

메타카올린을 혼입한 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 내구특성

유태호¹, 장병하^{2*}, 홍현표³

Durability of Ultrarapid-Hardening Polymer-Modified Concretes Using Metakaolin

Tae-Ho Yoo¹, Byung-Ha Chang^{2*}, Hyun-Pyo Hong³

Abstract : The effects of polymer-binder ratio and metakaolin content on the properties of ultrarapid-hardening polymer-modified concretes using metakaolin are examined. As a result, regardless of the metakaolin content, the flexural, compressive and adhesion in tension strength of the ultrarapid-hardening polymer-modified concretes tend to increase with increasing polymer-binder ratio. Regardless of the polymer-binder ratio, the strengths of the ultrarapid-hardening polymer-modified concretes increase with increasing metakaolin content, and reaches a maximum at metakaolin content of 5%. The water absorption, carbonation depth and resistance of chloride ion penetration of the ultrarapid-hardening polymer-modified concretes decrease with increasing polymer-binder ratio. The resistance of freezing and thawing improvement is attributed to the improved bond between cement hydrates and aggregates because of the incorporation of polymer dispersion.

Keywords: ultrarapid-hardening polymer-modified concrete, metakaolin content, polymer-binder ratio, strengths, durability

1. 서 론

최근에는 콘크리트 구조물이 대형화 되어감에 따라서 앞으로 유지관리의 중요성이 증대될 것이다. 현재도 도로나 상·하수도 시설을 비롯하여 지중 구조물이나 수밀성을 필요로 하는 수중 구조물 등의 다양한 콘크리트 구조물에서 균열 부위나 손상 부위에 대한 보수작업이 이루어지고 있다. 보수작업에 사용되는 재료 중에서 가장 많이 사용되는 재료는 시멘트 모르타르라고 볼 수 있다. 하지만 시멘트 모르타르는 낮은 강도특성과 경화시간이 길고 수분 손실에 따른 건조수축 변형량이 크다는 단점이 있다. 이러한 단점으로 인하여 수밀 구조물 또는 급속시공을 필요로 하는 조건에서의 시멘트 모르타르 사용은 많은 문제를 수반한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 초속경 시멘트 이용한 다양한 보수·보강 재료에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(Ssangyongcement, 1998).

이런 연구 결과를 통하여 휨 및 인장강도, 부착강도, 내약품

성, 내수성 등이 개선된 보수·보강용 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트 및 모르타르가 개발되었다. 하지만, 초속경 시멘트를 사용한 콘크리트는 조기에 빠른 강도발현에는 효과적이거나 양생 초기에, 일반 시멘트에 비해 상대적으로 높은 수화열과 건조수축으로 인해 구조물 내에서 열과 수분의 이동으로 인한 수축이 내·외부적 요인에 의해 구속됨으로써 미소균열이 발생하기 쉽다. 이러한 미소균열은 콘크리트 매트릭스 내의 투수성을 증가시키고 다양한 형태의 파괴를 유발함으로써 구조물의 역학적 특성 및 내구성 저하에 직접적인 원인이 될 수 있어 구조물의 안정성에 심각한 영향을 미칠 수 있다(Whiting et al., 1994).

한편, 메타카올린은 단기적으로 에트린자이트의 생성을 유도하며, 시멘트의 주요 광물 중 하나인 알라이트(alite)의 활성화를 유도하여 반응속도를 가속화시켜 조기강도를 증가시키며, 중장기적으로도 포졸란 반응으로 콘크리트 경화체의 조직을 치밀화 시킴으로써 콘크리트의 내구성을 현저히 개선할 수 있으며, 알칼리골재반응의 억제에도 현저한 효과가 있다고 보고되었다(전쌍순 등, 2004).

따라서, 본 연구는 내구성이 우수하여 콘크리트 표면 오버레이용 보수재로 사용가능한 고성능 재료에 관한 연구로서 초속경 시멘트와 시멘트 혼화용 라텍스를 결합체로 사용하고, 메타카올린을 첨가함으로써 초속경 폴리머 시멘트 콘크

¹정회원, ㈜삼성씨엔엠 부회장

²정회원, 이레하이테크이앤씨 부사장

³정회원, 케이에스엠기술㈜ 대표이사

*Corresponding author: gobhwd@daum.net

Ireh Hitech E&C, 42 Jangmi-Ro, Bundang-gu, Seongnam-si, 13496, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2018년 10월 1일까지 학회로 보내주시면 2018년 11월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

리트의 폴리머-결합재비 및 메타카올린 첨가량의 영향에 따른 강도 및 내구성능을 검토하였다.

2. 사용재료

2.1 초속경 시멘트

본 연구에 사용된 시멘트는 초속경 시멘트를 사용하였으며, 물리적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1 Physical Properties of Ultrarapid-Hardening Cement

Specific Surface (cm ² /g)	Setting Time (min)		Compressive Strength (MPa)					
	Initial Set	Final Set	3h	6h	1d	3d	7d	28d
5,500	8~11	12~15	26	29	35	38	42	45
	11~14	15~18						

2.2 메타카올린

메타카올린은 단기적으로는 에트린자이트(Ettringite)의 생성과 시멘트 주요 광물인 알라이트(Alite)의 활성화로 초기강도를 증가시킨다. 중·장기적으로는 시멘트의 수산화칼슘과의 포졸란 반응으로 콘크리트 조직이 치밀하게 되어 강도 및 내구성을 향상시키며, 특히 고강도용 콘크리트에 큰 효과를 발휘한다. Fig. 1은 메타카올린의 성능 개선 메커니즘을 나타낸 것이다. 메타카올린의 주요 반응은 물의 존재 하에서 수산화칼슘과 Al₂O₃와 SiO₂의 반응이다. 즉, 비결정질의 알루미늄과 실리카 성분이 수화생성물과 반응하여 C-A-H 및 C-S-H 수화물을 추가로 생성하여 치밀한 조직을 만들기 때문에 초기에 에트린자이트의 생성과 C₃S의 활성화를 가져와 초기강도를 증가시키고, 이후 포졸란 반응으로 강도 및 내구성을 향상시킨다. 본 실험에 사용된 메타카올린의 물리적 성질은 Table 2와 같다.

Table 2 Physical Properties of Metakaolin

Density (g/cm ³)	Specific Surface Area (cm ² /g)	Partical Size (μm)	Soundness (%)	ig. Loss (%)
2.53	10,000	1~2	0.08	1.95

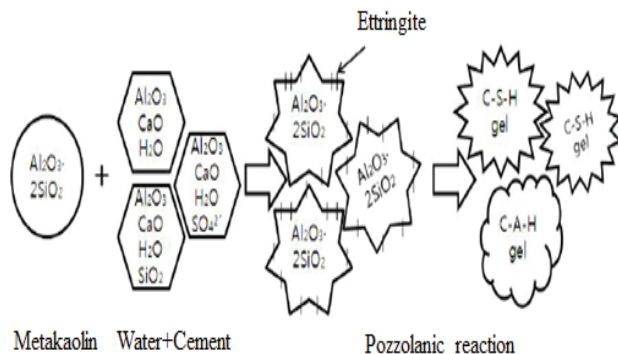


Fig. 1 Performance Improvement of Metakaolin Mechanism

2.3 골재

본 실험에 사용된 잔골재 및 굵은 골재는 부순모래 및 쇠석을 사용하였으며, 물리적 성질은 Table 3과 같다.

Table 3 Physical Properties of Aggregates

Aggregates	Size (mm)	Density (g/cm ³)	Water Absorption (%)
Fine	≤ 5.0	2.65	≤ 3.0
Coarse	≤ 19.0	2.62	≤ 3.0

2.4 시멘트 혼화용 라텍스

시멘트 혼화용 라텍스는 아크릴 에멀전과 폴리메틸아크릴레이트를 혼합한 라텍스를 사용하였다. 또한 라텍스에 대해 실리콘계 소포제를 0.9% (질량비) 첨가하였다. 라텍스의 성질은 Table 4와 같다.

Table 4 Properties of Latex

Type of polymer	Density (g/cm ³)	pH (20°C)	Glass Transition Point (°C)	Total Solids (%)
Acrylic	1.02	9.1	-10	47.0

3. 시험 방법

3.1 시험체의 제작

KS F 2403 (콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법)에

준하여 단위 시멘트량 320 kg/m³, 폴리머-결합재비 (P/B)를 0, 5, 10, 15 및 20 % (질량비), 메타카올린 첨가량(Metakaolin content)을 0, 3, 4, 5 및 6 % (시멘트 대비, 질량비), 물-결합재비 (W/B)를 38 %로 고정하여 Table 5와 같은 배합으로 시험체를 제작한 후, 2일 습윤양생(20 °C, 80 % RH), 26일 건조양생(20 °C, 60 % RH)을 실시하여 시험체를 제작하였다.

Table 5 Mix Proportions of Ultrarapid-Hardening Polymer-Modified Concrete

P/B (%)	W/B (%)	S/a (%)	Mix Proportion (kg/m ³)				
			Cement	Latex	Water	Sand	Gravel
0	38	47	320	0	122	855	964
5	38	47	320	34	104	848	956
10	38	47	320	68	86	840	948
15	38	47	320	102	67	830	943
20	38	47	320	136	50	825	911

3.2 강도

초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축, 휨 및 부착강도 시험을 각각 KS F 2405 (콘크리트의 압축강도 시험 방법), KS F 2408 (콘크리트의 휨강도 시험방법) 및 KS F 2762 (콘크리트 보수 보호재의 접착강도 시험방법)에 의하여 건조 재령 4시간 및 28일에서의 강도 시험을 실시하였다.

3.3 수밀성 시험

KS F 2476 (폴리머 시멘트 모르타르의 시험방법)에 준하여 건조양생 후, 80 °C의 건조로에서 48시간 건조시킨 시험체의 질량을 측정하고, 20 °C의 맑은 물 안에서 48시간 동안 침지한 후 질량을 측정하여 흡수율을 식(1)에 의해 산출하였다.

$$W_a = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

여기서, W_a : 흡수율 (%)
 W_0 : 건조 후의 질량 (g)
 W_1 : 흡수 후의 질량 (g)

3.4 건조수축 시험

KS F 2424 (모르타르 및 콘크리트의 길이변화 시험방법)에

준하여 건조 재령 28일에서의 길이변화율을 측정하였다.

3.5 염화물 이온 침투 저항성 시험

염소이온 침투저항성 시험은 KS F 2711 (전기 전도도에 의한 콘크리트의 염소이온 침투저항성 시험 방법)에 준하여 수행하였다. 염소이온 침투저항성 시험방법은 28일간 수중 양생한 시험체에서 직경 10 cm 코어를 채취하여 높이가 5 cm가 되도록 절단하고 실험을 수행하기 전까지 상대습도 95 % 이상 유지시킨 후 A.V. Cell에 고정하여 전하량을 산정하였다.

3.6 탄산화 시험

탄산화 시험은 KS F 2476 (폴리머 시멘트 모르타르의 시험 방법)에 규정된 방법에 의해 실시하였다. 탄산화 깊이 시험에 사용하는 시험체를 양생 종료 3일 전에 시험체의 양 끝부를 KS M 6030에 규정하는 6중 또는 이것과 같은 정도의 성능을 가진 에폭시 수지 도로로 밀봉시키고, 시험체를 온도 (30±2) °C, 상대 습도 (60±10) %, 이산화탄소 농도 5.0 %의 이산화탄소 환경조내에 거치시킨다. 정치 개시 시부터 28일 경과한 후에 시험체를 꺼내서 다시 온도 (20±2) °C, 상대 습도 (60±10) %로 24시간 정치 후에 이분할 하였다. 그 단면에 페놀프탈레인 1 % 알코올 용액을 분부하여 빨갛게 변하지 않은 부분이 탄산화 영역으로 탄산화 깊이를 측정하였다.

3.7 동결융해 시험

동결융해시험은 동결융해시험용 시험체를 대상으로 KS F 2456 (급속동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법)에 준하여 수중 급속 동결융해시험을 하였으며, 이때 시험체의 온도는 동결시 -18 °C, 융해시 4 °C가 되게 하였고, 동결융해의 1사이클은 2시간 40분이 소요되었다. 시험기간 동안 매 50사이클 간격으로 중량감소, 초음파진동속도, 상대 동탄성 계수를 측정하였고, 동결융해의 반복이 300사이클이 되었을 때 시험을 완료하였으며, 이때 식(2)에 의하여 내구성 지수를 산출하였다.

$$DF = PN/M \quad (2)$$

여기서, DF: 내구성 지수
P: N 사이클에서의 상대동탄성 계수 (%)
N: 동결융해의 노출이 끝나게 되는 순간의 사이클 수
M: 동결융해의 노출이 끝날 때의 사이클 수

4. 시험결과 및 고찰

4.1 압축강도

Fig. 2는 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축강도와 폴리머-결합재비의 관계를 나타낸 것이다. 메타카올린 첨가량에 관계없이 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축강도는 폴리머-결합재비가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으나, 폴리머-결합재비 20%에서는 감소하는 경향이 나타났다. 이는 폴리머 시멘트 콘크리트는 동일한 슬럼프 값을 기준으로 할 경우, 폴리머-결합재비가 증가할수록 물-결합재비가 감소하고 소포제 첨가량 증가로 공극률이 줄어들어 압축강도가 증가한다. 그러나 동일한 물-시멘트비 조건에서는 폴리머-결합재비가 증가할수록 압축강도는 감소하는 경향을 나타낸다. (Ohama, 1995). 이는 탄성계수가 매우 낮은 폴리머 필름의 형성률이 높기 때문이라 판단된다(Su, 1995) 즉 폴리머-결합재비 20%에서 압축강도가 감소한 것은 폴리머-결합재비 15%와 동일한 물-시멘트비에서 폴리머-결합재비가 증가했기 때문이라 판단된다. 한편, 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축강도는 폴리머-결합재비에 관계없이, 메타카올린 첨가량 5%까지는 증가하다가 6%에서는 감소하는 경향을 보였다. 이것은 메타카올린 첨가량 5%까지는 초속경 시멘트의 에트린자이트의 생성과 시멘트의 C₃S의 활성도를 촉진시켰기 때문이라고 판단되며, 첨가량 6%에서 강도가 감소한 것은 과다한 양의 메타카올린의 첨가로 인해 초기에 높은 수화열을 억제시켜 초기강도발현과 함께 미소공극을 충전시켜 조직을 치밀하게 하는 칼슘알루미늄 모노설페이트 수화물이나 에트린자이트의 생성을 방해했기 때문으로 사료된다(Moon et al., 2005(a)). 또한, 초속경 폴리머 시멘트 모르타르의 압축강도는 재령이 경과됨에 따라 증가하는 경향을 보였다. 이것은 재령이 경과함에 따라 시멘트의 수산화칼슘과 메타카올린의 포졸란 반응으로 C-S-H 수화물 또는 C-A-H 수화물을 생성하여 경화 페이스트 조직을 치밀하게 하고, 미세한 입자가 마이크로 충전 효과의 역할을 함으로써 콘크리트 내부조직이 치밀하게 되었기 때문이라 판단된다(Khatib and Wild, 1996).

Fig. 3은 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 휨강도와 폴리머-결합재비의 관계를 나타낸 것이다. 메타카올린 첨가량에 관계없이, 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 휨강도는 폴리머-결합재비의 증가에 따라 증가하는 경향을 보였다. 이 같은 휨 강도의 발현은 폴리머-결합재비가 증가할수록 물-결합재비가 감소하기 때문이고, 수지의 필름막 형성에 의한 시멘트 페이스트와 골재 사이의 부착력 향상과 폴리머 입자의 미세 공극 충전효과에 따라 강도가 개선된 것으로 판단된다

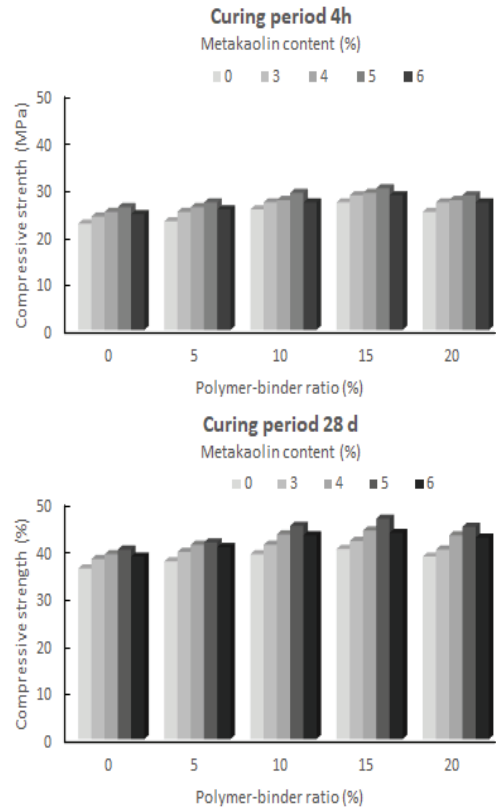


Fig. 2 Polymer-Binder Ratio Versus Compressive Strength of Ultrarapid-Hardening Polymer-Modified Concrete

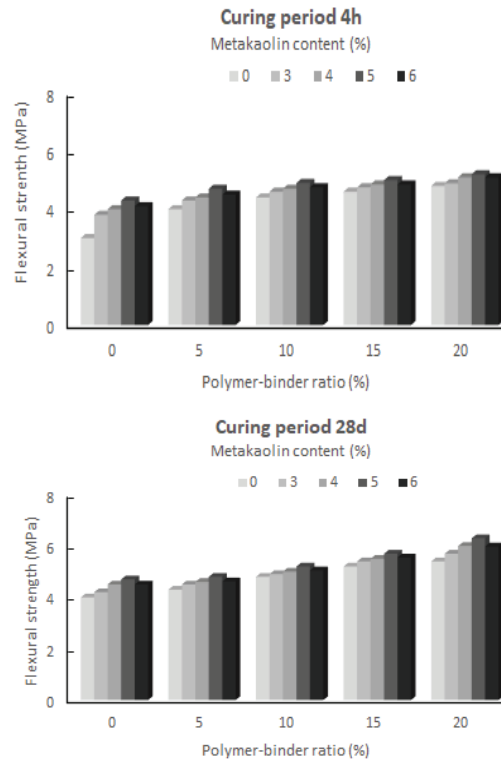
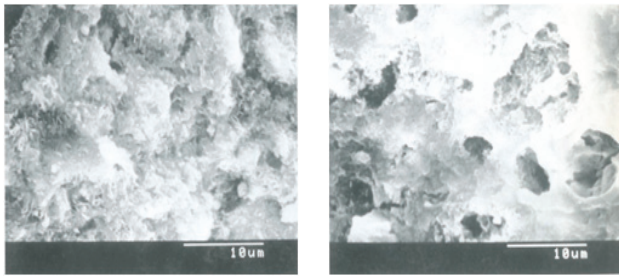


Fig. 3 Polymer-Binder Ratio Versus Flexural Strength of Ultrarapid-Hardening Polymer-Modified Concrete



(a) P/B 0%

(b) P/B 20%

Photo. 1 Micro Structures of Ultrarapid-Hardening Polymer-Modified Concrete

(Hwang and Ko, 2008). 한편, 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 휨강도는 폴리머-결합재비에 관계없이, 메타카올린 첨가량 5%까지는 증가하다가 6%에서는 감소하는 경향을 보였다. 이것은 압축강도 발현효과와 마찬가지로 칼슘알루미늄 모노실레이트 수화물이나 에트린자이트의 생성을 방해했기 때문으로 사료된다(Moon et al., 2005(b)). 또한, 초속경 폴리머 시멘트 모르타르의 휨강도는 재령이 경과됨에 따라 증가하는 경향을 보였다. 이것은 Photo. 1에 보이는 바와 같이 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트 내부에 형성된 폴리머 필름이 치밀하게 형성되기 때문이라 판단된다.

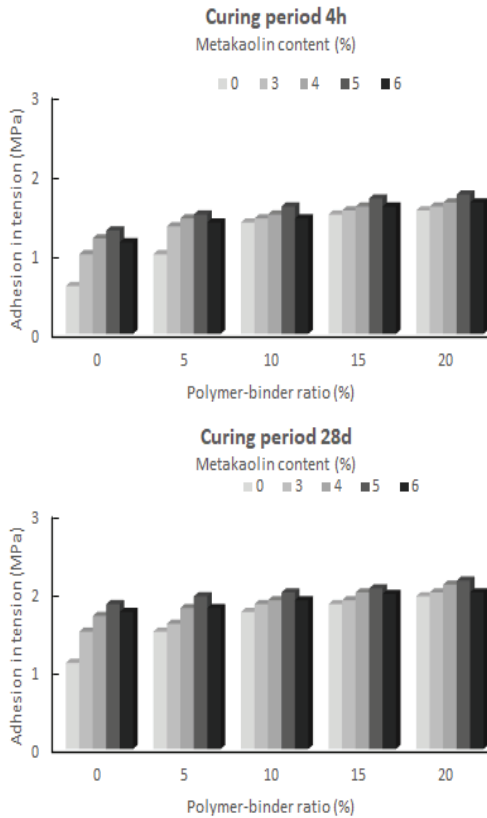


Fig. 4 Polymer-Binder Ratio Versus Adhesion in Tension Strength of Ultrarapid-Hardening Polymer-Modified Concrete

Fig. 4는 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 접착강도와 폴리머-결합재비의 관계를 나타낸 것이다. 메타카올린 첨가량에 관계없이, 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 접착강도는 폴리머-결합재비의 증가에 따라 증가하는 경향을 보였다. 이 같은 접착 강도의 발현은 초속경 폴리머 시멘트 모르타르의 접착 계면에 형성된 폴리머 필름에 의해 모재와 초속경 폴리머 시멘트 모르타르간의 치밀한 조직이 형성되고, 초속경 폴리머 시멘트 모르타르의 우수한 보수성에 의한 바탕 모르타르에서 모재에의 흡수가 감소하여 드라이 아웃(Dry out)이 저지되었기 때문이라 판단 된다(Kim, 2006). 한편, 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 접착강도는 폴리머-결합재비에 관계없이, 메타카올린 첨가량 5%까지는 증가하다가 6%에서는 감소하는 경향을 보였다. 이는 압축 및 휨강도 발현효과와 마찬가지로 칼슘알루미늄 모노실레이트 수화물이나 에트린자이트의 생성을 방해했기 때문이라고 사료된다(Moon et al., 2005(c)).

4.2 수밀성

Fig. 5는 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 흡수율과 폴리머-결합재비의 관계를 나타낸 것이다. 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 흡수율은 폴리머-결합재비의 증가에 따라서 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 흡수율은 보통 초속경 시멘트 콘크리트에 비해 약 1/3 정도로 매우 우수한 내수성을 나타냈다. 또한, 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 흡수율은 메타카올린 첨가량 5%까지나 감소하다가 6%에서는 다소 증가하는 경향을 보였다. 이처럼 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 흡수율이 작아지는 것은 콘크리트 중에 형성된 균일한 폴리머 필름에 의한 수밀성 확보와 폴리머의 혼입에 따른 시멘트와 골재간의 접착력이 개선되어 치밀한 내부조직이 형성되기 때문인 것으로 판단된다(Kim et al., 1994). 또한, 메타카올린 첨가량 5%까지는 마이크로 충전효과로 흡수율이 저하되는 것이라 판단된다.

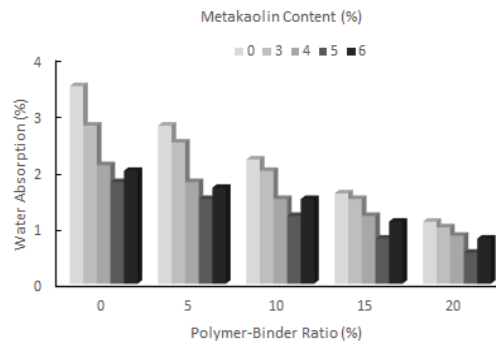


Fig. 5 Polymer-Binder Ratio Versus 48h Water Absorption of Ultrarapid-Hardening Polymer-Modified Concrete

4.3 건조수축

Fig. 6은 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 건조수축과 폴리머-결합재비의 관계를 나타낸 것이다. 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 건조수축은 폴리머-결합재비의 증가에 따라서 감소하는 경향을 나타냈다. 수지를 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르에 관한 연구들에서 건조수축은 폴리머-결합재비가 증가함에 따라 물-결합재비가 감소하고, 폴리머 시멘트 콘크리트의 내부에 폴리머 필름 형성에 의한 보수성 향상으로 증발 수량이 감소하기 때문인 것으로 판단된다(Lee and Joo, 2003). 또한 폴리머 혼입에 의하여 모세관 중의 물의 표면장력이 적어지고, 물의 주곡률 반경(Meniscus)이 커져 모세관에 발생하는 압력이 저하되기 때문이라 사료된다(Kim, 1998(a)). 또한, 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 건조수축은 메타카올린 첨가량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 이것은 플라이애쉬와 마찬가지로 메타카올린 첨가량이 증가할수록 초속경 시멘트의 수화열을 낮춰 초기팽창과 수축을 줄이기 때문이라 판단된다(Choi, 2010).

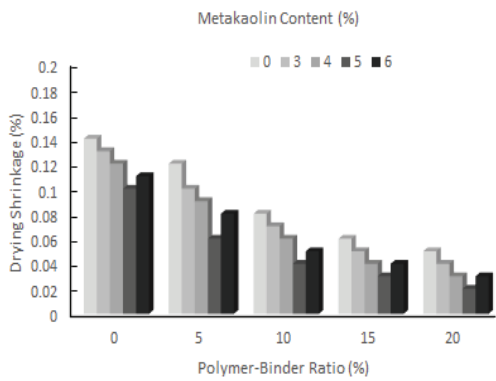


Fig. 6 Polymer-Binder Ratio Versus Drying Shrinkage of Ultrarapid-Hardening Polymer-Modified Concrete

4.4 염화물 이온 침투 저항성

Fig. 7은 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 염화물 이온 침투 저항성과 폴리머-결합재비의 관계를 나타낸 것이다. 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 염화물 이온 침투 저항성은 폴리머-결합재비의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다. 이것은 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트 중에 형성된 폴리머 필름이 다수의 공극을 차단하고 폴리머 시멘트 모르타르의 보수성으로 인해 지속적인 수화반응을 촉진시켜 콘크리트 조직을 치밀하게 하기 때문이라 판단된다(Jo, 2009). 한편, 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 염화물 이온 침투 저항성은 폴리머-결합재비에 관계없이, 메타카올린 첨가량 5%까지는 감소하다가 6%에서는 증가하는 경향을 보였다. 이것은 초기 에트린

자이트의 생성과 마이크로 충전효과에 의해 감소하다가 칼슘 알루미늄 모노실레이트 수화물이나 에트린자이트의 생성을 방해하기 때문으로 사료된다(Moon et al., 2005(d)).

4.5 탄산화

Fig. 8은 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 탄산화 깊이와 폴리머-결합재비의 관계를 나타낸 것이다. 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 탄산화 깊이는 폴리머-결합재비의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다. 이것은 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트 중에 형성된 불투기성 폴리머 필름의 양이 증가하여 이산화탄소의 침투 및 확산이 억제되었기 때문이라 판단된다(Bae and Hwang, 2013). 한편, 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 탄산화 깊이는 폴리머-결합재비에 관계없이, 메타카올린 첨가량 5%까지는 감소하다가 6%에서는 증가하는 경향을 보였다. 이것은 메타카올린과 같은 포졸란 재료는 콘크리트 중의 CaOH_2 과 포졸란 반응에 의해 수화생성물인 C-S-H 및 C-A-H를 생성함으로써 콘크리트 중의 CaOH_2 을 소모하게 되어 알칼리도가 감소하기 때문인 것으로 판단된다.

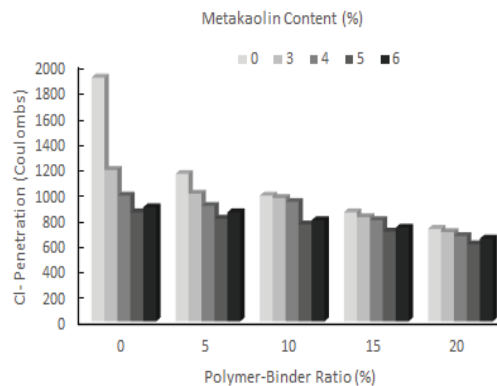


Fig. 7 Polymer-Binder Ratio Versus Chloride ion Penetration Resistance of Ultrarapid-Hardening Polymer-Modified Concrete

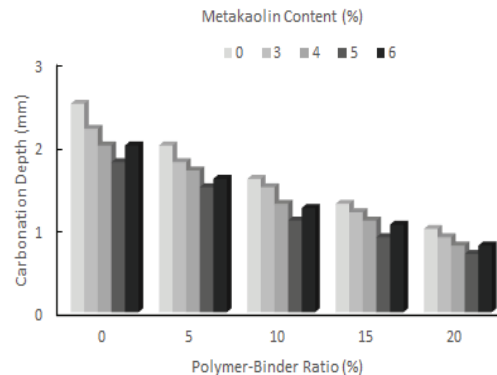


Fig. 8 Polymer-Binder Ratio Versus Carbonation Depth of Ultrarapid-Hardening Polymer-Modified Concrete

4.6 동결융해 저항성

Fig. 9는 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 내구성 지수와 폴리머-결합재비의 관계를 나타낸 것이다. 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 내구성 지수는 폴리머-결합재비의 증가에 따라 증가하는 경향을 나타냈다. 또한, 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 내구성 지수는 메타카올린 첨가량의 증가에 따라 증가하는 경향을 보였다. 이러한 동결융해 저항성의 개선 효과는 물-시멘트비의 감소, 폴리머 필름 형성에 의한 미세한 공극의 충전 및 폴리머와 계면활성제에 의한 공기연행의 상승 효과에 기인하기 때문이라 판단되며(Kim, 1998(b)), 메타카올린이 콘크리트 내부의 큰 공극을 줄이는 대신 상대적으로 0.02 μm 이하의 미세 공극의 비율이 늘어나기 때문이라 판단된다.

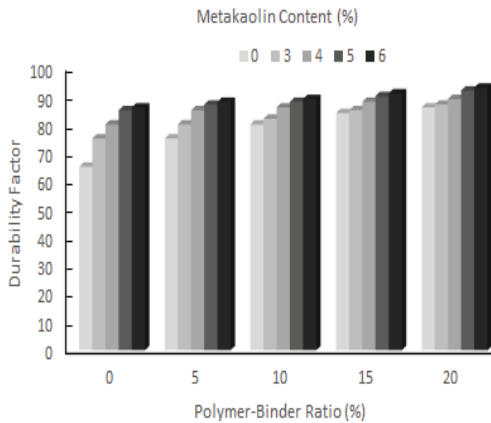


Fig. 9 Polymer-Binder Ratio Versus Durability Factor of Ultrarapid-Hardening Polymer-Modified Concretes

5. 결론

본 연구는 초속경 시멘트 콘크리트의 강도 및 내구성능을 향상시키고자 초속경 시멘트에 시멘트 혼화용 폴리머와 고반응성 광물질 혼화제인 메타카올린을 혼합하여 조기교통개방이 가능한 초기강도발현과 내구성 개선을 목적으로 개발하여 물리·역학적 특성 및 내구특성에 대한 실험을 수행하여 기존 초속경 시멘트 모르타르와 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축, 휨 및 접착강도는 폴리머-결합재비의 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으나, 압축강도에서는 폴리머-결합재비 20%에서 약간 감소하는 경향을 보였다.

- 2) 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 흡수율, 염화물 이온 침투 저항성 및 탄산화 깊이는 폴리머-결합재비가 증가할수록, 메타카올린 첨가량 5%까지 감소하였고, 보통 초속경 시멘트 콘크리트보다 각각 1/2 ~ 1/3정도로 감소하여 매우 우수하게 나타났다.
- 3) 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 건조수축은 폴리머-결합재비 및 메타카올린 첨가량의 증가에 따라 감소하였고, 보통 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트보다 약 1/3정도 낮은 값을 나타내 건조수축에 의한 균열저항성이 우수하였다.
- 4) 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 동결융해 저항성은 폴리머-결합재비 및 메타카올린 첨가량의 증가에 따라 개선되었고, 보통 초속경 시멘트 콘크리트보다 메타카올린 첨가량 6% 및 폴리머-결합재비 20%인 경우 약 35% 정도 개선되었다.
- 5) 이상과 같은 결과는 메타카올린의 주요 성분인 비결정질의 알루미늄과 실리카 성분이 시멘트 수화생성물과 반응하여 C-A-H 및 C-S-H 수화물을 추가로 생성하여 치밀한 수화 조직을 만들기 때문에 단기적으로 에트린자이트의 생성과 시멘트의 C₃S의 활성화를 가져와 조기강도를 증가시키고, 중장기적으로 시멘트의 수산화칼슘과 포졸란 반응으로 강도 및 내구성을 향상시키기 때문이라 판단된다.
- 6) 이상의 결과로부터, 본 연구의 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 최적 배합비를 폴리머-결합재비 10 ~ 15% 및 메타카올린 첨가량 5%로 도출하였다. 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트는 고내구성을 요구하는 긴급공사에 활용 가능성이 높아 추후의 연구를 통하여 현장 적용성을 평가할 예정이다.

감사의 글

본 연구에 아낌없이 지원해 주신 관계회사 여러분께 감사드립니다.

References

1. 전쌍순, 이효민, 진치섭, 황진연 (2004) 메타카올린 치환에 따른 알칼리-실리카 반응팽창 저감효과, *한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집*, Vol. 16, No. 1, pp. 360-363
2. Ssangyongcement (1998), Ssangyong Ultra Rapid Hardening Cement I, Engineering Report
3. Whiting, D., Nagi, M. and Okamoto, P. A. (1994), Early Strength Gain of Rapid High Repair Concrete, *Concrete International*, 16(8), 28-35.
4. Ohama, Y. (1995), Handbook of Polymer-Modified Concrete and

Mortars, *Noyes Publications*, 1995

5. Su, Z. (1995), Microstructure of Polymer Cement Concrete, Ph.D. dissertation, Delft Univ. of Technology.
6. Moon, D. J., Ju, J. E., Jo, J. H., Kang, H. J., Choi, Y. W. (2005), "Strength Properties of Mortar Containing Metakaolin", *Journal of Korea Concrete Institute*, 639-642.
7. Khatib J. M., Wild S. (1996), Pore size distribution of metakaolin paste, *Cement Concrete Res.*, 26(10), 1545-1553.
8. Hwang, E. H., Ko, Y. S. (2008), Comparison of Mechanical and Physical Properties of SBR-Polymer Modified Mortars Using Recycled Waste Materials, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 14, 644-650.
9. Kim, W. K. (2006), Strength and Adhesion Properties of Polymer-Modified Mortars Using Redispersible Powdres and Polymer Dispersions, *Journal of Architectural Institute of Korea*, 22(4), 119-126.
10. Kim, W., Ohama, Y., Demura, K. (1994), Drying Shrinkage Reduction of Polymer-Modified Mortars Using Redispersible Polymer Powder by Use of Shrinkage-Reducing Agents, *Journal of Cement-Concrete*, 48, 796-801.
11. Lee, Y. S., Joo, M. K. (2003), Drying Shrinkage and Strength properties of Ultrarapid-hardening Polymer-Modified Mortar Using Redispersible Polymer Powder, *Journal of Korea Concrete Institute*, 15(3), 412-415.
12. Kim, W. (1998), Drying Shrinkage Reduction of Polymer-Modified Mortars Using Redispersible Polymer Powder by Use of Shrinkage-Reducing Agents, Ph.D. dissertation, Nihon University.
13. Choi, P. G. (2010), Early-Age Shrinkage and Air Void Structure of Very-Early Strength Latex-Modified Concrete Using Ultra-Fine Fly Ash, Ph.D. dissertation, Kangwon Univ.
14. Jo, Y. K. (2009), A Study on the Water Permeability and Dry Shrinkage of Polymer Cement Composites", *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 9(5), 73-79
15. Bae, S. C., Hyung, W. G. (2013), Properties of Polymer Modified Mortars Using Re-dispersible Polymer Powder, *Journal of The Korea Institute of Building Construction*, 13(3), 235-241.

Received : 04/27/2018

Revised : 06/04/2018

Accepted : 06/19/2018

요 지 : 이 본 연구에서는 메타카올린을 혼입한 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축, 휨, 부착강도, 수밀성, 염화물 이온 침투 저항성, 탄산화 깊이 및 동결융해 저항성에 미치는 폴리머-결합재비 및 메타카올린 첨가량의 영향에 대하여 검토하였다. 그 결과, 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 휨, 압축 및 부착강도는 폴리머-결합재비의 증가에 따라 증가하는 경향을 보였다. 폴리머-결합재비에 관계없이, 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 강도는 메타카올린 첨가량의 증가에 따라 증가하였으며, 메타카올린 첨가량 5%에서 최고 값을 나타내었다. 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 흡수율, 탄산화 깊이 및 염화물 이온 침투 저항성은 폴리머-결합재비의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다. 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트의 동결융해 저항성의 개선은 폴리머 에멀전의 혼입에 의해 시멘트 수화물과 골재간의 접촉성이 개선되기 때문이라 판단된다.

핵심용어 : 초속경 폴리머 시멘트 콘크리트, 메타카올린 첨가량, 폴리머-결합재비, 강도, 내구성
