

分級에 의한 國産 플라이 애쉬의 品質 改善

An Improvement on the Quality of the Domestic Fly Ash by the Method of Classifying.

文 濟 吉
建國大學校 土木工學科 教授
金 一 宗
서울産業大學 土木工學科 助教

要 旨

環境問題로 인한 NO_x 의 規制로 보일러의 燃燒 溫度가 低下되어 未燃燒炭과 粗粒粉이 增加되었다. 이러한 플라이 애쉬의 未燃燒炭과 良好하지 못한 粒子形狀들은 콘크리트用 混和材로서 플라이 애쉬의 品質을 현저하게 低下시키고 있다.

이 低 品質의 플라이 애쉬를 44μ 체를 使用하여 分級의 方法을 導入하므로써 어느 정도 良質의 플라이 애쉬로 改善될 수 있었다.

分級한 9種의 플라이 애쉬를 試驗한 結果 粒子形狀이 球形으로 改善되었으며, 物理·化學의 特性이 다소 改善되었고 壓縮強度가 增加되었다. 그리고 粉末度와 포졸란 活性指數, 44μ 체 殘量과 포졸란 活性指數는 좋은 相關關係를 보여주었다.

또한 分級에 의한 粉末度 管理가 포졸란 活性에 影響을 주는 因子임을 알 수 있었다.

1. 序 論

플라이 애쉬는 火力 發電所 등의 微粉炭 燃燒 보일러의 廢가스 중에 포함되어 있는 微粉粒자를 集塵機로 捕集한 것으로, 1989년 한해 동안 약 200만톤이 發生되었다. 이 중 大部分이 埋立材로 使用되고, 少量만이 플라이 애쉬 시멘트를 製造할 때 有效하게 使用되고 있는 실정이다.

良質의 플라이 애쉬를 콘크리트用 混和材로서 使用할 경우 여러 가지 利點을 얻을 수 있다. 즉, 플라이 애쉬는 一般的으로 球形을 이루고 있으므로 流動性的 改善, 單位水量的 減少, 불리이딩 減少, 材料分離의 抵抗性 向上, 乾燥收縮의 減少로 인한 龜裂防止에 有效하다. 또한, 시멘트의 水和 反應에 의하여 多量으로 遊離되는 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 플라이 애쉬의 실리카質과의 反應인, 소위 포졸란 反應에 의해 不溶性 化合物이 生成되어, 콘크리트의 組織이 점차 치밀하게 되기 때문에 콘크리트의 長期強度가 增進되는 것은 물론, 水密性 및 化學 抵抗性도 改善된다. 특히, 플라이 애쉬는 포졸란 反應에 의하여 콘크리트 空隙水의 알칼리도가 低下하기 때문에 最近 世界 各國에서 콘크리트 耐久性的 問題點으로 浮刻되고 있는 알칼리 骨材 反應에 의한 콘크리트의 膨脹을 防止하는데도 有效하다.

그러나, 現在 國內에서 生成되는 플라이 애쉬의 品質은 環境問題로 인한 NO_x 의 規制로 보일러의 燃燒溫度가 低下되어 未燃燒炭의 發生增加와 良好하지 못한 粒子形狀의 增加로 그 品質이 현저하게 低下되었다. 따라서 이와 같은 플라이 애쉬를 콘크리트用 混和材로서 使用할 경우 效果를 期待하기가 困難하다.

이와 같은 低品質의 플라이 애쉬의 품질을 개선하여 콘크리트用 混和材로서 有效利用을 擴大하기 위해서 分級法을 導入하였으며, 分級方法으로는 44 μ (#325)체를 使用하였다. 44 μ 체를 通過된 플라이 애쉬를 分級 플라이 애쉬라 指稱하였으며, 체를 치지않은 플라이 애쉬를 오리지날 플라이 애쉬라 指稱하였다. 이들 플라이 애쉬를 實驗을 實施하여 各各의 實驗結果를 考察하므로써 品質을 評價하였다.

實驗으로는 SEM에 의하여 플라이 애쉬의 粒子形狀의 特性을 觀察하였고, 物理的試驗으로는 比重, 比表面積, 걸보기比重, 충진율, 單位水量比 및 포졸란 活性指數試驗을 하였다. 化學試驗으로는 형광 X선 試驗分析을 實施하였다.

또한, 減水效果를 알아보기 위해서 일정 흐름값을 갖도록 물량을 조절하여 제령 7일, 28일에 모르터 壓縮強度試驗(1)을 하였다. 減水效果를 排除한 포졸란반응만에 의한 影響을 알기 위해서 일정량의 물을 混合하고, 흐름값을 자유롭게하여 제령 7일, 28일, 56일, 91일에 모르터 壓縮強度試驗(2)을 實施하였다.

2. 實驗 概要

2.1. 使用 材料

本 實驗에서는 우리나라의 대표적인 火力發電所 5개소로부터 2年間 生成된 9種의 Fly Ash를 44 μ 체로 分級하여 총 18 종류의 시료에 대하여 實驗을 實施하였다.

(1)시멘트

SS社 보통 포틀랜드 시멘트를 使用하였다. 物理·化學的 性質은 표 1과 같다.

表 1. 시멘트의 物理·化學的 性質

비 중	분말도 (cm^2/g)	응결시간(hr)		압축강도(kg/cm^2)			SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Ig-loss	K_2O	Na_2O
		초결	종결	7일	28일	56일									
3.11	3,611	3.75	6.75	221	277	323	20.3	0.3	3.2	62.1	3.3	2.3	1.0	0.85	0.12

(2) 잔골재

잔골재는 KS L 5100(시멘트 強度 試驗用 標準砂) 규정의 標準砂를 使用하였다.

(3) 플라이 애쉬

國內의 5개 火力發電所에서 2年間 生成된 9種類의 플라이 애쉬를 使用하였다.

2.2. 實驗 方法

(1)化學 分析

KS L 5402에 의해 형광 X선 分析장치로 試驗하였다.

(2)分 級

KS L 5101의 표준체 44 μ 체를 使用하여 체진동기로서 1분간에 44 μ 체에 남는양이 1%이상인 통과되지 않을 때까지 계속하였다.

(3)粒子 形狀

日本 AKASHI社의 SX-40 SEM 현미경으로 오리지날 플라이 애쉬, 分級한 플라이 애쉬 및 잔류 플라이 애쉬를 주사 攝影하여 各各의 粒形의 特性을 比較 觀察하였다.

(4)걸보기比重 및 충진율

플로우 테이블 위에서 용기에 플라이 애쉬를 공급하면서, 용기 내의 플라이 애쉬 중량이 변화가 없을 때

까지 낙하(2,500회)시켜 구하였다.

(5)모르터 壓縮強度(1), (2) : 分級 플라이 애쉬의 減水效果와 포졸란 活性이 壓縮強度에 미치는 影響을 알아보기 위한 試驗으로 그 배합은 표 2와 같다.

表 2. 모르터 壓縮強度試驗(1), (2)의 配合

	基準 配合	配合 I	配合 II
포틀랜드 시멘트 (g)	500	400	400
플 라이 애 쉬 (g)	-	100	100
표 준 사 (g)	1,225	1,225	1,225
혼 합 수	플로우 값 51 ~ 53 %		242 g

(6)포졸란 活性度 試驗 (ASTM C 618)

공시체 제작은 ASTM C 109에 의하여 배합하였으며, 제령 28일에 強度 試驗을 實施한다. 배합은 3과 같다.

포졸란 活性指數(PAI) = (A/B) × 100 (%)

여기서, A : 試驗배합의 평균 壓縮強度(kg/cm²)

B : 기준배합의 평균 壓縮強度(kg/cm²)

表 3. 포졸란 活性指數 試驗의 配合

	試驗배합(A)	기준배합(B)
포틀랜드 시멘트 (g)	162.5	250
플 라이 애 쉬 (g)	87.5(C×0.35)	-
표 준 사 (g)	687.5(C×2.75)	687.5(C×2.75)
혼 합 수	플로우 값 100~115 %	

3. 分級 플라이 애쉬의 粒子 形狀 및 物理, 化學的 特性

3.1. 分級 플라이 애쉬의 粒子 形狀

플라이 애쉬의 粒子 形狀을 觀察하기 위하여 오리지날 플라이 애쉬와 分級 플라이 애쉬(44μ 체 통과) 및 잔류 플라이 애쉬(44μ 체 잔류)의 粒子를 SEM에 의하여 走査 撮影하였다.

寫眞 1 ~ 6은, 本 實驗에서 使用한 플라이 애쉬를 SEM에 의하여 走査 撮影한 粒子 寫眞들이다.

일반적으로 플라이 애쉬의 粒子 形狀은 모가 나있는 시멘트 粒子와는 달리 球形 粒子를 가지고 있으므로 콘크리트用 混和材로 使用할 경우, ball bearing 作用으로 流動性이 改善되어 減水效果가 있다. 그러나, 環境 問題로 인한 보일러 燃燒溫度의 低下로 寫眞 1과 2와 같이 상당량의 플라이 애쉬 粒子 表面이 凹凸이 나있거나, 良好하지 못한 粗粒粉의 粒子와 中空(Cenosphere) 粒子들도 包含하고 있으므로, 이러한 低 品質의 플라이 애쉬를 콘크리트用 混和材로 使用할 경우 플라이 애쉬의 一般의 特徵인 減水效果와 포졸란效果를 기대하기가 어렵다. 따라서, 이러한 低 品質의 플라이 애쉬를 良質의 플라이 애쉬로 調整하기 위한 方案으로 分級을 하였으며, 分級 플라이 애쉬와 殘留 플라이 애쉬의 粒子 寫眞을 對比시키므로써 分級の 效果를 強調하였다.

寫眞 3과 4는 分級 플라이 애쉬 粒子的 寫眞이며, 寫眞 5와 6은 殘留 플라이 애쉬 粒子的 寫眞이다. 이들 寫眞을 보면, 分級 플라이 애쉬 粒形의 大部分은 球形인 미립본의 粒子들로 構成되어 있는 반면, 殘留 플라이 애쉬의 粒形은 굵고 거칠며, 未燃燒炭의 粒子들로 構成되어 있다. 따라서, 이를 排除한 分級 플라이 애쉬를 콘크리트用 混和材로서 使用했을 경우, 粒子 形狀의 改善으로 流動性を 改善 시켜서 同一 流動性を 갖기 위하여 單位水量을 減少시키므로써 強度의 增進과 乾燥·收縮의 減少로 龜裂이 防止되고, 블리딩을 減少시키며, 또한, 強熱減量を 減少시키므로써 포졸란 反應에 도움을 주는 效果가 기대된다.

3.2. 分級 플라이 애쉬의 物理的 試驗 결과 및 特性

比重, 본말도, 겉보기比重 및 충전율, 單位水量比, 포졸란 活性指數, 強熱減량의 試驗결과는 표 4와 같다.

(1) 比重

오리지날 플라이 애쉬의 比重은 2.03 ~ 2.54 程度이나, 分級 플라이 애쉬의 比重은 2.20 ~ 2.70로서, 比重 값이 약 0.20 程度 增加하였음을 알 수 있다. 그림 1에 分級 플라이 애쉬와 오리지날 플라이 애쉬의 比重 값을 比較하였다.

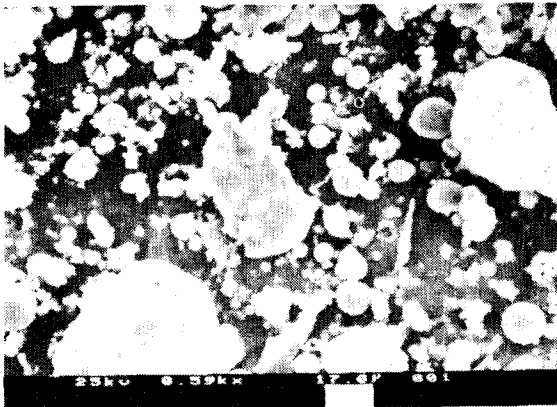


사진 1.0FA×590

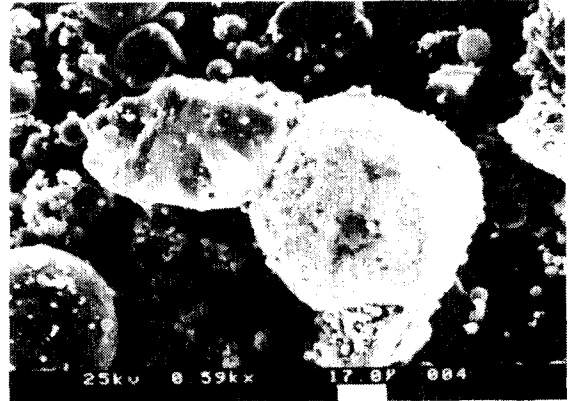


사진 2.0FA×590

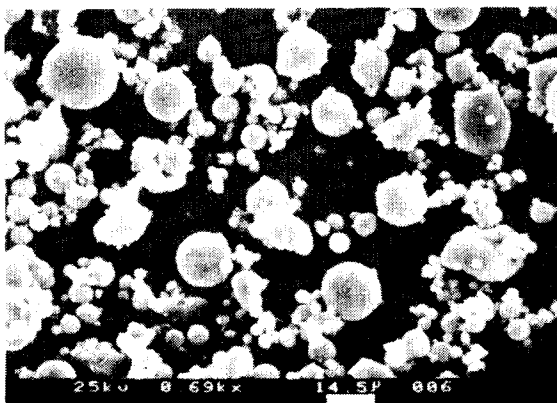


사진 3.CFA×690

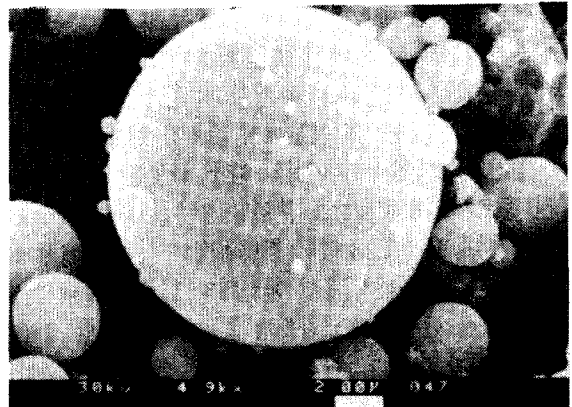


사진 4.CFA×4,900

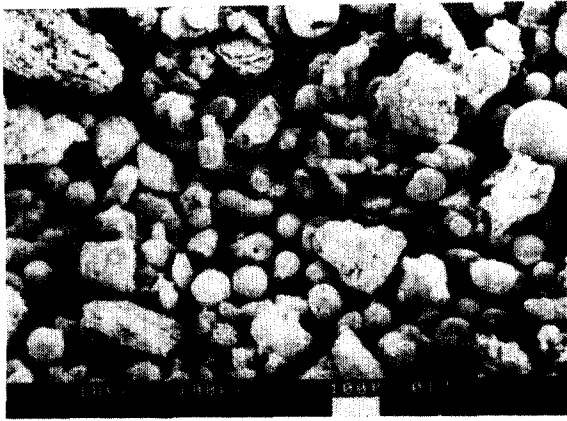


사진 5. RFA×100

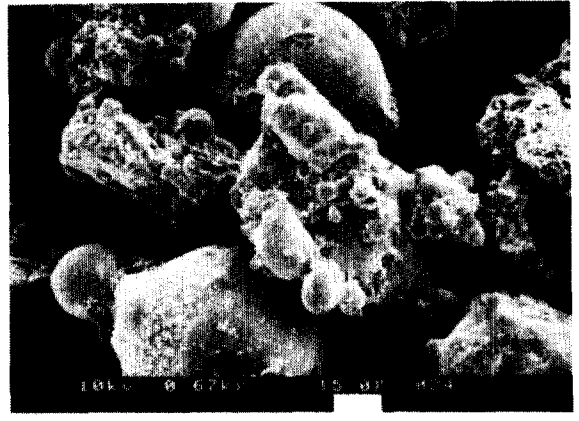


사진 6. RFA×670

表 4. 分級 플라이 애쉬의 物理的 性質 * 본급 플라이 애쉬

	比重	본 말 도		겉보기 비 중	충진율 (%)	단 추량비 (%)	포 졸 란 活 性 指 數 (%)	강 열 감 량 (%)
		比表面積 (cm ² /gr)	44μ 체 잔량(%)					
A	2.54	2309	41.9	1.83	72	94	80	1.1
A*	2.70	2132	-	1.87	69	92	81	2.3
B	2.40	1974	61.0	1.40	58	97	70	5.2
B*	2.42	2859	-	1.30	54	95	107	2.0
C	2.28	1974	48.8	1.41	62	96	66	2.4
C*	2.33	2527	-	1.40	60	94	98	1.5
D	2.16	4348	32.4	1.04	48	101	96	7.4
D*	2.22	4454	-	1.10	50	98	116	4.4
E	2.12	3017	36.5	0.95	45	101	83	5.5
E*	2.21	3567	-	1.00	45	99	107	3.5
F	2.03	2956	39.0	1.06	52	100	-	6.8
F*	2.20	3462	-	1.20	55	99	-	3.3
G	2.37	2066	62.7	1.47	62	99	-	6.2
G*	2.41	3071	-	1.38	57	96	-	3.3
H	2.34	3016	37.8	1.45	62	98	-	5.0
H*	2.47	3299	-	1.53	62	96	-	3.4
I	2.38	3123	35.6	1.45	61	98	-	4.5
I*	2.47	3583	-	1.54	62	96	-	2.9

(2) 粉 末 度

플라이 애쉬의 분말도는 SiO₂ 함유량과 함께 포졸란 활성을 지배하는 因子로서, 분말도가 크면 콘크리트 내에서 골재 사이의 공극을 충전시키므로서 수밀성의 增大를 기대할 수 있다.

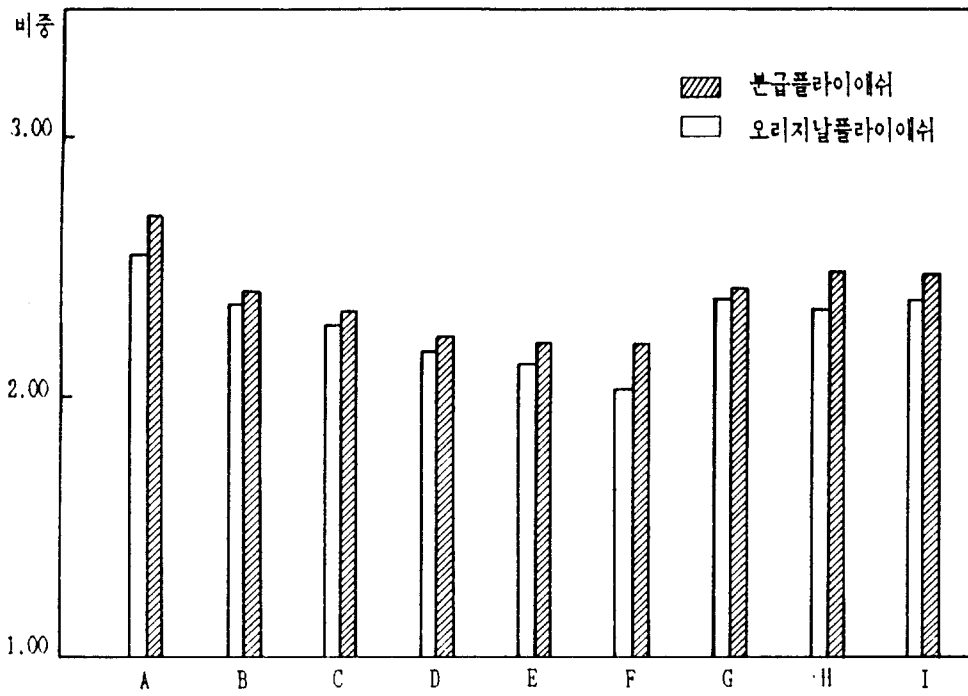


그림 1. 分級 플라이 애쉬와 오리지널 플라이 애쉬의 比重 값 比較

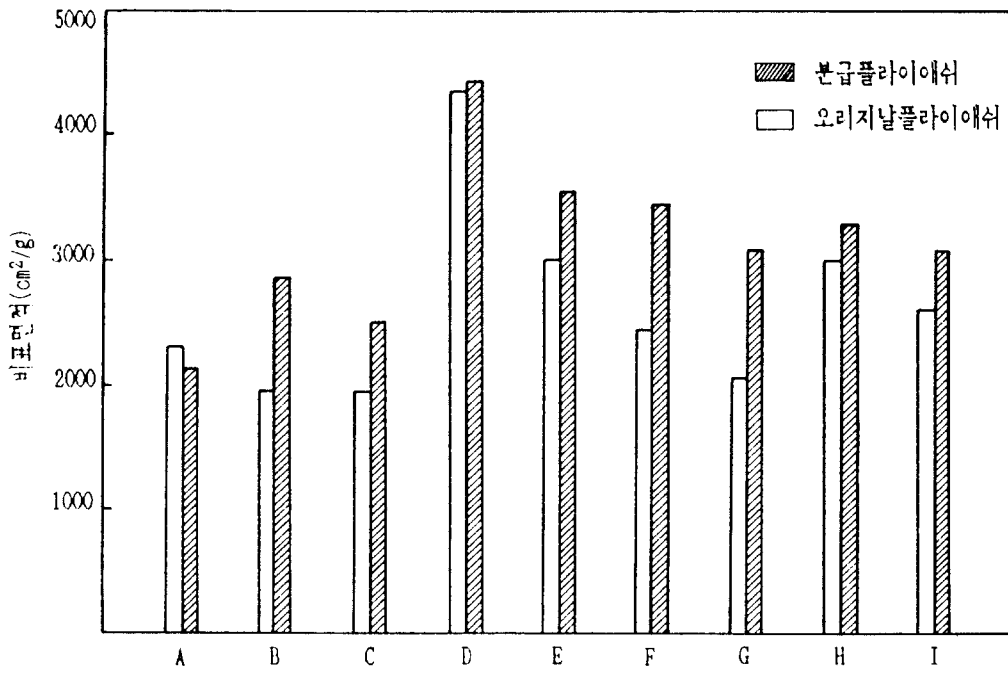


그림 2. 오리지널 플라이 애쉬와 分級 플라이 애쉬의 比表面積 比較

1) 比表面積(cm^2/g)

그림 2에서 플라이 애쉬는 種類 및 發電所 마다 각기 다른 比表面積을 보이고 있으며, 오리지날 플라이 애쉬의 比表面積은 KS F 규정은 4種類가 미달되었으나, 分級 플라이 애쉬는 오리지날 플라이 애쉬 보다 平均 17% 정도 增加하여 대부분이 이 규격을 만족하였다.

2) 44μ 체 殘量(%)

44μ 체 잔량은 35.6 ~ 62.7%의 範圍였으며, ASTM 규정 34이하를 모두 超過하였다. 그러므로 우리 나라 에서 발생하는 플라이 애쉬는 粗粒粉의 粒子가 많이 포함되어 있어서, 포졸란 活性에 그다지 도움을 주지 못한다.

그림 3에서 오리지날 플라이 애쉬의 44μ 체 殘量과 比表面積 사이의 相關 關係는 44μ 체 殘留量이 적을 수록 比表面積이 커지는 경향을 나타내고 있다. 따라서, 分級을 하여 44μ 체 殘量을 除去하므로써 比表面積 값을 크게할 수 있는 效果가 있다.

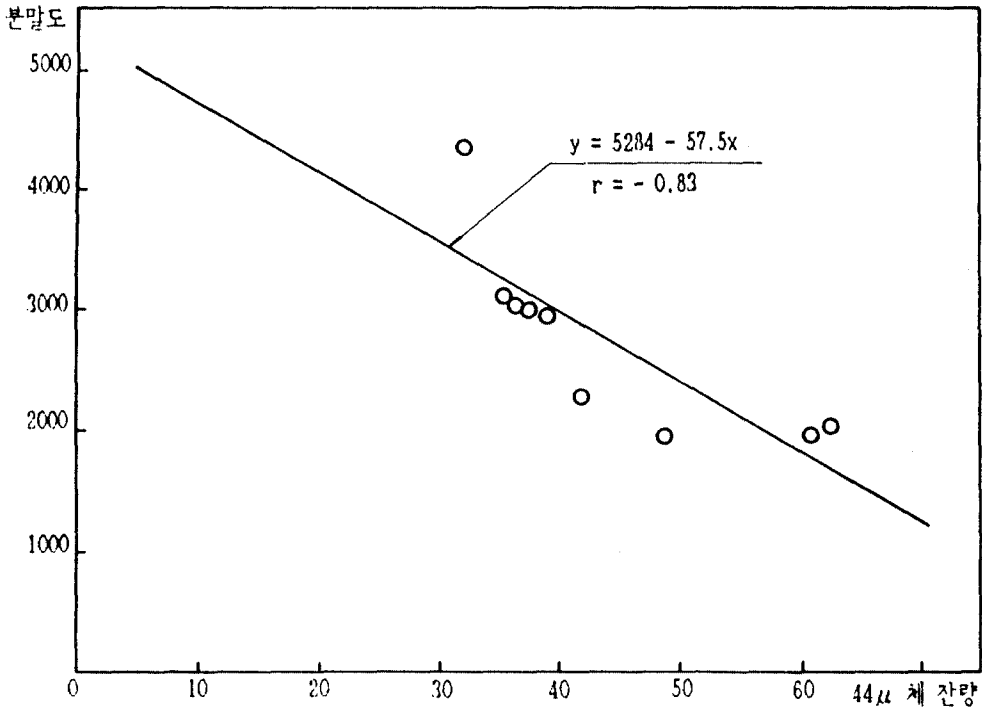


그림 3. 44μ 체 잔량(%) - 比表面積(cm^2/g)

(3) 걸보기 比重 및 충전율

오리지날 시료와 分級 試料에 대한 걸보기 比重 - 충전율과의 關係는 그림 4와 같으며, 걸보기 比重이 클 수록 충전율도 좋은 相關 關係가 있다.

(4) 單位水量比

오리지날 플라이 애쉬와 分級 플라이 애쉬의 單位水量比는 모두 KS 규정을 滿足하였으며, 粒形이 改善된 分級 플라이 애쉬는 오리지날 플라이 애쉬 보다 平均 2% 程度의 單位水量比가 減少하였음을 알 수 있다.

3.3. 플라이 애쉬의 化學的 特性

플라이 애쉬의 化學分析 結果를 표 5에 나타내었다. 플라이 애쉬는 SiO_2 와 Al_2O_3 가 主 成分을 이루고 있

으며, 化學成分 중의 SiO₂는 시멘트 水和時 生成되는 Ca(OH)₂와 常溫에서 서서히 化合하여, 不溶性의 安定된 규산칼슘(CaO·SiO₂·nH₂O)을 生成하는 포졸란 反應으로, 초기 ASTM 규정에서는 SiO₂ 最小值를 40%로 규정하고 있었으나, 現在는 KS와 ASTM에서 SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ 量이 70%를 넘으면 포졸란 活性에 問題가 없는 것으로 보고있다.

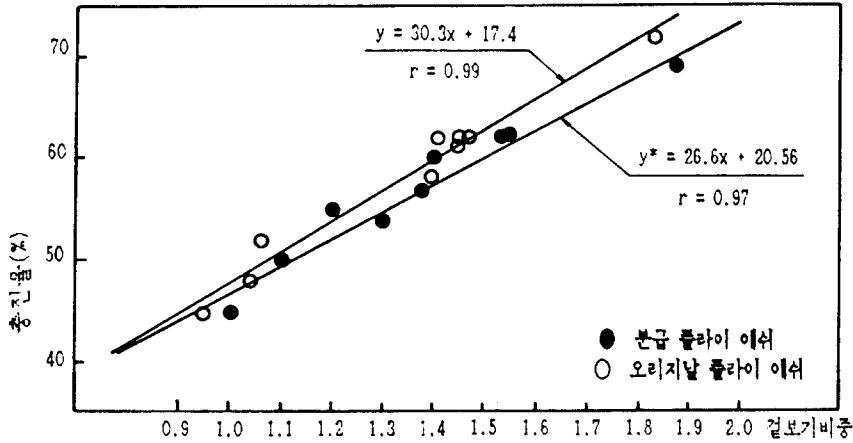


그림 4. 겉보기 比重 - 충진율

本 實驗에서 分析한 결과는, SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ 量과 SiO₂ 量은 A 試料를 제외한 모든 試料가 규정을 滿足하고 있다. 또한, CaO 量도 A 試料만이 27.4%로 약간의 水硬性이 있으며, 그 외의 試料는 모르터 強度에 대한 寄與度는 포졸란 反應에 依存한다고 볼 수 있다.

플라이 애쉬의 強熱減量은 플라이 애쉬의 品質이나 燃燒 條件 등에 따라 發生되는 未燃燒炭素가 支配의이며, 이 未燃燒炭素는 AE劑를 吸着하여 連行 공기량을 減少시키므로, 所要 空氣量을 確保하기 위해서는 同一한 空氣量에서 더 많은 AE劑를 필요로 하게 된다. 따라서, 플라이 애쉬의 強熱減量을 KS F 4049에서는 5% 以下로 규정하고 있다.

試驗결과에서 오리지날 플라이 애쉬는 A, C, I 試料를 제외한 全 試料가 強熱減量이 5% 以上을 보이고 있다
表 5. 플라이 애쉬의 化學 分析

시료명	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig-loss	K ₂ O	Na ₂ O
A	38.2	19.2	9.2	27.4	3.4	0.4	1.1	1.02	0.80
B	52.0	27.6	9.4	1.2	0.4	-	5.2	3.56	0.84
C	60.8	28.5	4.5	1.5	0.7	-	2.4	0.87	0.87
D	65.4	22.5	2.7	1.4	0.1	-	7.4	0.64	0.44
E	58.8	27.7	3.8	3.0	0.2	-	5.5	1.02	0.54
F	61.1	24.5	3.9	2.5	0.4	-	6.8	0.72	0.44
G	57.9	20.9	8.9	1.3	0.3	-	6.2	3.59	0.50
H	47.1	23.5	5.9	14.6	2.1	0.2	5.0	1.13	0.70
I	46.9	23.7	5.8	14.9	2.4	0.1	4.5	1.20	0.70

으나, 分級 플라이 애쉬의 強熱減量은 全 試料가 5% 以下를 나타내고 있다. 따라서, 그림 5에서 오리지날 플라이 애쉬를 分級하므로써 強熱減量이 減少하였음을 보여주므로써, 콘크리트用 混和材로 分級 플라이 애쉬를 使用한 경우 未燃燒炭素量을 상당량 削減시키므로써 AE劑量의 減少와 포졸란 活性의 도움을 기대할 수 있다고 생각된다.

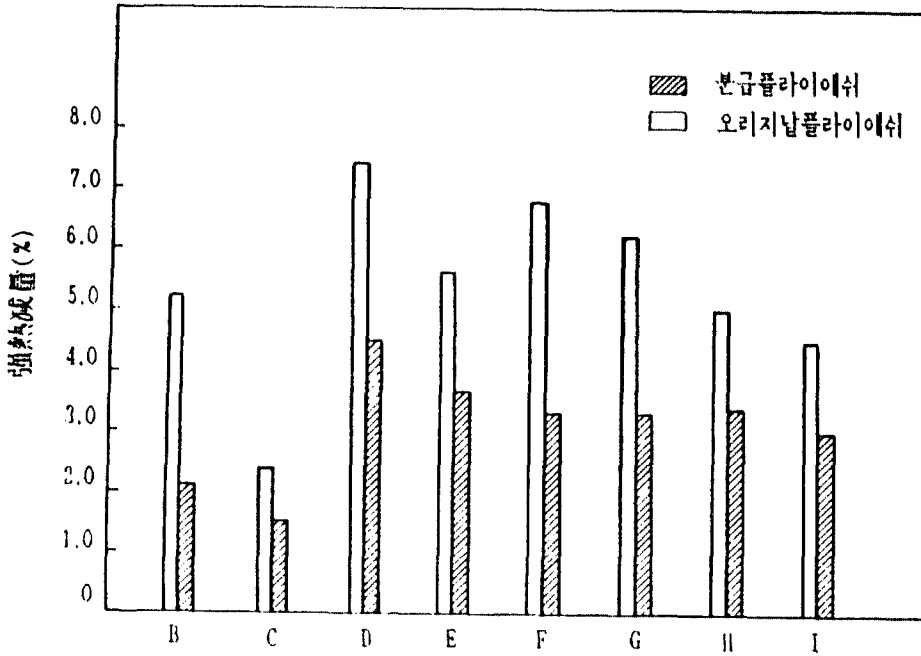


그림 5. 強熱減量(%)

4. 分級 플라이 애쉬의 減水 效果 및 포졸란 反應

4.1. 分級 플라이 애쉬의 減水 效果

分級 플라이 애쉬의 減水 效果가 壓縮強度에 미치는 影響을 알아보기 위한 實驗으로 모르터 壓縮強度試驗 (1)을 實施하였으며, 그 結果는 表 6, 그림 6과 같다. 表 6에서 分級 플라이 애쉬의 單位水量 減少는 B와 D 試料에서는 顯著하여 재령 28日 強度 발현도 큰 폭으로 增加하였고, 기타 試料에 있어서도 分級 플라이 애쉬의 減水效果로 強度 增進의 效果가 있었다. 또한, 그림 6에서 재령 28日 까지는 分級 플라이 애쉬의 減水 效果에 의한 強度 增進이 시멘트 모르터의 強度 增進보다 큰 比率로 增加하였음을 알 수 있었다.

表 6. 모르터 壓縮強度(1) (flow 51 ~ 53 %)

시 료	A	A*	B	B*	C	C*	D	D*	E	E*	cement	
혼 합 수 량(g)	235	230	262	247	247	242	265	242	258	247	242	
압축강도 (kg/cm ²)	7일	192	168	155	164	167	171	180	213	186	173	221
	28일	254	261	223	302	236	258	264	331	267	262	280

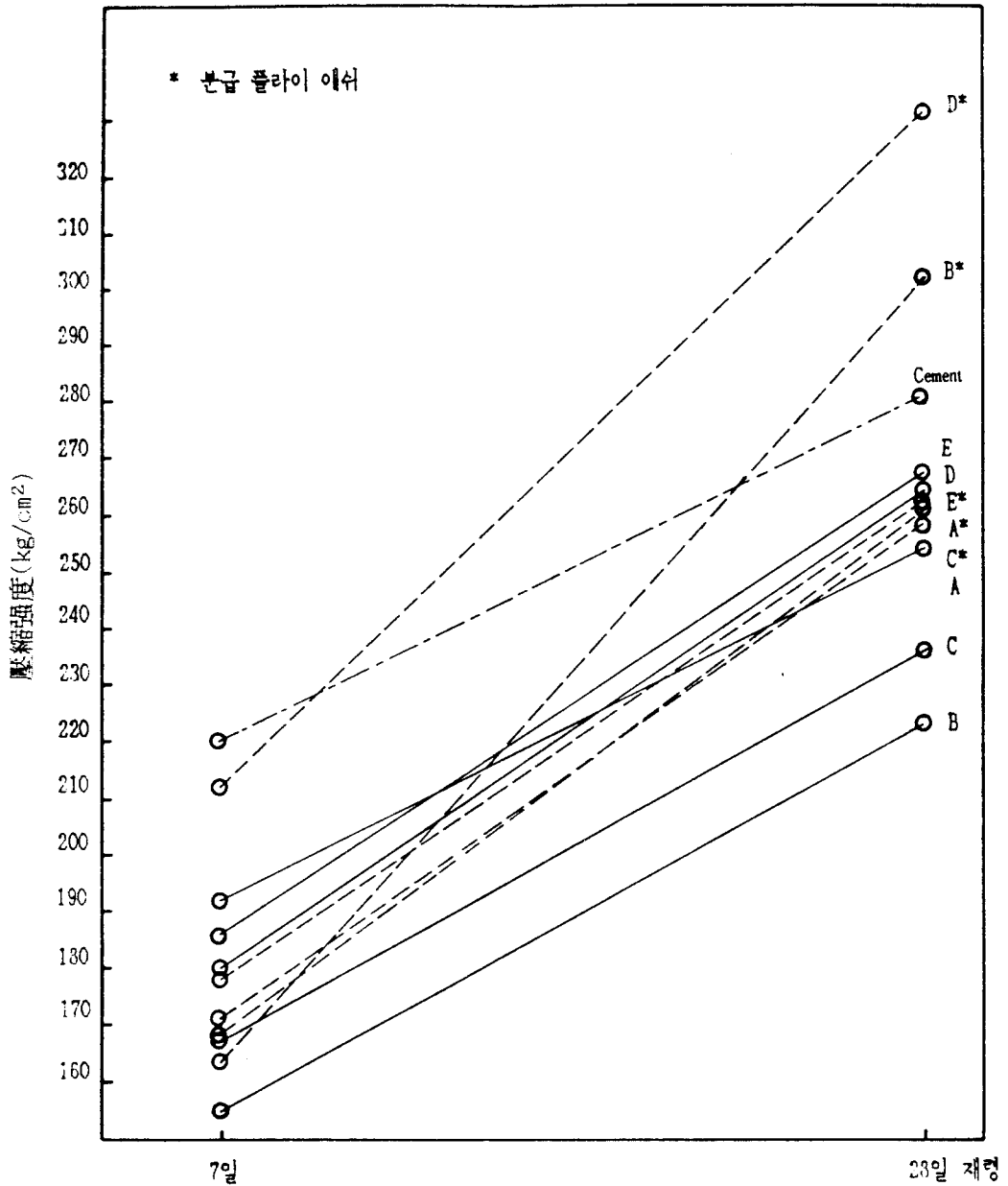


그림 6. 모르터 壓縮強度(1)

4.2. 포졸란 反應

포졸란 그 자체는 硬化하는 性質이 없으나, 물의 存在 下에서 수산화칼슘[$C(OH)_2$]과 常溫에서 化合하여 不溶性의 硬化性化合物을 만들어 낸다. 포졸란에는 人工 포졸란과 天然 포졸란이 있는데, 人工 포졸란에 속하는 플라이 에쉬는 물과 反應하여 溶出되는 황산칼슘염, 규산염 등에 의하여 약간의 水硬性을 갖는다.

一般的으로 플라이 에쉬의 포졸란 活性은 포졸란 反應을 進行시키는 可溶性 실리카와 알루미늄의 量에 따라 달라지고, 燃燒가 높은 플라이 에쉬 일수록 活性은 좋아진다.

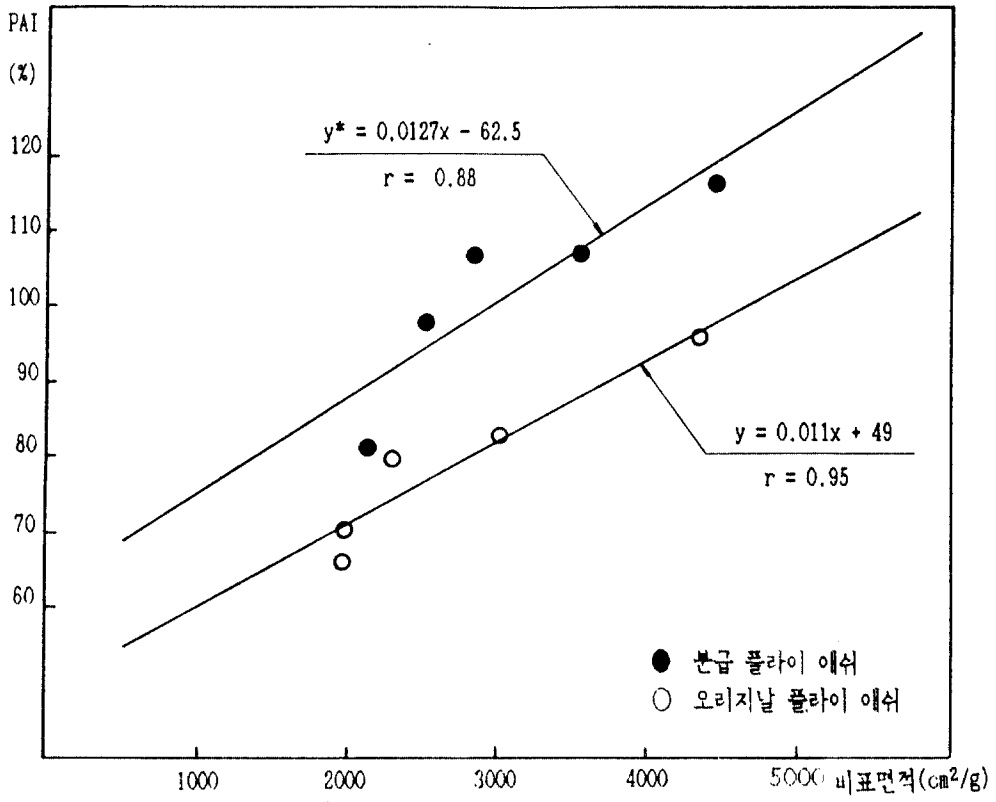


그림 7. 比表面積 - 포졸란 活性指數

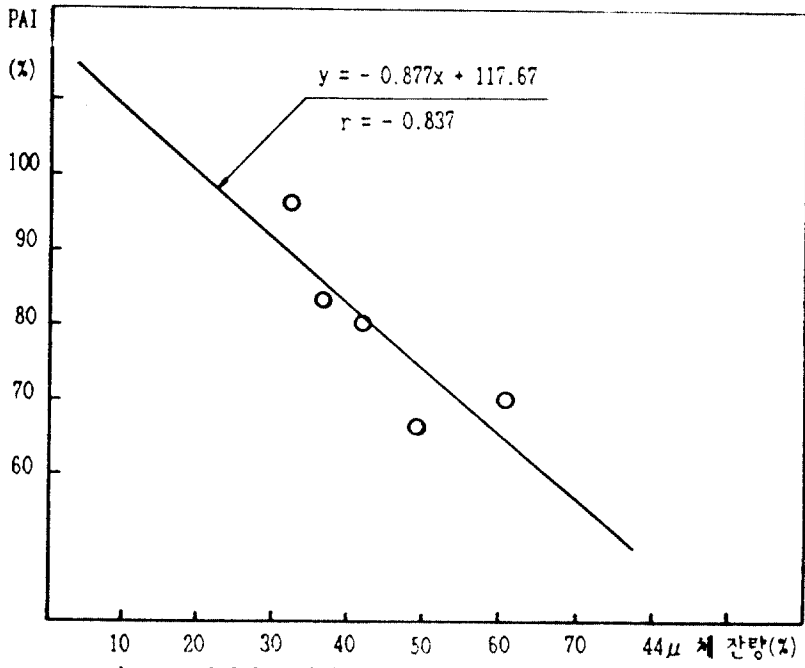


그림 8. 오리지날 플라이 애쉬의 44μ 체 잔량 - 포졸란 活性指數

(1) 포졸란 活性度

포졸란 活性度를 알아보기 위해서 포틀랜드 모르터를 促進 養生시켜서 포졸란 活性指數를 求하였으며, 그 값을 표 4에 나타내었다.

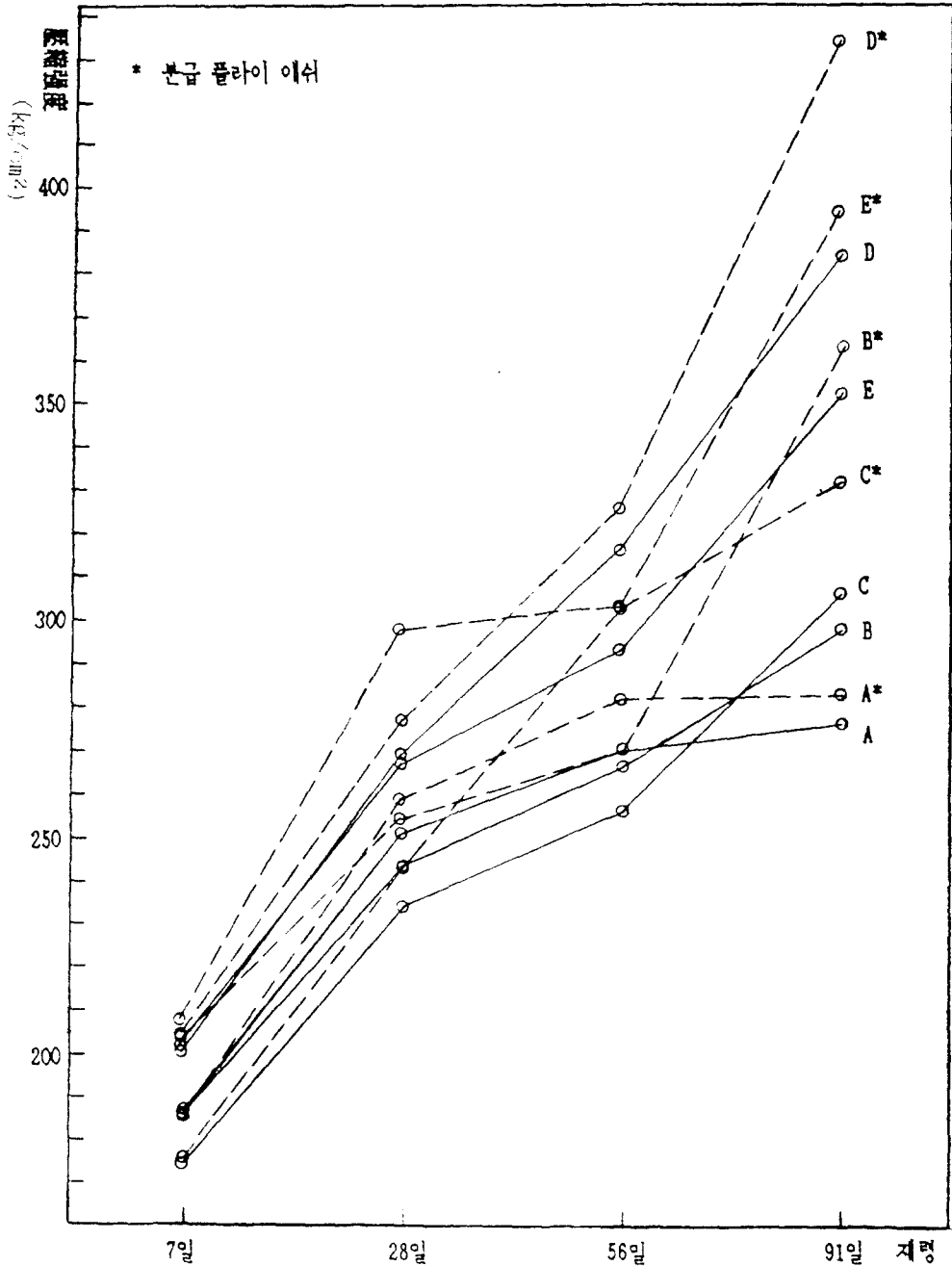


그림 9. 모르터 壓縮強度(2)

여기서, 分級 플라이 애쉬의 포졸란 活性指數를 보면, A 試料를 제외한 모든 試料에서 포졸란 活性指數가 상당히 큰 쪽으로 增加하였음을 알 수 있다.

A 試料만이 增加없이 거의 같은 값을 나타낸 理由는 $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ 의 量이 규정에 未達되기 때문에, 포졸란 活性에 도움이 되지 않은 것으로 생각된다. 또한, 比表面積과 포졸란 活性指數 및 오리지날 플라이 애쉬의 44μ 체 殘量과 포졸란 活性指數와의 相關 關係를 그림 7과 그림 8에 나타내었다.

그림 7에서 比表面積이 클수록 포졸란 活性指數도 큰 값을 나타내는 경향을 보이고 있어, 粉末度가 포졸란 活性에 도움을 주는 因子임을 알 수 있다. 따라서, 分級을 하므로써 粉末度가 커져서 포졸란 活性에 큰 寄與를 할 수 있다고 判斷된다.

또한, 그림 8에서, 44μ 체 殘量이 크면, 포졸란 活性指數는 작아지는 경향을 보이고 있으므로, 44μ 체에 殘留되는 粒形이 크고 良好하지 못한 粒子들이 포졸란 活性에 도움을 주지 못하는 바, 分級을 하므로써 44μ 체에 殘留된 粒子들을 除去시킨다면, 포졸란 活性에 도움을 줄 수 있다고 생각된다.

(2)모르터 壓縮強度試驗(2)

單位水量的 減少 影響을 排除하고 純粹히 포졸란 反應에 의한 모르터 強度의 發現을 알아 보고자 實驗을 實施하였으며, 그 결과는 그림 9와 같다.

여기서 보면, 分級 플라이 애쉬의 強度가 오리지날 플라이 애쉬의 強度 보다 재령 7日 強度는 約 2%, 28日은 約 5%, 56日은 約 6%, 91日은 約 12% 정도로 재령이 커짐에 따라 強度의 增加 幅도 커져서 포졸란 活性에 의한 長期 強度의 增進 效果가 있음을 알 수 있었다.

5. 結 論

國內에서 生成되고 있는 플라이 애쉬에 대하여, 44μ 체에 의한 分級 플라이 애쉬를 콘크리트用 混和材로서 使用하였을 때, 品質 改善의 效果를 알아보기 위한 實驗을 行하였으며, 그 結果를 要約해서 정리하면 다음과 같다.

1) 오리지날 플라이 애쉬의 粒子 形狀은 상당 부분이 거칠고 모가나 있으며, 未燃燒炭도 다량 包含되어 있으나, 分級 플라이 애쉬는 이러한 粒子들이 거의 제거되고 대부분 球形의 粒子로 이루어져 있다.

2) 分級 플라이 애쉬를 使用하므로써 比重, 比表面積 등이 增進되었고, 強熱減量, 單位水量比 등이 감소되는 등 品質改善의 效果가 현저하였다.

3) 分級 플라이 애쉬의 경우에는 오리지날 플라이 애쉬에 비하여 그의 粒形이 良好하게 改善되므로써, 單位水량을 減少시킬 수 있었으며, 28日 壓縮 強度는 대략 平均 14% 정도 增進되었다.

4) 比表面積 - 포졸란 活性指數와 44μ 체 殘量 - 포졸란 活性指數는 좋은 相關 關係를 보이므로, 分級에 의한 粉末度의 管理가 포졸란 活性에 影響을 주는 因子임을 알 수 있었다.

5) 이상의 사실로부터 콘크리트用 混和材로서 플라이 애쉬의 品質을 改善시키는데는 分級이 매우 有效한 수단으로 생각된다.

參 考 文 獻

- 1) 韓國電力公社, “콘크리트 混和材로서의 石炭灰 利用 方案 研究” 1989. 4.
- 2) 長瀨重義, 金銀謙, “플라이 애쉬 및 高爐水碎슬래그를 混和한 콘크리트의 中性化에 관한 研究”
- 3) 小林正凡, “Fly Ash·포졸란質 混和材”, 콘크리트工學(日本), Vol. 16, No. 3, Mar. 1987.
- 4) 笠井順一, “高爐슬래그가 콘크리트에 미치는 影響”, 콘크리트工學(日本), Vol.19, No.11, Nov. 1981.
- 5) 1983年度 石炭灰 利用 技術振興補助事業 試驗研究成果報告書(日本), “石炭灰의 有效利用에 관한 研究 1,” Apr. 1984.
- 6) Fuji Technology, “石炭灰 處理시스템과 有效利用技術”
- 7) Gutt, W., Nixon, P.J. & Gaze, M.E., “Fly Ash and Alkali Aggregate Reaction,”
- 8) Duncan, M.A.G., Swenson, E.G., Gillott, J.E. & Foran, M.R., “Alkali-aggregate Reaction in Nova Scotia, I Summary of a five year study,” Cement and Concrete Research, Vol. 3, No. 1, 1973, pp. 55~69.
- 9) 大槻光雄 外, “最近의 플라이 애쉬의 性狀”, 시멘트 콘크리트, June 1984.
- 10) R.C. Meininger, “Use of Fly Ash in Cement and Concrete-Report of Two Recent Meetings,” Concrete International, July, 1982.
- 11) R.O. Lane, J.F. Best, “Properties and Use of Fly Ash in Portland Cement Concrete,” Concrete International, July 1982.
- 12) Walter, H.Price, “Pozzolans-A Review,” ACI Journal, May 1975.
- 13) 電力技術協會(社), “石炭灰의 有效利用 特集號”, 電力土木, No. 204, 1986. 9.
- 14) R.E Davis, R.W Carlson, J.W Kelly and H.E Davis: “Properties of Cement and Concretes containing Fly Ash”
- 15) Eddie Rossoum Hapie Krüger : “Review of Specification for Additions for Use in Concrete”
- 16) KS L 5405, “플라이 애쉬”
- 17) KS F 4049, “플라이 애쉬”
- 18) 電源開發株式會社, “石炭灰의 有效利用 技術에 관한 研究”, 昭和 60年 4月.
- 19) ASTM C 618
- 20) R.K Dhir, F.H Hubbard, J.G.L Munday, M.R Jones and S.L Duerden, “Contribution of PFA to Concrete Workability and Strength Development,” The University, Dundee, DD1 4HN, Scotland.