

콘크리트 구조물의 유지보수에 사용되는 누수보수재료의 인공 균열을 이용한 온도 안정성 시험평가

Thermal Stability Test Evaluation of Applying the Artificial-Crack of Water-Leakage Repair Materials Used in the Maintenance of Concrete Structure

김수연^{1*} · 김병일² · 오상근²

Soo-Youn Kim^{1*} · Byoung-Il Kim² · Sang-Keun Oh²

(Received September 7, 2016 / Revised September 22, 2016 / Accepted September 22, 2016)

This study is about the method to control the quality of material used to repair leakage and crack of concrete structure and suggests the “Temperature Stability Test Method” as a follow-up study. In the result of performance evaluation for 45 samples of 15 types in 5 series, the temperature stability test showed different material changes including rolling down, volume change, and color change as they are frozen and melt repeatedly in the somewhat extreme conditions at low(-20°C) and high(60°C) temperatures, where 13 samples (approx. 29%) and 32 samples (approx. 71%) showed leakage, respectively, in the permeability test to evaluate leakage. This result shows the enough importance of setting the quality control criteria of leakage repair material currently used to maintain concrete structures considering the temperature conditions, and proves the applicability of the Temperature Stability Test Method as a standard test method to ensure long-term durability of concrete structure.

키워드 : 콘크리트 구조물, 누수 균열, 보수재료, 온도 안정성, 인공균열

Keywords : Concrete structure, Water-leakage, Repair material, Thermal stability, Artificial-crack

1. 서론

콘크리트 구조물은 건축된 이후부터 다양한 열화 환경에 노출된다. 그 과정에서 반복적이고 지속적인 온도 변화로 인해 수축과 팽창이 반복되면서 콘크리트 구조물에서는 다양한 크기의 균열이 발생한다.

이러한 균열은 콘크리트 구조물의 내구성에 치명적인 문제점을 야기해 사용자로 하여금 불편함을 느끼게 함은 물론 초기 공사비 대비 많은 보수비용이 지출되고 있다.

유지 보수에도 불구하고, 누수로 인한 피해 사례가 사회적 문제점으로 인식되는 이유는 현재 환경 조건에 따른 콘크리트 구조물

의 온도 변화의 안정화 정도를 판단할 수 있는 규격화된 표준 기준 없이 단순히 재료의 기본 물성에만 의존하여 누수 보수재료를 사용하고 있으며, 이러한 문제는 반복적인 재 누수로 이어져 유지 보수비용을 증가시키고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 콘크리트 구조물에 사용되는 누수보수재료의 온도 변화에 대한 성능을 검증 할 수 있는 품질관리 평가 방법을 제안하고, 이를 이용하여 현재 누수보수 시공에 사용되고 있는 보수재료의 성능을 검증하여 온도 안정성시험평가의 정량화된 품질 관리를 목표로 하였다.

* Corresponding author E-mail: ohsang@seoultech.ac.kr

¹서울과학기술대학교 의공학 바이오소재 융합협동과정 건축프로그램(Department of Convergence Institute of Biomedical Engineering and Bio materials Program of Architecture Doctoral Course, Seoul National University of Science and Technology, Gongneung-ro 232, 01811, Korea)

²서울과학기술대학교 건축학부(Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Gongneung-ro 232, 01811, Korea)

2. 선행 연구

본 연구는 선행 연구로 진행된 Artificial-Crack-Behavior Test Evaluation of the Water-Leakage Repair Materials Used for the Repair of Water-Leakage Cracks in Concrete Structure(Kim et al, 2016b) 후속 연구로 진행되고 있으며, 선행연구에서 연구 검토된 인공 균열과 인공 균열 시험체의 내용은 다음과 같다. 또한, 본 연구에서는 온도 범위 설정을 위하여 국내외 건설재료 관련 온도조건(KS, JIS, ASTM, BS 등)을 조사한 결과 온도 범위를 저온 -20℃, 고온 60℃로 설정하여 진행하였다.

2.1 인공 균열

실제 콘크리트 구조물에서의 누수 균열은 그 폭, 깊이, 형태 등이 매우 다양하여 시험 평가의 표준 조건인 동일 조건의 시험편 제작, 동일 기준 적용이 매우 어렵다. 이러한 표준 조건을 반영하여 동일한 형태의 폭, 깊이, 형태 등에 있어 재연성이 가능하도록 “인공 균열”을 제안하였다.

인공 균열은 하부 시험편 위에 5mm의 Spacer를 고정하고, 그 위에 상부 시험편을 올려놓아, 그 틈새를 5mm의 인공 균열 폭으로 설정하였다.

2.2 인공 균열 시험체

위에서 언급한 인공균열을 이용한 인공 균열 시험체는 Fig. 1과 같이 상부 시험체와 하부 시험체로 구성되고, 이 상·하부 시험체 중간에 Spacer(5mm)를 두어, 이 간극을 두께 5mm 인공 균열로 정의하였다.

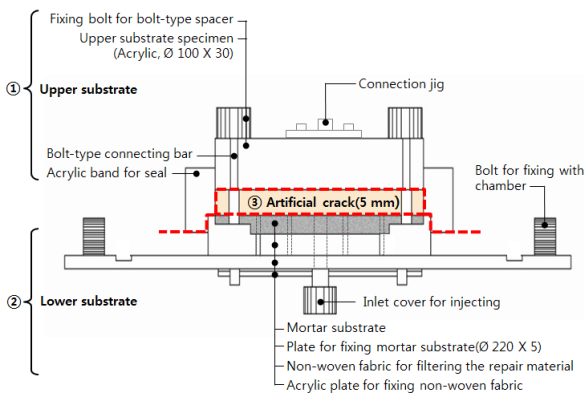


Fig. 1. Artificial-crack specimen

2.3 보수 재료 주입 및 시험편 정치

조립이 완료된 인공 균열 시험체는 Fig. 2(a)와 같이 완전 물속에 1시간 동안 정치 한 후, 이를 꺼내어 Fig. 2(b)와 같이 5mm의 인공 균열 부위에 Injection hole을 통하여 누수보수재료를 주입한 후 재료의 역류를 막기 위하여 Inlet Cover for Injection로 Fig. 2(c)와 같이 단단히 밀폐시켜 완성한다. 보수재료 주입 시 사용되는 기구는 각 보수재료의 특성 및 시방에서 정하는 것(소형주입기 혹은 주사기, 기타 주입가능 기기 등)을 사용한다. 주입이 완료된 시험체는 실험실 온도(20±3)℃, 습도는(65±5)% 조건에서 24시간 동안 정치시킨다.



(a) Rest in underwater condition for 1 hour



(b) Repair material injection



(c) Inlet Bar for injection installation

Fig. 2. Repair material injection and specimen rest

3. 온도 안정성 시험 방법

3.1 개요

온도 안정성 시험방법은 누수보수재료가 지속적이고 급격한 온도 변화 환경에서의 내구성을 평가할 목적으로 사용된다.

온도 안정성 시험방법의 기본 개념은 인공 균열 시험체 조립→누수보수재료의 주입→저온 및 고온 반복 온도 저항력 검증(저온 -20℃, 고온 60℃의 가혹 조건 범위)→누수여부 확인(투수 시험)으로 진행된다.

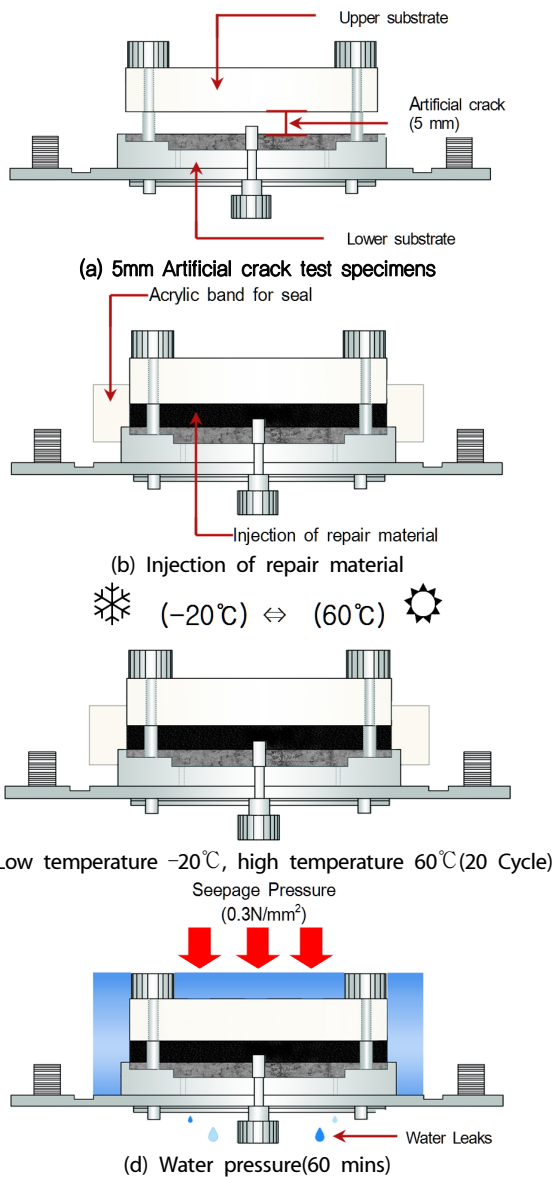


Fig. 3. Test method for temperature stability

3.2 온도 범위 설정

본 연구의 온도 안정성 시험을 위한 표준 온도 범위 설정을 위하여 선행 연구(Kim et al. 2016a)에서 검토된 국내외 건설재료 관련 규격의 온도 조건 범위 조사 결과를 토대로 저온 -20℃, 고온 60℃, 20회 반복하여 시험 평가하는 것으로 설정하였다.

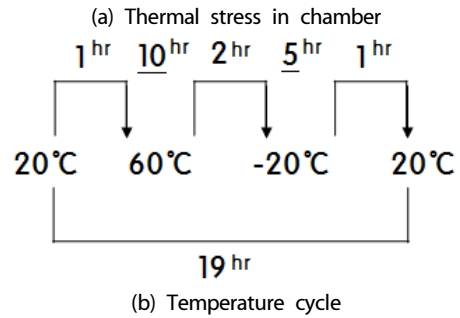


Fig. 4. Temperature test range

4. 보수 재료

본 연구에 사용된 보수재료는 현재 유지보수 현장에서 사용하고 있는 합성고무계, 시멘트계, 아크릴계, 에폭시계 및 우레탄계 등 5개 계열의 각각 3종류씩 총 15 종류의 보수재료를 대상으로 하였다. 사용된 재료의 구분은 선행 연구에서의 재료 구분과 동일하게 합성고무계-RG, 시멘트계-CG, 아크릴계-AG, 에폭시계-EG, 우레탄계-UG 로 표기 하였으며, 각 계열별로 사용된 3종류 재료는 1,2,3으로 표기하였다(예: 시멘트계의 경우, CG-1, CG-2, CG-3 로 표기). 사용된 재료의 주요 성분은 다음과 같다.

5. 온도 안정성 성능 평가

온도 안정성 시험 평가는 조성이 완료된 인공 균열 시험체를 설정된 온도 범위 조절이 가능한 챔버에서 온도 저항력 시험(저온 -20℃, 고온 60℃ 반복 시험)을 한 후 누수 유무를 확인하기 위한

Table 1. Leakage repair materials by series

Division		Componets
Series	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.
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 femicyanide, sodium persulfate, etc.
	AG-3	Main(sodium polyacrylate, acrylamide-sodium acrylate, water), hardener(sulfate compounds, water), accelerant(triethanolamine, water)
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
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

투수 시험을 실시한다.

5.1 온도 안정성 시험

보수재료의 온도 저항력을 판별하기 위한 시험은 설정된 온도 범위(저온 -20℃, 고온 60℃)를 기준으로 20℃에서 60℃로 올리는 데 1시간, 60℃에서 10시간 정지, 60℃에서 -20℃로 내리는데 2시간, -20℃에서 5시간 정지하고, -20℃에서 20℃로 올리는데 1시간을 1사이클로 하여 총 19시간 동안 20 사이클을 반복적으로 시험

평가 한다(Fig. 4(b) 참조). 시험에 사용되는 시험편 개수는 3개로 한다.

5.2 투수 시험

온도 저항력을 판별하기 위한 온도 안정성 시험이 끝난 후 OUT-put 방식의 수압을 부가하여 투수 시험한다. 투수 시험은 공기 압축기(air compressor)가 연결된 투수 시험기에 챔버(permeability test chamber)를 설치하고, 챔버 안에 물을 채워 넣는다. 이 챔버에 공기 압축기를 연결하여 0.3N/mm² 압력(지하 약 30m 깊이의 압력)을 부가하고, 어느 시점(분)에서 누수가 발생하는지를 확인한다. 누수 되지 않을 경우 1시간 동안 정지 후 시험 결과를 기록한다.

투수 시험에서는 누수량이 얼마인지에 대한 정량적 데이터 산출보다는 누수 유무를 중점적으로 평가한다. 이는 콘크리트 구조물에서의 누수는 누수 되는 양보다는 누수 상황 자체가 하자로써 더 중요한 판단이 되기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 누수가 발생하면 보수재료로서의 수밀 성능을 상실된 것으로 판단한다. 따라서 투수 시험 판정은 투수가 될 경우 “투수 됨”으로 기록하고, 투수가 안 될 경우 “투수 안 됨”으로 판정한다.

5.3 시험 결과

온도 안정성 시험을 위한 보수재료에 대한 온도 저항력 및 누수 유무 판별 시험 후 상태 육안 관찰 결과 Table 2, Table 3와 같이 나타났다.












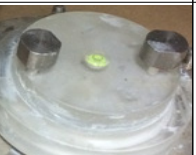



5.3.1 합성고무계(RG) 보수재료

온도 안정성 시험 결과, 저온(-20℃)에서는 9개 시험편 모두 유동성은 보이지 않았으나, 겔 상태가 유지되었고, 고온(60℃)에서는 9개 시험편 모두에서 녹아 흘러내림 현상이 발생하였다. 투수 시험 결과는 RG-1과 RG-3 시험편에서 각 1개씩 투수되었고, RG-2는 3개 시험편 모두 투수 되지 않았다.

5.3.2 시멘트계(CG) 보수재료

온도 안정성 시험 결과, 저온(-20℃)에서는 9개 시험편 모두 딱딱하게 얼은 상태를 유지하였고, 고온(60℃)에서는 수분이 증발하면서 현저한 체적 변화와 갈라짐 현상이 나타났다. 투수 시험 결과는 9개의 시험편 모두 투수되어 누수 되었다.

Table 2. Status of the specimens after the thermal stability test

Division	Naked-eye observation			Comprehensive judgment
Synthetic rubberized gel grout (RG)				Low temperature(-20℃): maintaining gel condition High temperature(60℃): many flows down occurs in all specimens(9)
Cement-based repair materials (CG)				Low temperature(-20℃): maintaining the ice hard conditions High temperature(60℃): moisture evaporation, volume change, cracking occurs
Acrylic-based repair materials (AG)				Low temperature(-20℃): maintaining the ice hard conditions High temperature(60℃): change in color, distinct volume change
Epoxy-based repair materials (EG)				Low temperature(-20℃): maintaining the ice hard conditions High temperature(60℃): distinct volume change, body separation
Urethane-based repair materials (UG)				Low temperature(-20℃): maintaining the ice hard conditions High temperature(60℃): distinct volume change, body separation

5.3.3 아크릴계(AG) 보수재료

온도 안정성 시험 결과, 저온(-20℃)에서는 굳은 상태로 유지되었지만, 시멘트계 보다는 딱딱하지 않았고, 고온(60℃)에서는 흐물흐물 한 상태로 변화되기를 저온, 고온 반복되면서 뚜렷한 색의 변화와 체적 변화가 나타났다. 투수 시험 결과는 AG-1의 경우 가장 많은 변화된 시료 중 하나로 1개는 투수되었고, 1개는 투수 되지 않았고, 1개는 보수재료가 저온에서 본체와 분리 파손되면서 시험 불가 상태가 되었다. AG-2는 3개 시험체 모두에서 투수되었고, AG-3는 1개는 투수되었고, 2개 시험편은 투수되지 않았다.

5.3.4 에폭시계(EG) 보수재료

온도 안정성 시험 결과, 저온(-20℃)에서는 아크릴계 보수재료와 동일하게 굳은 상태로 유지되었고, 고온(60℃)에서는 뚜렷한

색의 변화와 현저한 체적 변화로 간헐적으로 본체와 분리되는 부분이 나타났다. 투수 시험 결과는 EG-1의 3개 시험편 모두에서 투수되지 않았고, EG-2, EG-3 6개 시험편 모두에서 투수 되었다.




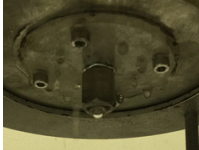



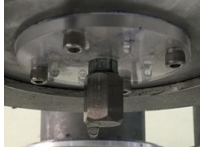
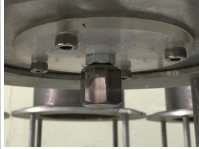






5.3.5 우레탄계(UG) 보수재료

온도 안정성 시험 결과, 저온(-20℃)에서는 굳은 상태로 유지되었고, 고온(60℃)에서는 뚜렷한 체적 변화와 본체와 분리 되는 현상이 나타났다. 투수 시험 결과는 9개의 시험편 모두에서 투수되었다.

6. 고찰

보수재료의 저온(-20℃), 고온(60℃)의 반복적인 온도 저항력과 투수 시험을 통한 누수 유무의 안정성을 시험 평가한 종합 결과

Table 3. Status of the specimens after the permeability test

Division	Presence and absence of water leakage			Comprehensive judgment
Synthetic rubberized gel grout (RG)	 RG-1-①	 RG-2	 RG-3-①	RG-1: Permeable(1), Impermeable(2) RG-2: Permeable(3) RG-3: Permeable(1), Impermeable(2)
Cement-based repair materials (CG)	 CG-1	 CG-2	 CG-3	CG-1: Permeable(3) CG-2: Permeable(3) CG-3: Permeable(3)
Acrylic-based repair materials (AG)	 AG-1	 AG-2	 AG-3	AG-1: Permeable(2), Impermeable(1) AG-2: Permeable(3) AG-3: Permeable(1), Impermeable(2)
Epoxy-based repair materials (EG)	 EG-1	 EG-2	 EG-3	EG-1: Impermeable(3) EG-2: Permeable(3) EG-3: Permeable(3)
Urethane-based repair materials (UG)	 UG-1	 UG-2	 UG-3	UG-1: Permeable(3) UG-2: Permeable(3) UG-3: Permeable(3)

는 다음 Table 4와 같다.

(1) 합성고무계(RG) 보수재료는 저온(-20℃), 고온(60℃)의 온도 안정성 시험에서는 녹아 내림 현상이 다소 발생하였지만, 투수 시험에서 9개의 시험편 중 약 77.7%의 7개 시험편에서 누수 되지 않아 고온과 저온의 온도 환경에 다소 저항력이 있는 것으로 확인되었다. 이는 고무와 고점착 성분의 아스팔트를 이용한 비경화형 고분자 수지의 특성으로 인하여 온도 환경의 영향을 적게 받아 고유의 고점착 성질을 상실하지 않기 때문이라 판단된다.

(2) 시멘트계(CG) 보수재료는 수용성 재료의 특성으로 인하여 온도의 영향을 다소 많이 받는 것으로 확인되었다. 특히, 저온(-20℃)에서 얼은 상태가 유지되면서 고온에서 수분이 증발하여 현저한 체적변화와 갈라짐 현상이 발생됨에 따라 균열이 발생되어 누수 되는 결과가 나타났다. 따라서 시멘트계열의 보수재료의 사용의

경우 온도 환경에 대한 충분한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

(3) 아크릴계(AG) 보수재료는 다소 연질적인 특성을 갖고 있는 재료이나, 저온과 고온이 반복되는 과정에서 연질성이 상실되고, 갖고 있던 고유의 색의 변화와 현저한 체적 변화가 나타났다. 이러한 체적 변화는 간헐적으로 공극이 형성되면서 투수 시험에서의 압력을 견디지 못하여 누수 되는 결과로 이어졌다.

(4) 에폭시(EG) 보수재료는 자체 강도가 매우 강한 재료 중 하나이나, 온도 환경에 대한 저항력은 EG-1재료를 제외한 EG-2, EG-3의 6개 시험편 모두에서 투수되는 결과로 나타나 온도 환경의 누수보수재료의 사용에 있어서는 다소 선별하여 사용하여야 할 것으로 판단된다.

(5) 우레탄(UG) 보수재료는 시멘트계 보수재료와 함께 9개의 시험편 모두에서 누수 되는 결과가 나타났다. 이는 고온에서의 녹아내림과 체적변화 등이 나타나면서 간헐적으로 들뜸, 갈라짐 등

Table 4. Comprehensive results of the thermal stability test

Division		Water tightness performance			Comprehensive results	
		S1	S2	S3		
RG	RG-1	×	●	●	⇒ Impermeable: 7EA(77.7%) ⇒ Permeable/Not test: 2EA(22.3%)	⇒ Impermeable: 13EA(29%) ⇒ Permeable/Not test: 32EA(71%)
	RG-2	●	●	●		
	RG-3	×	●	●		
CG	CG-1	×	×	×	⇒ Permeable/Not test: 9EA(100%)	
	CG-2	×	×	×		
	CG-3	×	×	×		
AG	AG-1	●	×	×	⇒ Impermeable: 7EA(77.7%) ⇒ Permeability/Not test: 2EA(22.3%)	
	AG-2	×	×	×		
	AG-3	●	×	●		
EG	EG-1	●	●	●	⇒ Impermeable: 3EA(33.3%) ⇒ Permeable/Not test: 6EA(66.7%)	
	EG-2	×	×	×		
	EG-3	×	×	×		
UG	UG-1	×	×	×	⇒ Permeable/Not test: 9EA(100%)	
	UG-2	×	×	×		
	UG-3	×	×	×		

Note: Impermeable: ●, Permeable/Not Test: ×

이 발생하여 투수압을 견디지 못하여 누수된 것으로 판단된다. 이에 우레탄계 보수재료의 유지보수 현장 적용에 있어서는 온도 환경에 대한 충분한 검토가 이루어진 후 사용되어야 할 것으로 판단된다.

7. 결론

본 연구에서는 콘크리트 구조물의 누수 균열 보수에 사용되는 재료에 대한 품질관리 방안으로 선행연구에 이어 후속 연구로 “온도 안정성 시험방법”을 제안하였다. 제안된 시험방법을 이용하여 5계열의 15 종류, 총 45개의 시험편을 대상으로 성능 평가 한 결과 온도 안정성 시험에서는 저온(-20℃), 고온(60℃)의 다소 가혹 조건의 온도에서 얼었다 녹았다가 반복되면서 흘러내림, 체적변화, 색의 변화 등 다양한 재료 변화가 나타났고, 이에 대한 누수 여부 판별을 위하여 투수 시험한 결과 약 29%인 13개의 시료는 누수 되지 않았고, 약 71%인 32개 시료에서 누수 되는 결과가 확인되었다.

이러한 결과는 현재 콘크리트 구조물의 유지보수에 사용되는 누수보수재료에 대한 온도 환경이 고려된 품질관리 기준 설정에 대한 필요성을 충분히 인식 할 수 있었으며, 콘크리트 구조물의 장기 내구성 확보를 위한 본 시험 방법인 “온도 안정성 시험방법”에 대한 표준적인 시험방법으로서의 활용 가능성을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 주거환경연구사업의 연구비지원(16RERP-B082204-03)에 의해 수행되었습니다.

References

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

ISO TR 16475. (2011). Guidelines for the repair of water-leakage cracks in concrete structures, ISOTC71, Switzerland.

Jung, W.S., Ali Khan, M., Jeon, Y.H. (2010). A study on the geochemical behaviors of FE (II) and As (V) in underground environment, Korean Soc. Eng. Geol., 337-340 [in Korean].

Kim, S.Y., Han, Y.J., Oh, K.W., Kim, B.I., Oh, S.K. (2016a). Studies on the testing evaluation of thermal stability of waterproofing repair materials used in concrete structure cracks and joints areas, Architectural Institute of Korea, 981-982 [in Korean].

Kim, S.Y., Oh, S.K., Kim, B.I. (2016b). 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., **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 Korean].
- Kwon, S.W., Oh, M.H., Kwat, K.S., Oh, S.K. (2006). Sealer of injection type for water leakage maintenance of adhesive flexible rubber asphalt series, The Korea Institute of Building Construction, **6(1)**, 87–91 [in Korean].
- Oh, S.K. (2002). A new approach on waterproofing and water-leakage repair technology of concrete structure, Korea Concrete Institute, 101–118 [in Korean].
- Oh, S.K., Cho, S.M., Song, J.Y., Park, J.S., Kim, S.Y., Lee, J.H., An, K.W. (2014). Apartment house basement waterproofing construction method optimization suggestions and new technology research, Korea Land & Housing Corporation, 47–143 [in Korean].
- Oh, S.K., Lee, J.Y., Park, K.B., Oh, J.S. (2012). Water-leakage maintenance technology and case of architecture as structure, Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation [in Korean].

콘크리트 구조물의 유지보수에 사용되는 누수보수재료의 인공 균열을 이용한 온도 안정성 시험평가

본 연구에서는 콘크리트 구조물의 누수 균열 보수에 사용되는 재료에 대한 품질관리 방안으로 선행연구에 이어 후속 연구로 “온도 안정성 시험방법”을 제안하였다. 제안된 시험방법을 이용하여 5계열의 15 종류, 총 45개의 시험편을 대상으로 성능 평가한 결과 온도 안정성 시험에서는 저온(-20℃), 고온(60℃)의 다소 가혹 조건의 온도에서 얼었다 녹았다가 반복되면서 흘러내림, 체적변화, 색의 변화 등 다양한 재료 변화가 나타났고, 이에 대한 누수 여부 판별을 위하여 투수 시험한 결과 약 29%인 13개의 시료는 누수 되지 않았고, 약 71%인 32개 시료에서 누수되는 결과가 확인되었다.

이러한 결과는 현재 콘크리트 구조물의 유지보수에 사용되는 누수보수재료에 대한 온도 환경이 고려된 품질관리 기준 설정에 대한 필요성을 충분히 인식 할 수 있었으며, 콘크리트 구조물의 장기 내구성 확보를 위한 본 시험 방법인 “온도 안정성 시험방법”에 대한 표준적인 시험방법으로서의 활용 가능성을 확인하였다.