

지하구조물 취약부에 적용한 천연 무기질계 분말형 혼화제의 누수저감효과

The Leakage Reduction of Natural Inorganic Powder Compound Applying Subsurface Structural Weak Part

윤성환* 서현재* 이혜령* 박진상** 오상근***
 Yoon, Sung-Hwan Seo, Hyun-Jae Lee, Hye-Ryung Park, Jin-Sang Oh, Sang-Keun

Abstract

For underground structures that are exposed to environmental conditions, the declination of the durability of concrete occurs easily because of leakages from high hydraulic pressure and the frequent contact of water due to environmental factors. Therefore this study is to confirm that the leakage reduction of natural inorganic powder compound applying subsurface structural weak part and make the performance improvement of concrete as an objective. The test was done by making the rebar, flat tie, nail and film infiltration and each of its water tank and cylindrical test body then after pouring water to each of the test body, the test observe the change of the water tank surface absorbed condition and leakage of each specimen with respect to time. As a conclusion, the test was observed that this water proofing admixture has better watertightness from the beginning of the setting time(when it hardens), the ettringite and the thaumasite generates a large quantity of hydration products that controls the formation in a large opening and the CSH produced by pozzolan reaction makes a dent at this opening.

키 워 드 : 구체방수제, 마이크로 필러, 쏘머사이트, 누수저감
 Keywords : Waterproofing Admixture, Micro Filler, Thaumasite, Leakage Reduction

1. 서론

최근 지하구조물의 필요성과 활용성이 확대되는 추세로서, 종전의 단순한 주차공간이나 각종 설비(전기, 기계, 냉난방설비 등), 물탱크 등 생활기초시설로 활용하던 차원에서 벗어나 보다 적극적인 활동 공간인 쇼핑, 영화, 전시공간으로의 유기적인 활용 전환이 이루어지고 있다.

지하구조물의 경우, 토압에 의한 유동과 지하수의 변화 등의 환경적 요인에 의하여 균열, 파손 및 누수가 빈번하게 발생된다. 특히 구조물 취약부(Cold Joint, Construction Joint)에서의 균열이 발생될 수 있으며, 지하구조물에 외방수 등 별도의 방수층을 시공할 경우와 누수부위를 보수(지수 및 방수)시에 기술적·경제적으로 많은 어려움이 따른다. 이러한 근본적인 문제점을 해결하기 위하여 콘크리트 구조물 자체의 방수능력이 개선되어야 한다.

따라서, 본 연구에서는 콘크리트의 자체 성능개선을 목표로 천연 무기질계 분말형 혼화제를 사용하여 콘크리트 구조물의 취약

부에 대한 누수저감효과를 연구하고자 한다.

2. 구체방수제의 이론적 고찰

천연 무기질계 분말형 혼화제(이하 “구체방수제” 라 함)는 콘크리트에 혼입하여 구조물 전체의 수밀성을 향상시키는 재료이다. 콘크리트는 수축·팽창에 의한 내구성 저하가 발생되는데, 콘크리트의 수밀성능이 향상되면 콘크리트 구조물의 내구성을 증진시킬 수 있다.

2.1 구체방수제 조성물의 주요 반응

구체방수제를 구성하는 주요 반응은 화학적 반응으로 에트링자이트와 쏘머사이트의 생성 및 포졸란 반응이 있으며, 물리적 반응으로는 분산성 향상 효과, 마이크로 필러 효과와 지방산염에 의한 발수성 효과로 구분되어질 수 있다.

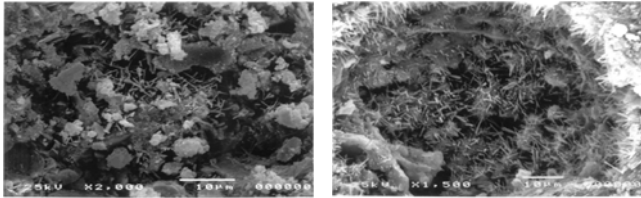
2.1.1 에트링자이트(침상 수화생성물) 생성

에트링자이트는 초기 에트링자이트와 경화 후 황산염 침식 등의 요인으로 생성되는 지연 에트링자이트로 구분된다. 지연 에트

* 서울과학기술대학교, 산업대학원, 석사과정
 ** 한국건설신소재연구소, 소장
 *** 서울과학기술대학교, 건축학부교수, 주택대학원장, 공학박사

링자이트의 경우 경화체 내부에 팽창압을 발생시켜 균열 생성을 촉진함으로써 열화의 요인이 되는 반면, 초기 에트링자이트를 다량으로 생성시킴으로써 경화초기에 적절한 팽창성을 부여할 수 있다.

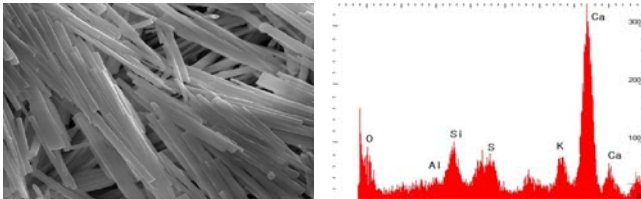
구체방수제의 복합조성물은 시멘트 경화체에 다량의 황산염을 공급하여 시멘트의 에트링자이트 생성을 촉진하며 모노설페이트로의 상전이¹⁾를 방해한다.



(a) 미첨가 시편의 7일 미세구조 (b) 첨가 시편의 7일 미세구조
사진 1. 에트링자이트의 생성의 비교(SEM 관찰사진)

2.1.2 쏘머사이트(Thaumasite) 생성

사진 2와 같이 쏘머사이트는 침상의 결정체로 치밀한 구조를 형성한다. 쏘머사이트는 에트링자이트가 형성된 후 치환작용에 의하여 에트링자이트와 고용체를 형성한다.



(a) 쏘머사이트 미세조직 (b) 쏘머사이트 분석
사진 2. 쏘머사이트 형성의 미세조직 관찰(EDX분석)

2.1.3 포졸란 반응기구

포졸란 물질(pozzolanic materials)은 자체적으로 물과 반응하여 경화하는 성질(자체 수경성)을 가지고 있지 않지만, 상온의 대기조건하에서는 수산화칼슘과 반응하여 수경성을 가지는 Silicate 혹은 Aluminate 성분을 생성한다. 포졸란 물질이 가지는 위와 같은 반응을 포졸란 반응(pozzolanic reaction)이라고 한다.

포졸란 반응에 의하여 생성된 CSH(calcium silicate hydrate) 상은 시멘트의 자체수화반응에 의해서 생성된 CSH상보다 CaO/SiO₂의 몰비가 낮은 특성을 가지고 있으며, 비록 CSH상의 생성으로 경화체 내부의 큰 공극들을 모두 메우지 못하지만 공극들을 서서히 메우고 공극의 연속성을 억제함으로써 투과성을 감소시킨다. 기존 분말형 혼화제의 인공 포졸란 물질과 달리, 본 분말형 혼화제는 화산암의 일종인 응회암과 화산재로 이루어진 천

연 포졸란 물질을 주재료로 하여 향상된 수밀성을 가진다.

2.1.4 구체방수제 복합조성물의 분산성 향상 효과

구체방수제 복합조성물에 포함된 수용성 음이온계 계면활성화제는 구체방수제 복합조성물 입자가 콘크리트 재료와 혼합되기에 충분한 분산성을 제공한다. 구체방수제 복합조성물을 적용한 콘크리트는 구체방수제 복합조성물 입자와 시멘트 입자가 보다 균일하게 분포하게 되고 수화반응이 일어나는 반응성 입자와 물의 접촉면을 증가시키는 효과를 가지게 되어 시멘트 입자 및 구체방수제 복합조성물 입자는 보다 효율적인 수화반응에 따른 경화체의 내부구조를 치밀하고 밀실하게 하는데 효과적이다.

2.1.5 마이크로 필러 효과

시멘트 입자보다 1/100 정도로 미세한 실리카 미분말이 시멘트 입자 사이에 충전되어지는 것을 마이크로 필러 효과(Micro Filler Effect)라고 한다.

그림 1과 같이 구체방수제 복합조성물에 포함된 실리카 미분말은 유리질의 함량이 매우 높고, 미세한 입자로서 시멘트 입자 사이에 다량 존재하면서 포졸란 반응을 통하여 경화체 내부에 생성된 공극을 효과적으로 충전하게 된다.

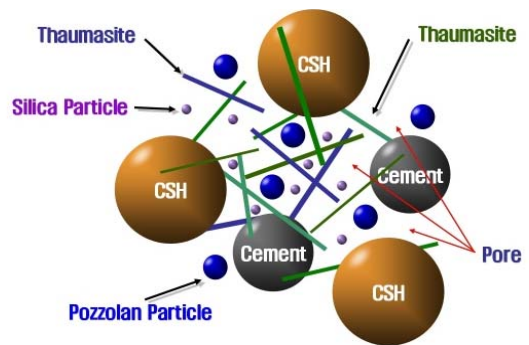


그림 1. 구체방수제에 의한 미세구조의 치밀화 기구

3. 시험계획 및 방법

3.1 시험계획

3.1.1 취약부 누수저감효과에 관한 시험계획

본 연구는 구체방수제 첨가와 미첨가(이하 “PLAIN” 라 함)된 시험체를 대상으로 비교 평가하여, 본 구체방수제의 누수저감효과를 관찰하기 위함이다.

따라서, 수조 시험체를 대상으로 양생 28일 후 내부에 물을 채워 넣고, 철근, 프랫타이를 각각 8개소에 삽입(관통)하여 누수개소와 표면의 흡습상태의 변화를 비교 평가한다.

1) 물질이 조건에 따라 한 상(相)에서 다른 상으로 이행하는 현상, 용해, 고화, 기화, 응결 등.

3.1.2 시험체의 배합조건

KS F 4926 『콘크리트 혼입용 방수제』에 명시된 시험방법에 따라 표 1과 같이 수조·원형 시험체의 배합비를 선정하였다.

표 1. 수조 시험체와 원통형 시험체의 모르타르 배합 비율

Code Number	C (%)	S (%)	W (%)	방수 혼화제 (%)
PLAIN	1	2.45	0.5	-
W.A ¹⁾ - 1	1	2.45	0.5	10
W.A - 2	1	2.45	0.5	3.75
W.A - 3	1	2.45	0.5	6
W.A - 4	1	2.45	0.5	2

1) Waterproofing Admixture

3.2 시험방법

3.2.1 취약부 누수저감효과에 관한 시험방법

주요 구조물 제작 시 소요두께 확보를 위해 사용된 간격재, 설 계변경 등으로 제거된 구조부위에서 노출된 철근 등이 누수경로 의 원인으로 작용된다. 이러한 현장조건과 유사한 형태로 시험체 를 제작하였으며, 타설 전 표 2와 같은 철근과 플렛타이를 총 8개 소에 삽입(관통)되도록 형틀을 만들고, 그림 2와 같이 PLAIN과 W.A-1의 수조 시험체를 동일 조건에서 각각 제작한다. 다음 28 일 양생 후 수조 시험체에 물을 채워 넣고 철근 및 플렛타이 삽입 부의 누수개소와 표면부 함습상태의 변화를 시험시작 3시간 후와 72시간 후 각각 관찰한다.

표 2. 수조시험체와 재료에 대한 기준

구 분	기 준(mm)
수조시험체(Outside)	600 × 400 × 160
철근	D10
플렛 타이	T-4, W-19

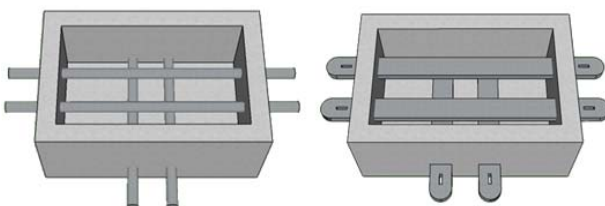


그림 2. 수조시험체 (Key Map)

4. 시험결과

4.1 취약부 누수저감효과에 관한 시험

4.1.1 수조 시험체의 철근부 누수관찰 시험 결과

본 시험결과 표 3과 같이 PLAIN은 3시간 경과 후 총 8개소 중 2개소에서 미세한 누수가 관찰되었으며, W.A-1에서도 총 8 개소 중 2개소에서 미세한 누수가 관찰되었다. 72시간 경과 후 PLAIN은 총 8개소 중 미세한 누수부위가 2개소에서 6개소로 증 가된 것으로 관찰되었으며, W.A-1은 총 8개소 중 미세한 누수부 위가 2개소에서 0개소로 감소되는 것으로 관찰되었다. 따라서, 사진 3과 같이 PLAIN은 미세한 누수가 지속적으로 발생되었음을 알 수 있었으며, W.A-1은 구체방수제 조성물의 주요 반응기구에 의하여 미세한 누수가 멈춘 것을 알 수 있었다.

표 3. 수조시험체 실험 결과 (철 근)

기 준	개 소	시 험 기 간	
		3시간 후 누수개소	72시간 후 누수개소
PLAIN	8	2	6
W.A-1	8	2	0



사진 3. 수조 시험체의 철근 부위 누수 관찰

4.1.2 수조 시험체의 플렛타이부 누수관찰 시험 결과

본 시험결과 표 4와 같이 3시간 경과 후 PLAIN은 총 8개소 중 2개소에서 미세한 누수가 관찰되었으며, W.A-1은 총 8개소 중 미세한 누수가 관찰되지 않았다. 72시간 경과 후 PLAIN은 총 8 개소 중 미세한 누수부위가 2개소에서 4개소로 증가되었으며, W.A-1은 총 8개소 중 여전히 미세한 누수가 관찰되지 않았다. 따라서, 사진 4과 같이 PLAIN은 미세한 누수가 지속적으로 발생 되었음을 알 수 있었고, W.A-1은 구체방수제 조성물의 주요 반 응기구에 의하여 미세한 누수가 발생되지 않은 것을 알 수 있었 다.

표 4. 수조시험체 실험 결과 (프렛 타이)

기 준	개 소	시 험 기 간	
		3시간 후 누수개소	72시간 후 누수개소
PLAIN	8	2	4
W,A-1	8	0	0



a) 3시간 후 PLAIN 시험체



b) 72시간 후 PLAIN 시험체



c) 72시간 후 PLAIN 시험체



d) 72시간 후 W,A-1 시험체

사진 4. 수조 시험체의 프렛타이 부위 누수 관찰

5. 결 론

본 연구에서는 천연 무기질계 분말형 혼화제로 인한 콘크리트 지하구조물의 취약부 누수저감효과를 확인하고, 천연 무기질계 분말형 혼화제의 현장 시공시 기초적 자료로 활용하는데 도움이 되고자 하였다. 콘크리트 지하구조물 취약부 누수저감효과에 대하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

결과적으로 천연 무기질계 분말형 혼화제가 첨가되지 않은 시험체의 경우 시간의 경과에 따라 지속적으로 미세한 누수가 발생된 것으로 관찰되었다. 그러나, 천연 무기질계 분말형 혼화제가 첨가된 수조 시험체의 경우 초기에 미세한 누수가 발생되었으나, 천연 무기질계 분말형 혼화제 복합조성물의 주요 반응에 의하여 누수가 멈춘 것을 확인할 수 있었다.

상기와 같은 연구결과를 통해 천연 무기질계 분말형 혼화제 복합조성물의 주요 반응에 의한 누수저감효과를 확인할 수 있었다. 특히, 본 평가에서 사용된 천연 무기질계 분말형 혼화제는 KS F 4926 『콘크리트 혼입용 방수제』에서 준하는 품질기준에 적합하였지만, 향후 구체방수제의 최적 혼입율에 대한 연구가 이루어진다면 보다 향상된 누수저감효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 김광기의, 수밀성능 증진용 혼화제를 혼입한 콘크리트의 미세구조 변

화가 압축강도 및 흡수특성에 미치는 영향에 관한 연구, 대한건축학회지, 제24권 제3호, pp.103~110, 2008.3

2. 박선규외, 에트링가이트-석탄 복합계 팽장재의 수화반응 모델에 관한 연구, 콘크리트학회논문집, 제17권 제4호, pp.581~586, 2005.8
3. 서상교, 콘크리트 구체 방수제 분말형 TVP 혼화제의 내구성 평가, 충북대학교 건설기술논문집, 제29권 제2호, pp.51~56, 2010.12
4. 이승현, 포졸란 반응에 대하여, 한국시멘트협회, 제185호, pp.40~44, 2003
5. 이효민외, 에트링가이트/사우마사이트의 형성 및 안정도와 콘크리트 성능저하에 미치는 영향, 한국광물학회지, 제16권 제1호, pp.75~90, 2003.3