

초고강도 시멘트 복합체의 내구성 평가

Assessment on Durability of Ultra-High Strength Cementitious Composites

박 정 준* 강 수 태* 류 금 성* 이 종 석** 고 경 택** 김 도 겸***
Park, Jung Jun Kang, Su Tae Ryu, Gum Sung Lee, Jong Suk Koh Kyung Taek Kim, Do Gyum

ABSTRACT

In this paper, it was assessed durability of ultra-high strength cementitious composites(UHSCC) with the range of 180MPa of compressive strength through the test method of chloride ion resistance, carbonation, freezing-thawing resistance, permeability. In order to compare with ultra-high strength cementitious composites, normal concrete and high-strength concrete were also tested. As the experimental result, it showed that UHSCC was clearly superior to the durability performance of normal concrete and high-strength concrete.

1. 서 론

고강도 콘크리트의 실용화에 따른 압축강도의 증가로 콘크리트의 취성파괴 등의 결함 및 문제점을 개선하기 위해 섬유를 보강하여 인성을 향상시킨 다양한 섬유 보강 시멘트 복합체가 사용되고 있다. 특히, 최근 압축강도 100MPa 이상을 지닌 초고강도 시멘트 매트릭스에 강섬유를 혼입하여 고인성을 부여한 초고강도 강섬유 보강 시멘트 복합체가 개발되어 주목을 받고 있다¹⁾. 또한 초고강도 강섬유 보강 시멘트 복합체 중에서 RPC(Reactive Powder Concrete)를 섬유도 보도교에 적용된 이후 국내에서도 초고강도 강섬유 보강 시멘트 복합체에 대해 관심이 높아지고 있다. 본 저자들은 국내에서 사용되고 있는 재료를 이용하여 압축강도 180MPa를 가진 초고강도 강섬유 보강 시멘트 복합체를 개발하여 교량 거더 등에 적용성을 평가하고 있다. 초고강도 강섬유 보강 시멘트 복합체는 밀실한 경화체 조직으로 구성되어 있어 내구성 저하 인자의 침입 등에 대해 우수한 것으로 예상되나, 실제 구조물에 안정적으로 적용하기 위해서는 장기 내구성에 대한 검토가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 압축강도 180MPa를 가진 초고강도 시멘트 복합체(UHSCC)의 내구성을 염해, 중성화, 동결융해, 수밀성 측면에서 평가하였다. 또한 고강도 콘크리트와 보통강도 콘크리트에 대해서도 동일한 실험을 실시하여 UHSCC와 비교하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트이며 혼화재는 비표면적 약 200,000cm²/g을 갖는 실리카폼을 사용하였다. 잔골재는 평균입경 0.3~0.5mm인 규사와 평균입경 0.17~0.3mm인 규사를 7:3인

* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 연구원

** 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원

*** 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 수석연구원

비율로 혼합하여 사용하였으며 이들의 규사 밀도는 2.62g/cm³, SiO₂는 93%이다. 그리고 결합재와 잔골재의 계면파괴를 방지하기 위하여 입자크기가 약 10 μ m이고 SiO₂가 99%이상인 충전재를 사용하였으며, 소요의 유동성 확보를 위해 폴리칼본산계 고성능 감수제(밀도 1.01g/cm³, 고형성분 30%)를 사용하였다.

2.2 콘크리트 배합

초고강도 강섬유 보강 시멘트 복합체는 시멘트 복합체와 강섬유로 구성되나, 콘크리트의 내구성은 주로 시멘트 경화체 조직에 따라 좌우되기 때문에 본 연구에서는 초고강도 시멘트 복합체의 내구성을 평가하는데 있어 강섬유를 사용하지 않았다. 표 1은 본 연구에 사용된 UHSCC 배합표로서 시멘트량을 기준으로 다른 구성재료의 상대적인 비로 설정하였으며, 공기량을 연행하지 않았다. 보통강도 콘크리트(OPC)와 고강도 콘크리트(HSC)의 배합은 표 2에 나타내었으며, 공기량 4.5 \pm 0.5%를 연행하기 위해 AE제를 사용하였다.

표 1 초고강도 시멘트 복합체의 배합표(중량비)

항 목	W/B	시멘트	실리카폼	충전재	잔골재	감수제
UHSCC	0.20	1	0.25	0.3	1.1	0.016

표 2 보통강도 및 고강도 콘크리트 배합표

Item	W/B	S/a	Unit Content(kg/cm ³)						SP (B \times WT.%)	AE (B \times WT.%)
			W	B			S	G		
				C	FA	SF				
OPC	0.5	0.42	175	350	-	-	643	1118	-	0.008
HSC	0.3	0.45	175	410	113	56.7	658	810	0.5	0.004

2.3 실험방법

본 연구에서 내구성을 평가하기 위한 실험방법을 표 3에 나타내었다.

표 3 실험방법

항 목	양생방법		시험체 크기	시험방법	비 고	
	UHSCC	OPC, HSC				
압축강도	- 시험체 제작하여 1일 후 탈형 - 90 $^{\circ}$ C 증기양생 2일간 실시	- 시험체 제작하여 1 일 후 탈형 - 23 \pm 1 $^{\circ}$ C의 수중에 서 14일간 표준양 생을 실시	ϕ 10 \times 20cm	KS F 2405		
중성화			ϕ 10 \times 10cm	CO ₂ : 10%, RH60%, 30 $^{\circ}$ C	일면침투	
염해저항성			ϕ 10 \times 5cm	ASTM C 1202		
수밀성			투기성	20 \times 20 \times 20cm	직접가압장치	
			투수성	20 \times 20 \times 20cm	직접가압장치	
동결융해		10 \times 10 \times 40cm	KS F 2456-B법			

3. 실험결과 및 고찰

3.1 압축강도

그림 1은 콘크리트 종류에 따른 압축강도 값을 나타낸 것이다. UHSCC의 압축강도는 약 1708MPa로 초고강도를 나타내었다. UHSCC의 압축강도는 OPC에 비해 82% 정도 크고, HSC 보다도 65% 정도 큰 값으로 압축강도 측면에서 상당히 우수한 것으로 나타났다. 이러한 원인은 UHSCC를 제조하는데 있어 매우 낮은 물-결합재비, 콘크리트 내부를 밀실하게 하기 위한 실리카폼 및 충전재의 사용, 고

은 증기양생을 통한 수화물질의 증대 등을 들 수 있다. 따라서 UHSCC는 내부조직의 밀실화로 인해 압축강도가 상당히 증진되었기 때문에 내구성능은 보통강도 콘크리트나 고강도 콘크리트에 상당히 우수할 것으로 판단된다.

3.2 중성화

그림 2는 콘크리트 종류에 따른 중성화 깊이를 나타낸 것이다. 중성화 노출재령 180일까지 OPC는 약 17mm, HSC는 약 3.5mm로 중성화가 진행된 반면, UHSCC는 중성화가 거의 진행되지 않은 것으로 나타났다. 이는 UHSCC가 HSC 및 OPC에 비해서 시멘트 경화체 내부조직이 보다 치밀하여 이산화 탄소 가스 침입이 어려워졌기 때문이다. 그림 3은 중성화 촉진 시험결과를 토대로 중성화 깊이와 재령의 평방근에 대한 비로 정의된 중성화 계수를 구한 결과이다. 중성화 계수의 결과에 의하면, UHSCC는 보통강도 콘크리트에 비해 71배 정도, 고강도 콘크리트에 비해 19배 정도 중성화에 대한 저항성이 우수한 것으로 나타났다.

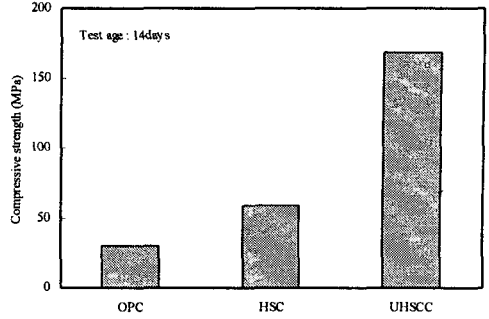


그림 1 압축강도 결과

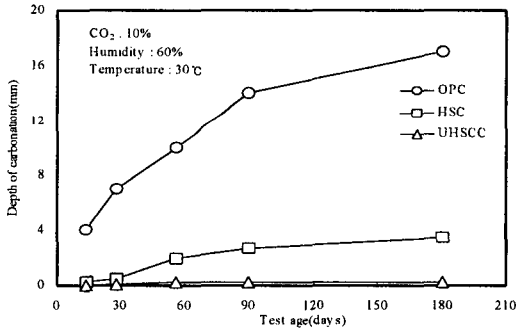


그림 2 콘크리트 종류에 따른 중성화 깊이

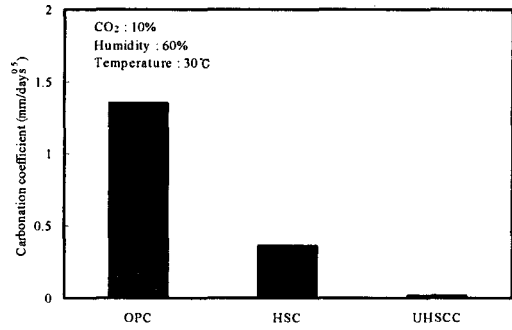


그림 3 콘크리트 종류에 따른 중성화 계수

3.3 염해저항성

그림 4는 콘크리트 종류에 따른 ASTM C 1202방법으로 충전하량 결과와 그 결과를 토대로 Berk의 경험식을 이용하여 염소이온 확산계수를 계산한 결과이다. 총 전하량을 ASTM C 1202 기준에 따라 평가한 결과, OPC는 염소이온 침투성이 <보통>, HSC는 <매우 낮음>였으나, UHSCC는 <무시해도 될만함>으로 나타나 염해 저항성이 매우 우수한 것으로 나타났다. 그리고 Berk의 경험식을 이용한 확산계수는 UHSCC는 $0.02 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{sec}$ 로 $7.3 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{sec}$ 의 확산계수 값을 갖는 OPC에 비해 3,700배 정도, HSC의 확산계수인 $0.8 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{sec}$ 의 값과 비교하여도 약 40배 정도 염해 저항성이 우수한 것으로 분석되었다. 이처럼 UHSCC의 염해 저항성이 탁월한 것은 시멘트 경화체의 조직이 치밀한 것을 입증하고 있다.

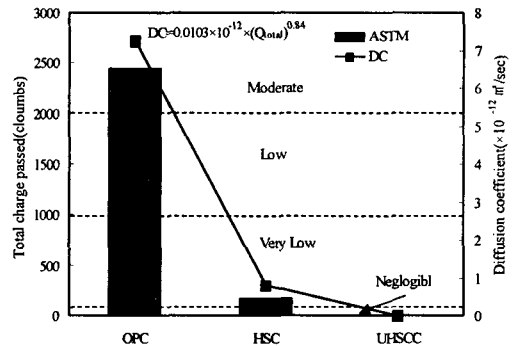


그림 4 콘크리트 종류에 따른 중성화 계수

3.4 수밀성

그림 5는 콘크리트 종류에 따라 투기성과 투수성을 평가한 결과이다. 투기계수와 투수계수 결과에 의하면 수밀성은 UHSCC > HSC > OPC의 순으로 나타났다. UHSCC의 수밀성은 HSC에 비해 5배 정도, OPC에 비해 10배 정도가 향상된 것으로 나타났다. 이처럼 UHSCC가 HSC 및 OPC에 비해 수밀성능이 뛰어난 것은 시멘트 복합체의 조직이 치밀함과 관련된 것으로 사료된다.

따라서 초고강도 시멘트 복합체는 내부조직이 상당히 치밀하며 각종 유해물질의 침투나 확산에 있어 상당한 저항성을 지닌 것으로 판단된다.

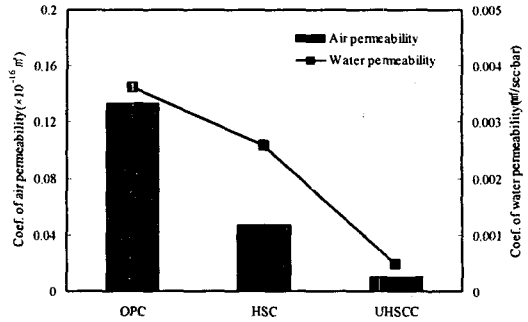


그림 5 콘크리트 종류에 따른 수밀성 결과

3.5 동결융해

그림 6은 콘크리트의 종류에 따라 동결융해 실험을 실시하여 각 사이클에 따른 상대동탄성 계수를 측정된 결과이다. 동결융해 시험에서 일반적으로 300 사이클까지 시험을 수행하나, 본 연구에서 UHSCC의 동결융해 저항성이 우수함을 입증하기 위해 600사이클까지 시험을 수행하였다. 그 결과, 동결융해 저항성은 UHSCC > HSC > OPC 순으로 뛰어난 것으로 나타났으며, UHSCC의 내구성 지수는 100으로 나타나 매우 우수한 것 나타났다.

이상과 같이 UHSCC의 동결융해 저항성을 검토하기 위해 HSC 및 OPC와 비교한 결과, UHSCC는 동결융해 600사이클에서도 내구성 지수가 100으로 다른 콘크리트에 비해 동결융해 저항성이 매우 우수한 것으로 나타났다.

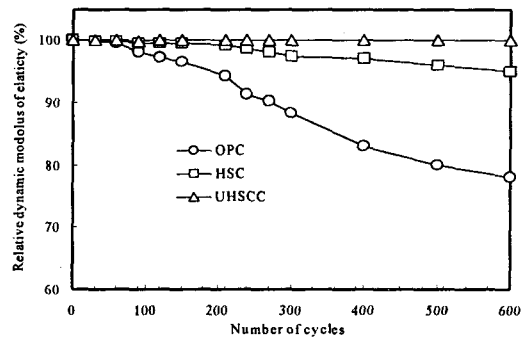


그림 6 콘크리트 종류에 따른 동결융해 저항성

4. 결론

초고강도 시멘트 복합체의 내구성을 평가한 결과, 초고강도 시멘트 복합체는 초고강도이며 시멘트 경화체의 조직이 매우 밀실하여 내구성능 저하 인장의 침입에 대한 저항성이 매우 크기 때문에 고강 콘크리트 및 일반강도 콘크리트에 비해서 염해, 중성화, 동결융해, 수밀성 등 내구성이 훨씬 뛰어난 것으로 나타났다. 따라서 초고강도 시멘트 복합체를 구조물에 적용할 경우, 강도 및 인성 등 역학적 성능 뿐만 아니라 내구성능이 향상되어 콘크리트의 장수명화를 실현할 수 있을 것이다.:

참 고 문 헌

1. N.Gowripalan, "Reactive Powder Concrete(RPC) for Precast Structural Concrete-Research and Development in Australia". The 21st Biennial Conference of The Concrete Institute of Australia, Concurrent session 1 materials, 2003.
2. 한국건설기술연구원, "콘크리트 교량의 내구성 향상 기술 개발", 2003. 12.
3. 박정준, 강수태, 고경택 등, "재료요인이 초고강도 강섬유 보강 시멘트 복합체의 압축강도에 미치는 영향", 한국 콘크리트학회 봄학술발표회, 2004. 5.