

강관보강그라우팅 시공관리 기법 및 기준 검토 연구

Evaluation of Construction Management Techniques and Standards for the Umbrella Method in Tunnelling

안정호*, 오정호*†

Jung Ho Ahn*, Jeongho Oh*†

초 록 강관보강 그라우팅 공법은 굴착 시 지반보강을 위한 보강공법으로서 지중에 시공되는 그라우팅 특성상 그라우팅 공종은 현장 시공자 및 기술자의 주관적 판단이 중요한 공종이라고 할 수 있다. 현재 그라우팅 및 실(SEAL)재 주입 후 후속공정에 대한 설계기준 및 시방기준 부재로 인해 각 발주기관 현장마다 제각기 시공을 하고 있는 실정이다. 또한 기준 간 불필요한 중복 및 상이한 내용이 병존하고 설계기준 적용상 문제점 및 개선안이 사용자 의견보다는 발주자 위주로 제·개정되므로 품질관리에 대한 제도적 허점을 보여주고 있다. 강관보강 그라우팅공법의 주입재 및 실(SEAL)재에 대한 발주기관 시험사례 조사 및 분석을 통하여 주입재 양생기간 및 실(SEAL)재에 대한 개념 정립과 현장 시공참여자 및 학계, 연구기관 등 다양한 분야의 전문가에 대한 설문조사로 사용자의 의견을 수렴하여 본 공법의 설계기준 및 시방에 대한 제도적 합리화 방향에 대한 고찰을 하고자 한다.

주요어 : 강관보강그라우팅, 주입재, 실(SEAL)재, 설계기준, 시방, 설문조사

1. 서 론

강관보강 그라우팅공법은 굴착 시 지반보강을 위한 공법으로서 주입재의 주입압, 주입량 시공관리에 따라 안정성과 차수성이 좌우되고 있지만, 그라우팅 및 실(SEAL)재 주입 후 후속공정에 대한 설계기준 및 시방기준 부재로 인해 발주기관 현장별로 시공 및 설계인력들의 충분한 의견반영 없이 필요에 따라 개정되면서 제도적 허점을 보여주고 있다. 따라서 강관보강 그라우팅공법의 주입재 양생기간 및 실(SEAL)재의 대한 개념 정립과 현장 시공참여자 및 학계 연구기관 등 사용자 의견을 수렴하여 본 공법의 설계기준 및 시방에 대한 제도적 합리화 방향에 대한 고찰을 하고자 한다.

2. 본 론

2.1 강관보강 그라우팅 시험사례 조사 분석 [2],[3],[4],[6]

2.1.1 실(SEAL)재 시험사례 조사·분석

현재 설계기준 및 관련문헌상 실(SEAL)재에 대한 규정된 시험방법이 없으며 또한 겔화시간 및 투입재료에 대한 관리기준 부재로 현장시험 사례 또는 경험적 관리기준에 의거 품질관리를 하였다.

Table 1 실(SEAL)재 시험사례 비교표

구분	사례 1	사례 2	사례 3	사례 4
시험방법	침입도	일축 압축강도	몰드 수축	주입재 주입량
관리기준	-	7 일:100kgf/cm ² 28 일:210kgf/cm ²	-	-
양생기간	24 시간	-	-	12
벤토나이트 품질기준 (팽윤도)	제시	-	-	-
급결재	적용	적용	-	-

† 교신저자: 한국교통대학교 철도공학부
(j-oh@ut.ac.kr)

따라서 발주기관 및 현장시험사례를 Table1와 같이 조사·분석 결과 발주기관 및 현장별 품질관리 기준이 제각각으로 실(SEAL)재 품질관리에 대한 개념 정립이 필요한 것으로 조사되었다.

2.1.2 주입재(그라우팅) 시험사례 조사·분석

주입재(그라우팅) 적정 양생시간을 적용하기 위하여 발주기관 및 현장시험 사례 Table2와 같이 조사·분석결과 호모겔 양생시간 및 일축 압축강도 기준 ○○공단 18시간 양생, 일축 압축강도 2Mpa이상 또한 ○○공사는 24~48시간 양생, 일축 압축강도 10kgf/cm²이상이므로 발주기관 및 현장별 적용기준이 상이하므로 양생기간과 강도기준에 대한 기준 정립이 필요한 것으로 조사되었다.

Table 2 주입재(그라우팅) 시험사례 비교표

구분	사례 1	사례 2	사례 3	사례 4
시험방법 (호모겔)	일축압축 강도	일축압축 강도	해당 없음	해당 없음
관리기준	2Mpa	10kgf/cm ²	-	-
관리기준 근거	호모겔 시편의 재령별 일축 압축강도(28 일)	경험적 관리기준	-	-
양생기간	18 시간	24~48 시간	-	-

2.2 설계시 적용한 보강특성치 산정 사례[7]

본 보조공법 설계시 보강영역의 등가 특성치 결정하는 방법을 적용하여 시공된 지반영역에 대한 등가의 탄성계수 설계 적용 사례이다.

Table 3 이중강관우레탄 공법 변형계수 산정

구분	단면적	시공 수량 (공)	단면적 (m ²)	변형 계수 (t/m ²)	변형 계수 계	비율 (%)
전체 보강영역			55.606	-	-	
원지반			53.3603	3,000	160,080	1.2
강 관	0.003355	183	0.6410	21,000,000	12,894,000	98.7
채 움	0.004010	183	0.7347	50,000	3,673	0.1
내공공동	0.004900	183	0.8970	0	-	

터널 보강공법에 적용한 ○○고속철도○ 공구 노반신설 기타공사 양산단층대 통과구간 터널공법 검토 보고서 검토 결과 탄성계수 Table3과 같이 등가 탄성계수의 98.7%이상을 강관이 분담한다.

2.3 그라우팅 자동화 시스템 현장 적정성 연구

2.3.1 그라우팅 자동화 시스템 [1]

그라우팅 자동화 시스템을 이용하여 ○○○고속도로 하부통과구간 과도한 주입압에 의한 지반 활렬로 용기피해가 발생할 경우 상부 운영중인 도로에 심각한 피해를 미치므로 그라우팅 주입 시공 조건을 평가하기 위하여 자동화 장비를 이용하여 한계주수시험을 실시한 결과 수압파쇄가 발생 하지 않을 시공조건은 한계주입압(pcr) 10kgf/cm²이하 관리 및 한계주입속도는(qcr) 31~38 l /min이하 관리하여 한다.

2.4 설계기준·시방 분석 연구 및 설문조사

2.4.1 해외 제도개정 및 설계기준 검토 [5]

구분	내 용
제도 개정	일본 ▷ 시방서 개정작업시 신기술·신공법, 시방서 문제점 등 다양한 분야 전문가 설문조사로 실제 기준서 사용자 의견 수렴 반영
	국내 ▷ 발주자 위주 제·개정
설계·시방 기준	영국 ▷ 그라우팅 시공단계, 시공 전·후 플랜트 설치 규정 및 폐공처리 문제 등 요구 성능 세분화
	국내 ▷ 그라우팅 시공 관련된 공동 요구 성능 최소한 규정

2.4.2 설문조사

본 연구에서는 터널 보조공법 현장 기술자(건설사업관리단, 원청사, 협력사, 그라우팅업체) 및 연구기관·학계 등 다양한 분야의 전문가에 대한 설문조사로 실제 기준서 사용자의 의견 수렴하여 기준 설정을 위한 기초 자료로 활용되길 바라며 연구를 실시하였다.

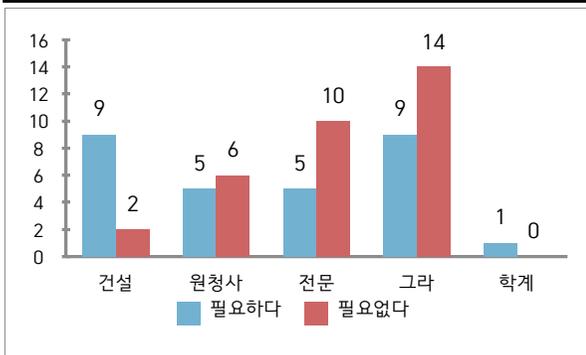
Table 4 설문조사 응답자

구분	건설사업단	원청사	전문건설업체	그라우팅업체	학계·연구기관	합계
설문(EA)	11	11	15	23	1	61
비율(%)	18.0	18	24.7	37.7	1.6	100

(1)강관보강 그라우팅 중 실재(SEAL) 공중 필요여부에 대한 현장 참여기술자의 의견은 Table5와 같다.

Table 5 실(SEAL)재 공중 설문조사

구분	건설사업단	원청사	전문건설업체	그라우팅업체	학계·연구기관
필요하다	9	5	5	9	1
필요없다	2	6	10	14	-

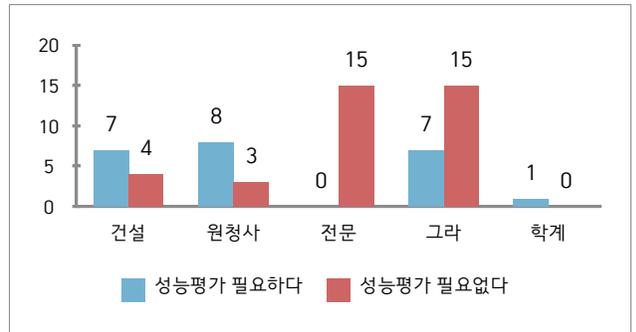


실링(SEAL) 필요여부는 현장 담당자 업무 및 소속에 따라 의견 차이가 있다. 건설사업관리단 81.8%가 실링이 필요하다고 응답 하였으나, 원청사 기술자는 실링 필요여부에 대한 필요 있음과 없음이 비슷하지만 전문건설업체, 그라우팅 업체 기술자의 경우 필요 없음이 각각 66.7%, 60.9%으로 나타나고 있다.

(2) 그라우팅 후 성능평가 도입에 대한 현장 기술자 의견은 Table6와 같다

Table 6 그라우팅 후 성능평가 설문조사

구분	건설사업단	원청사	전문건설업체	그라우팅업체	학계·연구기관
성능평가 필요하다	7	8	-	7	1
성능평가 필요없다	4	3	15	15	-



성능평가 도입에 있어서 건설사업관리단 63.6%, 원청사 72.7% 도입 필요 응답하였으나, 전문건설업체 및 그라우팅업체 기술자 경우 각각 100%, 69.6%가 성능평가 도입에 반대, 설문조사 응답 결과를 추론해 볼 때 성능평가 도입에 따른 그라우팅 시공에 대한 책임과 의무 모든 부분을 전문건설업체에 전가 될 것을 우려하는 것으로 그라우팅 성능평가에 대한 기술연구와 함께 제도에 대한 시공 참여자 의견 수렴이 필요한 것으로 사료된다.

3. 결론

1)실링의 목적은 그라우팅 역류 방지에 있으나, ○○공단 실링 시험결과 블리딩에 의한 실링효과가 미미함으로 기술자들은 실링 효과에 대하여 의구심을 가지고 있으며, 설계기준 및 관련문헌상 실(SEAL)재에 대한 품질기준 및 시험방법에 대한 기준이 없으므로 실재에 대한 개념 정립과 이에 따른 실(SEAL)재 연구개발 또는 현장 기술자들은 실링 대체 방법으로 LW시멘트 젤타임 조정 및 터널 막장실링(숏크리트 T=10cm)과 코킹으로

실재의 역할을 대체 시공 가능하다고 생각하고 있으므로 시공방법에 대한 개선이 필요한 것으로 조사되었다.

2)보조공법 보강특성치 설계시 산정 사례 강관보강구간에 대한 등가 탄성계수 산정결과 강관보강이 하중을 절대적으로 분담하고 있으므로, 그라우팅은 채움 제로서 원지반과 강관 일체화를 위한 역할로 그라우팅 강도는 터널 안정성에 미치는 영향이 미미하므로 그라우팅 양생은 필요 없을 것으로 사료된다.

3)지중에서 시공되는 그라우팅 공정의 경우 현장 상황에 따라 적용여부가 결정되고 보강 및 차수의 정도도 현장 기술자의 주관에 의존하는 경우가 대부분이다. 따라서 정량적 성능규정화 보다는 시공후의 성능 평가에 대한 규정 및 성능평가 방법에 대한 표준화 연구가 필요한 것으로 사료된다.

4)터널 보조공법에 대한 설계기준 및 시방서가 복잡, 다양해지고 단편적, 산발적으로 개정되면서 기준 간 불필요한 중복 및 상이한 내용이 병존하고 설계기준 적용상 문제점·개선안에 대한 사용자 의견보다는 발주자 위주로 제·개정되고 기존 기준 정비협의회의 기능이 불명확함에 따른 설계기준관리 운영체계의 비효율성을 초래하고 있으므로 발주, 설계, 시공, 유지관리 및 학계, 연구기관 등 다양한 분야의 전문가에 대한 설문조사로, 실제 기준서 사용자의 의견 수렴하여 기준서에 대한 체계적인 표준화 연구가 필요하다.

보강시 썬재 및 주입재의 배합비 시험결과 보고서”, pp.1-45

- [5] 국토교통부(2014), “터널 건설기준 선진화를 위한 설계 및 시방기준 분석 연구”
- [6] 한국지오택(2017), “보성~임성리 철도건설 제1공구 노반신설 기타공사 중 자동화 강관보강 그라우팅 공사 시험주입 결과보고서”
- [7] 경부고속철도 12-4공구 노반신설 기타공사 양산단층대 통과구간 터널공법 검토보고서

참고문헌

- [1] 한국지오택(2017), “서해선(홍성~송산)복선전철 제9공구 노반신설 기타공사 중 시공전 시험 시공 결과 보고서(I)”
- [2] ㈜지오택엔지니어링(1994),“강관보강형 다단 그라우팅공법의 연구개발, 한국건설기술연구원
- [3] 김민호,전복현(2004상), “터널 보조공법 연구(강관보강,FRP,TAS)”, 고속철도(제68호 2004상), pp.120-149.
- [4] 한국철도시설공단(2018), “강관 다단 그라우팅