

혼화제 종류에 따른 폴리머 시멘트 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Properties of Polymer
Cement Concrete with a Kind of Admixtures

장 철 인* 유 덕 룡** 염 환 석***
Chang, Cheol-In Yoo, Deok-Ryong Yum, Hwan-Seok

Abstract

This study aims to attain the basic data needed for the adaptation and application of polymer cement concrete as a new construction material by reviewing the various physical characteristics of polymer cement concrete following the changes in polymer type.

The research found that cement concrete mixed with polymer, while it had some variation, had excellent qualities in all of compressive strength, tensile strength, water absorption, weight reducing ratio, and resistance of freezing and thawing.

요 지

본 연구는 폴리머 종류변화에 따른 폴리머 시멘트 콘크리트에 대한 각종 물리적 특성을 통하여 신 건설재료로서의 응용 및 실용화를 위한 기초자료가 되도록 하는데 본 연구의 목적이 있다.

본 실험의 결과를 종합하여 볼 때 폴리머를 이용한 시멘트 콘크리트는 폴리머 종류에 따라 콘크리트의 특성이 다소 차이는 있으나 압축강도, 인장강도, 흡수율, 중량감소율 및 동결융해에 대한 저항성이 우수한 것으로 나타났다.

Keywords : Polymer cement concrete, SBR, EVA, PAE

핵심 용어 : 폴리머시멘트 콘크리트, SBR, EVA, PAE

* 정희원, 서강정보대학 건축과 조교수

** 학생회원, 전남대학교 건축공학과 박사과정

** 정희원, 광주대학교 건축공학과 교수

E-mail : changcin@hanmail.net 016-621-5161

•본 논문에 대한 토의를 2003년 12월 31일까지 학회로 보내 주시면 2004년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

시멘트를 원료로 하는 모르타나 콘크리트는 건설산업용 재료로 가장 광범위하게 이용되고 있는 건설재료이며, 시멘트를 이용한 복합재료들에 대한 연구와 개발로 재질이 개선되고 내구성이 향상되는 등 괄목할 만한 발전이 이루어지고 있다.

그러나 이들 시멘트 모르타 및 콘크리트는 시멘트 수화물이라는 결합체로 구성된 취성재료로 경화의 지연, 낮은 인장강도, 큰 건조수축, 약한 내약품성, 중성화 및 염화물 이온의 침투에 의한 철근의 부식 등에 의한 조기성능 저하 등과 같은 결점을 가지고 있다.

이와 같은 콘크리트 및 모르타의 문제점을 개선하기 위한 방법의 하나로 석유화학공업의 부산물인 폴리머를 이용하여 콘크리트 및 모르타의 성능을 개선하기 위한 연구가 선진외국에서 활발히 진행되고 있다. 이러한 신 건설재료중의 하나가 폴리머 콘크리트 복합체이다.

이 폴리머 콘크리트 복합체는 콘크리트의 인장·휨 및 부차강도 등 재료의 역학적 특성 증대와 더불어 건조수축, 취성, 내마모성, 내약품성, 수밀성 등에 우수한 개질성능이 있다. 이에 관한 연구는 미국, 일본, 영

국, 독일 등 선진 각 국에서 오래 전부터 연구 및 개발이 지속적으로 수행되어 왔으나 우리나라에서는 역사도 짧은 뿐만 아니라 연구결과와 건설분야에서 사용하는 데 아직도 규명 또는 보완해야 할 점들이 많고 이에 대한 더 많은 연구가 절실히 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 폴리머 혼화제 종류변화에 따른 폴리머 시멘트 콘크리트에 대한 각종 물리적 특성을 분석하여 신건설재료로서의 응용 및 실용화를 위한 기초 자료가 되도록 하는데 본 연구의 목적이 있다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

폴리머 시멘트 콘크리트는 물·시멘트비, 골재·시멘트비 및 폴리머·시멘트비에 의해서 성질이 변화하기 때문에 사용 목적에 적합한 배합설계가 필요하다. 대부분의 경우 그것의 성질은 물·시멘트비보다 오히려 폴리머·시멘트비에 의해서 지배된다.

폴리머 시멘트 콘크리트의 특성을 분석하기 위한 실험계획은 Table 1과 같고, 콘크리트의 배합사항은 Table 2와 같다.

Table 1 실험계획

구 분		배합 강도 (MPa)	W/C (%)	목표 슬럼프 (cm)	목표 공기량 (%)	폴리머 시멘트비 P/C(%)	실험사항	
							굳지 않은 콘크리트	굳은 콘크리트
보통 콘크리트	PLAIN	40	51.9	8±1	3.5±1	0	· 슬럼프 · 공기량	· 압축강도(7, 14, 28일)
폴리머 시멘트 콘크리트	SBR	-		-	-	5		· 인장강도(28일)
	PAE			-	-	-		· 흡수율(0, 1, 5, 24시간)
	EVA			-	-	-		· 중량감소율 (3, 4, 5, 6, 7, 14, 28일)
								· 동결융해저항성(28일)

Table 2 배합사항

구 분		W/C (%)	S/a (%)	P/C (%)	고형분 (%)	용적배합 (ℓ/m³)					질량배합 (kg/m³)				
						C	S	G	W	P	C	S	G	W	P
보통 콘크리트	PLAIN	51.9	62.5	0	-	131	388	232	214	-	412	1000	606	214	-
폴리머 시멘트 콘크리트	SBR			45	131	389	233	162	50.27	412	1003	608	162	51.78	
	PAE			45	131	393	235	162	43.60	412	1013	613	162	51.78	
	EVA			40	131	388	233	163	49.52	412	1001	608	163	51.50	

2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로써 시멘트는 국내 H사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트이며, KS L 5201의 규격품으로서 그 성분과 물리적 성질은 Table 3과 같다.

잔골재는 전남 화순군 능주면 강모래를 사용하였고, 굵은골재(Gmax 13mm)는 전남 화순군 한천면의 부순골재를 사용하였는데 물리적 성질은 Table 4와 같고, 입도곡선은 Fig. 1과 같다.

시멘트 혼화용 폴리머는 스티렌-부타디엔고무(SBR: Styrene Butadien Rubber)라텍스, 에틸렌비닐아세테이트(EVA : Ethylene Vinyl Acetate)에멀전 및 폴리아크릴에스터(PAE : Poly Acrylic Ester)에멀전의 3종류를 사용하였으며, 실험에 사용한 폴리머의 물리적 성질은 Table 5와 같다.

Table 3 시멘트의 물리적 성질

비중	분말도 (cm ³ /g)	안정도 (%)	응결시간		압축강도 (MPa)		
			초결 (분)	종결 (분)	3일	7일	28일
			3.15	3.495	0.07	250	350

Table 4 골재의 물리적 성질

항 목	조립율	표건밀도 (g/cm ³)	흡수율 (%)	단위질량 (kg/ℓ)	안정성 (%)
잔골재	2.35	2.58	1.6	1.514	4.3
굵은골재	6.0	2.61	1.3	1.567	3.1

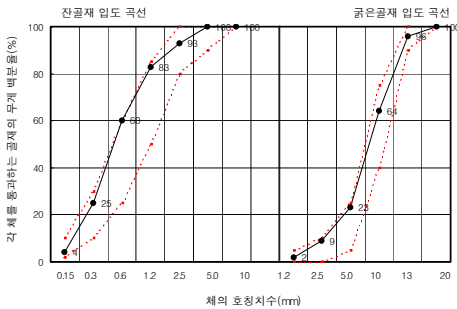


Fig. 1 골재의 입도곡선

Table 5 폴리머의 물리적 성질

종 류	고형분(%)	pH	점도(cP,20℃)	비중
SBR	45.0	7.95	85	1.03
PAE	45.0	9.27	35	1.05
EVA	40.0	5.51	1,325	1.04

2.3 실험방법

콘크리트의 혼합은 Fig. 2의 재료투입순서에 따라 실시한다. 즉 믹서는 강제식 팬믹서를 사용하여 잔골재, 부순굵은골재, 시멘트 순으로 투입하여 30초간 저속으로 건 비빔한 후, 물과 폴리머를 투입하여 고속으로 90초간 혼합하여 배출함으로써 혼합을 완료하였다.

굳지 않은 상태에서의 콘크리트 실험으로, 슬럼프 시험은 KS F 2402 규정에 의거 실시하였고, 공기량 시험은 KS F 2421 규정에 따라 측정하였다.

굳은 상태의 콘크리트 실험으로, 압축강도 시험은 재령 7일, 14일, 28일 양생한 후 KS F 2405 규정에 따라 실시하였으며, 인장강도 시험은 재령 28일이 경과한 후에 KS F 2423에 의거 실시하였다.

흡수율 시험은 재령 28일이 경과한 후에 KS F 2518 석재의 흡수율 및 비중 시험방법에 의해 실시하였으며 시험체의 절건상태를 유지하기 위해 105±2℃의 건조기에서 일정한 무게가 될 때까지 건조시킨 후 절건중량을 측정 후 물 속에 다시 침수시켜 시간별 (1시간, 5시간, 24시간) 흡수량의 변화를 관찰하고 그 중량을 측정하였다.

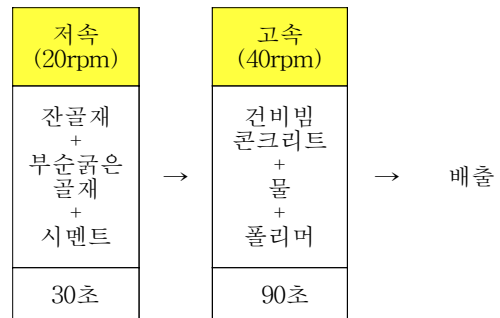


Fig. 2 콘크리트의 혼합방법

건조수축에 의한 중량감소를 시험은 공시체 탈형(재령2일) 직후부터 7일까지는 매일 측정(3, 4, 5, 6, 7 일)하였으며, 그 후로는 14일, 28일에서 실시하며, 감도 0.1g의 전자저울을 이용하여 측정하였다.

동결융해저항성 시험은 재령 28일 경과 후에 KS F 2456 급속동결융해에 대한 콘크리트 저항시험방법의 B방법(공기중에서 급속동결하여 수중에서 용해시키는 방법)을 선택했고, 동결융해사이클은 $-18\pm 2^{\circ}\text{C} \sim 6\pm 2^{\circ}\text{C}$ 를 1사이클로 하며, 진행되는 시간은 4시간으로 설정하였다. 본 시험은 200사이클 후 상대 동탄성계수를 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

3.1.1 슬럼프 특성

Fig. 3은 폴리머 혼화제 종류변화에 따른 슬럼프의 변화를 나타낸 것이다. 폴리머 종류에 관계없이 폴리

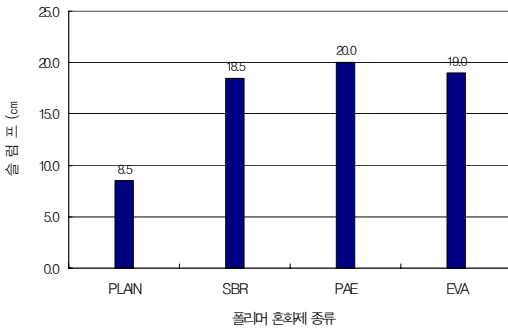


Fig. 3 폴리머 혼화제 종류변화에 따른 슬럼프

머 시멘트 콘크리트는 보통콘크리트에 비해 슬럼프가 10cm정도 향상된 것으로 나타났다. 이의 원인은 폴리머 시멘트 콘크리트가 폴리머 입자와 연행공기의 불배어링 작용, 그리고 폴리머 혼화제 중에 함유된 계면활성제의 분산작용에 의해서 유동성을 증대시키는 것으로 분석된다. 결국 소정의 반죽질기를 얻는데 필요한 물·시멘트비는 폴리머·시멘트비의 증가에 따라 감소되는 특성을 활용하면, 고강도 발현과 건조수축의 감소에도 기여할 것으로 사료된다.

3.1.2 공기량 특성

Fig. 4는 폴리머 혼화제 종류변화에 따른 공기량의 변화를 나타낸 것이다. 전반적으로 PLAIN의 공기량 3.5%보다는 증가되고 있으며, EVA가 5.8%로 가장 높고 그 다음으로 PAE가 5.5%이며, SBR은 PLAIN과 거의 비슷하게 3.6%로 나타났다.

이는 폴리머 혼화제 중에 함유된 계면활성제에 의한 기포의 작용으로 분석되며 소포제에 의해서 충분히 공기량 제어가 가능하리라 생각된다.

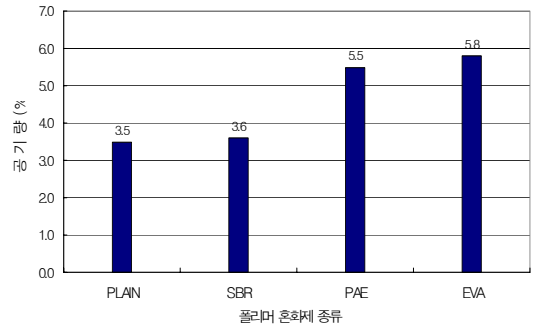


Fig. 4 폴리머 혼화제 종류변화에 따른 공기량

Table 6 폴리머 혼화제 종류변화에 따른 압축 및 인장강도

구 분	W/C (%)	S/A (%)	P/C (%)	고형분 (%)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	강도(MPa)			인장강도		
							압축		인장			
							7일	14일	28일	28일		
보통콘크리트	PLAIN	51.9	62.5	-	-	8.5	3.5	32.8	38.2	41.2	3.43	1/12.01
폴리머 시멘트 콘크리트	SBR	51.9	62.5	5	45	18.5	3.6	35.8	40.7	45.8	4.07	1/11.25
	PAE	51.9	62.5	5	45	20.0	5.5	30.9	37.8	42.6	3.67	1/11.61
	EVA	51.9	62.5	5	40	19.0	5.8	29.2	36.3	41.4	3.75	1/11.04

3.2 굳은 콘크리트의 특성

폴리머 시멘트 콘크리트의 강도특성으로서 압축강도 및 인장강도는 Table 6과 같고, 건조수축에 따른 중량감소율은 Table 7과 같다. 또한 흡수율 및 동결융해에 대한 콘크리트의 저항성으로써 상대동탄성계수는 Table 8과 같이 나타났다.

3.2.1 압축강도 특성

Fig. 5은 폴리머 혼화제 종류변화에 따른 7일, 14일 및 28일 재령의 압축강도를 나타낸 것이다. SBR은 PLAIN에 비해 재령 7일부터 28일까지 10%정도가 증가하였고, PAE 및 EVA는 PLAIN에 비해 재령 7일부터 14일까지 다소 낮으나 재령 28일에서는 약간 증가되는 것으로 나타났다. 이의 원인으로 합성고무 라텍스인 SBR이 초기재령부터 PLAIN보다 높은 강도를 보이고 있는 것을 제외하고, 초기재령(7일, 14일)의 압축강도는 공기량의 증가에 따라 압축강도가 감소하는 양상을 보이고 있어, 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축강도는 공기량의 영향이 크다는 사실을 알 수 있다.

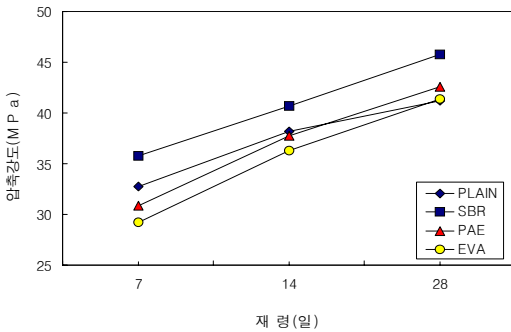


Fig. 5 폴리머 혼화제 종류변화에 따른 압축강도

3.2.2 인장강도 특성

Fig. 6은 폴리머 혼화제 종류변화에 따른 28일 재령의 인장강도를 나타낸 것이다. 전반적으로 PLAIN의 인장강도 3.43MPa에 비해 SBR이 4.07MPa로 19%정도의 증진율로써 가장 높은 높게 나타났다. 그 다음으로 EVA가 3.75MPa이며, PAE가 3.67MPa의 순으로 나타났다. 이는 폴리머 시멘트 콘크리트 속의 내부에서 형성된 폴리머 필름이 인장보강재료로서의 역할을 한 것으로 사료된다.

3.2.3 압축-인장강도비의 특성

Fig. 7은 재령 28일의 압축강도에 대한 재령 28일 인장강도를 비교하기 위해 산점도로 나타낸 그래프이다. 전반적으로 인장강도는 압축강도의 1/11~1/12정도으로써 PLAIN 1/12보다 폴리머를 혼입한 EVA이 1/11.04로 가장 크고 그 다음으로 SBR가 1/11.25이며, PAE가 1/11.61의 순으로 나타났다. 이는 폴리머의 고무성분이 부착강도를 증진하고 콘크리트의 취성적 성질을 개선하고 있음 알 수 있고, 또한 폴리머의 물리적특성인 접도가 커짐에 따라 압축-인장강도비도 증가되는 상관성을 확인할 수 있다.

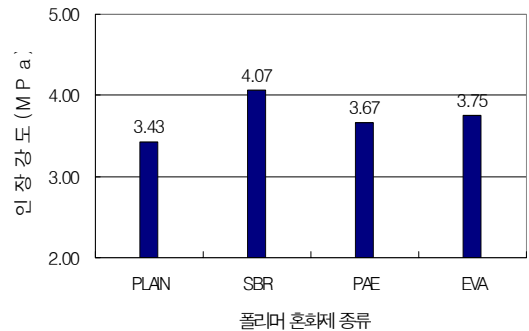


Fig. 6 폴리머 혼화제 종류변화에 따른 인장강도

Table 7 폴리머 혼화제 종류변화에 따른 중량감소율

구 분	W/C (%)	P/C (%)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	중량감소율(%)							
					3일	4일	5일	6일	7일	14일	28일	
보통 콘크리트	PLAIN	51.9	-	8.5	3.5	0.97	1.34	1.90	2.26	2.44	3.05	3.52
폴리머 시멘트 콘크리트	SBR	51.9	5	18.5	3.6	0.60	1.03	1.44	1.73	1.86	2.33	2.67
	PAE	51.9	5	20.0	5.5	0.62	0.95	1.25	1.70	1.82	2.40	2.78
	EVA	51.9	5	19.0	5.8	0.75	1.14	1.50	1.85	1.92	2.52	2.86

3.2.4 중량감소율의 특성

Fig. 8은 각 공시체의 양생기간동안 수화반응에 필요한 수분을 제외하고 나머지 수분은 공기 중으로 증발되어 공시체 중량을 감소시키고 건조수축을 일으키는데 그 정도를 알아보기 위하여 각 공시체의 중량감소율을 측정된 결과를 나타낸 것이다.

전반적으로 PLAIN보다는 중량감소율이 작지만 경시변화에 따라 같은 양상으로 변화하고 있으며, 폴리머를 혼입한 재령 28일 기준의 중량감소율은 SBR이 2.67%로 가장 낮고 그 다음으로 PAE가 2.78%이며, EVA가 2.86%의 순으로 나타나고 있으나 폴리머를 혼입한 공시체들 사이에서는 큰 차이가 없었다.

이는 폴리머를 혼입한 시멘트 콘크리트가 필요한 수분을 증발, 탈수를 억제한 것으로 보여진다.

3.2.5 흡수율의 특성

Fig. 9는 폴리머 혼화제 종류 변화에 따른 각 공시체의 흡수율에 대한 경시변화를 측정된 결과를 나타낸 것으로써, 전반적으로 같은 양상으로 경시변화에 따라

흡수율이 증가되었고, PLAIN을 24시간동안 침수한 흡수율 3.85%보다 폴리머를 혼입한 SBR이 2.56%로 가장 낮고 그 다음으로 PAE가 3.08%이며, EVA가 3.22%의 순서로 낮게 나타났다.

이는 폴리머를 혼입한 공시체가 PLAIN에 비해 낮은 흡수 특성을 보인 것은 폴리머를 혼입함으로써 폴리머필름을 형성하여 내부 공극을 밀실하게 하여 수밀한 구조를 형성시키고 외부로부터 공극을 차단하는 역할을 한 것으로 보여진다.

3.2.5 상대동탄성계수의 특성

Fig. 10은 폴리머 혼화제 종류 변화에 따른 각 공시체에 대해 200cycle까지의 급속동결융해 시험을 실시하여 상대동탄성계수를 측정된 결과와 흡수율과의 상관관계를 비교하기 위해 산점도로 나타낸 것으로써, 전반적으로 PLAIN의 상대동탄성계수 85%보다 폴리머를 혼입한 SBR이 90%로 가장 높고 그 다음으로 PAE가 88%이며, EVA가 86%의 순서로 약간 높게 나타났다.

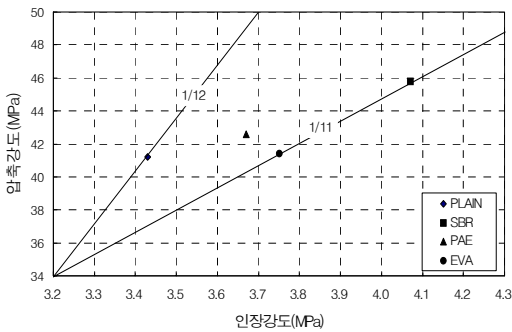


Fig. 7 폴리머 혼화제 종류변화에 따른 압축-인장강도비

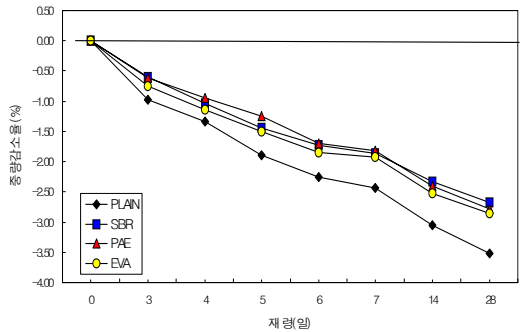


Fig. 8 폴리머 혼화제 종류변화에 따른 중량감소율

Table 8 폴리머 혼화제 종류변화에 따른 흡수율 및 상대동탄성계수

구 분	W/C (%)	P/C (%)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	흡수율(%)				동결융해에 대한 저항성	
					0시간	1시간	5시간	24시간	200cycle×B법 상대동탄성계수(%)	
보통 콘크리트	PLAIN	51.9	-	8.5	3.5	0	2.16	3.18	3.85	85
폴리머 시멘트 콘크리트	SBR	51.9	5	18.5	3.6	0	1.22	1.96	2.56	90
	PAE	51.9	5	20.0	5.5	0	1.74	2.62	3.08	88
	EVA	51.9	5	19.0	5.8	0	1.86	2.94	3.22	86

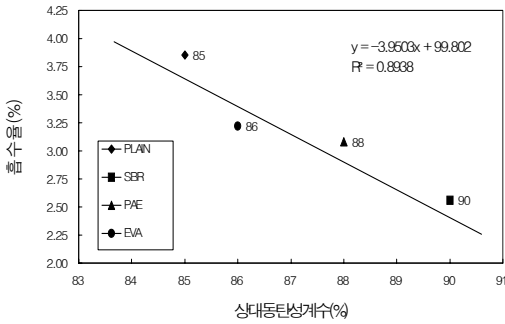


Fig. 10 폴리머 종류변화에 따른 상대동탄성계수와 흡수율

이는 폴리머를 혼입한 공시체에 비해 흡수율이 높은 PLAIN은 동결에 필요한 수분의 침투 및 공시체 내부의 자유수가 많기 때문에 동결융해가 진행됨에 따라 내부 자유수의 팽창과 융해시 팽창손실이 반복되는 과정에서 잔류팽창이 발생되어 콘크리트 속에 미세한 균열이 발생됨으로써 상대동탄성계수가 낮았으나, 폴리머를 혼입한 경우에는 내부폴리머 필름형성에 의한 흡수율 감소효과에 의해 내부자유수의 팽창압에 대한 저항성이 커지게 됨에 따라 상대동탄성계수가 높은 것으로 사료되며 또한 상대동탄성계수와 흡수율은 일정한 상관관계가 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 폴리머 시멘트 콘크리트와 보통콘크리트를 비교하기 위해 적정한 배합설계를 통한 물리적 특성을 연구한 것으로서 그 연구결과는 다음과 같다.

- 1) 폴리머를 혼입한 폴리머 시멘트 콘크리트가 PLAIN보다 슬럼프가 10cm정도 증가한 것으로 나타났으며 이로 인해 콘크리트 타설시 우수한 작업성을 확보 할 수 있을 것으로 판단된다.
- 2) 압축강도는 폴리머를 혼입한 경우가 초기재령(7일, 14일)에서 SBR를 제외하고는 PLAIN보다 낮은 강도를 발현하고 있어 초기강도 증진효과를 얻을 수 없었고, 재령 28일이 되면서 압축강도는 10%정도 증가하였고, 인장강도 또한 29%정도의 강도 증진율을 보이고 있었다. 이는 시멘트의 수화반응과 거의 동시에 이루어지는 폴리머 막의 형성으로

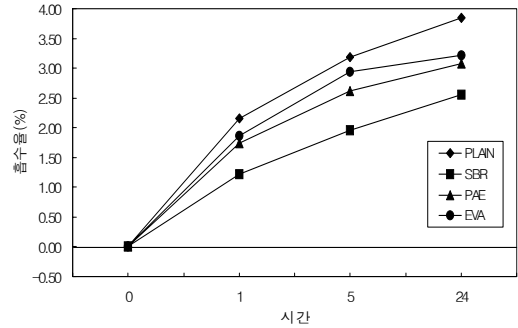


Fig. 9 폴리머 혼화제 종류변화에 따른 흡수율

콘크리트 내부에 수분증발을 억제하여 수화반응하는데 시간이 걸려 초기강도가 낮고 시간경과에 따라 폴리머가 콘크리트의 성질을 개선하여 인장보강제 역할을 함으로써 강도가 증진된 것으로 사료된다.

- 3) 흡수율 및 중량감소율은 PLAIN보다 전반적으로 낮게 나타났다. 이러한 현상은 폴리머 디스퍼전이 폴리머 막을 형성하여 미세공극을 막아 방수성능을 뛰어나게 하고 수분증발을 억제함으로써 중량감소를 방지하였다고 생각한다. 또한 동결융해에 대한 저항성은 이러한 원인 때문에 PLAIN 85%보다 전체적으로 높게 나타나고 있어 내구성이 우수하다는 것을 알 수 있다.

이상의 실험결과를 종합하여 볼 때 폴리머를 이용한 시멘트 콘크리트는 폴리머 종류에 따라 콘크리트의 특성이 다소 차이는 있으나 압축강도, 인장강도 흡수율, 중량감소율 및 동결융해에 대한 저항성이 우수한 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 롯데건설(주), "폴리프로필렌 섬유보강 폴리머 시멘트 콘크리트의 개발 연구", pp.43~44, 1995.
2. 연구석·이봉학·김광우, "폴리머 콘크리트의 초기강도에 미치는 양생온도의 영향", 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 제2권 제2호, pp.151~156, 1982.
3. 조영국·박용모·소양섭, "폴리머 디스퍼션 혼입 폴리머 시멘트 콘크리트의 배합조건에 따른 역학적 성질과 투수성능에 관한 연구", 대한건축학회 논문집 구조계(15권6호), pp.84, 1999. 6.

-
4. 한국도로공사 도로연구소, “폴리머 콘크리트를 이용한 시멘트 콘크리트 포장의 긴급보수 방안에 대한 연구”, 한국도로공사 연구보고서, pp.257, 1992.
 5. An Introduction to Composite Materials, D. Hull, Cambridge Univ. Press, 1982.
 6. D. W. Fowler, “Future Trend in polymer concrete”, ACI SP-116, 1989, pp. 129~144.
 7. “Guide for the of Polymers in concrete”, Report of ACI committee 548, Journal of the American Institute, Sept.-Oct. 1986, pp.798~829.
 8. Yoshihiko Ohama, Principle of Latex Modification and Some Typical Properties of Latex-Modified and Concrete, ACI materials journal Vol.84, No.4, 1988, pp.511~518.

(접수일자 : 2003년 3월 21일)