

심층혼합고결처리공법을 이용한 항만구조물 기초설치에 관한 연구 Construction of harbor foundation using deep mixing method

한우선¹⁾ Woo-Sun Han, 이태영²⁾ Tae-Yeong Lee, 임우성³⁾ Woo-Sung Leem

¹⁾ 해공환경산업(주) 회장, President, Haekong Environment Co., Ltd

²⁾ 할림건설(주) 오천항 현장소장, Manager, Hwal Lim Co., Ltd

³⁾ 해공환경산업(주) 과장, Manager, Haekong Environment Co., Ltd

SYNOPSIS : The purpose of this paper is to present and discuss some of harbor foundation constructed on seashore soft ground by Deep Wing Mixing in deep mixing method. A series of laboratory and field experiments including unconfined compressive strength, permeability, geo-physical survey, sea water concentration, lateral and settlement measurement, field core sample were carried out to check physical, mechanical and environmental characteristics of solidified foundation soil treated by HWS solidifying agent. The results from this research showed that Deep Wing Mixing method could be efficiently applied in the construction site of seashore structure foundation.

Keywords: Deep Wing Mixing, Solidifier, Seashore, Foundation, Marine, Strength, Soft ground

1. 서론

우리나라는 삼면이 해안으로 접해있기 때문에 항만공사가 많이 수행되고 있다. 항만구조물은 보통 연약지반상에 설치되기 때문에 기초의 안정이 무엇보다 중요하다. 만약에 기초가 불안정하게 되면 항만구조물에 부등침하 및 균열이 발생하거나 배면지반이 침하를 일으키게 된다. 따라서 모든 구조물도 마찬가지지만 특히, 항만구조물의 기초공사는 매우 중요한 의미를 가진다고 할 수 있다. 현재 항만구조물의 기초로는 중공형 콘크리트블럭을 주로 사용하고 있으나 일부지역에서 중공형 콘크리트블럭의 이격 및 침하에 의하여 배면지반이 침하를 일으키는 사례가 발생하기도 하였다.

따라서 본 연구에서는 일반 토목공사현장에서 범용적으로 사용되고 있는 심층혼합고결처리공법을 이용하여 항만구조물의 기초구조물을 형성하는 방안을 고안하였다. 심층혼합고결처리공법을 적용한 항만구조물 기초에 대한 연구를 수행한 결과 이의 적용에 대한 신뢰성을 얻게 되었다. 본 연구에서는 심층혼합고결처리공법으로 OO항만구조물의 물양장 기초를 시공하였다. 시공시에 각종 측정을 실시하고 채취시료를 공인기관에 의뢰하여 분석을 실시하였다. 시공시에 심층혼합고결체에 대한 강도특성을 실험하였고, 해안가에서 공사가 이루어지는 관계로 해수를 채취하여 해안오염가능성을 실험하였다. 실험결과를 고찰한 결과 지중고결체는 소정의 강도 및 투수성을 갖는 것으로 나타났고 해양오염기준을 만족하는 것으로 나타났다.

2. 심층혼합고결처리공법 개요

본 연구에서는 심층혼합고결처리공법 중에서 DWM(Deep Wing Mixing)을 적용대상공법으로 선정하였다. 본 공법은 지반의 강도 증진과 변형 억제를 목적으로 사용되는 심층혼합고결처리공법의 응용형태로써 배합설계한 시멘트계 고화재를 슬러리상태로 원 지반에 주입, 강제혼합 교반하여 지중에서 양생함으로써 필요로 하는 강도 및 투수계수를 얻을 수 있는 공법이다. 이는 굴진장비로 지중교란과 함께 고화재를 공급, 원지반토와 강제 교반하여 지중연속벽 형성한다.

본 공법은 지반속에 개량재인 고화재를 공급하여 강제적으로 원위치토와 교반혼합하여 흙과 개량재를 화학적으로 반응시켜 토질성상을 안정화함으로서 원지반의 강도를 증가시키고 투수성을 저하시키며 침하를 방지하기 위한 공법으로 최대 50m심도까지 시공할 수 있는 능력을 갖고 있다. 본 공법은 육상현장 및 해상현장에서의 시공이 모두 가능하다. 그리고 육상에서는 구조물기초, 매립지차수, 제방보강차수, 댐보강차수 등에 적용되고, 해상에서는 항만기초, 물양장기초 등에 적용된다. 본 공법의 장비 조합도는 그림 1과 같고, 시공 순서도는 그림 2와 같다. 현재는 본 공법이 개량되어 최신의 자동화 시스템을 갖추고 있다.

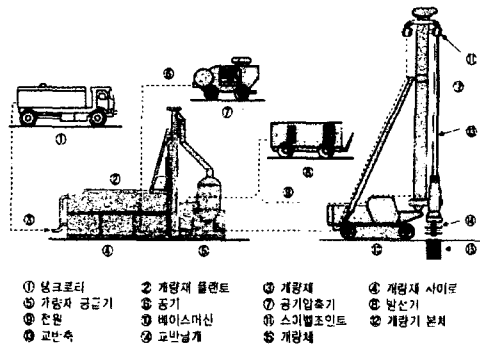


그림 1. DWM 공법의 장비조합도

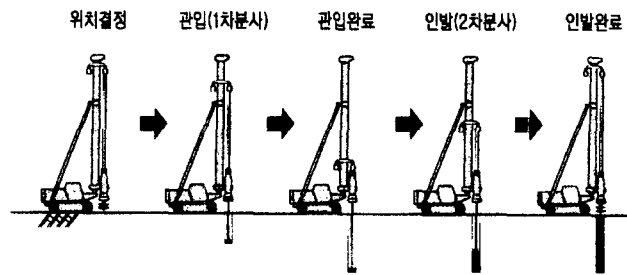


그림 2. DWM 공법의 시공순서도

3. 적용현장 개요

본 연구대상 현장은 서해안에 위치한 항만현장으로 물양장을 연약지반상에 건설하는 현장이다. 본 현장에서는 물양장 제체부 기초를 심층혼합고결처리공법인 DWM공법으로 시공하게 되었다. 물양장 표준 단면 및 DWM 공법에 의한 물양장기초 설치공사 장면은 그림 3 및 4와 같다. 본 현장에서는 해안가의 연약지반상에 설치되는 물양장의 기초를 안정하게 확보하기 위하여 연약한 지반에 HWS 고화재를 사용하여 혼합교반처리 지지층을 확보하고자 하였다. HWS 고화재는 비중이 2.8~3.05이고 비표면적은 4,500~4,800cm²/g이며 응결시간은 초결 3~5hr 및 종결 4~8hr의 특성을 가진다. 본 현장에서는 지중고결체에 대한 설계기준강도는 5kg/cm²를 적용하였고 고화재의 혼합용수로는 해상공사인 관계로 해수를 사용하였다. DWM공법 시공은 장비가 계획심도까지 도달하면 설계심도의 약 1/3에서 룯드를 상하로 이동시켜 토사와 고화재 용액의 혼합을 강화시킨후 다시 고화재 용액을 계속 토출시키면서 1.5m/min의 속도를 유지하여 들어 올리고, 고화재는 믹싱플랜트에서 충분히 균질한 상태로 혼합하여 주입하고 주입압은 7~15kg/cm² 내외로 하였다.

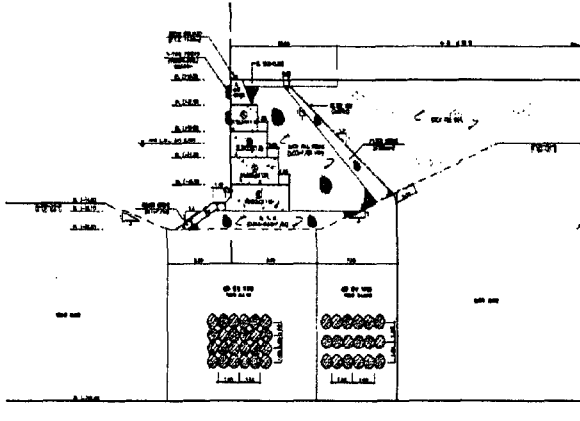


그림 3. 물양장 표준단면

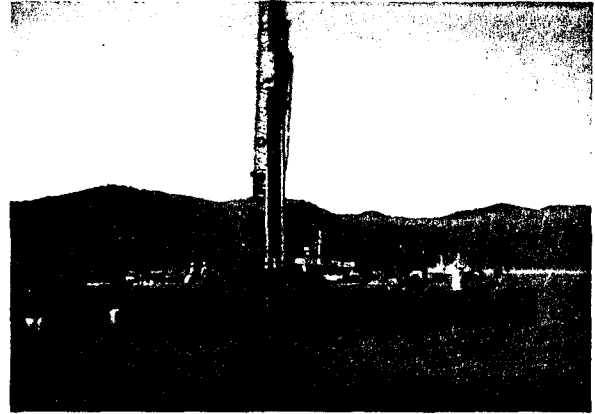


그림 4. DWM공법 시공 전경

4. 품질관리시험 방법 및 결과 분석

4.1 품질관리시험 방법

본 현장에서는 DWM 공법에 의한 물양장기초의 시공성을 파악하기 위하여 고화처리 작업전, 작업중 및 작업후에 실내재료시험, 현장코아채취시험, 현장물리탐사, 현장해수오염분석, 물양장 변위 및 침하측정, DWM 고결체 확인시추 등의 품질관리시험을 실시하였다. 본 품질관리시험에서 수행한 각종 시험방법은 KS 규격에 따라 실시하였다.

실내재료시험에서는 실내에서 적정의 배합비에 대하여 공시체를 제작하여 강도 및 투수시험을 실시하였고, 현장코아채취시험에서는 검사보링(check boring)를 실시하여 코아시료를 채취하여 소정의 시험을 실시하였다. 현장물리탐사에서는 DWM 고결체가 지중에 설치된 관계로 육안으로 확인이 불가능하므로 고결체에 대하여 지상에서 비파괴방식으로 고결체의 균일성, 개량형상, 건전도 등을 점검하였고, 현장해수오염분석은 공사중에 발생할 수 있는 주변의 환경에 미치는 영향을 분석하기 위하여 해수를 채취하여 화학성분 분석을 실시하였다. 해수채취는 고화재 주입공 위치, 주입공에서 5m, 10m, 20m, 1km 떨어진 거리에서 실시하였고, 채취시료는 채수병을 아이스박스에 보관하여 수 시간내에 실험실로 옮겨 화학분석을 실시하였다. 화학성분분석은 HWS 고화재가 시멘트계 고화재이므로 중금속 중 유해성이 높은 6가 크롬(Cr^{6+})을 위주로 하여 분석을 실시하였다. 물양장 변위 및 침하측정에서는 트랜시, 레벨 또는 광파측정기를 사용하여 고결체 상부에 설치된 물양장상부구조물 및 주변지반의 변위 및 침하를 측정하였고, DWM 고결체 확인시추에서는 시추기를 이용하여 지중에 시공된 고결체의 심도, N치, 연속성을 확인하였다.

4.2 품질관리시험 결과 분석

본 절에서는 상기에서 언급된 품질시험 결과에 대한 분석을 실시하고자 한다. 실내에서 소정의 배합비에 대한 재령 28일 공시체에 대하여 실시한 일축압축강도 및 현장코아시료 강도 결과를 제시하면 표 1과 같다. 표에서와 같이 실내에서 제작한 공시체의 일축압축강도는 $25.9 \sim 27.6 \text{kg/cm}^2$ 로 나타났으며, 현장코아시료의 일축압축강도는 $7.4 \sim 8.8 \text{kg/cm}^2$ 로 나타나 소정의 품질기준치인 5.0kg/cm^2 을 충분히 만족하는 것으로 나타났다.

현장물리탐사 결과 및 물양장기초 안정성은 그림 9와 같이 지중고결체의 탄성과 속도는 $1,200 \text{m/sec} \sim 2,200 \text{m/sec}$ 정도로 연속적으로 균일하고 건전한 것으로 나타났다. 트랜시, 레벨 또는 광파측정기를 사용하

여 측정된 물양장의 변위 및 침하 측정치는 범선방향의 변위 관측결과 변위량이 전혀 없어 0mm인 것으로 나타났고, 연직방향의 침하 관측결과 수 mm 이내로 나타나 변위가 거의 발생하지 않는 것으로 나타났다. DWM 고결체에 대한 확인시추결과 고결체는 소정의 심도까지 관입이 확인되었고 N치는 약 50/14~50/15 정도가 되는 것으로 나타났다.

물양장 건설을 위하여 지반강화에 사용된 고화제의 주입에 따른 환경영향을 분석하기 위하여 채취한 해수와 표준물질 중의 크롬 분석결과는 표 2와 같다. 조사해역 해수중의 6가크롬 농도는 대체적으로 0.11~1.31 $\mu\text{g/L}$ 의 범위로 나타났고, 고화제 주입구에서 멀어질수록 농도가 점점 낮아지는 것으로 나타났다. 국내 해역수질 환경기준에서 6가크롬이 50 $\mu\text{g/L}$ 인 점을 감안할 때 본 수치는 기준치에 비해 매우 작게 나타나 전혀 문제가 되지 않음을 알 수 있다.

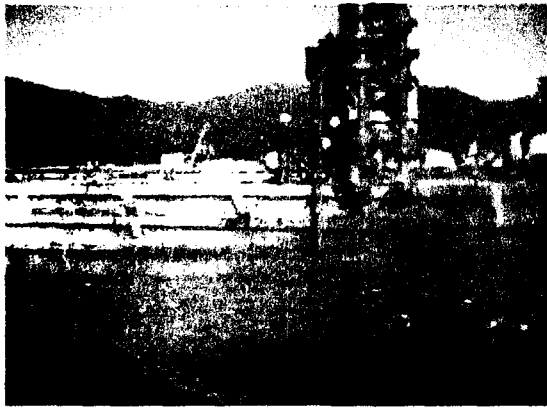


그림 5. DWM공법 교반혼합 장면

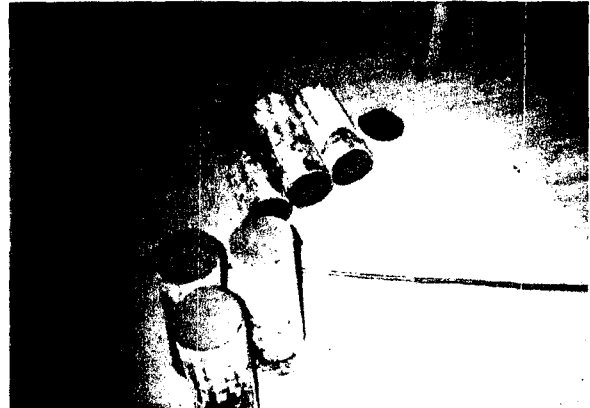


그림 6. 현장코아 장면

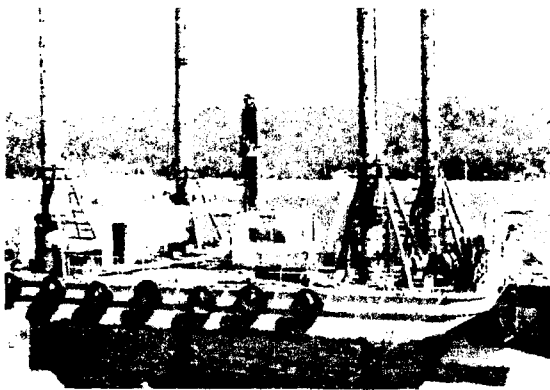


그림 7. 현장물리탐사 장면



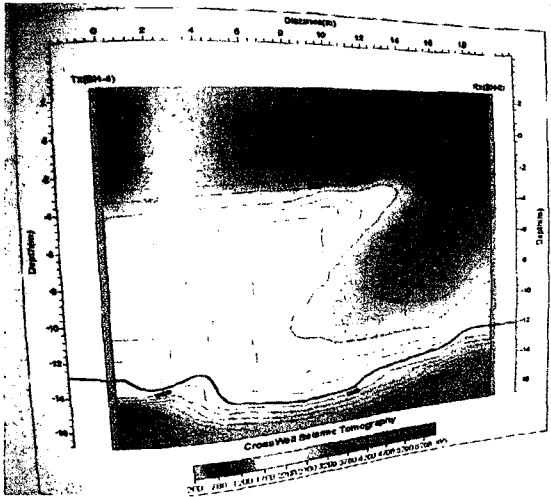
그림 8. 고결체 검사보링 장면

표 1. 실내제작 공시체 및 현장채취 코아시료의 강도시험 결과

시료번호	실내배합시험강도 (kg/cm^2)	현장코아강도 (kg/cm^2)	비 고
1	25.9	7.7	KSF 2405-95 2002년 자료
2	26.3	8.1	
3	27.6	8.6	

표 2. 주변 해수의 6가크롬 농도분석 결과

지점번호	6가크롬 농도 ($\mu\text{g/L}$)	국내 해역수질 환경기준농도 ($\mu\text{g/L}$)
1	1.31	50
2	0.69	
3	0.43	
4	0.16	
5	0.11	



탄성과 속도 1,200m/sec~2,200m/sec(노란색, 연초록색)
그림 9. 현장물리탐사 결과



그림 10. 물양장 상부구조물의 안정된 상태

5. 결론

본 논문에서는 심층혼합고결처리공법 중에서 DWM 공법에 의한 해안 물양장 기초처리에 대한 품질 시험결과 및 DWM 공법의 해안공사 적용성을 분석하였다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수가 있었다.

- 1) DWM공법에 의하여 조성된 지중고결체는 항만, 물양장 등의 해안 및 해양구조물 기초에 적용성이 높은 것으로 나타났다.
- 2) 실내제작 공시체에 대한 일축압축강도는 $25.9\sim 27.6\text{kg/cm}^2$ 로 나타났고, 현장에서 채취한 코아시료에 대한 일축압축강도는 $7.7\sim 8.6\text{kg/cm}^2$ 로 나타나 품질기준치인 5.0kg/cm^2 을 충분히 만족하는 것으로 나타났다.
- 3) 현장물리탐사 결과를 살펴보면 지중고결체는 연속적으로 균일하고 건전한 것으로 나타났으며, 현장시추에 의한 DWM 고결체의 N치는 약 50/14~50/15 정도가 되는 것으로 나타났다.
- 4) 물양장의 변위 및 침하 측정치는 범선방향의 변위 관측결과 변위량이 전혀 없었고 연직방향의 침하 관측결과 수 mm 이내로 나타나 변위가 거의 발생하지 않는 것으로 나타났다.
- 5) 주변에서 채취한 해수중의 6가크롬 농도는 $0.11\sim 1.31\ \mu\text{g/L}$ 의 범위로 나타나 기준치인 $50\ \mu\text{g/L}$ 이내로 환경상에 전혀 문제가 되지 않음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 유찬, 한우선, 김승렬, 정덕교, 한만복(2002), 지하환경오염원 확산방지공법의 적용사례, 2002 지반환경 및 준설매립에 관한 학술세미나 논문집.
2. 오천항 건설공사중 D.W.M 확인시추 지질조사보고서(2001)
3. 오천항 건설공사 탄성파탐사보고서(2002)
4. 오천항 건설공사 시멘트계 고화재 고결공법과 관련한 육가크롬(Cr^{6+}) 측정보고서(2002)
5. 해공환경산업주식회사, 연약지반 고결층 교반관입 고화처리공법, 칼타로그.
6. 한우선, 유찬, 한만복(2002), 유무선송수신을 이용한 심층혼합처리공법 수직도 및 심도 자동측정에 관한 연구, 한국지반공학회, 2002 가을학술발표회 논문집.
7. 한우선(2002), 개량형 심층혼합고결공법을 이용한 비위생매립지 침출수 차단, 한국폐기물학회, 2002 추계학술발표회 논문집.
8. Jean-Marc Tulliani, Laura Montanaro, Alfredo Negro and Mario Collepari(2002), Sulfate attack of concrete building foundations induced by sewage waters, Cement and Concrete Research, Volume 32, Issue 6, p.843-849.