

콘크리트 防水의 現狀과 對策

Phenomena and Solutions of Concrete for Water Proofing



오 상 근*

1. 서론

물은 건물에 작용하면 그 일부가 構成部材에 吸水(absorption)되거나 透水(permeability)되어 部材의 強度저하, 팽창수축, 단열성 저하, 중량증가, 동결융해 등 형태, 성능, 내구성에 악영향을 끼치게 된다. 이와 같은 영향을 받은 건물은 漏水, 벽 및 천정마감재의 오염, 주거성 저하, 건물 및 생활용구의 내구성 저하 등 각종 성능을 떨어뜨린다. 이와 같은 물의 침입으로부터 건물을 보호하고자 하는 기술이 「건축방수」이다.

지금까지 우리나라에서의 「건축방수」에 대한 인식도는 상당히 낮았다고 생각된다. 이미 선진외국에서는 「방수기술」이 독립된 건축기술의 한 분야로써 정착되어 部位(지붕, 벽체, 바닥, 지하 등)에 대한 수밀성 확보를 위해 각종 공법 및 재료에 대한 이론과 적용방법을 마련해 놓은 상태이지만 우리나라는 아직 현장의 실정에 맞는 지침이나 시방서가 부족한 실정이다.

먼저 본 論題로 선정된 「콘크리트 방수」를 「건

축방수」의 폭넓은 범주 속에서 그 개념을 두가지로 정리해보면, 하나는 시멘트, 물, 모래, 자갈 등의 재료를 혼합하여 만든 건축구조재료적 관점에서 수밀콘크리트와 관련한 「구체방수」를 의미하고, 다른 하나는 역시 시멘트, 물, 자갈, 모래 등의 재료를 이용하여 만든 콘크리트구조물(건축물)의 지붕, 벽체, 바닥, 지하 등 구체부위의 누수방지를 위한 방수공법을 의미한다. 따라서 本稿에서는 本誌의 목적상 재료적 측면에 중점을 두어 콘크리트의 수밀성확보를 위한 現狀과 對策을 살펴보기로 한다.

2. 콘크리트의 방수성을 저하시키는 요인

콘크리트는 前述의 성질이 다른 재료를 혼합하여 제조하는 만큼 각 재료에 대한 품질 및 시공 관리가 철저히 이루어져야만이 양질의 콘크리트를 얻을 수 있다. 그러나 제조 및 양생과정이 플랜트 및 현장 조건에 따라 차이가 있기 때문에 동질의 높은 품질을 유지하기에 많은 어려움이 따르고 있다. 또한 콘크리트는 타설 후 굳지 않은 콘크리트 속에 존재하던 기포 및 모세관이 경화 후 그대로 공

* 정회원, (주)대동 기술연구소 연구부장, 공학박사

극으로 남거나, 건조과정에서 수축되는 현상으로 표면이 갈라지는 등 기본적인 결함요인을 가지고 있다. 경화 콘크리트의 경우도 주위의 환경조건에 의해 표면의 성능이 저하되어 서서히 수밀성을 잃어버린다. 이와 같은 이유들로 콘크리트 자체의 완전한 수밀성을 기대하기란 어려운 일이다. 콘크리트의 수밀성을 저하시키는 요인을 몇가지 정리하면 다음과 같다.

2.1 공극생성

콘크리트 조직에는 수화반응중에 생기는 많은 수공(셀공극, 모세관공극), 반죽시 혼입되는 공기(entrapped air)나 AE제의 사용에 의한 연행된 공기(entrained air) 등의 氣泡가 존재하기 때문에 경화콘크리트를 「다공체(多孔體)」라고도 부른다(그림 1). 이러한 공극은 콘크리트의 수밀성을 저하시키는 직접적인 원인이라고는 생각되지 않지만 콘크리트의 표면 성능저하시 결함부분으로부터 물의 침입시 조직내부에까지 이르는 道管 역할을 함에는 틀림없다.

2.2 균열발생

콘크리트 표면에는 기온이 높은 시기에 시공되거나 타설 후 양생관리가 충분하지 못하면 바람, 햇빛 등의 영향을 강하게 받아 미세한 건조수축균열(소성균열, 미세균열(hair crack)이라고도 함)

이 나타난다. 또한 철근콘크리트의 표면 가까이에 배근된 철근(피복두께가 얇은 경우) 혹은 입도분포가 너무 큰 조골재의 영향으로 시멘트풀이나 모르타의 침하로 균열이 발생한다. 이같은 균열은 단순히 콘크리트 표면부위에만 발생하면 적절한 표면처리(보수)로 물의 침입을 막을 수 있지만 부동침하, 하중분포의 불균형, 온도팽창, 수축, 지진 등으로 콘크리트 내부까지 진행된 균열은 표면처리만으로는 충분한 방수효과를 얻을 수 없다. 콘크리트 내부까지 발생된 균열을 표면보호적인 생각만으로 처리하면 구조물의 미세기동, 콘크리트 내부에서의 수분이동 압력 등으로 표면보호재가 팽창하거나, 파단, 들뜸으로써 2차적 결함발생의 염려가 크다.

2.3 환경성능저하

옥외 폭로(暴露)상태에 놓인 콘크리트표면은 태양열, 바람의 건조력, 비(산성비 등), 공기중의 이산화탄소와 아황산가스, 염해, 동결융해, 기타 오염물의 영향을 받아 내구성이 저하되어 성능이 떨어진다. 이와 같은 성능저하는 콘크리트의 수밀성 저하는 물론 장기적으로 철근부식에 의한 구조물의 붕괴까지도 영향을 준다. 최근 유지보수 차원에서 콘크리트의 표면 성능저하를 방지하기 위해 많은 표면보호·보강공법(투수도장재 처리, 폴리머 함침 콘크리트 등)이 제안되고 있지만 가장 중요한 것은 철저한 품질관리에 의한 양질의 콘크리트 제

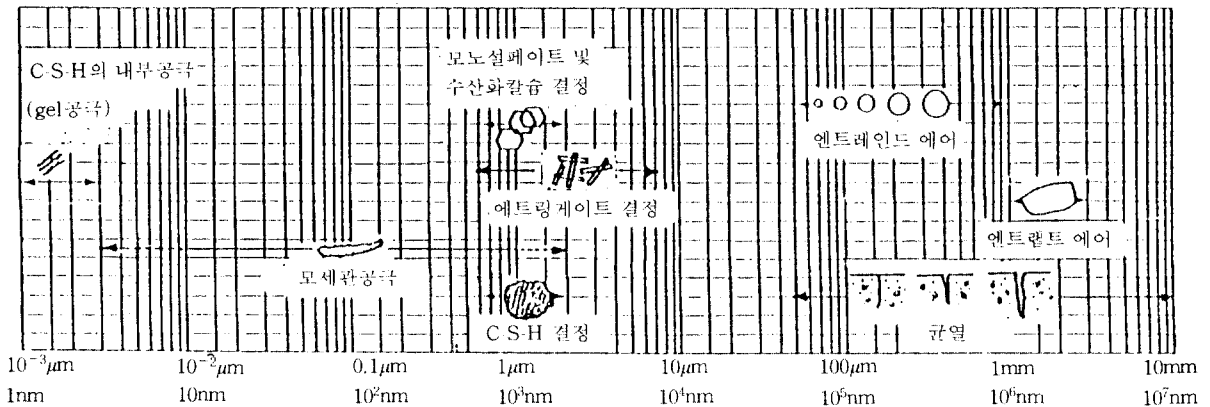


그림 1 경화시멘트페이스트의 수화물 및 공극 크기 개념도

조가 선행되고, 2차적으로 적절한 표면보호처리(방수처리 등)가 이루어져야 한다.

2.4 품질관리의 실패

오늘날 건설현장의 콘크리트는 대부분 레미콘 스투콘크리트(레미콘)에 의존하고 있는 만큼 레미콘의 품질관리가 곧 콘크리트 품질을 결정하는 중요한 요인이 되었다. 최근 건설수요의 급증 현상으로 한때 시멘트 및 양질의 강골재(자갈 및 모래) 부족으로 低級의 외국산 시멘트나 除鹽 처리되지 않은 海砂를 그대로 사용하거나, 심지어는 시공성(유동성)을 유지하기 위해 무리하게 加水한 콘크리트를 그대로 타설한 사례도 적지 않았다.

여기서 레미콘의 품질관리 사항을 간단히 서술하면 점차 사용량이 증가되고 있는 캔팔재의 품질(알칼리 골재반응성 조사, 입도분포 유지, 마모도 측정, 청정유지등) 검사, 운반거리 및 현장 타설시간 조사(교통체증이 심한 곳에서의 장기 지체 사전 조사, 도중 加水금지), 대규모 콘크리트 공사시 배치별(또는 레미콘 차별) 배합설계 관리(재료계량의 정확, 재질 및 온도 관리), 타설 직전의 콘크리트 품질시험(슬럼프 및 공기량 측정)등을 들 수 있다. 이들에 대한 정확한 관리가 이루어지지 않을 때에는 콘크리트 품질은 떨어지고 목표 강도 및 수밀성의 기대는 어렵다. 또한 현장 시공시 타설불량에 의한 골재분리, 거푸집 존치기간을 지키지 않음으로써 발생하는 표면균열·剝離,

환경에 대한 보호조치의 소홀함에 따른 공해물질의 침입등도 콘크리트의 수밀성 저하에 직접적인 영향을 미친다. (그림 2).

3. 콘크리트 방수의 現狀

「콘크리트 방수」, 즉 「구체방수」라 함은 수밀성이 높은 콘크리트를 제조하여 그 자체적으로 강한 수밀성을 갖게 함으로써 아스팔트, 도막, 쉬트와 같은 멤브렌(membrane, 被覆) 재료를 이용하지 않고도 철근콘크리트 구조물의 옥상슬래브, 지하구조 벽체 및 바닥, 토목구조물 등 상시 물의 영향(습기, 수압)을 받는 부위에서의 물의 침입을 막고자 하는 방수공법이다.

다음은 일반 시공현장에서 콘크리트의 수밀성을 향상시키기 위해 시행되고 있는 방법들이다.

3.1 수밀콘크리트 제조

우리나라의 건설부제정 건축공사 표준시방서에 수밀상 주요한 부위에 대해서는 물시멘트비 50%, 슬럼프 15cm 이하의 수밀한 콘크리트를 사용하도록 규정하고 있다. 이를 위해서는 설계단계에서부터 수압의 영향을 크게 받을 것으로 예측되는 부위에 대해서는 사전에 콘크리트의 배합설계 계획이 필요하고, 현장 콘크리트 타설시에도 별도의 레미콘을 주문해야 한다. 그러나 공사현장에서는 촉박한 공기에 쫓겨 이와같은 사항들이 잘 관리되지 못해왔고, 정확한 품질을 위한 기술자의 의지도 부족했던 것으로 생각된다. 가까운 일본에서도 1972년 부터 이미 JASS 8 (건축공사 표준시방서 방수공사)의 규정에서 「옥상방수콘크리트공사」에 대한 시방서를 제정하여 수밀콘크리트 제조를 유도해왔지만 사실상 시행되는 사례가 적어 이를 콘크리트 제조업자 및 현장 책임시공 조건으로 일임하고 1988년 新制定시에는 JASS 8에서 삭제하였다.

이것은 고품질 콘크리트의 제조는 결국 규정이나 지침 그 자체 보다는 콘크리트 기술자(제조업체 및 현장관리자)가 양질재료를 사용, 추천 배합설계를 준수하고, 시공조건에 의한 적절한 혼화재

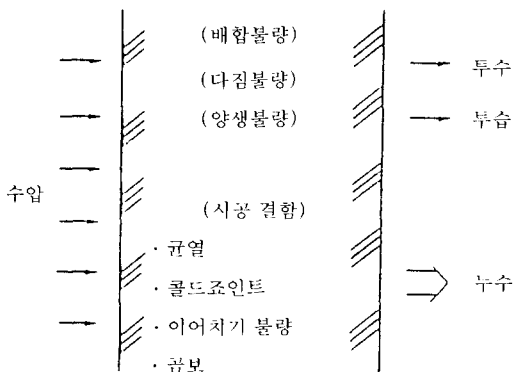


그림 2 지하구체방수의 문제점

료를 사용하고, 적절한 온·습도관리하의 충분한 양생 등 철저한 품질관리만이 최선의 방법임을 의미한다.

3.2 초기 건조수축균열 발생의 억제

(1) 양생관리

콘크리트는 타설 후 수화반응의 진행과 함께 경화하면서 콘크리트 표면에서는 수분이 증발하여 건조가 빨라져 수축하는 현상이 발생한다. 이것이 콘크리트의 초기 건조수축 균열발생의 원인이다. 따라서 초기 수화반응 진행중에는 콘크리트 표면이 강한 태양열이나 바람, 유해한 충격 및 하중의 영향을 받지 않도록 양생관리에 주의해야한다. 특히 시공 후 기상상태에 따라 콘크리트의 표면을 濕布(가마니, 마대 등)로 완전히 덮어 주거나, 가끔씩 물을 뿌려(散水) 수분을 공급해주고, 거푸집 존치기간을 유지하여 양생초기에 무리한 표면 증발이 없도록 한다. 이것은 콘크리트의 강도뿐만 아니라 내구성까지 좌우하는 중요한 관리이며 이와같은 양생관리를 통해서 초기 건조수축을 어느 정도 조절할 수 있다.

그러나 많은 건설현장에서는 부족한 공사기간을 맞추기 위한 무리한 공사진행으로 거푸집을 조기탈형하여 강한 태양열이나 비바람에 그대로 노출시키거나, 초기 재령시 중장비 및 차량을 통행시키는 등 양생관리의 소홀로 초기재령시 수밀성을 잃거나, 균열발생으로 누수되는 사례가 빈번하다.

(2) 수축보상작용의 응용

콘크리트의 수축에 영향을 미치는 요인은 시멘트의 분말도, 물시멘트비, 주위환경의 온도 및 습도, 혼합시간 등 콘크리트의 배합설계 및 양생조건을 생각할 수 있고, 팽창에 영향을 미치는 요인은 C_3A 및 석고($CaSO_4$)의 혼합량, 팽창성 혼화재료의 사용 등 화학적 반응을 생각할 수 있다. 수축보상작용이란 팽창성을 부가시켜 균열발생을 억제하는 방법으로 C_3A 및 석고($CaSO_4$)량이 적절히 혼합된 특수시멘트를 사용하여 콘크리트에 self-stressing, chemical-prestressing의 팽창효

과를 부여하는 방법과 칼슘설퍼알루미네이트계(calciumsulfuraluminate)의 팽창성 화합물(결정체)인 에트링가이트(ettringite)의 특성을 이용한 수축보상콘크리트(shrinkage compensating concrete)⁽¹⁾를 사용하는 방법이 있다(그림 3).

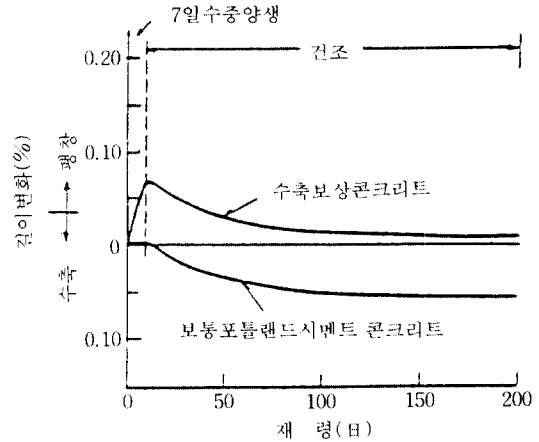


그림 3 수축보상콘크리트와 보통포틀랜드시멘트 콘크리트의 길이변화⁽³⁾

3.3 반응성 물질을 이용한 조직 치밀화

콘크리트 혼합시 潛在水경성 성질을 가진 高爐슬래그, 실리카흄(silica fume), 플라이애쉬 등의 반응성물질을 혼입하여 콘크리트 조직내의 미수화물, 수분, 수산화칼슘 등과 2차적으로 반응시켜 不溶性의 결정체(규산칼슘수화물 등)를 만들어 콘크리트의 조직을 보다 치밀하게 함으로써 강도 및 수밀성을 향상시킨다(그림 4)⁽²⁾. 또한 최근 시멘트 소재에 특수 토양미생물을 혼합한 분말형의 무기질혼화재를 사용하여 구체 중에 수압저항 보호막을 생성시키거나, 철근의 부식방지, 건조수축 억제, 동결융해 저항성 강화, 강도증가 등의 복합적 효과를 동시에 얻고자 하는 재료연구 및 시범 시공도 진행되고 있다.

이와 같은 혼화재의 사용에 의한 콘크리트의 수밀성 향상 효과를 얻기 위해서는 우선 레미콘 공장에서의 콘크리트 제조기술 능력의 향상이 크게 요구된다.

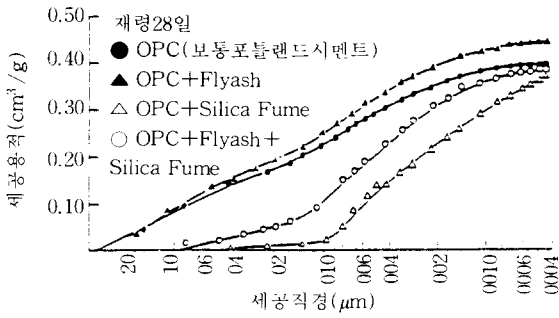


그림 4 각종 반응성물질과 혼합한 시멘트경화체의 세공용적

3.4 콘크리트의 표면 보호 처리

3.4.1 침투성 도포방수재료의 이용

이 방법은 현장에서도 손쉽게 적용시킬 수 있고, 이미 많은 재료가 사용되고 있는 것으로, 콘크리트 표면에 무기질 혹은 유기질의 침투성재료를 도포함으로써 콘크리트 조직 중에서 2차 수화반응을 유도하여 조직을 치밀하게 하거나, 공극에 불투수성 혹은撥水性的의 피막을 형성하여 수분의 침투를 어렵게 만드는 것이다. 그러나 현재 사용되고 있는 일부 재료는 재료성능만을 강조한 나머지 시공상의 유의점을 간과하여 요구하는 성능을 얻

지 못하고 오히려 표면 결함의 요인으로 작용하는 사례도 빈번히 나타나고 있다. 도포방수재료의 특성은 다음과 같다.

(1) 무기질계 침투성도포방수재료

시멘트, 규사, 활성실리카를 주성분으로 한 무기질 분말형방수재가 주로 이용되고 있다. 이 재료를 물과 혼합하여 경화콘크리트의 표면에 도포하면 조직내의 모세관 및 氣泡中에 침투하여 주위에 존재하는 수분과 함께 공극속의 $Ca(OH)_2$ 및 미수화 시멘트성분(CaO 등)과 방수재의 硅酸이온(SiO_2)이 반응하여 안정된 불용성의 규산칼슘수화물을 생성함으로써 조직을 치밀하게 한다(그림 5)⁽³⁾. 때문에 이 재료는 상시 물이 존재하는 지하 구조물이나 수조등의 벽체에 많이 사용되고, 현행의 시멘트 액체방수에 대체되는 공법으로 시공성 및 노동력 절감에 크게 기대되고 있는 공법이다.

(2) 유기질(고분자)계 침투성도포방수재료

종류에는 크게 실리콘系(실리코네이트 및 실란계), 非실리콘系(아크릴 수지 및 우레탄화합물계), 혼합계가 있다. 이 재료는 경화콘크리트, 모르타, 벽돌 등의 표면에 도포함으로써 표층부 조직에 침투하여 공극내에 불투수성의 피막을 형성하여撥水效果를 발휘함으로써 물의 침입(吸水)을 방지한다(그림 6)⁽⁴⁾. 이 재료는 방수성을 향상

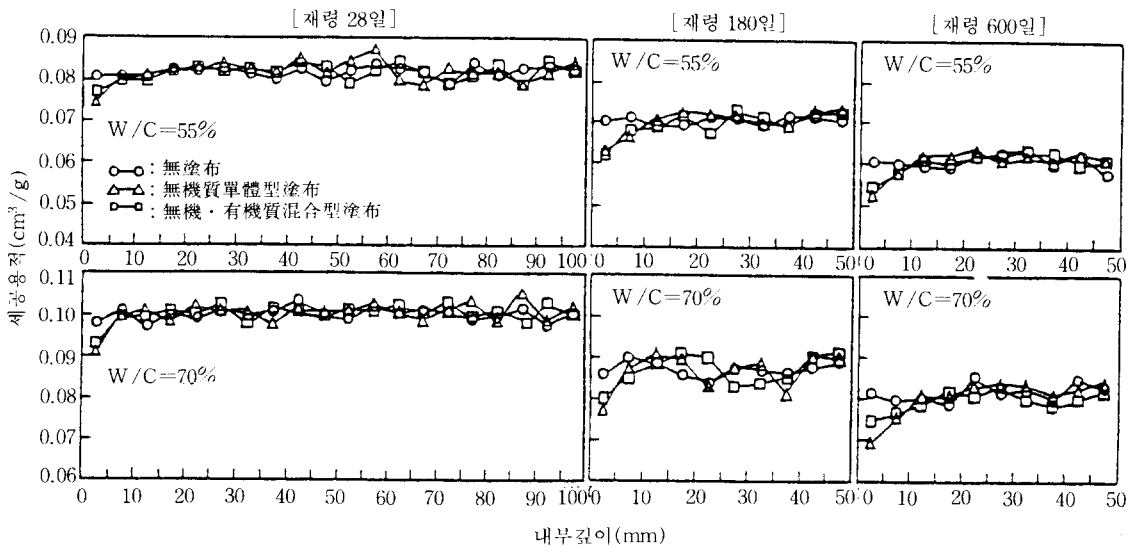


그림 5 무기질침투성도포방수재료를 도포한 모르타의 내부깊이별 세공용적의 변화 (표면에서 5mm 이하의 표층부에서 세공용적 감소)

시키는 목적외에 백화현상 방지등 외벽보호조치 용으로도 사용되고 있다.

상기 2 재료는 나름대로 콘크리트의 수밀효과 및 중성화, 염해로부터의 표면보호를 목적으로 크게 기대되고 있지만, 성능 및 방수메카니즘에 관해서는 분명히 규명해야할 점도 적지 않고, 특히 구조체의 거동(진동, 균열) 및 常時乾燥가 예상되는 곳에서의 사용은 피하는 것이 좋다.

적용부위	옥상	배란다	외벽	지하외벽	실내	수조류
방수						
층의 종류						
아스팔트방수	○	○	-	-	○	-
쉬트 방수	○	○	-	○	○	○
도막 방수	○	○	○	○	○	-

○ : 표준방법 적용
 - : 표준의 방법 적용

그림 7 멤브레 방수층의 종류와 적용부위

에 대한 조치는 많은 시간적, 경제적 손실을 초래하기 때문이다.

(1) 지붕(슬래브)방수

아스팔트 열공법에 의한 積層防水공법(용융아스팔트, 아스팔트 펠트 및 루핑재를 겹쳐가는 8층방수)은 두꺼운 방수층으로 수밀상의 신뢰는 높지만 바탕콘크리트의 균열발생시 함께 파단되거나, 방수층이 들떠올라 누수사고를 일으키는 사례가 많다. 또한 적층방수인 관계로 시공이 복잡하고, 아스팔트용융시 화재 및 화상의 염려가 크며, 매연에 의한 환경오염 및 민원의 소지가 많고, 특히 누수사고 발생시 균열 혹은 파단부분의 발견이 어려워 전면적으로 보수해야 한다.

최근에는 3D현상에 따른 시공 기피현상과 기능인력 부족이 겹쳐 대체공법 및 재료의 등장이 크게 기대되고 있는 실정이다.

쉬트방수는 IIR/EPDM계의 加硫고무계가 주류이지만, PVC계, 폴리머 改質아스팔트계, 非加硫고무계도 일부 사용되고 있다. 그러나 이 공법에 있어서 가장 중요한 쉬트와 쉬트의 연결부분에서의 시공정밀도를 확보할 만한 숙련된 기능공의 부족과 후속되는 타공정과의 연계관리가 체계적이지 못한 현장여건에서는 하자발생(찢김, 패임 등)요인이 크기 때문에 아직 일반화되고 있지 못한 실정이다.

도막방수는 수용성의 고무화아스팔트계 재료가 주로 사용되고 있고, 최근 우레탄수지계 재료가 수입되어 사용되고 있다. 前述의 멤브레재료보다 시공성 및 유지관리, 補修性이 우수하여 금후 기대되는 공법이지만 현장시공상 바탕재의 면처리(요철조정 및 수분측정), 도막두께 확보, 온도 및 배합·양생 관리 등의 철저한 품질관리가 요구된다.

재료의 종류	접촉각(度, θ)
철	0
유리	1-4
스테아린酸	96-106
파라핀	108-116
폴리비닐알콜	36
폴리酢酸비닐	27-89
폴리에틸렌	94

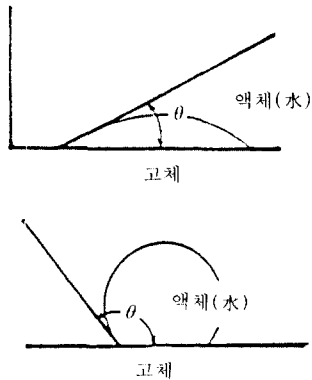


그림 6 재료의 물에 대한 접촉각과 접촉각의 정의

3.4.2 멤브레 방수층 시공에 의한 물의 침투방지

前述의 여러가지 방법에 의해 콘크리트의 수밀성을 개선하고자 노력하지만 현장 시공의 諸여건상 관리의 실패, 자연적·인위적 환경의 침해로 인한 결함에 대해서는 후속적인 보호(누수에 대한)가 필요하다. 이러한 보호는 구체에 결함에 발생했을 때 조치하는 것이 당연한 대책이지만 대부분 결함발생을 예측하여 미리 보호조치를 강구하고 있다(그림 7)⁽⁵⁾. 이것은 콘크리트에 대한 「물의 침투방지」라는 의미와 함께 내구성향상 차원에서 도 반드시 필요한 조치이고, 결함발생 후 이

(2) 실내방수

국내에서의 실내(욕실, 화장실, 주방, 다용도실, 발코니 및 베란다 등)방수는 시멘트모르타에 脂肪酸(鹽)계 방수액을 섞어 배합한 액체방수재를 콘크리트 표면에 덧바르는 공법이 주로 사용되고 있다. 최근 공동주택의 누수실태가 사회적 문제로까지 대두되면서 가장 우선적으로 개선해야 할 여지가 많은 공법이 바로 시멘트액체방수로 생각된다. 현행 건축공사표준시방서의 방수공사 규정에 의하면 시멘트액체방수 4개의 선택 시방(A, B, C, D종으로 구분)이 부려 6~12공정으로 이루어져 있어 시공상의 번거로움과 기능인력의 부족으로 생략해버리는 공정이 많아 품질관리상 많은 문제점을 가지고 있다. 또한 방수재료특성상 모체(바탕재) 거동시 방수층이 파단되기 때문에 조인트부분이 많은 실내방수에서는 적합하지 못한 공법이다. 선진외국의 실내방수는 이미 시멘트액체방수재의 사용은 거의 찾아볼수 없고 수 많은 개량공법으로 대체되었다.

(3) 지상외벽방수

현재 국내에서의 콘크리트 외벽 처리는 주로 돌붙임, 타일붙임, 시멘트모르타 미장 및 도장 등 방수에 도움이 되는 마감(化粧)으로 처리하고 있다. 이러한 마감처리를 생략한다면 당연 방수처리가 필요한 부위이다.

지상외벽은 方位에 따라 여름은 동쪽과 서쪽, 겨울은 남쪽의 온도변화가 심하여 지상과 동등한 정도 혹은 그 이상의 온도수축. 팽창을 반복하며 균열이 발생한다. 때문에 부착력이 크고, 온도변화 및 구체거동에 신속적으로 대응(追從性이 높은 것)할 수 있는 도막방수공법이 적당하다. 재료는 아크릴고무계가 改修 뿐만 아니라 新築에도 주로 사용되고 있고, 그 외 우레탄의 에멀전이나 실리콘계의 사용도 검토되고 있다.

(4) 지하외벽방수

지하외벽방수는 크게 外防水와 內防水로 구분된다. 일반적으로 멤브렌방수재(아스팔트루핑, 합성고분자 쉬트, 벤토나이트 쉬트 또는 판넬 등)를 이용한 외방수공법이 가장 효과적으로 평가되고 있으나 건축물 주변의 공사 余堀이 적다던가 전혀 없는 상황에서는 방수층 시공이 어렵고 흠뻑메우

기시 결함이 발생해도 수선이 불가능하다. 때문에 지하의 콘크리트 방수는 옥상보다 콘크리트의 수밀성에 의존도가 크고 적용 가능한 내방수공법이 주로 사용되고 있다.

현재 지하외벽의 내방수공법에는 시멘트액체방수재와 무기질계침투성도포방수재가 사용되고 있다. 시멘트액체방수는 이어지기부 및 곰보, 균열 부분에서는 방수효과를 기대할수 없지만 가격이 싸다는 점에서 많이 사용되고, 이에 대한 대체공법 및 재료로써 무기질침투성도포방수재료의 이용이 점차 증가 추세이다. 그러나 이들 재료의 가장 커다란 취약점은 구조벽체(바탕재)의 균열발생시 전혀 대응하지 못하고 동시에 파단되므로 사용상의 선택에 주의해야 한다. 이에 대한 대비책으로 지하외벽방수에는 건축물의 용도에 따라 이중벽설계를 통한 누수의 직접적인 피해를 방지하는 것도 최선의 방법이며, 현장에서도 많이 채용되고 있다.

4. 콘크리트 방수의 대책

4.1 라이프사이클 비용과 유지보수 비용을 고려한 계획 및 설계

일반적으로 라이프사이클 비용(Life Cycle Cost)이란 건축물의 계획단계에서 최후 수명까지의 기간에 필요한 기획·설계·건설·운영(유지보수 포함), 폐기처분 등의 경비 총액을 말한다. 일례로 사무소건축의 라이프사이클 비용 개요를 살펴보면 우리가 일반적으로 생각하는 건설비는 빙산의 일각과 같고, 라이프사이클 비용중에서 건설비 및 보수경비가 차지하는 비율을 예측할 수 있다(그림 8)⁽⁶⁾

이는 방수공사에서도 같은 개념으로 생각할 수 있다. 즉 건설시의 방수시공비와 수명이 다할 때까지의 도중에 이루어지는 부분보수 및 전면개수에 관련된 경비를 생각하면 보수 및 개수비용 쪽이 대폭으로 상회할 것이다(그림 9)⁽⁶⁾. 즉 방수층을 구성하는 단열층(옥상방수의 경우), 보호층 등은 콘크리트 구체에 비해 절대적으로 수명이 짧아 주기적인 보수가 필요하고, 이때 비용은 신규방수

비용보다 몇배 이상이 된다. 따라서 방수공사의 라이프사이클 비용을 저감하려면, 계획단계에서부터 유지보수를 고려한 방수설계가 되어져야 한다. 이와 같은 라이프사이클 비용을 고려한 방수공법의 연구는 앞으로 점점 필요하게 될 것이고, 관습적이고 고정적인 개념에서는 대응하기 어려운 사태도 초래하게 될 것이다.

한가지 실례로 지하 콘크리트 방수공법을 결정하는 경우에 미리 아래와 같은 사항을 조사·검토하고 그 결과에 따라 구체방수, 외방수, 내방수, 이중벽방수 등의 필요한 공법 및 사용재료를 재고할 필요가 있다.

- ① 건물에 관한 사항 : 지층·기초의 넓이·깊이, 지하실의 사용목적 등
- ② 부지에 관한 사항 : 부지 상황, 인접건물의 상황 등
- ③ 지반에 관한 사항 : 지반 상황, 평상시의 지하수위 및 계절마다의 변동, 수질(해수, 온천수)
- ④ 시공에 관한 사항 : 흙막이·굴삭 및 지층·기초의 시공방법, 시공시기 등

4.2 콘크리트의 재료 및 배합설계 관리

콘크리트 방수에서 가장 중요한 것은 콘크리트의 품질이며 강도·내구성·시공성과 함께 수밀성이 큰 콘크리트의 제도가 요구된다. 콘크리트에 대한 수밀성의 지표로써 투수계수 $k(\text{cm/s})$ 가 있고 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$k = \frac{Q \cdot L}{A \cdot P}$$

- 여기에서 Q : 물의 流量(cm^3/s)
- A : 물의 투과면적(cm^2)
- L : 시료의 두께(cm)
- P : 水頭差(cm)

사용골재는 일반적으로 골재(암석)의 k치는 약 $5 \times 10^{-12} \text{cm/s}$ 정도의 작은 수치를 나타내지만 골재의 품질에 의해서 그 값이 변하기 때문에 대체로 비중과 실적율이 크고 흡수율이 작은 골재를 사용한다. 골재에 비하면 콘크리트의 k치는 10배 이상으로 이는 시멘트 매트릭스의 물시멘트비가 클수록 크게 나타난다. 때문에 수밀콘크리트의 물시멘트비는 50%이하(1986년 건축공사표준시방서 규정, 일본건축학회에서는 1986년 이후 55%로 규정)로 할 것을 권장하고 있으며, 동시에 단위조골재량도 가능한 한 크게 하도록 조골재의 입도분포를 조절할 필요도 있다. 또 슬럼프가 크고 단위수량이 많은 콘크리트는 브리이딩이나 침전이 많아지기 때문에 슬럼프는 15cm이하(일본 건축학회에서는 18cm로 규정)로 한다. 단 슬럼프를 무턱대고 작게 하면 유동성이 저하되어 오히려 시공결함의 우려가 있으므로 주의한다.

혼화재료에 대해서는 AE제나 AE감수제를 사용한 편이 좋지만 공기량은 4% 이하가 되도록 한다. 최근 고강도콘크리트에 사용되는 고성능 AE감수제는 감수성능이 커서 물시멘트비를 작게 해도 시공성이 좋은 콘크리트를 얻을 수 있기 때문에 수밀콘크리트에 적합하다.

한편, 방수보르터용으로 각종 혼화제가 시판되고 있지만 이를 콘크리트용 혼화제로 사용되는 경우에는 방수성 이외의 기본성능에 악영향을 미치는 일이 없는가를 충분히 검토할 필요가 있다. 일반적으로撥水性 혼화제는 강도나 철근과의 부착

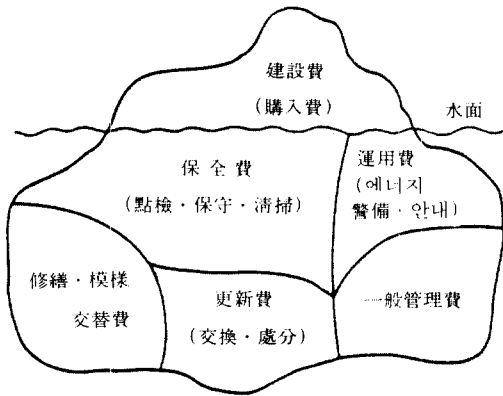


그림 8 라이프사이클 비용의 개념도

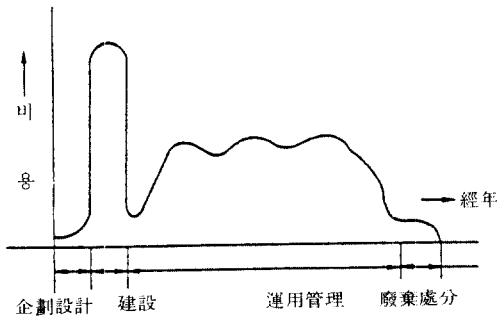


그림 9 라이프사이클 비용의 經年마다의 개념도

성을 저하시키고, 早強性 혼화제는 수축이 커 균열을 발생시킬 우려가 있다. 이에 비해 양질의 실리카분말이나 플라이애쉬 등의 혼화제는 미립자가 시멘트의 공극을 배우던가 장기간에 걸쳐서 수산화칼슘과 결합하여 조직을 치밀하게 하는 등 여러작용을 하기 때문에 수밀성의 개선에 효과가 있다(그림 10)⁽⁷⁾. 그러나 어느 혼화재를 사용한다 해도 재료자체에 과대한 효과를 기대해서는 안된다.

건조수축균열의 발생을 억제하기 위한 콘크리트용 팽창재의 사용은 지하부분은 일반적으로 습도가 높기 때문에 건조수축의 억제효과가 지상부분에 비하면 유리하나 연속된 벽면이 많기 때문에 오히려 균열이 생기기 쉬워 사용전에 충분한 검토가 요구된다.

또한 지하부분은 매스 콘크리트로 타설되는 일이 많기 때문에 수화열균열이 발생할 염려가 크다. 이 때문에 가능한 물시멘트비가 작은 단단한 콘크리트를 사용해야하지만 된비빔에 의한 충전불량이 생기지 않도록 유동성을 고려한 배합이 필요하다.

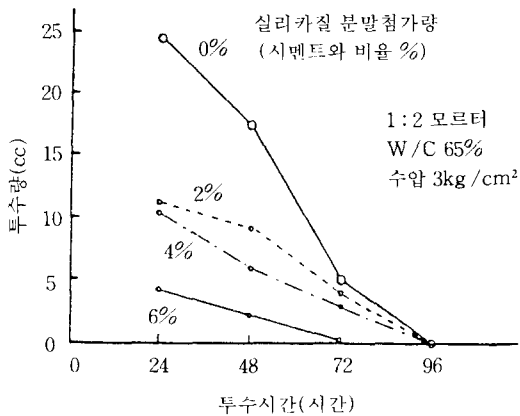


그림 10 실리카질 분말 첨가량과 투수량

4.3 콘크리트 시공관리

콘크리트의 결함은 콘크리트 자체의 품질보다도 오히려 시공 실패로 인한 결함이 많은 사례가 종종 발생한다. 특히 지하에서의 콘크리트 시공은 지상과는 달리 여러가지 어려운 점이 따르기 때문

에 시공불량개소가 생기지 않도록 충분히 주의하여 시공하여야 한다.

(1) 타설계획

콘크리트 구체방수의 경우 이어치기 개소에서 결함이 생길 우려가 크기 때문에 가능한 한 이어치기부분을 적게 하는 것이 바람직하지만 매스콘크리트 타설시는 오히려 1회 타설량을 적게 해야 하기 때문에(발열량 조절)에 兩者를 고려해서 타설구획을 정하여야 한다.

흙막이벽을 세우는 경우에는 버팀목을 콘크리트 타설전에 제거하여 불필요한 구멍이 남지 않도록 한다. 또 逆打공법에서는 수직이음부(판넬과 판넬사이)를 완전하게 일체화시킨다는 것은 부리이기 때문에 아래 층부터 차례로 타설하여 가능한 밀실하게 다져지도록 계획한다.

(2) 콘크리트의 운반·타설·양생

콘크리트의 운반시간이 길어지면 슬럼프가 저하되기 때문에 레미콘 운반시간이 90분을 넘는 경우에는 지연형 혼화제를 이용한다. 슬럼프저하에 대해서는 유동화제를 사용하는 것이 효과가 있지만 유동화제 첨가 후의 슬럼프 저하가 빠르기 때문에 주의한다(그림 11)⁽⁷⁾. 한편 콘크리트의 이어치기 간격이 길어지면 먼저 타설한 부위와의 경계가 콜드조인트가 되기 쉽기 때문에 가능한 한 연속적으로 타설하도록 한다. 외기온이 25℃ 미만인 경우는 이어치기간격의 한도를 90분으로 하는 것이 좋다.

지하층으로의 콘크리트 운반 및 타설은 경사수

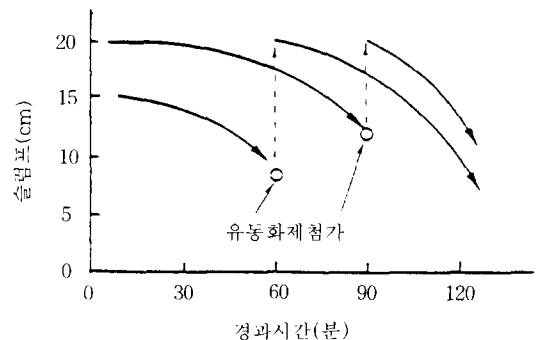


그림 11 슬럼프 저하와 유동화제 첨가

트를 사용하는 것보다 수직으로 타설하도록 한다. 이 경우 지하층은 층고가 높기 때문에 상부에서 그대로 타설하면 골재가 분리되므로 벽 중간에 콘크리트 투입구를 설치하고 그 구멍에 슈트를 설치하여 타설하는 것이 좋다. 또 콘크리트를 한꺼번에 타설하면 거푸집이 터지거나, 브리딩, 침강이 커지기 때문에 1회 타설높이는 60cm 정도로 하고 충분히 다짐한 후 다시 타설한다.

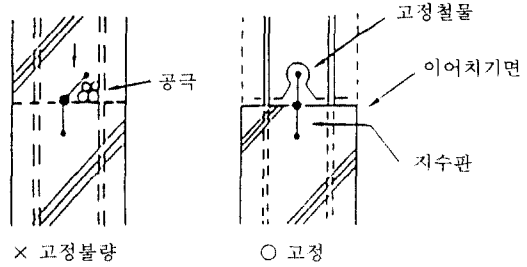


그림 12 지수판의 고정

(3) 이음부의 처리

콘크리트의 수평·수직 이음부는 특별히 유념해서 시공해야 한다. 수평이음부의 콘크리트면은 평활하게 한 후, 어느 정도 경화시킨 후 표면의 레이턴스를 제거하고 평활하게 한다. 표면의 경화가 지나치면 다듬기가 힘들고 경화가 불충분하면 골재가 들뜨기 때문에 경화시간에 주의한다. 수직이음부는 합판 등으로 정확하게 마무리하고 수밀상취약한 요철부분이 생기지 않도록 한다. 메탈라스 등으로 마무리하는 경우는 끝부분이 콘크리트 표면에 나오지 않도록 한다. 새로운 콘크리트를 타설하기 전에는 표면에 습기를 보충해야 한다. 이때 표면에 물이 남거나 동결기에 결빙되지 않도록 주의한다.

수압이 걸리는 장소의 이음부에는 플라스틱·합성고무·동판 등의 지수판을 사용한다. 이 재료들은 어느 정도 견고함과 변형성능을 가지고 있고, 내구성이 있으며 콘크리트와의 접착성능도 좋다. 형태는 다양하지만 복잡하지 않은 형태가 좋다.

지수판은 철근의 위치를 피해서 구체단면의 중앙부에 설치하고 콘크리트 타설시에 어긋나거나 휘지 않도록 보조철물 등을 이용해서 확실하게 고정시켜야 한다(그림 12). 수평이음부에는 보의 윗부분의 철근이나 슬래브 철근이 있기 때문에 이음부의 위치를 다소 높게 하는 편이 좋다. 지수판의 이음매는 용착이나 압착으로 연결시켜 사용한다. 지수판 외에 최근에는 물을 흡수하면 팽창되어 물의 침입을 막도록 되어 있는 탄성 seal 재가 시판되고 있어 비교적 쉽게 시공할 수 있다. 그러나 큰 요철이 있으면 間隙이 남아서 누수의 원인이 되기 때문에 이음면은 평활하게 해서 밀착시켜야 한다.

(4) 콘크리트의 양생

콘크리트의 수밀성은 수중양생기간이 늘어남에 따라서 증대되기 때문에 거푸집은 가능한 오랫동안(지정 존치기간 확보) 남겨두도록 한다. 지하층은 되메우기 이후는 습윤상태가 유지되지만 그때까지는 건조하지 않도록 적당하게 물을 뿌려 양생한다. 이러한 작업은 콘크리트의 강도증진과 균열 방지에도 효과가 있다.

(5) 보수·줄눈 처리

벽의 개구부나 필요없는 구멍은 가능한 한 만들지 않도록 한다. 어쩔수 없이 만드는 경우에는 주위에 흡수팽창성 seal 재를 붙이고 경화 콘크리트를 타설하여 주변의 간극에 수지 혹은 팽창성 콘크리트를 주입한다. 파이프 관통부위나 폼타이에도 흡수팽창성 seal 재나 패킹을 붙여서 물의 침입을 막도록 한다(그림 13). 이음불량 부위·균열·콜드조인트 등은 V자모양으로 잘라서 seal 재를 충전하던지 수지를 주입해서 막는다. 또 곰보 등이 생긴 장소는 불량부위를 충분히 깎아내어 라텍스모르터나 수지모르터를 발라 전면적으로 보수한다.

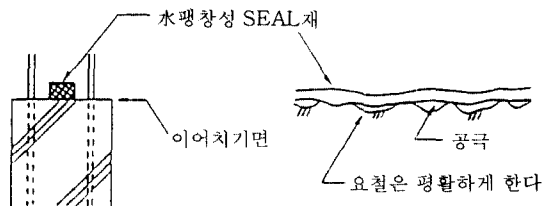


그림 13 水팽창성 SEAL재의 설치

4.4 콘크리트 구체의 표면보호

구조적으로 복잡한 건축물에서는 줄눈처리나 타설 및 양생관리의 불충분으로 발생하는 균열에 의해 누수되는 경우가 많다. 특히 수압이 걸리는 지하부분에서 지하수의 침입을 완전하게 막는 것은 불가능에 가깝고 보수작업에도 많은 어려움이 따른다. 또 수압이 높은 경우에는 투수나 투습에 의하여 벽면이 젖게 된다. 이 때문에 지하층을 콘크리트 구체방수에만 의존하는 것은 위험하며 통상 외방수·내방수·이중벽 등 그 건물의 조건에 맞는 방수공법을 선택하여 시공해야 한다. 단, 외방수나 내방수는 어디까지나 물을 통과시키지 않기 위한 보조수단이며 건전한 콘크리트구체를 만드는 것은 방수공법의 기본임을 잊어서는 않된다.

(1) 외방수

외방수공법은 크게 벽면만을 방수하고 底部(바닥부분)에서의 물은 피트(Pit)등으로 처리하는 공법과 벽면 및 底部 모두를 방수하는 공법으로 나누어진다. 일반적으로 해외 및 국내의 현장에서 많이 채용되고 있는 외방수공법으로는 1) 연속지중벽공법(Soil시멘트 연속지중벽공법, 슬러리월 연속지중벽공법), 2) 멤브레방수공법, 3) 벤토나이트판넬방수공법 등이 있다. 이 중 2), 3)의 공법은 콘크리트구체의 외측에 방수층을 설치하여 구체내부로 물의 침입을 막는 방법이지만, 1)의 공법은 방수공법이라기보다는 침수, 누수를 막는 흙막이벽(土留壁)을 겸한 止水壁, 遮水壁의 개념으로 생각할 수 있다. 벤토나이트판넬방수의 개요는 다음과 같다.

① 벤토나이트방수재의 종류에는 벤토나이트를 부직포 가운데에 샌드위치시킨 매트(mat)타입, HDPE(고밀도 폴리에틸렌)에 벤토나이트를 접착시킨 슈트(sheet)타입, 크래프트(kraft) 판넬 가운데에 벤토나이트를 충전시킨 판넬 타입이 있다.

② 벤토나이트 판넬(1.2×1.2m, 두께 4.8mm)에 충전되어 있는 나트륨벤토나이트는 高膨脹性·高粘性을 갖는 고품질로서 투수계수도 10^{-10} cm/s부터 10^{-12} cm/s이하여서 방수층으로써 충분한 불투수층을 만들 수 있다.

③ 벤토나이트판넬방수 시스템은 後附着공법과 先附着공법 2종류로 구분된다⁽⁸⁾. 後附着공법은 콘크리트 벽체를 시공한 후 벽체 주위의 여유 공간이 있을 때 벽체 외측면에 벤토나이트판넬을 부착(그림 14)하는 것이고, 先附着공법은 흙막이벽 벽면에 벤토나이트판넬을 부착한 후 콘크리트를 타설(그림 15)하는 것이다

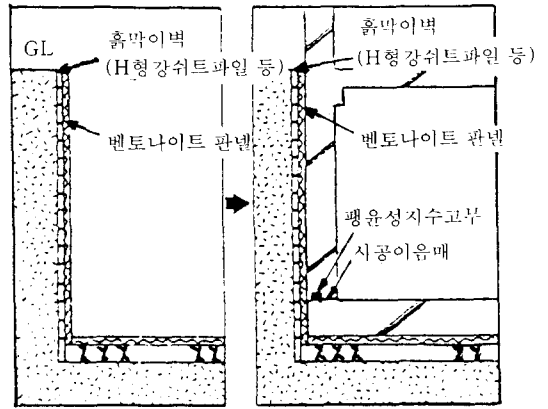


그림 14 선부착 공법의 개요

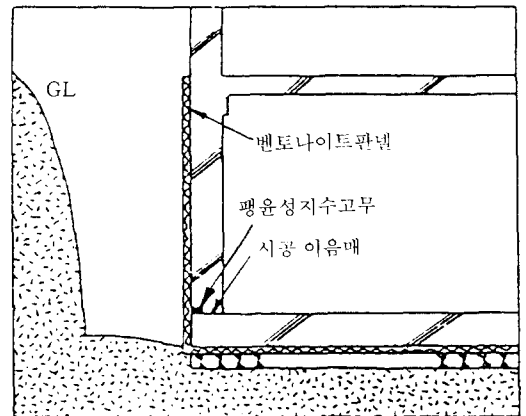


그림 15 후부착 공법 개요

(2) 내방수

콘크리트의 표면성능저하나 오염이 구체의 흡수성 및 浸水와 밀접한 관련이 있다고 보면 콘크리트 표면을 적절한 재료로 도포함으로써 구체 표층부의 수밀성을 높임과 동시에 내구성을 향상시

키는 것은 콘크리트 방수를 위한 주요한 대책의 하나이다.

최근 지하 콘크리트 구체의 내측에서 구체표층부에 무기질침투성(규산질)도포방수재를 도포함으로써 방수성능을 확보하는 공법이 많이 사용되고 있다(그림 16). 이는 멤브레인방수와는 달리 시공이 간단하고 박리에 의한 누수 염려가 없는 것이 장점이다. 우리나라에서 사용되는 재료는 주로 유럽 및 일본에서 생산된 제품을 도입한 것이 많고, 대부분의 제품이 프리믹스화되어 있어 시공 및 관리가 간단하다. 또 독성이 없기 때문에 음료저수조나 풀장 등에도 사용할 수 있다. 그러나 이 도포방수재는 콘크리트 중의 성분과 반응하여 모세관내에 결정을 형성하는 것으로 방수성을 발휘하지만 그 반응이 완료되기까지는 시간이 걸린다. 아직 반응이 완료되기 전에 수압부하를 받으면 충분한 방수성능을 발휘할 수 없기 때문에 樹脂系방수재를 겸용하여 누수를 막는 복합방수시공도 고려할 필요가 있다.

폐액처리시설이나 하수처리장, 정수장 등에서는 도포방수층의 보호를 위해 에폭시수지계 도포재로 「防食을 겸한 表面化粧(治粧)마감 공법」이 바람직하다. 지하주차장에서는 자동차의 배기가스 등으로 대량의 이산화탄소가 발생하여 콘크리트의 내구성유지 차원에서 커다란 장애가 된다. 따라서 알칼리에 강하고, 공기·수증기는 통하지만 이산화탄소는 통과시키지 않는 「表面化粧방수재」에 의한 공법도 개발되고 있다.

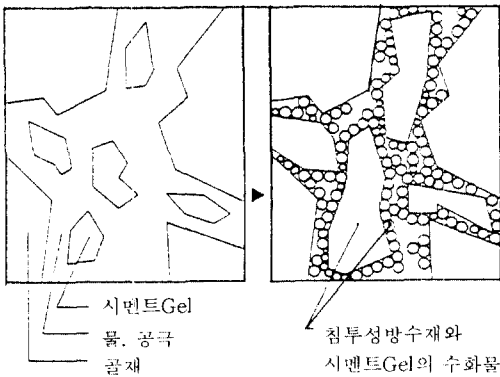


그림 16 무기질 침투성 방수재와 시멘트Gel의 결합에 의한 구체 치밀화 개요도

(3) 이중벽방수

지하외벽은 지하수위의 상하에 의한 수압변동이나 콘크리트 구체의 균열발생, 년수가 경과함에 따른 방수층의 성능저하로 인한 누수방지를 고려하여야 한다. 또 지하외벽은 실내환경에 의하여 결로가 발생하기 쉽기 때문에 사무실, 전력실, 중요물품의 보관창고 등에는 실내측에 콘크리트 블럭 등을 설치하는 이중벽 공법을 적극적으로 채용할 필요가 있다(그림 17).

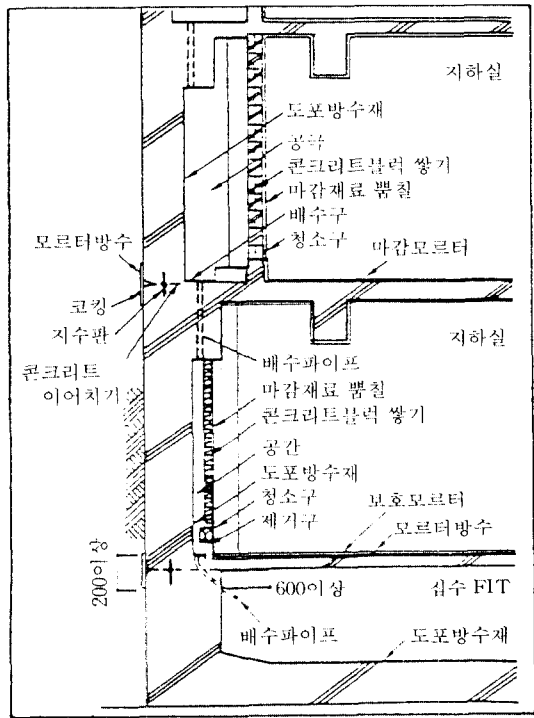


그림 17 이중벽에 의한 지수공법의 단면도

4.5 지붕·실내방수의 공법 및 재료 개발

지붕은 물이 체류하는 시간이 적고 체류한다 해도 큰 수압이 작용하지 않기 때문에 지붕방수는 콘크리트 슬래브에 대한 물의 침투방지기보다는 바탕콘크리트 슬래브의 균열발생에 대한 사전 대책으로서 실시된다. 때문에 지붕방수층은 바탕콘크리트의 균열발생시 방수층은 파단되지 않을 것이 필수적으로 요구된다.

이미 선진외국의 방수기술 부문에는 옥상 등에서 방수층의 균열 및 들뜸방지를 위한 공법 및 재료가 개발되어 실용화되고 있다. 따라서 국내의 실정에 맞는 기술도입 및 개발을 적극적으로 검토할 시점에 이르렀다고 생각된다. 그 적용가능 공법의 예로써 방수층의 최하층을 바탕콘크리트에 부분적으로 접착시켜 균열 및 수분압력의 영향을 감소시키는 絶縁工法, 합성섬유를 베이스로 한 강력한 인장력을 갖는 특수루핑쉬트(스트레치 아스팔트 루핑)의 사용으로 방수층의 내균열성을 보강하는 기술, 아스팔트 용융시 냄새나 연기가 환경오염 및 근처 주민의 불만요인이 되는 점이나 숙련기능공의 부족에 대한 대응책으로서 용융아스팔트를 사용하지 않는 点着공법 및 接着공법(冷工法 이라함)의 적용, 그리고 두꺼운 폴리머改質아스팔트루핑의 표면을 토치버너로 가열용융하여 퍼붙이는 토치공법 등의 적극적인 도입은 노동력 절감 및 공기절감에 크게 기여할 것으로 예측된다. 또한 쉬트방수의 장점인 두께의 균일성·품질의 안정성과 도막방수의 장점인 뛰어난 수밀성을 조합시킨 복합방수공법의 연구도 필요하며, 어느 방수공법이라도 적당한 단열재와의 조합도 필수적으로 검토되어야 한다.

5. 결 론

수많은 종류의 방수공법 및 재료가 등장하고 있는 상황에서 구조물의 제반여건(구조, 의장, 환경)에 완전히 적합한 공법 및 재료를 선정하는 것은 쉬운 일이 아니다. 때문에 이에 대한 적극적인 활용 및 발전을 위해서는 학계 및 업계에서의 고품질 방수층을 만들기 위한 많은 연구가 뒷받침되어야 하고, 현장기술자들의 시공노하우가 축적되어야 한다. 또한 방수에 대한 개념도 한번 공사해 놓으면 건축물의 수명이 다할 때까지 성능이 지속되기를 기대하는 것보다 건물에 대한 유지관리 및 체계적인 보수계획의 수립하에 그 효과를 최대한 얻기를 기대해야 한다.

최근 건설공사의 부실시공 문제가 사회적으로 부각되면서 품질관리(Q/C) 및 품질보증(Q/A)이 새삼 강조되어 주요구조부의 하자담보기간이 10년으로 연장되고, 각종 감리제도가 강화되었다. 이에 대처하기 위한 관련업계의 대책강구가 활발해지고 있는 시점에서 「콘크리트의 방수에 대한 현상과 대책」을 생각해 본 것은 시의 적절한 주제가 아닌가 생각한다.

본 論題를 집필함에 있어서 건축방수에 관한 현실적인 제반문제 및 향후의 방향성에 대해서 충분히 피력하지 못함을 아쉽게 생각하고, 금후 방수기술 분야에 대한 학계, 업계의 보다 깊은 관심과 본격적인 연구검토를 기대하며, 많은 지도편달이 있기를 기대하는 바이다.

참 고 문 헌

1. Sander Popovics, "Expansive Cement," Concrete Making Materials, pp.107-111, 1979
2. 笠井芳夫, 小林正凡, "シリカヒューム, セメントコンクリート用混和材料," 技術書院, pp.109, 1986
3. 田中亨二, 吳祥根, 小池迪夫, "ケイ酸質微粉末混合セメント系塗布防水材料の性質," セメント協會, セメントコンクリート pp.22~30, 1992. 7
4. 大濱嘉彦, "新しい塗布浸透型防水材料の性質," 防水ジャーナル, p.30, 1986. 10
5. 日本建築學會, "メンブレン防水工事, 建築工事標準仕様書・同解説" JASS 8, p39, 1986
6. 小池迪夫, "塗膜防水のメリット," 塗膜防水ガイドブック, p.36, 1986
7. 加賀秀治, "驅體防水," 建築技術, pp.90-94, 1992. 9
8. 岡本忠士, "ベントナイト防水工法," 建築技術, pp.82-85, 1992. 9
9. 미장방수공사협회, "공동주택방수공법의 개선 및 대체방안에 관한 연구", 1993. 12
10. 대한건축학회, "콘크리트공사, 방수공사", 건설부제정 건축공사표준시방서, 1986
11. 吳祥根, "콘크리트의 수밀성과 건축방수", 韓國레미콘공업협회, pp.36-46, 1993. 4