

방파제의 실용화

파력을 이용한 항내수질 개선

李達秀

(韓國海洋研究所 海洋工學研究部長)

머리말

전통적으로 방파제란 파력을 제어하는 단순구조물로만 인식되어, 평상시 월파가 발생하지 않도록 축조됨으로써, 일반적으로 방파제가 항내·외로의 해수유통을 차단한다는 문제는 등한시 되어 왔다. 그러므로 조차가 충분히 크기 않은 해역에서는 항내의 물이 정체되어, 항내에 산소부족을 초래하는 한편, 항내의 오염물질이 외해로 확산되지 못하여 부영양화로 인한 악취발생 및 어류의 산란에 지장을 주는 등 국민생활의 질의 향상에 따른 욕구와 역행하는 문제들이 발생하고 있다.

따라서 여기서는 국내·외의 관련현황을 살펴보고, 죽어가는 물을 살리는 한 가지 대안으로서 파력을 이용하여 항내 수

질개선이 가능한 새로운 방파제 형식을 제시하고, 이형식이 매우 긍정적임을 입증하는 연구결과를 소개하며, 실용화방법으로 실험실증실험연구에 대하여 간단히 기술하고자 한다.

국내·외의 동향

해양경찰청의 조사자료에 의하면, 우리나라의 동해안 및 남해안의 대부분의 어항·항만의 수질은 공업용 및 선박용으로 사용하기에도 부적합하게 악화되어 이미 삼급수기준을 초과하고 있다.

이 수질오염의 주 요인은 처리되지 않은 도시하수의 항내 유입 및 선착장 부근에서 이루어지는 어류의 배따기등에 의한 유기물의 항내 유입이라 할

수 있다. 이렇게 항내에 유입된 유기물은 분해과정에서 물속에 녹아있는 산소를 많이 소모하므로 생물학적 산소요구량을 증대시키며 물을 썩게하여 때로는 악취를 내뿜게도 하는 등 지역주민의 쾌적한 삶을 저해하고 있다.

항내 수질개선을 위해서는, 우선 오염원의 유입을 차단하여야 하겠지만, 현실적으로 산소가 많이 포함된 신선한 외해수가 평상시에 방파제를 통하여 쉽게 항내로 유입되도록 함으로써, 신규항만 뿐 아니라 기존항만의 수질을 보존하는 새로운 방안 마련도 병행 추진되어야 할 것이다. 따라서 국내 항만기술자들은, 방파제의 일부 구간을 절개하거나 방파제의 하부에 암거를 설치하여 해수가 항내·외로 유통되도록 하

기도 하나, 그 효과의 정량평가 조차 아직 잘 이루어지지 않고 있으며, 이나마 조차가 작은 해역에서는 큰 효과를 기대하기 어려운 실정이다.

항내 수질의 오염은 비단 우리 나라만의 문제가 아니라 환경문제가 점차 중요시됨에 따라 이제는 국제적 문제로 확대되고 있다. 방파제 관련 국제학술회의에서는, 방파제에 항내 수질을 개선하는 기능을 갖추므로써, 생태계의 영향을 최소화하는 기술의 개발이 앞으로의 나아갈 길이라고 입을 모으고 있다.

항내 수질개선을 위한 방파제의 개발에 가장 적극적인 나라로는 일본을 예로 들 수 있다. 일본에서는 표1에 보인바

와 같이 그간 많은 개발연구가 수행되어 일부는 실용화되고 있다. 몇 번 일본의 어항·항만을 돌아 볼 때마다 느낀 점이지만, 일본의 어항·항만은 물이 매우 깨끗하다. 그런데도 항내 수질 개선용 방파제의 개발에는 오히려 우리보다 더욱 적극적인일 뿐 아니라 운수성 항만기술연구소의 연구방향도 최근에는 항내 수질을 개선하는 쪽으로 선회하였다.

국내·외적으로 환경문제의 중요성이 날로 부각됨을 고려할 때, 현재 추세대로 간다면, 머지않아 수질개선을 위해 국내에 방파제를 축조하려면 외국에 비싼 기술료를 지불해야 할 것이며, 관련기술의 낙후로 인하여 외국시장에서의 어항·

항만건설 경쟁력도 약화될지 모른다는 생각이 든다.

파력을 이용한 해수유통 방파제의 개발 필요성

재래식 방파제의 개념이 배후의 정온수역 확보에 머물렀다면 향후의 방파제는 이에 못지않게 항내 수질개선기능 부여에 초점이 맞추어질 것으로 예상된다. 어항·항만의 배치계획도 부두 배치계획에 따라 부수적으로 검토되는 외곽시설의 배치 계획 개념에서 외곽시설의 배치에 따른 항내 수질변화를 예측하며 이에 따라 부두의 배치계획도 재검토되는 방향으로 전환될 것이 예상된다. 따라서 항내·외의 해수유통을 총체적으로 증대시키기 위해서는 해수교환 기능을 갖춘 방파제 구조형식의 개발 및 실용화의 필요성이 절실하다 하겠다.

다음 그림1~4는 일본에서 개발된 해수교환기능을 갖춘 방파제의 사례들이다.

그림1은 통상의 케이슨의 속을 비워 유수실을 확보하고, 벽면에 구멍을 뚫어 반사파와 케이슨에 작용하는 파력을 감소시키며, 해수유통이 가능하게 하는 구조이다. 반사를 줄여 소파블럭이 없어도 되는 장점이 있는 반면 체체가 가벼워 큰 파

표1. 日本에서의 着底式 透過性 防波堤의 설치 현황

항 명	형 태	설치년도	설치수심	연 장	설계파고	주 기	재현기간
呼子港	Slit caisson식	1985	15.0	350.0	3.0	13.3	50
廣島港	Slit caisson식	1976	10.0	50.0	4.2	6.6	
松山港	Slit caisson식	1978	16.7	136.0	3.5	7.4	
紫山港	이중실린더 케이슨식	1989	30.0		9.7	14.0	
境 港	이중실린더 케이슨식	1990	10.6		5.0	10.5	
長島港	이중실린더 케이슨식	1990	11.0	180.0	5.6	13.8	
宮崎港	반원 케이슨식	건설중	7.5	36.0	6.0	13.6	50
七尾港	투과벽 브릭식	1977	4.5	150.0	1.6	4.0	

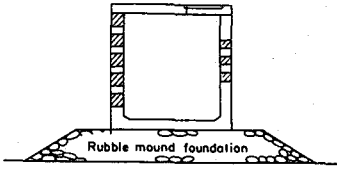


그림1. 다공 케이슨 방파제의 단면도

고의 파도가 있는 해역에는 적합하지 않은 단점이 있다.

그림2는 기초부 케이슨 위에 수평구멍을 뚫은 유수실을 설치하여 방파성능을 향상시키고 해수교환도 가능하게 하며, 상부는 안정성이 뛰어난 반원형 단면으로 구성된 방파제의 개념도이다. 이 구조형식은 케이슨이 높아도 좁은 폭으로 안정성을 확보할 수 있는 장점이 있다.

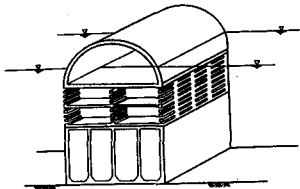


그림2. 상부 반원형 slit 케이슨식 방파제의 개념도

그림3은 일본 Public Work Research Institute에서 개발된 파일식 방파제의 일례로서 파일위에 외벽이 slit로 구성되고 내부에 유수실을 가진 구조물이 설치된 방파제의 개념도이다. 파일식 구조이므로 해수의 흐름을 자유롭게 하는 장점이 있으나 설치가 매우 어려운 어항·항만보다는 해양공간의

다목적 이용을 위해서나 사용될 수 있는 구조형식이다.

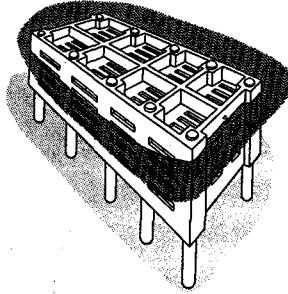


그림3. slit형 구조를 가진 파일식 방파제의 개념도

그림4는 2중원통의 외벽 상부에 사각형 구멍이 뚫려 있어 도우넛츠 형태의 유수실을 가지는 방파제의 개념도로서 소파효과가 양호하며 해수의 유통도 가능하게 하는 방파제 형태를 보여준다.

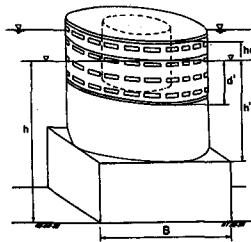


그림4. 이중원통 케이슨식 방파제의 개념도

이상에서 살펴 본 바와같이 해수교환이 가능한 방파제는 구조형식이 복잡하여 제작 및 설치가 어렵다. 그리고, 항내 수질오염은 조차가 작아 흐름이 약한 해역에서 심각하게 대두되는 문제임에 반하여, 이상

의 예들은 해류가 약한 해역에서는 해수교환 효과를 크게 기대할 수 없는 구조형식들이다. 또한 해수교환 기능을 갖춘 방파제라고는 하나 구조선정의 중점이 주로 파력의 제어에 두어져 있으므로 정상시의 작은 파랑에 의한 해수교환 효과는 매우 미미하다 하겠다.

현재까지는 정상시의 대부분을 접하는 파고 및 짧은 주기의 파랑조건에서도 어항·항만 수질개선 효과가 뚜렷이 기대되는 방파제의 개발에는 찾아 볼 수가 없다. 방파제란 파력을 제어하기 위하여 설치되어 왔으나 이를 뒤집으면 방파제가 있는 해역에는 파력이 있다는 뜻이 된다. 그리고 대부분의 파력은 절대 대부분의 기간동안 발생하는 파고가 작고 주기도 짧은 파랑으로부터 나온다. 따라서 항내 수질을 효과적으로 개선하기 위해서는, 바다에 거의 항상 일고있는 이 작은 파랑의 힘을 효과적으로 이용하여 정상시 신선한 외해수를 항내로 유입시킬 수 있는 새로운 구조 형식의 방파제 개발이 현실적으로 필요하다. 아울러 방파제 고유의 성능으로서 파랑의 반사, 월파 그리고 전달특성들도 가능한한 개량되어야 할 것이다. ㉔

신형해수유통 방파제의 개념

그림5는 한국해양연구소에서 개발한 원호수로 방파제의 형상도이다.

케이슨 앞부분에는 원호형공진수로가 그리고 뒷부분에는 해수 유입을 위한 도수로가 설치되어 있다.

파랑이 내습할 때 원호형수로 내로 해수가 밀려 올라 간다(쳐올림). 이때 도수로 양단에 수위차가 발생하여 신선한 외해수가 도수로를 통하여 항내로 유입된다. 해수가 유입됨에 따라 케이슨 뒷쪽에서 평균수위는 약간 상승하게 되며, 이는 이차적으로 항내로 흐르는 약한 흐름을 발생시킨다. 이 흐름은 평상파 조건에서 거의 연속적으로 발생한다.

도수로의 유출구는 항내측 수면아래 깊숙히 잠겨 있으므로 평상파랑에서는 유입수로 인하여 수면교란이 거의 발생하지 않는다.

도수로의 유출구를 소형선박의 흘수보다 훨씬 깊이 설치하면 케이슨의 뒷면은 평상시 소형선박의 선착장으로 이용될 수도 있다.

평상파에서 원호수로 내에 수위의 공진이 발생되어 도수로 양단의 수위차가 증폭되므로 유입수의 양은 훨씬 증가하

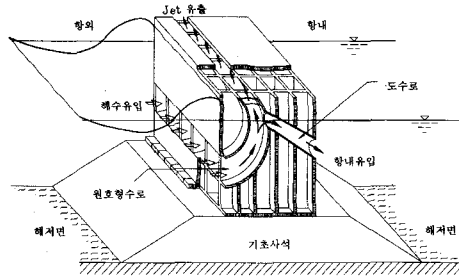


그림5. 원호수로 방파제의 형상도

게 된다. 한편 평상파보다 훨씬 큰 파가 내습하여 월파가 발생할 때에는 원호수로를 빠져서 위로 나가는 해수가 케이슨 위에서 월파수와 충돌하므로 파력을 감소시키며 월파를 감소시킨다.

사진1~4는 한국해양연구소의 이차원조파수조(길이53.3m, 폭 1.0m, 높이1.25m)내에 모형방파제를 설치하여 수리모형실험을 수행함으로써 신형방파제가 재래식 케이슨형 방파제보다 수리적으로 방파 성능이 우수함을 보여주는 장면들이다.

실험결과

여기서는 그간 이루어진 이론 및 실험연구 중 규칙파에 의한 일부 실험연구결과만을 그림을 통하여 설명하기로 한다.

전에 없던 구조형식에 대한 연구인만큼 향후 많은 후속연

구가 남아 있어, 제시된 결과는 일반적이라기보다는 사용된 방파제 단면의 제원 및 실험조건에 국한된 결과로 이해함이 타당할 것이다.

그림6은 연구에 1차로 사용된 방파제의 단면형상 및 실험

실 설치도를 나타낸 것이다. 여기서 h_c 는 천단고를, d 는 수심을 r_{c1} 및 r_{c2} 는 원호수로 전면벽과 후면벽의 반경들을 나타내며 각각 8.5 및 1.5cm이다. 그리고 b_e 는 원호수로 유입구의 두께를 나타내며 D 는 도수로의 직경으로서 3.2cm이다.

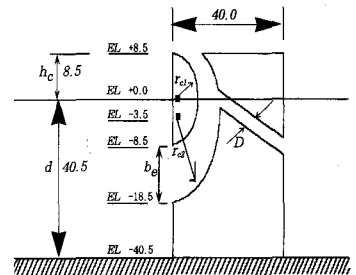


그림6. 수평 해저면에 설치된 신형케이슨의 단면도(단위:cm)

그림7은 그림6의 원호수로내에서 관측된 수위의 쳐올림 높이의 최대값 η_{cmax} 를 입사파고 H 로 나누어 무차원화한 값들을 이론연구에서 찾은 무차원 인자 ω^* ($\omega^* \sim \text{각주파수}^2$)의 함수로 표시한 것이다. ω^* 가

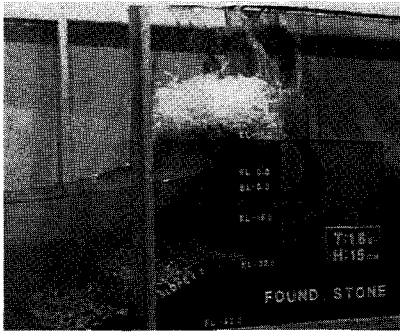


사진1 신형방파제에서 월파가 저지되는 장면

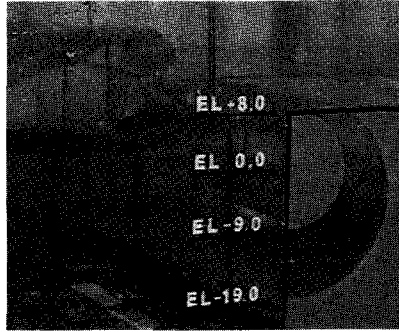


사진2. 재래식 케이스 방파제(사진 뒷쪽)에서는 월파가 막 시작되고 있으나 신형방파제(사진앞쪽)에서는 방파제 전면수위가 저하되어 있는 장면

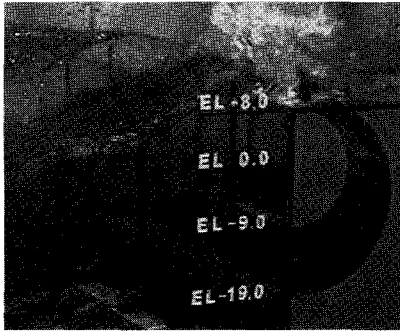


사진3 재래식 방파제에서는 월파가 진행되고 있으나 신형방파제에서는 월파가 저지되는 장면

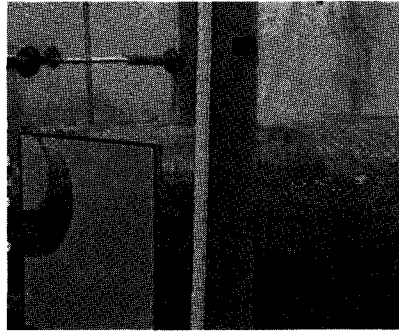


사진 4 재래식 방파제에서는 월파가 많으나 신형 방파제에서는 월파가 적은 장면

파수(그림7에서 $\omega^*=1$ 에 해당) 부근에서 발생하는 사실은 공진현상이 원호수로내의 쳐올림 높이의 증폭을 직접 유도하고 있음을 말해준다. 그리고 이 공진주파수(또는 공진주기)는 연안에 가장 발생 빈도가 많은 주기가 짧은 파랑의 주파수(또는 주기)에 해당하므로, 연안역에서 이 형식의 방파제를 사용하면 주기가 짧고 파고도 작은 통상파의 에너지가 방파제를 통하여 외해수로 향내로 유입시키는데에 매우 유효하게 사용될 수 있음을 알 수 있다.

그림8은 그림6의 도수로 1개를 통해 발생

크면 주기가 짧은 파랑을, 작으면 주기가 긴 파랑을 의미하며, $\omega^*=1$ (공진조건)이면 이론적으로 원호수로 내에 수위

의 공진이 발생하여 수위가 대폭 증대된다.

이 쳐올림 높이가 0.5를 상회할 경우 그림 5 및 6의 도수로의 양단에 수압차가 생겨 해수가 향내로 유입하게 된다.

파랑이 100% 반사되는 연직벽에서의 쳐올림높이가 이론적으로 1.0임을 고려할 때 본 방파제에서는 넓은 주기의 범위에 걸쳐 쳐올림 높이가 현저하게 증폭됨을 알 수 있다. 쳐올림 높이의 최대치들이 공진주

하는 해수의 순유입량 Q 를 $\sqrt{2gH}$ A로 나누어 무차원화한 값들을 나타낸다. 여기서 g 는 중력가속도, A는 도수로의 단면적을 나타낸다. 그림7에서 이미 예견된 바와같이 짧은 주기에 해당하는 $\omega^*=1$ 부근에서 유입량이 현저히 증가됨을 볼 수 있어, 신형방파제에서 짧은 주기의 파랑이 내습할 때 원호수로 내에서 발생하는 수위의 공진이 유입량 증가에 가장 크게 기여함을 알 수 있다. \triangle

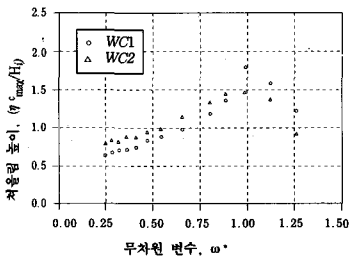


그림 7 원호수로내의 쳐올림높이 변화도(그림 6에서 파고 $H=3cm$ (WC1), $H=5cm$ (WC2))

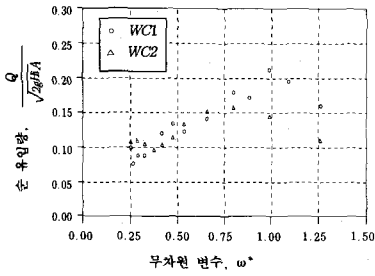


그림8. 도수로 한 개를 통한 순 유입량 변화도(그림 6에서 파고 $H=3\text{cm}$ (WC1), $H=5\text{cm}$ (WC2), $D=3.2\text{cm}$)

그림9는 해운항만청에서 후포 연안 수심 15m 해역에서 관측한 8년간의 파랑자료를 정리한 것이다.

이 그림에서 세로축의 $H_{1/3}$ 은 유의파고를, 가로축의 $T_{H_{1/3}}$ 은 유의주기를 나타내며, 그림 내의 숫자들은 매 4시간마다 20분간씩 관측된 파랑자료이 갯수를 의미한다. 따라서 자료 1개는 4시간동안의 해상파랑 조건을 대표한다. 여기서 점선으로 표시된 사각형 내에 포함된 부분은 파고가 2m 이내이며 주기가 4~7초 정도에 해당하는 파랑을 나타내는 것으로서 전체 파랑의 75%나 차지하고 있다. 이는 일반적으로 월파도 발생시키지 않으며 통상파의 범주에 포함시켜도 무리가 없는 작은 파랑의 발생기간이 전체 파랑발생 기간중 75%나 차지하고 있음을 의미한다.

위의 원호수로형 방파제에서 해수유입 효율이 높은 파랑의

주기는 주로 원호수로의 반경 및 입구의 수중깊이의 크기에 따라 결정되므로, 해수 유입효과가 대상해역의 통상파 조건에서 탁월하도록 신형방파제의 단면을 설계하면, 항만수질 개선 작용이 평상시 거의 연속적으로 일어남을 기대할 수 있을 것이다.

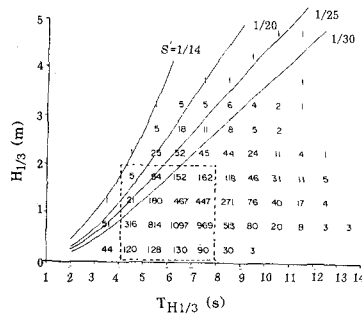


그림9. 후포 연안의 주기에 따른 파고의 분포도 (수심: 15m, 기간: 1974. 11~1982. 10)

이상의 세 그림의 결과는 신형방파제 케이슨을 이용하면 연안에 거의 상존하는 파고가 작은 파랑의 에너지를 효과적으로 이용함으로써 항내 수질을 대폭 개선할 수 있음을 의미한다.

그림10은 신형 케이슨이 사석 기초위에 설치된 단면도를 보여주고 있으며, 그림 11, 12 및 13은 신형방파제(CCB)와 재래식 케이슨 방파제(SWB)의 방파성능을 비교실험한 결과이다.

이 그림에서 가로축 ω^2d/g

는, 파장에 대한 수심의 비의 의미가 있는 무차원량으로서, 이값이 크면 파랑의 주기는 짧고 이값이 작으면 파랑의 주기는 길다.

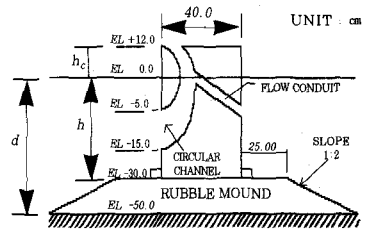


그림10. 기초사석 위에 설치된 신형 케이슨의 단면도

그림11은 실험된 모든 주기에 걸쳐 반사율은 신형방파제에서 작음을 보여준다.

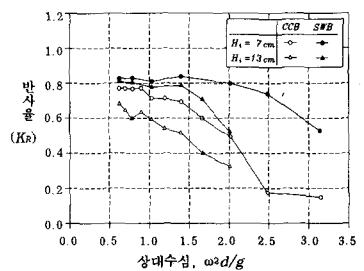


그림11. 재래식 케이슨 방파제와 신형 방파제의 반사율 비교 (그림 10에서 $d=50\text{cm}$, $h_c=12\text{cm}$, $h=30$)

그림12는 신형방파제에서의 월파량이 재래식 케이슨 방파제의 월파량보다 작음을 보여준다. 이는 곧 원호수로의 출구에서 나오는 물이 방파제를 넘어 항내로 가는 물과 방파제 상공에서 부딪치는 현상이 월파

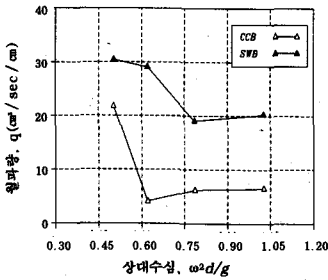


그림 12 재래식 케이슨 방파제와 신형방파제의 월파량 비교(그림 10에서 $d=54\text{cm}$, $h_c=8\text{cm}$, $h=30\text{cm}$, 파고 $H=13\text{cm}$)

감소에 크게 기여하고 있음을 의미한다.

그림 13은 그림 12의 월파량 감소의 결과로서 나오는 파랑의 향내 전달을 차이를 보여주고 있다.

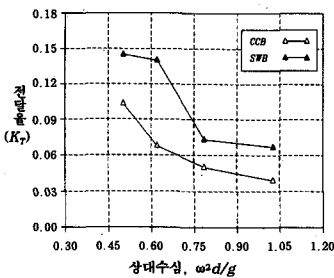


그림 13 재래식 케이슨 방파제와 신형방파제의 전달을 비교(그림 10에서 $d=54\text{cm}$, $h_c=8\text{cm}$, $h=30\text{cm}$, 파고 $H=13\text{cm}$)

이상 전달율과 반사율이 작은 특성은 수리학적인 측면에서 신형방파제가 재래식 케이슨 방파제에 비하여 방파성능이 월등함을 보여준다.

이상에서 우리는 케이슨의 연장선상에 따라 각 셀마다 원호수로 및 도수로가 각 1쌍씩

설치된 경우의 성능에 대하여 고찰하였다.

현재까지의 연구결과 위의 구조를 통하여 향내로 유입되는 해수의 양은 매우 큰 것으로 평가된다. 따라서 대상항만의 수질을 개선하기 위하여 소요되는 해수의 유입량에 맞추어 케이슨 1개에 설치되는 원호수로와 도수로의 갯수는 그림 14에서 일례로 보인 것과 같이 감소시킬 수 있을 것이다. 이 경우 방파성능 및 해수 유통성능은 위에 서술한 것보다 감소될 것이나, 구조적인 취약점들은 많이 보강될 수 있을 것이며, 케이슨의 안정성도 증가될 수 있다.

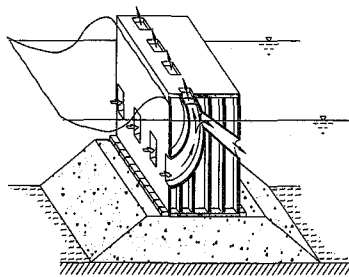


그림 14. 원호수로 방파제의 또다른 예

또한 원호수로의 단면형상도 이룬 연구의 편의상 현재 원호수로 구성되어 있으나, 시공상 편리하다면 이 원호들은 몇개의 직선구간들로 대체하여 전반적으로 원호형상만 갖추어도 무방할 것이며, 이 경우 방파제의

수질개선 성능에는 별차이가 없을 것으로 예상되고 있다.

신형방파제의 실용화 연구

방파제란 소중한 인명과 막대한 재산을 보호하는 시설이며 공사비도 비싸므로, 우선 방파제 단면의 제원 변화에 따른 방파성능 및 해수유입 성능의 변화가 이룬 및 수치, 수리실험 연구를 통하여 보다 정밀하게 규명됨이 바람직하다.

케이슨의 각 부재에 작용하는 파압분포 양상을 파악하여 설계하중을 결정하며, 이에 따른 단면의 최적화 연구도 필요하다. 또한 실험역에 케이슨 3~4개를 독립적으로 설치한 임시 직선형 방파제를 설치하여 이에 파압, 파고 유량등을 관측할 수 있으며 케이슨의 안정성도 검토할 수 있도록 계측시스템을 구축하여 모니터링을 하며, 이 모니터링 결과를 실험실 연구와 비교함으로써, 실험실 연구결과를 실험역 실험에서 다시 입증함이 바람직하다.

이 과정에서 신형방파제의 설계·제작 및 설치공법 개발을 통하여 실용화를 위한 설계 및 시공지침이 마련되어야 할 것이다. \square

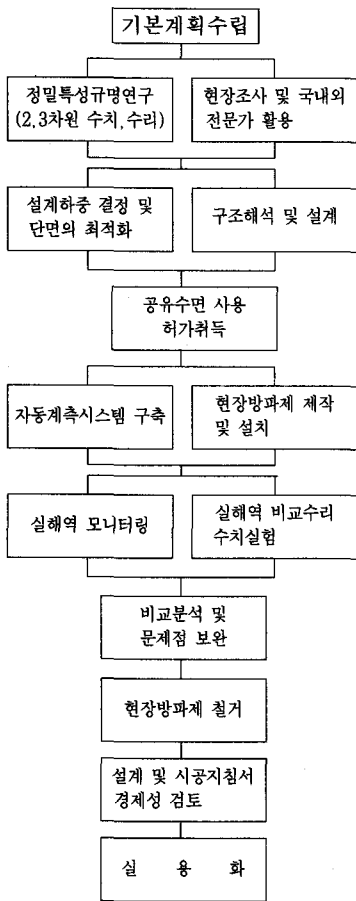


그림 15. 실해역 실증실험연구의 흐름도

맺는말

이상에서 우리는 항내·외 해수유통을 위하여 새로운 관점에서 제시된 원호수로방파제의 기본성능에 대하여 살펴보았다.

그간 연구를 수행해 오면서 국내 기술자로부터 간혹 두 가지 어려운 질문을 받아왔다. 이렇게 하면 공사비가 얼마나 절감되느냐 하는 질문과, 항내

의 물이 좀 썩는다고 선박의 정박에 무슨 지장이 있느냐 하는 질문이었다. '94년초 국제학회에서 처음으로 개념을 소개할 때에는 유일한 아이디어이며 향후 수질개선에 크게 기여할 것으로 기대된다는 평과 함께 어디서 아이디어를 얻었느냐는 질문을 받았다.

모두 다 쉽게 대답할 수 없는 질문들이라는 점에는 공통점이 있으나, 하나의 새로운 대상을 보는 시각은 현저히 차이가 남을 엿볼 수 있다. 이는 현 단계에서 피부로 느끼는 현안 관심사들의 차이 때문이 아닌가 생각된다.

연구내용이 처음 공개될 때 국내 TV방송 및 15개이상의 언론사들이 크게 관심을 보였으며, 국제 저명기술자들은 향후 실증실험시 경험교류 내지는 관련연구에의 참여 희망의사를 표하였다. 연구 및 기술개발시에는 국민의 요구가 무엇이며, 국제적 관심은 어느 방향 인기를 잘 음미해 보아야 할 것이다.

미국의 어떤 학자는 이 방파제가 한국에서보다는 어쩌면 일본에서 먼저 실용화 될지 모르겠다고 우스개 소리처럼 한 일이었다. 이것이 그저 여담으로만 그치기를 바랄뿐이다.

보잘것 없는 연구이지만 후

속연구가 좋은 결실을 맺어 향후 어항·항만건설 분야에서 국내 독자기술 개발에 기여하고, 항내 수질을 개선함으로써 어민들에게 보다 나은 생업공간을 마련함에 기여할 수 있기를 기대하고 있다. 이제 이상의 결과들을 간단히 종합하면서 끝을 맺고자 한다.

원호수로 방파제는 파랑의 반사, 월파 및 전달 측면에서 기존 케이슨 방파제에 비하여 방파성능이 뛰어나다.

방파제를 통하여 항내로 유입되는 해수량은 평상시의 파랑조건에서 발생하는 원호수로 내에서의 수위의 공진으로 인하여 대폭 증대된다.

조차가 작아 항내 수질의 악화가 염려되는 해역에 건설될 신규 어항·항만이나 수질이 악화되는 기존 어항·항만에 대하여 신형방파제는 수질개선의 큰 잠재력을 가지고 있다.

동시에 신형방파제는 케이슨 상면과 후면을 이용할 수 있다는 케이슨식 방파제의 장점을 유지하고 있다.

단면특성의 정밀규명 기술 개발을 목표로 하는 건설업체의 참여아래 케이슨의 설계·제작 및 설치공법의 개발을 포함하는 실용화 연구로서 실해역 실증실험연구가 필요하다. ◻