

재유화형 분말수지계와 규산질계 혼합형 구체방수재의 방수효과에 관한 연구

A Study on Watertightness Effect of Waterproofing Admixture Mixed Redispersible Polymer and Siliceous Powder



김무한*

Kim, Moo-Han



오상근**

Oh, Sang-Keun



배기선***

Bae, Kee-Sun



박선규****

Park, Sun-Gyu



김용로*****

Kim, Yong-Ro

ABSTRACT

This study is to investigate the watertightness properties of waterproofing admixture mixed redispersible polymer and siliceous powder.

Series I deals with change in micro-structure of mortar by waterproofing admixture according to the water/cement ratios of 0.5, 0.6, 0.7 and 0.8. Crystal growth in micro-structure was observed through SEM to estimate on the watertightness effect of it.

Series II deals with watertightness properties of waterproofing admixture on water permeability coefficient, crack restoration capacity and carbonation depth.

The result of this study can be summarized as follows.

- 1) Fluidity of mortar and concrete was increased by adding waterproofing admixture.
- 2) From observation through SEM, Crystals grew larger and denser in micro-structure as fiberic crystallization.
- 3) Waterproofing admixture is good watertightness properties in a level of high water/cement ratios and long limit of time.
- 4) Crack restoration capacity was appeared and durability was progressed by waterproofing admixture.

Keywords : watertightness, waterproofing admixture, redispersible polymer powder, siliceous powder, water permeability coefficient, crack restoration capacity

* 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수, 공박

** 정회원, 서울산업대학교 건축설계학과 교수, 공박

*** 정회원, B&K 방수기술연구소 소장, 공박

**** 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과

• 본 논문에 대한 토의를 2000년 10월 31일까지 학회로 보내 주시면 2000년 12월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

구조물에 있어서 구조물 자체의 고수밀화에 의한 방수성능의 향상은 구조물의 내구성이나 유지 관리 및 보수 등에서의 비용절감에 의한 경제적인 효과를 기대할 수 있다⁽¹⁾. 방수 시공의 방법에는 여러 가지가 있지만, 현재까지 국내에서는 구조물 외부에 방수재료를 추가 시공하는 마감재료에 의한 방법이 주로 적용되고 있는 실정이다. 그러나, 구조물 자체의 품질 개선을 통해 수밀성을 증진시키고 내구성을 향상시키는 방안에 대한 연구는 미비한 실정이다^(2,3).

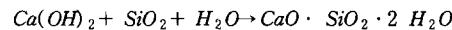
구체방수공법은 구조물 자체의 수밀화를 통하여 방수성능을 발현하는 공법이며 구체방수재를 구조물 자체에 첨가하는 방법이므로 별도의 방수 시공이 불필요하여 공기 및 공정의 단축이 가능하다. 또한 방수 시공이 곤란한 부위, 즉 음용수조, 지하저수조, 하수관로 등에서의 시공이 가능하며, 수밀성의 증진에 의한 내구성의 향상을 기대할 수 있다^(4,5).

본 연구에서는 재유화형 분말수지계와 규산질계의 분말성분을 혼합한 구체방수재를 사용하여, 시리즈 I에서는 물-시멘트비에 따른 방수성능의 개선효과에 대한 검토와 이에 따른 콘크리트 내부 조직의 변화에 대하여 분석하였다. 또한, 시리즈 II에서는 콘크리트에 있어서의 구체방수재의 첨가율에 따른 방수특성의 검토와 구체방수재료의 특성으로서 균열에 대한 회복성능에 대하여 검토함으로서 구체방수재료에 대한 메카니즘의 규명과 방수재료의 개발에 있어서 기초적인 자료를 제시하고자 하였다.

2. 재유화형 분말수지계와 규산질계 혼합형 구체방수재의 방수성능 발현 메카니즘

콘크리트 첨가용 재유화형 분말수지계와 규산질계 혼합형 구체방수재의 방수성능 발현 메카니즘은 시멘트의 수화시 발생하는 수산화칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$)과 구체방수재 중의 규산질 성분(SiO_2)이 화학적으로 반응하여 불용성의 물질, 즉 규산칼슘수화물의 무기질계 결정체를 생성함

으로 공극의 수밀화 및 강도상승효과를 부여하여 방수성을 향상시키며 재유화형 분말수지계 성분은 공극내의 물 또는 침입수와 반응하여 유기질계 결정을 생성함으로써 균열치료 효과를 부여하게 된다. 이렇게 생성된 젤(Gel)상의 물질이 콘크리트 내부의 공극을 충전함으로써 방수성능이 발현되고 성장형 결정체에 의한 균열폐쇄효과가 기대된다. 이러한 반응식을 간단히 나타내면 다음과 같다.



3. 실험계획 및 방법

3.1 실험계획 및 배합

본 연구에서는 Table 1에 나타낸 것과 같이 시리즈 I에서는 물-시멘트비에 따른 모르타르의 방수성능에 대한 검토와 조직 구조의 변화를 분석하기 위하여 물-시멘트비를 0.5, 0.6, 0.7 및 0.8의 4가지 수준으로 설정하였으며, 시리즈 II에서는 구체방수재의 첨가율에 따른 콘크리트에서의 방수성능을 검토하기 위하여 시리즈 I에서 구체방수재의 첨가 효과가 우수하게 나타난 물-시멘트비 0.6으로 고정하여 그에 따른 분말형 구체방수재의 첨가율을 0%, 1.5%, 3.0% 및 4.5%의 4가지 수준으로 설정하였다.

Table 2에 본 연구에 사용된 재료의 물리적 특성을 나타내었으며, 시멘트는 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 금강산 강모래, 굵은 골재는 최대치수 25mm의 대전산 부순자갈을 사용하였다. 또한, 본 연구에 사용된 재유화형 분말수지계와 규산질계 혼합형 구체방수재는 캐나다 K사의 제품을 사용하였다.

3.2 실험방법

시험체의 양생조건은 20°C 수중양생을 실시하였으며, Table 3에 나타낸 것과 같은 방법으로서 실험을 실시하였다. 특히, 시리즈 I에서는 모르타르에 있어서 구체방수재 첨가에 따른 조직의 변화를 관찰하기 위하여 재령 7, 21, 28일에서

Table 1 Experimental program and Mix proportion

Series	W/C	Dosage of W.A. (%)	Water Content (kg/m ³)	s/a (%)	Unit Volume (ℓ/m ³)			Unit Weight (kg/m ³)			Testing Items
					C	S	G	C	S	G	
I (Mortar)	0.5	0.0	270	-	170	560	-	540	1424	-	- Flow test - Comp. strength※ - Absorbed ratios(※) - SEM※
		2.0				556	-		1414	-	
	0.6	0.0			142	588	-	450	1497	-	
		2.0				588	-		1488	-	
	0.7	0.0			122	608	-	386	1549	-	
		2.0				608	-		1542	-	
	0.8	0.0			106	624	-	338	1588	-	
		2.0				624	-		1582	-	
※ 7, 28(21), 56 days											
II (Concrete)	0.6	0.0	185	48	98	339	368	306	882	956	<ul style="list-style-type: none"> • Fresh concrete - Slump test • Hardened concrete - Comp. strength - Water permeability coefficient - Crack restoration test - Carbonation depth <p>※ 7, 28, 56, 90 days</p>
		1.5									
		3.0									
		4.5									

※ W.A. : Waterproofing Admixture

Table 2 Physical properties of Materials

Cement	Type	Specific gravity	Blaine (cm ² /g)	Setting time (h:m)		ig. loss (%)	Soundness	Compressive Strength(kgf/cm ²)				
				init.	fina.			3days	7days	28days		
	O.P.C	3.15	3,200	4:50	7:05	-	Good	183	250	350		
Agg.	Types	Size (mm)	F.M.	Specific gravity		Water Abs. (%)	Unit Weight (kg/ℓ)	Void Volume (%)		Note		
	Fine agg.	2.5	2.60	2.54		1.66	1.63	35.83		River Sand		
	Coarse agg.	25	6.91	2.62		1.94	1.49	43.80		Crushed Stone		
W.A.	Cementious systems (%)		Siliceous systems (%)			Redispersible polymer powder systems (%)			the others (%)			
	65		20			10			5			

Table 3 Experimental Methods and Items

Series	Test	Standard	Size of specimens
I	Flow test	KSL 5105	-
	Comp. Strength	KSF 2451	5×5×5cm
	Absorption test	KSF 2451	4×4×16cm
II	Slump test	KSF 2402	-
	Comp. Strength	KSF 2405	φ10×20cm
	Water Permea. Coeffic.	KSF 2451	φ10×7.5cm
	Mortar	-	φ10×1.0cm
	Crack restoration	-	-
	Carbonation depth	-	10×10×40cm

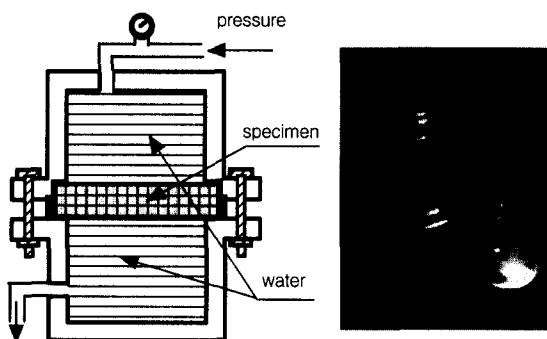


Fig. 1 Apparatus for measuring water permeability coefficient test in mortar

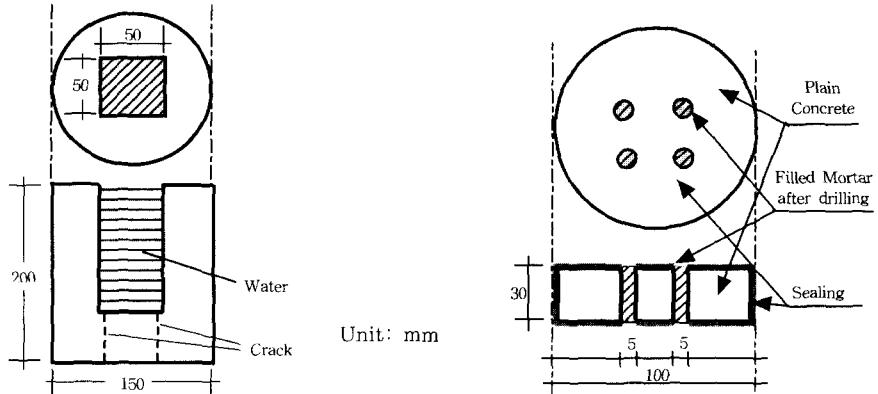


Fig. 2 Specimens for estimating crack restoration capacity

SEM 촬영을 실시하였다. 또한, 시리즈Ⅱ에서는 구체방수재의 첨가효과에 대한 검토로 방수성능에 대한 평가는 콘크리트의 투수시험과 콘크리트 비빔 후 굵은 골재를 분리한 모르타르에 의해 Fig. 1에 나타낸 것과 같은 시험 장치로 $3\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 압력을 1시간 동안 가하여 투수시험을 실시하였으며, 균열에 대한 자기치유성능을 검토하기 위하여 Fig. 2에 나타낸 시험체를 사용하여 균열회복성능에 대한 평가를 실시하였다. 또한, 내구성능 평가지표의 하나로서 28일 수중양생 후 측진중성화(측진중성화조건: 온도 20°C , 습도 50%, CO_2 농도 5%)를 시킨 후 중성화 깊이를 측정하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 모르타르 실험 결과 (Series I)

4.1.1 유동특성

Fig. 3은 구체방수재의 첨가에 따른 모르타르의 유동특성을 나타낸 것으로서 모든 물-시멘트비에서 구체방수재를 첨가한 경우의 플로우 값이 첨가하지 않은 경우보다 약 10% 이상 증진되는 것을 알 수 있었다. 이는 규산질계 분말형 구체방수재의 불베어링 작용에 의한 것으로 판단되며, 육안관찰결과 구체방수재를 첨가한 경우 유동성과 함께 점성도 증가하였다.

4.1.2 압축강도

Fig. 4는 모르타르 압축강도의 변화를 나타낸

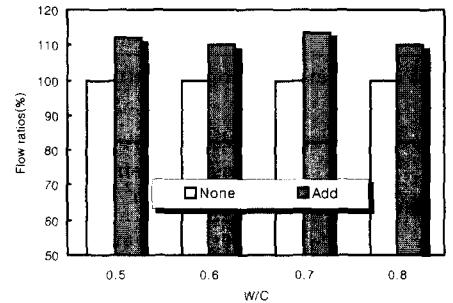


Fig. 3 Change of Flow by adding waterproofing admixture in mortar (Series I)

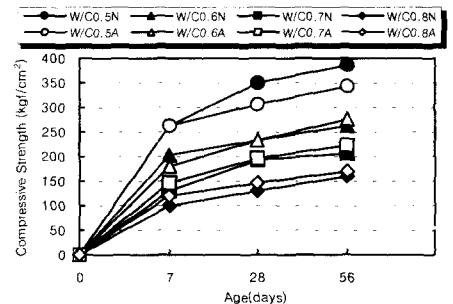


Fig. 4 Change of compressive strength according to the age in Mortar (Series I)

것으로서 압축강도는 구체방수재를 첨가한 시험체와 첨가하지 않은 시험체의 차이가 크게 나타나지 않아 구체방수재의 첨가에 따른 강도 면에서의 큰 차이는 없는 것으로 판단된다. 또한, 물-시멘트비 0.5를 제외한 0.6, 0.7, 0.8에 있어서는 강도가 다소 증진되는 경향을 나타냈다.

4.1.3 흡수비의 변화 검토 및 분석

Fig. 5는 재령에 따른 흡수비의 변화를 나타낸 것으로서 흡수비는 다음 식에 의하여 산정하였다.

$$\text{흡수비} = \frac{\text{방수재를 첨가한 시험체의 흡수량}}{\text{방수재를 첨가하지 않은 시험체의 흡수량}}$$

모든 물-시멘트비에 있어서 구체방수재의 첨가에 따라 모르타르의 흡수비가 저하하고 있으며, 초기 재령에서의 흡수비는 물-시멘트비가 증가함에 따라 저하하는 경향을 나타내고 있다. 또한, 재령의 증가와 함께 흡수비의 저하가 명확히 나타나고 있다. 특히, 재령 56일에 있어서는 물-시멘트비 0.6에서 흡수비가 상대적으로 낮게 나타나고 있다.

이는 초기 재령에 있어서는 내부 조직이 밀실하지 않은 높은 물-시멘트비에서 구체방수재의 첨가에 따른 효과가 잘 발현되지만, 재령이 증가할수록 물-시멘트비 0.7, 0.8에서는 상대적으로

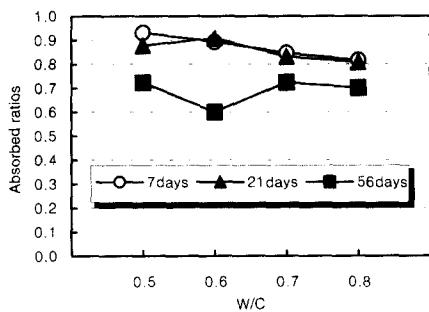


Fig. 5 Change of absorbed ratios according to the age in mortar (Series I)

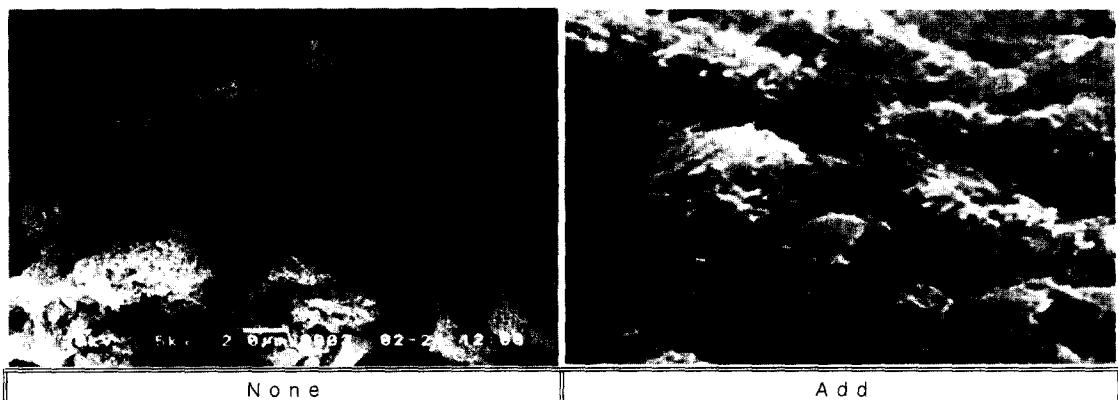


Fig. 6 Change of the micro-structure according to the adding waterproofing admixture

시멘트량이 적어 구체방수재의 규산질 성분과 반응할 수 있는 Ca(OH)_2 의 생성량이 부족하기 때문인 것으로 사료된다.

4.1.4 내부조직의 변화

Fig. 6은 구체방수재의 첨가에 따른 내부조직의 변화를 검토하기 위하여 SEM촬영을 실시한 결과를 나타낸 것으로서 구체방수재를 첨가한 시험체와 첨가하지 않은 시험체의 내부 조직이 차이를 보이는 것을 알 수 있다.

즉, 구체방수재를 첨가한 경우에는 침상형과 괴상형 물질이 생성되는 것을 알 수 있으며, 재령의 증가와 함께 생성물의 크기가 성장하는 것으로 관찰되었다. 이러한 결정의 생성과 성장이 내부조직의 공극을 충진하여 조직을 치밀화시키는 것이라고 판단되며, 보다 정확한 결과를 도출하기 위해서는 결정의 형태 및 생성량의 정량적인 분석에 의한 접근이 필요할 것으로 사료된다.

4.2 콘크리트 실험 결과 (Series II)

4.2.1 유동특성의 검토 및 분석

Fig. 7은 구체방수재의 첨가에 따른 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프의 변화를 나타낸 것으로서 첨가율 1.5%, 3.0%에서는 유동성의 증진 효과가 나타났다. 그러나, 첨가율 4.5%에 있어서는 유동성이 다시 저하하는 것으로 나타나 구체방수재의 첨가에 의한 유동성의 증진 효과에 대한 적정 첨가율이 있는 것으로 사료된다.

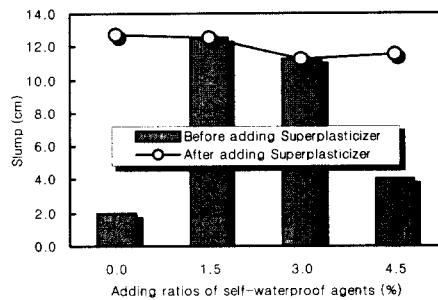


Fig. 7 Change of slump-flow by waterproofing admixture in fresh concrete (Series II)

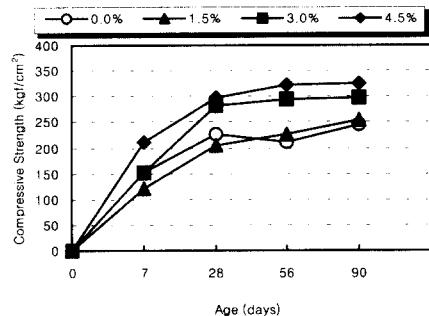


Fig. 8 Change of compressive strength according to the age in concrete (Series II)

4.2.2 압축강도의 검토

구체방수재의 첨가에 따른 콘크리트 압축강도의 변화를 나타낸 Fig. 8에서 알 수 있는 바와 같이 구체방수재 첨가율 4.5%를 제외하고 초기 재령에 있어서는 압축강도가 유사한 수준을 발현하고 있으나, 재령이 증가함에 따라 구체방수재의 첨가율이 증가할수록 압축강도의 증진현상이 나타나고 있다. 특히, 첨가율 3.0%의 경우 재령 7일에 있어서는 첨가율 0%와 비슷한 강도를 발현하고 있으나 재령 28일 이후에는 압축강도 80kgf/cm² 정도의 차이를 나타내고 있다.

이는 구체방수재의 규산질 성분과 시멘트의 수화시에 발생하는 수산화칼슘과의 2차 반응이 장기재령에서 발현되기 때문인 것으로 사료된다.

4.2.3 투수계수의 검토

Fig. 9는 콘크리트 비빔 후 굵은 골재를 분리한 모르타르의 투수계수의 변화를 나타낸 것으로

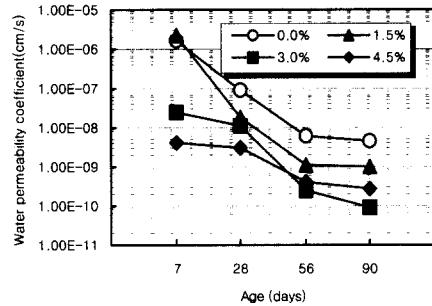


Fig. 9 Change of the Water permeability coefficient according to the adding ratios of waterproofing admixture in mortar

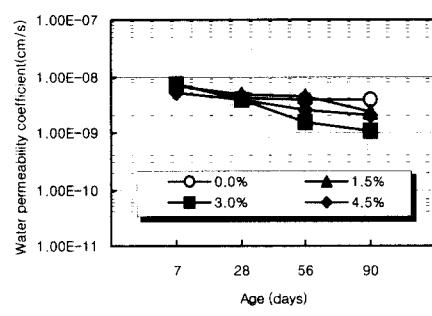


Fig. 10 Change of the water permeability coefficient according to the adding ratios of waterproofing admixture in concrete

재령이 증가할수록 구체방수재의 첨가율이 증가함에 따라 투수계수가 저하하는 것으로 나타났다. 특히, 재령 56일 이후에는 첨가율 3.0%의 경우 가장 낮은 투수계수를 나타내고 있다.

Fig. 10은 콘크리트에 있어서의 투수계수를 나타낸 것으로 초기 재령에서는 구체방수재의 첨가에 따른 투수계수의 차이가 나타나지 않지만 재령 56일 이후에는 구체방수재를 첨가한 경우 투수계수가 저하되고 있다. 또한, 모르타르에 의한 투수계수의 결과와 같이 첨가율 3.0%의 경우 재령 56일 이후 가장 낮은 투수계수를 나타내고 있다.

이는 초기의 재령에서는 동일 수준의 유동성에 의해 유사한 투수계수를 나타내지만, 재령의 증가와 함께 구체방수재의 반응에 의한 방수 성능이 발현되기 때문인 것으로 사료된다.

4.2.4 균열치유성능

Fig. 2에 나타낸 인위적으로 균열을 발생시

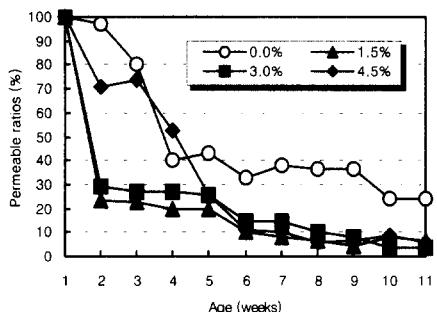


Fig. 11 The result of crack restoration capacity by making artificial crack

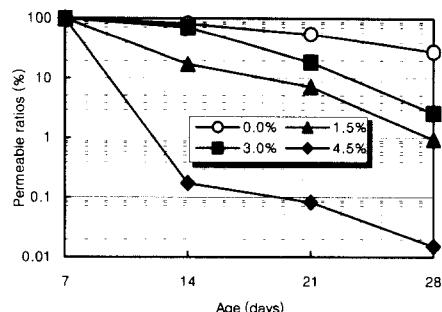


Fig. 12 The result of Crack restoration capacity by filling mortar

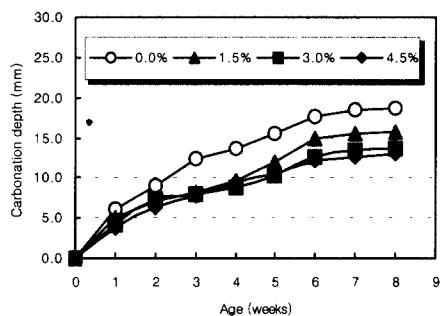


Fig. 13 Change of carbonation depth by adding waterproofing admixture (Series II)

킨 시험체에 의해 평가한 균열치유성능의 결과를 Fig. 11에 나타냈다. 첨가율별로 차이는 있지만 구체방수재의 첨가에 의해 균열치유성능이 나타나는 것을 알 수 있다. 또한, 구체방수재를 첨가한 시험체의 경우 재령 2주에서부터 투파비가 저하하는 것으로 나타났으며, 재령 4주 이후에는 첨가율 0.0%의 시험체보다 약 15~30% 정도 투파비의 차이가 나타났다.

Fig. 12는 Fig. 2에 나타낸 모르타르 충전 시험체에 의해서 균열치유성능을 평가한 결과를 나타낸 것으로서 구체방수재의 첨가에 따른 균열회복성능이 발현되는 것을 알 수 있다. 또한, 구체방수재의 첨가율이 증가함에 따라 투파비가 저하하는 것으로 나타났다. 특히, 첨가율 4.5%의 경우 첨가율 0.0%와 비교해서 80% 이상의 투파비 차이를 나타내는 것을 알 수 있다.

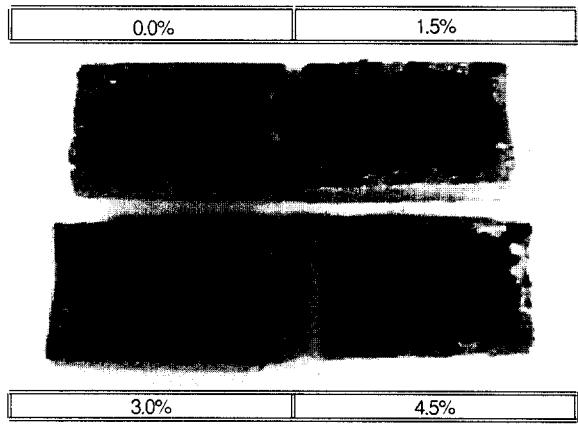


Fig. 14 Surface of specimens tested carbonation depth by phenolphthalein solution

4.2.5 중성화 깊이의 변화 검토

Fig. 13은 구체방수재의 첨가에 따른 내구성의 지표로서 재령에 따른 중성화 깊이의 변화를 나타낸 것으로서 중성화 깊이는 구체방수재의 첨가에 따라 작게되는 것을 알 수 있다. 또한, 첨가율 3.0%, 4.5%의 경우 첨가율 0.0%에 비교하여 장기 재령에서는 10mm정도 중성화 깊이 차이를 나타내고 있어 구체방수재의 첨가에 따른 내구성 개선 효과가 있는 것으로 사료된다.

5. 결 론

구체방수재의 방수효과에 관한 연구의 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 굳지 않은 성상에 있어서 구체방수재의 첨가에 따라 유동성의 증대효과가 나타났다.

- 2) 경화 성상에 있어서 구체방수재의 첨가로 압축강도는 다소 증진되는 것으로 나타났다.
- 3) 구체방수재의 방수성능 발현 메카니즘의 분석을 위한 SEM 촬영 결과 침상형 및 괴상형 결정의 생성 및 성장으로 조직의 치밀화가 이루어지는 것으로 사료된다.
- 4) 구체방수재의 첨가에 따른 방수성능은 장기재령에 있어서 그 효과가 명확하게 나타나며, 시리즈Ⅰ에서 물-시멘트비는 0.6의 경우 방수성능이 가장 좋은 것으로 나타났다. 또한, 시리즈Ⅱ에서 첨가율에 따른 결과는 첨가율 3.0%에서 방수성능이 우수한 것으로 나타났다.
- 5) 구체방수재의 첨가율에 따른 차이는 분명하게 나타나지 않지만 균열치유성능이 있는 것으로 나타났다.
- 6) 구체방수재의 첨가에 따라 중성화 깊이가 작게 나타나고 있어 내구성의 개선 효과가 있는 것으로 사료된다.

구체방수재의 실제 구조물에의 적용을 위해서는 본 연구에서 다루어진 물성 이외에도 동결융해저항성, 내화학성 등의 내구성, 체적안정성, 철근부착특성, 철근부식안정성 등의 재물성의 검토와 함께 시공법의 개발도 필요하다고 생각되며, 이를 위해서는 향후에도 지속적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 建築防水の耐久性向上技術, (財)國土開発技術研究センター建築物耐久性向上技術普及委員會 編
2. 김무한, 오상근, 배기선 외, “물시멘트비에 따른 분말형 구체방수재의 방수효과에 대한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 제11권 1호, 1999. 5, pp.108~113.
3. 김무한, 오상근, 배기선 외, “분말형 구체방수재의 첨가율에 따른 콘크리트의 방수성능에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, 제19권 제2호, 1999. 10, pp. 518~523.
4. 小池迪夫 外, “ケイ酸質塗布防水材料によるコンクリートの内部組織の変化”, 日本建築學會構造系論文報告集, No.419, 1990.10, pp. 47~56.
5. 小池迪夫 外, “ケイ酸質塗布防水材料が下地モルタルの透水性に及ぼす影響”, 日本建築學會構造系論文報告集, No.422, 1991.4, pp. 27~36.
6. ケイ酸質粉末混合セメント系塗布防水材料の湿润環境下のコンクリートおよびモルタルに対する水密性改善に関する研究, 東京工業大學 大學院 博士論文, 1992. 4.
7. 日本コンクリート工學協會, “コンクリートの微細構造と諸性質”, コンクリート工學, Vol.19, No.11, 1982, pp.7~26.
8. 鈴木一孝 外, コンクリートの組織構造の診断, コンクリート構造物の耐久性診断シリーズ 4, 1993.
9. 日本建築學會, 水密コンクリート, 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鐵筋コンクリート工事.

요약

본 연구에서는 시리즈Ⅰ에서는 모르타르에 있어서 물-시멘트비에 따른 방수성능 및 조직구조의 분석을 통해 재유화형 분말수지계와 규산질계 혼합형 구체방수재의 방수성능발현의 메카니즘을 검토하였다. 또한, 시리즈Ⅱ에서는 구체방수재의 콘크리트에서의 적용성을 검토하기 위해 첨가율에 따른 방수성능, 균열회복성능 및 내구성의 하나의 지표로서 중성화 깊이를 검토·분석하여 구체방수재의 현장 적용에 있어서의 기초적인 자료를 제시하고자 하였다.

재유화형 분말수지계와 규산질계 혼합형 구체방수재의 방수효과에 대한 실험결과 구체방수재의 첨가에 의해 유동성은 다소 증진되었으며, SEM관찰의 결과 콘크리트 조직내부에 침상형 및 괴상형 물질이 생성되고 재령이 증가할수록 성장하는 것으로 나타났다. 또한, 구체방수재 첨가에 의한 방수성능은 높은 물시멘트비와 장기재령에서 잘 발현되는 것으로 나타났고, 구체방수재의 균열치유성능이 확인되었으며, 구체방수재 첨가에 따른 중성화 깊이의 검토 결과 내구성 증진효과가 있는 것으로 나타났다.

(접수일자 : 2000. 1. 10)