

저유동성 몰탈형 주입재에 의한 건물기초보강

Reinforcement of Building Foundation by the Low Slump Mortar Grout

천병식¹⁾, Byung-Sik Chun, 고흥일²⁾, Yong-Il Koh, 권형석³⁾, Hyung-Seok Kwon,

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

²⁾ 초당대학교 토목공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Chodang University

³⁾ 한양대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Hanyang University

SYNOPSIS : In generally, grouting consists of injecting a suspension or solution into the voids of soils. The low slump mortar grout has been used in America since 1950's. The Compaction Grouting, the injection of a very stiff under relatively high pressure, form a cylindrical grout support pile. The grout generally does not enter soil pores but remains in homogeneous mass that gives controlled displacement either to compact loose soils, or for lifting of structures, or both.

In this paper, on the case of the reinforcement construction of 00 plant that the foundation's bearing capacity is insufficient and is to reinforce the foundation, a study has been performed to analyze the effectiveness of the ground improvement. The bearing capacity of the Compaction Pile has been verified by the S.P.T and the settlement of the improved ground has been monitored using the magnetic extensometer.

Key words : grouting, low slump (soil cement) mortar, reinforcement of building foundation, effect of compaction, embeded Type of settlement gauge

1. 서론

일반적인 지반 grouting공법에서는 슬러리게 주입재를 주변지반의 공극속으로 침투주입시키거나 약한 선을 따른 맥상주입의 주입형태가 대부분이지만, 저유동성 몰탈형 지반주입공법은 slump치가 3cm이하인 저유동성 몰탈형 주입재를 지중에 비배토로 압입하여 원기둥 형태의 고결체를 형성함과 동시에 이 고결체가 지중에 방사형으로 압력을 가하게 함으로써 주변지반을 압입시켜 지반이 조밀화(compaction)가 되도록 개량하는 효과까지도 얻을 수 있는 공법으로서 1950년초에 미국에서 개발되어 활용되고 있다.(천병식, 1995) 본 연구에서는 전라북도 00시 00공장내 푸딩기초를 갖는 건물에 전반적으로 나타나고 있는 각종 균열의 원인에 대한 보수·보강방안을 강구한 안전진단 및 대책공법 중에서 건물기초 및 지반 보강공법으로 적용한 저유동성 몰탈형 지반주입공법에 대하여, 본 공법의 적용에 따른 기초지반의 보강효과확인을 위하여 보강공사 전후의 N치 조사와 매입형 지반침하계를 설치하여 침하량에 대한 계측을 실시함으로써 보강효과를 검증하고자 한다.

2. 저유동성 몰탈형 지반주입공법

2.1 시공방법

본 연구 대상현장인 00공장내 건물기초 및 지반 보강공법으로 적용한 저유동성 몰탈형 지반주입공법의 시공방법을 간단히 정리하면 다음과 같다.

2.1.1 천공

- (1) 천공의 구경은 일반적으로 $\phi 73\text{mm}$ 로 한다.
- (2) 천공장비는 소형 수세식 로터리 유압천공기나 air hand drill을 사용하여 시공한다.
- (3) 천공은 일반적으로 N치 30이상의 풍화토층까지 연직으로 실시할 수 있다.
- (4) 천공의 시공위치는 설계도면에 준하여 시공한다.

※ 수세식 로터리 유압천공기의 제원 : 길이×폭×높이 = $150\text{cm} \times 60\text{cm} \times 130\text{cm}$
(rod 포함 천공기 높이 = 230cm)

2.1.2 주입

- (1) 주입재의 Slump치는 약 3cm이내로 계획하여 배합, 시공한다.
- (2) 주입시 정량·정압주입을 원칙으로 하여 주입하며, 적용지반과 용도에 따라 주입점에서 측정되는 주입압이 $7\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 50\text{kg}/\text{cm}^2$ 범위이다. 주입간격과 주입단계길이 그리고 3%~20%의 콤팩션인자(잔적 토 3%~5% 퇴적토 3%~12%, 자갈이나 전석20%)에 의해 결정되는 목표주입량이 주입되면 1 step 인발한다. 주입압은 주입펌프의 토출압이 아닌 주입되는 지반의 밀도에 따라 주입펌프가 컴퓨터 System으로 지반의 반력을 감지하여 주입압을 조정한다. 일반적으로 지반의 밀도가 N치 10미만일 때 일반적으로 $15\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 주입압이 형성되며, N치 10~30일 때 $15 \sim 35\text{kg}/\text{cm}^2$, N치는 30이상일 때 $35 \sim 50\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 주입압이 형성된다. 이때, 주입량은 주입 전에 pump의 1회 pumping양을 다음과 같이 미리 계량하여 덤으로써 check가능하다.

계량통(0.125m^3) ÷ 채우는 pumping횟수 = 1회 pumping양

- (3) 현장시험주입 후 여건에 따라 주입재의 배합을 조절할 수 있음은 물론이고, 주입압과 목표주입량을 조절할 수 있다
- (4) 주입방법은 선단지지층부터 상향식으로 주입한다.
- (5) 주입rod의 1회 인발속도는 m당 주입량을 기준으로 하며, 1회 인발 길이는 33cm을 기준으로 한다.
- (6) 주입범위 : 건물 주변에 Soil Cement Pile을 형성시켜 건물기초 하부의 지지pile과 지하지반을 개량하여 지반의 지내력을 강화시켜 건물의 침하를 방지하고 변형을 억제시킨다.
- (7) 주입순서는 아래의 그림 1과 같으며, 시공시 격간격으로 시공을 한다.

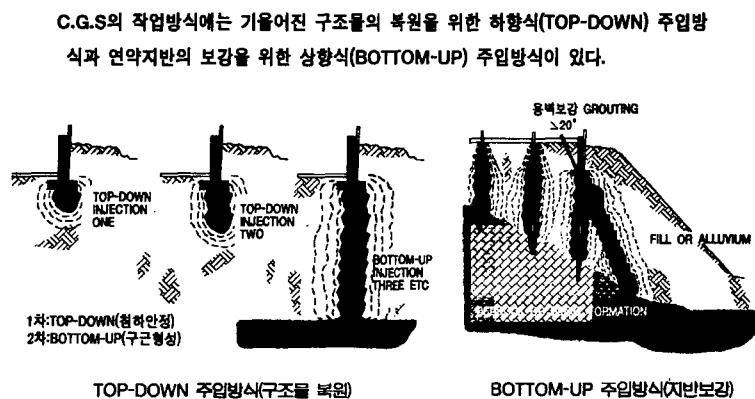


그림 1. 주입순서

2.2 적용대상 및 범위

저유동성 몰탈형 지반주입공법의 목적인 지반의 조밀화는 토층 및 토질의 구조적 배열 등에 따라 달라지며, 대상지반의 토질이 균질할수록 유리하다. 저유동성 몰탈형 지반주입공법에 의한 개량 대상지반의 층이 얇은 경우는 주입고결체의 길이 대 직경의 비(L/D)가 2.0까지 가능하며, 적용되는 범위는 다음의 네 가지로 나눌 수 있다.(Xiangang 등, 1996)

- (1) 구조 요소 : 대상 구조물의 기초 하부지반에 pile형의 구조체를 형성시켜 상당한 하중물을 지지할 수 있도록 보강한다.
- (2) 지반 개량 : 지반주입공법은 주변지반의 조밀화에 의해 대상지반 전체의 개량을 목적으로 한다.
- (3) 층 전 : 폐광이나 석회암동굴 등의 공동과 사석매립층의 공극을 비유동성의 주입재로 충전시킴으로써 상부지반의 안정을 꾀할 수 있다.
- (4) 구조물복원 : 연약한 지반조건이나 기초부실로 인한 구조물의 부등침하 발생시 원상태로의 복원을 목적으로 한다.

3. 현장적용

3.1 현장상황

본 사무동 건물은 독립푸팅기초로 되어 있고 pile없이 원지반을 동다짐한 후 직접기초로 시공하였다. 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. 공사기간은 1998년 4월 중순부터 1999년 5월 중순까지 약 1개월 소요되었다. 관련시추조사자료에 의하면, 본 구조물이 위치한 지역의 지층은 상부로부터 모래질의 매립층, 실트질점토층, 모래질실트층, 풍화토층의 층서를 나타내고 공내수위는 나타나지 않았다.

지반조사 결과에 의하면 독립푸팅기초 3열중 첫번째열 전체와 2번째열 일부 (그림 2에서 빗금친 곳)는 지표에서 GL-11.0m 이하에서 상부하중을 지지할 수 있는 지지층이 분포하는 것으로 나타났다.

나머지 독립푸팅기초의 지반은 풍화암내지 충분히 지지력이 확보되는 (허용지지력이 40t/m² 이상) 풍화토층에 시공된 것으로 조사되어, 본 건물에 발생한 균열은 첫 번째 열의 기둥과 두 번째 열 일부 기둥의 하부 기초지반의 지지력 부족에 기인한 부등침하에 의한 것으로 판단되었다. 이에 대한 보강대책으로서 경제성을 감안하여, 총 81개 기둥중에서 지지력이 부족한 35개 기둥의 하부 기초지반 보강을 하는 방안을 수립, 적용하였다.(Moseley, 1993) 보강 전, 후에 조사한 N치는 표 2와 같다.

표 1. 기초형식별 작용하중

기초 형식	독립푸팅 크기(m)	최대 작용하중 (ton)	최대 단위하중 (t/m ²)
F1	2.6×2.6	268.16	39.67
F2	3.0×3.0	268.16	29.80
F1A	3.2×2.6	268.16	32.23

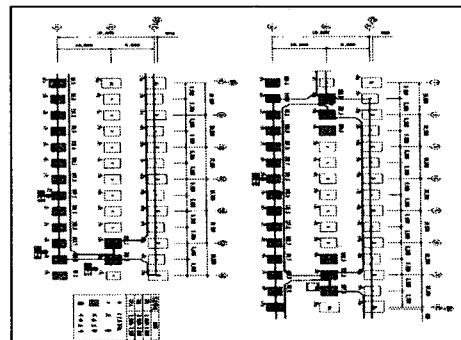


그림 2. 예상 연약지점 및 기초지반 보강 평면도

표 2. 기초지반 보강 전·후의 N치의 변화

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

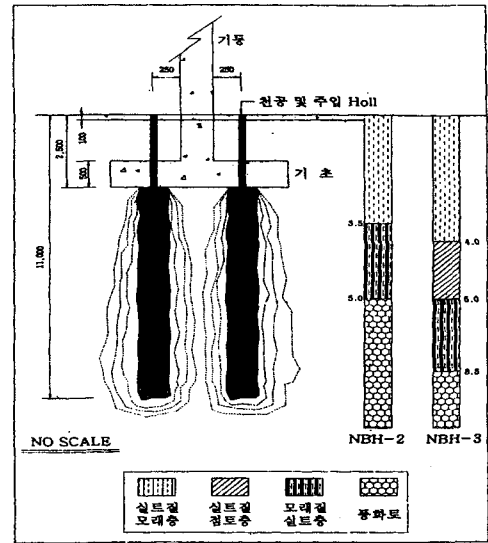


그림 3. 기초지반보강 개념도

3.2. 지지력 산정

3.2.1. 독립푸팅기초 주변지반의 지지력

(1) 저유동 몰탈형 지반주입공법의 시공전.

N치 평균 (G.L.-11.8m까지) : $(6 + 4 + 10 + 3 + 6 + 6 + 6 + 11) / 8 = 6.5$

내부마찰각(ϕ) : Dunham(1954)의 제안에 의해 $\phi = \sqrt{(12N)+15} = \sqrt{(12 \times 6.5)+15} = 22.83$

단위중량(γ) = 1.73 ton/m³

Terzaghi의 극한지지력 계수 N_q' , N_r' 를 구하면, 각각 4.7과 2.6으로 나타난다.

Terzaghi의 정사각형기초의 극한지지력은 다음과 같다.

$$q_u' = 1.3c' N_c' + \gamma' D_f N_q' + 0.4 \gamma' B N_r' \quad (1)$$

여기서, c' 는 점착력, D_f 는 기초의 근입깊이, B 는 기초의 폭이며, 지반을 사질토로 보면, 위 식의 제 1항은 없어지고 극한지지력은 다음과 같이 된다.(Braja, 1985)

$$q_u' = (1.73 \times 2.5 \times 4.7) + (0.4 \times 1.73 \times 2.6 \times 2.6) = 25.005 \text{ ton/m}^2$$

(2) 저유동 몰탈형 지반주입공법의 시공후

N치 평균 (G.L.-11.8m까지) : $(17+13+16+17+17+18+21) / 7 = 17$

(GL-10.3m에서 측정된 N치 50은 제외)

내부마찰각(ϕ) : $\phi = \sqrt{(12N)+15} = \sqrt{(12 \times 17)+15} = 29.28^\circ$

단위중량(γ) : 지반의 단위중량 증가량 $\Delta\gamma$ 는 다음 식에 의하여 구할 수 있다.

$$\Delta\gamma = \frac{p_g \cdot \gamma_s}{E_b - p_g} = \frac{500}{3000 - 500} \times 1.73 \text{ton/m}^3 = 0.346 \text{ton/m}^3$$

여기서, $\gamma_s = 1.73 \text{ton/m}^3$: 원지반의 단위중량

$$p_g = 50 \text{kg/cm}^2 = 500 \text{ton/m}^2 : \text{주입압}$$

$$E_b = \frac{E}{3(1-2\nu)}$$

$$= \frac{450 \text{kg/cm}^2}{3(1-2 \times 0.25)}$$

$$= 300 \text{kg/cm}^2$$

$$= 3,000 \text{ton/m}^2 : \text{흙의 체적변형계수(여기서 E는 N치를 고려하여 추정함)}$$

따라서, $\gamma_a = (1.73 + 0.346) \text{t/m}^3 = 2.076 \text{t/m}^3$: 개량된 지반의 단위중량

Terzaghi의 극한지지력계수 Nq' , Nr' 는 각각 7.5와 5.0이므로, 극한지지력은 다음과 같다.

$$q_u' = (2.076 \times 2.5 \times 7.5) + (0.4 \times 2.076 \times 2.6 \times 5.0)$$

$$\approx 49.72 \text{ ton/m}^2$$

이상에서는 저유동성 몰탈형 주입재에 의해 형성된 구조물기초 하부지반의 구조체를 무시하고 순수 지반의 지지력을 고려하였다. 기초지반 보강 후에는 지반의 조밀화에 의해 N치가 증가하면서 지지력이 증가하여 극한지지력이 작용하중보다는 크게 나타났으며, 보강전보다 2배 가까이 지지력이 증가하였다.

3.2.2 저유동 몰탈형 지반 주입공법에서 말뚝개념이 지지력 산정

(1) 말뚝 직경(\varnothing) = 600 mm

$$(2) \text{ 말뚝 단면적}(A) = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times 0.6^2}{4} = 0.28274 \text{m}^2$$

(3) 일축압축강도(q_u) = 90kg/cm² (재령 28일)

$$(4) \text{ 허용압축강도}(q_a) = \frac{q_u}{F.S.(=4)} = 22.5 \text{kg/cm}^2 = 225 \text{t/m}^2$$

(5) Compaction Pile Grouting의 본당 허용지지력(Q_a)

$$Q_a = q_a \times A = 225 \times 0.28274 = 63.616 \text{ ton/본}$$

3.3 독립푸팅기초 지반보강후의 안정검토

최대 단위하중이 가장 큰 독립푸팅기초의 형식은 F1타입이고, F1의 푸팅 크기는 2.6m×2.6m으로 정사각형 기초이다. 각 기초에 대하여 4개의 저유동성 몰탈형 지반주입개량체를 시공하였으므로, 지반에 형성된 이들 말뚝구조체 및 개량지반에 의한 허용 지지력을 계산해 보면,

$$63.616 \text{ton/본} \times 4 \text{본} + \frac{49.72}{3} \text{ton/m}^2 \times (2.6 \text{m} \times 2.6 \text{m}) \times 83\% (\text{푸팅의 순면적율})$$

$$= 454.464 \text{ton} + 112.036 \text{ton} \times 83\%$$

$$= 547.45 \text{ton} > 268.16 \text{ton} (\text{최대 작용하중}) \quad \therefore \text{O.K}$$

4. 계속

보강효과를 가장 직접적으로 검증하기 위하여 건물 중앙을 기준으로 하여, 중앙의 독립푸팅 1개소와 건물 오른쪽 끝부분의 독립푸팅 2개소 등 총 3개소에 매입형 지반침하계를 설치하여 장기 지반침하를 측정하였다. 3개소 침하계 측정결과를 정리하면 표 3과 같다. 스파이더 앵커를 G.L.-20m 정도에 고정설

치 하였으므로, 측정점 NO.2 , NO.3에서 -0.2mm~0.1mm의 값은 측정오차 범위이내의 매우 미소한 값이므로, 지반침하하는 더 이상 발생하지 않는 것으로 사료된다.(Roy, 1984)

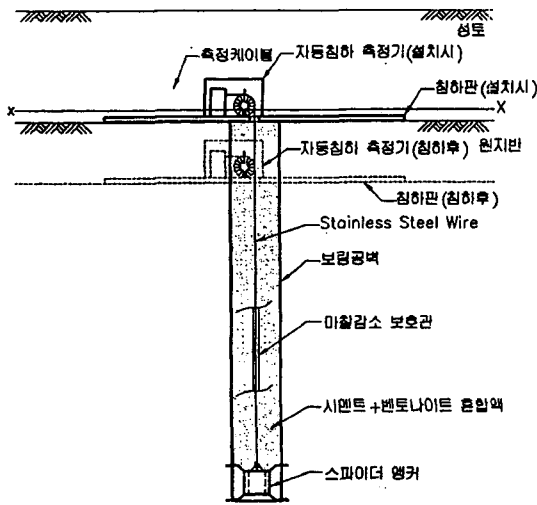


표 3. 누계 침하량 (mm)

경과일	0	28	47	55	67	75	85
측점							
NO.1	0.0	0.2	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9
NO.2	0.0	0.0	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2
NO.3	0.0	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1

그림 4. 매립형 지반침하계의 설치 단면도

5. 결론

- (1) 본 현장 여건 등을 감안하여 선정된 본 공법은 장비가 소형이고 소음·진동이 적으며, Slime등의 발생이 적어 주변 환경이 깨끗하게 공사를 마무리 할 수 있었다.
- (2) 본 공법의 시공 전·후에 실시한 N치를 활용하여, 건물기초 하부 주변지반의 허용지지력을 Terzaghi의 지지력공식을 이용하여 산정한 결과, 보강전 보다 2배 이상 지지력이 증가하였다.
- (3) 최대 작용하중을 기준으로 하여, 단위하중이 가장 큰 독립푸팅기초를 대상으로 안전 검토를 실시한 결과 Pile형의 구조체로서도 안전한 것으로 산정되었다.
- (4) 보강 효과를 직접적으로 검증하기 위하여 장기계측을 가장 정확하고 간편하게 측정할 수 있는 매립형 지반침하계를 설치하고 건물기초지반의 침하량 측정을 실시한 결과, 계측치는 더 이상 지반침하가 발생하지 않아 본 공법은 본 보강공사에 대하여 효과적이고, 적절히 선정된 것을 확인할 수 있었다.

6. 참고 문헌

1. 천병식(1995), 건설기술자를 위한 지반주입공법, 원기술, pp.168~189.
2. Braja, M. Das.(1985), "Principles of Geotechnical Engineering", PWS Publishers, Boston, pp.372~428.
3. Moseley, M. P.(1993), Ground Inprovement, CRC Press, Boca Raton, pp.130~148.
4. Roy, E. Hunt.(1984), Geotechnical Engineering Inrestigation Manual, McGraw-Hill Book Company, New York, pp.11~243.
5. Xiangang, Dai. and Roy, H. Borden.(1996) "The Change of In-Situ Soil Conditions Induced by Compaction Grouting", North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, p.125.