한국지반환경공학회 논문집 제6권 제4호 2005년 12월 pp.65~71

SCM 친환경주입공법에 의한 차수 효과에 관한 연구

A Study on Seepage Cutoff Effect of the Environmentally Friendly SCM

천병식* · 노종륜** · 주태성*** · 도종남****
Chun, Byung-Sik · Roh, Jong-Ryun · Jooi, Tae-Seong · Do, Jong-Nam

Abstract

Recently, difficulties in soft ground improvement that caused by effectiveness of the ground improvement, the durability and environmentally friendliness of the injection material come to the fore. This paper studies the field applicability of the SCM in reinforcement and seepage cutoff of the back of an existing continuous wall. SCM uses double rod which imposes heavy pressure(10-100kgf/cm^2) to disturbed, cut, discharge, and mix the ground. It is observed that a bulb is formed by using cement paste and environmentally friendly injection materials with minimal alkali leaching. Unconfined compression test and fish poison tests are performed. Test results indicate that the method results in higher durability, less leaching through use of the environmentally friendly injection material, and faster mobilization of the strength. In addition, field tests confirm the formation of the bulb and the seepage cutoff wall.

Keywords : SCM, Eco-environmental injetion, Heavy pressure, Back of continuous wall

요 지

최근 건설현장에서 연약지반처리문제는 자주 대두되는 문제이며, 연약지반을 개량하기 위한 주입공법의 적용성에 있어서 지반개량의 확실성, 주입재의 내구성 및 환경공해문제 등의 문제점이 야기되고 있다. 본 논문에서는 기존의 연속벽체배면을 차수, 보강하는 SCM주입공법의 현장적용성을 검토한 것이다. 2중관 롯드의 중압(10~100kgf/cm^2)에 의해 지반을 교란 및 절삭, 분사 혼합하여 알칼리 용출이 적은 친환경적 주입재와 시멘트 페이스트에 의해 구근이 형성됨을 확인하였다. 재령별 일축압축강도 시험과 환경영향성(어독성) 시험을 시행하고, 친환경적 주입재를 사용함으로써 환경공해문제 및 내구성 문제를 보완할 수 있었고, 강도의 조기발현에 의한 지반보강재로서의 성능이 우수함을 확인하였다. 또한 현장시험시공을 통해 구근형성 및 차수벽형성을 확인하고 그 효과가 양호함을 알 수 있었다.

주요어 : SCM, 친환경적 주입재, 중압, 연속벽체배면 차수

* 정회원 · 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수
** 비회원 · (주)대우건설 기술연구소 토목연구팀 전임연구원
*** 정회원 · (주)한진중공업 기술연구소 선임연구원
**** 정회원 · 한양대학교 대학원 토목공학과 석박사과정

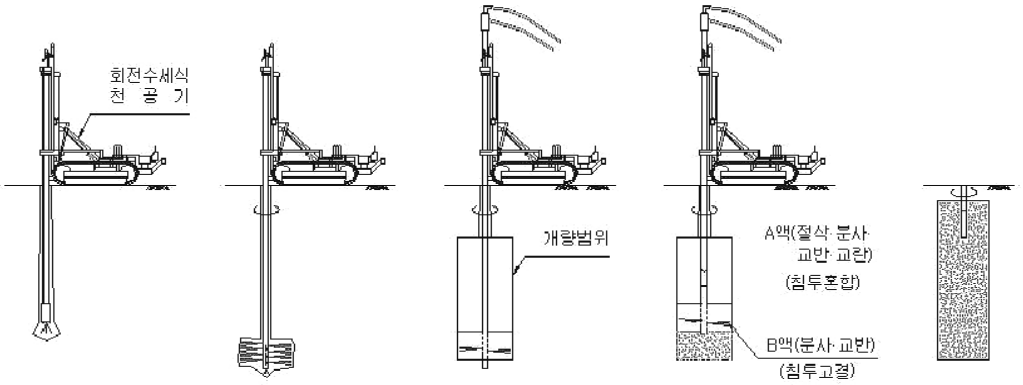
1. 서 론

우리나라는 1970년대 초 선진국으로부터 약액주입공법이 도입되었으나 연구개발부분의 무관심으로 지금까지 거의 개선, 발전없이 그대로 쓰여지고 어떤 부분은 과다경쟁과 덤핑수주로 인해 오히려 기술이 퇴보 또는 공법이 변질되어 쓰이고 있는 등 우리의 주입기술수준은 선진외국에 비해 낙후되어 있다. 약액주입공법은 지하철공사와 고층건물 건축 등 도심건설공사에서 주로 차수목적으로 많이 쓰이고 있으나, 맥상주입 또는 할렬주입으로 인한 주입효과를 주입양만으로 판정할 수 없다. 또한 연약지반처리 문제는 자주 대두되는 문제이며, 건설현장의 악조건과 갈수록 까다로워진 설계, 시공여건 때문에 약액주입공법의 필요성 및 활용성이 급증하고 있으며 이러한 연약지반을 개량하기 위한 약액주입공법은 적용에 있어서 지반개량의 강도증대 및 차수효과와 주입재의 내구성 및 환경공해문제 등 여러 가지 문제점이 야기되고 있다(천병식, 2005). 본 논문에서는 저압주입에 의거 맥상·할렬방식으로 침투되는 주입공법의 단점을 보완하여 원지반 절삭과 분사주입이 단일공정이며 절삭과 동시에 지반내 공극에 환경친화적 약액과 시멘트 paste를 균일하게 중압으로 회전분사하여 확실한 주입효과를 나타내는 침투와 혼합의 복합공법인 SCM공법에 대하여 논의 하고자 한다.

2. SCM공법

현재 우리나라에서 사용되는 차수공법의 경우 1개~4개정도 까지만 노줄이 부착되어 있는 관계로 직경 $\varnothing 300 \sim 500mm$ 정도의 작은 개량체를 만들기 위해서는 롯드의 인발시간을 빨리 하여야 하는데 1개~4개의 노줄로 인발을 빨리 시켰을 경우 꽈배기 또는 스크류형의 개량체가 형성되는 문제점이 발생한다. 또한 알칼리 용출에 의한 내구성저하 및 환경공해문제 등이 발생하고 있다.

SCM(Special Chemical Grouting Method) 공법은 흙막이공법 중 현장타설 주열식 말뚝벽체인 CIP배면의 시공시 말뚝의 수직도와 말뚝간 연속성 불량으로 상호 격리된 부위에 시멘트 paste와 친환경적 약액을 주입재로 하여 차수목적의 구근을 형성하는 공법이다. 본 장치는 그림 1의 지반개량 시스템에서 보는바와 같이 12개의 노즐을 방사상 다단계 형식으로 배치된 특수주입선단장치를 이중관 롯드에 장착시켜 "④인발, 주입 단계"에 나타난 그림과 같이 A액은 절삭·분사·혼합하고 B액은 3개 노즐에서 중압(10~100kgf/cm^2)으로 분사 및 혼합 고결시키면서 인발속도를 조절하며 직경 $\varnothing 300 \sim 500mm$ 정도의 작은 직경의 개량체를 형성시켜 차수효과를 우수하게 한다. 본 주입재의 경우 어독성시험과 내구성 시험으로 검증된 환경친화적 약액을 사용하여 알칼리 용출에 의한 내구성저하 및 환경문제를 최소화 하였으며, gel-time 조절이 용이하여 유속의 흐름이 빠른 자갈, 전석층에서도 주입재의 유실 없이 주입이 가능한 공법이다.



① 천 공 ② 절삭, 교란 ③ 주 입 ④ 인발, 주입 ⑤ 주입 완료

그림 1. 지반개량 시스템

3. 실내시험

주입재의 물리·화학적 특성을 알아보기 위하여 시멘트, 물, 내구성약액을 3 : 3 : 1의 배합비로 공시체를 직경 5cm, 높이 10cm로 제작하여, 재령별 일축압축강도변화 측정, 환경영향성시험, 내구성 시험을 실시였다. 공시체 제작을 위한 gel-time 조절을 위해 경화제(시멘트 중량의 5%)를 첨가하였다.

3.1 일축압축강도시험

주입재의 조기강도 발현 정도와 보조 지반보강재로서의 적합성을 판단하기 위하여 공시체를 제작하여 「흙의 일축압축시험방법(KS F 2314)」의 규정을 바탕으로 시험(한국표준협회, 2000)방법으로 시험을 실시하였다.

(a) 시험 전

(b) 시험 후

그림 2. 일축압축강도 시험

그림 3에서 보는 바와 같이 일축압축강도 시험 결과 1일강도 22.66 ㎏f/㎠에서, 3일강도 47.93㎏f/㎠로 3일만에 강도가 조기발현 되어 보조 지반보강재로서의 적합성을 확인할 수 있었다.

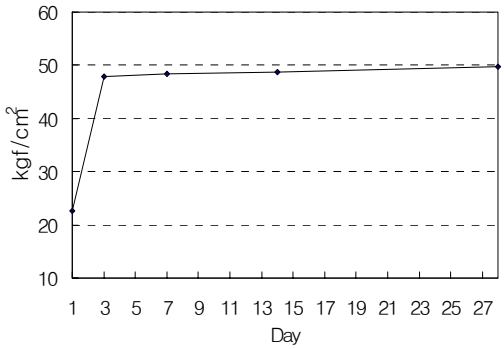
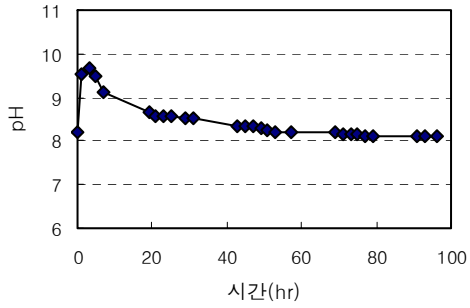


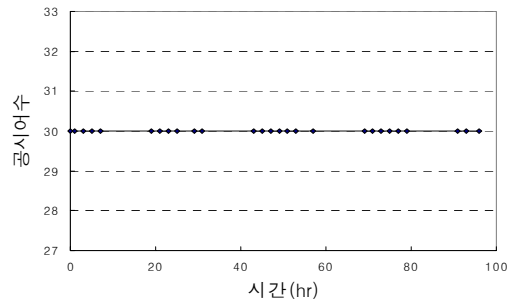
그림 3. 주입재의 재령별 압축강도 발현특성

3.2 환경영향성(어독성) 시험

약액주입에 의한 환경오염의 정도를 파악하기 위해 「어류에 의한 급성 독시험(KS M 0111)」의 규정을 바탕(한국표준협회, 1993)으로 시험방법을 설정하였으며 약액이라는 특수한 성질을 반영하기 위해 KS 규정 중 일부를 삭제, 보완하여 시험(천병식 등, 1998a)을 실시하였다. 또한 알칼리 용탈에 의한 pH 변화를 측정하였다.



(a) pH



(b) 공시어 수

그림 4. 시간에 따른 pH 변화 및 공시어 수

그림 4에서 보는 바와 같이 주입약액의 환경오염성(어독성) 시험 결과 pH가 9.65까지 증가하였으나 3시간 이후부터 감소하기 시작하여 50시간 이후 물고기가 생존하기에 알맞은 pH값(6.5~8.5)을 회복하였다. 또한 공시어의 수가 초기 숫자인 30마리를 유지하여 알칼리 용탈에 의한 오염도가 적은 것으로 판단되었다(천병식 등, 1998b).

3.3 내구성 평가시험

주입재의 알칼리 용탈에 대한 내구성 저하 정도를 측정하기 위하여 자연해수의 6배의 Cl_2용액 및 자연해수의 10배 SO_4용액에 공시체를 제작하여 그림 5와 같은 시험장치(천병식, 2005)에 침적시키고 알칼리 용탈에 따른 내구성저하 정도를 알아보기 위하여 페놀프탈레인용액으로 알칼리 용탈 여부를 확인하였다.

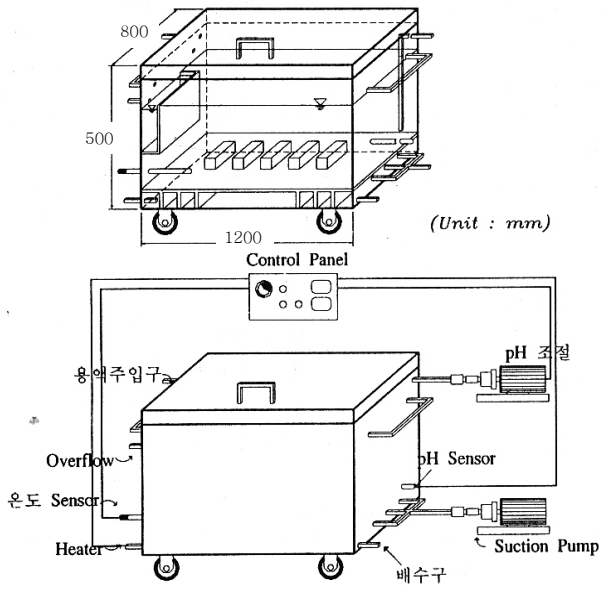
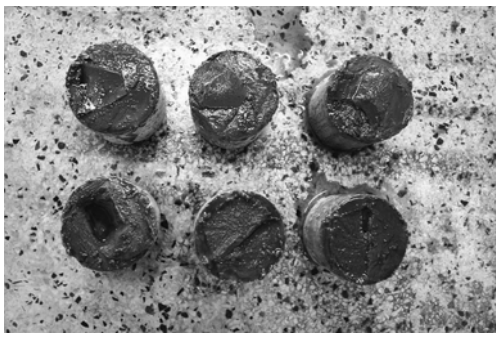


그림 5. 내구성 시험기

(a) 침전 전

(b) 침전 후 1일



(c) 침전 후 7일

(d) 침전 후 14일

그림 6. 알칼리 용탈정도

그림 6은 침전 전, 후(1일, 7일, 14일) 공시체를 페놀프탈레인용액으로 알칼리 상태 여부를 확인한 결과이다. 침전 전, 침전 후 1일, 7일 까지는 공시체가 알칼리 상태를 유지 하여 페놀프탈레인용액에 대하여 황적색(그림 6에서 상대적으로 검게 나타남)을 나타냈지만 14일 이후에는 알칼리용탈이 완료된 모습을 보여주었다. 그리하여 본 주입재의 경우 7일에서 14일 사이에 대부분의 알칼리 용탈이 진행되는 것으로 판단된다(천병식 등, 2000).

4. 현장시험시공

본 시험시공 장소(충남 ○○시 ○○방조제)는 대표적 약액공법인 LW공법과 제당 개보수그라우팅에서 활용되는 반 용액공법을 혼합·시공한 곳이다. LW공법은 방조제와 같은 유동성 있는 제체에서 주입재의 과다손실을 방지하는 효과와 차수효과, 경제성이 뛰어나지만 시일이 경과할수록 주입재의 내구성이 저하되는 단점이 있다. 그리하여 시공대상구간 중 4 구간에 본 공법을 시범적으로 적용하여 시험시공 하였다.

그림 7. ○○방조제 시험시공

4.1 현장투수시험 및 누수량 조사

현장투수시험은 단일시추공에서 변수위법으로 시행하였으며, 구근과 구근 사이에서 차수효과를 시험하였다. 시험방법은 다음과 같다.

1. 시추작업 중에 설치된 케이싱 하부에 일정한 시험구간까지 굴착한다.
2. 이수를 순환시켜 슬라임을 제거한다.
3. 공내수위가 안정될 때까지 대기한 후 수위를 측정한다.
4. 케이싱의 상단까지 청수로 채우면서 시험준비가 완료된다.
5. 시작과 동시에 일정 시간간격으로 수두의 변화를 측정한다.
6. 수두가 자연수위까지 내려갔거나, 장시간 수두의 변화가 없을 때까지 시험한다.
7. 투수계수(K)를 구하는 식은 아래와 같다.

$$K = \frac{r^2}{2L(t_2 - t_1)} ln(\frac{L}{r}) ln(\frac{H_1}{H_2})$$

다음 그림 8은 현장투수시험 모식도를 나타내고 있다.

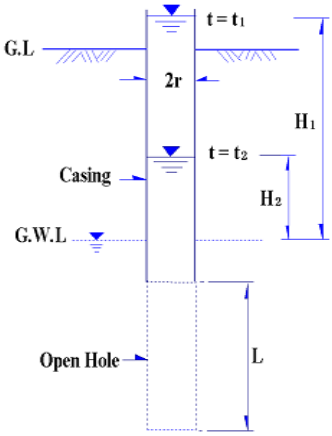


그림 8. 현장투수시험 모식도

본 공법의 시험시공 결과 방조제를 통한 당초 누수량은 1,500㎥/Day이였으나 시공 후 측정한 누수량이 200㎥/Day로 상당량 감소한 것으로 확인되었으며, 현장투수시험 결과 표 1에서 보는바와 같이 1.20×10^{-5}~3.29×10^{-5}㎝/sec로 원지반에 비해 85%정도의 양호한 차수효과를 나타내었다.

표 1. 현장 투수계수

공 번	시험구간(m)	투수계수(cm/sec)
BH-1	3.5 ~ 9.0	1.20×10^{-5}
BH-2	3.7 ~ 9.5	2.38×10^{-5}
BH-3	3.7 ~ 9.0	3.29×10^{-5}

4.2 육안확인 및 코어채취

그림 9. 구근형성 확인 결과

그림 9에서 보는 바와 같이 본 공법의 시험시공 구간을 굴착하여 육안확인 한 결과 구근형성이 양호함을 알 수 있었다.

그림 10. 코어채취 확인 결과

그림 10에서 보는 바와 같이 본 공법에 의해 시공된 형성층의 단주상 코어를 회수하였다. 조사지역 전역에 걸쳐 3.5~9.5m의 심도에서 3.0~6.0m의 층부로 분포하며 회갈색 내지 암회색을 나타내고 있었다. BH-1, 2 시추공의 회수율은 98~99%로 양호하게 나타났지만 BH-3 시추공의 코어 회수율은 41%로 불량하게 나타났지만 대체적으로 양호한 코어채취율을 보였다.

5. 결 론

본 연구는 SCM공법에 의하여 시공된 보강체의 공학적 특성을 규명한 것으로서, 실내 토질역학시험 및 현장시험 결과를 분석·정리하여 다음과 같이 결론지을 수 있다

(1) 일축압축강도 시험결과 1일강도 22.66 kgf/㎠에서, 3일강도 47.93kgf/㎠로 3일만에 강도가 조기발현 되어 보조 지반보강재로서의 적합성을 확인할 수 있었다(그림 3 참조).

(2) 주입약액의 환경오염성(어독성) 시험 결과 (그림 4 참조) pH가 9.65까지 증가하였으나 3시간 이후부터 감소하기 시작하여 50시간 이후 초기 pH 값을 회복하였다. 또한 공시어의 수가 초기 숫자인 30마리를 유지하여 알칼리 용탈에 의한 오염도가 적은 것으로 판단되어 친환경적임을 알 수 있었다.

(3) 내구성시험 결과 침전 전, 침전 후 1일, 7일 까지는 공시체가 알칼리 상태를 유지 하여 페놀프탈레인용액에 대하여 황적색을 나타냈지만 14일 이후에는 알칼리용탈이 완료된 모습(그림 6 참조)을 보여주었다. 그리하여 본 주입재의 경우 알칼리 용탈양이 적어 내구성저하 문제가 적음을 알 수 있었다.

(4) 시험시공 결과 방조제를 통한 당초 누수량은 1,500㎥/Day 이었으나 시공 후 측정한 누수량이 200㎥/Day로 상당량 감소한 것으로 확인되었으며, 현장투수시험 결과 투수계수는 1.20×10^{-5}~3.29×10^{-5}㎝/sec로 원지반에 비해 85%정도의 양호한 차수효과를 나타내었다.

향후 축적된 실내시험 및 시험시공을 통한 자료를 토대로 SCM공법의 친환경성과 연약지반 보강효과에 대한 공학적 특성 규명작업을 지속적으로 실시할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 2005년 ㈜대우건설기술연구소와 ㈜우지스의 연구비 지원으로 수행된 연구의 일부로서 이에 깊은 감사를 드립니다.

(접수일자 : 2005년 9월 6일)

참고문헌

1. 천병식, 김진춘(1998a), 어독성 시험에 의한 지반주입재의 공해성 평가. 대한토목학회논문집, 제 18권, 제 III-4호, pp. 531～538.
2. 천병식, 김진춘(1998b), 지반주입재의 공해성 평가에 관한 연구. 1998년도 한국지반공학회 봄학술발표회 논문집, pp. 321～326.
3. 천병식(2005), 최신 지반주입 -이론과 실제-. 원기술, p. 23, pp. 32～33, pp. 169～170.
4. 한국표준협회(1993), 공장폐수 시험방법. KS M 0111.
5. 한국표준협회(2000), 흙의 일축압축 시험방법. KS F 2413.