

감리자를 위한 방수기술 자료(5)

콘크리트 구조물 누수 원인의 이해와 방수의 필요성



오상근 | 서울과학기술대학교
건설기술연구소 방수기술센터장 / 교수

1. 서론

오랜 세월을 통해서 사회기반시설, 건축물, 주택 등 콘크리트 구조물에서의 누수 문제는 종종 사회적으로 큰 논란이 되어왔다. 과거 언론에서 크게 보도되었던 주요 시설물에서의 누수 사고 기록을 보면 1992년 독립기념관의 지붕 누수, 1995년 예술의 전당 지붕 누수, 1999년 인천국제공항 지하차도 누수 등을 비롯하여 2000년도 이후 건설 산업의 발전과 함께 지하철 개착식 구조물 누수, 공동구(통신구, 전력구) 구조물 누수, 아파트 단지 지하 주차장 누수 등 크고 작은 다양한 형태의 누수 문제가 발생하였고, 지금도 적지 않은 문제가 지속되고 있다.

이를 해결하기 위한 소요된 사회 비용도 막대하다. 사회기반시설이나 건축 구조물에서의 누수나 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, 구조재료로서 큰 강도를 가지고 있기 때문에 물에 대해서는 크게 문제가 되지 않는다고 생각하고 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 설계 단계에서의 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.

콘크리트 공학에서는 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 실정이며, 비용이나 신뢰성의 문제로 설계자와 시공자는 고민하고 있으나, 고강도 콘크리트 구조물에서는 방수 조치가 필요없다고 판단하여 방수를 누락시키거나 품질 확보에 적극적이지 못한 사례도 자주 나타나고 있다.

콘크리트 구조물의 누수와 관련하여 가장 큰 원인으로 제기되는 것이 균열이며, 그 외에도 시공과정에서 발생하는 타설 이음부, 신축줄눈, 폼 타이 구멍, 골재분리 등의 취약부는 반드시 수압의 작용으로 누수가 발생된다(사진 1).

이러한 상황에서 감리자의 입장에서도 콘크리트 구조물의 누수 원인과 메커니즘을 정확히 이해하고, 현장에서 방수 및 누수 안전에 대한 대책을 강구하여야 한다.



〈사진 1〉 콘크리트 구조물의 누수 현상

2. 콘크리트 구조체로의 수분 침입현상의 이해

2.1 투수계수와 수분의 침투

일반적으로 콘크리트는 방수가 필요없다고 생각되는 이유는 수밀성이 있다고 생각하기 때문이며, 그 수밀성은 Darcy의 투수계수 법칙(식 1)으로 이해하기 때문이다.

(식 1)

$$Q = KAP/L$$

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 100mm 정도 차 있다고 가정하였을 때, 면적 1m×1m, 두께 100mm의 콘크리트 슬래브(골재의 최대 입경 30mm, 물시멘트비(w/c) 55%)의 투수계수가 약 2×100mm/s로 예측되며, 이것을 (식 1)에 대입하여 계산하면 면적

1m²의 누수량은 1시간에 약 0.00071cc 정도이다. 이러한 미량의 수분이 만약 옥상의 콘크리트 슬래브를 통하여 스며 나온다 하더라도 내부에서 건조되어 소멸됨으로써 방수의 개념에서 볼 때 누수가 되지 않는 것으로 인정된다.

또한, 지하수압이 높은 수심 10m 깊이에 콘크리트 지하 벽(두께 200mm)을 타설한 경우, 최하부 기초에 가까운 부위의 콘크리트에서는 1m²의 면적으로부터 발생하는 누수량이 1시간에 0.036cc/h가 된다. 이 경우에서도 소량이나마 투수현상 자체는 인정되지만, 이 정도의 수분은 거의 무시할 정도의 양이므로, 수분이 통과되고 하더라도 실내 공기 중에서 자연 증발되어 소멸된다. 따라서 정상적인 콘크리트 구조체에서는 물이 통과한다고 생각하기 어렵다는 것을 알 수 있다. 그러나 콘크리트는 시공과정 혹은 양생과정에서 발생하는 균열, 곰보, 이어치기부, 시공줄눈, 폼타이구멍, 관통배관 주변마감, 구조체의 연결부위 등은 투수계수의 개념과 관계가 없는 부위로서 수분의 영향으로 누수를 유발하게 된다.

또한 지하 및 옥상(누름 보호층이 있는)의 콘크리트(지하외벽 및 지붕 슬래브)는 항상 물에 젖어 있는 상태이다. 콘크리트는 조직의 치밀도(다공성)에 따라 모세관 공극이 다양한 형태로 존재하고, 물시멘트비, 양생 조건 등에 따라 조직의 치밀도는 달라진다. 지하외벽 콘크리트는 상시 직접 수압(10m에 1kgf의 수압작용)을 받게 되면 물이 흡수되어 포수(함수)상태가 존재한다. 이는 실내의 온도나 습기 조건에 따라 결로 발생의 원인이 된다.

2.2 콘크리트 결합부와 물의 침투

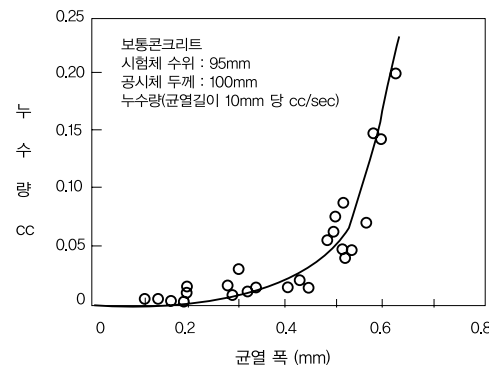
전술한 바와 같이 콘크리트는 기본적으로 수밀하여 건축구조물 내부로의 누수 우려가 없다고 하지만 현실에서는 지상 슬래브, 지하외벽 등에서의 누수가 크게 문제시 되고 있다. 이에 대부분의 지상 구조물에는 방수층이 시공되고 있으나 지하구조물은 선택적으로 방수층이 시공되어 외방수를 적용하지 않은 경우 콘크리트의 재료 또는 시공 상의 원인으로 누수현상이 발생하게 된다.

콘크리트의 결합(균열, 이어치기부 등)은 피할 수 없는 현상이라고 말할 수 있으며, 이러한 결합을 통한 누수는 막을 수 없다. 따라서 결합부에 대한 물의 침입을 방지하기 위한 방수(외방수)는 반드시 필요하다. 이와 관련하여 일본 동경공업대학의 타나카코지(田中孝

2)교수와 신영주 박사가 결합부에서의 누수문제를 실험적으로 검증한 내용은 다음과 같다.

1) 균열부에서의 누수

균열에 의한 누수 연구는 연구자의 실험 조건에 따라 다양하기 때문에 결과는 꼭 일치하지 않는다. 많은 통계적 데이터를 종합하면 누수가 발생되지 않는 한계 균열 폭을 대략 0.05~0.15mm로 제시하고 있다. 일반적 균열 조사 결과를 보면 실제 구조물에서 0.15mm이상의 균열이 많고 관찰되고, 이러한 균열에 수압이 작용하면 누수의 위험성이 더욱 커진다. 균열에 의한 누수는 균열 폭, 균열 깊이, 콘크리트 부재 두께, 수압의 영향을 받는다. 기존 조사 결과(그림 1) 100mm 두께의 콘크리트 옥상 슬래브 위에 빗물이 95mm 높이로 고여 있는 상태를 가정하면, 균열 폭 0.05mm 정도 부터 누수가 시작되어 누수량은 균열 폭의 약 4승에 비례하여 증가하는 결과를 나타내고 있다.



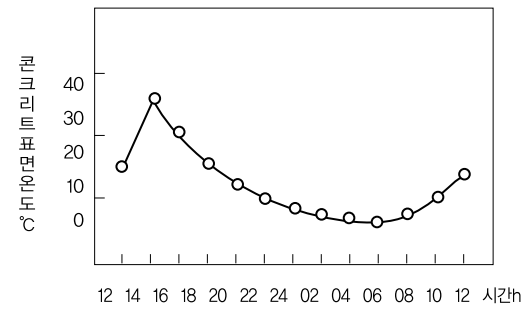
〈그림 1〉 균열 폭과 누수량

특히 방수 측면에서 문제가 되는 것은 균열이 온도나 수분 상태의 변화 또는 외력에 의해 움직임(거동 : movement)이 발생하는 것이다. 실제로 0.4mm 정도의 건물 외벽(사진 1)의 균열을 온도변화

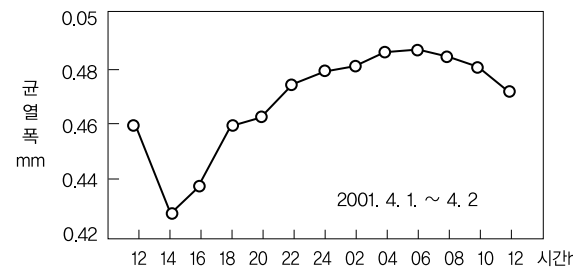


〈사진 2〉 벽균열의 측정위치

에 따라 움직임을 측정된 결과(그림 2), 기온 17°C일 때에 1일간 콘크리트의 온도 거동 폭은 0.43~0.49mm로 약 0.06mm의 범위로 움직이고 있다. 즉 이러한 작은 균열거동에서도 수많은 횡수의 반복피로를 받으면 콘크리트 바탕위에 시공된 방수층이나 균열부위를 보수한 방수재(지수재)도 파단되어 누수가 발생하게 된다.



(a) 콘크리트 표면온도



(b) 시간별 균열 폭 변화량

〈그림 2〉 벽균열의 거동

2) 이어치기부(콜드조인트)에서의 누수

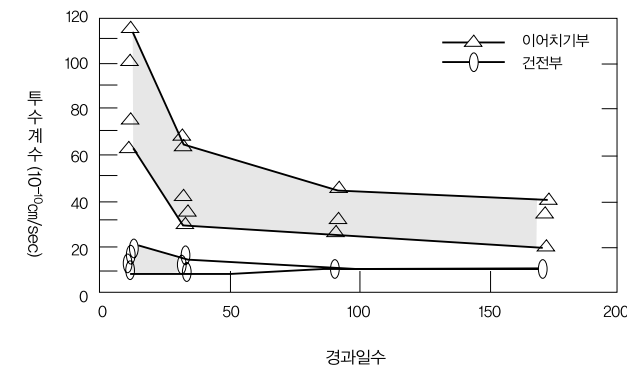
이어치기부는 타설 계획에 따라 설계단계에서 만들어지는 경우와 작업여건상 1회 타설 구간에서 타설 시간의 차이에 의해 발생하는 2가지 종류가 있다. 전자는 새로운 콘크리트를 타설하는 동안 먼저 타설된 콘크리트 면을 잘 처리할 수 있기 때문에 어느 정도의 수밀성 확보가 가능하나, 후자는 예상치 못한 경우로써 타설 시간이 수



〈사진 3〉 이어치기부와 콜드조인트의 누수

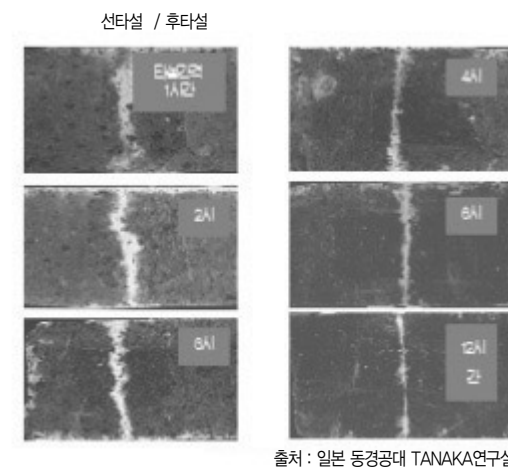
밀성에 큰 영향을 미쳐 중대한 결합부(타설 시간이 길어지면 콜드조인트 발생)가 발생된다. 이어치기부나 콜드조인트는 압축력을 받기 때문에 구조적으로는 문제가 없으나 외부 수압이 작용되면 누수로 연결된다(사진 3).

〈그림 3〉은 이어치기한 시험체와 이어치기면이 없는 건전부 시험체를 대상으로 투수시험을 통한 투수계수를 비교한 결과, 이어치기부위의 투수계수가 건전부보다 큰 결과를 나타내고 있다. 그러나 투수계수는 시간의 경과와 함께 점점 감소한다. 이것은 시간의 경과에 따라 실리카겔의 형성과 누수에 포함되어 있는 미립분에 의해서 공극이 작아지기 때문이다. 이 시험 결과를 통하여 이어치기부도 수밀한 부위가 아니며, 수압작용시 누수가 발생할 수 있는 부위임을 알 수 있다.



〈그림 3〉 이어치기부위와 건전한 부위의 투수계수

또한 전체적으로 이어치기 시간 간격이 길어짐에 따라 투과성이 커진다(지수 함수적으로 상승).

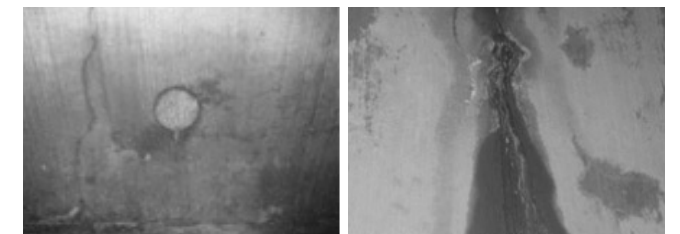


〈사진 4〉 형광염료용액을 이용한 콜드조인트부의 투과경로 관찰 결과(노란색 부분)

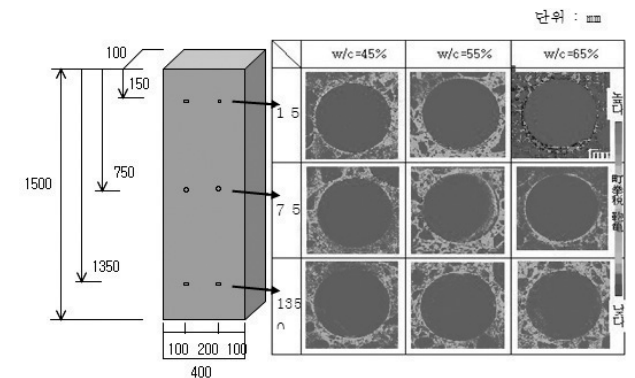
이러한 현상을 입증하기 위하여 형광 염료를 녹인 용액을 시험체에 투과시킨 후에 블랙램프를 이용하여 발광에 의한 물의 투과경로를 관찰한 결과는 그 경로(누수)가 명확해(진한 노란색 부분)이 관찰된다(사진 4).

3) 거푸집 간격재 주위에서의 누수

〈사진 5〉는 거푸집 간격재 주변의 누수 사례이다. 그 원인은 거푸집 간격재의 하부가 블리딩과 콘크리트의 침하에 의해 공극이 생기기 때문이다. 이를 확인하기 위하여 거푸집 간격재 주위의 결합을 갈륨주입과 형광 작용을 이용한 시각화 기법을 적용하여 평가한 결과 거푸집 간격재 주위(붉은색 표시부분)에 공극이 생긴 것이 확인되었다. 이 공극 발생부는 누수의 원인이 된다. 즉 거푸집 간격재 주위도 누수 현상을 유발하는 결합이다.



〈사진 5〉 거푸집 간격재 주변의 누수

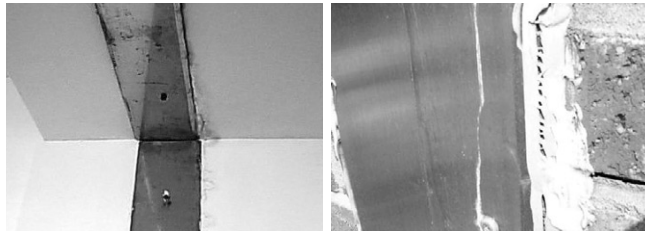


〈그림 4〉 거푸집 간격재 주위의 공극 분포상태(갈륨주입-붉은색 표시 부분)

4) 신축줄눈(익스팬션조인트)에서의 누수

건축구조물의 온도에 의한 신축팽창이나 부동침하 등에 의하여 발생하는 구조물 거동과 불규칙한 균열을 한 곳에 집중시키도록 설치된 익스팬션조인트(E·J)도 구조물 누수하자의 중요한 발생 부위이다(사진 6).

익스팬션조인트의 주요 설치부위로는 하중조건이 크게 다른 곳, 고



〈사진 6〉 익스팬션조인트에서의 누수(좌) 및 실링재 손상(우)

층부와 저층부의 경계, 연결 블록의 접합부, 부동침하가 발생할 수 있는 경계부 등에 설치된다.

우리나라는 겨울과 여름의 온도차가 비교적 큰 편에 속하여 필요 시 익스팬션조인트 설치가 요구된다. 하지만 건축물을 설계하는 기술자들이 익스팬션조인트를 설치함에 있어 다음과 같은 문제로 사용여부를 고민하고 있다.

- ① 건축물의 외관상으로 좋지 않음
- ② 익스팬션조인트의 디테일(마감처리) 부족으로 누수 유발
- ③ 지상층 외기에 접하는 곳(외벽, 옥상층 등)은 방수성, 기밀성, 단열성, 차음성이 확보되는 구조 적용
- ④ 고층 및 대형 건축물일 경우 지진하중을 건물설계에 반영하게 되면 지진시의 익스팬션조인트로 구분된 두 건축물의 충돌을 피하기 위한 간격 유지(정밀구조해석을 하여 간격을 산정해야함)로 작게는 10cm부터 크게는 50cm까지 간격을 띄워야 하며, 그 간격을 처리하는 문제 역시 어렵다.

이렇듯, 익스팬션조인트는 콘크리트 구조체의 양생과정에서 발생하는 수축과, 계절 온도차에 따른 변위, 지진, 풍력, 부동침하 등에 따른 움직임을 추종하여 설치되어야 한다. 익스팬션 조인트 설치시 적합하지 못한 위치나 부적절한 간격으로 익스팬션조인트를 설치하면 제 역할을 못하는 경우가 있으므로 설치 위치나 형태, 간격 결정에 유의하여야 한다.

5) 시공 이음부(Construction joint) 시공 관리

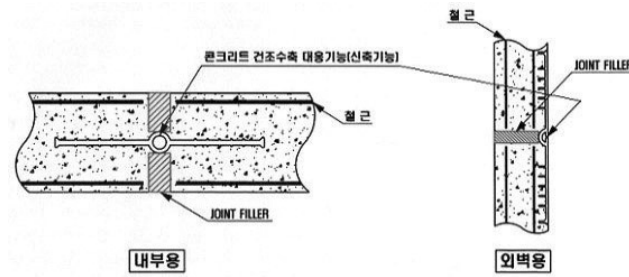
콘크리트 타설 계획에 따라 발생하는 시공 이음부(Construction Joint)는 일반 건전부에 비해 수밀성 저하가 예상되는 바, 대책방안으로써 지수판이 사용되고 있다. 그러나, 콘크리트 구조물의 수축·팽창으로 인한 지수판 및 실링재의 파손, 특수 환경에서 발생하는 일정 수압(지하 구조물)은 콘크리트의 누수문제를 야기하여, 사용자의 쾌적한 환경을 조성하는데 있어 많은 불편을 주고 있다(사진 7).

따라서, 적정 시공 이음부와 사용자의 쾌적한 환경을 확보하기 위해서는 다음과 같은 조건에 따라 시공이 이루어져야 한다.

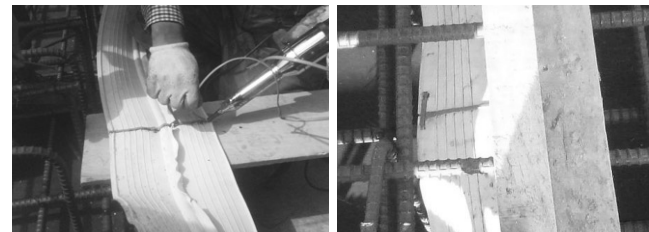


〈사진 7〉 지수판 고정못 사용 예(실때 사례)

첫째, 시공자의 철저한 교육이 사전에 이루어져야 한다. 지수판의 설치 위치 선정, 이음부 연결방법, 바탕 고정 시의 훼손 방지 등 지수판 거치 과정에서 지수판 중심부에 고정 못을 사용한 경우 지수판의 수축·팽창을 방지할 뿐만 아니라 추후 누수의 주된 요인이 될 수 있다(그림 5, 사진 8).



〈그림 5〉 시공 이음부의 지수판 설치 표준



〈사진 8〉 지수판 이음부 연결

둘째, 사용자재는 KS M 3805에서 규정하는 품질과 동등 이상의 성능을 확보한 자재를 활용하며, 설치시 지수판 원통부가 이음부 중심부에 위치하도록 한다. 만약, 지수판의 원통부가 중심부가 아닌 한쪽으로 편중된 상태에서 타설이 이루어지게 되면, 지수판의 수축·팽창 특성이 상실될 수 있으므로 필히 주의하여 타설이 이루어져야 한다.

셋째, 지수판은 변형이 일어나지 않는 소재로 만들어져야 하고, 콘크리트와 일체부착이 가능해야 한다. 지수판에 심재를 두어 콘크리

트 타설시 재료의 낙하 충격에 깨지거나, 구부러지지 않아야 하며, 콘크리트 타설 완료 후 지수판과 콘크리트가 일체 부착이 가능한 소재로 만들어져야 한다.

넷째, 지수판은 가능한 가장 긴 길이로 설치될 수 있도록 하며, 이음부위가 반복적으로 발생되지 않도록 주의하여야 한다. 이음매 발생시 PVC 용접봉 또는 PVC 용접기를 사용하여 완벽하게 연속을 가진 후 콘크리트 타설이 이루어지도록 한다.

3. 콘크리트의 결함발생 방지와 방수상의 조치

콘크리트에서 발생하는 결함을 현실적으로 방지할 수 없다면 어떤 형식이든 방수조치를 취해야 한다. 누수에 취약한 콘크리트의 결함을 방지하기 위한 방안과 완전 방수를 목표로한 외방수(바깥 방수)의 적극적 도입이 필요하다.

(1) 합리적 타설 계획 및 신축 줄눈의 처리의 가능성
 누수에 취약한 이어치기부위나 콜드조인트가 발생하지 않도록 콘크리트 타설 계획을 잘 세워야하며, 신축줄눈을 설치할 경우 줄눈의 거동량을 파악하여 이에 적합한 실링재를 사용하여야 하며, 기형 줄눈 장치를 적용하여야 한다. 이어치기부, 콜드조인트에서 시간이 경과한 경우 이전 타설 콘크리트의 표면을 잘 청소하고, 특수 처리제를 이용한 표면보강 처리로 타설 콘크리트와의 부착을 강화하여야 한다. 기능성 수팽창 지수재, 지수판을 사용한다.

(2) 방수공사(바깥방수)의 계획과 시행

콘크리트 결함부에서는 수압의 변화나 지속적 작용으로 물이 침투하여 누수 문제를 야기할 수 있다. 따라서 수압이 작용하는 구조체 외면에서 방수재를 이용하여 콘크리트 구조체에 물이 접촉하는 것을 근본적으로 차단하는 방수공사를 병행하여야 한다.

(3) 무균열 콘크리트의 제작

콘크리트 설계시 균열저감 혹은 억제에 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, 이러

한 방법이 방수 부담을 줄여주는 효과도 있다.

(4) 표면강도가 높은 콘크리트의 제작

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 환경 조건의 영향을 받으므로 가능한 표면강도를 높게 하거나 별도의 표면강화용 방수재 또는 수밀성 강화제를 도포하는 등의 방법을 활용할 필요가 있다.

4. 결론

사회기반시설과 건축구조물의 누수문제는 반드시 해결되어야 하고, 해결할 수 있는 기술도 이미 다양하게 존재하고 있다. 과거의 실패를 경험으로 새로운 방수 기술이 개발되어 사용되고 있다. 그러나 많은 설계자와 기술자들은 누수 문제는 해결이 불가능하다고 포기하고 있다. 콘크리트는 그 자체가 수밀성을 가지고 있으나, 완전한 차수 기능을 가지지는 못한다. 미세 조직 자체가 완전한 차수성을 가지지 못하며, 구조물을 형성할 때 조인트나 균열과 같은 결함의 발생으로 완전한 차수 기능을 확보하기 어렵다는 것을 이해하여야 한다. 하지만 콘크리트로 만들어진 사회기반시설 및 건축구조물의 장기적 안전성과 내구성, 쾌적성을 확보하기 위한 완전 방수(차수)에 도전할 필요가 있다. 콘크리트 자체의 품질 확보와 아울러 완전 방수 기능을 가지는 재료와 공법을 활용한 적극적인 방수 조치가 필요하다.

(ohsang@seoultech.ac.kr)

- 참고 문헌 -

1. 한국콘크리트학회, 『특수콘크리트공학』, 기문당, 2004. 12.
2. 申英珠, 田中享二, コンクリート壁体の打ち足し部と止水部の水密性, 東京工業大学大学院, 博士論文, 2003.
3. 김무한, 『건축재료학(신제)』, 2000.
4. 吳祥根, 田中享二, 小池迪父, 硫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ひびひびひびに対する水密性改善効果(關)研究, 東京工業大学大学院, 博士論文, 1992.
5. KS F 4926, 콘크리트혼입용 구체방수제.
6. P.Kumar Mehta, Paulo J.M.Monteiro, Concrete, 1993.