

DCM(심층혼합처리공법)에 의한 자립식 흙막이 적용사례 Application for Self-Supported Retaining Wall Using Deep Cement Mixing

정경환¹⁾, Gyeong-Hwan Jeong, 김용원²⁾, Yong-Wan Kim, 신민식³⁾, Min-Sik Shin,
한경태³⁾, Kyoung-Tae Han, 김태효⁴⁾, Tae-Hyo Kim

¹⁾(주)동아지질 대표이사, CEO, Dong-A Geological Engineering. Co., Ltd.

²⁾(주)동아지질 공사부 차장, Deputy Manager, Construction Dept., Dong-A Geo. Eng. Co., Ltd.

³⁾(주)동아지질 설계부 차장, Deputy General Manager, Engineering Dept., Dong-A Geological Engineering Co., Ltd.

⁴⁾(주)동아지질 설계부 대리, Assistant Manager, Engineering Dept., Dong-A Geo. Eng. Co., Ltd.

SYNOPSIS : The earth retaining wall systems for excavation works in a populated urban area or a poor soil deposit can be limited due to various restriction. Thus there are various methods to be applied for them such as the soldier pile method, the diaphragm wall with counterfort and so on. In this study, the self-supported earth retaining wall using the DCM(Deep Cement Mixing) method, including its merits, demerits and some important characteristics occurred in the design and the construction stage, was introduced. It might be reference for the other design and construction procedures using the DCM method.

Key words : DCM(Deep Cement Mixing), Mixing design, Self-supported excavation, FEM Analysis, Penetration time & speed, Monitoring

1. 서론

사회기반시설의 확충과 더불어 구조물의 대형화 및 각종 지하공간개발의 필요성으로 인해 지하굴착도 대규모화되고 있다. 이러한 이유로 지반굴착 및 흙막이 공사의 중요성이 커지게 되었으며, 설계 및 시공 기술의 향상도 절실히 요구되고 있다. 지반굴착 및 흙막이 공사에는 구조물의 용도 및 굴착목적 등에 따라 다양한 공법이 적용되고 있을 뿐만 아니라, 새로운 공법들이 활발히 시도되고 있는데 엄지말뚝공법에서부터 최선의 부벽을 이용한 자립식 지하연속벽공법에 이르기까지 수많은 공법들이 개발되어 있기 때문에 어떤 공법을 선택하는가는 전체공사의 공사기간 및 공사비에 영향을 미칠 정도로 중요한 문제가 되고 있다. 본 논문에서는 DCM(심층혼합처리)공법을 자립식 흙막이 공사에 적용한 사례를 통해 설계, 시공 및 계측단계에서 경험한 내용을 분석하여 공법의 장·단점 및 유의사항에 대해 고찰하고, 추후 DCM공법의 적용시 설계 및 시공단계에서 참고자료로 활용할 수 있도록 하였다.

2. 흙막이 공법

2.1 흙막이 공법 일반

일반적인 흙막이 공법에는 H-Pile+ 토류판, C.I.P공법, Sheet-Pile공법, 지하연속벽(Diaphragm Wall) 등이 있으며, 토압 및 수압을 지지해주는 지보공법에는 버팀보(Strut), 어스앵커, 쏘일네일링 등이 있다.

그리고, 최근에는 굴착면적이 넓고 심도가 깊은 경우 본 구조물을 지보로 활용하는 Top-Down공법 또는 SPS공법, 프리스트레스를 도입한 PS공법 또는 IPS 공법, 분할굴착을 통해 지보길이를 줄일 수 있는 Island 공법 등이 적용되기도 한다.

2.2 자립식 흙막이 공법

최근의 흙막이 공법은 굴착공사 중 Strut 등의 지보를 최소화하여 안정성을 확보하면서 시공효율을 극대화할 수 있는 공법이 많이 적용되고 있는데, PS Beam이나 IPS공법 등 Prestress를 도입하여 지보 간격을 넓히는 공법, 부벽을 이용한 자립식 지하연속벽이나 DCM 자립식 흙막이 공법 등 지보를 생략할 수 있어 시공성을 확보할 수 있는 공법 등이 있다. 그 중에서 DCM 자립식 흙막이 공법은 지하구조물 형태가 복잡·다양하고 굴착규모가 크면서 굴착심도가 10m 내외인 공사에 적용성이 높다. 국내에서는 1985년 부산 수영하수처리장 1단계 건설공사에서 육상공사에서는 처음으로 DCM 공법이 적용된 이래 구조물기초, 침하방지, 흙막이 등의 용도로 많은 시공실적을 거두고 있으며, 최근에는 연약지반이 분포되어 있는 하수처리장 건설공사를 중심으로 적용빈도가 증가하고 있는 추세이다. 자립식 흙막이 벽체의 용도로 사용된 국내 DCM 적용실적은 표 1과 같다.

표 1. DCM공법에 의한 자립식 흙막이 적용사례 (국내)

No.	공사명	발주처	원도급사	공사기간	시공량	단위	비고
1	인천 가좌하수처리장(1차) 건설공사	인천광역시	(주)대우건설	1987~1989	108,360	m	2축
2	부산 장림하수처리장 1단계 건설공사	부산광역시	현대건설(주)	1987~1991	274,026	m	2축
3	부산 남부하수처리장 건설공사	부산광역시	(주)대우건설	1992~1993	126,145	m	2축
4	부산 수영하수처리장 2단계 건설공사	부산광역시	(주)대우건설	1993~1994	163,644	m	2축
5	부산 사상철물상가	철물상가	(주)동아건설	1995~1996	6,000	m ²	2축
6	인천 공촌하수종말처리장 건설공사	인천광역시	(주)대우건설	1996~1996	42,437	m ²	2축
7	부산 장림하수처리장 2단계 건설공사	조달청	현대건설(주)	1996~1998	225,400	m ²	2축
8	인천 가좌하수처리장(2차) 건설공사	인천광역시	(주)대우건설	2000~2001	199,637	m ²	2축
9	김해 삼정지구 침수방지시설공사	김해시	(주)대저토건	2005	7,500	m	4축
10	인천 학익하수처리시설 건설공사	인천광역시	(주)포스코건설	시공중	32,495	m	4축

3. DCM 공법

DCM공법은 연약지반에 시공되는 구조물의 기초지반을 개량하거나 흙막이 벽체로 사용하기 위해 개발되었으며, 시멘트와 물을 혼합한 고화재를 지반내에 주입하면서 교반혼합하여 원지반에 개량체를 조성하는 공법이다.

3.1 국외에서의 DCM 개발

교반에 의한 심층혼합처리공법은 공교롭게 1960년대 후반 거의 동일한 시기에 석회를 고화재로 북유럽과 일본이 독자적으로 개발을 착수하였다. 1968년 일본 운수성 항만 기술연구소에서 생석회와 소석회를 고화재로 시작하여 1974년 과립과 분체형식의 DLM(Deep Lime Mixing)공법을

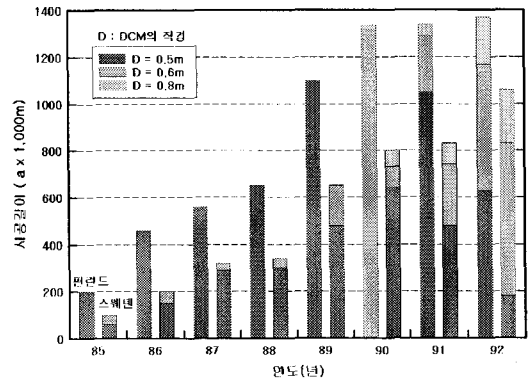


그림 1. 북유럽의(핀란드, 스웨덴) 실적

개발하였지만, 1975년 문제점을 보완하여 시멘트 슬러리를 사용하는 DCM공법을 실용화하였다.(정경환, 2006)

1966년 폴란드 특허를 시작으로 북유럽의 석회 관련기술이 발달되어, 그림 1과 같이 핀란드와 스웨덴에만 연간 1,000,000m 이상의 실적을 보이고 있다. 미국은 1987년 액상화 대책으로 DCM이 적용되어, 1990년대에는 Boston의 도심지에 Central Artery 고속도로건설의 굴착과 안정화공법으로 500,000 m³ 이상의 실적을 쌓으면서 관심과 적용빈도가 높아가고 있으며, 동남아에도 이미 적용되고 있다.

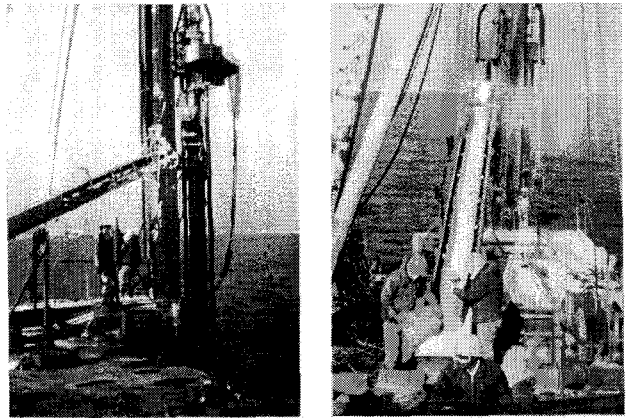


사진 1. 최초의 DCM 실물시험(1970년대, 일본)

한편, 고화재는 석회와 시멘트를 많이 사용하는 데, 일본은 주로 시멘트를 사용하고 유럽은 시멘트와 석회를 혼합하여 사용하고 있으며, 혼합석회 또는 시멘트에 석고-플라이애쉬-슬래그 등을 혼합하여 특별한 용도로 사용하는 경우도 있다.

3.2 국내의 육상 DCM 공법

시멘트 슬러리를 고화재로 사용하는 DCM공법 (SEC 공법으로 도입됨)은 1985년 ‘부산시 수영하수처리장’에 자립식 흙막이와 구조물 기초용으로 처음 적용된 후, 육상에서는 SC-W 또는 SC-F 공법으로 많은 현장에 적용되고 있다. 개량심도는 파일 드라이브의 용량에 의존하는데 도입초기에는 110P 파일드라이브를 사용하여 20~25m까지 시공하였지만, 1990년대 중반에 135P 파일드라이브가 도입되어 30~33m 정도까지 시공하였고, 2005년에는 170P 파일드라이브의 도입으로 35~37m까지 개량할 수 있다.

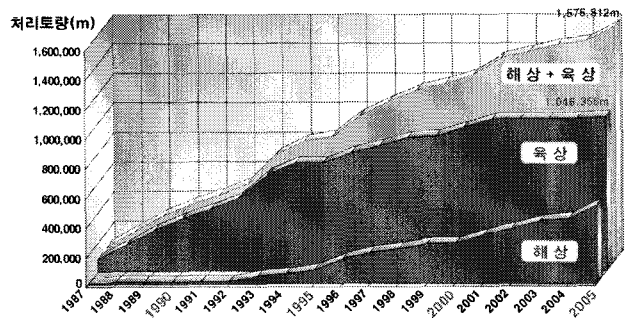


그림 2. DCM공법의 실적 그래프(국내)

개량단면은 도입초기에 기초용은 2축($\phi 1,000 \times 2rod$)을, 흙막이는 3축($\phi 550 \times 3rod$)을 주로 사용하였다. 그 후 다양한 개량단면의 요구로 현재는 4축($\phi 1,000 \times 4rod$) 단면도 시공할 수 있으며, 육상공사에서 4축이 처음 적용된 사례는 2004년 한국가스공사 발주의 평택 OO시설공사 액상화 방지공이다. 자립식 흙막이 벽체에 4축이 적용된 것은 본 논문의 대상지역인 2005년 김해 OO지구가 처음이다. DCM 4축은 2축에 비해 개량면적이 넓기 때문에 시공효율이 높고 교반효과가 좋으며, 자립식 흙막이 벽체로 사용할 경우 중첩성이 좋아서 개량체의 일체성이 높으므로 구조적으로 훨씬 안정하다.

표 2. DCM 개량체의 단면 제원

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

4. DCM 자립식 흙막이의 설계법

자립식 흙막이벽은 버팀보, 띠장 등의 지보재를 사용하지 않고 흙막이벽과 근입부 지반의 수평저항에 의해 토압을 분담하면서 굴착하는 공법이다. DCM 자립식 흙막이 벽체에 대한 관용설계법은 표 3과 같이 Chang의 방법에 의한 내적안정검토와 표 4의 외적안정검토로 이루어진다.

널말뚝(Sheet-Pile)과 같은 자립식 흙막이의 안정성은 통상 Chang의 방법으로 검토하지만, DCM 자립식 흙막이벽체는 굴착심도에 따라 시공 폭이 최소 1.8m에서 10m 이상 계획될 수 있어서 중력식옹벽과 유사하게 거동하기 때문에 Chang의 방법에 의한 검토에는 한계가 있다. 이로 인해 외적안정검토를 병용하지만, 외적안정 검토시에는 벽체에 발생하는 응력 및 변위를 적절하게 평가할 수 없다는 단점이 있다.

표 3. Chang의 방법(말뚝 축직각방향 모멘트에 대한 일반식)

변형곡선도 및 휨모멘트도	일반식		
	$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_h B}{4EI}}$ (k_h : 굴착면 하부지반 지반반력계수) S_0 : 말뚝 축직각방향력, M_0 : 축직각방향력에 의한 모멘트		
	l_m (M_{max} 발생지점)	$l_m = \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \left(\frac{S_0}{S_0 + 2\beta M_0} \right)$	
	M_{max} (최대휨모멘트)	$M_{max} = -\frac{1}{2\beta} \sqrt{(S_0 + 2\beta M_0)^2 + S_0^2} \cdot \exp\left(-\tan^{-1} \frac{S_0}{S_0 + 2\beta M_0}\right)$	
	근입심도(L)	$L = 3/\beta, EI \leq 10^{12} \text{ kgf} \cdot \text{cm}^2$ $L = 2.5/\beta, EI > 10^{12} \text{ kgf} \cdot \text{cm}^2$	
	$\delta = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3$ $\delta_1 = \frac{1}{2\beta^3 EI} (S_0 + \beta M_0), \delta_2 = \frac{H}{2\beta^2 EI} (S_0 + 2\beta M_0)$ (H: 벽높이) $\delta_3 = \frac{\rho H^4}{30EI}$ (삼각형 하중) or $\delta_3 = \frac{\rho H^4}{8EI}$ (등분포 하중)		

표 4. 외적안정 검토방법

DCM 벽체에 작용하는 힘	활동에 대한 검토	전도에 대한 검토
	$F_s = \frac{R_v \cdot \tan \delta + C_a \cdot B}{R_h}$ F_s : 활동에 대한 안전율 R_v : 연직력의 합 R_h : 수평력의 합 δ : 벽체와 지반사이 마찰력 C_a : 벽체와 지반사이 부착력 B : 옹벽저판 폭	$F_s = \frac{M_r}{M_o}$ F_s : 전도에 대한 안전율 M_r : 전도모멘트의 합 $= P_p \times y_p + P_w \times y_w$ M_o : 저항모멘트의 합 $= R_v \times B/2 + P_p \times y_p$

5. DCM 자립식 흙막이 공법의 적용사례

5.1 현황 및 적용배경

김해의 ○○지구 배수펌프장 신설을 위한 흙막이 및 지보공법은 원설계시에 그림 3, 그림 4와 같이 SCP 지반개량+ 널말뚝+ 버팀보(Strut)로 계획되어 있었으나, 현장여건상 지반개량을 위한 공기(8개월)를 단축할 필요성이 제기되었고 계획된 버팀보의 수직 및 수평간격이 1.5m~2.0m로 협소하여 토공과 구조물 공사시 상당한 간섭이 예상되었다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위해 그림 5, 그림 6과 같은 형식의 DCM 자립식 흙막이로 변경하였고, 그 결과 지반개량기간과 토공 및 구조물 조성기간을 포함하여 약 10개월 이상의 공사기간을 단축하면서 성공적으로 마무리 하였다.

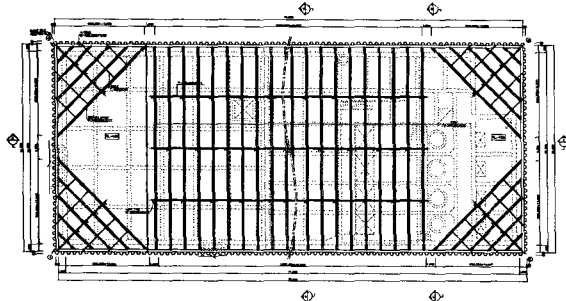


그림 3. 계획평면도(당초 설계)

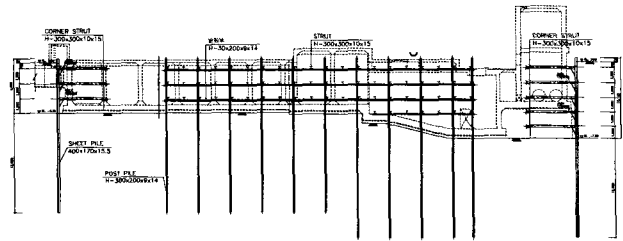


그림 4. 계획단면도(당초 설계)

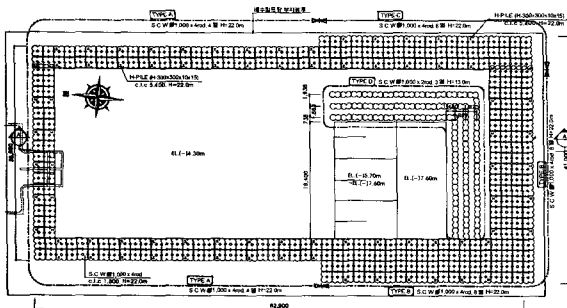


그림 5. 계획평면도(변경 설계)

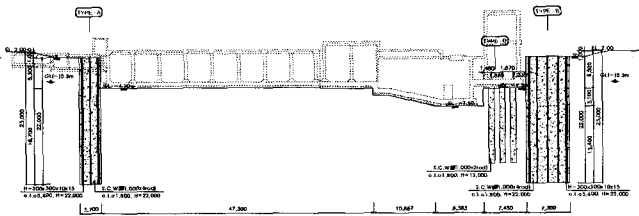


그림 6. 계획단면도(변경 설계)

5.2 관용설계법에 의한 설계

5.2.1 지반특성

지층구성은 최상부에 매립층이 약 1.0m~1.3m로 분포하고, 매립층 하부에 연약점성토·모래 등의 퇴적층이 약 16m 두께로 형성되어 있으며, 그 하부는 풍화토·풍화암 순으로 구성되어 있다. 지반조사결과 지하수위는 G.L(-)5.3m 지점에 형성되어 있었으며, 원설계 및 변형해석에 적용한 지반조건과 특성은 표 5와 같다.

표 5. 과업지역 지층구성 및 설계정수

구분	단위중량 γ_t (tf/m ³)	점착력 c (tf/m ²)	내부마찰각 ϕ (°)	지반반력계수 k_b (tf/m ³)	탄성계수 E (tf/m ²)	포아송비 ν
매립토	1.80	0.0	27	1,500	1,000	0.25
연약점성토	1.689	2.3	0	800	300	0.45
상부모래층	1.80	0.0	25	1,850	2,000	0.25
하부모래층	1.90	0.0	34	2,740	4,000	0.20
풍화토	1.95	0.0	35	3,240	5,500	0.20
풍화암	2.10	3.0	35	4,000	8,000	0.20

5.2.2 검토결과

안정성을 확보할 수 있는 벽체계획을 위해 각 Type별로 관용설계법에 의한 검토를 실시하였으며, 검토시 단면은 그림 7과 같이 굴착심도에 따라 구분하였고, DCM 개량체의 설계제원은 표 6과 같다.

관용설계법에 의한 각 Type별 검토결과는 표 7과 같고, 굴착심도에 따라 DCM은 각각 4열~8열로 계획되었으며, DCM의 시공심도는 지층조건과 시공효율을 감안하여 22m로 계획하였다.

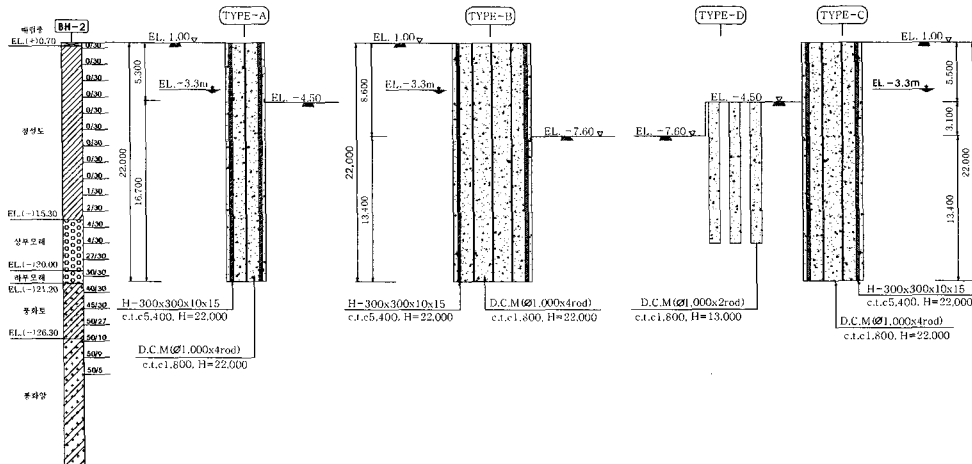


그림 7. Type별 자립식 흙막이 검토단면

표 6. DCM 개량체의 제원 및 허용응력

구분	사용시멘트량 (kg/m ³)	실내배합강도 (kgf/cm ²)	설계기준강도 (kgf/cm ²)	허용응력(kgf/cm ²)		
				압축	전단	인장
DCM	180	20.0	6.67	3.33	1.67	0.50

표 7. 관용설계법에 의한 DCM 자립식 흙막이 검토결과

DCM 형식	굴착심도 (m)	시공열수 Ø 1,000	근입심도 (m)	벽체길이 (m)	보강 H-Pile 간격	변형량 (mm)	
Type-A	5.5	4열	16.5	22.0	압축/인장=5.4m	15.8	
Type-B	8.6	8열	13.4	22.0	압축/인장=5.4m	27.5	
Type-C	5.5	2단	6열	22.0	압축/인장=5.4m	18.2	
Type-D	3.1	굴착	3열	9.9	13.0	보강 없음	12.7

5.3 지반변형해석

굴착공사에서 벽체의 변위를 파악하는 것은 매우 중요하다. 특히 자립식 흙막이벽체는 무지보이므로 변위의 제어가 공사의 성공여부를 좌우한다고 해도 과언이 아니다. 그러나, 관용설계법으로 자립식 흙막이 벽체의 변위를 평가하는 것은 상당히 제한적이므로 유한요소 프로그램인 PLAXIS(Ver.8)를 사용하여 지반변형해석을 수행하였으며, 토질정수는 표 5와 같고, 해석조건은 표 8과 같다. 지반은 Mohr-Coulomb 모델의 탄소성 재료로 가정하고 DCM 내부의 보강 H-pile은 탄성재료로 가정하였다. 변위의 경계조건은 수평방향 변위가 구속된 측면경계면, 연직 및 수평방향 변위가 구속된 하부경계면을 그림 8과 같이 설정하였다.

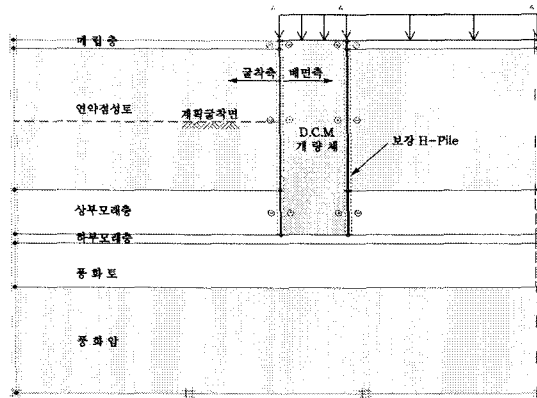


그림 8. 해석 모델링

표 8. 수치해석 검토조건

Soil behavior	Material model	DCM 탄성계수	상재하중	경계조건
탄소성	Mohr-Coulomb	2,000 kgf/cm ²	1.0 tf/m ²	측면경계 : $u_x=0$ 하부경계 : $u_x=u_y=0$

유한요소해석에 의한 지반변형해석 결과 벽체의 변위는 그림 9~그림 11과 같은 형상을 나타내고 표 9와 같이 약 160mm~192mm로 평가되었으며, 이는 관용설계법에 의해 평가된 변위인 13mm~28mm와는 상당한 차이가 있음을 알 수 있다.

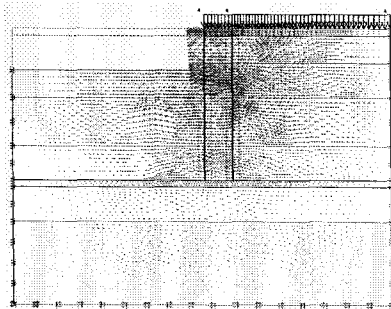


그림 9. 수평변위(Type-A)

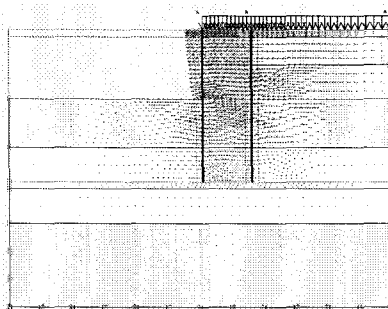


그림 10. 수평변위(Type-B)

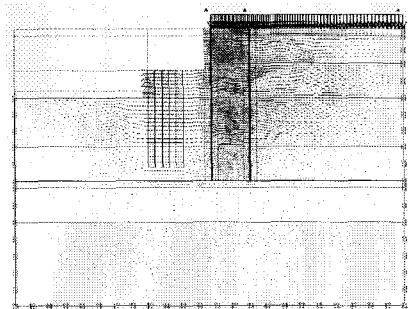


그림 11. 수평변위(Type-C)

표 9. 지반변형해석 결과

구분	Type-A	Type-B	Type-C
굴착심도(m)	5.5	8.6	8.6(2단 굴착 고려)
벽체길이(m)	22	22	22
DCM 형식(ϕ 1,000)	4열	8열	6열
보강 H-Pile 간격(m)	압축/인장=5.4	압축/인장=5.4	압축/인장=5.4
최대수평변위량(mm)	160.6	192.4	169.4

5.4 실내배합시험 결과

설계시 목표강도에 따른 배합비를 결정하기 위해 실내배합시험을 실시하였으며, 그 결과는 그림 12와 같다. 일반적으로 DCM 개량체의 배합시 물-시멘트비는 0.7~1.0의 범위가 적용되며, 시멘트량은 개량 목적 및 목표강도에 따라 150~350kgf/m³의 범위로 다양하게 적용된다. 본 시험에서는 시공시 효율을

고려하여 물-시멘트비 1.0에 대해 사용시멘트량을 150kgf/m³, 180kgf/m³ 및 200kgf/m³으로 하였다. 실내배합시험결과 시멘트량이 150kgf/m³ 이상일 때 28일 강도가 설계시 목표강도 20kgf/cm²을 상회하였으며, 적용 시멘트량은 180kgf/m³으로 하였다.

5.5 DCM 품질관리

5.5.1 DCM 관입시간 및 속도

DCM의 시공방법에는 1차 천공 후 인발시 시멘트를 주입하면서 교반한 후, 2차 관입 및 인발을 반복하면서 교반·주입하는 2행정 방식과 시멘트를 주입·교반하면서 관입 및 인발을 1회만 실시하는 1행정 방식이 있다.

본 연구지역인 ○○지구 배수펌프장은 N값 2이하의 연약점토가 두껍게 분포하고 있어서 1행정 방식이 효율이 높을 것으로 예상되었으며, DCM의 관입특성을 분석하기 위해 관입시간과 관입속도를 평가하였다.

그림 13은 심도별 관입시간을 나타내는데, 매립층을 제외한 실트질점토층은 일정한 속도로 관입되다가 N값이 증가하는 모래층에 도달하면, 관입시간이 지연됨을 알 수 있다. 실트질점토층의 관입시간은 개량심도 22m(공작공 1.0m+ 개량공 21.0m)에 약 16~19분 정도가 소요되었다.

그림 14는 관입속도와 관입시 오거에 작용하는 심도별 부하량을 나타낸다. 상층부의 관입속도가 작은 것은 매립층의 영향과 교반날개가 지반에 완전히 관입되지 않았기 때문이고, 하부 지지층의 관입속도가 감소하는 것은 지지층의 특성과 선단고화를 위해 인위적으로 개량시간을 늦추어 일정한 교반시간을 확보한 영향으로 판단된다. 관입속도에 따라 부하량도 변화하는데, 관입속도가 감소하면 부하량이 증가하며 관입속도가 증가하면 부하량도 감소하는 상반되는 관계를 나타낸다. 이는 지반의 강성과 관계가 있으며, 관입속도는 약 1.3~1.9m/min.로 평가되었다.

5.5.2 DCM 확인조사 결과

DCM 시공 후 개량효과를 검증하기 위해 그림 15와 같이 3개소의 확인조사와 채취한 코아로 일축압축시험을 실시하여 현장강도를 평가하였고, 시추공영상촬영(BIPS)을 통해 개량상태를 확인하였다. 확인

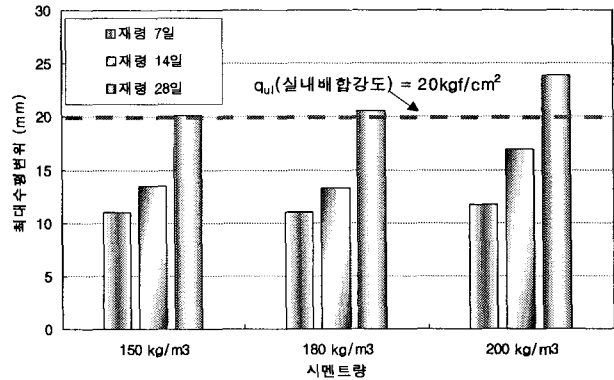


그림 12. 실내배합시험 결과

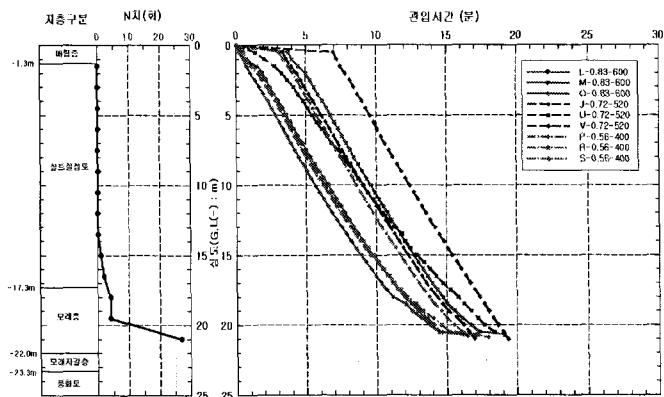


그림 13. 심도별 관입시간

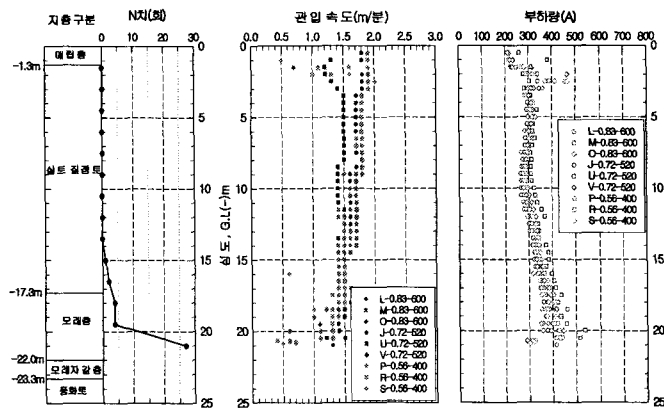


그림 14. 심도별 관입속도 및 부하량

조사 결과, 개량 후 상부 1.2~1.3m는 공삭공, 하부 19.6~20.7m는 DCM 개량체가 형성되어 있었다. 그림 16의 시추공영상촬영(BIPS) 결과에 의하면, 개량체 전체가 균질하고 양호하게 나타났다. 그림 17에 의하면 DCM 코아회수율(TCR)이 대부분 80% 이상이지만, 일부심도에서 TCR이 50%미만으로 평가되는 것은 양호한 BIPS의 결과를 감안할 때 확인조사에 의한 DCM 개량체의 강도가 코아 채취시 기계적 균열 등에 의해 저평가될 수 있음을 의미한다. 채취된 코아에 대해 일축압축강도시험을 실시한 결과, 그림 18과 같이 3개소 평균 강도가 12.9~20.8kgf/cm²으로 설계기준강도를 만족하였다.

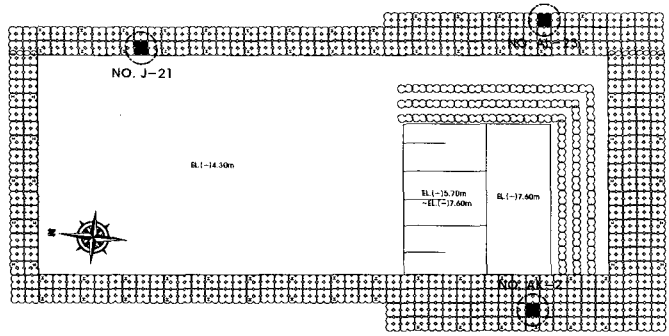


그림 15. DCM 확인조사 위치도

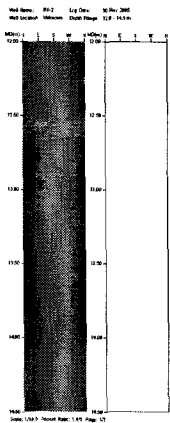


그림 16. BIPS 결과

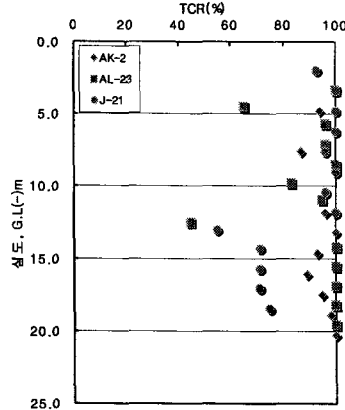


그림 17. 심도별 TCR 분포

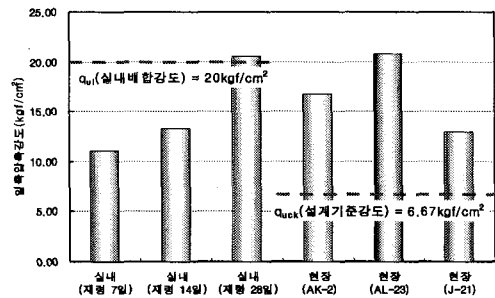


그림 18. 일축압축강도 비교

5.6 굴착공사의 계측관리

설계시 예상한 변위와 실제 발생하는 거동을 비교하여 굴착 중 발생할 수 있는 현상을 미리 예측하고, 향후 DCM 자립식 흙막이 계획과 설계에 참고자료로 활용하기 위해 지중경사계를 이용한 현장계측을 수행하였다.

지중경사계는 그림 19와 같이 DCM 벽체 Type별로 3개소에 설치하였으며, Type-A 위치의 지중경사계는 I-1과 I-2, Type-C 위치의 지중경사계는 I-3으로 표시하였다.

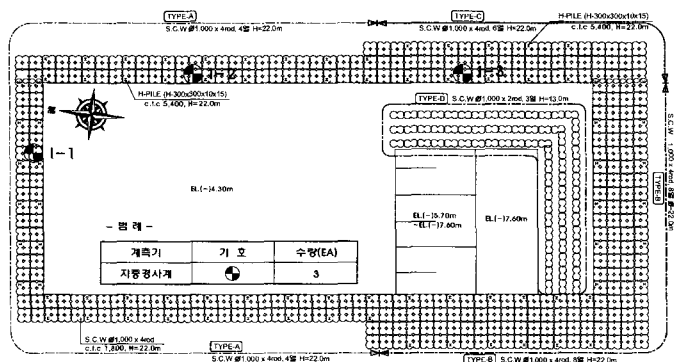


그림 19. 지중경사계 설치 위치도

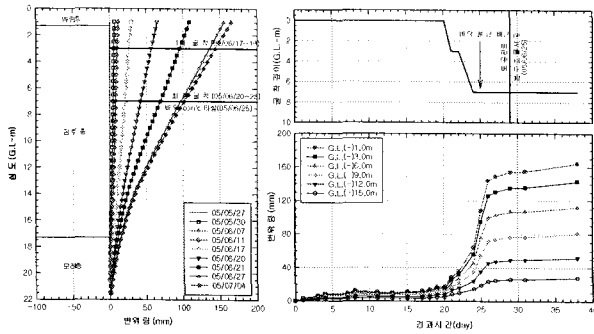


그림 20. 지중경사계 I-2(Type-A)

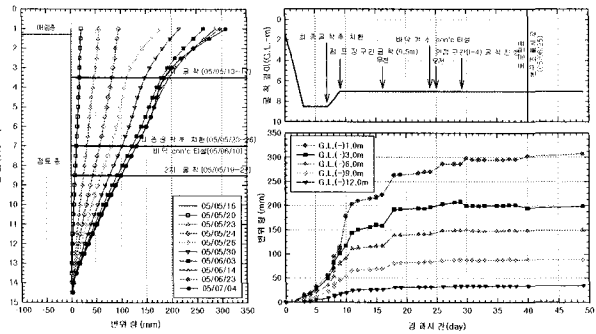


그림 21. 지중경사계 I-3(Type-C)

현장계측결과, 최대수평변위 및 시공단계별 거동특성은 그림 20, 그림 21과 같다. I-1과 I-2의 최대수평변위는 각각 91.1mm, 164.6mm가 발생하였다. I-1과 I-2가 설치된 위치의 계획 굴착심도는 5.5m로 동일하지만 변위량은 차이를 보이는데, 이는 I-1이 설치된 위치의 경우 인접한 도로의 침하억제를 목적으로 실시한 JSP(고압분사공법)의 보강공사로 변위가 상대적으로 작게 발생한 것으로 판단된다. 그리고, I-3의 발생변위는 307.5mm로 I-1, I-2에 비해 상대적으로 크게 발생하였는데, 그 원인은 I-3 부근의 굴착면에 사석치환을 위한 추가굴착 및 계획 당시 예상하지 못한 교통하중이 추가로 발생되었고, I-3이 설치된 지점이 8.6m 굴착부와 근접해 있기 때문에 수동측 보강영역이 상대적으로 감소한 것 등에 기인한 것으로 판단된다.

또한, Type C는 자립식 벽체가 2단으로 되어 있으나 DCM 개량체의 평면 계획시 일체화하지 않고 분리하여 배치한 영향도 있는 것으로 평가된다. 이는 그림 11의 수치해석의 결과에서 상단 벽체와 하단 벽체사이의 지반에서 큰 변형이 발생하는 것에서도 예상할 수 있다. 따라서, DCM 공법에 의한 자립식 흙막이를 설계할 때에는 평면의 배치에도 주의를 기울여야 함을 상기시킨다.

그림 22는 해석치와 현장계측결과에 의한 벽체변형량을 비교한 것이다. Chang식에 의한 관용설계법으로 DCM 자립식 흙막이를 평가하면 벽체의 변형량을 너무 과소평가하기 때문에 수치해석에 의한 변형해석을 동반하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

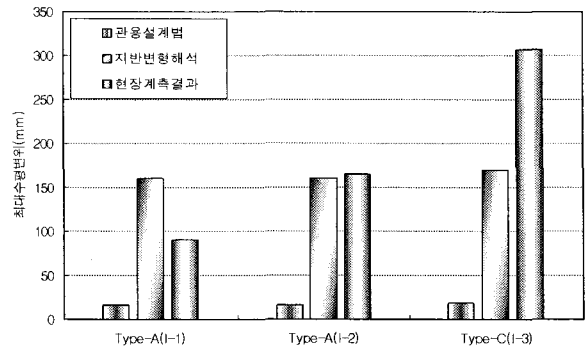


그림 22. 최대수평변위 비교

6. 결론

본 논문에서는 DCM(심층혼합처리)공법에 의한 자립식 흙막이벽체의 설계와 시공을 성공적으로 마친 사례를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 연약지반에서 DCM 자립식 흙막이 공법을 적용함으로써 기존의 지보를 이용한 흙막이 공법보다 공정을 단축시키고 시공성을 크게 향상시킬 수 있었다.
2. 관용설계법과 수치해석법에 의한 변형해석치를 현장계측치와 비교한 결과, 자립식벽체의 변형해석을 위해서는 관용설계법에 의존하는 것보다 수치해석을 동반하는 것이 바람직하다는 것을 알 수 있었다.
3. DCM 시공 후 확인조사와 채취한 코아의 일축압축강도 시험을 통해 DCM 개량체가 설계 기준치를 만족하는 것을 확인하였고, BIPS 결과와 TCR을 비교할 때 일축압축강도 시험에 의해 평가한 개량체의 강도가 일부 심도에서 저평가함을 확인하였다.

4. DCM에 의한 자립식 흙막이 벽체의 설계시에는 평면배치가 벽체변형에 미치는 영향을 고려하는 것이 바람직하다.

참 고 문 헌

1. 박성재(1986), “심층혼합처리공법”, 한국지반공학회 학술발표회 강연집, pp.73~105.
2. 양태신, 정경환, 여봉구, 이상수(2000), “심층혼합처리공법에서 설계기준강도와 변형계수에 관한 연구 (A Study on Design Strength and Elastic Modulus Using Deep Cement Mixing Method)”, 대한토목학회 2000년 학술발표회 논문집, pp.615~618.
3. 정경환, 배종건, 정문식, 신민식, 한경태, 신평수(2006. 2), “경질지반용 DCM 특수 교반날개의 개발에 관한 연구(Study about Development of Special Auger Bit of DCM for Hard Soil)”, 한국지반공학회 2006년 준설매립위원회 학술발표회 논문집, pp.193~206.
4. 정경환, 정동영, 신민식, 한경태, 유지영(2004), “부벽식 기법을 사용한 자립식 지하연속벽 공법의 적용”, 한국지반공학회 2004년 학술발표회 논문집.
5. 조성태, 박중배, 양봉근, 진성기, 정경환(2006. 2.), “서해안에서 안벽기초로서 DCM공법의 설계사례”, 한국지반공학회 2006년 준설매립위원회 학술발표회 논문집, pp.119~136