

역사기초 보강 공법으로써 CGS 공법 적용사례 연구
A Case Study of Ground Improvement on Railroad
Station Foundation by the Application of CGS Method.

이유현* Chun, Byung-Sik
Yeoh, Yoo-Hyeon Chun, Byung-Sik

ABSTRACT

Recently, there are many cases that structures are constructed on soft ground in domestic. Generally in those cases, appropriate geotechnical techniques for the ground are needed. In this study, an example for ground improvement of OO railroad station construction site is introduced and analyzed. The ground conditions of this site which is soft ground are that N value is under 6, average depth and ground water table is 24.4m, GL-1.7. So, as a countermeasure technique for bearing reinforcement, Compaction Grouting System (CGS) method was applied on construction site. To estimate the application of CGS method, piezo cone penetration test and static pile loading test were carried out during the construction. Results of analysis show that CGS method for improving the bearing capacity of soft ground is applicable for the ground well.

1. 서 문

연약점성토 지반에서 구조물 축조시 부적절한 조사 및 설계, 구조물하중 증가, 지하수위 강하와 같은 주변환경의 변화에 의해 공사완료 후 지속적으로 침하가 발생한다면, 구조물에는 예상 밖의 대규모 피해가 발생할 수 있다. 이에 대하여 적용성 있는 지반개량대책으로는 구조물 하중 조건을 고려한 과일 설치 및 교반주입 등의 여러 방법이 있으나, 적용할 수 있는 지반개량공법은 매우 제한적이며 시공성, 효율성 및 경제성 등에서 당초 시공사와 비교하여 그 조건은 매우 악화된다. 따라서 본 연구에서는 연약지반상에 적절한 대책수립 없이 구조물을 축조하여 별도의 보강대책이 이루어져야 했던 OO역사 현장의 개량공법 적용사례를 소개하고자 한다. 적용공법은 CGS공법으로 CGS공법 적용에 따른 개량지반의 지지력 특성을 파악하고자 하였다.

* (주)가야이엔지 대표이사, 정회원

** 한양대학교 토목공학과 교수, 정회원

2. C.G.S 주입시공 및 현장시험

2.1 CGS 공법

C.G.S공법은 초연약지반의 개량, 폐광 합몰지역의 공동충전 등을 목적으로 다양한 용도로 사용이 보편화되고 있는 주세이나 아직도 본 공법의 적용에 있어서 경험에 의존하거나 시험시공을 통하여 그 개량특성을 파악하고있는 실정이다(천 등, 1999). C.G.S공법은 비유동성의 불탈형 주입체를 지중에 압입하여 원기둥 형태의 균질한 고결체를 형성함으로써 주변지반을 압축 강화시키는 지반개량공법으로서 기존의 주된 3가지 주입방식 즉, 시멘트계의 맥상고결, 약액의 침투고결, Jet Grout의 배출치환 등과는 전혀 다른 '비배출 치환'이라는 독특한 기법의 주입공법이다(천 등, 1998). 본 공법은 경험적인 방법으로 발전되어 왔으며 또한 그 베커니즘도 완전히 연구되지 못했기 때문에 공법의 효과를 관경하고 그 적용성을 높이기 위해서는 기본적인 과정을 이해하는 것이 필요하다. 본 공법의 효과를 예측하여 실제 시공에 반영하고 그 적용성을 높이기 위해서는 주입에 따른 지반의 방사방향압축 베커니즘을 이해할 필요가 있다(James Warner, 1978).

2.2 C.G.S 주입시공

- (1) 주입재의 구성과 배합: 주입재료의 선정 및 배합시 골재는 체분석시험을 통하여 그림 1과 같이 Ideal-Line(Samson, 1997)에 근접하는 재료를 선정하였으며, 주입재의 배합비는 주입중 지반압밀을 유도할 수 있는 내부마찰각, Pumping 가능한 소성 및 현장여건 등을 고려하여 그림 1에서와 같이 주입재의 입경분포 범위를 결정하였다. 적용한 표준배합비는 표 1.과 같다.

표 1. CGS의 표준배합비

시멘트	모래	점도질 화강도 석분
200kg(5포)	0.6m ³	0.25m ³

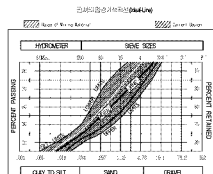


그림 1. 최적배합비 곡선

- (2) 적용 주입재의 강도특성 : 주입재는 배합시험을 통하여 주입재의 Slump치는 0~5cm 범위 유지.
- (3) 주입방식 및 주입순서 : C.G.S주입은 Top-Down방식과 Bottom-Up방식 및 두 방식의 조합형이 있으나, 본 현장에서는 지반개량 및 기초개량시에 주로 이용되는 Bottom-Up방식을 적용하였다.
- (4) 주입속도 및 주입량 : 정량 및 정압주입이 가능하도록 초기 주입속도를 3초/stroke, 0.12m³/min으로 계획하여 주입을 실시하였다.

2.3 지반조건

OO역사 시공현장은 N지 6이하인 연약지반으로 평균심도는 24.4m이다. 또한 지하수위는 평균은 GL-1.7m로 매우 높게 나타나고 있다.

2.4 현장 시험

CGS 주입 시공에 따른 역사의 기초지반 보강에 따른 보강전,후의 지반상태를 파악하기 위하여 말뚝 정제하시험 및 피조콘시험을 실시하였다.

2.4.1 말뚝 정제하 시험

말뚝정제하시험은 표 1의 C.G.S. 상황을 고려하여 그림 2.에서와 같이 제하대: 500ton에 견딜 수 있는 특수 제하대를 설치하여 시험을 실시하였다.

표 1. C.G.S. Pile 상황

종 류	직 경	대상 구조물	위 치	시험수량	선계하중 (ton/분)	시험하중 (ton/분)
C.G.S	400mm	OO역사 기초	PLT-1	1개소	42.0	86.85



그림 2. 정제하시험 광경

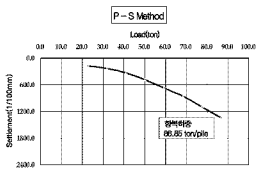
2.4.2 피조콘 시험

피조콘 관입시험은 C.G.S. 주입시공에 따른 연약 점성토층에서의 지지력 특성 변화 및 과잉간극수압소산특성을 파악하기 위하여 동일한 위치에 대하여 개량전,후 각 1회씩 실시(개량전 조사:1999년 6월 24일, 개량완료후 조사:1999년 8월 16일, 경과시간 약 50일)하였다.

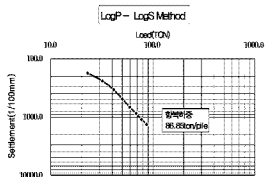
3. 시험결과

3.1 말뚝정제하시험 결과

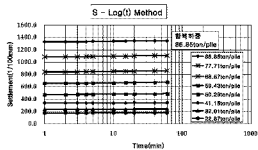
시험결과는 국내에서 널리 이용되는 P-S법, logP-logS법, S-Ig(t)법, Davisson's method를 이용하여 그림 3과 같이 분석하였다.



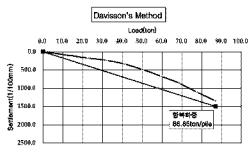
(a) P-S법



(b) logP-logS법



(c) S-lg(t)법



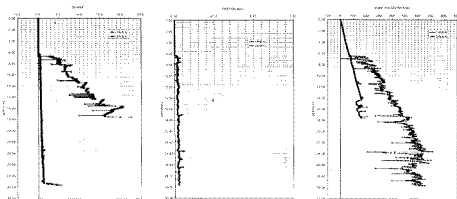
(d) Davison's method

그림 3. 말뚝재하시험결과 분석

그림 3. 에서와 같이 각 분석 방법별로 분석한 결과 직경 400mm C.G.S. pile의 분당 지지력은 43.43 ton/본으로 평가되어 설계지치력 42.0 ton/본을 만족하는 것으로 나타나 C.G.S의 파인기초로서의 적용성은 파악할 수 있었다. 이와 같이 C.G.S. 구체에 재료의 균질성과 주입시 주입압과 주입량 관리에 의한 시공관리가 철저히 수행된 경우 연약지반중의 파인기초의 활용이 가능한 것으로 나타났다.

3.2 피조콘 시험 결과

C.G.S주입전, 후에 대하여 실시한 피조콘 시험결과에 대하여 선단지치력, 간극수압, 주변 마찰력 특성 을 그림 4.에서와 같이 비교 하였다.



(a) 선단지치력

(b) 간극수압

(c) 주변 마찰력

그림 4. 피조콘 시험결과 분석

그림 4.에서와 같이 선단지저력 및 주변마찰력의 하부지층에서 매우 큰 증가 경향을 보이고 있으며 주입후 50일 경과후 과잉간극수압 발생 경향 없이 과잉간극수압이 완전히 소산된 상태로 정수압을 나타내고 있어 C.G.S. 주변지반에서의 지반개량특성을 확인할 수 있었다.

4. 분석 및 고찰

4.1 주변지반의 압밀특성

일반적으로 C.G.S주입시 주변지반에서 과잉간극수압이 크게 발생하는 것은 연약한 포화점성토에 대하여 불탈주입에 의한 방사방향압축에 의한 영향으로 판단할 수 있다. 그러나 그림 4.에서와 같이 일정 시간 경과후 주변지반에서의 과잉간극수압은 완전히 소산되어 C.G.S 주변지반의 지저력 특성이 크게 개선되었음을 확인할 수 있었다. 그러나 이와 같은 강도특성의 개선을 고려할 때 C.G.S 주변지반을 주입시공후 시간경과에 따른 압밀특성회복(또는 강도회복)이 그림 5.에서와 같이 지반개량에 의해 압밀정수(압축지수)가 증가됨을 알 수 있다.

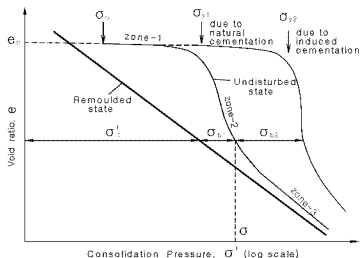


그림 5. 원지반에서 지반개량특성에 따른 압밀거동특성 비교(Nagaraj, 2000)

4.2 복합지반효과

C.G.S주입으로 인한 지반거동의 영향범위는 고결체 직경의 수배 이상으로 그림 6.에 나타난 바와 같이 C.G.S간격이 경우 거의 영향권 내에 위치 한다고 할 수 있다. 따라서 방사방향의 압축이 인접한 주입구까지 미치므로 적정 치환율에 의한 복합지반효과를 나타낼 수 있는 것으로 사료된다. 그림 6.에서와 같이 적정치환율 상태인 경우 전이되는 하중이 C.G.S고결체로 집중되는 것이 아니라 개량된 지반도 그 일부를 분담하므로 보다 경제적인 사용이 될 수 있다.

한편, C.G.S주입후의 지반침하 양상에 있어서도, C.G.S고결체부의 이침효과에 의해 지반의 부등침하가 아닌 균등침하 특성을 고려할 때 C.G.S고결체뿐만 아니라 압축에 따른 지반개량으로 인하여 침토지반도 분담하여 하중을 지지하는 특성인 복합지반효과에 대한 고려가 필요한 것으로 판단된다.

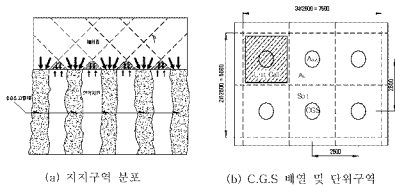


그림 6. 복합지반효과에 의한 개량특성(천병석, 2003)

5. 결 론

연약점성토지반에서 역사기초보강공법으로 C.G.S공법을 적용시 C.G.S 파일의 지지력 특성 및 주변 지반의 개량특성과의 결과를 요약·정리하면 다음과 같다.

- 1) 연약지반중에 설치된 C.G.S 구조(직경 400mm)에 대하여 실시한 말뚝재하시험결과 본당 지지력은 43.43 ton/본으로 설계지지력을 만족하는 것으로 나타나 직용성이 양호한 것으로 파악할 수 있었다.
- 2) C.G.S주입전, 후에 대하여 실시한 피조원 시험결과 선단지지력 및 주변마찰력은 매우 큰 증가 경향을 보였으며 주입후 50일 경과후 과잉간극수압이 완전히 소산된 상태인 경우와 상태를 나타내고 있어 C.G.S. 주변지반에서의 지반개량특성을 확인할 수 있었다.
- 3) C.G.S공법이 적용된 연약지반중에서의 지지력 특성은 C.G.S고결체에 의한 말뚝 지지력 특성 뿐 아니라 C.G.S 시공중 발생한 방사방향 압축에 의한 주변 지반개량 특성을 고려하는 복합지반효과와 고려가 필요한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 천병석, 어유현(2003), "C.G.S공법을 적용한 연약점성토지반에서의 거동특성에 관한 연구", 한국지반공학회 논문집 제 9권 제 6호, pp.307~323
2. 천병석(1988), "최신 지반주입-이론과 실제-", 원기출, pp.17~37.
3. 천병석, 어유현, 최현석, 오일석(1999), "C.G.S에 의한 지반개량공법 사례연구", 한국철도학회 춘계학술대회, pp.375~382
4. James Warner(1978), "Compaction Grouting - A Significant Case History", Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 104, No. 7, pp.837~847.
5. Samson W. Bandimeret(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.
6. T. S. Nagaraj(2000), "Composite Soft Ground - Its Formation and Characterization", Special Invitation Lecture, pp.1~25