

Metakaolin 혼합 고강도콘크리트의 내구특성 평가

Estimation on the Durability of High-Strength Concrete using Metakaolin

문 한 영*
Moon, Han Young

염 준 환**
Yum, Jun Hwan

문 수 동***
Moon, Su Dong

이 상 호****
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 did the durability test such as chloride ion diffusion, chemical attack, repeated freezing and thawing, carbonation. 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 other durability test, the concrete using metakaolin is also compared with those of the portland cement concrete and silica fume concrete. According to these tests, we recognized that metakaolin is able to be used as a substitute for silica-fume.

1. 서 론

최근 콘크리트구조물의 다양화 및 고기능화가 요구되면서 고성능 콘크리트에 대한 관심이 크게 증가되고 있다. 이러한 고성능 콘크리트를 제조하기 위한 수단으로 혼화재료의 사용에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔으며 혼화재료 중 플라이애시, 고로슬래그 미분말 및 실리카 흙 등이 활용되고 있다. 특히 실리카 흙을 혼합한 콘크리트는 강도 및 내구성이 우수하여, 고강도 및 고성능 콘크리트에 적극 활용되고 있다. 그러나, 실리카 흙은 타 혼화재료와 비교하여 가격이 월등히 비싼 탓으로 건설비용이 크게 상승하는 문제점이 지적되어 왔다. 그러므로 고가의 실리카 흙을 대체 할 수 있는 국내에서 생산되며 경제성이 확보되는 혼화재료인 메타카올린의 활용에 착안하게 되었다.

본 연구에서는 메타카올린과 실리카 흙을 각각 사용하여 제조한 고강도콘크리트의 염화물 침투, 화학적 침식 및 동결융해저항시험과 증성화시험을 실시한 결과로서 메타카올린의 적용가능성에 대하여 비교 고찰하였다.

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

2. 실험개요

2.1 사용재료

결합재는 S사의 1종 시멘트(NPC)와 광물질혼화제는 플라이애시(FA), 메타카올린(MK) 및 실리카 흙(SF)을 사용하였으며, 이들의 화학성분 및 물리적 성질을 Table 1에 나타내었다.

잔골재는 세척사, 굵은 골재는 최대치수 20mm 부순 골재를 사용하였으며. 화학혼화제는 PNS계 고성능AE감수제를 사용하였다.

Table 1. Chemical compositions and physical properties

	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 실험방법

(1) 염분침투 저항성

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

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

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

(2) 모르타르의 화학적 침식 저항성 시험

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

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

(3) 동결융해저항성 시험

KS F 2456 (ASTM C 666)의 동결융해시험에 의하여 300cycle까지 반복하여 상대 동탄성계수를 측정하였다.

(4) 중성화 시험

페놀프탈레인 지시약 법에 의하여 재령 7, 14, 28 및 56일에서 콘크리트 시험체의 중성화 깊이를 측정하였다.

2.3 콘크리트의 배합

메타카올린과 실리카 흙을 각각 시멘트 중량에 대해서 5, 10, 15 및 20%로 혼합한 8배합과 광물질을 혼합하지 않은 콘크리트(기준 콘크리트)의 배합으로써 물-결합재비 25%, 잔골재를 37%, 공기량 4.5%, 슬럼프플로우 60cm 로 고정하였다. 이때 고성능AE감수제는 결합재에 대하여 0.022%사용하였다.

3. 시험결과 및 고찰

3.1. 염분침투 저항성

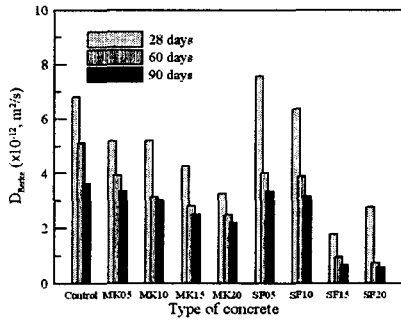


Fig 2. Chloride ion test

메타카올린과 실리카 흙을 각각 20%까지 혼합한 고강도콘크리트 시험체의 S해 총 통과전하량을 측정하여 Berke가 제안한 식으로 염화물이온 확산계수를 산정하여 정리한 것이 Fig.2이다. 이 그림에서 혼합물과 재령이 증가할 수록 확산계수 값은 기준 콘크리트 보다 크게 감소하는 좋은 결과를 나타내었다. 메타카올린 혼합 고강도콘크리트의 확산계수값이 작은 이유는 메타카올린의 분말도가 큰 특성으로 콘크리트 중의 공극을 메꾸어주는 충전효과에 의하여 밀실한 콘크리트가 염분침투에 대한 저항성을 증대시켰다고 판단된다.

3.2 황산에 대한 침식 저항성

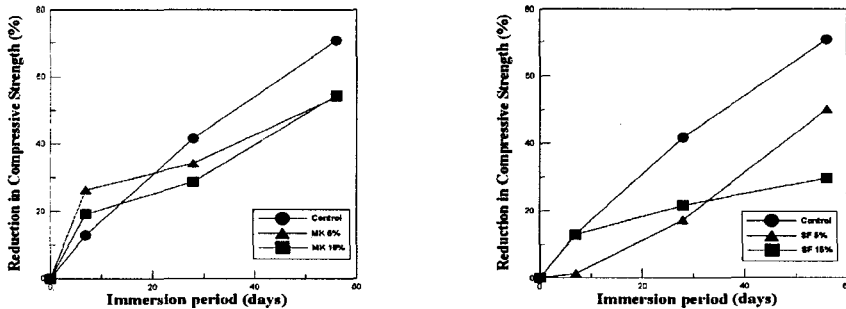


Fig. 3 Reduction in compressive strength with chemical attack

모르타르 공시체를 2% 황산용액에 침지시켜 침지 재령별 및 혼합물 별 압축강도를 측정하여 압축강도 감소율로 나타낸 것이 Fig. 3이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 메타카올린과 실리카 흙을 혼합한 모르타르의 압축강도 감소율이 혼화재를 혼합하지 않은 기준 모르타르보다 침지 재령별로 약간 상이하였으나 전반적으로 감소하는 경향을 나타내었다.

메타카올린 5% 와 15%를 각각 혼합한 모르타르의 재령 56일에서의 압축강도 감소율은 비슷한 결과를 나타내는 반면 실리카 흙 혼합 모르타르의 경우에는 다소 상이 하게 나타났다. 그러나 메타카올린 혼합 모르타르의 압축강도 감소율이 기준 모르타르보다 다소 감소하는 좋은 결과를 얻었다.

3.3 동결융해 저항성

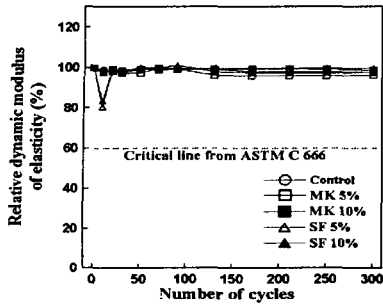


Fig. 4 상대동탄성계수

메타카올린 및 실리카흙 혼합 고강도콘크리트의 동결융해 특성을 나타낸 것이 Fig.4이며, 이 그림에서 알 수 있듯이 300cycle까지는 5종류 콘크리트의 상대동탄성계수에는 거의 변화가 없었다. 그 이유는 물-결합재비가 25%로 낮은 고강도콘크리트에 기인되었다고 생각된다. 본 연구 실험의 범위에서는 메타카올린 혼합 콘크리트의 동결융해 저항성도 실리카 흙 혼합 콘크리트에 필적하는 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

3.4 중성화 깊이

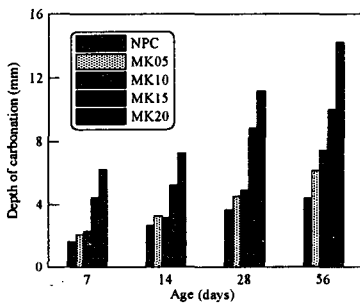


Fig. 5 탄산화깊이(MK)

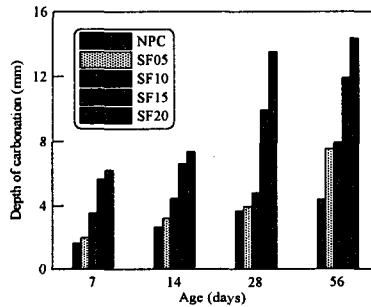


Fig. 6 탄산화깊이(SF)

메타카올린 및 실리카 흙 혼합 콘크리트의 중성화깊이는 혼합률과 재령이 증가할 수 록 크게 증가하였으며, 보통포틀랜드시멘트만 사용한 기준 콘크리트 보다 혼합률 5 및 10% 범위와 재령 28일 및 56일에서 각각 20~30% 및 40~70%정도로 크게 나타났다. 그러나 혼합률 15 및 20%에서는 기준 콘크리트 보다 100~370%정도로 현저하게 증가함으로써 광물질혼화재 혼합 콘크리트는 중성화를 향상 시키는 데는 도움이 되지 않음을 확인하였다.

4. 결론

- (1) 메타카올린 혼합 고강도콘크리트의 염분침투저항성과 황산에 대한 침식저항성은 혼합률이 증가할수록 각각 기준 콘크리트 보다 크게 증대 되는 효과가 있었다.
- (2) 메타카올린 혼합 고강도콘크리트의 300cycle까지의 동결융해 시험결과, 내구성지수가 실리카 흙 혼합 고강도콘크리트와 유사한 좋은 결과를 확인하였다.
- (3) 메타카올린 혼합 고강도콘크리트의 중성화 깊이는 혼합률과 재령이 증가할수록 기준 콘크리트 보다 오히려 증가하는 결과를 나타내었다.
- (4) 메타카올린 및 실리카 흙 혼합 고강도콘크리트의 내구성 실험결과, 고가의 실리카 흙 대체 재료로서 메타카올린의 사용 가능성을 확인 할 수 있었다.