

# 무기계 방수 혼화제 사용 콘크리트의 내구특성

## A durability feature of concrete using inorganic waterproof agent

문 수 동\*      이 상 호\*\*      문 한 영\*\*\*  
Moon, Su Dong      Lee, Sang Ho      Moon, Han Young

---

### ABSTRACT

Generally, waterproof agent has been used only for the waterproof effect. But in this paper, through the durability test of concrete using inorganic waterproof agent, we recognized that the concrete using this agent is more excellent in some peculiar properties of durability than general concrete.

In this paper, we did compressive strength test, permeability test, pore volume test, etc. And the conclusion is as followings.

The concrete of using this agent is more excellent in economy, waterproof, durability, strength.

---

### 1. 서 론

본 연구는, 무기 규불화염을 주성분으로 하며 콘크리트의 내부를 치밀하게 하여 우수한 방수성과 내구성을 동시에 가지고 있는 특수 무기계 방수 혼화제(WP)를 첨가한 콘크리트에 대한 내구성 시험을 통하여, 방수성능 및 내구특성을 검토하는데 그 목적이 있다.

### 2. 방수 MECHANISM

시멘트에 응결지연 특성 및 방수특성을 발휘하는 규불화염으로는 대표적으로 규불화아연과 규불화마그네슘을 들 수 있다.

이러한 규불화염중 Lee 등의 연구결과에서 규불화마그네슘이 시멘트에 1% 이상 첨가되면 시멘트의 초결 및 종결이 4~8시간까지 지연효과가 뚜렷하다고 발표한 바와 같이 규불화마그네슘은 시멘트 분야에서 시멘트의 수화반응을 지연시키기 위한 무기계 응결 지연제(retarder)로 사용되고 있다.

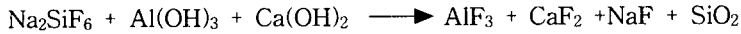
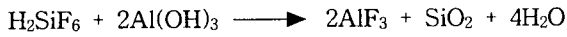
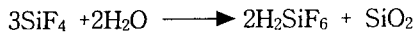
---

\* 정회원. 대림산업(주) 기술연구소 과장

\*\* 정회원. 대림산업(주) 기술연구소 대리

\*\*\* 정회원. 한양대학교 토목공학과 교수

WP가 혼입될 경우 콘크리트 내부에서는 아래와 같은 반응이 일어나게 된다.



### 3. 내구성 시험

#### 3.1 콘크리트 배합

표1 콘크리트 배합비

W/C (%)	S/a (%)	WP	Slump (cm)	Air (%)	단위수량	Unit weight				
						C	S	G	SP	WP
55.0	48.0	0	15±2	4.5±1.5	5.58	10.14	24.6	26.58	0.03	0
		1.5								0.152
		3.0								0.304
		4.5								0.456

#### 3.2 시멘트의 수화열

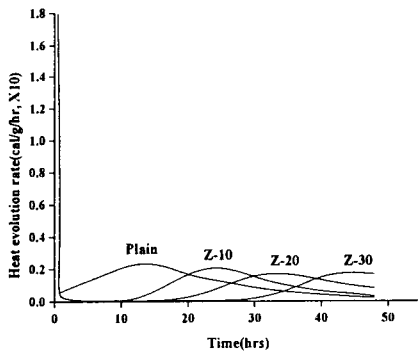


그림 1. 시멘트의 수화열

그림 1 및 표 2는 Plain 및 WP가 첨가된 시멘트의 수화 반응시 C<sub>3</sub>S의 최대 수화발열량을 나타낸 것이다. WP 첨가량 증가에 따라 C<sub>3</sub>S의 수화에 의한 최대 수화발열피크가 지연되는 경향을 보였으며, 최대 수화발열량도 Plain이 52.48cal/g 인데반해 첨가량 1.0%에서 47.56cal/g, 2.0%에서 39.74cal/g, 3.0%에서 26.43cal/g으로 WP의 첨가량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타냈다. 이러한 경향은 WP 첨가가 시멘트의 응결시간을 지연시키는 경향과 일치되는 것으로, 결국 WP 시멘트 수화반응에 대한 지연작용이 흡열반응으로 진행되어 시멘트중 C<sub>3</sub>S의 제 2수화발열 피크의 형성이 지연되고 전체 수화발열량도 감소되는 것으로 판단된다.

표 2 WP가 첨가된 시멘트의 최대 수화발열량

시료명	Plain	WP-1.0	WP-2.0	WP-3.0
수화발열량(cal/g)	52.48	47.56	39.74	26.43

### 3.3 압축강도

WP를 시멘트량 대비 1.5%, 3.0%, 4.5%로 첨가하여 재령 3, 7, 28일별로 표 1과 같이 배합한 콘크리트의 압축강도를 측정하고, 이를 Plain과 비교한 결과를 그림 2에 나타내었다. 재령 3일에서 WP가 첨가되지 않는 경우 가장 압축강도 발현이 높은 것으로 나타났다. 그러나, 재령 7일에서는 WP가 1.5% 첨가되었을 때 강도 발현특성 및 증진율이 가장 높은 것으로 나타났다. 재령 28일에서는 WP의 첨가량 3.0%에서 무첨가 콘크리트의 압축강도보다 강도발현율이 약 10%정도 상회하는 증강효과를 나타냈다. 이는 WP의 첨가율이 증가할수록 첨가율 증가에 따라 강도가 증진되는 현상으로 방수성능의 향상에도 효과적으로 작용할 수 있다.

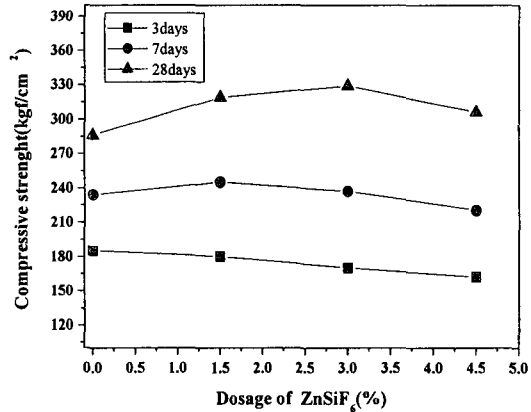


그림 2. WP가 첨가된 콘크리트의 재령별 압축강도

### 3.4 투수시험 결과

투수압력 5kg/cm<sup>2</sup>에서 WP를 1.8%, 2.4% 첨가한 콘크리트의 투수량 변화를 표 3과 같이 100시간 간격으로 600시간까지 측정하였으며, 측정결과를 그림 3에 나타내었다.

Plain은 400시간까지 거의 선형적으로 투수량이 증가하는 경향을 보인다. 400시간 이후 완만히 증가하는 경향을 나타냈으나, 600시간에서 투수량이 15.6g으로 나타났다. 반면 600시간에서 WP를 1.8% 첨가한 콘크리트의 투수량은 1.6g, WP를 2.4% 첨가한 콘크리트의 투수량은 1.56g으로 측정되었는데, 이는 Plain 투수량의 약 10%에 달하는 것으로 WP의 첨가로 인해 콘크리트의 투수성이 매우 낮아지는 현상을 확인할 수 있었다.

이러한 투수량의 감소는 WP가 첨가되면 시멘트 수화과정 중에 고알카리 환경에서 WP중의 불소이온이 해리되고, 이들 불소이온이 시멘트중의 알카리 이온과 반응하여 알카리중에 안정한 불용성의 염으로 CaF<sub>2</sub>, KF, MgF<sub>2</sub>, NaF와 같은 1 $\mu$ m이하의 금속불화물 형태의 미립자가 생성되게 된다. 이러한 미립자는 콘크리트중에 형성된 모세관 공극이나 수화중에 발생된 균열사이를 치밀하게 충전하여 치밀한 경화조직을 형성한 결과 콘크리트 표면에서부터 투수되는 수분의 침투를 억제함으로써 전체적으로 낮은 투수량을 나타내는 것으로 판단된다.

표 3 WP가 첨가된 콘크리트의 투수량 변화

Specimens	Permeation amount of concrete with curing days(g)						
	0h	100h	200h	300h	400h	500h	600h
Plain	0.00	0.92	4.25	9.36	13.80	15.10	15.60
WP(1.8%)	0.00	1.36	1.54	1.60	1.60	1.60	1.60
WP(2.4%)	0.00	1.28	1.43	1.56	1.56	1.56	1.56

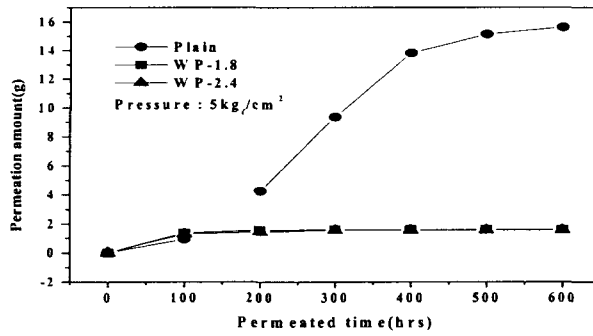
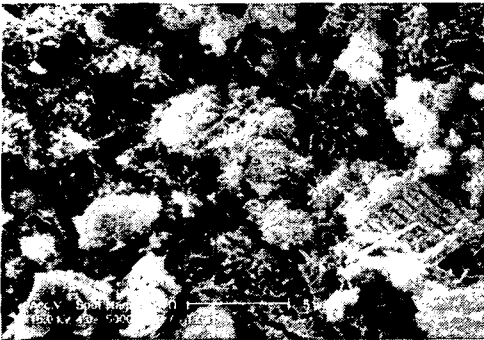
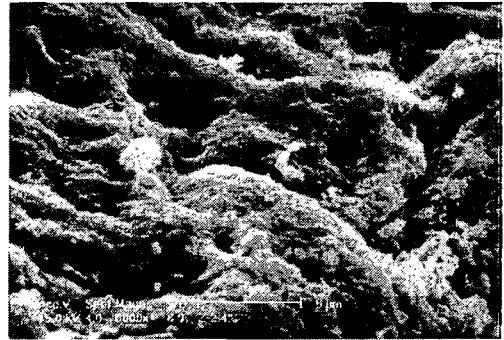


그림 3 WP가 첨가된 재령별 콘크리트의 투수량 누적 그래프

### 3.5 콘크리트 조직검사



(WP 첨가전)



(WP 첨가후)

그림 4 WP의 첨가에 따른 경화시편의 SEM 사진

그림 4는 WP를 2.4%, 첨가한 콘크리트 경화시편의 표면조직을 plain과 비교하여 SEM을 이용하여 측정한 사진이다. WP 무첨가의 경우 시멘트 수화반응에 의해 생성된 수화생성물이 확인되었으며, 특히 침상형의 에트린자이트가 수화생성물 사이에 생성되어 입자사이를 충전하고 있으나, 미수화 시멘트 입자간에 미세공극들이 다량 분포된 것을 알 수 있었다. 그러나 WP를 2.4% 첨가한 경우 콘크리트 경화시편의 표면조직이 매우 단단하고, 미세 공극이나 균열이 없는 것으로 관찰되었으며, 1 $\mu$ m 이하의 입도를 지닌 metal fluoride 형태의 구형 미립자가 시멘트 입자 혹은 수화 생성물간에 존재하는 미세 공극을 치밀하게 충전하고 있어 표면 및 수화조직이 균열이나 공극이 거의 없는 상태를 나타내고 있다. 이와 같이 WP 첨가로 콘크리트 경화시편의 수화 및 표면조직이 결합이 거의 없는 치밀한 경화 조직 상태로 존재하는 것은 WP를 1.5%~3.0% 범위내로 첨가할 경우 비정질의 SiO<sub>2</sub>의 추가적인 공급으로 인하여 C-S-H겔이 콘크리트의 조직을 치밀하게 변형시켜 콘크리트의 압축강도가 증진된다고 앞서 설명한 내용과 잘 일치하는 것이다.

### 3.6 콘크리트 내부 공극

콘크리트 내부 공극은 크게 다음의 4가지로 분류 할 수 있다. 혼합시 발생하는 갇힌 공기포(Entrapped air), 연행 공기포(Entrained air), 콘크리트 내부의 모세관에서 수분의 증발로 발생한 모세관 공극, 결정과 결정 사이의 겔(Gel pore)공극이 있다.

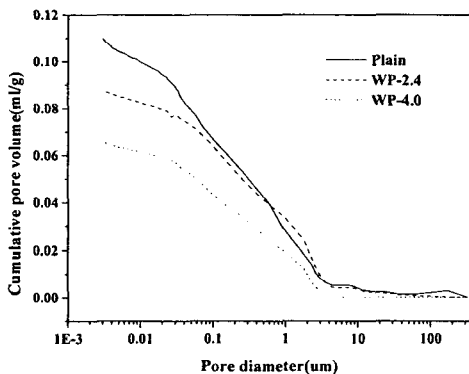


그림 5. WP가 첨가된 콘크리트 경화시편의 누적 공극 부피

경우 7.254m<sup>2</sup>/g, 0.0879ml/g로 나타났으며, 4.0% 첨가한 경우 7.142m<sup>2</sup>/g, 0.0667ml/g을 보여 WP의 첨가량 증가에 따라 TPA 및 TIV가 감소되는 경향을 나타냈다.

표 4 WP가 첨가된 콘크리트의 총 공극 부피

Specimens	Harden concrete specimens		
	Plain	WP-2.4%	WP-4.0%
TPA(m <sup>2</sup> /g)	13.129	7.254(56%)	7.142(54.4%)
TIV(ml/g)	0.1099	0.0879	0.0667

표 4는 수은 압입 방식의 포로시 메터를 사용하여 Plain 및 WP 2.4%, 4.0% 각각 첨가된 콘크리트 경화시편내 총공극부피(Total Pore Area, TPA)와 총압입부피량(Total Intrusion Volume, TIV)를 비교하여 나타낸 것이다. Plain의 TPA와 TIV 값이 각각 13.129m<sup>2</sup>/g, 0.1099ml/g로 나타난 반면, WP를 2.4% 첨가한

WP의 콘크리트 경화시편에 대한 공극충진 효과를 파악하기 위하여 WP를 2.4%와 4.0%로 각각 첨가한 경화시편의 공극입경별 누적부피량을 수은압입법을 이용하여 측정하였으며, 이를 그림 5에 나타내었다.

Plain에 비하여 WP를 첨가한 경화시편의 누적부피량이 낮은 경향을 보였으며, WP의 첨가량이 증가됨에 따라 그 경향은 더욱 현저한 것으로 나타났다. 특히 콘크리트의 강도에 영향을 미치는  $10\mu\text{m}$  이상의 공극크기별 누적분포량이 WP가 첨가되면서 상대적으로 낮은 값을 나타냈으며,  $1\mu\text{m}$ 이하의 미세공극에 있어서도 동일한 경향을 보였다.

이는 WP의 첨가로 콘크리트 경화시편내 공극이 충전되는 효과에 의해 분포되는 전체 공극량이 감소함으로써 경화조직이 Plain에 비해 매우 치밀화되었음을 알려주는 중요한 근거가 되고 있다.

#### 4. 결론

- 1) 방수력이 뛰어난 것으로 나타났다. WP의 투입시  $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 압력으로 600시간 후에도 우수한 방수성을 가지고 있어 지하 구조물 등 수압의 영향을 받는 부위에도 적용할 수 있다.
- 2) 강도증진 효과가 우수하다. 일반적으로 구체 방수제 투입시에는 강도가 저하하는 반면 WP의 투입시에는  $\text{AlF}_3$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{NaF}$ ,  $\text{SiO}_2$  등 미세물질의 생성으로 콘크리트 내부 공극을 충전하여 강도증진 효과가 있다.
- 3) 내구성능이 우수하다. WP의 투입시 시멘트와 반응하여 생성되는 비정질의 이산화규소( $\text{SiO}_2$ )로 장기적인 포조란 반응에 의하여 콘크리트의 내부구조가 더욱 치밀해져 대기중의  $\text{SOX}(\text{SO}_3)$ ,  $\text{NOX}(\text{NO}_2, \text{NO}_3)$  등의 침투속도를 완화하여 중성화등 콘크리트의 열화를 막을 수 있어 내구성이 우수한 콘크리트를 제조할 수 있다.

#### 참고문헌

1. KCI, “고능성유동화제를 이용한 고강도콘크리트의 제조와 특성 및 활용”, KCI국제워크숍, 1993.
2. 이 한승, 하재담(2001), “국내 콘크리트 구조물의 내구성 설계 특집-콘크리트 탄산화에 대한 RC구조물의 내구성 설계 및 보수공법”, 한국콘크리트학회지 2001.11.
3. 장동일 외 1명, “매스콘크리트 구조물의 열거동에 미치는 영향요소 분석”, 한양대 건설연구소 논문집, 제4권, 1998. PP 21~31
4. P.C.Aitcin, “High-Performance Concrete”, E & FN Spon, 1998.