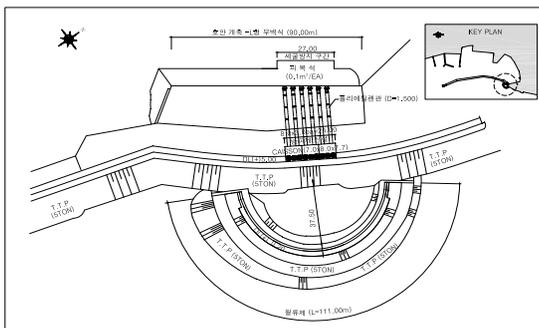
1) 개요

- 주문진항은 방파제의 장방형 배치 형상에 의해 수산물 처리 및 배후지에서의 생활하수 등 항내유입오염원이 정체되어 항내수질의 오염이 심각
- 조위는 약최고 고조위(Approx.H,H,W)가 39.2cm, 평균해면(M.S.L)은 19.6cm로 조석간만의 차는 크지 않으며, 조류속도 약 10~20cm/sec, 항 인접지에서는 풍향과 유향과의 관계는 불명확한 지역적 특성을 나타냄
- 항내수질개선 방안으로 항내의 해수가 원활하게 순환될 수 있도록 방파제 기부측 일부구간을 절개후 시설을 설치하여 해수교환 유도
- 해수교환 시스템의 구조형식은 월류제를 통해 유입된 해수가 케이스 유수실 후면에 연결된 도수로를 통하여 항내로 공급되는 소파블록 전치 유수실 내장형으로 설치

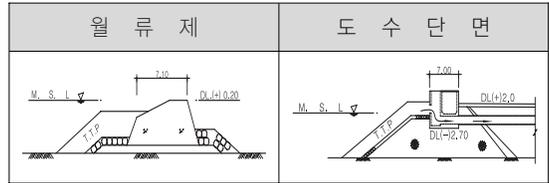
2) 해수교환시설물 계획

- 월류제의 평면형상은 대상해역에 내습하는 파랑의 방향성이 일정치 않으므로써 월류한 유입수의 외측으로의 역류를 억제하고 소요해수유입량 확보를 위해 유수지내 수위상승에 효과적인 아치형으로 계획

해수교환시설 배치계획 평면도



3) 단면도



4) 해수유입량 및 교환횟수

- 주문진항내의 수질개선이 이루어져야 할 정체수역의 총량은 약 100만^m³(수면적 약 20만^m²)이며, 해수교환 시설이 설치될 전면해역의 파랑특성을 고려하면 총량기준 해수교환 목표는 2주에 1회이상 유입수의 회전이 이루어지도록 계획

○ 연간 해수 총 유입량

- 해수교환 방파제의 단위 길이당 유입량 :

$$2,702,300\text{m}^3/\text{년}/\text{m}$$

- 해수 총 유입량

$$Q = 2,702,300\text{m}^3/\text{년}/\text{m} \times 24.0\text{m} = 64,855,200\text{m}^3/\text{년}$$

○ 연간 해수교환 횟수

$$\frac{365}{7} / 1\text{회} = 52\text{회}, \quad \frac{52\text{회}}{2\text{주}} / 1\text{년} = 26\text{회}/\text{년이상}$$

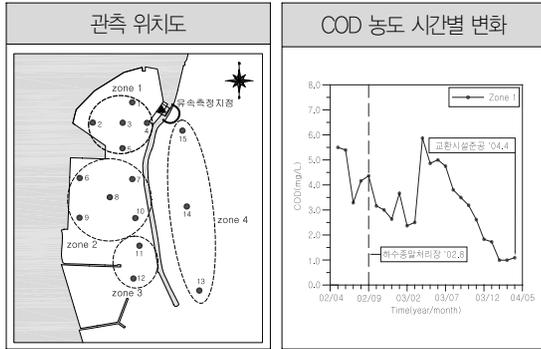
$$64,855,200\text{m}^3 / 52\text{회} = 1,250,000\text{m}^3 > 1,000,000\text{m}^3 \text{ (정체수역)} \therefore \text{OK}$$

5) 수질개선 효과분석(항만 및 어항의 수질환경 개선기술, 한국해양연구원, 이달수, 2004)

- 해역의 수질은 3등급으로 분류할 수 있으며 주문진항은 해수교환시설 설치전 COD 농도가 5.8mg/L로 수질로서는 오염도가 등급의 수준으로 매우 좋지 않았으나 해수교환시설 설치후 1.1mg/L로 약 1/5로 대폭감소된 것을 관측결과 확인되므로써 수질 등급도 2등급으로 상향 개선된 것으로 분석되었다.

- 관측지점은 5개지역으로 구분하여 관측하였으며 본 연구에서는 항내의 오염도가 심각할 것으로 예상되

는 Zone1 지역의 관측결과를 아래 그림과 같이 나타내었다.



나. 묵호항

1) 설치목적

- 묵호항은 항세가 주문진항과 비슷하게 구성되어 있는 형상으로 항내에 유입되는 생활오수와 수산물 가공폐수 등에 의하여 항내가 오염되고 있는 실정임
- 항내수질 개선을 위한 대책으로 동해시에서는 오염의 주원인인 오징어 활복장 및 위판장 폐수의 항내유입을 차단하기 위하여 폐수종말처리장을 운영중에 있으나 항내 수질개선에 영향은 크지 않음
- 따라서, 묵호항 어민 및 인근지역 주민들의 악취로 인한 생활불편을 해소하여 이에 대한 대책으로 항내 수질개선을 통한 청정어항 변화를 도모하여 지역 어

해수교환 설치 위치도



민의 민원해결 및 소득향상에 기여코자 해수교환 시설을 설치함

2) 해수교환시설물

- 묵호항 동방파제 전면 해역에는 넓은 범위의 모래가 분포되어 있고 대조차가 18.4cm로 조석에 의한 해수교환을 기대하기 어려우므로 해수교환의 원활한 추진을 위해서는 월류제에 수위상승으로 인한 해수교환을 유도하도록 월류제 구조형식 적용
- 해수교환시설물은 동방파제 법선에서 70m이격하여 유수지폭 35m와 월류제 길이 103m의 인공섬 형태로 조성
- 해저표사의 이동이 활발하여 이상파랑 내습시 표사의 침사지로서의 부가적인 기능을 수행할 수 있도록 계획
- 기존 동방파제와 인공섬 사이의 해수소통 폭은 약최저저조위(App. L.L.W)을 기준하여 30m이상으로 하여 월류제를 통해 유입되는 외해수가 케이슨의 도수로를 통해 항내로 유입되는 형식

해수교환시설 조감도



3) 해수교환량 및 교환횟수

- 묵호항내 오염원의 위치와 항의 평면형상을 고려하여 항내 해수정체유역의 총량을 약 270만m³(평균해면)으로 설정

- 해수교환시설물의 단면제원 및 소요연장을 계획함에 있어 대상해역의 연중과교 분포를 파악하고, 총량기준 해수교환 목표는 주문진항과 같은 2주에 1회이상 해수유입 회전이 이루어지도록 계획
- 단면제원
 - 해수교환시설의 총연장 : 151m (월류제 35m 포함)
 - 해수교환 전면 해수 유입구 : 12개(1.5m(W) × 1.0m(H), 구형)
 - 해수교환 후면 해수 유출구 : D = 1.5m × 8ea, 원형
- 연간 총 유입량
 - 단위길이당 유입량 : 2,490,000m³/년/m
 - 해수 총 유입량 : 2,490,000m³/년/m × 33.6m = 83,664,000m³/년
- 연간해수교환횟수(2주에 1회)
 - 83,664,000m³/26회 = 3,200,000m³ > 2,700,000m³ (정체수역) ∴OK
- 4) 향후 모니터링 계획
 - 해수의 유입량 평가와 더불어 수질개선 및 생태계에 미치는 효과를 정량적으로 평가하고 대상지역의 환

경변화를 모니터링 함으로써 필요한 기술 축적을 위하여 조사계획 수립

- 모니터링 조사위치는 지역주민, 관계기관 및 전문업체와 협의하여 항내·외측에 위치선정하여 조사를 수행

2.2 해외개발사례

가. 후쿠오까현 시카노시마 어항(일본)

1) 목적

- 하카타만 입구의 시카노시마(志賀島) 남동부에 위치한 본 어항은 외항에서 낚시에 의하여 획득한 수산물을 소형선박에 접해있는 양식망에 살아있는 상태로 유지하고 있으나 이러한 어획물이 초여름에는 항내 수질오염으로 폐사하는 문제가 발생되고 있다.
- 또한 해초류 등이 항내로 유입되어 퇴적·부패하므로써 저질의 오염을 발생시키고 수질로까지 악영향을 미치고 있는 실정이다.
- 따라서 이러한 항내오염대책을 해소하고자 해수교환 방파제를 도입하게 되었다.

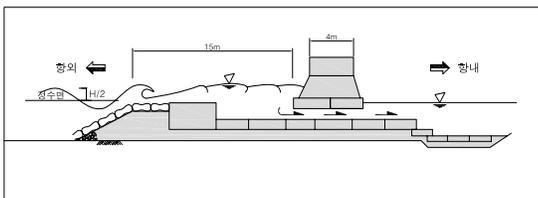
조사내용		조사기간			조사지점	조사개소	횟수
		1년	2년	3년			
저서생물 조사 및 분석	① 조하대 저서생물	○	○	○	항내	6	년4회 (계절별)
					항외	3	
	② 임반조 하대 생물	○	○	○	항내	4	
					항외	2	
	③ 임반조 간대	○	○	○	항내	4	
					항외	2	
유입유출 관측 및 분석		○			도수관 유출구 (해수유입 시작하면 관측)	1	연속
항내 유속조사 및 분석					항내 (파고가 큰 시기에 실시)	6	창·낙조 1회
유수지내의 퇴적조사	○	○			유수지내	10	년 4회
해수유입용 도수로내의 퇴적조사	○	○			도수로내	-	년 4회
해저 지형변화 조사	○	○			월류제 인근 수심측량 실시	-	년 2회
해수유동 및 확산 수치모형실험			○			-	-
종합분석 및 평가			○				
설계지침서 작성 및 보완			○				



2) 해수교환시설 원리

- 본 해수교환시설은 파랑에너지를 위치에너지로 변환하여 흐름을 발생시키는 원리로 아래그림과 같으며 국내 적용한 월류제 형식으로 주문진항과 동일한 원리이다.
- 방파제 본체에 도수구를 설치하고 그 전면에 볼투과성 잠제를 설치한 구조형식으로 파랑이 잠제를 월류하여 우수부의 평균수위가 상승하면 항내·외 수위차로 도수로에 의한 어항내 흐름이 발생하여 항내로 해수가 유입된다.
- 또한, 파랑에 의한 에너지를 해수교환시설 전면부 잠제에서 소파시켜 수위상승으로 인한 위치에너지로 변환시키기 때문에 항내의 정온에 미치는 영향은 없다.
- 본 원리는 조석에 의한 해수유출입과 달리 도수로에 의한 일방향 흐름으로 항내 해수와 혼합되어 강제적 유출을 발생시킨다.

해수교환 흐름도



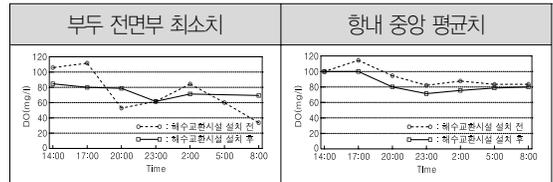
3) 해수유입능력

- 관측기간중 평균 유의파고는 약 0.6m이고, 도수유속은 0.4m/sec이며 1일당 약 100,000m³의 외해수가 유입되었으며, 이 기간중 조석에 의한 교환량을 4만~9만톤으로 평균 7만톤으로 추정되었다.
- 위 결과에서 알 수 있듯이 해수교환시설 설치에 따라 약 2~3배의 교환량 발생에 의한 항입구부에 흐름이 발생되어 수질악화의 요인이 되는 부패되고 퇴적된 해조류를 흘러보내는 원동력이 됨을 확인하였다.

4) DO(용존산소량)

- DO 측정은 항내부두전면과 부두중앙에서 해수교환시설의 설치전과 설치후에 관측한 결과는 아래 그림과 같다.
- DO는 기상상의 영향을 받기 쉬우며 항내부두 전면에서 DO가 50%이하인 값을 나타내는 것으로 보다 시간에 따라 DO량의 변화가 큰 것을 알 수 있으나 해수순환이 발생된 후에는 일정한 값을 보임으로 어획물의 폐사는 발생하지 않을 것으로 설명될 수 있다.
- 이것은 약간이라도 DO의 저하가 작은것은 지속적인 해수유입이 있기 때문이라 판단된다.

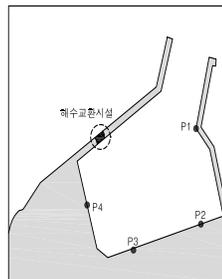
DO의 경시변화



5) COD(화학적 산소 요구량)

- 다음 그림 및 도표는 해수교환시설의 설치 전·후에 대하여 4개지역으로 분할 후 관측결과치를 나타낸 것이다.
- 설치전 COD가 4~7mg/l 에서 설치후 1~2mg/l 으로 어항전체에서 대폭 개선되는 것을 확인할 수 있었다.
- 즉, 유기물의 유입은 지속적으로 발생되나 해수교환에 의해 신속하게 외해로 방출되기 때문에 개선된 것으로 판단된다.

COD조사위치도



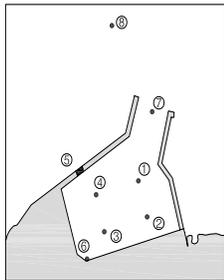
COD 관측결과(mg/l)

	설치전		설치 후			
	1990 7/15	1994 6/22 6:00	1994 6/22 17:00	1994 7/19 5:00	1994 7/20 5:00	
항외표층	-	1.0	1.6	1.8	1.2	
항외저층	-	1.3	2.0	1.1	1.2	
P1 표층	6.3	1.2	1.7	2.0	1.3	
P1 저층	6.1	1.5	1.8	1.9	1.2	
P2 표층	4.2	1.2	1.9	-	-	
P2 저층	5.7	1.9	2.2	-	-	
P3 표층	5.2	2.0	2.0	2.0	0.6	
P3 저층	6.7	1.2	1.3	2.2	8.5	
P4 표층	6.5	1.7	1.4	-	-	
P4 저층	6.8	1.6	1.5	-	-	

6) 저 질

- 어항내외의 각지점 저질분석 결과는 아래그림의 표와 같다.
- 해수교환시설의 설치전·후 결과에서 항입구부 열감량이 작아진 것은 유기물이 항외로 유출된 것으로 관측되었으며, 입도시험결과에서도 니토가 감소되므로써 개선된 것이라 할 수 있다.
- 항내에서의 수치를 비교하여도 꽤 개선된 것을 확인할 수 있다.

저 질 분석 결과



구 분	COD ₅₀₀ (mg/g)	강알칼리량 (wt%)	유화물 (mg/g)	니토(%)
①(설치후)	6.8	3.8	0.23	8.3
①(설치전)	-	10.7	-	13.7
②(설치후)	9.3	5.4	0.38	15.4
③(설치후)	18.4	7.7	0.56	25.8
④(설치후)	7.8	5.2	0.39	9.5
④(설치전)	-	10.0	-	31.8
⑤(설치후)	2.6	2.7	0.11	3.7
⑥(설치후)	27.8	10.0	1.42	19.7
⑦(설치후)	2.5	2.6	0.15	1.2
⑧(설치후)	0.9	1.1	-	0.3

7) 현지주민의 평가

- 현지 주민들에 대한 해수교환시설 평가는
 - 어획물의 폐사가 없어짐
 - 항내의 해조류의 퇴적 등이 없어 저질오염 감소 및 개선
 - 설치후 작은 어류출현으로 낚시관광객 증가 등 좋은 평가를 얻었다.

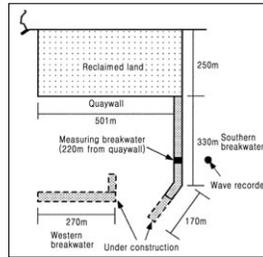
나. 카나가와현 이사키어항(일본)

1) 개요

- 이사키어항은 비교적 수심이 깊고 연약지반이 분포하는 지역으로 JFE엔지니어링에서 개발된 새로운 구조형식의 하이브리드 케이슨식 해수교환시설을 도입하였다.
- 이사키항의 수질개선을 위하여 설치된 새로운 구조

형식의 해수교환시설은 파고 0.25m에서 항내속도 0.2m/sec가 발생하여 해수교환이 이루어지는 것을 계측결과와 수리실험결과에 의하여 비교·증명하였다.

설치위치도



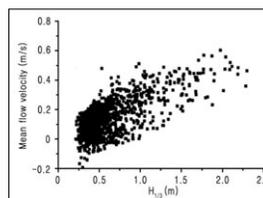
해수교환시설 시공 전경



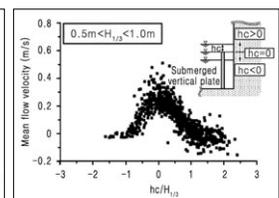
2) 현지계측결과

- 현지계측결과는 초음파식 파고계를 항내측 도수관 출구에 설치하여 파고에 따른 유속시계열을 관측하였다.
- 유의파고와 평균유속과의 관계에서 유의파고가 0.25m 정도와 같은 저파랑의 상태에서도 최대유속이 0.2m/sec 정도 발생되므로써 해수유입 현상을 확인할 수 있었다.
- 조위변동에 의한 평균유속 관계에서는 해수유입 발생되기 위한 유속발생을 고려할 시 조위 위치는 월파판 상단에서 아래쪽으로는 유의파고정도, 위쪽으로는 유의파고의 1.5배 정도에 있어야 유입속도가 최대가 될 수 있다.

유의파고와 평균유속



조위변동에 의한 평균유속



(다음호에 계속)