도로터널의 모사시험을 통한 배수공 스케일 억제 기술 평가

An Evaluation of Treatment Technologies for Anti-scale in Drainage Works Using Simulation Test of Road Tunnel

박 은 형¹ Park, Eun-Hyung남 중 우² Nam, Joong-Woo한 윤 수³ Han, Yoon-Su김 현 기⁴ Kim, Hyun-Gi천 병 식⁵ Chun, Byung-Sik

Abstract

Clogging phenomenon is one of the important problems in deteriorated tunnels, and it caused inhibition of drainage system by long-term behavior. Clogging phenomenon is mainly composed of CaCO_3 in the form calcite. Calcite is generally created by the reaction of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ with CO_2 emitted from vehicles. The structure of deteriorated tunnels was simulated and the setting of outflow from drainage pipe was observed in this study. The test was experienced by changing the slope of drainage system because existing drainage system was practiced almost below 5° . As a result, in case of drainage system's slope is 2° , Quantum Stick has an effect for prohibiting scale in drainage system, but magnetic treatment was not effective. As a result, in case of drainage system's slope is 5° , both technologies were effective for prohibiting scale in drainage system, but Quantum Stick was especially more effective than magnetic treatment.

요 지

노후화된 터널에서 배수공의 막힘현상은 중요한 문제점으로 대두되며, 장기적으로는 배수시스템에 폐색현상을 일으킨다. 배수시스템에서의 침전물 방지를 위한 요소기술 검증을 위해 본 연구에서는 도로터널의 토사층 및 라이닝을 모사하여 배수공의 유출수에서의 침전현상을 살펴보았다. 또한 기존의 배수공들은 대부분 5° 이하로 설치되었기 때문에 배수공의 기울기를 변화시켜가며 시험하였다. 배수공의 기울기를 2° 로 한 경우에는 퀀텀스틱은 스케일의 생성을 방지하는 데 효과가 있었으나 자화장치는 효과가 없는 것으로 나타났다. 배수공의 기울기를 5° 로 한 경우에는 퀀텀스틱과 자화장치 모두 배수공내 스케일의 생성을 방지하는 데 효과가 있었으나, 특히 퀀텀스틱이 자화장치보다 더욱 효과가 있는 것으로 나타났다.

Keywords : Deteriorated tunnel, Drainage system, Scale, Magnetic treatment, Quantum Stick

1 비회원, 한양대학교 건설환경공학과 석사과정 (Graduate Student, Dept. of Civil & Environmental Engrg., Hanyang Univ.)

2 정회원, 한양대학교 건설환경공학과 석사과정 (Member, Graduate Student, Dept. of Civil & Environmental Engrg., Hanyang Univ.)

3 비회원, 현대중공업 기반기술연구소, 연구원 (Researcher, Hyundai Heavy Industries CO., LTE Advanced Technology Institute)

4 정회원, 서울도시기반시설본부, 주무관 (Member, Facilities, Seoul Metropolitan Infrastructure Headquarters)

5 정회원, 한양대학교 건설환경공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil & Environmental Engrg., Hanyang Univ., Tel: +82-2-2220-0326, Fax: +82-2-2298-3270, hengdang@unitel.co.kr, 교신저자)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2014년 1월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

1. 서 론

최근 노후화된 터널에 있어 배수재의 폐색 또는 배수공 침전물 등에 의해 배수공이 막히는 현상이 발생하고 있다. 노후화된 터널은 대부분이 배수형 터널이며, 장기적인 거동에 의해 배수재의 압착과 폐색으로 배수시스템의 수리기능저하가 발생하고 있고 이로 인해 공극수압이 증가하여 누수를 가속화 시키며, 라이닝의 열화를 초래한다고 보고하였다(Reddi et al., 2000). 일반적으로 국내에 적용되어온 배수형 터널의 경우 배수시스템이 정상적으로 유지된다는 개념으로 터널라이닝에 작용하는 수압의 영향을 고려하지 않았다(Shin et al., 2009). 하지만 배수형 터널에서 콘크리트 라이닝 배면의 수압은 배수시설의 배수능력과 직결되어 있고 유입수량이 소량이라 할지라도 배수시설이 원활하게 배수시키지 못하면 수압이 콘크리트 라이닝에 작용하게 된다(Yoo et al., 2006). 최근 노후터널 배수공 막힘현상의 위험성이 심각하게 인식되어지고 있음에 따라 노후터널 배수공 기능향상 기술개발과 관련하여 Chun(2011), Nam et al.(2011), Chu et al.(2011), Lee et al.(2012)에 의해서 배수공 막힘 억제 요소기술(퀀텀스틱, 자화장치)을 개발하는 등 활발한 연구가 이루어졌다. 현재 노후터널에 있어서 배수공 막힘이 심할 시 터널의 파괴로 이어질 수도 있으므로 터널 배수공의 지속적인 보수·보강 등 유지관리에 막대한 예산이 소요되고 있다. 따라서 지속적이면서도 경제적이고 체계적인 유지·관리 시스템이 필요한 실정이다.

따라서, 본 연구는 노후터널 중 도로터널인 남산 OO 터널을 선정하여, 기 개발된 요소기술을 토사층 및 라이닝을 모사한 장치(터널 모사장치)를 제작하여 적용하였고 배수공의 구배에 따른 실제 배수공 막힘 억제에 대해

여 스케일의 증가량과 육안으로 그 효과의 정도를 평가하였다.

2. 터널배수공 막힘현상의 원인과 대책공법

2.1 배수공 막힘 실태

현장조사를 통해 남산 OO 터널의 배수공 시공 형태를 살펴본 결과 Fig. 1과 같이 터널의 콘크리트 라이닝 부에 지면과 5°이내의 각도로 설치되어 있었다. 터널 덕트부 및 배수공 내의 유공관에 침적된 침전물을 확인한 결과, Fig. 2, 3과 같이 터널 벽체부 및 덕트부는 주로 백색침전물이 관찰되었고, 배수공 내의 유공관에는 지하수에 의해 용출된 배면공동 경량기포 콘크리트 그라우팅재가 주요 성분인 백색침전물과 남산 OO 터널 주변의 토사성분이 혼합되어 침전물이 관찰되었으며, 이와 같은 물질이 배수공 막힘의 주요 원인이 되는 것으로 확인되었다. 이러한 배수공내 Clogging 현상은 다음과 같은 원인에 의하여 발생된다.

첫 번째로, 배수공내 유수에 의해 퇴적된 토사의 결정화이다. 퇴적물의 결정화 원인은 터널 내 비점오염원이 퇴적물 흡착수에 영향을 주어 흡착수의 전해질 농도가 변화하게 됨에 따른 응집(침전)이 일어나기 때문이다.

두 번째로, 터널 내부를 통하여 침출되는 지하수에 의해 콘크리트 구조물에서 용출된 수산화칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$), 탄산칼슘(CaCO_3)이 토사와의 포졸란 반응으로 인해 생성된 결정이다. Klabunde et al.(2001)에 의하면 비점오염원으로 인하여 입자의 척력(zeta potential)은 감소한다. 척력이 감소하면 (+), (-) 이온간 거리가 좁혀져서 입자들끼리 응집하는 경향이 발생하여 침전이 더 빠르게 유도된다.

Fig. 1. Schematic of The deteriorated Tunnel cross-section

Fig. 2. Crystallite and white precipitates generated in the duct

Fig. 3. Deposited shape of precipitates formed in drainage holes

Fig. 4. Sampling of sediment and outflow water

2.2 노후터널 배수공의 침전물 및 유출수 분석

본 논문에서는 서울시의 노후터널 중 남산 OO 터널을 연구대상 대표 터널로 선정하여 현장조사를 실시하였으며, 배수공 내의 유공관에 형성된 스케일 성분인 침전물의 채취 및 유출수를 채수하여 화학성분분석, SEM-EDS분석을 통하여 배수공 막힘 현상의 물질을

규명하고자 하였다. 침전물은 Fig. 4와 같이 채취하여 SEM-EDS분석을 실시하였으며, 주요 물질의 입자형상과 화학성분을 규명하였다. 그 결과는 Fig. 5와 같이 주요 원소 성분으로부터 CaCO_3 임을 알 수 있었다.

남산 OO터널에서 채수한 유출수에 대한 화학성분 분석 결과는 Table 1과 같이 Ca, Mg, 기타 염기성 물질(SO_4 등)에 의해 CaCO_3 , MgSO_4 등의 성분을 포함한 스

Fig. 5. SEM-EDX analysis results of sample from Namsan OO tunnel

Table 1. Major chemical components of outflow water through Namsan OO tunnel

Items of Analysis	Units of Analysis	Results of Analysis		
		Duct	1 st Inside of Tunnel	2 st Inside of Tunnel
pH	—	8.19	8.12	8.3
Electric conductivity	μs/cm	626	575	634
M alkalinity (CaCO ₃ Lysis)	mgf/l	50	41.5	84.9
Na	mgf/l	21.6	38.2	43.4
Ca	mgf/l	108.4	79.2	54.8
Hardness	mgf/l	419	360	160
Mg	mgf/l	35.52	38.88	5.39
Cl	mgf/l	120.5	87.4	108
NO ₃	mgf/l	67.76	3.81	3.60
SO ₄	mgf/l	168.2	332.9	73.9
Si	mgf/l	7.2	7.2	9.5

케일이 생성될 수 있을 것으로 예상할 수 있으며, 특히 SO₄의 성분이 많아 악성 스케일발생 가능성이 큰 것을 확인할 수 있었다.

2.3 배수공 막힘현상의 대책공법(Chun, 2011)

본 논문에서는 배수공 막힘현상의 대책공법 마련을 위하여 국내외 문헌 및 기술자료, 시제품을 조사하여 노후터널 배수공에 대한 적용성을 검토하였다. 배수공 막힘현상 대책공법으로 검토된 기술은 자화 장치, 쿼텀스틱(메루스링)이며 이에 대하여 적용성을 검토한 결과는 다음과 같다.

2.3.1 자화 장치

자화 장치는 자석의 원리를 활용하는 것으로, 노후터널 배수공에 발생하는 스케일의 원인이 되는 탄산칼슘 입자의 형태를 Calcite에서 Aragonite로 변화시켜 물과 물속에 포함되어 있는 입자들이 배관이나 기계 내

부 벽에 부착되지 않고 부유 상태로 흘러가게 하여 스케일 발생을 억제하는 공법이다(Gabrielli, 2001). 자화 장치는 Fig. 6과 같이 기본적으로 영구자석을 사용하며, 현존하는 가장 강력한 영구자석인 네오디뮴자석(약 3500Gauss)이 쓰여진다. 해외문헌 및 국내외 기술을 살펴 본 결과 이미 어느 정도 실용화 되어 있고, 저비용이며 설치 또한 간편하여 본 논문에서는 자화 장치를 실험에 적용가능한 요소기술로 선정하였다.

2.3.2 쿼텀스틱

쿼텀스틱은 분자진동(브라운운동효과)의 원리를 적용한 것으로서, 기본 진동에 간섭진동을 주어 쿼텀스틱에서 발산하는 진동이 스케일의 생성을 억제, 제거하는 기술이다. 세상에 존재하는 모든 물질은 분자라는 단위의 집합체로 이루어져 있으며, 각 분자들은 자신의 성질을 유지하기 위한 고유의 움직임을 가지고 있는데, 이를 분자진동이라고 한다. 분자는 원자들의 조합물이며 각 원자들은 원자핵과 원자핵의 주변을 돌고 있는 전자로

Fig. 6. Composition of Magnetic device (Gabielli, 2001)

Fig. 7. Theory of Quantum stick method (Chun, 2011)

구성이 되어있다. 원자핵과 주변을 돌고 있는 전자의 일정한 상호작용에 의해 원소의 성질이 결정되며 분자진동은 이러한 원자핵과 전자의 상호작용에 기인하며 분자의 파동으로 표현하기도 한다.

만일 이러한 고유의 분자진동에 변형이 온다면, 물질은 자신의 고유한 성질에 변화가 올 수 있으며 이어서 기존 결합물과의 해체, 이온화 등의 형태로 고착점에서 방출될 수 있다. 퀀텀스틱은 위와 같은 원리를 이용한 것으로서, 양자역학을 기초로 하여 스케일에 대항하는 전자기파를 발산하는 소재를 통해 분자진동에 간섭 효과를 주고, 이를 통해 물에 녹아 있는 스케일 성분들의 진동 크기를 줄여 포화상태에 미치지 못하게 하여 스케일의 생성을 억제 또는 제거하는 기술에 관한 것이다. 다시 말해서, 소재로부터 발산되는 전자기파를 이용하여 물속으로 분자진동을 가하고, 물은 이 진동들을 수용

해서 물이 흐르는 방향으로 진동을 확산시키며, 그 결과 물 전체가 스케일(또는 녹)을 제거하는 수단이 되는 것이다.

또한 물에 녹아 있는 스케일 성분들의 진동의 크기가 작아져 물의 표면장력이 감소하게 되며 즉, 물의 입자를 세분화 시키는 효과가 있다(Fig. 7 참조). 물의 입자가 작아지면 물의 포화도가 증가되고, 관 벽에 붙어 있는 스케일 등이 물속으로 녹아서(환원되어) 제거되어 스케일 생성이 억제되는 효과가 있다(Merus Korea, 2002; Merus Korea, 2003a; Merus Korea, 2003b; Kim, 2002).

노후터널 배수공의 경우 유량이 일정하지 않으므로, 유속의 영향을 많이 받는 요소기술의 경우 적용이 난해한 데, 본 공법은 유속과 상관없이 효과가 나타나므로 노후터널 배수공 막힘 억제 공법으로 채택하였다.

3. 실내시험

3.1 시험장치

3.1.1 노후터널의 토사층 및 라이닝 모사 토조 제작

노후터널의 단면은 토사층, 경량기포콘크리트, 콘크리트 라이닝 등 총 세 층으로 구성하였으며 시험의 편의를 위해 각 층을 아크릴 상자로 분리할 수 있게 제작하였다. 각 층의 아크릴 상자의 저면에는 다수의 구멍을 뚫어 물이 원활하게 흐를 수 있게 하였고 부직포를 깔아 큰 덩어리의 토사가 유출되는 것을 방지하였다. 또한 수조와 아크릴 상자를 지지할 수 있는 철제 앵글을 제작하였다.

3.1.2 터널단면 모사

토사층은 남산 OO터널의 상부지층에서 채취한 흙시료를 사용하였으며 경량기포콘크리트층은 실제 남산 OO터널의 보수공사에서 사용된 배합량을 적용하여 실험실에서 제작하였다. 경량기포콘크리트의 현장 배합량 및 실내시험용 배합량은 Table 2 및 Table 3과 같다.

콘크리트의 라이닝 성분을 모사하기 위해서 실제 남산 OO터널의 콘크리트 배합량을 사용하였으나 콘크리트 라이닝의 투수계수가 상당히 낮기 때문에 물이 투수되는 시간이 너무 오래 걸리므로 투수콘크리트를 적용하였다. 투수콘크리트는 물이 투수되는 시간은 줄이면서 시멘트에서 용탈되는 CaCO_3 나 Ca(OH)_2 성분은 동일하게 반응에 이용될 수 있어 효과적이다. 투수콘크리트에 사용된 배합량은 Table 4와 같으며, 조골재는 쇠석을 사용하였고 체가름을 하여 12mm 이하의 크기를 사용하

였다. 수조 및 세 종류의 상자를 앵글에 조립한 후 배수공을 연결한 전경은 Fig. 8과 같다.

3.1.3 요소기술

자화처리에 사용된 자석은 막대자석으로 3500Gauss의 자력세기로 하였으며 퀴텀스틱은 당초 Fig. 9(a)와 같이 관의 외경을 감싸는 형식의 링의 형태로 제작되어졌으나, 노후터널 배수공에 적용 시에는 배수공내의 공간과 유공관 사이에 적용이 난해할 것으로 판단되어 유공관 내에 삽입할 수 있는 Fig. 9(b)의 스틱형태의 퀴텀스틱을 제작하여 적용하였다.

3.2 시험방법

본 시험은 남산 OO터널의 토사층 및 라이닝을 모사한 장치를 통과한 물을 요소기술이 적용된 배수공에 흘려보냄으로써 요소기술의 스케일 억제효과를 비교 분석하고

Fig. 8. Foreground of device for indoor experiment

Table 2. Mix quantity of field experiment

Division	Cement	Sand	Water	Foaming agent
light weight mortar	360 kgf/m ³	36 kgf/m ³	198 kgf/m ³	0.8 L/m ³

Table 3. Mix quantity of indoor experiment

Division	Mix Quantity	Note
Cement	18 kgf	OPC
Sand	1.8 kgf	Standard sand of Jumunjin
Water	9.9 kgf	—
Foaming agent	0.04 L (water 2 kgf)	A high molecule

Table 4. Mix quantity of permeable concrete

Division	Water	Cement (OPC)	Coarse aggregates
Quantity of mix	96.5 kgf/m ³	318 kgf/m ³	1622 kgf/m ³

(a) Merus ring

(b) Quantum Stick

Fig. 9 Shape of Merus ring and Quantum Stick (Chun, 2011)

Table 5. Categories of technologies

Division	Element technology	Note
Case I	Quantum Stick	Stick Shape
Case II	Magnetic	3500 Gauss
Case III	Untreated	—

(a) Case I (Quantum Stick)

(b) Case II (Magnetic)

(c) Case III (Untreated)

Fig. 10. Foreground of indoor experiment by element technology

자 한다. 적용된 요소기술은 Table 5와 같이 크게 퀀텀스틱, 자화장치, 불적용(대조군) 등 세 종류로 선정하였다. 현장조사결과 터널 배수공에서 흘러나오는 물의 유량은 500ml/min으로서 현장의 조건과 동일한 유속으로 하였다. 배수공의 재질 또한 현장과 동일한 PVC를 이용하였다.

시험장치의 전경은 Fig. 10과 같다. 시험 시 배수공의 구매는 2°와 5°로 구분하였는데 이는 일반적인 터널의 배수공의 각도가 5° 설계되는 데 비해 실제 시공 시에는 5°보다 작은 2°로 시공되기 때문에 이를 비교 분석하기 위해 두 종류의 배수공 각도로 하였다.

4. 시험결과 및 분석

요소기술인 퀀텀스틱과 자화장치의 효과검증 방법으로는 스케일이 배수공에 쌓이는 모습을 육안으로 관찰하는 방법과 배수공의 무게증가의 대소를 비교함으로써 판단하였다. 배수공의 구매별로 실험결과를 정리하면 다음과 같다.

4.1 배수공의 기울기가 2°일 때

Table 6과 Fig. 11, Fig. 12에 나타낸 바와 같이 배수공

Fig. 11. Change of scale weight in pipe (Slope 2°)

의 설치구배가 2°인 경우는 예상과는 달리 요소기술을 적용한 배수공(Case I, Case II)에서 요소기술을 적용하지 않은 배수공(Case III)보다 스케일이 오히려 많이 발생하는 것을 관찰할 수 있었다.

그 원인을 분석해 본 결과, 퀀텀스틱이나 자화장치 자체가 물의 흐름을 방해하여 유속을 저하시켜 오히려 스케일 생성을 억제하는 본질의 기능보다, 느려진 유속으로 인해 스케일 형성이 더욱 심해진 것으로 판단된다.

Table 6. Change of scale weight in pipe (Slope 2°)

Division	Initial quantity	After 63 days	Secondary quantity (rate)
Case I (Quantum Stick)	480.2 gf	491.0 gf	10.8 gf (2.225%)
Case II (Magnetic)	520.1 gf	530.3 gf	10.2 gf (1.961%)
Case III (Untreated)	533.3 gf	542.7 gf	9.4 gf (1.763%)

(a) Case I (Quantum Stick) 31 Days

(b) Case I (Quantum Stick) 63 Days

(c) Case II (Magnetic) 31 Days

(d) Case II (Magnetic) 63 Days

(e) Case III (Magnetic) 31 Days

(f) Case III (Magnetic) 63 Days

Fig. 12. Scale in pipe (Slope 2°)

Fig. 13. Change of scale weight in pipe (Sloe 5°)

4.2 배수공의 기울기가 5°일 때

2°일 때 보다 유속을 더욱 크게 하기 위하여 배수공의 구배를 5°로 유속을 높여 실험을 계속해서 진행하여 비교하였다.

배수공의 구배가 5°일 경우의 시험 시작시와 63일 경과후의 결과를 Table 7과 Fig. 13, Fig. 14에 나타내었다. 9일차의 배수공에 흐르는 물은 정도가 2000mgf/l 이상

(a) Case I (Quantum stick) 31 Days

(b) Case I (Quantum stick) 63 Days

(c) Case II (Magnetic) 31 Days

(d) Case II (Magnetic) 63 Days

(e) Case III (Untreated) 31 Days

(f) Case III (Untreated) 63 Days

Fig. 14. Scale in pipe (Slope 5°)

Table 7. Change of scale weight in pipe (Sloe 5°)

Division	initial quantity	After 63 days	Secondary quantity (rate)
Case I (Quantum stick)	480.2 gf	484.0 gf	3.8 gf (0.791%)
Case II (Magnetic)	520.1 gf	524.6 gf	4.5 gf (0.858%)
Case III (Untreated)	533.3 gf	540.2 gf	6.9 gf (1.294%)

으로 측정 되었고 14일차에는 1800mgf/l 정도로 경도가 감소되었다. 즉, 시간의 경과에 따른 물질들의 용탈이 초기에는 심하다가 점차 감소하는 경향이 보이는 것을 확인할 수 있었다.

배수공의 구배를 5°로 하였을 때 퀴텀스틱의 경우 자화장치나 불적용의 경우보다 스케일이 가장 적게 발생된 것을 육안으로 확인할 수 있었고, 무게 증가율도 가장 적은 수치를 나타내어 퀴텀스틱의 경우 스케일을 억제시키는 효과를 확인할 수 있었다(Table 7 참조).

4.3 고찰

결과적으로 물질의 주파수를 이용하는 퀴텀스틱의 경우 배수공의 구배가 2°일 경우에는 오히려 물이 배수공을 흘러내릴 때 장애물의 역할을 하게 되어 스케일을 더욱 발생하게 하였으나 5°의 구배를 주었을 경우에는 장애물의 기능을 하게 되는 한계유속을 벗어나게 되어 그 효과를 발휘할 수 있었으므로 실제 현장적용시 5°이상의 구배를 유지해 준다면 그 효과를 볼 수 있는 것으로 사료된다.

반면 자화처리한 경우는 불적용한 경우와 비교 시 무게 변화량이 미미한 것으로 관찰되었다(Table 7 참조). 그 이유는, 첫째, 자석의 세기가 3500Gauss로 타 논문들에서 스케일방지에 사용하는 7000Gauss 이상의 자석들보다 세기가 약한 것이 원인이라고 할 수 있다. 하지만 전자석을 사용하지 않고는 7000Gauss 이상의 자력을 얻는 것은 불가능하였고, 전자석의 경우 그 비용이 상당히 고가로 판단하였으므로 본 실험에는 경제적인 요소기술 적용의 목적에 부합하지 않는다고 판단된다.

둘째, 자화처리의 효과는 식 (1)과 같이 표현할 수 있는데, 본 실험의 경우 유속이 느리기 때문에 자화처리의 효율이 떨어지는 것으로 판단할 수 있었고, 자석의 경우 상수도관이나 보일러 배관과 같이 유속이 어느 정도 보장되는 구조물에 적용되어야 그 효과를 낼 수 있는 것으로 판단하였다.

$$E = V \times B \quad (1)$$

여기서, E : 기전력

V : 유속

B : 자기장의 세기

셋째, 배수공의 구배를 현장과 동일한 5°로 하였지만 자석은 단면이 크기 때문에 구배의 증가에도 불구하고 오히려 장애물 역할을 하여 유속을 늦추는 효과를 여전히 있는 것으로 판단된다.

따라서, 향후 퀴텀스틱이 스케일 방지효과를 내기 위한 한계유속을 밝혀내기 위한 다양한 배수공 각도에서의 실험이 추가적으로 수행되어야 할 필요성이 있다고 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 노후터널 배수공 막힘 현상개선을 위해 개발된 요소기술을 실제 터널구조를 모사한 실내시험 장치에 적용하여 효과를 평가하였고 검토결과는 아래와 같이 요약, 정리 할 수 있다.

- (1) 본 연구를 위해 선정된 요소기술은 양자역학의 Brown 운동 원리를 활용하는 퀴텀스틱과 탄산칼슘 입자의 형태를 변화시켜 스케일 형성을 억제하는 자화장치이다. 개발된 요소기술들의 실험적 효과 검증을 위하여 터널의 구조를 모사한 모형 시험장치를 제작하여 평가를 실시한 결과, 유속의 빠르기가 제한적인 조건 하에서는 자화장치의 효과가 나타나지 않음을 확인할 수 있었다.
- (2) 배수공 기울기를 2°로 한 경우 퀴텀스틱은 스케일 생성 방지에 효과가 있었으나 자화장치는 그 효과가 미미하였다. 기울기를 5°로 하였을 때 요소기술 2가지 모두 효과가 있었으나 자화장치보다 퀴텀스틱이 더 효과가 있는 것으로 나타났다.
- (3) 결과적으로, 자화장치의 경우 터널의 배수공에 적용 시 기울기, 유속의 제한조건으로 인하여 그 효과가 미비하며 경제성에서도 불리하다고 판단된다. 반면 퀴텀스틱의 경우 장애물의 역할을 하게 되는 한계유속 이상의 조건에서는 스케일의 방지효과를 볼 수 있다고 사료된다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

1. Chu, I.C., Nam, S.H., Baek, S.I., Jung, H.S., and Chun, B.S. (2011), Bond Characteristics of Scale According to the Drainage Pipe's Material in Tunnel, Korean Geo-Environmental Society, Vol.12, No.11, pp.51-57.
2. Chun, B. S. (2011), 1st year report of Development of Advanced Drainage Systems to Improve the Deteriorated Tunnels (ST100052). Hanyang University, pp.14-31.
3. Gabrielli, R. Jaouhari, G. Maurin, and M. Keddah (2001), Magnetic Water Treatment for Scale Prevention, Wat. Res., Vol.35, No.13, pp.3249-3259.
4. Kenneth, J. Klabunde, Ryan, M. R. (2001), Nanoscale Materials in Chemistry, Wiley Inter Science, pp.24-25.
5. Kim, H.W. (2002), Efficacy and bio-active effect of Merus ring. Medicine report of Yonsei University College. pp.2-5.
6. Korea Merus (2002), Application Report of Hot-Water Line in Pohang Iron & Steel Bongwandong, Korea Merus, pp.5-7.
7. Korea Merus (2003a), Application Report of Cooling Water Line of An-yang Factory, Korea Merus, pp.10-11.
8. Korea Merus (2003b), Application Report of Cooling Water Line of LG-Caltex Refinery pumps, Korea Merus, pp.40-42.
9. Lee, J. H., Nam, J. W., Do, J. N., Jung, K. S., and Chun, B. S. (2012), Evaluation for Treatment of Advanced Drainage Systems in the Deteriorated Tunnels, World Tunnel Congress 2012, Bangkok, Thailand, pp.693-694.
10. Nam, J.W., Lee, C.G., Lee, J.H., Do, J.N., and Chun, B.S. (2011), The Control Method of Scale in Drainage Pipe of Deteriorated Tunnel used Magnetic Field and Quantum Stick. Korean Geo-Environmental Society, Vol.12, No.11, pp.59-64.
11. 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, ASCE, Vol. 126, No.3, pp.236-246.
12. Shin, J.H., Nam, T.S., Chae, S.E., and Yoon, J.W. (2009), Hydraulic and structural interaction of a double-lined tunnel lining due to drainhole blockings, Korean Tunnel Society, Vol.11, No.3, pp.243-254.
13. Yoo, G. H. and Lee, G. M. (2006), Influence of Pore Pressure Behind a Subsea Tunnel on Its Stability. Tunnel Technology, Vol.8 No.4, pp.355-363.

(접수일자 2012. 3. 15, 수정일 2012. 6. 11, 심사완료일 2013. 6. 18)