

지하 콘크리트 구조물 누수부위에 시공되는 5계열 보수재료의 유실 저항 성능 평가 연구

김수연¹, 유재용², 오상근^{3*}

A Study on the Performance Evaluation of Water(wash out) Resistance of 5-Type Repair Materials in Water Leakage of Underground Concrete Structures

Soo-Yeon Kim¹, Jae-Yong Yoo², Sang-Keun Oh^{3*}

Abstract: In this study, the international standard ISO TS 16774 Part 3 Test Method for Water (wash out) Resistance and KS F 4935 「Sealant Injection type for water leakage maintenance of adhesive flexible rubber asphalt series」, which are standardized as a quality control method of injection type repair materials used for water leakage cracks in underground concrete structures, are currently used in Korea. As a result, considering the performance criteria of “mass change rate -0.1%” stipulated in KS F 4935, the remaining 13 types repair materials, excluding RG-2 of synthetic rubber and UG-1 of urethane, need to be reviewed for stabilization of the loss resistance due to the flow of ground water. The results of this study are determined to be available as a basic indicator for the selection of repair materials used for cracks in concrete structures. In addition, it is expected that the results of this study can be utilized as reference data that can be reflected in the improvement of the quality of repair materials that will be researched and developed later.

Keywords: Underground Concrete Structure, Water(wash out) Resistance, Synthetic Rubber, Cement, Epoxy, Acrylic, Urethane Injection Type Leakage Repair Material

1. 서 론

“콘크리트 누수”를 키워드로 하여 구글(Google)에서 검색한 결과 약 709천 건의 관련 내용이 조사되고 있다. 이처럼 콘크리트 구조물에서 발생하는 누수는 우리 생활에서 가장 밀접하게 체감하고 있는 문제점 중 하나이다.

콘크리트 구조물에서 발생하는 누수의 원인은 매우 다양하지만, 가장 대표적인 것으로 균열을 들 수 있다. 이외에 시공 과정 중 발생하는 타설 이음부, 신출줄눈, 폼 타이 구멍, 골재 분리 등의 취약부위를 주로 발생되고 있다.

특히, 지하 콘크리트 구조물의 경우 지하라는 지리적 조건에서 발생되고 있는 지하수, 토양, 습기 등의 자연 환경과 구조체 거동, 진동 등의 물리적 환경 하에 발생되어 이를 보수하기 위해 사용하고 있는 보수재료의 품질확보가 매우 중요한 요소이다.

이에 본 연구에서는 지하 콘크리트 구조물의 가혹 환경 중 지하수의 유속에 따른 계열별 보수재료의 유실 저항 성능 평가를 통하여 지하수의 유동(흐름)성에 대한 보수재료의 유실 대응력과 그에 따른 현장 적용성을 검토하고자 한다.

2. 지하수의 생성 및 유동성

지하 콘크리트 구조물에서 발생하는 지하수의 유속에 따른 보수재료의 유실 저항성능 평가에 대한 기초자료로 지하수의 생성 및 유동성을 다음과 같이 조사·분석하였다.

2.1 지하수의 생성

일반적으로 지하수는 Fig 1과 같이 빗물이 지층의 빈틈으로 스며들어 땅속으로 내려가면서 생성된다. 생성된 지하수는 토양과 암석의 빈틈인 공극을 채우면서 도달 지층까지 내려가 대부분의 틈이 지하수로 채워지게 되고 이 경계면이 지하수면 혹은 지하수위가 된다.

생성된 지하수는 하천과 같은 수로가 없기 때문에 일반적으로 지층의 빈틈으로부터 지하수위가 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐르는 경향을 갖는다.

¹정회원, 서울과학기술대학교 건설기술연구소 연구교수, 공학박사

²정회원, 서울과학기술대학교 일반대학원 의공학바이오소재융합과정 건축 프로그램, 박사과정

³정회원, 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 2020년 11월 30일까지 학회로 보내주시면 2020년 12월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

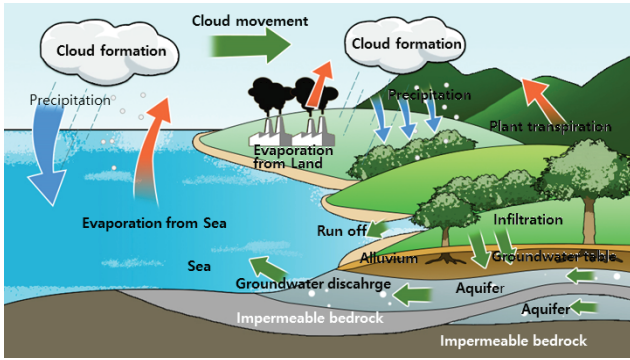


Fig. 1 Groundwater generation and circulation principle

이러한 지하수의 흐름 경향으로 유동성이 나타나고 이러한 흐름은 어느 정도의 속도로 진행하느냐에 따라 유속이 발생된다. 이때 발생하는 유속은 지하수의 양과 지하수위의 고저차, 질량 등에 따라 결정된다.

2.2 지하수의 유동성

지하수의 유동성 즉 흐름에 대한 유속은 위에서 언급한 바와 같이 지하수가 처한 다양한 조건에 의해 발생하며 이러한 조건에서의 지하수의 흐름 경로를 모식화 하면 다음 Fig. 2와 같다.

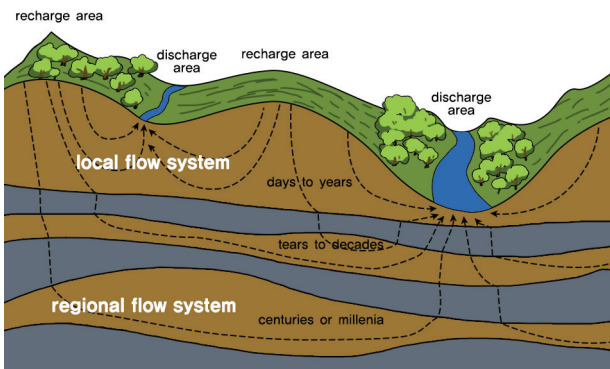


Fig. 2 Mimetic Schematic diagram of Groundwater flow path

지하수의 흐름 경로에 따라 유체역학에서는 흡입자 사이를 통과하는 유체의 속도를 다르시의 법칙(Darcy's Law)에 의거하여 산출하고 있다.

본 연구에서는 지하수의 유속에 따른 누수보수재료의 대응력 검증을 위한 것으로 유체역학에서의 기본 이론을 토대로 다양한 검증을 통하여 국가 및 국제 규격으로 등록된 ISO TS 16774, Test methods for repair materials for water-leakage cracks in underground concrete structures, Part 3 Test method for water(wash out) resistance와 KS F 4935 시험방법을 활용

하여 누수보수재료의 유속 대응력을 검토하고자 한다.

3. 지하수의 유동성과 콘크리트 구조물의 균열, 누수보수재료와 관계

3.1 지하수의 유동성과 콘크리트 구조물의 균열

지하수의 유동성은 지하 콘크리트 구조물에서 발생하는 다양한 열화 중 균열과 밀접한 연관성을 갖고 있다.

콘크리트 구조물의 균열부위로 지하수의 양과 유동성 등에 따라 누수가 발생하기 때문이다.

일반적으로 콘크리트 구조물에서 균열이 발생하는 원인은 건조·수축, 화학반응, 동결융해, 염해, 시공불량, 설계오류, 사용하중 등 매우 다양하다.

이와 같이 다양한 누수 원인에 따라 지하 콘크리트 구조물에서 가장 많이 누수가 발생하는 부위로 Photo. 1과 같이 콘크리트 이어치기 부위, 폼타이 구멍 등이 있다.



Photo. 1 Leakage in the Connection area of Concrete Structure

위에서 검토된 바와 같이 콘크리트 구조물에서 균열이 발생원인은 매우 다양하고, 구조물이 건축된 직후부터 직·간접적인 요인으로 구조물에 영향을 미치게 된다.

이에 균열의 누수에 관해서는 많은 연구가 진행되고 있으나, 연구자가 다르고 시험편과 시험 조건이 각기 상이하기 때문에 누수량에 관한 데이터는 반드시 일치하지는 않지만 대략 균열의 한계 폭을 0.05~0.15mm 정도로 예측하고 있다. 실제 구조물에서 발생하고 있는 균열의 경우 0.15mm 이상의 균열 폭은 빈번히 관찰되기 때문에 누수의 위험성이 매우 높은 상태에 있는 것이라 할 수 있다.

균열의 누수는 균열 폭, 균열의 깊이, 콘크리트 부재의 두께, 가해지는 수압의 영향 등 복합적 조건에서 발생하고 있으며, 여기에 지하수의 유동이 더해지면 최근 심각한 지하 구조

물의 누수로 인하여 연일 보도되고 있는 사회적 문제로 이어지고 있다.

3.2 지하수의 유동성과 누수보수재료

우리나라의 지하수 함양량은 연간 200억^{m³}이고 지하수 수위 평균 심도 7.02m, 지하수 평균 온도 14.6℃로 조사되었다.

이와 같이 조사된 많은 양의 지하수는 그 양과 고저 차에 따라 속도(유속)와 방향이 결정되어 지하 콘크리트 구조물의 균열 부위로 누수가 발생하게 된다.

이러한 균열의 누수부위를 보수하기 위하여 다양한 메커니즘의 보수 재료 및 공법적 특성을 갖고 있는 보수재가 사용되고 있다. 누수보수공사 현장에서 일반적으로 사용되고 있는 보수재료로는 Photo. 2와 같이 합성고무계, 시멘트계, 아크릴계, 에폭시계, 우레탄계 등이 적용되고 있으며, 이 외에 아스팔트 에멀전, 아스팔트 매스틱, 급결 모르타르, 실리케이트(액상), 염화비닐 등이 사용되고 있다.



Photo. 2 Cement, Urethane, Acrylic, Epoxy based Repair Materials

균열 부위를 보수하기 위하여 사용되는 누수보수재료의 경우 가혹한 환경(지하수의 유동성, 온도변화에 따른 수축과 팽창의 구조체 거동, 지하수와 토양의 압력, 항상 습윤 상태의 환경 등)에 대응 가능하여야 하므로 이를 위한 다양한 품질검증이 진행되고 있다. 그 중 하나가 지하수의 유동성에 따른 보수재료의 유실 저항력을 평가하기 위한 것으로 지하수의 유동성으로 인하여 균열부위에 시공된 보수재료가 유실될 경우 누수로 인한 문제점이 발생 할 수 있기 때문이다.

이와 같이 지하수의 유동 특성으로 인하여 유속이 발생하고 유속에 의하여 콘크리트 구조물의 균열부위에 시공된 누수보수재료가 유실되어 그 기능을 상실할 수 있는 문제점을 본 연구에서 보수재료의 유실저항성평가를 통하여 검토하고자 한다.

4. 5계열 누수보수재료의 유실저항 성능평가

본 연구는 누수보수공사 현장에서 일반적으로 사용되고 있는 5계열(합성고무계, 시멘트계, 아크릴계, 에폭시계, 우레탄계)의 주입형 누수보수재료를 수거하여 국제표준 ISO TS 16774, Part 3, Test method for Water(Wash Out) Resistance 와 KS F 4935 시험 규격 중 유실저항성능 시험평가를 통한 누수보수재료의 유실 저항력을 판단하고자 한다.

4.1 시험 재료

시험평가에 사용된 재료는 5가지 계열의 각각 3종류씩 총 15종류를 대상으로 하였으며, 그 종류는 합성고무계, 시멘트계, 에폭시계, 아크릴계, 우레탄계 순으로 진행하였고, 본고의 각 재료별 구분은 합성고무계-RG, 시멘트계-CG, 에폭시계-EG, 아크릴계-AG, 우레탄계-UG로 표기하여 진행하였다. 각 시험 재료별 주요 성분은 다음 Table 1과 같다.

4.2 시험 장치 및 방법

유실저항성능 평가에 사용된 시험 장치와 방법은 다음과 같다.

4.2.1 시험장치 및 기구

시험 장치는 다음 Fig 3와 같이 ISO TS 16774 Part 3과 KS F 4935에서 규정하고 있는 일정한 물의 속도(2m/s)를 측정 및 제어 할 수 있고, 유수 챔버에는 시험편을 넣을 수 있도록 바닥에 유리 사알레 크기(ø65mm×10mm)의 홈이 설치되어 있는 것으로 한다.

이외에 누수보수재료를 담아 시험 장치에 시험하는 유리 사알레, 전자저울, 교반봉, 흡손, 주입기, 부직포(180g/m²) 등을 이용하여 시험편을 제작하여 평가하였다.

4.2.2 시험편 제작

시험편은 Photo 3과 같이 ø65mm×10mm 동일 크기의 유리 사알레에 보수재료를 완전히 채운 것으로 1Type 당 총 3개씩 각각 제작하여 시험 평가 하였다.

4.2.3 유실저항성 시험방법

시험실 온도는 평균 (20±3)℃, 습도 (65±5)%를 유지하여 평가한다. 단, 사용되는 보수재료에 별도 지정 온도가 시방서에 명기되어 있을 경우는 별도로 온도 및 습도 조건을 반영하여 시험평가 하였다. 제작 완료된 시험편은 다음의 시험 방법에 따라 평가하였다.

- a. 보수재료의 주입이 완료된 시험편을 전자저울에 올려 질

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 ₃ COCH ₃) Other additives

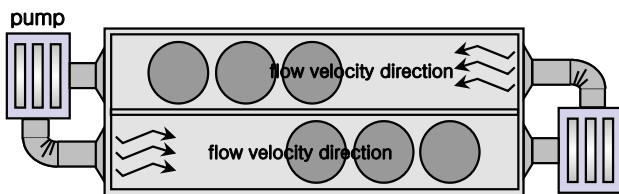
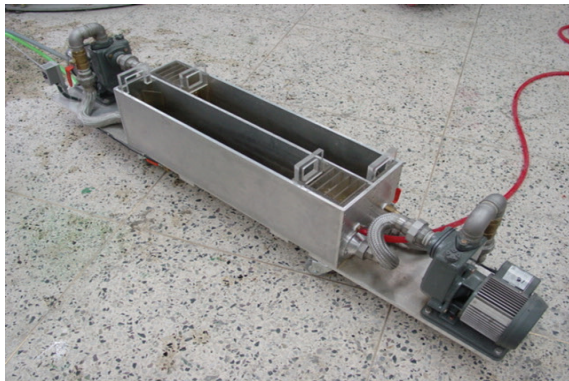


Fig. 3 Water(wash out) Resistance Test Chamber

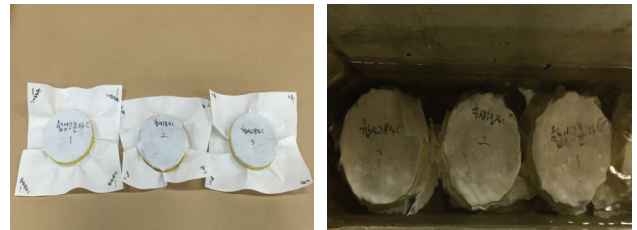


Photo. 3 Water(wash out) Resistance Test Specimens (Schale)

재료가 부직포 표면에 직접 닿지 않도록 제작한다.

- c. 시험편을 유실저항성 시험 장치에 넣고 시험편을 덮을 만큼 충분히 수돗물을 채운다.
- d. 0.2m/s의 유속을 48시간 동안 유지한 후 펌프를 정지하고, 시험편을 꺼내어 상온에서 시험편에 묻어 있는 수분이 충분히 건조될 때까지 최소 24시간 정치한다.
- e. 건조 후 시험편의 질량을 측정하고 질량 변화량(g)과 질량 변화율(%)을 계산한다.

4.2.4 시험 결과의 기록

시험 결과의 기록은 누수보수재료가 유속에 노출되었을 때의 질량의 변화량과 변화율의 증감을 기록하는 것으로

- 량(M_a)을 측정하고 소수점 이하 2자리 수까지 기록한다.
- b. 시험편을 충분히 덮을 수 있도록 재단된 부직포를 시험편 전체를 감싸고 고무줄로 밀봉한다. 이때 채워진 보수

주입이 완료된 시험편의 초기에 측정된 질량(M_a)을 시험 후 측정된 질량(M_b)에서 뺀 것을 유실 저항의 정량적 측도로 보고, 변화된 질량(M_c)을 소수점 이하 2자리까지 (1)식에 따라 계산하여 기록한다. 이때 시험편 제작 시 사용된 유리 사알레(C)의 무게(질량)을 제외한 질량 변화율(%)은 다음 (2)식에 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 사알레 질량(g)

KSF 4935 「점착 유연형 고무 아스팔트계 누수보수용 주입형 실링제」에 명기된 성능 기준은 질량 변화율이 -0.1% 이내로 규정하고 있다.

4.3 성능 평가

4.3.1 합성고무계(RG)

합성고무계(RG) 보수재료는 Table 2와 같이 대부분의 시험편에서 질량이 감소하였고, RG-1-①, RG-1-③ 시험편에서만 질량이 증가하는 것으로 나타났다.

질량 변화율은 RG-2의 시험편에서 각각 -0.02%, -0.08%, -0.06%의 품질 기준에 만족하였고 이외에 RG-3-② 시험편의 -0.04% 감소한 것을 제외하고 나머지는 품질기준에 상회하는 증감이 나타났지만, 합성고무계 보수재료가 5개월 증가적은 질량 변화율로 나타났다.

4.3.2 시멘트계(CG)

시멘트계(CG) 보수재료는 Table 3와 같이 CG-2-③ 시험편

에서 -1.60g 감소한 것을 제외하고 대부분의 시험편에서 질량이 증가한 것으로 확인되었다.

또한, 시멘트계 모든 시험편에서 품질기준 -0.1% 이내를 상회하는 결과가 나타났다.

Table 3 Water(Wash out) Resistance Test Result of Cement-based repair Gel Grout

Division	CG-1			CG-2			CG-3		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③
Ma	167.23	163.48	188.66	130.68	129.70	120.83	173.12	111.45	117.78
Mb	171.20	166.48	192.02	143.43	140.90	119.23	189.92	121.92	127.62
Mc	3.98	3.00	3.36	12.75	11.20	-1.60	16.80	10.47	9.84
Mg	2.37	1.84	1.78	9.76	8.64	-1.32	9.70	9.39	8.35

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

4.3.3 에폭시계(EG)

에폭시계(EG) 보수재료는 Table 4와 같이 모든 시험편에서 질량이 증가하는 것으로 확인되었다.

또한, 에폭시계 모든 시험편에서 품질기준 -0.1% 이내를 상회하는 결과가 나타났다.

Table 4 Water(Wash out) Resistance Test Result of Epoxy-based repair Grout

Division	EG-1			EG-2			EG-3		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③
Ma	80.56	78.10	83.28	96.40	108.32	103.95	108.58	79.83	109.62
Mb	81.12	79.10	84.04	96.62	108.49	104.25	115.46	85.87	117.22
Mc	0.56	1.00	0.76	0.22	0.17	0.30	6.88	3.04	7.60
Mg	0.70	1.28	0.91	0.23	0.16	0.29	6.34	7.57	6.93

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

4.3.4 아크릴계(AG)

아크릴계(AG) 보수재료는 Table 5와 같이 모든 시험편에서 질량이 대폭 감소하는 것으로 확인되었으며, 에폭시계 모든 시험편에서 품질기준 -0.1% 이내를 크게 감소하는 결과가

Table 2 Water(Wash out) Resistance Test Result of Synthetic Rubberized Gel Grout

Division	RG-1			RG-2			RG-3		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③
Ma	75.15	75.07	76.57	115.90	119.64	120.57	145.39	146.69	131.02
Mb	75.43	74.00	76.78	115.88	119.54	120.50	144.82	146.63	129.29
Mc	0.28	-1.07	0.21	-0.02	-0.10	-0.07	-0.57	-0.06	-1.73
Mg	0.37	-1.43	0.27	-0.02	-0.08	-0.06	-0.39	-0.04	-1.32

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

Table 5 Water(Wash out) Resistance Test Result of Acrylic-based repair Grout

Division	AG-1			AG-2			AG-3		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③
Ma	103.82	113.39	98.26	97.25	96.85	91.62	43.13	32.51	36.66
Mb	61.50	54.91	56.96	73.72	77.29	42.12	25.98	25.34	26.03
Mc	-42.32	-58.48	-41.30	-23.53	-19.56	-49.50	-17.15	-7.17	-10.63
Mg	-40.76	-51.57	-42.03	-24.20	-20.20	-54.03	-39.76	-22.05	-29.00

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

나타났다.

특히, 5계열 중 아크릴계 보수재료가 가장 큰 폭으로 감소하는 결과가 나타났다.

4.3.5 우레탄계(UG)

우레탄계(UG) 보수재료는 Table 6과 같이 UG-1-①과 UG-3의 시험편에서 증가로 나타났고, 특히 UG-3 시험편은 같은 계열의 시험편에 비해 큰 폭으로 증가한 것으로 확인되었다. 또한, 우레탄계 UG-1 시험편과 UG-2-① 시험편은 품질 기준 -0.1% 이내를 만족하고 있으나 나머지 시험편은 품질 기

Table 6 Water(Wash out) Resistance Test Result of Urethane-based repair Grout

Division	UG-1			UG-2			UG-3		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③
Ma	56.6	40.71	60.57	81.53	80.30	79.12	22.45	27.53	21.88
Mb	56.67	40.69	60.56	81.51	79.96	78.86	27.96	34.64	28.56
Mc	0.07	-0.02	-0.01	-0.02	-0.34	-0.26	5.51	7.11	6.68
Mg	0.12	-0.05	-0.02	-0.02	-0.42	-0.33	24.54	25.83	30.53

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

준에 상회하는 증감의 결과로 나타났다.

5. 성능평가 결과 고찰

5계열의 유실저항 성능 평가 결과, Table 7, Fig 4와 같이 합성 고무계 보수재료는 질량이 감소하여 평균 -0.06 ~ -0.79g로 나타났다고, 시멘트계 보수재료는 합성고무계 보수재료와 반대로 질량이 3.34~12.37g 증가하여 그 편차가 다소 크게 나타났다.

에폭시계 보수재료는 시멘트계 보수재료와 비슷한 유형의 편차를 보여주고 있으나 0.22~6.95g 질량이 증가하였다.

아크릴계 보수재료의 경우 5계열 보수재료 중 가장 큰 폭으로 질량이 감1소하여 -30.27 ~ -44.79g 으로 나타났으나 편차는 시멘트계와 에폭시계 보수재료에 비해 다소 적은 폭으로 나타났다.

우레탄계 보수재료는 3 Type에서 상증하 경향으로 편차가 나타나 Type1, 0.02g, Type2, 0.26g, Type3, 26.97g 으로 확인되었다.

질량 변화율은 계열별로 고찰하면, 합성고무계 보수재료가

Table. 7 Water(Wash out) Resistance Test Mass Change Rate (Average) of Water Leakage Repair Materials

Division	Synthetic rubberized gel grout (RG)			Cement-based repair materials (CG)			Epoxy-based repair materials (EG)			Acrylic-based repair materials (AG)			Urethane-based repair materials (UG)		
	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
	Mc	-0.19	-0.06	-0.79	3.34	7.45	12.37	0.77	0.23	6.84	-47.37	-30.86	-11.65	0.01	-0.21
Mg	-0.26	-0.05	-0.58	2.00	5.69	9.15	0.96	0.22	6.95	-44.79	-32.81	-30.27	0.02	-0.26	26.97

Note : Average Unit=%

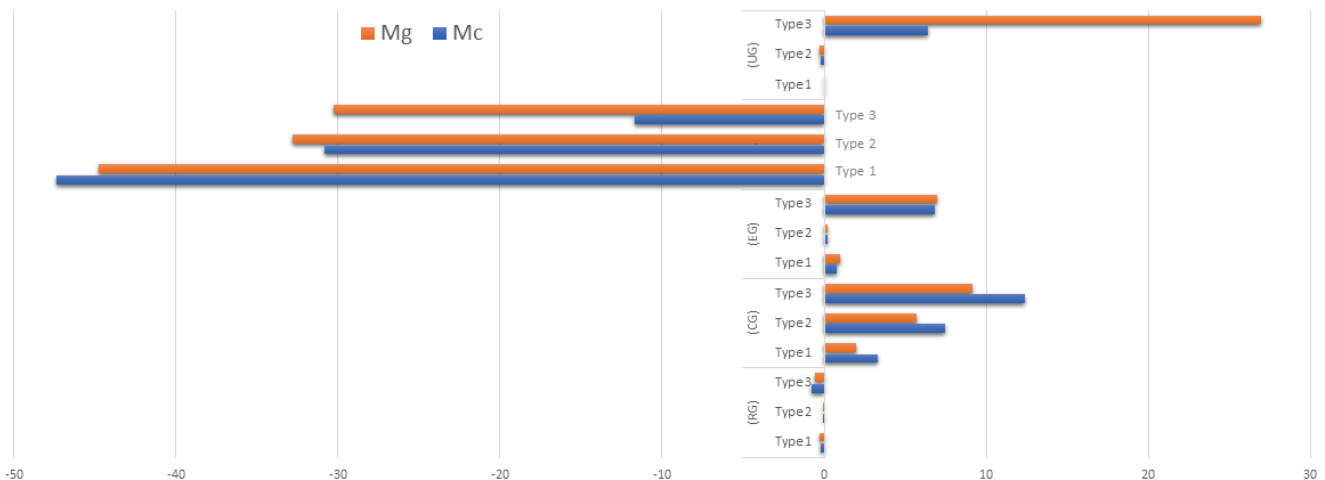


Fig. 4 Water(Wash out) Resistance Test Mass Change Rate (Average) of Water Leakage Repair Materials Graph

가장 적은 질량 변화율로 Type1 -0.26%, Type2, -0.05%, Type3, -0.58 나타냈다. 이에 반해 가장 큰 질량 변화율은 아크릴계 보수재료로 Type1 -44.79%, Type2, -32.81%, Type3, -30.27로 나타났다.

질량 변화율을 각각의 보수재료별 Type으로 고찰하면, 우레탄계 보수재료 중 Type1에서 0.02% 질량이 증가하였고, 합성고분자계 보수재료 중 Type2에서 -0.05% 감소하여 가장 적은 질량 변화율로 확인되었다.

6. 결 과

본 연구는 누수보수공사 현장에서 가장 많이 사용되고 있는 5계열(합성고무계, 시멘트계, 아크릴계, 에폭시계, 우레탄계)의 3Type 씩 총 15Type의 45개 시험편에 대한 유실 저항력을 평가하였으며 그 결과는 다음과 같다.

KS F 4935에 규정화 된 품질 기준에 만족하는 보수재료는 유일하게 합성고무계 중 Type2 보수재료로 확인되었고 우레탄계 보수재료인 Type1은 비록 증감으로 나타났지만, 질량 변화량 0.01%, 질량 변화율 0.02%로 확인되었다.

선행 연구를 통하여 화학수에 대한 보수재료의 질량 변화량 및 변화율에 대하여 단순히 질량의 증감 자체가 보수재료의 안정성을 판별하는 기준이 아님을 밝힌바 있다. 그 이유로 지하 콘크리트 구조물에 사용된 보수재료의 경우 단순히 질량이 증가하거나, 감소된 것으로 안정화를 판단하는 것이 아니라 보수재료의 물성을 잘 보존 하고 있는지의 여부에 따른 안정화를 판단하는 관점에서 증감 모두를 같은 기준 선상의 안정화 판단 측도로 보아야하기 때문이다.

즉, 기본 판단 측도인 보수재료의 증감을 동일 선상의 안정화 판단 측면에서 보수재료의 질량 변화율이 “0”에 가까울수록 화학 안정화를 갖는 것은 동일하나 본 연구의 경우 보수재료의 유실저항력을 판단하는 연구임으로 감소된 보수재료는 단순히 재료의 유실 현상으로 볼 수 있을 것으로 판단되나 증가된 재료의 경우는 시험 용수인 상수도물과의 반응에 의한 것으로 추측된다.

이와 같이 상수도물과의 반응으로 질량이 증가 했을 경우 보수재료가 물과 접촉하여 조직이 연질 상태로 흐물흐물 해져 균열부위에 부착되어 있어야 할 보수재료가 부착력을 상실하여 지하수의 유속에 의해 유실될 가능성이 크기 때문이다.

위 고찰 내용을 토대로 가장 적은 질량 변화량과 변화율을 보여준 순으로 시험 결과를 재해석하면 합성고무계 보수재료가 5계열 보수재료 중 안정화를 갖고 있는 것으로 판단되고 질량이 증가하였지만 변화량과 변화율이 “0”에 가까운 척도로 안정화를 판단하면 시멘트계, 우레탄계, 에폭시계 순으로

볼 수 있다.

이에 반해 가장 큰 폭의 질량 변화량과 변화율이 측정된 아크릴계 보수재료의 경우 약 30%~44%까지 보수재료가 유실 되는 것으로 보아 재료적 물성 향상을 통한 안정화 방안이 필요 할 것으로 판단된다.

또한, 계열별 유실 대응력의 편차에서는 우레탄계 보수재료 중 Type3에 있어서 기존 Type1, Type2에 비해 상대적으로 큰 편차를 보여 주고 있어 이에 대한 안정화 방안이 검토되어야 할 것으로 판단된다.

위의 시험결과는 5계열에 대한 유실저항성능평가에 국한된 누수보수재료의 성능평가에 관한 것으로 좀 더 명확한 연구를 위해서 계열별 보수재료의 화학 메커니즘에 관한 반응 측면의 연구가 추가적으로 병행되어야 할 것으로 판단된다.

또한, 증감으로 확인된 계열별 재료의 화학 반응 포인트가 단순 상수도물에 반응 한 것인지에 대한 추가 검토가 필요 할 것으로 판단된다.

아울러 본 연구에서 검토하고 있는 유실저항성능 시험결과와 선행연구로 진행된 화학저항성 시험 결과를 종합하여 상수도물과 화학수를 비교 분석에 따른 상관성 분석의 건축 재료 공학 측면의 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원(20CTAP-C151778-02)에 의해 수행되었습니다.

References

1. <https://www.google.co.kr>
2. Kin Soo Yeon, Development of Artificial Crack Testing Method for Injection Type Repair Materials Used in Leakage Cracks of Concrete Structure in Underground Environment, Seoul National University of Science and Technology, Dept. of Convergence Institute of Biomedical Engineering and Biomaterials Program of Architecture, 2017. 02, p29-52
3. Integrated Ground Water Information Service, <https://www.gims.go.kr>
4. ISO TS 16774. Test Methods for Repair Materials for Water-leakage Cracks in Underground Concrete Structures. Switzerland: ISO: Part 3, Test Method for Water(Wash Out) Resistance ; p. 2-4
5. 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]
6. Kim Soo Yeon, Yoo Jae Yong, Kim Byung-II, Oh Sang Keun, A Study on the Chemical Resistance Performance of Injection Type Leakage

7. ISO TR 16475(2011), Guidelines for the repair of water-leakage cracks in concrete structures, International Organization for Standardization, 2nd Ed., Switzerland.

요 지 : 본 연구에서는 지하 콘크리트 구조물의 누수 균열에 사용되는 주입형 누수보수재료의 품질관리 방안으로 규격화된 국제표준 ISO TS 16774 「Part 3 Test method for water(wash out) resistance」와 KS F 4935 「점착유연형 고무 아스팔트계 누수보수용 주입형 실링제」를 이용하여 현재 우리나라 누수보수현장에서 사용하고 있는 주입형 누수보수재료 5계열(합성고무계, 시멘트계, 아크릴계, 에폭시계, 우레탄계) 3종류씩, 총 15종류의 보수재료에 대한 지하 콘크리트 구조물이 처한 지하수의 유동성에 관한 유실 대응력의 안정성을 연구·검토하였다. 그 결과, KS F 4935 규격에서 규정하고 있는 “질량 변화율이 -0.1% 이내”의 성능 기준으로 고찰하면 합성고무계 RG-2, 우레탄계의 UG-1을 제외하고 나머지 13Type 보수재료는 다소 지하수의 유동성에 따른 유실 저항력의 안정화 방안 검토가 필요 할 것으로 판단된다. 본 연구 결과는 콘크리트 구조물의 균열 부위에 사용되는 보수재료의 선정에 있어 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, 유실저항성시험, 합성고무계, 시멘트계, 에폭시계, 우레탄계, 아크릴계 주입형 보수재료
