

해수유통이 가능한 벽강관말뚝 방파제 개발 The Seawater-Exchange Breakwaters using Steel Pipe Sheet Pile Wall

이종구¹, 안상구², 김규한³

Jong-Ku Lee¹, Sang-Ku Ahn² and Kyu-Han, Kim³

1. 서 론

최근 국가 예산 절감차원에서 항만부문에 신공법 적용을 통한 경제성 및 친환경성 향상이 강조되고 있으며 여러 가지 신형식 방파제들의 적용성을 검토하고 있는데 특히, 연약지반에 적용할 수 있는 신형식 방파제들이 주목 받고 있다. 이는 우리나라의 서해안과 남해안에 위치한 대다수의 항만 및 어항입지가 연약지반에 위치하고 있고 연약지반의 심도 또한 깊기 때문에 방파제를 건설함에 있어서 경제적으로나 기술적으로 어려움이 많기 때문이다. 이에 따라, 국가어항의 항만정비사업에서 경제성 제고 측면에서 말뚝식 방파제를 검토하는 어항이 나타나기 시작하였다. 또한, 최근 방파제에 의하여 해수의 흐름이 완전히 차단된 어항에서 수질오염문제가 부각되면서 수질개선을 위한 해수유통 방파제가 요구되고 있다. 2004년에 국내에서 최초로 주문진항에 해수유통 방파제가 시공되었는데 완공 후 수질이 개선된 바 있다.

본 연구에서는 이러한 상황에 부합하도록 벽강관말뚝을 이용하여 해수유통이 가능한 방파제를 개발하였다. 벽강관말뚝 방파제는 말뚝의 항타시공만으로 제제의 완성이 가능한 구조로서 타 방파제에 비하여 시공이 단순하면서도 방파성능이 우수하며 방파제 단면축소로 인하여 항내면적을 극대화할 수 있다. 특히, 말뚝의 근입장 확보를 통하여 구조적인 성능을 발휘하여 기초지반의 개량이 필요없어 연약지반에 적용시 유리하다. 일본에서는 이러한 벽강관말뚝의 장점을 인식하여

방파제로서 적용한 사례가 있는데 대표적인 것으로 동경만에 설치된 내항방파제가 있다. 이 밖에 일본에서는 강관말뚝을 이용한 방파제도 많이 적용하고 있는데 주로 수심 15m 이하이며 파고가 2.0m 이하인 경우에 적용한다 (Fig. 1.)

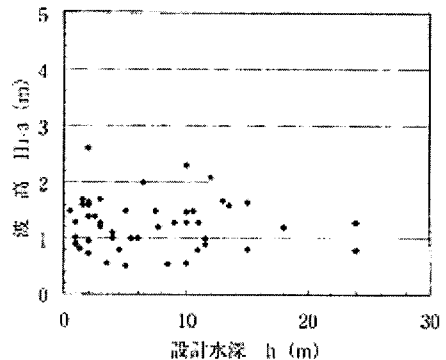


Fig. 1. 강관말뚝 방파제 적용범위

2. 해수유통 가능 벽강관말뚝 방파제

2.1 U-Rib 벽강관말뚝 방파제

일반적인 벽강관말뚝에서 해수유통이 가능하도록 Fig. 2와 같이 강관말뚝 연결부에 U-Rib 부재를 부착하였으며 U-Rib의 길이조정을 통하여 해수유통이 가능하도록 하였다. U-Rib 벽강관말뚝 방파제의 모식도는 Fig. 3과 같으며 이를 타형식 방파제와 비교해보면 Table 1과 같이 방파성능이 우수하면서도 친환경적이며 일반 토목기술자들에게도 익숙하다.

¹ 발표자: 포항산업과학연구원(RIST) 강구조연구소 책임연구원

² 포스코건설 R&D센터 기술연구소 차장

³ 관동대학교 토목환경학부 교수

Table 1. 소규모 방파제 형식 비교

형식	방파성능	설치/제거	친환경성	공사비	비고
부유식	낮음	용이	우수	저가	흔한형
유연막	낮음	보통	우수	저가	
페타이어	낮음	용이	보통	저가	
벽강관말뚝	높음	보통	우수	저가	U-Rib 이용
기준형식	높음	어려움	보통	고가	사보경사제

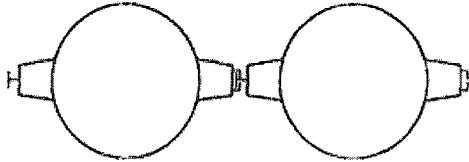


Fig. 2. U-rib 벽강관말뚝 단면

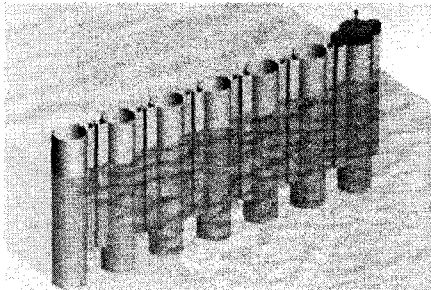


Fig. 3. U-rib 벽강관말뚝 방파제 모식도

2.2 수리특성분석

U-Rib 벽강관말뚝 방파제의 수리특성을 파악하기 위하여 U-Rib의 적용 길이와 파랑조건이 변화시켜 2차원 단면 수리모형시험을 실시하였다. 시험에서는 폭 0.7m이며 높이 1.4m인 조파수조를 이용하였으며 파고계, 유속계, 파압계 등을 설치하여 측정하였다. 시험에 이용한 모형 벽강관말뚝은 상사법칙을 이용하여 크기를 결정하였으며 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 5는 수리모형시험의 주요변수들을 나타내고 있는데 커튼심도(d)는 U-Rib의 적용심도를 나타낸다.

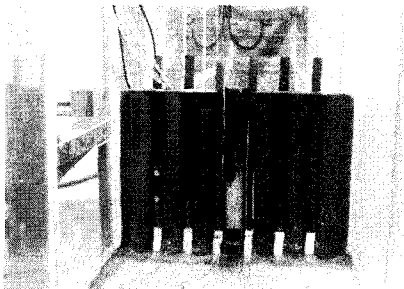


Fig. 4. 모형 U-Rib 벽강관말뚝 방파제

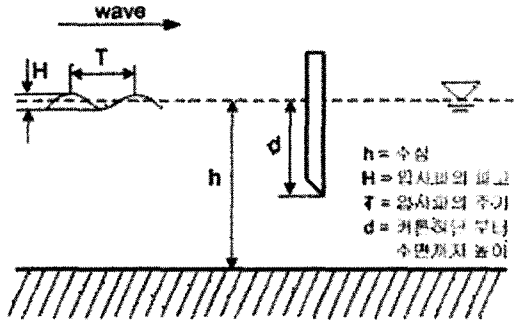


Fig. 5. 수리모형시험 변수

Fig. 6과 Fig. 7은 U-Rib 심도(d)와 입사파의 파장(L)의 변화에 따른 파고전달율(KT)과 반사율(KR)을 나타내고 있다. 파고전달율은 항내파고와 항외파고의 비를 나타내는 계수로서 항내 정온도를 평가하는데 중요한 계수이다. Fig. 12와 Fig. 13을 보면 대체적으로 d/L 이 0.15이상일 때 파고전달율은 0.1 정도의 일정한 값을 보였고 반사율은 0.9가량의 큰 값을 보였다. 파고전달율만 봤을 때에는 d/L 을 0.15이상으로 하는 것이 항내정온도를 확보하는데 유리하겠지만 이 때에는 반사율이 커서 항외에서 문제가 발생할 수 있으므로 이를 전체적으로 고려하여 U-Rib 심도를 결정하는 것이 좋다.

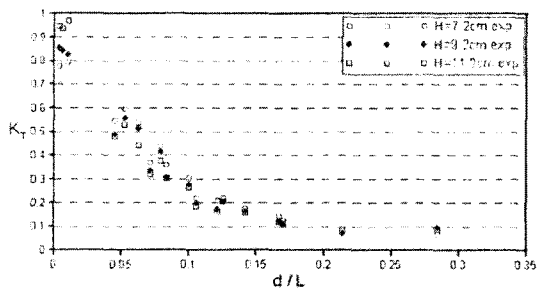


Fig. 6. 파고전달율의 변화

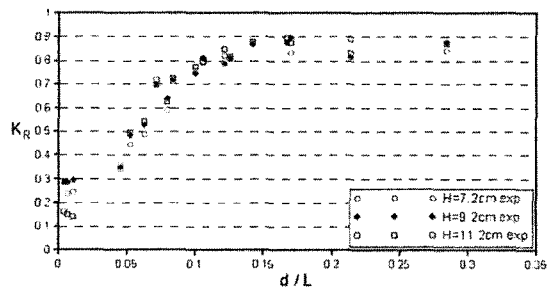


Fig. 7. 반사율의 변화

3. 실시설계

3.1 설계방법

U-Rib 벽강관말뚝 방파제의 설계에서 상부에서부터 U-Rib의 길이는 커튼식 방파제의 커튼심도 산정 방법과 동일하게 결정하면 된다. 커튼식 방파제에서 커튼심도(d)와 마루높이(R)은 Fig. 8과 Fig. 9를 통하여 결정한다. 커튼심도를 결정할 때 적용하는 기준심도는 조위를 고려한 최소심도를 이용하며 마루높이는 통상적으로 만조위상의 유의파고의 1.0배를 적용한다. 그러나, 커튼심도는 항내정온도에 큰 영향을 미칠 수 있으므로 실시설계에서는 현장의 여러가지 조건들을 고려한 수리모형시험을 바탕으로 수리적인 특성들을 상세하게 검토한 후 결정하여야 한다.

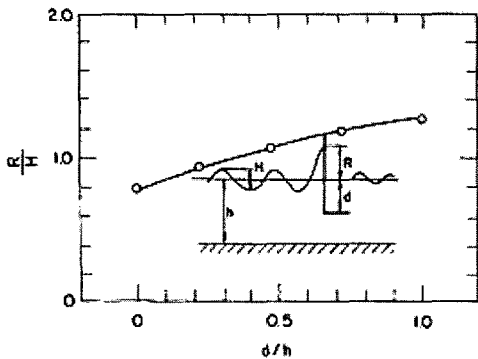


Fig. 8. 마루높이의 산정

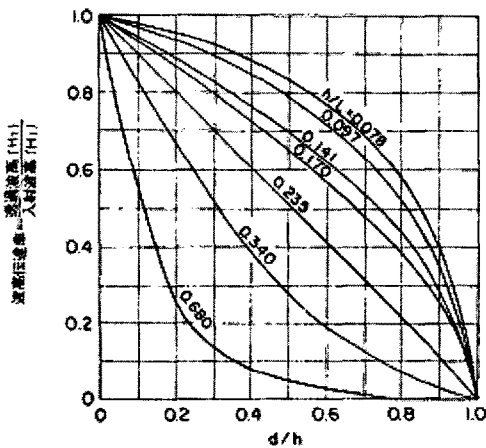


Fig. 9. 커튼길이(d)의 산정

3.2 기존 방파제 대비 비교설계

연약지반에 위치한 국내 어항조건에 대하여 U-Rib 벽강관말뚝 방파제와 타형식(사석경사식, 콘크리트 블록식) 방파제를 비교설계하여 장·단점 및 경제성 등을 평가하였다. 방파제의 설계조건은 다음과 같다.

- 1) 지반조건 : N=1~2 정도의 실트층이 평균 6.8m 깊
이까지 분포하며 하부로 모래층(N=2~3), 점토층
(N=4~8) 혼재
- 2) 설계파랑 : H1/3=1.19m, T1/3=3.62sec
- 3) 수심 : H.H.W. 기준 10.58m

비교설계에서는 내진설계도 고려하였으며 강관말뚝 두부의 허용변위도 항만 및 어항설계기준(1999)에 따라 상시에는 10cm, 그리고 지진시에는 30cm로 설정하고 이를 강관말뚝의 구조설계시에 고려하였다. 비교설계를 통하여 얻어진 단면도는 방파제 형식별로 Fig. 10~Fig. 12에 나타내었다.

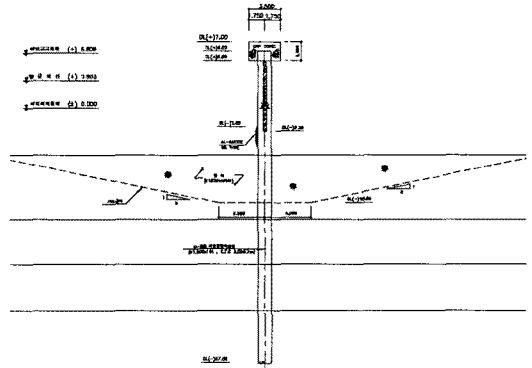


Fig. 10. U-Rib 벽강관말뚝 방파제

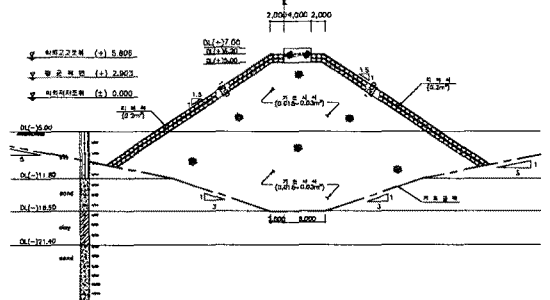


Fig. 11 사석경사제

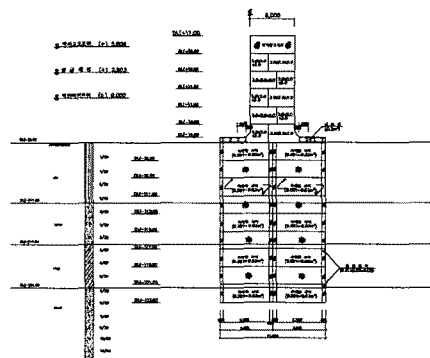


Fig. 12. 콘크리트 블록식 방파제

Table 2는 방파제 형식별로 실시설계를 완료한 다음 산출된 개략공사비를 비교하고 있다. Table 2을 통하여 알 수 있듯이 평균적인 N치가 5이하로서 연약지반 심도가 매우 깊으며 수심과 설계파고가 비교적 낮은 본 설계조건에서는 U-Rib 벽강관말뚝 방파제가 사석식이나 콘크리트 블록식보다 35~48% 가량 경제성이 우수한 것으로 나타났다. 이는 사석경사제나 콘크리트 블록식은 연약지반에 대한 대응을 위하여 지반개량 범위나 커지거나 콘크리트 블록의 근입깊이가 깊어져서 공사비가 증가하였기 때문이다.

Table 2. 비교설계를 통한 개략공사비

U-Rib 벽강관말뚝	사석경사제	콘크리트 블록식
48 백만원/m	94 백만원/m	75 백만원/m

따라서, U-Rib 벽강관말뚝 방파제는 연약지반 심도가 깊고 내습 파랑의 파고가 크지 않은 지역에 적용할 때 경제성이 높으며 U-Rib 벽강관말뚝의 단면 특성으로 인하여 항내 해수유통에 유리한 장점이 있어 폐쇄형 방파제에 대비하여 우수한 적용성이 있는 것으로 평가된다.

4. 결 과

본 연구에서는 기존 벽강관말뚝을 개선하여 해수유통이 가능한 U-Rib 벽강관말뚝을 개발하였으며 이에 대한 방파제 설계기술 정립, 수리특성분석, 그리고 타 방파제 공법 대비 비교설계 등의 연구를 수행하여 연약지반에서 경제적으로 매우 우수한 방파제 형식임을 확인하였다. 뿐만 아니라, U-Rib 벽강관말뚝 방파제는 최근 항내 오염문제가 부각되어 해수유통 방파제를 요구하고 있는 상황에 부합할 수 있는 형식이므로 향후 국내 연약지반에 위치한 국가어항이나 대규모 항만에서 소규모 방파제나 내항방파제로서 활용되기를 기대한다.

감사의 글

본 연구의 수행을 위한 포스코 및 포스코건설의 지원에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 해양수산부(2005), 항만 및 어항 설계기준.
2. 管矢板基礎設計施工便覽(1998), 日本道路協會, 1998.