

메타카올린 콘크리트의 미세 공극구조 및 내구성에 관한 연구

A Study for Microstructure and Durability of Metakaolin Concrete

김명유* 양은익* 양주경** 박해균*** 전상은*** 이명섭***

Kim, Myung Yu Yang, Eun Ik Yang, Joo Kyoung Park, Hae Geun Chun, Sang Eun Lee, Myeong Sub

ABSTRACT

The requirement for durability of concrete is increasing recently as a large-scale concrete structure is built. For this reason, the concern about high-durable concrete is being high. Recently, metakaoline to be profitable in economical aspect as well as to have strength and durability of level similar to silica fume is evaluated highly as new admixture.

In this study, the scaling, the drying shrinkage, the chloride resistance and the air-void structure are compared for both metakaolin and silica fume concrete. According to the results, the replacement of metakaoline improved the resistance of chloride penetration, freezing and thawing in concrete. On the other hand, as metakaolin was replaced to 10%, it was similar level with OPC in the property of scaling. It was showed that replacement of only metakaoline was similar with OPC in the drying shrinkage. However, MS5 reduced the drying shrinkage about 10%. In conclusion, replacement of the metakaoline 10% is the most excellent performance in terms of durability of concrete.

요 약

최근 대형 구조물이 많이 건설되면서 콘크리트의 내구성 향상에 대한 요구가 증가하고 있다. 이에 따라 고성능 콘크리트에 대한 관심이 높아지고 있다. 최근, 실리카 흙과 같은 수준의 강도나 내구성을 확보하면서 경제적 측면에서 좀 더 유리한 메타카올린이 새로운 혼화제로 가치를 높게 평가되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 메타카올린과 실리카 흙 콘크리트의 스케일링, 건조수축 및 염화물 저항성, 공극 구조를 비교 평가하였다. 연구결과에 따르면, 메타카올린의 대체는 염화물 침투 저항성과 동결융해 저항성을 향상시켰다. 반면, 스케일링에서는 MK의 10% 대체까지는 OPC와 동등 수준 정도인 것으로 나타났다. 건조수축에서는 메타카올린만을 대체한 경우 OPC와 비슷한 수준을 보였으나, MS5는 약 10%정도 건조수축을 감소시켰다. 내구성 측면에서 볼 때, 메타카올린의 10% 대체가 가장 적절한 것으로 판단된다.

*정회원, 강릉대학교 토목공학과

**정회원, 청운대학교 토목공학과

***정회원, 삼성건설 토목사업본부

1. 서론

최근 해양환경이나 장대교량, 고층건물 등의 특별한 건설 환경에서는 그 목적이나 필요에 따라 다양한 혼화제들이 사용되고 있다. 이로 인하여 연구자들은 구조물의 용도에 적합한 혼화제에 관한 내구성 및 역학적 특성을 검토하고 있다. 선행된 연구에서는 이러한 혼화제들 중 메타카올린에 관한 시공성 및 역학적 특성을 검토하였다. 그러므로, 이번의 연구에서는 MK 콘크리트의 미세 공극 및 내구성을 검토하는 것을 목적으로 하였다. 내구성 검토를 위하여 스케일링, 건조수축, 동결융해, 염화물 저항성에 관한 실험을 수행하였다.

2. 실험 개요

2.1 실험 변수 및 배합

본 연구에서는 표 1과 같은 실험 변수를 가지고 실리카 흙과 메타카올린에 대한 스케일링, 건조수축, 동결융해 및 염화물 저항성과 공극 구조를 알아보고자 하였다. 각 혼화제의 대체율은 시멘트 중량당 5,10,15%이다. 표 2는 본 연구에서 사용된 배합표이다.

표 1 실험 변수

변수 정의	재료변수	실험변수	항목	대체율
Normal	기준콘크리트	스케일링	중량변화	시멘트 중량 5,10,15%
SF	실리카 흙	건조수축	길이변화	
MK	메타카올린	동결융해	중량변화/동탄성계수	
MS	메타카올린+실리카 흙	공극 구조	기포 분석	

표 2 기준 배합표

	Gmax (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m ³)				
						W	C	S	G	B
Normal	25	18	5	40	45	175	437.5	721	905	0

2.2 실험 방법

2.2.1 염화물 저항성 실험방법

본 연구에서는 내구성을 검토하기 위한 한가지 방법으로 염화물 저항성을 알아보았다. 염화물 저항성은 전기적 촉진 시험법인 RCPT와 NT Build 443에 따른 3% 염화나트륨 용액에 침지하여 실험하였다.

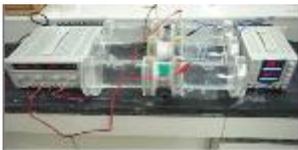


그림 1 RCPT 실험 전경



그림 2 스케일링 실험 전경



그림 3 동결융해 실험 전경

2.2.2 스케일링 및 동결융해 저항성

스케일링 실험은 91일 수중 양생한 다음 ASTM C 672에 따라 실험하였으며, 동결융해 저항성은 14일 수중 양생 후 ASTM C 666에 따라 연구가 수행되었다.

2.2.3 공극 구조 분석

공극 구조 분석을 위한 공시체는 $\phi 10 \times 20$ cm의 원형 공시체를 사용하였으며, 거대공극과 미세공극을 구분하여 분석하였다. 거대공극 측정에는 HF-MA C01 장비를 이용하여, 50 μ m 이상 내부 공극을

측정하였으며, 미세공극의 측정은 수은압입법을 원리가 적용된 Porosimeter가 사용되었다.

2.2.4 건조수축 실험방법

건조수축은 KS F 2424(모르타르 및 콘크리트의 길이변화시험방법)에 따라 콘크리트 시험체의 중심축의 길이 변화를 측정한다. 길이 변화 측정에는 Demec gage를 이용하여 양 측면의 길이변화를 측정하여 평균값을 산정하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 메타카올린 대체에 따른 내구성

3.1.1 염화물 저항성

그림 4와 5는 각각 혼화재 대체에 따른 장/단기 염화물 침투 저항성을 나타낸다. 결과에 따르면, MK를 혼입할 경우 장/단기 염화물 저항성이 모두 향상됨을 보이며 실리카흄과 동등한 수준을 보인다. 그러나, 메타카올린 10% 이상을 대체하더라도 염화물 저항성이 크게 증가하지 않는 것으로 나타났다. 반면, 실리카흄과 메타카올린을 각각 5%씩 혼합하여 대체한 경우(MS5)는 MK10%에 비하여 염화물 저항성이 조금 떨어지는 것으로 나타났다.

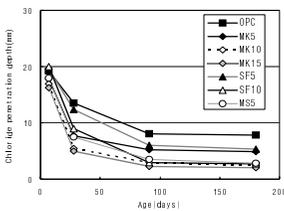


그림 4 염화물 저항성(단기)

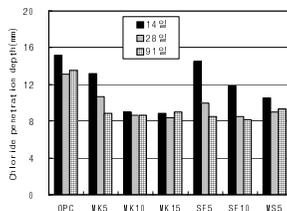


그림 5 염화물 저항성(장기)

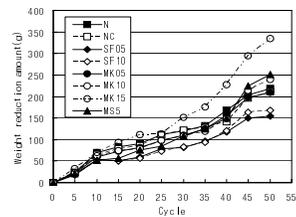


그림 6 스케일링

3.1.2 스케일링 특성

그림 6은 메타카올린 대체에 따른 스케일링 특성을 보여준다. 91일 수중양생 후, -18°C (16시간-동결)와 23°C (8시간-용해)를 1cycle로 하여 매 5cycle마다 50cycle까지 측정된 결과이다. 측정 결과를 살펴보면, 메타카올린 10%까지의 대체는 스케일링 발생 수준이 OPC와 비슷한 수준이나, 15%의 대체는 스케일링이 많이 발생함을 알 수 있었다. 또한, MK에 비해 실리카흄의 대체가 스케일링의 발생을 저감하는데 효과적인 것으로 나타났다.

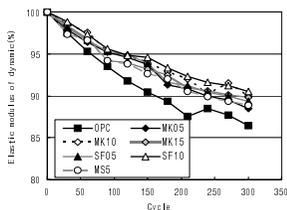


그림 7 동결융해저항성

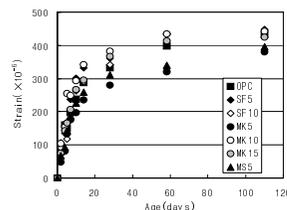


그림 8 건조수축

3.1.3 동결융해 저항성

그림 7은 -18°C 와 4°C 를 1cycle로 하여 매 30cycle마다 300cycle까지 동탄성계수 변화를 측정된 결

과이다. 결과에 따르면, 메타카올린의 대체는 미세 공극을 많이 만듦으로써 동결융해 저항성이 향상됨을 보여 동탄성계수의 감소율이 작음을 보였다. 또한, 실리카흄과 동등한 수준의 동결융해 저항성을 보였다. 동결융해 저항성에 있어 10% 이상의 메타카올린 대체는 염화물 저항성과 마찬가지로 크게 향상되지 않는 것으로 판단된다.

3.1.4 건조수축 변화

그림 8은 메타카올린 대체에 따른 건조수축 변화를 보인다. 본 연구의 건조수축 결과에 따르면 메타카올린만을 대체한 경우는 OPC와 비슷한 수준의 건조수축량을 보였다. 그러나, MK와 SF를 5%씩 혼합하여 대체한 경우는 건조수축 발생량이 약 10%정도 감소함을 보였다.

3.2 공극구조 특성

3.2.1 콘크리트 내부의 공극(Air voids)

본 연구에서는 메타카올린 대체에 따른 콘크리트 내부에서 50 μm 이상의 공극을 7, 28일, 91일 재령에 따라 살펴보았다. 결과에 따르면, 7일에서는 혼화제에 상관없이 모두 비슷한 공극 분포를 보이지만, 28과 91일에서의 공극분포는 OPC에 비해 메타카올린의 대체가 연행 공극(50~200 μm)들의 비율을 증가시키며, 갇힌 공극(200 μm 이상)의 비율은 감소시키는 것으로 나타났다. 그림 9는 91일에서의 공극분포를 나타낸다.

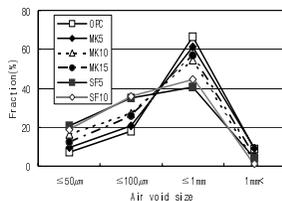


그림 9 공극 분포

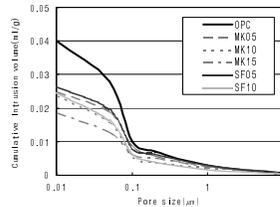


그림 10 모세관 공극 분포

3.2.2 콘크리트 내부의 모세관 공극

콘크리트의 모세관 공극은 미세공극(micropore)과 거대공극(macropore)로 나뉘어지는데, 이러한 분류는 공극의 크기 50nm가 기준이 된다. 본 연구에서는 수은압입법을 이용하여 메타카올린 대체에 따른 모세관 공극의 분포를 살펴보았다. 그림 10은 모세관 공극의 체적 분포를 나타낸다. 결과에 따르면, 메타카올린을 대체한 경우가 OPC에 비해 50nm이하의 미세공극을 줄이는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 메타카올린의 대체가 콘크리트의 체적 변화에 관한 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다. 그러나, 200nm이상 공극의 분포는 혼화제 대체에 따른 큰 변화가 없는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구의 결과를 정리해볼 때, 메타카올린의 적절한 대체는 동결융해 저항성과 염해저항성을 향상시켰으며, 건조수축과 스케일링에 있어서는 OPC와 비슷한 수준의 성능을 보였다. 내구성 측면을 고려하여 메타카올린을 사용할 경우 적절한 대체율은 10%인 것으로 판단된다. 또한 메타카올린의 대체는 미세공극을 줄이는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 김명유, 양은익, 양주경, 박해균, 전상은, 이명섭 “메타카올린 사용에 따른 콘크리트의 강도 및 염화물 저항성”, 2008년, 한국콘크리트학회 봄 학술대회논문집, 521~524