Compaction Grouting System에 의한 철도역사건물 파일기초보강효과
A Reinforcement Effect of Pile Foundation by Compaction Grouting System in Railroad Station Building

천병식* 최승권** 도종남*** 성화돈***
Chun, Byung Sik Choi, Seung Kwon Do, Jong Nam Sung, Hwa Don

ABSTRACT

By the countermeasure which is caused by with railroad station ground settlement it applied a CGS in each independent foundation. The effectiveness of the ground improvement and the bearing capacity of the compaction pile has been verified by the Cone Penetration Test(CPT) and Load Test. Test result show that penetration resistance and the cone friction force increased a lot and settlement 13.475mm as the standard settlement 40.0mm appeared at below. Also uniaxial compression test result 278kg/cm^2 as the standard 150kg/cm^2 appeared far a lot.

1. 서론

최근 우리나라는 고속철도, 인천 국제공항, 도심지 지하철, 서·남해안 항만공사 등 대규모 국가 건설공사가 진행되었으며, 아울러 시공도중 터널붕락, 주변지반 및 인접구조물의 부등침하, 측방유동에 의한 구조물의 변위 및 손상 등 기존의 주입공법들이 본질적으로 안고 있는 문제점들이 많다. 현재 국내에서 일반적으로 쓰여지고 있는 주입공법들은 지반개량 원리가 약액의 침투고결, 시멘트계의 맥상고결, 고압분사방식에 의한 배출치환 등이지만, Compaction Grouting System(CGS)은 slump치가 거의 없는 Soil-Cement의 몰탈을 주재료로 하여 '비배출치환'이라는 독특한 원리로 주입하는 공법이다. 본 공법은 몰탈을 이용한 지반내에서의 정적다짐효과를 통하여 지반밀도 증대를 도모하는 비배출치환공법이므로 저공해, 저소음, 내구성 확보뿐만 아니라 주입 고결체의 강도가 매우 높아 건물의 기초파일로 사용될 정도로서 기존의 고압분사주입공법 등 타공법에 비하여 장점이 많은 공법이다. 본 공법은 근래 국내에서 도입되어 지반개량, 폐광충전재, 항만공사 등에 폭넓게 사용되고 있지만, 아직까지 본 공법에 대한 이론적인 이해가 불확실한 실정이다.

따라서 본 연구는 기초지반이 연약한 부지의 구조물 기초 pile 보강공사를 위하여 수행된 CGS 시공현장에 대한 시공결과를 분석하여 본 공법의 효과를 검증하는데 목적이 있다.

* 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수· 공학박사 ·E-mail : hengdang@unitel.co.kr
TEL : (02)2220-0326 FAX : (02)2281-0378
** 두산산업개발(주) 부장
*** 한양대학교 대학원 토목공학과 석박사과정

2. 이론적 배경

CGS공법이란 그림 1에서 보는 바와 같이, 비유동성의 몰탈형 주입재를 지중에 압입하여 원기둥 형태의 균질한 고결체를 형성함으로서 주변지반을 압축강화시켜 지반밀도를 증대시키는 지반개량공법으로서, 1950년대 초 미국 캘리포니아주의 주입기술자들이 Low Slump Mortar형 주입재를 이용한 실험을 시도하던 중 재하중을 받는 구조물 하부의 몰탈이 기초지반을 가압하여 느슨한 토질의 밀도를 증대시킨다는 사실에 착안하여, 주입용 pipe를 이용한 인위적인 밀도 증대 방안을 고안하게 된 것이다. 이러한 독특한 주입기술은 기존의 주입공법과는 달리 흙을 다지는 효과가 있어 'Compaction Grouting'이라고 명명되었고, 현재는 Low Slump Mortar Grouting 또는 Limited Mobility Displacement Grouting 등으로 불리우고 있으며, 국내에서는 CGS공법으로 잘 알려져 있다(천병식, 2005).

1980년 ASCE의 Grouting 위원회에서는 본 공법을 다음과 같이 정의하였다. "Compaction Grout는 Slump가 1 inch(25mm) 이하인 주입재이다. Soil-Cement가 기본재료이며, 주입재의 소성확보를 위한 충분한 세립토(실트질 크기)와 내부 마찰각 증대를 위한 조립토(모래질 크기)로 구성된다. 이 주입재는 주변지반의 공극 속으로 침투되는 것이 아니라 지중에 균질한 구체를 형성하면서 지중에 방사형으로 압력을 가하여 주변지반의 압축변형을 조절하거나 구조물을 복원하는 것이다"(J. Wane, 1968)

기존의 약액이나 시멘트계 주입재는 암반의 절리나 파쇄대, 흙의 공극을 충진시키면서 지반강도증대 또는 차수 등의 목적으로 이용되지만, 비유동성의 주입재가 지반에 덩어리째로 들어가 균질한 고결체를 형성시키고 지반밀도를 증대시키는 등의 다짐효과를 발휘한다는 생각은 하지 못하였는데, 점차 이러한 주입기법이 유용하고 응용범위가 넓다는 사실을 인식하게 되었다.

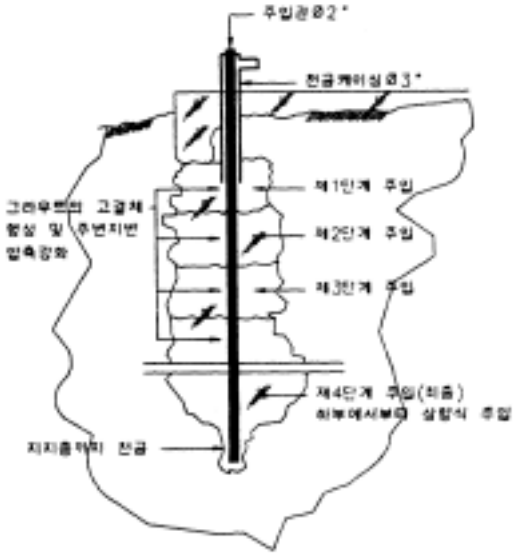

그림 1. CGS 주입 형태

CGS공법은 기존의 주된 3가지 주입방식, 즉 시멘트계의 맥상고결, 약액의 침투고결, 고압분사방식에 의한 배출치환 등과는 전혀 다른 '비배출치환'이라는 독특한 원리의 주입공법이다.

3. 현장시험 및 실내시험

3.1 현장조건 및 지반현황

○○ 철도역사는 지상 3층과 지하 1층의 철근콘크리트 구조물(연면적 3,493.47m2)로 기초부는 7-Type의 독립기초 군으로 되어 있으며, 총 47개소의 기초군으로 구성되어 있다. 독립기초는 강관파일로 지지되어 있으며, Footing별 현황은 표 1과 같다(덴버코리아그라우팅(주), 1999).

표 1. 기초형식별 CGS 보강 내용

기초구분	기초크기	말뚝개수	총 설치개수	C.G.S 시공개수
F-1	2.6×2.6×1.0	5 EA	23 EA	4공/1EA
F-1A	3.4×2.2×1.2	6 EA	3 EA	4공/1EA
F-2	2.2×2.2×1.0	3 EA	5 EA	3공/1EA
F-4	1.2×1.2×1.2	1 EA	8 EA	2공/1EA
F-5	-	13 EA	2 EA	-
F-6	-	10 EA	2 EA	-

* 강관말뚝 : 총 237개, ϕ406.4mm, t=9mm, 타입심도 40m(풍화암층), 허용지지력 75 ton/EA

지층구성은 상부로부터 매립층, 점토층, 모래층, 모래자갈층, 풍화암층 순으로 되어있으며, 매립층은 자갈, 전석, 생활쓰레기가 혼재되어 있으며, 점토층은 N치가 6이하인 연약한 지층이다. 쓰레기 매립층 평균두께는 6.6m(자갈전석층 포함), 연약층 평균두께는 24.4m이며, 지하수위는 평균 GL(-)1.7m이다.

3.2 현장시험시공 및 현장시험

3.2.1 시험시공 내용

시험시공시 CGS공의 배치는 그림 2와 같다.

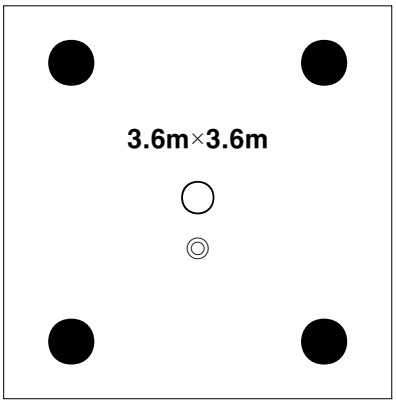

그림 2. 시험시공 CGS 배치도

3.2.2 피에조콘 시험

CGS 말뚝은 원지반을 압축시키면서 지반을 개량시키므로 피에조콘 시험을 통해서 주입 전·후의 지반강도 증가를 확인하여 CGS 시공효과를 파악하였다(한국지반공학회, 2005).

Piezocone 시험결과, 그림 3에서 보는 바와 같이, CGS 시공 후 대상지반은 심도에 따라 관입저항치(Qc) 및 콘마찰력 등이 크게 증가한 것으로 조사되었다. 이는 점토지반의 점착력 증대 및 밀도 증대 등의 지반개량효과를 나타낸다.

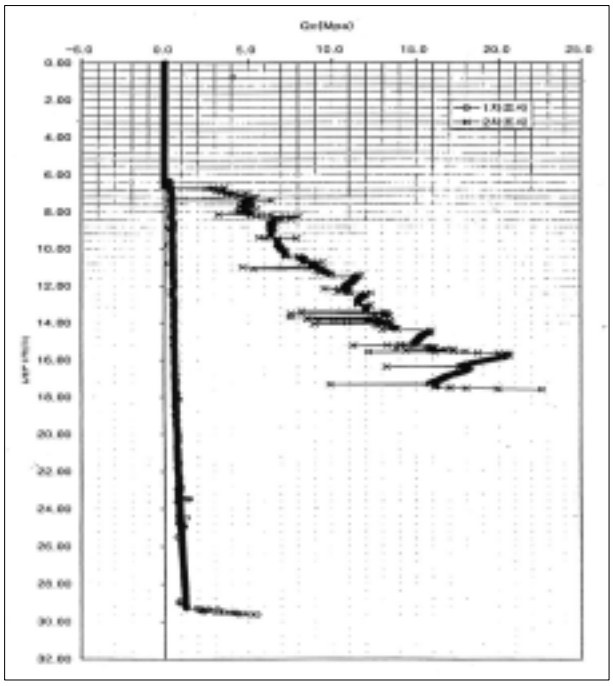

그림 3. 주입 전·후 콘저항력 비교도

3.2.3 CGS 말뚝재하시험

CGS 말뚝의 허용지지력 및 침하량 측정을 통한 설계하중의 만족여부를 판정하고자 ASTM 표준재하법으로 정재하시험을 실시하였고, 그 결과는 표 2와 같다.

표 2. 하중-침하량 곡선을 이용한 지지력 결과

분 석 방 법		항복,극한 지지력 (ton/본)	F.S	허용지지력	비 고
항복하중 분 석 법	logP-logS	86.85↑	2.0	43.43↑	최대하중을 최소항복하중으로 가정
	P-S	86.85↑	2.0	43.43↑	
	S-logt	86.85↑	2.0	43.43↑	
	P-ΔS/logt	86.85↑	2.0	43.43↑	
	Davisson	86.85↑	2.0	43.43↑	전침하량이 탄성변위량 이하
최소허용지지력		43.43 ton/본			

3.2.4 Core채취 및 일축압축강도시험

CGS 파일의 형성심도와 지중에서 양생된 파일의 일축압축강도를 확인하기 위하여 주입후 28일이 경과한 지점에서 CGS고결체의 Core를 채취하여 시험편을 제작한 후, 일축압축강도 시험을 실시하였다.

Core 회수율 및 일축압축강도 시험결과는 표 3과 같다.

표 3. Core회수율 및 강도

공 번	주입길이 (m)	Core 회수 길이	T.C.R	일축압축 강도	설계소요 강도(σck)
시험시공	38	36.8m	96.8%	278	150kg/cm^2 이상
본 시공 No. 131	33.5	32.6m	97.3%	292	
본 시공 No. 146	37.5	35.4m	94.4%	286	

4. 결론

CGS 공법의 실제 보강공사 현장의 지반개량효과를 분석하기 위해 실시된 일련의 실험을 수행한 결과를 요약, 정리하면 다음과 같다.

(1) 피에조콘시험결과 CGS 시공 후 대상지반은 심도에 따라 관입저항치(Qc) 및 콘마찰력 등이 크게 증가한 것으로 조사되었다. 이는 점토지반의 점착력 증대 및 밀도 증대 등의 지반개량효과를 나타낸다.

(2) 말뚝재하시험 결과인 하중-침하 곡선을 살펴보면 하중증가에 따라 침하량이 미소량씩 증가하는 직선적인 지지거동을 보여주고 있으며, 최종하중 재하시에도 항복 및 극한하중이 나타나지 않았다. 전침하량이 13.475mm로서 전침하량 기준(40.0mm)이하로 나타난 바, 전침하량 분석법에 의한 항복하중은 최소 86.85ton/본 이상으로 산출되어 설계하중 42.0ton/본을 만족하는 것으로 나타났다.

(3) 일축압축강도 시험결과 시험시공시 278kg/cm^{2}로 설계소요강도인 150kg/cm^2 보다 훨씬 크게 나타났다.

(4) CGS 공법은 지반개량 효과 및 주입 고결체의 강도가 우수하여 철도 노반 보강, 터널주변 지반 보강 등 향후 각종 건설현장에서 적용성이 매우 높을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

(1) 덴버코리아그라우팅(주)(1999), “울산역 본체 기초지반보강공사 결과보고서”, pp. 12~17

(2) 한국지반공학회(2005), “지반공학 시리즈 연약지반”, pp. 10~19

(3) 천병식(1995), “최신 지반주입 이론과 실제”, 원기술, pp. 235~240

(4) J. Wane.(1968), "Compaction Grouting - A Significant Case History", ASCE, Vol. 94, No. SM4, pp. 951~979