

C.G.S에 의한 기초지반보강효과에 관한 연구

A Study on the Ground Improvement by Compaction Grouting System

천병식* 여유현** 최현석** 오일석***
Chun, Byung-Sik Yeoh, Yoo-Hyeon Choi, Hyun-Seok Oh, Il-Seok

ABSTRACT

The use of compaction grouting system(C.G.S) evolved in the 1950's to correct structural settlement of buildings. Over the almost 50 years, the technology has developed and is currently used in wide range of applications. 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.

Major uses of Compaction Grouting include densifying loose soils or fill voids caused by sinkholes, poorly compacted fills, broken utilities, improper dewatering, or soft ground tunneling excavation. Other application include preventing liquefaction, re-leveling settled structures, and using compaction grout bulbs as structural elements of minipiles or underpinning.

So, on the basis of the case history constructed in recent year, a study has been performed to analyze the basic mechanism of the Compaction Grouting and verify the effectiveness of the ground improvement.

1. 서론

최근 우리나라는 고속철도, 인천 국제공항, 도심지 지하철, 서·남해안 항만공사 등 대규모 국가 건설공사가 진행 중에 있으며, 아울러 시공도중 터널붕락, 주변지반 및 인접구조물의 부동침하, 측방유동에 의한 구조물 변위 등 대형 안전사고가 빈발하고 있다. 이러한 건설공사에서의 안전사고 및 효과적인 연약지반 처리를 위하여 공해, 내구성, 주입효과증대, 인접구조물손상 등 기존의 주입 공법들이 안고 있는 문제점을 보완할 수 있는 우수한 주입공법의 필요성을 절감하게 된다.

현재 국내에서 쓰여지고 있는 주입공법들은 주로 약액의 침투고결, 시멘트계의 맥상고결, Jet Grout의 배출치환 등의 주입방식을 따르고 있으나, Compaction Grouting System(C.G.S)은 Slump 치가 거의 '0'인 몰탈 또는 콘크리트를 주재료로 하며, '비배출치환'이라는 독특한 기법의 주입공법이다. 본 공법의 지반보강효과가 기존의 고압분사주입공법 등 타공법에 비하여 월등히 뛰어나고, 주입고결체의 강도가 매우 높아 신규 건물의 기초파일로서 쓰일 정도이며, 기울어진 건물의 기초를 들어올려 바로 세우는 것 뿐만 아니라, 근래에는 광범위한 지반개량, 폐광충전재, 항만공사, 철도노반 개량 등에 폭넓게 쓰이고 있다. 따라서 본 연구에서는 C.G.S공법의 기본 메카니즘을 이해하기 위한 이론적 접근과 함께 강원도 폐광함몰 피해지역에서의 주요시설물(철도, 도로) 보강 시 공사례를 통하여 본 공법의 지반보강효과에 대하여 검토하였다.

* 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수, 정회원

** 한양대학교 대학원 박사과정

*** 덴버코리아 그라우팅(주), 내리

2. 공 법 개 요

Compaction Grouting 공법이란, 비유동성의 물탈형 주입재를 지중에 압입하여 원기둥 형태의 균질한 고결체를 형성함으로써 그림 1과 같이 주변 지반을 압축 강화시키는 지반개량공법으로, 1950년대 초 미국 캘리포니아주 주입기술자들이 Low Slump Mortar형 주입재를 이용한 실험을 시도하던 중 재하중을 받는 구조물 하부의 느슨한 토질을 인위적으로 조밀하게 만드는 데에 응용할 수 있다는 사실에 착안하여 고안되었다. 이러한 독특한 기법의 주입기술은 흙을 다지는 효과가 있어서 'Compaction Grouting'이라고 명명되었고, 현재는 Low Slump Mortar Grouting 또는 Limited Mobility Displacement Grouting 등으로 불리고 있으며, 국내에서는 C.G.S (Compaction Grouting System) 공법으로 잘 알려져 있다.

1980년 ASCE의 Grouting위원회는 본 공법을 다음과 같이 정의하였다.

Compaction Grouting이란 Slump치가 1inch(25mm) 이하의 비유동성 물탈로서 주입재의 소성확보를 위한 세립토(실트질 크기)와 내부마찰력 증대를 위한 조립토(모래질 크기)로 구성되며, 이것은 Soil-Cement가 기본재료로서, 주변 지반의 공극속으로 침투되는 것이 아니라 지중에 원기둥 형태의 균질한 고결체를 형성하여 지중에 방사형으로 압력을 가함으로써 주변지반을 압밀시키고 공극속의 물과 공기를 강제 배출, 토립자 사이의 공극을 감소시켜 지반이 조밀화되도록 개량하는 것이다.'

약액이나 시멘트계 주입재는 암반의 절리나 파쇄대, 흩속의 공극을 충전시키면서 여러 목적으로 이용되지만, 비유동성의 주입재가 지반에 덩어리채로 들어가 상대밀도를 증가시키는 등 콤팩션 효과를 발휘한다는 생각은 하지 못하였는데, 점차 이러한 주입기법이 유용하고 응용범위가 넓다는 사실을 알게 되었다.

C.G.S공법은 기존의 주된 3가지 주입방식 즉, 시멘트계의 맥상고결, 약액의 침투고결, Jet Grout의 배출치환 등과는 전혀 다른 '비배출치환'이라는 독특한 기법의 주입 공법이다(그림 2 참조).

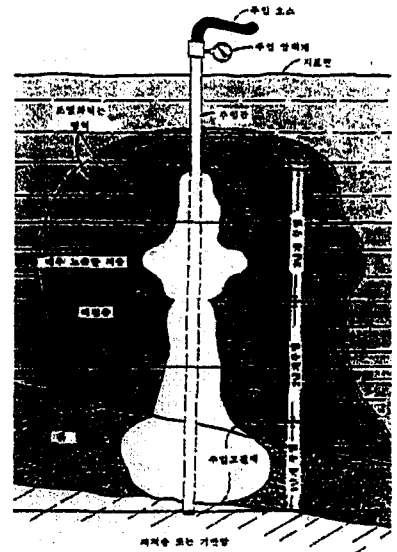


그림 1. C.G.S 주입재 고결형상

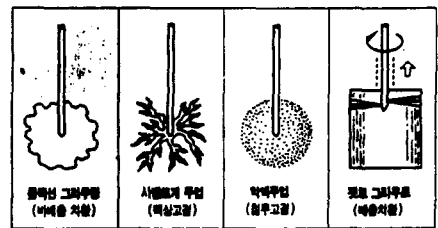


그림 2. 주입공법별 주입방식 비교

3. 이론적 고찰

C.G.S공법은 이론적 배경보다는 경험적 방법에 의하여 주로 성장해 왔으나, 50년의 역사를 거치는 동안 많은 실험적 고찰과 함께 이론적 접근이 이루어지고 있다.

주입과정 중 주입고결체의 형성과 팽창으로 인하여 고결체에 인접한 흙은 심각한 변형과 응력을 받으며 그 결과 흙과 주입재의 경계면에서 국부적인 피압대가 형성되고 어느 정도 이격된 곳에 있는 흙은 응력분포가 규칙적이고 변형이 탄성적이어서 보다 정성적인 콤팩션을 받는다. 본 공법의 효과를 예측하여 설계에 반영하고 그 적용성을 높이기 위해 Vesic(1972)의 지반공동구 확장 매

커니즘을 이해할 필요가 있으며 개략적인 내용은 다음과 같다.

- (1) 흙과 콤팩션 주입재 사이에 뚜렷한 접촉면이 있다.
- (2) 충전과 소성변형에 의해 가장 연약한 부분을 치환하는 경향이 있다.
- (3) 주입고결체의 형태는 토질의 물리적·역학적 특성 및 상재구조물의 하중 등 여러 요인에 의하여 불규칙한 형태로 고결될 수도 있으나 균질토에서는 대개 원기둥 형태로 형성된다.

균질하고 등방성인 지반일 경우 지중에 가해지는 주입압은 주입공의 선단을 중심으로 한 구형의 증립경계면을 통해 소산되고, 그 증립경계면에서는 주입에 따른 응력과 변형의 영향은 없다. 지중에서의 변형률은 그림 3과 같이 나타낼 수 있으며 균질하고 선형탄성적인 등방성 재료일 경우,

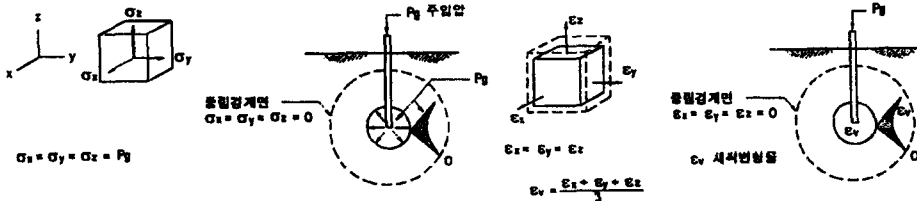


그림 3. C.G.S 주입에 따른 응력과 변형의 관계

C.G.S에 의한 지반의 밀도증가량 $\Delta \gamma$ 는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta \gamma = \gamma_s \cdot \frac{P_g}{E_b} \quad (1)$$

여기서, γ_s = 주입점에서의 흙의 단위중량, P_g = 주입압, E_b = 흙의 체적변형계수이다.

또한, 지반이 받는 콤팩션의 정도를 지중에 압입된 주입재의 체적과 연관지어 개량대상 토체의 상대적인 콤팩션 증가를 식(2)과 같이 나타낼 수도 있다.

$$\Delta RC = \frac{100W}{\gamma_{max}} \left[\frac{1}{V_0 - (V_g - V_s)} - \frac{1}{V_0} \right] \quad (2)$$

여기서, W 개량대상 토체의 중량, V_0 : 개량대상 토체의 원체적, γ_{max} : 흙의 최대밀도, V_g : 압입된 주입재의 체적, V_s : 지표면 상승에 대한 체적 수정이다.

4. 설계와 시공

C.G.S 주입설계의 첫 단계는 대상지반의 지반공학적 측면과 구조물의 구조적 문제점을 함께 이해해야 하므로, 신뢰성 높은 지반조사와 구조물에 대한 철저한 검토를 통해 공법의 적용성 및 적합성을 판단해야 한다. 본 공법의 주요 설계 요소는 주입재료, 주입압, 주입율, 주입량, 주입방식 등이며 설계시 고려되는 모든 요소들은 주입고결체의 형상, 수압파쇄현상 등 주입효과에 지대한 영향을 주게 되므로 어느 한가지 소홀함없이 세심한 주의를 필요로 한다. 그리고 주입효과의 극대화를 위해서는 시공현장에서의 시험주입을 행하여 설계 및 본시공에 반영하는 피드백(Feed-Back) 과정이 필요하다.

4.1 주입재의 구성과 배합

본 공법의 재료 배합시에는 내부마찰과 응력해방 메커니즘의 복잡한 관계를 바탕으로 주입재를

통제할 수 있는 유동학적 특성을 반드시 고려해야 한다. 주입재의 유동학적 특성은 골재와 세립토의 입도조성과 주입재의 슬럼프 및 컨시스턴시에 의해 좌우되며 특히, #200번 체(0.074mm)보다 작은 세립분의 경우 그 양의 조절에 각별히 주의하여야 한다.

주입재료의 선정, 배합시에는 반드시 골재 체분석시험을 통하여 입경가적곡선이 Ideal-Line(그림 4)에 근접하도록 해야 하며, 이는 재료분리, 펌핑장애, 고결체의 형성 및 수압파쇄현상 등에 근거하여 수많은 현장시험을 통해 얻어진 것이다.

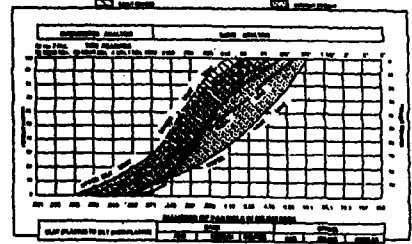


그림 4. 주입재 배합의 Ideal-Line

주입목적에 따라 주입재의 구성은 달라질 수 있는데, 주변 지반의 조밀화 즉, 지반개량이 주된 목적일 경우, 주입고결체 자체의 강도는 그다지 중요한 요소가 아니므로 시멘트는 섞지 않고 적당한 입도분포와 수분을 함유한 실트질 모래가 유리하다. 반면에 주입고결체를 말뚝 등의 구조요소로서 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 있으며, 대표적인 표준배합비는 다음 표 1과 같다.

표 1. C.G.S의 표준배합비 (m³ 당)

시멘트	모래	점토성 마사토	석분
240 kg	0.3 m ³	0.5 m ³	0.2 m ³

- ※ 1. 물의 양은 주입재의 Slump치가 계획된 범위를 만족시키도록 조절한다.
- 2. 상기 배합은 표준배합이며, 현장에 공급되는 골재 및 토사의 특성에 따라 조정한다.
- 3. 시멘트의 양은 공사목적에 따른 주입재의 소요강도에 따라 조정한다.

4.2 주입압

주입과정 중 가해지는 주입압은 지반의 최대주용력과 최소주용력 상태를 복잡하게 변화시키며 주입관의 선단에서 최대가 되고 멀어질수록 감소한다. 또한 지반의 토질특성 및 상재구조물 하중 등의 구속용력과 관계되며 지표면이나 구조물의 용기 등은 가장 일반적인 주입시공의 제한 요소이다. 지표면의 용기가 관찰되면 콤팩션의 용력이 구속용력을 초과했음을 나타내며, 지반이 다짐이 되기보다는 파괴되었음을 의미한다.

4.3 주입양과 주입율

주입양이 많을수록 지반개량으로서의 주입효과는 좋으나, 정압주입개념으로 허용주입압을 통해 조절해야 한다. 주입은 어느 정도의 펌핑간격(보통 6~10초)을 두고 행해지므로 펌핑시 1회 토출량을 미리 계량하여 총 주입양을 계산한다. 주입율은 전적으로 현장의 토질 특성에 의존되는 변수이며, 배수성이 나쁘거나 지표근처에서는 0.5~1.0ft³/min의 낮은 펌핑속도가 이용되며, 배수성이 양호하거나 건조토일 경우는 1.0~4.0ft³/min의 중간 펌핑속도가 이용되고, 공극이 큰 느슨한 토질에서는 4.0~12.0ft³/min 또는 그 이상의 빠른 펌핑이 가능하다. 주입율이 대상 지반의 조건에 비해 너무 높으면 주입 초기에 수압파쇄현상이 일어나 주입효과가 크게 떨어진다. 수압파쇄지수(Vg/k)

를 주입율(V_g)과 지반의 투수계수(k)와의 관계로 정의하면, 일반적으로 $V_g/k \geq 50m^2$ 일 때 수압 파쇄현상이 발생하는 것으로 알려져 있다.

4.4 주입방식 및 주입순서

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

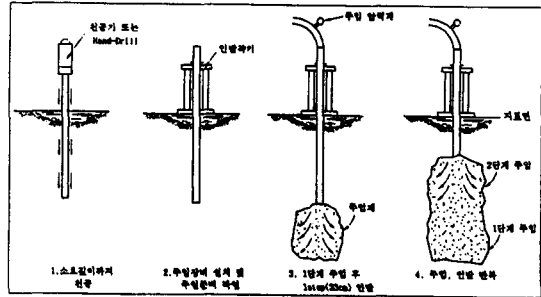


그림 5. C.G.S 시공순서도

5. 시공사례 : 폐광함몰 지역에서의 철도지반보강(강원도 OO시)

5.1 공사 개요

본 공사는 강원도 OO시 화전동 추전역 일대의 지역에 있어서 지하광물(석탄) 채굴적(採掘跡)에 의한 지반침하로부터 주요 시설물(철도, 터널, 도로 등)의 안전성을 확보하기 위하여 이완된 상부 지반보강(TAM 그라우팅)과 채굴적내 충전을 위한 하부지반보강(비유동성 시멘트 몰탈 그라우팅, C.G.S공법)이 계획되었다. 보강 대상구간은 (1) OO저탄장 구간 (2) OO정차장 구간 (3) OO선 곡선 구간 (4) OO초등학교앞 38번 국도 구간 등의 4개소로 나누어져 있으며, 여기서는 본 공사의 대표적인 구간인 (1) 구간에 대하여 소개한다.

5.2 현장조건 및 지질현황

철도지반고 854ML인 산사면에 위치한 본 구간은 탄층이 층후 1~2m, 경사 40~50°의 급경사를 이루고 있고, 채탄작업이 철도하부 20~30m에서 이루어져 Sink-Hole형 침하가 발생할 우려가 있는 지역이다. 시추조사 결과 공동이 발견되는 등 채굴적에 의한 지반침하가 진행중에 있는 것으로 판단되며, 실제로 인접산사면 옹벽에서 균열이 발견되고 있으며, 안전성 조사시 지표침하계 계측 결과 3.5개월동안 4~5mm 침하가 발생하였다(표 2, 3 참조).

표 2. OO저탄장 구간 관련경도

수준 (ML)	가 행 경 도		심도 (m)	평균탄폭 (경사)	가행시기
	경도명	수준(ML)			
853	보성 835,	835	20~28	1~2m (40~50°)	철도부설전
	827경	827			

표 3. OO저탄장 인접 옹벽 균열조사

위 치	균열수	균열 규 모				옹벽 규 모 (길이×높이×두께) (m)
		폭(mm)		연장(m)		
		평균	최대	평균	최대	
88km+750~88km+847	6	15	50	5.9	13.0	98×3.5×0.3

5.3 보강구간 및 보강공법 선정

지반보강은 침하영향 지역 전체를 보강하는 것이 아니라 지표상의 구조물을 중심으로 구조물에 영향을 미치는 지하 채굴적에 대하여 검토하였다. 각 구간에 대하여 한계각과 영향심도, 채굴적, 갱내도, 지질단면도 등을 종합하여 보강구간을 산정하였으며 주보강 구조물이 철도와 도로이므로 지표상의 철도와 도로에 영향을 미치는 채굴적을 영향합수에서 최대영향 범위인 한계각 내로 한정하여 검토하였다. 지하채굴 공동에 의한 지반의 침하는 채굴작업과 거의 동시에 발생하는 활동성 침하와, 채굴작업 종료후 일정시간 경과후에 발생하는 잔류성 침하로 대별되며, 보강공법은 잔류성 침하를 대상으로 하였다. 잔류성 침하의 발생시간은 탄층강도, 천반과 하반 암석의 강도, 파쇄범위, Bulking 형태, 지하수 존재, 공동깊이, 탄주의 크기, 채굴규모 등 다양한 요소에 의해 결정되므로 침하 발생시기를 예측하기는 매우 어렵다. 또 침하의 유형은 Trough형(그림 6)과 Sink-Hole형(그림 7)으로 나타나는데 Trough형은 넓은 지역에 걸쳐서 나타나며 피해도 미약하고 발생기록도 적은 반면, Sink-Hole형은 국부적인 지역에서 피해가 크게 나타나며 발생기록도 많아 지반보강은 주로 Sink-Hole형 침하를 대상으로 하였다. 따라서 공동에 의한 지반침하가 우려되는 지역의 보강공법은 장래침하에 따른 구조물 및 인명피해가 크게 예상되는 지역을 선정하여 경제성, 시공성, 공동상태, 지표상태 등을 종합적으로 검토하여 선정하였으며, 본 공사에서는 상부보강과 하부보강을 병용하는 형식의 방법을 채택하여 상부보강공법으로 TAM(Tube A Manchette)공법이, 하부보강에 해당하는 침하억제를 위한 충전법으로 비유동성 시멘트물탈 그라우팅공법(CGS 공법)이 선정되었는데, 지하공동이 존재하는 지역에서 공동을 충전재로 채움으로써 향후 침하를 방지하거나 감소시키는 방법으로 채굴적 내에 충전된 재료는 횡방향 변위를 구속하여 현재 존재하는 광주를 강화하여 풍화와 붕락의 효과를 감소시켜 광주의 지지력 약화를 예방케 한다(사진 1. 참조).

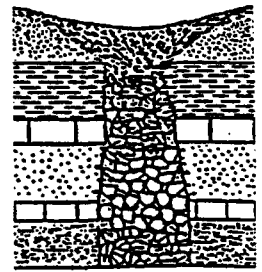


그림 6. Trough형 침하모식도

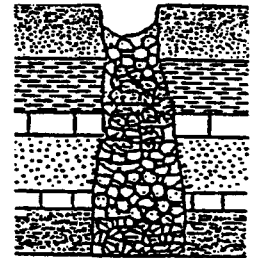
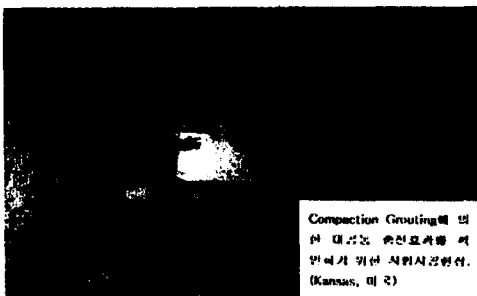
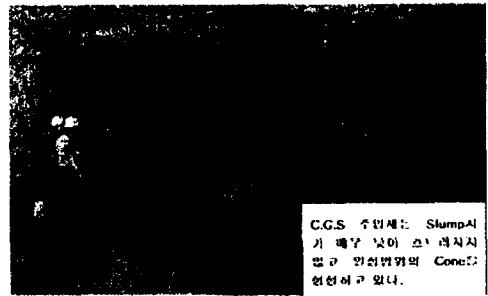


그림 7. Sink-Hole형 침하모식도



Compaction Grouting에 의한 대공도 충전효과를 보여주기 위한 시험시공현황. (Kansas, 미국)



C.G.S. 수인제: Slump시 기 채움 및 이 콘크리트 및 콘크리트의 Cone:5:1 현현하고 있다.

사진 1. C.G.S공법에 의한 지반공동 충전효과확인 시험시공 현장장경

5.4 전산해석에 의한 시공효과 예측 및 그라우팅 시공

(1) 전산해석 결과

본 전산해석에서의 해석영역은 보강대상 시설물인 철도를 중심으로 축방으로 200~250m, 하부로

는 150~200m를 대상으로 하였으며 해석영역에 대한 경계조건은 좌·우측은 수평변위(X)를, 하부는 연직변위(Y)를 구속한 Roller로 하였으며 하부의 모서리는 Hinge로 수평 및 연직변위를 구속하였다. 본 해석결과는 다음 표 4.와 같다.

표 4. 전산해석(FLAC)에 의한 지반안정성 검토 결과

구분	T A M		C. G. S		최종 변위		심 하 량		보강후 심하량 (mm)	보강후 Tilt (mm)
	설치 갯수	중방합 거리 (m)	설치 갯수	중·횡방합 거리 (m)	심하량 (mm)	Tilt (mm)	현재 (mm)	잔류 (mm)		
Type-1	2	3.0	4	5.0×5.0	90	18	63	27	16	4
Type-2	2	5.0	4	5.0×5.0	90	18	63	27	18	4
Type-3	2	3.0	4	7.0×7.0	90	18	63	27	21	5
Type-4	2	5.0	4	7.0×7.0	90	18	63	27	22	5

(2) 비유동성 시멘트 몰탈 그라우팅(CGS공법) 시공

① 주입재료 : 함몰된 폐갱내의 주입시 낮은 슬럼프치의 재료 배합(Low Slump Grout)을 이용하고, 폐갱 상부층의 석회공동 충전과 암반의 대절리의 충전에는 높은 슬럼프치의 재료배합(High Slump Grout)을 이용하였다(표 5 참조).

② 주입재 강도 : 일축압축강도는 150 kg/cm²이었다.

③ 주입량 : Low Slump Grout의 형성 구간은 직경은 2,000mm로 계획하고 정압주입으로 갱내의 함몰된 분탄과 파쇄암의 혼합물을 몰탈을 이용하여 블록화(Block)함으로써 Pile (보강탄주)를 형성한다(표 6 참조).

④ 주입압 : 주입시 정량과 정압주입을 동시에 관리하며 주입압은 200~400psi를 기준으로 하여, 400psi의 주입압이 발생시 주입량에 관계없이 1step(33cm)을 인발하여 주입하였다.

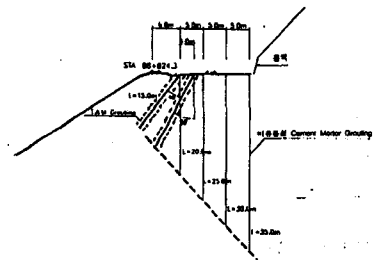


그림 8. OO저탄장 구간 시공단면도

표 5. C.G.S공법의 배합비

구분	슬럼프	사 용 재 료(kg, m ³)				
		시멘트	모래	점토성 마사토	석분	물
Low Slump Grout	0~5	320 kg	0.45	0.4	0.15	0.2
High Slump Grout	5~10	320 kg	0.45	0.4	0.15	0.3

표 6. 보강구간별 보강계획

구 간	보 강 공 법	보강간격 (m)		보강공수 (공)
		중	횡	
1. OO저탄장 (120m)	TAM 그라우팅	5	3	48
	CGS 공법	5~7	5	84
2. OO정차장(A) (50m)	CGS 공법	5~6	7	43
	TAM 그라우팅	5	-	18
3. OO정차장(B) (30m)	CGS 공법	8	10	24
	TAM 그라우팅	5	3	63
4. OO선 곡선 (100m)	CGS 공법	7	9	60
	TAM 그라우팅	5	16	13
5. OO초등학교앞 38번 국도	CGS 공법	10	10	28

6. 결 론

C.G.S공법의 기본 메카니즘 및 기초지반보강효과에 관한 연구결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

(1) C.G.S(Compaction Grouting System)공법은 지반개량효과 및 주입고결체의 강도가 우수하여 향후 각종 건설현장에서의 적용성이 매우 높을 것으로 기대되며, 그 적용범위를 나누어 보면,

- 지반개량
 - 철도노반개량 및 침하방지책
 - 대상지반 전 체적 혹은 국부적 개량에 따른 기초지반의 지내력 향상.
 - 터널 및 굴착공사시, 주변지반의 보강 및 수평토압 감소효과.
 - 부두안벽 기초 및 배면보강, 차수 또는 지수, 지반의 액상화방지책.
- 말 뜩
 - 기존 구조물 Underpinning
 - PC말뚝이나 CIP공법 등의 대체 효과.
- 충 전
 - 폐광이나 지반내 석회암 공동충전.
 - 호안 및 해안구조물 하부 사석매립층 등의 공극 충전.
- 복 원
 - 구조물의 부동침하 발생시, 원상태로의 수평복원 및 장래침하방지책.

(2) 시공사례를 통한 지반보강효과 고찰 결과, 태백지역뿐 아니라 수 개소에 달하는 우리나라의 폐광함몰 피해지역 및 지하 석회암 공동부에 C.G.S공법을 이용함으로써 충전그라우팅에 의한 지반안정화 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 천병식 외(1998), "지반공학 -이론과 실제-", 구미서관
2. 천병식(1994), "기초지반개량공법", 건설연구사
3. 천병식(1995), "건설기술자를 위한 지반주입공법", 원기술
4. 천병식(1996), "영종도 신공항 고속도로 연육교 1공구 논골교 교대측방유동 대책공 연구 보고 서", 한양대학교 부설 건설연구소
5. 천병식, 정덕교, 우근우, 정영교, 권용완, Samson, W.B.(1997), "기울어진 피해구조물의 원상복 구를 위한 기초지반 개량공법에 관한 연구", 한국구조물안전진단학회 '97 가을학술발표회 논문 집, pp.235-240
6. 천병식, 여유현, 최현석, 오일석(1999), "C.G.S에 의한 기초지반보강효과에 관한 연구", 한국지 반공학 회 연 약지반처리위원회 '99 학술세미나, pp.1-13
7. A.F. Bell(1992), "Grouting in the Ground", Tomas Telford
8. ASCE(1997), "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
9. Arvind V. Shroff, Dhananjay L. Shah(1993), "Grouting Technology", A. A. Balkema
10. M.P. Moseley (1984), "Ground Improvement", Blackie A.&P.
11. Richard Witmann(1993), "Grouting in Rock and Soil", A.A. Balkema
12. Wallace Hayward Baker(1982), "Grouting in Geotechnical Engineering", ASCE
13. D.T. Bergado, L.R. Anderson, N. Miura, A.S. Balasubramaniam(1996), "Soft Ground Improvement", ASCE
14. Christian Kutzner(1996), "Grouting of Rock and Soil", A. A. Balkema, 1996.