

간행물 등록번호

2017-30202-004

강관다단그라우팅 보강시 썬재 및 주입재의 배합비 시험결과 보고서(요약문)

2018. 1.

주 최 :  한국철도시설공단
KOREA RAIL NETWORK AUTHORITY

주 관 :  동부엔지니어링
Dongbu Engineering

 주식회사 삼보기술단
SBE SAMBO ENGINEERING CO.,LTD

 (주)선구엔지니어링
SunKoo Engineering

요 약

1. 개 요

연약한 지반이나 토피가 적은 굴착면의 안정 및 붕괴방지를 위해 강관 삽입 및 그라우팅에 의한 구조적 보강으로 터널의 안정성을 확보하는 강관다단그라우팅은 썰재 및 주입재의 품질관리에 따라 안정성이 좌우될 수 있으며, 썰재 및 주입재의 적정 겔화 및 경화시간을 정량화하는 것이 강관다단그라우팅 보강 품질 확보의 관건이다.

썰재의 주입 후 겔화시간이 너무 짧으면 겔화되지 않아 그라우팅 주입재가 지반으로 원활하게 침투되지 못하고 역류하게 되며, 겔화시간이 너무 길면 경화가 과다하게 되어 그라우트 본 주입을 방해하기도 한다.

실제 현장에서는 썰재를 누락하거나 혹은 썰재 주입 후 겔화 전 본 주입재 주입으로 주입재와 썰재가 섞여 본연의 강도를 확보하지 못하는 경우가 발생하기도 한다. 또한 썰재의 배합에 따라 썰재의 팽창이 제대로 되지 않거나 재료분리에 의해서 강관 끝부분까지 썰링이 제대로 되지 않기도 한다.

한국철도시설공단은 강관다단그라우팅의 썰재 및 본 주입의 적정 겔화 및 경화시간을 국내 및 국외 문헌조사와 각 현장의 시공 실태를 조사하여 정량화된 터널 싸이클 타임을 산정하려고 노력하였으나, 사업상황에 따라 각기 다른 1막장 시공기간(1.5일~3.0일)을 사용하고 있어 실내시험 및 실규모 시험을 통한 정량적 검증의 필요성이 대두되었다.

따라서, 「삼성~동탄 광역급행철도 제1, 3, 5공구 노반 기본 및 실시설계」와 관련하여 터널 보강공법인 강관다단그라우팅의 실물시험 시행으로 본 주입재의 압축강도와 썰재의 적정 겔화시간을 도출하여 합리적 터널 싸이클 타임을 반영하고 시공품질 향상을 기하고자 하였다.

2. 시험결과

본 시험에서 썰재의 적정 겔화시간 및 본 주입재의 압축강도를 확보할 수 있는 겔화시간을 도출하기 위해 썰재 겔화시험 및 그라우팅 강도시험을 연속적으로 수행하였다.

2.1 썰재 겔화시험

배합비(표 1)에 따른 시험은 총 3가지로 수행하였으며, 설계배합 시험체(Case 1), 급결재 혼입에 따른 시간단축 시험체(Case 2), 시멘트량 증가에 따른 시간단축 시험체(Case 3)이다.

표 1. 썰재 켈화시험의 Case별 배합비

구 분	물(g)	일반 시멘트(g)	급결재(g)	벤토 나이트(g)	W/C	비 고
Case 1	455	100	-	31.25	455%	0.5M ³
Case 2	380	325	16.25	31.25	111%	0.5M ³
Case 3	360	400	-	31.25	90%	0.5M ³

※ 급결재 : FACET(일본)

시험결과 일반 설계배합의 경우 젓가락 관입 시 저항 정도로 미루어 예상컨대, 주입 후 약 24시간이 경과하게 되면 적정한 켈상태를 유지할 수 있을 것으로 판단되고, Case 2~3의 경우에는 16~18시간 이후 본 그라우팅을 주입할 수 있는 켈상태로 나타났다.

썰재의 켈화시험을 수행하면서 재료분리 문제가 발생하였고, 이는 썰재의 배합순서 및 벤토나이트 품질에 의한 문제로 판단되어, 현장 시험실(삼성~동탄 4공구)에서 추가로 이뤄진 팽윤도 25, 18 벤토나이트 시험결과, 모두 3시간 경과 후 흐르지 않는 상태가 되었고 팽윤도가 높은 25의 벤토나이트가 재료분리가 적은 것으로 나타났다.

따라서, 추후 현장 시공 시 벤토나이트에 대한 팽윤도 시험을 통한 관리기준을 마련하여 좀 더 효과적인 썰링을 수행하여야 할 것으로 판단된다.

2.2 그라우팅 강도시험

시험 Case 별(표 2) 그라우팅 주입 및 일정시간 경화 후 모형토조를 개봉한 결과 모든 시험 Case에서 공통으로 토체 상면이 선단부에서부터 주입부 앞쪽으로 진행하며 그라우팅 주입재가 호모겔 상태 층으로 뒤덮여 있었고, 선단부 끝 쪽은 토체 내부에 그라우팅 주입재의 침투가 어느 정도 발생하였으나, 샌드겔 상태의 경화가 이루어지지 못하였으며, 중앙부와 특히 코킹부 쪽은 토체 내부로 주입재 침투가 극히 미소하였다.

이러한 현상의 원인은 투명 아크릴관의 상부 내면(썰재 재료분리 현상으로 물만 잔류)과 외면(아크릴관-토체 이질 재료 경계면)에 유로가 형성되고 그라우팅 주입재가 유로를 따라 선단부로 이동 후 토체 상면으로 이동했기 때문인 것으로 보인다.

배합비 별 호모겔 강도 시험 결과 일반배합과 변경배합의 6시간 및 12시간 경화 시 일축 압축강도를 비교하면 변경배합이 일반배합에 비해 4~6배 증가하는 것으로 나타나 시멘트량 증가에 따라 압축강도가 커짐을 알 수 있다.

현장에서 강관다단그라우팅 시공 시 그라우팅의 경화시간을 24시간으로 적용하도록 하고 있으나, 호모겔 강도 시험 결과 18시간 경과 시 적정 압축강도가 발휘되는 것으로 나타나므로 그라우팅의 경화시간은 기존 24시간에서 18시간 이상으로 6시간 단축하여 적용하는 것이

가능할 것으로 판단된다.

표 2. 규산소다 사용 Case별 배합비 (1m³당)

구 분	A액 (0.75m ³)			B액 (0.25m ³)	
	물(ℓ)	시멘트(kg)	조강재(kg)	규산소다(ℓ)	물(ℓ)
일반배합	607	450	-	125	125
변경배합	559	600	-	125	125
일반배합+조강재	607	450	11	125	125

3. 결 론

3.1 썰재 켈화시험 결과

실내 시멘트 켈화시험에 의한 썰링의 켈상태를 확인하였을 때, 일반 배합비로는 24시간 이후에나 켈상태가 되었고, 조강재를 혼입하거나 시멘트량을 늘렸을 경우에는 16~18시간 경과 뒤에 켈상태가 진행되는 것을 확인 할 수 있었다. 초기에 물과 시멘트의 재료분리로 인하여 켈상태가 되는 시간이 지연되는 것으로 보이며, 벤토나이트 등 썰링 재료의 품질이 확보된다면 켈상태가 조기에 이뤄질 가능성이 있다.

모형시험에 의한 썰링 주입시험에서도 켈상태 확인을 위한 아크릴 관으로 인해 임의로 흙과 경계를 만들어 놓고 시험함으로써 재료분리만을 확인할 수 있었으며, 24시간 이후에나 일반배합 썰재가 켈화됨을 확인할 수 있었다.

썰링재에 포함되는 벤토나이트는 재료특성(팽윤도)에 따라 여러 종류가 있고, 종류에 따라 켈화되는 정도의 차이가 있으므로 추후 현장별로 벤토나이트에 대한 관리기준을 마련한다면, 강관다단그라우팅의 품질관리를 효율적으로 수행할 수 있을 것으로 사료된다.

따라서, 본 보고서상에 시험의 결과로 지방서 내용을 수정 및 보완하여 효과적인 썰재 주입효과를 제고하여야 한다.

3.2 그라우팅 강도시험 결과

토조를 이용한 그라우팅 주입시험에서는 아크릴관 내부의 썰재의 재료분리와 그라우팅 주입재의 선단부 구간에 일부 침투되어 토조 본체에서 코아를 채취하여 강도시험을 하기 어려워 호모겔 강도 시험을 실시하였다.

배합비 별 호모겔 강도시험 결과 일반 배합비에서는 18시간 이후에 강도발현이 되는 것으로 나타났으며, 시멘트량을 증가시킬 경우 12시간 이후에 강도가 발현되는 것으로 나타

났다. 일반배합과 변경배합의 6시간 및 12시간 경화 시 일축압축강도를 비교하면 변경배합이 일반배합에 비해 4~6배 증가하는 것으로 나타나 시멘트량 증가에 따라 압축강도가 커짐을 알 수 있다.

3.3 종합의견

썰재와 그라우팅의 켈화 및 경화시간은 지반특성과 지하수위, 지하공간의 온도 등 여러 조건에 따라 그 시간이 달라져 규정화하기에는 어려운 점이 있으나, 본 시험결과를 토대로 최소한의 썰재와 그라우팅의 켈화 및 경화시간과 강도시험결과를 도출할 수 있었다.

시공단계에서 현장 시험시공을 통해 썰링 켈화, 강도발현 시간 측정과 주입영역 측정을 통해 본시공이 이뤄질 수 있도록 관리 감독하는 것이 필요하며, 설계 시에는 공사시방서 등 기타 품질관리에 필요한 내용을 상세하게 명기하여 설계와 시공의 차이점을 줄이는 노력도 필요하다.

따라서, 품질유지가 어려운 사유로 썰링 공정을 대체하거나 또는 썰링이 불필요한 대안 보강공법으로 현재 국내에서 사용되고 있는 팩커를 이용한 동시주입그라우팅하는 공법, 직천공 강관다단그라우팅공법 등의 검토가 가능하며, 설계기술자와 현장기술자, 현장기능직공이 교감할 수 있고 기술 습득력, 품질의 용이성, 진보된 주입재의 상용화, 다양한 지반에서의 적용성 등을 만족할 수 있게 개발된 터널 보강공법(강관그라우팅)의 적용과 신기술의 일반화 등과 같이 제도적으로 기술의 범용화가 필요하다.

또한, 강관다단그라우팅의 현실적인 품질관리를 위해서는 사전 실규모 시험시공을 통해 현장토질에 적합한 주입률과 주입압력 산정이 필요하며, 다양한 기술적 시각으로 판단할 수 있는 현장 전문가 자문을 통해서 최적의 시공방안(배합비, 주입률, 주입압 등)을 도출함이 타당하다.

본 시험을 통해 확인이 어려웠던 여러 미지의 상황을 확인할 수 있는 성과를 거두었으며, 이 시험결과를 준용하거나 보완하여 빠른 시일 내에 시방서 개정 및 현장관리방안의 개선책을 마련하는 등으로 본 공법이 제대로 실효를 거두어 터널시공의 안정성에 기여하기를 기대한다.