



02

콘크리트 구조물의 누수 메커니즘과 방수의 필요성

Mechanism of Water Leakage and Need of Waterproofing in Concrete Structure

송제영 Je-Young Song
(주)BK방수 · 방식연구소 소장

곽규성 Kyu-Sung Kwak
삼성물산(주) 건설부문 차장

오상근 Sang-Keun Oh
서울과학기술대학교 건축학부 교수 및 주택대학원 원장

1. 머리말

근래 콘크리트로 시공된 사회기반시설이나 건축구조물에서의 누수가 종종 사회적으로 문제시되어 많은 논란이 되고 있다. 콘크리트 구조물의 누수는 어제 오늘의 문제가 아니고 콘크리트 구조물이 탄생한 시점부터 우리 기술자들이 해결해야 할 큰 숙제 중의 하나이다. 콘크리트는 일반적으로 수밀한 재료라고 인식되고 있으며, 구조재료로써 큰 강도를 가지고 있기 때문에 물에 대해서는 크게 문제가 되지 않는다고 생각되고 있다. 그러나 이러한 구조물에서의 누수는 구조물의 안전성 외에도 사용성에 많은 어려움을 가져오고 있는 실정이다.

그 동안 콘크리트의 누수문제를 해결하기 위해 수중, 수처리, 해안 및 지하구조물, 고가교량, 초고층 건축 등 많은 콘크리트 구조물에 대하여 설계단계에서의 누수방지대책을 수립하고 다양한 방수기술을 적용하여 왔다. 지상, 지하 및 수중 등 모든 공간에는 물이 항상 존재하기 때문에 구조물의 안전성, 내구성, 기능성, 쾌적성을 확보하기 위해서는 반드시 방수를 하여야 한다. 콘크리트공학에서는 이러한 경우 고품질의 수밀 콘크리트를 사용하고, 방수공학에서는 다양한 방수재료를 사용하여 물의 침입을 차단하는 것을 기본으로 하고 있다. 그러나 현실적으로 이러한 방수상의 조치에 대한 효과는 제대로 나타나지 않고 있는 실정이다. 비용이나 신뢰성의 문제로 설계자와 시공자는 항상 고민하며, 고강도 수밀 콘크리트 구조물에서는 방수 조치가 필요 없다고 판단하여 방수를 누락시키거나 품질확보에 적극적이지 못한 상황도 종종 나타나고 있다. 콘크리트 구조물의 누수와 관련하여 가장 큰 원인으로 제기되는 것은 균열이며, 그 외에도 시공과정에서 발생하는 타설 이음부, 신축줄눈, 폼 타이 구멍, 골재분리 등의 취약부를 통해 누수가 발생하게 된다(사진 1).

이러한 관점에서 본 고에서는 콘크리트 구조물의 누수 원인이나 메커니즘을 이해하고 그에 따른 방수 대책에 대하여 정리하고자 한다.



사진 1. 콘크리트 구조물의 누수 현상

2. 콘크리트 구조체로의 수분 침입현상

2.1 투수계수와 수분의 침투

일반적으로 콘크리트에 방수가 필요 없다고 생각되는 이유는 수밀성이 있으며, 그 수밀성은 Darcy의 투수계수법칙 식 (1)로 이해하기 때문이다.

$$Q = KAP/L \dots\dots\dots (1)$$

여기서, Q: 물의 유량(cc/s), K: 투수계수(mm/s), A: 시험체의 단면적(mm²), L: 시험체의 두께(mm), P: 수두차(물의 깊이)

예를 들어 지상의 밀폐된 콘크리트 구조물의 슬래브(지붕 옥상, 수조 등)에 빗물(저장된 물)이 100 mm 정도 찼다고 가정하였을 때, 면적 1m × 1m, 두께 100 mm의 콘크리트 슬래브(골재의 최대입경 30 mm, 물-시멘트비(W/C) 55%)의 투수계수가 약 2 × 100 mm/s로 예측되며, 이것을 식 (1)과 같이 계산하면 면적 1m²의 누수량은 1시간에 약 0.00071cc 정도이다. 이러한 미량의 수분이 옥상 콘크리트 슬래브를 통하여 새어 나온다 하더라도 내부 건조에 의해 소멸되기 때문에 누수로 인정되지 않는다. 또한 지하 수압이 10 m 깊이의 높은 수심에 콘크리트 지하 벽(두께 200 mm)을 타설한 경우, 최하부 기초에 가까운 부위의 콘크리트에서는 1m²의 면적으로부터 발생하는 누수량이 1시간에 0.036 cc/h가 된다. 이 경우 소량이나마 투수현상 자체는 인정되지만, 이 정도의 수분은 거의 무시할 정도의 양이므로 수분이 통과된다고 하더라도 실내 공기 중에서 자연 증발되어 소멸된다. 따라서 정상적인 콘크리트 구조체에서는 물이 통과한다고 생각하기 어렵다는 것을 알 수 있다. 그러나 콘크리트의 시공 혹은 양생과정에서 발생하는 균열, 곰보, 이어치기부, 시공줄눈, 폼타이 구멍, 관통배관 주변마감, 구조체의 연결부위 등은 투수계수의 개념과 관계가 없는 부위로서 수분의 영향으로 누수를 유발한다.

2.2 콘크리트 결함부와 물의 침투

전술한 바와 같이 콘크리트는 기본적으로 수밀하여

건축구조물 내부로 누수의 우려가 없다고 하지만 현실은 지상 슬래브, 지하 외벽 등에서 누수가 크게 문제시되고 있다. 이에 대부분의 지상 구조물에는 방수층이 시공되고 있으나 지하구조물은 선택적으로 방수층이 시공되어 외방수를 적용하지 않은 경우 콘크리트의 재료 또는 시공상 원인으로 누수현상이 발생하게 된다.

콘크리트의 결함(균열, 이어치기부 등)은 피할 수 없는 현상이라고 말할 수 있으며, 이러한 결함을 통한 누수는 막을 수 없다. 따라서 결함부에 대한 물의 침입을 방지하기 위한 방수(외방수)는 반드시 필요하다. 이와 관련하여 일본 동경공업대학의 타나카교지(田中孝二) 교수와 신영주 박사가 결함부에서의 누수문제를 실험적으로 검증한 내용은 <그림 1>과 같다.

2.2.1 균열부에서의 누수

균열에 의한 누수 연구는 다수의 연구자가 시행한 실험 조건이 다양하기 때문에 결과는 꼭 일치하지 않지만, 많은 데이터를 종합적으로 판단하면 누수가 발생되지 않는 한계 균열 폭을 대략 0.05 ~ 0.15 mm로 보고 있다. 조사결과 실제 건물에서는 0.15 mm 이상의 균열이 많고, 이러한 균열에 수압이 작용하면 누수의 위험성이 더욱 커진다. 균열에 의한 누수는 균열 폭, 균열 깊이, 콘크리트 부재 두께, 수압의 영향을 받는다. 조사결과<그림 1> 100 mm 두께의 콘크리트 옥상 슬래브 위에 빗물이 95 mm 높이로 고여 있는 상태를 가정하면, 균열 폭 0.05 mm 정도부터 누수가 시작되어 누수량은 균열 폭의 약 4승에 비례하여 증가하는 결과를 나타내고 있다.

특히 방수 측면에서 문제가 되는 것은 균열이 온도나 수분 상태의 변화 또는 외력에 의해 움직임이 발생하

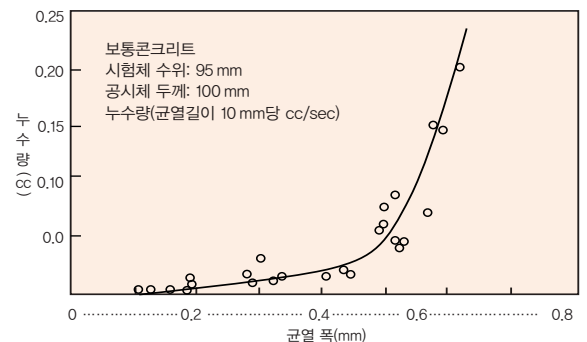


그림 1. 균열 폭과 누수량

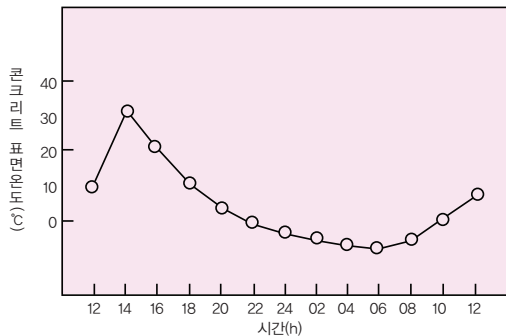


사진 2. 벽 균열의 측정위치

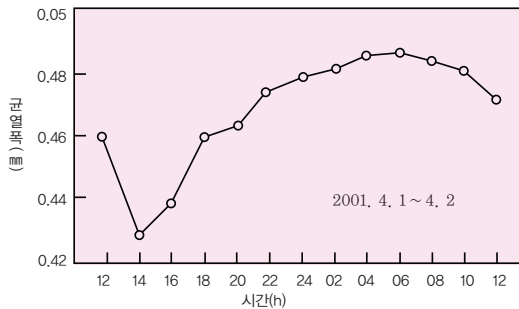
는 것이다. 실제로 <사진 2>와 같은 0.4mm 정도의 건물 외벽의 균열을 온도변화에 따라 움직임을 측정한 결과 기온 17℃일 때에 1일간 콘크리트의 온도 거동 폭은 0.43~0.49mm로 약 0.06mm의 범위로 움직이고 있다<그림 2>. 이러한 작은 균열거동이 반복피로를 받으면 콘크리트 바탕위에 시공된 방수층이나 균열부위를 보수한 방수재(지수재)가 손상되어 누수가 발생하게 된다.

2.2.2 이어치기부(콜드조인트)에서의 누수

콘크리트의 이어치기부위도 수밀성이 떨어지는 문제점이 있다. 이어치기부위는 타설 계획에 따라 설계



(a) 콘크리트 표면온도



(b) 시간별 균열 폭 변화량

그림 2. 벽 균열의 거동 측정

단계에서 만들어지는 경우와 작업여건상 1회 타설 구간에서 타설 시간차에 의해 발생하는 2가지 종류가 있다. 전자는 새로운 콘크리트를 타설하는 동안 먼저 타설된 콘크리트 면을 잘 처리할 수 있기 때문에 어느 정도의 수밀성 확보가 가능하나 후자는 예상치 못한 경우로 타설 시간이 수밀성에 큰 영향을 미쳐 중대한 결함부(타설 시간이 길어지면 콜드조인트 발생)가 발생된다. 이어치기부나 콜드조인트는 압축력을 받기 때문에 구조적으로 문제는 없으나 외부 수압이 작용되면 누수로 연결된다<사진 3>.

<그림 3>은 이어치기한 시험체와 이어치기면이 없는 건전부 시험체를 대상으로 투수성을 비교한 결과로써 이어치기부위의 투수계수가 건전부보다 큰 결과를 나타내고 있다. 그러나 투수계수는 시간의 경과와 함께 점점 감소하는 경향을 보인다. 이것은 시간의 경과에 따라 실리카겔의 형성과 누수에 포함되어 있는 미립분에 의해서 공극이 작아지기 때문이다. 이러한 시험결과 이어치기부는 결코 수밀한 부위가 아니며, 언제라도 누수가 발생할 수 있는 부위임을 알 수 있다. 또한 전체적으로 이어치기 간격이 길어짐에 따라 투과성은 지수함수적으로 상승하는 경향을 보인다. 이러한 현상을 입증하기 위하여 형광염료를 녹인 용액을 시험체에 투과시킨 후 블랙램프를 이용해 발광에 의한 물의 투과경로를 관찰한 결과는 <사진 4>와 같다.



사진 3. 이어치기부(좌)와 콜드조인트(우)의 누수

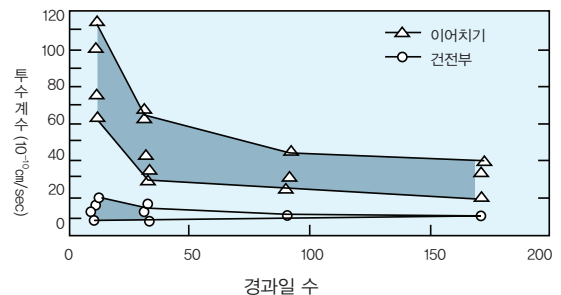


그림 3. 이어치기부위와 건전한 부위의 투수계수

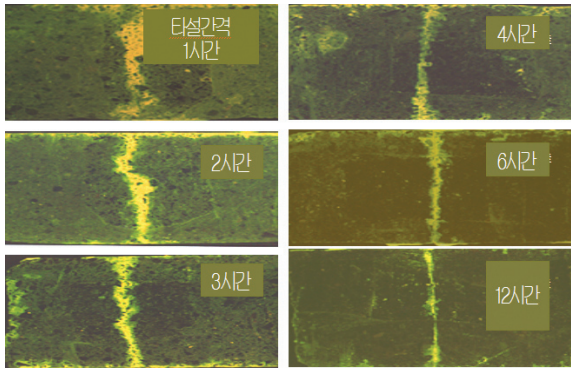


사진 4. 형광염료용액을 이용한 콜드조인트부의 투과경로 관찰 결과

2.2.3 거푸집 간격재 주위에서의 누수

거푸집 간격재 주위도 누수현상을 유발하는 결함 중의 하나이다. <사진 5>는 거푸집 간격재 주변의 누수 사례로, 그 원인은 거푸집 간격재의 하부가 블리딩과 콘크리트의 침하에 의해 공극이 생기기 쉬운 부분이기 때문이다.

거푸집 간격재 주위의 결함을 시각화된 기법을 적용하여 평가된 <그림 4>의 결과에서도 거푸집 간격재 주위는 공극이 생기기 쉽고 공극 발생부는 누수의 원인이 된다는 것을 제시하고 있다.

3. 콘크리트의 결함발생 방지와 방수상의 조치

콘크리트에서 발생하는 결함을 현실적으로 방지할 수 없다면 어떤 형식이든 방수를 해야 할 필요가 있다.



사진 5. 거푸집 간격재 주변의 누수

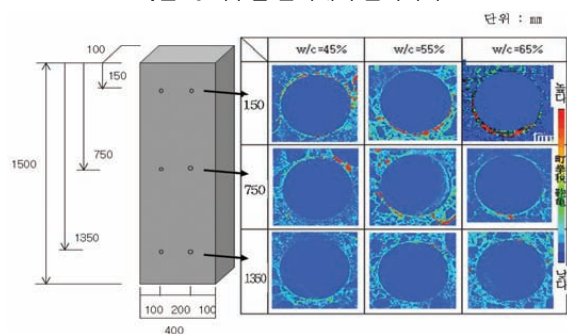


그림 4. 거푸집 간격재 주위의 공극 분포상태(갈륨주입)

콘크리트는 온도와 습도변화에 민감하게 반응하므로 콘크리트 부재에 어느 정도의 결함이 발생할 것인가에 대한 예측은 중요한 사항이다. 콘크리트의 결함 방지를 위한 방안을 정리하면 다음과 같다.

(1) 균열이 없는 콘크리트

콘크리트 설계 시 균열저감 혹은 억제를 위해 혼화재료, 섬유보강재의 활용을 통하여 균열이 발생하지 않도록 해야 한다. 콘크리트는 균열이나 결함이 발생하기 때문에 방수를 하는 것이지만 균열의 발생정도를 가능한 최소화 하는 것이 무엇보다 중요하며, 이러한 방법이 방수 부담도 줄여주는 효과도 있다.

(2) 표면강도가 높은 콘크리트

방수는 일반적으로 콘크리트에 방수재를 붙이거나 발라서 시공하므로 방수원리상 접착강도를 높여도 콘크리트 표면강도가 낮아지게 되면 표층부가 파손되어 방수기능이 떨어지게 된다. 콘크리트 표면은 직접적으로 수분이나 열화물질에 직접 노출되고 각종 환경조건의 영향을 받으므로 가능한 표면강도를 높게 하거나 별도의 표면강화용 방수재 또는 수밀성 강화제를 도포하는 등의 방법을 활용할 필요가 있다.

(3) 타설 계획 및 신축줄눈의 처리방법

누수에 취약한 이어치기부위나 콜드조인트가 발생하지 않도록 콘크리트 타설 계획을 잘 세워야 하며, 신축줄눈을 설치할 경우 줄눈의 거동량을 파악하여 이에 적합한 실링재를 적용하여야 한다. 이어치기부, 콜드조인트에서 시간이 경과한 경우 이전 타설 콘크리트의 표면을 잘 청소하고, 특수 처리제를 이용한 표면보강처리로 후 타설 콘크리트와의 부착을 강화하여야 한다.

(4) 거푸집 공사계획


거푸집 사용계획 시 가능한 폼타이, 간격재를 사용하지 않는 거푸집의 활용을 고려한다. 또한 거푸집 고정에 사용하는 간격재, 폼타이에 특수한 차수 기능을 갖는 지수재 등을 부착하여 물의 침입을 차단하는 기능을 부여하는 방법도 고려하여야 한다.

(5) 방수공사의 계획과 시행

상기의 4가지 방법을 통한 보완 조치를 하여도 콘크리트 결함부에서는 수압의 변화나 지속적 작용으로 물이 침투하여 누수 문제를 야기할 수 있다. 따라서 상기

의 방법과 구조체 외면(수압작용 위치)에 방수재를 이용하여 콘크리트 구조체에 물이 접촉하는 것을 근본적으로 차단하는 방수공사를 병행하여야 한다.

4. 맺음말

콘크리트라고 하는 재료는 국부적으로는 그 자체가 수밀성을 가지고 있으나 구조물을 형성할 경우 조인트나 균열과 같은 결함으로 인하여 완전한 방수기능을 확보하기는 어렵다. 따라서 콘크리트로 만들어진 구조물의 안전성, 내구성, 기능 및 사용성을 만족하기 위해서는 완전한 방수기술이 필요하며, 이를 위해 콘크리트 자체의 품질확보와 아울러 방수재료나 공법을 이용한 적절한 방수조치가 병행되어야 한다고 사료된다. 

담당 편집위원 : 이한승(한양대학교) ercleehs@hanyang.ac.kr

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, 「특수콘크리트공학」, 기문당, 2004. 12.
2. 申英珠, 田中享二, 콘크리트 壁體의 打ち足し部とセパレーター部の 水密性, 東京工業大學大学院, 博士論文, 2003.
3. 김무한, 「건축재료학(신제)」, 2000.
4. 吳祥根, 田中享二, 小池迪父, ケイ酸質微粉末混合セメント系塗布防水材料の濕潤環境下のコンクリートおよびモルタルに対する水密性改善効果に関する研究, 東京工業大學大学院, 博士論文, 1992.
5. KS F 4926, 콘크리트혼입용 구체방수제.
6. P.Kumar Mehta, Paulo J.M.Monteiro, Concrete, 1993.



송제영 소장은 서울과학기술대학교 주택대학원에서 ‘유류성분이 지하구조물의 아스팔트계 방수층에 미치는 영향’에 대한 연구로 석사학위를 취득하였다. 현재 (주)BK방수·방식연구소 소장으로 재직 중이며, 주요 업무로는 건설구조물 방수/방식기술 평가, 구조물 누수진단 및 보수/보강, 건설신기술 지원 등을 총괄하여 담당하고 있다.
jeyoung414@hanmail.net



곽규성 박사는 서울과학기술대학교 산업대학원에서 석사학위 취득 후 충남대학교에서 ‘상수도 구조물의 내구성 향상과 장수명화를 위한 방수/방식 공법 선정기준’에 관한 연구로 박사학위를 취득하였다. 현재 삼성물산(주) 건설부문에 재직 중이며, 중요시설의 방수재료 및 공법 설계, 유지관리 등의 업무를 수행하고 있다.
kyusung.kwak@samsung.com



오상근 교수는 동경공업대학교에서 ‘규산질계 분말형 도포 방수재료가 콘크리트 및 모르타르의 수밀성 향상 효과에 미치는 영향에 관한 연구’로 박사학위를 취득하였다. 주요 교육 업무는 건축재료 및 시공, 건축품질 및 표준화, 보수보강 및 유지관리 등이다. 현재 서울과학기술대학교 건설기술연구소 방수기술연구센터장으로 방수 및 누수 안전에 관한 KS 및 ISO 개발, 신기술 개발, 품질 평가 및 성능 개선 연구와 ISO TC71/SC7/WG3 컨비니어를 담당하고 있다.
ohsang@seoultech.ac.kr