규불화염계 혼화제가 콘크리트의 물성에 미치는 영향

Effects of inorganic fluosilicate agent on the properties of concrete

이 상 호*　　　문 한 영**

Lee, Sang-Ho　　Moon, Han-Young

Abstract

This paper deals with a waterproof and mechanical feature of concrete using an inorganic self waterproof agent. The waterproof agents having been used in our country were a membrane agent, penetration agent and an organic waterproof agent. However, these agents have a lot of problems such as losing the effect of waterproof in the environment of lots of water, the difficulty of dispersion. For the clear of problems of these water -proof agents, we used the inorganic waterproof agent. This agent was made from inorganic fluosilicate. Generally, a waterproof agent has been used only for the waterproof effect. In this paper, however through the some tests of concrete using the inorganic self waterproof agent, we recognized that the concrete using the agent is more excellent in some peculiar properties than general concrete's properties. In this paper, we performed compressive strength, permeability, pore volume test, etc. As a result, the concrete of using the agent is more excellent in economy, waterproof, compressive strength.

요　지

일반 무기계방수제의 경우 지하구조물에서 수분이 있을 경우, 용출되어 방수성을 잃어버리는 경우가 있고, 유기계의 경우에는 유기실리콘을 물에 유화시켜 사용하는 것으로 분산이 어려운 단점이 있다. 이러한 문제점을 향상, 개선시키기 위한 목적으로 무기계 규불화염을 주 원료로 하는 방수혼화제를 사용하여 시공성, 경제성, 내구성을 증진시킨 콘크리트의 제조를 시도하였다. 시험결과 미소수화열의 경우 WP의 사용량이 증가할수록 수화발열량이 감소하고, 지연되는 현상이 나타나 서중 콘크리트 혹은 댐과 같은 매스 콘크리트의 지연제로도 사용이 가능함을 확인할 수 있었다. 그리고, 압축강도시험을 해 본 결과, 치환율이 증가할수록 압축강도가 약 10%정도까지 증가되는 것으로 나타났다. 이는 콘크리트의 내부공극을 더욱 치밀하게 충진하여 나타난 결과라고 판단된다. 투수시험의 경우 WP가 혼입된 경우 금속불화물의 미립자가 형성되어 일반 콘크리트보다 방수효과가 현저히 뛰어남을 확인할 수 있었다. 내부공극시험을 실시해본 결과 WP의 첨가로 경화조직이 치밀해지고, 모세관 공극 존재에 의한 조직의 결함이 매우 억제되는 결과로부터 공극량이 상당히 감소됨을 확인하였다. 상기의 시험들을 통하여 무기계 구체 방수제를 사용한 콘크리트의 경우 방수성능을 보다 경제적으로 향상시킬 수 있고, 보다 뛰어난 수밀성을 가진 콘크리트를 제조할 수 있음을 확인할 수 있었다.

Keywords : Waterproof admixture, ettringite, monosulfate, permeability test, pore volume test

핵심 용어 : 무기계구체방수제, 에트린자이트. 모노설페이트, 투수성시험, 공극시험

* 대림산업(주) 기술연구소, 한양대학교 토목공학과

** 한양대학교 토목공학과 교수

E-mail : sangho@daelim.co.kr

?본 논문에 대한 토의를 2005년 9월 30일까지 학회로 보내주시면 2006년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다˙

1. 서 론

구체방수제의 경우 유기계와 무기계 구체방수제가 생산 시판되고 있으나, 현재 시판되고 있는 무기계 제품의 경우에는 규산소다(Sodium silicate)가 주성분으로 지하 구조물에서처럼 수분이 있을 경우 용출되어 방수성을 잃어버리는 경우가 있어, 혼합시 콘크리트의 내구성에 나쁜 영향을 미친다. 유기계의 경우에는 대부분이 유기 실리콘을 물에 유화시켜 사용하는 것으로 콘크리트 내부에서 분산이 매우 어렵다. 또한 현장에서 혼합하는 경우가 대부분으로 콘크리트와 완전한 혼합이 매우 어렵다.

이러한 결함들을 보완하여, 본 시험에 사용된 방수제 WP(Waterproof agent, 무기계구체방수제)는 최근 특허로 지정을 받고, 시험시공 결과 우수한 성능을 보이고 있고, 내구성 측면에서 우수한 성능을 가진 규불화염계의 제품이고, 무기계 규불화염을 주성분으로 하며 콘크리트의 내부를 치밀하게 하여 우수한 방수성과 내구성을 동시에 가지고 있으며, 레미콘 공장에서 완전 혼합할 수 있으므로 편리하게 현장적용을 할 수가 있다.

최근 연구동향도 방수혼화제를 사용한 콘크리트의 방수성능 및 내구특성에 대해 연구가 꾸준히 진행되고 있는 추세이다. 따라서, 본 연구에서는 무기계 구체방수제(WP)를 사용하여 설계기준강도 24MPa의 콘크리트의 방수성능 향상에 대한 효과를 확인하고, 압축강도시험, 미소수화열시험, 기기분석시험, 내부공극시험을 병행하여 방수 뿐만 아니라, 적정 치환율에 따른 콘크리트의 제물성에 대한 내구성 평가도 동시에 실시하여, 무기계 구체방수제(WP) 사용 콘크리트의 방수 및 기타 특성에 대한 효과를 확인하는데 그 목적이 있다.

2. 개 요

시멘트에 응결지연 특성 및 방수특성을 발휘하는 규불화염으로는 대표적으로 규불화아연과 규불화마그네슘을 들 수 있다. 이들 규불화 염은 비슷한 경향의 특성을 보이는 데, 규불화염중 Lee 등의 연구결과[(2),(10)]에서 규불화마그네슘이 시멘트에 1.0% 이상 첨가되면 시멘트의 초결 및 종결이 4 8시간까지 지연효과가 뚜렷하다고 발표한 바와 같이 규불화 염은 시멘트 분야에서 시멘트의 수화반응을 지연시키기 위한 무기계 응결 지연제로 사용되고 있다. 구조물의 종류에 따라 응결시간이 빨라야 유리한 구조물이 있는 반면, 서중 매스콘크리트와 같이 수화열이 많이 발생하는 구조물에서 온도균열을 방지하기 위해서는 응결지연에 의한 수화열 상승curve를 완만하게 하기위해 유용한 혼화재료로 평가되고 있다.

또한, 규불화아연과 같은 규불화물(fluosilicate)을 건축물의 바닥이나 벽면에 도포하면 보호피막을 형성시킴으로써 화학적 내구성 및 표면강도를 증진시키는 작용을 하는 것으로 알려져 있다. 이들 규불화염이 시멘트에 첨가되면, 미세한 입자상인 규불화염이 시멘트 수화 과정중에 생성되는 간극 및 공극을 충전함으로써 강도증진에도 효과가 있을 것으로 기대되고 있다. 이러한 강도증진과 함께 시멘트 콘크리트의 시공 및 시멘트 수화 과정 중에 발생되는 미세기공, 모세관 등을 시멘트 수화 시 해리에 의해 생성된 이온과 규불화염이 반응하여 2차 생성물이 형성되고, 이들이 공극을 메워 강도증진과 방수성 향상에 기여하는 것으로 알려져 있다.

Fig. 1은 WP 첨가가 시멘트 콘크리트중의 미세공극을 충전함으로써 그 결과 조직을 통과하는 물의 투수량이 억제되는 현상을 WP가 첨가되지 않은 시멘트 콘크리트와 비교하여 모식적으로 나타낸 것이다.

규불화물이 혼입될 경우 콘크리트 내부에서는 아래와 같은 반응이 일어나게 된다.

$$3SiF_4+2H_2O \rightarrow 2H_2SiF_6+SiO_2$$
$$H_2SiF_6+2Al(OH)_3 \rightarrow 2AlF_3+SiO_2+4H_2O$$
$$H_2SiF_6+3Ca(OH)_2 \rightarrow 3CaF_2+SiO_2+4H_2O$$
$$Na_2SiF_6+Al(OH)_3+Ca(OH)_2 \rightarrow AlF_3+CaF_2+NaF+SiO_2$$

시멘트가 수화반응을 시작하면 알카리 분위기 하에서 Ca^{2+}, Al^{3+}등의 이온이 발생, WP와 반응하여 용해도가 매우 낮은 AlF_3, CaF_2, NaF등의 불화물 미립자들이 발생하게 되고 상기 Fig. 1의 WP 시멘트 콘크리트 미

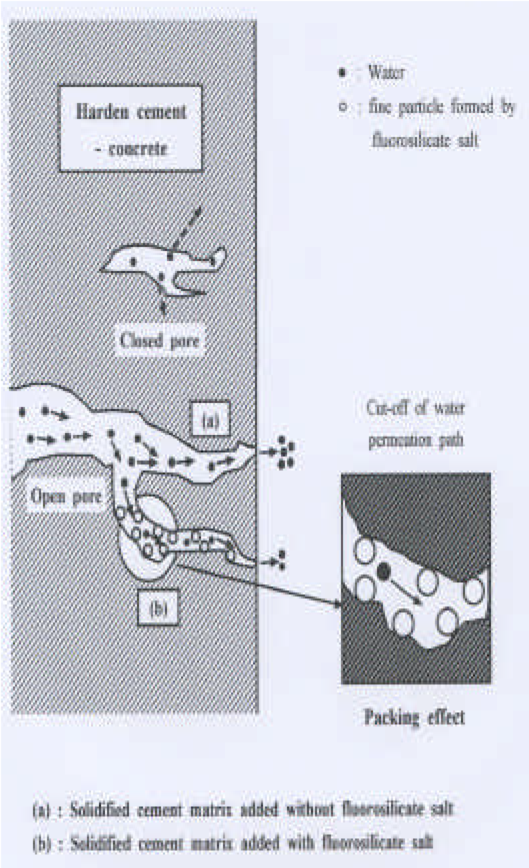


Fig. 1 Solidified cement matrix with WP(Degussa)

세공극 충전작용 모식도에 나타나 있는 것처럼 시멘트 수화물 입자사이에 형성되는 거대한 기공들을 충전하여 방수성능을 가지게 되며 동시에 강도가 증진되고, 비정질의 SiO_2는 장기적인 포졸란반응을 하여 시멘트 중의 C-S-H겔을 추가로 형성하여 화학적인 반응으로 시멘트의 조직을 매우 치밀하게 만들어 콘크리트에 내구성을 부여한다.

3. 사용재료

3.1 시멘트

본 시험에 사용된 시멘트는 1종 보통 포틀랜드시멘트이며, 화학, 물리적 특성은 Table 1, Table 2와 같다.

Table 1 Chemical composition of cement(wt%)

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Ig.loss	비중
21.95	6.59	2.81	60.12	3.32	23.15	2.58	3.15

Table 2 Physical properties of cement

Specific surface (cm^2/g)	Setting time (hr : min)		Stability (%)	Compressive Strength kgf/cm^2(MPa)		
	Initial	Final		3 day	7 day	28 day
3,127	3:24	5:48	0.33	162 (16.2)	238 (23.8)	329 (32.9)

3.2 잔골재

본 시험에 사용된 잔골재는 강사로 비중은 2.62이고 흡수율은 1.0%, 조립율은 2.8이다.

3.3 굵은골재

본 시험에 사용된 굵은골재는 쇄석으로 최대치수는 25㎜, 흡수율은 0.5%, 비중은 2.63이다.

3.4 구체방수제

본 시험에 사용된 구체방수제는 인산 및 불산 제조시 공정부산물로 발생되는 불화규산(H_2SiF_6)을 주원료로 채택하고, 화학안정성 및 용해도가 우수한 금속염(아연염, 마그네슘염)을 선택하여 재료간 최적조건을 도출하여 제조된 규불화염계 혼화제 제품이다. 본시험에서는 규불화염계의 분말형의 혼화제 type을 사용하였고, 우수한 화학반응성을 유도하기 위해 불화규산/금속염의 투입량을 조절하여 pH 2 3의 acid base로 제조하여 콘크리트에 투입과 함께 성능이 즉시 발현되도록 제조되어진 혼화제이다. 참고로, 본 연구에 사용된 규불화염계 혼화제는 소량 사용되어, 콘크리트 전체의 pH를 좌우하지 않아, 콘크리트의 중성화에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 보고되고 있다.

4. 실험내용

4.1 시멘트의 미소 수화열시험

WP를 사용한 콘크리트의 수화열 저감효과를 확인하기 위하여 미소수화열 시험을 실시하였다. 열량측정시험은 Semi-conduction calorimeter를 사용하여 규격 KS L 5121의 방법으로 실시하였다.

4.2 압축강도 시험

KS F 2405에 의해 시험을 실시하였다.

4.3 투수시험

ASTM WK 5956의 규격에 의해 내압식으로 실시하였고, 15×30cm 몰드 내 20㎜의 구멍을 뚫고 몰드외부의 실린더 내부는 물로 가득 채우고, 일정 투수압력(5MPa)을 가해 WP를 2.0에서 4.0%까지 첨가한 재령 28일의 콘크리트 경화체에 침투한 투수량 변화를 100시간~600시간까지 측정하였다.

4.4 기기분석

압축강도시험에서 가장 높은 강도값을 보인 WP 3.0%를 첨가한 콘크리트 경화시편의 표면조직을 Plain과 비교하여 SEM을 이용하여 재령 28일을 기준으로 측정하였다.

4.5 콘크리트 내부공극시험

수은압입방식의 포로시메터를 사용하여 Plain 및 WP 2.0%, 3.0% 각각 첨가된 재령 28일의 콘크리트 경화시편내 총공극부피와 총압입부피량를 측정하였다.

5. 실험결과 및 고찰

5.1 콘크리트의 미소수화열 및 압축강도

Table 3 및 Fig. 2는 Plain 및 WP가 첨가된 시멘트의 수화반응시 C3S의 최대 수화발열량을 나타낸 것이다.

WP 첨가량 증가에 따라 C3S의 수화에 의한 최대 수화발열피크가 지연되는 경향을 보였으며, 최대 수화발

Table 3 Heat of hydration added with WP

	Plain	WP-2%	WP-3%	WP-4%
Heat of hydration (cal/g)	115.48	110.56	89.74	80.14

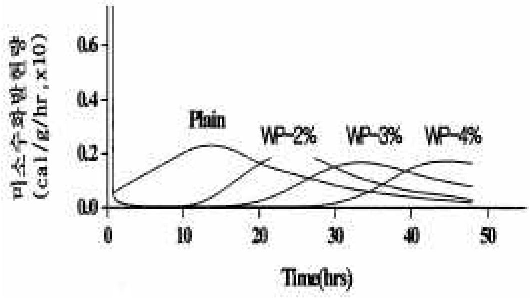


Fig. 2 Heat evolution rate added with WP

열량도 Plain이 115.48cal/g인데 반해 첨가량 2.0%에서 110.56cal/g로 나타났고, 3.0%에서 89.74cal/g, 4.0%에서 80.14cal/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 C3S의 제 2수화발열 피크의 형성이 지연되는 것으로 판단된다.

수화발열의 측면에서도 유리할 뿐 아니라 경제적인 측면에서도, 기존의 혼화재 가격보다는 콘크리트 전체 m^3당 단가를 비교해보면, 단위수량감소에 의해 기존의 혼화제를 사용한 콘크리트와 m^3당 단가가 비슷하거나 배합비에 따라 차이는 있으나 다소 저렴해 실제 적용시 더 경제적인 배합이 될 수 있다.

콘크리트 배합비는 Table 4와 같다.

WP를 시멘트량 대비 0.0%, 2.0%, 3.0%, 4.0% 첨가하여 재령 3, 7, 28일별로 압축강도를 측정하고, 이를 Plain과 비교한 결과를 Table 5에 나타내었다. 재령 3일에서 Plain이 18.5MPa인 반면 2.0%에서 18.1MPa, 3.0%에서 17.0MPa, 4.0%에서 16.9 MPa로 WP가 첨가되지 않은 경우 가장 압축강도 발현이 높은 것으로 나타났다.

그러나, 재령 7일에서는 Plain이 23.4MPa이었으나, WP 2.0%에서 24.6MPa, 3.0%에서는 23.7MPa, 4.0%에서 23.5MPa로 WP가 2.0% 첨가되었을 때 강도 발현특성 및

Table 4 Mix proportion of concrete

W/C (%)	s/a (%)	Target Slump (cm)	Target Air (%)	Unit Weight(kg/m^3)					
				W	C	S	G	SP	WP(%/C)
55.0	48.0	15±2	4.5±1.5	176	320	845	917	0.96	0
									2.0
									3.0
									4.0

Table 5 Compressive strength added with WP

Specimens	Compressive strength of concrete with curing days(MPa)		
	3days	7days	28days
Plain	18.5	23.4	28.6
2.0 %	18.1	24.6	31.2
3.0 %	17.0	23.7	32.9
4.0 %	16.9	23.5	32.0

증진율이 가장 높은 것으로 나타났다.

WP의 첨가시 콘크리트의 초기 압축강도가 저하되는 현상은 무기질계 규불화물이 시멘트의 수화에 있어서 Ca^{2+}의 발생을 봉쇄하기 때문인 것으로 판단된다. 재령 28일에서는 목표설계 기준강도인 24MPa을 모두 상회하고 있고, 특히 WP의 첨가량 3.0%에서 압축강도가 32.9MPa로 나타나 무첨가 콘크리트의 압축강도값인 28.6MPa보다 강도발현율이 약 10%정도 상회하는 효과를 나타냈다. 이는 WP의 첨가율이 증가할수록 강도가 증진되는 현상으로 WP가 콘크리트의 내부공극을 치밀하게 충전하는 작용은 방수성능의 향상에도 효과적으로 작용할 수 있을 것으로 판단된다.

5.2 콘크리트의 투수특성

투수압력 5MPa에서 WP를 2.0~4.0% 첨가한 재령 28일의 콘크리트 경화체의 투수량 변화를 100시간 간격으로 600시간까지 측정하였으며, 측정결과를 Table 6에 나타내었다.

Plain은 400시간까지 거의 선형적으로 투수량이 증가하는 경향을 보이다가, 400시간 이후 완만히 증가하는 경향을 나타냈으나, 600시간에서 투수량이 15.6g으로 나타났다. 반면 600시간에서 WP를 2.0% 첨가한 콘크리트의 투수량은 1.60g, WP를 3.0% 첨가한 콘크리트의 투수량은 1.56g, 4.0%에는 1.52g이 측정되었는데, 이는 Plain 투수량의 약 10%에 달하는 것으로 WP의 첨가로 인해 콘크리트의 투수성이 매우 낮아지는 현상을 확인할 수 있었다.

Table 6 The result of permeability test

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-2%	0.00	1.36	1.54	1.60	1.60	1.60	1.60
WP-3%	0.00	1.28	1.43	1.56	1.56	1.56	1.56
WP-4%	0.00	1.25	1.40	1.52	1.52	1.52	1.52

※투수압력 : 5MPa.

이러한 투수량의 감소는 WP가 첨가되면 시멘트 수화과정 중에 고알카리 환경에서 WP중의 불소이온이 해리되고, 이들 불소이온이 시멘트중의 알카리 이온과 반응하여 알카리 중에 안정한 불용성의 염으로 CaF_2, KF, MgF_2, NaF와 같은 1μm이하의 금속불화물 형태의 미립자가 생성되게 된다. 이러한 미립자는 콘크리트 중에 형성된 모세관 공극이나 수화 중에 발생된 균열 사이를 치밀하게 충전하여 치밀한 경화조직을 형성한 결과 콘크리트 표면에서부터 투수되는 수분의 침투를 억제함으로써 전체적으로 낮은 투수량을 나타내게 된다.[11]

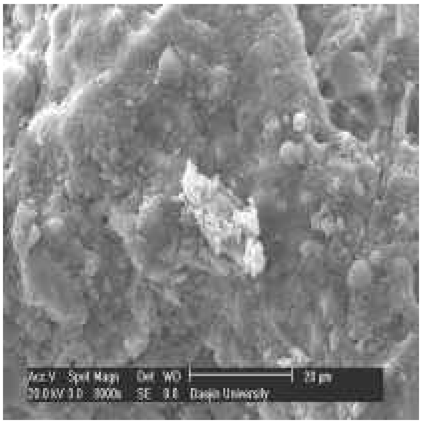
WP가 혼입된 경우에는 초기에 약간의 투수현상이 발생하였으나 100시간 이후에는 투수량의 변화가 거의 없는 것으로 보아 초기에 콘크리트 내부의 잔여 수분이 압력에 의하여 밀려나온 것으로 보여지며, 그 이후에는 투수량이 나타나지 않는 것으로 보아 내부 공극의 밀실화로 인하여 압력을 받아도 투수량이 거의 증가되지 않는 것으로 추정된다.

투수압력 5kgf/cm^{2}에서 투수시험을 실시해본 결과

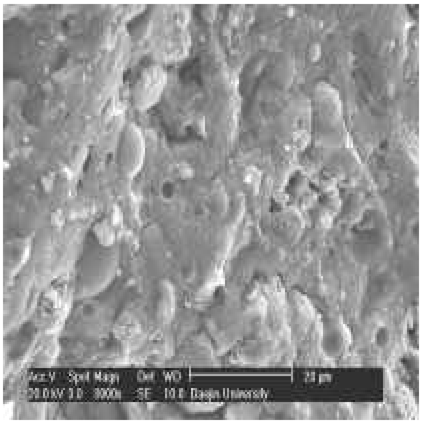
Plain은 400시간까지 거의 선형적인 투수량 증가 경향을 보였으나, WP의 첨가량이 증가될수록 콘크리트의 수화중에 발생된 균열사이를 치밀하게 충전하여 치밀한 경화조직을 형성한 결과 콘크리트 표면에서부터 투수되는 수분의 침투를 억제함으로써 전체적으로 낮은 투수량을 나타내었다.

5.3 기기분석 결과

Fig. 3은 WP를 3.0%, 첨가한 콘크리트 경화시편의 표면조직을 Plain과 비교하여 SEM을 이용하여 재령 28일을 기준으로 측정한 사진이다. WP 무첨가의 경우 시멘트 수화반응에 의해 생성된 수화생성물이 확인되었으며, 수화생성물이 완전 모노설페이트(monosulfate)로 변이되어 입자사이를 충전하고 있으나, 시멘트 입자간의 미세공극들이 다량 분포된 것을 알 수 있었다. 그러나 WP를 3.0% 첨가한 경우 콘크리트 경화시편의 표면조직이 매우 단단하고, 미세 공극이나 균열이 없는 것으로 관찰되었으며, 1μm 이하의 입도를 지닌 metal fluoride 형태의 구형 미립자가 시멘트 입자 혹은 수화 생성물간에 존재하는 미세공극을 치밀하게 충전하고 있어 표면 및 수화조직이 균열이나 공극이 거의 없는 상태를 나타내고 있다. 이와 같이 WP 첨가로 콘크리트 경화시편의 수화 및 표면조직이 결함이 거의 없는 치밀한 경화조직 상태로 존재하는 것은 WP를 2.0% 3.0% 범위내로 첨가할 경우 비정질의 SiO_2의 추가적인 공급으로 인하여 C-S-H겔이 콘크리트의 조직을 치밀하게 변형시켜 콘크리트의 압축강도가 증진되는 것으로 나타났다.



(Concrete with WP 0.0% added)



(Concrete with WP 3.0% added)
Fig. 3 SEM of concrete with each types(28day)

5.4 콘크리트의 공극특성

콘크리트 내부 공극은 크게 다음의 4가지로 분류할 수 있다. 일반적으로 혼합시 발생하는 갇힌 공기포(entrapped air), 연행공기포(entrained air), 콘크리트 내부의 모세관에서 수분의 증발로 발생할 수 있는 모세관공극(capillary pore), 결정과 결정 사이의 겔 공극(gel pore) 등이 있다.

Table 7은 수은 압입 방식의 포로시메터를 사용하여 Plain 및 WP 2.0%, 3.0%, 4.0%가 각각 첨가된 재령 28일의 콘크리트 경화시편내 총공극부피(Total Pore Area,TPA)와 총압입부피량(Total Intrusion Volume, TIV)를 비교하여 나타낸 것이다. Plain의 TPA와 TIV 값이 각각 13.129m^2/g, 0.1099ml/g로 나타난 반면, WP를 2.0% 첨가한 경우 7.254m^2/g, 0.0879 ml/g로 나타났으며, 3.0%는 7.142m^2/g와 0.0667ml/g이고, 4.0%는

Table 7 Total pore volume wiht WP

Specimens	Concrete specimens			
	Plain	WP-2%	WP-3%	WP-4%
TPA(m^2/g)	13.129	7.254	7.142	7.133
TIV(ml/g)	0.1099	0.0879	0.0667	0.0527

7.133m^2/g와 0.0527로 WP의 첨가량 증가에 따라 TPA 및 TIV가 감소되는 경향을 나타냈다. 이는 WP를 첨가한 경우 경화시편내 공극에 대한 충전효과에 의해 조직이 치밀화됨으로써 전체적으로 경화시편내 존재하는 공극면적 및 공극부피가 감소하는 것으로 판단된다.

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㎛ 이상의 공극크기별 누적 분포량이 WP가 첨가되면서 상대적으로 낮은 값을 나타냈으며, 1㎛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.

따라서 WP의 첨가로 경화조직이 치밀해지고, 모세관 공극 존재에 의한 조직의 defect가 매우 억제되는 결과로부터 WP에 의한 콘크리트의 압축강도는 물론 방수성도 매우 향상될 것으로 기대된다.

이러한 우수한 방수성은 앞서 살펴본 콘크리트 경화시편의 흡수율 및 투수율 결과로부터도 확인할 수 있었다.

수은 압입법에 의한 총공극 부피와 총압입 부피량으로 내부공극시험을 실시해본결과, WP의 첨가량 증가에 따라 총공극 부피와 총압입 부피량이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 경화 시편내 공극에 대한 충전효과에 의해 조직이 치밀화됨으로써 전체적으로 경화 시편내 존재하는 공극면적 및 공극부피가 감소된 것으로 판단되었다.

6. 결 론

무기계 방수제를 사용하여 콘크리트의 역학시험 및 내구성 시험을 실시해본 결과는 다음과 같다.

1) 무기계구체방수제를 혼입한 콘크리트의 미소 수화열시험을 실시해본 결과, WP의 첨가량이 증가할수록 C3S의 수화에 의한 최대 수화발열 Peak가 지연되는 경향을 보였으며, 미소 수화발열량이 감소하는 것을 확인할 수 있었다.
2) 일반적으로 구체방수제 투입시에는 강도가 저하하는 반면 WP의 투입시에는 AlF_3, CaF_2, NaF, SiO_2등 미세물질의 생성으로 콘크리트 내부 공극을 충전하여 강도증진 효과가 있음이 확인되었다.
3) WP의 투입시 시멘트와 반응하여 생성되는 비정질의 이산화규소(SiO_2)로 장기적인 포졸란 반응에 의하여 콘크리트의 내부 구조가 더욱 치밀해져 대기중의 SOX(SO_3), NOX(NO_2, NO_3)등의 침투속도를 완화하여 중성화 등 콘크리트의 열화를 막을 수 있어 보다 내구성이 우수한 콘크리트의 제조가 가능함을 확인하였다.
4) WP의 투입시 5kgf/㎠의 압력으로 600시간 후에도 우수한 방수성능을 가지고 있어 지하 등 수압의 영향을 받는 부위에도 적용가능하리라 판단된다.

참고문헌

1. 이한승, 하재담, "국내 콘크리트 구조물의 내구성 설계 특집-콘크리트 탄산화에 대한 RC구조물의 내구성 설계 및 보수공법," 한국콘크리트학회지 2001.11.
2. 노재성 외 5인, "규불화수소산 처리 시멘트 슬러지의 특성 및 시멘트의 수화에 미치는 영향", 한국 폐기물학회 춘계발표회, p.181(1998).1. 문한영, 김성수, 이재준, "수중불분리성 혼화제의 성능평가를 위한 실험적 연구," 콘크리트학회논문집, 제11권 5호 1999. 10.
3. 장동일 외 1명, "매스콘크리트 구조물의 열거동에 미치는 영향요소 분석", 한양대 건설연구소 논문집, 제4권, 1998.
4. 문한영, 김성수, 이재준, "수중불분리성 혼화제의 성능평가를 위한 실험적 연구," 콘크리트학회논문집, 제11권 5호 1999. 10.
5. 문한영, 송용규, "수중불분리성 콘크리트의 고강도화를 위한 연구," 대한토목학회논문집, 제20권 6-A호 2000. 11.
6. 大友建, 松岡康訓, "水中不分離性コンクリ?トの流動性の保持に及ぼす各種混和劑の作用に關する研究," 工學年 次論文報告集, Vol. 13, No. 1, 1991, pp.192 202.
7. 舟橋政可, 大西雅也, 森本英樹, 渡部 正, "水中不分離性コンクリ?トの低發熱化, 高流動化に關する研究," コンクリ?ト工學年次論文報告集, 20~2, 1998,

pp. 319 324.
8. Gjrv, O. E., “Long-Time Durability of Concrete in Seawater,” ACI Journal, January, 1971, pp. 60 67.
9. Kamal, H. K., “Effect of Antiwashout Admixture on Fresh Concrete Properties,” ACI Material Journal, Vol. 92, No. 2, 1995, pp.164 171.
10. J.H.Lee, K.H. Lee and H.K.Kim, “A Study on the Retarcing Effects of Cement Mortar Setting,” J. of Korean Ceramic Society, 33(3), 307-312(1996).
11. Haque, M. N., Al-Khaiat, H., “Durable Concrete Structure in a Chloride Sulfate Rich Environment,” Concrete International, Vol.9, 1999, pp.49 52.
12. P.C.Aitcin, “High-Performance Concrete”, E & FN Spon, 1998.

(접수일자 : 2005년 5월 18일)