

터널 배수공의 재질에 따른 스케일 부착 특성에 관한 연구

Bond Characteristics of Scale According to the Drainage Pipe's Material in Tunnel

주익찬¹⁾ · 남승혁¹⁾ · 백승인²⁾ · 정혁상³⁾ · 천병식[†]

Chu, Ickchan · Nam, Seunghyuk · Baek, Seungin · Jung, Hyuksang · Chun, Byungsik

ABSTRACT : The calcium hydroxide($\text{Ca}(\text{OH})_2$) which is flowed into the deteriorated tunnel by groundwater is reacted with carbon dioxide(CO_2) and the vehicle's exhaust gas (SO_3). So its by-products are precipitated at the drainage pipe and these cause the drainage clogging. Most by-products are composed of CaCO_3 with calcite from a chemical experiment. The purpose of this study is mainly focused on comparison of attachment on each material of drainage pipe (teflon-coated steel pipe, silicon-Oil coated pipe, acrylic pipe and PVC pipe). The test was progressed to disemogue the CaO aqueous solution and tunnel outflow into each of the pipes. The experimental results show that the most produced scale pipe is PVC material and the followings are Acrylic pipe, Silicon-Oil coating pipe and Teflon coating pipe. But the long-term test results showed that teflon-coated steel pipe had a problem with durability because soil which was contained in the tunnel outflow occurred detachment of coating and corrosion of the steel pipe.

Keywords : Deteriorated tunnel, Drainage pipe, Clogging, Scale, Pipe's material

요 지 : 지하수에 의하여 터널 내로 유입된 수산화칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$)이 이산화탄소(CO_2)와 차량의 배기가스(SO_3) 등과 반응하여 그 반응물이 터널의 배수공 내에 침전되어 배수공 클로킹 현상이 발생하였다. 대부분의 반응물은 화학분석 결과 칼사이트의 탄산칼슘(CaCO_3)인 것으로 나타났다. 본 연구에서는 일반적으로 터널의 배수공으로 사용되는 PVC관과 새로운 재질의 배수공인 테프론 코팅관, 실리콘오일 코팅관, 아크릴관에 CaO 수용액과 터널 배수공 유출수를 흘려보내어 스케일 부착형태를 분석함으로써 배수공의 재질이 스케일 부착에 미치는 영향을 연구하였다. 그 결과 PVC관에서 가장 많은 양의 스케일이 생성되었고 아크릴관, 실리콘오일 코팅관, 테프론 코팅관의 순으로 관 표면에 스케일이 적게 부착되었다. 그러나 장기적 시험결과 테프론 코팅관의 경우 관 표면이 터널 유출수에 포함되어 있는 토사로 인하여 손상되어 코팅재의 탈락, 강관의 부식 등이 발생하여 내구성에 문제가 있었다.

주요어 : 노후터널, 배수공, 클로킹, 스케일, 관재질

1. 서 론

도시의 광역화와 인구집중 등으로 인하여 지상개발 및 활용만으로는 한계가 있어 지하공간개발의 필요성이 날로 증대되고 있으나 지하구조물은 환경변화가 적은 지하에 건설되고 구조적으로도 비교적 안전한 것으로 알려져 있어 그동안 다른 토목구조물에 비하여 유지관리에 대한 인식이 부족하였다. 그러나 과거 일본 북해도 토요야마 터널의 붕괴 사고로 많은 인명피해가 생기고, 1997년 일본 국도229 제2백계 터널의 입출구 사면의 암반붕락사고로 인해 지하구조물의 안정성에 대한 문제를 제기하게 되었다(배규진 등, 1998).

지하철은 물론, 도심도 광역철도(GTX), 서울도심권 지하도로 망을 연결하는 U-smart way, 도심 지하도시 건설 등의

대단위 지하공간개발이 수립되고 있어 배수시스템은 이러한 터널구조물 및 주요 기간시설물의 유지관리 시 가장 중요한 요소로 부각되고 있다.

현재의 국내 도심지 터널은 재래식 공법인 ASSM과 현대 터널의 이론으로 불리는 NATM 공법으로 시공되어 왔으나 이미 많은 터널이 준공 후 노후화로 인하여 보수 및 보강 등 유지관리에 막대한 예산이 소요되고 있다. 특히 배수터널에서 가장 위대한 요소인 배수공 막힘(Drainage clogging), 배수재의 압착과 폐색 등으로 인하여 터널 배수시스템의 수리능 저하가 발생하게 되면 간극수압이 증가하여 누수를 가속화 시키며, 라이닝의 열화를 초래하게 된다(Reddi 등, 2000; Shin 등, 2002). 또한 이러한 터널내 잔류수압 증가현상은 구조적인 문제는 물론 균열 및 누수 등 사용성에도 불

1) 학생회원, 한양대학교 대학원 건설환경공학과 석사과정

2) 정회원, 한양대학교 대학원 건설환경공학과 박사과정

3) 정회원, 한국철도기술연구원 선임연구원

† 정회원, 한양대학교 공과대학 건설환경공학과 교수(E-mail : hengdang@unitel.co.kr)

편함을 초래하고 있다.

이를 방지하기 위한 물빼기보링공법은 터널의 지하수위를 낮추어 터널내 잔류수압증가현상을 막는데는 효과적인 공법이지만, 노후터널의 유출수에 포함된 토사와 탄산칼슘(CaCO₃) 성분에 의해 천공된 배수공 내에 삽입한 유공관에서 스케일 발생에 의한 막힘현상이 발생하므로 배수공의 막힘 억제를 위한 기술 적용이 추가로 필요한 실정이다(천병식, 2011).

이러한 문제를 해결하기 위한 국내·외 연구 및 개발 동향을 살펴보면, 바닥배수관을 이용한 터널구조물 배수시스템, 터널의 측벽배수 시스템, 터널용 이중 바닥판 배수시스템, 터널 배수구조물에 사용되는 방수시트를 포함하는 배수공법, 돌기를 구비한 일체형 방수시트, 배수로가 형성된 부직포를 이용한 배수재 등 구조적인 개발 및 시공 전 설계 시 적용 가능한 연구에 초점을 맞춘 연구가 대부분이다(배규진 등, 2006; 유신코퍼레이션, 2003; 한국건설기술연구원, 2007; 연일화섬공업(주), 2006; 이인모 등, 2005; 이인모 등, 2008). 그리고 유지관리용 Robot에 의한 방법 등과 같은 대부분의 시공 후 배관 유지보수 방법은 시간과 비용이 많이 든다는 점에서 효과적이 못하다(한국산업기술평가원, 2003).

따라서 본 연구에서는 시공 후에도 적용 가능한 효과적인 배수시스템 기능향상 방법을 제시하고자 기존의 PVC관과 새로운 재질의 배수공인 테프론 코팅강관, 실리콘오일 코팅관 그리고 아크릴관에 CaO 수용액을 흘려보내는 실험과 실제의 노후터널 유출수를 순환시키는 실험을 통하여 관의 재질에 따른 스케일 부착 특성을 파악하였다.

2. 터널 배수공의 막힘현상

2.1 터널 배수공 막힘현상 원인

터널 배수공의 막힘현상 실태조사를 위하여 노후터널 중 한 곳을 선정하여 현장조사를 실시하였다. 현장조사를 통해 배수공 시공 형태를 살펴본 결과 터널의 콘크리트 라이닝부에 지면과 5°각도로 설치되었으며, 터널 덕트부 및 배수공에 침적된 침전물을 확인한 결과 그림 1, 2와 같이 터널 벽체부 및 덕트부는 주로 백색침전물이 관찰되었다. 배수공



그림 1. 덕트부에 발생한 결정체 및 백색 침전물

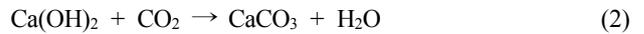


그림 2. 배수공에 형성된 침전물 퇴적 형상

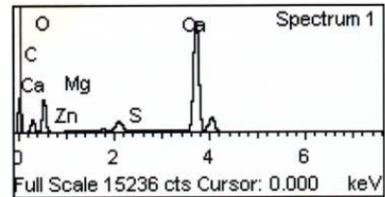
내의 유공관에는 지하수에 의해 용출된 배면공동 그라우팅 재가 주요 성분인 백색침전물과 터널 주변의 토사성분이 혼합되어 황색의 스케일화된 퇴적물이 관찰되었으며, 이와 같은 물질이 배수공 막힘의 주요 원인으로 확인되었다.

2.2 터널 배수공 스케일의 성분

노후터널 배수공에 발생하는 주요 스케일 성분인 탄산칼슘(CaCO₃)은 Ca(OH)₂가 토중의 미생물 반응, 유기물의 산화, 자동차 배기가스 등에 의해 발생하는 CO₂ 성분과 결합되는 과정에서 발생하게 된다. 이와 같은 반응을 화학식으로 나타내면 식 (1), 식 (2)와 같다(천병식, 2011).



터널의 배수공에 형성된 스케일의 형상 및 주요 구성성분을 분석하기 위하여 SEM-EDX 분석을 실시하였다. 분석 결과 터널의 배수공에 생성된 스케일의 주요성분은 그림 3(a)와 같이 CaCO₃으로 확인되었고, 그 결정형태는 그림 3(b)와 같이 calcite임을 알 수 있었다.



(a) 채취된 시료의 EDX분석 결과



(b) 채취된 시료의 SEM분석 결과

그림 3. 침전물의 화학성분 분석 결과

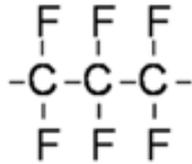


그림 4. 테프론 코팅재의 분자구조

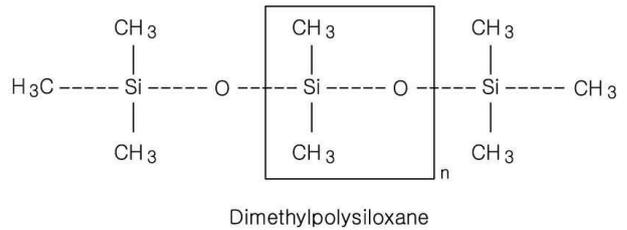


그림 5. 실리콘오일 코팅재의 분자구조

3. 배수공의 재질

3.1 테프론 코팅관

불소(Fluorine)수지는 탄소간 결합으로 이루어진 폴리올레핀과 같은 결합구조로서 폴리올레핀의 수소 중 일부 또는 전부가 불소원자로 대체된 구조를 가진 합성수지이다. 테프론(Teflon)은 이러한 불소 수지 중 PTFE(Poly Tetra Fluoro Ethylene)를 도료화하여 철, 스테인레스, 알루미늄, 유리, 고무 등 기존재료에 스프레이 및 분말도장, 건조, 가열, 소성의 공정을 거친 코팅을 말한다. 테프론은 이성성, 내열성, 내약품성, 내마모성 등이 우수하며 저 마찰계수의 장점을 가지고 있는 불소수지 코팅이다. 특히 비점착성의 특징으로 인하여 대부분의 물질이 쉽게 달라붙지 않으며 접착성이 아주 강한 재료의 경우에도 대부분 쉽게 분리된다. 또한 물이나 기름이 잘 묻지 않는 비유성의 성질을 가지고 있어 청소가 용이하며 많은 경우 자동적으로 청결이 유지되는 특성이 있다. 실험에 사용한 테프론 코팅관은 그림 4와 같은 분자구조를 갖는다(이진호 등, 2008; Sarra-Bournet 등, 2006).

3.2 실리콘오일 코팅관

실리콘 고분자에 있는 규소(Si)와 산소(O)는 전기음성도의 차이가 크기 때문에 이온결합에 가까우며 에너지적으로 매우 안정되어 열과 산화에 강하며 따라서 고온에서 사용되는 경우 안정적인 재료이다. 또한, 분자 구조상 실록산 결합(Si-O-Si)에 기인하는 무기적 특성 때문에 내열성, 화학적 안정성, 전기절연성, 내마모성, 광택성 등이 우수하며 측쇄의 유기적 특성에 의하여 우수한 반응성, 용해성 작업성을 갖고 있다. 또한 실리콘 오일은 표면장력이 낮고, 퍼짐성이 우수하여 코팅이 잘되는 특징을 가지고 있다.

본 연구에서 제작된 실리콘오일 코팅은 표면코팅액 및 점착제의 원료인 실리콘계 고분자인 실리콘 수지(resin, 점도 20cP, 분자량=2,000-7,000, 밀도=1.06)와 실리콘 검(gum, 점도=150cP, 분자량=20,000-30,000) 및 실란계 가교제(동점도=2.5cP, 분자량=248.35g/mol, 끓는점=190°C)와 촉매는 Dow Corning사의 제품을 혼합하여 사용하였으며, 용제인

톨루엔, 에탄올은 일제 Junsei 시약을 정제 없이 사용하였다. 실험에 사용한 실리콘오일 코팅관은 그림 5와 같은 분자구조를 갖는다(김태현 등, 2008).

3.3 아크릴관

아크릴은 플라스틱의 일종으로 본 실험에서 사용한 재질은 아세톤·사이안산·메탄올을 원료로 만든, 비중 1.18의 메타크릴산 메틸(Methyl Methacrylate)의 중합체이다. 무게가 유리의 1/2 정도로 가벼우면서도 같은 두께의 경우 유리에 비해 6배에서 17배까지 강한 강도를 가진다. 그리고 기후에 대한 내구성은 플라스틱 중에서도 가장 우수한 편이어서 건축용 재료로도 많이 사용되며 강한 내화학성을 갖는다. 저온에 아주 강해 극도로 추운 날씨에도 깨지거나 부서지지 않는 장점이 있다. 실험에 사용한 아크릴관은 그림 6과 같은 분자구조를 갖는다(김홍태 등, 2004; 강상용 등, 2008).

3.4 PVC관

PVC(Poly Vinyl Chloride)는 그 강도와 내압에 대한 저항성이 높고 내화학성, 내수성이 우수하여 배수공에 자주 이용되는 재질이다. 실험에 사용한 PVC관은 그림 7과 같은 분자구조를 갖는다(이세윤 등, 2010).

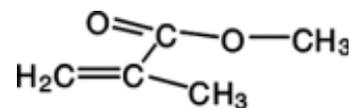


그림 6. 아크릴관의 분자구조

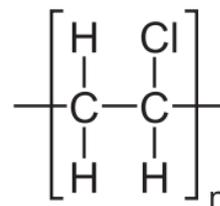


그림 7. PVC관의 분자구조

4. 실험 장치 및 방법

4.1 배수공 재질 실험

본 연구에 사용된 실험장치의 전경 및 교반장치의 구성은 그림 8, 9와 같다. 실험장치는 CaO 수용액의 제조를 위한 혼합수조와 CaO 수용액이 일정한 경도를 유지할 수 있게 하기 위한 교반장치로 구성되어있다.

실험 배수공의 재질 및 제원은 표 1과 같다. Case II는 실리콘오일을 PVC관에 도포하여 코팅하였으나, Case I의 경우 테프론코팅은 고온(약 400°C)에서 코팅이 가능하므로 PVC관 대신 강관을 사용하였다. 실험 시 배수공의 기울기는 채수한 터널 배수공과 같은 5°의 경사를 주었다. 실제 터널 유출수의 Ca이온 경도를 참고하여 CaO 수용액의 평균 경도는 80mg/L로 하였다(표 2 참조).

CaO수용액의 상등액만을 교반수조에 흘려보내고, CO₂ 가스를 주입한 후 교반기를 작동시켜 교반시킨다. 이 때 CaO 수용액의 수온은 17~19°C이며, 용존 CO₂ 농도는 0.03~0.04%를 유지하였다.

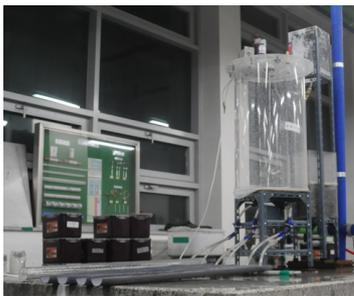


그림 8. 실내 실험 장치 전경

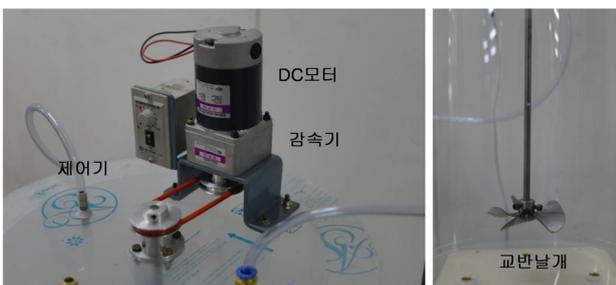


그림 9. 교반장치의 구성

표 1. 실험 배수공의 제원

구 분	배수공의 제원		
	재질	직경(ϕ)	길이(L)
Case I	테프론	50mm	1m
Case II	실리콘오일	50mm	1m
Case III	아크릴	50mm	1m
Case IV	PVC	50mm	1m

표 2. 노후터널 유출수 화학성분 분석 결과

분석항목	분석 단위	분석결과			
		A	B	C	
pH	-	8.19	8.12	8.3	
전기전도도	$\mu\text{s}/\text{cm}$	626	575	634	
M알카리도 (CaCO ₃ 환산)	mg/L	50	41.5	84.9	
경도	전 체	mg/L	419	360	160
	Na이온	mg/L	21.6	38.2	43.4
	Ca이온	mg/L	108.4	79.2	54.8
	Mg이온	mg/L	35.52	38.88	5.39
	Cl이온	mg/L	120.5	87.4	108
	NO ₃ 이온	mg/L	67.76	3.81	3.60
	SO ₄ 이온	mg/L	168.2	332.9	73.9
	Si이온	mg/L	7.2	7.2	9.5

실험 배수공을 통과하는 CaO수용액의 유량은 하나의 밸브로 조절하여 실제 터널의 배수공과 비슷한 0.2~0.5cc/s로 흐르도록 하였다. 실험은 28일간 실내실험을 수행하였으며 배수공의 무게변화 측정을 통해 스케일의 양을 정량적으로 분석하였다.

4.2 순환식 폐쇄수조 실험

순환식 폐쇄수조 실험은 노후터널에서 지속적으로 유출되는 유출수로 인한 막힘현상 규명을 보다 효과적으로 모사하여 실험의 정확도를 높이기 위해 개발하였고, 배수공재질에 따른 스케일의 발생 경향을 측정하여 현장 적용성을 평가하는 데 그 목적이 있다.

본 연구에 사용된 순환식 폐쇄수조장치의 전경은 그림 10과 같다. 순환식 폐쇄수조장치는 PVC관과 아크릴관으로 구성되어 있으며 그 외 스테인리스 펌프, 배수공 삽입 장치, 리저버탱크 2대, 알루미늄 지지대, 유량조절밸브로 구성되어 있다. 특히, 배수공 삽입 장치는 고무연성관 내부에 PVC



그림 10. 순환식 폐쇄수조장치 전경

표 3. 순환식 폐쇄수조 실험 조건

사용수	노후터널 원수 120L
유량	약 2,000cc/min
순환시간	10 hr/day
수온	22~23.5℃
경도	전체 : 160 (mgf/L)
	Ca ²⁺ : 54.8 (mgf/L)
	Mg ²⁺ : 5.39 (mgf/L)
적용관	PVC관, 테프론 코팅강관

관과 테프론 코팅강관을 삽입하여 배수공 재질에 따른 스케일의 부착 특성을 파악할 수 있도록 제작되었다.

본 실험 장치에서는 각 배수공 재질에 따른 스케일 발생 경향을 파악하였다. 각 Case는 표 3에서 보는 바와 같은 조건으로 실험을 진행하였다.

5. 실험 결과 및 고찰

5.1 배수공 재질별 스케일 발생량 실험

배수공의 재질에 따른 스케일 부착 특성을 평가하기 위하여 배수공의 재질을 달리하여 실험을 수행하였으며, 스케일 형성정도를 육안으로 확인한 결과는 그림 11과 같다. Case I은 테프론 코팅강관, Case II는 실리콘오일 코팅관, Case III은 아크릴관, Case IV은 PVC관이다.

테프론 코팅강관의 경우 가장 스케일이 적게 부착되었으며 현재 실제 터널의 배수공으로 쓰이고 있는 PVC관의 경우가 가장 많은 양의 스케일이 부착되었다. 특이사항으로는 테프론 코팅강관, 실리콘오일 코팅관 그리고 아크릴관의 경우는 PVC관과는 달리 스케일과 관과의 부착력이 매우 떨어지는 현상을 보였다. 이로 인하여 작은 충격이나 유출수의 흐름에 의해서 스케일이 관에서 탈락되는 현상이 발생하였다.

배수공의 초기무게와 28일 후의 배수공의 무게를 측정 한 결과는 표 4 및 그림 12와 같다. 배수공의 무게 변화량을 스케일의 생성량으로 측정한 결과, 스케일 생성량은 PVC관에서 평균 3.71gf으로 가장 많은 양이 발생하였고, 그 다음으로 아크릴관 1.20gf, 실리콘오일 코팅관 0.61gf, 테프론 코

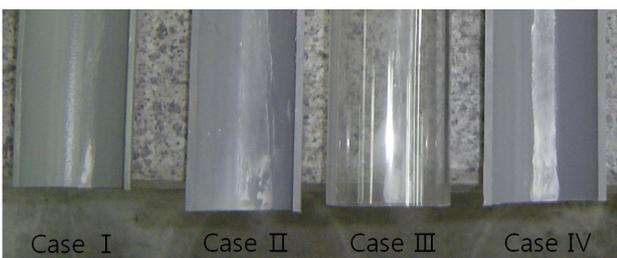


그림 11. 배수공 재질에 따른 스케일형성 실험 결과

표 4. 배수공의 무게 변화 측정결과

구 분	재 질	초기 무게 (gf)	최종 무게 (gf)	무게 변화 (gf)
Case I	테프론	2,225.28	2,225.47	0.19
Case II	실리콘오일	561.95	562.56	0.61
Case III	아크릴	592.55	593.42	1.20
Case IV	PVC	529.44	533.14	3.7

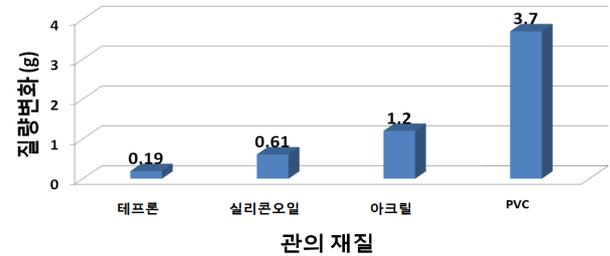


그림 12. 스케일 무게 변화 측정결과

팅강관 0.19gf의 순으로 발생하였다. 이 수치는 PVC관 대비 아크릴관 32.43%, 실리콘오일코팅관 16.49%, 테프론 코팅강관 5.14%으로서 PVC관에 비하여 새로운 재질의 관에 현저히 적은 양의 스케일이 생성되는 것으로 나타났으며, 관의 재질에 따라 스케일의 부착량이 변화함을 확인할 수 있었다.

배수공의 마찰계수가 작은 테프론 코팅강관과 실리콘오일 코팅관은 아크릴관이나 PVC관에 비해 상당히 적은 양의 스케일이 발생된 것으로 분석되며 이는 동일한 구경에 비해 배수능력이 크고 유체의 흐름이 원활하며 퇴적물의 발생이 비교적 적음을 알 수 있었다. 따라서 노후터널의 배수공 기능 저하로 인한 배수공 교체 시 상기와 같은 영향을 고려하여 배수공의 재질을 코팅관으로 적용했을 시 상당한 효과가 있을 것으로 사료된다.

5.2 순환식 폐쇄수조장치

PVC관과 테프론 코팅강관의 스케일 부착정도를 비교분석하기 위하여 각 배수공의 무게변화를 실험 시작 후 14일, 21일, 28일, 35일에 측정하였다(표 5 참조). 실험 시작 후 35일차의 스케일 증가율은 PVC관의 경우 4.50%이고 테프론 코팅강관은 0.28%를 나타내었다(표 6 및 그림 13 참조). 35일 후 PVC관은 5.29gf, 테프론 코팅강관은 1.38gf의 무게 증가를 보였다. 테프론 코팅강관의 경우 PVC관에 비하여 무게대비 약 25% 정도의 스케일이 부착된 것을 확인할 수 있었다. 이는 테프론 코팅강관이 실제 터널의 유출수에 있어서도 PVC관에 비하여 스케일 부착 방지능력이 우수하기 때문으로 판단된다.

표 5. 배수공 재질에 따른 배수공 무게 변화(gf)

days	PVC	테프론
0	117.52gf	484.49gf
14	121.89gf	484.87gf
21	122.36gf	485.24gf
28	122.67gf	485.56gf
35	122.81gf	485.87gf

표 6. 배수공 재질에 따른 배수공 무게 증가율(%)

days	PVC	테프론
0	0.00%	0.00%
14	3.72%	0.08%
21	4.12%	0.15%
28	4.38%	0.22%
35	4.50%	0.28%

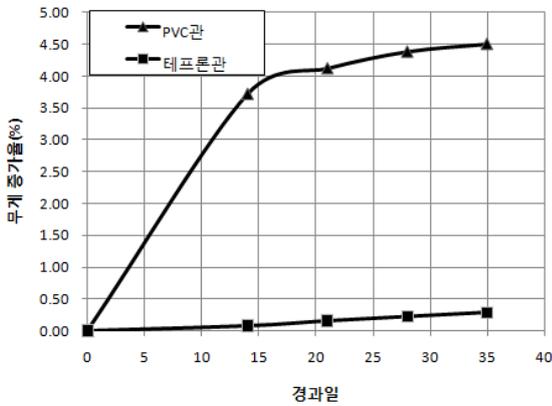


그림 13. PVC관, 테프론 코팅강관 무게 증가율(%)

5.3 고찰

스크래치 시험을 통하여 CaO수용액을 흘려보내어 관의 표면에 인위적으로 생성시킨 스케일과 실제 터널의 유출수를 사용하여 탄산칼슘과 토사성분이 결합한 다른 형태의 스케일이 형성될 경우에도 관의 재질에 따른 스케일의 부착강도에 차이가 있었다. PVC관에 비해 테프론 코팅강관, 실리콘오일 코팅관, 아크릴관의 경우 관과 스케일간의 부착력이 약하여 관과 이물질간의 작은 마찰에도 쉽게 스케일이 제거되는 특징을 보였다.

하지만 테프론 코팅강관의 경우 그림 14의 점선원으로 표시된 부분에 보이듯이 장기적 시험결과 강관의 표면이 터널유출수에 포함되어 있는 토사와 이물질 등으로 인해 손상되어 코팅재의 탈락, 강관의 부식 등이 발생하여 내구성에 문제가 있었다.

배수공 코팅에 의한 스케일 형성을 억제하는 방법은 화학처리에 의한 스케일을 제거하는 방법과는 달리 화학약품으로 인한 환경오염의 우려가 없으며 경제적인 면에 있어서



그림 14. 코팅재 탈락 및 부식이 발생한 테프론 코팅강관 전경

표 7. 배수공 재질에 따른 경제성 검토

관 재 질	관의 비용 (원/m)	코팅 비용 (원/m)	총 비용 (원/m)
테프론 코팅강관	1,500	30,000	31,500
실리콘오일 코팅관	1,500	700	2,200
아크릴관	27,000	-	27,000
PVC관	1,500	-	1,500

도 유지관리용 Robot에 의한 방법이나 여러 시공 후 배관 유지보수 공법에 비하여 경제적이다. 테프론 코팅의 경우 실리콘오일 코팅에 비하여 상당히 고가이나 코팅재 탈락 및 부식을 보완할 수 있는 방법이 고안된다면 스케일로 인한 배수공 막힘 현상을 줄이는데 큰 효과가 있을 것으로 판단된다(표 7 참조).

6. 결 론

본 연구는 배수공의 재질에 따른 스케일의 부착특성을 규명하기 위하여 터널의 배수공으로 일반적으로 사용되는 PVC관과 새로운 재질인 테프론 코팅강관, 실리콘 오일 코팅관, 아크릴관을 비교하여 배수공의 재질에 따라 스케일의 부착에 차이가 있음을 확인하였고, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 배수공 재질 실험 결과 PVC관, 아크릴관, 실리콘오일 코팅관, 테프론 코팅강관의 순으로 관 표면에 CaCO₃가 적게 부착되었고, 이는 배수공의 재질에 따른 마찰계수의 영향으로 판단된다.
- (2) 배수공 재질 실험 중 PVC관에 부착된 스케일과는 달리 아크릴관, 실리콘오일 코팅관, 테프론 코팅강관에 부착된 스케일은 관과 스케일간의 부착력이 매우 떨어졌다. 이는 새로운 재질의 관에 스케일이 부착되더라도 고압수를 이용한 스케일 제거와 같은 방법 등으로 쉽게 제거 가능할 것으로 판단된다.

- (3) 기존의 터널 배수공에 적용이 되고 있는 PVC관에 비해 실리콘오일 코팅관, 테프론 코팅강관의 경우 배수공 표면의 마찰계수가 줄어들어 스케일 형성을 저하시켜 배수공 막힘 현상을 억제할 수 있을 것으로 사료된다.
- (4) 순환식 폐쇄수조실험 결과 PVC관에 비하여 테프론 코팅강관에 적은 양의 스케일이 부착되었고 이는 테프론 코팅강관이 실제 터널의 유출수에 있어서도 PVC관에 비하여 스케일 부착 방지능력이 우수하기 때문에 판단되나 일부 코팅재의 탈락, 강관의 부식 등 장기적 내구성에 문제가 있는 것으로 보인다.
- (5) 테프론 코팅강관을 장기적으로 적용하기 위해서는 노후터널 유출수에 포함되어 있는 토사와 이물질 등으로 인한 코팅재 손상에 대한 방지가 필요하며, 따라서 코팅관 내부 표면 강도 증대 방법에 대한 추가적인 조치가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2010년도 서울시 산학연 협력사업(ST100052)에 의한 연구비 지원으로 수행되었음을 밝히며, 이에 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. 강상용, 김형중(2008), 폴리우레탄-폴리아크릴레이트 하이브리드 에멀전의 제조, *한국접착 및 계면학회 논문집*, Vol. 9, No. 1, pp. 16~21.
2. 김태현, 서기홍, 홍은정(2008), 실리콘 오일을 이용한 반도체 소자 가공 방법, 실용신안 10-2008-0112528.

3. 김홍태, 이명천(2004), 폴리우레탄-아크릴 에멀전 수지 제조 및 물성에 관한 연구, *한국공업화학회 논문집*, Vol. 16, No. 1, pp. 39~44.
4. 배규진, 이규필, 이성원, 신홍성(2006), 바닥배수판을 이용한 터널 배수시스템의 통수능 평가, *한국터널지하공간학회 논문집*, Vol. 8, No. 1, pp. 13~20.
5. 배규진, 이성원(1998), 지하구조물 유지관리 및 예측, *대한토목학회 논문집*, Vol. 46, No. 11, pp. 43~54.
6. 연일화섬공업(주)(2006), 터널의 배수구조물에 사용되는 방수시트의 고정링과, 이를 포함하는 배수구조물 및 이를 사용한 배수공법, 특허 1006260930000 호.
7. 유신코퍼레이션(2003), 터널의 측벽 배수 시스템 특허 100402805호.
8. 이세운, 홍석원, 김영수(2010), 장기 내수압 특성을 갖는 고강도 내충격 PVC관(HIVP)의 신뢰성 평가, *2010년도 하계학술발표대회*, 대한설비공학회, pp. 942~946.
9. 이인모, 김종선, 김상용, 김창용(2008), 배수로가 형성된 부직포를 이용한 배수재, 실용신안 10-2008-0041912.
10. 이인모, 신영진, 남석우, 김상용, 김창용(2005), 돌기를 구비한 일체형 방수시트, 실용신안 20-0404580.
11. 이진호, 김현수, 이현삼, 김태규(2008), PTFE 코팅의 Tribology 특성, *2008년도 추계학술대회*, 한국기계기공학회, pp. 367~372.
12. 천병식(2011), 노후터널 배수공의 기능 향상 기술개발 중간보고서, 2010년도 서울시 산학연 협력사업, ST100052, pp. 14~31.
13. 한국건설기술연구원(2007), 터널용 이중 바닥판 배수시스템, 특허 100722808 호.
14. 한국산업기술평가원(2003), 산업기술혁신 5개년 계획 산업별 보고서 지능형로봇, 산업자원부, pp. 153~166.
15. Reddi, L.N. Ming, X. Hajra, M.G. and Lee, I.M. (2000), Permeability Reduction of Soil Filters Due to Physical Clogging, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 126, No. 3, pp. 236~246.
16. Sarra-Bournet C., Turgeon S., Mantovani D., Laroche G.(2006), A Study of Atmospheric Pressure Plasma Discharges for Surface Functionalization of PTFE Used in Biomedical Applications, *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol. 39, No.16, pp. 3461~3469.
17. Shin, J.H., Addenbrooke, T.I. and Potts, D.M.(2002), A Numerical Study of the Effect of Groundwater Movement on Long-term Tunnel Behaviour, *Geotechnique*, Vol. 52, No. 6, pp. 391~403.

(접수일: 2011. 8. 1 심사일: 2011. 8. 30 심사완료일: 2011. 10. 14)