

수중 항만구조물의 유지보수를 위한 건식 케이슨 공법 개발

이중우* · 오동훈** · 광승규*** · 김성태****

*한국해양대학교 토목환경공학부 교수

**한국해양대학교 대학원

***(주) 강동산업개발 대표이사

****(주) 국제항만개발 이사

Development of Dry Process Caisson Method for Maintenance of Submerged Harbor Structure

Joong-Woo Lee* · Dong-Hoon Oh** · Seung-Kyu Kwak*** · Sung-Tae Kim****

*Division of Civil and Environmental System Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**Graduate school of Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

***Kangdong Ind. & Eng. Co.,Ltd. Woojoo B/D Cho-ryang Chung-gu , Busan 601-010 Korea

****International Port Development Co., Ltd. Dong-Bang B/D 305 Chung-ang Chung-gu, Busan600-010, Korea

요 약 : 근래 국내 산업의 고도화와 수출입 증가에 따른 경제력의 상승과 함께 도로, 교량 및 항만시설의 확충과 각종 호안 및 해상구조물의 건설요구가 급증하고 있다. 해양수산부는 9대신항만의 건설과 기존어항의 재개발을 추진하고 있다. 이들 구조물의 대부분은 교각기초, 안벽, 돌핀, 안벽, 돌제 등은 강재나 콘크리트 파일로 새롭게 건설되고 있다. 이들 기초, 지지격벽 및 파일은 건설 후에 수면아래에 있게 되므로 구조물의 상태를 파악하기가 어렵고, 그 구조물의 보수나 보강이 충분하지 못한 상태이다. 더구나 매년 이러한 유지 보수작업은 구조물의 부식을 방지하기 위한 불완전한 보수와 수중공사로 인한 장기작업으로 고비용 때문에 정부의 예산을 소진하게 된다. 이와 같은 정부예산의 지출을 절감하기 위해서는 기존 구조물의 내구연한을 연장시킬 필요가 있는 것이다. 그러므로, 부유식 케이슨으로 건식작업환경을 제공함으로써 수선부근에서의 수중구조물의 유지를 위한 새로운 기법을 개발하였다. 개발한 방법은 작업구간을 쉽게 이동하고 취급이 용이한 것으로 나타났다. 또한 기 기법은 유지보수비용 및 방식작업 시간을 현저하게 줄이는 것은 물론 보다 나은 방식을 제공하는 것으로 나타났다. 이 기술은 해안 및 수중구조물의 유지와 건설비용을 줄이는 이정표가 될 것으로 본다.

핵심용어 : 수중구조물, 건식방법, 강관말뚝, 부유케이슨, 부식, 유지보수비용

ABSTRACT : Together with the trend of enhancement in domestic industrial development and economic progress due to import and export, the demand for construction of the roads, bridges, especially port facilities, and several coastal protection and ocean structures is increasing rapidly. MOMAF of Korean Government is driving construction of 9 new ports and renovation of the existing fishery ports. Among these structures most of bridge base, wharves, dolphins, quays, and jetties are being newly built of steel or concrete pile. As the base, supporting bulkheads, and piles are underwater after construction, it is difficult to figure out the status of structures and not enough to get maintenance and strengthen the structures. Every year, moreover, these works suck the government budget due to higher incomplete maintenance expense for protection from corrossions of structures and increased underwater construction period. For the purpose of cutting down the expense of government budget, it is necessary to extend the life cycle of the existing structures. Therefore, we developed a new method for maintenance of submerged structures near the waterline by allowing dry work environment with the floating caisson. The method shows easy to move around the working area and handle. It also showed not only a significant reduction of maintenance expenses and time for anti-corrosion work but also better protection. This will be a milestone to reduce the maintenance and construction expenses for the shore and water structures.

KEY WORDS : Submerged structure, Dry process, Steel pile, Floating caisson, Corrosion, Maintenance expense

* jwlee@hanara.hhu.ac.kr

051)410-4461

** crisisoh@korea.com

051)410-4981

*** kgs2702@korea.com

051)442-2702

**** ipd0050@hanmail.net

051)468-0050

1. 서 론

1.1 연구배경

근래 국내 산업의 고도화와 수출입 증가에 따른 경제력의 상승과 함께 도로, 교량 및 항만시설의 확충과 각종 호안 및 해상 구조물의 건설요구가 급증하고 있다. 특히, 도로, 철도 등 육운 시설과 함께 해운의 중추역할을 담당하는 항만시설은 9대신항만의 건설 및 기존 어항의 재개발 등으로 해상의 교각, 돌핀, 안벽, 돌제 등의 다양한 구조물이 철근콘크리트 및 강, PC콘크리트로 신규 건설되고 있으며 국가재정의 절감차원에서 기존 시설물의 내구연한을 연장하는 것도 매우 중요시 되어 매년 이들 구조물은 철판거푸집 및 수중 콘크리트 타설 등 완전하지 않으면서 고비용, 장기간의 공사로 유지 및 보수를 수행해오고 있다.

그러나 이들 구조물의 기초, 하중지지 벽체 및 파일의 대부분은 건설 후 해면 또는 수면 아래에 위치하여 수중에서의 구조물의 상태확인이나 건설 및 보수보강 작업이 원활하지 못하며, 또한 구조물 안정을 위한 차수가 필연적이나 고비용의 케이슨 및 복잡한 설치 등 현장에서의 어려움과 보수 및 보강을 시행하는 경우에도 대부분 잠수부를 동원한 수중공사를 시행하여야 하므로 공사의 품질관리에 애로가 많다. Fig.1 과 Fig.2는 기 건설된 수중 구조물의 비말대 구간에 대한 부식진행의 예로 유지보수가 필요한 구간을 나타낸다. 더욱 수중 구조물 보수 작업용 케이슨에서 차수의 부적합으로 누수현상이 발생하면 공사의 차질은 물론 시공의 질적수준에도 문제가 발생하고 수질오염과 콘크리트의 조기 부식, 철의 산화 등의 문제를 갖게 된다. Sheet

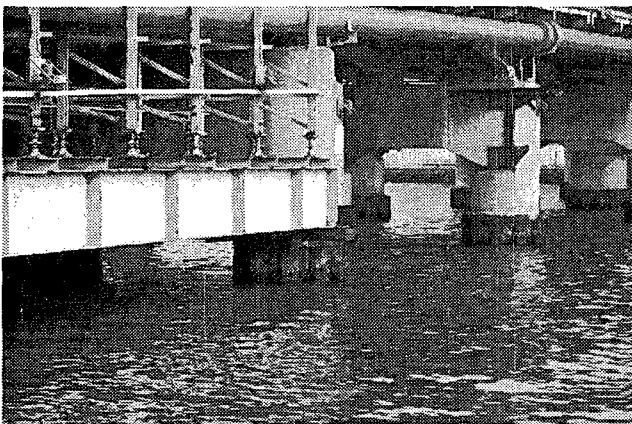


Fig. 1 Tidal zone of corroded concrete pile and bridge base

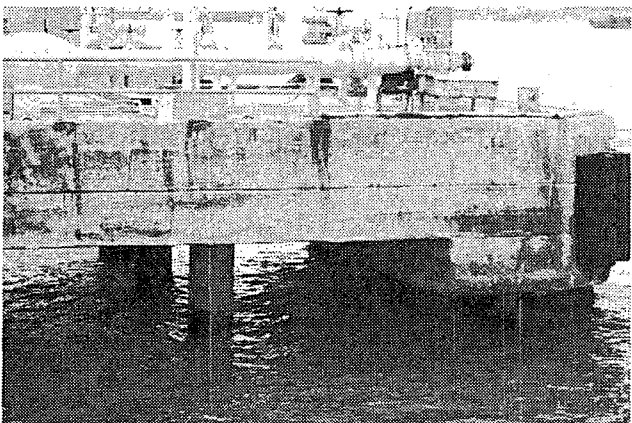


Fig. 2 Wave splash zone of jetty

pile과 같은 연직벽의 경우 요철부분이 있어서 차수의 어려움이 있는 반면에 돌제 및 돌핀의 경우 사항(경사 파일)이 존재하여 수중공사시 케이슨으로 접근이 어려운 경우가 많다.

본 연구는 이러한 배경에 따라 수중 구조물 보수 작업을 위한 케이슨(Caisson)의 차수 장치 및 이 차수 장치를 구비한 수중 구조물 보수 작업을 위한 케이슨을 설계하고 현장에 적용하는 것을 목표로 하고 있다. 이들에 대해 차수 장치, 차수 패키징을 위한 새로운 튜브형 재료를 고안하고 여기에 가압 장치를 구비하여 다양한 형상을 가진 수중 구조물에 부착하여 보수 작업을 수행할 수 있는 케이슨 및 그 차수 방법을 개발하고자 한다. 원통케이슨형 차수 장치를 수중에서 부양하면서 이동하여 대상 작업부에 부착하고 케이슨 내부의 물을 외부로 배출하는 배출 펌프 및 호스를 포함한 일체형 구조체를 개발하고 이를 이용하여 보수 및 보강 작업에 필연적인 건조상태의 작업공간을 제공하기 위한 차수 방법을 제공하는 것을 목표로 한다.

1.2 연구내용 및 방법

수중구조물 작업용 케이슨은 몸체 내부 공간을 건조환경으로 만들어 줌으로써 평면뿐만 아니라 입체적인 면까지도 작업을 수행할 수 있도록 하여야 한다. 수중공사의 대상구조물 특성상 요철이 있는 시트파일용, 원통교각이나 돌제부두의 파일 및 대형 돌핀구조물의 수중작업 공간을 조건에 따라 다양한 케이슨을 유니트로 개발하여 합치거나 일체식으로 제작하여 작업장에 투입하는 것을 목표로 한다. Fig. 3은 일반적 항만 또는 수로에서의 보수 보강 작업공정의 흐름도를 나타낸다. 현장 작업종류 및 여건에 따라 주로 시트파일연속벽체, 원통교각 파일, 돌핀구조물 등 3개분야에 대한 건조케이슨을 고려할 수 있으나 개발 대상이 광범위하므로 1단계로 돌핀, 돌제의 직항 및 사항용 건조 수중구조물 작업용 케이슨 개발에 목표를 두고 제반 수리학적 유체 거동에 따라 설계를 한 후, 시험구조물 제작에 반영하여 실시공에 이르는 과정을 밝히 개발하였다

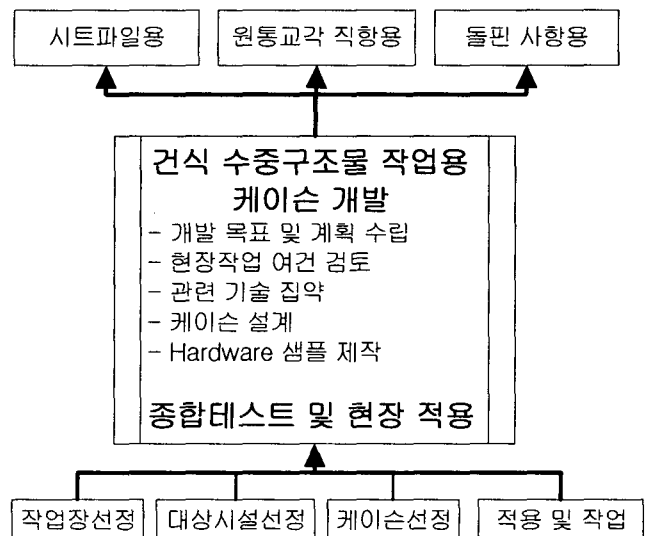


Fig. 3 Flow chart for development of dry process caisson method

1.3 연구개발의 목적 및 기대효과

수중에서 부양하여 이동할 수 있는 건식 수중구조물 작업용 케이스는 DPCM(Dry Process Caisson Method)공법연구는 다음의 몇 가지 사항에 착안하여 개발하게 되었다.

첫째, 파일형 수중구조물의 점검, 보수·보강공사를 건조상태의 공간에서 공사를 시행한다는 것이다. 지금까지의 수중조사나 수중공사는 잠수부 혹은 수중촬영 장비를 이용한 간접적인 확인결과를 토대로 설계하거나 시행하므로 완벽한 공사를 기대하기 어렵다. 수중작업으로는 공사 품질저하의 가능성이 그만큼 커지게 되어 양질을 보장하기가 곤란하다. 즉, 건조상태의 공간에서 육상과 같은 조건으로 공사를 시행해야만 양질의 확실한 품질관리를 달성할 수가 있다는 점이다.

둘째, 기존 항만이나 신규 항만에서 부두의 강관파일의 대상으로 점검, 보수·보강 공사를 하는 경우, 강관파일의 수량이 많으며, 강관파일의 직경이 일정하여 규격화된 조립식 가물막이 장비를 제작하여 반복 사용한다면, 공사기간의 단축은 물론 공사비 절감이 가능하다.

세째, 수중구조물의 부식으로 인한 주요 손상부위는 수위가 변화되는 비말대나 간만대 부위에 집중되어 있는 경우가 많으므로, 보수 및 보강을 위하여 해저의 토층부까지 차수를 시행할 필요가 없으며 소정의 깊이까지만 차수가 가능한 공법이 경제적이다.

특히 해양은 대단히 부식하기 쉬운 환경이며 수심, 온도, 용존산소, 유속, 생물오염 등의 환경인자가 부식에 막대한 영향을 미치고 있고 산업공해 및 각종 약품에 노출된 철구조물은 심각한 부식상태에 처해 있다. 따라서, 해수용 방식의 조건은 방수성, 접착성, 이온전도저항성, 화학적 반응 둔감성, 내구성 및 친환경성 등 물리·화학적 특성과 시공 및 보수의 용이성, 신속성, 경제성 등이 충족되어야 한다.

해양구조물에 있어서 기존의 부식방지 공법으로는 에폭시(EPOXY)방식, 테이프(Tape)방식, 전기방식이 대표적으로 적용되고 있다. 이들 공법의 공통적인 특징은 해양시설물이 설치된 이후 해상에서 방식공사가 진행되어 비말대 시공시 잠수부를 이용하게 되므로 품질확인이 곤란하며, 수중부위는 전기방식을 병행하고 있는 실정이다. 제반 공법에 의한 작업은 조수간만, 풍랑, 등 해수면의 열악한 환경조건에서 시공이 이루어짐으로 인하여 공사가 어렵고 방식재료의 성능이 100% 보장받기가

어려울 뿐만 아니라, 주기적인 보수공사가 이루어져야 구조물의 설계내구연한을 충족시킬 수 있다. 이러한 요구조건을 고려하여, 연구, 제작, 시험 등을 거쳐 새로운 기술을 확보하게 되었으며, 수중구조물의 보수 및 보강에 대한 연구를 더욱 발전시켜, 언제든지 손쉽게 보수가 가능한 보수장비를 개발하게 되었다.

개발에 중요한 아이디어는 건설현장에서 늘 어렵게 생각하고 있는 점들을 요약하여 정리한 것에서 출발하였으며, 현장에서의 Table1과 같은 요청사항을 새기게 된 것이 중요한 계기가 되었다.

기존의 철관거푸집 및 수중 콘크리트 타설 등 수중구조물에 대한 보수방법은 완전하지 못하고 보수 비용과 공사기간이 긴 것은 물론 연안역 및 하천의 수질오염과 동파현상으로 인해 콘크리트의 조기 부식, 세굴로 인한 손상을 차단하고 양질의 수중공사를 제공할 수 있는 반 영구적인 구조물 및 공법으로 자리매김할 것으로 기대된다. 특히, 철관거푸집의 산화 및 수중콘크리트 타설에 따른 수질오염, 거푸집의 중량이 무거워 취급이 어렵고 제작과정에서 용접 등의 문제점과 어려움을 극복한 공법으로 평가된다.

1) 기술적 기대효과

최근 건설구조물의 하자기간은 5년에서 10년으로 연장되었고 건설품질 및 유지관리에 대한 인식의 변화에 따라 교량, 댐, 항만구조물의 수중부 은폐된 부분에 대한 유지관리를 위해 반 영구적인 공법으로 활용성이 높다. 지금까지 수중시공에서는 잠수부들의 기술능력부족과 수중에서의 콘크리트 다짐 및 철근인장 작업의 불가능 등으로 임시적인 작업이 되었던 현실 정에 비해 수중공사의 유지관리에 실용화 될 수 있는 공법으로 기대된다.

2) 경제·산업적 기대효과

개발된 기술의 이용으로 대규모 공사비가 소요되는 항만의 돌체, 돌핀, 안벽의 신규 건설 및 기존 시설의 유지, 보수 등에서 작은 작업공간의 점유만으로 공사준비를 신속하게 함은 물론 이동이 편리하다는 점에서 공사기간의 단축 및 원가절감의 효과를 가져오도록 하고, 호안 설치 공사, 항만 및 하천의 교각공사, 앵카블록 및 댐 보수공사, 기타 수중작업공사에 그 활용성을 확장해갈 수 있어서 타 분야에의 응용으로 이로 인한 수입대체효과 또한 클 것으로 전망된다.

Table 1 Field conditions related to dry process caisson method

개발 전 현장 애로 사항	현장 개선 및 요청 사항
<ul style="list-style-type: none"> ○ 시트파일, 강파일, 콘크리트 파일 기초부 등 수중구조물 보수 및 건설 공사시 차수를 통해 공기 중 상태 유지로 건설기간 단축 및 정밀시공 필요 ○ 현재 비말대 및 간만대에서 강관파일의 부식진행 급속, 적기보수 및 보강 미흡 ○ 시트 파일의 수면 상부 부위에서는 쉽게 방식 작업이 이루어지나 해수면 하부 부위는 잠수부에 의한 어패류 제거, 아연 혹은 알루미늄 양극(Aluminium Anode)을 교체하는 수준 ○ 다양한 수중 작업에 있어서 건조한 작업 환경을 위해 별도의 고정 시설물 설치 필요 ○ 조립식 강재 케이스와 고무패킹재 및 고무튜브를 이용한 가물막이 공법으로 구조가 불안정하고 외부 힘에 의해 전복될 위험 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 대상구조의 요철면 또는 경사면으로 불규칙적이므로 어느 조건하에서도 수중에서 접촉하여 차수가 될 수 있는 단면 및 공기 중 상태를 유지토록 하는 설계 ○ 공사 바닥면에 대해서도 차수가 되도록 차수 패킹 구조 및 설계 ○ 시트파일 방식작업을 위한 사각케이스 디자인 ○ 케이스 설치 및 이동이 용이하도록 하여 보수시간 단축 및 효율적 공사에 기여 ○ 강파일, 콘크리트 파일 수중 보수를 위한 원통형 케이스 디자인 ○ 작업용 케이스와 파일사이의 간격유지 장치 설계 ○ 돌핀구조물 수중 보수를 위한 분할벽체 설계

Table 2 Corrosion speed of steel exposed to marine environment

해양환경	시험재의 모양	측정데이터 수	부식속도(mm/yr)
해상 대기부	부식시험편	19	0.128
	평균	19	0.128
비말대	강널말뚝	8	0.112
	강관말뚝	1	0.25
	H형강말뚝	2	0.198
	부식 시험편	16	0.363
	평균	27	0.272
간만대	강널말뚝	35	0.044
	강관말뚝	4	0.070
	H형강말뚝	2	0.055
	부식 시험편	27	0.137
	평균	68	0.083
평균 간조선 (L.W.L.)	강널말뚝	42	0.047
	평균	42	0.047
해중부	강널말뚝	59	0.039
	강관말뚝	5	0.062
	H형강말뚝	3	0.049
	부식 시험편	61	0.143
	평균	128	0.090
해저 토중부	H형강말뚝	2	0.033
	부식 시험편	3	0.103
	평균	5	0.075

2. 공법의 기술적 배경 및 적용현황

2.1 기술적 배경

1) 부식의 분류

자연 상태에서 철은 주로 산소와 결합하여 광석 중에 안정한 상태로 존재하게 되는데, 여기에 전기적 에너지와 열에너지 등을 가하여, 열역학적으로 불안정한 상태로 만든 것이 철 금속이다. 이와 같이 불안정한 상태의 철금속은 물질이 존재하는 환경 내에서 물이나 공기 등과 손쉽게 반응하여 원래의 상태로 되돌아가려는 성질을 갖게 되는데 이러한 성질의 결과물이 철의 부식현상이다.

부식의 일반분류로 건식(dry corrosion)과 습식(wet corrosion)이 있으며, 건식은 금속표면에 액체 상태 물의 작용 없이 일어나는 부식이며, 일반적으로 고온산화, 고온가스에 의한 부식 등이 이에 속하고, 습식은 액체인 물 또는 전해질 용액에 접하여 발생하는 부식으로 우리 주변에서 경험하는 부식의 대부분은 습식이다.

2) 강관 파일의 부식

부식의 종류를 환경에 따라 분류하면 해수 부식, 대기 부식, 토중 부식, 미주전류 부식, 고온 산화부식이다. 이들 부식중 강관파일에서 발생하는 부식은 공기에 노출되면서 눈, 비 등 대기 및 수 환경에 의한 부식이 지배적이다. 구조물이 피복되어 있을 경우 태양광선중 자외선에 의한 피복부 열화가 일어날 수 있다.

해저나 수중에 관입한 강관파일의 부식을 분포는 비말대에서 가장 높다. 이 비말대에서는 강관의 표면은 해수의 얇은 막으로 피복되는데 대기, 조류, 해류, 연안류 등 공기 및 해수의 유동에 따라 방대한 산소가 이 피막을 통하여 공급되므로 부

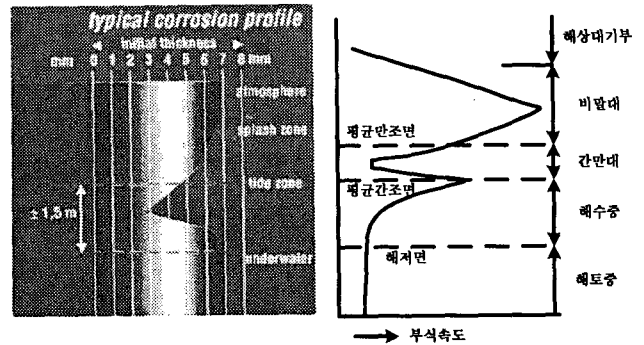


Fig. 4 Typical pattern of corroded area of steel pile

식율이 가장 높은 구간이다. 이 구역에 있는 강관 표면은 해면이나 수면을 따라 이동하는 고형부유물질의 충격에 의한 파손으로 부식이 가속되기도 한다. 따라서 비말대에서의 부식방책은 다른 어느 부분보다 철실하게 요구되고 있지만, 수중에서 이루어져야 하므로 점검 및 시공에 어려움이 많다.

해수 중에 놓인 강재의 전형적인 부식 범위는 Fig.4와 같이 간만대, 비말대, 해상기부, 해중부의 순으로 부식이 진행되며 이 중에서 수면을 기준으로 $\pm 1.5m$ 범위에서 가장 잠식율이 높다. 한편 국내의 실험자료(Table 2 참조)에 따르면 간만대에서 강관표면은 해수에 주기적으로 반복해서 잠식되므로 비말대와 같은 상황에 놓이지만 부식률은 비말대에서 보다는 작은 것으로 요약하였다. 그 이유로 간만대와 간만대 바로 밑 부분이 서로 산소공급량이 달라 간만대는 음극을 띠어 부식은 감소하고 간만대 바로 아래 부분은 양극을 띠어 부식이 가속되는 것을 지적하고 있다. 이 현상은 간만대 바로 아래 부분이 부식이 큰 것과 맥을 같이 한다.

해상 대기부(sea air zone)는 육상지역(land air zone)보다는 부식정도가 높는데 그 이유는 일정한 염분 알갱이의 흐름이 있기 때문이며, 해안 공업단지 내의 공장에서 발생하는 황산가스와 염분알갱이가 결합하면 부식을 더욱 더 가속된다. 대기부식이란 빗물 등으로 야기되는 다양한 수분함량을 가진 자연의 대기환경에 노출되어졌을 때의 온도 및 수분조건에서 발생하는 부식을 말한다. 대기부식의 형태는 일반적으로 균일부식이고, 공식이나 Fig.4와 같이 다른 형태의 강재의 전형적 부식 범위 국부부식은 잘 관찰되지 않으나 대기에서 이종금속의 접촉에 의한 전지작용부식이 자주 관찰된다. 또한, 대기부식이 발생하기 위해서는 습기가 있어야 한다. 금속 표면에 응축되어 있는 물의 얇은 층은 전기화학적 부식을 일으키기 위한 전해질의 역할을 한다. 대기부식이 발생하기 위해서 습기는 필요조건이긴 하지만 충분조건은 아니다. 대기가 대단히 습한 경우에도 금속 표면의 오염이 없을 경우에는 (대기가 깨끗하여) 부식속도가 비교적 느리다.

해중부(sea water soil zone)는 해수에 의한 부식이 가장 낮은 지역으로 그 이유는 해중은 산소와의 접촉이 없기 때문이다. 그러나 해안 오염이 심한 지역에서는 각종 침전물이나 슬러지와 같은 찌꺼기의 퇴적으로 부식율이 때때로 해수지역보다 큰 경우도 있다.

한편, 토양중에 매설된 금속체에 발생하는 부식을 토중부식

이라 한다. 토양부식으로 인해 문제가 되는 것으로는 수평방향으로 부설된 각종 배관류, 수직방향으로 향타된 기초파일 등을 들 수 있다. 이것들은 인간사회에서 필요불가결한 가스관, 수도배관 그리고 각종 건축구조물의 기초구조물일 뿐만아니라 부식으로 인한 재해의 위험마저 내포하고 있어 대책은 아주 중요하다. 또한, 대기중에 설치된 구조부재와 달리 일단 매설된 배관 등은 부식상태를 쉽게 관찰할 수 없어 가스나 수도수의 누설후에야 비로소 부식이 감지되는 경우도 적지 않다. 이러한 매설장치나 구조물에 대한 부식대책을 수립하기 위해서는 토양부식의 특성을 충분히 이해해 둘 필요가 있다.

Table 2는 여러 해양 환경하에서 보통 강재의 평균 부식속도를 나타낸다. 해수에서의 부식은 환경요인으로서 염분, 조류의 속도, 분해산소, 미생물활동과 시험할 강재의 재원, 모양, 표면상태에 크게 영향을 받는다. 따라서 해수에서 부식속도는 흙과는 다르다. 일반적으로 해수에서의 부식속도는 흙에서의 부식속도보다 10배정도 큰 것으로 알려져 있다.

3) 방식의 필요성

대부분의 금속은 자연상태에서 산화물이나 황화물 등의 광석으로 존재하며, 여기에 많은 에너지를 가해 환원작용으로 정련하여 금속으로 취하는 것이 보통이다. 따라서 이러한 금속은 자연상태에서 불안정한 상태에 있다고 보아야 하므로, 그 안정한 상태인 광석중의 산화물이나 황화물로 돌아가려는 자연발생적인 본능이 있으며, 이에 의하여 금속은 부식생성물인 녹을 형성하기도하고 때로는 용해해서 소모되기도 한다. 부식은 선체, 기관, 보일러, 해양구조물, 지하매설물, 화공장치, 원자력 발

Table 3 Annual corrosion loss of major countries
(for GNP \$8,000 and population 40,000,000)

국명	년도	부식손실액 (원)	GNP에 대한 비율 (%)	절감 가능액 (원)
미국	1998	390조	5.0	97조 5천억
일본	1997	20조	1.8	5조
영국	1969	4조 1천억	3.5	1조
서독	1969	7조 9천억	3.0	1조 9천 5백억
소련	1969	8조 7천억	2.0	2조 2천억
호주	1973	715억	1.0	178억
한국	1999	7조 4천억	1.8	1조 8천 5백억

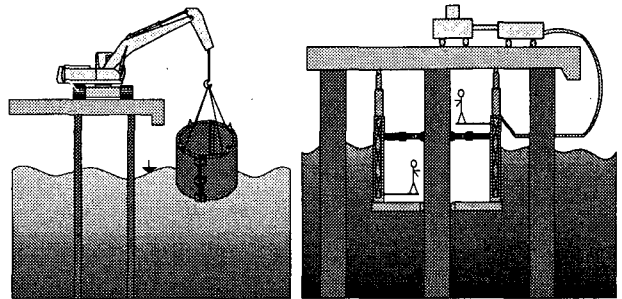


Fig.5 Schematic diagram for maintenance work with DFCM

전소의 냉각수 계통 등에서 완만하게 일어나고 있으며 철의 생산량의 10~20%가 부식에 의해서 소모되고 있고 그 경제적 손실은 선진공업국에서도 GNP의 2~3%에 도달한다고 한다.

Table 3에 나타난 금액은 방식대책에 소요되는 직접손실 금액이며 부식사고로 인한 조업단축, 기계장치의 효율저하, 안정성 때문에 고가재료를 써야하는 소위 과잉설계에 따른 장치비

Table 4 Comparison of anti-corrosion methods

구분	① 기존 도장공법	② 전기방식	③ Tape 공법	④ 수중재료사용공법
주용도	· 해안접안시설	· 해안접안시설	· 강관 Pile의 비말대 및 간만대 방식용	· 수중 보수 보강용
시공 및 작업성	· 전체부위 완전 육상작업 (폴리에틸렌 피복) · 수중작업 곤란 · 수중 보수· 보강 불가	· 초기공사비 과다	· 수중작업 · 부분 보수 어려움	· 잠수부 수중도포 · 장시간 작업 불가 · 반복도장으로 시공기간 길어짐
장점	· 내수, 내해수성 양호 · 방식효과 양호	· 수중부의 방식성능 우수	· 수중 작업 가능 · 방식효과 양호	· 수중 작업 가능
단점	· 1회 도장작업 두께는 100μm 내외임 · 수중작업 곤란 · 시공과정 중 도장손상	· 공사비 고가 · 해상 대기부의 방식성능 불량 · 지속적인 관리필요	· 방식 Tape 보호를 위해 Cover 설치 · 공사비 고가 · 시공후 부식 진행상태 검사 불가 · 도장면 완벽 지수 곤란	· 고가의 재료 사용 · 재료의 손실을 과다로 시공비 고가 · 도막두께 불균일 · 도막균열발생 우려

Table 5 Comparison of dry maintenance and strengthen methods

구분	① 가축도 공법	② Sheet Pile 공법	③ DZI	④ 가물막이 공법
주용도	· 콘크리트 우물통기초 보수· 보강	· 콘크리트 우물통기초 보수· 보강	· 해안 Sheet Pile 보수· 보강용	· 해안강관파일 보수· 보강
특허유무	무	무	유	준비중
시공 및 작업성	· 시공 및 작업성 어려움	· 시공 및 작업성 어려움	· 시공 및 작업성 비교적 간단함	· 시공 및 작업성 부분 개선됨
장점	· 작업공정 단순	· 안정성 확보	· 장비설치 절차 간단	· 전식환경제공
단점	· 공사비 고가 · 환경파괴 가능성 · 축도붕괴의 위험성 있음	· 공사비 고가 · 철거공사비 추가부담	· 공사비 고가 · Sheet Pile에만 국한	· 시공시 공사구조물 설치 및 이동에 시간 소요 (체인 사용)

등을 고려한다면 부식으로 인한 손실은 실로 막대하다고 볼 수 있다. 따라서 이러한 부식손실을 줄이기 위해 현재까지 개발된 방식기술을 적용하면 약 25%정도를 절감할 수 있다고 한다. 물이나 토양과 같은 전해질 속의 구조물에 대한 부식대책으로는 1980년대까지 전기방식을 주로 사용해 왔으나 전기방식만으로는 구조물을 100% 방식하는 것이 불가능하므로 코팅방식을 함께 적용함으로써 부식으로부터 완전히 벗어날 수 있다.

2.2 공법의 적용 현황

국내외에 적용하고 있는 철제구조물의 방식 방법 및 장단점과 기존의 건식 보강공법의 장단점은 Table 4, Table 5와 같다. 현행 공법이 시공정도, 시간, 경제성의 관점에서 여전히 개선의 여지가 남아 있다. 본 연구와 가장 유사한 가물막이 공법의 경우 부식상태 확인과 함께 확실한 방식처리를 할 수 있지만 설치시에 많은 시간이 소요되는 단점이 있다.

3. 기술 개발의 내용

3.1 보수·보강 장비의 개발

현재 우리나라에서 여러 종류의 해양구조물 중 비말대나 간만대에 위치한 강관파일 및 기타 철, 콘크리트구조물에 대하여 보수·보강을 위한 시공은 잠수부를 투입하여 수중작업을 통해 이루어지므로 공사품질 및 시공이 비효율적이며 관리감독에 애로사항이 많다. 이를 건식케이슨을 이용하여 구조물의 수중부를 건식화하여 육상구조물과 동일한 환경에서 시공하므로 고품질의 시공과 관리감독이 용이하도록 하는 공법이 필요한 것이다.

본 연구에서 새로이 개발한 DPCM (Dry Process Caisson Method for Submerged Structure : 수중구조물작업용 건식케이슨 공법)을 이용하여 철구조물인 해상강관파일의 보수·보강을 손쉽게 할 수 있는 공법이다. 본 공법의 적용대상은 해상에 설치된 실린더형의 해상 강관파일의 보수·보강에 손쉽게 적용할 수 있는 공법이다.

해상 부양식 건식케이슨으로 수면 하에서 건조상태의 환경을 제공하여 작업하는 공법의 구체적인 공정내용은 다음과 같다. 이것은 수중 철구조물에 대한 경제적인 유지보수를 위해 특별히 고안 제작된 건식케이슨(DPC, Dry Process Caisson)을 해상의 철구조물에 설치하여 각종 검사, 손상부에 대한 보강수리, 코팅, 그라우팅을 시행함으로써 철구조물의 수명을 반영구적으로 유지시킬 수 있는 공법이다.

주로 비말대 부위 및 ALWC (Accelerated Low Water Corrosion) 부분에서 발생하고 있는 철구조물의 극심한 부식, 손상부를 전기용접으로 보강한 뒤 sand blasting을 통하여 철표면의 부식부분에 대해 완전히 표면처리한 후 내부식성이 강한 도료를 선택하여 도장함으로써 구조물의 잔류수명을 대폭 증가시키는 것을 목표로 한다. 이 과정에서 장비내의 물을 완전히 배수시켜 모든 부대공사를 건조상태에서 시행하고, 철제구조물의 파공으로 인한 배면의 토사가 유출된 경우에는 그라우팅공법 등 적절한 공법을 통하여 지반보강공사도 할 수 있는 장점이 있다.

Table 6 Specification of DCPM

외부직경	3.8 m	밸러스트 탱크	6개 격실
내부직경	2.8 m	상판거치 유압	4개
높이	2.5 m	내부개폐실린더	1개
총하중	5.2 t	강관고정 홀더	4개
강관직경	0.8m, 0.9m, 1.0m 가변형으로 제작		

DPCM에 의한 수중 구조물의 보수·보강 공법은 수중구조물의 형태와 크기에 따라 제작과 조립시 작업성이 우수한 강제케이슨과 고무의 유연성, 신축성을 응용한 수밀패킹재의 특성을 결합시켰으며, 구조적인 측면에서는 안정성이 탁월한 격실형 원형구조로 구성하였으며, 강제케이슨을 2개의 부분으로 나누어 규격화하여 제작, 조립 후 수중에서 부상시켜 이동이 용이한 상태에서 구조물에 연결한 후 내측의 물을 배제하고 건조상태의 작업공간을 제공하는 가물막이 공법이다.

3.2 DPCM의 모형실험 및 실물 제작

본 장비의 이론적 특성을 실물 제작에는 큰 비용이 소요되어 축소모형을 제작하여 실제 부력 시험, 이동시험, 거치시험을 실행하였다. 사전에 부력 및 전수압을 계산으로 산정하였고 실물크기의 1/6 크기로 제작하였다. 각 10cm 간격으로 물을 충수하여 각 부력과 전수압을 측정하였다.

$$-W + B = 0 \quad (1)$$

$$B = \omega \times V = 1.025 \times \{(\pi \times 0.3^2 \times 0.6) - (\pi \times 0.225^2 \times 0.6)\} = 0.07607tf = 76.07kgf$$

W=아크릴 모형장치 무게 + 발라스트탱크내 물의 무게

$$-0.028 - 1.025 \times \pi \times (0.3^2 - 0.225^2) \times d + 0.07607 = 0$$

즉, 부력과 일치하는 정도의 무게 W 와 같은 무게로 되기 위한 구조물의 최소홀수 d 는

$$\therefore d = 0.3791m = 37.91cm \text{ 가 된다.}$$

본 연구를 통한 집약된 기술은 다음의 5가지 형태로 구분할 수 있다.

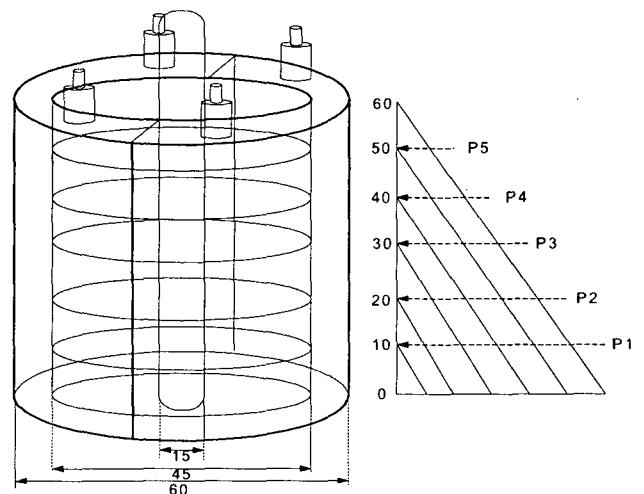


Fig.6 Buoyancy Test of DPC Model

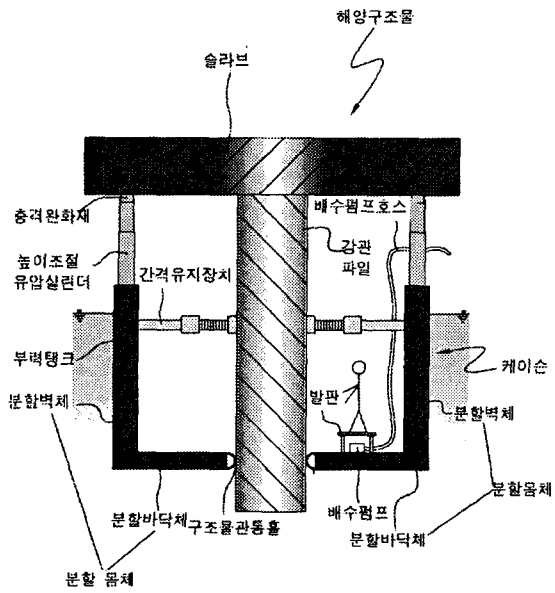


Fig.7 DPC Model

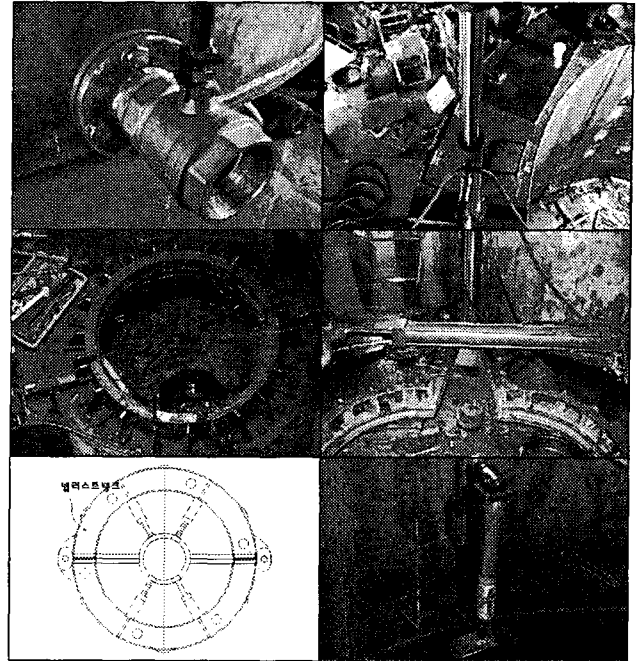


Fig.8 Components of DPC Model

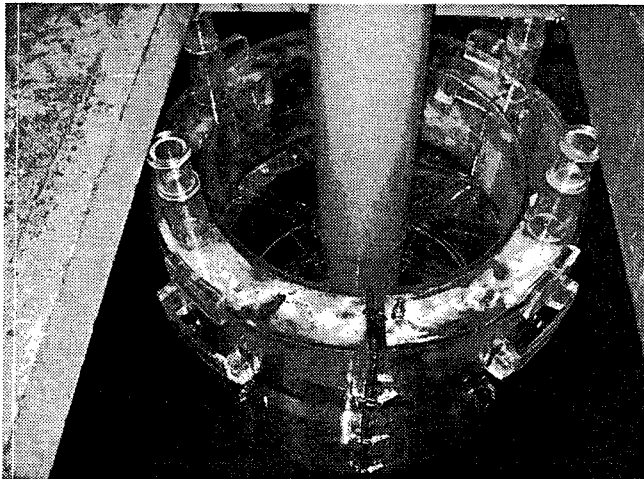


Fig.9 Holding test of DPC Model

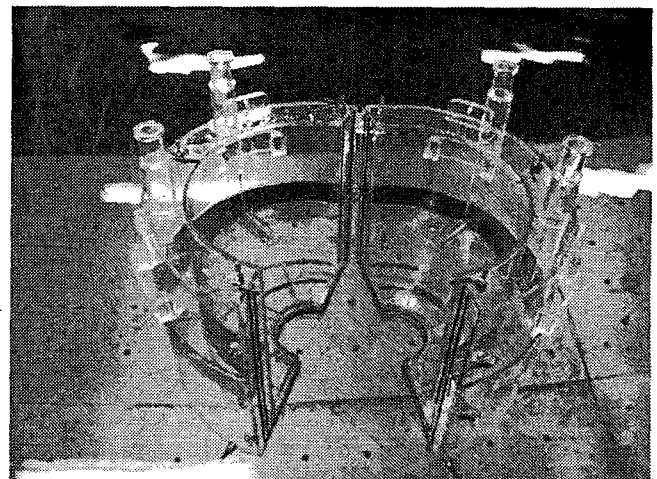


Fig.10 Floating test of DPC Model

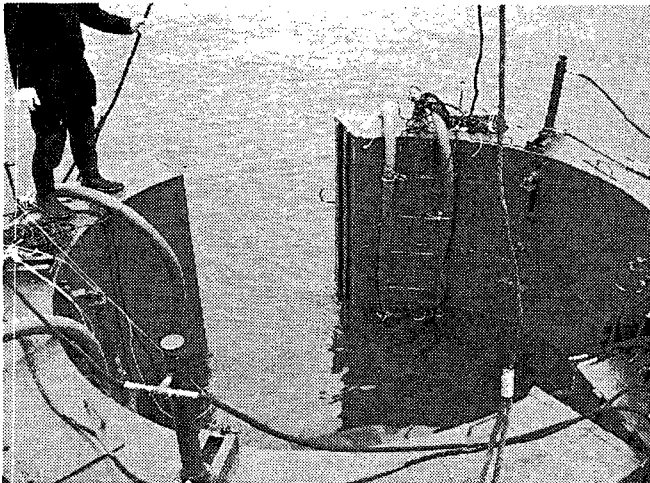


Fig.11 Floating test of field module

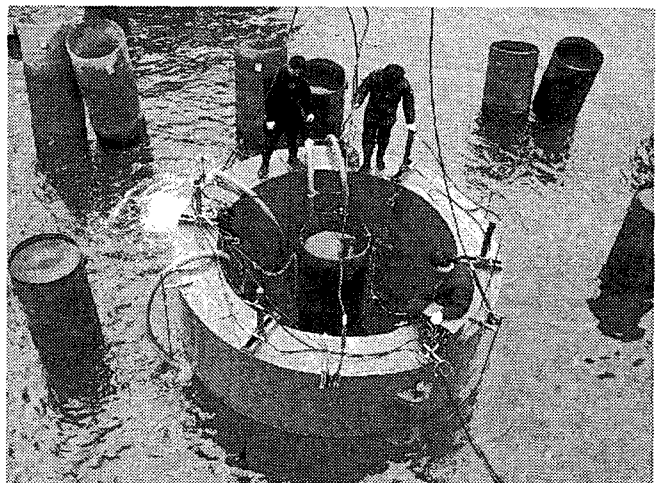


Fig.12 Holding test of field module

- ① 이단 조립식 원통형 물막이 장치로 좁은 간격으로 시공된 강관에 쉽게 케이슨을 조립 및 해체할 수 있는 기술
- ② 이단 조립식 원통형 물막이 장치의 중앙부(해상강관 접촉부), 바닥면 및 원주부(케이슨 이음부)의 고무패킹재를 외부 수압에 의해 서로 밀착시켜 유입수를 차단하는 기술
- ③ 건식케이슨에 6개의 격실을 두어 해상 또는 수상에서 부상, 경사와 깊이를 조정할 수 있어 작업상 안전성을 확보하고 구조물로의 이동을 간편하게 하는 기술
- ④ 잔교형 돌출 하단에 인위적 구조물 손상이 없이 작업공간의 확보와 지지를 부력으로 유지하는 기술
- ⑤ 하단 강관 고정부를 가변형으로 하여 다양한 크기의 강관에도 손쉽게 적용이 가능하다.

Fig.9은 강관 거치시험의 사진이고 Fig.10벨러스트탱크의 부력으로 수중에 떠있는 모습을 재현해보았다. 아크릴(ma)의 비중은 1.19 철근(p) 7.85 로 큰 차이가 있지만 계산치에서도 충분한 부력을 가지는 것으로 나타났고 실물의 현장 부력시험에서도 충분한 부력을 가지고 있었다.(Fig.11 참조)

육상 및 해상에서의 제작이나 운반, 설치, 조립작업의 원할을 위해 장치를 좌우로 분할하여 규격화하였으며, 우리나라 서해안 및 남해안과 같이 조차가 극심한 해역에서 손쉽게 비탈대 구간에서 작업이 이루어질 수 있도록 케이슨 하부에 유압식 차수장치를 부가할 수 있도록 설계하였다. 모든 연결부는 고무패킹재를 부착하고 수압에 의해 수밀이 이루어지나 볼트를 체결할 수 있도록 하여 연결부의 안정성을 확보하였다.

지금까지 접근성이 어려웠던 수중구조물의 점검이나 유지관리 문제를 본 기술을 적용하면 완전해소가 가능하며, 특히 동일한 규격의 구조물에 대하여는 반복사용이 가능하므로 강관 파일이 많은 잔교식 부두나 돌핀의 보수공사에 적용할 경우 작업시간의 절약, 작업효율의 향상과 공사비의 경감으로 인한 경제성이 두드러지는 공법이다.

환경문제가 날로 심각해져 가는 현시점에서 본 기술은 강관 파일의 보수·보강 공사시 수중작업으로 인한 오염발생 요인을 제거하였고, 장비내부에서 발생하는 건설보수공사 폐기물의 전량 수거처리가 가능하여 수질오염발생의 원인제거 및 공사 구조물의 대형화를 피해 최소 단위화시킨 환경친화적인 기술로 인정받을 것이다.

4. 결 론

본 연구는 재활용이 불가능한 콘크리트 구조물의 건설을 최소화 하여 환경 친화적이고 재활용이 가능한 자원을 후손들에게 물려 줄 수 있는 수중 강관 파일 구조물의 수명 연장을 위한 장비를 개발하는 목적으로 추진하였으며 장기적인 부식방지를 위해 큰 기여를 할 것으로 예상된다.

건식환경을 제공하면서도 구조물간의 이동을 용이하게 하고 비상시에 이탈이 쉬운 부체구조를 택하였으며 실물제작에 앞서 이론적인 배경에 아크릴모형을 제작하여 수조에서 부유 및 구조물에 부착하여 건식실험을 수행하였다.

실제 현장적용 실험에서는 부유실험과 강관 부착 실험 후

건식 환경 실험만 실시를 하였고 향후 강관다설후 방식처리나 유지보수시 강관의 상태를 시공 전·후로 장기 관측하여 성능 테스트를 할 예정에 있다.

구조물의 장착 등 독립된 작업 흐름에서는 인력 및 작업시간이 30% 이상 절감되는 것으로 나타났으며 작업품질 면에서도 탁월성이 입증되고 있다.

해양구조물의 보수·보강을 위해 건조상태의 작업공간을 확보하고자 하는 경우에도 Sheet Pile을 이용한 가물막이 공법 이외에는 대안이 없는 실정으로 보수 및 보강 공사를 위하여 많은 가시설 비용이 소요된다.

특히, 잔교식 부두나 교각 등의 설치 후 부식방지 처리 및 상태확인 시에 신속하고 안전하게 수행할 수 있으며 매년 되풀이 되는 유지 보수의 비용을 줄여 시설물 관리비용을 크게 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

한편, 조석의 차이가 심한 서해안 지방의 경우 저조시에 신속하게 많은 양의 파일을 보수해야 하는데 이 경우 부유체 건식 공법으로 이동 및 시공 시간을 크게 단축할 수 있어 시공성 및 경제성에서 탁월한 것으로 평가하고 있다.

향후 다양한 크기의 강관에도 적용 가능하도록 종류를 세분화하여 각 항만 및 운하등에 최적화하여 적용대상을 확대할 예정이다.

DCPM은 해안 강관파일의 보수·보강에 광범위하게 적용할 수 있을 것으로 예측되며, 강관파일이 설치되어 있는 전국 항만의 잔교식 부두를 대상으로 하여, 보수·보강의 작업성을 향상시키는데 기여할 것이고, 향후 잔교식 부두의 신설공사에 사용될 수많은 파일에 본 신기술을 적용할 수 있어, 점차 적용대상이 크게 증가할 것으로 예상된다.

사 사

본 연구는 2005년도 산학연컨소시엄사업의 연구비지원에 의한 연구결과와 일부입니다.

참고문헌

- [1] Port Technology International, No.7, (1988)
- [2] 방식기술편람(최종):제1권 부식이론, 한국건설방식기술연구소 ;건설교통부 (1998)
- [3] 방식기술편람(최종): 제3권방식기술, 한국건설방식기술연구소 ;건설교통부 (1998)
- [4] 방식기술편람제6권(최종): 용어해설 및 부식자료, 한국건설방식기술연구소; 건설교통부 (1998)
- [5] 각종 건설구조물에 의한 부식방식 데이터북, (재)한국건설 방식기술연구소, (2003). p.59
- [6] Work enclosure for servicing marine structures, United States Patent ,Number 4,991,996 (1991)
- [7] Working chamber , Harald Andersen , United Kingdom Patent ,Number 2,114,636A (1982)
- [8] A. T. Cassiere United States Patent ,Number 4,991,996 (1991)