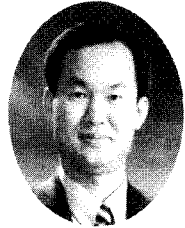


콘크리트 구조물의 누수와 대처 방안에 대한 견해

- A View on Water-Leakage and Countermeasure of Concrete Structure -



오상근*

1. 콘크리트 누수 균열에 대한 인식

과연 콘크리트 구조물에 있어서 누수 균열은 문제가 되는 것일까?

이에 대해 설계, 구조 시공, 재료(콘크리트), 방수, 품질 및 안전의 관련 전문가는 여러 가지 이견(異見)을 말하고 있다. 또한 콘크리트 구조물에 관계하는 발주자, 건축주, 사용자, 시공자의 입장도 상황에 따라 다르게 해석하고, 평가하고 있다. 예를 들면 일반적으로 발주자(건축주 등)는 시공자에게 누수 균열은 하자이므로 무조건 보수할 것을 요구하는 반면 사용자(언론 포함)가 문제를 제기할 때(공공공사의 경우) 발주자는 이에 대해 크게 문제되지 않는다고 답변하는 경우도 많다. 어떤 기술자는 콘크리트의 누수 균열은 피할 수 없는 사항이므로 근본적으로 해결할 수 없으므로 완벽한 시공 및 보수는 어렵고, 다만 전체적인 누수량이 어느 정도 이하가 되도록만 관리할 뿐이라고 말하고, 또한 지하 구조물의 누수 균열은 피할 수 없어, 누수를 시각적으로 가리기 위한 보호벽을 쌓아 관리하는 것이 당연하다고 말하는 기술자도 있다. 그럼에도 불구하고 일반 사용자들은 무조건 누수 균열이 없어야 한다고 의견을 제시하고 있다. 특히 언론에 구조물 누수의 문제가 수시로 보도되어 관계자 및 관련 건설기술자들의 자존심이 크게 훼손되고, 이를 보수하기 위한 비용이 엄청나게 지출되고 있음을 볼 때 적당히 간과해서는 안될 문제임에는 틀림없다.

그래서 이러한 기회에 필자는 도심지 건설의 형태가 유사한 일본의 기술자들과 지하 구조물의 누수 균열에 대한 시각과 대처방안에 대한 의견을 교환하였다. 하지만 의외의 대답이 일반적이었다.

일본의 경우도 우리와 마찬가지로 지하 깊이까지 구조물을 축조한다. 이들은 기본적으로 내진구조를 중심으로 모든 설계를 하고, 이에 맞는 시공기술을 접목시키기 때문에 철근의 배근량과 콘크리트의 강도 및 품질이 상당한 수준에 올라와 있다고 한다. 때문에 가벼운 누수균열이 구조물의 성능 저하에 미치는 영향은 수십년 이상을 고려해도 구조적 안전성에 크게 영향을 주지 않는다고 판단하고 있다. 그 만큼 그들은 100년 이상 자신이 만들어온 콘크리트의 품질과 안전성을 기술적으로, 이론적으로 확신하고 있기 때문에 누수 균열에 대한 대처(해석)방안이 명확히 서 있다.

미국의 경우는 어떠한가 역시 기회에 관련 건설기술자들과 누수 균열을 토론하여 보면, 미국의 건축 형태는 지하 깊이까지 들어가는 경우가 드물다. 막대한 토지를 가지고 있기 때문에 다운타운 이외에서는 고층 건물을 보기 어렵고, 지하 깊이까지 건설하는 사례는 많지 않다. 따라서 우리의 실정처럼 빈번히 지하구조물에서의 누수의 문제로 소란 떠는 일은 많지 않다. 또한 콘크리트 및 방수공사의 품질관리와 설계에 있어서도 완벽한 누수 차단을 목표로 시행하고 있으며, 유지관리 또한 철저하다.

여기서 다시 한번 일본의 어느 전문 교수의 말을 인용하자면, "일본의 경우도 도심지에서는 누수균열에 대한 문제 및 보수의 인식이 그렇게 크지 않으나, 바닷가 및 해안 매립지의 경우는 바닷물(염분)의 영향을 받기 때문에 누수 균열이 발생되지 않도록 특별히 콘크리트 설계를 하고, 이를 보호하기 위한 방수설계를 별도로 시행한다. 그 사례로서 일본의 하네다 공항 건설 시 지하구조물의 누수로 커다란 소란이 있었던 것을 계기로, 관서공항 건설시에는 지하 구조물을 아스팔트 적층 공법으로 붕대 감듯 철저한 방수공사를 시행하였다."고 한다.

잘 알고 있는 007시리즈 어느 영화(Golden Eye)의 시작 부분을 보면 제임스 본드가 엄청난 규모의 댐 위에서 번지점프를 하면서 아래로 내려가는 장면이 있다. 영화의 스틸에 도취되어

* 정희원, 서울산업대학교 건축학부 교수, 건설기술연구소 방수기술연구센터장

아무 생각 없이 다음 장면을 기대하고 있었으나, 10년 이상을 해 온 직업 의식인지 필자는 깜짝 놀란 장면이 눈에 들어오기 시작하였다. 커다랗게 클로즈업되는 화면에서 댐 표면에 나타나는 수많은 백화현상과 물이 스며 나오는 것이 눈에 띄었다. 순간적으로 저 장면인 전세계의 영화팬들이 볼 터인데...

과연 우리나라의 어느 댐에서 그러한 현상이 나타났고, 그것이 국내 영화에 클로즈업되었다면 시민 및 언론은 어떠한 반응을 나타냈을까?

이런 것을 보면 우리나라가 콘크리트 품질과 구조물의 안전성에 대한 인식이 상당히 높다고 볼 수 있으나, 이는 결과에 대한 비난과 비판의 관점이 아직 콘크리트에 대한 전문적 평가연구가 50년이 안된 우리나라의 입장에서는 다른 나라와 사뭇 다르다는 것을 알 수 있다.

2. 수밀 콘크리트 연구의 제고(提高)

2.1 콘크리트 속의 물의 흐름의 이해

콘크리트는 비교적 고밀도 다공체의 하나이지만, 그 구성체 혹은 그들 배합비의 다양성 때문에 내부 공극의 형상, 크기, 분포 등이 현저하게 변화한다. 내부공극의 종류에는 시멘트 겔공극(약 $1.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}$, 모세관공극 $2 \times 10^{-3} - 10 \mu\text{m}$, 골재 아래의 공극 ($10 - 100 \mu\text{m}$), 연행 공기(약 $50 - 500 \mu\text{m}$) 등이 있고, 기타 갠힌 공기에 해당하는 불규칙형 공극이 있다. 이들 공극은 서로 연결되어 물길(水路)을 형성하고 있기 때문에 콘크리트의 투수 메커니즘은 아주 복잡하다. 여기서 콘크리트를 거시적으로 균등질 다공체로 간주하고, 물길이 되는 공극의 형상, 크기, 분포 등의 서로 다른 영향을 적용하는 투수 모델에 있어서의 각종 투수 지수(투수계수, 침투계수, 확산계수 등)에 포함시켜, 이들의 제 계수에 의해 콘크리트의 수밀성(물의 흐름)을 평가한다.

콘크리트 속의 물의 흐름은 크게 가압투과류(加壓透過流), 가압침투류(加壓浸透流), 모관침투류(毛管浸透流)로 분류한다. 가압침투류가 콘크리트 속을 통과하여 대면으로 유출되는 경우 이를 가압투과류라고 한다. 또한 건조한 콘크리트에 물이 접하면 물과 공극의 계면에 생기는 표면장력에 의해 모세관 내에 흐름이 발생하는데 이것을 모관침투류라고 한다.

2.2 콘크리트 수밀성에 미치는 각종 요인

콘크리트의 수밀성에 관여하는 요인으로서 1) 콘크리트 재료의 영향으로서 시멘트의 종류와 분말도, 골재의 형상과 크기 및 종류, 화학 혼화제(劑: 방수제) 및 혼화재(材: 방수제), 팽창제 등의 영향을 들 수 있고, 2) 콘크리트 배합의 영향으로서 물-시멘트비, 조골재의 최대크기, 공기량의 영향을 들 수 있고, 3) 콘크리트 시공방법의 영향으로서 타설 온도 및 양생 온도, 공기

중 폭로, 이어치기부(시공 조인트)의 수밀성, 4) 기타 현장 콘크리트에서 나타나는 폼타이 연결부, 골재분리 및 곰보, 신축 줄눈부, 균열을 들 수 있다.(본고에서는 지면의 할애 관계상 상기의 요인이 갖는 기술적 내용을 소개하지 못함이 아쉽고, 다른 기회에 소개하고자 한다.)

2.3 콘크리트 구조물의 수밀성 설계 및 평가의 재고(再考)

작용수압이 큰 대심도(大深度) 지하 구조물(지하철, 전력 및 통신구, 대형 건축물의 지하구조 등), 대형 수조(상수도 및 하수처리 시설), 펌프장에 있어서는 누수에 의한 기능저하가 발생하는 일로부터 수밀성에 관한 사용 한계 상태의 조사가 필요하다.

기존, 수밀 콘크리트 부재의 설계에 있어서 많은 나라에서는 균열로부터의 누수에 착목하여 1) "허용균열폭의 규정치"를 정하여 관리하는 방법을 제안하여 왔다. 그러나 현실적으로 각종 환경 및 시공조건이 다른 현장에서 이러한 이론치의 균열을 통제하는 것이 불가능하였다. 따라서 최근에는 2) 콘크리트 속의 가압 침투류(加壓浸透流)의 끝단(先端: 물이 닿는 면)이 대면(對面: 물이 나오는 면)에 도달하였을 때를 한계상태로 하고, 콘크리트 부재의 수밀성을 조사하는 방법, 3) 콘크리트 속을 다량의 물이 투과하여 수산화칼슘이나 실리카의 대부분이 유출되어 콘크리트가 열화 되었다고 가정하고 그 내용년수에 따라 콘크리트의 수밀성을 평가하는 방법을 생각할 수 있다. 따라서 과거에 주로 사용되어 왔던 수밀 콘크리트의 허용균열폭 규정치는 콘크리트 타설 현장의 조건 상 잘 이루어지지 못하여 왔으므로, 이에 대한 이론과 함께 상기 2), 3)의 이론에 주목하여 수밀 콘크리트의 제조와 관리가 요구되고 있다.

2.4 수밀 구조의 설계

2.2에서 언급한 수밀성이 요구되는 철근 콘크리트 구조에서는 수밀 콘크리트로 설계되어야 하고, 특히 설계에 있어서 균열 발생이 적게 하는 배려가 중요하다. 이를 위하여 콘크리트 설계자는 해당 구조물에 관련하는 온도변화, 건조수축, 지반의 부등침하 등을 충분히 조사하고, 이에 대응한 콘크리트 배합과 철근 배근을 충분히 배려하여야 한다. 또한 사용과정에서 발생하는 철근의 인장응력도를 작게 제한하거나, 적당한 간격의 신축 줄눈 및 이어치기부를 만들어, 0.1 ~ 0.2mm를 넘는 유해한 균열이 발생하지 않도록 설계하여야 한다.

또한 신축 줄눈이나 이어치기부에는 변형(온도 수축 및 팽창, 부동침하, 진동 거동 등)을 흡수할 수 있는 점착팽창성유연형(粘着膨脹性柔軟型)의 지수판(止水板: 기존의 팽창고무계는 큰 효과가 없음)을 삽입 혹은 매설하고, 거푸집 고정용 폼타이의 연결봉 및 핀 등에도 점착팽창성유연형(粘着膨脹性柔軟型)의 지수재(止水材)를 사용하여 수밀성을 확보하여야 한다.

2.5 방수공 및 배수공의 설치

물에 접하는 철근 콘크리트 구조물에서는 필요에 의하여 반드시 방수공(防水工) 또는 배수공(排水工)을 고려하지 않으면 안된다. 이 경우 지하 구조물의 경우 방수공 이전에 먼저 생각하여야 하는 것이 배수공이다. 터널이나 지하도와 같은 구조물에서는 수압이 본체에 작용하지 않도록 배수공을 완비하여 구조 본체에 수밀성을 확보하도록 하는 것이 최선의 방법이다. 그러나 한쪽 면은 물과 접하고, 다른 면은 완전히 건조되어야 할 필요가 있는 구조물(전력 및 통신 선로용 지하 공동구, 지하철 구조물 등)에서는 하중, 건조수축 등에 의한 균열이나, 기타의 시공상 결함을 고려하여 프리캐스트 콘크리트 구조로 시공하는 경우에도 적절한 방수공을 설계하여야 한다.

이때의 방수공은 반드시 수압을 받는 면에 방수공을 설치하여야 하고, 방수공에 사용되는 재료는 완벽한 수밀성능은 즉 건습의 환경조건, 균열폭의 거동을 고려한 수밀성, 내구성, 균열 추종성 및 시공성을 갖는 방수재료 및 공법이 선정되어야 한다.

참고로 방수공을 시행하기 위한 설계에 있어서 현재 국내에 개발되어 적용하고 있는 방수재료 및 공법에 있어서 상기 수밀 구조물의 완벽한 방수를 기대 할 수 있는 방수 소재와 공법으로는 1) 건습면 접착성과 균열 추종성 및 유연성, 수중 내구성을 갖는 접착팽창성유연형 씰(seal)재를 이용한 외방수 공법, 2) 시트 접합부의 I형 결합 조인트를 통하여 오버랩 조인트의 문제를 해결한 시트 + 도막형 복합 방수공법, 3) 내부측 누수균열의 누수 억제와 재누수시 자가 치유가 가능한 고성장 유기계 침투성 도포방수 공법을 들 수 있다. 상기의 3가지 공법은 세계적으로도 아직 그 개발 사례를 찾아 볼 수 없는 국내 유일의 기술들로서 향후 세계 시장(방수분야)의 개척에도 큰 기대가 되는 공법이다.

3. 콘크리트 표면 방수의 목적과 필요성

일반적으로 콘크리트는 수밀성을 가진 물체로 보고 있다. 따라서 구조물이 설치되는 자연 조건 하(지상 또는 지하)의 수압에서는 콘크리트 구조체에 물이 침투하지 않는다(일반적으로 10cm 이상의 수밀한 콘크리트에서는 투수계수가 $10 \times 10^{-10} \text{ cm/sec}$ 이하로 보고 있음). 이러한 우수성으로 인하여 많은 콘크리트 기술자들은 콘크리트만 잘 시공하면 방수하지 않아도 된다고 말한다. 그러나 이는 콘크리트의 수밀성 및 강도 이론과 방수의 개념은 다르다는 것을 간과한 것이다. 사실 양질의 콘크리트(물-시멘트비 55% 이하) 구조체로서 균열이 없다면 방수는 필요하지 않을 것이다. 그러나 콘크리트 구조물에는 곰보, 이어치기부, 폼타이 구멍, 시공조인트 등 다양한 형태의 불연속부가 존재하고, 여러 가지 원인에 의하여 균열이 발생한다. 이러한 요소들은 콘크리트의 성능과 크게 관계없이 발생할 수 있으며, 또한 주요 누수

부위로 지적되고 있다.

따라서 콘크리트 표면의 방수는 바로 이러한 요소들에서의 누수 차단을 목적으로 반드시 그 대책으로 수립되어야 한다.

이러한 원인으로 콘크리트 방수는 반드시 수압이 작용하는 외부에서 근본적으로 물을 차단하는 형태의 외방수공법(positive waterproofing method)은 기본으로 검토하고, 설계하여야 한다.

4. 콘크리트 구조체 외방수(방수공)의 실패 요인

콘크리트의 구조체 외방수를 위한 방수재의 종류는 10여종이 넘고 있다. 그러나 현재 사용되고 있는 재료는 합성고분자계 시트 방수재, 고무아스팔트계 자착식 시트 방수재, 벤토나이트계 시트 및 매트 방수재 등이 있고, 최근 새롭게 사용되고 있는 재료로서 폴리우레아수지 도막 방수재가 있다.

이미 전통적으로 사용되어 온 재료이나, 여전히 방수의 완벽성을 기하지 못하고 누수 사고가 계속적으로 발생하고 있다. 주요 누수 원인은 1) 콘크리트 구조체 균열 발생 또는 구조체 거동에 의한 방수층의 파단 및 탈락, 2) 시트계 방수층의 접침부 조인트의 수밀성 상실, 3) 되메우기 작업시 방수층의 파손 및 찢김, 4) 콘크리트 표면과의 접착불량에 탈락, 5) 화학적 기능 상실 등을 들 수 있다.

반복적으로 발생하는 이러한 문제의 해결을 위한 설계자의 노력은 무엇인가? 불과 2 ~ 3mm 두께의 방수재가 매스 콘크리트 순간적 균열 파단 거동에 견딜 수 있는가, 반복적인 균열의 거동(온도 및 진동 영향)에 의한 피로에 방수재가 어느 정도 견딜 것인가, 되메우기 작업시 흙의 밀침에 방수층의 부착성은 어느 정도 유지할 수 있는가?

만일의 누수 시 이를 보수할 수 있는 적절한 대책은 마련되어 있는가? 등 설계자로서 기본적으로 고려해야 할 요소들이 사전에 검토되지 않고, 단지 설계도서에서 선 한줄 긋고 그것으로 모든 것을 해결하려는 생각은 복잡하고, 다양한 환경 조건에 접하는 현장의 여건을 해결할 수 없다. 이것이 바로 외방수의 실패 요인이다.

5. 콘크리트 방수설계 오류에 대한 문제점 인식

콘크리트 자체의 문제점으로서 균열 발생을 억제하는 기술은 이론적으로 많이 소개되고 있으나 현실적으로 우리나라의 시공기술 속에서는 현재까지 기대하기 어려운 면이 없지 않다. 따라서 콘크리트의 누수 방지를 위한 대책으로서 방수설계의 중요성에 대한 인식과 관련 기술의 정보를 정확히 이해하여야 한다.

여기서 현재 우리나라의 건설시장에서 사용되는 방수재료의 종류를 살펴보면 크게 아래의 <표 1>과 같다. 현재까지 약 32종의 방수재 관련 한국산업규격(KS)이 제정되어 사용되고 있다.

그러나 일반 설계자나 시공 기술자들은 이에 대한 정확한 정보를 가지고 있지 못하고 있다. 즉 설계자가 해당 구조물의 방수부위에 대하여 어떠한 방수재료를 선택하고, 어떻게 설계하여야만 누수가 되지 않는지를 생각해야하며, 시공자는 해당 방수재의 현장 사용에 있어서 품질관리 방법을 정확히 이해하고 있어야 한다.

예를 들면 바닷가의 지하 구조물 방수에 벤토나이트 매트를 사용한 설계 사례나, 음용수 저장 수조 혹은 오폐수 및 화학물질을 처리하는 수조 내부에 규산질계 도포방수재(KS F 4918)나 시

표 1. 방수재 관련 KS 규격 리스트

순번	규격 번호	규격 명칭
1	KS F 2451	건축용 시멘트 방수재 시험방법
2	KS F 3204	건축용 유성 코킹제
3	KS F 3211	지붕용 도막 방수재
4	KS F 3215	건축용 개스킷
5	KS F 4052	방수공사용 아스팔트
6	KS F 4901	아스팔트 펠트
7	KS F 4902	아스팔트 루핑
8	KS F 4904	스트레치 아스팔트 루핑
9	KS F 4905	구멍뚫린 아스팔트 루핑
10	KS F 4906	모래붙인 루핑
11	KS F 4910	건축용 실링제
12	KS F 4911	합성고분자계 방수시트
13	KS F 4913	직조망 아스팔트 루핑
14	KS F 4916	시멘트 혼화용 폴리머
15	KS F 4917	개량아스팔트 방수시트
16	KS F 4918	규산질계 분말형 도포 방수재
17	KS F 4919	시멘트 혼입 폴리머계 도막 방수재
18	KS F 4920	외벽용 도막 방수재
19	KS F 4921	콘크리트 에폭시 수지계 방수·방식 도료
20	KS F 4922	폴리우레아 수지 도막 방수재
21	KS F 4924	건축용 플라스틱계 방습 필름
22	KS F 4925	시멘트 액체형 방수재
23	KS F 4926	콘크리트 혼입용 방수재
24	KS F 4927	투습 방수 시트
25	KS F 4929	세라믹 메탈계 방수·방식 도료
26	KS F 4930	콘크리트 표면 도포용 액상형 흡수 방지제
27	KS F 9001	콘크리트용 에폭시 수지계 방수·방식도료 도포방법시공표준
28	KS F 9003	도막 방수재 도포방법 시공 표준
29	KS M 3736	수 팽창성 벤토나이트 방수 시트
30	KS F 0000	바닥용 성형 신축 줄눈재 (2003년도 제정 예정)
31	KS F 0000	바닥용 성형 신축 줄눈재 시공 표준 (2003년도 제정 예정)
32	KS F 0000	멤브렌 방수층 성능 평가 시험 방법 (2003년도 제정 예정)
33	KS F 0000	교면용 도막 방수재(2003년도 제정 예정)
34	KS F 0000	교면용 시트 방수재(2003년도 제정 예정)

멘트 액체 방수재(KS F 4925)를 사용하도록 설계한 사례는 근본적으로 재료의 화학적 성질을 전혀 이해하지 못한 상태에서 범해지는 설계의 잘못이다.

6. 콘크리트 누수균열에 대한 대책의 재고(再考)

6.1 누수 진단 보수 설계의 문제점

지금까지 일반적으로 구조물에서의 누수는 당연한 사안으로 가볍게 생각하고, 그 조치방법에 있어서도 적극적이지 못하였다. 또한 구조물 안전진단에 있어서도 주로 구조 진단 및 해석이 중심이 되었고, 누수균열의 환경조건을 정확히 분석하지 않아 그에 따른 보수재료 및 공법의 선정이 잘못되고 있다. 기존의 안전진단의 사례를 보면 구조물의 안전성 평가를 위해 가장 중요한 조사 평가 항목이 균열의 폭, 길이, 진행 상태를 정확히 판단하는 것이다. 건축물은 대체로 구조체가 마감재로 덮여있어 바탕 콘크리트의 균열 확인이 어렵고, 토목 구조물은 접근이 어려워 정확한 균열 상황을 파악하기 곤란하다. 이에 많은 전문가들은 일단 확인이 비교적 쉬운 누수 균열을 집중적으로 조사하고 있다. 따라서 기존의 안전진단 전문가들은 누수균열 보수를 강조하여 왔으나, 설계 과정에서 누수 균열 환경에 적합한 소재와 공법을 처방하지 못하였고, 이에 누수 균열의 보수를 목적으로 사용되어온 소재와 공법이 에폭시수지 혹은 우레탄수지 발포재를 사용한 사례가 많았다. 그러나 현실적으로 이 재료를 사용한 보수현장에서 의 성능 효과를 살펴보면, 대체로 임시적으로 처리하는 수준에 머물고 있으며, 반복 보수 때문에 구조체의 표면을 파손시키고, 보수비용이 계속적으로 지출되고, 해당 구조물의 안전성에 대한 사회적 문제를 해소하지 못하고 있다. 이에 향후의 누수보수 설계에 있어서는 반드시 누수균열의 환경조건(수량, 수압, 균열의 거동성, 온도 변화 등)을 고려한 재료 및 공법의 선정이 이루어져야 한다.

6.2 누수 보수 시공의 문제점

지금까지 누수균열에 대한 보수 방법은 누수관찰 지점(실내 지역)에서 천공하여 균열내부로 저압 혹은 고압으로 주입하는 방법을 채택하여 왔다.

그러나 이러한 방법은 균열의 깊이 정도(구조체의 두께와 상관 있음)에 따라 완전히 균열 내부(누수 시작 지점까지)까지 주입재로 충전하지 못하는 것이 일반적인 현상이다. 이렇게 균열 전체를 대상으로 완전히 주입재가 채워지지 않으면 물은 계속적으로 침투한다. 특히 구조체 외부(지하수압 작용 측, 누수 시작 지점)와 실내(누수 관찰 지점)의 온도차로 인하여 외부에서 내부로 수분(물)이 이동하여, 재누수가 발생한다.

또한 3.1에서 언급한 바와 같이 보수설계 과정에서 선택한 대

부분의 재료가 누수균열의 습윤환경 속에서 경화불량 및 접착불량이 발생하기 때문에 균열 내부에 충전된 재료가 완전한 지수역할을 하지 못한다.

더욱이 이러한 누수균열은 계절적 온도 변화에 따라 콘크리트 구조체의 열적 수축 및 팽창 현상에 따라 누수 균열 틈새도 거동하기 때문에 충전된 재료가 파괴되거나, 탈락되어 지속적인 누수 차단효과를 얻지 못하고 있다. 또한 주입 방법에 있어서 강제 고압식 주입은 반드시 균열 폭과 주입 압력의 관계를 면밀히 검토한 후 결정하여야 함에도 불구하고, 0.2mm 이하의 균열에서 고압식 강제주입을 함으로서 오히려 균열 진행을 촉진시키는 문제의 사례가 많다. 또한 주사기를 이용한 주입방법에 있어서 천장면 경우 수지의 비중에 의해 충분히 주입되지 않고, 주입시간이 오래 걸려 도중에 경화하거나, 습윤환경 조건에서의 경화불량으로 더 이상 주입되지 않아 재료의 낭비가 크고, 균열에 충분히(전체 두께) 충전되지 않는다.

우레탄 발포재의 경우는 대체로 강제주입식이 사용되는데 시공시 주입 압력과 주재와 경화제의 배합비가 맞지 않고 발포 정도가 적합하지 않아 충분한 지수효과를 얻지 못하고, 심지어는 역류하여 표면 마감처리에 큰 어려움이 따르고 있다. 따라서 상기의 2가지 공법의 경우 재보수를 위해서 다시 드릴로 콘크리트 표면을 천공하고, 고압으로 재 주입하는 행위가 반복됨으로서 콘크리트 표층부는 점차 성능이 저하된다. 이에 향후에는 누수 관찰 지점에서 임시적인 방법으로 보수하는 공법보다 누수 시작 지점에서 근본적으로 차단하는 보수공법을 선택하여야 한다.

6.3 누수 보수 재료의 문제점

종래 누수 균열 보수를 목적으로 사용되어온 재료로는 에폭시수지 주입재와 우레탄 발포 주입재가 이전부터 많이 사용되어 왔고, 기타 시멘트계 및 아크릴계 주입재가 일부 사용되어 왔다. 그러나 이들 재료가 콘크리트 누수 균열의 틈새에서 지수 역할을 담당하기에는 물리적, 화학적으로 맞지 않는 케이스가 많다.

예를 들어 에폭시수지는 주로 건조 환경에서 접착재로 사용되어온 재료로서 강도는 시멘트(콘크리트)보다 크기 때문에 대체로 구조 내하력 보강 목적으로 사용되어 왔다. 그러나 누수균열에 대한 보수의 필요성이 강조되면서 종래의 균열보강용으로 사용되어온 에폭시수지가 그대로 누수 현장에 적용되면서 현재까지 사용 환경상의 문제(경화불량 및 접착불량)를 발생시키고 있다. 또한 강도가 큰 수지는 균열의 거동시 콘크리트 경계면에서 파단되는 현상이 발생하여 재누수의 원인이 된다.

외국(미국, 일본 등)에서는 습윤환경의 누수 보수를 목적으로 습윤경화형(수중경화형) 에폭시수지 주입재를 개발하여 사용한 사례가 있으나(건조경화형 에폭시 주입재는 누수균열 보수에 사용하지 않고 있음), 이 또한 균열부의 습윤조건에서 균열틈새의

콘크리트 표면과 주입재와의 접착불량 문제는 근본적으로 해결하지 못하는 관계로 완벽한 보수효과는 얻지 못하고 있어, 수압 및 수량이 큰 곳에서는 적용하지 않고 있다. 우레탄계 발포 주입재는 소수성(疏水性: 물과 접촉반응하지 않음)과 친수성(親水性: 물과 접촉반응 함)으로 구분되고 있다. 이 재료는 건축물에 있어서 단열, 기밀, 결로 방지, 소음 방지 등을 목적으로 공극, 공간을 충전시키는 재료로서 사용되어 왔다. 그러나 이들 두 가지 재료는 주입시 적정의 압력과 온도를 유지 시켜야하고, 주재와 경화제의 배합비가 정확해야 누수균열 내부에서 점성을 갖거나 팽창성 갖는 지수재로 형성되지만 많은 기포의 발생으로 물이 흡수되고, 이는 누수 현상으로 이어진다. 그러나 이는 세심한 현장 품질관리가 요구되고 있고, 이것이 실패하면 주입재가 물과 함께 역류하여 녹물이 배어 나오는 듯한 현상이 나타나 철근 부식의 위험성으로 오인하는 사례도 많이 발생하고 있다. 또한 발포 압력이 커서 콘크리트 표층부가 들떠 오르는 현상이 나타나 구조체를 훼손시키기도 한다.

시멘트계 주입재는 시험실 강도는 크지만 누수 균열 내부에서는 경화속도가 느리기 때문에 흘러나오는 현상이 발생하고, 누수 현상이 큰 곳에서는 물-시멘트비가 크게 바뀌어 충분한 강도 발현을 기대할 수 없다. 또한 경화과정에서 수축하기 때문에 균열의 공극부를 완전히 채우지 못하는 현상이 나타나고 더욱이 균열 틈새에서는 두께가 얇은 경화체로 성형되므로 균열 거동시 부스러지는 현상이 나타나 그 효과가 크지 못하다. 따라서 시멘트계 주입재는 누수균열이 아닌 일반 건조 균열로서 콘크리트 거동이 크지 않은 부위에서의 구조체 보수 및 보강을 목적으로 사용하여야 한다.

그리고 일부 사용되고 있는 아크릴계 주입재는 물과 반응하여 점성을 발휘하는 겔 상태의 물질로서 물을 흡수하는 특성을 가지고 있으나, 젤리 형태로 물렁거리며 균열 내부에서 장기간 일정한 충전재의 역할을 하기가 어려워 많이 사용되지 않고 있다.

7. 콘크리트 방수의 새로운 이해

지금까지의 누수문제는 왕왕 방수 시공의 문제와 콘크리트 구조체의 균열 문제로 시비가 많이 일어나고 있다. 이는 어느 한쪽의 문제가 아니라 콘크리트 기술과 방수 기술이 동시에 해결해야 할 문제이다. 방수기술 분야에서는 우리나라에서도 다른나라에서 보기 드문 건설 신기술제도가 마련되어 중소기업의 기술 경쟁력을 상당 수준 향상시키고 있다. 방수 관련 건설 신기술은 <표 2>와 같다.

이들 기술은 기존의 단순, 단일 소재 및 공법의 개념에서 복합적, 기능적 소재와 공법을 접목시켜 만들어진 기술이다. 즉 시트와 시트의 조인트 접합부 문제를 도막재료를 사용하여 해결하였고, 콘크리트 바탕에서 오는 각종 트러블(수분 발산, 들뜸, 박리,

표 2 방수 관련 신기술 리스트

순번	인증 번호	신기술 명칭	적용 부위
1	59	비정질의 실리카를 이용한 콘크리트 구체강화 및 수성 아크릴, 에폭시, 폴리머를 이용한 방식·보수·보강 복합화 공법	전체
2	102	경질 금속 시트(Sheet)를 이용한 도막(Membrane) 방수 공법	지붕
3	107	경사지붕을 우레탄과 그래놀을 이용한 방수 및 마감공법	지붕
4	120	재유화형 분말수지를 이용한 방수조성물 제조공법	전체
5	154	개량 아스팔트 시트와 폴리우레탄 도막제의 복합 방수공법	바닥
6	200	포졸란 반응을 이용한 자가형성·자가치유성 불투수 차수막에 의한 복합 차수층 조성공법 (자가형성/자가치유 복합 차수층 공법)	전체
7	204	아스팔트 매스틱(ASPHALT MASTIC)도막 및 시트(SHEET)이중 방수공법	바닥
8	234	PE개량 EVA 시트와 무기질 탄성도막 방수재를 이용한 복합방수 공법	바닥
9	239	PPS 고분자 합성 조성물을 이용한 콘크리트 구체방수 공법	전체
10	273	세라믹메탈재와 코팅재를 이용한 강구조물의 보수·방식처리 공법	전체
11	298	광물성 섬유직포를 이용한 수지모르터 방수공법	벽체, 바닥
12	323	공장성형 FRP 패널과 통기용 요철을 하부에 둔 EPS 보드를 사용한 옥상 단열·방수 보수공법	지붕
13	326	옥상노출형 절연 통기완충시트와 에어벤트(RENO-VENT)를 사용한 옥상 방수공법	지붕
14		부직포를 대체한 표면요철형 개량 PVC시트(KD시트)를 이용한 건축물 옥상 복합 방수공법	지붕
15		페타이어 및 페유리 분말을 이용한 무기질 탄성 도막방수 공법	지붕

균열 파단)을 절연층을 두어 완충함으로써 방수층의 성능을 향상 시켰다.

일반적으로 발주처, 시공자, 설계자, 감리자 등이 생각해내지 못하는 현장의 방수 및 누수보수 문제를 전문건설업체인 방수회

사 및 재료 생산사들이 적극적으로 개선하고자 노력하고 있다. 따라서 이러한 기술을 적극적으로 설계 및 현장 시공에 접목시키도록 함으로 누수 문제를 해결해야 한다. []

(의견 : 방수기술연구센터 ohsang@snut.ac.kr)