

지하 콘크리트 구조물에 적용되는 합성고무계 및 시멘트계 주입형 보수재료의 화학 저항성능평가

김수연¹, 이정훈², 송제영³, 김병일⁴, 오상근^{5*}

Evaluation of Chemical Resistance Performance of Synthetic Rubber and Cement Based Injection Repair Materials Used in Underground Concrete Structures

Soo-Yeon Kim¹, Yeon-Sil Lee², Je-Young Song³, Byoungil Kim⁴, Sang-Keun Oh^{5*}

Abstract: In this study, by using the international standards ISO TS 16774, Part 2 Test method for chemical resistance as a quality control method of injection type repair material used for leakage crack of underground concrete structure, the performance requirement against of chemical environment of underground concrete structures for repair materials was tested. For this testing 3 types for each of the 2 classes of repair materials(synthetic rubber, cement), with a total of 9 types repair materials, were selected and examined. As a result, the test results showed that the smallest performance deterioration by the change in the mass was with the synthetic rubber(RG) type as opposed to the cement type system, showing that the synthetic rubber type had the strongest relative resistance to chemical exposure. Furthermore, it is necessary to investigate the material with high resistance to chemical substances and to examine the material which can increase resistance to sodium hydroxide and sodium chloride in cement system. These results can be used as a basic index for the selection of repair materials with the strongest resistance to chemical environment found in concrete structures. In addition, it is expected that the test results derived in this study can be used as reference data that can be reflected in the quality improvement of the maintenance material to be developed later.

Keywords: Underground Concrete Structure, Chemical Resistance, Injection Type Leakage Repair Material

1. 서 론

지하 콘크리트 구조물은 지하라는 지리적 조건으로 인하여 많은 화학적 환경에 노출되어져 있다. 그 중 지하 콘크리트 구조물에 직접적인 영향을 주는 자연 환경 중 지하수, 토양 등이 있다. 지하수와 토양은 외부로부터 전해져 지하로 유입되는 다양한 오염수가 포함되어 있기 때문에 콘크리트 구조물의 내구성을 저하 시키는 화학적 환경의 원인으로 작용된다.

외부로부터 유입되는 오염수로는 해수 침입 및 매립(물)지에 의한 지하수 오염, 지하탱크 누수 및 정화조, 광산 및 농업 활동, 지하수 개발 등이 있다. 이러한 오염 수는 지하 콘크리

트 구조물의 균열 부위에 보수를 위해 사용하는 보수재료에도 영향을 주어 반복적이고, 지속적인 재 누수 하자를 발생 시키고 있다.

지하 콘크리트 구조물의 재 누수는 사용자의 불편함은 물론 누수 균열을 보수하기 위하여 사용되는 막대한 공사비가 지출되고 있는 실정이다. 실 예로 1992년에 독립기념관 옥상 보수 비용으로 약 27억 원이 지출된 사례가 있고, 1999년부터 2002년 동안 인천국제공항 활주로 지하차도(토목) 보수비용으로 약 100억 원, 2000년부터 현재까지 서울시 지하철 누수 균열 보수공사(토목) 보수비용으로 매년 40~50억 원 상당의 보수비용이 지출되고 있다. 더 큰 문제는 누수보수 공사에 사용되는 비용이 해마다 반복된다는 사실이다. 이러한 반복적인 재 누수로 인한 보수 공사는 건설 기술자 사이에서도 쉽게 해결하기 어려운 고질적 문제로 인식되어 가고 있다는 현실적 문제이기도 하다. 또한, 누수는 경제적 문제뿐만 아니라 썩크홀, 지반침하 등과 같은 사회적 문제까지 야기 시키고 있다.

지금까지 살펴본 많은 문제점 속에 콘크리트 구조물이 위치하고 있으며, 이러한 문제점의 시발점 중 하나가 콘크리트

¹정회원, 서울과학기술대학교 건설기술연구소 연구교수, 공학박사

²정회원, (주)BK방수방식연구소 책임연구원, 박사과정

³정회원, (주)BK방수방식연구소 소장, 박사과정

⁴정회원, 서울과학기술대학교 건축학부, 교수, 공학박사

⁵정회원, 서울과학기술대학교 건축학부, 교수, 공학박사, 교신저자

*Corresponding author: Ohsang@seoultech.ac.kr

Seoul National University of Science and Technology, School of Architecture

•본 논문에 대한 토의를 2017년 10월 1일까지 학회로 보내주시면 2017년 11월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

구조물에서 발생하는 균열로부터 비롯된다. 균열을 보수하기 위해서 보수공사가 시행되고 있지만, 보수공사에 사용되는 보수재료의 경우 그 품질을 관리 할 수 있는 뚜렷한 기준 없이 재료 자체의 물성에만 의존하여 현장 적용되고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 반복적인 재 누수의 원인을 지하 콘크리트 구조물이 처한 화학적 누수 균열 환경을 반영하지 못한 채 사용되고 있는 보수재료의 품질로 보고, ISO TS 16774, Test methods for repair materials for water-leakage cracks in underground concrete structures, Part 2 Test method for chemical resistance의 국제표준 시험방법을 이용하여 현재 우리나라 보수공사 현장에서 사용되고 있는 합성고무계와 시멘트계 보수재료를 대상으로 성능 평가를 실시하였다.

이는 재료 자체 물성에만 의존하여 사용하고 있는 기존 보수재료의 화학 안정화의 실태 파악과 추후 신규로 개발되는 보수재료의 화학적 안정화 향상을 위한 기초 자료로 활용하기 위함이다.

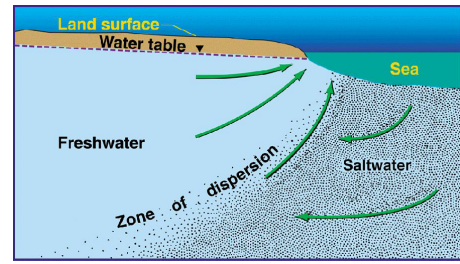


Fig. 1 Ingress of seawater

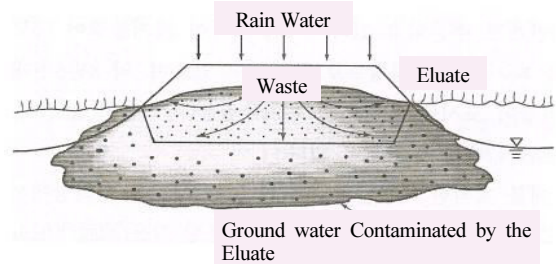


Fig. 2 Ground water contamination by backfill materials

2. 지하 콘크리트 구조물이 처한 화학적 환경

지하 콘크리트 구조물은 지상에 있는 콘크리트 구조물 보다 더 열악한 환경에 처해 진다. 이는 지상에서 발생된 열화 요인들이 지하로 전달 될 뿐만 아니라, 항상 습윤 환경을 가지는 지하의 환경적 특성 때문이라 볼 수 있다.

그 중 화학적 환경은 대부분 외부의 자연 환경(눈, 비, 우박 등)에 의해 지하수와 토양으로 흘러들어 오염된다. 지하수와 토양은 지하 콘크리트 구조물과 가장 근접해 있기 때문에 직접적인 열화 요인으로 작용된다. 지하수와 토양은 지표수에 비해 이동이 매우 느리기 때문에 일단 오염되면 지표수와 달리 빠른 시간 내에 희석되거나, 분해되지 않아 지하로 유입된 오염수의 경우 콘크리트 구조물에 미치는 영향이 매우 크다.

2.1 지하로 유입되는 대기 환경의 오염물질

지하 콘크리트 구조물이 처해 지는 화학적 자연 환경으로는 지상의 눈, 비, 우박, 태풍, 대기 습도 등과 함께 지하로 유입 되는 자동차의 각종 오염물질, 공기 중의 각종 공해, 산성비 등이 있다. 이러한 오염원들은 대기 환경의 문제 뿐만아니라, 지하수와 토양으로 유입되어 지하 환경을 오염시키는 주범 중 하나이다.

2.2 해수 및 침출수

해안 지역에 위치한 지하 콘크리트 구조물의 경우 지하 집수정에 의해 지하수가 과도하게 배수되면 인접한 바닷물이

내륙 쪽으로 침입하게 된다. 이때 지하수에 해수가 유입되면 해수에 포함된 염분농도로 인하여 지하수가 염수화되고, 이는 지하에 위치한 콘크리트 구조물에 영향을 주어 균열 부위로 유입되어 보수재료의 내구성을 저하 시키는 원인으로 작용될 수 있다.

또한, 쓰레기매립장, 가축 매몰지, 불법 오폐수 처리물질 투기장 등에 우수가 침입하면, 매립물이 부패하여 유독성 무기 또는 유기화합물, 유기물질 등이 포함된 침출수(Leachate)가 만들어지게 된다. 이렇게 만들어진 침출수는 지하수로 이동하여 지하 콘크리트 구조물의 균열 부위에 보수 시공된 보수재료에 영향을 주는 화학적 환경으로 작용된다.

2.3 지하 유류 탱크 및 정화조 유출

지상의 유류 저장 탱크가 부식되거나, 누출 사고 등이 발생할 경우 상대적으로 물보다 가벼운 유류(휘발류 등) 성분은 물 위로 뜨고, 물보다 비중이 무거운 화학 성분들은 아래로 가라앉아 지하수의 유동과 함께 이동하여 지하 콘크리트 구조물에 영향을 주어 보수 시공된 보수재료를 열화 시킬 수 있다.

또한, 오수 및 분뇨 등을 관리하는 정화조에서 관리 부실로 인한 부식 사고가 발생하면, 정화조 내부에 있던 이물질의 유출된다. 이렇게 유출된 이물질은 지하수로 유입되어, 주거 밀집지역, 투수성이 높은 지역, 지하수면이 지표에서 1m 이내로 얕은 지역 등에 지하수가 오염되어 근접한 콘크리트 구조물에 보수 시공된 보수재료에 영향을 주어 내구성을 저하 시킨다.

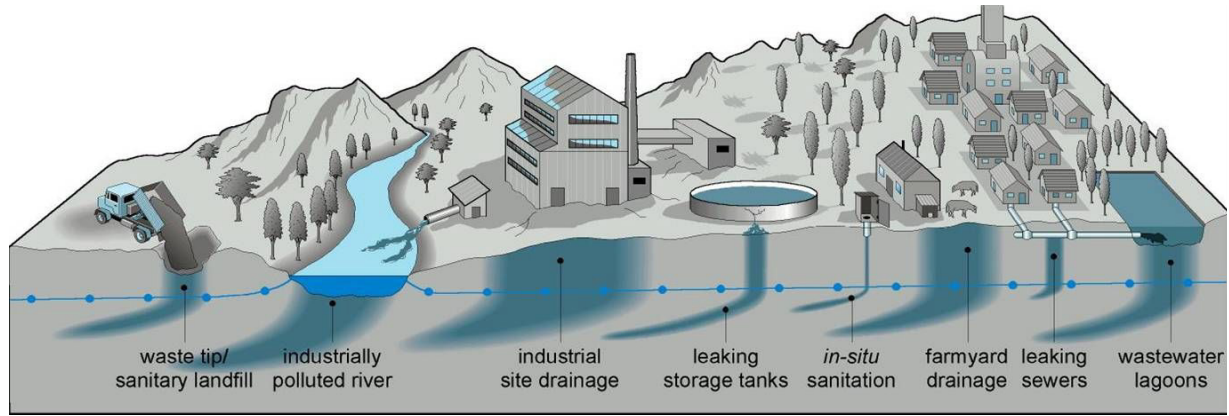


Fig. 3 Ground water contamination path from outside

3. 누수보수재료의 화학저항 성능 평가

3.1 개요

본 연구는 국제표준 ISO TS 16774, Part 2, Test method for chemical resistance 시험 규격을 이용하여 현재 우리나라 지하 콘크리트 구조물에 사용되는 합성고무계, 시멘트계 주입형 누수보수재료에 대한 화학 저항 성능을 평가하였다.

3.2 시험 재료

합성고무계, 시멘트계의 각 3종류 씩 총 6종류를 대상으로 하였으며, 각 재료의 구분은 합성고무계-RG, 시멘트계-CG로 표기하였다. 각각 사용된 3종류의 표기는 1,2,3으로 표기하였다(예 합성고무계 RG-1, RG-2, RG-3). 시험평가에 사용된 재료의 주요 성분 및 특성은 다음과 같다.

3.3 시험 장치 및 방법

화학저항성능 평가에 사용된 시험 장치와 방법은 다음과 같다.

3.3.1 시험장치

화학저항성능 평가를 위한 시험 장치는 다음 Fig. 4와 같이 시험체 정치 용기, 유리 샤알레(ø65 mm×10 mm 크기의 비 반 응형 용기), 전자저울(소수점 두 자리까지 측정 가능범위), 교 반 봉, 모종삽, 받침 등이 사용된다.

- a. 덮개(Cover Plate)
- b. 시험편 정치 용기(Container)
- c. 유리 샤알레(Glass Petri Dish)
- d. 기판(Plate) : 시험편의 높이를 유지하기 위해 사용되는 기판

Table 1 Synthetic rubberized gel grout

Division	Components	Properties
RG-1	Acrylamide, persulfate (mixed with one or two kinds of sodium, ammonium, and potassium), asphalt, and other additives	- Solids: 85-90% - High-viscosity + low-viscosity non-curable composite liquid gel - Diaphragm structure with a sawtooth structure (diaphragm support structure) - Volume expansion due to the contact with water
RG-2	Asphalt, inorganic filler for viscosity adjustment, processor oil, asphalt modifier, strength reinforcement agent, heat resistance reinforcement agent, adhesion reinforcement agent, anti-flow additives, used tires, aqueous modifier, etc.	- Solids: 95-99% - High-viscosity non-curable mastic asphalt - Polar covalent bond structure of hydrophilic and lipophilic groups
RG-3	Asphalt, bentonite, oil, rubber, water-soluble polymer resin, etc.	- Solids: 90-95% - Highly adhesive non-curable bentonite rubberized asphalt

3.3.2 시험편 및 시험 수용액 제작

시험편은 Photo 1과 같이 ø65 mm×10 mm 동일 크기의 유리 샤알레에 보수재료를 완전히 채운 것으로 1 Type 당 총 3개 씩 각각 제작하여 시험 평가 하였다.

보수재료의 화학저항력을 검증하기 위한 시험 수용액은 Table 2와 같이 ISO TS 16774 Part 2에서 규정하고 있는 총 5 종류(염산, 질산, 황산, 수산화나트륨, 염화나트륨)의 시험 수용액을 배합하여 평가 하였다.

Table 2 Cement-based Grout

Division	Components	Properties
CG-1	Cement, accelerator, fluidizing agent, water, other additives, etc.	- Solids: 97-100% - Specific gravity: 1.9-2.0 - Non-shrink grout non-base material
CG-2	Cement, sand, fluidizing agent, expansion agent, mixing water, etc.	- Solids: 95-100% - Specific gravity: 1.57 - Fluidizing agent expansion material
CG-3	Cement, fluidizing agent, curing regulator, water, other additives, etc.	- Solids: 97-100% - Specific gravity: 1.32 - Ultra-rapid water-stop materials

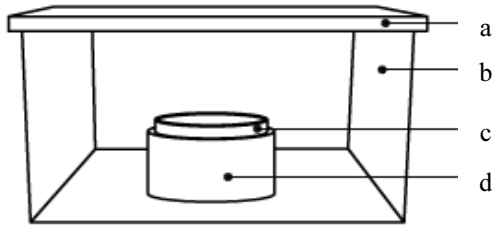


Fig. 4 Chemical resistance test system overview



Photo 1 Chemical resistance test specimens(schale)

Table 3 ISO TS 16774 Part 2 specimen solution concentration

Chemical substance	Solution concentration
HCL	2%
NHO ₃	2%
H ₂ SO ₄	2%
NaOH	0.1%
NaCl	10%

3.3.3 화학저항 시험방법

제작 완료된 시험편과 시험 수용액을 다음의 시험 방법에 따라 평가하고, 시험실 온도는 평균(20±3)°C, 습도(65±5)%를 유지하여 평가 한다. 단, 사용되는 보수재료에 별도 지정 온도가 시방서에 명기되어 있을 경우는 별도로 온도 및 습도 조건을 반영하여 시험평가 한다.

- 보수재료의 주입이 완료된 시험편의 질량(M_a)을 측정하고 소수점 이하 2자리 수까지 기록한다.
- 용기에 시험편의 높이를 유지할 수 있는 기판을 설치하고, 그 상부에 시험편을 놓고 용기에 시험 수용액을 채운다.
- 시험편을 온도(20±3)°C, 습도(65±5)%에서 168시간 동안 정치한다.
- 168시간 경과 후 시험편을 용기에서 꺼내어 증류수로 표면에 잔류하고 있는 화학수를 가볍게 씻어내고, 시험편을 3.3.3의 실험실 온도에서 일정 질량의 허용차까지 건조(동일 건조 시간 적용) 시킨 후 시험편의 질량(M_b)를 측정하여 기록한다.

3.3.4 시험 결과의 기록

시험 결과의 기록은 누수보수재료가 화학 물질(시험 수용액)에 노출되었을 때의 질량의 변화율(증감)을 기록하는 것으로 주입이 완료된 시험편의 초기에 측정된 질량(M_a)을 시험 후 측정된 질량(M_b)에서 뺀 것을 화학 저항의 정량적 측도로 보고, 변화된 질량(M_c)를 소수점 이하 2자리까지 식 (1)에 따라 계산하여 기록한다. 이때 시험편 제작 시 사용된 유리 샤알레(C)의 무게(질량)를 제외한 질량 변화율(%)은 다음 식 (2)에 의해 계산한다.

$$M_c = (M_b - C) - (M_a - C) \quad (1)$$

$$M_g = \frac{(M_b - C) - (M_a - C)}{(M_a - C)} \times 100 \quad (2)$$

여기에서

M_a : 시험 전 시험편 질량(g) / M_b : 시험 후 시험편 질량(g)

M_c : 질량 변화량(g) / M_g : 질량 변화율(%)

C : 유리 샤알레 질량(g)

3. 성능평가 결과

합성고무계, 시멘트계 주입형 누수보수재료의 화학 저항 성능 시험 평가 결과, 2계열 중 RG-3-② 1개 시험편을 제외하고 전체 44개 시험편 모두에서 질량이 증가한 것으로 확인되었다. 각 시험 수용액별 성능평가 결과는 다음과 같다.

3.1 합성고무계(RG)

합성고무계(RG) 보수재료는 5가지 시험 수용액을 적용한 모든 시험편에서 질량이 증가하였다. 각 시험 수용액 별 질량 변화율을 고찰하면 다음과 같다.

Table 4 Chemical resistance test result of synthetic rubberized gel grout(HCL)

Division	RG-1			RG-2			RG-3		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③
M_a	41.02	36.79	34.98	52.54	55.56	45.89	18.59	18.99	24.15
M_b	41.15	36.89	35.09	52.72	55.78	46.60	18.60	19.01	24.16
M_c	0.13	0.10	0.11	0.18	0.22	0.71	0.01	0.02	0.01
M_g	0.32	0.27	0.31	0.34	0.40	1.55	0.05	0.11	0.04

Note : Unit $M_b, M_a, M_c = g / M_g = \%$

Table 5 Chemical resistance test result of synthetic rubberized gel grout(NHO₃)

Division	RG-1			RG-2			RG-3		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③
M_a	38.62	39.20	43.22	47.09	56.24	52.10	21.43	25.36	23.11
M_b	38.63	39.23	43.38	48.93	57.69	53.44	21.46	25.41	23.15
M_c	0.01	0.03	0.16	1.84	1.45	1.34	0.03	0.05	0.04
M_g	0.03	0.08	0.37	3.91	2.58	2.57	0.14	0.20	0.17

Note : Unit $M_b, M_a, M_c = g / M_g = \%$

Table 6 Chemical resistance test result of synthetic rubberized gel grout(H₂SO₄)

Division	RG-1			RG-2			RG-3		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③
M_a	26.84	30.93	25.87	37.75	36.22	36.49	25.22	31.61	18.61
M_b	26.88	30.97	25.93	44.83	42.71	42.74	25.23	31.60	18.62
M_c	0.04	0.04	0.06	7.08	6.49	6.25	0.01	-0.01	0.01
M_g	0.15	0.13	0.23	18.75	17.92	17.13	0.04	-0.03	0.05

Note : Unit $M_b, M_a, M_c = g / M_g = \%$

염산(HCl) 수용액은 RG-3-③ 시험편이 최저 질량 변화율 약 0.04%로 나타났고, 최고 질량 변화율은 RG-2-③ 시험편이 약 1.55%로 나타났다. 따라서 염산의 질량 변화율 구간은 약 0.04%~1.55%로 확인되었다.

질산(NHO₃) 수용액은 RG-1-① 시험편이 최저 질량 변화율 약 0.03%으로 확인되었고, 최고 질량 변화율은 RG-2-① 시험편이 약 3.91%로 나타났다. 따라서 질산의 질량 변화율 구간은 약 0.03%~3.91%로 확인되었다.

황산(H₂SO₄)은 RG-3-② 시험편이 최저 질량 변화율 약 0.03%로 나타났고, 최고 변화율은 RG-1-③ 시험편이 약 18.75%로 확인되었다. 따라서 황산의 질량 변화율 구간은 약 0.03%~18.75%로 확인되었다. 이는 합성고무계 보수재료 중 가장 큰 질량 변화율을 기록하였다.

Table 7 Chemical resistance test result of synthetic rubberized gel grout(NaOH)

Division	RG-1			RG-2			RG-3		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③
M_a	37.98	35.85	46.81	54.54	58.93	61.18	18.66	17.43	18.39
M_b	38.03	35.92	46.82	54.56	58.96	61.22	18.73	17.51	18.50
M_c	0.05	0.07	0.01	0.02	0.03	0.04	0.07	0.08	0.11
M_g	0.13	0.20	0.02	0.04	0.05	0.07	0.38	0.46	0.60

Note : Unit $M_b, M_a, M_c = g / M_g = \%$

Table 8 Chemical resistance test result of synthetic rubberized gel grout(NaCl)

Division	RG-1			RG-2			RG-3		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③
M_a	42.32	37.29	36.67	50.24	43.97	42.59	20.55	16.12	19.64
M_b	42.34	37.35	36.68	50.25	44.00	42.62	20.58	16.17	19.71
M_c	0.02	0.06	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03	0.05	0.07
M_g	0.05	0.16	0.03	0.02	0.07	0.07	0.15	0.31	0.36

Note : Unit $M_b, M_a, M_c = g / M_g = \%$

Table 9 Mass Change Rate Ratio of Synthetic Rubberized Gel Grout

Division	Mass Change Rate Ratio
HCL	0.04% ~ 1.55%
NHO ₃	0.03% ~ 3.91%
H ₂ SO ₄	0.03% ~ 18.75%
NaOH	0.02% ~ 0.60%
NaCl	0.02% ~ 0.36%

수산화나트륨(NaOH)에서 질량의 최저 변화율 RG-1-③ 시험편이 약 0.02%이며, 질량의 최고 변화율은 RG-3-③ 시험편이 약 0.60%로 나타났다. 따라서 수산화나트륨의 질량 변화율 구간은 약 0.02%~0.60%로 확인되었다.

염화나트륨(NaCl)에서 질량의 최저 변화율은 RG-2-② 시험편이 약 0.02%이며, 최고 질량 변화율은 RG-3-③ 시험편이 약 0.36%로 나타났다. 따라서 염화나트륨의 질량 변화율 구간은 약 0.02%~0.36%으로 나타났다. 이는 합성고무계 보수재료 중 질량 변화율 가장 작은 구간으로 확인되었다.

합성고무계 보수재료의 화학 저항성능 시험 결과를 시험 수용액별 질량 변화율 구간과 계열별로 종합하면, 다음과 같다.

시험 수용액별로 보면, 질량 변화율 구간이 가장 적은 것은 염화나트륨(NaCl)으로 약 0.02%~0.36%로 확인되었고, 가장 큰 것은 황산(H₂SO₄)으로 약 0.03%~18.75%로 확인되었다. 본 시험 결과를 토대로 고찰하면, 합성고무계 보수재료에

Table 10 Chemical Resistance Test Result of Synthetic Rubberized Gel Grout(Average)

Division	RG-1	RG-2	RG-3
HCL	0.30	0.76	0.07
NHO ₃	0.16	3.02	0.17
H ₂ SO ₄	0.17	17.93	0.02
NaOH	0.12	0.05	0.48
NaCl	0.08	0.05	0.27

Note : Unit Average = %

Table 11 Chemical Resistance Test Result of Cement Based Repair Grout(HCL)

Division	CG-1			CG-2			CG-3		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③
M _a	43.09	49.27	43.51	40.54	37.49	35.59	36.79	24.55	38.15
M _b	44.47	50.74	45.13	43.98	41.14	39.19	38.34	25.95	40.24
M _c	1.38	1.47	1.62	3.44	3.65	3.60	1.55	1.40	2.09
M _g	3.20	2.98	3.72	8.49	9.74	10.12	4.21	5.70	5.48

Note : Unit M_b, M_a, M_c=g / M_g=%

Table 12 Chemical Resistance Test Result of Cement Based Repair Grout(NHO₃)

Division	CG-1			CG-2			CG-3		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③
M _a	48.79	54.14	50.88	29.02	36.04	32.68	40.82	53.28	45.50
M _b	50.00	55.42	52.22	31.36	38.43	35.43	42.7	55.78	47.49
M _c	1.21	1.28	1.34	2.34	2.39	2.75	1.88	2.50	1.99
M _g	2.48	2.36	2.63	8.06	6.63	8.41	4.61	4.69	4.37

Note : 단위 표기 M_b, M_a, M_c=g / M_g=%

있어서 황산에 대한 저항성을 높일 수 있는 검토가 필요할 것으로 판단된다.

계열별 평균 질량 변화율을 보면, RG-3 계열의 황산에서 최저 질량 변화율 0.02%가 나타났고, 동일한 황산 계열의 RG-2에서 17.93%로 최고 질량 변화율이 확인되었다.

이러한 시험 결과는 동일 계열에서도 구성된 재료의 특성에 따라 최저, 최고 질량 변화율이 나타날 수 있음을 의미하는 것으로 좀 더 명확한 결과 도출을 위해 재료 공학 측면의 추가 연구가 필요 할 것으로 판단된다.

또한, 동일 계열의 동일 시험 수용액에서 최고 및 최저 질량 변화율이 확인 되었다는 것은 동일 계열의 보수재료라 하더라도 품질 검증 없이는 화학 안정화를 판단 할 수 없음을 의미한다 할 수 있다.

Table 13 Chemical Resistance Test Result of Cement Based Repair Grout(H₂SO₄)

Division	CG-1			CG-2			CG-3		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③
M _a	48.83	50.05	48.85	30.17	31.52	32.36	27.92	48.58	39.44
M _b	51.51	52.72	51.46	33.36	34.86	36.19	30.17	51.34	42.21
M _c	2.68	2.67	2.61	3.19	3.34	3.83	2.25	2.76	2.77
M _g	5.49	5.33	5.34	10.57	10.60	11.84	8.06	5.68	7.02

Note : v M_b, M_a, M_c=g / M_g=%

Table 14 Chemical Resistance Test Result of Cement Based Repair Grout(NaOH)

Division	CG-1			CG-2			CG-3		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③
M _a	37.20	41.60	47.11	32.47	32.84	32.50	33.43	35.21	40.21
M _b	38.93	43.47	49.51	36.24	36.96	36.53	36.32	38.15	43.49
M _c	1.73	1.87	2.40	3.77	4.12	4.03	2.89	2.94	3.28
M _g	4.65	4.50	5.09	11.61	12.55	12.40	8.64	8.35	8.16

Note : v M_b, M_a, M_c=g / M_g=%

3.2 시멘트계(CG)

시멘트계(CG) 보수재료는 5가지 시험 수용액에서 합성고무계(RG)와 동일하게 질량이 증가하였다. 다만, 증가된 질량 변화율이 시멘트계(CG)가 합성고무계(RG) 보다 큰 폭으로 증가된 것으로 나타났다. 이에 대한 시험 결과는 다음과 같다.

염산(HCl)은 CG-1-② 시험편에서 최저 약 2.98%, CG-2-③ 시험편에서 최고 약 10.12%로 확인되었다. 염산에 대한 질량 변화율 구간은 약 2.98%~10.12%로 나타났다.

질산(NHO₃)은 CG-1-② 시험편에서 최저 약 2.36%가 나타났고, CG-2-③ 시험편에서 최고 8.41%로 확인되었다. 질산의 질량 변화율 구간은 약 2.36%~8.41%로 확인되었다. 이는 시멘트계 보수재료 중 질량 변화율이 가장 적은 것으로 나타났다.

황산(H₂SO₄)은 CG-1-② 시험편에서 최저 약 5.33%, CG-2-③ 시험편에서 최고 약 11.84%로 확인되었다. 황산의 질량 변화율 구간은 약 5.33%~11.84%로 확인되었다.

수산화나트륨(NaOH)은 CG-1-② 시험편에서 최저 약 4.50%, CG-2-② 시험편에서 최고 약 12.55%로 확인되었다. 수산화나트륨의 질량 변화율 구간은 약 4.50%~12.55%로 확인되었다.

염화나트륨(NaCl)은 CG-1-③ 시험편에서 최저 약 5.93%, CG-3-② 시험편에서 최고 약 30.47%로 확인되었다. 수산화나트륨의 질량 변화율 구간은 약 5.93%~30.47%로 확인되었다. 시멘트계 보수재료 중 질량 변화율이 가장 크게 나타났다.

시멘트계 보수재료의 화학 저항성능 시험 결과를 시험 수

Table 15 Chemical Resistance Test Result of Cement Based Repair Grout(NaCl)

Division	CG-1			CG-2			CG-3		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③
M_a	54.80	53.38	40.33	34.68	33.02	34.24	36.39	24.55	38.15
M_b	58.43	56.87	42.72	39.19	37.51	37.95	45.79	32.03	39.78
M_c	3.63	3.49	2.39	4.51	4.49	3.71	9.40	7.48	1.63
M_g	6.62	6.54	5.93	13.00	13.60	10.84	25.83	30.47	4.27

Note : $v M_b, M_a, M_c = g / M_g = \%$

Table 16 Mass Change Rate Ratio of Cement Based Repair Grout

Division	Mass Change Rate Ratio
HCL	2.98% ~ 10.12%
NHO ₃	2.36% ~ 8.41%
H ₂ SO ₄	5.33% ~ 11.84%
NaOH	4.50% ~ 12.55%
NaCl	5.93% ~ 30.47%

Table 17 Chemical Resistance Test Result of Cement Based Repair Grout(Average)

Division	CG-1	CG-2	CG-3
HCL	-3.30	-9.45	-5.13
NHO ₃	-2.49	-7.70	-4.56
H ₂ SO ₄	-5.39	-11.00	-6.92
NaOH	-4.75	-12.19	-8.38
NaCl	-6.36	-12.48	-20.19

Note : Unit Average = %

용액별 질량 변화율 구간과 계열별로 종합하면 다음과 같다.

시험 수용액별로 보면, 질량 변화율 구간이 가장 작은 것은 질산(NHO₃)에서 약 2.36%~8.41%로 확인되었고, 가장 큰 것은 염화나트륨(NaCl)에서 5.93%~30.47%로 나타났다.

본 시험 결과를 토대로 시멘트계 보수재료에 있어서 염화나트륨에 대한 저항성을 높일 수 있는 검토가 필요할 것으로 판단된다.

계열별 평균 질량 변화율을 보면, CG-1 계열의 질산에서 최저 질량 변화율 2.49%가 나타났고, 최고 질량 변화율은 CG-3의 염화나트륨에서 20.19%로 확인되었다.

이러한 시험 결과는 시험 수용액과 동일한 결과로 시멘트계 보수재료에 있어서 염화나트륨에 대한 저항성을 높일 수 있는 검토가 필요할 것으로 판단된다.

이는 시멘트 보수재료에 있어서는 합성고무계 보수재료에 비해 배합되는 주요 재료의 성분과 양이 한정된 특성 때문으로 판단된다.

4. 결 과

합성고무계와 시멘트계 보수재료의 화학저항성능 평가 결과를 종합 고찰하면 다음과 같다.

본 시험에서 2계열, 3종류의 총 45개 시험편을 평가한 결과, RG-3-②의 1개 시험편을 제외하고 전체 44개 시험편 모두에서 질량이 증가하였고, 1개의 시험편에서만 질량이 감소하였다. 그러나, 본 시험에서는 질량의 증감 자체가 보수재료의 화학 안정성을 판별하는 기준이 아니다. 그 이유는 지하 콘크리트 구조물에 사용된 보수재료의 경우 단순히 질량이 증가하거나, 감소된 것으로 안정화를 판단하는 것이 아니라 보수재료의 물성을 잘 보존하고 있는지의 여부에 따라 화학 안정화를 판단하기 때문이다. 즉, 증감 모두를 같은 기준 선상에서 안정화 판단 측도로 보아야 한다.

이러한 측면에서 시험 결과를 종합하면, 각 계열별 재료의 시험 수용액에 대한 저항 특성 측면에서 고찰하면, 합성고무계 보수재료 RG-1은 염화나트륨에서 가장 적은 증감이 나타났고, 염산에서 가장 큰 질량 변화율이 나타났다. 즉, RG-1 보수재료는 염산에 대한 저항을 높일 수 있는 재료적 보완이 필요 할 것으로 판단된다. RG-2 재료는 3개 계열 중 가장 큰 질량 변화율이 나타났고, 그 중 염화나트륨, 수산화나트륨을 제외한 염산, 질산, 황산 성분에 가장 큰 질량 변화율이 나타났다. 즉, RG-2 보수재료는 산(염산, 질산, 황산)에 대한 대응이 고려되어야 한다. RG-3는 3계열 중 가장 적은 변화율을 보여 주고 있으나, 다른 계열과 반대로 수산화나트륨, 염화나트륨에서 질량 변화율이 크게 나타났다.

시멘트계 보수재료는 CG-1은 3개의 계열 중 가장 적은 질량 변화율이 나타났으며, 황산, 수산화나트륨, 염화나트륨에서 질량 변화율이 가장 크게 나타났다. CG-2는 3개 계열 중 가장 큰 폭의 질량 변화율이 나타났고, CG-1과 동일하게 황산, 수산화나트륨, 염화나트륨에서 가장 큰 질량 변화율이 측정되었다. CG-3는 염화나트륨에서 가장 큰 질량 변화율이 나타났다.

이를 종합하면 합성고무계는 RG-3를 제외하고, 산에 대한 저항을 높일 수 있는 재료적 검토가 필요하고, 시멘트계는 수산화나트륨, 염화나트륨에 대한 저항을 높일 수 있는 재료적 검토를 통한 개선 방안이 요구된다.

단, 이러한 결과는 화학저항성 시험방법을 이용한 건축 공학적 측면의 성능평가에 의한 것으로 좀 더 명확한 연구를 위해 계열별 구성 재료의 화학 공학 연구가 추가적으로 병행되어야 할 것으로 판단된다. 또한, 각 계열별 화학적 반응 포인트가 시험 수용액에 의한 것인지, 단순 수용액에 반응한 것인지에 대한 추가 검토가 필요 할 것으로 판단된다.

아울러 본 연구에서 검토하고 있는 합성고무계, 시멘트계

보수재료 외에 아크릴계, 에폭시계, 우레탄계 등 다양한 보수재료의 건축 공학 측면의 화학 저항 성능 평가 및 재료 공학 측면의 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 주거환경연구사업의 연구비지원 (17RERP-B082204-04)에 의해 수행되었습니다.

References

Water-Leakage Maintenance Technology and Case of Architecture as Structure, Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation, Ohsang. S-K, Lee. J-Y, Part, G-B, Ohsang. J-S.
 Underground Water Quality Management Division Trend, Department of Environment, (2012).

Improvement plan for the installation of facilities to prevent groundwater pollution, National Institute of Andong University Jeong Gyu Chul, 2012 1st Half Water Technology Conference, (2012).
<https://www.water.or.kr> My Water, K-Water
 Ministry of Environment (2012.02), 2012 Groundwater quality management policy direction, 3-8.
 ISO TR 16475 (2011), Guidelines for the repair of water-leakage cracks in concrete structures, International Organization for Standardization, 2nd Ed., Switzerland.
 Kim, S. Y., Oh, S. K., and Kim, B. I. (2016). Artificial - Crack - Behavior Test Evaluation of the Water-Leakage Repair Materials Used for the Repair of Water-Leakage Cracks in Concrete Structure, MDPI AG Appl. Sci. 2016, 6, 253; doi:10.3390/app6090253, Switzerland.
 KS F 4935 (2008), Sealer of injection type for water leakage maintenance of adhesive flexible rubber asphalt series, Korean agency for technology and standards [In Korea].
 ISO TS 16774, Part 2, Test method for chemical resistance.
 ACI Committee. *Field Guide to Concrete Repair Application Procedures, Structural Crack Repair by Epoxy Injection*; ACI Committee E706, ACI RAP Bulletin 1:Michigan, USA Cigy of Publication , Contry, 02.2010.

Received : 07/25/2017

Revised : 08/14/2017

Accepted : 08/23/2017

요 지 : 본 연구에서는 지하 콘크리트 구조물의 누수 균열에 사용되는 주입형 누수보수재료의 품질관리 방안으로 규격화된 국제표준 ISO TS 16774, Part 2 Test method for chemical resistance를 이용하여 현재 우리나라 누수보수현장에서 사용하고 있는 주입형 누수보수재료 2계열 (합성고무계, 시멘트계), 3종류 씩, 총 9 종류의 보수재료에 대한 지하 콘크리트 구조물이 처한 화학적 환경의 저항 안정성을 연구·검토하였다. 그 결과, 합성고무계는 RG-3를 제외하고, 산에 대한 저항력을 높일 수 있는 재료적 검토가 필요하고, 시멘트계는 수산화나트륨, 염화나트륨에 대한 저항을 높일 수 있는 재료적 검토의 필요성이 확인되었다. 이러한 결과는 콘크리트 구조물의 화학적 환경에서의 보수재료 선정 시 기본 지표로 사용가능 할 것으로 판단된다. 또한, 추후에 연구 개발 되는 보수재료의 품질 향상에 반영할 수 있는 기준 자료의 활용을 기대할 수 있다.

핵심용어 : 지하 콘크리트 구조물, 화학 저항성, 주입형 누수보수재료, 합성고무계, 시멘트계