

混和材의 置換方法에 따른 高強度 콘크리트의 實驗的 研究

AN EXPERIMENTAL STUDY ON HIGH STRENGTH CONCRETE FOR
REPLACEMENT METHOD OF MINERAL ADMIXTURES

○ 權 寧 鎬* 朴 呈 國* 安 宰 鉉* 朴 沘 林**
KWON YEONG HO, PARK JEONG GUG, AHN JAE HYEN, PARK CHIL LIM

ABSTRACT

The aim of this study is to decide the optimum replacement method when mineral Admixtures as SILICA FUME and FLY ASH are used, as a part of practical use of ultra High-Strength Concrete. For this purpose, Four types of replacement methods are examined and the relationship between replacement methods and concrete properties is studied.

As a result, workability and gain of strength are dependent on the replacement method of mineral Admixtures. The methods of using volumn ratio of cement in FLY ASH, weight ratio of cement in SILICA FUME are shown better workability and strength of concrete than any other replacement method.

I. 序 論

1.1 研究目的

最近 高強度 콘크리트의 開發 및 實用化는 建築, 土木分野에 있어서 大型化, 高層化, 特殊構造物등의 需要增加에 따라 建設業界 및 學界에서 시급히 研究되어야 할 課題로 認識되고 있다.

本 研究所에서는 一般 現場材料를 使用한 500kg/cm² 高強度 콘크리트의 現場生産, 運搬, 打設등의 施工性과 構造物의 特性에 관한 研究(1)를 遂行한 바 있으며, 또한 經濟的인 高強度 콘크리트의 生産에 影響을 미치는 配合方法 및 運搬特性에 관한 研究(2)를 遂行하였다.

그러나 美國, 日本 등지에서 開發, 實用化되고 있는 超高強度 콘크리트는 混和材의 使用이 必須的이며, 이에 따른 잇점이 매우 큰 것으로 評價되고 있다. 물론 國內의 研究趨勢도 超高強度 콘크리트의 開發을 위한 混和材의 研究가 시작되고 있으며, 이는 늦은 감이 있기는 하지만 매우 바람직한 現象이라 볼 수 있다.

이에 本 研究에서는 주로 産業副産物인 FLY ASH, SILICA FUME등의 混和材 研究를 위한 基本 段階로 아직 國內에서 定立되어 있지 않는 置換方法에 대해 實驗을 遂行하여 經濟的이고,

效率的인 方法을 選定하여 指針을 마련하는데 研究의 目的이 있다.

1.2 研究方法 및 範圍

本 研究 遂行을 위한 實驗은 國內産 FLY ASH 와 輸入産 SILICA FUME을 對象으로 各各 置換方法을 4가지로 選定하였으며, 置換方法에 따른 콘크리트의 特性을 比較, 檢討하여 最適 置換方法을 選定하였다. 이때 特性 範圍로서는 슬럼프, 空氣量, 플로우, 콘크리트 溫度, 그리고 強度 特性으로 定하였다.

II. 實驗概要

2.1 各國 規準 및 定義

FLY ASH나 SILICA FUME을 콘크리트 混和材로 使用하기 위해서는 이에 관한 規準을 定立하는 것이 不可避하다. 사실 規準이 整備된 노르웨이, 캐나다 등에서는 SILICA FUME을 多量으로 使用하고 있으나, 國內의 경우 이에 대한 規準이 定立되어 있지 않을뿐 아니라 대부분 輸入品에 依存하고 있기 때문에 價格이 비싼 편이다. 또한 FLY ASH의 경우 國內 火力發電所에서 採集되는 副産物을 販賣하는 業體가 있기는 하나 品質이 고르지 못하고 規準도 없는 實情이다. 따라서 混和材에 관한 各國의 規準을 다음과 같이 정리하여 本 研究의 뒷받침으로 삼고자 한다.

2.1.1 노르웨이 規準

* (株)大宇 建設技術研究所 研究員

** (株)大宇 建設技術研究所 所長

노르웨이에서는 1976년 Portland Cement 規格(3)에서 非晶質 SILICA FUME을 外割 10%까지 使用하는 것이 認定되었으며, 1978년에는 콘크리트用 混和材로서의 規格(4)이 定立되었다. 또한 "Norwegian Control Council for Concrete Products"에서도 化學的 成分, 物理的 特性 外에 輸送, 貯藏, 計量, 品質管理 方法과 計量誤差, 含水率 管理등을 規定하였다.

2.1.2 덴마크 規準

덴마크에서는 SILICA FUME과 FLY ASH를 同一한 規格(5)으로 定하고 있다. 이에 따르면 置換率은 FLY ASH와 竝用하는 경우 最大 內割 35%, SILICA FUME만의 경우 最大 內割 10%까지 使用하도록 規定하고 있다.

2.1.3 캐나다 規準

1986년에 規定된 캐나다 規準(6)은 FLY ASH, SILICA FUME 뿐만 아니라 粒狀 슬래그, 天然 포졸란 등의 品質에 관해서도 規定하고 있다. 이에 따르면 混和材의 指針뿐만 아니라 貯藏, 配合, 現場條件下의 評價方法에 관한 事項도 包含되어 있으며, 置換率은 內割 10%以內로 使用하도록 勸奨하고 있으며, 특히 配合時間에 관해서도 충분한 分散을 위해 通常보다 50%정도 延長하도록 規定하고 있다.

2.1.4 用語 定義

1) 內割 (Replacement) : 混和材를 시멘트의 一部로 置換하는 方法

2) 外割 (Addition) : 混和材를 細骨材의 一部로 置換하는 方法

여기서 外割의 경우 시멘트의 量은 變化 시키지 않는다.

2.2 使用材料 特性

2.2.1 시멘트

시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트(TYPE 1)로 品質試驗 結果는 「표 1」과 같다.

「표 1」 시멘트 品質試驗 結果

특성	비중	분말도 (cm ² /g)	압축강도 (kg/cm ²)		
			3 日	7 日	28 日
측정값	3.12	3,200	165	227	309

2.2.2 骨 材

組骨材는 25mm 碎石, 細骨材는 강모래를 使用하였으며, 品質試驗 結果는 「표 2」와 같다.

「표 2」 骨材의 品質試驗 結果

종류 구분	세 골 재	
	세 골 재	조 골 재
비 중	2.58	2.69
조 립 율	3.20	6.80
흡수율(%)	1.18	0.58
마모율(%)	-	21.0
실적율(%)	63.0	58.7
단위용적중량 (kg/m ³)	1,628	1,578

2.2.3 混和劑

混和劑는 "500kg/cm² 高強度 콘크리트 實用化 研究" 遂行時 室內 및 現場實驗 結果 슬립프, 空氣量, 經時變化, 壓縮強度 등의 特性에서 誤差가 적고 要求條件을 滿足하는 高性能 減水劑 (SUPER-20), 減水劑(HICOL-K)를 使用하였다.

2.2.4 混和材

本 研究에 使用된 混和材는 한국산재에서 市販하는 國內產 FLY ASH와 노르웨이產 輸入品 ELKEM의 Micro SILICA이며, 그 特性은 「표 3」과 같다.

「표 3」 混和材의 化學的 成分 및 物理的 特性

구분	化學的 成分 (%)						物理的 特性	
	SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig. lo- ss	비중	분말도 (cm ² /g)	
FLY ASH	89.8	0.3	0.2	1.0	4.5	2.23	3200	
SILICA FUME	94.7	0.6	0.7	-	2.3	2.38	192400	

2.3 實驗方法

2.3.1 混和材 實驗

FLY ASH와 SILICA FUME의 單位水量比 및 壓縮強度 試驗을 KS L 5402에 따라 實施하였으며, 순수 시멘트 모르타르와 FLY ASH 및 SILICA FUME을 各各 添加한 모르타르의 特性을 比較, 分析하였다.

2.3.2 混和材 置換方法

混和材의 置換方法에 따른 特性을 比較, 分析하기 위한 基本配合는 「표 4」에 나타낸 바와 같다.

「표 4」 基本配合

W/C (%)	S/a (%)	단위재료량(kg/m ³)				고성능 감수제 1.0%
		W	C	S	G	
30	38	150	500	658	1120	

「표 4」와 같은 基本 配合에서 FLY ASH 및 SILICA FUME 置換方法을 「표 5」와 같이 選定하여 各各의 特性을 比較, 分析하였다.

「표 5」에서 보듯이 內割, 外割, 重量, 體積等의 置換方法에 따라 10% 置換을 하였으며, 比重

「표 5」 混和材 置換方法

구분 시험체명	치환방법	비 고
BS	기본배합	혼화재 무첨가
WR	Weight Replacement	시멘트 중량비 10% (內割)
VR	Volum Replacement	시멘트 체적비 10% (內割)
WA	Weight Addition	세골재 중량비 10% (外割)
VA	Volum Addition	세골재 체적비 10% (外割)

의 差異로 인한 修整配合設計를 實施하였다.

2.3.3 配合方法 및 時間

配合方法은 混和材와 시멘트를 함께 投與한 후 先 모르타르 配合方法에 따라 實施하였으며 配合時間은 乾비빔을 包含하여 4分으로 하였다.

III. 實驗結果 및 考察

3.1 混和材 實驗結果

KS L 5402에 따라 FLY ASH와 SILICA FUME의 單位水量比 및 壓縮強度比 試驗結果는 「표 6」과 같다.

「표 6」 混和材 特性 試驗結果

구분 시험체명	단위재료량(g)			FLOW (cm)	단 위 수량비 (%)	압 축 강도비 (%)
	C	S	혼화재			
표준배합	500	1225	-	21.5	100	100
FLY ASH	500	1115	110	20.0	102	117
SILICA FUME	500	1115	110	21.5	121	141

「표 6」에서 보듯이 壓縮強度比는 FLY ASH 나 SILICA FUME 모두 KS 規準(100% 以上)에 適合하나 單位水量比는 FLY ASH의 경우 KS 規準(105% 以下)에 滿足하나 SILICA FUME의 경우 同一 流動性을 確保하기 위해서는 單位水量이나 高性能 減水劑의 添加量을 增加시켜야 한다.

3.2 置換方法 實驗結果

FLY ASH 및 SILICA FUME의 置換方法에 따른 슬럼프, 空氣量, FLOW 測定 및 콘크리트 溫度와 재령별 強度特性 結果는 다음과 같다.

3.2.1 流動性

置換方法에 따른 塑性 콘크리트의 實驗結果는 「표 7」에 나타낸 바와 같다.

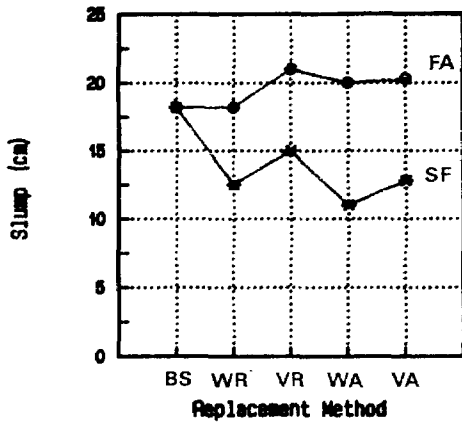
여기서 FA는 FLY ASH, SF는 SILICA FUME이며, WR은 시멘트의 重量比, VR은 시멘트의 體積比, 그리고 WA는 細骨材의 重量比, VA는 細骨材의 體積比로 各各 混和材를 10%씩 置換하는 것을 意味한다.

1) 슬럼프

FLY ASH 및 SILICA FUME의 置換方法에 따른

「표 7」 混和材 流動性 實驗結果

구분 시험체명	W/C+P (%)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	FLOW (cm)
BS	30	18.2	0.9	46
FA-WR	30	18.2	1.0	43
FA-VR	30.9	21.0	1.0	48
FA-WA	29	20.1	0.8	50
FA-VA	29.6	20.3	0.7	50
SF-WR	30	12.5	0.9	24
SF-VR	30.8	15.0	1.2	24
SF-WA	29.2	11.0	1.2	21
SF-VA	29.5	12.8	1.0	22



「그림 1」 置換方法에 따른 슬럼프

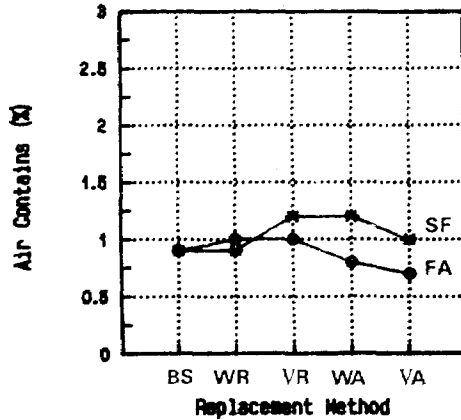
슬럼프 實驗結果를 「그림 1」에 나타내었다.

「그림 1」에서 보듯이 同一 配合條件에 있어서 FLY ASH와 SILICA FUME의 슬럼프 差異는 크게 나타났다. 이는 SILICA FUME의 粉末度가 매우 높기 때문에 單位水量比 試驗結果에 나타난 바와 같이 同一 슬럼프를 얻기 위해서는 單位水量을 增加시키거나 高性能 減水劑의 添加量을 增加시켜야 한다는 것을 보여준다. 또한 重量比 置換에 비해 體積比 置換의 경우가 약간 높은 슬럼프를 나타내는데 이것은 混和材의 絕對量과 單位水量의 關係에서 오는 結果로 思料된다. 이러한 差異는 FLY ASH의 경우 큰 問題가 아니나 SILICA FUME의 경우 尙後 配合設計時

對應하는 水量 및 高性能 減水劑 添加量을 考慮해야 할 것이다. 또한 細骨材의 一部로 混和材를 置換하는 方法은 「그림 1」에서 보듯이 큰 異점은 없으나 블리딩이나 蟬山열 抵抗에 效果的인 方法(7)으로 알려져 있다.

2) 空氣量

本 研究에서 混和材 置換方法에 따른 空氣量 試驗結果는 「그림 2」와 같다.



「그림 2」 置換方法에 따른 空氣量

「그림 2」에서 보듯이 SILICA FUME의 시멘트 重量比와 體積比 置換方法을 제외하고는 混和材의 絕對量이 적을수록 空氣量은 多少 적게 나타났다. 이는 混和材의 比表面積이나 未燃炭素의 含有量에 따라 差異는 있지만 未燃炭素 成分이 空氣量을 吸着하는 性質로 인해 空氣量이 減少한다는 것을 意味한다. 또한 混和材의 化學成分이나 物理的 特性에 따라 空氣量 吸着의 정도도 다르겠지만 塑性 콘크리트 狀態에서 反應初期에 吸着反應이 신속히 일어나는 지에 관한 研究가 必要할 것으로 思料된다.

3) FLOW 및 콘크리트 溫度

「표 7」에서 보듯이 FLY ASH는 粘性이 매우 높고 所要 슬럼프를 얻는데 걸리는 時間이 길기 때문에 塑性狀態의 FLOW가 크게 나타났다. 그러나 SILICA FUME은 粘性이 크지 않고, 또한 塑性 콘크리트 狀態가 매우 거칠며 FLOW도 작게 測定되었다.

일반적으로 混和材는 시멘트 粒子間의 凝集을 分散시키는 役割을 한다.(8) 그러나 FLY ASH의 경우는 粘性이 너무 강하기 때문에 作業性이 低下되었다. SILICA FUME은 微細 球形粒子가

시멘트 페이스트間的의 空隙을 충전할 뿐만 아니라 Ball Bearing 役割을 하기 때문에 비록 FLOW가 낮더라도 作業性은 매우 양호하게 나타났다. 또한 콘크리트 溫度는 外氣溫에 따라 다르나 基本配合에 비해 2~3°C 정도 낮은 것으로 나타났는데 이는 시멘트의 水和生成物인 Ca(OH)₂와 混和材의 실리카 成分이 포졸란 反應을 할때 그 反應速度가 시멘트에 비해 느리게 進行되기 때문에 水和熱이 적게 된다.(9) 특히 시멘트 一部로 混和材를 置換할 경우 水和熱로 인한 溫度龜裂등을 防止할 수가 있다.

3.2.2 強度特性

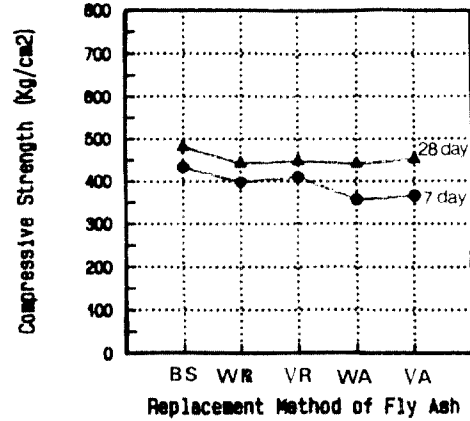
FLY ASH 및 SILICA FUME의 置換方法에 따른 強度特性은 「표 8」 및 「그림 3」, 「그림 4」와 같다.

「표 8」 置換方法에 따른 強度特性

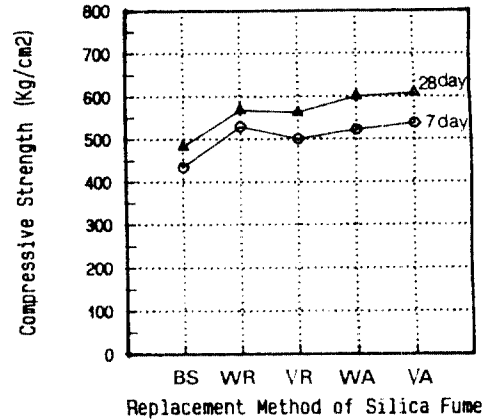
구분 시험체명	압축강도 (kg/cm ²)		인장강도 (kg/cm ²)	인장 압축 (%)
	7 日	28 日		
BS	434	482	37.3	7.7
FA-WR	398	442	36.6	8.3
FA-VR	407	447	33.4	7.5
FA-WA	357	441	38.5	8.7
FA-VA	366	455	38.2	8.4
SF-WR	529	568	42.2	7.4
SF-VR	500	562	38.2	6.8
SF-WA	522	600	47.9	8.0
SF-VA	537	608	40.3	6.6

「표 8」, 「그림 3」에서 보듯이 FLY ASH의 경우 配合方法에 관계없이 初期 재령에서는 無添加한 基本配合에 비해 壓縮強度가 적게 測定되었다. 물론 포졸란 反應이 後期 재령에서 일어나기 때문에 3個月까지는 強度가 낮으나 6個月 以內的 強度 增進이 크기 때문에 댐 콘크리트와 같은 構造物의 水和熱 低減용으로 많이 使用된다.

重量比 置換과 體積比 置換을 比較해 볼때 絕對量이 적은 體積比 置換의 경우 壓縮強度가 약간 크게 나타났다. 또한 壓縮強度에 대한 引張強度比는 重量比 置換이 큰 것으로 나타나 FLY



「그림 3」 置換方法에 따른 壓縮強度 (FLY ASH)



「그림 4」 置換方法에 따른 壓縮強度(SILICA FUME)

ASH의 絕對量이 큰 것이 引張強度 增加가 높다는 것을 알 수 있다.

SILICA FUME의 경우에는 「표 8」, 「그림 4」에서 보듯이 初期強度 發現이 FLY ASH에 비해 매우 높은 것으로 나타났다. 또한 置換方法에 따라 시멘트 重量比와 細骨材의 體積比가 強度增進이 큰 것으로 나타났으며, 壓縮強度에 대한 引張強度比도 FLY ASH와 같이 SILICA FUME 絕對量이 큰 것이 높게 나타났다. FLY ASH나 SILICA FUME 모두가 7日, 28日 재령의 強度差異가 별로 크지 않는데 이는 포졸란 反應상의 初期 재령으로 보아야 할 것이다.

3.2.3 置換方法 特性

混和材를 添加할 경우 重量比 置換은 混和材의 比重이 시멘트에 비해 낮기 때문에 주어진

配合에서 시멘트-페이스트 Matrix 體積이 增加하게 된다. 이러한 方法은 流動性을 增進시키는 效果가 있는 반면, 페이스트 增加로 인한 乾燥收縮의 問題가 일어날 수 있다. 그러나 混和材의 微細粒子가 충전작용을 하기 때문에 毛細空隙이 微細해지고, 또한 물의 移動과 Gel 水の 乾燥에 抵抗하기 때문에 오히려 乾燥收縮을 防止할 수가 있다.

體積比 置換은 絕對容積이 같을지라도 混和材의 比重이 낮기 때문에 全體 重量이 減少되는 結果가 된다.

本 研究에서 遂行한 4가지 置換方法의 結果를 考察해 볼때 細骨材의 一部로 置換하는 것이 블리딩 減少나 황산염 抵抗에 優秀하다고 할지라도 非經濟的인 콘크리트가 될 우려가 있다는 것을 알 수 있다.

따라서 시멘트 一部를 置換하는 것이 바람직하며, FLY ASH의 경우 高強度 콘크리트 生産보다는 보통強度의 品質改善이나 水和熱 低減, 그리고 經濟性에 그 使用性을 判斷하는 것이 바람직하다. 이러한 使用性에 대해 FLY ASH의 價格이 매우 싸기 때문에 經濟性 側面에서 配合設計를 하고자 할 때는 시멘트의 重量比로 置換하는 것이 좋으며, 이에 따른 品質改善 및 水和熱 低減등의 效果가 期待된다.

그러나 SILICA FUME의 경우는 高強度 콘크리트 生産에 目標을 두고 있으며, 20%까지는 置換率이 클수록 強度發現이 크기 때문에 시멘트의 重量比로 置換하는 것이 有利하다. 이때 流動性 維持는 高性能 減水劑의 添加量으로 管理하여야 한다.

또한 壓縮強度에 대한 引張強度 增進이 混和材의 重量比 置換의 경우가 體積比 置換보다 높게 測定되기 때문에 構造的으로도 有利한 側面이 있을 것으로 본다.

IV. 結 論

混和材의 置換方法에 따른 特性 實驗을 遂行한 結果를 要約하면 다음과 같다.

- 1) 모르타르 試驗에 있어서 FLY ASH는 單位水量比 및 壓縮強度比를 滿足하나 SILICA FUME은 單位水量이나 高性能 減水劑 添加量의 增加가 要求된다.
- 2) FLY ASH 콘크리트는 流動성과 強度增進을 위

해서는 시멘트 體積比가 有利하나 經濟性 側面에서는 重量比 置換이 바람직하다.

- 3) SILICA FUME 콘크리트는 同一 슬럼프를 얻기 위한 單位水量이나 高性能 減水劑 添加量을 增加시켜야 하며, 強度發現上 시멘트 重量比 置換이 바람직하다.
- 4) 國內産 FLY ASH는 流動性에는 良好하나 強度發現上 不利하기 때문에 高強度 콘크리트 生産보다는 보통強度 콘크리트의 水和熱 低減, 經濟性 側面에서 使用하는 것이 바람직하다.
- 5) 經濟성과 高強度 콘크리트 開發의 側面에서 볼 때 FLY ASH와 SILICA FUME을 함께 添加하는 方案을 연구하여야 한다.

< 參 考 文 獻 >

1. 박철림, 조철근, 양은익, 장승규, 권영호, "現場打設 高強度 콘크리트의 施工性 및 強度特性에 관한 實驗的 研究", KCIJ, Vol.3, No.2, 1991, pp.97-104.
2. 박철림, 안재현, 권영호, "高強度 콘크리트의 配合方法과 運搬特性에 관한 實驗的 研究", 한국콘크리트학회 봄학술발표회논문집 제4권 1호, 1992, pp.7-12.
3. Norsk Standard NS 3098 :Portland sementer Kravtil Egenskaper, Provetakings Ogleveransergler, Mai 1983.
4. Norsk Standard NS 3420 Vol.1 : Beskivels-estekster for Bygog Anlegg, Bind1, Tekniske bestemmelser prisgrunlag, Mai 1986.
5. Dansk Standard DS 411 : Structural use of concrete, April 1986.
6. Canadian Standards CAN/CSA-A 23, 5-M 86 : Supplementary cementing Materials, July 1986.
7. Price, G.C., "Investigation of concrete Materials for the South Saskatchewan River Dam", Proceedings, ASTM, V.61, 1961, pp. 1155-1179
8. R.K.Dhir, F.H.Hubbard, J.G.Mnunday, M.R. Jones, S.L.Duerden, Cement and concrete Research 18[2], 27(1988)
9. M.Regourd et al., "Use of Condensed SILICA FUME as filler in blended cement" ACI SPX 79, pp.851