
증기양생이 플라이애쉬콘크리트 강도발현에 미치는 영향

The Strength Development of Flyash Concrete in Steam Curing



이진용*

Lee, Chin Yong



배성용**

Bae, Sung Yong

ABSTRACT

The strength development of 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 content 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, the strength development of flyash concrete is strongly influenced by curing condition.

Keywords : Strength development, Flyash concrete, curing temperature, water curing, steam curing

* 정회원, 동아건설산업(주) 기술연구소 책임연구원

** 정회원, 동아건설산업(주) 기술연구소 연구원

• 본 논문에 대한 토의를 1998년 4월 30일까지 학회로 보내주시면 1998년 6월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서론

환경보존과 자원의 재활용이 강조되고 있는 시점에서 석탄화력발전소의 부산물인 석탄회(플라이애쉬)의 처리가 필수적이다. 선진국에서는 오래 전부터 플라이애쉬의 재활용에 많은 연구비를 투자하고 있다. 예를들어 캐나다에서는 많은양의 플라이애쉬를 콘크리트에 혼입하여 시멘트의 대체재로 사용하는 연구를 하고 있으며, 영국에서는 시멘트 소비량의 반 이상을 포졸란 계통(플라이애쉬, 슬래그등)의 혼화재를 활용하고 있다.¹⁾ 국내에서는 연간 260만톤정도의 플라이애쉬가 생산되었으며, 재활용량은 약 15%로 일본과 미국은 40%, 이탈리아와 벨지움은 각각 60%, 70%에 비해서 상당히 떨어져 있으며, 2000년대에는 플라이애쉬의 발생량이 400만톤으로 예상하고 있어 재활용 촉진을 위한 기술개발이 절실히 요구되고 있다.

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

플라이애쉬는 인공포졸란에 속하며 그 자체는 수경성이 거의 없으나 시멘트와 혼합하여 사용하게 되면 상온에서 반응하여 불용성의 규산칼슘을 만드는 포졸란반응을 일으킨다. 이러한 포졸란반응에 의해 플라이애쉬 주변이 포졸란반응의 생성물로 충전되면서 시멘트경화체가 단단하게 결합되어 초기강도는 낮지만 장기재령에서 강도가 증가되고 콘크리트의 수밀성과 내구성을 크게 향상시킨다.우리 나라도 선진국이상의 플라이애쉬 소비를 증가시키기 위해서는 플라이애쉬를 구조물에 사용하는 것이 필수적이며 플라이애쉬 콘크리트 생산할 때 플라이애쉬의 혼입율을 높이는 기술이 중요한 것으로 간주된다.

따라서 본 연구에서는 콘크리트에 플라이애쉬의 혼입량을 높임으로서 발생하는 콘크리트의 낮은 초기강도를 극복하기 위하여 물·시멘트비변화 및 증기양생방법을 이용하고, 그 결과로 고품질 콘크리트를 생산함으로써 보통시멘트로만 사용하여 만든 콘크리트보다 경제적이고 품질이 우수한 콘크리트를

생산하는 것이 목적이다.

2. 실험

2.1 실험개요

본 연구는 기존배합비에 플라이애쉬를 혼입하여 콘크리트 2차제품을 생산할 때 물·시멘트비변화와 증기양생에 따른 강도발현효과를 파악하고자 하였다. 본 실험은 PC판넬공장에서 많이 사용하는 기존 배합비를 토대로 실시하였으며, 양생방법 또한 현장여건을 고려하여 실시하였다. 콘크리트의 설계강도는 국내에서 일반적으로 PC판넬에 적용하고 있는 270kg/cm²압축강도를 선택하여 배합하였다. 그리고 실험내용은 페이스트시험을 통하여 수화생성물의 특성, 굳지 않은 콘크리트의 특성, 플라이애쉬 혼입량에 따른 배합설계를 실시하고 이에 따른 콘크리트의 강도발현을 비교분석하였다. 굳지않은 콘크리트의 특징중에 슬럼프는 작업성에 따른 최소범위를 고려하여 8.0±2.5cm에 고정시키고, 플라이애쉬 혼입량이 공기량에 미치는 영향을 관찰하였으며, 수중양생 및 증기양생을 실시하여 양생방법이 플라이애쉬콘크리트의 강도발현에 미치는 영향을 관찰하였다.

2.2 실험재료 및 배합설계

2.2.1 결합재

결합재는 1종 보통포틀랜드시멘트와 보령산 플라이애쉬를 사용하였으며, 화학적특성은 Table 1과 같다.

Table 1 Chemical properties of biner

원소	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Loss	비율	비율(%)
비율	Si	Al	Fe	Ca	Mg	S	Loss	비율	비율(%)
시멘트	51.7	16.4	3.3	61.5	3.5	2.1	1.2	313	35%
플라이애쉬	52.5	25.6	2.3	2.5	1.7	0.7	3.5	21	42%

2.2.2 골재

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

Table 2 Physical properties of aggregates

종 류	비 중	흡수율 (%)	조립률 (F.M)	단위용적중량 (kg/m ³)	실적률 (%)	유기물순물
산골재	2.61	1.2	2.58	1,512	57.9	양호
굵은 골재	2.24	0.3	4.24	1,532	58.8	양호

2.2.3 혼화제

물·시멘트비변화에 따라 동일한 슬럼프를 유지시킬 목적으로 고성능감수제를 사용하였으며, 물리적 특성은 Table 3과 같다.

Table 3 Physical properties of superplasticizer

성질	성분	비중	pH	점도(CPS)	고형함량 (%)	색깔
고성능감수제	나프탈렌 설펜산염	1.2	9.1	180	40.0	진한갈색

2.2.4 배합비

배합설계는 일반적으로 PC판넬의 270kg/cm² 압축강도를 기준으로 하여 배합비를 선정 한 후, 플라이애쉬를 시멘트중량비로 0, 10, 30, 50%로 혼입하여 배합하였다.(각각 혼입량에 따른 배합명은 FA 0%, FA 10%, FA 30% 및 FA 50%로 표기함) 그리고 플라이애쉬를 혼입함으로써 28일 강도가 떨어지는 것을 고려하여 결합재의 량을 증가(물·시멘트비 감소)시켜 실험배합을 실시한 후, 보통콘크리트 28일 강도와 동일한 강도의 배합비를 선정하였다(Table 4). 또한 물·시멘트비변화에 따른 기존배합비보다 결합재량이 많아지는 것을 고려하여 잔골재율을 조금씩 낮추면서 배합을 하였다.

Table 4 Mix proportions

설 계 강도 (kg/cm ²)	배합명	배 합 비 (kg/m ³)						혼화제
		W/B	물	잔골재		굵은 골재	-	
				시멘트	플라이애쉬			
270	FA 0%	0.50	200	400	0	735	983	-
	efa 10%	0.47	195	373	41	709	991	-
	efa 30%	0.49	190	341	146	657	956	1,242
	efa 50%	0.36	185	257	257	628	941	3,598

* 물시멘트비변화에 따른 배합명은 플라이애쉬혼입량의 10, 30, 50%에 따라 각각 efa 10%, efa 30% 및 efa 50%로 표기함.

2.3 실험방법

2.3.1 페이스트실험방법

보통포틀랜드시멘트에 플라이애쉬를 중량비로

70:30으로 배합하였으며, 물 결합재비는 0.4로 하였다. 그리고 5×5×5cm³의 큐브공시체를 만든 후 각각 5일간 수중양생, 기건양생, 증기양생을 실시하였으며, 증기양생한 공시체는 탈형후 항온항습실에 보관하여 측정하였다. 또한 시멘트의 수화반응을 정지시키기 위해 아세톤을 분한 후 45℃에서 24시간 건조시킨 후, 분석하였다.

1) Ca(OH)₂ 정량방법

Ca(OH)₂의 정량분석은 강열감량에 의한 방법으로 하였다. 이 방법은 약 1g의 시료를 350℃에서 5분간 유지한 후 무게를 측정하고, 500℃에서 10분간 유지한 후 무게를 측정한다. 그리고 그 감량으로부터 생성한 Ca(OH)₂의 결합수량을 먼저 구한 후, Ca(OH)₂의 생성량을 계산하였다.

$$\text{Ca(OH)}_2 \text{의 결합수량(wt.\%)} = 500^\circ\text{C 결합수량} - 350^\circ\text{C 결합수량}$$

$$\text{Ca(OH)}_2 \text{량} = \text{Ca(OH)}_2 \text{의 결합수량(wt.\%)} \times (\text{Ca(OH)}_2 / \text{H}_2\text{O})$$

2) 수화 생성물의 확인 및 관찰

수화생성물의 결정상을 확인하기 위하여 X선 회절분석기(Shimadzu사, XD-D1)로 CuK-α선을 사용하여 30kV, 30mA, Scan Speed 4deg/min의 조건으로 측정하였다. 그리고 수화 생성물을 관찰하기 위하여 주사형 전자현미경(Top con사, SX-30E)을 사용하였다.

2.3.2 콘크리트실험방법

우선 굵은골재, 잔골재, 시멘트 및 플라이애쉬를 투입하여 건비빔을 1분 30초간 한후, 배합수를 첨가하여 1분 30초간 배합하였다. 그리고 수중양생 및 증기양생실험에 필요한 압축강도 공시체 ϕ10×20cm를 재령에 따라 각각 3개씩 제작하였다. 양생후 공시체는 연마기로 연마한 후 KS F 2405의 규정에 따라 200분형 압축강도시험기를 사용하여 압축강도를 측정하였다(재령3, 7, 28일).

2.4 양생방법

본 연구의 양생방법은 플라이애쉬 혼입량에 따른

강도발현을 관찰하기 위해 수중양생과 증기양생을 실시하였으며, 전자는 공시체 탈형후 충분한 수분공급으로 콘크리트의 수화반응이 지속되고 이에따른 강도발현을 검토하고, 후자는 조기강도를 필요로 하는 콘크리트 2차제품인 PC판넬부재를 생산적용하기 위해 실시하였다.

- a) 수중양생 : 21℃의 수중양생
- b) 증기양생 : 타설후 전치양생기간은 25℃에서 2시간 지난 다음 85℃까지 3시간 상승시킨후, 5시간동안 85℃에서 등온으로 유지시킨후, 다시 3시간동안에 25℃로 낮춤, 그 후 기건양생

3. 실험결과 및 고찰

3.1 콘크리트

플라이애쉬콘크리트의 작업성은 콘크리트 2차제품인 PC판넬부재를 생산할 때와 동일하게 슬럼프를 8.0 ± 2.5 cm로 하였다. 대부분의 배합들은 목표 슬럼프를 얻을 수 있었으나, 플라이애쉬 혼입량이 높은 배합에서는 고성능감수제를 첨가하여 목표로 하는 슬럼프범위를 만족시킬 수 있었다. Fig. 1은 플라이애쉬의 혼입량에 따른 공기량 차이를 보여주고 있으며, 공기량차이는 다소 플라이애쉬혼입량 및 결합재량이 증가할수록 증가하였다. 이것은 플라이애쉬내의 미연탄소분이 공기량의 변화에 영향을 미친 것으로 판단된다.⁽²⁾

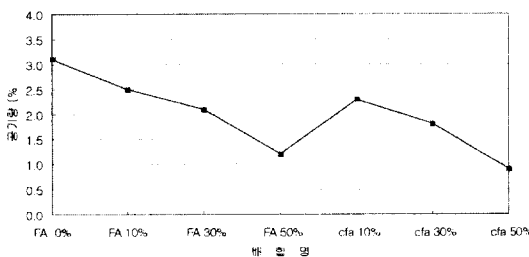


Fig. 1 Air content of Fly ash concrete

3.1.1 수중양생한 콘크리트의 압축강도발현

콘크리트강도는 물·시멘트비에 의해서 주로 결정된다. 일반적으로 플라이애쉬 F급(low lime)은 SiO₂를 많이 함유하고 있는 반면에 CaO함유량이 적어 자경성이 없다. 따라서 기존의 연구결과와 같이

플라이애쉬를 혼입함으로 콘크리트의 조기강도발현이 저하되었으며,⁽⁴⁾ 특히 플라이애쉬 혼입량이 증가할수록 강도저하는 현저하게 증가하였다. 또한 플라이애쉬 혼입량이 증가할수록 물·시멘트비를 낮추어 배합한 28일강도 경우는 FA 0%에서는 342.0kg/cm², cfa 10%에서는 340.0kg/cm², cfa 30%에서는 336.0kg/cm², cfa 50%에서는 335.0kg/cm²발현되어 비슷하게 관찰되었으며, 조기강도(3일)발현은 FA 0%에서는 168.0kg/cm², cfa 10%에서는 174.0kg/cm², cfa 30%에서는 150.0kg/cm², cfa 50%에서는 110.0kg/cm² 발현되므로 비슷한 조기강도를 얻기 위해서는 물·시멘트비를 더 낮추어 배합해야 될 것이다. 그리고 보통콘크리트(FA 0%)와 물·시멘트비가 동일한 플라이애쉬콘크리트보다 물·시멘트비를 변화한 각각의 플라이애쉬콘크리트의 28일강도 경우는 cfa 10%에서는 5.0kg/cm², cfa 30%에서는 39.0kg/cm², cfa 50%에서는 145.0kg/cm² 강도발현이 향상되었으며, 조기강도(3일)발현은 cfa 10%에서는 12.0kg/cm², cfa 30%에서는 21.0kg/cm², cfa 50%에서는 44.0kg/cm² 강도발현을 향상시켰다(Table 5). 따라서 플라이애쉬를 혼입한 콘크리트는 물·시멘트비를 변화하여 보통콘크리트보다 조기강도는 다소 낮게 발현되었지만, 재령 28일에서는 비슷한 강도발현을 하는 것이 관찰되었다.

Table 5 Strength development of Fly ash concretes in water curing

배합명 재령	FA 0%	FA 10%	FA 30%	FA 50%	cfa 10%	cfa 30%	cfa 50%
3일	168.0	162.0	129.0	66.0	174.0	150.0	110.0
7일	246.0	242.0	215.0	122.0	257.0	228.0	190.0
28일	342.0	335.0	297.0	199.0	340.0	336.0	335.0

시멘트 및 플라이애쉬페이스트를 수중양생시 Ca(OH)₂의 생성량은 Fig. 2와 같으며, 플라이애쉬를 혼입함으로써 Ca(OH)₂의 생성물이 적게 생성되었다. 시멘트페이스트는 재령 7일부터 28일까지 Ca(OH)₂ 생성량이 다소 증가하고 있으며, 플라이애쉬페이스트의 Ca(OH)₂ 생성량이 재령 7일부터 플라이애쉬중의 가용성 규산분들이 Ca(OH)₂와 포졸란반응으로 소비되어 Ca(OH)₂의 생성량이 서서히 감소된 것으로 판단된다.⁽⁴⁾

Fig. 3에서 시멘트페이스트가 육각판상의

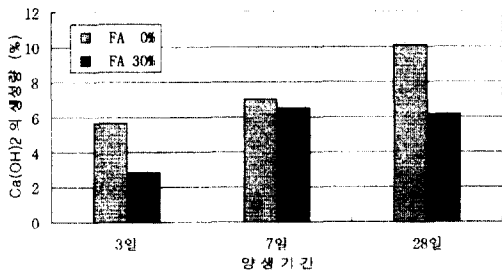


Fig. 2 Amount of Ca(OH)_2 in cement and Fly ash paste in water curing

Ca(OH)_2 수화물과 미량의 AFt상이 있는 것을 관찰하였으며, 플라이애쉬페이스트는 미량의 AFt상과 미수화 Cenosphere등이 관찰되었다.¹⁰⁾ Fig. 4에서 보면, Ca(OH)_2 와 Calcite 및 α -C-S 수화상이 총합 피크로 주결정상이 나타나고 그 외 C-S-H와 C_2S , α -C-S, β -C-S 수화물 및 AFt상이 약간 존재함을 관찰할 수 있으며, 피크는 플라이애쉬페이스트에서 낮게 관찰되었다. 그리고 수중양생 7일에서 시멘트페이스트는 d값 약 3.3부근에서 α -C-S 수화물이 거의 소멸되었다.

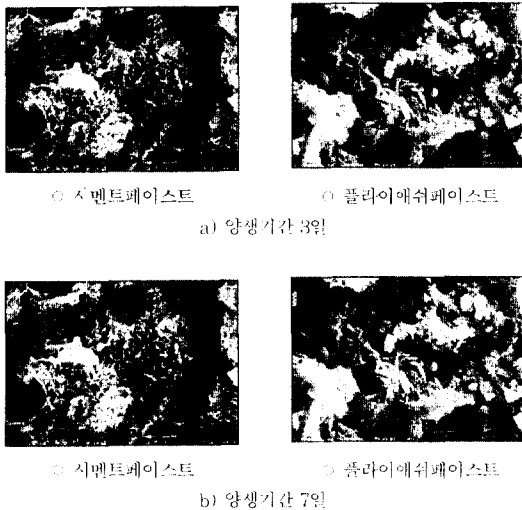
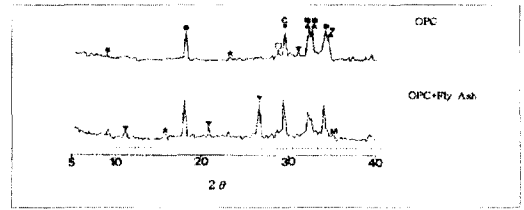


Fig. 3 SEM analysis of cement and Fly ash paste in water curing

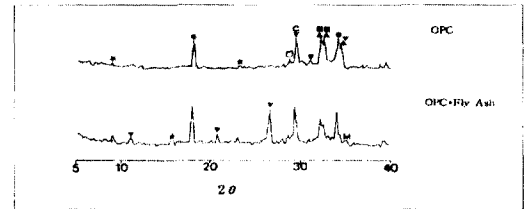
3.2.2 증기양생한 콘크리트의 압축강도발현

본 실험은 플라이애쉬를 혼입함으로써 보통콘크리트보다 조기강도가 낮은 결점을 극복하고 포졸란반

- : Ca(OH)_2
- ★ : $\text{AFt}(\text{Ca} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O})$
- ▼ : α -C-S hydrate- $\text{Hf}(\text{Ca}(\text{HSiO}_3)_2(\text{OH}))$
- : Calcite(CaCO_3)
- ▲ : $\text{C}_2\text{S}(\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2)$
- : $\text{C}_3\text{S}(\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2)$
- ◇ : C-S-H($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)
- ▽ : Mullite($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$)



a) 양생기간 3일



b) 양생기간 7일

Fig. 4 XRD analysis of cement and Fly ash paste in water curing

응을 촉진시키기 위하여 고온의 증기양생을 실시하였다. 실험결과는 증기양생을 할 때 보통콘크리트보다 cfa 10%의 3일강도는 31.0kg/cm², 28일강도는 21.0kg/cm², cfa 30%의 3일강도는 48.0kg/cm², 28일강도는 41.0kg/cm²정도의 강도증진효과가 있었다. 그러나 cfa 50%배합에서 3일강도는 14.0kg/cm²강도저하를 보였으며, 28일강도는 비슷한 강도발현을 하였다. 따라서 물 · 시멘트비를 변화시킨 플라이애쉬콘크리트는 수중양생보다 증기양생할때에 포졸란반응을 촉진시켜 강도증진효과를 보여준 것으로 판단된다(Fig. 5).

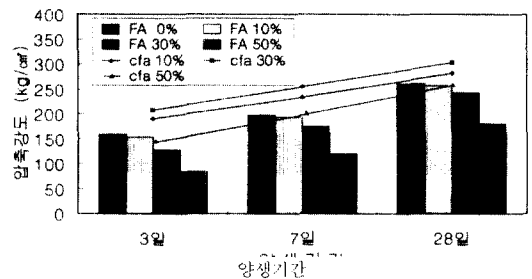


Fig. 5 Strength development of Fly ash concrete in steam curing

시멘트 및 플라이애쉬페이스트의 수화반응은 Fig. 6과 같이 수중양생보다 증기양생을 한 것이 매우 촉진되어 C-S-H수화물과 Ca(OH)₂ 수화물이 많이 생성되었다. Fig. 7에 결과에서와 같이 증기양생을 하면, 수중양생한 시멘트 및 플라이애쉬페이스트보다 수화반응이 급속히 촉진되어 비록 1일양생후에도 보통양생에서 3일간 양생한 수화물보다 더 많이 생성되는 것을 보여주고 있다. 그러나 3일에는 C₂S, -C₂S피크가 작아지면서 Ca(OH)₂와 Calcite 및 -C₂S 수화상의 중첩피크가 성장하였다.

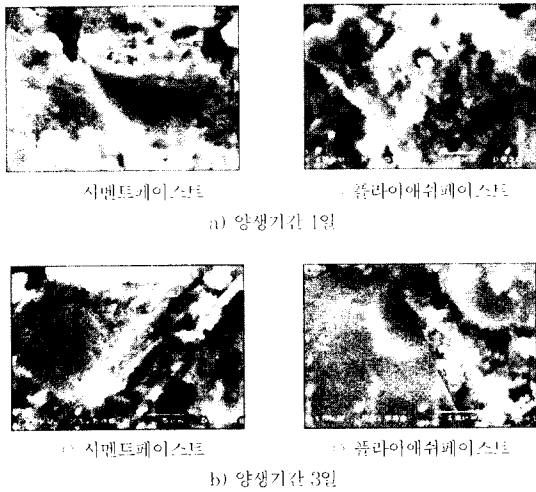
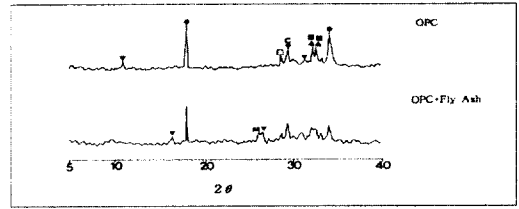


Fig. 6 SEM analysis of cement and Fly ash paste in steam curing

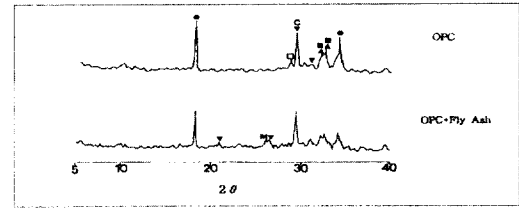
3.2.3 증기양생후 지속적인 수분공급이 강도발현에 미치는 영향

증기양생후 지속적인 수분양생이 콘크리트에 미치는 영향을 관찰하기 위해서 증기양생후 3일간 수중양생한 콘크리트의 강도발현과 증기양생후 기건양생한 콘크리트의 강도발현을 비교하였다. 증기양생후 3일간 수중양생한 콘크리트는 기건양생한 콘크리트보다 강도발현이 FA 0%에서는 51~72kg/cm², cfa 10%에서는 23~50kg/cm², cfa 30%에서는 25~58kg/cm², cfa 50%에서는 45~60kg/cm² 강도증진효과 있었다. (Fig. 8) 이것은 지속적인 수분공급이 강도발현을 촉진시킨 것으로 판단된다.¹⁷⁾ 따라서 플라이애쉬를 콘크리트 2차제품에 혼입할 때는 증기양생을 실시후에도 일정기간(3일이상)동안 수중양생을 하는 것이 콘크리트품질을 향상시킬 수 있는 좋은 양생방

- : Ca(OH)₂
- ★ : AFm(C₃A·3CaSO₃·3H₂O)
- ▼ : C₂S hydrate-H(C₂H(SiO₃)₂(OH))
- : Calcite(CaCO₃)
- ▲ : C₃S(C₃A·SiO₂)
- : (C₂S·2CaO·SiO₂)
- : C₂S-H(C₂AO·SiO₂·H₂O)
- ◇ : Mullite(3Al₂O₃·2SiO₂)



a) 양생기간 3일



b) 양생기간 7일

Fig. 7 XRD analysis of cement and Fly ash paste in steam curing

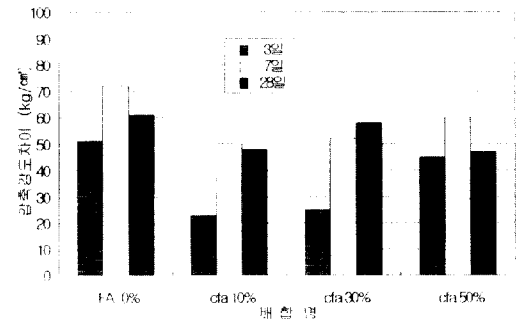


Fig. 8 Difference of concrete strength between air curing and water curing after 3 days steam curing

법으로 판단된다.

3.2.4 양생방법에 따른 플라이애쉬콘크리트의 압축강도비

양생방법에 따른 강도발현 정도를 알아보기 위하여 수중양생 및 증기양생의 압축강도비를 Table 6에 표시하였으며, 그 산정방법은 아래와 같다.

$$P = (S_1/S_2) * 100$$

여기서 P=압축강도비 (%)

S₁ = 플라이애쉬를 혼입한 콘크리트의 압축

강도 (kg/cm²)

S₂=보통콘크리트(FA 0%)의 압축강도 (kg/cm²)

결과에 의하면 양생기간이 길어질수록 압축강도비가 높아지고, 증기양생은 수증양생보다 압축강도비가 증가한 것으로 관찰되었다. 이것은 배합비 조정으로 인한 불결합재비의 감소와 증기양생으로 인한 높은 온도 및 충분한 수분공급이 수화작용을 조기에 촉진시키고 또한 포졸란반응을 조기에 촉진함으로 압축강도가 증가한 것으로 판단된다.

Table 6 Strength ratio in Fly ash concrete(%)

양생 방법	배합비 (%)	FA 0%	FA 10%	FA 30%	FA 50%	FA 10%	FA 30%	FA 50%
		수증 양생	100.0	96.4	76.8	39.3	103.6	89.3
증기 양생	3일	100.0	98.4	87.4	89.6	104.5	92.7	77.2
	7일	100.0	98.0	86.8	55.6	99.1	98.2	98.0
	28일	100.0	96.2	79.9	32.8	119.5	130.2	91.2
수증 양생	3일	100.0	98.0	87.9	60.6	117.7	128.3	99.5
	7일	100.0	98.5	92.7	69.0	108.0	115.7	98.9
	28일	100.0	98.5	92.7	69.0	108.0	115.7	98.9

4. 결론

본 연구에서는 석탄회 처리촉진방안으로 수행하였다. 특히 플라이애쉬를 혼입한 콘크리트는 수증양생보다 증기양생할 때 강도면에서 우수한 것으로 판단되었으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 콘크리트에 플라이애쉬를 혼입함으로써 공기량은 다소 감소하였다.
2. 시멘트페이스트는 수화작용이 진행됨에 따라 Ca(OH)₂와 C-S-H수화물의 생성량이 증가하고, 플라이애쉬페이스트는 7일부터 Ca(OH)₂량이 감소되는 것을 관찰되었다.
3. SEM 및 XRD분석한 결과를 관찰하면 시멘트페이스트의 증기양생은 조기에 수화반응을 촉진시켜 수증양생보다 Ca(OH)₂량이 더 많이 생성되었으며, 결과적으로 조기에 포졸란반응을 하여 플라이애쉬 콘크리트의 초기강도를 우수하게 발휘시켰다.
4. 콘크리트는 증기양생후, 2차양생을 실시함으로써 수분공급을 유지하고, 비수화물들의 지속적인 수화반응에 의하여 높은강도발현을 하였다.

참고 문헌

1. Bev Brown, "What the ready-mixed concrete industry has to offer", Journal of concrete, Vol 31, No. 2, 1997, 2
2. Ravina, D. and Meththa, P.K. "Properties of fresh concrete containing large amount of fly ash. Cement and concrete research", Vol. 16, 1986, pp 227-238.
3. Geber, S.H., and Klieger, P. "Effect of fly ash on physical properties of concrete". Proceedings, 2nd CANMRT/ACI International conference on the use of fly ash, silica fume, slag, and national pozzolan in concrete, madrid, spain, Apr. 21-25, 1986. Edited by V.M. Malhotra. American Concrete Institute, Detroit, MI, SP-91, 1986, pp 1-50
4. Shigun Li, Della M.Roy and Amitabha kumar, "Quantitative determination of pozzolans in hydrated systems of cement or Ca(OH)₂ with fly ash or silica fume", Cement and concrete research, 1985, Vol. 15, pp 1079-1086
5. Praaya L.A., BIJEM J.M. and Haan Y.M., "The reaction of fly ash in concrete. Cement and concrete research", Vol.19, 1989, pp 235-246
6. Carlos,C. and Durani,A.J. "Effect of transient high temperature on high-strength concrete". ACI material journal Jan-Feb, 1990, pp 98-102
7. Haque, M.N. and Gopalan,M.N. "temperature and humidity effect on the strength of plain and fly ash concrete". Proceeding institution civil engineers, Part 2, 1987, Sept. pp649-659
8. Haque,M.N. and Goplan,M.K. "Strength development of inadequately cured high fly ash cement and structural concretes". Cement and concrete research, Vol. 16, 1986, pp363-372
9. Higginson, Elmo C., "Effect of Steam Curing on the Important Properties of Concrete". Journal of ACI, Vol 58, No. 13, 1961 pp. 281-298.
10. ACI Committee 308, "Standard Practice for Curing Concrete", ACI Standard 1992.

요 약

시멘트 대체재로 사용하는 플라이애쉬(0, 10, 30, 50%)를 혼입한 콘크리트의 강도발현을 관찰하기 위해 각각 21℃에서 수중양생과 85℃에서 증기양생방법을 채택하여 실험하였다. 수중양생한 보통콘크리트는 플라이애쉬 혼입량이 증가할수록 조기재령에서는 낮게 강도발현을 하였으나, 28일 압축강도를 기준으로 하여 물·시멘트비를 변화한 배합비(결합재량 증가)의 실험결과는 조기강도발현이 향상되었다. 특히 플라이애쉬를 30% 혼입한 콘크리트는 우수하게 강도발현을 하였다. 그리고 동일한 28일압축강도를 갖는 배합비(결합재량 증가)에서 증기양생한 플라이애쉬콘크리트는 보통콘크리트보다 강도발현이 비슷하거나 향상되었으며, 양생온도는 플라이애쉬콘크리트의 강도발현에 많은 영향을 미치는 것으로 관찰되었다.

(접수일 : 1997. 8. 4)