

무인 착저식 해양 콘관입시험기 개발

Development of Unmanned Seabed type Marine Cone Penetration Testing System

장인성¹⁾, In-Sung Jang, 권오순²⁾, O-Soon Kwon, 정충기³⁾, Choong-Ki Chung

¹⁾ 한국해양연구원 연안개발연구본부 선임연구원, Senior Researcher, Coastal Engineering Research Department, Korea Ocean Research and Development Institute

²⁾ 한국해양연구원 연안개발연구본부 책임연구원, Principal Researcher, Coastal Engineering Research Department, Korea Ocean Research and Development Institute

³⁾ 서울대학교 공과대학 지구환경시스템 공학부 교수, Professor, Dept. of Civil, Urban and Geosystem Engineering, Seoul National Univ.

개요(SYNOPSIS) : In the design and construction of the coastal/offshore structures, it is very important to evaluate the geotechnical characteristics of marine soils, which support the structures. Although the offshore site investigation is much more difficult than onshore, safe and precise jobs have not been accomplished in Korea because of the insufficiency of the test equipments especially for the site with deep water depth. The main objective of this study is to develop a new type of marine cone penetration testing(CPT) system, which can be utilized to even deep sea and high depth of soil layer. The system is one of seabed types and employs the conventional cone, which shows more reliable results than miniature cone. The most important parts of the marine CPT including continuous rod system, cone penetration system with wheel drive, automatic cone rod assembly/disassembly system etc., were designed and manufactured. Some tests to verify the developed marine CPT system were performed at both onshore and offshore sites as well as mechanical test in laboratory. The test results show the consistent and promising performance of the new equipment, and thereafter the system would be applicable to various sites with practical/economical advantages.

주요어(Key words) : offshore site investigation, deep sea, marine cone penetration testing(CPT), continuous rod system, penetration system with wheel drive, automatic cone rod assembly/disassembly system, conventional cone

1. 서론

최근 들어 우리나라는 동북아 물류 중심으로 자리 잡기 위해 많은 신항만이 건설되고 있고 해양관측 기지나 해양도시 개발 등 다양한 해양 구조물의 계획 또는 시공되고 있으며, 다양한 종류의 해양 자원을 개발하고자 하는 시도가 활발히 진행되고 있다. 이렇듯 다양한 분야에서 해양 구조물을 안전하게 설계 및 시공하기 위해서는 구조물을 지지하고 있는 해저지반의 특성을 정확하게 평가하는 것이 상당히 중요하며, 따라서 지반 특성 파악을 위한 신뢰성 있는 시험장비의 개발 및 연구가 필요하다는 것은 주지의 사실이다. 특히, 국내 해양에는 아주 널리 분포하고 있는 연약지반의 경우 그 두께 및 성질을 정확하게 판정하는 것은 공법과 공사기간 및 공사비 등에 근본적인 영향을 미치게 된다.

콘관입시험은 다양한 지반 특성들을 비교적 정확하게 구할 수 있을 뿐만 아니라 연속적인 측정으로

인하여 지층 구분을 원활하게 할 수 있고 연약지반의 다양한 결과를 심도에 따라서 일관되게 얻을 수 있기 때문에 전 세계적으로 크게 활용되고 있으며(Lunne, 1996), 육상은 물론이고 해상에서 실적도 상당히 풍부한 지반조사 기법이다.

현재 해상에서 실시되는 지반조사는 육상에서 지반조사보다 난이도가 높은 작업임에도 불구하고 시험 단가가 낮아 시험인력과 지반조사 장비의 부재로 인하여 지반조사의 질적인 면이 많이 부족한 것이 현실이다. 해양 콘관입시험을 비롯하여 국내에서 이루어지는 해상 지반조사는 간단한 작업장(폰툰, 소형 SEP바지)을 해상에 설치하여 그 위에서 지반조사를 수행하고 있다. 이는 수심 5~10m 이내에서는 적절한 방법이지만 그 이상의 수심에서는 작업장의 설치도 어려우며 바람과 파랑으로 인해 설치된 작업장의 안전을 확보하기 어려워 실제 거의 사용되지 못하고 있다. 따라서 현재 수심이 깊은 위치에서의 지반조사는 선박에서 채취한 간단한 시료를 이용한 실내시험에 의존하거나 해외 지반조사업체에 용역을 통해 그 결과를 얻고 있다.

본 연구에서는 현재 육상에서 사용하고 있는 현장시험방법 중에서 가장 신뢰도가 높고 경제적인 시험법으로서 기존의 해양지반조사 장비에 비해 정확한 결과를 도출할 뿐만 아니라 바지선이나 고가의 지반조사 전용선박 등 상당한 비용이 소요되는 부가 장비의 필요 없이 가용할 수 있는 무인 착저식 해양 콘관입시험기를 개발하였다. 본 논문에서는 무인 착저식 해양 콘관입시험기의 개발 배경을 비롯하여 세부 핵심기술과 현장 검증시험 등에 대해 정리하였다.

2. 기존의 해양 콘관입시험 기법

2.1 개요

해상에서 이루어지고 있는 콘관입시험은 일반적인 보링 및 샘플링을 비롯하여 표준관입시험, 공내재 하시험, 현장배인시험 등과 마찬가지로 육상에서 활용 중인 시험 기법이 거의 대부분 곧바로 적용될 수 있지만, 육상의 경우에 비해서 능률이나 정도가 자연조건에 의해 크게 좌우된다. 이는 조류나 파랑, 항적파 등 육상에서는 생각할 필요가 없는 장애를 가지고 있기 때문인데, 시험위치의 수심에 따라서 작업 방법에 큰 차이가 있다. 일반적으로 수심이 비교적 얕을 경우에는 주로 작업 공간을 위한 가설작업장을 활용하는 반면, 수심이 깊은 위치에서는 가설작업장의 적용이 힘들기 때문에 다운홀(Downhole) 방식이나 착저형(Seabed) 방식 등의 기법이 활용된다.

2.2 천해에서의 콘관입시험

천해에서의 콘관입시험은 일반적으로 가설작업장을 이용하여 이루어지는데, 육상에서 활용되는 콘시험기를 그대로 가설작업장에 설치하여 활용하고 있다. 여기서, 해상 가설작업장은 크게 부체작업장과 고정작업장으로 구분할 수 있다. 부체작업장은 고정작업장의 설치가 곤란한 대수심이나 정온인 해역에서 이용되는 것으로, 선박식 및 반잠수식이 있다. 선박식은 상하(pitching)나 좌우(rolling)에 흔들리기 때문에 콘관입시험 결과에 영향을 줄 수 있는 위험이 있다(해양수산부, 2002).

고정작업장은 해상에서 토질조사에는 필수적인 것인데, 강제 작업장과 스팟트식 작업장(소형SEP)이 대표적이다. 그림 1은 SEP 바지 위에서 수행하고 있는 해양 콘관입시험을 나타낸 것이다.

2.3 심해에서의 콘관입시험

2.3.1 다운홀 방식(downhole type)

다운홀 방식의 해양 지반조사 시험기는 드릴에 의해 굴착된 굴착면에서부터 관입이 이루어진다. 즉, 원하는 깊이까지 선상의 동력장치나 시험기 자체의 동력원에 의해 드릴링 작업이 이루어진 후, 관입이 이루어지는 방식이다. 그림 2는 네덜란드의 Fugro사에서 현재 XP라 불리우는 다운홀 방식의 콘관입

시험 장비를 보여주고 있다.

2.3.2 착저형 방식(seabed type)

가설작업장을 이용한 해양 조사시 수심, 조류, 파랑 등의 영향 및 해상 가설 작업장의 위험성과 비능률성을 줄이고자 하는 목적으로 조사기기를 해저면에 가라앉혀 모선에서 원격조정을 수행하는 착저식 방식이 고안되었다. 그림 3과 같은 착저형 방식의 콘관입시험기의 경우, 콘의 단면적이 10cm²인 표준콘을 적용한 착저형 시험기 이외에도 최근에는 해저의 파이프라인이나 케이블 매설의 증가로 인하여 소형의 시험장비들의 사용이 더욱 증가하는 추세로서 1~5cm²의 소형콘을 적용한 콘관입시험기가 많이 사용되고 있다(Tumay, 2001). 그림 4는 미국 SAGE사에서 사용하고 있는 것으로, 코일형태의 로드에서 소형콘을 연결시킨 해양 콘관입시험기를 나타내고, 그림 5는 네덜란드 A.P. van den Berg사에서 개발한 10톤 규모의 표준콘을 이용한 해양 콘관입시험기이다(Van den Berg, 2005). 최근 들어서는 해양 콘관입시험기 뿐만 아니라 육상장비에서도 자동화 관입시스템으로 변화가 추세인데, 그림 6은 A. P. Vanden Berg의 AutoCuson 장비에서 채용하고 있는 로드 연속공급방식에 대한 모식도를 나타낸 것으로 흡사 탄창과 같은 틀에 로드를 보관하고 있다가 실험이 진행됨에 따라 틀이 회전하며 로드 선별장치(pick and place unit)에 의해 해당 로드를 관입위치에 제공하는 방식을 사용하고 있다(Kolk와 Wegerif, 2005).

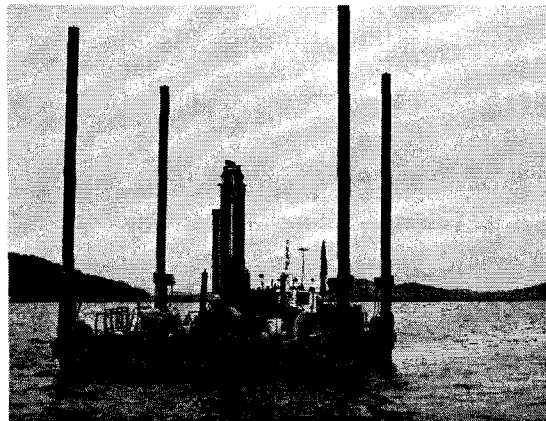


그림 1. SEP 바지 위에서 수행중인 해양 콘관입시험 (얕은 심도)

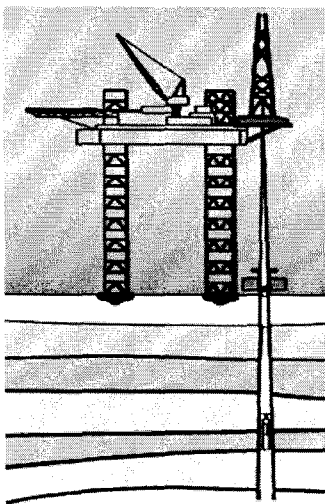


그림 2. downhole XP system (Fugro사)

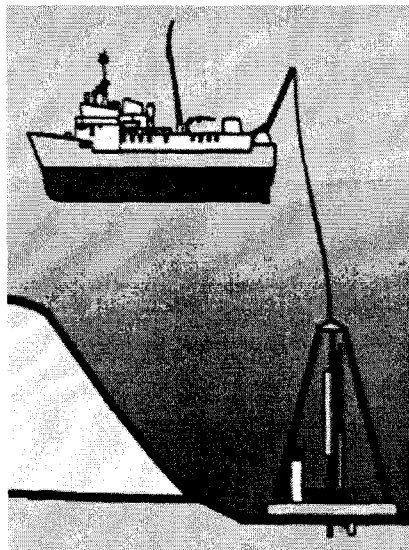


그림 3. Seabed type



그림 4. 소형콘을 이용한 콘관입시험기 (SAGE, 미국)

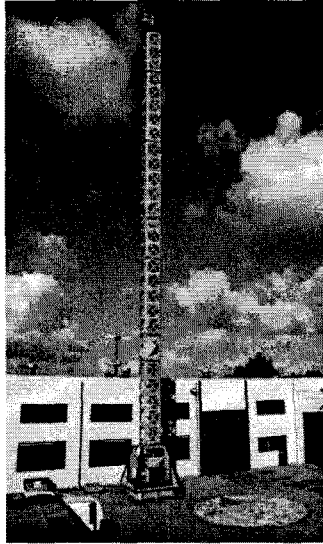


그림 5. 10ton 용량의
ROSON rigs

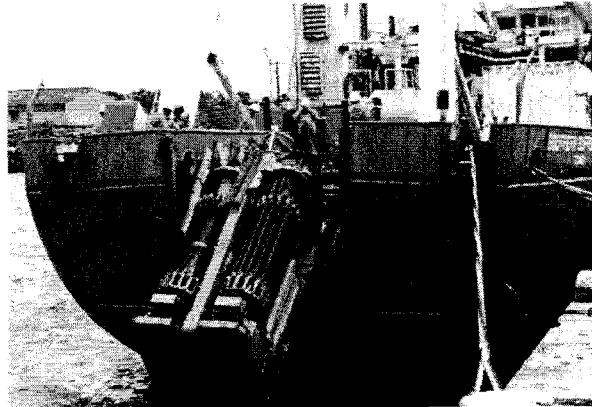


그림 6. 해양 콘관입시험기 (PROD™)

3. 해양 콘관입시험기 개발 필수 요건

3.1 개요

국내에서 활용 가능한 새로운 해양 콘관입시험기를 개발하기 위해서는 우선적으로 우리나라 해양의 지형 및 지질 특성과 함께, 기존에 국내외에서 활용 중인 콘관입시험기의 문제점에 대한 정확한 분석이 필요하다. 이러한 요구 조건들을 바탕으로 새로이 개발되는 시험기의 제원 및 개발 방향이 구체적으로 결정되어야 할 것이다.

3.2 해안 및 육지 인근의 연약지반 분포 특성

그림 7은 국내 주요 항만에 대한 대표적인 지반 주상도를 나타낸 것으로(해양수산부, 2003), 전라도 부근의 경우 연약지반의 심도가 10m~20m 정도로 얕은 편이며, 주로 점토나 실트질 모래 또는 느슨한 모래층으로 이루어져 있다. 동해안이나 서해안 북쪽의 경우에는 연약지반의 심도가 10m 이하로 상당히 얇게 분포하는 반면에, 남해안의 경우 경상도 부근은 점토나 실트질 점토층, 유기질토로 주로 이루어져 있으며 표준관입시험의 N값이 10이하인 연약지반이 최대 50m~60m에 이르고 있다. 따라서 국내에서 최대한 활용하기 위해서는 시험기의 최대 관입심도를 60m 정도로 설정하는 것이 필요하다.

3.3 기존 해양 콘관입시험기의 문제점

현재 해양 콘관입시험기는 각 제작사별로 독자적인 모델을 가지고 있다. 표준콘을 사용하는 해양 콘관입시험기는 20m 이상의 심도까지 연속적으로 로드를 관입하기 위해서는 강성로드를 연결시키고 수중에 들어가는 초대형 시스템으로 구성되어야 한다는 단점이 있고, 소형콘을 사용하는 경우에는 연성로드를 사용하여 관입이 간편하다는 장점이 있지만, 소형콘을 사용함에 따라 기존 경험식을 활용할 수 없고 새로운 보정식을 개발하여야 하는 단점이 있다.

이러한 문제점을 극복하기 위하여 표준콘을 사용하는 착저형 해양 콘관입시험기를 개발하기 위해 로드의 지름이 기존 장비에 비해서 크지만 로드를 감을 수 있도록 만들어 손쉬운 작업이 가능하고 실험결

과를 기존의 해석방법에 그대로 적용하여 보다 신뢰성 있는 시험이 될 수 있도록 하는 방향으로 장비 개발이 이루어져야 한다.

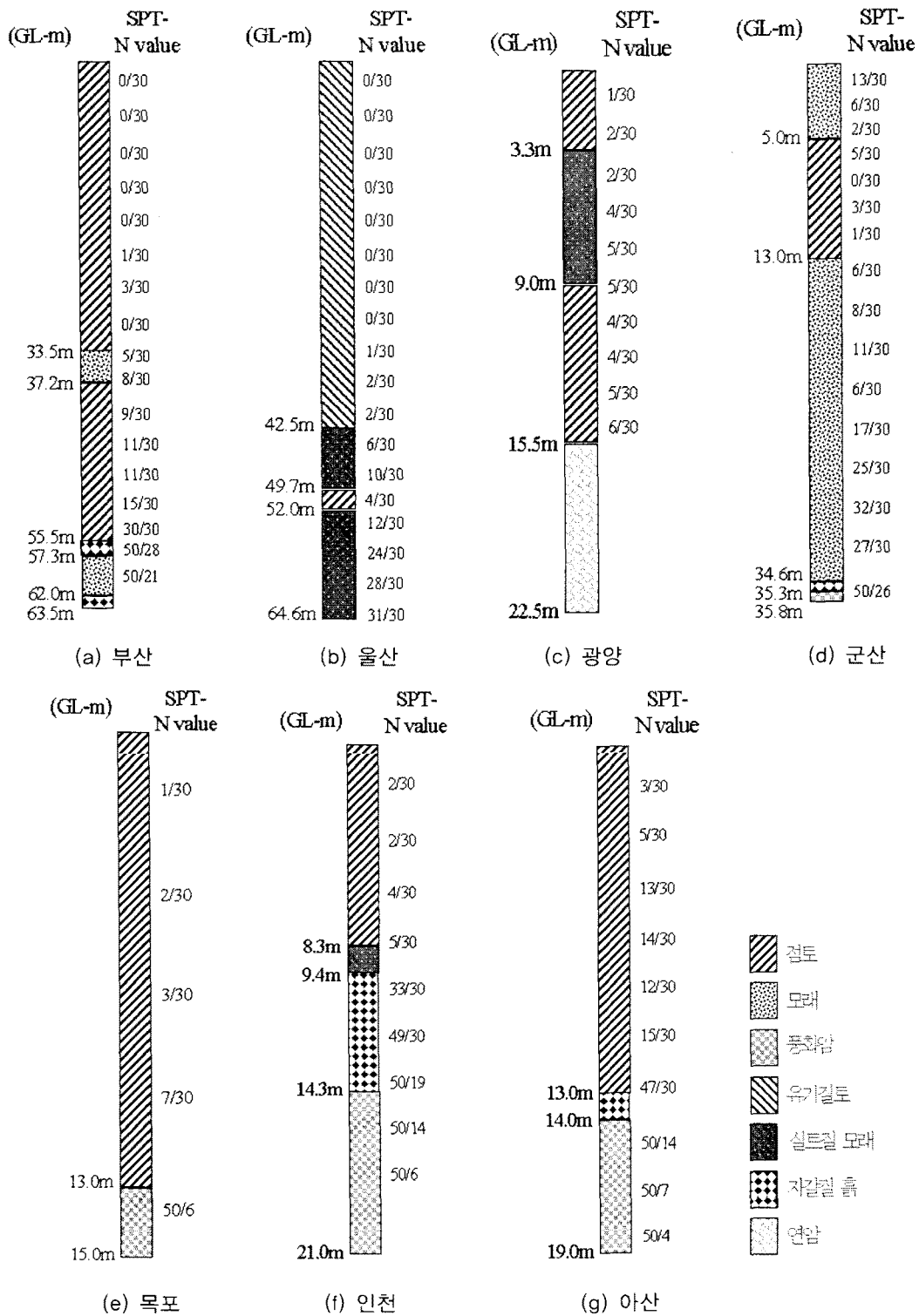


그림 7. 국내 주요 하만의 대표적인 주상도

3.4 무인 착저식 해양 콘관입시험기의 제원

국내 해양의 지형 및 지질 조건과 가용 선박조건 및 기존 해양 콘관입시험기가 가지고 있는 단점을

해결할 수 있는 조건 등을 고려하여 다음과 같이 시험기의 제원을 결정하였다. 먼저, 대상지반 및 수심의 경우, 최대 시험 수심은 60m이고(적정 활용 수심 : 10m~40m), 최대 시험지반두께는 GL-60m 정도, 지반의 표준관입시험 N=40 정도까지 적용하는 것으로 계획하였다. 여기서, 장비 규모의 경우, 콘의 관입에 의한 반력을 자중으로 활용하고자 하는 목적으로 총중량은 11ton (수중 중량 기준) 정도로 하였고, 부가되어 있는 앵커식 기초(석선파일)의 용량까지 고려한다면 약 20ton 이상의 반력을 확보할 수 있도록 하였다. 그리고 장비의 폭은 차량 탑재 한계인 2.3m를 기준으로 정하였으며, 높이는 2.5m이다. 여기서, 콘 및 로드 의 직경은 일반적인 표준콘에 해당되는 35.7mm이다.

4. 무인 착저식 해양 콘관입시험기 세부핵심기술

4.1 개요

새로이 개발되는 무인 착저용 해양 콘관입시험기는 수중에서 무인 착저식 전자동의 개념으로 작동되기 때문에 육상에서 사용하는 콘관입시험기와는 상당히 다른 제작 기술을 요구하는데, 이 시험기의 핵심 기술로는 신축이 자유로우면서 강성을 확보하는 관입로드 시스템, 휠드라이브 시스템을 이용한 자동 관입기술, 콘의 연속 관입을 위한 관절형 로드 연결 및 제거 기술, 무인 작업을 위한 자동센서기술, 대수심에서의 작업을 위한 수밀기술 등 다양하다. 또한, 그림 8에서 보는 바와 같이 원통형의 기초를 3합 설치하고 석선 기초 기술을 이용하여 지반에 완전히 밀착시킴과 동시에 지반에 안정적으로 위치할 수 있도록 제작되었다. 장비 내부는 공기로 채우고 외부 수압과 동일한 공기압을 유지하도록 자동 제어하여 장치의 내구성을 높이게 되며, 만약을 대비하여 모든 내부 장치는 수중에서도 작동이 가능하도록 제작하였다. 그리고 콘이나 측정장치 등은 기존에 육상에서 활용되고 있는 장치를 그대로 활용하였다. 각 세부핵심기술에 대한 설명은 다음과 같다.



그림 8. 개발된 무인 착저식 해양 콘관입시험기

4.2 관절형 로드 시스템

인력으로 로드를 공급하지 않는 무인 작업을 위한 가장 핵심 기술은 로드를 연속적으로 공급하고 연

속적으로 인발해서 수납할 수 있는 시스템이다. 전체 연구를 통해 풀렸을 때 자연스럽게 휘지만 연결 되면 강성을 가지는 연성 로드 시스템, 0.1m마다 분리되어 있다가 실험을 위해 투입되면 회전을 통해 자동으로 체결되는 분리형 강성 로드 시스템에 대한 검토와 현장 실험을 수행하였으며, 최종적으로 그림 9와 같은 0.1m 강성 로드 사이에 볼-소켓방식의 관절을 두어 풀렸을 때 어느 정도 힘을 허용하고 감겼을 때 완전한 강성을 발휘하는 관절형 강성 로드 시스템을 선택하였다. 그림 10은 강성로드를 수납하는 공간을 보여주고 있다.

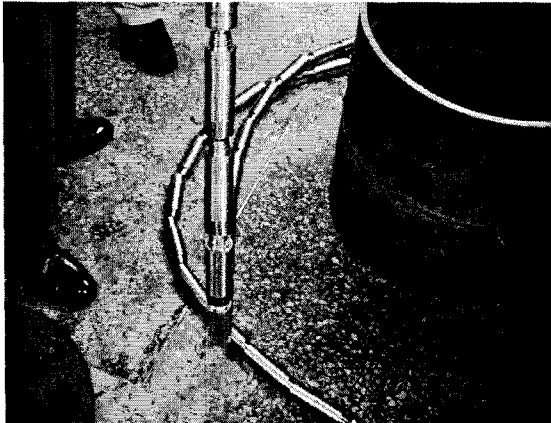


그림 9. 관절형 로드

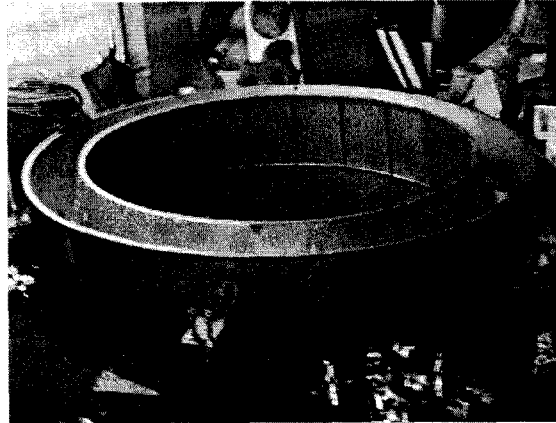


그림 10. 로드 수납장치

4.3 휠드라이브식 관입 시스템

기존 콘관입시험기가 유압 클램프를 이용하여 로드를 관입하는 방식과는 달리 연속적인 관입방식이 필요한 대부분의 해양 콘관입시험기는 휠드라이브 방식을 사용한다. 이 방식은 궤도를 따라 로드가 압착되어 지중으로 관입되며, 궤도와 로드 사이의 미끄러짐을 방지하기 위하여 유압 실린더가 설치되어 있다. 그림 11은 휠드라이브 시스템의 작동 검증을 위하여 제작한 시험용 전기식 휠드라이브이며 그림 12는 현재 사용 중인 유압식 휠드라이브 시스템이다.

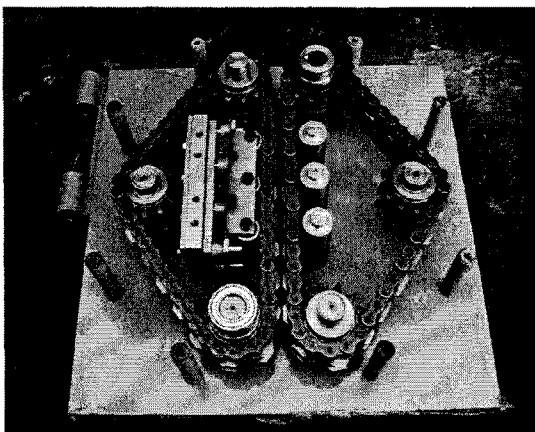


그림 11. 전기식 휠드라이브 시스템

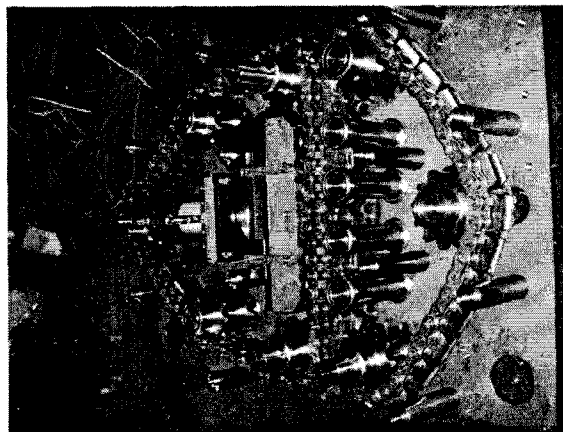


그림 12. 유압식 휠드라이브 시스템

4.4 로드 자동 연결 및 분리 시스템

휠드라이브 시스템을 통해 관입로드를 관입 및 인발시키기 위해서는 0.1m 길이의 관절형 강성로드들

을 자동적으로 연결 및 분리하는 장치가 필요하다. 이러한 로드 자동 연결/분리장치는 일정한 길이를 갖는 로드를 강성 케이블로 정렬시킨 후 정렬된 로드를 적어도 한 쌍 이상의 연결/분리 로울러로 가압한 후 잠김 방향 또는 풀림 방향으로 공전시켜 연결/분리 로울러들 사이를 통과하는 로드들을 회전시켜 로드들이 서로 체결되거나 분리되도록 하는 장치를 말한다(그림 13). 이때 연결이나 분리시에 필요 이상의 힘이 전달되지 않게 하기 위해 자연스러운 슬립현상을 발생시키도록 설계 및 제작하였다. 한편, 로드의 관입시 로드 체결을 위해서 로드를 위에서 아래로 밀어 넣고, 인발시 풀린 로드를 아래에서 위로 자연스럽게 배출해 주는 로드 투입장치는 그림 14에 나타난 바와 같다.

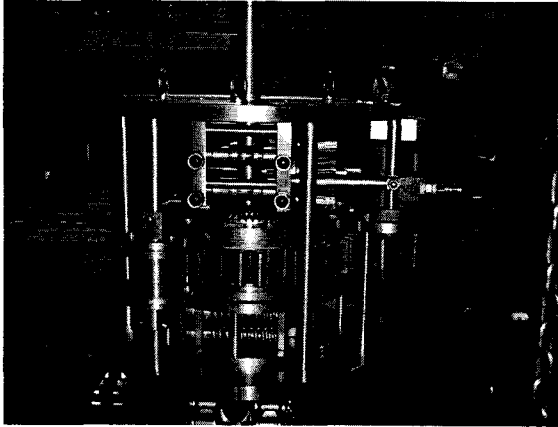


그림 13. 로드 연결/분리 장치

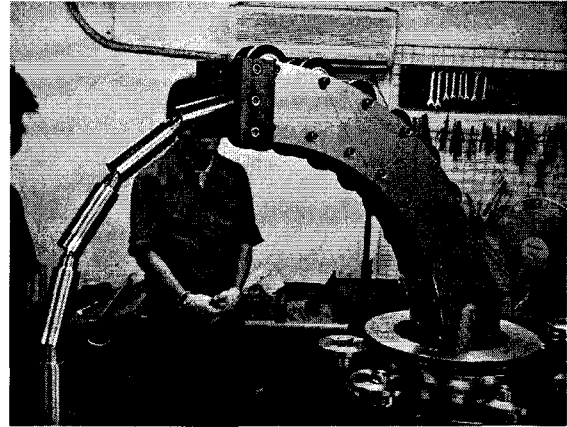


그림 14. 로드 자동 투입장치

4.5 자동 제어 기술

4.5.1 수평조절 제어장치

3개의 석선과일 상부에 유압 수평장치(유압 다리)를 설치하여 시험기가 해저면에 위치할 때 발생할 수 있는 경사를 자동으로 제어하여 수평을 유지할 수 있도록 하였다. 즉, 3개의 다리를 제어하여 항상 수평이 맞도록 제어하는 장치(그림 15)이다.

4.5.2 기압/수압 제어용 압력셀 및 로드 세척장치

무인 착저식 해양 콘관입시험기는 기본적으로 모든 재료가 수중에서 사용이 가능하게 제작되지만, 장비는 내부를 공기압으로 채우고 외부의 수압과 평형을 유지시키도록 제작되었다. 불가피하게 로드나 케이블을 타고 들어오는 물의 배출로도 설계에 반영되어 있다. 이러한 압력이 평형을 맞추는 부분이 압력셀인데 여기에서 항상 일정한 수위가 유지되도록 제어하며, 시험기 하단 가운데에 그림 16과 같이 설치된다. 또한 그 바로 아래에는 로드의 세척을 위한 장치가 부착되어 있다.

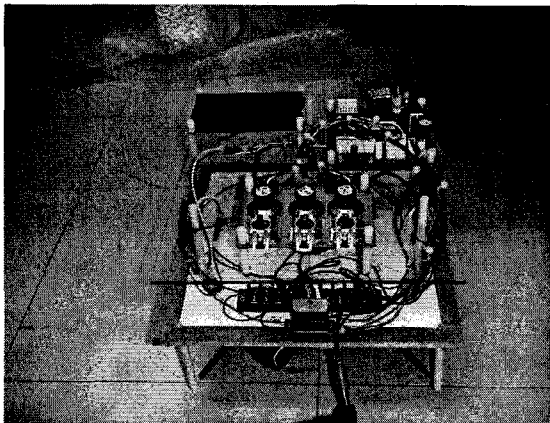


그림 15. 수평조절 제어장치

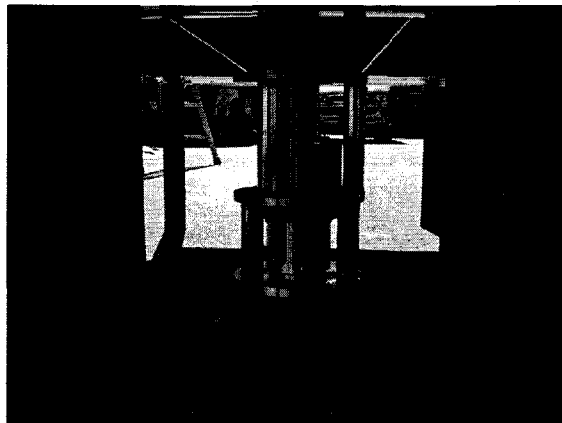


그림 16. 부착된 압력셀 및 로드 세척장치

5. 개발 장비에 대한 검증실험

5.1 재료시험

앞서 설명한 바와 같이 연속적인 관입이 가능하면서 강성을 유지할 수 있는 로드 시스템의 개발을 위해 우선, 그림 17에서 보는 바와 같이 재료시험기를 활용하여 다양한 로드 시스템의 휨강성을 비교하였다. 그림 18은 연성로드, 강성로드, 기존의 로드 등 3가지 종류의 로드 시스템에 대해 연속하중-변위 곡선을 나타낸 것으로, 100cm 길이의 표준 로드 시스템의 경우 탄성 범위 내에서 가장 강성이 큰 거동을 보이고 있는 반면, 5cm 길이의 연성 로드 시스템은 탄성 범위 내에서 가장 강성이 약한 거동을 보이고 있음을 알 수 있다. 한편, 0.1m 길이의 강성로드 시스템의 경우는 표준 로드 시스템에 비해서는 강성이 작은 경향을 보이지만, 5cm 길이의 연성로드 시스템에 비해서 분명한 강성의 증대를 확인할 수 있고, 이는 초기 0.5mm 이내의 탄성범위에서 표준 로드 시스템과 거의 같은 강성을 보인다는 점에서 0.1m 길이의 강성 로드 시스템의 실제 지반에서의 활용성을 확인할 수 있다.

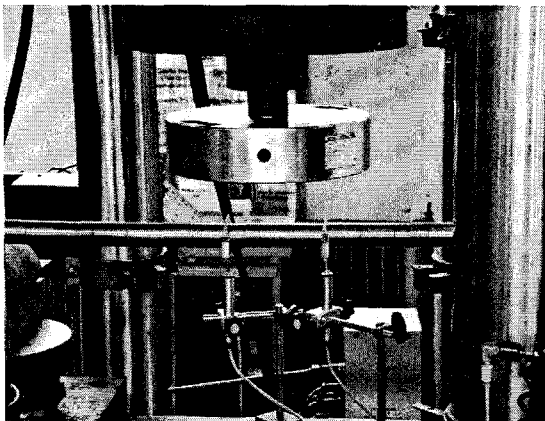


그림 17. 로드시스템에 대한 재료시험

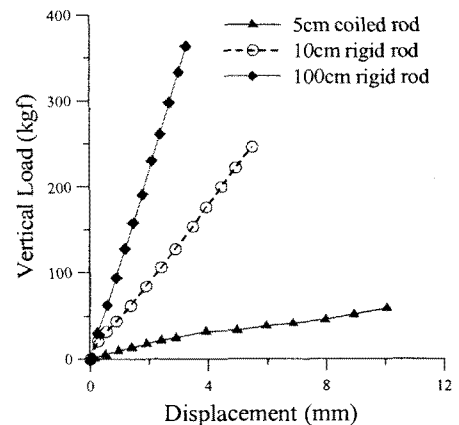
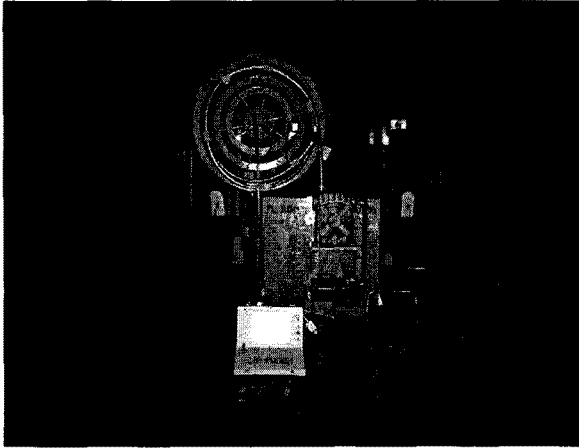


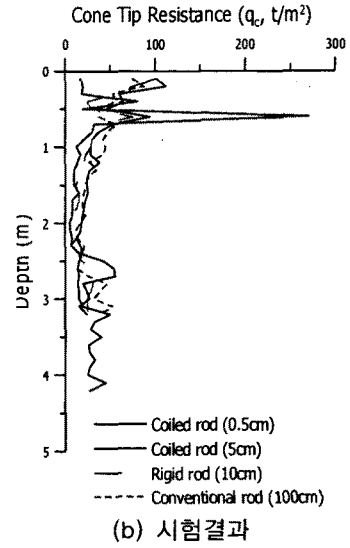
그림 18. 3가지 로드시스템에 대한 강성 비교

5.2 육상 검증 시험

개발된 관입시스템 및 로드시스템에 대한 성능을 평가하기 위하여 각 세부기술의 개발이 진행되는 과정에서 단계별로 다양한 육상 검증 시험을 수행하였다. 그림 19는 휠드라이브식 관입장치의 활용성과 연성로드 및 강성로드의 성능비교를 위한 1차 시험 장면(경기도 안산시 시화공단 인근) 및 시험 결과를 간략하게 나타낸 것이고, 그림 20은 유압식으로 제작된 시스템과 0.1m 강성로드의 자동 연결 및 분리 장치에 대한 활용성을 파악하기 위한 2차 시험 장면(경기도 안산시 한국해양연구원)과 시험 결과를, 그리고 그림 21은 관절형 로드와 강성로드 공급장치 및 로드 수납장치의 성능을 비롯하여 완성된 내부의 모듈에 대한 전체적인 활용성을 확인하기 위한 3차 시험 장면(경기도 평택시 신항만 현장 부지)을 나타낸 것이다.

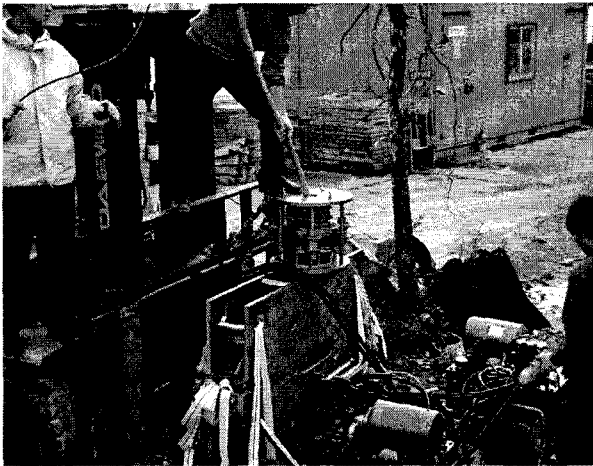


(a) 시험장면

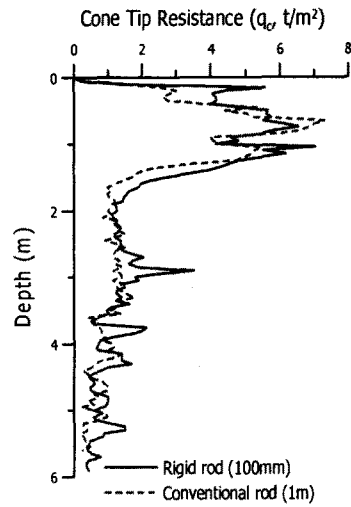


(b) 시험결과

그림 19. 1차 육상 검증 시험

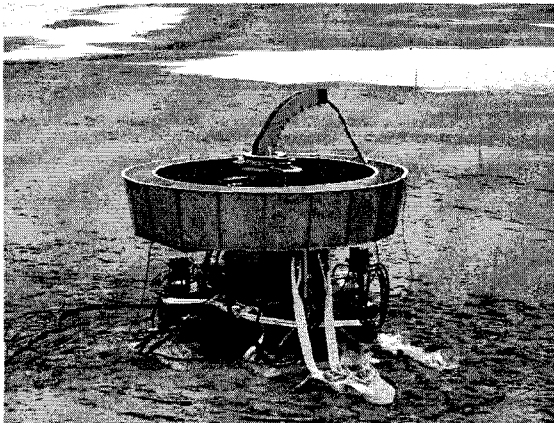


(a) 시험 장면

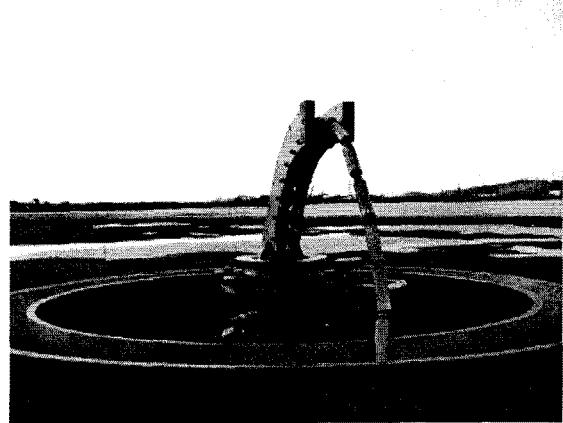


(b) 시험결과

그림 20. 2차 육상 검증 시험



(a) 장비 설치 모습



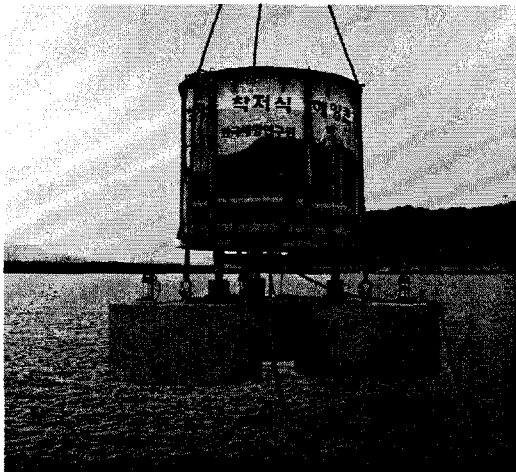
(b) 투입 장치에 거치된 관절형 로드

그림 21. 3차 육상 검증 시험

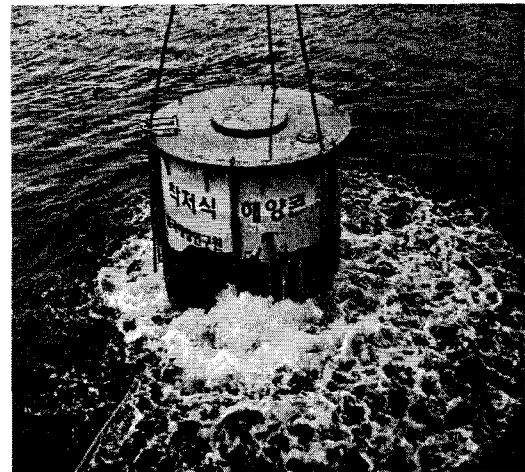
시험을 통하여 1차 시험에서 활용한 전기식 모터나 2차 시험에서 실 현장에 투입할 유압식 모터 모두 로드의 관입 및 인발을 성공적으로 작동을 확인하였고, 0.1m 길이의 관절형 강성로드를 활용하였을 때의 콘 결과값(원추관입저항력, q_T)이 1m 길이의 기존 강성 로드시스템을 활용할 때와 거의 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

5.3 해양 실효역 검증 시험

제작된 무인 착저식 해양콘관입시험기의 실제 해양에 대한 적용성을 확인하기 위하여 실효역 검증 시험을 수행하였다. 울산신항 인근과 부산 신항 서방과제 인근, 그리고 마산 원전항 인근에서 시험을 수행하였는데, 각 시험 위치의 수심은 각각 8m~18m로 다양하다. 장비 내부의 수밀을 유지하기 위한 장치를 비롯하여 수평유지 제어장치, 그리고 수중 내 관입장치에 대한 성능을 총체적으로 평가하고 분석하였다. 그림 22는 마산 원전항에서 장비를 수중에 진수시키는 장면을 나타내고, 그림 23은 해상에서 수행한 대표적인 시험 결과를 나타낸다. 그림 22(a)는 울산신항 현장에서의 원추관입저항력과 주변마찰력을 나타내었고, 그림 22(b)는 마산 원전항에서 수행한 결과로서, 관입간극수압과 콘의 관입 속도를 심도별로 나타내었다.

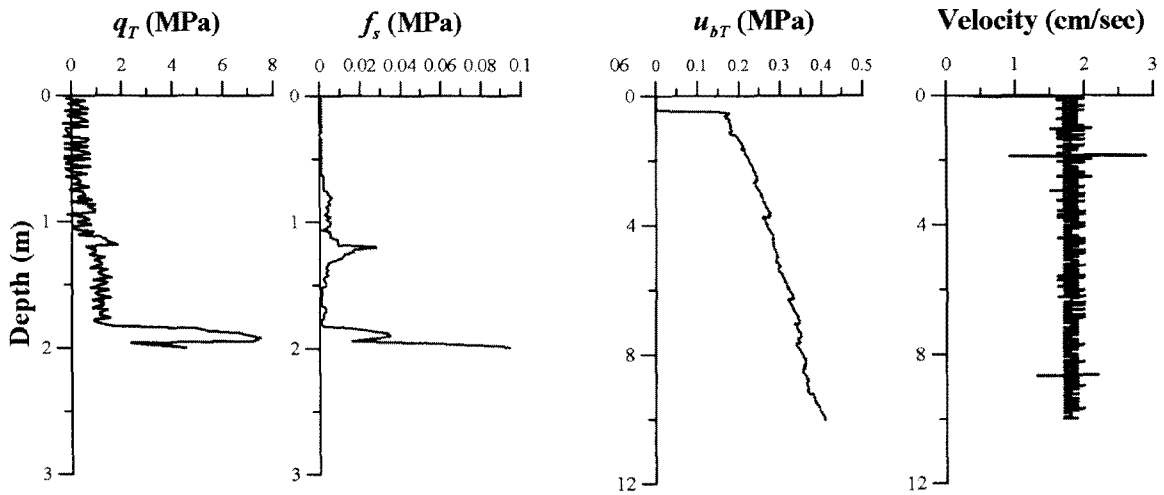


(a) 장비 수중 진수 직전



(b) 수중 내 진수 모습

그림 22. 해양 실효역 검증시험 (마산 원전항)



(a) 울산 신항

(b) 마산 원전항

그림 23. 해양 실효역 검증 시험결과(예)

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 신항만을 비롯한 다양한 해양구조물의 안전한 설계와 시공을 위해 해저 지반의 특성을 정확하게 판정할 수 있는 현장 시험 장비인 무인 착저식 해양 콘관입시험기를 개발하였다. 현재 선진국에서 개발 및 사용되고 있는 해양 콘관입시험기의 경우 얕은 시험심도에 국한되거나 소규모 시험기를 사용하는 한계를 가지고 있는 것에 반해, 무인 착저용 해양 콘관입시험기는 우리나라 인근의 해저 지형의 분포 및 기존 시험기의 문제점을 최대한 보완할 수 있도록 개발하였으며 표준 크기의 콘을 사용하여 결과의 신뢰성을 충분히 확보할 뿐만 아니라 안정적이면서도 훨씬 경제적으로 사용할 수 있는 장점을 가지고 있다.

이 시험기는 수중에서 무인 착저식 전자동의 개념으로 작동되기 때문에 육상에서 사용하는 콘관입시험기와는 상당히 다른 제작 기술을 요구하는데, 이 시험기의 핵심 기술로는 신축이 자유로우면서 강성을 확보하는 관입로드 시스템, 휠드라이브 시스템을 이용한 자동관입기술, 콘의 연속 관입을 위한 관절형 로드 연결 및 제거 기술, 무인 작업을 위한 자동센서기술, 대수심에서의 작업을 위한 수밀기술 등 다양하다. 또한, 원통형의 기초를 3함 설치하고 석션 기초 기술을 이용하여 지반에 완전히 밀착시킴과 동시에 지반에 안정적으로 위치할 수 있도록 제작되었다.

현재 세계적으로 최고 수준의 장비와 동일한 수준의 성능인 지중 60m까지 시험이 가능하며, 국내 항만 입지 가운데 가장 수심이 깊은 60m까지 시험이 가능하도록 제작되었는데, 각 연구개발 단계별로 재료시험을 비롯하여 육상 검증시험, 그리고 해양 실험역 검증시험을 통해 무인 착저식 해양 콘관입시험기의 다양한 핵심 세부기술 및 전체적인 시스템 운용에 대한 성능을 평가하고, 장비의 수정 보완 작업을 병행하였다.

앞으로 대수심 방파제 개발이 확대되고 초대형 컨테이너선용 항만개발을 감안할 때 이번에 개발된 해양 콘관입시험기는 신뢰성 있는 조사결과를 제공할 뿐만 아니라 순수 국내기술로 개발되어 예산 절감은 물론 개발된 세부 핵심기술들은 향후 다양한 해양 조사 장비에 대한 독자적인 기술 확보에 밑거름이 될 것으로 기대된다.

감사의 글

이 연구는 해양수산부의 “해양 콘관입시험기 개발”의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 해양수산부(2002), 해양 콘관입시험기 개발(I), 163p.
2. 해양수산부(2003), 해양 콘관입시험기 개발(II), 135p.
3. Kolk, H.J. and Wegerif, J.(2005), "Offshore site investigations : new frontiers", *Frontiers in Offshore Geotechnics; ISFOG 2005*, pp. 145~164
4. Lunne, T., Robertson, P. K. and Powell, J. J. M.(1996), **Cone penetration testing in geotechnical practice**, Blackie Academic & Professional, 312p.
5. Van den Berg, K, Walta, A. and Wolff, T.(2005), "Conquering new frontiers in underwater cone penetration testing", *Frontiers in Offshore Geotechnics; ISFOG 2005*, pp. 961~966
6. Tumay, M.T. and Kurup, P.U.(2001), "Development of a continuous intrusion miniature cone penetration test system for subsurface explorations," *Soils and Foundations*, Vol. 41, No. 6, pp. 129-138