친환경 콘크리트 개발을 위한 고분자 화합물의 적용에 관한 연구

A Study on Application of High Molecular Compound for Development of Eco-friendly Concrete

류재석* · 이용수** · 송일현***

Ryou, Jae Suk · Lee, Yong Soo · Song, Il Hyun

Abstract

The objective of this paper is to obtain the basic data in order to develop an eco-friendly concrete through evaluation on the properties of polymer cement mortar and concrete using PVAc (Polyvinyl Acetate), as a kind of water-soluble polymer. For this purpose, the physical properties of cement mortar and concrete which does not contain the PVAc as the control batch were compared and analyzed with those using the PVAc. And then, the replacement amount of the PVAc was 3%, 6%, 9% and 12% by binder, respectively. And also, the properties of concrete using the PVAc were evaluated, by adding an antifoaming agent in order to control the air contents increasing with an increase of amount of polymer usage. As a result, in the case of polymer cement mortar using the PVAc, it presented that the compressive strength reduced, while the performance of flexural strength and drying shrinkage increased. When the replacement of the PVAc was 6% within concrete, the compressive, tensile, flexural strength and elastic modulus were increased.

Keywords : eco-friendly concrete, PVAc, compressive strength, flexural strength, drying shrinkage

요 지

본 연구는 수용성 폴리머의 일종인 폴리비닐아세테이트(Polyvinyl Acetate, 이하 PVAc)를 사용한 폴리머 시멘트 모르타르와 콘크리트의 특성에 관한 평가를 통하여 친환경 콘크리트 개발을 위한 기초자료를 획득하는 것이다. 이를 위해 PVAc를 혼입하지 않은 시멘트 모르타르 및 콘크리트와 결합재 대비 3%, 6%, 9%, 12%의 PVAc를 각각 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르 및 콘크리트와의 비교분석을 통한 물리적 특성을 평가하였으며, 폴리머 혼입에 따라 늘어나는 공기량을 제어하기 위해 소포제를 첨가하여 PVAc 콘크리트의 특성을 평가하였다. 그 결과 PVAc가 혼입된 폴리머 시멘트 모르타르의 경우 압축강도는 낮아지나 휨강도와 건조수축의 성능이 향상되는 것으로 나타났으며, 콘크리트의 경우 혼입율이 6%일 때가 압축강도, 인장강도, 휨강도 및 탄성계수가 높아지는 것을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 폴리비닐아세테이트, 친환경콘크리트, 압축강도, 휨강도, 건조수축.

1. 서 론

시멘트 모르타르나 콘크리트는 건설 산업용 재료로 가장 널리 사용되고 있는 재료이며, 시멘트를 이용한 복합재료들에 대한 연구 개발은 현재까지도 많이 이루어지고 있다. 그러나 시멘트 복합체들은 시멘트 수화물이라는 미세 조직(장복기 등, 1998)들로 이루어져 취성재료 특성인 경화의 지연, 낮은 휨 및 인장강도, 큰 건조수축, 약한 내약품성(Mehta and Monteiro, 2006)등 많은 결점을 가지고 있어 특수 첨가제(콘크리트 보강용)나 특별한 보수·보강을 하지 않는 이상 구조체의 물리·역학적 및 내구성에 심각한 문제를 일으킨다. 이러한 단점을 보완하여 성능을 개선시킬 목적으로 폴

리머를 시멘트에 혼입하여 하이브리드형 방식 시멘트 슬러리를 개발하여 인장특성 및 접착성 등을 향상시켜 고성능이 요구되는 건축물에 많이 이용되고 있다(조영국, 2008).

또한, 최근 콘크리트 구조물의 수명은 일반적으로 50년 이상 또는 반영구적이라고 하나 구조물의 외기 노출조건 즉, 화염, 화학적 반응, 염화물, 탄산가스 및 황산염 등 다양한 유해 인자들로 인하여 그 수명은 점점 단축되고 있다. 그 결과 사용성과 내구성에 심각한 문제점을 야기시켜 중국에는 파괴되고 새로운 구조물로 대체해야 하는 결과를 초래하게 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 일환으로 폴리머 혼화제를 혼입한 폴리머 시멘트가 많이 활용되었고 최근까지 다양한

*정회원 · 한양대학교 건설환경공학과 · 부교수 (E-mail : jsryou@hanyang.ac.kr)

**정회원 · 한양대학교 건설환경공학과 · 박사과정 (E-mail : imcivil@hanyang.ac.kr)

***정회원 · 교신저자 · 한양대학교 건설환경공학과 · 박사과정 (E-mail : ihsong@hanyang.ac.kr)

폴리머 라텍스 계열 혼화제의 도입에 따라 구조체가 매우 치밀하고 수밀한 콘크리트를 제조 할 수 있게 되었으며, 이러한 폴리머 혼입 모르타르나 콘크리트의 종류는 매우 많다. 일반적으로 시멘트 혼화용으로 사용되는 폴리머에는 수성폴리머디스퍼전, 재유화형분말, 수용성 폴리머 및 액상 폴리머 등이 있으며, 이중 수성폴리머디스퍼전이 널리 사용되고 있다. 수성폴리머디스퍼전에는 SBR 라텍스(Styrene-Butadiene Rubber), EVA(Ethylene-Vinyl Acetate), PAE(Poly Acrylic Ester) 등이 있으며, SBR의 경우 기계적 강도 및 동결융해 저항성 등의 개선은 효과적이지만 내후성이 불량해 EVA, PAE가 비교적 널리 사용되고 있다.

이와 같은 폴리머의 특성 때문에 순수한 시멘트 복합체가 아닌 지속가능한 건설재료의 개발로서 폴리머 콘크리트를 사용하는 방안이 현재에도 많이 연구되고 있다. 폴리머 콘크리트는 역학적으로 일반콘크리트 보다 뛰어난 내구성, 휨 및 인장강도, 방수능을 가지고 있음과 동시에 폴리머를 결합재로서 사용할 경우 시멘트량을 줄일 수 있는 장점도 있다 (Ohama, 2001). 또한, 중장비나 큰 충격이 가해지는 공업용 건물의 슬래브나 바닥은 폴리머 콘크리트와 일반 콘크리트의 복합구조형태로 시공되는 경우가 종종 있어 이러한 경우에는 MMA와 스티렌계열이 액상형 레진형태로 많이 쓰이며, 그에 따른 마모에 대한 저항, 화학저항성, 수밀성 향상 등으로 내구성이 증대되어 휨강도의 향상으로 부재의 경량화까지도 가능하게 되었다(형원길 등, 2003). 특히, 폴리머는 특성상 뛰어난 화학저항성을 갖고 있기 때문에 그 활용도가 매우 높으며, 콘크리트 폴리머 복합체는 우수한 역학적 성질 및 화학저항성을 가지고 있어 건설 분야에서 폭넓게 이용되고 있다. 아울러 건설분야의 다변화, 즉 구조물들의 대형화, 기능의 다양화, 각종 유해 환경으로의 노출 등에 의해 발생하는 문제점들은 좀 더 고성능 건설재료를 요구하게 되었고, 이에 대응하여 단면 수복재용 폴리머를 시멘트 모르타르에 혼입하여 염화물 이온 침투 저항성 측정 및 염화물 이온 확산에 관한 해석을 수행하여 폴리머시멘트 비의 증가에 따라 염화물의 이동계수가 적어진다고 보고하였다(오상균, 2008). 최근에는 유리전이온도, 기능성 첨가제 및 중합방법을 달리 한 시멘트 혼입용 재유화형 폴리머의 사용에 따른 시멘트 결합체의 특성을 알아보기 위하여 아크릴산 에스테르 재유화형 폴리머(Acrylic acid ester copolymer redispersible power)를 합성이전 단계부터 조절하여 제조된 폴리머를 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르 및 콘크리트와 폴리머를 혼입하지 않은 보통 시멘트 모르타르 및 콘크리트의 물성과 내구특성을 연구 하였다(이정배, 2010).

위에 서술된 시멘트 혼화용 폴리머로는 기존의 고무 라텍스 계열 중 SBR(Styrene-Butadiene Rubber), EVA(Ethylene-Vinyl Acetate), PAE(Poly Acrylic Ester) 등의 연구가 주를 이루었으나 본 연구에서는 수용성 폴리머의 일종인 폴리비닐 아세테이트(PVAc, Polyvinyl Acetate) 에멀전을 사용하였다. 이 PVAc는 다른 폴리머들과 다르게 비가연성 용매를 함유하며, 물에 잘 녹기 때문에 간편하여 작업성을 개선할 수 있고, 폴리머의 계면활성작용으로 인한 혼합수의 점도증가와 폴리머 필름의 형성에 따른 밀봉효과로 응집성 및 보수성의 향상도 기대할 수 있다. 또한, 다른 폴리머보다 적은 양의

PVAc를 혼입하여 동일한 인장 및 휨강도를 발현할 수 있으며, 특히 PVAc와 다른 폴리머들과의 큰 차이점은 인체에 무해하여 껌이나 사탕, 마우스피스로도 사용(Ravve, 2003)된다는 점이다. 따라서 환경친화적 특징을 갖는 새로운 개념의 친환경 콘크리트 개발을 위해 PVAc 에멀전을 사용하여 폴리머시멘트 비에 따른 물리적 특성을 비교·분석하여 친환경 콘크리트의 개발을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 실험계획

2.1 사용재료

본 연구에 사용된 시멘트는 KS L 5201 규정에 적합한 1종 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC라 칭함)이며 화학성분 및 물리적 성질은 각각 Table 1과 같다. 잔골재는 충청남도 태안에서 생산된 세척사를 사용하였으며, 굵은골재는 경기도 화성의 비봉산에서 생산되는 부순골재를 사용하였다. Table 2는 잔골재와 굵은골재의 물리적 성질의 품질기준과 그에 따른 시험결과를 각각 나타낸다.

혼화제는 콘크리트의 작업 환경 확보와 슬럼프 조절을 위하여 국내 E사의 폴리카르본산(PC, 이하 SP라 칭함)계인 갈색 고성능감수제를 사용하였으며, 폴리머 콘크리트의 공기량 조절과 슬럼프 확보를 위해 실리콘계 소포제(SS, 이하 AF라 칭함)를 각각 사용하였다. Table 3은 사용된 혼화제의 물리적 성질을 각각 나타낸다.

또한, 본 연구의 궁극적인 목적으로 사용된 PVAc 에멀전은 국내 E사 제품으로 물에 잘 녹는 수용성 제품이며, 사용이 용이하고 인장 및 휨강도가 다른 폴리머들 보다 우수한 장점을 가지고 있다. PVAc 에멀전의 주요 성분은 Table 4

Table 1. Chemical compositions and physical properties of OPC

Chemical compositions(%)		Physical properties	
SiO ₂	20.8	Specific gravity	3.15
Al ₂ O ₃	6.3	Blaine's specific surface (cm ² /g)	3,250
Fe ₂ O ₃	3.2	Setting time	Initial set (min)
CaO	62.0		Final set (hr)
MgO	3.3	Compressive strength (MPa)	3 day
SO ₃	2.2		7 day
Ig. loss	1.3		28 day

Table 2. Physical properties of coarse and fine aggregate

Items	Coarse aggregate		Fine aggregate	
	Quality standard	Quality	Quality standard	Quality
G _{max} (mm)	-	25	-	5
Density (g/cm ³)	2.5(↑)	2.62(2.7)	2.5(↑)	2.59
Absorption ratio (%)	3.0(↓)	0.72	3.0(↓)	1.13
F.M.	6-8	6.91	2.3-3.1	2.82
Abrasion ratio (%)	40(↓)	25.1	0.04(↓)	0.04
Unit weight (kg/m ³)	1,250(↑)	1,564	1,250(↑)	1,588

Table 3. Physical properties of admixtures

Items	SP	AF
Specific gravity	1.06±0.05	1.0
pH	6.5±1.0	6.5
Cl ⁻ (%)	0.01(↓)	-
Solid content (%)	-	15
Alkali content (%)	0.20(↓)	-
Type	Brown liquid	White
Usage	C×(0.2%)	PVAc×(2%)

Table 4. Components of PVAc emulsion

Items	Types	Contents (%)
Resin	PVAc	58.3
Solvent	Liquid	41.4
Additive	Stabilizer, Dispersant	0.1
Others	Silicon	0.2

와 같다.

2.2 배합계획

폴리머 시멘트 모르타르 및 콘크리트를 제작할 경우 폴리머를 시멘트 대비 5% 이하의 적은 양을 혼입하게 되면 폴리머 입자가 부족하여 연속된 필름을 형성하지 못하고 독립된 형태의 필름을 형성하게 되어 인장강도, 휨강도, 접착성, 수밀성, 내마모성 및 내약품성 등을 향상시키지 못하여 혼화재로서의 역할을 할 수 없게 된다. 또한 시멘트 대비 폴리머 혼입량을 최대 30% 이상 혼입하게 되면 시멘트 수화반응을 저해하고 폴리머로 인해 발생된 다량의 공기는 시멘트 모르타르의 성능저하를 가져올 수 있다. 따라서 현재까지의 실험들을 통한 최적 폴리머-시멘트 비는 시멘트 중량 대비 5~20% 정도가 적당한 것으로 알려져 있으며(형원길 등, 2008), 본 연구에서는 예비 배합 등 여러 가지 변수를 고려하여 3%, 6%, 9%, 12%의 혼입율을 채택하였다.

2.2.1 모르타르 배합

PVAc가 혼입된 모르타르의 특성을 평가하기 위해 기존의 시멘트 모르타르를 Control로 하고 폴리머 혼입율을 시멘트 대비 3%, 6%, 9%, 12%로 증가시켜 모르타르 배합을 실시하였다. 모르타르 배합은 KS L ISO 679에 준하였으며, 질량에 의한 비율은 시멘트와 모래를 1:3의 비율로 하여 Control의 경우 물-시멘트비를 0.5로 결정하고 총 5 수준으

Table 5. Mixture proportions of mortar

Types	W/C (%)	Unit weight (g/batch)			
		W	PVAc	C	S
Control	50	225	-	450	1,350
PM03	43	187.7	13.5	436.5	
PM06		181.9	27	423	
PM09		176.1	40.5	409.5	
PM12		170.3	54	396	

로 Table 5와 같이 배합하였다. 결합재 대비 PVAc의 혼입율에 따라 3%, 6%, 9%, 12%는 각각 PM03, PM06, PM09, PM12로 표기 하였으며, 결합재를 구성하는 시멘트와 폴리머의 총량은 Control과 같다. 또한 모르타르의 플로우와 작업성을 고려하여 폴리머가 혼입된 모르타르의 물-시멘트비를 0.43으로 결정하였다.

2.2.2 콘크리트 배합

콘크리트배합은 목표 강도 30 MPa, 슬럼프 150 mm, 공기량 3%로 콘크리트 표준시방서에 규정된 배합설계에 따라 예비배합을 실시 후 Table 6과 같은 배합을 결정하였다. 모르타르 배합과 마찬가지로 결합재 대비 PVAc의 혼입율에 따라 3%, 6%, 9%, 12%는 각각 PC03, PC06, PC09, PC12로 표기하였으며, 결합재를 구성하는 시멘트와 폴리머의 총량은 Control과 같다. 폴리머 콘크리트의 공기량 조절과 슬럼프 확보를 위해 실리콘 계열의 소포제를 폴리머 대비 2% 첨가하였다.

2.3 실험방법

본 연구에 실시된 실험을 한 눈에 파악하기 위하여 Control 모르타르 및 콘크리트, 그리고 PVAc를 혼입한 시멘트 모르타르 및 콘크리트에 각각 시행된 실험을 Table 7과 같이 나타낸다.

2.3.1 슬럼프 및 공기량

슬럼프 실험은 굳지 않은 콘크리트의 작업성을 판단하는 실험으로 폴리머의 첨가량에 따른 유동성을 평가하기 위해 KS F 2402에 따라 실시하였다. 또한 콘크리트속의 공기량은 콘크리트의 내구성, 강도, 위크빌리티 등에 큰 영향을 주어 콘크리트의 품질관리를 위해서 필요한 실험으로 폴리머 시멘트 콘크리트의 경우 폴리머 혼입율이 높을수록 큰 공기연행 효과를 나타내기 때문에 소포제 사용과 함께 KS F

Table 6. Mixture proportions of concrete

Types	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m ³)						
			C	PVAc	W	S	G	SP*	AF**
Control	48	49	380	-	182	821	846	0.760	-
PC03			369	11	177			0.737	0.228
PC06			357	23	171			0.714	0.456
PC09			346	34	166			0.692	0.684
PC12			334	46	161			0.669	0.912

SP* = C×0.2%, AF** = PVAc×2%

Table 7. Testing performed in this paper

Testing method	Mortar	Concrete
Slump	-	○
Air content	-	○
Compressive strength	○	○
Tensile strength	-	○
Flexural strength	○	○
Length change	○	-
Elastic modulus	-	○

2421에 따라 워싱턴식 공기량 측정기를 이용한 압력법으로 공기량을 측정하였다.

2.3.2 압축, 인장 및 휨강도

모르타르의 압축강도를 측정하기 위하여 KS L 5105에 따라 50×50×50 mm의 정육면체 공시체를 제작하여 채령 28일의 압축강도를 측정하였다. 또한, 콘크리트 압축강도의 역학적 특성을 평가하기 위해 KS F 2403에 따라 $\phi 100 \times 200$ mm의 원주형 공시체를 제작하여 20±3°C의 수중양생을 실시한 후 KS F 2405에 제시된 방법에 따라 채령 28일의 압축강도 시험을 실시하였다. 모르타르 및 콘크리트 압축강도 측정기로는 유압식 만능시험기(Universal Testing Machine, UTM)를 사용하였다.

PVAc의 혼입율에 따른 콘크리트의 인장강도 시험을 위해 KS F 2423의 할렬시험(splitting tensile test)에 따라 콘크리트 압축강도와 같은 공시체를 가지고 채령 28일의 쪼갬 인장 강도를 측정하였다.

또한, 모르타르 및 콘크리트의 휨강도 특성을 평가하기 위해 KS L ISO 679 및 KS F 2408에 따라 40×40×160 mm와 100×100×400 mm의 각주형 공시체가 각각 제작되었으며 20±3°C의 수중양생을 실시한 후 제시된 방법에 따라 채령 28일의 휨강도 시험을 실시하였다. 대표적인 측정방법으로는 중앙집중재하(center point loading)와 3등분점재하(three point loading)가 있으며, 본 연구에서는 중앙집중재하법이 사용되었다.

2.3.3 길이변화 시험

모르타르의 길이변화 시험은 KS F 2424에 제시되어 있는

다이얼 게이지를 사용하였으며, 초기의 모르타르 건조 수축량과 그 경향을 파악하기 위하여 40×40×160 mm의 공시체를 제작하여 온도 20±3°C, 습도 80±5%의 항온 항습기에 1일간 양생 후 3, 7, 14일의 건조 수축량을 1 μ m의 단위로 측정하였다.

2.3.4 탄성계수 시험

일반콘크리트와 비교했을 때 폴리머를 혼입한 콘크리트는 폴리머 혼입율이 증가할수록 압축강도가 낮아지는 경향이 있으나 휨 및 인장강도에서는 우수한 장점을 가지고 있다. 따라서 폴리머의 혼입량에 따른 휨 및 인장강도의 정량적 평가를 검증하기 위하여 폴리머 혼입율에 따른 콘크리트의 탄성계수 시험을 실시하였다. KS F 2438에 따라 $\phi 100 \times 200$ mm의 원주형 공시체를 제작하고, 20±3°C의 수중양생을 실시한 후 스트레인 게이지를 부착하여 변형량에 따른 압축강도를 데이터로거로 측정하여 최대 압축강도 40%일 때의 탄성계수를 측정하였다. Fig. 1은 탄성계수 측정방법과 탄성계수 측정에 사용된 데이터로거를 나타낸다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 PVAc 시멘트 모르타르의 특성

3.1.1 압축 및 휨강도 특성

PVAc를 콘크리트에 적용이 가능한지 검증하기 위해 먼저 모르타르에 적용시켰으며, Control과 비교·분석을 위하여 결합재 대비 PVAc의 혼입율을 3%, 6%, 9%, 12%로 정하고 채령 28일의 압축강도 시험치를 Fig. 2에 나타내었다. Control의 경우 채령 28일의 압축강도가 34.81 MPa로서 가장 높았고 혼입율에 따라 각각 33.08 MPa, 31.36 MPa, 29.71 MPa, 29.01 MPa로 측정되었으며, 혼입율이 증가할수록 압축강도가 낮아지는 경향을 보였다. 이는 기존의 연구결과(연규석 등, 2002)와 같이 일반적인 폴리머 시멘트 모르타르의 경우 폴리머의 혼입량이 증가할수록 압축강도가 낮아지는 경향을 나타냈는데, 그 이유는 폴리머에 의해 연행된 공기의 영향과 자체강도를 가지고 있지 않은 폴리머 필름의 형성에 의한 것으로 판단된다.

휨강도의 경우 폴리머 혼입 모르타르는 일반적인 시멘트 모르타르보다 휨강도가 높은 것으로 알려져 있으며(콘크리트,

(a) Elastic modulus testing

(b) Data logger

Fig. 1 Elastic modulus testing and data logger

Fig. 2 Compressive strength results of mortar with PVAc

Fig. 3 Flexural strength results of mortar with PVAc

2008), PVAc가 혼입된 모르타르의 휨강도를 알기위해 재령 28일의 모르타르 휨강도를 측정하여 Fig. 3과 같이 나타냈다. Fig. 3에서 알 수 있듯이 PVAc를 혼입한 시멘트 모르타르들은 Control 보다 각각 1.22 MPa, 1.74 MPa, 2.37 MPa, 2.61 MPa 높았으며, 특히 PVAc가 12% 혼입된 시멘트 모르타르의 휨강도는 7.28 MPa로서 Control의 휨강도 4.67 MPa와 비교하면 약 56%의 증가를 보였다. 이는 PVAc에 의해 형성된 필름이 시멘트 수화물과 골재사이의 미세공극을 충전하여 부착강도를 높여준 것으로 판단된다. 또한 압축강도와는 달리 PVAc의 혼입율이 증가할수록 모르타르의 휨강도가 증가하는 것으로 나타나 폴리머의 사용이 휨강도의 증진에 효과가 있다는 문헌상의 연구 결과와도 일치하였다 (최신콘크리트공학, 2011).

3.1.2 길이변화 특성

PVAc를 혼입한 시멘트 모르타르 길이변화의 경우 KS F 2424에 의거해 재령 14일까지의 변화를 측정하여 Fig. 4와 같이 나타냈다. 재령 14일까지의 길이변화는 Control의 경우

Fig. 4 Length change results of mortar with PVAc

-55 μm , PVAc를 12% 혼입한 경우 -44 μm 의 변화가 측정되어 -11 μm 의 차이를 보였으며, PVAc를 혼입한 시멘트 모르타르의 경우 모든 시험체에서 길이변화율이 작아 건조수축이 감소하는 결과를 나타내었다. 이는 모르타르 내부의 PVAc로 형성된 필름이 서로 일체가 된 co-matrix상의 형성에 의해 수분의 이동을 억제하여 내부수분의 증발을 막아 증발수량이 감소하고(이정배, 2010), 폴리머의 가교에 의한 밀봉작용 때문에 보수성이 향상(최신콘크리트공학, 2011)되어 길이변화가 억제되는 것으로 판단된다.

3.2 PVAc 시멘트 콘크리트의 특성

3.2.1 슬럼프 및 공기량 특성

일반 및 PVAc가 혼입된 시멘트 콘크리트의 슬럼프 측정 결과는 Table 8과 같다. Control의 경우 슬럼프는 130 mm를 나타냈으며, PVAc 혼입율이 3%, 6%, 9%, 12%일 때 각각 150 mm, 155 mm, 160 mm, 180 mm를 나타내 단위수량의 감소에도 불구하고 슬럼프가 증가하는 경향을 보여 PVAc의 사용에 따른 단위수량의 감소효과가 뛰어남을 알 수 있었다. 전체적으로 혼입율이 높을수록 슬럼프가 증가하는 이유는 콘크리트 내에서 불침투성의 필름이 형성되어 급격한 수분의 건조를 방지하는 효과가 있으며, 또한 첨가된 분산제로 인해 PVAc가 층분리 없이 물에 균일하게 분산되어 시멘트입자들의 이동이 쉽게 이루어져 워커빌리티가 개선되어 나타나는 현상으로 판단된다. 일반적으로 수용성 폴리머의 사용으로 시멘트 모르타르 및 콘크리트의 작업성 개선 외에 폴리머의 계면활성작용으로 인한 혼합수의 점도 증가와 폴리머 필름의 형성에 따른 밀봉효과로 인한 응집성 및 보수성의 향상도 기대할 수 있다.

PVAc가 혼입된 시멘트 콘크리트의 배합에 대한 공기량 측정 결과는 Table 9와 같다. Control에서 가장 작은 1.8%의 공기량이 측정된 반면, PVAc가 12% 혼입된 시멘트 콘크리트에서는 7.1%로 가장 많은 공기량이 측정되었다. 이는 일반적으로 공기연행은 폴리머 분산제 중에 함유된 계면활성제의 영향 때문이며, 공기연행성은 작업성 향상과 동결융해 저항성 개선에 좋은 효과가 있지만, 공기의 양이 과다하게 될 때에는 시멘트 경화체 내부의 조직구조가 다공화되어 강도 감소 및 내구성 저하 등 심각한 문제를 일으킬 수 있으므로 적절한 양의 소포제를 첨가하여 연행된 공기를 제어할 필요가 있다. 예를 들어 예비 배합에서 소포제를 첨가하지 않았을 때 PVAc 12% 혼입 시멘트 콘크리트에서는 공기량이 약 15% 측정되었으나 본 배합에서는 실리콘계 소포제를 폴리머 대비 2% 첨가하여 7.1%까지 감소시킬 수 있었다. 이는 폴리머 혼입 시멘트 콘크리트에서 소포제의 역할이 어느 정도 공기량 감소에 영향을 주었다고 볼 수 있다.

Table 8. Slump results of concrete with PVAc

Items	Control	PC03	PC06	PC09	PC12
Slump (mm)	130	150	155	160	180

Table 9. Air contents results of concrete with PVAc

Items	Control	PC03	PC06	PC09	PC12
Air contents(%)	1.8	3.7	4.3	6.5	7.1

Fig. 5 Compressive strength results of concrete with PVAc

Fig. 7 Flexural strength results of concrete with PVAc

3.2.2 압축, 인장 및 휨강도 특성

시멘트 모르타르의 압축강도 결과를 검증하기 위하여 모르타르와 같이 PVAc를 3~12%로 혼입한 시멘트 콘크리트의 재령 28일 압축강도를 Fig. 5와 같이 나타냈다. Control에서 36.28 MPa의 압축강도를 보였으며, PVAc 혼입율의 증가와 함께 압축강도는 증가하다 혼입율 6%에서 42.14 MPa로 가장 큰 값을 나타냈으나 혼입율 9%와 12%에서는 오히려 강도 감소치를 나타냈다. 모르타르 대비 콘크리트 matrix에서 더 높은 압축강도 증진에 영향을 미친 이유는 PVAc에 의해 형성된 필름이 시멘트 페이스트와 골재사이의 ITZ(천이영역)에서 결합력을 증가시켰기 때문으로 판단된다. 그러나 PVAc 혼입율 9%와 12%에서의 강도감소는 공기량과 관련되는 것으로 판단되며, 이는 Table 9의 공기량 시험결과와 같이 PVAc 혼입율 6%에서 4.3%의 공기량과 함께 가장 높은 압축강도를 나타낸 반면 혼입율 9%와 12%에서 각각 공기량 6.5%와 7.1%를 나타내 혼입율의 증가와 함께 강도는 감소하는 것으로 나타나 PVAc가 혼입된 시멘트 콘크리트에서 PVAc 혼입율은 약 6%, 공기량은 약 4~5% 일 때 가장 큰 압축강도를 나타냄을 알 수 있다.

콘크리트의 인장강도는 압축강도와 더불어 콘크리트의 물리적 성질을 판단할 수 있는 기준이 되며, 압축강도와 비교해서 그 수치는 약 1/10~1/13 정도이다. PVAc가 혼입된 시멘트 콘크리트의 인장강도는 Fig. 6과 같으며, 빗금친 부분은 Fig. 5에서 도출된 압축강도 대비 이론적 인장강도의 범위(1/10~1/13)를 나타낸다. Control과 PVAc를 혼입한 시멘트 콘크리트의 인장강도는 이론치를 모두 만족하였으며, 콘크리트의 압축강도와 비슷한 경향을 나타내고 있다. Control에서 5.14 MPa를 나타냈으며, PVAc 혼입율의 증가와 함께

Fig. 6 Tensile strength results of concrete with PVAc

점차 증가하다가 혼입율 6%에서 6.08 MPa로 가장 큰 값을 나타냈다. 그러나 혼입율 9%와 12%에서 각각 5.55 MPa와 4.95 MPa로 강도가 감소하는 경향이 나타났는데, 이는 앞서 말한 골재와 시멘트 페이스트 사이의 ITZ(천이영역)와 공기량에 관계가 있는 것으로 판단된다.

휨강도는 콘크리트 압축강도의 약 1/5~1/8 정도로서 본 연구에서는 장방형 보를 중앙집중재하법에 의하여 구하였다. PVAc가 혼입된 시멘트 콘크리트의 재령 28일 휨강도는 Fig. 7과 같으며, 빗금친 부분은 압축강도 대비 이론적 휨강도의 범위(1/5~1/8)를 나타낸다. 휨강도 역시 이론치를 모두 만족하였으며, 압축과 인장강도의 경향과 유사한 형태를 나타냈다. Fig. 7을 보면 Control의 경우 5.21 MPa로서 이론적 휨강도의 범위내에 있는 반면 PVAc가 혼입된 나머지는 모두 이론치 이상의 결과를 보여 PVAc가 시멘트 콘크리트의 휨강도에 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있다. 특히 PVAc 혼입율 6%에서 10.93 MPa가 나타나 Control(5.21 MPa) 대비 약 2배 정도의 휨강도를 나타냈다.

3.2.3 탄성계수 특성

PVAc가 혼입된 시멘트 콘크리트의 재령 28일 콘크리트 탄성계수를 측정하여 Table 10에 나타냈으며, Control (100%) 대비 PVAc를 혼입한 시멘트 콘크리트의 탄성계수비를 Fig. 8과 같이 나타냈다. PVAc가 혼입된 시멘트 콘크리트의 탄성계수는 앞서 언급한 압축강도, 인장강도, 휨강도와

Table 10. Elastic modulus results of concrete with PVAc

Items	Control	PC03	PC06	PC09	PC12
Elastic modulus (GPa)	26.660	27.883	28.011	27.934	29.942

Fig. 8 Elastic modulus ratio of concrete with PVAc

는 다르게 혼입율이 높을수록 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 자체강도를 가지고 있지 않은 PVAc가 물리적 강도 발현과는 다르게 독립적으로 콘크리트에 탄성적인 성질을 띠게 하는 것으로 판단된다. 또한 PVAc 혼입율이 12%인 경우 Control과 비교하여 탄성계수비가 약 12.31%가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구는 인체에 무해한 수용성 폴리머의 일종인 폴리비닐아세테이트(PVAc, Polyvinyl Acetate) 에멀전을 사용하여 환경친화적 특성을 갖는 새로운 개념의 친환경 콘크리트 개발을 위해 폴리머-시멘트 비에 따른 물리적 특성을 비교·분석하여 친환경 콘크리트의 개발을 위한 기초자료로 활용하고자 하였으며, 이 결과들로부터 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

1. PVAc 시멘트 모르타르 압축강도의 경우 연행된 공기와 자체강도를 갖지 않는 폴리머에 의하여 혼입율이 증가할수록 압축강도가 낮아지는 경향을 보였다. 반면 압축강도와 달리 휨강도는 PVAc의 혼입율이 증가할수록 증가하는 것으로 나타나 폴리머의 사용이 휨강도 증진에 어느 정도 효과가 있는 것으로 나타났다.
2. PVAc를 혼입한 시멘트 모르타르 길이변화의 경우 모든 시험체에서 건조수축이 감소하는 결과를 나타냈다. 이는 PVAc로 형성된 필름이 서로 일체가 된 co-matrix상의 형성에 의해 수분의 이동을 억제하여 내부수분의 증발을 막아 길이변화가 억제되는 것으로 확인되었다.
3. PVAc 시멘트 콘크리트 슬럼프는 콘크리트 내에서 불침투성의 필름이 형성되어 수분 건조의 방지와 첨가된 분산제로 인해 PVAc가 물에서 균일하게 분산된 것으로 판단되어 폴리머 혼입율이 높을수록 슬럼프가 증가하는 것으로 확인되었다.
4. 폴리머 분산제 중에 함유된 계면활성제의 영향으로 PVAc의 혼입율이 증가할수록 공기량이 증가하는 것으로 나타났다. 공기연행성은 작업성 향상과 동결융해 저항성에 효과가 있지만, 과다할 경우 경화체 내부 조직구조가 다공화되어 강도 감소 및 내구성 저하 등 심각한 문제를 일으킴으로 적절하게 제어할 필요가 있다.
5. PVAc 시멘트 콘크리트의 압축, 인장 및 휨강도에서는 모

두 유사한 경향을 나타냈으며, 모르타르 대비 콘크리트의 강도 증진에 영향을 미친 이유는 PVAc에 의해 형성된 필름이 시멘트 페이스트와 골재사이의 ITZ(천이영역)에서 결합력을 증가시켰기 때문으로 판단된다.

6. 마지막으로 PVAc가 혼입된 시멘트 콘크리트의 탄성계수는 앞서 언급한 압축, 인장 및 휨강도와는 다르게 혼입율이 높을수록 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 자체강도를 가지고 있지 않은 PVAc가 물리적 강도 발현과는 다르게 독립적으로 콘크리트에 탄성적인 성질을 띠게 하는 것으로 확인되었다.

참고문헌

- 연구석, 주명기(2002) 지속가능한 건설재료로서 폴리머 콘크리트의 이용. **한국콘크리트학회지**, 한국콘크리트학회, 제14권 제4호, pp. 60-65.
- 오상균(2008) 단면 수복재용 폴리머 시멘트 모르타르의 염화물 이온 침투 저항성 측정 및 염화물 이온 확산에 관한 해석. **대한건축학회 논문집**, 대한건축학회, 제24권 제4호, pp. 117-124.
- 이정배(2010) 폴리머 합성법에 의해 개선된 폴리머 시멘트 콘크리트의 특성에 관한 연구. 박사학위논문, 대전대학교.
- 장복기, 정창주, 이종호, 임용무(1998) **시멘트재료화학**. 전남대학교 출판부.
- 정영수, 김진근, 최석환, 하재담, 박흥근(2008) **콘크리트**. 동화기술.
- 조영국(2008) 하이브리드형 방식 폴리머 시멘트 슬러리의 인장특성 및 접착성. **한국콘크리트학회 논문집**, 한국콘크리트학회, 제20권 제5호, pp. 635-642.
- 한국콘크리트학회(2011) **최신 콘크리트공학**. 기문당.
- 형원길, 김완기, 최낙운, 소양섭(2003) 모노머비를 변화한 MMA/BA 합성 라텍스 혼입 폴리머 시멘트 모르타르의 성질. **대한콘크리트학회 논문집**, 대한콘크리트학회, 제15권 제2호, pp. 273-279.
- Mehta, P.K. and Monteiro, P.J.M. (2006) **CONCRETE. Microstructure, Properties, and Materials**, McGraw-Hill Companies, Inc., USA.
- Ohama, Y. (2001) A note on the comparison of crack resistance of Ca(OH)₂ crystals of unmodified and polymer-modified mortars in carbonated atmosphere. **Cement and Concrete Research**, Vol. 31, No. 11, pp. 1643-1645.
- Ravve, A. (2003) **Principles of Polymer Chemistry**. Plenum Press, USA.

(접수일: 2012.6.13/심사일: 2012.7.16/심사완료일: 2012.8.17)