EVA Powder 개질 고강도 콘크리트의 초기강도 및 수밀특성

Early Strength and Properties of EVA Powder Modified High Strength Concrete

김 영 익*·성 찬 용(충남대)
Kim, Young Ik*·Sung, Chan Yong

Abstract

EVA Powder modified high strength concretes were prepared by varying polymer/binder mass ratio with a constant water/binder mass ratio of 0.3. The effect of EVA powder on the slump, hydration heat, compressive and flexural strength, toughness and water absorption ratio was studied. In hydration heat test, temperature of hydration reaction displayed almost fixed level regardless of containing rate of EVA powder, but peak time of hydration reaction displayed late inclination as containing rate of powder increases. With the same water/binder mass ratio, the compressive strength and water absorption of EVA powder modified concretes decreased slightly when EVA powder was added and the flexural strength of EVA powder modified concretes rised slightly when EVA powder was added. Also, the toughness of the modified concretes can be improved markedly. The interpenetrating structure between the polymeric phase and cement hydrates formed at a 2～6%(containing rate of EVA powder). The properties of the polymer modified concretes were influenced by the polymer film, cement hydrates and the combined structure between the organic and inorganic phases.

Ⅰ. 서 론

건설기술의 발전과 더불어 현대구조물이 초고층화, 대형화, 특수화에 따른 콘크리트 성능 향상에 대한 필요성이 대두되면서 캐나다, 미국, 일본 등에서는 고강도 콘크리트의 개념에서 진일보하여 고강도 이외에 우수한 시공성과 내구성을 요하는 고성능 콘크리트에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 미국, 캐나다 등에서는 고강도성과 고내구성을 강조한 고성능 콘크리트에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 반면에 구조물의 사용 환경이 더욱 열악해지고 콘크리트 구조물은 시공 초기 단계에서부터 기상, 온도, 화학적 침식 등의 열악한 물리·화학적 환경을 접하면서 내구성 저하에 대한 우려가 점차 증대하고 있다. 콘크리트 열화는 다양한 요인에 의하여 발생되어질수 있으며, 알칼리 골재반응, 골재와 시멘트 페이스트의 열적 성질의 상위에 의한 체적변화 및 투수성 등의 내적 원인과 동결융해, 중성화, 염해, 화학적 침식 등의 외적 원인 등에 의하여 내구성이 크게 저하된다. 따라서, 이와 같은 콘크리트의 내구성 저하를 개선하기 위하여 다양한 특수 콘크리트 및 혼화제가 개발되고 있으며, 특히 폴리머 필름에 의한 휨부착 및 수밀 특성을 크게 개선시키는 것으로 알려진 폴리머를 이용한 개질 콘크리트에 대한 연구가 계속적으로 진행되고 있다.

또한, 폴리머 개질 콘크리트는 폴리머를 구성하는 주성분과 시멘트의 조합에 의하여 다양한 특성을 나타내고, 유기 및 무기 결합재에 의한 결합 형태이기 때문에 결합재 비율, 양생조건, 양생온도 등의 요소에 의하여 내부적으로 변화의 폭이 크기 때문에 다양한 실험 및 연구가 선행되어져야 할 것이다. 따라서, 본 연구에서는 동결융해저항성, 화학적 침식 등의 내구성 저하를 개선하기 위한 강도 및 수밀 특성이 우수한 폴리머 개질 콘크리트를 개발하기 위하여, 재유화형 EVA powder를 결합재 중량비로 일정 비율 혼입한 EVA powder 개질 고강도 콘크리트를 개발하고, 이

2005년 한국농공학회 학술발표회 논문집(2005년 10월 28일)

에 대한 물리, 역학적 특성을 구명하는데 그 목적이 있다.

Ⅱ. 재료 및 방법

2.1 사용재료

시멘트는 KS F 5201에 규정된 국내 S사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 천연모래, 굵은골재는 쇄석을 사용하였다. 또한, 우수한 초기강도 확보를 위하여 분말도가 높은 실리카흄 및 콘크리트 개질용으로 에틸렌/비닐 아세테이트계열(EVA)의 재유화형 분말이 사용되었으며, 유동성 개선을 위하여 나프탈렌설폰삼염 계열의 고성능 AE감수제가 사용되었다. 이에 대한 각각의 물리, 화학적 특성은 Table 1,2,3 및 4와 같다.

Table 1 Chemical compositions of normal portland cement (Unit : %)

SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3
21.09	4.84	63.85	3.32	3.09	1.13	0.29	2.39

Table 2 Physical properties of aggregate

Item	Size (mm)	Specific gravity(20℃)	Absorption (%)	Fineness modulus	Unit weight(kg/㎥)
Fine aggregate	＜4.75	2.62	2.35	2.35	1,471
Coarse aggregate	4.75～20	2.64	2.62	7.28	1,449

Table 3 Chemical compositions and physical properties of silica fume

Chemical compositions(%)							Physical properties	
SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe_2O_3	SO_3	Ig.loss	Specific gravity(20℃)	Specific surface area(cm^2/g)
91.2	1.3	0.7	0.3	0.8	-	2.3	2.2	204,000

Table 4 Physical properties of EVA powder[water-redispersible ethylene/vinyl acetate powder]

solid content	ash content (1000℃/30min)	Apparent density	appearence	stabilizing system	particle size
99±1%	11±2%	540±50 g/l	white powder	polyvinyl alcohol	Max 4%, 400μm이상

2.2 배합설계 및 제작

폴리머 개질 콘크리트는 시멘트의 수화반응과 폴리머의 필름 형성 및 이들의 조합에 의해 하나의 구조를 형성하기 때문에 결합재인 시멘트와 폴리머의 결합비율이 콘크리트의 강도 및 수밀 특성에 많은 영향을 미친다. 본 연구에서는 EVA powder의 혼입률에 따른 콘크리트의 강도 및 수밀 특성을 분석하기 위하여 powder의 혼입 비율을 결합재(시멘트+실리카흄) 중량의 0～10%로 하였으며, 고강도 콘크리트 제조시 EVA powder의 영향 인자를 분석하기 위하여 목표강도를 45MPa, 슬럼프 15cm로 설정하였다. 또한 재령 초기에 높은 강도를 발현할 수 있도록 시멘트에 대한 중량비로 10%의 실리카흄을 사용하였다. 또한, 동일 물/결합재비(시멘트+실리카흄+분말수지)에 대한 유동성 확보를 위하여 고성능 AE감수제를 결합재 중량의 1.5%를 사용하였다.

폴리머 개질 콘크리트의 제작은 KS F 2405 (콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준하여 잔골재와 굵은골재를 잘 혼합한 다음 시멘트와 실리카흄 및 EVA powder를 투입하여 건비빔을 30초간 실시한 후 물을 1차 투입하여 1분간 믹싱하고, 물과 고성능 AE감수제를 2차 투입하여 30초간 90 r.p.m으로 고속 회전하여 혼합하였으며, 몰드에 타설된 콘크리트는 양생상자에서 24시간 정치 후 탈형하여 소정의 재령까지 수중양생(20±1℃)을 하였다.

2005년 한국농공학회 학술발표회 논문집(2005년 10월 28일)

2.3 시험방법

슬럼프 시험은 KSF 2402(슬럼프 시험방법)에 준하여 측정하였으며, 수화열 시험은 수화열 측정기를 사용하여 콘크리트 타설직후 1분간격으로 24시간 동안 측정하였으며, 압축강도시험은 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준하여 재령 7일에 ø100×200mm인 공시체를 130 kgf/s의 재하속도로 가압하여 측정하였고, 휨강도시험은 60×60×240mm인 공시체를 제작하여 KS F 2407 (콘크리트의 휨강도 시험방법)에 준하여 5 kgf/s의 속도로 가압하여 측정하였다. 흡수율 시험은 재령 7일에 공시체를 105±5℃로 24시간 노건조 한 후 실온에서 항량일 때의 중량과 24시간 침수시켰을 때의 중량을 측정하여 구하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

3.1 슬럼프

EVA powder 개질 콘크리트의 슬럼프는 EVA powder의 혼입률 4%이내에서는 동일 물/결합재비에 대하여 거의 유사한 슬럼프를 나타내었으며, EVA powder의 혼입률 4% 이상에서는 EVA powder를 혼입하지 않은 콘크리트에 비하여 약간의 슬럼프 감소를 나타내었다. 이러한 결과는 4% 이내의 EVA powder 혼입은 콘크리트의 워커빌리티에 영향을 줄만큼의 분체로 작용하지 않지만, EVA powder의 혼입률이 증가할 경우 결합재(시멘트+실리카흄) 및 마이크로 입자의 EVA에 의해 분체량이 크게 증가하여 슬럼프 감소에 기인한 것으로 판단된다. 특히 EVA powder의 혼입률을 결합재(시멘트+실리카흄)량에 대한 중량비로 결정하였기 때문에 고강도 콘크리트 제조를 위한 단위 결합재량의 증가에 의하여 EVA powder의 혼입률 또한 증가하였기 때문에 슬럼프의 감소를 가져온 것으로 판단된다.

3.2 수화열

EVA powder 개질 콘크리트는 구조 및 반응 특성이 다른 무기 및 유기 결합재가 동시에 사용되기 때문에 각각의 반응 특성을 고려하는 것이 무엇보다 중요하며, 굳지 않은 콘크리트의 경화시 발생되어지는 수화열 및 수화 피크시간의 측정에 의해 각각의 응결시간 및 반응 매카니즘을 알 수 있다. EVA powder 개질 콘크리트의 수화열은 EVA powder의 혼입률에 관계없이 거의 일정한 값을 나타내었으며, 수화피크 시간은 EVA powder의 혼입률이 증가할수록 크게 지연되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 EVA powder 개질 콘크리트의 경화에서, 초기에는 결합재인 시멘트에 의한 수화반응이 발현되기 때문에 EVA powder의 혼입률이 적을수록 초기에 수화반응이 활발히 진행되고, EVA powder의 혼입률이 높을수록 EVA powder에 의한 수화반응 저해로 수화가 지연되기 때문으로 판단된다. 그러나 시멘트에 의한 수화반응이 진행된 후 EVA powder에 의한 폴리머 필름 형성 반응이 발현되기 때문에 수화열이 증가되고 EVA powder의 혼입률이 증가할수록 수화피크 시간이 후반부에서 나타나는 것으로 판단된다. 이와 같은 폴리머 개질 콘크리트의 수화 특성은 EVA powder의 혼입률 및 거푸집 탈형 시기 등을 결정하는 데 중요한 자료가 될 것으로 사료된다.

3.3 압축강도

EVA powder 개질 콘크리트의 압축강도는 EVA powder의 혼입률이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었으며, EVA powder 혼입률 4% 이내에서는 강도 감소폭이 크지 않은 반면에 EVA powder 혼입률이 6% 이상에서는 압축강도가 크게 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 EVA

2005년 한국농공학회 학술발표회 논문집(2005년 10월 28일)

powder 개질 콘크리트의 경화시 시멘트의 수화반응이 우선적으로 진행되고, 점차적으로 시멘트 페이스트, 전이영역 및 모세관 공극 속에 수분과 함께 분포하고 있는 EVA powder의 수분 증발에 의한 폴리머 필름을 형성하게 되는데, 미수화된 시멘트의 일부가 EVA powder에 의한 폴리머 필름 형성 과정에서 흡수되고 결국 시멘트에 의한 수화반응이 저해되어 강도의 감소를 가져온 것으로 판단된다. 또한, 결합재인 무기질의 시멘트와 유기질의 EVA powder의 경화에서, 시멘트는 수화반응을 위하여 수분을 절대적으로 필요로 하는 반면에 EVA powder는 재유화 후 수분 증발에 의하여 폴리머 필름을 형성하기 때문에 적정 시간 동안 수분의 억제를 필요로 한다. 이러한 결과로 폴리머 개질 콘크리트의 수중양생에 의해 폴리머 필름의 형성이 충분이 이루어지지 않았기 때문에 압축강도의 감소를 가져온 것으로 생각된다. 따라서 폴리머 개질 콘크리트의 폴리머 혼입률을 증가에 따른 압축강도의 감소를 해결하기 위한 다양한 양생방법, 유기 및 무기 결합재의 효과적인 상호 작용에 대한 연구가 계속적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

3.4 휨강도

EVA powder 개질 콘크리트의 휨강도는 EVA powder의 혼입률이 증가함에 따라 다소 증가하거나 유사한 경향을 나타내었으며, EVA powder 혼입률 6% 이상에서는 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 폴리머 개질 콘크리트에서 EVA powder 의해 전이영역에서 형성된 폴리머 필름이 골재와 시멘트 페이스트와의 휨부착을 증가시켰기 때문으로 판단되며, 폴리머 필름의 형성은 압축하중에 대한 저항성보다는 부착력의 증가에 기인한 휨하중에 대한 저항성 증가에 효과적인 것으로 생각된다. 또한 압축강도에 대한 휨강도 비는 EVA powder의 혼입률에 관계없이 모든 배합에서 EVA powder를 혼입하지 않은 콘크리트에 비하여 우수한 것으로 나타났으며, 폴리머 필름의 형성이 휨인성의 증가에 매우 효과적이라는 것을 알 수 있다.

3.5 흡수율

EVA powder 개질 콘크리트의 흡수율은 EVA powder의 혼입률이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었으며, EVA powder 혼입률 10%에서는 EVA powder를 혼입하지 않은 콘크리트와 거의 유사한 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 EVA powder 개질콘크리트에서 무기 결합재인 시멘트는 수화반응에 의해 내부 구조를 치밀하게 하는 반면에 EVA powder의 혼입은 전이영역 및 모세관 공극에서 폴리머 필름을 형성하여 콘크리트 내부의 열린 공극을 감소시키기 때문에 투수성 감소에 기인한 흡수율 저하를 가져온 것으로 판단된다. 그러나, EVA powder의 혼입률 10%에서는 폴리머 필름의 형성에 의한 공극의 감소에도 불구하고 낮은 수화반응에 의해 2~6%의 EVA powder를 혼입한 개질 콘크리트에 비하여 흡수율이 다고 증가한 것으로 판단된다.

Ⅳ. 결 론

이 연구는 동결융해저항성, 화학적 침식 등의 내구성 저하를 개선하기 위한 강도 및 수밀 특성이 우수한 폴리머 개질 콘크리트를 개발하기 위하여, 재유화형 EVA powder를 결합재 중량비로 일정 비율 혼입한 EVA powder 개질 고강도 콘크리트를 개발하고, 이에 대한 물리, 역학적 특성을 구명한 것으로서, 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

EVA powder 개질 콘크리트의 슬럼프는 EVA powder의 혼입률 4%이내에서는 동일 물/결합재비에 대하여 거의 유사한 슬럼프를 나타내었으며, EVA powder의 혼입률 4% 이상에서는 EVA powder를 혼입하지 않은 콘크리트에 비하여 약간의 슬럼프 감소를 나타내었다. 수화열은 EVA powder의 혼입률에 관계없이 거의 일정한 값을 나타내었으며, 수화피크 시간은 EVA powder의 혼입률이 증가할수록 크게 지연되는 것으로 나타났다. 압축강도는 EVA powder의 혼입률이 증가함에

따라 감소하는 경향을 나타내었으며, EVA powder 혼입률 4% 이내에서는 강도 감소폭이 크지 않은 반면에 EVA powder 혼입률이 6% 이상에서는 압축강도가 크게 감소하는 것으로 나타났다. 휨강도는 EVA powder의 혼입률이 증가함에 따라 다소 증가하거나 유사한 경향을 나타내었으며, EVA powder 혼입률 6% 이상에서는 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 흡수율은 EVA powder의 혼입률이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었으며, EVA powder 혼입률 10%에서는 EVA powder를 혼입하지 않은 콘크리트와 거의 유사한 경향을 나타내었다. EVA powder 개질 콘크리트는 시멘트의 수화반응이 우선적으로 진행되고, 점차적으로 시멘트 페이스트, 전이영역 및 모세관 공극 속에 분포한 EVA powder의 폴리머 필름이 형성되기 때문에 EVA powder의 혼입에 의한 수화반응 저해에 의한 압축강도의 감소와 폴리머 필름에 의한 휨강도 증가 및 흡수율 저하를 가져오기 때문에 무기결합재인 시멘트와 유기 결합재인 EVA powder간의 콘크리트 내에서 상호 구조 개선을 극대화 할 수 있는 방안을 강구하는 중요하다.

참 고 문 헌

1. 이윤수, 주명기, 연규석, 정인수, 2002, 재유화형 분말수지 혼입 초속경 폴리머 시멘트 모르타르의 내구성, 한국콘크리트학회지 Vol.14, No5, p660~667

2. 이윤수, 주명기, 정인수, 2001, 초속경폴리머시멘트 모르터의 내구성, 한국콘크리트학회 2001년도 가을학술발표회논문집 p123

3. Swamy, R. N., 1986, Cement replacement materials (concrete technology and design), Surrey University Press, pp. 171～196.

4. Shah, S. P. and S. H. Ahmad, 1994, High performance concrete and applications, pp. 161～199.

5. Sakai, K., N. Banthia and O. E. Gjorv., 1995, Concrete under severe conditions (environment and loading), E & FN Spon, pp. 1,675～1,683.

6. Sung, C. Y., 1995, Properties of high performance lightweight polymer concrete, Journal of the KSAE, Vol. 37, pp. 72～81.

2005년 한국농공학회 학술발표회 논문집(2005년 10월 28일)