

플라이애쉬 혼입량 및 양생방법이 콘크리트의 강도발현에 미치는 영향

The Effect of Flyash Content and Curing Condition on Strength Development of Flyash Concrete

이진용*

Lee, Chin Yong

배성용**

Bae, Sung Yong

Abstrat

The strength development of Flyash concrete containing various amount of Flyash (0, 10, 30, 50%) using as a cement replacement material was investigated two types of curing conditions, namely water curing at 21°C and steam curing at 85°C were adopted for this work. in water curing the strength development of Flyash concrete was always inferior to that of OPC (Ordinary Portland Cement) concrete at early ages, although the differences were dependant up percentage of Flyash.

The strength of Flyash concrete based on equivalent strength development at 28 days was also tested and the results exhibited that the strength was improved at early days, specially, the concrete containing 30% of Flyash, in steam curing for the same mix(270kg/cm³) the strength of Flyash concrete similar to that of OPC concrete, in other words, Flyash was strongly influenced by curing temperature in the strength development.

1. 서론

환경보존과 자원의 재활용이 강조되고 있는 시점에서 석탄화력발전소의 부산물인 석탄회(플라이애쉬)의 처리가 필수적이다. 선진외국에서는 오래전부터 플라이애쉬의 재활용에 많은 연구비를 투자하고 있다. 예를들어 캐나다에서는 높은양의 플라이애쉬를 콘크리트에 혼입하여 시멘트의 대체재로 사용하는 연구를 하고있으며, 영국에서는 시멘트 소비량의 반이상을 포조란 계통(플라이애쉬, 슬래그)

* 정희원, 동아건설산업(주) 기술연구팀 수석 연구원

** 정희원, 동아건설산업(주) 기술연구팀 연구원

이 차지하고있다. 국내에서는 연간 2,600만톤정도의 플라이애쉬가 생산되었으며, 재활용량은 약 15%로 일본과 미국은 40%, 이탈리아와 벨기에에는 각각 60%, 70%에 비해서 상당히 떨어져 있으며, 2,000년대에는 플라이애쉬의 생산량이 4,000만톤으로 예상하고 있어 재활용 촉진을 위한 기술개발이 절실히 요구되고 있다.

2. 연구의 배경 및 목적

플라이애쉬는 주로 시멘트 및 잔골재의 대체재 그리고 콘크리트의 특성을 변화시키는 혼화재로 쓰이고 있으며, 이외에도 성토재, 토지개량재, 경량골재등 다양한 분야에서 사용되고 있으나, 현재 국내에서는 플라이애쉬 활용분야 및 범위가 선진국에 비하여 떨어져있다.

플라이애쉬는 인공포조란에 속하며 그 자체는 수경성이 거의 없으나 시멘트와 혼합하여 사용하게 되면 상온에서 반응하여 수용성의 규산칼슘을 만드는 포조란 반응을 시킨다. 이러한 포조란반응에 의해 플라이애쉬 주변이 포조란 반응생성물로 충전되면서 시멘트경화체가 단단하게 결합되어 조기강도는 낮지만 장기재령에서 강도가 증가되고 콘크리트의 수밀성과 내구성을 크게 향상시킨다.우리 나라도 선진국이상의 플라이애쉬 소비를 증가시키기 위해서는 플라이애쉬를 구조물에 사용하는 것이 필수적이며 플라이애쉬 콘크리트 생산시 플라이애쉬의 대체율을 높이는 기술이 중요한 것으로 간주된다. 따라서 본 연구에서는 콘크리트에 플라이애쉬를 혼합함으로써 발생하는 콘크리트의 낮은 조기강도를 극복하기 위하여 불 시멘트비를 변화 및 증기양생방법으로 플라이애쉬를 혼입하여 고품질 콘크리트를 생산하므로써 보통시멘트만으로 사용하여 만든 콘크리트 2차제품을보다 경제적이고 내구성이 높은 품질이 우수한 콘크리트 2차제품을 생산하는 것이 목적이다.

3. 실험

3.1 실험개요

본 연구는 기존의 배합비에서 플라이애쉬를 혼입함으로써 콘크리트 2차제품생산시 물·시멘트비변화와 증기양생에 따른 강도발현효과를 파악하고자 하였다. 본 시험은 PC판넬공장에서 많이 사용하는 기존배합비를 토대로 실시하였으며, 양생방법 또한 현장여건을 고려하여 동일하게 실시하였다. 콘크리트의 설계강도는 국내에서 일반적으로 PC수직판넬을 적용하고 있는 270kg/cm²압축강도를 선택하여 실시하였다. 그리고 시험의 내용은 재료의 기본실험을 통하여 굳지 않은 콘크리트의 특성, 플라이애쉬의 혼입에 따른 배합설계 실시하고 이에 따른 경화콘크리트의 특성을 관찰하였다. 그리고 굳지 않은 콘크리트의 특징중에 슬럼프는 8±2.5cm, 공기량은 플라이애쉬혼입의 영향을 관찰하기로하였다. 또한, 플라이애쉬콘크리트가 물·시멘트비변화에 따른 수중양생 및 증기양생을 실시하므로 강도발현에 미치는 영향을 파악하였다.

3.2 실험재료 및 배합설계

3.2.1 시멘트

시멘트는 쌍용양회에서 생산된 일반보통포틀랜드 1종시멘트를 사용하였으며, 플라이애쉬는 보령화력발전소의 유연탄플라이애쉬를 사용하였으며, 화학적조성 및 물리적특성은 표 1과 같다.

표 1 시멘트 화학적조성 및 물리적특성

종 류 \ 항 목	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Ig. loss(%)	비 중	비표면적 (cm ² /g)
시멘트	20.57	5.64	3.26	63.1	3.35	2.11	1.21	3.15	3,150
플라이애쉬	52.09	25.36	12.90	2.58	1.37	7.07	3.70	2.15	4,230

3.2.2 골재

충청남도 공주 금강하류에서 채취한 잔골재를 사용하였으며, 굵은골재는 최대크기가 19mm인 쇄석을 사용하였으며, 골재의 물리적인 특성은 표 2와 같다.

표 2 골재의 물리적 특성

종 류	비 중	흡수율 (%)	조립률 (F.M)	단위중량 (kg/cm ³)	실적률 (%)	유기불순물
잔골재	2.61	1.2	2.58	1,512	61.8	양 호
굵은골재	2.64	0.3	7.42	1,552	62.6	양 호

3.2.3 혼화제

슬럼프를 향상시킬 목적으로 한국마이티에서 생산되는 유동화제를 사용하였으며, 물리적 특성은 표 3과 같다.

표 3 유동화제의 물리적특성

종 류 \ 성 질	비 중	pH	점 도	고형함량(%)	색 갈
유동화제	1.2	9.1	180	40.0	진한갈색

3.2.4 배합비

배합설계는 일반적으로 PC수직판넬의 소요압축강도를 기준으로하여 배합비를 선정한 후, 플라이애쉬는 시멘트의 중량비 10, 30, 50%를 대체하였다. 그리고 플라이애쉬를 대체함으로써 조기 강도발현이 늦어지는 것을 고려하여 시험배합을 실시한 후, 물·시멘트비를 변화하여 28일강도가 비슷한 배

표 4 콘크리트 배합비

설 계 강 도 (kg/cm ²)	배 합 명	배합비, kg/m ³							
		W/B	물	결합재		잔골재율	잔골재	굵은골재	혼화제,%
				시멘트	플라이애쉬				
270	FA 0%	0.50	200	400	0	43	739	977	-

(물·시멘트비변화에 따른 배합명은 플라이애쉬혼입량의 10, 30, 50%에 따라 각각 FA 10% FA 30%, FA50%로 표기)

합비를 도출한 후 최종배합비로 선택하였다. 또한 물·시멘트비변화에 따른 기존의 배합비보다 결합재량이 많아지는 것을 고려하여 잔골재율을 조금씩 적게하여 아래와 같은 배합비로 배합을 실시하였다.

3.2.5 실험방법

우선 잔골재 및 굵은골재를 계량 및 시멘트, 플라이애쉬를 투입하여 건비빔을 1분 30초간 한후, 물을 첨가하여 1분 30초간 배합을 하였다. 그리고 수중양생 및 증기양생시험에 필요함 압축강도 몰드 10×20cm를 강도일 따라 각각 3개씩 제작였다. 공시체는 연마기로 캠핑을 한후 강도시험은 KS F 2405의 규정에 따라 200톤형 만능재료시험기를 사용하였으며, 압축강도재령은 3, 7, 14, 21, 28일로 측정하였다

3.3 양생방법

본 연구의 양생방법은 일반콘크리트에 플라이애쉬대체량에 따른 강도발현을 관찰하기 위해 수중양생과 증기양생방법을 실시하였으며, 전자는 공시체 탈형후 충분한 수분공급으로 콘크리트의 수화반응을 지속적인 강도발현을 관찰하며, 후자는 조기강도를 필요로하는 콘크리트 2차제품 생산하기위해 증기양생을 실시하였으며, 특히 플라이애쉬대체량에 따른 콘크리트는 고온에서 강도발현영향에 관하여 관찰하였다.

양생방법은 아래와 같이 수중양생과 증기양생방법을 실시하였다.

- a) 수중양생 : 21℃의 수중양생
- b) 증기양생 : 타설후 85℃까지 3시간 상승시킨후, 5시간동안 85℃에서 등온으로 유지후, 다시 3시간동안 대기온도로 낮춤, 그 후 기건양생

4. 실험결과 및 고찰

콘크리트의 워커빌리티를 확보하기위해 물·시멘트비변화에 따른 슬럼프감소는 유동화제를 첨가하여 슬럼프 8±2.5cm 범위를 만족시켰다. 그림 1은 플라이애쉬의 혼입율에 따른 공기량 차이를 보여주고 있다. 공기량차이는 다소 플라이애쉬혼입 및 결합재량의 증가할수록 증가하였다. 그것은 플라이애쉬내의 미연탄소분이 공기량의 변화에 영향을 미친 것으로 사료된다.

4.1 수중양생 압축강도발현

콘크리트강도를 결정하는 주요변수로는 결합재의 량과 물 시멘트비에 의해서 주로 결정된다. 일반적으로 플라이애쉬 F급(low lime)은 SiO₂가 많이 함유하고 있는 반면에 CaO함유량이 적어 자경성이 없기 때문에 기존의 연구결과와 비슷하게 일반콘크리트에 플라이애쉬를 혼입함으로 강도발현이 저하되는 경향도 본 시험을 통하여 관찰하였다. 그리고 28일 압축강도를 기준으로하여 플라이애쉬대체량에 따라 물 시멘트비변화하여 강도발현을 촉진시켰으나, 3일, 7일강도발현은 기준콘크리트보다 다소 낮게 강도발현을 보여주고 있다. 특히 혼입량이 증가할수록 28일에서는 비슷한 강도발현을 하였으나, 조기에 강도발현이 현저하게 저하되었다.(그림 2)

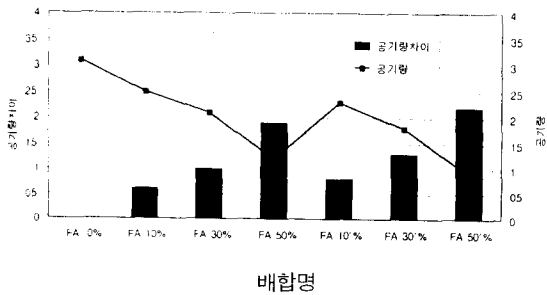


그림 1 플라이애쉬혼입량 및 물 시멘트비변화에 따른 공기량

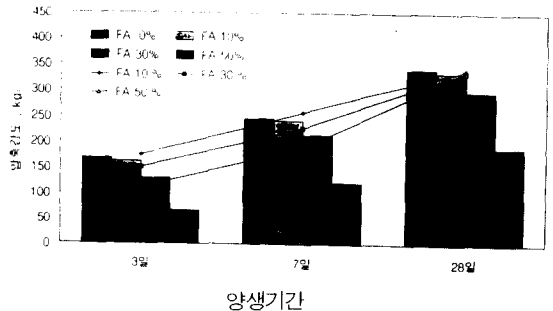


그림 2 수중양생에 따른 플라이애쉬콘크리트 강도발현

4.2 증기양생 압축강도발현

증기양생은 콘크리트2차 제품 생산시 주로 많이 사용되며, 콘크리트제품을 조기에 거푸집을 탈형 및 충분한 소요강도를 얻기위한 것이다. 본 시험은 플라이애쉬를 혼입함으로써 일반콘크리트보다 초기강도가 낮은 결점을 극복하고 위해 포졸란 반응을 촉진시키는 고온의 증기양생방법을 택했다. 그결과 증기양생시 강도발현은 수중양생보다 플라이애쉬혼입의 따른 강도저감의 영향이 적게 나타나고 있으며, 특히 물 시멘트비 변화로 강도증진은 수중양생보다 훨씬 우수하게 강도발현의 효과를 보였다.(그림 3)

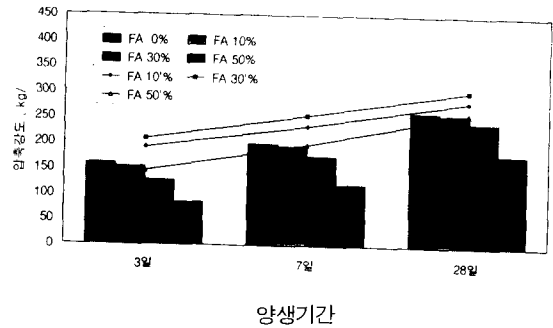


그림 3 증기양생에 따른 플라이애쉬콘크리트 강도발현

그리고 수중양생 및 증기양생의 압축강도비는 표 1과 같으며, 또한 강도재량은 오래될수록 압축강도비가 높아짐을 관찰할 수 있다.

$$P = (S1/S2) * 100$$

여기서 P=압축강도비(%)

S1=플라이애쉬를 혼입한 콘크리트의 압축강도(kg/cm²)

S2=기준콘크리트의 압축강도(kg/cm²)

5. 결론

본 연구에서는 석탄회 처리촉진방안으로 수행하였으며, 특히 플라이애쉬혼입한 콘크리트는 수중양생보다 증기양생에 활용방안이 높을 것을 판단되며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 콘크리트에 플라이애쉬를 혼입함으로써 위커빌리티는 향상되나, 공기량은 점점 감소하는 경향을 나타냈다.

표 5 플라이애쉬콘크리트의 압축강도비(%)

양생 방법	배합명 재령	FA 0%	FA 10%	FA 30%	FA 50%	FA 10'	FA 30'	FA 50'
		수양생	3 일	100.0	96.4	76.8	39.3	103.6
	7 일	100.0	98.4	87.4	49.6	104.5	92.7	77.2
	28 일	100.0	98.0	86.8	55.6	99.4	98.2	98.0
증기양생	3 일	100.0	96.2	79.9	52.8	119.5	130.2	91.2
	7 일	100.0	98.0	87.9	60.6	117.7	128.3	99.5
	28 일	100.0	98.5	92.7	69.0	108.0	115.7	98.9

- 2) 플라이애쉬 콘크리트는 물 시멘트비의 변화로 28일강도발현이 보통콘크리트와 비슷하나, 조기 강도는 낮았다.
- 3) 증기양생방법은 수증양생방법의 결과와 달리 고온으로 인한 플라이애쉬를 조기에 포조란반응이 함으로써 3, 7, 28일 강도발현이 우수하게 촉진되었다.

참 고 문 헌

1. 대한주택공사, 프리캐스트콘크리트 부재제작 및 조립공사 표준시방서, 1996.
2. higginson. Elmo C., "Effect of Steam Curing on the Important Properties of Concrete", Journal of ACI, Vol 58, No. 13, 1961 pp. 281-298.
3. ACI Committee 517, "Accelerated Curing of Concrete at Atmospheric Pressure -Sate of the Art, ACI Standard 1980.
4. ACI Committee 308, "Standard Practice for Curing Concrete", ACI Standard 1992.
5. ACI Committee 226, "Use of Fly Ash in Concrete", Committee Report, 1994
6. M.K. Gopalan, M.N. Haque, "Effect of Curing Regime on the Properties of Fly Ash Concrete", Journal of ACI, Vol, 84, No.1, 1987, pp.14-19
7. Malhotra V.M. and A.A. Ramezaniapour, "Fly Ash in Concret" 1994.9
8. Bev Brown, "What the ready-mixed concrete industry has to offer", Journal of concrete, Vol 31, No. 2, 1997, 2