

# 군장항 잡화부두 D.C.M공법(심층혼합처리공법)의 설계 및 시공사례

글 | 이윤봉 | 군장항 잡화부두 2선석 현장 대리 || 전화 : 063-464-7435-6 || E-mail : pung1978@ssyenc.com

## 1 | 서론

군장항 잡화부두(2선석) 현장은 전라북도 군산시 오식도동 전면 해상에 위치하고 있으며, 군산외항 6부두의 연장으로 대중국 교역기 지 및 중부권 화물운송의 거점항만, 군장항 배후 산업단지 활성화에 따른 항만시설의 적기 확충, 민간자본 유치를 통한 경제적, 합리적인 항만시설 건설이란 목표 아래 우리 회사를 포함한 6개 건설사가 민간투자 사업으로 진행하고 있는 현장이다. 현재 케이스 거치를 완료하고, 안벽매립 및 연약지반 처리공사가 진행 중이다. 금번 호에서는 케이스 하부의 기초처리 공법 중 D.C.M공법(심층혼합처리)에 대하여 소개하고자 한다.

### 1-1. 현장 개요

#### 1) 위치도



[그림1] 현장 위치도

#### 2) 공사개요



[그림2] 조감도 I



[그림3] 조감도 II

- ① 공사명 : 군장항 잡화부두(2선석) 민간투자사업 건설공사
- ② 위 치 : 전라북도 군산시 오식도동 전면 해상
- ③ 사업량 : 30,000WT급 × 2선석 (안벽 500m)
- ④ 사업비 : 802억 원 (토목, 건축, 전기 포함)
- ⑤ 발주처 : 군장신항만주식회사(SPC)

## 1-2. 군장항 잡화부두공사 추진경위 및 설계현황

### 1) 공사 추진경위

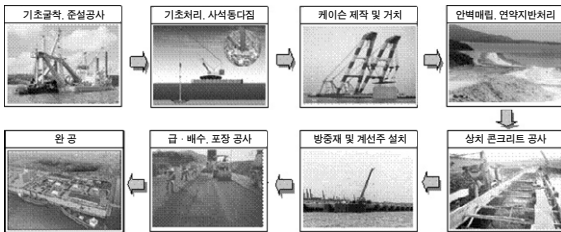
- ① 2005. 01. 13 : 시설사업 기본계획 고시
- ② 2005. 04. 12 : 사업계획서 제출
- ③ 2005. 05. 10 : 우선 협상대상자 지정
- ④ 2006. 09. 28 : 민간투자사업 심의위원회 심의완료
- ⑤ 2006. 11. 09 : 실시협약 체결 및 사업시행자 지정
- ⑥ 2006. 12. 18 : 군장신항만 주식회사 법인 설립
- ⑦ 2007. 08. 09 : 공사도급 계약
- ⑧ 2007. 08. 10 : 공사도급 착공
- ⑨ 2011. 08. 09 : 준공 예정

### 2) 공사 설계현황

- ① 접안시설 : 케이슨식(30함) 480m, 잔교식 20m (30,000WT급 2선석)
- ② 준 설 공 : 박지 및 수역준설 (PUMP 준설선 : 4,400HP) : 127만<sup>3</sup>
- ③ 부지조성 : 배후부지매립 (247,300m<sup>2</sup>)
- ④ 급, 배수공사, 포장공사 : 1식
- ⑤ 부 대 공 : 오락방지막 등 1식
- ⑥ 건축공사 : 운영건물 1동 및 기타 부대시설(총 9개동)
- ⑦ 전기통신시설 : 옥, 내외 조명시설

## 1-3. 주요 공종 시공 계획

항만 부두공사의 공종 시공계획을 보면 간단하게 아래와 같은 대표적인 공종 추진을 통하여 목적물을 시공할 수 있으며, 각 지역의 석재원 위치 및 케이슨 제작장의 유무, 기상실적 자료에 따른 해상 작업일수, 조수간만의 차 등의 요인에 따른 변수가 많이 발생하므로 시공계획 수립 시 변수를 고려하여 철저한 시공계획 검토를 진행하여야 한다.



## 2 D.C.M공법(심층혼합처리)의 이해

### 2-1. D.C.M공법(Deep Cement Mixing Method)의 개요

본 공법은 연약지반(점성토, 사질토, 유기질토) 내에 시멘트와 물을 혼합한 안정처리재를 저압으로 주입하면서 연약토와 안정처리재를 특수 교반기의 회전에 의해 교반 혼합하고 시멘트의 경화반응을 이용하여 원지반 내에 고화시켜 원주형 및 직사각형의 말뚝체를 조성하여 차수공, 토류공, 기초공 지반의 안정강화 등을 목적으로 다양하게 적용되는 공법으로, 시공심도 2.0~34.0m(ROD 연결 시 50m)까지 시공이 가능하며 시공 시 소음, 진동 등의 공해가 적고, 주변 지반의 교란이 적은 신뢰성이 높은 공법이다.

### 2-2. D.C.M 공법의 특징(장점)

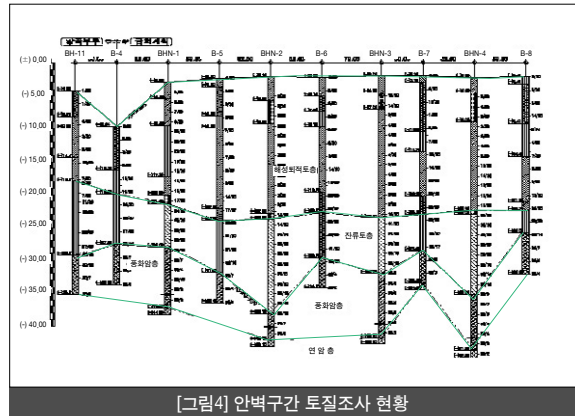
- 1) 적용지반 : 연약한 사질토, 점성토, 부식토, 이암층, 실트층과 같은 초연약지반 및 풍화토 등의 N치 40회 미만에서 사용이 가능하며 육상 및 해상 지반에서 적용된다.
- 2) 시공심도 : 표준 시공심도는 2.0~34.0m이며 ROD를 연결하여 시공시 50m까지 시공이 가능하다.
- 3) 시공효과가 빠르며 공기가 짧다 : 통상 시공 후 7일 정도에서 목표도의 60% 이상을 나타내는데 지하수의 유무, 함수비, 입경 등 원지반의 상태에 따라 달라지고 성토 공사나 압밀공사가 필요치 않으므로 공기를 단축할 수 있다.
- 4) 연속벽체의 차수 및 토류의 목적으로 사용할 수 있으며, 도심지 인접건물에 완벽한 차수 및 토류벽체로 많이 사용되고 있다.
- 5) 안정처리재를 Slurry가 아닌 분말로 시공이 가능하며 함수비가 높은 지반에는 압축 공기를 사용하여 지반 내에 안정재를 분체로 그대로 기송하여 원지반과 혼합교반하는 것이며 압축공기의 토출에 의하여 노즐로 흙과 물의 유입을 방지하면서 실시한다.
- 6) 2단계 시공도 가능하다 : 먼저 천층용 시공기로 지표면을 안전 개량한 후 대형기계를 사용하여 소정의 심도까지 개량하는 것도 가능하다.
- 7) 공해 및 주변 지반에 영향이 적다 : 안정처리재의 주입을 통상 저압(0.2~0.3Mpa)으로 주입하므로 굴삭 교반하는 범위 이내에 안정처리재가 유출 침투하는 경우는 거의 없다. 그래서 주변지반에 영향을 거의 주지 않는다.

### 3 실시설계시 안벽공사 계획

항만 부두공사 안벽구조물의 실시설계시 검토사항은 ① 기본 설계 방향 수립 ② 안벽 구조형식 비교, 검토 ③ 케이슨 구조형식 상세검토 ④ 케이슨 하부 기초처리공법 검토 ⑤ 부두뜰(APRON)검토 ⑥ 뒷채움공 및 토사유출 방지공 검토 ⑦ 부속설비(방충제, 계선주 등) 검토 등이 이루어져야 하며, 이 장에서는 D.C.M공사와 관련이 있는 케이슨 하부 기초처리 공법과 관련된 사항을 검토하기로 한다.

#### 3-1. 기초처리공법 선정

- 1) 케이슨 하부의 기초처리공법은 상부하중에 의한 지반반력을 충족할 수 있는 공법을 선정했다.
- 2) 기초처리공법 계획은 하부 연약토가 지지력을 확보할 수 있는 지지층까지 전면 굴착치환하는 공법과 하부연약층을 연약지반 개량에 의해 소요강도를 확보할 수 있는 방안에 대하여 비교검토 하였다.



#### 3-2. 지반개량 심도

세부 위치별로 심도별 토층현황, 표준관입 시험자료, 토질특성을 감안하고 기초사석 형성 최소 두께(H=2.0m), 개량심도 하부의 소요 지지력 확보여부, 기초부의 원호활동, 기초하부의 침하량, 상부 단면 및 하중과 연관된 원호활동 안정성을 검토하여 안정이 확보 되는 범위 내에서 경제성, 시공성을 확보할 수 있는 심도 결정하였다.

[표 1] 연약지반 처리공법 비교표

구분	제1안 D.C.M공법(심층혼합처리)	제2안 S.C.P공법(모래다짐말뚝)	제3안 굴착치환공법
표준단면			
공법개요	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 연약층 내에 시멘트 슬러리 등의 안정재를 첨가하여 혼합고결처리</li> <li>· 현장강도 : 1.5Mpa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 연약층 내 기초심도에 모래말뚝을 타설하여 지반을 개량</li> <li>· 내부마찰각 : <math>\phi = 26^\circ</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 지지층까지 연약층을 준설, 사석으로 치환 후 케이슨 거치</li> <li>· 내부마찰각 : <math>\phi = 40^\circ</math></li> </ul>
장·단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 해양환경 오염 최소화</li> <li>· 시공속도가 빠름</li> <li>· 침하발생 우려 없음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 해상전용 장비 사용으로 공기단축 가능</li> <li>· 잔류침하 발생우려</li> <li>· 양질의 모래 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 대규모 준설량 발생</li> <li>· 해양오염 다소 발생</li> <li>· 잔류침하 발생우려</li> </ul>
공사비	90,524천원	94,144천원	94,794천원
선정	○	X	X
선정사유	· 해양오염을 최소화 할 수 있고 잔류침하 발생이 없으며 경제적으로도 유리한 제1안을 선정함		

### 3-3. 지반개량 폭

- 1) 하부(DL(-)24.00m ~ DL(-)22.00m)는 지반개량을 실시하는 것으로 계획하여 DL(-)14.60m 굴착
- 2) 케이슨 저면폭(Toe포함 14.0m)을 기준으로 반력 분포 폭을 감안하여 전면으로 3.0m, 배면으로 1.0m의 기초폭을 고려하여 적용
- 3) 결정된 굴착심도를 기준으로 상부시설의 전면 최대 반력 분포폭( $30^\circ + \alpha$ ), 배면의 최대 반력 분포폭( $30^\circ - \alpha$ )을 기준으로 하부 기초자재 및 상부공과 관련된 원호활동이 확보되도록 경제성, 시공성을 고려하여 결정
- 4) 케이슨 저면구간(치환율 82.38%) : 법선에서 전면으로 8.5m, 배면으로 13.20m 폭으로 결정
- 5) 배면 매립재구간(치환율 50.91%) : 케이슨 저면구간 배면부 개량끝점에서 15.00m 폭으로 결정



[그림5] 지반개량 표준단면도

### 3-4. 굴착경사

- 1) 기초굴착의 경사는 다음의 토질별 사면경사표를 기준으로 선정하였으며, 기초굴착부의 토질 양상을 보면 안벽 법선부의 토질 조사 결과 BH-N-1을 제외하고는 N=5~9의 경향을 보이고 있음.
- 2) 기초굴착의 경사는 점토질 조사 평균 N치 6을 적용하여 1 : 3으로 계획

<표 2> 토질별 사면경사표

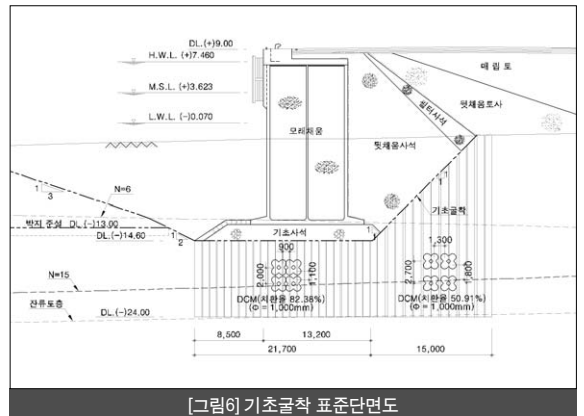
구분	토질	N치	상태	비탈경사
일반준설	점토질토사	4미만	연질	1:3 ~ 1:5
		4 ~ 8	연질	1:2 ~ 1:3
		8 ~ 20	중질	1:1.5 ~ 1:2
	사질토사	20 ~ 40	경질	1:1 ~ 1:1.5
		10미만	연질	1:2 ~ 1:3
		10 ~ 30	중질	1:1.5 ~ 1:2
특수준설	자갈	-	-	1:1 ~ 1:1.5
	암반	-	-	1:1

주) 본 표는 대략 표준값으로 파악, 조류가 심한 위치에 있는 浚渫의 비탈면 경사는 원경사로 하는 것으로 한다.

### 3-5. 굴착방법

- 1) 기초굴착 대상 이토층은 펌프준설에 의해 시행하는 것으로 계획 <표 3> 부두별 구조형식, 지층구분 및 기초굴착 사면 기울기

구분 내용	인천북항 고철부두	인천북항 목재부두	광양 3단계	인천북항 4지구 민자부두	비고
구조 형식	중력, 케이슨 50,000DWT 기초굴착, 사석기초	중력, 케이슨 20,000DWT 기초굴착, 사석기초	중력, 케이슨 50,000~ 100,000DWT 기초굴착, 사석기초	중력, 케이슨 50,000DWT 기초굴착, 사석기초	
지층 구분	실트, 점토층 N=2 모래, 자갈층 (풍화층) 10(N≤50 풍화암 N)50	점토층 N=2 모래층 10(N<30) 풍화암 30(N<50)	점토층 N=1 실트, 모래, 자갈층 4(N<30) 모래, 자갈층 (풍화암) 30(N<50)	점토층 사질토층 10(N<30) 모래, 사질토층 30(N<50)	
기초 굴착 사면 기울기	실트, 점토층 = 1:3 모래, 자갈층 (풍화토) = 1:2 풍화암 = 1:1	점토층 = 1:5 모래층 = 1:1.5 풍화암층 = 1:1	점토층 = 1:5 실트, 모래, 자갈층 = 1:2 모래, 자갈층 (풍화암) = 1:1.5	점토층 = 1:3 사질토층 = 1:1.5 모래, 사질토층 = 1:1.2	



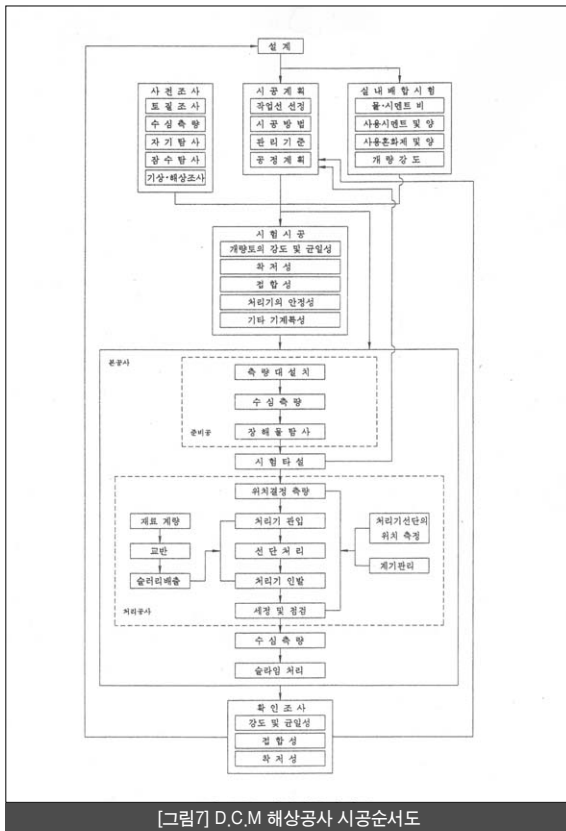
[그림6] 기초굴착 표준단면도

위와 같은 검토 결과를 토대로 당 현장은 심층혼합처리공법(Deep Cement Mixing Method)을 선정하였으며, 지반개량 심도는 DL(-)24.00m까지, 지반개량 폭은 케이슨 기초구간은 21.70m(치환율 82.38%), 케이슨 배면구간은 15.00m(치환율 50.91%)로 설계하였으며, 케이슨 기초부 굴착방법은 원지반이 이토층임을 감안하여 펌프준설을 시행하고 굴착경사는 평균 N치를 반영하여 1:3으로 설계하여 시행하였다.

## 4 D.C.M(심층혼합처리)의 시공

### 4-1. 시공순서도

D.C.M 해상공사의 시공순서를 보면 아래와 같이 크게 준비공사 → 처리공사(D.C.M) → 슬라임 처리공사 → 확인조사로 크게 분류할 수 있으며, 사전에 반드시 실내 배합시험 및 시험시공을 실시하여야 한다.



3) 장비반입(동지2호)



4) 시험시공



5) 배면구간 시공(치환율 52.50%)



6) 기초구간 시공(치환율 91.54%)



7) 슬라임 준설



8) 시공(현장)점검



9) R,T,K GPS 시스템(Winch 조작장치)



10) AUGER 조작 PANNEL



11) 계근 기록장치



12) 유량관리계



13) 선단비트, 가이드 파이프



14) 4축 및 교반날개



15) 전용선 벌크바지

### 4-2. 현장 시공사례



1) 실내 배합시험



2) 원지반 지질조사

### 4-3. 현장시공시 주의사항

현장시공시 고려되어야 할 사항은 많지만 그 중 대표적인 예를 보면 아래와 같다.

- 1) D.C.M 시공장비의 결정(전용선 or 조합선) : 현장의 작업여건 및 시공물량 등을 고려한 작업선의 선택
- 2) 자재공급(시멘트) 확보를 위한 물량장 확보 및 작업로 개설
- 3) 실내 배합시험을 통한 기준설계 강도를 얻을 수 있는 시멘트량 및 적정 배합비 결정
- 4) 원지반 조사를 통하여 원지반 퇴적층의 지층분포를 확인하여 원지반층에 따른 적정 시공법의 결정
- 5) 해상의 기상여건, 조류를 감안한 작업성 판단 및 해상장비 피항지 확보

위와 같은 사항이 고려되었을 때 안전하고 우수한 품질의 시공이 가능할 것으로 판단된다.

## 5 결론

군장항 잡화부두(2선석) 현장은 전라북도 군산시 외항에 위치한 30,000WT급×2선석(안벽 500m)의 현장으로서 대중국 교역기지 및 중부권 화물운송의 거점항만, 군장항 배후 산업단지 활성화에 따른 항만시설의 적기 확충, 민간자본 유치를 통한 경제적, 합리적인 항만시설 건설의 목표를 가지고 2011년 8월 준공을 목표로 시공 중이다.

현재 D.C.M공사, 준설공사, 기초사석공사, 케이슨 제작 및 거치, 잔교구간 공사(L=20.1m) 등을 완료하였으며 전체 공정을 대비 65%(토목공사 78%)의 공정으로 진행되고 있다. 세계적인 경기침체로 인하여 시공 중 어려움을 겪기도 했지만 철저한 품질관리와 안전시공으로 준공 후에는 군산외항의 대표항만으로서 자리매김 할 수 있을 것으로 기대한다. S



[그림8] 현장 조감도



[그림9] 2008년 5월 준설공사 전경(박지구간)



[그림10] 2009년 7월 케이슨 인양 전경(1항차 15함)



[그림11] 2009년 12월말 전경사진

참고문헌  
 실시설계 보고서, 2007년 군장신항만 주식회사