

콘크리트의 防水理論과 實際

~建築用 시멘트 防水劑~

盧 載 星

〈忠南大學校 教授·工博〉

1. 콘크리트 방수성의 중요성

콘크리트 구조물의 방수성은 콘크리트 수조·도수로·지하 구조물·댐·탱크·옥상 등에서 뿐만 아니라 일반 구조물에서도 백화현상(efflorescence)을 감소시키며 중성화(carbonation)를 방지하고 내후성·내약품성 등을 향상시키기 위해서 필연적으로 요구되는 성질이다. 특히 산업이 발달함에 따라 해양구조물 및 방사성 폐기물 처리·처분시설 등과 같이 높은 수밀성이 요구되는 고내구성 특수 구조물의 수요가 급증함에 따라 콘크리트의 방수성은 더한층 강조되고 있다.^{1),2)}

콘크리트 구조물에 각종 용액 혹은 유해가스가 흡수되거나 투과됨으로써 야기되는 콘크리트의 피해현상들을 요약하면 다음과 같다.^{3),4)}

1) 동결융해에 의한 파괴

물은 얼음으로 변하면서 약 11% 정도의 체팽창이 일어난다. 따라서 콘크리트 조직내에 존재하는 모세관이나 공극이 수분에 의해서 90% 이상 채워져 있으면 동결되면서 팽창압을 발생하여 콘크리트를 파괴시키게 된다.

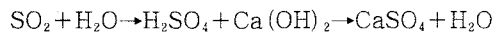
2) 체팽창성 각종 염 형성에 의한 파괴

황산염, 질산염, 염화물, 탄산화물 등과 같은 가용성 염들이 외부로부터 콘크리트에 침투되면 결정화되거나 수화물을 형성하게 되면서 20~200N/mm²의

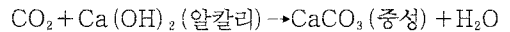
체팽창압을 발생시키게 되므로 구조물이 파괴된다.

3) 부식에 의한 화학적인 파괴

① 화석연료에서 배출되는 산성 폐가스(SO₂, SO₃, NO, NO₂ 등)가 콘크리트 구조물에 침투되면서 다음 화학반응식에서와 같이 시멘트 수화반응에 의해서 생성된 난용성 결정(예 portlandite)들이 가용성 염(예 석고)으로 변화되어 용출됨으로써 콘크리트 재질이 다공성으로 된다.



② 탄산가스는 수산화칼슘을 탄산칼슘으로 변화시켜서 콘크리트를 중성화시키므로 철근에 형성되어 있는 부동태막($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)을 파괴하여 철근의 부식을 촉진시킨다.

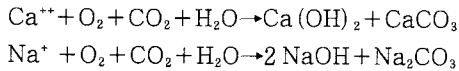


③ 철근콘크리트 구조물에서 염소이온(Cl⁻)의 농도가 0.4% W/W 이상되면 염소이온이 불용성인 Friedel씨 염(3CaO · Al₂O₃ · CaCl₂ · 10H₂O)으로 고정되지 않고 유리된 상태로 존재하여 철근의 부식을 촉진한다.

4) 백화현상에 의한 미관상 파괴

시멘트의 용출성분인 Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺ 등과 같은 이온들이 콘크리트 표면에 용출되면서 다음 화학반응식에서와 같이 대기중에 있는 O₂나 CO₂와 반응하거나 농축되어 흰색결정을 형성, 구조물의

미관을 파괴한다.



5) 생물학적인 부식 및 미관상 파괴

박테리아, 이끼, 해조류 등의 서식에 의해서 콘크리트 구조물이 파괴되거나 미관상 손상을 입는다.

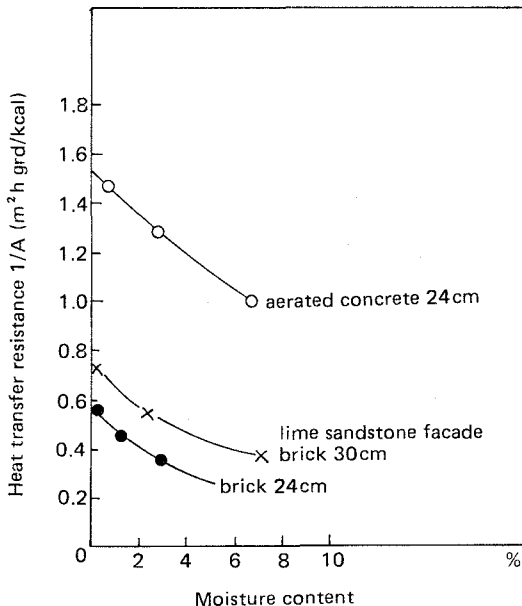
6) 단열성의 감소

콘크리트 구조물에 수분 함량이 증가함에 따라 콘크리트의 단열성은 감소한다. 즉 구조재료의 수분 함량에 따른 단열성은 <그림-1>에서와 같이 감소하는 것으로 나타났다.

이와 같이 콘크리트의 방수성은 콘크리트의 내구성에 결정적인 영향을 주게되므로 앞으로 이에 대한 연구가 절실하게 요구된다.

2. 콘크리트 구조물의 방수성

콘크리트 구조물의 방수성은 시멘트 및 골재의



<그림-1> Loss of thermal insulation depending on the moisture content of building materials.³¹⁾

특성과 시공방법에 크게 좌우되며 일반적으로 다음과 같이 콘크리트의 흡수성(absorption ability)과 투수성(water & vapour permeability)에 대한 저항성으로 나누어 생각할 수 있다.

1) 콘크리트의 흡수성(water absorption ability)

콘크리트의 흡수는 공극이나 모세관을 통하여 일어나며 물이 콘크리트에 흡수되는 주요 기구(mechanisms)들은 다음과 같이 요약된다.^{3),5)}

(1) 모세관 흡수

물과 직접적으로 접촉되어 있는 부분에서 구조물에 상당히 많은 양의 물이 신속하게 흡수되는 현상으로 콘크리트 흡수성의 대부분을 차지한다.

콘크리트 구조물의 흡수성은 모세관의 직경에 따라서 크게 변한다. 즉 초기흡수 속도는 모세관 직경에 비례하여 증가한다. 그러나 흡수깊이는 모세관 직경에 반비례하며 다음과 같은 방정식으로 표현된다.

$$H = \frac{2\sigma \cos\theta}{r \cdot p \cdot g}$$

여기서 H= 흡수된 모세관 길이(m)

σ =액체의 표면장력(Nm⁻¹)

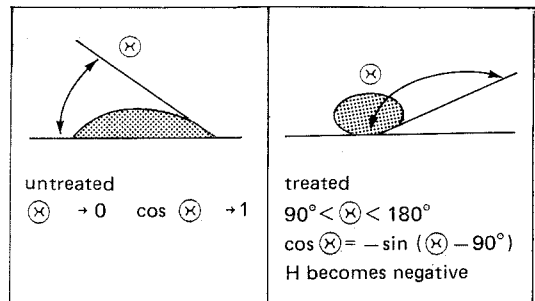
θ =접촉각

r=모세관의 반경(m)

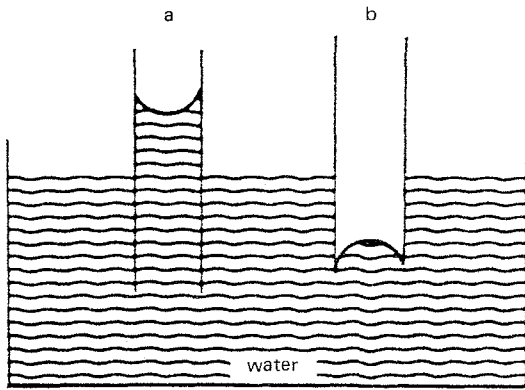
p=액체의 밀도(kg/m³)

g=중력가속도(m/s²)

이 방정식에서 표면장력, 중력가속도, 액체의 밀도는 일정하다고 가정할 수 있으므로 콘크리트의 흡



<그림-2> Change of the angle of contact due to hydrophobization.³⁾



a) capillary untreated
b) capillary treated

〈그림-3〉 Change of the capillary water absorption, scheme.³⁾

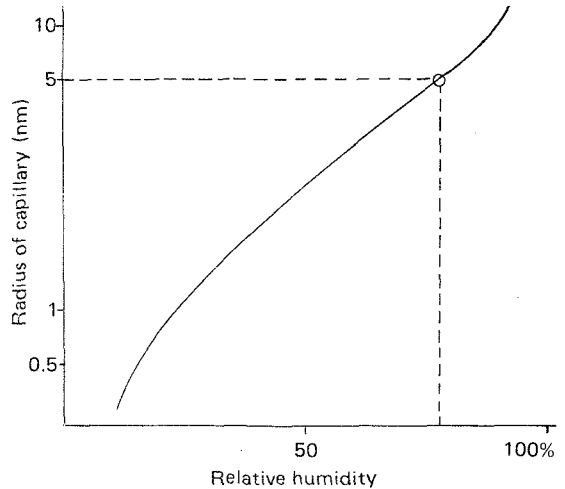
수성은 단지 모세관의 반경과 접촉각에 의해서 좌우됨을 알 수 있다.

따라서 콘크리트의 흡수성을 감소시키기 위해서는 모세관의 반경을 증가시키거나 접촉각을 크게 하는 방법을 생각할 수 있는데 콘크리트 매질에 형성된 모세관의 반경을 증가시키면 투수성이 증가하게 되므로 실질적으로 콘크리트의 흡수성을 감소시키는 방법은 〈그림-2〉에서 보여주는 바와 같이 콘크리트 매질과 용액의 접촉각을 증가시키는 방법이 강구되고 있다.³⁻⁷⁾

특히 콘크리트에 적당한 방수처리를 하여 콘크리트 매질과 물의 접촉각(θ)을 90° 이상 증가시키면 $\cos\theta$ 값이 음(-) 값을 갖게 되며 콘크리트 매질은 〈그림-3〉에서 볼 수 있는 바와 같이 강한 발수성(water repellency)을 나타내게 되므로 콘크리트의 흡수성을 현격히 감소시킬 수 있다.³⁾

(2) 응축수에 의한 흡수

모세관에서는 대기중에서보다 포화증기압이 일찍 도달하게 되므로 응축이 빨리 일어나고 모세관 반경과 상대습도에 대한 모세관내에서의 응축성은 〈그림-4〉에서와 같다고 Kelvin은 발표하였다. 이 이론에 따르면 반경 5mm 되는 모세관에서는 대기중의 상대습도가 75%일 때 응축현상이 일어나며 응축수에 의한 흡수현상 또한 공극의 크기 및 양에 의존함을 알 수 있다.³⁾



〈그림-4〉 Dependence of the capillary condensation on the capillary radius and the rel. humidity.³⁾

(3) 흡수성 물질에 의한 흡수

〈表-1〉에서 나타난 바와 같이 구조물 재료에 흡수성이 강한 각종 염들이 함유되어 있으므로 이러한 염들에 의해서 일어나는 흡수현상으로서 상대습도는 물론 각종 염의 형태 및 양에 의존한다.³⁾

2) 콘크리트의 투수성(water and Vapour permeability)

콘크리트의 흡수성은 주로 수압이 걸려있지 않은

Hygroscopic water absorption of bricks with and without salts¹⁾

〈表-1〉

Type of salt	Amount of salt in mg/g brick	Water absorption in % w/w, in dependence of time of immersion and relative humidity			
		20 days/ 65% r. h.	20 days/ 97% r. h.	20 days/ 86% r. h.	180 days/ 83% r. h.
-	-	0.1	0.3	-	-
NaCl	29	1.0	9.3	5.5	-
NaCl	43	-	11.1	6.2	13.2
MgSO ₄	55	2.3	4.1	3.1	4.5
MgSO ₄	28	1.3	2.2	1.8	2.9
Ca(NO ₃) ₂	82	5.1	10.8	-	-
Ca(NO ₃) ₂	107	5.2	12.1	9.4	12.5

상태에서 구조물에 물이 스며드는 성질인데 반하여 콘크리트의 투수성(투기성)은 구조물 외측에 형성되어 있는 용액 혹은 가스들의 압력구배, 농도차이, 삼투효과 등에 의해서 각종 용액 혹은 가스들이 콘크리트 재질을 통과하는 성질을 말한다.^{7), 8)}

따라서 콘크리트의 투수성은 콘크리트 매질내에 형성되어 있는 기공(void+pore)과 밀접한 관계가 있으며 이러한 기공들은 콘크리트의 불완전한 다짐 혹은 블리이딩 현상이나 콘크리트 배합시에 투입되는 과잉의 수(시멘트 수화에 필요한 이론수량 이상의 물)에 의해서 주로 형성되며 일반적으로 콘크리트 전부피의 1~10%를 차지한다.^{19), 20)}

일반적으로 콘크리트의 불완전한 다짐이나 블리이딩 현상에 의해서 형성된 기공들은 직경이 크므로 대기공(void)으로 분류하며 시멘트의 수화반응이 진행됨에 따라 과잉의 물에 의해서 시멘트 경화체에 형성된 기공들의 직경은 0.05~1.0um 정도가 되므로 공극(pore)으로 구분한다. 또한 공극은 겔공극(gel pore)과 모세관 공극(capillary pore)으로 세분된다.^{9), 10)}

전 기공중에서 겔공극은 28% 정도를 차지하지만 겔공극의 투수성은 단지 약 7×10^{-16} m/s 정도로 극히 낮으므로 콘크리트의 투수성에는 큰 영향을 미치지 않는 반면 물/시멘트 비와 시멘트의 수화반응 정도에 따라서 전기공의 0~40% 분포하는 모세관 공극이나 콘크리트의 작업성과 다짐도에 따라서 전기공의 30~70% 차지하는 대기공은 시멘트 경화체의 투수성에 결정적인 영향을 준다.^{4), 8)}

콘크리트의 투수성은 이와 같은 기공들의 크기뿐만 아니라 다음과 같은 인자들에 의해서 결정적으로

Reduction in permeability of cement paste (w/c= 0.7) with the progress of hydration⁸⁾

<表-2>

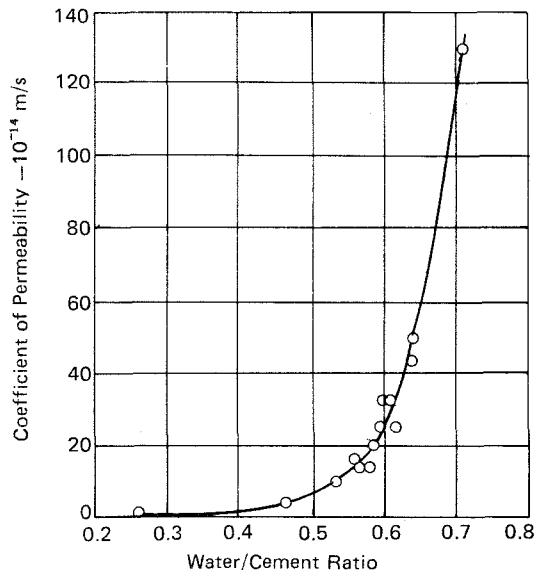
Age days	Coefficient of permeability, K m/s
fresh	2×10^{-6}
5	4×10^{-10}
6	1×10^{-10}
8	4×10^{-11}
13	5×10^{-12}
24	1×10^{-12}
ultimate	6×10^{-13} (calculated)

좌우되는 것으로 알려졌다.^{8), 9)}

- ① 연결된 기공들의 수
- ② 기공들의 직경
- ③ 기공들의 굴곡도
- ④ 경화체 내에 균열의 존재여부
- ⑤ 구조물 외측에서 작용하는 수압 및 상대습도 차이

따라서 Darcy는 다음과 같은 방정식으로 투수계수(K)를 사용하여 콘크리트의 투수성을 나타내었다.⁸⁾

$$\frac{dq}{dt} \frac{1}{A} = K \frac{\Delta h}{L}$$



<그림-5> Relation between permeability and water/cement ratio for mature pastes (93 per cent of cement hydrated).⁸⁾

Typical values of permeability of concrete used in dams⁸⁾

<表-3>

Cement content (kg/m ³)	Water/cement (lb/yd ³)	Water/cement (ratio)	Permeability (10 ⁻¹² m/s)
156	263	0.69	8
151	254	0.74	24
138	235	0.75	35
223	376	0.46	28

여기서 dq/dt 는 액체의 흐름 속도 (m^3/s)

A는 시료의 단면적 (m^2)

Δh 는 수두의 높이차(수압차) (m)

L은 시료의 두께 (m)

K는 투수계수 (m/s)

일반적으로 콘크리트의 투수성은 다음 표와 그림에서 나타난 바와 같이 시멘트의 수화반응이 진행됨에 따라서 감소하고(〈表-2〉 참조) 물/시멘트 비가 증가함에 따라서 현격히 증가하며(〈그림-5〉 참조) 시멘트 함량이 많은 부배합 콘크리트일수록 감소하는(〈表-3〉 참조) 것으로 알려졌다.⁸⁾

3. 콘크리트 구조물의 방수성을 높이는 방법

시멘트 경화체 내부에는 시멘트와 수화반응을 하지 않은 과잉의 물에 의해서 수많은 모세관 공극이 형성되며 블리이딩 현상 등에 의해서 조골재나 보강재 등의 밀면에 수막이 형성되면서 콘크리트 내부에 연결된 공극 및 수극이 발생되고 레이턴스 현상 등에 의해서 콘크리트 접합부분이 격리되거나 경화후에 일어나는 건조수축 현상에 의해서 발생하는 균열 등에 의해서 콘크리트 구조물에 물이 흡수·투수되는 것으로 알려졌다.^{9),10)}

따라서 콘크리트 구조물의 방수성을 높이기 위한 방법들로는 이미 전술한 바와 같이 방수성이 우수한 시멘트 및 골재를 선택하여 수밀성이 우수한 콘크리트를 배합하고 철저하게 시공·양생하여 균열이나 대기공 발생을 억제하는 방법이 있다. 또한 이상과 같은 방법에 의해서도 소정의 콘크리트 방수성을 얻을 수 없을 경우 발수성이나 방수성이 우수한 각종 방수제를 사용하거나 PVC·고무 등과 같은 고분자 물이나 아스팔트 등을 사용하여 시공여건에 적당하게 방수공사를 철저히 시행하는 방법 등이 있다.^{1),9),10)}

1) 수밀성 콘크리트의 제작요건

콘크리트 구조물의 방수성을 높이기 위해서 일반적으로 시행되고 있는 콘크리트 배합설계상의 요건들을 요약하면 다음과 같다.^{9),9)}

- ① 고성능 감수제 등을 사용하여 물/시멘트를 가능한 한 적게 한다.
- ② 물/시멘트가 일정한 경우에는 가능한 한 부배

합을 사용한다.

- ③ 미세한 반응성 콘크리트용 혼합재를 적당량 사용한다.
- ④ 양생도중 콘크리트 구조물에 충격을 주지 않는다.
- ⑤ 콘크리트를 충분히 다져서 경화체의 조직을 치밀화한다.
- ⑥ 흡수율이 작은 골재를 사용한다.
- ⑦ 조골재의 최대 크기는 허용되는 한 큰 것을 선택한다.
- ⑧ 장기간 습윤 양생하고 급격한 건조에 의한 균열을 방지한다.
- ⑨ 충분히 두터운 付材를 사용한다.
- ⑩ 방수제, 블리이딩 저감제 등과 같은 혼화제를 적절히 사용한다.
- ⑪ 필요에 따라서 적당한 방수공법을 사용한다.

2) 각종 방수제들의 방수원리

시중에서 유통되고 있는 건축용 방수제는 수 십종이므로 여기서 각종 방수제들이 콘크리트에 사용되었을 때 방수작용을 하게 되는 원리만을 살펴보면 다음과 같이 요약된다.^{2),6)}

- ① 시멘트의 수화반응을 촉진시켜서 시멘트 수화물(겔)이 공극을 조기에 충전시킨다.
- ② 시멘트의 수화반응에 의해서 생성하는 가용성 물질을 불용화하는 동시에 발수성 염을 형성하여 공극을 충전시킨다.
- ③ 미세한 물질을 혼입하여 몰탈 및 콘크리트의 공극을 물리적으로 충전시킨다.
- ④ 발수성 물질을 혼입하여 흡수성을 개선한다.
- ⑤ 몰탈 및 콘크리트 내부에 수밀성이 높은 막을 형성시킨다.
- ⑥ 가용성 물질을 도포·침투시켜서 시멘트의 수화반응에 의해서 생성하는 수용성 성분과 결합하여 불용성 염을 형성시킨다.

3) 콘크리트 방수공법

PVC, 고무, 아스팔트, 각종 방수제 등과 같은 콘크리트의 방수성을 높일 수 있는 재료를 사용하여 콘크리트 구조물의 표면에서 방수성을 높이는 공법에는 다음과 같은 방법들이 있다.^{1),9)}

- ① 시멘트 혹은 모르타르 방수공법 : 방수제를 시멘트

또는 모르타르에 혼입하여 콘크리트 구조물 표면에 도포하여 방수층을 만드는 공법.

- ② 도포·침투에 의한 방수공법: 콘크리트 표면에 적당한 침투성 재료를 도포하여 콘크리트중에 있는 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 포졸란 반응 또는 단순한 공극 충전에 의해서 조직을 치밀화하는 공법.
- ③ 아스팔트 방수공법: 아스팔트 펠트나 루핑류를 부른 아스팔트라든가 아스팔트 컴파운드로 여러매 중첩하여 방수층을 형성시키는 공법.
- ④ 합성수지 및 합성고무에 의한 방수공법: PVC, 초산비닐, 아크릴 수지, 에폭시 수지, SBR, 네오프렌고무 등의 중합체 또는 공중합체 에멀전을 콘크리트에 도포하여 적당한 피막을 만들어 방수성을 높이는 공법.
- ⑤ sheet 방수공법: 도장제에 의해서 화학 섬유포 또는 유리 섬유포를 방수 처리한 합성고무시트, 합성수지필름 등을 콘크리트 표면에 접착하여 강한 피막을 만드는 공법.

4. 콘크리트용 방수제의 종류

콘크리트 구조물의 방수성을 높이기 위한 방법에는 여러 가지가 있지만 시멘트 혼합용 고성능 방수제 등을 콘크리트에 직접 혼합 사용하는 구제방수공법이나 모르타르 방수공법 혹은 도포·침투형 방수제를 이용하는 도포 방수공법 등이 소정의 콘크리트 방수성을 향상시키는데 가장 경제적이고 효과적이므로 현재까지 널리 사용되고 있다.^{1),6)}

따라서 방수제는 콘크리트용 혼화제중에서 가장 오랜 역사를 가지고 있으며 현재 유통되고 있는 상품의 수 또한 많다.^{2),6)} 그러므로 각종 콘크리트용 방수제를 구성하고 있는 주요 성분을 중심으로 분류

Main components of the water-proofers for concrete^{2),9)}

<表-4>

무 기 질 계	유 기 질 계	혼 합 계
• 염화칼슘계	• 고급 지방산계	• 무기질 혼합물계
• 규산소다(물유리)계	• 파라핀 에멀전계	• 유기질 혼합물계
• 실리카질 분말계	• 아스팔트 에멀전계	• 무·유기질 혼합물계
• 지르코늄 화합물계	• 폴리머 분산계	
	• 수용성 고분자계	

하면 다음과 같다.

1) 방수제의 성분별 분류

시중에서 유통되고 있는 방수제들을 주성분별로 구분하면 <表-4>와 같이 무기질계·유기질계·혼합계로 대별되며 이들의 특성들을 간추려 보면 다음과 같다.^{6),9)}

(1) 무기질계 방수제

① 염화칼슘계

수화반응 촉진형 방수제로 철근부식과 수축률이 큰 문제점이 있다. 장기재형에서는 무혼입보다 수밀성이 현저히 저하한다.

② 규산소다(물유리)계

수산화칼슘과 결합하여 규산칼슘을 생성하여 모세관 공극을 충전하고 치밀한 조직을 만든다. 수밀성을 높이는 효과가 그다지 크지 않다. 사용량을 많이하여 止水用 급결제로 많이 사용한다.

③ 규산질(실리카) 분말계

충전형 방수제로 플라이 애쉬, 규조토, 포졸란, 석분, 실리카 흙 등이 주로 사용된다. 충분하게 미분쇄된 분말은 콘크리트의 작업성 개선도 기대되며 방수효과도 높다. 특히 플라이 애쉬는 단위 수량을 감소시키고 모세관 공극이 작게 되며 포졸란 반응에 의해서 공극이 충전되고 광물질 미분말 효과에 의해서 시멘트 수화반응이 증대되므로 장기재형에서는 수밀성이 개선된다. 또한 실리카 흙은 비표면적인 20㎡/g로 상당히 크고 거의 대부분이 활성이 있는 비정질 상태의 SiO_2 이므로 단위수량을 격감시킬뿐만 아니라 빈배합 콘크리트의 수밀성을 현저히 개선시킨다.¹¹⁾

④ 지르코늄 화합물계

지르코늄은 공유결합성이 강한 금속이온으로 존재하지 않고 전기적으로 음성을 나타내는 원소(특히 산소)와 결합성이 강한 성질을 지니고 있으며 아민 및 글리콜산 등 인접 산소 원자와 킬레이트 결합을 형성하기 쉽다. 따라서 섬유류의 방수처리제로 많이 사용된다. 시멘트중에서는 칼슘이온과 결합하여 불용성 물질을 생성하고 발수효과를 나타낸다.²⁾

(2) 유기질계 방수제

① 지방산계

지방산(스테아린산, 올레인산, 카프릴릭산, 카프릭산)은 수산화칼슘과 결합하여 발수성을 나타내는 지방산칼슘을 생성하여 콘크리트 표면이나 공극의 표면에 불용성 막을 형성하므로 콘크리트 표면의 물에 대한 접촉각이 현저히 증가되어 흡수성이 격감되게 된다. 지방산 이외에 그 자체의 발수성이 높은 지방산 염류 및 지방산 고급에스테르 등도 사용된다.^{2), 5), 6)} 스테아린산이 가장 넓은 범위로 사용되고 있으며 분말형태로 그대로 혼합하거나 분산을 촉진하기 위하여 불활성 충전제(탈크, 실리카 등)에 전처리하거나 물에 에멀전화하여 사용한다. 또한 미분쇄된 칼슘 스테아레이트 혹은 알루미늄 스테아레이트가 주로 사용되며 칼슘 스테아레이트는 시멘트 혹은 생석회에 10~30% 정도의 스테아린산을 넣고 분쇄하여 제조한다.⁵⁾

칼슘과 알루미늄 스테아레이트, 고체형 혹은 에멀전 형태의 스테아린산 등은 공기량, 작업성 등의 콘크리트 물성에 영향을 미치지 않는다.^{2), 5)}

최근 본 연구팀은 콘크리트 혼관·전주·파일 등과 같은 콘크리트 2차제품 공장에서 대량으로 발생되는 시멘트 슬러지를 담체로 사용하여 유기산으로 표면 처리한 시멘트 혼합용 방수제(대한민국 발명 특허 출원번호 20196, 1991)를 개발하였으며 국내에서 유통되는 여러 방수제들과 비교 시험한 결과 방수성이 아주 우수한 것으로 판명된 바 있다.⁷⁾

② 파라핀 및 아스팔트계

대부분이 계면활성제를 사용하여 현탁시킨 에멀전형으로 경화체중의 모세관 등의 공극부분에 충전되면서 발수작용에 의해서 수밀성을 높인다. 계면활성제의 종류와 유화방법에 따라서 콘크리트의 강도, 초기용적 변화 등에 악영향을 미친다든가 미세한 왁스 입자들이 윤활유 역할을 하고 유화제가 공기연행 효과를 나타내므로 굳지 않은 콘크리트에 과다한 공기연행 작용으로 소포제를 병용해야 되는 경우가 있다.^{2), 4)} 아주 미세한 에멀전이 콘크리트의 방수효과가 크며 알칼리성을 나타내는 콘크리트 용액과 접하게 되면 에멀전이 파괴되면서 소수성막을 형성하여 방수효과를 나타낸다.

또한 파라핀이나 아스팔트를 분말형태로 분쇄하여 콘크리트에 혼합하여 사용하는 방법이 있다. 그러나 이러한 방법은 왁스계통의 수지 분말이 시멘트 중량의 5~10% 정도 첨가되어야 하므로 그 사용량이 많고 유기물 입자가 취약점으로 작용하여 콘크리트의 강도가 현격히 감소하는 단점이 있다. 하지만 역청질과 탄화수소 계통의 수지는 공기량, 작업성 등의 굳지 않은 콘크리트 물성에 영향을 미치지 않는다.^{4), 5)}

따라서 최근 홍 등^{9), 12)}은 시멘트 중량의 0.2~0.8% 정도되는 소량의 역청질 물질을 기계적인 방법에 의해서 시멘트 분말에 처리하여 시멘트의 수화반응에 지장이 없을 정도로 왁스계통의 발수성 피막을 시멘트 입자 표면에 형성시킨 수밀성 포틀랜드 시멘트(ACTPC)를 발명하였다. 그동안의 ACTPC 연구결과에 의하면 경제성에 약간의 문제점이 있지만 ACTPC를 사용하면 시멘트 입자 표면에 부착된 역청질 막이 콘크리트 재질내에서 누적층을 형성하므로 콘크리트의 내구성 및 물성이 보통 포틀랜드를 사용한 콘크리트보다 월등히 향상되는 것으로 알려졌다.

③ 수지 및 고무계

천연고무, 합성고무, 열가소성 수지, 열경화성 수지 등을 에멀전화하여 콘크리트 배합시에 혼합사용하는 것으로 공극의 충전작용과 콘크리트중에 고분자 피막을 형성시켜서 수밀성을 높이는 것이므로 효과가 크다. 또한 충격, 화학작용에 대한 저항성 및 신장력이 크다.^{2), 5)}

특히 SB 라텍스는 모르타르의 흐름 특성, 곡강도, 압축강도, 접착강도, 내마모성 등을 개량함으로써 실용화되고 있다. 그러나 SB 라텍스는 시멘트와 혼합할 때 콜로이드 분산체가 파괴되므로 안정성이 문제가 된다.¹³⁾

왁스 에멀전계 방수제는 시멘트 페이스트의 블리딩 속도 및 용량을 현격히 감소시킨다.⁵⁾

④ 수용성 수지계

아크릴 수지, 폴리비닐알콜(PVA), 폴리메틸메타아크릴레이트(PMMA) 및 메틸셀룰로오스(MC) 등과 같은 수용성 고분자 물질을 물에 용해시킨 다음 모르타르나 콘크리트 배합시에 혼합하여 사용하는 것으로 경화체에 발수성을 부여하여 방수성을 높

인다.

그 효과는 그다지 크지 않다. 즉 초산비닐은 내수성이 약하므로 물에 浸漬되는 부분에서는 사용될 수 없으며 메틸셀룰로오스는 친수성이 약간 적으므로 최초로 소량의 물로 사용할 필요가 있다.²⁾

2) 사용 형태별 분류

또한 방수제들을 사용 형태별로 분류하면 아래와 같이 구분된다.^{7), 11)}

(1) 분말형 구체 방수제

무기계통이나 유기계통 혹은 혼합계통의 고체형 방수제로서 시멘트 혹은 모르타르에 혼합하여 사용하거나 콘크리트 혼합시에 직접혼합하여 구조체의 방수효과를 얻는 방수제이다.

또한 사용자의 편의를 도모하기 위하여 분말 방수제를 시멘트와 미리 섞어 놓은 방수 시멘트, 방수제를 시멘트 및 모래와 혼합한 방수 레미탈 등이 시중에 유통되고 있다.

(2) 액체형 구체 방수제

주로 지방산 혹은 지방산 염계통이나 각종 에멀전계통의 방수제로서 시멘트 혹은 모르타르에 혼합하여 사용하거나 콘크리트 혼합시에 직접혼합하여 구조체의 방수효과를 얻는 방수제이다.

(3) 도포·침투형 방수제

규산소다, 실리카 및 산화칼슘 등을 주성분으로 하는 시멘트상의 분말 방수제 혹은 아크릴 수지, 에폭시 수지, 폴리비닐알콜(PVA), 폴리메틸메타아크릴레이트(PMMA) 등과 같은 수용성 고분자 물질에 무기계 방수제를 혼합한 방수제이다. 물에 용해시켜서 경화된 콘크리트 표면에 도포하면 가용성 성분이 콘크리트중에 침투하여 칼슘 및 알루미늄 등의 불용성 결정체인 수밀층을 형성한다. 일반적으로 다른 방수제에 비하여 수밀성이 높다.^{14), 15)}

아크릴산 수지계통과 규산질계 방수제가 가장 범용적으로 사용되며 규산질계 방수제는 습윤상태하에 있는 콘크리트의 방수에 특히 효과가 크다. 규산질계 방수제는 무기질계 재료만으로 구성되어 있는 「무기질 단체형」과 유기질계 재료를 부가한 「무기·유기질 혼합형」으로 대별된다. 규산질계 도포

방수제의 조직 치밀화기구는 방수제와 공극내의 미수화 시멘트 성분 및 가용성 수산화칼슘이 반응하여 침상결정을 생성하므로 이루어진다.¹¹⁾

(4) 발수제(撥水劑, Water Repellent)

발수제는 도포형 방수제의 일종이지만 다소 독특한 특색을 나타내므로 발수제라 구별한다.¹¹⁾

그 특징은 다음과 같이 요약된다.

- ① 모르타르·콘크리트 표면에 도포하면 심층부까지 침투하여 항구적인 발수막을 만들고 통기성을 저해하지 않고 방수성을 발휘한다.
- ② 내구성이 강하여 수년간 그 효과를 지속하고 내약품성도 우수하다.
- ③ 백화현상을 방지한다.

대부분의 발수제는 유기-실리콘 화합물로서 실리콘 수지계, 실리콘 염계, 실란과 실록산계가 많이 사용되고 있다. 이와 같은 발수제는 방수도료와 유사한 것으로 거의 대부분 도장전용이지만 수용성으로 하여 시멘트 혼합용 방수제로도 사용한다.^{11), 14), 15)}

특히 실란계 발수제는 알킬알콕시실란 모노머 혹은 알킬알콕시실록산 올리고머를 주성분으로 하는 수증기 투과형 방수제이며 콘크리트에 도포하면 알칼리 골재반응 및 염해를 억제하는 효과가 있다.¹⁴⁾

5. 콘크리트의 방수성 시험방법

콘크리트의 방수성은 콘크리트 자체의 투수성 및 흡수성을 측정하는 방법이 있지만 방수성이 요하는 콘크리트 구조물은 대부분 시멘트 혼합용 방수제나 도포·침투형 방수제 등에 의해서 각종 방수공법이 시행되므로 건축용 시멘트 방수제 시험방법에 따라서 각종 방수제의 성능을 평가하는 경우가 많다. 그러므로 여기서는 먼저 방수제 시험방법을 알아보고 다음에 콘크리트의 투수성 시험방법에 관하여 알아 보고자 한다.

1) 방수제의 성능 시험방법

(1) 건축용 시멘트 방수제 시험방법(KS F 2451)

건축용 모르타르 또는 콘크리트에 혼합하여 사용하는 시멘트 방수제의 시험방법에 관한 규정으로 다음과 같은 항목들을 측정한다.

- ① 응결시험 : KS L 5103(길모아침에 의한 시멘트의 응결시간 시험방법)에 따라서 한다.
- ② 안정성시험 : 침수방법 혹은 찌는 방법으로 검사한다.
- ③ 강도시험 : 28일 양생한 시험체의 강도를 방수제를 혼합하지 않은 모르타르의 강도로 나눠 그 값을 백분율로 표시한다.
- ④ 흡수시험 : 21일간 양생한 시험체의 아랫부분 2cm를 항상 침수시키면서 1시간, 5시간 및 24시간 동안의 흡수량 및 흡수비로 나타낸다.

흡수량(g) = 흡수할 때의 무게(g) - 건조할 때의 무게(g)

$$\text{흡수비} = \frac{\text{방수제를 혼합한 것의 흡수량(g)}}{\text{방수제를 혼합하지 않은 것의 흡수량(g)}}$$

- ⑤ 투수시험 : 21일간 양생한 시험체를 완전히 건조한 다음 성형할 때의 윗면으로부터 바깥벽 모르타르용은 0.1kgf/cm²(9.8kPa) 콘크리트용은 3.0kgf/cm²(294.2kPa)의 수압을 1시간 가한 결과를 투수량 및 투수비로 표시한다.

투수량(g) = 수압을 가한 직후의 무게(g) - 건조한 후 1시간 보존 후의 무게(g)

$$\text{투수비} = \frac{\text{방수제를 혼합한 것의 투수량(g)}}{\text{방수제를 혼합하지 않은 것의 투수량(g)}}$$

(2) 시멘트 혼합용 방수제의 성능 판정

KS F 2451(건축용 시멘트 방수제 시험방법)에

Testing method of Water-proofer for cement mixing (KS F 2452)

<表-5>

항 목	KS 규 정
응결시간	초결시간-1시간 이상
	종결시간-10시간 이내
안 정 성	균열이나 비틀림 현상이 없을 것
압축강도	28일 강도가 모르타르용 방수제는 65% 이상
	콘크리트용 방수제는 75% 이상일 것
흡 수 비	80% 이하일 것
투 수 비	80% 이하일 것

따라 방수제의 방수성능을 비교하는데 참고가 되도록 시멘트 혼합용 방수제에 관한 규정(KS F 2452, 1979년 삭제)을 요약하여 정리하면 <表-5>와 같다.

(3) 도포·침투형 방수제 성능 시험방법

도포·침투형 방수제는 콘크리트의 방수 혹은 발수효과뿐만 아니라 도장효과가 동시에 있으며 투기성(vapour permeability)은 있으나 투수성(water permeability)이 없는 독특한 방수성능을 지닌 방수제가 최근 개발되면서 그 수요가 크게 확대되고 있다. 특히 경량기포 콘크리트(ALC), 석고보드 등과 같은 각종 최신 건축용 외장재가 개발되면서 그 활용도가 외국에서는 물론 국내에서도 현격히 증가되고 있다.^{3), 11)}

그러나 아직까지 국내에서도 도포·침투형 방수제의 성능 시험방법에 관한 KS 규정마저 마련되어 있지 않다.

따라서 도포·침투형 방수제의 방수성능 및 발수성능은 물론 내후성, 내약품성, 착색력 등과 같은 각종 성능에 관한 종합적인 평가규정의 제정이 시급하게 요청되고 있다.

2) 콘크리트의 방수성 시험방법

콘크리트의 방수성에 관한 시험방법은 아직 KS에 규정되어 있지 않다. 그러나 미국과 일본 등에서는 콘크리트의 투수성은 물론 투기성에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있으며 이들의 시험방법은 다음과 같이 out put 방법과 in put 방법으로 대별된다.¹⁶⁾

(1) out put 방법

일정한 압력으로 공시체에 가한 물이 단위 시간에 단위 면적으로부터 유출하는 양을 측정하여 압력과 유출량의 관계로부터 콘크리트의 투수성을 구한다. 이 방법은 콘크리트의 투수성을 시험하기 위한 가장 합리적인 방법으로 투수의 해석도 용이하다. 이 시험에는 원판 또는 원주형 공시체를 사용하는 방법과 중공원통형 시험체를 이용하는 방법이 있다.

(2) in put 방법

일정한 압력으로 일정한 시간동안 시험체에 압입한 물의 침투면적과 침투 깊이 등으로부터 콘크리트의 투수성을 평가한다. out put 방법은 통상시험에 장시간을 요하므로 초기재령의 공시체 시험에 한정되며 공시체를 얇게 한다든가 수압을 매우 크게 할 필요가 있다. 그러나 in put 방법은 이러한 제한성이 없는 반면 투수에 대한 해석에 어려운 점이 있다.

5. 맺음 말

이상에서 살펴본 바와 같이 콘크리트 구조물의 방수성을 향상시키기 위해서는 콘크리트의 시공은 물론 시공여건에 적당한 방수공법을 선정하여 철저히 시행해야만 소정의 목적을 달성할 수 있다. 특히 구조물의 방수성을 향상시키기 위하여 방수제 혹은 방수재료들을 사용해야만 될 경우에는 그 각각의 재료특성 및 성능을 정확히 파악하고 시방지침에 따라 정확하게 사용해야만 방수효과를 최대한으로 얻을 수 있다.^{8),9)}

또한 방수제의 시멘트에 대한 사용량은 1~7%로 일반적인 콘크리트용 혼화제^{17),18)}에 비하여 대량이므로 때로는 시멘트의 응결경화 및 안정성을 저해하고 콘크리트의 강도를 격감시키며 철근의 부식을 촉진하는 경우가 있으므로 방수제를 사용하고자 할 때는 반드시 KS F 2451(건축용 방수제 시험방법)에 따라서 실험을 행한 후에 사용여부를 결정할 필요가 있다.^{1),9)}

그러나 국내에서는 아직 시판되고 있는 건축용 시멘트 방수제에 대한 방수성능 연구결과가 공식적으로 발표된 경우는 극소수에 불과하다.

<참 고 문 헌>

- 1) 後英太郎, “新しいセメントとセメント技術”, 誠文堂新光社, (1970).
- 2) 神山行男, “防水劑”, 콘크리트工學 Vol. 26, No. 3, (1988).
- 3) Wacker, “Wacker Silicone Masonry Water Repellents”, bulletin of Wacker Science, 1988.
- 4) 趙憲英: “아스팔트와 카본블랙으로 처리된 포틀랜드 시멘트의 특성,” 忠南大學校 大學院, (1990).

- 5) M. R. RIXOM, “Chemical Admixtures for Concrete”, London, E. & F.N.SPON LTD, (1978).
- 6) シ-エムシ編輯部: 新 콘크리트用混和材料, 技術と市場, 日本, (1988).
- 7) 노재성, 윤석천, 조현영, 윤정중, “시멘트 슬러지를 이용한 시멘트 몰탈 및 콘크리트용 防水劑 開發”, 大韓建築學會論文集, 8券 4號 通券 42號 (1992).
- 8) A. M. Neville, “properties of CONCRETE”, 3rd Ed., PITMAN Publishing LTD., U. K. 1981.
- 9) 小池迪夫, 吳祥根, “콘크리트의 水密性と 建築防水”, No. 512, (1989).
- 10) 佐久田昌治, 齊勝俊夫, 柳橋邦生, 田中恭一, 杉山雅, “超耐久性 콘크리트의 開發”, セメント・コンクリート No. 489, (1987).
- 11) 小池迪夫, 田中亨二, 吳祥根, “硅酸質塗布防水材料が”モルタルの組織に及ぼす温度の影響”, 第44回技術大會講演集, (1990).
- 12) 趙憲英, 金喜落, 洪元杓, “Asphalt와 Carbon Black 처리된 고내구성 포틀랜드 시멘트의 수화특성 및 초기수화에 미치는 영향”, 한국공업화학회 논문집 제3권 제1호, (1992).
- 13) 三本裕章, 加藤稱, 平春晃男, “セメント混和性に及ぼす變性スチレンフ”タシ”エンラテックスの影響”, 第44回 技術大會講演集, (1990).
- 14) 神本英喜, 若杉三紀夫, “シラン系撥水材で”處理したモルタルの諸物性について”, 第44回 技術大會講演集, (1990).
- 15) 三浦律彦, “シランを用いた 鐵筋の 腐食 防止法”, 콘크리트工學 Vol. 24, No. 6, (1986).
- 16) 朴承範, “最新土木材料實驗, 文運堂, 1983.
- 17) S. N. GHOSH, “CEMENT TECHNOLOGY”, PERGAMON PRESS, NEW YORK, (1983).
- 18) M. Kobayashi, “Air-Entraining Admixtures and Water-Reducing Admixtures”, セメント・コンクリート No. 427, (1982).
- 19) D. C. Hughes, “Pore structure and permeability of hardened cement paste”, Magazine of Concrete Research : Vol. 37, No. 133, (1985).
- 20) 候勝誠史, 茂啓二郎, 高木達雄, 大間正機, “セメント硬化體の細孔徑分布とイオンの擴散”, 七技年報 36, (1982).