

초고강도 콘크리트의 강도 및 내구특성에 대한 기초적 연구

Fundamental Study on the Strength and Durability of Ultra-high Strength Concrete

강성목* 최재진** 유정훈*** 최두선****

Kang, Seong Mook Choi, Jae Jin Yoo, Jung Hoon Choi, Doo Sun

ABSTRACT

In recent years, the applications of high-strength concrete have increased, and high-strength concrete has now been used in many parts of the world. The growth has been possible as a result of recent developments in material technology and a demand for higher-strength concrete in Korea. In this study, we have an object to produce the ultra-high strength concrete(Super-Con) of over 100MPa with low price materials. First, the binders for Super-Con should be selected by the tests; setting time of paste, flow value and strength of mortar. From the test results, the binders are blended with ordinary portland cement, pulverized portland cement and silica fume. Fundamentally the compressive strength, frost resistance and chloride resistance are investigated.

Keywords : *ultra-high strength, frost resistance, chloride resistance, compressive strength*

1. 서론

콘크리트는 강재와 같은 다른 구조 재료와 비교하여 자중에 대응하는 강도와 연성이 낮고, 취성이 높은 재료이기 때문에 구조 재료로서 강재와 다른 성질을 가지고 있다. 한편 급속한 경제성장과 사회 여건의 급변 및 건설기술의 발전과 새로운 재료의 개발에 따라 콘크리트 구조물의 경량화, 고층화, 대형화되어감에 따라 콘크리트에 요구되는 성능도 점점 다양화, 고도화되어 가고 있다. 따라서 이러한 요구조건을 만족시키기 위해서는 고품질의 콘크리트를 개발해야할 필요성이 크게 요구되고 있으며, 이상의 욕구를 만족시킬 수 있는 가장 좋은 방법 중의 하나가 바로 콘크리트를 고강도화 하는 것이다.

본 연구에서는 압축강도 100MPa 이상의 초고강도 콘크리트를 표준 양생 조건하에서 제조하기 위하여, 시멘트 페이스트 및 모르타르를 통한 시멘트 페이스트의 응결 시험 및 모르타르의 플로우와 압축강도 등의 예비시험을 실시하였다. 또한 이들 결과를 토대로 보통 포틀랜드시멘트, 보통 포틀랜드시멘트를 미분쇄한 분급 시멘트 및 실리카폼을 혼합하여 제조한 초고강도 콘크리트에 대하여 물-결합제비, 분급 시멘트와 실리카폼의 혼합률 및 굵은 골재의 최대 치수에 따른 초고강도 콘크리트의 압축강도 특성에 대하여 고찰하였으며, 동결융해 저항성 및 염화물 침투 저항성 시험과 같은 내구성 시험도 함께 실시하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트 및 광물질 혼화재

시멘트는 밀도 3.15g/cm³인 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC)와 보통 포틀랜드시멘트를 미분쇄하여 분말도를 높

*정회원, 경동기술공사 회장 (E-mail: smkang@kdec.co.kr)

**정회원, 공주대학교 건설환경공학부 교수 (E-mail: jjchoi@kongju.ac.kr)

***정회원, 농업기반공사 농어촌연구원 농공기술연구실 연구원 (E-mail: hoon0323@karico.co.kr)

****정회원, 한양대학교 산업과학연구소 선임연구원 (E-mail: doosun.choi@gmail.com)

인 분급시멘트(이하 GPC)를 사용하였으며, 압축강도를 향상시키기 위하여 밀도 2.2g/cm³의 실리카폼(SF)을 광물질 혼화제로 사용하였다. 본 연구에 사용된 시멘트 및 광물질 혼화제의 화학성분 및 물리적 특성은 표 1과 같다.

표 1. 시멘트 및 광물질 혼화제의 화학 성분 및 물리적 특성

	Chemical composition(%)							Physical properties	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	lg. loss	Density	Blaine (cm ² /g)
OPC	22.08	4.91	3.36	62.36	1.65	0.76	2.07	3.15	3,123
GPC	20.13	4.70	3.05	61.05	3.12	0.87	3.36	3.15	6,003
SF	93.05	0.84	2.36	0.25	0.85	1.14	1.07	2.20	200,000

2.1.2 골재

잔골재로는 주문진산 표준사와 밀도 2.60g/cm³, 조립률 2.92 및 흡수율 1.45%인 세척사를 각각 사용하였으며, 굵은 골재는 밀도 2.63g/cm³, 흡수율 0.8%인 부순 골재를 최대치수 10mm와 20mm로 구분하여 사용하였다.

2.1.3 화학혼화제

초고강도 콘크리트 제조할 때 우수한 감수성능과 슬럼프 유지성능 및 고내구성을 제공하기 위하여, 폴리카르본산계를 주성분으로 하는 밀도 1.10±0.05g/cm³, pH=6.5의 암갈색 액상의 고성능감수제를 사용하였다.

2.2 시험방법

2.2.1 시멘트 페이스트 및 모르타르의 기초물성 실험

OPC 100%(Control), OPC 55% + GPC 30% + SF 15%(Case 1), OPC 25% + GPC 60% + SF 15%(Case 2)의 비율로 혼합한 결합재 3종류에 대하여 시멘트 페이스트의 응결시간과 모르타르의 플로우 및 압축강도를 측정하였다. 모르타르의 배합은 시멘트:잔골재 = 1:2.45(중량비)와 W/B = 48.5%의 표준배합을 사용하였으며, 잔골재로는 주문진산 표준사를 사용하였다.

2.2.2 초고강도 콘크리트의 제조, 배합 및 실험

시멘트 페이스트 및 모르타르의 기초물성 실험을 토대로 초고강도 콘크리트의 배합을 표 2와 같이 실시하였으며, 강제식 믹서에 결합재와 잔골재 투입(30초간 건비빔) → 배합수를 첨가(90초간 믹싱) → 고성능 감수제를 첨가(120초간 믹싱) → 굵은 골재를 투입(150초간 믹싱) 순으로 초고강도 콘크리트를 제조하였다. 초고강도 콘크리트의 압축강도, 동결융해 저항성 및 염화물 침투 저항성을 KS F 2405, KS F 2456 및 ASTM C 1202에 준하여 각각 측정하였다.

표 2. 콘크리트의 배합 및 압축강도

	G _{max} (mm)	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m ³)						SP (B×%)
				W	OPC	GPC	SF	S	G	
No. 1	10	17	38	135	675	0	119	590	985	3
No. 2	10	17	38	135	437	238	119	588	977	4
No. 3	10	17	38	135	199	476	119	585	973	6
No. 4	20	17	38	135	675	0	119	590	985	3
No. 5	20	17	38	135	437	238	119	588	977	4
No. 6	20	17	38	135	199	476	119	585	973	7

3. 실험결과 및 고찰

3.1 시멘트 페이스트의 응결시간

초고강도 콘크리트의 시공을 고려하여, OPC 및 GPC로 제조한 시멘트 페이스트의 응결시간을 측정하였다. 실험 결과 모두 KS 규준을 만족하였고, 그 결과를 정리한 것이 그림 1이다. 이 그림에서도 알 수 있듯이 분말도가 높은 GPC는 물과의 접촉 면적이 커지기 때문에 수화 반응에 의한 응결시간이 OPC와 비교하여 다소 빠르게 나타남을 알 수 있다. 그러나 GPC를 30% 혼합한 Case 1의 경우 OPC와 유사한 응결 시간을 나타내어 시공 측면에서 Case 2보다 유리한 점으로 작용될 것이라고 예상된다.

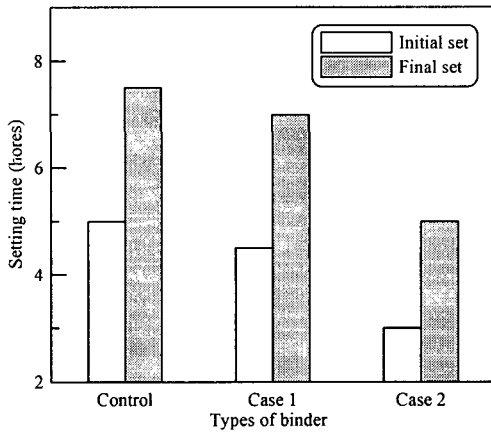


그림 3. 결합재 종류별 응결시간

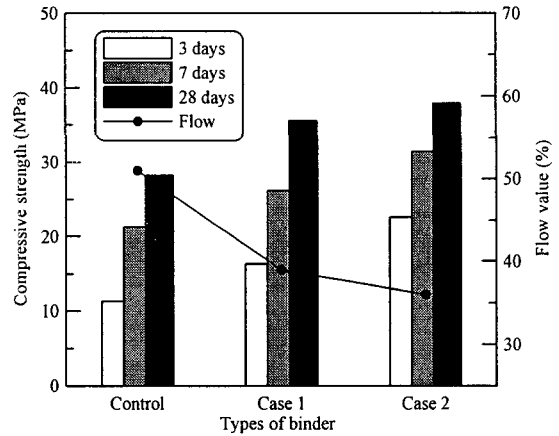


그림 4. 모르타르의 압축강도와 플로우

3.2 모르타르의 플로우 및 압축강도

모르타르의 플로우 실험 결과(그림 2) Control의 경우가 GPC와 실리카폼을 사용한 Case 1과 Case 2의 경우와 비교하여 모르타르의 플로우가 크게 나타났으며, 이는 GPC를 사용하면 유동성이 다소 저감되는 것을 시사한다. 그러나 압축강도는 Case 1과 Case 2의 경우가 Control과 비교하여 재령 및 혼합물에 상관없이 큰 값을 나타내고 있으며, GPC의 사용량이 많을수록 초기 재령에서의 강도발현이 큼을 알 수 있다.

Control의 압축강도는 분급시멘트와 실리카폼을 혼합한 압축강도에 비해 현저하게 작은 경향을 나타내고 있다. 이는 분말도가 높은 분체를 OPC에 대체하여 사용하였기 때문으로 판단된다. 따라서 본 연구와 같은 고강도 콘크리트의 경우 분말도를 향상시킨 GPC와 SF의 혼합 사용이 적극적으로 검토되어야 하지만 유동성 향상을 위해 다량의 유동화제가 사용될 것으로 생각된다.

3.3 초고강도 콘크리트의 압축강도

초고강도 콘크리트의 재령 28일 압축강도를 GPC의 혼합률 및 굵은 골재의 최대 치수별로 정리하여 정리한 것이 각각 그림 3과 4이다.

시멘트 모르타르의 경우 GPC의 첨가율이 증가할수록 압축강도의 발현이 우수한 반면, 콘크리트의 경우 GPC 60%에서는 오히려 강도의 감소하는 것을 그림 3으로부터 알 수 있다. 이는 초고강도 콘크리트를 제조할 때 콘크리트의 슬럼프를 맞추기 위해서 사용한 고성능감수제의 사용량의 과다로 인한 콘크리트 내부의 응결 지연에 의한 것으로 생각된다. 한편, 굵은 골재 최대치수에 따른 압축강도를 나타낸 그림 4로부터 굵은 골재의 최대치수가 10mm인 초고강도 콘크리트의 압축강도가 높게 나타남을 알 수 있으며, 이는 고강도 콘크리트에 대한 많은 연구자들의 연구 결과와도 일치한다. 또한 굵은 골재의 최대치수에 따른 압축강도의 변화는 GPC의 사용에 따라 현저하게 차이가 남을 알 수 있다.

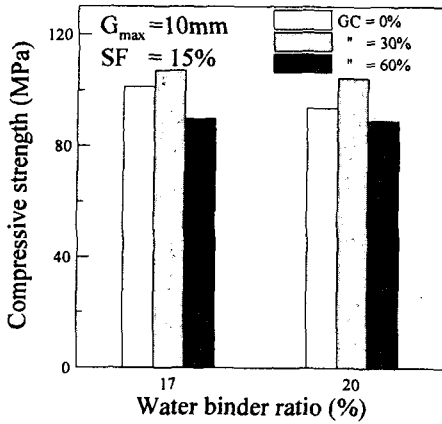


그림 3. 분급시멘트 혼합물별 고강도 콘크리트의 강도 특성(재형 28일)

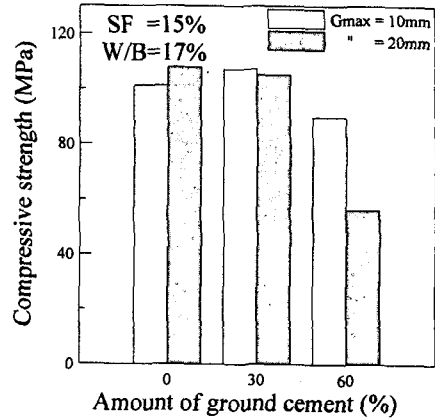


그림 4. 굵은골재 최대치수별 고강도 콘크리트의 강도 특성(재형 28일)

3.4 초고강도 콘크리트의 내구 특성

초고강도 콘크리트의 내구성으로 검토한 동결융해 저항성 및 염화물 침투 저항성 시험 결과를 정리하여 나타낸 것이 그림 5와 그림 6이다. 그림 5에서 초고강도 콘크리트의 동결융해 저항성은 상대동탄성계수가 300사이클에서도 모든 콘크리트가 96% 이상으로 우수한 특성을 나타내었으며, 그림 6의 염화물 침투 저항성 실험에서도 총 통과전하량이 480 쿨롱 미만으로 ASTM에서 제시한 침투저항성이 매우 낮은 것으로 나타났다. 이들 내구성 시험 결과로부터 초고강도 콘크리트는 내구성에는 매우 우수한 특성을 나타냄을 알 수 있다.

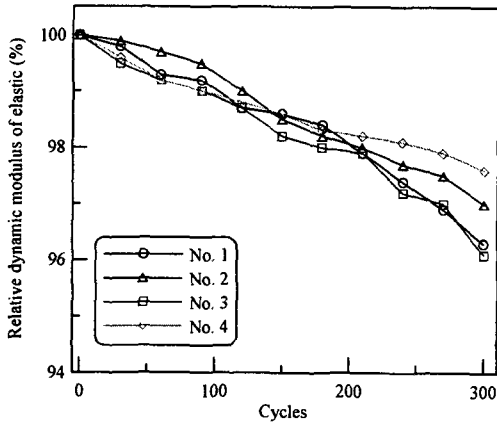


그림 5. 초고강도 콘크리트의 동탄성계수

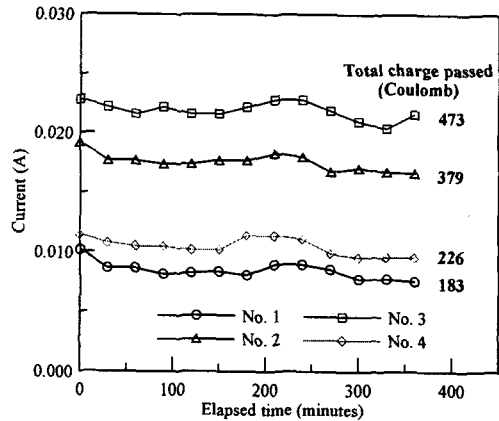


그림 6. 초고강도 콘크리트의 총 통과전하량

4. 결론

압축강도 100MPa 이상의 초고강도 콘크리트의 제조에 관한 시멘트 페이스트와 모르타르의 예비시험 및 콘크리트의 압축강도 및 내구 특성의 결과로부터 품질이 우수한 재료의 선정, 시멘트의 분말도, 혼화제의 사용량 및 굵은 골재의 최대 치수 등을 적절히 조정함으로써 표준 수중양생에서도 압축강도 100MPa 이상의 초고강도 콘크리트를 제조하는 것이 가능함을 알 수 있었다. 또한, 동결융해 저항성과 염화물 침투 저항성 실험의 결과로부터 초고강도 콘크리트는 매우 우수한 특성을 나타내었으나, 향후 낮은 물-결합재비와 분체의 과다 사용에 따른 시멘트의 수화열 등과 같은 많은 시험들이 연구되어야 할 것으로 생각된다.