

C.G.S공법에 의한 기초지반 보강 Reinforcement of the Foundation using C.G.S

천병식¹⁾, Byung-Sik Chun, 권형석²⁾, Hyung-Seok Kwon, 정의원³⁾, Uwi-Won Joung

¹⁾ 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Hanyang University

²⁾ 한양대학교 대학원 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Hanyang University

³⁾ 한미기초개발주식회사 이사, Director of Hanmi Co.

SYNOPSIS : While the Grouting has been used to reinforce the foundation of structures in wide range of application, there need complementary measures against problems such as pollution, durability, influence on the adjacent structures. Compaction Grouting, the injection of a very stiff, 'zero-slump' mortar grout under relatively high pressure, displaces and compacts soils. It can effectively repair natural or man-made soil strength deficiencies in variety of soil formations.

In this paper, on the basis of the case history constructed in this year, a study has been performed to analyze the basic mechanism of the Compaction Grouting. Also, the effectiveness of the ground improvement and the bearing capacity of the Compaction Pile has been verified by the S.P.T and core strength.

Keywords : compaction grouting, ground improvement, low slump grout, underpinning, densification, limited mobility displacement grouting, compaction pile

1. 서론

구조물 기초에 대한 보강의 필요성은 부적절한 조사·설계·시공에 의한 경우, 구조물의 증축에 따른 상부하중증가, 지하수위 저하에 따른 기초지반 침하 또는 유수에 의한 기초세굴등 기초주변환경변화에 기인한 경우도 있다.

이러한 구조물 기초지반의 보강대책으로서 Grouting공법이 시공성과 효율성 및 경제성 등의 이유로 많이 사용되고 있는 실정이며, Grouting공법은 주입장비, 주입방식 및 주입재 등에 따라 수 많은 종류의 공법들로 분류되고 있다.

현재 국내에서 일반적으로 쓰여지고 있는 주입공법들은 지반개량원리가 약액의 침투고결, 시멘트계의 맥상고결, 고압분사방식에 의한 배출치환 등 주입고결과 교반원리를 주로 사용하지만, 공해, 내구성, 주입효과증대, 인접구조물 손상 등 주입공법들이 본질적으로 안고 있는 문제점들을 보완할 수 있는 효과적인 기초지반보강을 위한 예방 및 대책방안이 필요한 실정이다(천병식, 1995).

Compaction Grouting System(C.G.S)은 slump치가 거의 없는 Soil-Cement의 몰탈을 주재료로 하여 '비배출치환'이라는 독특한 원리로 주입하는 공법이다. 본 공법은 몰탈을 이용한 지반내에서의 정적다짐효과를 통하여 지반밀도증대를 도모하는 비배출치환공법이므로 저공해, 저소음, 내구성 확보 뿐만아니라 주입고결체의 강도가 매우 높아 건물의 기초과일로 사용될 정도로서 기존의 고압분사주입공법 등 타공법에 비하여 장점이 많은 공법이다.

본 공법은 근래 국내에도 도입되어 지반개량, 폐광충전재, 항만공사 등에 폭넓게 사용되고 있지만, 아직까지 본 공법에 대한 이론적인 이해가 불확실한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 C.G.S공법의 기본 메카니즘을 이해하기 위한 이론적 접근과 함께, 기초지반이

연약한 부지의 구조물의 기초지반 보강공사를 위하여 최근 수행된 C.G.S시공현장에 대한 시공결과를 분석하여 본 공법의 효과를 검증하고 특성을 분석하고자 한다.

2. 공법개요

Compaction Grouting공법이란 비유동성의 몰탈형 주입재를 지중에 압입하여 원기둥 형태의 균질한 고결체를 형성함으로써 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, 주입용Pipe를 이용한 인위적인 밀도증대 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 Grouting등으로 불리고 있으며, 국내에서는 C.G.S공법으로 잘 알려져 있다(그림 1참조).

1980년 ASCE의 Grouting위원회에서는 본공법을 다음과 같이 정의하였다. "Compaction Grout는 Slump치가 1 inch(25mm)이하인 주입재이다. Soil-Cement가 기본재료이며 주입재의 소성확보를 위한 충분한 세립토(실트질 크기)와 내부마찰각 증대를 위한 조립토(모래질 크기)로 구성된다. 이 주입재는 주변지반의 공극속으로 침투되는 것이 아니라 지중에 균질한 구체를 형성하면서 지중에 방사형으로 압력을 가하여 주변지반의 압축변형을 조절하거나 구조물을 복원하는 것이다".

기존의 약액이나 시멘트계 주입재는 암반의 절리나 파쇄대, 흙의 공극을 충전시키면서 지반강도증대 또는 차수 등의 목적으로 이용되지만, 비유동성의 주입재가 지반에 덩어리채로 들어가 균질한 고결체를 형성시키고 지반밀도를 증대시키는 등의 다짐(compaction)효과를 발휘한다는 생각은 하지 못하였는데, 점차 이러한 주입기법이 유용하고 응용범위가 넓다는 사실을 인식하게 되었다.

C.G.S공법은 기존의 시멘트계의 맥상고결, 약액의 침투고결, 고압분사방식에 의한 배출치환 등과는 전혀 다른 '비배출치환'이라는 독특한 원리의 주입공법이다.

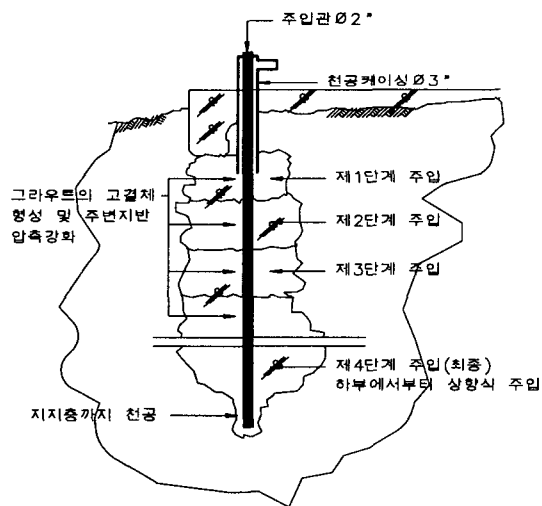
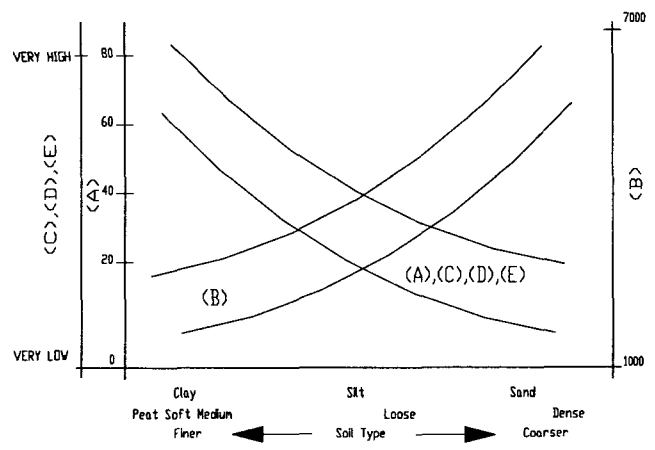


그림 1. C.G.S 주입형태



A : 주입재 점도 B : 주입압 C : 주입율
D : 주입량 E : 밀도증대효과

그림 2. 주입특성치와 흙의 종류와의 상관성

3. 설계와 시공

C.G.S공법의 주입설계의 첫 단계는 대상지반의 토질공학적 측면과 구조물의 구조적 문제점을 함께 이해하는 것이다. 이를 위해서 지반조사와 구조물에 대한 철저한 검토를 통해 공법의 적용성 및 적합성을 판단하여야 한다.

본 공법의 주요 설계 제요소는 주입재료, 주입압, 주입율, 주입량, 주입방식 등이며 설계시 고려되는 모든 제요소들은 주입고결체의 형상, 수압파쇄현상 등 주입효과에 지대한 영향을 주게 되므로 어느 한 가지 소홀함없이 세심한 주의를 필요로 한다. 그리고 주입효과의 극대화를 위해 시공현장에서 시험주입을 행하여 본 시공에 반영하는 피드백(feed-back)과정이 필요하다.

C.G.S공법에 대해서는 아직까지 설계 및 시공에 적용할 수 있는 주입재의 점성, 주입압, 주입율, 주입량 등과 같은 주입특성치와 흙의 토질공학적 특성치와의 상관관계가 이론적으로 정량화된 분석이 이루어지지 못하고 있지만, 현재까지의 시공경험으로부터 규명된 특성을 정리하면 그림 2와 같다.

이 그림에 의하면, 일반적인 주입재의 점도는 slump치 25mm를 기준으로 하지만, 피트, 연약한 점토나 실트질 점토와 같이 컨시스턴시가 낮은 흙에 대해서는 25mm의 slump치는 실제 시공시 유동성이 부족하다는 것을 알 수 있다.

주입압의 경우 흙의 종류에 따른 상관성이 다른 주입특성치들과는 정반대되는 성향-조립토, 상대밀도가 클수록 압력이 크게 필요함-을 나타낸다.

주입율과 주입량은 컨시스턴시가 낮은 흙에서 많고 컨시스턴시가 높은 흙에서는 적다. 따라서 주입에 따른 지반의 밀도증대효과도 흙에 따라 변화하게 된다.

3.1 주입재의 구성과 배합

본 공법의 재료배합시에는 내부마찰과 응력해방 메커니즘의 복잡한 관계를 바탕으로 주입재를 통제할 수 있는 유동학적 특성을 반드시 고려하여야 한다. 주입재의 유동학적 특성은 골재와 세립토의 입도조성과 주입재의 슬럼프 및 컨시스턴시에 의해 좌우되며, 특히 #200체(0.074mm)보다 작은 세립분의 경우 그 양의 조절에 각별히 주의하여야 한다.

주입재료의 선정, 배합시에는 반드시 골재 체분석시험을 통하여 입경가적곡선이 Ideal-Line(그림 6참조)에 근접하도록 해야 하며, 이는 재료분리, 펴핑한계, 고결체의 형상 및 수압파쇄현상 등에 근거하여 수많은 현장시험을 통해 얻어진 것이다(ASCE, 1997).

주입목적에 따라 주입재의 구성은 달라질 수 있는데, 주변지반의 조밀화 즉, 지반개량이 주된목적일 경우, 주입고결체 자체의 강도는 그다지 중요한 요소가 아니므로 시멘트는 섞지 않고 적당한 입도분포와 수분을 함유한 실트질 모래가 유리하다. 반면에 주입고결체를 말뚝 등의 구조요소로 이용할 경우, 고결체의 강도는 매우 중요한 요소가 되므로 소요강도에 적합한 양의 시멘트와 골재(일반적으로 직경 5mm 이하)를 첨가해야 한다. 그리고 현장의 여건에 따라 플라이애쉬, 벤토나이트, 카오리나이트 등과 화학첨가제를 사용할 수도 있다. 만일 세립분의 함량이 지나치게 많거나 물의 양이 많으면 주입재 자체의 내부마찰이 부족하여 유동성(슬럼프치 5cm 이상)을 가지게 되므로 Grease와 같이 거동하게 되고 고결체의 형상 및 주입재의 통제가 어려워지며 수압파쇄 등을 야기하여 주입효과는 크게 떨어지게 된다. 따라서 주입재는 될 수 있는 한 된반죽이 좋다. 그러나 세립분의 양이 너무 적고 골재나 모래의 양이 많으면 주입재의 내부마찰이 커서 주입시 펴핑이 곤란하게 되고 재료분리가 생겨 고결체의 균질성이 결여되고 주입관내에 Dry Packing 또는 Sand Blocking 현상이 발생하는 등 주입이 불가능하게 된다.

3.2 주입압

주입과정중 가해지는 주입압은 지반의 최대주응력과 최소주응력 상태를 복잡하게 변화시키며 주입관의 선단에서 최대가 되고 멀어질수록 감소한다. 또한 지반의 토질특성 및 상재구조물 하중등의 구속응력과 관계되며 지표면이나 구조물의 융기 등은 가장 일반적인 주입시공의 제한요소이다. 지표면의 융기가 관찰되면 콤팩션의 응력이 구속응력을 초과했음을 나타내며, 지반이 다짐이 되기보다는 파괴되었음을 의미하며 그 이후의 주입이나 최소한 그 단계의 주입은 실제적으로 큰 효과가 없다. 따라서 주입압의 상한(지표면이나 구조물의 융기를 일으키는 압력)은 현장여건에 맞게 설정되어야 한다.

3.3 주입량과 주입율

주입량이 많을수록 지반개량으로서의 주입효과는 좋으나, 정압주입개념으로 허용주입압을 통해 조절

해야 한다. 주입은 어느 정도의 펌핑간격(보통 6~10초)을 두고 행해지므로 펌핑시 1회 토출량을 미리 계량하여 총 주입량을 계산한다. 주입율은 펌핑간격으로 결정되는데, 주입율이 낮을 수록 현저히 많은 주입량이 주입될 수 있으며, 이는 주입에 따른 지반의 안정과 주입압의 자연소산에 걸리는 시간적 여유가 주어지기 때문이다. 따라서 주입율은 전적으로 현장의 토질특성에 의존되는 변수이며, 배수성이 나쁘거나 지표근처에서는 0.5~1.0ft³/min의 낮은 펌핑속도가 이용되며, 배수성 및 건조도에서는 1.0~4.0ft³/min의 중간 펌핑속도가 이용되고, 공극이 큰 느슨한 사질토에서는 4.0~12.0ft³/min 또는 그 이상의 빠른 펌핑이 가능하다.

3.4 주입방식 및 주입순서

본 공법의 주입방식에는 Top-Down방식의 하향 주입방식과 Bottom-Up방식의 상향 주입방식 및 두 방식의 조합형이 있다. 주입방식 결정시에는 개량 대상지반의 토질구성과 구조물의 구조 등 모든 현장 조건을 고려해야 하며 일반적으로 Top-Down방식은 천층개량 및 구조물 복원에, Bottom-Up방식은 지반개량에 주로 이용되며 가장 일반적이고 경제적이다.

주입공의 배치나 간격의 결정은 경제성이나 주입효과면에서 매우 중요하다. 일반적인 주입공 배치는 Gris형으로 바둑판 모양의 사각형이나 삼각형이 주가 되며, 주입공 간격은 대개 1.0~3.0m 이나, 시공목적에 따라 융통성있게 조절되고 흔히 1.5~2.0m를 적용한다.

구조물이나 대상 지반의 주변 둘레를 1차 주입공으로, 각 사각형모양의 주입공 중앙부에 2차 내지 3차의 주입공을 배치, 주입함으로써 목적하는 지반개량효과를 극대화시킬 수 있다. 그러나 미리 설정된 구조물 용기량의 허용치를 주입과정 중 반드시 계측하여 주입작업을 중지하고 다음의 주입공으로 옮겨 가는 등의 현장여건에 적합한 주입순서를 정하여야 한다.

4.시공사례 1 : 광주 00원료창고 기초지반 보강공사

4.1 현장조건 및 기초지반현황

본 사례현장은 광주시에 위치한 원료창고로서 1975년경에 준공된 건물로 건물구조체에 균열이 심하게 발생된 상태였다. 건물의 기초는 말뚝기초(Ø300, 콘크리트말뚝)로 지지되는 독립기초형식인데, 1997년도에 실시된 안전진단결과에 따르면 기초의 발생침하량은 약 5~10cm로 나타났다.

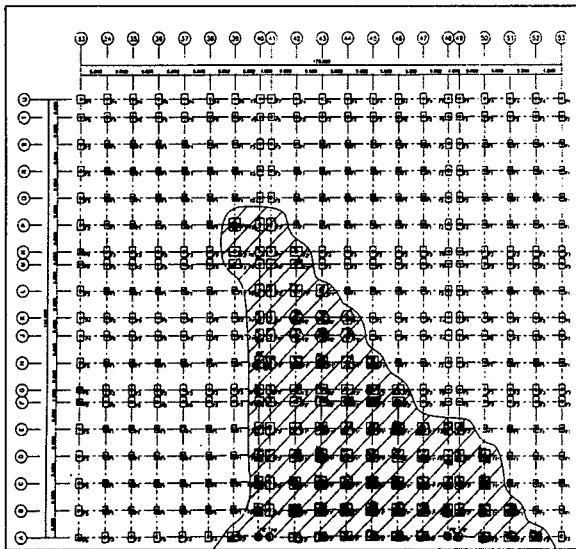


그림 3. 기초평면도

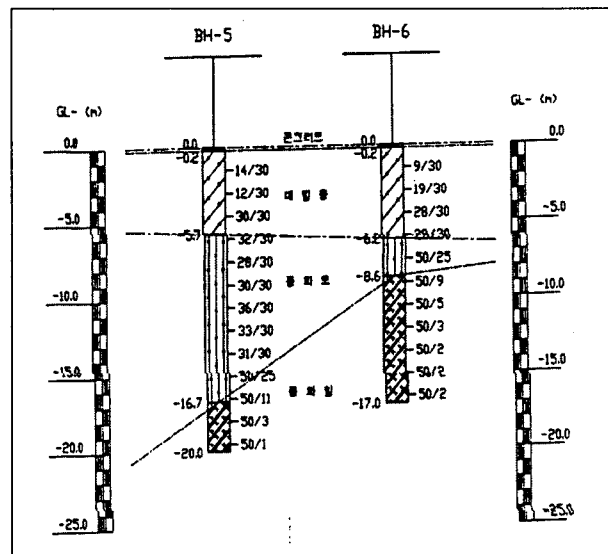


그림 4. 기초지반 지층단면도

대상 구조물의 면적은 170m×146m이고 총 418개의 독립기초로 이루어져 있으며, 이중 침하가 심하게 발생된 103개 기초에 대하여 C.G.S보강을 실시하였다. 시공된 C.G.S는 총 556공이며, 주입심도는 지지층인 풍화암층의 심도에 따라 10~21m의 범위를 나타냈다(그림 4 참조). 공사기간은 1998년 9월 하순부터 1999년 1월 초까지 약 3.5개월 소요되었다. 관련시추조사자료에 의하면, 본 구조물이 위치한 지역의 지층은 상부로부터 매립층, 풍화토층, 풍화암층, 연암층으로 구성되어 있다. 매립층은 세립질 또는 중립질의 모래 및 점토질이며 N치는 10~30회/30cm의 범위로 나타났으나, 금번 C.G.S보강공사시 확인한 상부 매립층의 층후는 GL-(5~7)m였으며 지반상태는 느슨한 상태로 나타났다. 풍화토층은 매립층하부로 부터 GL-(8~18)m까지 분포하고 있으며 N치는 30이상이다. 풍화암층이하에는 흑운모화강암을 모암으로 하는 풍화암층이 분포하며, 본 C.G.S보강공사의 주입심도는 풍화암층까지로 하였다.

4.2 C.G.S 보강설계 내용

C.G.S설계는 기본적으로 구조물의 총하중에 대하여 기존 콘크리트파일의 지지력을 보강하기 위한 것으로, C.G.S보강을 위한 기초형태는 6가지이며, 각 기초형태별로 기초말뚝의 배열형태 및 수량이 상이하므로, 각각의 기초에 적합한 C.G.S보강방안을 수립하여 적용하였다(그림 5참조).

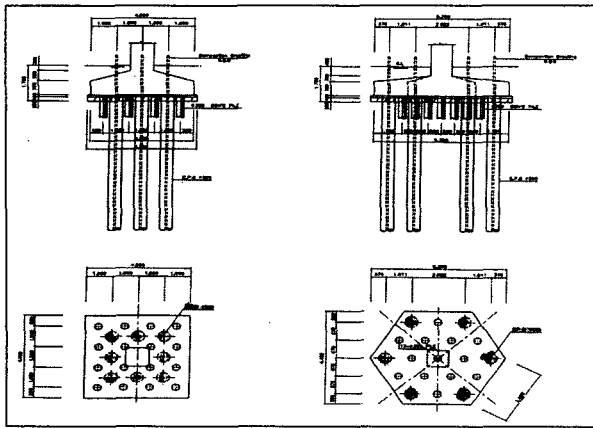


그림 5. 기초형태별 C.G.S보강형태

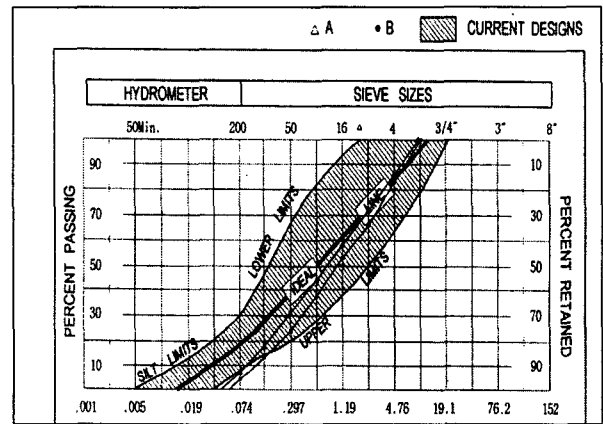


그림 6. C.G.S용 골재의 배합설계

C.G.S주입재료의 배합설계는 보강공사 현장 주변에서 구득이 가능한 토취장과 석산을 선정하여 Ideal Line의 입도기준을 확보할 수 있는 토사와 골재의 배합비를 정하여야 한다. 본 현장의 경우, 주변 토취장의 토사는 모래질 세립토로서 통일분류상 SW-SM에 속하며 비중은 1.75였고, 토사와 골재의 체적배합비를 8:2로 하는 것이 체분석결과 가장 적절한 것으로 나타났다.(그림 6 및 표 1 참조)

시멘트의 사용은 주입재의 설계강도(60kg/cm²)를 충분히 확보하기 위하여 사용되었다. 주입재의 슬럼프치는 3cm 이내로 유지하였고, 주입압은 매립층 및 풍화토층에서는 정량주입을 실시하고 풍화암층에서는 정압주입(700psi)을 적용하였다.

표 1 현장에 적용된 C.G.S 배합기준

토사 (m ³)	골재 (m ³)	시멘트 (kg)	혼화재 (ℓ)	물(ℓ)
0.8	0.2	280	2	250±50

4.3 C.G.S주입효과

본 현장의 경우 상기 언급한 C.G.S보강공사의 효과를 판정하기 위하여 주입재 시편의 일축압축강도, 주입재의 core채취 및 강도시험, 주입후 S.P.T시험을 실시하였다.

(1) 주입재 시편의 강도

주입재에 대한 배합강도는 120kg/cm²으로 배합을 실시하여 시편을 제작하고 일축압축강도시험을 실

시한 결과, 각 토취장별로 강도가 상이하지만, C.G.S에 대한 설계강도인 60kg/cm²이상으로 나타났다.

표 2 토취장별 주입시편 강도

구분	A토취장	B토취장	C토취장
토성	황토, SM, 점토분 많음	마사, SM-SW	SW
강도 (kg/cm ²)	120-140	150-180	180-200

표 3 Core 채취 결과

공 번	주입 길이 (m)	Core 회수 길이(m)	T.C.R (%)	일축 압축 강도	설계소요 강도(σ_{ck})
P-39 #8	18	17.5	97.2	330.5	60kg/cm ² 이상
E-44 #2	15	14.3	95.3	293.1	

(2) Core채취 및 압축강도시험

C.G.S 파일의 형성심도와 지층에서 양생된 파일의 일축압축강도를 확인하기 위하여 주입후 28일이 경과한 지점에서 2개소에서 C.G.S고결체의 Core를 채취하여 시험편을 제작한 후 일축압축강도 시험을 실시하였다. C.G.S구근의 직경은 50cm이고, Core 회수율 및 일축압축강도 시험결과는 표 3과 같다.

(3) 주입후 S.P.T시험

본 현장의 지층은 사질토로 구성되어 있으며, C.G.S주입후 주변지반의 밀도증대효과를 파악하기 위하여 표준관입시험을 실시하였다. 주입전후의 N치의 변화를 비교하여 보면, 지층에 따라 약 8~10이사의 증가가 나타나고 있다. 이는 C.G.S의 주입에 의한 가압효과로 주변지반이 다짐효과를 받은 것으로 판단된다.

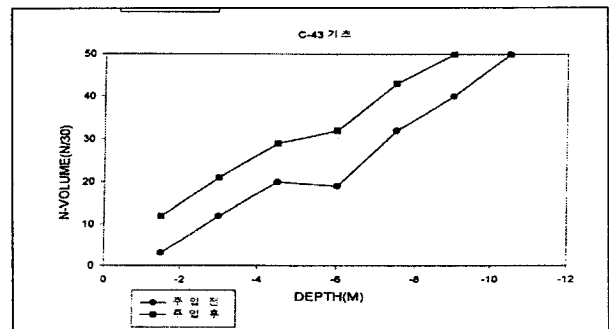
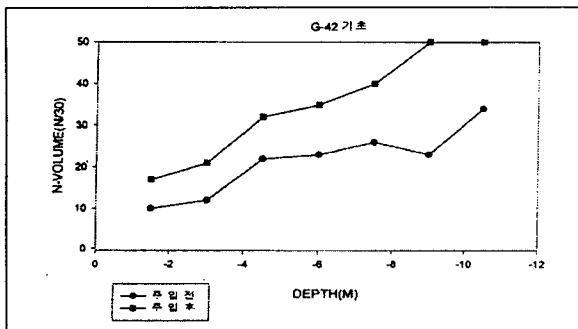


그림 7. 주입전후 S.P.T비교

5.시공사례 II: 익산 00회사 사무동 기초지반 보강공사

5.1 현장조건 및 기초지반현황

본 사례현장은 전북 익산시에 위치한 기계회사의 사무동 건물로서, 기초의 침하로 인하여 건물구조체에 균열 및 변위가 발생하였으며, 장기적인 침하예방 및 지지력을 확보하기 위하여 C.G.S시공을 실시하였다. 대상 구조물의 면적은 18m×130m이고 총 81개의 독립기초로 이루어져 있으며, 이중 34개 기초에 대하여 C.G.S보강을 실시하였다. 시공된 C.G.S는 총 149공이며, 주입심도는 N치 20이상의 지층인 GL-11~13m의 범위를 나타냈다(표 4 및 그림 8참조). 공사기간은 1998년 4월 중순부터 1999년 5월 중순까지 약 1개월 소요되었다.

관련시추조사자료에 의하면, 본 구조물이 위치한 지역의 지층은 상부로부터 모래질의 매립층, 실트질 점토층, 모래질실트층, 풍화토층의 층서를 나타내고 공내수위는 나타나지 않았다. 이들 지층에 대한 특성을 표 4에 나타내었다.

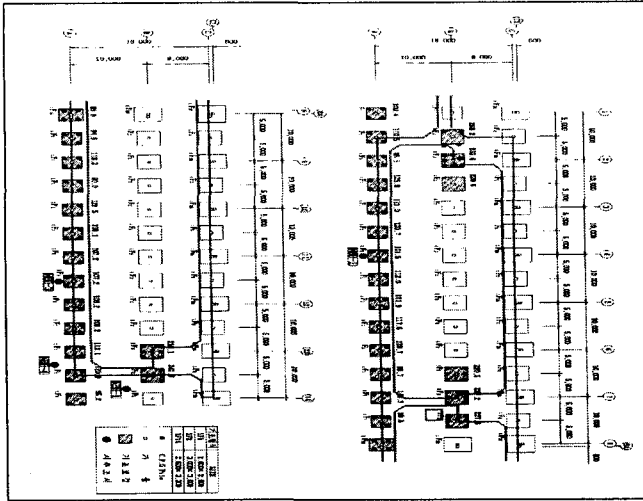


그림 8. 기초평면도

표 4 지층구성상태

공번	지층구성(m)			
	매립층	실트질 점토층	모래질 실트층	풍화토
NBH-1	4.5	1.0	1.0	9.0
NBH-2	3.5	-	1.5	10.5
NBH-3	4.0	1.0	3.5	7.0
NBH-4	3.5	-	3.0	10.5

5.2 C.G.S 보강설계 내용

본 현장의 C.G.S보강공사는 기초저면의 상대 부등침하량이 허용치를 넘어 건물의 사용성에 지장을 초래하고 있는 상태에서, 기초면의 지반이 매립층으로 조사되어 향후의 침하량에 대한 예측이 곤란하므로 지반보강을 실시한 경우이다. 기본적으로 구조물의 총하중에 대하여 기존 직접기초형식의 독립기초에 대한 지지력을 보강하기 위한 것으로, C.G.S보강을 위한 기초형태는 3가지이며, 각 기초형태별로 각각의 기초에 적합한 C.G.S보강방안을 수립하여 적용하였다(그림 9 참조).

본 현장에서 C.G.S주입재료의 배합설계는 보강공사 현장 주변에서 구득이 가능한 재료에 대하여 토사와 골재 및 시멘트의 배합을 표 5와 같이 적용하였다.

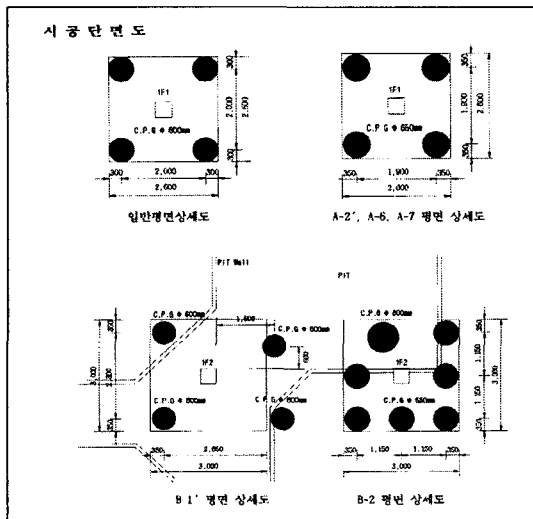


그림 9. 기초형태별 C.G.S보강형태

표 5 현장에 적용된 C.G.S 배합기준

토사 (m ³)	골재(m ³) 10mm이하	시멘트 (kg)	물(m ³)
0.24	0.61	240	0.3

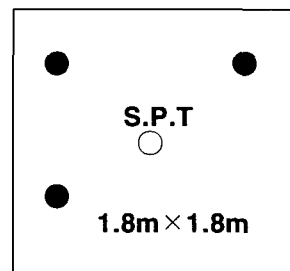


그림 10 S.P.T시험시공

5.3 시험시공 C.G.S주입효과

본 현장의 경우 상기 언급한 C.G.S보강공사의 효과를 판정하기 위하여 시험시공(Ø60cm)의 시험 C.G.S를 시공한 뒤, S.P.T시험을 실시하여 기초지반의 C.G.S보강에 따른 지지력증가여부를 확인하였다.

표 6과 그림 11은 C.G.S주입에 따른 N치의 증가상태를 나타내고 있다.

표 6 C.G.S주입에 의한 N치의 변화

깊이 (m ³)	N치		토성
	시공전	시공후	
1.3	6	17	사질토
2.8	4	13	점토+모래
4.3	10	16	
5.8	3	17	점토층 및 실트질모래
7.3	6	17	
8.8	6	18	점토 (원지반)
10.3	6	50	
11.8	11	21	풍화토
13.3	19	31	
14.8	41	50	풍화대
16.3	34		
17.8	35		풍화암
19.3	50		

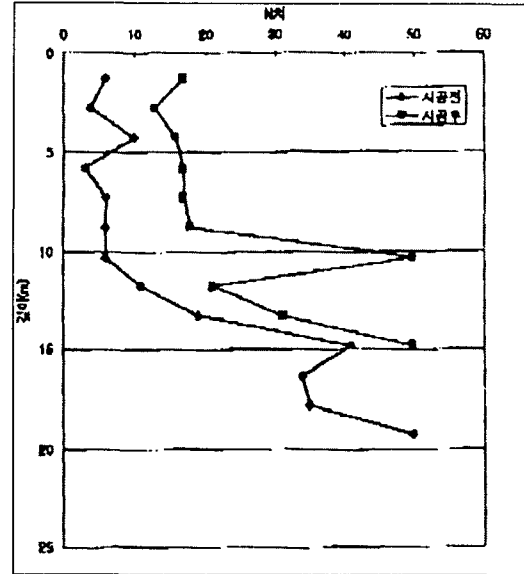


그림 11. C.G.S주입에 따른 N치의 변화

6. 결론

C.G.S공법의 기본 메카니즘, 실제 C.G.S보강공사 현장을 토대로한 효과분석 및 시공중 품질관리방안에 대한 연구 결과를 요약정리하면 다음과 같다.

(1) 연약지반상에 축조된 기초가 불안정한 구조물에 대한 보강공사현장에서 수행한 시험시공 및 본 시공결과를 분석하여 본 결과, C.G.S고결체의 강도, 지반개량효과 등은 소요설계기준 이상으로 확보되는 것으로 나타났다.

(2) C.G.S공법은 지반개량효과 및 주입고결체의 강도가 우수하여 향후 각종 건설현장에서의 적용성이 매우 높을 것으로 기대되며, 철도노반보강, 터널 주변지반 보강, underpinning보강 및 대체용 PILE, 폐광 및 공동 충전, 호안 및 해안구조물 하부 공극충전, 부등침하가 발생된 구조물 복원 및 침하방지 등으로 널리 적용될 수 있다고 판단된다.

(3) C.G.S공법의 최적설계·시공을 위해서는 주입압과 대상지반과의 응력-변형거동특성 뿐만 아니라, 주입체의 점성, 주입압, 주입율, 주입량 등과 같은 주입특성치와 흙의 컨시스턴시 및 흙의 종류들과의 상관관계를 정량화하기 위한 연구가 지속적으로 진행되어야 한다.

7. 참고문헌

1. 천병식 외, "지반공학 -이론과 실제-", 구미서관, 1998.2
2. 천병식, "건설기술자를 위한 지반주입공법", 원기술, pp.168~189, 1995
3. "울산역본체 기초지반보강공사 결과보고서", 덴버코리아그라우팅(주), 1999.11
4. ASCE, "Grouting : Compaction, Remediation and Testing", Proc. of sessions sponsored by the Grouting Committee of the Geo-Institute of the ASCE in conjunction with the Geo-logan '97 Conference, 1997
5. Richard Witmann, "Grouting in Rock and Soil ", A.A. Balkema, 1993
6. Wallace Hayward Baker, "Grouting in Geotechnical Engineering", ASCE, 1982