

구체혼화용 분말방수제의 적용성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Application of Waterproofing admixture of Powder

강희권*

송재영**

오상근***

Kang, Hee Kweun

Song, Je Young

Oh, Sang Kuen

Abstract

The purpose of this study is to offer the basic information of waterproofing admixture of powder for field application. Through before study and fly ash in mortar, Various properties as fly ash ratio in concrete were checked. According to the experimental result, it was shown that proper Waterproofing admixture of powder increased by cement weight in concrete was generally positive effect to flowing, compressive strength, suction ratio of water, length of ratio.

So if Waterproofing admixture of powder is well done quality considered as good on application of concrete.

키워드 : 구체 방수제, 플라이애쉬, 압축강도, 길이변화율

Keywords : Waterproofing admixture of Powder, Fly ash, Compressive strength, Length of ratio.

1. 서론

지금까지 국내에서는 콘크리트 구조물의 방수/방식공사에 대한 확실한 개념 정립이 미약하고, 설계지침이 미비된 상태로 콘크리트의 품질과 내구성 등의 문제가 사회적으로 많은 논란의 대상이 되고 있다. 특히 외국의 사례를 무조건 받아들여 적용하려고 함으로써 콘크리트에 대한 방수/방식의 필요성이 전문 기술자들 사이에서도 상반된 견해가 일고 있어, 기술발전의 저해 및 실무적용에 있어서도 많은 혼선을 빚고있는 실정이다.

반면, 외국의 경우 미국, 유럽, 일본 등이 각각 국가별로 콘크리트에 대한 방수/방식 처리방안이 상호 다르지만, 그것에 대한 분명한 이유와 배경이 정립되어 있기 때문에 구조물의 환경조건, 용도, 적용부위 등에 따라 적절한 대응을 하고 있다. 예를들어, 미국(ACI CODE)이나 영국(BS CODE)에서는 특별히 내산성(내부식성)을 요구하는 곳을 제외한 일반구조물에 대해서는 콘크리트 자체의 재료 및 시공상의 품질향상을 통하여 방수효과를 낼 수 있도록 규정하고 있어, 특별한 방수조치를 취하고 있지 않은 실정이다. 또한 일본의 경우도 수밀 콘크리트 개념과 방수/방식개념이 동시에 적용되어, 구조물의 환경조건에 맞도록 조치하고 있다.

이러한 상황에서 본 연구는 콘크리트용 구체방수제의 혼합사용에 따른 콘크리트 구조물의 성능개선(방수)특성을 평가한다.

시험방법으로서 분말형 구체방수제의 방수 메카니즘 및 성능을 분석하고, 콘크리트의 방수를 위한 사용성 및 시공성을

평가하여, 방수재료로서의 입지적 조건을 명확히 하고자 함은 본 연구의 목적으로 한다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

시공순서는 다음 Flow Chart와 같이 구체 방수제를 인력 또는 기계로 투입한다.

구조물 구축시 구체 방수는 기존에 적용되는 시트방수, 도막방수공법 등과 달리 방수공종이¹⁾ 레미콘 플랜트(Remicon Plant) 및²⁾ 현장 트럭믹서에서 방수재를 혼합하므로 시공성이 우수하고 공기가 단축된다.

콘크리트 구조물의 방수를 위해 방수 레미콘 공법으로 구조물의 내구성 보호 유지와 강도증진 및 방수목적으로 사용하는 재료이다. 구체방수제의 기본원리는 수화반응시 생성되는 수산화 칼슘과 화학적인 반응에 의하여 불용성(방수성) 화합물인 규산질석회를 생성하는 Silicon Dioxide와 고분자 화합물 등을 주성분으로 제조한 활성 침투 방수제로 콘크리트 구조물의 내구성 보호 유지와 방수목적으로 시멘트 또는 콘크리트에 혼입하는 혼화재이다. 따라서 기존에 방수공법과는 달리 방수 공정이 간편하므로 시공성이 매우 우수하고 공사기간을 크게 단축시킬 수 있는 장점을 가지고 있다.

표 1. 화학적 조성

구분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	ZnO	Fe ₂ O ₃	MgO	ig Loss	기타
구체 방수제	58%	12%	9%	3%	1%	6%	11%
	이상	이하	이하	이하	이하		

* 정희원. 서울산업대 건축토목협동과정 대학원 석사과정

** 정희원. 서울산업대 주택대학원 석사과정

*** 정희원. 서울산업대 건축학부 교수, 공학박사

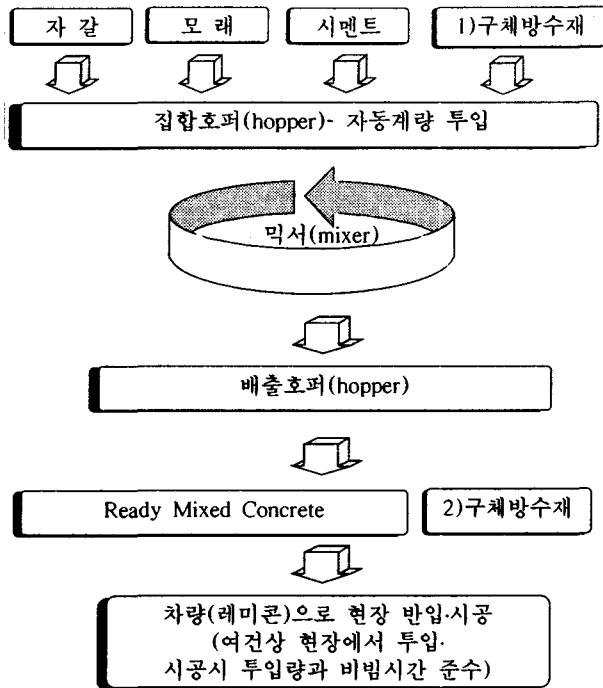


그림 1. 구체방수 공법의 Flow Chart

2.2 실험 및 평가방법

1) 콘크리트 시험체의 압축강도 평가

본 시험에서는 설계기준강도 210kgf/cm²인 공시체에 대해 콘크리트 타설시 구체 방수재를 혼입한 후 3일, 7일, 28일에 압축강도를 측정하였다. 본 시험으로 구체방수재 혼입 콘크리트 시험체의 압축강도의 증진효과가 어느정도 나타나는 지를 시험·평가한다.

표 2. 콘크리트 압축강도 배합설계의 기준

종류	W/C (%)	S/A (%)	시멘트 (kg)	모래 (kg)	자갈 (kg)	방수재 (%)	비고
기준 콘크리트	55	46.5	320	843	981	-	
수밀화 콘크리트	55	46.5	320	843	981	3.75	
배합설계	25 - 210 - 8						

또한, 본 항에서는 동결융해 시험에 대하여 온도조건을 -18±2~5±2℃로 4시간을 1cycle로 설정, 총 300사이클을 원칙으로 시험하고, 콘크리트를 대표하는 물리적 성능인 압축강도를 측정하여 동결융해에 대한 저항성능을 평가하였다.

표 3. 동결융해시험(KS안)의 조건

복합법		최저 온도	최고 온도	융해에 요하는 시간(1cycle)	소요 시간
A법	수중동결 수중융해법	-18±2℃	5±2℃	25% 이상	3~ 시간
B법	기중동결 수중융해법			20% 이상	

공시체의 제작은 JIS A 1132의 7에 의하고, 양생온도의 영향이 크기 때문에, JIS Z 8703에서 2급 규정의 20±2℃에서 수중양생 하였고, 시험개시 재령은 28일을 기본으로 하였다.

2) 투수성 평가

KS F 2451(건축용 시멘트 방수재 시험방법)에 준한 시험방식을 이용하며, 구체방수재 혼입 모르타 시험체를 대상(재령28일 기준)으로 일정 수압(0.5kgf/cm²)을 가하여 시험체가 흡수하는 물의 양을 일반 모르타시험체에서의 흡수량과 비교하여 투수비를 측정함으로써 방수재의 투수저항성을 평가한다.

3) 흡수성 평가

KS F 2451에 의거 구체방수재 혼입 모르타 시험체를 24시간 물속에 침적시켜 각각 시간에 따른 흡수량을 측정하며, 일반시공(기준) 시험체도 같은 방법으로 흡수량을 측정하여 흡수비를 산출하였다.

4) 길이변화

KS F 2424 “모르타르 및 콘크리트 길이변화 시험 방법” 중 다이얼 게이지 방법에 의거 구체방수재 혼입 모르타 시험체와 일반시공 시험체가 경화하면서 건조수축이 어느 정도 발생하는가를 비교평가하기 위함이다. 콘크리트의 장기 내구성 저하요인중의 하나가 경화에 따른 건조수축으로 균열 발생은 물론 2차적인 결함요인(누수, 철근부식 등)을 내포하고 있다.

5) 조직관찰

구체방수재를 혼입한 시험체의 수밀성은 미세공극 구조의 변화상태를 비교 관찰하여 조직 치밀화 효과를 분석 할 수 있다. 즉, 구체방수재 혼입 모르타 시험체의 미세조직 관찰(SEM)을 통해 조직 치밀화가 크고, 침상 및 섬유상 결정체가 많이 관찰될 수록 구체 방수재에 의한 방수 효과를 기대할 수 있다.

6) 현장 적용성

본 시험은 콘크리트 구체 방수공법으로 현장에서 시공하였을 때 어느 정도의 시공성을 가지고 있는지, 그리고 콘크리트 구체 방수공법과 일반 시공 콘크리트는 어떠한 차이를 보이는지를 평가한다.

3. 결과 및 고찰

1) 구체 방수재 혼입량의 적정성 평가

본 시험결과(3회측정 평균값) 방수재를 시멘트 중량비의 2%혼입 할 경우 재령28일 기준으로 234kgf/cm², 3% 혼입의 경우 247kgf/cm², 3.75% 혼입의 경우 270kgf/cm²로 강도가 증가하고 있으나, 4.5%의 과다사용의 경우에는 230kgf/cm²로 압축강도 저하를 보이고 있어, 본 시험결과 구체 방수재의 적정혼입량은 3.75%로 특히 현장 트럭믹서에 의한 혼합사용은 적정 혼입량의 준수가 반드시 필요할 것으로 판단된다(표4 참조).

표 4. 압축강도 시험결과(방수재 혼입량의 적정성 평가)

종류	시험결과	압축강도 시험결과(kgf/cm)				비 고
		3일	7일	28일	3개월	
기준CON'C		131	172	229	263	8cm, 3.0%
구체방수재 혼입	2%	136	177	234	249	10cm, 2.5%
	3%	140	183	247	285	10cm, 2.5%
	3.75%	127	185	270	292	14cm, 3.3%
	4.5%	115	170	230	278	18cm, 3.5%

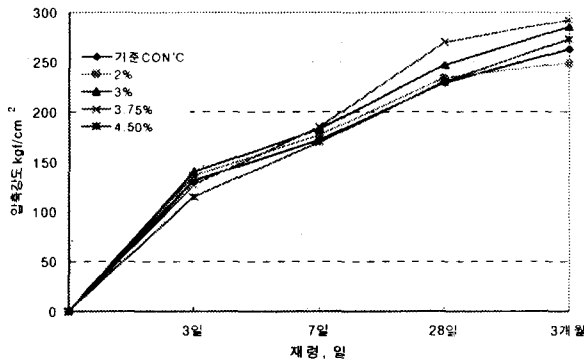


그림 2. 구체 방수재 혼입량의 적정성 평가

2) 물시멘트 비 감소 및 유동성 증가효과 평가

동일한 물시멘트 비(w/c=57%)에서 구체방수재를 혼입 시공한 콘크리트 시험체인 경우 슬럼프는 12.5cm, 공기량은 3.0%, 압축강도(재령28일 기준)는 264kgf/cm²로 나타났으며, 일반시공 콘크리트 시험체의 경우 슬럼프 8.0cm, 공기량은 3.5%, 압축강도는 260kgf/cm²로 나타나고 있어, 물시멘트 비 감소 효과 및 유동성 증가 효과가 우수한 것으로 판단된다.

표 3.2. 물시멘트 비 감소 및 유동성 증가효과 평가

종류	시험결과	압축강도 시험결과(kgf/cm)				비 고
		3일	7일	28일	3개월	
W/C=57%	기준CON'C	94	149	260	294	8cm, 3.5%
	방수재(3.75%)	101	173	264	297	12.5cm, 3.0%
W/C=60%	기준CON'C	77	139	244	272	12cm, 3.8%
W/C=55%	방수재(3.75%)	112	195	285	310	8cm, 3.8%

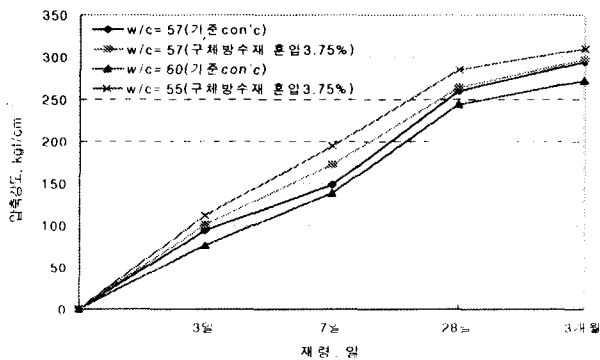


그림 3. 물시멘트 비 감소 및 유동성 증가효과 평가

3) 동결융해 후 콘크리트 압축강도 평가

압축강도 시험과는 <표5>에서 보는 바와 같이 기준 콘크리트의 동결융해 시험후 압축강도 저하는 8%이고, 방수재를 혼입한 콘크리트의 압축강도 저하는 3%로 나타났다. 따라서 방수재를 혼입한 콘크리트의 동결융해 저항성이 우수함을 확인할 수 있다. 이는 콘크리트의 수밀성 증진은 물론 콘크리트 내구성 증진도 기대할 수 있다.

표 5. 동결융해 후 콘크리트 압축강도 시험결과

종류	시험결과		압축 강도비 (%)	비 고
	기준 콘크리트	방수재 혼입(3.75%)		
일반양생 (재령 28일)	238	256	117	방수재 혼입량은 시멘트 중량의 3.75%로 한다.
	215	285		
	236	269		
평균	229 (100%)	270 (100%)		
	동결융해 (300 cycle)	211	261	124
207		255		
215		272		
평균	211 (92%)	262 (97%)		

4) 투수성 평가

본 시험결과(3회 평균값) 시험조건인 일정수압(0.5kgf/cm²)의 수압에서 24시간 측정)에서의 투수비는 시험의 종류에 따라, 표6과 같이 나타나고 있다.

표 6. 투수성 시험결과

시험항목	투수성 시험 결과				비 고
	투수전 무게(g)	투수후 무게(g)	투수량	투수비	
사용재료					
기준 모르터	1600.61	1617.12	16.51	1	
구체방수재 혼입	1598.25	1605.68	7.43	0.45	

본 시험결과 투수량은 일반시공 시험체의 경우 16.51g, 수밀화 구체방수 공법으로 시공된 시험체의 경우 7.43g으로 투수비 0.45의 우수한 투수 저항성(방수성)을 보이고 있다.

5) 흡수성 평가

시험체의 흡수비 시험결과는 표 7, 그림 4와 같다. 구체방수재 혼입 모르터 시험체의 흡수비는 일반시공 시험체 1을 기준으로 약 0.45을 나타내고 있다. 수밀화 구체방수 공법으로 시공한 시험체의 흡수성은 비교 일반시공 시험체의 흡수성보다 약 2배 이상 내흡수성이 우수한 것으로 나타나고 있다.

이는 수밀화 구체 방수공법으로 시공한 시험체의 내부 및 표면의 미세공극(100μm)을 채워 흡수력에 영향을 주는 공극을 치밀화 시켰기 때문인 것으로 판단된다.

표 7. 재령별 흡수성 시험결과

재령	시편 종류	흡수비 시험결과(g)		비고
		기준 모르터	구체방수재 혼입	
7일	흡수량	15.08	6.49	
	흡수비	1	0.43	
14일	흡수량	11.09	5.62	
	흡수비	1	0.51	
28일	흡수량	8.42	4.06	
	흡수비	1	0.48	

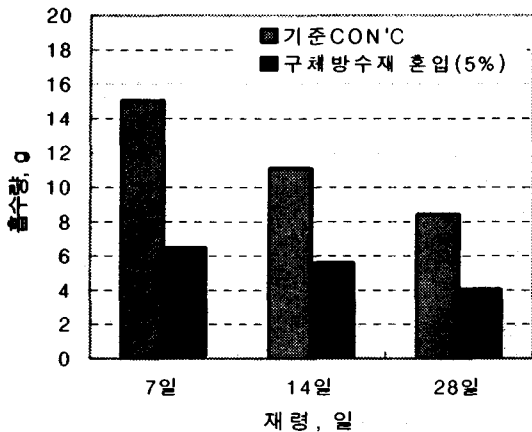


그림 4. 재령별 흡수성 시험결과

흡수성이 작으면 방수층의 화학적 침식의 가속화를 막을 수 있다. 따라서 본 시험체는 일반시공 시험체 보다 아주 적은 흡수량 수치를 나타내고 있기 때문에 이는 장기내구성 유지에 큰 영향을 주는 요인이 될 수 있을 것으로 본다.

6) 길이변화

구체방수재 혼입 모르터 시험체와 일반시공 시험체의 길이 변화량을 측정한 결과는 표8, 그림5와 같이, 구체방수재 혼입 모르터 시험체는 일반시공 모르터 시험체 보다 약 0.85%로 적은 길이변화를 보이고 있다. 구체방수재 혼입 모르터 시험체가 일반시공 시험체보다 적은 길이변화율(일반시공 시험체 대비 약 0.85%정도)을 보이고 있는데, 이는 구체방수재의 조성물 중 알루미나 성분에 의하여 수축과 수화열 감소로 균열을 억제할 수 있어 2차적인 결합요인(누수, 콘크리트 또는 철근 부식 등)을 감소시킬 수 있는 것으로 판단된다.

표 8. 길이변화 시험결과

재령	길이변화 시험결과(mm)		길이 변화비	비고
	기준 모르터	구체방수재 (3.75%)		
3일	0.065	0.055	0.85	
7일	0.110	0.091	0.83	
14일	0.135	0.115	0.85	
21일	0.160	0.140	0.88	
28일	0.179	0.151	0.84	
총길이변화	0.179	0.151	0.85	

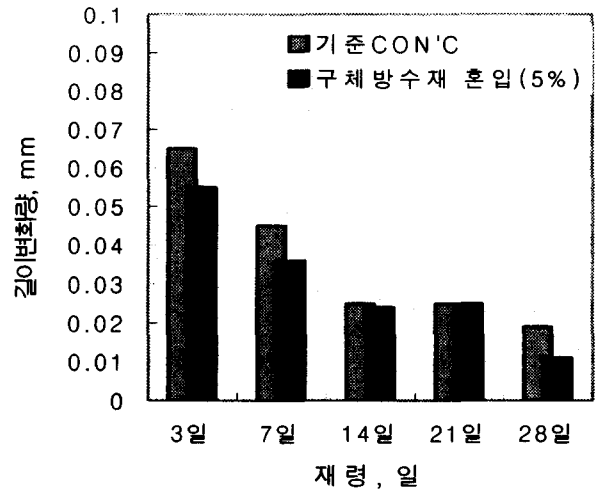


그림 5. 길이변화 시험결과

7) 조직관찰

구체방수재 혼입 모르터 시험체와 일반시공 모르터 시험체의 조직관찰 결과는 사진 1과 같이 구체방수재 혼입 모르터 시험체에서 침상 및 섬유상의 결정체가 관찰되고 있다. 이는 구체방수재 구성성분 중 규산질 성분(SiO₂)이 콘크리트 조직의 수산화 칼슘(Ca(OH)₂)과 반응하여 규산칼슘 수화물 및 에트리נג이트 수화물을 생성시키고 있음을 나타내는 결과로 판단된다. 따라서 이러한 현상에 의해 조직이 치밀해지고, 수밀성이 향상되는 효과를 얻을 수 있다.

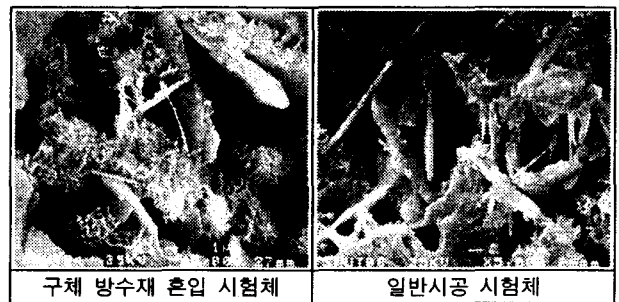


사진 1. SEM관찰 결과

8) 시공성

콘크리트 구체 방수공법에 의해 시공된 공시체의 슬럼프, 공기량, 압축강도와의 관계는 <표9, 그림6>과 같다.

표 9. 현장 적용성 평가

시험결과 종류	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	압축강도 (kgf/cm ²)	비고
기준 CON'C	8	3.5	260	*시험결과는 재령28일 기준임.
방수재 (3.75%)	12.5	3.0	264	
콘크리트 배합설계 기준	25 - 210 - 8			

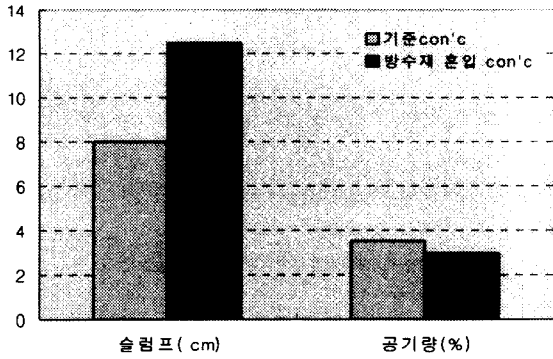


그림 6. 현장 적용성 평가

① 슬럼프 테스트 결과

배합 25-210-8로 설계된 콘크리트의 슬럼프치는 콘크리트 구체 방수공법으로 시공된 시료가 약 12.5cm로 나타났고, 일반시공 기준시료 콘크리트는 8cm로 나타나 콘크리트 구체 방수공법으로 시공된 시료가 약 4cm정도 높은 수치를 보이고 있다. 이것은 유동성의 증진으로 수밀 콘크리트 제조 및 작업성(workability)향상에 기여할 것으로 판단된다.

② 공기량 측정결과

공기량 측정에서는 일반 콘크리트 시공 기준시료가 3.5%의 공기량을 나타내고 있고, 콘크리트 구체 방수공법으로 시공된 시료는 3.0%로 나타내고 있다. 이는 기초합된 콘크리트에 적정량(3.75%)의 분말형 신기술 방수제를 혼입하여도 콘크리트의 모세관 공극에 아무런 영향으로 주지않는 것으로 생각할 수 있으며, 콘크리트 구체의 방수성과 강도 증진에 기여할 것으로 생각된다.

③ 압축강도 측정결과

압축강도를 측정한 결과 <표9, 그림6>와 같이 콘크리트 구체 방수공법으로 시공된 시험체의 경우 배합설계 강도 210 kgf/cm²일 때 실제 측정값은 평균270kgf/cm²로 나타났다. 이는 설계 기준보다 30%강도가 증가한 것으로 나타났다.

④ 표면관찰 결과

콘크리트 구체 방수공법으로 시공된 부위는 블리딩 감소로 인해 일반 콘크리트 시공부위 표면보다 레이턴스가 적고 일반 콘크리트 시공부위에서 볼수 있는 빈배합, 곰보 등이 생기지 않고 표면 마무리 상태가 매끄럽게 처리된 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 콘크리트의 수밀성(방수성)을 확보하기 위하여 분말형 구체방수제를 혼입 시공하였을 때, 사용특성 및 방수 성능을 평가·분석한 것이다. 또한 구체방수 공법과 일반시공 콘크리트와의 방수성능을 비교 평가를 통하여 현장적용 가능

성을 검토하였다.

콘크리트 방수공법 시공에 있어서의 각종 개선된 성능 및 관련 메카니즘의 분석 결과는 다음과 같다.

1) 구체방수제 혼입 콘크리트의 압축강도

본 시험결과 구체방수제(시멘트 중량의 3.75%)를 혼합한 콘크리트의 경우 3일 강도비 97%, 7일 108%, 28일 118%의 강도발현을 나타내고 있어 기준콘크리트보다 강도 상승효과는 물론 슬럼프 증가(약6cm)로 수밀성과 작업성을 향상시키는 것으로 나타나고 있다.

2) 투수성

본 시험결과 (수압 0.5kgf/cm²에서 24시간 측정) 투수량은 일반시공 시험체의 경우 16.51g, 수밀화 구체방수 공법으로 시공된 시험체의 경우 7.43g으로 투수비 0.45의 양호한 투수 저항성(방수성)을 보이고 있다.

3) 흡수성

본 시험결과 구체방수제 혼입 모르터 시험체의 흡수비는 일반시공 시험체 1을 기준으로 약 0.45을 나타내고 있다. 수밀화 구체방수 공법으로 시공한 시험체의 흡수성은 일반시공 시험체의 흡수성보다 약 2배 이상 내흡수성이 우수한 것으로 나타나고 있다. 이는 수밀화 구체방수 공법으로 시공한 시험체의 내부 및 표면의 미세공극(100μm)을 채워 흡수력에 영향을 주는 공극을 치밀화 시켰기 때문인 것으로 판단된다.

4) 길이변화

본 시험결과 구체방수제 혼입 모르터 시험체가 일반시공 시험체보다 적은 길이변화율(일반시공 시험체 대비 약 0.85% 정도)을 보이고 있는데, 이는 구체방수제의 조성물 중 알루미늄 성분에 의하여 수축과 수화열 감소로 균열을 억제할 수 있어 2차적인 결함요인(누수, 콘크리트 또는 철근 부식 등)을 감소시킬 수 있는 것으로 판단된다.

5) 조직관찰

본 시험결과 구체방수제 혼입 모르터 시험체에서 침상 및 섬유상의 결정체가 관찰되고 있다. 이는 구체방수제 구성성분 중 규산질 성분(SiO₂)이 콘크리트 조직의 수산화 칼슘(Ca(OH)₂)과 반응하여 규산칼슘 수화물 및 에트링가이트 수화물을 생성시키고 있음을 나타내는 결과로 판단된다. 따라서 이러한 현상에 의해 조직이 치밀해지고, 수밀성이 향상되는 효과를 얻을 수 있다.

연구검토 결과 구체방수 공법으로 제조한 콘크리트 구체의 압축강도성능, 수밀성능, 내구성능이 일반 콘크리트보다 우수함을 확인하였고, 본 재료의 방수메카니즘을 분석한 결과, 적정 환경하에서는 방수재료 및 콘크리트 성능개선재료로서 사용이 적절하다고 판단되었다.

따라서, 본 구체방수와 같은 우수한 방수재료가 더욱 확산·보급되기 위해서는 각 현장에서 여러 가지 시공조건하에서

최적의 방수재료를 선택하는 합리적 시스템이 구축되어야 하며, 무엇보다도 국내의 많은 실적을 쌓음으로써 현장기술자가 염려하는 국내현장의 적용성능에 대한 불안감을 씻는 길이 최선의 길로 판단된다. 또한, 장기적으로 이러한 방수 신소재를 이용한 새로운 공법개발 및 생산량의 확보를 통하여 국내 현장에 저렴하게 보급하여 방수공사의 국제경쟁력을 확보하는 것이 국내 건설업을 발전시키는 일이라 사료된다.

참 고 문 헌

1. 한국콘크리트학회, 콘크리트 혼화재료, 기문당, 1997.
2. 오상근, 방수공사핸드북, 대한전문건설협회, 미장방수공사협회, 1997.
3. 오상근, 역상형 구체방수재와 침투방수재의 혼합사용에 의한 슬래브 일체화 방수공법의 연구, 서울산업대학교 건설재해예방연구소, 1997.
4. 재유화형분말수지를 포함한 기조합 방수조성물의 제조 및 이를 이용한 습식 박층 방수보수공법, 쌍용양회공업주식회사, 1997.
5. ケイ酸質微粉末混合 セメント系塗布防水材料の濕潤環境下のコンクリートおよびモルタルにする水密性改善効果に關する研究, 吳想根, 1992.
6. A.M. Neville, Properties of Concrete, 1996.
7. cement chemistry, 1992