

# 오염된 지하수 환경 하의 콘크리트 구조물 균열부위에 사용되는 주입형 누수보수재료의 화학저항성능 시험평가 연구

## A Study on the Chemical Resistance Performance of Injection Type Leakage Repair Materials used in Crack Parts of Concrete Structures under the Contaminated Groundwater Environment

김수연<sup>1</sup>

유재용<sup>2</sup>

김병일<sup>3</sup>

오상근<sup>3\*</sup>

Kim, Soo-Yeon<sup>1</sup>

Yoo, Jae-Yong<sup>2</sup>

Kim, Byung-II<sup>\*</sup>

Oh, Sang-Keun<sup>3\*</sup>

Research Professor, Research Center, Seoul National University of Science & Technology, Nowon-Gu, Seoul, 232, Korea <sup>1</sup>  
Doctoral Programs, Dept. of Architectural, Seoul National University of Science & Technology, Nowon-Gu, Seoul, 232, Korea <sup>2</sup>  
Professor, School of Architectural, Seoul National University of Science & Technology, Nowon-Gu, Seoul, 232, Korea <sup>3</sup>

### Abstract

Underground concrete structures are constructed under a geographical environment called underground and exposed to various environments that promote deterioration. Among them, groundwater promotes deterioration of underground concrete structures due to contaminated water from the ground. In this study, the chemical resistance performance test evaluation of five different receptors for a total of 15-type leakage repair materials of five series was conducted to determine the chemical stability of the leakage repair material used in the crack area. The results show a general increase and decrease in most chemical receptors, but the biggest increase and decrease was shown in acrylic systems, which were found in sodium chloride and sodium hydroxide, and epoxy was found in hydrochloric acid. The cement system is showing a lot of increase and decrease in sodium chloride. It is expected that the results of these studies will be used as a basis for chemical stabilization in the development of new materials.

Keywords : contamination of under groundwater, underground concrete structure, water leakage repair materials, chemical resistance test, injection type leakage repair material

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

지하 콘크리트 구조물의 열화를 촉진시키는 자연 환경 중 항상 습윤 상태를 지속시키는 근원적 원인으로 지하수를 들 수 있다. 지하수는 대부분 지상의 눈, 비 등의 우수에서 비롯되며, 이러한 우수가 지층의 빈틈으로 스며들어 땅속

으로 흘러들어가면서 지하수가 생성된다.

지상의 우수가 지하로 흘러들어가 생성된 지하수에는 지하라는 지리적 환경 하에 건축되는 콘크리트 구조물의 열화를 촉진하는 다양한 오염 물질을 포함하고 있으며, 대표적

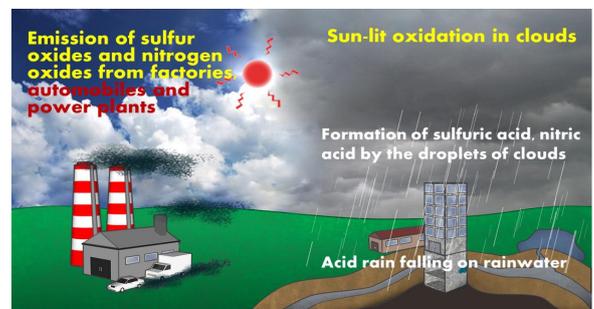


Figure 1. Groundwater contamination path of rainwater

Received : July 11, 2019

Revision received : September 9, 2019

Accepted : October 8, 2019

\* Corresponding author : Oh, Sang-Keun

[Tel: 82-2-970-6559, E-mail: ohsang@seoultech.ac.kr]

©2019 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

오염 물질 발생의 근원은 공장, 자동차, 발전소 등에서 공기 중으로 배출되는 황산화물과 질소산화물 등을 들 수 있다 [1].

이러한 화학 물질은 구름 속에서 태양빛에 의해 산화되면서 구름의 물방울에 의해 황산, 질산, 염산 성분으로 pH5.6미만의 산성 성분의 우수로 내려와 지하로 유입되면서 지하수로 생성된다[1].(Figure 1)

### 1.2 지하수 수질에 포함된 열화 요소

지하수는 위에서 열거한 지상으로부터 유입되는 오염물질 외에서 지하수 수질에 포함된 다양한 열화 요소가 존재하며 그 원인 및 경로는 Figure 2와 같다.

지하수의 수질은 대수층의 종류, 물이 통과하는 암석의 종류, 물 통로의 온도, 지층 중에 포획되어 있는 물의 수량과 강수에 의해 공급되는 물의 수량 간의 비에 의하여 결정된다[1].

특히, 대수층은 다량의 지하수를 저장하고 있는 일반적인 공간으로 대수층 상부에 모래, 자갈 등과 같이 물을 잘 통과시키는 투수층이 위치하고, 그 하부에 암반층 혹은 점토층과 같이 물이 잘 통과되지 않는 지층인 불투수층이 기층형태로 받쳐져 있다[1].

이러한 대수층의 위치는 지표면과의 거리에 따라 지하수 수질이 차이가 있으며, 지표면에 가까울수록 우수로부터 전달되는 다양한 화학 물질에 노출되어 황산화물, 질소산화물 등을 다량 포함하게 된다. 반대로 지하 저심도에 가까운 지하 심층수의 경우 바다로부터 유입되는 염분 성분을 다량 내포하고 있는 경향이 있다[1].

또한, 지하수의 오염은 인위적으로 발생하는 경우가 대부분이며, 그 예로 아파트나 지하철 공사장, 대규모 건축물 부지의 지반 지질조사를 위한 시험시추 및 관측 공 등을 통한 방치된 폐공(하수구 역할), 공장 폐유와 축산 오·폐수, 쓰레기 침출수, 용제의 회수 및 폐수 정황에 사용된 활성탄과 여과필터, 증류잔사 및 폐용제 등의 산업폐기물, 오염물질이 들어있는 탱크나 배관 등에 금이 가거나 깨져서 오염물질 누출, 매립지의 침출수 등이 있다.

뿐만 아니라 산성비의 원인이 되고 있는 공장의 매연, 자동차 배기가스에서 나오는 유기염소화합물(다이옥신, PCB, 프레온가스 등) 등 모든 오염원이 빗물과 함께 우수로 지상에 내려 지하수로 흘러들어가 지하수를 오염시키는 원인으로 작용하고 있다.

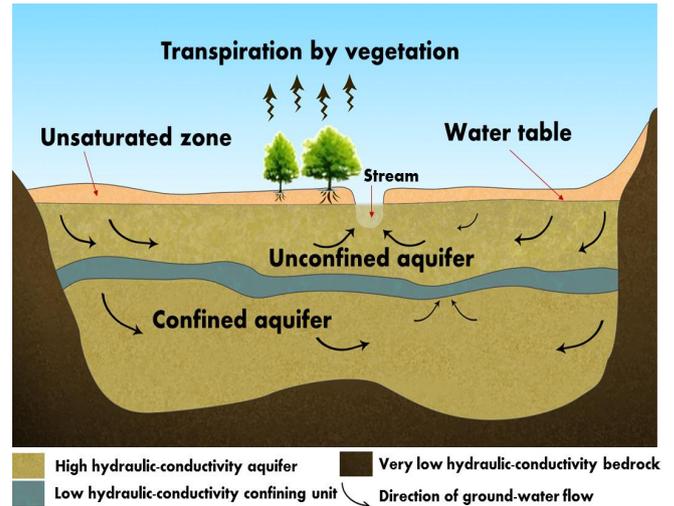


Figure 2. Principle of formation of underground aquifer

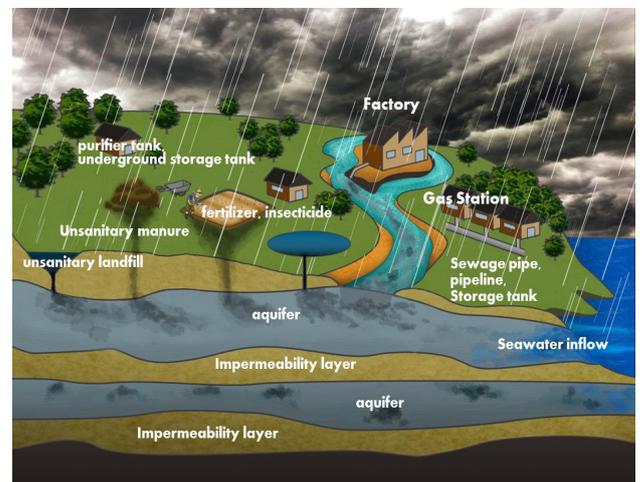


Figure 3. Groundwater water pollution path from ground

이러한 원인과 경로로 오염된 지하수는 인체에 해를 끼칠 뿐만 아니라 지하 콘크리트 구조물의 내구성에 치명적인 열화 요인으로 작용되고 있다.(Figure 3)

특히, 콘크리트 구조물과 필연적 관계에 있는 구조체에 균열이 발생하였을 경우 오염된 지하수가 균열 부위로 흘러들어 오게 되면 철근 부식, 콘크리트 중성화 등에 따른 열화로 구조적 문제까지 유발될 우려가 매우 높다.

이에 본 연구에서는 지하 콘크리트 구조물의 균열부위에 사용되는 누수보수재료를 대상으로 화학 변화에 따른 안전성능 평가를 통하여 우리나라의 누수보수 시공현장 실태를 파악하고, 화학적 안정화 향상을 위한 기초 자료 활용 및 추후 신 누수보수재료의 개발에 있어 근간을 마련하고자 한다.

## 2. 선행연구

본 연구는 국제표준규격 ISO TS 16774(Test Methods for Repair Materials for Water-leakage Cracks in Underground Concrete Structures) Part 2 The Method for Chemical Resistance의 시험 규격에 의거하여 성능 평가를 실시하였다.

이에 대한 선행 연구로는 본 연구자가 진행한 합성고무계, 시멘트계, 에폭시계의 3개 계열에 대한 화학저항성 시험 결과[2]와 본 연구에서 추가로 진행한 우레탄계, 아크릴계의 2개 계열을 종합하여 현재 우리나라 누수보수재료 시공 현장에서 일반적으로 사용하고 있는 5계열을 종합하여 시험 평가 및 분석으로 진행하였다.

## 3. 누수보수재료의 화학저항성능 평가

본 연구는 국제표준 ISO TS 16774 Part 2 The Method for Chemical Resistance 시험 규격[4]을 이용하여 선행 연구에서 진행한 합성고무계, 시멘트계, 에폭시계와 추가로 진행한 아크릴계, 우레탄계 누수보수재료에 대한 화학저항성능을 시험 평가 및 분석하였다.

### 3.1 시험 재료

시험 재료는 5가지 계열을 각각 3종류씩 총 15종류를 대상으로 하였으며, 그 종류는 선행연구에서 진행한 합성고무계, 시멘트계, 에폭시계와 본 연구에서 추가 진행한 아크릴계, 우레탄계 순으로 하였고, 각 재료의 구분은 합성고무계-RG, 시멘트계-CG, 에폭시계-EG, 아크릴계-AG, 우레탄계-UG로 표기하였다. 각 시험 재료별 주요 성분[3]은 다음 Table 1과 같다.

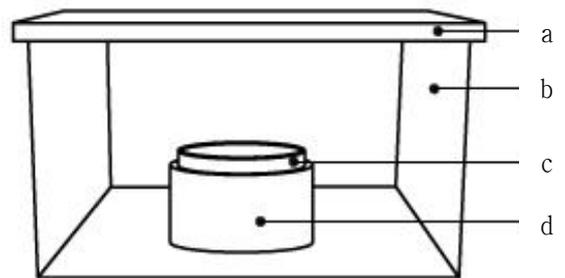
### 3.2 시험 장치

지하수에 포함되어 있는 화학 물질에 대한 저항성을 판단하기 위한 시험장치, 시험체 제작, 시험방법, 시험평가 및 결과는 다음과 같다[2].

시험 장치는 다음 Figure 4와 같이 시험체 정치 용기, 유리 샤알레(ø 65mm×10mm 크기의 비 반응형 용기), 전자저울(소수점 두 자리까지 측정 가능범위), 교반 봉, 모종삽, 받침 등이 사용된다.

Table 1. Leakage repair materials by type

Division		Components
Leakage repair Materials	Type	
Synthetic rubberized gel grout (RG)	RG-1	Acrylamide, persulfate (mixed with one or two kinds of sodium, ammonium, and potassium), asphalt, and other additives
	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.
	RG-3	Asphalt, bentonite, oil, rubber, water-soluble polymer resin, etc.
Cement-based repair materials (CG)	CG-1	Cement, accelerator, fluidizing agent, water, other additives, etc.
	CG-2	Cement, sand, fluidizing agent, expansion agent, mixing water, etc.
	CG-3	Cement, fluidizing agent, curing regulator, water, other additives, etc.
Epoxy-based repair materials (EG)	EG-1	Epoxy resin+amine (dry type) Main: Hardener = 2:1
	EG-2	Epoxy resin+polyamidamine (wet type) Main: Hardener = 2:1
	EG-3	Elastic epoxy sealant Main: Hardener = 1:1
Acrylic-based repair materials (AG)	AG-1	Acrylate (metal hydroxide aqueous solution + acrylic acid + methacrylic acid), persulfate, amine (redox polymerization catalyst, acrylic acid meal salts, cross-linking agent, etc.
	AG-2	Acrylic acid metal salt, acrylamide, triethanolamine, glycerin, potassium ferricyanide, sodium persulfate, etc.
	AG-3	Main (sodium polyacrylate, acrylamide-sodium acrylate, water), hardener (sulfate compounds, water), accelerant (triethanolamine, water)
Urethane-based repair materials (UG)	UG-1	Filled reactive PUR polymers Xylene: 4%
	UG-2	Hydrophobic rigid non-shrink urethane
	UG-3	Polyurethane resin Acetone (CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub> ) Other additives



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

Figure 4. Chemical resistance test system overview

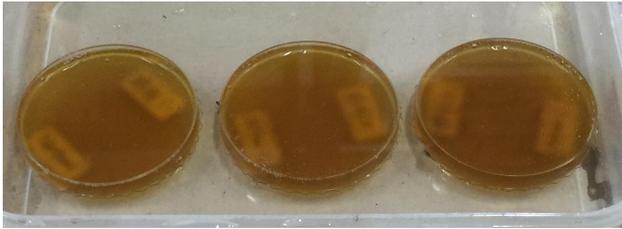


Figure 5. Chemical resistance test specimens (schale)

### 3.3 시험편 및 시험 수용액 제작

#### 3.3.1 시험편 제작

시험편은 Figure 5와 같이  $\varnothing 65\text{mm} \times 10\text{mm}$  동일 크기의 유리 샤알레에 보수재료를 완전히 채운 것으로 1Type 당 총 3개씩 각각 제작하여 시험 평가 한다.

#### 3.3.2 시험 수용액 제작

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

Table 2. ISO TS 16774 Part 2 specimen solution concentration

Chemical Substance	Solution Concentration
HCL	2%
NHO <sub>3</sub>	2%
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2%
NaOH	0.1%
NaCl	10%

### 3.4 시험편 방법 및 결과 기록

#### 3.4.1 시험 방법

제작 완료된 시험편과 시험 수용액을 다음의 시험 방법에 따라 평가하고, 시험실 온도는 평균  $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ , 습도  $(65 \pm 5)\%$ 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 설치

하고, 그 상부에 시험편을 놓고 용기에 시험 수용액을 채운다.

- 시험편을 온도  $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ , 습도  $(65 \pm 5)\%$ 에서 168 시간 동안 정치한다.
- 168시간 경과 후 시험편을 용기에서 꺼내어 증류수로 표면에 잔류하고 있는 화학수를 가볍게 씻어내고, 시험편을 일정 질량의 허용차까지 건조(동일 건조 시간 적용) 시킨 후 시험편의 질량( $M_b$ )를 측정하여 기록한다.

#### 3.4.2 시험 결과의 기록

시험 결과의 기록은 누수보수재료가 화학 물질(시험 수용액)에 노출되었을 때의 질량의 변화율(증감)을 기록하는 것으로 주입이 완료된 시험편의 초기에 측정한 질량( $M_a$ )을 시험 후 측정한 질량( $M_b$ )에서 뺀 것을 화학 저항의 정량적 증감 척도로 보고, 변화된 질량( $M_c$ )을 소수점 이하 2자리 까지 (1)식에 따라 계산하여 기록한다. 이때 시험편 제작 시 사용된 유리 샤알레(C)의 무게(질량)을 제외한 질량 변화율( $M_g$ )는 다음 (2)식에 의해 계산하여 기록한다.

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

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

$M_a$  : 시험 전 시험편 질량(g) /  $M_b$  : 시험 후 시험편 질량(g)  
 $M_c$  : 질량 변화량(g) / C : 유리 샤알레 질량(g)

### 3.5 시험 평가 결과

합성고무계, 시멘트계, 아크릴계, 에폭시계, 우레탄계의 5계열에 대한 염산, 질산, 황산, 수산화나트륨, 염화나트륨의 화학저항성 시험 결과는 다음과 같으며, 본고에서는 5가지 화학 수용액별로 대응력을 판단하여 분석하였다.

#### 3.5.1 염산(HCL)

염산(HCL) 수용액의 질량변화율은 Table 3과 같이 우레탄 Type 3에서 평균 54.67%가 크게 증가하는 것으로 나타났고, 아크릴 Type 3은 -27.03% 감소, 에폭시 Type 2는 17.68% 증가, 에폭시 Type 1은 -14.28% 감소하는 것으로 측정되었다. 계열별로 보면, 합성고무계에서 Type 1 0.3%, Type 2 0.76%, Type 3 0.07%의 질량변화율이 가장 작게 나타났다.

**Table 3. Hydrochloric acid(HCL) test results of water leakage repair material of water solution**

Division	Type 1			Type 2			Type 3			
	①	②	③	①	②	③	①	②	③	
RG	Ma	41.02	36.79	34.98	52.54	55.56	45.89	18.59	18.99	24.15
	Mb	41.15	36.89	35.09	52.72	55.78	46.60	18.60	19.01	24.16
	Mc	0.13	0.10	0.11	0.18	0.22	0.71	0.01	0.02	0.01
	Mg	0.32	0.27	0.31	0.34	0.40	1.55	0.05	0.11	0.04
	Average	0.30			0.76			0.07		
CG	Ma	43.09	49.27	43.51	40.54	37.49	35.59	36.79	24.55	38.15
	Mb	44.47	50.74	45.13	43.98	41.14	39.19	38.34	25.95	40.24
	Mc	1.38	1.47	1.62	3.44	3.65	3.60	1.55	1.40	2.09
	Mg	3.20	2.98	3.72	8.49	9.74	10.12	4.21	5.70	5.48
	Average	3.30			9.45			5.13		
EG	Ma	25.53	29.37	26.58	25.02	23.56	21.13	32.79	35.95	35.64
	Mb	24.74	23.64	21.20	25.57	29.42	26.62	32.10	35.24	34.73
	Mc	-0.79	-5.73	-5.38	0.55	5.86	5.49	-0.69	-0.71	-0.91
	Mg	-3.09	-19.51	-20.24	2.20	24.87	25.98	-2.10	-1.97	-2.55
	Average	-14.28			17.68			-2.21		
AG	Ma	49.13	59.37	47.07	43.39	48.22	46.27	10.76	23.21	17.72
	Mb	48.50	58.77	48.43	45.28	42.02	43.25	6.76	18.57	13.48
	Mc	-0.63	-0.60	1.36	1.89	-6.20	-3.02	-4.00	-4.64	-4.24
	Mg	-1.28	-1.01	2.89	4.36	-12.86	-6.53	-37.17	-19.99	-23.93
	Average	0.20			-5.01			-27.03		
UG	Ma	13.20	18.06	15.08	29.60	30.58	31.51	6.59	6.88	7.01
	Mb	13.14	17.98	15.00	29.59	30.57	31.52	9.25	9.96	12.54
	Mc	-0.06	-0.08	-0.08	-0.01	-0.01	0.01	2.66	3.08	5.53
	Mg	-0.45	-0.44	-0.53	-0.03	-0.03	0.03	40.36	44.77	78.89
	Average	-0.48			-0.01			54.67		

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

### 3.5.2 질산( $NH_3$ )

질산( $NH_3$ ) 수용액의 질량 변화율은 Table 4와 같이 우레탄 Type 3에서 평균 77.747%가 크게 증가하는 것으로 나타났고, 아크릴 Type 3은 -42.16% 감소, 에폭시 Type 2는 14.89% 증가, 에폭시 Type 1은 -11.10% 감소하는 것으로 측정되었다. 이는 위의 염산 수용액의 시험결과에서 나타난 것과 같은 것으로 정량적 결과치만 다소 상이할 뿐 증감 경향은 같게 확인되었다. 계열별 질량 변화량은 염산 수용액과 동일하게 합성고무계에서 각각 Type 1 0.16%, Type 2 3.02%, Type 3 0.17% 증가되어 가장 작게 나타났다.

**Table 4. Nitric acid( $NH_3$ ) test results of water leakage repair material of water solution**

Division	Type 1			Type 2			Type 3			
	①	②	③	①	②	③	①	②	③	
RG	Ma	38.62	39.20	43.22	47.09	56.24	52.10	21.43	25.36	23.11
	Mb	38.63	39.23	43.38	48.93	57.69	53.44	21.46	25.41	23.15
	Mc	0.01	0.03	0.16	1.84	1.45	1.34	0.03	0.05	0.04
	Mg	0.03	0.08	0.37	3.91	2.58	2.57	0.14	0.20	0.17
	Average	0.16			3.02			0.17		
CG	Ma	48.79	54.14	50.88	29.02	36.04	32.68	40.82	53.28	45.50
	Mb	50.00	55.42	52.22	31.36	38.43	35.43	42.7	55.78	47.49
	Mc	1.21	1.28	1.34	2.34	2.39	2.75	1.88	2.50	1.99
	Mg	2.48	2.36	2.63	8.06	6.63	8.41	4.61	4.69	4.37
	Average	2.49			7.70			4.56		
EG	Ma	22.98	26.33	29.79	23.55	22.96	22.63	30.30	34.19	33.07
	Mb	23.62	23.08	22.72	23.04	26.40	29.84	29.80	33.62	32.55
	Mc	0.64	-3.25	-7.07	-0.51	3.44	7.21	-0.50	-0.57	-0.52
	Mg	2.79	-12.34	-23.73	-2.17	14.98	31.86	-1.65	-1.67	-1.57
	Average	-11.10			14.89			-1.63		
AG	Ma	43.09	45.75	50.62	40.67	36.65	40.75	13.13	11.50	15.63
	Mb	46.29	46.77	53.23	40.68	37.75	42.15	7.30	6.85	9.12
	Mc	3.20	1.02	2.61	0.01	1.10	1.40	-5.83	-4.65	-6.51
	Mg	7.43	2.23	5.16	0.02	3.00	3.44	-44.40	-40.43	-41.65
	Average	4.94			2.15			-42.16		
UG	Ma	20.18	19.95	20.51	31.24	31.08	30.87	6.34	6.65	7.53
	Mb	20.40	20.30	20.80	31.23	31.07	30.85	8.51	10.68	17.95
	Mc	0.22	0.35	0.29	-0.01	-0.01	-0.02	2.17	4.03	10.42
	Mg	1.09	1.75	1.41	-0.03	-0.03	-0.06	34.23	60.60	138.38
	Average	1.42			-0.04			77.74		

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

### 3.5.3 황산( $H_2SO_4$ )

황산( $H_2SO_4$ ) 수용액의 평균 질량 변화율은 Table 5와 같이 우레탄 Type 3에서 평균 70.23%가 크게 증가하였고, 아크릴 Type 3은 -25.71% 감소, 합성고무계 Type 2 17.93% 증가, 시멘트 Type 2 11.00% 증가하는 것으로 측정되었다. 계열별 평균 질량 변화율은 합성고무계 Type 2가 다소 큰 질량 증가율을 보여주고 있으나, Type 1과 Type 3에서 각각 0.17%, 0.02% 증가만을 보여주고 있어 타 계열에 비해 다소 작은 변화율로 확인되었다.

**Table 5. Sulfuric acid(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) test results of water leakage repair material of water solution**

Division	Type 1			Type 2			Type 3			
	①	②	③	①	②	③	①	②	③	
Ma	26.84	30.93	25.87	37.75	36.22	36.49	25.22	31.61	18.61	
Mb	26.88	30.97	25.93	44.83	42.71	42.74	25.23	31.60	18.62	
RG	Mc	0.04	0.04	0.06	7.08	6.49	6.25	0.01	-0.01	0.01
	Mg	0.15	0.13	0.23	18.75	17.92	17.13	0.04	-0.03	0.05
	Average	0.17			17.93			0.02		
Ma	48.83	50.05	48.85	30.17	31.52	32.36	27.92	48.58	39.44	
Mb	51.51	52.72	51.46	33.36	34.86	36.19	30.17	51.34	42.21	
CG	Mc	2.68	2.67	2.61	3.19	3.34	3.83	2.25	2.76	2.77
	Mg	5.49	5.33	5.34	10.57	10.60	11.84	8.06	5.68	7.02
	Average	5.39			11.00			6.92		
Ma	21.61	21.14	24.45	23.39	24.02	22.54	34.94	32.95	35.58	
Mb	23.58	24.13	22.71	21.66	21.20	24.53	35.90	33.88	36.53	
EG	Mc	1.97	2.99	-1.74	-1.73	-2.82	1.99	0.96	0.93	0.95
	Mg	9.12	14.14	-7.12	-7.40	-11.74	8.83	2.75	2.82	2.67
	Average	5.38			-3.44			2.75		
Ma	49.89	41.60	50.62	40.38	43.22	37.88	17.84	14.65	11.91	
Mb	47.45	39.06	46.25	39.40	42.08	38.07	13.37	10.39	9.17	
AG	Mc	-2.44	-2.54	-4.37	-0.98	-1.14	0.19	-4.47	-4.26	-2.74
	Mg	-4.89	-6.11	-8.63	-2.43	-2.64	0.50	-25.06	-29.08	-23.01
	Average	-6.54			-1.52			-25.71		
Ma	17.95	18.29	15.48	30.85	30.99	30.52	6.65	6.36	6.51	
Mb	17.88	18.24	15.40	30.84	30.99	30.51	13.95	8.91	10.47	
UG	Mc	-0.07	-0.05	-0.08	-0.01	0.00	-0.01	7.30	2.55	3.96
	Mg	-0.39	-0.27	-0.52	-0.03	0.00	-0.03	109.77	40.09	60.83
	Average	-0.39			-0.02			70.23		

Note : Unit M<sub>b</sub>, M<sub>a</sub>, M<sub>c</sub>=g / M<sub>g</sub>, Average=%

### 3.5.4 수산화나트륨(NaOH)

수산화나트륨(NaOH) 수용액의 평균 질량 변화율은 Table 6과 같이 아크릴 Type 3에서 170.81%로 크게 증가하였고, 우레탄 Type 3 59.84% 증가, 시멘트 Type 2 12.19% 증가하는 것으로 측정되었다. 계열별 평균 질량 변화율이 작은 것은 합성고무계 Type 1 0.12%, Type 2 0.05%, Type 3 0.48% 증가하는 것으로 확인되었다.

**Table 6. Sodium hydroxide(NaOH) test results of water leakage repair material of water solution**

Division	Type 1			Type 2			Type 3			
	①	②	③	①	②	③	①	②	③	
Ma	37.98	35.85	46.81	54.54	58.93	61.18	18.66	17.43	18.39	
Mb	38.03	35.92	46.82	54.56	58.96	61.22	18.73	17.51	18.50	
RG	Mc	0.05	0.07	0.01	0.02	0.03	0.04	0.07	0.08	0.11
	Mg	0.13	0.20	0.02	0.04	0.05	0.07	0.38	0.46	0.60
	Average	0.12			0.05			0.48		
Ma	37.20	41.60	47.11	32.47	32.84	32.50	33.43	35.21	40.21	
Mb	38.93	43.47	49.51	36.24	36.96	36.53	36.32	38.15	43.49	
CG	Mc	1.73	1.87	2.40	3.77	4.12	4.03	2.89	2.94	3.28
	Mg	4.65	4.50	5.09	11.61	12.55	12.40	8.64	8.35	8.16
	Average	4.75			12.19			8.38		
Ma	28.20	26.58	26.19	30.35	24.49	23.79	39.15	36.26	33.26	
Mb	24.34	24.57	23.87	28.23	26.63	26.25	40.57	37.92	34.95	
EG	Mc	-3.86	-2.01	-2.32	-2.12	2.14	2.46	1.42	1.66	1.69
	Mg	-13.69	-7.56	-8.86	-6.99	8.74	10.34	3.63	4.58	5.08
	Average	-10.04			4.03			4.43		
Ma	45.51	47.63	46.19	40.66	40.61	39.66	11.66	10.87	19.47	
Mb	49.00	53.58	52.02				29.2	36.95	43.24	
AG	Mc	3.49	5.95	5.83	Unable measure			17.54	26.08	23.77
	Mg	7.67	12.49	12.62				150.43	239.93	122.09
	Average	10.93						170.81		
Ma	21.84	15.35	18.09	28.24	29.93	31.23	6.97	6.35	6.79	
Mb	21.75	15.31	18.02	28.26	29.94	31.23	12.40	9.66	10.15	
UG	Mc	-0.09	-0.04	-0.07	0.02	0.01	0.00	5.43	3.31	3.36
	Mg	-0.41	-0.26	-0.39	0.07	0.03	0.00	77.91	52.13	49.48
	Average	-0.35			0.03			59.84		

Note : Unit M<sub>b</sub>, M<sub>a</sub>, M<sub>c</sub>=g / M<sub>g</sub>, Average=%

### 3.5.5 염화나트륨(NaCl)

염화나트륨(NaCl) 수용액의 평균 질량 변화율은 Table 7과 같이 우레탄 Type 3에서 평균 56.53%가 크게 증가하였고, 아크릴 Type 2 35.57% 증가, Type 3 20.27% 증가, 시멘트 Type 3 20.19% 증가, Type 2 12.48% 증가하는 것으로 확인되었다. 계열별 평균 질량 변화율이 작은 것은 합성고무계로 Type 1 0.08%, Type 2 0.05%, Type 3

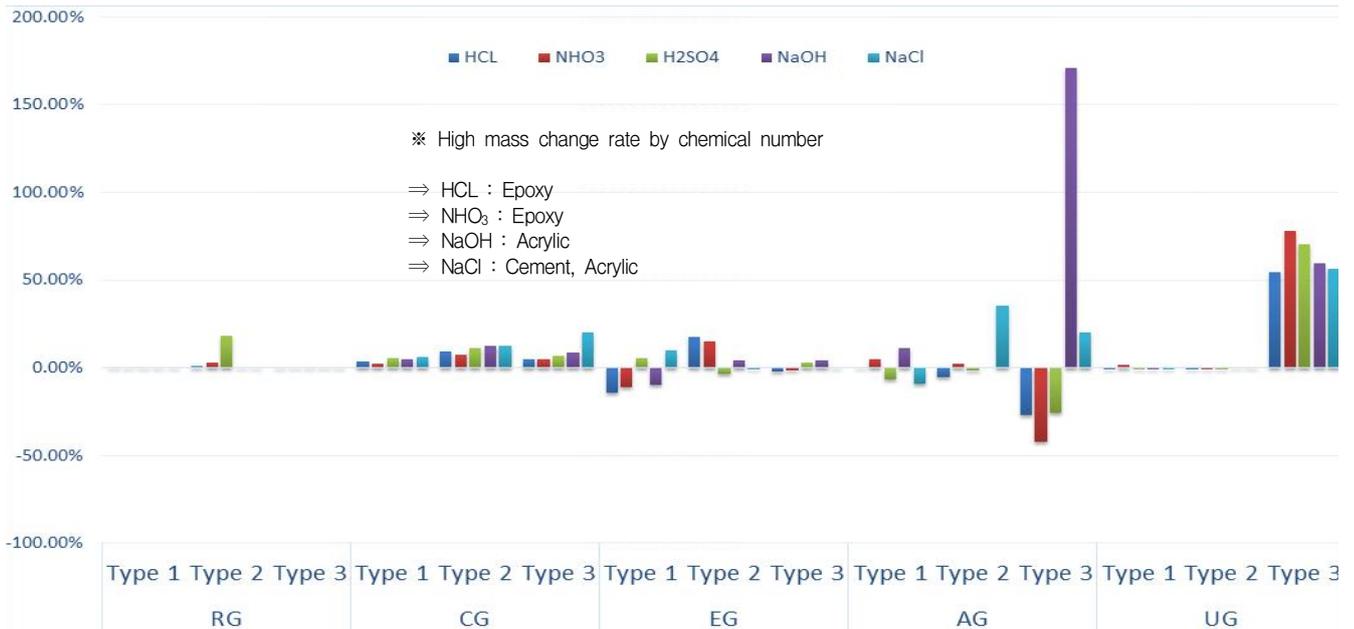


Figure 6. Comprehensive test results for chemical resistance performance of water leakage repair materials

Table 7. Sodium chloride(NaCl) test results of water leakage repair material of water solution

Division	Type 1			Type 2			Type 3			
	①	②	③	①	②	③	①	②	③	
RG	Ma	42.32	37.29	36.67	50.24	43.97	42.59	20.55	16.12	19.64
	Mb	42.34	37.35	36.68	50.25	44.00	42.62	20.58	16.17	19.71
	Mc	0.02	0.06	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03	0.05	0.07
	Mg	0.05	0.16	0.03	0.02	0.07	0.07	0.15	0.31	0.36
	Average	0.08			0.05			0.27		
CG	Ma	54.80	53.38	40.33	34.68	33.02	34.24	36.39	24.55	38.15
	Mb	58.43	56.87	42.72	39.19	37.51	37.95	45.79	32.03	39.78
	Mc	3.63	3.49	2.39	4.51	4.49	3.71	9.40	7.48	1.63
	Mg	6.62	6.54	5.93	13.00	13.60	10.84	25.83	30.47	4.27
	Average	6.36			12.48			20.19		
EG	Ma	24.05	25.20	24.35	25.02	25.15	24.28	33.09	34.85	36.93
	Mb	25.08	25.22	30.42	24.08	25.22	24.41	33.21	35.05	37.07
	Mc	1.03	0.02	6.07	-0.94	0.07	0.13	0.12	0.20	0.14
	Mg	4.28	0.08	24.93	-3.76	0.28	0.54	0.36	0.57	0.38
	Average	9.76			-0.98			0.44		
AG	Ma	44.49	49.22	44.45	43.05	39.08	39.70	13.05	19.96	13.18
	Mb	40.11	45.52	40.33	59.65	49.96	55.70	16.90	22.09	15.90
	Mc	-4.38	-3.70	-4.12	16.60	10.88	16.00	3.85	2.13	2.72
	Mg	-9.84	-7.52	-9.27	38.56	27.84	40.30	29.50	10.67	20.64
	Average	-8.88			35.57			20.27		
UG	Ma	14.94	22.88	15.96	29.98	30.56	28.30	6.69	6.45	6.55
	Mb	14.90	22.78	15.91	29.98	30.57	28.31	10.82	9.28	10.74
	Mc	-0.04	-0.10	-0.05	0.00	0.01	0.01	4.13	2.83	4.19
	Mg	-0.27	-0.44	-0.31	0.00	0.03	0.04	61.73	43.88	63.97
	Average	-0.34			0.02			56.53		

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

0.27% 증가하는 것으로 확인되었다.

#### 4. 시험평가 종합 결과

5계열(합성고무계, 시멘트계, 에폭시계, 아크릴계, 우레탄계)의 화학(염산, 질산, 황산, 수산화나트륨, 염화나트륨) 저항성 시험(ISO TS 16774 Part 2) 결과를 종합하면, 다음 Table 8, Figure 6과 같다.

화학 수용액 중 가장 높은 질량 변화율로 측정된 것은 수산화나트륨으로 아크릴 Type 3에서 평균 170.81%로 크게 증가하였다. 아크릴 Type 3 보수재료의 경우 염산 -27.03%(감소), 질산 -42.16%(감소), 황산 -25.71%(감소), 염화나트륨 20.27%(증가)로 타 보수재료에 비해 다소 증감 변화량의 폭이 크게 나타났다.

뿐만 아니라 우레탄 Type 3의 경우에도 큰 질량 변화율이 나타난 보수재료 중 하나로 질산 수용액에서 77.74%, 황산 수용액에서 70.23%로 크게 증가하였고, 염산 54.67%(증가), 수산화나트륨 59.84%(증가), 염화나트륨 56.53%(증가)로 대체적으로 50%이상의 질량이 변화된 것으로 측정되었다.

이외에 약 15% 이상의 질량 변화율이 나타난 것으로 염산에서 에폭시 Type 1 -14.28%(감소), 에폭시 Type 2 17.68%(증가)되었고, 질산에서 에폭시 Type 2 14.89%

Table 8. Chemical resistance test mass change rate (average) of water leakage repair materials

Division	HCL			NHO <sub>3</sub>			H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			NaOH			NaCl		
	Type 1	Type 2	Type 3	Type 1	Type 2	Type 3	Type 1	Type 2	Type 3	Type 1	Type 2	Type 3	Type 1	Type 2	Type 3
RG	0.30	0.76	0.07	0.16	3.02	0.17	0.17	17.93	0.02	0.12	0.05	0.48	0.08	0.05	0.27
CG	3.30	9.45	5.13	2.49	7.70	4.56	5.39	11.00	6.92	4.75	12.19	8.38	6.36	12.48	20.19
EG	-14.28	17.68	-2.21	-11.10	14.89	-1.63	5.38	-3.44	2.75	-10.04	4.03	4.43	9.76	-0.98	0.44
AG	0.20	-5.01	-27.03	4.94	2.15	-42.16	-6.54	-1.52	-25.71	10.93	-	170.81	-8.88	35.57	20.27
UG	-0.48	-0.01	54.67	1.42	-0.04	77.74	-0.39	-0.02	70.23	-0.35	0.03	59.84	-0.34	0.02	56.53

Note : Average Unit=%

(증가), 황산에서 합성고무 Type 2 17.93%(증가), 염화나트륨에서 시멘트 Type 3 20.19%(증가)되는 것으로 확인되었다.

### 5. 결 론

오염된 지하수 환경 하에서 콘크리트 구조물 균열부위에 사용되는 5계열 누수보수재료의 5개 화학 수용액에 대한 저항성능 평가 결과를 고찰하면 다음과 같다.

선행 연구 결과 도출시 기술된 내용 중 보수재료의 질량 변화율에 있어 질량이 증가하거나, 감소된 것이 안정화를 판단하는 정량적 기준으로 볼 수 없으며, 보수재료의 물성을 얼마나 잘 보존하고 있는지 여부에 따라 화학 안정화가 판단되어야 하기 때문에 질량 변화율의 증감 모두를 같은 선상의 불안정화 상태로 보는 것이 본 시험 결과의 특이점이라 할 수 있다. 즉, 각 화학 수용액에 대한 누수보수재료의 질량 변화율이 "0"에 가까울수록 화학 안정화를 갖는 것으로 판단 할 수 있다.

즉, 누수보수재료의 질량 증가는 콘크리트 구조물의 균열부위로부터 누수가 발생 할 경우 주입된 보수재료가 오염된 지하수에 의해 부피가 증가하여 보수재료의 물성 조직이 필요 이상으로 연질화 되면서 조직의 약화 가능성을 내포하고 있고, 질량 감소는 주입된 보수재료가 오염된 지하수 환경에 대응하지 못하고 소실된 상태이므로 보수재료로서의 물성이 약화된 것으로 판단 할 수 있기 때문이다.

이러한 결과를 중심으로 시험 결과에 대하여 질량 변화율이 약 10% 내외로 나타난 정량적 데이터를 시험편 개수 로 재분석하면 다음과 같다.

염화나트륨에서 6개 시료, 염산 5개 시료, 수산화나트륨

5개 시료, 질산 4개 시료, 황산 4개 시료 순으로 변화가 나타났고 특히, 염화나트륨, 염산, 수산화나트륨에서 좀 더 많은 질량 변화율이 확인되었다. 질산, 황산에서도 근소한 차이로 질량 변화율 차가 확인 되었다.

염화나트륨에서 다소 높은 질량 변화율을 보여 주고 있는 누수보수재료는 시멘트계, 아크릴계에서 각 2개 시료, 에폭시계, 우레탄계에서 각 1개 시료로 확인되었고, 염산에서는 에폭시계 2개 시료, 시멘트계, 아크릴계, 우레탄계에서 각 1개 시료로 나타났다. 수산화나트륨은 아크릴계 2개 시료, 시멘트계, 에폭시계, 우레탄계에서 각 1개 시료가 확인되었다.

질산에 있어서도 에폭시계 2개 시료, 아크릴, 우레탄 각 1개 시료가 나타났고, 황산은 합성고무계, 시멘트계, 아크릴계, 우레탄계에서 각 1개 시료가 확인되었다.

이를 종합하면 아크릴계 누수보수재료는 염화나트륨과 수산화나트륨에서 화학 안정화 향상을 위한 재료 개선 연구가 필요할 것으로 판단되고, 에폭시계는 염산과 질산, 시멘트계는 염화나트륨에서 화학적 안정화를 위한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

또한, 기존의 누수보수재료는 반드시 친수성을 가져야만 재료 물성을 만족하는 것으로 판단하였으나, 본 연구 진행 결과 화학적 환경이 부가되었을 경우 친수성에 의하여 연질화 된 보수재료가 화학수에 의해 오히려 필요이상으로 연질하게 될 수 있으며, 이로 인하여 지하수에 소실되거나, 유실될 가능성이 매우 높음을 확인하였다.

이에 본 연구를 통하여 도출된 5계열의 누수보수재료에 대한 연구 결과는 현재 진행 중이거나 추후 개발되는 누수보수재료에 반영 하여 최근 사회적 문제로 나타나고 있는 지하수 오염으로부터 화학 안정화 향상을 위한 기초 자료로

활용되기를 기대한다.

또한, 본 연구 결과 분석 중 후속 진행되어야 할 내용으로 ISO TS 16774 Part 2에서 규정하고 있는 5가지 수용액에 한정하여 시험 평가된 결과가 도출되었으나, 이러한 결과가 화학 수용액에 의한 변화인지 혹은 단순 물에 대한 변화인지, 화학 수용액에 의해 얼마나 더 빠른 변화가 나타나는 것인지 등에 대한 대조가 어려웠다. 따라서 추후 대조군(정제수 시험편)을 설정하여 좀 더 명확한 화학 수용액의 변화 추이를 관찰 할 수 있는 시험평가가 수반되어야 할 것으로 판단된다.

## 요 약

지하 콘크리트 구조물은 지하라는 지리적 환경 하에 건 축되어 열화를 촉진하는 다양한 환경에 노출되어져 있다. 그 중 지하수는 대표적인 열화를 촉진시키는 환경 중 하나로 지상으로부터 전달되는 오염수(공장폐수, 농약, 하수 및 분뇨, 대기 중의 중금속 빗물 등)로 인하여 지하 콘크리트 구조물에 열화를 더욱더 가중시키고 있다. 이에 본 연구에서는 균열부위에 사용되는 누수보수재료에 대한 화학 안정화 판단을 위하여 우리나라 누수보수 시공 현장에서 일반적으로 사용되고 있는 5계열(합성고무계, 시멘트계, 에폭시계, 아크릴계, 우레탄계)의 각 3Type 씩 총 15Type의 누수보수재료에 대한 5가지 수용액(염산, 질산, 황산, 수산화나트륨, 염화나트륨)의 화학저항성능 시험평가를 실시하였다. 그 결과 대체로 대부분의 화학 수용액에서 증감이 나타나고 있지만, 큰 증감을 보여 주고 있는 것은 아크릴계는 염화나트륨과 수산화나트륨에서 확인 되었고, 에폭시계는 염산과 질산에서 나타났다. 시멘트계는 염화나트륨에서 많은 증감을 보여 주고 있다. 이러한 연구 결과를 토대로 신 누수보수재료 개발의 화학 안정화를 위한 근간으로 활용되기를 기대한다.

**키워드** : 지하수의 오염, 지하 콘크리트 구조물, 누수보수 재료, 화학 저항성능시험, 주입형 누수보수재료

## Acknowledgement

This research was supported by a grant(19RERP-B082204-06) from Residential Environment Research

Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

## ORCID

Soo-Yeon Kim, <https://orcid.org/0000-0002-0150-8848>  
Jae-Yong Yoo, <https://orcid.org/0000-0003-4727-2823>  
Byung-Il Kim, <https://orcid.org/0000-0001-8106-4265>  
Sang-Keun Oh, <https://orcid.org/0000-0001-9975-3894>

## References

1. National Groundwater Information Management and Service Center [Internet]. Korea (Daejeon): K-water. Available from: <http://www.gims.go.kr/waterOfClean.do>
2. Kim SY, Lee JH, Song JY, Kim BI, Oh SK, Evaluation of chemical resistance performance of synthetic rubber and cement based injection repair materials used in underground concrete structures. *Journal of The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 2017 Oct;21(5):148-55.
3. Kim SY, Lee JH, Lee SJ, Jang DB, Oh SK, Standard manual for the diagnosis and repairing leakage cracks of underground structures in apartment housing: maintenance inspection. *Proceeding of The Korea Institute of Building Construction*; 2018 May 16-18; Jeju, Korea, Seoul (Korea): The Korea Institute of Building Construction; 2018. p. 343-4.
4. ISO TS 16774, Test Methods for Repair Materials for Water-leakage Cracks in Underground Concrete Structures, Switzerland: ISO: Part 2, Test Method for Chemical Resistance; p. 1-8.