

DCM 공법에 의한 방파제 기초 적용사례 Application to Breakwater Foundation by DCM

구임식¹⁾, Im-Sik Gu, 김영상²⁾, Young-Sang Kim, 정경환³⁾, Gyeong-Hwan Jeong
최정욱⁴⁾, Jeong-Uk Choi, 신민식⁵⁾, Min-Sik Shin, 김재현⁶⁾, Jae-Hyon Kim

- 1) (주)대우건설, 상무, Managing Director, Construction Dept, Dae Woo E&C Co., Ltd.
2) 국립여수대학교 해양공학전공 조교수, Assistant Professor, Div. of Ocean Engrg. Yosu Nat. University
3) (주)동아지질 대표이사/공학박사, CEO, Dong-A Geological Engineering Co.,Ltd.
4) (주)동아지질 부장, General Manager, Engineering Dept., Dong-A Geological Engineering Co., Ltd.
5) (주)동아지질 차장, Deputy General Manager, Engineering Dept., Dong-A Geological Engineering Co., Ltd.
6) (주)동아지질 대리, Assistant Manager, Engineering Dept., Dong-A Geological Engineering Co., Ltd.

SYNOPSIS : The DCM(Deep Cement Mixing) Method was introduced domestically in 1985 and has been applied widely to improve stability, increase bearing capacity and reduce settlement of the structure. It has been only performed by the combined equipment to improve the soft ground in coastal areas. But it has quality-control problems such as interference of waves and improving depth, etc. Therefore DCM Barge of specialist equipment, named by Dong Ji Ho, was equipped with three mixing shafts with four rod and installed GPS system in itself, had been developed in 2005 for the purpose of solving the above problems. This paper represents about Dong Ji Ho's quality-control system as well as it's first domestic application to in-situ trial test and the original design of the Ulsan breakwater site.

Key words : DCM(Deep Cement Mixing) Method, DCM barge of specialist equipment, Design strength, Laboratory mixing test, Water-cement ratio

1. 서 론

외해로부터 내습하는 파랑을 방지하여 항내의 정온을 유지시키는 방파제는 건설 목적상 외해에 시공되므로 기초지반이 연약한 경우가 많다. 국내의 경우 방파제 축조시 강제 또는 준설치환으로 연약지반처리를 해 왔으나, 최근에는 구조물의 대형화와 준설토 처리에 따른 환경문제로 인하여 DCM(Deep Cement Mixing) 공법과 같이 원지반 상태로 개량한 후 구조물을 축조하는 추세이다.

DCM 공법의 국내 해상공사는 1988년을 시점으로 20여건의 실적을 쌓아 적용성이 입증된 공법이다.(조성태, 2006) 도입 초기는 육상용 파일드라이브를 대신(Barge)에 탑재시킨 조합선을 이용하여 2축으로 시공하였으며, 2004년 중반기에 4축 1연으로 수중 End Leader를 장착하여 48m까지 시공하였다. 외해의 심도가 깊은 지반을 개량

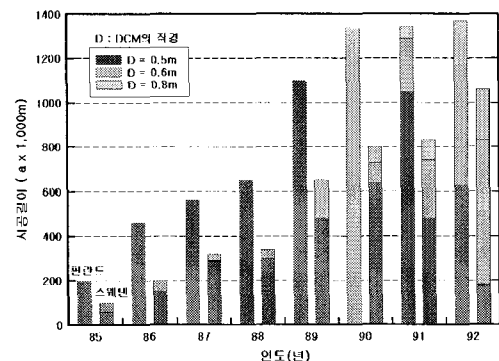


그림 1. 북유럽의(핀란드, 스웨덴) 실적

하기 위해 2005년에 4축 3연의 독자적인 한국형 DCM 전용선(동지 1호)을 개발하여 현재 울산 남방과 제 현장에서 시공 중에 있으며, 국내에서 DCM 전용선을 처음 적용한 현장이기에 설계내용과 시험시공 결과를 소개한다.

2. DCM 공법의 개발과 발전

2.1 국외의 DCM공법 발전

교반에 의한 심층혼합처리공법은 공교롭게 1960년대 후반 거의 동일한 시기에 석회를 고화제로 북유럽과 일본이 독자적으로 개발을 착수하였다. 1968년 일본 운수성(運輸省) 항만기술 연구소에서 생석회와 소석회를 안정제로 시작하여, 1974년 과립과 분체형식의 DLM(Deep Lime Mixing) 공법을 개발하고, 1975년 시멘트 슬러리를 사용하는 DCM공법을 실용화하였다.(정경환, 2006) 유럽은 1966년 폴란드 특허를 시작으로 북유럽의 석회관련기술이 발달되어, 최근에는 핀란드와 스웨덴에만 그림 1과 같이 100만m³/년 이상의 실적을 보이고 있다. 미국은 1987년 액상화 대책으로 DCM이 적용되어, 1990년대에는 Boston의 도심

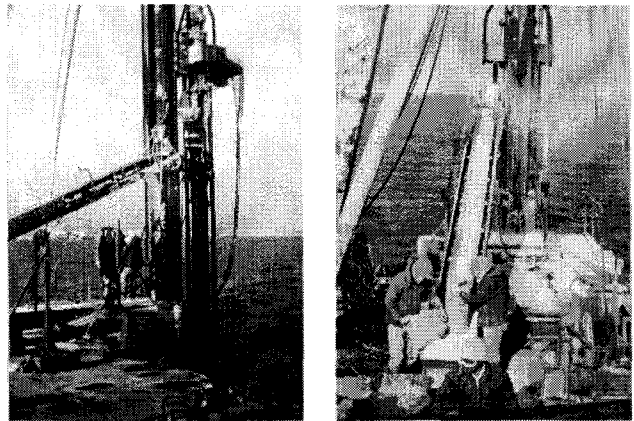


사진 1. 1970년대 DCM 시험(일본)

지에 Central Artery 고속도로건설의 굴착과 안정화공법으로 500,000 m³ 이상의 실적을 쌓으면서 관심과 적용빈도가 높아가고 있으며, 동남아에도 이미 적용되고 있다. 한편, 고화제는 석회와 시멘트를 많이 사용하는데, 일본은 주로 시멘트를 사용하고 유럽은 시멘트와 석회를 혼합하여 분체상태로 사용하고 있으며, 혼합석회 또는 시멘트에 석고-플라이애쉬-슬래그 등을 혼합하여 특별한 용도에 사용하는 경우도 있다.

2.2 국내의 DCM 공법 발전

1985년 일본에서 SEC(Special Earth Concrete) 공법으로 도입되었는데, 특별한 목적으로 혼화제를 첨가하는 경우를 제외하면 경제적이고 안정한 재료인 포틀랜드 또는 고로 시멘트를 주로 사용한다. 1988년 “경상남도 창원시 삼미특수강 신설부두 호안구조물 축조공사”에 처음으로 적용된 해상 DCM은 육상용 파일드라이브를 대선(Barge)에 탑재한 조합선으로 시공하였는데, 20개소 모두 2축 1연 방식이었으며, 2004년 중반기 최초로 4축 1연으로 48m까지 완공한 부산의 OO-5951-2 시설공사도 해상 조합선이었다. 그림 2는 (주)동아지질이 시공한 DCM 공법의 시공실적을 나타내는데, 1993년 이후 해상실적이 증가한다.

깊은 심도와 파랑의 영향이 커지는 외해로의 구조물 증가로 국내에서도 수차례에 걸쳐 DCM 전용선의 필요성이 제기되었으나 경제성 문제로 실행단계에 이르지 못했지만, 최근 SCP공법의 주재료인 모래채취로 인한 환경문제와 단가상승으로, 2004년부터 4축 3연의 독자적인 한국형 DCM 전용선(동지 1호)의 개발

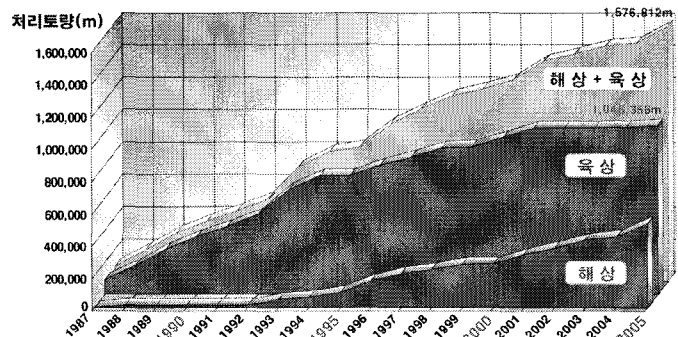


그림 2. DCM공법의 우리나라 실적(동아)

이 착수되어 2005년에 실용화되었고, 현재 울산 남방과제 현장에서 시공 중에 있으며, 2006년 2월 현재 동지 2호도 제작 중에 있다. 사진 2는 동지 1호의 전경사진이며, 표 1은 동지 1호와 조합선의 제원(135P 기준)을 비교한 것이다.

한편, DCM공법에 대한 국내의 학술적인 연구는 공법의 적용 실적에 비해서 상당히 미진하지만, 국내에 처음 소개(박성재, 1986)된 뒤, 최근 들어 설계기준강도와 변형계수에 관한 양태선(2000)의 연구와 신뢰성기법에 대한 김영상(2005)의 연구, 수치 해석기법에 대한 정두희(2005)의 연구가 있으며, 현장사례에 대해서는 조성태(2006), 정경환(2006) 등의 연구가 있다.

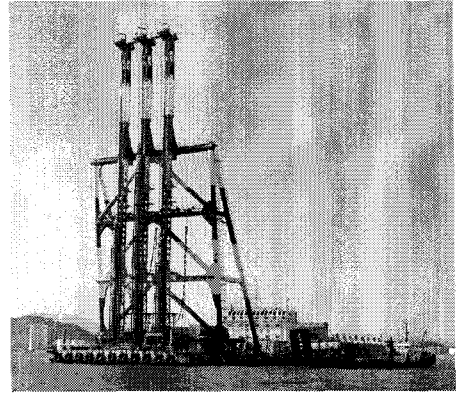


사진 2. 동지 1호 전경(4축 3연)

표 1. DCM 조합선과 전용선의 작업성능 비교

번호	항 목	조합선(135P)	전용선
1	크기(B×L×H)	18m × 47m × 3m (홀수:2m)	32m × 75m × 5m (홀수:3m)
2	Leader 높이	2축:39m, 4축:33m	64.6m
3	DCM 실시공 심도(m)	44m(수심20m 포함)	56.6m (수심포함 80m)
4	Anchor	5tonf(4개)	주:11tonf(4개), 보조:10tonf(2개)
5	Main Winch	50HP (Motor Type)	20tonf × 35m/min (Hydraulic Type)
6	Rod Size	288mm	288mm
7	1축 교반 직경	1,000mm	1,000mm
8	연 식	4축 1연	4축 3연
9	발전기	500kw × 1기, 300kw × 1기	1000kw × 2기
10	작업가능 풍속	8m/sec	15m/sec
11	유입파고	2m이상	3m이상
12	한계파고	파고 1.0m, 12sec(회)	파고 1.5m, 8sec(회)
13	기 타	수중 End Leader	Guide Pipe

3. DCM 공법 설계

3.1 개요 및 검토항목

DCM기초는 표 2와 같은 항목을 검토하여 경제성과 시공성을 고려하여 적절한 단면과 개량형식을 선정하며, 또한 충분한 지반조사를 통하여 하단부 지지형식, 개량폭 및 개량율을 산정하고 필요에 따라서 원호활동과 침하량을 검토한다.

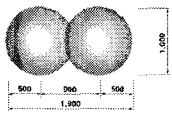
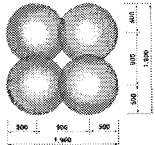
표 2. 주요 검토사항

구 분	주 요 검 토 사 항
개량체 단면	시공성, 경제성에서 유리한 단면선정
개량 형식	안정성, 시공성, 경제성 등을 충분히 파악하여 적절한 개량형식 선정
하단부 지지형식	외적안정(전도, 활동, 지반지지력, 원호활동)에 대해 충분히 안정하도록 선정
개량폭	DCM 내적안정, 외적안정에 충분히 안정하도록 선정
개량율	상부하중에 대해 재료허용응력을 만족하는지 검토하여 선정

3.2 개량체 단면

기초용의 DCM 개량체 단면은 주로 $\phi 1,000 \times 2$ 축이 적용되었으나, $\phi 1,000 \times 4$ 축이 개발된 2004년 이후에는 품질이 좋고 경제성 높은 $\phi 1,000 \times 4$ 축의 적용이 증가추세에 있으며, 본 과업대상지역에서도 $\phi 1,000 \times 4$ 축을 적용하였다. 표 3은 $\phi 1,000 \times 2$ 축과 $\phi 1,000 \times 4$ 축 재원을 비교한 것이다.

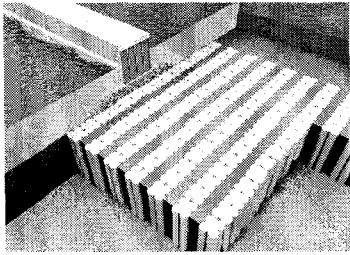
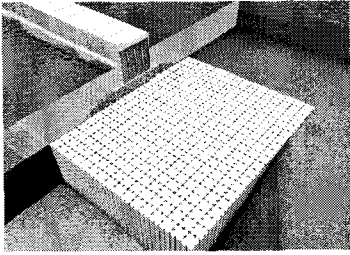
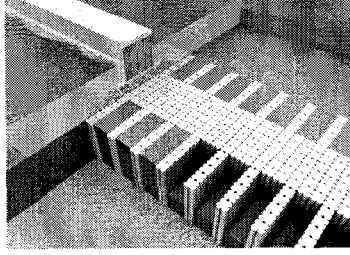
표 3. 개량체 단면제원

DCM 2축			DCM 4축		
	개량체	$\phi 1,000 \times 2$ rod		개량체	$\phi 1,000 \times 4$ rod
	개량단면적	1.541 m ²		개량 단면적	3.024 m ²
	경제성	140%		경제성	100%

3.3 개량 형식

DCM개량형식은 점원식·블록식·격벽식 등이 있으며 구조물 양식의 안정성·경제성·시공성 등을 파악하여 적절한 개량 형식을 선정한다.

표 4. DCM 개량형식의 비교

구 분	점원식	블록식	벽 식
개념도			
개량 방법	·장주를 법선방향으로 집하게 하여 일정간격으로 배치	·개량범위 전체 90%이상개량	·장주·단주를 법선 직각방향으로 접하면서 번갈아 배치
검토 방법	·검토방법은 벽식과 동일 ·단벽 전단 검토 불필요	·전체가 개량되므로 원지반의 압밀침하 검토 불필요	·장벽·단벽 전단검토 필요 ·원지반 압밀침하 검토 불필요
안정성	·블록식과 유사한 안정성 확보	·안정성이 높음	·블록식과 유사한 안정성 확보
시공성	·벽식보다 시공관리 용이	·90%이상 개량으로 공기증가	·중첩부시공관리가 필요
경제성	·벽식과 블록식의 중간정도	·상대적으로 고가	·블록식에 비해 저렴

3.4 설계기준강도

설계기준강도는 개량체의 허용응력을 설정할 때의 기준강도로, 원지반을 이용한 실내배합시험의 일축 압축강도를 원칙으로 하는데, (조성태, 2006) 본 설계에서는 기 적용된 DCM현장의 실내배합시험 사례를 분석하고 적용지반에 대해 실내배합시험을 실시하여 배합비를 결정하였다. DCM 개량체의 배합강도는 원지반 강도가 일정하다고 가정할 때, 사용 시멘트량과 물-시멘트비의 영향을 받는데 통상적으로 물-시멘트비는 0.7~1.0의 범위로 실시하며 시멘트량은 개량목적과 목표강도에 따라 150~350 kg/m³ 범주로 다양하게 적용된다.

4. 적용사례

4.1 현장조건

4축 3연의 DCM 전용선으로 시공 중인 “울산신항 남방파제 및 기타공사(제2공구) 축조공사”의 지층은 원지반 퇴적층·풍화토·풍화암·기반암 순으로 형성되어 있다. 원지반 퇴적층에는 실트질 점토층(N값 : 0/30~2/30)이 13.5~23.8m 두께로 존재하며, 모래 자갈층위로 실트질 모래층이 0~9.8m 두께로 분포한다.

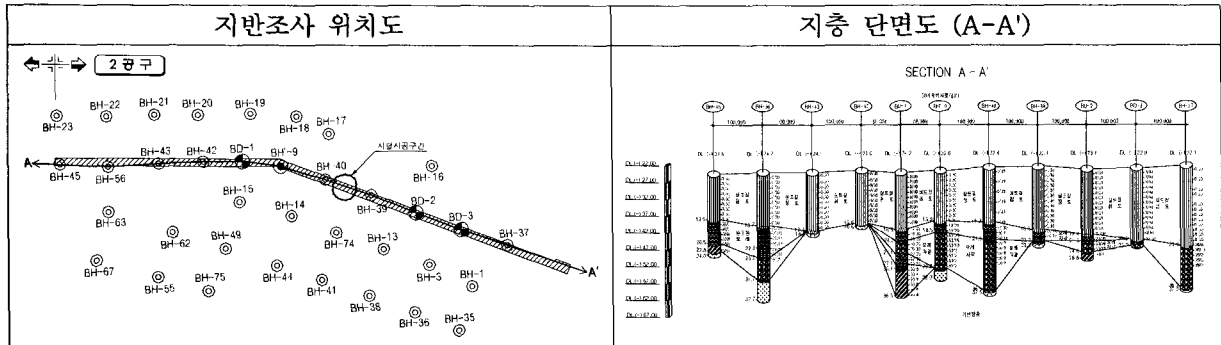


그림 3. 지반조사 위치도 및 지층 단면도(A-A')

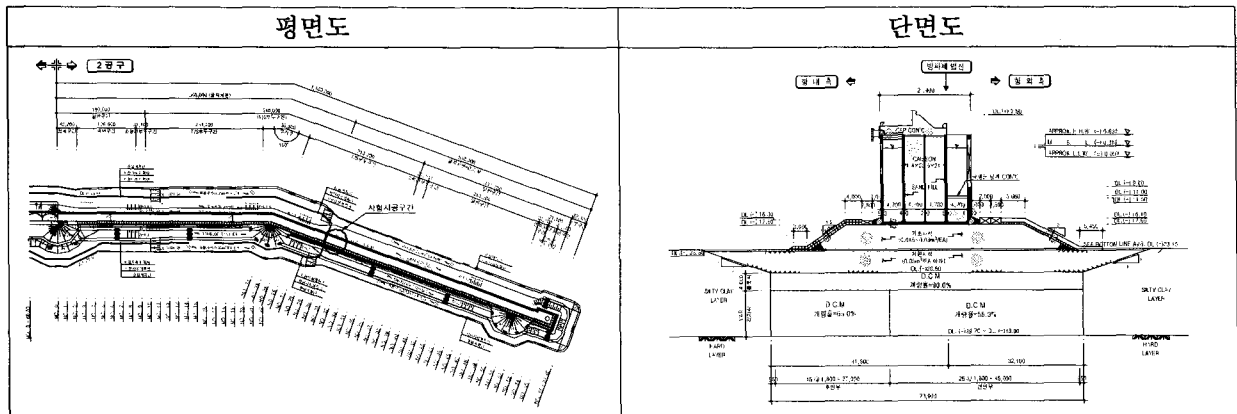


그림 4. 방파제 평면도 및 단면도

4.2 지층 구성 및 설계정수

표 5. 원지반의 지층구성 및 설계정수

구 분	단위중량 (tonf/m ³)	수중단위중량 (tonf/m ³)	점착력 (tonf/m ²)	내부마찰각 (°)
원지반 점성토	1.50	0.50	0.096Z+0.43	-
모래자갈	1.80	1.00	-	35

표 6. DCM 공시체의 재원

구분	실내배합강도 ($q_w, \text{kgf/cm}^2$)	설계기준강도 ($q_{\text{uck}}, \text{kgf/cm}^2$)	허용압축응력 ($f_{ca}, \text{kgf/cm}^2$)		허용전단응력 ($\tau_a, \text{kgf/cm}^2$)	
			평상시	지진시	평상시	지진시
적용	30.0	20.0	5.3	8.0	2.6	4.0

시험시공 구간은 T/S부두 구간으로 원지반의 지층구성과 설계에 적용한 토질정수는 표 5와 같으며, 기초지반은 모래자갈층으로 구성되어 있다. 설계에 적용한 DCM의 재원은 표 6과 같다.

4.3 방파제의 안정성과 침하량 검토

개량지반계에 작용하는 외력으로는 상재하중, 자중, 토압과 잔류수압, 파력과 부력, 지진력, 선박의 견인력과 충격력, 개량지반의 저면반력과 전단저항력을 고려하며, 「항만시설 기술상의 기준·동해설」(일본 항만협회)이나 다른 기준에 따라 산정한 주동, 수동토압 및 잔류수압을 이용하여 계산한다. 검토결과 활동에서는 $F_s=4.93$, 전도에서는 $F_s=11.33$,으로 기준 안전율 1.2이상으로 안정하게 나타났다.

내적 안정검토는 개량지반을 지중구조물로 간주하여 내부응력을 검토한다. 개량지반에 발생하는 내부응력은 허용압축응력과 허용전단응력 이하여야 하며, 일반적인 배면매립 시공속도의 경우에는 외적안정계산과 동일하게 산정한다. 검토결과, 단지압(tf/m^2)은 $43.5 < f_{ca}=53.0$, 장벽전단응력(tf/m^2)은 $15.79 < \tau_{ca}=26$, 단벽전단 응력(tf/m^2)은 $12.97 < \tau_{ca}=26$ 으로 모두 안정하게 나타났다.

침하량은 기초사석층의 침하량과 DCM 개량체의 탄성침하량, 원지반 사질토층의 침하량으로 구분하여 검토하였으며, 구조물 완성 후 발생하는 침하량은 내측은 8.48cm, 외측은 1.75cm로서 허용침하량 10cm 이하로 나타났다. 또한, 원호활동에 대한 외적안정성 검토결과, 평상시 $F_s=4.215 > 1.3$, 지진시 $F_s=3.908 > 1.1$ 로서 안정하게 나타났다.

4.4 실내시험과 시험시공 결과 분석

4.4.1 실내배합시험 및 결과

DCM 설계시, 실내배합시험으로 연약지반 개량시 예상되는 현장강도를 예측한다. 실내배합시험에서는 시멘트 종류와 양, 혼합수 종류, 물-시멘트비 등을 결정하는데, 본 현장의 경우는 고로슬레그시멘트와 해수를 사용하였고, 물-시멘트비는 0.6~0.9 범위로 하였다.

그림 5는 시멘트량을 300 kgf/m^3 , 330 kgf/m^3 인 경우의 실내배합시험 결과로서, 같은 시멘트량에 대하여 물-시멘트 비율이 높을수록 압축강도와 일축압축강도의 분산정도가 감소하는 데, 이는 실내배합시험의 교반성에 기인하는 것으로 판단된다. 설계시의 시멘트 배합량은 300 kgf/m^3 을 적용하였다.

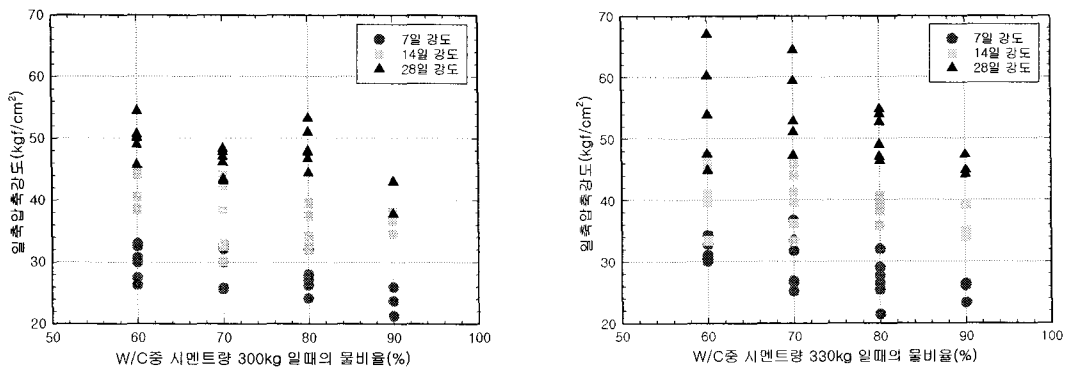


그림 5. W/C - 일축압축강도 비교

그림 6은 DCM 공시체의 양생기간에 따른 일축압축강도의 변화를 나타낸다. 양생기간이 길거나 시멘트량이 많을수록 압축강도는 증가하며, 물-시멘트비가 감소할수록 강도변화의 분산정도도 증가하므로 시공시 교반관리의 중요성을 의미한다.

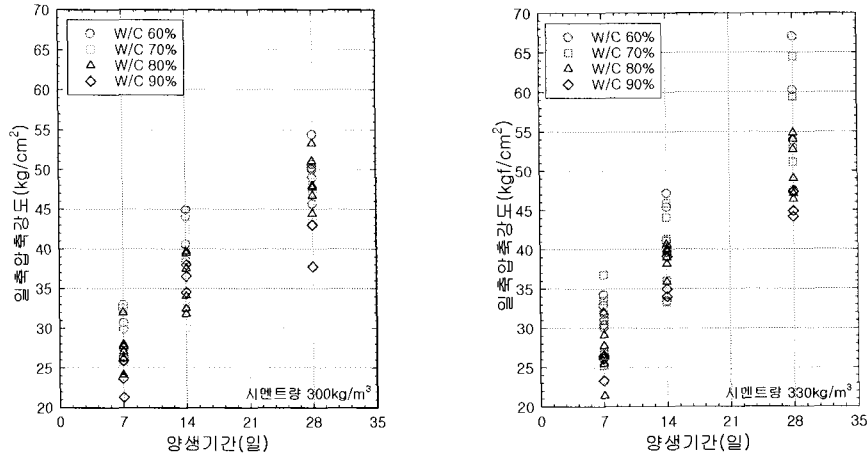
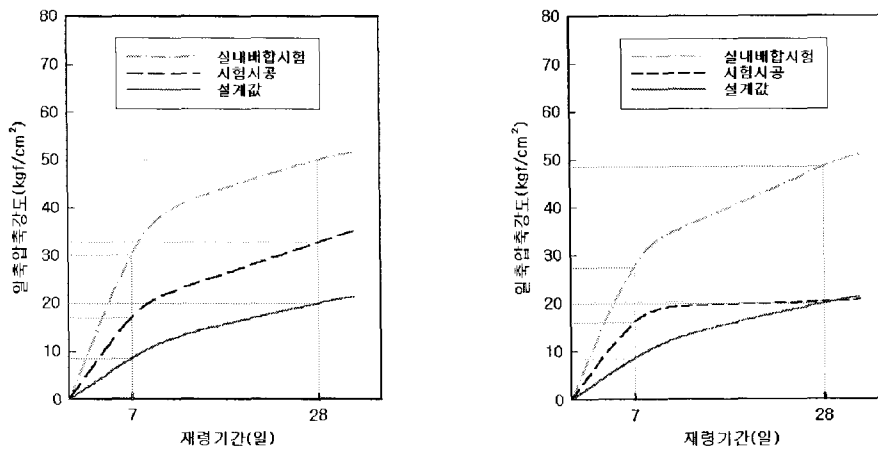


그림 6. 양생기간에 따른 일축압축강도

그림 7은 실내배합시험결과를 토대로 양생기간에 따른 현장배합강도의 특성을 물-시멘트비별로 나타낸 그래프로서, 일축압축강도는 재령이 경과되거나 시멘트량이 많을수록 증가되며, 양생기간이 길고 물-시멘트비가 적을수록 강도변화도 크게 나타난다. 이를 토대로 현장의 물-시멘트비는 70%로 결정하였다.



(a) 물-시멘트비 : 60%

(b) 물-시멘트비 80%

그림 7. 양생기간에 따른 일축압축강도(물-시멘트 비)

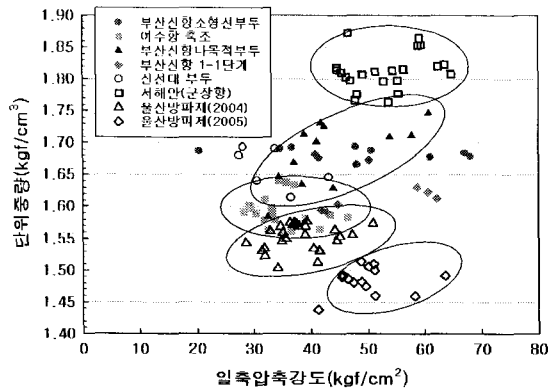


그림 8. 단위중량과 일축압축강도

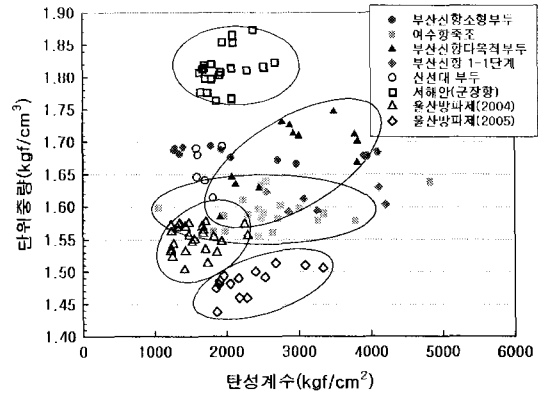


그림 9. 단위중량과 탄성계수

그림 8은 DCM 개량체의 단위중량과 일축압축강도의 관계를 나타내며, 2회에 걸쳐 실시한 실내배합 시험결과, 개량체 단위중량은 최저 범위인 약 1.48~1.55t/m³로 나타나, 1.75~1.85t/m³범위인 서해안 지역과는 대조적이다. 표7에 의하면 서해안지역은 세립분이 적고 함수비가 낮은 반면, 울산방파제지역은 세립분이 많고 함수비가 높은 것과 배합한 시멘트의 양이 다른 것에 기인하는 것으로 추정된다. 그림 9에 의하면, 울산지역의 탄성계수가 상대적으로 작으며 이것도 함수비와 깊은 관계가 있다고 생각된다.

표 7 DCM 적용지역의 토질특성

구 분	통 일 분 류	함수비 (%)	입 도(%)				액성한계 (%)	소성한계 (%)	소성지수 (%)
			자갈	모래	실트	점토			
부산 신항 소형선부두	CH	58.9	-	3.0	25.0	72.0	66.8	26.3	40.5
여수항 축조	CH	77.00	-	-	32.0	53.0	74.6	26.6	48.0
부산 신항 다목적부두	CH	75.90	-	4.6	30.2	65.2	68.0	25.2	42.8
부산 신항 1-1단계	CH	65.54	-	2.0	45.0	53.0	57.9	24.4	33.5
부산 신선대부두	CH	52.10	-	20.0	31.0	49.0	61.6	23.6	38.0
군 장 남측 안벽	CL	29.1	-	35.0	45.0	20.0	29.1	17.8	11.3
	ML	32.2	-	15.0	63.0	22.0	34.1	20.4	13.7
	SM	16.6	4	66.0	24.0	6.0	NP	NP	-
울산 방파제(2004)	CH	88.90	-	3.0	27.0	70.0	81.1	33.8	47.3
울산 방파제(2005)	CH	96.67	1.0	10.0	21.0	68.0	84.6	31.1	53.5
	MH	83.01	-	10.0	28.0	62.0	57.4	32.5	24.9

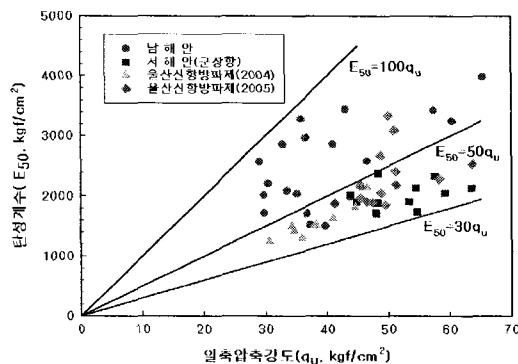


그림 10. 일축압축강도와 탄성계수(지역별)

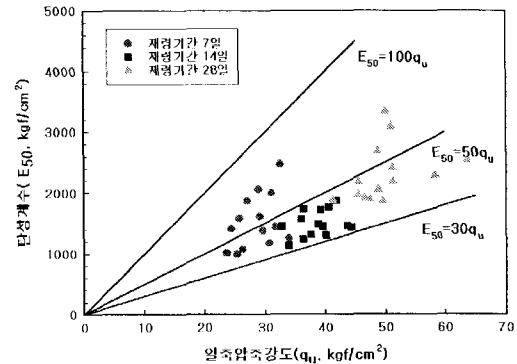


그림 11. 일축압축강도와 탄성계수의 관계

그림 10은 실내배합시험에서 얻은 일축압축강도(q_{ul})와 탄성계수(E_{50})의 관계를 지역별로 구분한 자료인데, 남해안지역의 탄성계수는 $E_{50} = 30\sim 100 q_{ul}$ 의 범위이고, 군장지역의 탄성계수는 $E_{50} = 30\sim 50 q_{ul}$ 의 범위로 하한선은 유사하지만 상한선은 군장지역이 작게 나타난다.(조성태, 2006) 울산방파제지역의 탄성계수는 하한선은 $E_{50} = 30 q_{ul}$ 범위로 다른 지역의 하한선과 유사하다. 그러나, 2004년 시험의 상한선 범위는 남해안지역보다 군장지역에 유사하지만, 일축압축강도와 탄성계수의 절대치는 상대적으로 작다. 2005년 시험의 하한선은 군장지역과 유사하지만, 상한선은 $E_{50} = 50 q_{ul}$ 보다 높게 나타나는데, 이것도 함수비와 관계가 깊다고 본다. 그림11은 2005년 시험의 양생기간에 따른 일축압축강도와 탄성계수 관계인데 양생기간에 따라 일축압축강도와 탄성계수도 증가하며, 제시한 상·하한선의 범위 내에 분포함을 알 수 있다.

4.4.2 인공신경망을 이용한 개량체의 28일 일축압축강도 추정

본 연구에서는 남해안에서 시공된 DCM 사례 중 9지역의 실내배합시험 결과와 개량체의 28일 강도 D/B로부터 그림 13과 같이 구축된 인공신경망 모델(김영상 등, 2006)을 활용하여 연구대상 지반의 함수비, 단위중량, 세립분함량, 시멘트량, 물-시멘트비의 5가지 입력변수로부터 개량체의 28일 일축압축강도를 추정하였다.

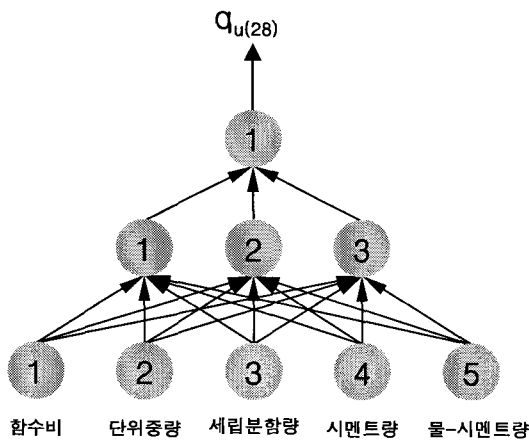


그림 12. 압축강도 추정을 위한 인공신경망

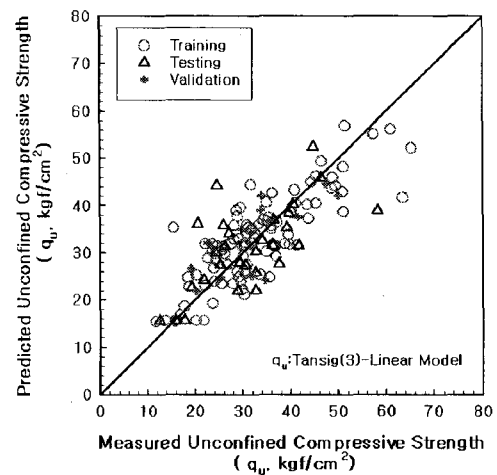


그림 13. 일축압축강도의 예측과 비교

그림 13에 나타난 바와 같이 5가지 입력변수로부터 예측된 개량체의 일축압축강도가 실내배합시험으로 얻은 일축압축강도와 잘 일치한다. 이러한 모델은 추후 실내에서 다양한 조건변화에 의한 개량체의 강도변화에 대한 선행설계 및 예측에 적극 활용할 수 있을 것이다.

4.4.3 시험시공 결과

물-시멘트비를 0.6:1, 0.7:1, 0.8:1로 하고, 시멘트량은 300kgf, 분당 유량은 480ℓ/min로 시험시공을 실시하여 7일 및 28일 강도를 측정하였다. 그림 14에서 같은 물-시멘트비에서는 양생기간이 길수록 일축압축강도가 크게 나타나며, 또한 물-시멘트비가 작을수록 재령기간에 따른 강도 증가가 크게 나타난다.

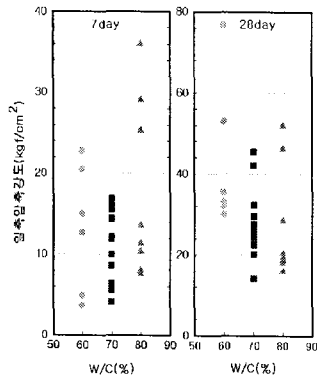


그림 14. W/C와 강도관계

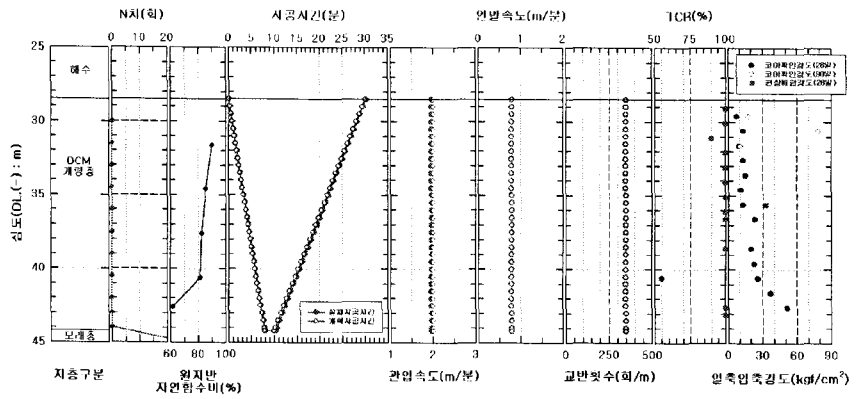


그림 15. 시험시공 결과

그림 15는 물-시멘트비 0.7:1의 시험시공결과를 나타내며, 원지반 함수비는 60%~90%로서 심도가 깊을수록 감소한다. 관입속도는 2m/분으로 일정하며 인발속도는 0.7~0.8m/분이다. 재령 28일의 코아 회수율은 양호하며 일축압축강도는 심도에 따라 증가하고, 원지반의 함수비와 밀접한 관계를 나타낸다.

4.5 전용선의 품질관리 시스템

유사 공법은 Piston Pump를 사용하므로 1:1의 물-시멘트비를 채택 하지만, DCM공법은 사진 3과 같은 고성능 Hose Pump를 사용하여 물-시멘트비를 0.7:1.0까지 낮출 수 있다. 물-시멘트비를 낮추면 동일한 시멘트 양에 대해 강도를 높일 수 있어서, 고함수비 지역에 유리하고 부상토 체적도 줄일 수 있다.

DCM 전용선은 물-시멘트비를 자동계급장치로 관리하며, RTK방식에 의한 GPS(사진 4)로 시공위치를 관리한다. 심도기록계(사진 5)의 Auger 암페어 부하계이지로 개량심도를 결정하며, 전용선의 기울기를 Auto Ballasting System으로 자동으로 조정하여 수직도를 관리한다. 또한, 기상조건에 따른 시공여부를 판단하는 기상측정 장치가 있다.

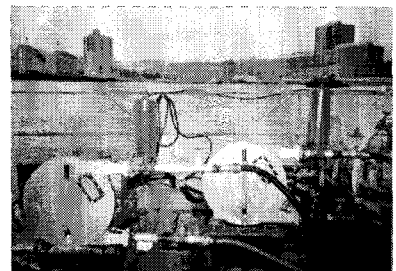


사진 3. Hose Pump

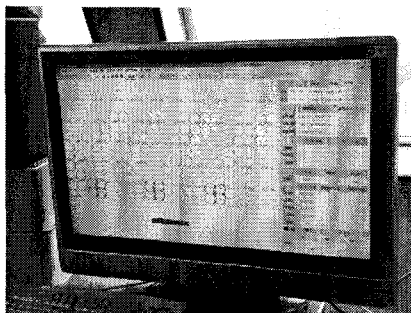


사진 4. GPS 위성장치

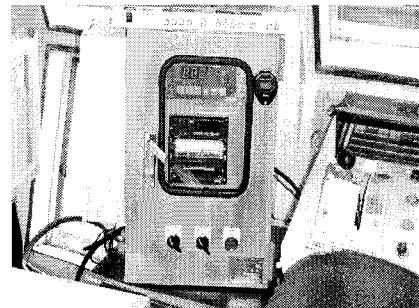


사진 5. 심도기록장치

5. 결 론

- 1) DCM 공법의 개발배경과 국내 도입경위 및 울산신항지역에 적용된 4축 3연의 한국형 DCM 전용선(동지 1호)의 특징과 품질관리를 위한 시스템을 알아보았다.
- 2) 실내배합시험결과에 의한 일축압축강도(q_{ult})와 탄성계수와의 관계식을 지역별로 비교하였다.
- 3) 개량체의 28일 일축압축강도 추정을 위한 인공신경망 모델은 원지반의 함수비, 단위중량, 세립분의 함량, 시멘트량, 물-시멘트비의 5가지 입력변수로부터 잘 예측할 수 있으며, 추후 실내의 다양한 조건변화에 의한 개량체의 강도변화에 대한 선행설계과 예측에 적극 활용할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 김영상, 허정원, 박옥주(2005), “심층혼합처리지반에 설치된 안벽의 외적안정성에 대한 신뢰성해석”, 대한토목학회 2005년 학술발표회 논문집, pp. 2104~2107.
2. 박성재(1986), “심층혼합처리공법”, 한국지반공학회 1986년 학술발표회 강연집, pp 73~105.
3. 양태선, 정경환, 여봉구, 이상수(2000), “심층혼합처리공법에서 설계기준강도와 변형계수에 관한 연구”, 대한토목학회 2000년도학술발표회 논문집, pp. 615~618.
4. 정경환, 배종건, 정문식, 신민식, 한경태, 신평수(2006. 2), “경질지반용 DCM 특수 교반날개의 개발에 관한 연구”, 한국지반공학회 2006년 준설매립위원회 학술발표회 논문집, pp. 193~206.
5. 정두희, 김희준, 김우식, Tam, N. M.(2005), “Factors Affecting Strength Characteristics of Stabilized Clay”, 대한토목학회 2005년 학술발표회 논문집, pp. 3417~3420.
6. 조성태, 박중배, 양봉근, 진성기, 정경환(2006. 2.), “서해안에서 안벽기초로서 DCM공법의 설계사례”, 한국지반공학회 2006년 준설매립위원회 학술발표회 논문집, pp. 119~136.