

순환자원을 활용한 친환경 무기결합재인 연약지반개량 고화재의 현장적용 사례



문경주
(주) 씨엠디기술단 대표이사



윤길림
한국해양과학기술원
영년직연구원
(glyoon@kiost.ac)

1. 개요

1.1 개발 배경

종래의 건설재료의 연구개발은 고성능화 다기능화를 중심으로 행해져 왔다. 그러나 현재에는 고성능화 및 다기능화뿐만 아니라 환경부하를 우선적으로 고려하고 각종 폐기물을 적극적으로 활용하는 건설재료의 연구개발이 강하게 요구되고 있다. 특히 시멘트 산업은 그 규모의 크기를 비롯하여 자원소비량 및 이산화탄소 배출량이 가장 많은 산업으로 지적되고 있기 때문에 시멘트 생산에 있어서 각종 산업부산물 또는 폐기물을 활용함으로써 천연자원 소비량을 감축시키고 또한 저에너지 소비형 생산방식의 개발을 통해 이산화탄소의 배출량을 감축시킬 수 있는 기술개발 등이 시급한 과제로 떠오르게 되었다.

온실가스 중 55%를 차지하는 CO₂의 배출량 중 약 10%는 시멘트 제조 분야에서 배출되는 것으로 알려져 있으며, 1톤의 시멘트를 생산할 때마다 약 1톤의 CO₂가 배출되고 있다. 2012년 만료된 교토의정서를 대체하는 새로운 기후변화협약인 발리로드맵의 발효로 인해 한국 시멘트 업계는 시멘트 클링커 생산량을 50% 이상 감축해야 할 것으로 예견되고 있으나 시멘트 수요량은 매년 2.5~5.8% 정도의 증가가 예상되고 있어 발리로드맵의 준수와 시멘트 수요의 증가를 동시에 충족시키기 위해서는 이산화탄소의 배출이 적거나 거의 없는 시멘트의 개발이 필요하다.

1.2 개발 필요성

현재 국내외에서 판매, 시공되고 있는 지반재료용 결합재는 주로 보통 포트랜드 시멘트 및 시멘트계 고

화재로써, 시멘트계 고화재는 시멘트의 특정성분을 증가 또는 감소시킨 후 고화효과를 증대할 수 있는 유효성분을 첨가하여 일반 연약지반용, 고유기질토용, 폐기물용 등의 용도 및 공법별로 여러 제품이 개발되어 왔다.

보통 포틀랜드 시멘트의 지반재료로의 사용 시 경화과정 중 토질의 영향을 많이 받으며, 특히 니분(泥粉)이 많은 토질의 경우 시멘트의 응결 지연현상이 나타나는 경우가 있어, 이를 해결하기 위해 혼화제가 사용된다. 더욱이 보통 포틀랜드 시멘트와 함께 사용되는 벤토나이트 현탁액은 콘크리트 중의 Ca^{2+} 이온을 흡착하기도 하고 염분이 포함되어 있는 경우에는 Na^{+} 이온을 흡착하여 응집반응을 일으켜서 안정액으로서의 성질이 저하하는 경향을 보이기도 한다. 이러한 시멘트계 경화재 사용 시의 문제점을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 시멘트의 수화반응이 토양 중 유기질에 의하여 방해됨.
- 2) 강도확보를 위한 다량 혼합으로 건조수축 발생 및 시멘트 과다사용.
- 3) 시멘트의 성능을 개선하기 위한 성분조정(벤토나이트 사용 등)으로 경제성 감소.
- 4) 지질조건에 따른 배합비 조절이 어려워 시멘트의 과다 투입.
- 5) 이토의 처리 시 폐기물처리 방법 및 폐기물의 성상 분류가 모호.
- 6) 중금속 특히 Cr^{6+} 용출에 의한 주변토양 및 지하수 오염 문제 발생.

보통 포틀랜드 시멘트를 지반재료로 사용할 경우 주변 토양 및 지하수의 2차 오염 문제가 언급되고 있으며, 특히 시멘트를 지중에 사용한 경우 발암물질인 6가 크롬의 용출이 확인됨에 따라 일본 등 일부 선진국에서는 시멘트 및 시멘트계를 고화재로 지반개량에 사용하는 경우, 현지 토양과 사용 예정의 고화재에 대하여 6가크롬의 용출시험을 실시하여, 토양환경기준을

초과(0.05)하는 경우 용출이 적은 고화재의 사용 등 배합설계의 변경 또는 공법의 변경을 요하는 규정을 시행하고 있어, 시멘트를 대체할 수 있는 친환경적인 새로운 경화재(무기결합제)에 대한 관심이 유럽 선진국을 중심으로 점차 고조되고 있다.

따라서, 시멘트 사용으로 인한 환경부하 및 환경오염을 저감시키는 동시에 지반재료의 사용목적에 따른 요구 성능에 부합하고 가격 경제성을 가진 친환경 지반재료인 CMD SOIL의 성능 및 현장적용성 등을 확인하였다.

2. 개발기술의 개요

2.1 기술의 개요

본 기술은 활용이 미흡한 석탄연소 유동층보일러에서 발생하는 고칼슘 연소재의 CaO 성분에 의한 발열 및 흡수 성능을 활용하고, 주원료인 고로슬래그, 황산염 자극제 역할을 하는 순환재료의 고강도 및 조기강

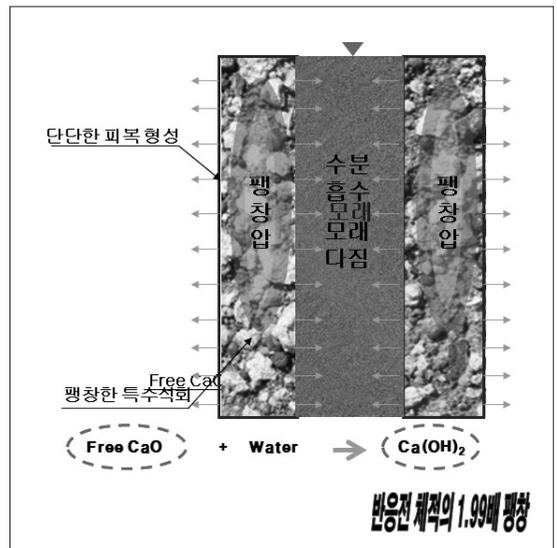


그림 1. CMD SOIL의 팽창 매커니즘

도 발현 성질, 플라이애시의 유동성과 급결성 등의 특성을 활용하여 요구 성능별 배합 조정이 가능하며, 연약지반 등 대상 지반과 반응하여 단시간내에 안정한 경화체를 형성함으로써 토양이나 지하수, 해수 등의 자연환경을 오염시키지 않는 제품이다.

또한 기존의 순환자원이 단순 물리적 치환에 의한 원가절감 및 증량재 개념으로 소량 사용된 것과 달리 자극제의 활성화 매커니즘을 이용한 화학적 결합을 유도하여 제조하는 신개념의 지반고화제이다.

2.2 기술의 적용 범위

기존의 석회계나 시멘트계의 고화제와 달리 별도의 소성(燒成)과정 없이 순환자원을 주원료로 하는 무기결합재 제조 기술로서 황산염 및 알칼리 자극에 의한 비결정질 물질의 잠재수경성 및 포졸란 반응 활성화를 통해 지반을 개량 및 고화시키는 기술이다.

제조 공정은 크게 원재료의 전처리를 위한 공정과 무기결합재 제조를 위한 배합-계량-혼합-제품화 공정으로 나눌 수 있다. 무기결합재 제조 공정 중 필요한 연료는 석탄, 석유, 전력 등을 복합적으로 사용하는 시멘트에 비해 에너지 및 환경부하 절감이 가능하며, 소성공정이 필요 없어 CO₂ 발생량 또한 적다.

주차장 및 야적지, 말뚝 관입용, 지하수의 유동 및 침출수의 유출을 방지하기 위한 차수용, 연약한 지반 보강용 고화제로 널리 활용할 수 있다. 또한 고탍수 해성점성토로 구성된 간척지와 같은 연약지반의 안정처리 및 토공장비의 트래피커빌리티(trafficability)를 확보하기 위한 표층처리공법 등으로 적용이 가능한 기술이다.

2.3 기술의 성능

지반개량용 경화제의 요구성능 관련 기준 및 시방규정에 대해 분석한 결과 지반고화제에 대한 특정 기준은 없으며, 국내 현장에서는 적용 공법의 특기 시방서에 의한 요구 성능을 따르고 있다.

적용 공법 시방서 중 표층처리 공법 및 심층혼합공법(DCM공법) 모두 결합재로서는 보통 포틀랜드 시멘트, 고로슬래그 시멘트 KS 규격품 또는 그 이상의 결합재를 사용하도록 되어 있어, KS규준에 의거하여 지반고화제의 성능 실험을 실시한 결과, 아래의 표와 같이 모든 시험 항목에서 보통 포틀랜드 시멘트 및 고로슬래그 시멘트의 성능규준을 만족하고 있음을 확인할 수 있었다.

또한 CMD SOIL의 환경안정성을 평가하기 위하여 포틀랜드시멘트와 함께 폐기물공정시험법에 의한 중



그림 2. 생산시설 전경

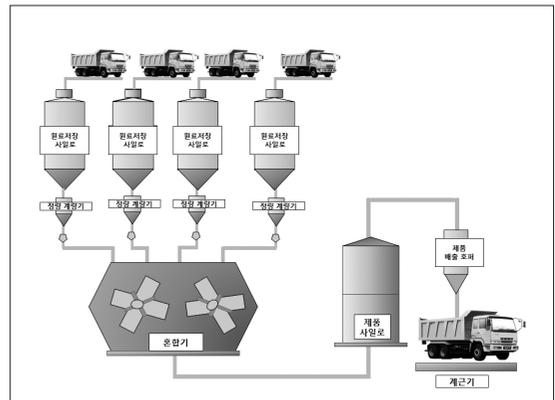


그림 3. CMD SOIL 제조 공정

표 1. CMD SOIL의 KS규격대비 성능

구 분			KS 규격		CMD SOIL
시험항목		단위	포틀랜드 시멘트 1종	고로슬래그 시멘트 2종	
분말도	비표면적	cm ² /g	2,800 이상	3,000 이상	4,022
응결도	초결	분	60 이상	60 이상	280
	종결	시간	10 이하	10 이하	7.2
안정도	오토 클레이브	%	0.8 이하	0.2 이하	0.05
압축강도 (MPa)		3일	12.5 이상	10 이상	21.0
		7일	22.5 이상	17.5 이상	30.1
		28일	42.5 이상	42.5 이상	54.9
화학 성분	MgO	%	5.0 이하	6.0 이하	2.75
	SO ₃	%	3.5 이하	4.0 이하	1.83
	강열감량	%	3.0 이하	3.0 이하	1.00

금속 함량 분석을 공인시험기관에 의뢰한 결과 CMD SOIL은 모든 항목이 검출되지 않았으며(표 2), KS I 3217의 '70 여류에 의한 급성 독시험' 시험법에 근거하여 여독성 평가 수조를 제작하고, 시험법 중 사용 수조의 오염도 측정을 제외하고 공시어의 폐사를 관찰하는 간이 실험을 실시하였다.

실험 결과, 비교 평가를 위해 보통 포틀랜드 시멘트

표 3. 환경안정성평가(어독성)

	포틀랜드 시멘트	CMD SOIL
실험 시작		
120 시간 경과		

표 2. CMD SOIL의 폐기물공정시험

(단위:mg/L)

구 분	판정기준	검사결과	
		CMD SOIL	포틀랜드 시멘트
납 또는 그 화합물	3.0 이하	불검출	불검출
구리 또는 그 화합물	3.0 이하	불검출	불검출
비소 또는 그 화합물	1.5 이하	불검출	불검출
수은 또는 그 화합물	0.0050이하	불검출	불검출
카드뮴 또는 그 화합물	0.3 이하	불검출	불검출
6가크롬 화합물	1.5 이하	불검출	0.82
시안화합물	1.0 이하	불검출	불검출
유기인화합물	1.0 이하	불검출	불검출
테트라클로로에틸렌	0.1 이하	불검출	불검출
트클로로에틸렌	0.3 이하	불검출	불검출
기름성분	5.0 이하	불검출	불검출

를 투입한 수조의 공시어가 시험 실시 120시간 경과 후 모두 폐사한 것과 달리, CMD SOIL을 투입한 수조의 공시어는 450 시간 경과 후에도 변화가 보이지 않아, CMD SOIL이 보통 포틀랜드 시멘트 보다 환경에 미치는 유해성은 미미할 것으로 판단되었다.

3. 현장 적용 사례

3.1 D.C.M공법 적용 결과

1) 공사 개요

연약지반 개량제로서 심층혼합처리공법에 적용한 현장적용 공사의 개요는 아래와 같다.

- 현장명 : H석유화학 3단지(2D, P2, P2(4PE)-Project)연약지반보강공사
- 현장위치 : 전라남도 여수시 중흥동
- 공법 : D.C.M.
- 공사규모 : 규격Ø1,000 (4축), Total 16,860m



그림 4. 시공 위치



그림 5. 현장 전경

2) 현장 개요

적용 현장의 지층은 양질의 표토가 지표면에서 -0.5m까지 덮혀있으며, -6.0m까지 준설토(해성점토)로 매립되어 있는 초연약지반으로, 바다에 인접해 있으며 지하수위가 G.L. -1.0m 로 지표면 근처에 위치하고 있다. 또한 지반이 유기물을 많이 함유하고 있어서 수화반응 시 CI와 유기물에 영향을 받는 보통 포틀랜드 시멘트의 사용이 지양되었다. 따라서 해수의 저항성이 크고, 신속한 탈수반응을 통하여 경화체를 형성할 수 있는 본 개발 고화재의 사용이 요구되었다.



그림 6. 시공 전경

3) 평가 항목

DCM 공법은 개량체를 직접 확인하면서 시공할 수 없고 재시공이 곤란하기 때문에, 시공 중에 실시간으로 시공 상황을 파악할 수 있는 관리시스템을 이용해 교반기 승강속도 및 회전수, 고화재의 토출방식, 선단 처리 방식, 착저층 심도 등을 관리해야 한다.

시공관리를 통한 DCM 시공후에는 설계시 결정된 품질확보 여부를 파악하기 위해 확인조사를 통해 채취된 DCM 개량체 코어로 개량체의 연속성을 조사하고, 일축압축강도시험으로 설계시 설정한 강도와 비교하였다.

또한 DCM공법으로 시공된 구간의 지반개량여부를 판단하기 위해 지반의 전기적 물성차이에 의한 전위차를 측정하고 뒤 지층을 영상화하는 전기비저항탐사를 실시하였다.

4) 시공 배합

시방서 기준 실내배합실험을 실시하여 시공시 기준

표 4. 시공배합비 1

고화재 사용량(m ³ 당)	250kgf	300kgf	350kgf
물 : 고화재비	0.8 : 1.0	0.9 : 1.0	1.0 : 1.0

표 5. 시공배합비 2

MIXER PLANT BATCH 당 고화재 배합표				
구분	물 : 고화재 비	고화재	물	물+고화재
무게 (kg)	0.8:1.0	400	320	720
	0.9:1.0	400	360	760
	1.0:1.0	400	400	800

이 되는 배합비를 선정하였다. 선정 기준에 의해 시공 시 고화재 400, 물 320의 중량비로 자동믹서 플랜트에서 자동계근 장치에 의해 자동 배합되었다.

5) 적용 결과

고화재의 현장 적용 후 소요강도를 확인하기 위하여 일축압축강도 시험용 공시체를 제작하였으며, 강도는 재령 7일, 28일로 하여 공인시험기관에 일축압축강도 시험을 의뢰하였다. 또한, 시험시공 후 재령 40일에 개량체 형성 확인을 위한 보링을 실시하였다.

표 6. 일축압축강도 시험결과

재령(일)	시험결과(MPa)	시험방법
7일	1.06	KS F 2328
	1.08	
	1.01	
평균	1.03	
28일	2.58	
	2.36	
	2.39	
평균	2.44	

표 7. 개량토의 환경안정성 평가 (단위:mg/L)

구분	판정기준	검사결과
납 또는 그 화합물	3.0 이하	불검출
구리 또는 그 화합물	3.0 이하	불검출
비소 또는 그 화합물	1.5 이하	불검출
수은 또는 그 화합물	0.005이하	불검출
카드뮴 또는 그 화합물	0.3 이하	불검출
6가크롬 화합물	1.5 이하	불검출
시안화합물	1.0 이하	0.01
유기인화합물	1.0 이하	불검출
테트라클로로에틸렌	0.1 이하	불검출
트클로로에틸렌	0.3 이하	불검출
기름성분	5.0 이하	불검출

D.C.M 공법의 설계강도는 1.5이며, 현장요구강도는 0.75(재령 28일)이다. 시험결과 일축압축강도는 표 6과 같이 재령 7일에 1.03, 재령 28일에 2.44로 확인되었다.

개량토의 환경안정성을 평가하기 위하여 폐기물공정시험법으로 지반개량체의 샘플을 채취하여 공인기관에 시험 분석을 의뢰한 결과 모든 검사항목에서 기준치를 만족하였다.(표 7)

DCM 시공구간 중 일별로 2개소씩 4개소를 대상으로 확인보링을 실시하여 개량체의 형성과 일축압축강도를 확인한 결과, 시공심도 6.0m 에서도 경화된 연약지반 개량체를 확인할 수 있었다.

이는 개발고화재가 해수 저항성이 뛰어나며, 지하수위가 높은 지반에서도 신속한 탈수반응과 수화반응으로 안정적인 경화체를 형성되고 있음을 나타내는 것으로, 보통 포틀랜드 시멘트계 고화재의 응결지연 및 강도 저하의 문제점을 해결한 것으로 판단되었다.

DCM공법으로 시공된 구간의 지반개량여부를 판단

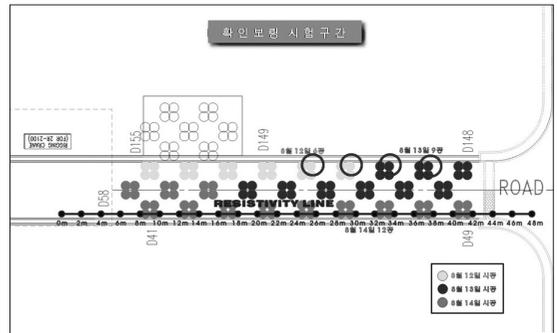


그림 7. 확인보링 시험구간도



그림 8. 보링시험 전경

하기 위해 지반의 전기적 물성차이에 의한 전위차를 측정하고 지층을 영상화하는 전기비저항탐사를 실시하였다.

전기비저항 탐사에서는 탐사의 목적과 규모 및 현장여건에 따라 가장 적합한 전극배열법을 선택하여야 한다. 본 탐사에서는 과업목적상 높은 분해능이 요구되며, 잡음의 영향을 줄이기 위해서 강력한 전류원이 필요하여 적절한 가탐심도가 되도록 전극간격을 2.0m(연장 48m)로 측정하였다. 전극채널, N(전개계수)는 각각 25개, 8개로 탐사를 수행하였다.

해석은 Res2dINV VER 3.54의 프로그램을 이용하여 반복적 비선형 최소자승법(Least-squares Inversion)을 사용하였다. 흙 및 암석의 전기비저항은 다음과 같이 Archie의 실험식으로 나타낼 수 있다.

$$\rho = \frac{\rho_w}{P^m S^2}$$

여기에서 ρ_w 는 간극수의 전극비저항, P는 간극률, S는 포화도, 지수 m은 고결지수(cementation factor)이다.

탐사결과를 해석하여 그림 10에 나타냈으며, 본 측선의 하부는 과거 해양준설토를 매립한 지층으로 염분을 많이 포함하는 지층이다. 해수의 전기비저항은 0.18~0.24Ωm로 매우 낮으므로 해수의 영향을 많이 받는 준설매립층 역시 비저항이 매우 낮게 나타난다.

지표면에서 1.0~2.0m미만 구간은 전기비저항이 3.0~15.0Ωm의 내외로 하부 DCM시공구간보다 비슷하거나 높게 나타난다. 이는 DCM공법 시공시 지표상부를 터파기한 후 다시 외부 토사로 되메움 하였기 때문으로 판단된다.

지표면에서 1.0~7.0m구간은 DCM 시공부로 추정되며 전기비저항이 3.4~7.7 내외로 측정되었으며 DCM 주변의 준설매립구간(0.98~1.57Ωm)보다 다소 높게 나타났다.



그림 9. 전기비저항 탐사 전경

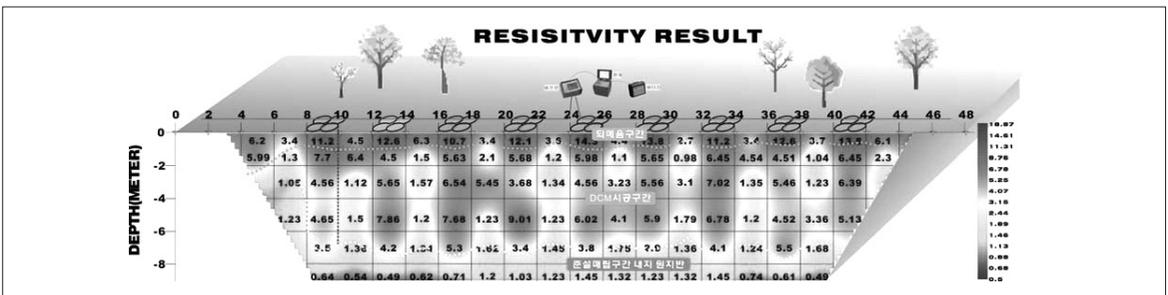


그림 10. 전기비저항탐사 결과

지표면에서 7.0m이하구간은 전기비저항이 0.49~1.45Ωm 내외로 준설매립구간 내지 원지반(해양퇴적층: 점토, 모래 등)으로 판단된다.

3.2 연약지반 표층처리공사 적용 결과

1) 공법 개요

일반적으로 준설매립지와 같은 해안에 인접한 초연약지반을 개량하는 경우는 우선 지반개량용 작업장비의 주행성을 확보하기 위하여 표층개량이 실시되고, 이후 심층개량이 실시된다. 초연약 점성토 지반에서 건설장비의 주행성 확보를 목적으로 사용되고 있는 표층고화처리공법은 지반의 표층부분을 대상으로 시멘트 및 생석회와 같은 고화재를 주재료로 하여 원지반과 교반·혼합한 후 고화재의 화학적인 고결작용을 이용하여 지반의 강도, 변형특성 및 내구성 등을 개선하는 지반개량 공법이다. 일반적으로 표면에서 0.5~2m 정도의 범위 내에서 실시하게 된다. 이러한 표층고화처리공법은 지반 속에 강성이 큰 구조체를 형성하며 개량지반은 2층 지반의 형태가 되어 구조적으로는 불연속면이 된다. 표층개량공법의 메커니즘은 주로 투입되는 고화재의 화학적 성분에 의한 것으로 고화재의 성분구성과 대상토질에 의하여 고화효과가 다르게 나타난다.

2) 일반연약지반 표층처리 공사

가. 현장토 채취를 통한 일축압축시험 결과

서울 마곡지구 H건설 신축현장 연약지반을 고화재로 개량하기위해 원지반과 고화재첨가에 따른 개량토의 일축압축시험을 수행하였다. 현장토와 고화재를 중량비 10%로 섞어 일주일간 고화시킨 후 3개의 시료를 가지고 평균값을 측정하였다.

토공작업에 필요한 덤프트럭과 같은 장비는 콘지수가 10 이상으로 매우 큰 지지력을 요한다. 따라서, 덤프트럭 이상의 건설장비의 주행성확보를 위한 고화처리지반의 일축압축강도는 0.2MPa 이상으로 목표강도

를 설정하는 것이 필요한 것으로 판단된다. 또한, 이 기준에 의하면 일주일동안 고화시킨 시료의 일축압축강도가 약 1.2MPa이므로 충분한 강도를 나타내고 있다.

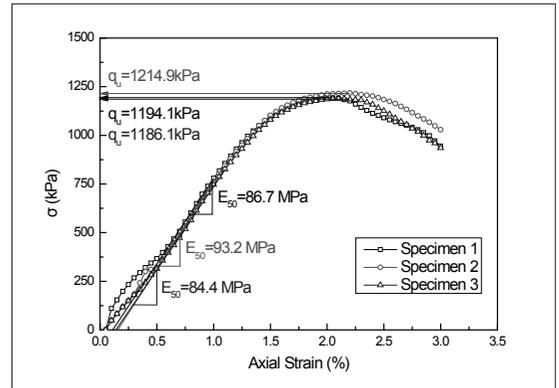


그림 11. 개량토의 축변형율과 일축압축강도 관계

표 8. 직접전단시험 결과

종 류	c(tf/m ²)	φ (°)	비고
원지반	0.5	20	원 설계도서
개량토	18.1	43	실내시험

나. 직접전단시험

원지반 및 고화 처리지반의 지지력검토에 필요한 지반정수(c, φ)의 산정을 위해 실내 직접전단시험을 실시한 결과 표 8과 같다. 개량토의 점착력과 내부마찰각이 대폭 상승하여 고화재의 개량효과를 보여주고 있음을 알 수 있다.

다. 시공 계획

지반은 도로교와 달리 강성체가 아닌 소성체이므로 유효접지면적을 고려할 수 없으므로, 장비의 접지압은 타이어 접지면적을 이용하여 산정하였다. 접지압 산정결과 향타장비인 DH608, DH658, DH758은 철판 사용시(접지압 13.0, 14.8, 17.6) 25톤 덤프 트럭(공차시 18.8)으로 대체하여 시험시공 결과를 검증할 수

표 9. 항타장비 및 철판 제원

장비명	궤도 규격(m)		최대하중 (tf)	충격계수	설계하중 (최대하중× [1+충격계수])	철판 미사용시 한쪽 궤도 설계하중 (설계하중×0.75)	접지압(tf/m ²)	
	폭	길이					철판 사용시	철판 미사용시
DH608	0.8	4.9	120	0.3	156.0	117.0	13.0	29.8
DH758	0.8	5.225	162		210.6	158.0	17.6	37.8

있을 것으로 판단하여 개량지반의 장비 주행성을 평가 하였다.(단, 모두 3축 조건임.)

연속기초 지지력 산정방법인 Meyerhof & Hanna (1978) 식을 이용한 개량 심도 산정결과 DH608에 대한 개량심도는 0.7m이며, DH758에 대해서는 0.9m의 개량이 필요할 것으로 나타났다.

라. 시공 결과

일반적으로 혼합장비는 백호장작 교반용 스텔빌라 이저를 사용하나 본 현장적용시에는 장비 반입이 어려워 일반적인 백호 굴삭용 버켓을 사용하였다.

현장개량토의 샘플을 채취하여 성형한 공시체의 압

축강도를 측정된 결과 7일 강도는 1.4MPa으로 현장 목표압축강도인 0.2MPa의 약 7배를 상회하는 결과를 나타내었다. 덤프트럭을 이용한 장비주행성 시험결과 또한 25톤 덤프트럭 공차 뿐만 아니라 15톤 덤프트럭 만차(접지압 약 52.2tf/m²)의 경우에도 주행성도 매우



그림 12. 현장적용 전경

표 10. 대체 장비 제원

구분		바퀴 규격(m)		최대하중 (tf)	충격계수	설계하중 (최대하중×[1+충격계수])	뒷바퀴 하중 (tf)	접지압 (tf/m ²)	비고
		폭	길이						
15톤 덤프	공차	0.24	0.60	11.2	0.3	14.6	3.2	22.5	대우 15t
	만차	0.24	0.60	26.0		33.8	7.5	52.2	
25톤 덤프	공차	0.29	0.70	13.2		17.2	3.8	18.8	볼보 24t
	만차	0.29	0.70	37.4		48.6	10.8	53.2	

표 11. 개량지반의 지지력 평가 결과

장비명	H	q _b	q _u	q _a	σ _z	평가	장비명	H	q _b	q _u	q _a	σ _z	평가
DH608	0.3	12.5	26.0	17.4	29.8	NG	DH758	0.3	12.5	26.0	17.4	37.8	NG
	0.5	14.7	37.7	25.1		NG							
	0.7	16.9	49.8	33.2		OK							
	0.9	19.0	62.3	41.5		OK							

양호하게 나타났다. 따라서 고화층의 지지력은 충분히 발휘된 것으로 분석되었다.

3) 해상점토지반 표층처리 공사

적용 현장은 경남 거제시 연초면 한내리의 S사 공장 A구역으로 바다에 접해있는 연약지반으로서 해수의 유통이 발생되어 지하수위가 유동적이며 지하수위가 높고 고함수상태를 유지하고 있다.

본 시공현장은 지내력이 충분하지 않아 심층고화 시 공장비의 주행 및 시공이 불가능한 상태로, 잡석다짐 또는 표층고화를 실시하여 소요 지내력의 확보가 필요하였다. 잡석다짐의 경우 현장지반의 조건에서는, 잡석의 자중과 다짐층의 인장력보다 지반이 무르기 때문에 시공장비의 주행 및 작업으로 집중하중이 발생되면 지속적인 침하 발생이 예상되었다. 따라서, DCM 시공 장비(DH-758)의 원활한 시공을 위해서는 ‘고함수 해상점토’, ‘조수간만의 차에 의한 지하수위 변동’이라는 현장여건에 맞는 맞춤형 표층처리용 고화제가 요구되었다.

본 고화제의 적용결과 아래의 그림과 같이 고화제의 우수한 탈수 성능과 조기강도 발현 특성으로 중장비의 주행이 불가능한 초연약 지반을 표층고화하여 재령 1일 만에 중장비의 주행이 가능하였다.



그림 13. 현장 전경



그림 14. 시공 전경

4. 결 언

시멘트 사용으로 인한 환경부하 및 환경오염을 저감시키는 동시에 지반재료의 사용목적에 따른 요구 성능에 부합하는 연약지반 개량용 경화제인 CMD SOIL의 성능 및 현장적용 결과 확인할 수 있는 장점은 토사와의 반응성이 우수하여 응결지연 현상이 없어 현장적용성 및 시공성이 우수하며, 유해 중금속인 Cr⁶⁺ 등의 용출이 없어 친환경적인 점 등으로 파악되었다.

또한, 본 기술의 개발로 인하여 기존 시멘트 및 생석회의 일부 대체를 위해 기존의 재료를 수득되는 상태에서 단순 혼합 및 가공하는 수준에서 벗어나, 각각의 특성을 가진 원료를 공정처리를 통해 가공하고 최적비율로 조합하여 고기능성 소재로 개발하는 단계로 진보해 나갈 것이다. 즉, 순환자원을 복합적으로 사용하고 단순한 물리적 치환이 아닌 화학적 결합을 유도하였기 때문에 저가의 분말형 고화제의 제조가 가능하며, 초연약 지반을 조기에 처리하여 후속 공정작업의 지연을 방지함으로써 지반 조성공사의 경우에 부지 이용 시기를 앞당길 수 있다.

감사의 글

본 논고는 국토교통부 지원 “환경친화적 준설토 확보, 매립 및 이송기술 개발 연구단”의 일부 성과로 연구를 지원하는 국토교통과학기술진흥원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 김흥기, 초연약 해상점토성의 표층 고화처리를 위한 제지회 활용에 관한 연구, 전북대학교 박사학위 논문, 2006
2. 문경주, 산업폐기물을 이용한 비소성 시멘트 및 콘크리트의 특성, 전북대학교 박사학위 논문, 2004