

MJM 주입공법의 현장적용성에 관한 연구 A Study on the Application of MJM for Ground

천병식¹⁾ Byung-Sik Chun, 최춘식²⁾ Choon-Sik Choi, 노종륜³⁾ Jong-Ryun Roh,
이승준⁴⁾ Seung-Joon Lee

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

²⁾ 서울그라우팅 연구소 대표이사, The Chief of Director, Seoul Grouting Research Institute

³⁾ 대우건설 기술연구소 토목연구팀 전임연구원, Associate Research Engineer, Civil Engineering, Research Team, Daewoo E&C Co.

⁴⁾ 한양대학교 토목공학과 석사과정, Graduate student, Dept. of Civil Engineering, Hanyang University

SYNOPSIS : The high pressure jet grouting method is mainly used in the grouting. But, this method has problems that the scale and strength of improved body is not constant with ground condition. Considering these problems, triple rod MJM that results in the high-strength effect by the technology of the injected $\varnothing 7\text{mm}$ cement mortar was developed. In this MJM, the unconfined strength is estimated with the various combination ratio and engineering characteristic, strength improvement effect of improved body, was checked through the field test. It is known that the application of MJM was verified with ground and construction condition.

Keywords : MJM, High pressure jet grouting method, Triple rod, Ground improvement

1. 서론

지반개량공법 중에서도 액체의 고압분사력을 이용하여 지반을 절삭, 파괴함과 아울러 그라우트의 충전, 치환 또는 교반 혼합으로 고결체를 형성하는 국제적 기술 용어로 Jet-Grouting 공법이라 불리는 고압분사 공법이 많이 적용되고 있다(천, 2002). 국내에 소개된 고압분사공법의 유래는 1980년부터 J.S.P(Jumbo Special Pattern)이라고 명명된 공법이 일본으로부터 도입되어 서울지하철 공사에 적용되면서부터 지반 고화처리 기법의 하나로 국내에 널리 사용하게 되었다(홍, 1994). 그러나 이 공법은 조성되는 지반 조건에 따라 균질한 고결체의 크기나 강도가 일정치 않은 문제점을 가지고 있다. 이런 문제점을 고려하여 $\varnothing 7\text{mm}$ 시멘트 모르타르 주입에 의한 고강도 효과를 기대할 수 있는 3중관 룯드식 MJM 공법을 개발하게 되었다. 본 MJM 공법에서는 다양한 배합비에 따른 일축압축강도를 측정하였고, 시험시공을 통해 개량체 강도증가 효과 등의 공학적 특성을 검토하여 토질 조건과 시공조건에 따른 MJM 공법의 다양한 적용성을 확인할 수 있었다.

2. MJM(Mortar Jet Method)공법 개요

2.1 공법의 기본원리 및 특징

일반적인 주입공법은 저압주입이며 될 수 있는 한 지반의 골조를 파괴하지 않고 그 공극에 주입재를 침투 또는 할렬주입 시키는 점에 반하여 고압분사공법은 적극적으로 지반을 파쇄하여 치환 또는 혼합층

진하는 것으로서 시공방법이 완전히 다른 높은 압력을 가한 압력수를 노즐을 통해 분사하여 운동에너지로 지반을 세굴하고, 세굴공간에 경화재를 충전하여 원주상의 고결체를 지중에 조성하는 것이다(천, 2005). 이에 본 MJM공법은 3중관 룯드로 개량하고자 하는 지점까지 천공하여 상향 인발하면서 초고압수와 압축공기로 지반을 절삭·이완시켜 지중에 인위적인 공간을 형성한 후 모르타르를 고압으로 분사하여 현지토를 치환함으로써 주상형의 고결체를 형성시켜 연약점토층을 비롯한 모든 지층에서 균일한 고강도의 지중연속벽이나 기초(지지)파일을 형성시키는 주상형 고결체 형성장치 및 형성공법이다.

치환율을 높이는 방법으로서 본 공법에서 개발한 기술은 압축공기를 하부에서 상부 표토방향으로 향하게 하는 노즐 설치이다. 이 노즐은 슬라임 배출을 용이하게 하여 절삭된 공벽의 유지가 원활해지고 주입재의 Mixing 효과가 탁월하여 각 고결체의 강도 증가를 가져온다. 따라서, 고결체의 강도증가로 인하여 고결체의 개수 및 직경을 줄일 수 있으므로 공사비 감소효과를 가져온다. 또한 직경 $\varnothing 114\text{mm}$ 인 선단장치를 사용함으로써 시공시 공장에서 출하한 고강도의 시멘트 모르타르($\varnothing 7\text{mm}$ 이하 레미콘)의 기성제품을 별도의 작업없이 주입장비를 통해 사용할 수 있다. 이는 고결체의 강도 증가를 가져올 뿐만 아니라 시공을 용이하게 하여 경제적 측면에서 공사비 감소에 직접적인 영향을 끼치게 된다.

2.2 시공방법

본 MJM공법에 있어 시공방법은 다음 그림 1과 같다. 천공 단계는 선단장치를 $\varnothing 114\text{mm}$ 로 확장시키는 기술을 적용한다. 대구경 선단장치는 수직도 유지에 핵심기술로서 본 시공시 시공품질을 개선하고 추가적인 보조공법을 사용하지 않으므로 공사비 절감 효과를 가져온다. 천공 단계를 거쳐, 초고압수와 압축공기로 원지반을 절삭한 후 절삭된 원지반은 공벽을 가지게 된다. 이 단계에서 슬라임이 배출되면서 생긴 공벽을 유지하여 원지반의 치환율을 높일수록 개량체의 품질이 향상된다. 분사개시 및 MJM 개량체 조성단계에서 공벽 유지 및 슬라임 배출을 용이하게 하기 위하여 압축공기를 하부에서 상부 표토방향으로 향하게 하는 노즐을 설치하여 개량체의 강도 증가를 가져온다.

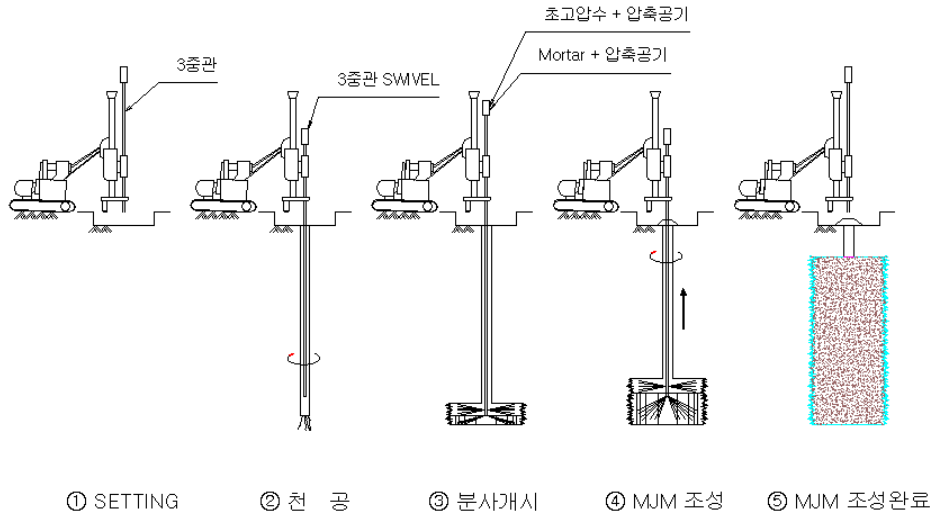


그림 1. 시공순서도

3. 실내시험

3.1 공시체 제작

시멘트와 잔골재를 각각 1:1, 1:2, 1:3의 배합비로 공시체(직경 5cm, 높이 10cm)를 제작하여 14일간 수

중양생을 실시하였다.

3.2 일축압축공법

상기와 같은 배합비로 공시체를 제작하여 각각의 배합비에 따른 재령별 강도 변화를 측정하기 위하여 KS F 2314에 따라 일축압축강도를 측정하였다. 재령 14일을 기준으로 하였을 때, 배합비 1:1의 경우는 346.74kgf/cm², 배합비 1:2의 경우는 211.41kgf/cm², 배합비 1:3의 경우는 94.07kgf/cm²로서 재령 증가에 따라 유사한 경향으로 증가함을 알 수 있었다(그림 2 참조).

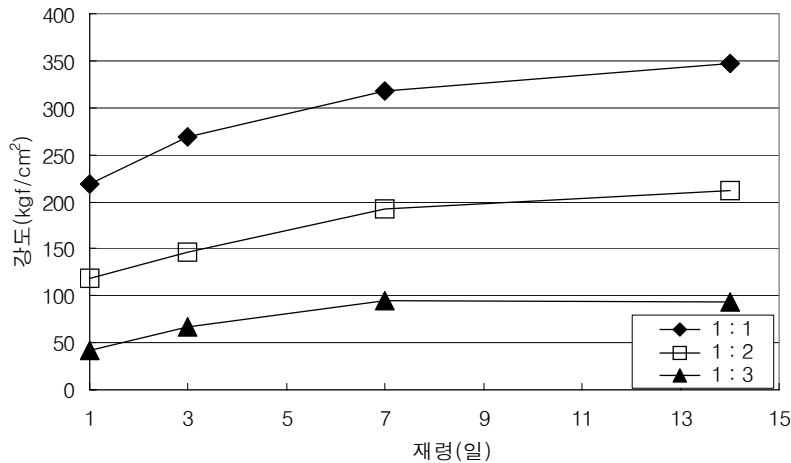


그림 2. 재령별 일축압축강도

4. 시험시공사례(지하철 901공구현장)

4.1 시험시공개요

본 시험시공에서는 현장시험을 통한 MJM공법의 배합비 산정 및 기준시간을 적용하여 시험시공을 시행함으로써 주입인발시간과 주입재(모르타르)의 효과적 주입방법을 구축하여 지반보강효과를 확인하였다. 현장시험은 시추조사 3개소, 투수시험 3회, 공내재하시험 3회를 실시하였고, 배합비 1:1, 1:2의 경우는 시추조사에서 채취된 코어의 일축압축강도를 측정하였다.

4.2 지반특성

현장시공 전 시험시공 부지의 특성을 파악하기 위하여 표준관입시험을 실시하였고 시험은 지표하 1.5m 또는 2.0m 간격으로 혹은 지층이 변하는 층에서 실시하는 것을 원칙으로 하였다. 본 시험시공 부지는 심도 4.5m까지 모래질 실트로 구성되어 있고 N치는 8/30~19/30까지 다양하게 분포되어 있다. 현장투수시험 결과, 투수계수는 평균 1.76×10^{-4} cm/sec로 나타났으며 N치는 표 1과 같다.

표 1. 시험시공 지반의 N치

심도	항목	지 층	N 치	비 고
GL-1.5m		모래질 실트	8/30	
GL-3.0m		모래질 실트	7/30	
GL-4.5m		모래질 실트	19/30	

4.3 시험시공결과

4.3.1 육안확인

시험구간을 굴착하여 육안확인한 결과 구근이 거의 원형형태로 양호하게 시공되었으며, 구근형성 상태는 그림 3과 같이 확인할 수 있었다.



그림 3. 구근형성 확인

4.3.2 시추조사

조사부지의 지반상태를 파악하고 현장시험시공의 효과확인에 필요한 제반 지반공학적 자료를 수집하기 위하여 시추조사를 실시하였다. 시추구경은 원칙적으로 NX(Ø76mm)로 작업하였으며, 시추심도는 현장 시공상황에 따라 차이가 있으나 MJM공법으로 시공이 완료된 층의 아래 지층까지 확인하였다. 시추조사 결과는 다음 표 2와 같다.

표 2. 시추조사 결과

배합비	지 층 명	지 층 상 태	색 조	분포심도(m)	T.C.R(%)
1:1	MJM고결체	코아회수율 보통	담회색 내지 회색	0.0~4.5	51
1:2	MJM고결체	코아회수율 보통	담회색	0.0~3.4	62
1:3	MJM고결체	코아회수율 불량	암회색	0.4~3.65	40

4.3.3 현장투수시험

시추조사와 병행하여 지반의 투수성을 파악하기 위해 변수위법으로 시추공 전체에서 현장투수시험을

실시하였다. 표 3에서 보는 바와 같이 조사지역의 현장투수시험은 5분 동안 변수위 투수시험으로 실시하였으며, 배합비 1:1과 1:2에서는 수위변화를 보이지 않을 정도로 투수계수가 현저히 작게 측정되었다.

표 3. 현장투수시험 결과

배합비	시험구간(m)	투수계수(cm/sec)	비고
1:1	0.0m~2.0m	-	수위변화 없음
1:2	0.0m~2.0m	-	수위변화 없음
1:3	0.0m~2.0m	1.34×10^{-4}	

4.3.4 공내재하시험

시추공의 공벽면을 가압하고, 이때 발생하는 공벽면의 변형량을 측정함으로써 지반의 성질(강도, 변형 특성)을 파악하기 위해 공내재하시험을 실시하였다. 배합비에 따른 변형계수 및 탄성계수는 표 4와 같다.

표 4. 공내재하시험 결과

배합비	시험심도 (GL.-m)	대상 지층	포아송비 (적용값)	변형계수 (kgf/cm ²)	탄성계수 (kgf/cm ²)
1:1	3	MJM 고결층	0.25	21,383	49,697
1:2	1.5	MJM 고결층	0.25	21,283	37,763
1:3	1	MJM 고결층	0.25	4,592	9,910

4.3.5 코어의 일축압축시험

배합비 1:1, 1:2에 대해서는 시추조사에서 채취된 코어를 직경 5cm, 높이 10cm의 1:2 비율로 절단한 후 일축압축강도를 측정하였다. 배합비 1:3의 경우, 코어채취 형태가 일정하지 못하여 실험을 실시하지 못하였으며, 표 5에서 보는 바와 같이 배합비에 따른 일축압축강도는 불규칙한 분포를 보였다.

표 5. 일축압축시험 결과

배합비	일축압축강도(kgf/cm ²)				
1:1	132.8	144	234.4	299.2	327.2
1:2	78.4	88.8	98.4	102.4	144.8

5. 결론

본 논문에서는 MJM공법의 실용화 연구를 위하여 다양한 배합비에 따른 일축압축강도 측정 및 시험 시공을 통하여 고결체 강도증대 효과 등의 공학적 특성을 검토하였고, 토질조건 및 시공여건에 따른 구근형성 등의 적용성을 확인하였다.

- (1) 각각의 배합비에 따른 재령별 일축압축시험결과, 1:1의 경우는 346.74kgf/cm², 1:2경우는 211.41kgf/cm², 1:3의 경우는 94.07kgf/cm²로 나타났다. 이로부터 주입재의 배합비는 1:1과 1:2가 적합한 것으로 판단된다.

- (2) 시험시공 실시 후, 배합비 1:1과 1:2의 경우 채취된 코어의 상태가 양호하여 일축압축강도를 측정하여 배합비 1:1의 경우는 $132.8 \sim 327.2 \text{kgf/cm}^2$, 1:2의 경우는 $78.4 \sim 144.8 \text{kgf/cm}^2$ 으로 측정되었다.
- (3) 공내재하시험 결과, 배합비 1:1과 1:2의 경우는 거의 연암정도의 강도를 가지는 것으로 나타났다.
- (4) MJM공법의 고결체에 대한 현장투수시험 결과 투수가 거의 되지 않는 불투수성인 것으로 파악되었다.

참고문헌

1. 천병식(2005), “최신지반주입공법 -이론과 실제-”, 원기술, p.187, pp.217~234.
2. 천병식(2002), “S.R.C 공법의 특성 및 현장 적용성에 관한 검토 연구”, 한양대학교, pp.1~5.
3. 홍원표(1994), “고압분사주입공법(S.I.G)에 의한 지반개량체의 특성에 관한 연구 보고서”, 중앙대학교, pp.111~176.