

도로터널시공에 있어서 C.F차수공법의 친환경성 고찰

Eco Environment Test of C.F Waste Landfill in Tunnel Construction of National Highway

김수겸* · 강창훈**, 강인준***

Kim, Su Kum · Kang, Chang Hoon · Kang, In Joon

1. 서 론

도로터널시공에 있어서 차수공법 중 약액 주입은 지반 내에 주입관을 설치하여 이것을 통해 약액을 지중에 암송하여 충전시켜 일정 시간이 흐르면 지반이 고결되는 것으로 지반의 불투수화 또는 지반의 강도 증대를 목적으로 주입된다. 일반적으로 그라우팅(grouting) 혹은 그라우트(grout)라고 불리는 약액주입공법은 1800년대 초반 구조물의 기초보강에 사용된 이후, 각종 새로운 주입재와 주입장치 등이 개발되면서 현재는 댐, 하천제방, 토류구조물뿐만 아니라 국내에서도 건설공사의 여러 분야에서 활용되고 있다. 현재 국내에서 쓰이는 대다수의 시멘트 계열인 약액 주입재는 입자크기로 인하여 침투주입에 한계가 있고, 특히 높은 물-시멘트 비에서도 겔의 형성이 용이하다는 장점으로 물유리계인 규산소다를 많이 사용하는데, 규산소다와 같은 물유리를 사용한 지반 주입재는 지하수가 존재하는 토질에 유입되어 경화제와 접하는 경우, 물유리의 용탈현상이 일어나면서 점차적으로 경화체가 수축하거나 이에 따른 강도저하로 인하여, 시공된 지반주입재로서의 차수 및 보강효과를 상실하게 되는 우려가 있다. 또한 물유리는 pH가 11이상인 강알칼리성 물질이 대부분으로 알칼리용탈에 의한 토질 및 지하수의 오염을 유발하게 되어 환경성 문제가 제기 되고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 친환경 차수공법인 C.F(Clean Firm)공법의 친환경성 시험을 실시하였다.

2. 약액 주입식 차수공법

국내외에서 쓰이고 있는 주요 약액주입공법을 분류하면 그림 1과 같다. 로트드공법은 로터리보링에 의하여 주입심도까지 천공하고 그 보링로트를 사용하여 주입하는 공법으로서 주입공법의 기본이라고 말할 수 있다. 시공이 간편하고 또한 경제적인 점에서는 대단히 우수하지만, 본래 암반주입에 사용되어 왔던 것을 전혀 지반조건이 다른 층적층으로 전용한 것이며, 층적층에서는 팩커효과를 얻을 수가 없다. 이 때문에, 보링 시에 수직방향으로 생긴 주입관 주변의 공극을 통해서 주입액이 거친 층이나 경계면에서 이탈하기 쉬우므로, 소정 대상영역에 주입액이 멈춰 있지 않은 경우가 많고 주입효과 뿐 만 아니라 안전성에서도 문제가 있다. 이와 같은 점에서 현재는 지반개량을 목적으로 한 주입에는 그다지 사용하지 않는다. 로트드주입공법의 팩커효과 증 불완전성을 수정하기 위해서 고정주입관(스트레이너 파이프)을 사용한 것이 스트레이너 주입이다. 스트레이너 공법은 스트레이너 관을 지중에 설치하여 주입하는 방법을 총칭하는 것으로서, 약액이 다수 공으로부터 분산하여 분출하므로 주입압도 상당히 떨어진다. 따라서 로트드공법에 비해 균일한 침투가 가능하다. 예를 들면, 터널의 굴착 또는 복공의 배면시 수m 이내 두께의 강화주입시 약액이 역출하는 예가 적다. 우리나라는 1970년대 말 선진국으로부터 LW, SGR, 우레탄 등의 대표적인 약액주입공법이 도입되어 서울지하철건설현장

* 정희원 · 지산특수토건 부사장 · 박사과정(E-mail : power7750@hanmail.net)

** 정희원 · 부산지방국토관리청 사무관 · 공학석사(E-mail : kchmj@mltm.go.kr)

*** 정희원 · 부산대학교 사회환경시스템공학부 교수 · 공학박사(E-mail : ijkang@pusan.ac.kr)

적용을 시점으로 여러 건설현장에서 다양하게 적용되어지고 있다. 지금은 주입장비와 장치를 개발하여 MSG, MIS, JS-CGM공법 등과 같은 여러 가지 주입공법들이 적용되고 있지만 주입 재료에 대한 연구개선, 발전 없이 그대로 적용되고 있는 현실이다. 어떤 부분은 과다경쟁과 덤핑수주로 인해 오히려 기술이 퇴보 내지는 공법이 변질 되어 쓰이고 있는 등 우리의 주입기술수준은 선진국에 비해 너무 낙후되어 있다. 즉, 주입공법의 종류는 다양화 하였지만 주입 재료에 대한 질적인 개선이 없이 시공되어지고 있다.

주입 재료는 주입공법이 도입되면서 동시에 수입하여 사용되었으나, 가격적인 측면에서 높아 공사 원가의 상승 요인이 되기도 하였다. 이후 주입재료들의 국산화를 시도하여 다양한 건설현장에 사용되어 왔다. 주로 현탄액형인 시멘트계와 용액형의 우레탄계 등이 대표적인 주입재료들이다. 이러한 주입재료들은 고결성, 침투성, 내구성의 한계가 있으며, 특히 지반 속에 주입되어 용탈 현상으로 인한 토질 오염 및 지하수 오염이 발생되어지는 환경적인 문제에 대한 무관심으로 지금까지 적용되어지고 있다.

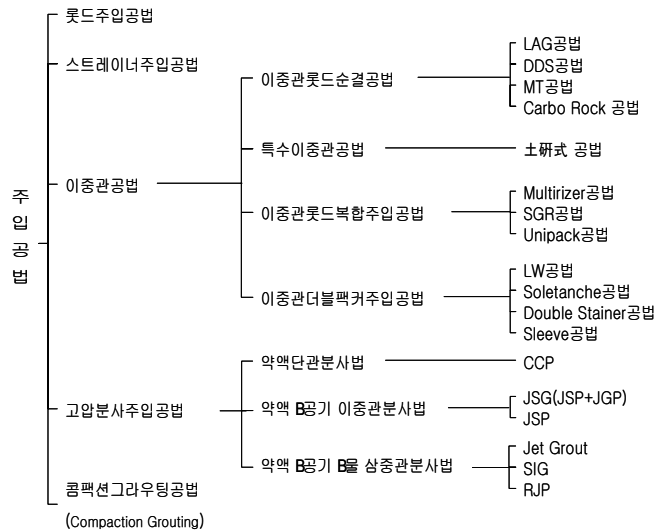


그림 1. 주입공법의 분류

3. 친환경성 실험

국내에서는 현재, 지반개량의 보조공법인 주입공법에서 물유리계 규산질 재료가 널리 쓰이고 있는 실정이다. 그러나 지반으로의 유입시 지하수를 오염시켜 환경적으로 가장 큰 문제점으로 대두되고 있다. 그러므로 본 연구에서는 실리카졸을 사용하는 C·F공법에 대해 어독성 시험을 실시하여 환경오염정도를 간접적으로 평가해 보았다. 또한, 가장 널리 쓰이고 있는 L·W공법에 대해서도 같은 시험을 실시한 후 그 결과를 비교, 검토해 보았다.

시험방법은 관련규정인 KS M 0111과 선행 연구실적에 맞게 장치를 설치하였고, C·F와 L·W 각각 표준 배합에 맞는 고결체 시편을 사용 하였다. 또한, 공시어는 약 8cm정도의 크기의 균등한 금붕어를 사용하였고, 공시어는 순응수조에 1주일간 두어 시험시의 수온 및 수질에 적응시켰으며, 예비시험을 여러 번 거쳐 공시체 제작에 대한 물의 비율을 정하는 등 시험에 적합한 환경조건을 조성하였다.

본 시험 시에는 시간경과에 따라 pH 경시변화와 치사율을 체크함으로써 알칼리 용탈에 대한 어독성을 평가하였는데, 그 결과는 아래 표 1과 그림 2, 그림 3과 같이 나타났다.

표 1. 시간에 따른 pH농도, 치사어 수 및 치사율

주입재 종류	측정 항목	경과시간 (hour)							
		시험전	1	2	4	8	24	48	96
C·F	ph	7.01	8.39	8.54	8.75	8.60	7.40	7.51	7.50
	치사어수	0	0	0	0	0	0	0	0
	치사율(%)	0	0	0	0	0	0	0	0
L·W	ph	7.08	9.01	9.56	9.94	10.23	10.35	10.37	10.37
	치사어수	0	0	0	0	4	18	20	20
	치사율(%)	0	0	0	0	20	90	100	100

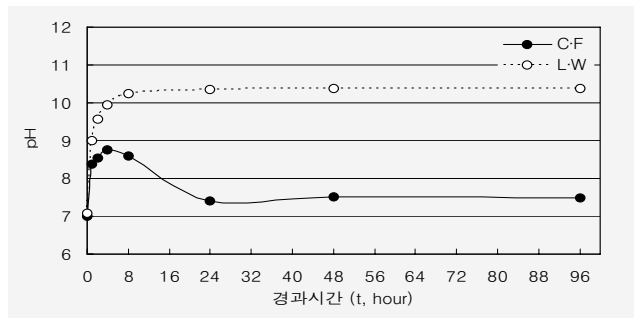


그림 2. 시간에 따른 pH농도 변화

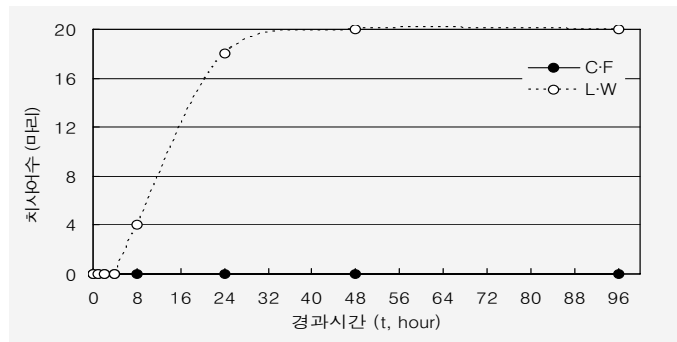


그림 3. 시간에 따른 치사어수 (마리)

시험결과, 급결제로 실리카졸을 사용한 C·F의 경우 4시간 경과 시 알칼리 농도는 pH 8.75로 가장 높게 증가하다 점차 감소하여 96시간 후 최종 pH 7.50으로 pH변동이 매우 안정적이었다. 또한 공시어가 한 마리도 치사되지 않고 모두 살아남음으로써 96시간에서도 LC50이 존재하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 급결제로 규산소다 3호를 사용한 L·W의 경우에는 96시간 후의 최종 알칼리농도는 pH 10.37로써 어류가 생존할 수 없는 수질로 오염되었으며, 실제로 방류된 공시어가 48시간 이내 모두 치사하는 것으로 나타났다. 또한 LC50이 24시간 이내에 존재하는 것으로 나타났다.

LC50이란 어류를 급성 유독물질이 함유되어 있는 폐수의 희석액 중에 기르고, 그 사이에 공시어의 50%가 살아남는 폐수의 농도를 나타내는 것으로 규정되어 있다. 그림 4는 순용수조와 반응수조에서의 어독성 시험 전경이다. 그림 5는 C.F공법에서의 pH농도 및 치사어 수 측정화면이다.

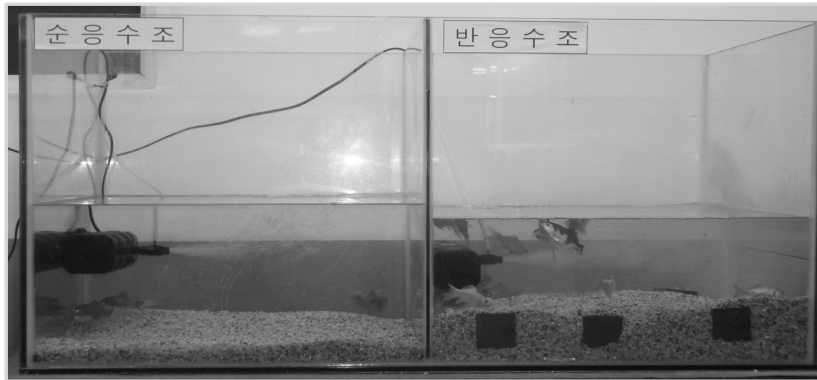


그림 4. 어독성 시험 전경 (순응수조, 반응수조)

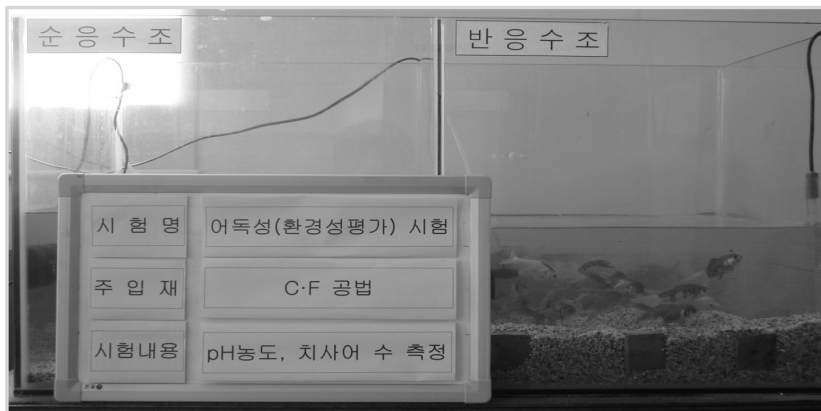


그림 5. C·F pH농도, 치사어 수 측정

그림 6은 L·W공법에서의 pH농도 및 치사어 수 측정 장면이고, 그림 7은 L·W공법에서의 48시간 경과 후 공시어가 모두 치사한 것을 볼 수 있다.



그림 6 L·W pH농도, 치사어 수 측정



그림 7. L·W 공시어 치사 (48시간 경과 후 모두 치사)

4. 친환경성 실험

본 실험을 통해 다음의 결과를 얻었다.

첫째, 국내 대다수의 약액주입공법은 시멘트 계열의 주입재의 사용으로 침투주입의 한계와 용탈현상, 강도저하 등이 발생하며 pH11이상의 강알칼리성의 경우 지하수 오염유발의 원인이 됨으로 친환경 CF공법의 적용이 필요하다.

둘째, 실험결과 급결제로 실리카졸을 사용한 C·F의 경우 4시간 경과 시 알칼리 농도는 pH 8.75로 가장 높게 증가하다 점차 감소하여 96시간 후 최종 pH 7.50으로 pH변동이 매우 안정적이었다. 또한 공시어가 한 마리도 치사되지 않고 모두 살아남음으로써 96시간에서도 LC50이 존재하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 급결제로 규산소다 3호를 사용한 L·W의 경우에는 96시간 후의 최종 알칼리농도는 pH 10.37로써 어류가 생존할 수 없는 수질로 오염되었으며, 실제로 방류된 공시어가 48시간 이내 모두 치사하는 것으로 나타났다. 또한 LC50이 24시간 이내에 존재하는 것으로 나타났다.

셋째, 도로터널시공의 경우 주위의 토양환경에 많은 영향을 미치고 있으므로 친환경성을 고려한 시공법이 채택되어야 하며 C.F공법과 같은 친환경 공법의 활용성이 높다고 판단된다.

참고 문헌

1. 부성안, 이기철, 김진성, 정교철, 고양수(2002), “지하수댐 물막이벽 시공법과 해안지역 염수침입 방지기술 개선방안”, 지질학회지, 12권 2호, pp.215~234.
2. 김수석, 이광열(1996), “폐기물매립지의 연직 차수공법별 효율성 분석”, 동서대학교 동서논문집, pp.467~479.
3. 천병식, 노종륜, 주태성, 도종남(2005), “SCM 친환경주입공법에 의한 차수 효과에 관한 연구”, 한국지반환경공학회 논문집, 제6권 제4호, pp.65~71.
4. 천병식, 강형남, 도종남, 임주현(2006), “환경 친화적인 무기질계 지반주입재의 내구성 및 차수효과에 관한 연구”, 한국지반환경공학회 논문집 제7권 제6호, pp. 113~119.
5. 김진춘(2002), “약액주입공법의 국내·외 기술동향”, 콘크리트학회지 제 14권 5호, pp.47~53.
6. 천병식, 류동성(2000), “활성실리카이트 지반주입약액(ASG)의 공학적 특성”, 토목학회논문집, pp.141~146.
7. 천병식, 류동성, 조산연(1999), “지반주입용 활성 실리카이트 약액(ASG)의 개발 및 적용”, 한국지반공학회 1999년도 가을 학술발표회 논문집, pp. 131~136.
8. 천병식, 김진춘(1998), “지반주입재의 공해성 평가에 관한 연구”, 한국지반공학회 1998년도 봄 학술발표회



논문집, pp.321~328.

9. 천병식, 오민열(1993), “지하철과 근접시공에서 지반주입의 역할”, 한국지반공학회 1993년도 지반굴착, pp.95~141.
10. 천병식, 이재영, 하광현(2002), “지반주입재 종류별 주입특성 및 환경적 유해성에 관한 연구”, 한국지반환경공학회논문집, 제3권 제4호, pp. 37~49.