

콘크리트 구조물에 있어서 누수균열 보수를 위한 일반지침 제안 연구

A Study on Guidelines for the Repair of Water-Leakage Cracks in Concrete Structures

오 상 근*

Oh, Sang-Keun

*School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology,
Nowon-Gu, Seoul, 139-743, Korea*

Abstract

This study outlines a successful and effective plan for repairing water-leakage cracks in concrete structures. The lack of adequate solutions for water-leakage cracks often results in unnecessarily high repair costs, and as such this remains a problem that requires constant attention. Unfortunately, despite the availability of a vast number of different materials and methods, it is often difficult to attain a perfect waterproof sealing

The reason for the difficulties in the repair of water-leakage cracks can be attributed to an insufficient knowledge and understanding of the negative factors (i.e., chemical and physical (mechanical) conditions) that cause water-leakage cracks, and of the properties of the repair materials and methods.

In this study, guidelines and methods for the selection of adequate materials for the repair of water-leakage cracks in concrete structures were developed for countries that do not already have general guidelines on this subject, and for local regulatory authorities elsewhere.

Keywords : Maintenance, Water-leakage cracks, Repair materials and methods, Local regulatory guidelines

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

콘크리트 구조물의 결함 중 안전성 및 내구성에 가장 큰 영향을 미치는 요소 중의 하나가 균열이다. 따라서 구조물의 장기적 안전성능과 내구수명을 유지하고, 이를 확보하기 위해서는 반드시 균열을 보수 또는 보강 하여야한다. 일반적으로 콘크리트 균열은 건조균열과 누수균열로 분류할 수 있다. 건조균열은 균열의 깊이, 폭 정도에 따라 콘크리트 구조물의 안전성 및 내구성에 영향을 미치고, 누수균열은 구조물의 안전성 및 내구성뿐만 아니라 시설물(구조물)의 용도에 따른 관리상의 문제나 생활 속에서의 불편함을 주는 문제도 함께

가지고 있다.

콘크리트 유지관리 분야에서는 이러한 누수균열을 보수하기 위해서 다양한 재료 및 공법을 사용하여 왔다. 그러나, 그 효과가 만족스럽지 못하였고, 반복적인 재보수는 오히려 구조물의 안전성을 훼손하고, 사회비용(보수비용) 증가의 원인이 되었다.

보수 실패의 가장 큰 원인인 누수균열은 건조균열과는 달리 상시 물(침입수, 습기)의 영향을 받고 있으며, 이뿐만 아니라 균열의 거동, 물의 성분, 수압 등 다양한 환경 요인이 복합적으로 작용함에 따라 보수재 및 공법이 이에 적절히 대응하지 못하였기 때문이다.

또한, 콘크리트 유지관리 전문가들에게 있어서도 누수균열에 대한 환경적, 공학적 지식 및 사용 보수 재료의 특성에 대한 이해 부족도 실패 사례로 지적되고 있으며, 이는 국내 외적으로도 유사한 상황이다.[1]

Received : October 31, 2010

Revision received : November 26, 2010

Accepted : December 7, 2010

* Corresponding author : Oh, Sang-Keun

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

©2010 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

따라서, 콘크리트 구조물은 국가적으로 유사한 공학적 특성(배합설계, 사용재료, 시공방법, 유지관리 등)을 가지고 있기 때문에 누수균열에 대한 접근 방향도 크게 다르지 않다는 판단 하에 국내외적으로 누수 균열에 대한 공통의 이해와 누수 보수 재료 선정을 위한 공통의 평가를 위한 지침(이하 지침서라 함)의 제정이 필요가 있다. 본 연구는 누수균열 보수를 성공적으로 실현할 목적으로 효과적인 누수 환경의 분석, 기존 재료 및 공법의 이해, 적정 재료 선정을 평가 방법, 유지관리를 위한 지침 개발을 목적으로 한다.

1.2 연구 및 지침의 적용 범위

본 연구 및 지침 연구의 진행은 Figure 1과 같다. 본 연구는 콘크리트 구조물에 있어서 균열 발생 이후에 나타나는 누수에 대한 효율적 보수를 위한 지침을 제안하는 것으로써 균열 발생에 관한 일반적 원인에 대해서는 취급하지 않았다. 또한 본 연구는 균열의 형태상 폭, 길이, 깊이의 진행(성장)이 멈춘 상태에서의 누수 균열을 대상으로 하였으며, 성장 균열에 대해서는 취급하지 않았다.

본 연구는 콘크리트 구조물에 위치하는 지하, 지상, 실내 등에서 누수 균열에 영향을 미치는 환경요인(화학적, 물리적 요인)을 분석하고, 누수 보수에 사용되는 재료 및 공법의 종류, 보수기술(재료 및 공법)에 요구 되는 성능, 효과적 보수를 위한 재료의 평가(선택) 방법, 시공 방법, 보수 공사의 안전성 확인 및 점검, 보수 후 유지관리 방법, 기록의 보전 방법 등에 관한 일반적 지침 사항을 제안한다.

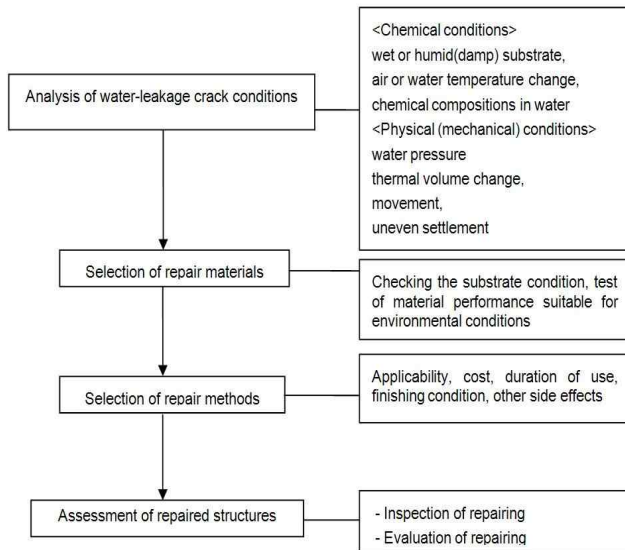


Figure 1. Flow chart for maintenance of water-leakage crack

2. 누수균열에 미치는 환경의 종류 조사

본 연구에서는 누수 균열이 상시 주변의 공기 온도 및 습도 변화, 물의 온도 및 성분에 의한 화학적 영향을 받으며, 온도 변화에 의한 구조체의 수축 및 팽창, 부등침하, 차량 진동에 따른 거동 등의 물리적 영향을 받고 있음을 파악하였고, 그 내용은 다음과 같다.

2.1 화학적 영향

누수 균열에 미치는 화학적 영향이란 지하, 지상, 실내 등에서의 균열 주변에 존재하는 물 및 습기의 성분(산, 알칼리, 염분 등), 공기 및 물의 온도, 습도 등의 화학적 요인이 균열 및 보수재의 성능에 직접적으로 작용하여 Figure 2와 같이 보수재의 화학적 안전성, 부착 안전성, 수밀성, 온도 안정성을 저하시킨다.



(a) Corrosion of sulfuric acid (b) Corrosion of chlorine

Figure 2. Water-leakage crack in chemical conditions

2.2 물리적 영향

누수 균열에 미치는 화학적 영향이란 지하, 지상, 실내 등에서 균열 주변에서 작용하는 온도 변화에 따른 구조체의 반복적 수축 및 팽창 작용, 부등침하 혹은 차량 진동에 의한 거동, 지하수의 수압 등 콘크리트 구조체와 균열, 보수재 사이에 작용하는 물리적 역학 작용으로 Figure 3과 같이 보수재의 부착안전성, 파괴 저항성(거동 대응성), 찌김 저항성, 수밀성을 저하시킨다.



(a) Influence of wind load (b) Quake on underground

Figure 3. Water-leakage crack in physical conditions

Figure 4에서는 누수균열에 미치는 환경적 영향을 화학적 요인과 물리적 요인으로 구분하고, 이에 적합한 요구 성능(대응 성능)을 제시하였다.

3. 보수재료에 요구되는 성능에 대한 정의

본 연구에서는 제 2장 환경 영향 요인을 조사하여, 누수 균열 보수를 위한 보수재가 확보(만족)해야 할 필요 성능에 대해 다음과 같이 정의하였다.

3.1 화학적 영향에 대한 요구 성능

3.1.1 온도의존성능

보수재료는 고분자계 또는 무기질계로 조성되는 재료로써 고온 및 저온의 온도 변화에 따라 수축 팽창을 반복하며, 이러한 반복 운동에 따른 피로에 의해 성능이 저하될 수 있다. 따라서 누수균열 보수용 재료는 주변의 온도 변화 범위에서 장기적으로 대응할 수 있는 온도의존성능이 요구된다.

3.1.2 내화학성능

구조물은 다양한 환경조건하에서 건설되어지며, 특히 지하 구조물의 경우는 항상 지하수와 토양이 접하고 있어, 이에

혼입되어 있는 산, 알칼리, 염분, 유분 등의 화학 물질 및 콘크리트 표층부에 존재하는 수산화칼슘에 의해 화학적 침식을 받을 수 있다. 특히 공장지역, 해안지역에서는 이러한 화학적 침식이 가중될 수 있다. 따라서 누수균열 보수용 재료는 주변의 화학 물질에 의해 침식을 받았을 때 장기적으로 대응할 수 있는 내화학성능이 요구된다.

3.2 물리적 영향에 대한 요구 성능

3.2.1 수중 유실 저항성능

누수균열 보수재는 액상 또는 겔 상태로 주입되므로 주입 이후 경화가 되기 전 혹은 경화 이후에 물에 의해 용해되거나, 유속에 의해 유실된다면 일정 두께를 확보 할 수 없어 점차 보수 성능을 상실한다. 또한 이러한 보수재가 물에 의해 유실될 경우 수질 및 토질 환경에 오염을 끼칠 수 있다. 따라서 누수 균열 보수용 재료는 지하수 혹은 침입수의 수압이나 유속에 의해 장기적으로 유실되지 않는 저항성능이 요구된다.

3.2.2 습윤면 부착 성능

누수 균열은 항상 물과 접하고 있는 습윤 또는 수중 상태의 환경이다. 이러한 환경에서도 보수 시공 이후 보수재와

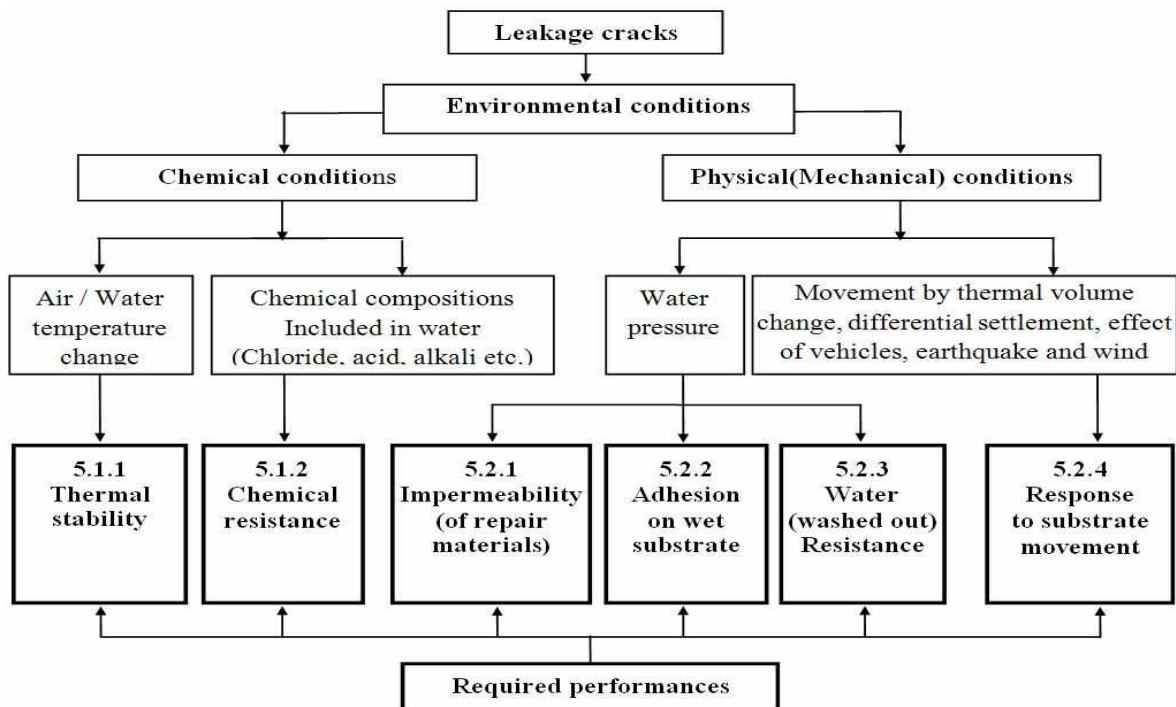


Figure 4. Environmental conditions and required performances for the repair of water-leakage cracks

바탕체의 접촉부에서는 물길이가 형성되지 않는 접착성을 유지하여야 한다. 즉 보수재는 젖어 있는 균열 바탕체 표면에서 양호한 접착성을 가져야한다. 따라서 누수균열 보수용 재료는 젖어 있는 균열 바탕체 표면에서 시공 이후에도 장기적으로 부착성(습윤면 접촉 또는 점착)성능이 요구된다.

3.2.3 투수저항성능(불투수성)

투수저항성은 누수 보수재의 가장 기본적인 물리적 성능으로 재료 자체의 불투수성을 의미한다. 누수 균열 주변의 바탕체(콘크리트)는 상시 습윤 또는 수중 상태의 조건이므로 보수재료는 보수 시공이 완료된 이후에도 불투수성을 유지해야한다. 따라서 누수균열 보수용 재료는 주변의 수압 및 수량 변화에 의해 장기적으로 대응할 수 있는 투수저항성능이 요구된다.

3.2.4 균열 거동 대응성능

누수균열은 주변의 온도 변화에 따라 수축 혹은 팽창을 반복하고, 철도 또는 교량 구조물, 발전실과 같은 구조물에서는 반복적 진동에 의한 거동 영향을 받게 된다. 이러한 거동은 균열 내부에 충전시킨 보수재를 압축 혹은 이완시키는 힘으로 작용하여 보수재에 피로하중을 가하게 되고, 심지어는 재료를 파괴시킨다. 또한 구조물의 부등침하나 주변 토사의 움직임에 의한 균열의 거동으로 보수재가 파괴된다. 이러한 보수재의 파괴는 재누수를 발생시킨다. 따라서 누수균열 보수용 재료는 균열의 거동 시 파괴되거나, 찢어지는 현상이 없도록 장기적으로 유연하게 대응할 수 있는 거동대응성능이 요구된다.

4. 기존 누수 균열 보수재료 및 공법 조사

본 연구에서는 제 2장 환경 영향에 대응하고, 제 3장의 요구 성능을 만족하는 보수재료의 선정을 위한 기초자료로서 현재 사용되고 있는 보수재료와 공법의 종류와 문제점을 파악하였고, 그 내용은 아래와 같다.

4.1 보수재료

누수균열은 시멘트(그라우팅)계 주입재, 에폭시수지계 주입재, 우레탄수지계 주입재, 아크릴수지계 주입재, 합성고무계 주입재 등을 이용하여 보수되었다.[1,2]

이들, 누수 균열 보수를 목적으로 사용되는 보수 재료는 제 3장에서 언급한 화학적, 물리적 환경 영향을 지속적으로 받으므로, 선정 시에는 이에 대응할 수 있는 재료를 선택하여야한다.

4.1.1 시멘트계 주입재

시멘트계 주입재는 열팽창률이 콘크리트와 유사하고, 습윤 상태에서도 접착성이 양호하여 누수 균열 보수재로 사용되고 있다. 종래의 시멘트계 주입재는 미세한 결함(0.05mm 정도)에 주입이 어렵고, 접착성이 낮아 적용에 어려웠으나, 최근 초미립자시멘트(최대입경 : 16 μ m이하)와 폴리머디스퍼존을 혼합한 폴리머시멘트슬러리계 주입재의 개발로 균열폭 0.05mm의 결함에도 주입이 가능하다.

그러나, 시멘트계 주입재는 대체로 경질형 재료로 경화 시의 건조 수축, 유연성 부족, 수중 불경화로 구조물의 거동 및 진동 영향 시 균열 주입재가 파손되는 문제점을 안고 있어 사용에 충분히 유의하여야 한다.

4.1.2 아크릴수지계 주입재

아크릴계 보수재는 아크릴산 중합체로서 공장에서 1성분형계 재료로 생산되며, 물과의 접촉 반응으로 젤리형의 점성을 가지며, 누수균열의 내부에서 물을 차단하는 효과가 있어 누수균열 보수재로 사용된다.

그러나 주입 이후 재료 강도가 약하여 균열 거동시 파괴가 일어나는 문제가 발생하기 때문에, 거동이 큰 조인트 등에는 사용하지 않는다. 또한 습윤 상태의 균열 표면에서는 바탕체와 완전 밀착하는 성능이 약하여 차량 및 교량 등의 진동 균열, 수중 조인트 등에서는 사용을 권장하지 않는다.

4.1.3 에폭시수지계 주입재

에폭시수지계 보수재는 아민과 폴리아마이드 등의 합성수지 성분으로 구성된 재료로서 주재와 경화제의 화학반응으로 고강도, 고접착 성능을 갖는 재료이다. 또한 흐름성이 좋아 균열폭 0.05mm까지 주입할 수 있어서 구조 보강 공사 등에 폭넓게 사용된다.

그러나, 대부분의 에폭시수지는 균열 내부 혹은 주변 표면에 습기가 있을 경우 경화불량으로 부착되지 않거나, 열팽창 계수가 콘크리트에 비해 크기 때문에 균열 거동시 유연성이 부족하여 접촉면 파괴가 일어난다.

최근에는 습윤 경화형 에폭시 수지의 개발로 콘크리트 공극 내에 잔여 습기가 있더라도 효과적으로 부착되도록 하였다. 따라서 에폭시수지를 사용할 경우에는 현장의 수분 환경 조건을 분석한 후 접착성, 거동 대응성(유연성), 온도 변화 등에 적절히 대응할 수 있는 재료를 사용하여야 한다.

4.1.4 우레탄수지계 주입재

폴리우레탄계 주입재에는 소수성의 팽창성 독립기포를 형성하는 재료와 친수성의 겔을 형성하는 재료로 구분된다. 폴

리우레탄계 주입재는 일반적으로 누수가 심각한 균열의 틈새에 소수성 발포형 주입재를 충전시켜 물의 흐름을 일시적으로 차단시킨다.

이 재료는 어느 정도 스폰지형으로 유연성이 있어서 균열 폭의 거동에 대응이 가능하나, 발포체 내에는 많은 셀(기포)이 형성되어 균열 거동에 따라 발포체가 압축, 이완을 반복하여 주변의 물을 흡수, 발산하므로 보수효과는 지속적이지 못하다.

4.1.5 합성고무계 젤 주입재

합성고무계 젤 주입재는 고무와 아스팔트 등의 고분자 수지와 벤토나이트 등 무기계 성분을 융합, 결합시켜 유연성 및 물과 접촉 시 팽창하여 습윤면 부착이 가능하고, 균열의 거동에 대응할 수 있으며, 수중에서도 부착성을 유지하도록 개발된 재료이다.

그러나, 이 재료는 비경화형 유연성 재료이므로 수중에서의 유실 방지에 충분히 유의하여야 한다.

4.2 보수공법

누수균열 보수공법은 균열 내부에 주입 충전 방법, 균열 표면부 충전 및 코팅 처리 방법, 멤브레인 보호막(도막 및 시트계 재료) 처리 방법, 기존 방수층을 활용하여 방수층을 재형성하는 방법 등이 사용되고 있다^[2].

이들, 공법을 선정하기 위해서는 제 3장에서 요구하는 성능의 재료를 사용하고 시공성, 비용, 사용주기, 마감상태 등을 사전에 분석한다.

4.2.1 주입 공법

누수균열 보수용 주입공법은 Figure 5와 같이 경사주입, 직접주입, 간접주입으로 구분한다. 경사주입과 직접주입은 구조체 내부(균열 틈새)에 직접 보수재를 주입하여 누수를 차단하고, 간접주입은 구조체 배면에 보수재를 주입하여 누수를 차단하는 공법이다. 그러나 경사주입공법이나, 직접주입공법은 보수재가 균열틈새에 완벽히 충전되지 않는 경우가 많고, 균열의 거동에 의해 주입보수재가 손상되는 사례가 발생하므로 시공 후 유지관리에 유의하여야 한다. 또한 배면 주입공법은 주입재가 완전히 경화되기 전에 유실되는 사례가 많고, 수직 균열이 높은 벽체에서는 배면 상부까지 충전되지 않으므로 재료 손실이 크기 때문에 주입효과가 적다.

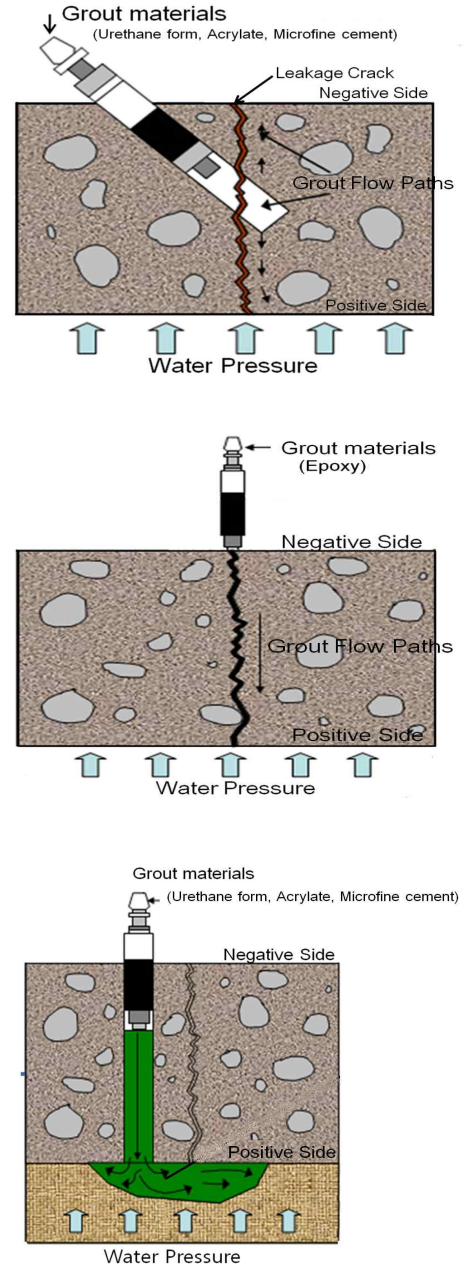


Figure 5. Injection methods of repair

4.2.2 방수층 재형성 공법

방수층 재형성 공법은 Figure 6과 같이 구조체와 기존의 방수층(멤브레인 방수) 사이에 보수재를 주입하여 방수층의 성능을 회복시켜, 누수를 차단한다.

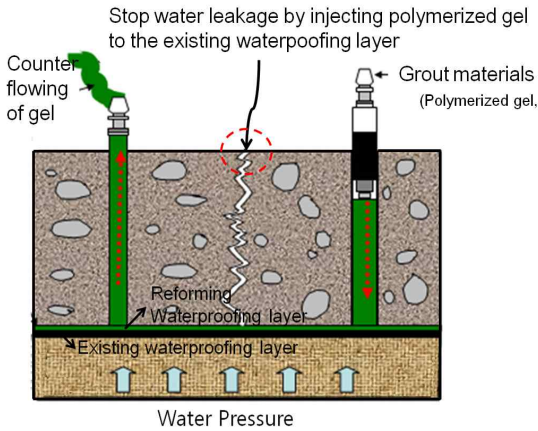


Figure 6. Injection method for re-forming of waterproofing layer

5. 적정 보수재료의 평가방법 및 품질기준

누수균열의 다양한 환경조건에 대응하고, 성공적인 보수 효과를 얻기 위해서는 제 4장의 보수재료 및 공법은 반드시 제 3장의 요구 성능을 만족하여야 한다. 본 연구에서는 이러한 성능을 확보한 보수재료 및 공법을 선정하기 위하여 아래의 평가 방법 개발하고, 관련 품질기준을 제안한다.

5.1 보수 재료 및 공법의 평가방법

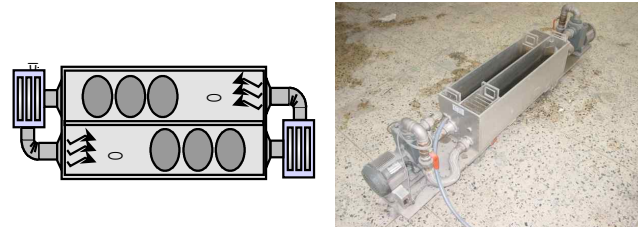
5.1.1 유실저항성 평가

- 1) 목적 : 누수 균열 보수용 재료가 지하수, 침입수의 수압 및 유속에 의해 유실되지 않고, 장기적으로 성능 지속할 수 있는지를 확인한다.
- 2) 시험방법
 - ① 유실저항 시험체는 $\varnothing 100\text{mm} \times 10\text{mm}$ 의 플라스틱 샤알레에 윗면까지 평평하도록 내부에 완전하게 충전 한 후, 샤알레 상부에 180g/m^2 부직포를 덮어 고무줄로 밀봉한 후 표준 양생실(온도(20±3)℃, 상대습도(65±5)%의 시험실)에서 3일간 정치한다. 시험체 개수는 6개로 한다.
 - ② 유실저항 시험체의 중량을 측정하고, Figure 7의 유실 저항성 시험 장치에 물을 채운 후 시험체를 넣고, 0.2MPa의 유속으로 48시간 동안 시험체 위로 물을 흐르게 한 후, 시험체를 꺼내어 상온에서 시험체에 묻어 있는 수분이 충분히 건조될 때까지 24시간 정치한다. 건조 후 시험체의 중량 변화율(%)을 다음 식에 따라 계산한다.

$$\text{중량 변화율}(\%) = \frac{(b - c) - (a - c)}{(a - c)} \times 100$$

여기에서

- a : 시험 전의 시험체 중량(g)
- b : 시험 후의 시험체 중량(g)
- c : 건조상태의 (샤알레+부직포+고무줄)의 중량(g)



(a) Concept of wash-out (b) Test equipment

Figure 7. Test for water resistance (wash-out resistance)

- 3) 평가 : 시험체(주입재)에 일정 시간 동안 유속을 가하여 시험 전·후의 중량 변화율을 측정하여, 중량 변화가 작을수록 적합한 재료로 판단하며, 중량변화율은 5.2의 품질기준에 따른다.

5.1.2 내화학성 평가

- 1) 목적 : 누수균열 보수용 재료가 균열 주변의 화학물질에 의해 침식을 받았을 때 장기적으로 성능을 지속할 수 있는지를 확인한다.
- 2) 시험방법
 - ① 내화학성 시험체는 $\varnothing 65\text{mm} \times 10\text{mm}$ 크기의 플라스틱 샤알레에 보수재를 샤알레 윗면까지 평평하도록 내부에 완전히 충전 한 후, 표준양생실에서 3일간 정치한다. 시험체의 개수는 3개로 한다.
 - ② 내화학성 시험체의 중량을 측정하고, KS M ISO 6353에서 규정하는 화학약품의 수용액(산은 2% 수용액, 일칼리는 0.1% 수용액, 염화나트륨은 10% 수용액) 속에 시험체를 Figure 8과 같이 168시간 침지한다
 - ③ 침지 후 시험체를 꺼내어 흐르는 물로 충분히 씻은 후 상온에서 24시간 정치하여 건조시킨 후 중량을 측정한다. 건조 후 시험체의 중량 변화율(%)을 다음 식에 따라 계산한다.

$$\text{중량 변화율(\%)} = \frac{(b - c) - (a - c)}{(a - c)} \times 100$$

여기에서

- a : 시험 전의 시험체 중량(g)
- b : 시험 후의 시험체 중량(g)
- c : 건조상태의 샤알레 중량(g)



(a) Chemical condition (b) Stability in chemical condition

Figure 8. Test for chemical attack resistance

- 3) 평가 : 산, 알칼리, 염화나트륨 등에 침지시킨 시험체의 중량이 감소하지 않은 것을 내화학성이 있다고 판단한다. 중량변화가 작을수록 적합한 재료로 판단하며, 중량변화율은 5.2의 품질기준에 따른다.

5.1.3 온도의존성 평가

- 1) 목적 : 누수균열 보수용 재료가 균열 주변의 물 혹은 공기의 온도변화에 대해 장기적으로 안정적 성능을 유지할 수 있는지를 확인한다.
- 2) 시험방법
 - ① 온도의존성 시험체는 안쪽치수 $\varnothing 100\text{mm} \times 30\text{mm}$ 크기의 플라스틱 형틀을 사용하여 KS L 5207에서 규정하는 방법으로 제작한 모르타르를 이용하여 상부 시험편과 하부 시험편을 제작한다.
 - ② 표준양생 후 하부 시험편에 지름 3mm 구멍을 9개 뚫고, 상부 시험편을 올려놓을 수 있도록 $\varnothing 15\text{mm} \times 20\text{mm}$ 의 철제 혹은 플라스틱 스페이서를 에폭시수지 접착제를 사용하여 3개소에 설치한다.
 - ③ 상부 시험편을 올려놓은 후, 상부·하부 시험편의 가장자리와 틈새를 투명테이프로 둘러 밀봉한 후, 시험체를 물속에 넣고, 주입재를 수중에서 주입하여, 표준양생실에서 24시간 동안 정치한다. 시험체 개수는 3개로 한다.
 - ④ 시험체를 저온(-20 ± 1) $^{\circ}\text{C}$, 고온(60 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 의 온도 조절이 가능한 Figure 9와 같은 챔버에 넣고, 20사이클을 돌린다(1사이클은 20°C 에서 60°C 로 올리는데 1시간, 60°C 에서 10시간 유지, 60°C 에서 -20°C 로 내

리는데 2시간, -20°C 에서 20°C 로 올리는데 1시간 정치시킨 것으로 한다)

- ⑤ 온도 변화 부하 후, 시험체를 꺼내어 상온에서 1시간 동안 정치시킨 후, 투수시험을 실시한다.
- ⑥ 투수시험은 투수시험편에서 투명테이프를 제거하고 KS F 4919에서 규정하는 투수시험 장치(Out-Put 방식)를 이용하여, 0.3 N/mm^2 의 수압을 1시간 동안 가한 후 투수 유무를 확인한다.



(a) Heat attack in chamber (b) Heat cycling chamber

Figure 9. Test for thermal stability

- 3) 평가 : 저온 및 고온 환경에서 수차레의 사이클 시험을 실시하고, 사이클 시험 후 물이 새는지의 유무를 확인하여 투수저항성을 판단한다. 온도 저항성은 5.2의 품질기준에 따른다.

5.1.4 습윤면 부착 안정성 평가

- 1) 목적 : 누수균열 보수용 재료가 젖어 있는 균열 내부의 콘크리트 표면에서 장기적으로 견고히 부착(접착 또는 점착)하는 성능을 유지할 수 있는지를 확인한다.
- 2) 시험방법
 - ① 습윤면 부착 시험체는 5.1.3 (2)의 ①항의 구멍 없는 모르타르 시험편(상부, 하부 시험편) 2개를 사용한다. Figure 10과 같이 모르타르 시험편을 일체화시킨다. 시험체 개수는 3개로 한다.
 - ② 상부 시험편 바닥에는 $\varnothing 100\text{mm} \times 2\text{mm}$ 의 합성 고분자계 시트를 에폭시 본드로 전면 점착한다. 그리고 상부 및 하부 시험편 사이 3개소에 $\varnothing 10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 의 철제 및 플라스틱 스페이서(Spacer)를 에폭시 본드로 부착한다.
다만, 스페이서를 부착한 시험체 밀판의 무게는 (600 ± 5)g이 되도록 깎아내거나, 배면에 납 등을 부착하여 무게를 조정한다.
 - ③ 하부 시험편 표면에 붙은 스페이서 위에 합성 고분자계 시트가 부착된 상부 모르타르 시험편을 올려놓은 후 상·하부 시험편 틈새를 투명한 테이프로 둘러 밀봉한다. 시험체의 개수는 3개로 한다.

- ④ 시험체를 수온 (20±2)℃의 수중에 보수재를 주입한 후 24시간 수중에 정치한다(Figure 11).
- ⑤ 물 속에서 천천히 시험체를 꺼내어 시험체 둘레의 투명테이프를 제거한 후, 시험체 상부 모르타르 시험편을 서서히 들어 올리고, 그 순간부터 1/100초까지 측정 가능한 초시계로 시험체 밑판이 탈락할 때까지의 시간을 측정한다.

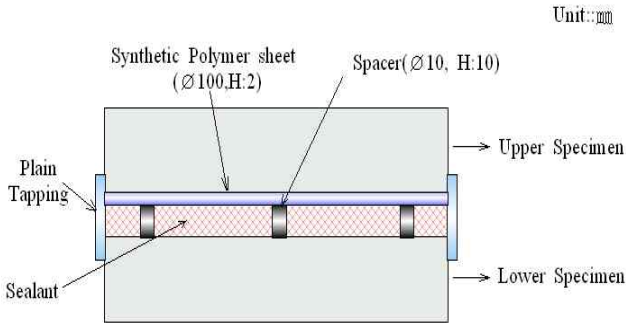


Figure 10 Specimen for adhesiveness on wet substrate



(a) Injection of Material in water (b) adhesiveness observation

Figure 11. Test for adhesiveness on the wet crack

- 3) 평가 : 시험체가 누수 보수재와 탈락하지 않거나, 장시간 부착되어 있을수록 적합한 재료로 판단하며, 습윤면 부착 안정성은 5.2의 품질기준에 따른다.

5.1.5 투수저항성 평가

- 1) 목적 : 누수균열 보수용 재료가 균열 주변의 수압에 의한 물리적 영향이 작용할 때 안정된 투수저항성능 (불투수성능)을 유지할 수 있는지를 확인한다.
- 2) 시험방법
 - ① 투수저항 시험체는 Figure 12와 같이 투수시험편과 투수시험 보조판으로 구성된다. 투수시험편은 5.1.3의 (2)시험방법 ①, ②, ③과 같이 제작한다. 투수시험보조판(Support plate)은 지지판(외부 Ø220mm×5mm)과 누름판(Ø145mm×5mm)으로 구성되고, KS D 3698에서 규정하는 STS 304 강판 및 강대를 사용하여 만든다. 지지판의 가운데에는 Ø90mm의 구멍을 뚫고, 둘레에는 누름판과의 연결을 위한 봉형 볼트(Ø10mm×120mm)와 수압용 수조를 고정하기 위한 볼트(Ø10mm×120mm)를 설치한다.

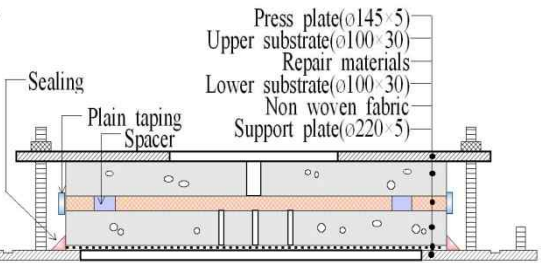
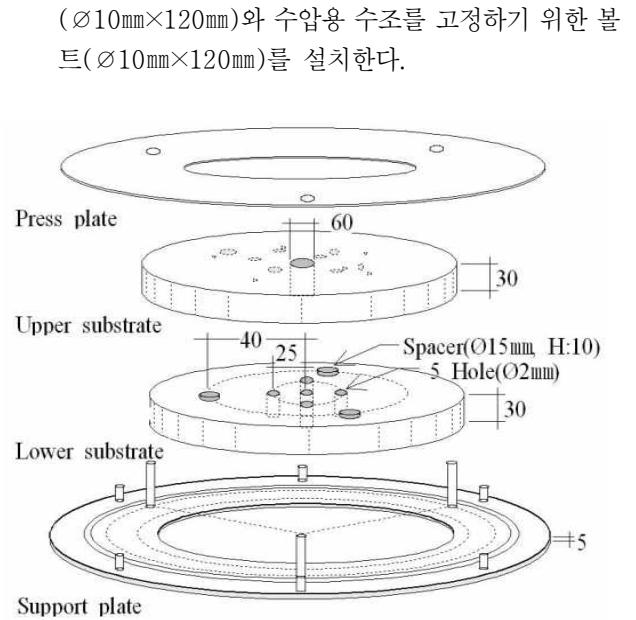


Figure 12. Diagram for impermeability specimen

- ② 투수저항 시험체의 조립은 Figure 12에서 표시한 바와 같이 투수시험 보조판의 지지판 구멍 위에 직경 100mm, 180g/m²의 부직포(실링재가 수압에 의해 밀려 수조로 떨어지는 것을 방지할 목적으로 사용)를 에폭시 본드로 전면에 접착한다.
- ③ 부직포를 접착한 후 투수시험편을 그 위에 얹고, 그 측면을 실란트로 방수 처리한 후 완전히 경화할 때까지 정치한다.
- ④ 실란트가 완전히 경화 한 후 누름판을 얹고 스페이서가 파손되지 않도록 고정시킨 후 투수시험 보조판 전체를 온도 (20±2)℃의 수중에 넣고, 투수시험편에 실링재를 주입한 후, 24시간 수중에 정치한다.
- ⑤ 시험체를 물속에서 꺼내어 투수시험편에서 투명테이프를 제거하고 KS F 4919에서 규정하는 투수시험장치(Out-Put 방식)를 이용하여, 0.3 N/mm²의 수압을 1시간 동안 가한 후 투수 유무를 확인한다.

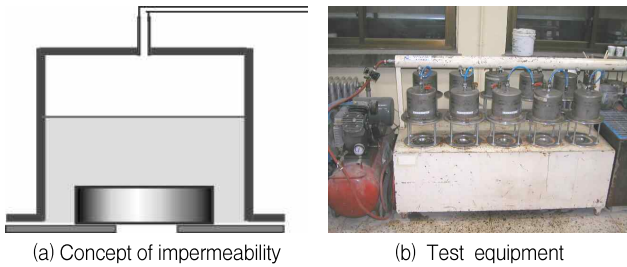


Figure 13. Test for impermeability

3) 평가 : 누수 보수재를 주입한 시험체에 일정시간 동안 일정 수압을 가하여 투수되지 않거나 투수량이 적을수록 적합한 재료로 판단한다. 투수 저항 성능은 5.2의 품질기준에 따른다.

5.1.6 구조물 거동 대응성 평가

- 1) 목적 : 누수균열 보수용 재료가 빈번히 발생하는 균열 주변의 온도 변화에 의한 수축 팽창 작용이나, 주변에서의 구조체 거동(부동침하, 차량 진동 등) 영향에 파괴되지 않는 성능을 확인한다.
- 2) 시험방법
 - ① 구조물 거동 대응성 시험체는 Figure 14와 같이 거동 시험체(모르타르 형틀과 거동봉)와 보조 시험체(고정용 밀판과 누름판)으로 구성된다.
 - a) 모르타르 형틀은 보수재를 고정하기 위한 형틀로서, 5.1.3에서 사용한 모르타르 시험편의 가운데에 $\varnothing 40$

mm의 구멍을 갖는 형태로 제작한다.

- b) 거동봉은 스테인레스 재질로하고, 그 하부는 보수재가 콘크리트 표면에 부착되는 것을 상정하여 모르타르로 보강한다.
 - c) 누름판과 고정용 밀판은 스테인레스 재질로 한다.
- ② 시험체의 조립과 거동 부하는 다음과 같다.
- a) 거동 시험체의 밑면에 직경 100mm, 180g/m^2 부직포를 에폭시 본드로 전면 접착한다.
 - b) 거동 시험체의 구멍 뚫린 부위에 높이 10mm로 모래를 채우고, 이것을 수온 $(20\pm 2)^\circ\text{C}$ 의 수중에 침적시킨 후 거동봉을 보조시험체의 구멍 중앙부에 수직으로 놓고, 보수재를 거동봉 주변에 채운 후 24시간 정치한다.
 - c) 수중에서 거동 대응성 시험체를 꺼내어 시험체에 묻은 물기를 제거한 후 온도 $(20\pm 3)^\circ\text{C}$, 습도 $(65\pm 5)\%$ 에서 물기가 완전히 없어질 때까지 최소 24시간 정치한다.
 - d) 물기를 제거한 시험체를 고정용 밀판에 고정시킨 후 누름판을 시험체 위에 얹고 시험체가 움직이지 않도록 볼트를 조인다.
 - e) 완성된 시험체를 양생조의 온도가 $(20\pm 3)^\circ\text{C}$ 인 피로 시험기에 고정시킨 후 피로 시험기를 작동시켜 거동봉으로 0~5mm의 확대 축소를 1분에 1회의 비율로 거동시켜 연질 실링제인 경우에는 600회, 경질 실링제인 경우에는 200회 반복시킨다.

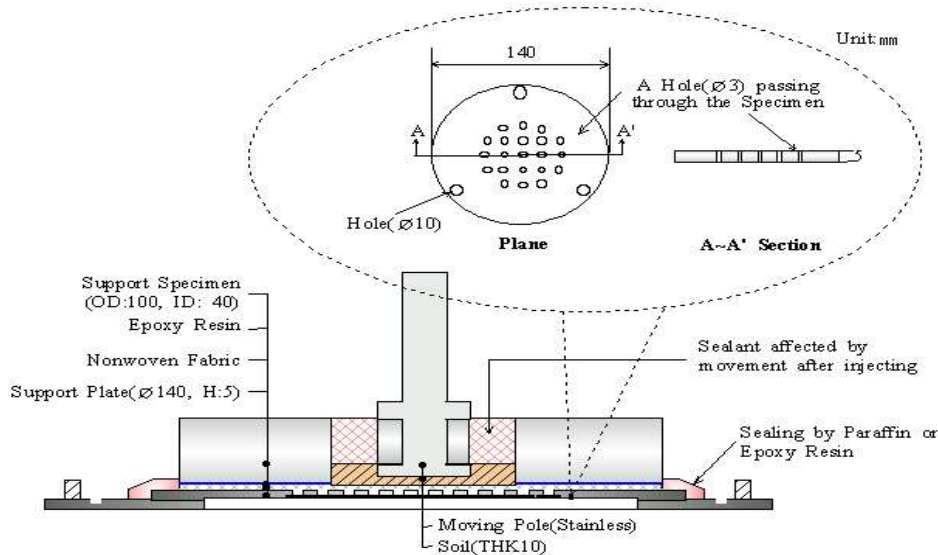


Figure 14. Test for responsiveness to the substrate movement

- f) 시험체를 피로 시험기에서 꺼내어 구조물 거동 대응성 시험 장치의 고정용 밀판과 누름판을 제거한 후, 받침판 위에 시험체를 얹어 놓고 그 가장자리를 실란트로 실(Seal) 처리한다. 그리고 실란트가 완전히 경화할 때까지 48시간 정치한다.
- g) 실란트가 경화한 후 시험체를 KS F 4919의 투수 시험 장치(Out-Put 방식)에 고정시켜 1시간 동안 0.1 N/mm²의 수압을 가하여 투수 유무를 확인 한다.

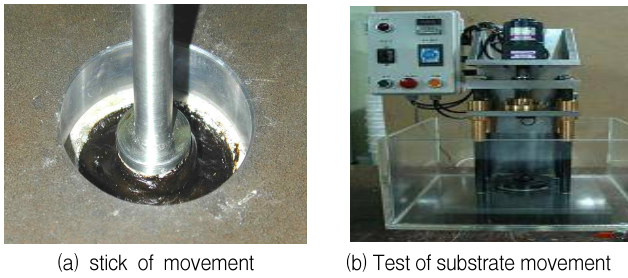


Figure 15. Test for responsiveness to the substrate movement

- 3) 평가 : 일정 폭의 틈새(균열)를 유지한 시험체에 보수재를 주입한 후, 일정한 거동 폭과 거동 수를 반복하여 재하한 후 투수시험을 통하여 투수되지 않거나 투수량이 적을수록 적합한 재료로 판단한다. 구조물 거동 대응 성능은 5.2의 품질기준에 따른다.

5.2 보수 재료의 품질기준

제4장의 보수재료 및 공법은 제 3장의 요구 성능을 가져야 한다. 현재 사용되고 있거나, 향후 개발되는 재료에 대해서는 제5장 5.1의 평가를 통하여 Table 1의 품질기준을 만족하여야한다. 본 품질기준은 현재 사용되고 있는 재료들을 대상으로 평가한 자료를 근거로 작성된 것이다.

Table 1. Standards of repair materials for water leakage crack

Performance items	Standards of quality	Related test methods
water(wash out) resistance	allow a rete of weight change of -0.1% or less	5.1.1
chemical resistance	Acid Alkali Sodium chloride	5.1.2
thermal stability	do not allow water penetration after being effected by thermal change	5.1.3
adhesion on wet substrate	hold the two mortar pieces together for 60 second or more	5.1.4
Watertightness	do not allow leakage under applied water pressure	5.1.5
response to substrate movement	do not leak under stress due to moving substrate	5.1.6

6. 보수부위의 성능 검사

6.1 보수공사 검사

누수균열 보수 공사를 성공적으로 수행하기 위해서는 공사 준비 과정, 시공 과정 또는 시공 완료한 후 누수 차단 효과의 확인 등 해당 보수공사가 소정의 목적대로 이루어지고 있는지 또는 이루어졌는지를 먼저 육안으로 확인한다. 누수 보수는 비교적 외관 검사로 그 효과를 쉽게 확인할 수 있지만, 내구성 향상 등을 목적으로 한 보수의 경우에는 그 효과의 확인이 쉽지 않다. 따라서 작업 시의 사용 재료, 배합비, 시공 기간, 품질관리 방법 등에 대한 기록을 확인하고, 향후의 유지관리를 위한 자료로써 전체적 마감 상태를 사진으로 촬영하여 기록한다.

누수 균열의 보수 효과는 보수재가 누수균열 내부에 장기간 양호하게 부착 또는 충전되어 있어야 함이 중요하다. 이를 평가하기 위하여 필요 시 성능 평가 시험도 시행하여, 확인하여야 한다. 평가 시험 방법에는 가스 압력 누수 진단법, 빗물 또는 비눗물 누수 측정법 등을 활용한다.

또한 대규모 혹은 주요 구조부(교각, 기둥, 벽, 보 등)에서의 누수 균열 보수 공사는 구조상 문제가 되지 않는 범위(개소)를 대상으로 작은 직경의 코어를 채취하여 보수 효과를 확인한다.

6.2 보수공사의 평가

누수 보수 결과에 대한 최종의 평가는 누수 현상이 없음을 확인하는 것이다. 그러나 누수균열 보수공사가 완료된 시점에서 그 효과를 평가하여 결론을 내리기에는 많은 어려움이 따른다. 평가 결과, 설계 및 시공의 오류를 발견하거나, 성능 및 효과가 충분하지 못할 경우에는 그것을 처리하고, 재시공을 하여야 하는 문제도 발생한다. 이는 관리상으로도, 경제적으로 큰 손실을 가져다주며, 오히려 보수 자체에 대한 신뢰도를 떨어뜨린다.

따라서 이와 같은 시행착오를 줄이기 위해서는 보수를 요구하는 구조물의 환경조건의 분석, 적정한 보수 재료 및 공법 선정, 시공 및 품질관리(시험계획서 포함) 계획, 지속적 유지관리 계획 등이 사전에 시스템적으로 검토 보완되어져야 하며, 특히 보수 작업 과정에서의 품질관리가 수시로 이루어져야 한다.

7. 자료의 기록 및 보관

누수 보수공사를 완료한 후에는 결함의 조사 방법, 결함 발생의 원인 추정과 보수 필요 여부의 판정 경위, 보수 설계

서, 보수재료의 선정 방법, 보수공사 및 평가에 대한 기록, 유지관리 계획서, 최종 평가 결과의 기록물 등 관련 자료를 보존한다. 이는 해당 구조물에 대한 장기적 안전관리 차원에서 반드시 필요한 자료이며, 기타 다른 구조물에서의 누수 보수 공사를 위한 참고 자료로도 활용한다. 보존 자료의 종류는 다음과 같다

- a) 보수이력서(년, 월, 일)
- b) 누수균열에 대한 정보
- c) 보수재료에 대한 정보
- d) 보수공법에 대한 정보
- e) 보수결과에 대한 정보
- f) 보수공사 시점의 기후에 대한 정보
- g) 보수재료 품질 시험에 대한 정보
- h) 기타 필요한 사항

8. 결 론

본 연구는 콘크리트 구조물의 누수 균열의 보수를 합리적으로 시행하기 위한 지침을 제안한 것이다. 본 제안은 누수 균열 보수설계 및 보수 시공에 있어서 설계자, 시공자가 누수 균열의 환경조건을 이해하고, 그에 적합한 재료 및 시공 방법을 선정하기 위한 자료로 활용할 수 있다.

단, 본 연구 범위에서 취급하지 않은 누수 균열 보수재의 품질 기준, 품질 시험 방법에 대해서는 향후 본 지침의 개정 및 보완 과정에서 반영될 수 있도록 연구중이며, 후속적으로 이에 대한 결과를 발표하고자 한다.

요 약

누수균열은 상시 콘크리트 구조체의 거동, 물의 성분, 수압, 온도, 화학 물질 등 다양한 환경 요인의 영향이 작용함에 따라 이에 대응할 수 있는 성능을 확보한 보수재료 및 공법이 사용되어야 한다.

본 연구에서는 콘크리트 구조물은 국가적으로 유사한 공학적 특성(배합설계, 사용재료, 시공방법, 유지관리 등)을 가지고 있기 때문에, 누수균열에 대한 보수 접근도 크게 다르지 않을 것으로 보고, 향후 유지관리 전문가들의 공통적 기술 지침의 필요에 따라 자료를 개발하였다.

키워드 : 유지관리, 누수균열, 보수재료 및 공법, 국제적 지침

References

1. ICRI Technical Guideline No.03738, Guide for selecting grouts to control leakage in concrete structures, ICRI(International concrete repair institute), Des plaines, IL; 2006.
2. Peter H. Emmons, Concrete repair and maintenance illustrated, Kingston: R.S. means company, inc.; 2003.
3. KS F 4935, Injection type sealants for leakage maintenance, KATS(Korean agency for technology and standards), Korea; 2003.
4. KS F 4919, Cement polymer waterproofing material, KATS(Korean agency for technology and standards), Korea; 2006.