

Metakaolin 혼합 고강도 콘크리트의 내구특성 평가

Estimation on the Durability of High-Performance Concrete Using Metakaolin

문 한 영^{*} 염 준 환^{**} 문 수 동^{***} 이 상 호^{****}
Moon, Han Young Yum, Jun Hwan Moon, Su Dong Lee, Sang Ho

ABSTRACT

Metakaolin is a cementitious material for producing high-strength concrete. This material is now used as substitute for silica-fume. In this paper, we tested the compressive strength of concrete according to the substitute ratio of metakaolin, silica-fume. And we did the durability test such as chloride ion diffusion and chemical attack. In the compressive strength test, the result shows that 10% substitute of metakaolin & silica-fume for binder is optimum. In the chloride ion diffusion test, according to the increase of substitute of metakaolin & silica-fume for binder, the diffusion coefficient is more reduced. And in the chemical attack test, according to the increase of substitute, the resistance is more excellent. In the durability test, we recognized that metakaolin is able to used as a substitute for silica-fume.

1. 서 론

최근 구조물이 다양화 되면서 콘크리트의 작업성 및 내구성에 대한 관심이 크게 증가함에 따라 고강도, 고내구성을 가지는 고성능 콘크리트에 대한 요구가 증가되고 있다. 이러한 고성능 콘크리트를 제조하기 위한 수단으로 혼화재의 사용에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔으며, 지금까지 개발된 대표적인 혼화재료로서는 플라이애쉬, 고로슬래그 미분말 및 실리카 흙 등을 들 수 있다. 특히 실리카 흙을 혼합한 콘크리트는 강도나 내구성 면에서 우수하여, 고강도 콘크리트나 내화확성이 요구되는 콘크리트에 적극 활용되고 있다. 그러나, 실리카 흙은 다른 혼화재료에 비하여 단가가 높아 건설비용이 크게 상승하므로 실리카 흙과 유사한 정도의 효과를 가지면서 경제적인 혼화재료로 메타카올린에 대한 연구가 주목받고 있다.

본 연구에서는 메타카올린을 사용한 콘크리트의 강도 특성, 염화물 침투 저항성 및 산침식 등 내구성에 대하여 실험을 통하여 고찰함으로써, 고강도, 고내구성을 가진 고성능 콘크리트의 제조를 위한 메타카올린의 적용가능성을 확인하고자 한다.

* 정회원. 한양대 토목공학과 교수
** 정회원. 한양대 토목공학과 석사과정
*** 정회원. 대림산업(주) 용인기술연구소
**** 정회원. 대림산업(주) 용인기술연구소, 한양대학교 토목공학과 박사과정.

2. 시험개요

2.1 사용재료

결합재는 S사의 1종 시멘트(NPC)와 광물질 혼화재로 플라이애쉬(FA), 메타카올린(MK) 및 실리카흙(SF)을 사용하였으며, 이들의 화학성분 및 물리적 특성을 Table 1에 나타내었다.

잔골재는 세척사를, 굵은 골재는 최대치수 20mm 부순 골재를 사용하였다. 또한 화학혼화제로 PNS계열 고성능AE감수제를 사용하였다.

Table 1. Chemical compositions and physical properties of material

	Composition (%)							specific gravity	Blaine (cm ² /g)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O+K ₂ O		
NPC	21.95	6.59	2.81	-	60.1	3.32	-	3.15	3,112
FA	66.65	22.98	1.92	-	1.61	0.87	-	2.20	4,258
MK	56	37	2.4	0.2	2.4	0.3	0.9	2.63	120,000
SF	94.0	0.3	0.8	-	0.3	0.4	1.0	2.20	200,000

2.2 시험방법

(1) 콘크리트의 압축강도

콘크리트의 압축강도는 $\phi 10 \times 20$ cm의 원주형 공시체로 재령 1, 3, 7, 28, 56 및 91일에서 KS F 2405에 준하여 측정하였다.

(2) 콘크리트의 염분침투 저항성

콘크리트의 염분침투 저항성 실험은 ASTM C 1202에 준하여 재령 28, 56, 90일 측정하였으며, 총통과 전하량은 아래 식 (1)과 같이 구하였다. 또한 Berke가 제안한 식 (2)로부터 염화물이온 확산계수를 산정하였다.

$$Q_{total} = 900 \times (I_0 + 2(I_{30} + I_{60} + \dots + I_{330}) + I_{360}) \quad (1)$$

$$D_{berke} = 0.0103 \times 10^{-12} \times (Q_{total})^{0.84} \quad (m^2/s) \quad (2)$$

(3) 모르타르의 산침식 저항성

압축강도용 모르타르 공시체 제작 28일 동안 수중 양생한 후 2% 황산용액에 침지시켜 소정의 압축강도를 KS L 5105에 의하여 측정하였으며, 압축강도 감소율은 다음 식(3)와 같이 계산하였다.

$$\text{압축강도 감소율 (\%)} = \frac{C_w - C_s}{C_w} \times 100 \quad (3)$$

2.3 콘크리트의 배합

설계기준강도 600kgf/cm², 배합강도 720kgf/cm², 슬럼프플로우 50±5.0cm 및 공기량 3.0±1.0% 목표로 고성능AE감수제를 사용하였으며, 물-결합재비를 25.0%로 정한 콘크리트의 배합은 Table 2와 같다. 모든 콘크리트 배합에서 결합재 중량의 20%는 플라이애쉬로 치환하였다.

Table 2. Mix proportions of concrete

	W/B (%)	s/a (%)	Unit Weight (kg/m ³)							
			Binder				W	S	G	Chemical admixture
			C	FA	MK	SF				
Control	25	37	563	141	-	-	176	532	915	15.488
MK05	25	37	528	141	35	-	176	529	909	15.488
MK10	25	37	493	141	70	-	176	525	903	15.488
MK15	25	37	458	141	106	-	176	522	897	15.488
MK20	25	37	422	141	141	-	176	518	891	15.488
SF05	25	37	528	141	-	35	176	530	911	15.488
SF10	25	37	493	141	-	70	176	528	908	15.488
SF15	25	37	458	141	-	106	176	526	904	15.488
SF20	25	37	422	141	-	141	176	524	900	15.488

3. 시험결과 및 고찰

3.1 콘크리트의 압축강도

콘크리트의 압축강도 시험결과를 정리하여 나타낸 것이 Fig. 1이다.

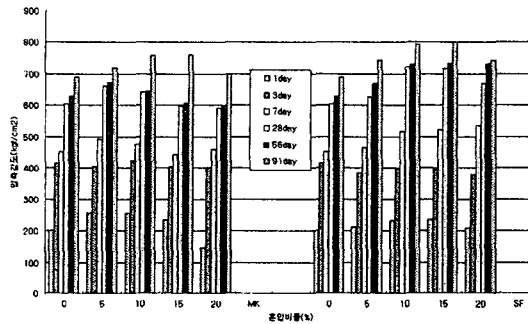


Fig 1. The result of compressive strength test

재령 91일 까지 압축강도 시험결과 실리카 흡과 메타카올린을 각각 전체 결합재에 대하여 10~15% 치환율에서 목표강도 720kgf/cm²을 만족하는 것을 확인할 수 있었으며, 15%에서는 강도증진효과가 있으나 20%에서는 강도발현이 다소 떨어지는 것으로 나타났다. 경제성을 감안하면 메타카올린의 최적 치환율은 10%정도인 것으로 생각된다.

3.2 콘크리트의 염분침투 저항성

콘크리트의 종류별 확산계수 시험결과를 정리하여 나타낸 것이 Fig. 2 이다.

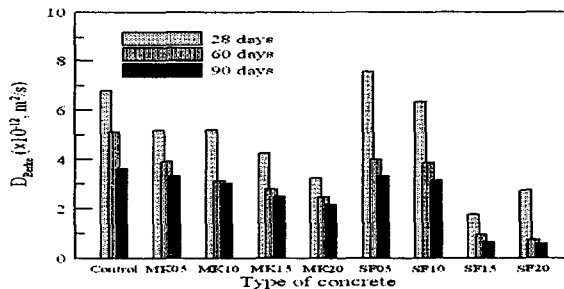


Fig 2. The result of chloride ion diffusion test

ASTM C 1202에 의해 총 통과전하량을 구하였으며, Berke가 제안한 식으로부터 염화물이온 확산계수를 산정하였다. 여기서 메타카올린과 실리카 흙을 5~20%까지 치환하여 각각의 치환율에 따른 염화물이온 확산계수를 구하였다. 각각의 혼화재료의 치환율이 증가할수록 확산계수값은 감소하는 경향을 나타내었으며, 이는 압축강도와는 달리 치환율이 20%이상 증가하여도 분말도가 큰 특성 때문에 콘크리트의 공극을 충전하는 filler효과에 의하여 염분침투에 대한 저항성이 증가되었다고 생각된다.

3.3 모르타르의 산침식 저항성

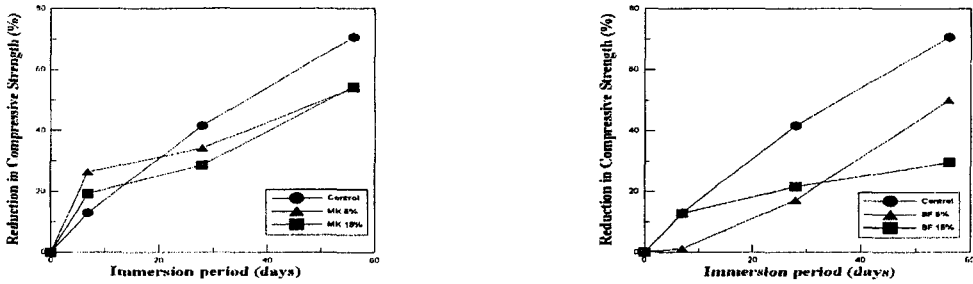


Fig. 3 Reduction in compressive strength with chemical attack

공시체를 제작한 후 28일동안 수중 양생한 후 2% 황산용액에 침지시켜 치환율 및 재령별 공시체에 대해 압축강도를 측정하여 압축강도 감소율을 비교하였다. 메타카올린과 실리카 흙이 치환되지 않은 상태보다 강도감소율이 상당량 감소함을 확인할 수 있었다. 56일 압축강도에서 메타카올린을 5%와 15% 치환할 경우 압축강도 감소율이 비슷한 결과를 나타내었으며, 실리카 흙 치환 콘크리트에는 다소 못미치지만 좋은 성과를 얻을 수 있었다. 이는 미세분말의 충전효과로 분석된다.

4. 결론

- (1) 압축강도 시험결과, 메타카올린 및 실리카 흙 모두 10~15%가 적정치환율로 나타났다.
- (2) 염분침투 저항성에 대한 시험결과, 두 재료의 치환율이 증가할수록 공극충전에 의한 Filler효과에 의해 염분침투에 대한 저항성이 증대됨을 알 수 있었다.
- (3) 산침식 저항성에 대한 시험결과, 두 재료의 치환율이 증가할수록 미세분말 충전효과 및 고반응성 효과에 의해 강도감소율이 상당량 감소함을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. KCI, "고능성유동화제를 이용한 고강도콘크리트의 제조와 특성 및 활용", KCI국제워크숍(1993).
2. 정민철, "Metakaolin 및 silica-fume을 이용한 고성능 고강도 시멘트 모르타르의 특성에 관한 연구", Journal of the Korean Ceramic Society, Vol. 33. 519~523(1996).
3. Joseph Cabrera and Moises Frias Rojas, "Mechanism of hydration of the metakaolin-lime-water system", Cement and Concrete Research 31, 177~182(2001).