

감리자를 위한 방수기술 자료(2)

방수층 하자 유형에 따른 발생 원인과 시공 품질 관리 대책

1. 서론

건설공사에 있어서 시공 중 혹은 준공 후에 나타나는 결함(하자) 중에서 그 해결책을 찾기가 어려운 것이 방수 공사의 실패에 따른 누수 문제이다. 건축 및 토목 공사에서의 누수 하자는 대체로 보호층 혹은 내외장 마감 공사가 끝난 이후, 혹은 지하공사의 경우 구조체 주변에 되메우기 공사가 끝난 후에 나타나는 사례가 많아 그로 인한 분쟁과 민원이 많고, 이를 해결하고자 많은 비용이 소모되며, 심지어는 사용자(발주처)와 시공자(설계자) 간의 분쟁으로 인사상의 책임 문제까지 확대된다.

따라서 본 고에서는 구조물에 사용되는 다양한 방수공사에 있어서 가장 일반적으로 나타나는 하자 유형에 대한 발생 원인을 이해하고, 그에 대한 현장시공 품질관리대책을 알아 보고자 한다. 본 자료는 감리자가 방수공사 과정 혹은 시공 후에 나타나는 문제점을 정확히 이해하고, 시공 및 품질관리 안전에 부족함이 없도록 하기 위한 관련 기술 자료로 활용할 수 있다.

2. 방수층 하자 유형별 발생 원인의 이해와 대책

2.1 방수층 부풀음(Air Pocket) 방지 대책

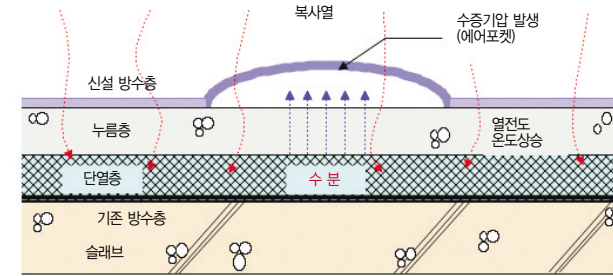
방수층 부풀음(들뜸)하자는 방수층의 가장 일반적이며, 쉽게 지나치는 하자이다. 콘크리트 바탕의 건조가 불충분한 경우 방수층과 바탕 콘크리트 내부에 다량의 수분을 함유하고 있기 때문에 표면이 건조되었다 하더라도 내부 수분이 증발하면서 콘크리트 바탕과 방수층 사이에 수분이 존재하게 된다. 이 수분은 다시 낮 동안에 태양열을 받으면서 증발과 함께 <표 2-1>과 같이 내부 증기압을 높이면서 방수층을 부풀어 오르게 한다. 이때 수증기압이 방수재의 점착력보다 크면 <그림 2-1>과 같이 방수층이 부풀게 된다. 지붕(옥상)에서의 보수용 방수공사의 경우도 기존의 방수층 누름용 보호콘크리트층과 구조체 슬래브 콘크리트 사이에 체류해 있는 물이 지속적으로 증발하면서 보수용 방수층을 들뜨게 한다.

참고로 물의 증기압은 30℃에서는 0.004N/mm²이지만, 50℃에서는 약 0.012N/mm², 70℃에서는 약 0.032N/mm²로 가속적으로 상승한다. 대기

온도가 30℃정도에서는 기포발생이 심하지 않으나 방수층의 표면 온도가 상승하면 50℃이상까지 오르는 경우가 있으므로 시공 전 바탕의 건조상태(대체로 시방서 등에서는 함수율 10% 이하를 요구함)를 필히 확인 후 방수 시공을 하여야 한다.

<표 2-1> 옥상층 표층부 온도에 따른 수증기압

온도	30℃	50℃	70℃
수증기압	0.004N/mm ²	0.012N/mm ²	0.032N/mm ²



<그림 2-1> 평탄부 방수층 부풀음 발생 개념도

그러나 요즘처럼 기후 및 기상 변화가 잦은 환경에서는 현장에서 그와 같은 바탕 함수율을 유지하기 어렵고, 특히 공사기간의 문제로 함수율을 무시하고 시공하고 있다. 이와 같은 방수층 부풀음은 매일 반복적으로 방수층에 영향을 주기 때문에 성능이 저하되며, 결국 방수층이 갈라지거나 손상되어 물이 침입하게 된다. 침입수는 방수층을 더욱 들뜨게 하며 점차 넓은 면적으로 확산된다. 침입수가 균열부에 이르면 누수로 이어지는 하자가 발생한다.

따라서 이와 같은 문제의 대책으로 습윤면 부착용 점착(粘着) 프라이머(씰재)를 사용함으로써 시트층의 부풀음을 방지하는 방법, 방수시트와 바탕표면을 일체화시키지 않고 탈기로·탈기반·탈기구·탈기시트 등을 설치하여 수증기압을 분산, 배출시키는 방법 등이 사용되고 있다. 다행히 최근 우리나라에서는 바탕에 어느 정도의 수분이 존재하여도 시공이 가능한 신소재 프라이머(습윤면 점착유연형 씰재)의 개발과 시트도막복합공법의 개발로 이와 같은 문제가 많이 해결되고 있다.

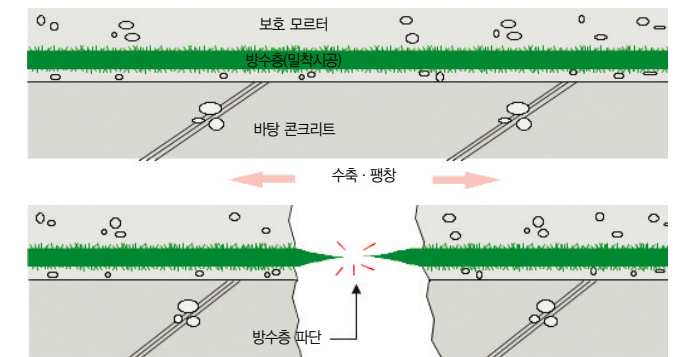
2.2 방수층 파단 대책

방수층의 손상 중 가장 큰 문제는 바탕 구조체나 누름층의 거동에 의해 시트재 혹은 도막재가 파단되는 것이다. 즉, 콘크리

트 구조물은 여러 가지 환경 조건에 따라 재료적·구조적으로, 환경적 특성(온도 수축 팽창, 건조 수축, 습윤 팽창, 차량 진동, 설비 진동, 풍하중 및 지진, 침하 등) 균열이 발생한다. 이와 같은 균열 발생과 균열의 반복 거동은 신축성이 큰 방수 재료라 하더라도 바탕체와 완전 밀착된 상태 또는 누름층에 압밀 밀착된 상태에서는 <사진 2-1>, <그림 2-2>와 같이 방수층이 파단된다. 이와 같은 방수층이 파단되면 파단된 방수층 사이로 물이 유입되고, 유입된 물이 방수층과 바탕체의 틈새(시트 들뜸, 시트 부착력 저하)로 침입하여 박리를 확산시키며 방수층을 들뜨게 하고, 바탕 균열을 따라 실내로 누수되는 하자가 발생한다.



<사진 2-1> 방수층 균열(균열 거동 동시파단)



<그림 2-2> 콘크리트의 거동에 따른 방수층 파단

따라서 이와 같은 문제는 균열 거동이 예상되는 구조물(바탕)은 발생된 균열 위에 점착 유연형 프라이머(씰재)를 도포하여 거동력을 흡수시키거나, 보강용 부직포를 덧대어 거동력에 대응하거나, 바탕면과 방수층을 띄워 거동력이 방수층에 미치지 않도록 시공(절연)하는 방법으로 방수층의 동시 파단을 방지하거나, 최소화 할 수 있다.

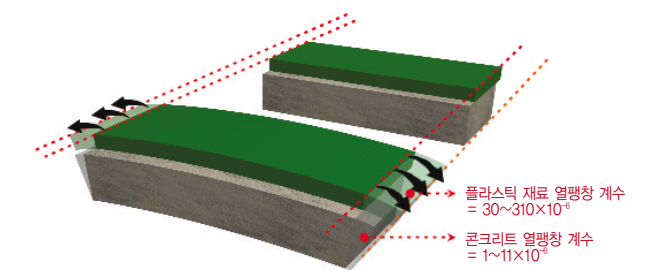


오상근

서울과학기술대학교 주택대학원 원장 / 건축학부 교수

2.3 온도 수축·팽창 능력에 의한 방수층 박리 및 들뜸 방지 대책

노출형 방수층의 경우 외기 온도의 변화에 따라 방수재는 수축하거나, 팽창하는 현상이 나타난다. 물리적 강도가 높은 경질형 방수재료(에폭시수지계, FRP계 등)는 이러한 현상(응력의 작용)에서 재료적으로 크게 손상을 받지 않는다. 그러나 <그림 2-3>과 같이 열팽창계수가 다른 콘크리트 바탕체 위에서의 수축 및 팽창 작용은 방수층 전체를 들뜨게 하거나, 방수층을 파손(균열)시키는 직접적인 원인이 된다. 이러한 문제는 침입수에 의한 방수층 들뜸, 들뜸의 확산, 균열부에서의 누수로 이어지는 하자가 발생한다.



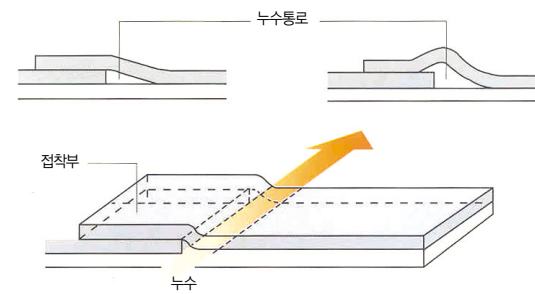
<그림 2-3> 방수층과 콘크리트 바탕의 수축 팽창 차이에 의한 방수층 들뜸 원리

따라서 이와 같은 문제는 방수층과 콘크리트 바탕의 접착 계면에서 상호 열팽창 및 수축 차이에 의한 손상(방수재 파단, 방수층 박리, 계면탈락, 들뜸 등)이 발생하지 않도록 발생 응력을 흡수할 수 있는 점착유연형 계열의 프라이머(섀재)를 도포하거나, 점착유연형의 자착 기능을 갖는 시트계 방수재를 사용하여 해결할 수 있다.

2.4 시트방수층의 겹침이음부 틈새 및 끝단부 흘러내림 방지 대책

일반적으로 시트 방수공사에서는 시트와 시트의 접합부가 많이 발생하게 된다. 시트와 시트의 연결 접합부 겹침 부위는 <그림 2-4>, <사진 2-2>와 같이 시트 상호간에 긴밀한 부착이 되지 않고, 바탕과도 밀착되지 않아 방수층과 바탕사이로 물이 침입하는 통로가 된다. 따라서 접합부(Joint) 처리 미흡은 물이 침입하는 위치가 되고, 침입수는 방수층 전체로 확산되어 시트와 방

수층을 분리시키고, 바탕 균열을 통한 누수하자를 발생시킨다.



<그림 2-4> 시트 접합부 틈새 발생 및 물의 침입 경로



<사진 2-2> 겹침부 접합 불량

<사진 2-3> 외벽부 시트층 흘러내림

또한, 외벽방수에서는 <사진 2-3>과 같이 구조체 아래 치켜올림부에서 방수층 끝단 고정미가 잘 되지 않아 시트의 자중으로 흘러내리는 현상이 발생한다.

따라서 이와 같은 문제는 콘크리트 바탕에 점착유연형 계열의 프라이머(섀재)를 도포하여 방수시트 연결부의 틈새를 섀재로 채워 물의 침입을 방지하거나, 점착유연성을 갖는 자착계 시트재를 사용하여 연결부 틈새가 발생하지 않도록 바탕과 밀착시키는 방법으로 하자 발생을 방지할 수 있다. 외벽부의 경우는 보호층 설치 시 방수층 흘러내림을 방지하는 고정 조치를 하여야 한다.

2.5 식물 뿌리에 의한 방수층 손상 대책

지금까지 구조물 방수에 일반적으로 적용하여 온 아스팔트계, 도막계, 시트계 방수재료는 옥상 및 인공지반에서의 녹화공사에 있어서 방수재 단독으로 방수층을 형성할 경우 성장력이 강한 식물의 뿌리에 의해 <사진 2-4>에 제시한 바와 같이 방수층이 뚫린다.

식물뿌리가 방수층을 손상시킬 경우, 식물뿌리는 균열부를 따

라 계속적으로 침입하여 심각한 누수 문제로 연결된다. 옥상녹화의 경우 일단 누수가 발생하면 누수보수 공사가 어렵고, 보수를 위해서는 막대한 비용이 소모된다. 따라서 옥상녹화 방수는 완전 방수를 목적으로 방근 개념을 추가한 설계·공법 선정 및 시공을 하여야 한다.



우레탄 방수층 관통

아스팔트 방수층 관통



합성고분자계 시트 접합부 관통

개랑 아스팔트 시트 접합부 관통

<사진 2-4> 식물 뿌리에 의한 방수층 파손

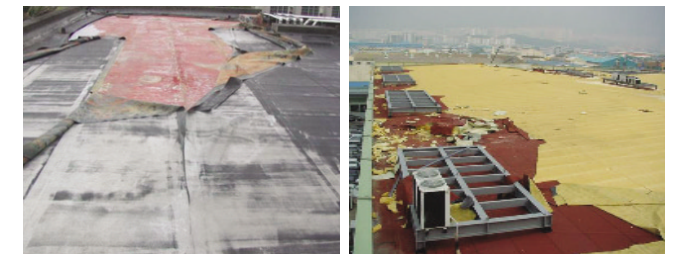
따라서 이와 같은 문제의 대책으로는 방수층 시공 시 그 위에 방근층을 설치하거나, 방근 및 방수 성능을 겸한 복합 재료 및 공법을 사용한(상세 사항은 건설감리 2011년 11/12월호 참고).

2.6 태풍에 의한 방수층 손상 대책

최근 지구 온난화의 영향으로 연평균 기온이 상승하면서 이상 기후가 자주 발생되어 장마기간과 관계없이 강풍을 동반한 집중호우와 태풍이 빈번하게 발생되고 있다. 이러한 자연환경의 급격한 변화는 지붕구조물의 방수공법 검토에 있어서 바람에 의한 내풍압 성능을 강화하여야 한다. <사진 2-5>, <사진 2-6>, <그림 2-5>는 강풍에 의한 방수층 손상 피해 사례 및 방수층 부상압 발생 개념이다.

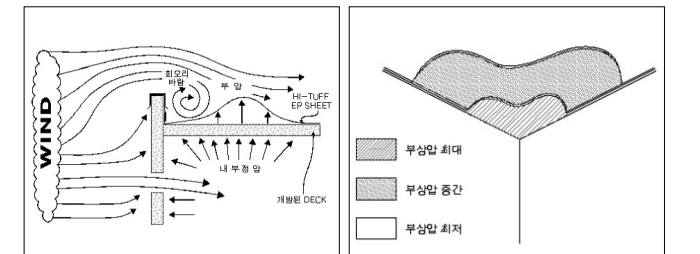
따라서 이와 같은 문제의 대책으로는 건축설계 시 노출 방수공법을 적용할 때, 기존 건축물의 옥상 보수를 목적으로 노출 방

수공법을 적용할 때에는 기존의 방수층에 대한 내구성능 뿐만 아니라 강풍에 의한 날림을 방지하는 안전 설계가 필요하다. 이는 태풍(강풍)의 직접적인 영향을 받는 해안지방 뿐만 아니라 내륙지방에서도 노출방수의 경우는 내풍압 조건에 따른 방수층의 안전성을 확인(KS F 2622 참고)해야 한다.



<사진 2-5> 풍압으로 방수층 손상 사례

<사진 2-6> 풍압으로 방수층 손상 사례



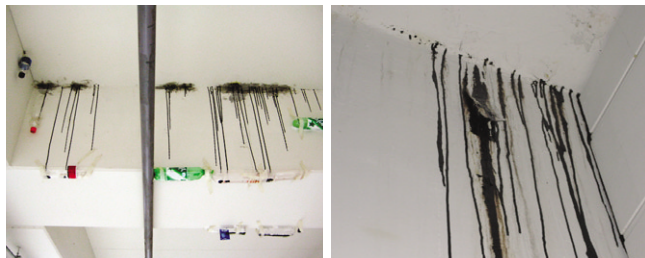
바람에 의한 방수층 부상압 개념도

코너부 부상압 영향 범위

<그림 2-5> 지붕 및 옥상층의 풍압에 의한 부상압 발생 개념도

2.7 휘발성유기 용제 과다 사용에 따른 아스팔트 방수층의 용해(누유현상) 대책

지하주차장의 상부 슬래브 또는 지붕 옥상층 슬래브의 방수 시공에 있어서 최근 시트도막복합 방수층의 사용이 증가하였다. 주로 비노출 방수공법으로 아스팔트계 시트와 우레탄계 도막 방수재를 적용하는 방수공법이다. 이 경우 우레탄계 도막 방수재를 아스팔트계 시트 위에 도포하는 과정에서 우레탄 방수재의 희석제로 과다하게 사용한 휘발성 유기용제가 아스팔트계 시트를 용해시킨다. 이 용해된 시트재는 액상을 변형되어 바탕 콘크리트 균열부, Half PC 슬래브 접합부(Joint), PC부재 접합부로 누출됨으로써 <사진 2-7>, <사진 2-8>과 같이 실내측 외벽, 천장의 마감재를 오염시키고, 지하주차장에서는 차량에 떨어져 2차적인 피해를 발생시킨다. 이러한 피해는 일시적으로 나타나는 것이 아니고, 용해된 시트재의 액상 물질이 흘러나오지 않을 때까지 지속되기 때문에 장기적 민원 문제 사례이다.



〈사진 2-7〉 지하주차장 슬래브 누유현상 〈사진 2-8〉 실내 벽체 누유현상

따라서 이와 같은 문제의 대책으로는 방수설계 시 비노출방수 공법으로, 혹은 기존 건축물의 옥상 보수 목적의 비노출방수 공법으로 아스팔트계 시트와 우레탄계 도막 방수재를 적층하는 방법을 사용할 때에는 반드시 시공 과정에서 과도한 양의 휘발성 유기용제가 사용되지 않도록 관리한다.

2.8 시트 도막 복합방수공법의 조인트 파단 대책

시트 및 도막 복합 방수공사에서 발생될 수 있는 하자는 〈사진 2-9〉와 같이 복합방수층 하부에 위치한 시트재가 대기 온도에 의한 신축 팽창 작용으로 조인트 접합부에 거동응력이 발생하여 상부 도막방수층이 파손되는 현상이다. 〈사진 2-10〉과 같이 시트와 도막의 서로 다른 물리·화학적 특성으로 수축률이 다를 경우 장기적에 걸쳐 층간 박리, 균열, 부풀음 등의 하자가 발생한다. 〈사진 2-11〉과 같이 시트재를 바탕 콘크리트에 고정



〈사진 2-9〉 시트 접합부의 방수층 파단 〈사진 2-10〉 시트 도막 적층부 박리



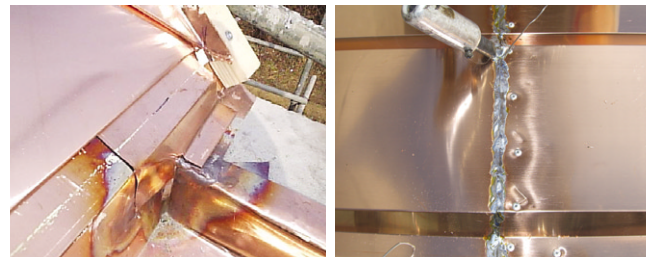
〈사진 2-11〉 고정철물 돌출 〈사진 2-12〉 드레인부 주변 들뜸, 손상

시키는 철물(Fastener)이 장기적인 온도 수축팽창 영향 및 내풍압에 의한 방수층 상하진동으로 점차 돌출되어 도막 방수층을 손상시킨다. 그리고, 〈사진 2-12〉와 같이 드레인 주변부, 파라펫 코너부, 각종 돌출부 주변부 처리 시 도막재 만으로 시공하는 경우가 많아 해당 부위에서 방수층의 거동에 적절히 대응하지 못하여 누수 취약 부위가 된다. 이러한 하자들은 물의 침입 원인을 제공하고, 방수층 들뜸과 실내 누수로 이어진다.

따라서 이와 같은 문제의 대책으로는 시트도막복합방수 공법의 설계 및 시공 과정에서 조인트 접합부위, 이질재 겹침부위, 고정철물부위, 드레인 주변부위, 파라펫 코너부위 및 돌출부위 등에서 결함이 발생할 수 있는 조건을 사전에 점검하여 보강 조치를 한 후 방수시공을 한다.

2.9 금속판 방수공법의 용접불량 및 부식

금속판 방수공사의 하자는 〈사진 2-13〉, 〈사진 2-14〉과 같이 금속판의 접합부 시공 및 용접 불량, 〈사진 2-15〉와 같이 고정 철물의 시공 불량, 〈사진 2-16〉과 같이 방식 처리되지 않은 금속판에서의 부식이 발생 등이다. 이러한 하자들은 물의 침입 원인을 제공하고, 방수층 부식·손상과 실내 누수로 이어진다. 따라서 이와 같은 문제의 대책으로는 금속방수 공사 전문 기능공에 의한 용접 작업 및 철물 고정 작업이 중요하다. 또한 사용



〈사진 2-13〉 금속판 이음부 들뜸 〈사진 2-14〉 금속판 용접 보수



〈사진 2-15〉 고정철물 시공 불량 〈사진 2-16〉 금속판 부식 발생

금속재료의 부식특성, 전식특성, 내구성, 작업성을 고려한 전문 기능공에 의한 시공 및 전문 장비의 구비가 필요하다.

2.10 시멘트 모르타르(액체) 방수층의 들뜸, 박리, 균열 및 대책

시멘트계 모르타르(액체) 방수공사의 하자는 〈사진 2-17〉, 〈사진 2-18〉과 같이 건조 경화 이후 방수층이 갈라지거나, 탈락되는 현상이다. 또한 방수층 시공 이후에도 〈사진 2-19~20〉과 같이 바탕 콘크리트의 이치기부 등에서 누수가 발생하는 현상이다. 이러한 누수현상은 방수 벽면에 백화 현상으로 나타나고, 장기적으로는 지하공간의 불쾌한 환경(냄새, 곰팡이, 결로 등) 조성 및 구조체의 내구성을 저하시킨다. 일반적으로 시멘트 모르타르(액체) 방수는 바탕 균열의 거동에 대응하지 못하고 방수층도 동시에 갈라져 누수가 발생하는 문제로 방수공법으로 인정받지 못하고 있고, 사용이 급격히 감소하고 있다.

현재의 건축공사표준시방서 및 관련 산업표준(KS F 4925)에서는 시멘트 모르타르(액체) 방수의 품질관리는 방수층 두께에 의한 관리가 아닌, 방수제 성능과 시공 후 방수층의 부착강도 검사로 관리하고 있다.



〈사진 2-17〉 방수층 들뜸 〈사진 2-18〉 균열/박리/박락



〈사진 2-19〉 누수 〈사진 2-20〉 누수부위 백화현상

따라서 이와 같은 문제의 대책으로는 시멘트 모르타르(액체) 방수에 대한 사용 목적과 방법을 정확히 이해하고, 과거의 관습적 설계나 시공 방법을 개선하여야 하고, 현장에서는 건축공사표

준시방서(현재는 2006년 개정판 적용, 현재 개정 중이며 2012년 신 개정판 출판 예정) 및 KS F 4925(시멘트 액체용 방수제)에 명기된 방법, 품질 관리 기준에 따라 시공한다.

3. 결론

본 고를 통하여 방수공사에서 나타나는 일반적인 하자의 유형과 발생 원인을 알아보았다. 방수공사의 안전성을 확보하기 위해서는 우선 방수재료의 종류, 방수공법의 종류를 정확히 이해하고, 각각의 재료 및 공법이 어떠한 환경(해안지역, 산악지역, 공업지역, 도심지역 등 대기 중 및 수중에서의 화학적 영향, 온도, 습도, 진동 및 거동 등 다양한 형태의 방수층 성능 저하 요인이 존재)에 처해 있는 구조물에 사용되는지를 알아야 한다. 따라서 감리자의 입장에서 방수공사의 정확한 품질 관리를 위해서는 이러한 방수 환경, 방수 재료의 특성(물리적, 화학적)을 정확히 이해하는 것이 필수적이다.

(ohsang@seoultech.ac.kr)