

메타카올린 혼입 콘크리트의 성능 평가

Evaluation on the Performance of Concrete Containing Metakaolin

원 종 필 · 권 연 성 · *이 찬 민 (건국대) · 김 완 영 (한국수자원공사)
Won, Jong-Pil · Kwon, Youn-Sung · *Lee, Chan-Min · Kim, Wan-Yong

ABSTRACT

The purpose of this research was to evaluate on the properties of fresh and hardened high-performance concrete(HPC) incorporating high-reactivity metakaolin(HRM). Setting time, heat of hydration, compressive strength, resistance to chloride-ion penetration, and repeated freezing and thawing test were carried out in order to investigate the properties of fresh and hardened state concrete. The properties of the HRM concrete were also compared with those of the portland cement concrete and silica fume(SF) concrete.

The laboratory test results indicate that HRM material can be used as a supplementary cementitious material to produce high-performance concrete.

I. 서 론

콘크리트 구조물이 초고층화, 대형화, 그리고 특수화 되어감에 따라 보다 합리적이고 경제적인 구조시스템의 개발이 요구되고 있다. 새로운 구조시스템은 보다 효용이 높은 건설재료를 필요로 하고 있으며 이를 위한 방안으로 현재까지 지구상에서 가장 보편적인 건설재료인 콘크리트의 고품질화가 적극적으로 검토되고 있다. 콘크리트의 고품질화의 일환으로 고강도화가 그의 무게에 대한 낮은 강도를 개선하기 위하여 국내외에서 많이 사용되어지고 있다^{1,2)}.

고강도이면서 높은 유동성을 나타내며 양호한 내구성을 가지는 콘크리트 제조에 있어 주로 사용되는 대표적인 혼화재로는 실리카 흙을 들 수 있는데 실리카 흙은 높은 포졸란 반응과 큰 비표면적을 가지는 특별한 특성 때문에 콘크리트의 역학적 성능 및 화학저항성을 향상시킨다^{3~5)}.

또한 메타카올린은 실리카 흙과 유사한 성능을 가지는 새로운 혼화재료로서 콘크리트 건설 산업에 가장 최근에 소개된 광물질 혼화제이다⁷⁾. 포졸란 재료로서 메타카올린의 특성은 실리카 흙과 유사하며, 따라서 그 성능이 실리카 흙과 비교가 많이 된다. 그러나 실리카 흙이 폭넓게 사용되고 관계 문헌이 풍부한 반면 메타카올린은 그 적용에 대한 관심이 점점 증가는 하고 있지만 연구는 많이 되고 있지는 않은 실정이다^{8,9)}.

이에 본 연구에서는 메타카올린을 첨가한 고성능콘크리트의 기초물성을 기존에 널리 쓰이던 혼화제인 실리카 흙을 첨가한 콘크리트와 비교하여 그 성능을 고찰하였다. 응결시간과 수화열 실험을 실시하여 굳지 않은 콘크리트의 성능을 측정하였다. 경화된 콘크리트의 경우에는 압축강도와 내구성을 측정하였는데, 본 실험에서 수행된 내구성 평가시험은 투수성, 마모 및 동결·융해 반복 저항성이다.

II. 사용재료 및 실험방법

1. 시멘트 및 골재

본 연구에 사용된 시멘트는 국내 H사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 잔골재는 비중 2.61의 강모래를 사용하였고, 굵은 골재는 비중 2.62, 최대치수 25 mm의 부순돌을 사용하였다.

2. 실리카 흙 및 고반응성 메타카올린

실리카 흙은 캐나다산이며 고반응성 메타카올린은 미국산으로 물리·화학적 특성은 Table 1 및 Table 2와 같다.

3. 배합설계

본 연구에서는 단위시멘트량과 단위수량은 각각 600 kg/m^3 와 180 kg/m^3 로 고정시켰으며 실리카 흙과 메타카올린을 시멘트 중량에 대해 0%, 2.5%, 5%, 10%로 대체하였다. 고유동화제 및 공기연행제를 사용하여 공기량을 3~4%, 슬럼프를 60~70 cm로 고정하였다. 배합설계는 Table 3과 같다.

Table 1 Physical and chemical properties of silica fume

Specific gravity	Fineness (cm ² /g)	Average particle size(μm)	L.O.I. (%)				
2.2	180,000-200,000	0.1	1.5				
Chemical compositions(%)							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
94.0	0.3	0.8	0.3	0.4	0.2	0.8	-

Table 2 Physical and chemical properties of HRM

Specific gravity	Fineness (cm ² /g)	Average particle size(μm)	L.O.I. (%)				
2.5	150,000	1.5	0.89				
Chemical compositions(%)							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
49.40	46.23	0.54	0.05	-	0.16	0.17	1.79

Table 3 Mix proportions

Type of concrete	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/ m ³)						
			W	C	S	G	Mineral admixture	AE*	SP**
0	30	50	180	600	769.3	772.2	0	0	10.2
S2.5				585			15	0.012	10.8
S5				570			30	0.018	12
S10				540			60	0.024	14.4
M2.5				585			15	0.024	10.8
M5				570			30	0.030	11.4
M10				540			60	0.042	13.2

S: Silica fume, M: Metakaolin *: Air entraining agent **: Superplasticizer

III. 실험방법

1. 응결시간

KS F 2436의 「관입저항침에 의한 콘크리트 응결시간 시험방법」에 따라 응결시간을 측정하였다.

2. 수화열

스티로폼 용기로 단열장치를 만들어 실험을 실시하였다. 300×300×250 mm의 몰드에 콘크리트를 채워 중심부에 온도센서(Thermocuples) 2개를 묻고 콘크리트의 온도상승을 측정하였다.

3. 압축강도

압축강도는 KS F 2405에 의하여 측정하였으며, Φ100×200 mm의 실린더를 제작하여 채령 7일, 14일, 28일에 대하여 3개씩 2회 반복실험 하였다.

4. 내구성 시험

고성능 콘크리트의 투수성을 알아보기 위한 염화물 투수시험은 ASTM C 1202에 준하여 실시하였다. 동결·융해 저항성은 100×100×400 mm의 각주형 공시체를 제작하여 실내에서 23±2 °C의 항온조건으로 14일간 수중양생한 후 KS F 2456에 따라 시험을 실시하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 응결시간

응결시간 시험결과는 Fig. 1~3과 같다. 각 대체수준에서 메타카올린과 실리카 흙 모두 10시간 이상의 응결시간을 나타내었다. 실리카 흙을 혼입한 콘크리트는 모든 대체수준에서 보통 포틀랜드 시멘트보다 응결시간에서 감소효과를 나타내었고, 메타카올린을 혼입한 콘크리트는 10% 대체수준에서만 보통 포틀랜드 시멘트보다 응결시간의 지연 효과를 나타내었다. 또한 각 대체수준끼리 비교할 때 메타카올린을 혼입한 콘크리트가 실리카 흙을 혼입한 콘크리트보다 더 큰 응결지연 효과를 나타내었다.

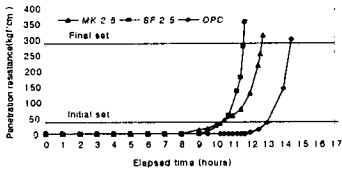


Fig. 1 The setting time of 2.5% substitution ratio of admixtures

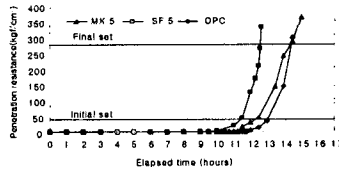


Fig. 2 The setting time of 5% substitution ratio of admixtures

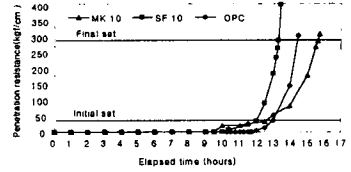


Fig. 3 The setting time of 10% substitution ratio of admixtures

2. 수화열

수화열 시험결과는 Fig. 4~6과 같다. 각 대체수준에서 메타카올린과 실리카 흙은 비슷한 경향을 보였으며, 2.5%와 5% 대체수준에서는 보통 포틀랜드 시멘트보다 수화열이 약간 낮은 경향을 보였으나 10% 대체수준에서는 더 높은 수화열을 나타내었다. 이는 대체수준이 높아질수록 메타카올린과 실리카 흙의 미세한 입자에 의해 수화반응이 더 활발히 일어나기 때문이다.

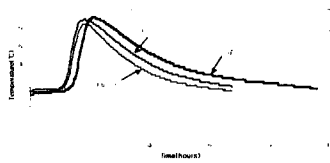


Fig. 4 Heat of hydration of 2.5% substitution ratio of admixtures

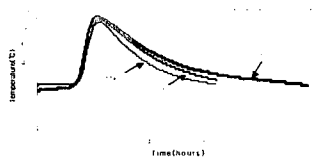


Fig. 5 Heat of hydration of 5% substitution ratio of admixtures

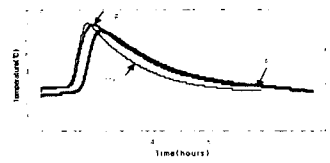


Fig. 6 Heat of hydration of 10% substitution ratio of admixtures

3. 압축강도

보통 포틀랜드 시멘트와 메타카올린, 실리카 흙을 사용한 고성능 콘크리트의 압축강도 시험결과는 Fig. 7 ~ 9와 같다. 대체수준 2.5%에서 메타카올린 혼입 콘크리트가 실리카 흙 혼입 콘크리트보다 7일에 약 4%, 14일에 2% 정도 큰 강도를 보이다가 28일에는 거의 같은 압축강도를 나타내었다. 5%의 대체수준에서는 7일에 메타카올린 혼입 콘크리트가 실리카 흙 혼입 콘크리트보다 약 10%의 높은 강도를 나타내었다가 14일에는 그 차이가 1.5%로 줄어들었으며 28일에는 약 2%의 감소를 나타내었다. 그러나 10% 대체수준에서는 7일과 14일에 약 8%의 강도증진을 나타냈으며, 28일에는 2% 높은 압축강도를 나타내었다.

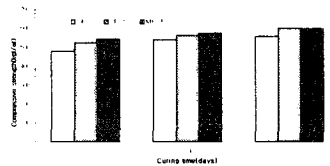


Fig. 7 Compressive strength of 2.5% substitution ratio of admixtures

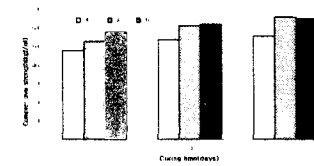


Fig. 8 Compressive strength of 2.5% substitution ratio of admixtures

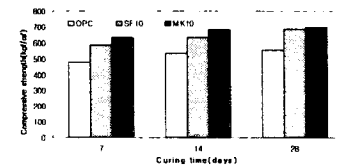


Fig. 9 Compressive strength of 10% substitution ratio of admixtures

4. 내구성 시험결과

고성능 콘크리트의 간접적인 투수성을 알아보기 위한 염소이온투과 시험 결과는 Fig. 10 및 11과 같다. 2.5%와 5% 대체수준에서는 실리카 흙에 비하여 메타카올린의 효과가 뚜렷하게 보이지 않았다. 그러나 10% 대체수준에서 7일에는 메타카올린 혼입 콘크리트가 더 낮은 수준의 투수성을 보였다. 28일에는 거의 동일한 매우 낮은 투수성을 보였다. 동결·융해에 대한 저항성은 Fig. 12 및 13과 같이 메타카올린과 실리카 흙을 첨가한 콘크리트와 보통 포틀랜드 시멘트 콘크리트 모두 300 사이클까지 95% 이상의 우수한 내구성능을 나타내었다.

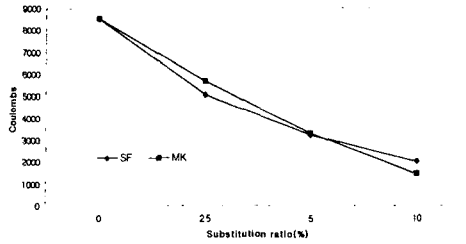


Fig. 10 Chloride permeability after 7 days of curing of high performance concrete with silica fume and metakaolin

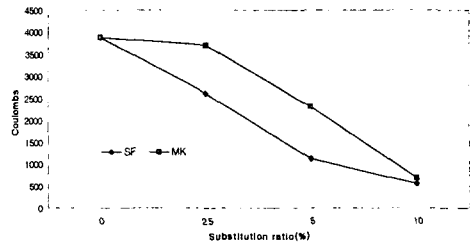


Fig. 11 Chloride Permeability after 28 days of curing of high performance concrete with silica fume and metakaolin

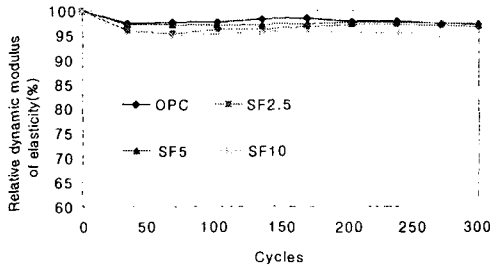


Fig. 12 Repeated freezing and thawing cycles of high-performance concrete with silica fume

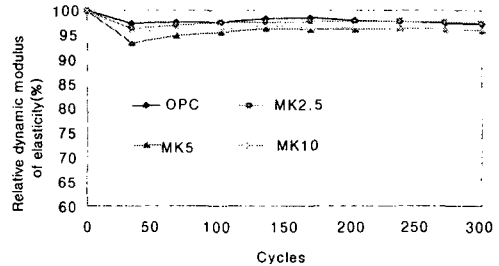


Fig. 13 Repeated freezing and thawing cycles of high-performance concrete with metakaolin

IV. 결 론

본 연구는 실리카 흙의 대체재료로서 메타카올린의 적용가능성을 평가하기 위하여 두 광물질 혼화재를 변수로 하여 고성능 콘크리트의 기본물성 및 내구성능을 평가하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 응결시간은 다량의 고유동화제의 사용에 의하여 모든 대체수준에서 10시간 이상의 지연효과를 나타내었고, 각 대체수준에서 메타카올린이 실리카 흙보다 응결지연 효과가 더 크게 나타났다.
- (2) 수화열은 각 대체수준에서 메타카올린은 실리카 흙과 비슷한 거동을 나타내었다.
- (3) 압축강도는 혼화제의 대체 수준이 증가할수록 커지는 경향을 보였는데, 28일에 비해 7일과 14일에 메타카올린을 혼입한 콘크리트가 실리카 흙을 혼입한 콘크리트보다 더 높은 강도를 나타내었다.
- (4) 염화물 투수 시험에 있어서는 25%와 5% 혼화제 대체수준에서는 실리카 흙에 비하여 뚜렷한 메타카올린의 효과가 보이지 않았으나 10% 대체수준에서는 7일에 메타카올린 혼입 콘크리트가 더 낮은 수준의 투수성을 보였다. 28일에는 거의 동일한 투수율을 보였다.
- (5) 동결·융해 저항성에서는 모든 대체수준에서 95% 이상의 양호한 성능을 나타내었다.

참고문헌

1. 한국 콘크리트학회 편찬, 최신 콘크리트공학, 1999, pp. 155.
2. A.Kmita, "A new generation of concrete in civil engineering", *Journal of Material Processing Technology* 106. 2000. pp.80~86
3. J. Zelic, R. Krstulovic, E. Tkalcec, P. Krolo, "The properties of Portland cement-limestone-silica fume mortars", *Cement and Concrete Research* 30. 2000. pp.145~152
4. M.J. Shannag, "High strength concrete containing natural pozzolan and silica fume", *Cement & Concrete Composites* 22(2000) pp.399~406
5. S. Wild, B. B. Sabir, and J. M. Khatib, "Factors influencing strength development of concrete containing silica fume", *Cement and Concrete Research* 25. 1995. pp.1567~1580
6. 한국콘크리트학회 편찬, 시멘트·콘크리트의 품질시험 및 품질관리, 1995, pp.290~331
7. Terrence Ramlochan, Michael Thomas, Karen A. Gruber, "The effect of metakaolin on alkali-silica reaction in concrete", *Cement and Concrete Research* 30. 2000. pp.339~344
8. A. Palomo, M. T. Blanco, M. L. Granizo, F. Puertas, T. Vazquez, M.W. Grutzeck, "Chemical stability of cementitious materials based on metakaolin", *Cement and Concrete Research* 29. 1999. pp.997~1004
9. F. Curcio, B. A. DeAngelis, S. Pagliolico, "Metakaolin as a pozzolanic microfiller for high-performance mortars", *Cement and Concrete Research* 28. 1998. pp.803~809