플라이 애쉬 치환율에 따른 저열 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 고강도 영역에서의 강도발현 특성

Strength Development of Low Heat Portland Cement Concrete according of Substitution of Fly-ash in High Strength Range

김태홍* 하재담** 엄태선*** 이종열**** 권영호*****
Kim, Tae Hong Ha, Jae Dam Um, Tai Sun Lee, Jong Ryul Kwon, Young Ho

ABSTRACT

Strength development of low heat portland cement(Type IV) concrete according of addition of fly-ash in high strength range is tested. In this study strength development according to water-binder ratio, strength development according to age, effect of fly ash are tested.

This study tests effect of low heat portland cement in high strength range concrete and provide guide line concrete mix design for later study and construction.

1. 서론

최근 들어 국내에서 고강도 콘크리트는 초고층구조물, 프리스트레스트구조물, 교량상판, LNG 구조물 등에의 적용이 급속히 증가하는 추세이다. 고강도 콘크리트는 물-결합재 비가 낮기 때문에 단위결합재량이 증가하여 고강도 콘크리트의 문제점이라고 할 수 있는 자기수축, 수화열, 점성이 증대하여 타설 후 초기에 균열을 유발시키는 요인이 된다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 보통 포틀랜드 시멘트에 비하여 수화열, 자기수축 등의 특성이 월등히 우수한 저열 포틀랜드 시멘트를 베이스 시멘트로 사용하고 이에 추가적으로 작업성, 수밀성 등의 특성을 증대하기 위하여 플라이 애쉬를 치환한 콘크리트에 대하여 고강도 영역에서의 강도발현 특성을 평가하였다.

본 연구에서는, 기존의 연구 및 현장 적용 결과에 의하여, 현장 배치 플랜트에서 레미콘 품질관리가 용이한 단위수량인 165kg/m^{3}로 선정하여 물-결합재비를 고강도 영역인 25~33%로 변화하고 플라이 애쉬는 질량으로 시멘트를 10~30%로 치환하여 재령 7, 28 및 91일 압축강도를 평가하였다.

또한 자기 충전성 확보를 위하여 일반 콘크리트에 비하여 잔골재율, 단위혼화제량 등을 상향 조정하고 플라이 애쉬를 사용하여 고강도, 고유동 콘크리트의 특성이 발현될 수 있는 콘크리트 배합을 선정하였다.

*정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 주임연구원
**정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 책임연구원(공학박사)
***정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 실장(공학박사)
****정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 소장
*****정회원, 동양대학교 건축공학과 교수

2. 사용재료 및 콘크리트 배합

2.1 사용재료

결합재로 저열 포틀랜드 시멘트, 강열감량 3.2%, 분말도 3.500cm^2/g의 삼천포산 플라이 애쉬 및 잔 골재는 밀도 2.59의 강사, 굵은 골재는 최대크기가 20mm 쇄석 및 혼화제로 폴리카본산계 고성능 AE감수제를 사용하여 고강도 콘크리트를 제조하였으며 본 연구에 사용한 저열 포틀랜드 시멘트의 화학적, 물리적 특성은 다음 표 1 및 표 2와 같다.

표 1 시멘트의 화학적 성질

항목	화학성분(%)						광물조성(%)			
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	SO_3	R_2O	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
시험 결과	25.3	3.1	3.6	62.5	2.3	0.51	31	48	3	11

표 2 시멘트의 물리적 성질

항목	Blaine (cm^2/g)	안정도 (%)	KS수화열(cal/g)		응결(길모아시험)		KS 압축강도(kgf/cm^2)			
			7일	28일	초결 (분)	종결 (시:분)	3일	7일	28일	91일
시험 결과	3,500	0.03	55	67	350	9:20	126	175	335	502

2.2 콘크리트 배합

본 연구에서 단위수량은 165kg/m^{3}로 고정하고 저열 포틀랜드 시멘트를 베이스 시멘트로 사용하여 플라이 애쉬를 시멘트 질량의 0, 10, 15, 20 및 30% 치환하여 물-결합재비 25, 27, 30 및 33% 영역에서의 강도발현 특성을 평가하고 검토하였다. 슬럼프 플로우 600~700mm, 공기량 3~5%를 목표로 잔골재율 및 혼화제량을 변경하여 배합을 선정하였으며 물-결합재비별 콘크리트 배합을 다음 표에 나타내었다.

표 3 물-결합재비별 콘크리트 배합표

배합 구분	플라이 애쉬 치환율 (%)	W/B (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m^3)					
				W	B		S	G	SP (B%)
					C	FA			
F00-25	0	25	49.0	165	660	0	774	815	1.30
F00-27	0	27	50.5	165	611	0	818	811	1.30
F00-30	0	30	52.0	165	550	0	868	810	1.30
F00-33	0	33	53.5	165	500	0	914	804	1.30
F10-25	10	25	50.5	165	594	66	785	779	0.95
F10-27	10	27	52.0	165	550	61	830	775	0.80
F10-30	10	30	53.5	165	495	55	882	775	0.85
F10-33	10	33	54.5	165	450	50	921	778	0.80
F15-25	15	25	50.0	165	561	99	772	780	1.25
F15-27	15	27	51.5	165	519	92	816	778	1.00
F15-30	15	30	52.0	165	468	83	867	778	0.90
F15-33	15	33	52.5	165	425	75	882	808	1.00

배합 구분	플라이 애쉬 치환율 (%)	W/B (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m^3)					
				W	B		S	G	SP (B%)
					C	FA			
F20-25	20	25	49.5	165	528	132	758	782	1.25
F20-27	20	27	51.0	165	489	122	803	780	1.20
F20-30	20	30	52.5	165	440	110	854	782	1.20
F20-33	20	33	53.0	165	400	100	886	785	1.20
F30-25	30	25	49.0	165	462	198	738	777	1.20
F30-27	30	27	50.5	165	428	183	783	777	1.20
F30-30	30	30	52.0	165	385	165	836	780	1.20
F30-33	30	33	53.5	165	350	150	884	777	1.20

3. 시험 결과 및 고찰

3.1 압축강도 특성

재령별 콘크리트의 압축강도 측정결과를 다음 그림에 나타내었다. 물-결합재비에 따라 재령 28일에서 48.5~82.5MPa이 발현되었으며 재령 91일에서 68.3~99.6MPa이 발현되었다.

플라이 애쉬 치환율이 증가할수록 재령 91일 강도는 거의 선형적으로 저하하였으며 이는 플라이 애쉬의 포졸란 반응으로 인한 장기강도 발현보다 저열 포틀랜드 시멘트의 장기강도 발현특성이 우수하기 때문인 것으로 판단된다.

일반적으로 저열 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 재령 28일 대비 91일의 강도 발현율은 보통 강도 영역에서는 140~150%이나 고강도 영역에서는 115~120%로 감소한 반면 재령 28일 대비 7일의 강도 발현율은 보통 강도 영역에서는 50~60%인 반면 고강도 영역에서는 65~70%로 증가하는 것으로 나타났으며 플라이 애쉬 치환율이 증가할수록 강도 발현율은 장기재령에서는 증가하였고 초기재령에서는 감소하였다.

플라이 애쉬 치환율에 따른 강도발현은 10%를 치환한 경우에는 장기재령에서 치환하지 않은 배합과 거의 비슷한 경향을 나타내었지만 15% 이상의 치환율에서는 강도가 저감하는 것으로 나타났다.

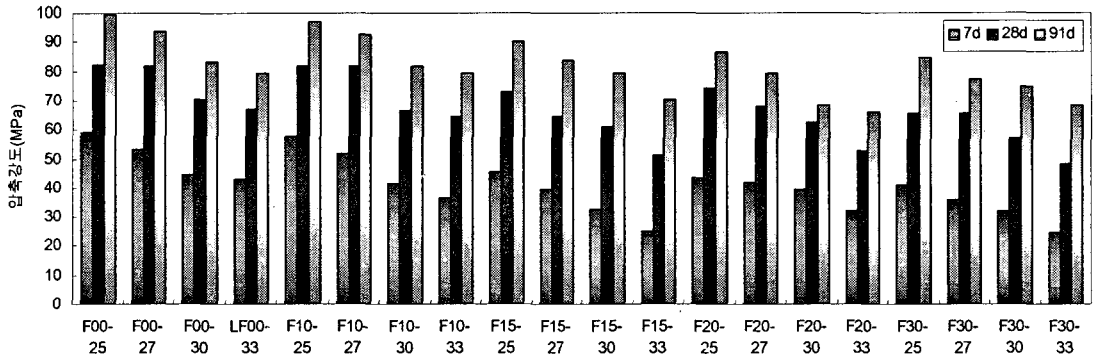

그림 1 플라이 애쉬 치환율에 따른 물-결합재비 및 재령별 압축강도

또한 결합재-물비 및 플라이 애쉬 치환율이 재령 91일의 압축강도에 미치는 영향을 평가하기 위하여 통계적으로 분산분석을 실시한 결과, 다음 표에서 보는 바와 같이, 99% 신뢰 수준에서 압축강도에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

표 4 압축강도의 분산분석

요인	SS	DF	MS	F-value	P-value
플라이애쉬 치환율	649.68	4	162.42	41.48	0.000
결합재-물비	1052.33	3	350.78	89.59	0.000
Error	46.98	12	3.92		
Total	1749.00	19			

3.2 결합재-물비와 압축강도와의 관계식

플라이 애쉬 치환율에 따른 재령별 결합재-물비와 압축강도 관계를 회귀 분석하여 상관식을 나타낸 결과는 다음과 같으며 재령28일에서 플라이 치환율이 15%와 20%인 경우, 거의 동일한 상관식이 나타났으며 이는 플라이 애쉬 치환율이 15~20%에서는 결합재-물비에 따른 강도 발현이 거의 동일 한 것을 나타낸다.

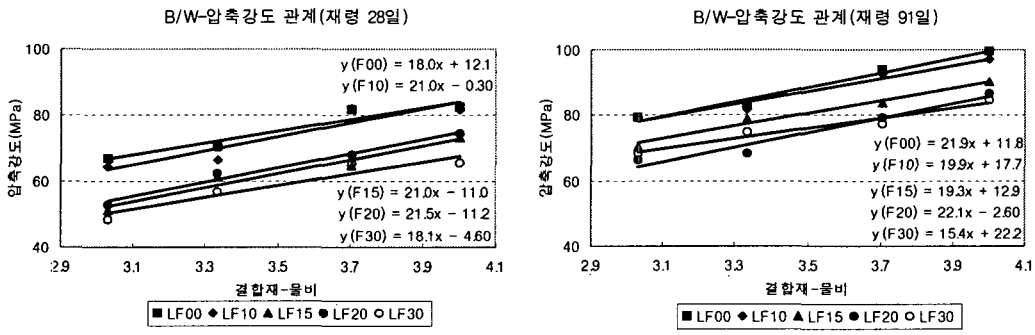

그림 2 결합재-물비와 압축강도의 관계(LF)

4. 결론

고강도 영역에서 저열 포틀랜드 시멘트에 플라이 애쉬를 치환하여 압축강도를 평가한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 저열 포틀랜드 시멘트에 플라이 애쉬 10%를 치환한 경우 재령 91일에서 80~90MPa 이상이 발현되는 것으로 나타나 고강도 및 저발열성이 요구되는 콘크리트 구조물에 유효한 것으로 판단된다.
2) 플라이 애쉬 치환율이 15~20%에서는 결합재-물비에 따른 강도 발현이 거의 동일 하게 나타나서, 플라이 애쉬 치환율 15~20% 영역에서는 강도 발현특성에 미치는 영향이 적은 것으로 판단된다.

또한 자기수축, 수화열, 내구성 등 고강도 콘크리트에서 중요한 특성은 현재 평가 중에 있다.

5. 참고 문헌

1) 하재담 외 5인, 저열 포틀랜드 시멘트를 사용한 고유동, 고강도콘크리트에 관한 연구, KCI 1997년도 가을 학술발표회, 1997.
2) 하재담 외 3인, 저열 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 고강도 영역에서의 강도발현 특성, KCI 2005년도 봄 학술발표회, 2005.