

시멘트 모르터 硬化體의 高強度化에 미치는 플라이 애쉬 粒子크기의 영향

Effects of Particle Size of Fly Ash on the High Strength of Hardened Cement Mortar

김영수*

김정환**

Kim, Young Soo Kim, Jung Hwan

요 약

본 연구에서는 플라이 애쉬의 효과적인 활용을 위한 방안으로 平均粒徑이 각각 18.58, 8.95, 4.02 μm 인 3종류의 플라이 애쉬를 시멘트 混合材로 사용시 粒子 크기에 따른 시멘트 硬化體의 物性 변화를 검토하였다.

각 플라이 애쉬를 시멘트 페이스트에 置換 첨가하여 실험한 결과 粒子 크기에 관계없이 플라이 애쉬의 첨가량이 많아질수록 流動性は 저하 되었으며 특히 球形 粒子의 플라이 애쉬에 비하여 粉碎한 非球形 粒子의 플라이 애쉬에서 流動性的 저하가 크게 나타났다. 또한 각각의 플라이 애쉬의 沸石反應性은 粒子 크기가 작을수록 높은 값을 나타내었다. 平均粒徑 4.02 μm 의 플라이 애쉬를 5, 10wt.% 置換 첨가한 試片의 壓縮強度는 材令 28일 이전 부터 plain 試片에 비하여 높았으며 60일 養生時 800kg/cm² 이상의 값을 나타내었다.

이상과 같은 壓縮強度의 증가는 미세한 플라이 애쉬 粒子에 의한 充填효과와 沸石反應性에 의한 것으로 판단되며 이러한 결과는 氣孔率 측정에서도 확인할 수 있었다.

따라서 分級이나 粉碎를 통하여 플라이 애쉬의 粒子 크기를 미세하게 한다면, 플라이 애쉬를 混合材로 사용시 큰 단점인 初期強度 하락을 효과적으로 보완할 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract

The main aim of this study was to evaluate the effect of particle size of the fly ash as a cement additive. Experimental work was carried out with three different sizes of fly ash, 18.58, 8.95 and 4.02 μm in average radius. Namely, the effect of particle size variation of fly ash on the physical properties of cement paste was investigated.

The fluidity was decreased with increasing the addition of fly ash to cement paste regardless of the particle size variation. The decrement of the fluidity of the pulverized fly ash was higher than that of the spherical fly ash. On the other hand, the pozzolan reactivity increased with lowering particle size. In the case of specimens with 5% up to 10% addition of fly ash having a particle size of 4.02 μm , the compressive strength was increased as compared with the plain specimens before curing for 28 days and showed higher value above 800kg/cm² when cured for 60 days.

* 정회원, (有)大洲商事, 開發室

** 정회원, 韓一시멘트研究所, 시멘트研究室長, 工學博士

● 본 논문에 대한 토의를 1994년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 1995년 2월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

This increased compressive strength was ascribed to both the closer packing of fine particles and the pozzolan reactivity of fly ash. These results were confirmed by measuring both the porosity of the specimens and $\text{Ca}(\text{OH})_2$ contents remained in specimens.

This work showed that could be effectively utilized as a blending material without any decrease in the strength of early hydration stage if we can control the particle size of fly ashes by sizing or pulverizing.

Keywords : fly ash, particle size, fluidity, compressive strength, sizing, pulverizing

1. 緒 論

土木, 建築 분야의 構造材料로서 사용되는 시멘트는 오랜 역사를 가지고 있으며 품질개선 및 용도에 따른 多品種化, 高機能化가 추진되어 왔다. 그러나 최근에 이르러 産業構造의 高度化, 社會構造의 多樣化로 인하여 보다 새로운 특수 기능을 갖는 시멘트의 개발이 요청되고 있으며 특히 建築構造物에 있어서 高強度化는 필요성이 크게 제기되고 있는 실정이다. 이러한 연구의 일환으로 실리카 흙, 플라이 애쉬, 고로슬래그등 混合材를 첨가하여 粒子 充填 效果와 포졸란 反應에 의한 強度 증진의 효과를 나타내는 연구가 활발히 진행되고 있다⁽¹⁻⁴⁾. 국내에서도 이러한 混合材를 사용하여 콘크리트의 高強度化를 이룩하려는 연구⁽⁵⁻⁷⁾가 많이 이루어지고 있으며 産業 副産物로서 발생하는 플라이 애쉬를 再活用하려는 연구도 발표되고 있다⁽⁸⁻¹⁰⁾.

良質의 플라이 애쉬는 콘크리트용 재료로 사용됨으로써 굳지 않은 콘크리트의 水和熱을 완화시켜 주고 블리이딩(bleeding)방을 감소시켜 주며 콘크리트의 粘性和 成形性を 증대시켜 줌으로써 材料 分離에 대한 抵抗性を 향상시켜 주는 효과를 기대할 수 있다⁽¹¹⁾. 硬化한 콘크리트의 경우에는 長期材令에서 強度의 증진, 水密性, 耐久性의 향상 및 乾燥收縮을 감소시켜 주는 좋은 특성을 가지고 있다^(12,13). 그러나 현재 우리나라에서 발생되고 있는 플라이 애쉬는 그 產地別로 成分, 粉末度, 未燃燒炭素의 含量등에서 품질의 변동이 심하여 대부분 폐기 처분되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 이러한 플라이 애쉬의 효과적인 활용을 검토하기 위한 방법으로 分級과 粉

碎를 실시하여 粒子 크기를 보다 작게 한 플라이 애쉬를 비교함으로써 각 플라이 애쉬의 粒子 크기가 시멘트 硬化體의 物性에 미치는 영향을 검토하고자 하였다.

2. 實驗 方法

본 실험에 사용한 시멘트는 시중에서 판매되는 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고 모래는 최대치수가 4mm 이하인 江原道 春城郡산 실리카질 모래를 사용하였다. 高流動化劑는 比重이 1.182인 나프탈렌계 混和劑를 사용하였다.

실험에 사용한 각 플라이 애쉬의 粒度分布를 Fig.1에 나타내었다. 모두 유연탄 플라이 애쉬로서 平均粒徑이 18.58 μm 인 것을 플라이 애쉬(1), 8.95 μm 인 것을 플라이 애쉬(2), 4.02 μm 인 것을 플라이 애쉬(3)이라 칭하였다.

플라이 애쉬(1)은 삼천포 火力發電所에서 채취된 것을 사용하였고 플라이 애쉬(2)와 플라이 애쉬(3)은 시기를 달리하여 보령 火力發電所에서 채취된 것이다. 플라이 애쉬(2)는 용량 4kg의 실험 실용 mill을 이용하여 2시간 동안 粉碎하여 平均粒徑이 8.95 μm 가 되도록 제조하였고 플라이 애쉬(3)은 分級장치에 의하여 分級된 試料를 사용하였다. 이러한 시멘트와 플라이 애쉬 및 모래의 物理的, 化學的 성질을 Table 1에 나타내었다. 시멘트 硬化體의 제조방법은 Table 2와 같은 배합비율에 따라 긴식 교반 후 각각의 W/S비에서 flow가 17 \pm 1cm가 되도록 流動化劑를 첨가하고 시멘트 모르타 교반기를 이용하여 혼련하였다. 혼련된 모르타는 성형 후 23 \pm 2 $^{\circ}\text{C}$ 의 水中에서 3일, 7일, 28일, 60일동안 養生을 행하였다.

Table 1 Chemical composition and physical properties of starting materials

(a) Portland cement (type 1)

(wt.%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	lg.loss	f-CaO	Fineness(Blaine) (cm ² /g)	Specific gravity(20℃)
21.02	5.02	3.48	62.67	2.12	1.54	1.39	3200	3.15

(b) Blending materials

(wt.%)

Fly ash	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	MgO	lg.loss	Mean dia(μm)	Specific gravity(20℃)
Fly ash(1)	64.9	21.7	3.0	2.89	1.06	-	4.73	18.58	2.12
Fly ash(2)	61.7	22.4	5.68	3.2	1.04	0.45	4.11	8.95	2.14
Fly ash(3)	59.26	23.39	6.85	4.43	-	0.40	2.71	4.02	2.17

(c) Fine aggregate

Specific gravity (20℃)	Unit weight (kg/m ³)	Absorption (%)	% of voids	% of solids	Fineness modulus
2.65	1692	1.46	38.4	61.6	3.2

(d) Superplasticizer

Name	Specific gravity (20℃)	pH (20℃)	Main component
DAEJOO selfflow H-2023	1.182	9.2	Sulfonated naphthalene formaldehyde condensated

Table 2 Mix proportion of specimen

Specimen No.	Water/Solid ratio	Superplasticizer (wt.%)	Sand (wt.%)	Cement (wt.%)	Fly ash (wt.%)
P-1	0.18	3.2	50	50	-
FA-1-1		3.3		45	5
FA-2-1		3.5		40	10
		3.4		45	5
FA-3-1		3.7		40	10
		3.2		45	5
P-2	0.20	1.7	50	50	-
FA-1-2		2.3		45	5
FA-2-2		2.5		40	10
		2.4		45	5
FA-3-2		2.7		40	10
		2.1		45	5
P-3	0.22	0.9	40	50	-
FA-1-3		1.2		45	5
FA-2-3		1.3		40	10
		1.4		45	5
FA-3-3		1.6		40	10
		1.0		45	5
		1.2	40	10	

* P : plain specimen FA-1 : fly ash(1)
 FA-2 : fly ash(2) FA-3 : fly ash(3)

養生이 끝난 시료는 壓縮強度를 측정하고 壓縮強度 측정을 끝낸 試片을 이용하여 X線回折分析(Phillips社-PW 1710), 走査電子顯微鏡관찰

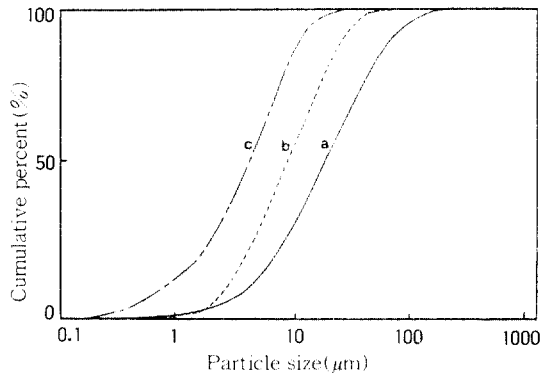


Fig. 1 Particle size distribution curves of various fly ashes.
 (a) FA-1 : as received sample of samchonpo power plant
 (b) FA-2 : controled fly ash by pulverization
 (c) FA-3 : controled fly ash by classification

(Hitach社 X-650), 氣孔率측정(Micromeritics社 Autopore II 9220 V2.04型)과 KS L5120에 의한 방법으로 Ca(OH)₂의 定量分析을 행하였다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1 시멘트 모르타의 流動性에 미치는 영향

시멘트 페이스트에 각 플라이 애쉬를 置換 첨가

했을 때의 flow의 변화를 Fig.2에 나타내었다.

Fig.2에서 알 수 있듯이 플라이 애쉬를 첨가하지 않았을 때 보다 플라이 애쉬의 첨가량이 증가할 수록 flow값은 저하 되었으며 특히 플라이 애쉬(2)는 다른 플라이 애쉬에 비하여 flow의 저하가 크게 나타났다. 이는 사용 원료의 불균일성에 따른 플라이 애쉬 자체의 품질 안정성이 미흡하고 (14) 플라이 애쉬 粒子가 球形임에도 불구하고 比表面積이 시멘트 보다 높기 때문에 보다 많은 單位水量을 필요로 하게되며, 粒子 내부에 空隙이 존재하여 시멘트 페이스트의 流動性を 惡化시켜 (15) 플라이 애쉬 첨가시 flow가 감소되었다고 생각된다. 특히 플라이 애쉬(2)는 粉碎에 의해 粒子形態가 非球形이기 때문에 flow 저하가 심한 것으로 판단된다.

각 플라이 애쉬 페이스트에 流動化劑의 사용량을 달리하여 첨가하였을 때 페이스트의 粘度 변화를 Fig.3에 나타내었다.

流動化劑의 分散原理는 減水劑와 마찬가지로 분자중의 親水基가 시멘트 粒子중의 Ca^{2+} 이온에 흡착 對電帶를 형성하고 그 靜電氣의 相互反撥作用에 의하여 시멘트 粒子를 分散시킨다(16,17). 따라서 CaO 함유량이 시멘트 보다 훨씬 적은 플라이 애쉬는 流動化劑에 의한 分散性에서 시멘트에 비해 떨어질 것으로 예상되어 플라이 애쉬를 첨가할 수록 粘度가 커지는 것으로 판단되며, 플라이

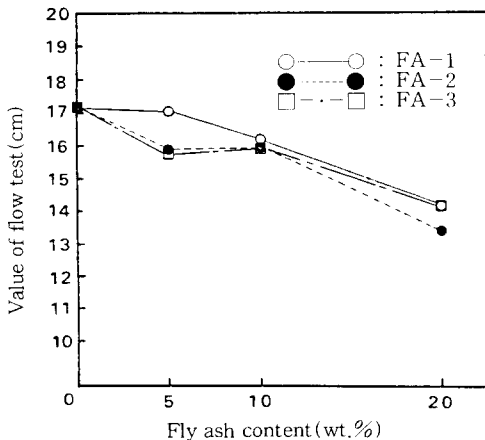


Fig. 2 Result of flow test for cement pastes with different kind of fly ash.(W/ S : 0.4)

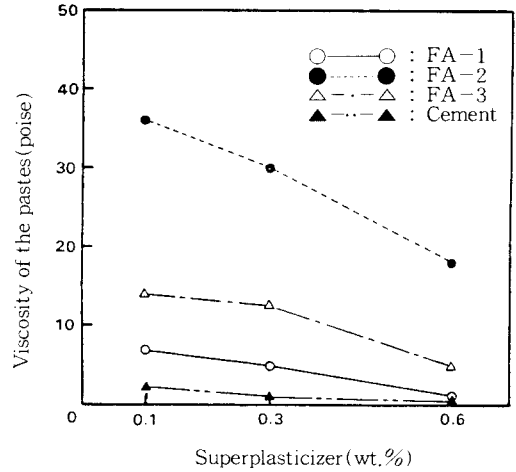


Fig. 3 Viscosity of cement and fly ash paste with various amounts of superplasticizer.(W/ S : 0.55)

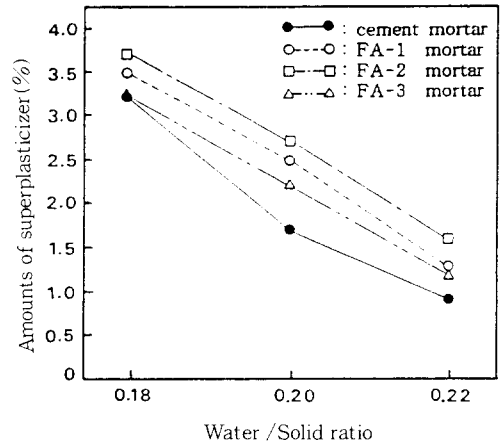


Fig. 4 W/ S vs amount of superplasticizer for mortars containing 10wt.% fly ash.

애쉬(2)를 첨가할 경우 粘度 값이 가장 크게 나타난 것은 flow 측정 결과와 마찬가지로 角이진 粒子形態에 起因한 것으로 생각된다.

플라이 애쉬 粒子의 流動化劑 吸着은 組成鑛物중 未燃燒炭素, 유리질, 흑연상등에서 주로 이루어지며 mullite, 石英등 안정된 구조의 組成鑛物에서는 거의 이루어지지 않고 특히 未燃燒炭素의 吸着량이 많고 영향도 매우 크다고 한다(18)

플라이 애쉬(3)에 비하여 플라이 애쉬(1)의 粘度 저하가 크게 나타난 것은 未燃燒炭素의 영향으

로 流動化劑의 吸着이 플라이 애쉬(1)에서 보다 높게 나타났기 때문에 판단된다.

각각의 플라이 애쉬를 10wt.% 置換 첨가한 시멘트 모르타르의 각 W/S에서 flow를 $17 \pm 1\text{cm}$ 로 유지하기 위한 流動化劑의 사용량 변화를 Fig.4에 나타내었다.

전체적으로 W/S비가 증가할 수록 流動化劑 사용량은 감소하였으며 각 W/S비에서 plain試片에 비하여 플라이 애쉬를 첨가한 모르타르가 더 많은 流動化劑를 필요로 하였다. 이것은 시멘트와 플라이 애쉬 페이스트의 粘度 측정 결과와 마찬가지로 플라이 애쉬를 置換 첨가했을 때 모르타르의 流動性은 감소하고 있는 것을 나타내고 있다.

3.2 시멘트 硬化體의 高強度化에 미치는 영향

3.2.1 壓縮強度에 미치는 영향

각각의 플라이 애쉬를 5,10wt.% 置換 첨가한 試片을 3일, 7일, 28일, 60일 동안 養生하고 壓縮強度를 측정한 결과를 Fig.5와 6에 나타내었다.

본 실험에서는 플라이 애쉬의 포졸란 反應性이 壓縮強度에 미치는 영향을 검토하기 위하여 養生을 60일 까지로 행하였다.

전체적으로 W/S비가 증가할 수록 壓縮強度 값은 감소하였으며, 養生日數가 증가함에 따라 強度 값은 증가하였다.

일반적으로 플라이 애쉬를 置換 첨가한 시멘트

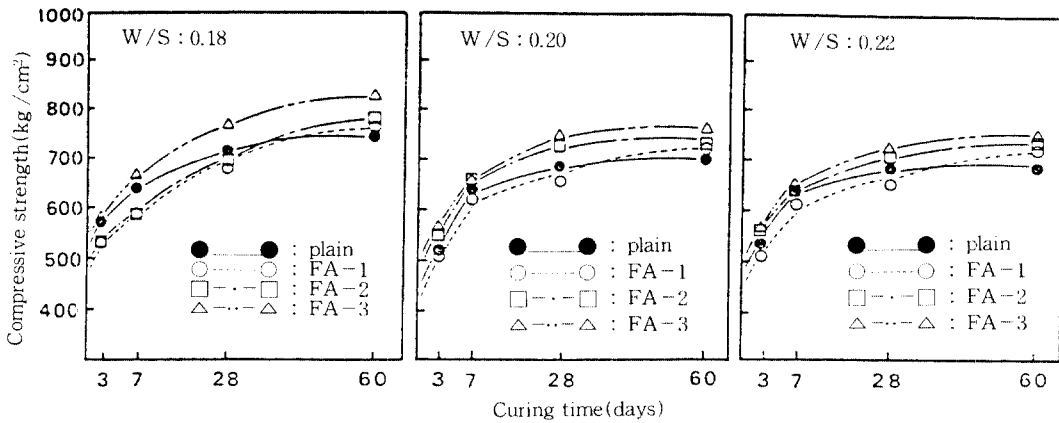


Fig. 5 Compressive strength of hardened mortar containing 5 wt.% fly ash.

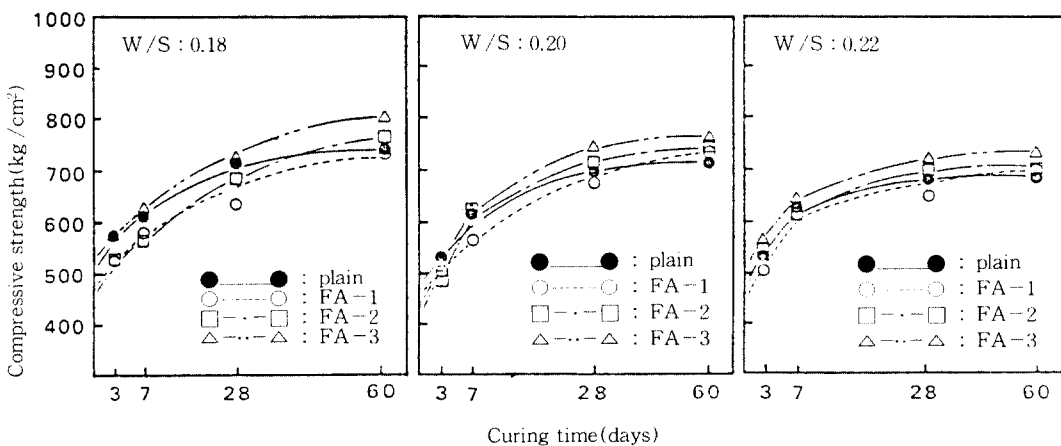


Fig. 6 Compressive strength of hardened mortar containing 10 wt.% fly ash.

硬化體는 初期 材畧에서 플라이 애쉬를 첨가하지 않은 試片에 비하여 壓縮強度 값이 저하하나 材畧 28일 이후 부터 強度의 역전이 이루어지는 것으로 알려져 있다. 그러나 본 실험결과 플라이 애쉬(2)와 플라이 애쉬(3)은 初期 材畧에서 부터 plain 試片에 비하여 壓縮強度 값이 증가되고 있는 것을 보여주고 있다. 이는 플라이 애쉬(2)와 (3)의 粒子 크기가 시멘트 平均粒子크기(15-20 μm)에 비하여 작아 充填 效果 때문에 壓縮強度가 증가되었다고 판단된다. 이러한 充填 效果를 확인하기 위하여 각 플라이 애쉬를 10wt.%씩 置換 첨가한 試片의 氣孔率 측정 결과를 Fig.7에 나타내었다.

plain 試片에 비하여 플라이 애쉬(2)와 플라이 애쉬(3)을 置換 첨가한 試片의 氣孔率이 보다 낮게 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 이러한 充填 效果로 인하여 포졸란 反應이 활발히 일어나지 않는 初期 材畧에서도 強度의 증진이 나타난 것으로 판단된다.

플라이 애쉬 첨가시 初期材畧에서의 強度 증진에 대해 山崎⁽¹⁹⁾는 단위 시멘트량 270kg의 콘크리트에 플라이 애쉬를 25% 첨가한 콘크리트와 플라이 애쉬를 사용하지 않은 콘크리트의 슬럼프 값을 동일하게 취하여 常溫에서 養生한 후 強度 시험을 실시한 결과 포졸란 反應을 기대하기 어려운 初期 材畧에서 플라이 애쉬를 첨가한 콘크리트의 強度가 얼마간 크게 나타났다고 한다. 그 원인으로서 는 플라이 애쉬속의 鑛物質 微粉末이 시멘트 粒子에 의해 생성된 凝集體 구조내에 침입하여 시멘트

粒子 주변의 水和物 析出空間을 확장시켜 시멘트 水和量을 증가시키는데 그 원인이 있다고 추정하여 이를 微粉末效果라 하였다. 또한 川田⁽²⁰⁾는 플라이 애쉬를 혼합한 시멘트 페이스트의 초기 水和熱에 관한 실험에서 플라이 애쉬의 微粉末效果의 타당성을 입증하였다. 따라서 이러한 充填效果와 微粉末效果로 인하여 壓縮強度가 증가 되었으며 플라이 애쉬를 分級이나 粉碎를 통하여 粒子 크기를 작게 한다면 그 효과는 더욱 증대되리라 생각 된다.

3.2.2 포졸란 反應性

일반적으로 플라이 애쉬는 球形의 粒子로서 短期에서의 포졸란 反應이 매우 느리다는 단점이 있다. 그러나 養生일수를 매우 길게하면 플라이 애쉬는 포졸란 反應을 하게되어 粒子가 球形에서 점차로 일그러지는 形態를 나타낸다⁽²¹⁾는 실험도 있다. 또한 이러한 플라이 애쉬의 포졸란과 水和生成物 사이의 관계에서, 포졸란物質 중 反應性 Al_2O_3 성분이 적을 경우 주로 C-S-H가 水和生成物이 되며 Al_2O_3 성분이 많을 경우 C-S-H와 함께 ettringite($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$)와 monosulfate($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$)가 생성된다⁽²²⁾고 한다. 본 실험에서도 養生日數가 최초 3일에서 28일, 60일로 증가함에 따라서 이러한 粒子의 反應性을 잘 관찰해 볼 수 있었으며, 이를 Fig.8에 나타내었다. 각각 3, 28, 60일 養生 試片에 존재하는 플라이 애쉬를 나타내고 있다. 최초 3일 養生한 試片의 플라이 애쉬는 표면에 거의 反應이 없는 상태를 유지하고 있으며 養生日數가 28일에서 60일로 증가함에 따라 球形의 粒子 표면에서 포졸란 反應이 진행되어 粒子 形狀을 알아 보기 힘든 모습을 관찰할 수 있었다.

각각의 플라이 애쉬를 10wt.% 置換 첨가하여 成型된 試片을 3일, 7일, 28일 60일 동안 養生하고 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 양을 측정된 것을 Fig.9에 나타내었다. 3일 養生시에는 plain 試片과 비교하여 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 양이 크게 차이가 나지 않았으나 養生日數가 28일에서 60일로 증가 함에 따라 plain 試片은 시멘트의 계속적인 水和作用으로 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 가

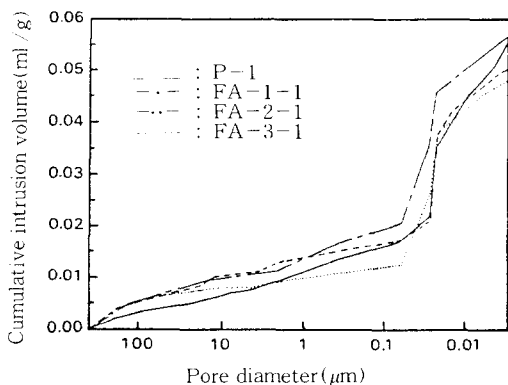


Fig. 7 Pore size distribution curves of hardened cement mortar with 10wt.% fly ash, cured for 7 days.(W/S : 0.18)

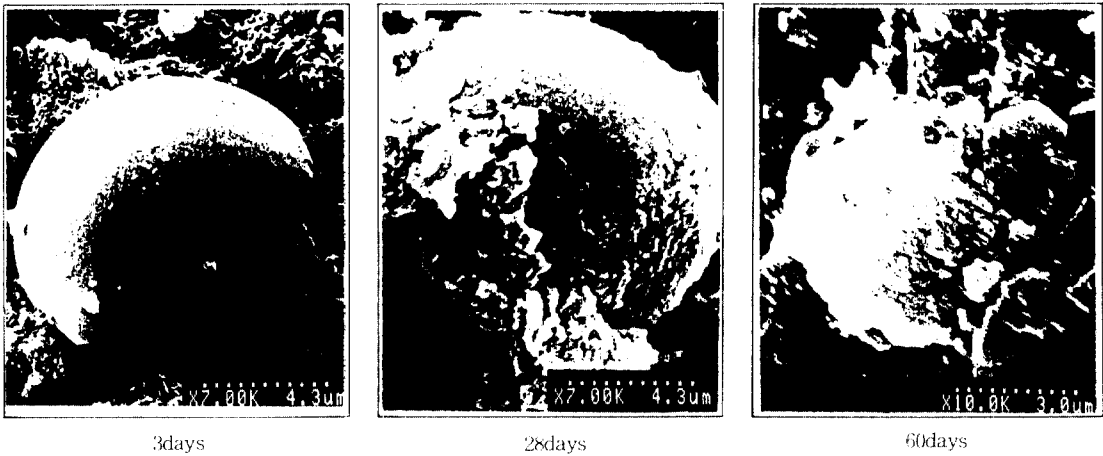


Fig. 8 SEM micrographs of fractured surfaces of hardened mortar with 10wt.% of fly ash at various curing time.(W/ S : 0.22)

증가하고 있는 것에 비하여 플라이 애쉬를 置換 첨가한 試片은 시멘트 水和시 生成된 $Ca(OH)_2$ 와 플라이 애쉬粒子와의 포졸란 反應에 의하여 $Ca(OH)_2$ 의 양이 더 이상 증가하지 않고 일정한 상태를 유지하고 있는 것을 보여주고 있다. 결과적으로 plain 試片에 비교하여 작은 값을 갖는다는 것을 알 수 있다. 특히 平均粒徑이 가장 작은 플라이 애쉬(3)을 置換 첨가한 試片은 比表面積이 높기 때문에 다른 종류의 플라이 애쉬 보다 낮은 $Ca(OH)_2$ 값을 나타내고 있다.

플라이 애쉬를 10wt.% 置換 첨가하여 生成된 試片을 3일동안 養生을 하고 관찰해 본 X線回折分析圖를 Fig.10에 나타내었다. plain 試片과 비교하여 $2\theta=18^\circ$ 부근의 $Ca(OH)_2$ 피이크는 別다른 차이를 나타내지 않고 있으며 C_3S 와 C_2S 의 未水

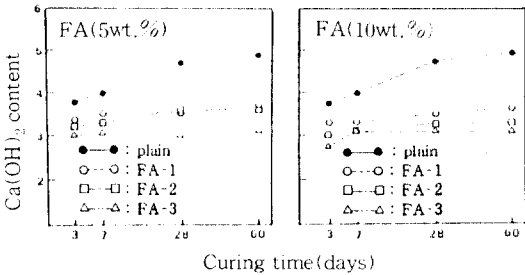


Fig. 9 $Ca(OH)_2$ content of hardened mortar with various fly ashes and curing time.

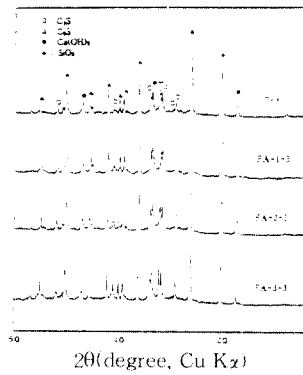


Fig. 10 XRD patterns of hardened mortar with 10wt.% fly ash, cured for 3 days.

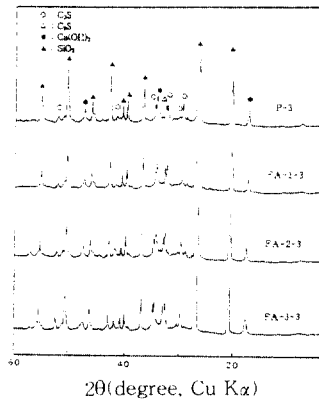


Fig. 11 XRD patterns of hardened mortar with 10wt.% fly ash, cured for 28 days.

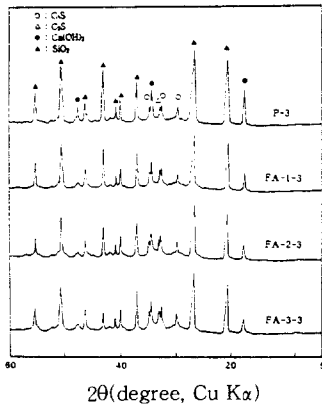


Fig. 12 XRD patterns of hardened mortar with 10wt.% fly ash, cured for 60 days.

和 시멘트 鑛物의 피이크도 잘 나타나고 있다. 같은 방법으로 성형된 試片을 28일, 60일 동안 養生하고 X線回折分析한 결과를 Fig.11과 12에 나타내었다.

plain 試片의 Ca(OH)_2 피이크는 3일 養生한 試片에 비하여 증가하고 있는 것을 알 수 있으며 이에 반해 시멘트 鑛物의 C_3S , C_2S 피이크는 감소하고 있다. 그러나 각 플라이 애쉬를 置換 첨가한 試片은 3일 養生한 試片과 비교하여 Ca(OH)_2 피이크가 별다른 변화를 나타내지 않고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 走査電子顯微鏡에 의한 관찰과 Ca(OH)_2 측정, X線回折分析 결과를 종합해 볼때 플라이 애쉬의 포졸란 反應性을 확인할 수 있었으며 시판되고 있는 플라이 애쉬에 비하여 平均粒徑이 작은 플라이 애쉬를 첨가할 경우 시멘트 硬化體의 조직은 좀 더 치밀하게 되어 硬化體의 物性향상에 좋은 효과를 나타내고 있다.

4. 結 論

본 연구에서는 産業 副産物로 발생되어 대부분 폐기처분되는 플라이 애쉬의 콘크리트 混合材로서의 활용방안을 모색하기 위하여 平均粒徑이 다른 3가지의 플라이 애쉬를 사용하여 페이스트와 모르타에서 流動性을 측정하였고 시멘트에 置換 첨가시 壓縮強度에 미치는 영향 및 포졸란 反應性에 대하여 검토 하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 플라이 애쉬 첨가량이 많아질수록 플라이 애쉬의 比表面積 증가효과 및 流動化劑의 吸着저하효과로 流動性은 저하되었으며 球形 粒子인 플라이 애쉬(1)과 플라이 애쉬(3)에 비하여 粉碎한 粒子인 플라이 애쉬(2)의 流動性 저하가 크게 나타났다.

2. 플라이 애쉬를 5, 10wt.% 置換 첨가한 試片의 壓縮強度는 球形의 일반적인 平均 粒子 크기 ($18.58\mu\text{m}$)를 이루고 있는 플라이 애쉬(1) 첨가시 材齡 28일까지 플라이 애쉬를 첨가하지 않은 試片에 비하여 強度가 적게 나타났으며 粉碎한 粒子인 플라이 애쉬(2)와 平均 粒徑이 가장 작은 플라이 애쉬(3)을 첨가한 試片은 材齡 28일 이전부터 플라이 애쉬를 첨가하지 않은 試片에 비하여 壓縮強度가 크게 나타났다.

3. 각 모르타 硬化體에 대하여 Ca(OH)_2 를 定量分析한 결과 플라이 애쉬를 置換 첨가한 試片의 Ca(OH)_2 의 값이 플라이 애쉬를 첨가하지 않은 試片에 비하여 감소하였으며 특히 平均 粒徑이 $4.02\mu\text{m}$ 인 플라이 애쉬(3)을 첨가한 試片의 Ca(OH)_2 함량이 가장 낮은 값을 나타내었다.

4. 시판 플라이 애쉬를 粉碎하거나 分級하여 콘크리트 混合材로 사용한다면 더 많은 流動化劑의 사용량이 필요로 하게 되며 初期材齡에서도 強度증진을 이룰수 있는 混合材로 사용할 수 있다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. M.Buil, A.M.Paillere, and B.Roussel, "High strength mortars containing condensed silica fume", *Cem.Conc.Res.*, 14, 693-704(1984).
2. 김정환, 최상훈, 한기성 "고강도 시멘트 경화체의 특성에 미치는 혼합재의 영향", 한국요업학회지, 27, No.4, 495-500(1990).
3. (日本)セメント協會 海洋開發專門委員會, "シリカフュームを用いたコンクリート", *セメント・コンクリート*, 480, 41-47(1987).
4. M.Regourd, J.H.Thomasson, P.Baillif, and C.Touray "Blast furnace slag hydration surface analysis", *Cem.Conc.Res.*, 13, 549-556 (1983).
5. 權寧鎬, 朴呈國, 李補根, 朴比林, "混和材를 사용

- 한 高強度 콘크리트의 品質改善에 관한 實驗的 研究”, 한국콘크리트 학회논문집, 5, No.1, 79-88 (1993).
6. 박기철, 정현수, “실리카 흙 및 플라이 애쉬를 사용한 초고강도 콘크리트에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트 학회 논문집, 3, No.1, 23-28(1991).
 7. 구자술, 이영진, 김남호, 정재동, “고성능 콘크리트 개발에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트 학회 논문집, 5, No.2, 45-50(1993).
 8. 文瀚英, 徐政佑, “콘크리트용 混和材로서 국산 플라이 애쉬의 품질에 관한 실험적 연구”, 大韓土木學會論文集, 7, No.3, 213-221(1987).
 9. 文瀚英, 徐政佑, 孫亨虎, “플라이 애쉬를 혼합한 콘크리트의 耐藥品性에 관한 研究”, 大韓土木學會論文集, 8, No.1, 103-112(1988).
 10. 이장화, 최종범, 이광주, 김종학, 송영철, 김영대, 박종현, 홍성완, 구민세, 김상호, 김해인, “콘크리트 혼화재로서의 석탄회 이용방안 연구”, 한국전력공사 기술연구원, 150-187(1989).
 11. M.Kokubu, “Fly ash and fly ash cement”, Proceedings, 5th International symposium on chemistry of cement, 75-113 (1969).
 12. 芒井康夫, “セメントの材料化學”, 1st., 大日本圖書, 209-215(1984).
 13. Bryant mather, “Use of concrete of low portland cement content in combination with pozzolans and other admixtures in construction”, *ACI*, 71, 589-598(1974).
 14. S.Nagataki, “The fluidity of fly ash-cement paste with superplasticizer”, *Cem.Conc.Res.*, 14, 631-638(1984).
 15. 김진근, 박연동, 성근열, “고강도 플라이 애쉬 콘크리트의 강도 및 작업성 특성”, 한국콘크리트 학회 논문집, 2, No.2, 125-130(1990).
 16. 服部健一, 鈴江重俊, 岡田英三郎, “高性能減水劑のセメント粒子への吸着”, *セメント・コンクリート*, 416, 10-19(1981).
 17. 大門正機, 近勝連一, Della M.Roy, “高性能減水劑によるジータ電位の變化”, *セメント技術年報*, 33, 69-71(1979).
 18. 内川 浩, 宇智田俊一郎, 小川賢治, “フライアッシュのキャラクターと各種混和劑の吸着特性”, *セメント技術年報*, 36, 53-56(1982).
 19. 山崎寬司, “鑛物質微粉末ガコンクリートの強度におよぼす效果に關する基礎研究”, *土木學會論文集*, 85, 15-44(1962).
 20. 川田尙哉, 根本明羊, “フライアッシュを添加した時のポルトランドセメントの初期の水和過程”, *セメント技術年報*, 22, 124-128(1968).
 21. Y.Halse, and P.L.Pratt, “Develment of microstructure and other properties in fly ash OPC systems”, *Cem.Conc.Res.*, 14, 471-498(1984).
 22. 山崎寬司, “鑛物質微粉末ガコンクリートのウオーカビリチーにおよぼす效果に關する基礎研究”, *土木學會論文集*, 84, 98-118(1962).

(접수일자 : 1994. 7. 15)