

슬래그, 플라이애쉬, 제지슬러지애쉬로 製造한 콘크리트의 性狀에 관한 實驗的研究

An Experimental Study on the Properties of the Concrete made with Blast Furnace Slag, Fly-Ash or Paper Sludge-Ash

최 정 호 [*]	하 상 욱 ^{**}	허 왕 국 ^{***}	고 상 민 ^{****}
Choi, Jeong Ho	Ha, Sang Wook	Her, Wang Kuk	Ko, Sang Min
노 강 석 ^{*****}	정 관 영 ^{*****}	서 상 교 ^{*****}	
No, Kang Seok	Chung, Kwan Young	Seo, Sang Kyo	

Abstract

In recent years, problems of industrial solid wastes appear to be kind of national crises, caused by a sudden increase in their quantities, lack of disposal technique, and public discontent in installing plants for their disposal. This study is designed to investigate that pozzolana-based materials, such as blast furnace slag, fly-ash, paper sludge-ash, which are produced from industries as solid wastes, can be used as construction materials. The variations of concrete strength in function of compositional differences of raw materials including the wastes are studied experimentally.

As a result, we find out that the blast furnace slag, the fly-ash, and the paper sludge-ash can be recycled as useful resources for replacement of cements by adjusting their substitution ratio.

1. 序論

最近 廢棄物의 급격한 量的 增加, 廢棄物 處理·處分 技術의 脆弱 및 廢棄物 處理施設 設置에 대한 民願의 發生 등에 따라 廢棄物 問題가 國家의 危機로까지 대두되고 있는 實情에 있다. 현재 國內에서는 廢棄物 處理方法이 單純埋立에서 衛生埋立 또는 燒却處理로 전환해 가는 轉換期의 시점에 있다. 廢棄物은 버리는 쓰레기가 아니라 再活用하면 하나의 資源이 될 수 있다는 價値概念¹⁾⁻⁴⁾으로 意識이 점차 轉換되고 있으며, 政府에서도 이를 위하여 廢棄物 處理施設 設置에 대한 財政支援을 확대하고, 廢棄物의 資源化를 위해 최선을 다하고 있다.

*정회원, 충북대학교 건축공학과 박사과정

***정회원, 충북대학교 건축공학과 석사과정

*****괴산교육청 시설계장, 충청대학 겸임교수

**정회원, 쌍용양회(주) 중앙연구소 연구원

****(주) 포항제철 주임

*****정회원, 충북대학교 건축공학과 교수

이에 본 研究에서는 資源의 有效利用 및 環境保存이라는 측면에서, 各種産業廢棄物(再活用할 수 있는 廢棄物을 副産物이라고 이하 약한다)중, 특히 潛在水硬性을 갖고 있는 포졸란계통의 材料, 즉 급랭슬래그粉末(이하 슬래그라 칭한다. 포항제철산), 플라이애쉬(보령화력발전소산), 제지슬러지애쉬(S제지회사산)를 建築材料로서 使用할 수 있는지의 可能性을 알아보기 위하여, 우선 基本的인 性狀을 實驗的으로 檢討하고자 한다.

2. 實驗計劃 및 方法

2.1. 實驗概要

본 研究의 實驗計劃은 Table.1과 같다. 먼저 基準콘크리트의 물시멘트비를 一般強度 範圍인 50%로 정하고 目標 슬럼프를 18cm로 하여 配合比를 決定한 다음, 單位水量과 單位骨材量은 一定하게 維持하면서 시멘트 配合量만 슬래그, 플라이애쉬, 제지슬러지애쉬로 각각 10%, 20%, 30%, 50%로 置換한다. 置換方法은 容積比로 한다.

Table.1 Experimental Plan

Mix Design						Test					
*Symbol of Series	W/C (%)	Slump (cm)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S/A (%)	Substitution Ratio			Fresh Concrete	Hardened Concrete	
						Blast Furnace Slag (%)	Fly-Ash (%)	Paper Sludge-Ash (%)			
CS	50	18	193	386	47	0	0	0	Slump	Compressive and Flexural Strength at 7days, 28days, 90days	
						10					
						20					
						30					
						50					
CF	50	18	193	386	47	0	0	0	Slump Flow	Compressive and Flexural Strength at 7days, 28days, 90days	
											10
											20
											30
											50
CP	50	18	193	386	47	0	0	0	Air Content	Compressive and Flexural Strength at 7days, 28days, 90days	
											10
											20
											30
											50

* CS : 슬래그 치환 콘크리트, CF : 플라이애쉬 치환 콘크리트, CP : 제지슬러지애쉬 치환 콘크리트

試驗事項으로 굳지않은 콘크리트의 性質을 알아보기 위하여, 슬럼프테스트 및 空氣量을 測定한다. 단, 플라이애쉬와 제지슬러지애쉬는 置換率이 높은 水準의 경우에 슬럼프플로우 값을 測定한다. 硬化 콘크리트에 있어서는 置換材料의 置換率에 따른 強度特性和 材齡에 따른 強度發現率을 알기 위하여, 材齡 7일, 28일, 90일에 置換시켜 製成한 혼합콘크리트의 壓縮(시험체 $\phi 10 \times 20\text{cm}$) 및 휨(시험체 $10.5 \times 10.5 \times 41\text{cm}$)에 대한 強度試驗을 實施한다.

2.2. 使用材料

본 研究에 使用한 시멘트는 S사 製品인 普通포틀랜드시멘트를 使用하였다. 시멘트에 대한 置換材料로서 使用한 슬래그, 플라이애쉬, 제지슬러지애쉬의 化學的組成 및 物理的性質은 Table.2와 같다.(分析은 쌍용양회 중앙연구소에서 실시하였음) 굵은골재는 最大치수 20mm인 부순자갈을 使用하였으며, 잔골재는 충청남도 연기군 부강에서 採取한 강모래를 使用하였다.

Table. 2 Chemical and Physical Properties of Industrial Solid Wastes

Industrial Solid Wastes	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Ig.loss (%)	Specific Gravity	Blaine (cm ² /g)
Blast Furnace Slag	32.16	15.29	0.56	42.02	6.87	0.65	1.70	2.92	11,360
Fly-Ash	62.40	23.60	6.10	2.90	0.90	0.30	4.20	2.42	4,310
Paper Sludge-Ash	30.85	19.79	0.94	39.75	4.23	0.62	0.10	2.86	22,720

2.3. 콘크리트 混合 및 試驗方法

콘크리트의 混合은 로타리식 강제믹서(용량100 l)를 使用하였고, 混合順序는 基準콘크리트의 경우 모래, 자갈, 시멘트, 물의 順序로 投入하였으며, 置換材를 混入하는 경우에는 모래, 자갈, 시멘트, 물, 置換材의 順序로 投入하였다. 믹서 內에서 混合이 끝난 콘크리트는 비빈판 위에 부어 놓고 삽으로 다시 비빈 후, 실린더 및 거푸집에 2층으로 나누어 타설하였으며, 棒狀形 振動機로 진동다짐을 實施하였다. 타설된 공시체는 溫度 20±3℃인 實驗室 內에 방치하여 24時間 養生한 후 脫型하였으며, 脫型한 공시체는 溫度 20±3℃인 水槽에서 水中養生하였다.

굳지않은 콘크리트에 있어서의 슬럼프 試驗은 KS F 2402, 공기량 試驗은 KS F 2421에 의한 標準 試驗 方法으로 實施하였다. 또한 流動性을 알기 위하여, 슬럼프 試驗이 끝난 후 슬럼프 콘에서 내려앉은 콘크리트의 밑면에서 直交하는 두 지점간 지름을 測定한 후, 平均값을 취해 슬럼프플로우값으로 하였다. 硬化콘크리트의 壓縮強度試驗은 KS F 2405에 따라 實施하였으며, 韌強度 試驗은 KS F 2408에 의한 단순보의 3등분점 2점在荷 方法에 의하여 實施하였다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1. 굳지않은 콘크리트의 性状

Fig.1에 置換率과 슬럼프와의 關係를 나타내었다. Fig.1에서 보는 바와 같이, 슬래그 置換率 10%와 20%에서는 基準콘크리트(置換率 0%)와 거의 同一한 값을 나타내다가 30%, 50%에서는 약간 낮은 傾向을 보였으나, 流動性이 크게 나빠지진 않았다. 플라이애쉬는 置換率 10%에서 基準콘크리트와 거의 同一한 값을 보이고 있으며, 20%, 30%, 50%에서는 대체로 다소 더 높게 나타났다. 이는 플라이애쉬가 置換量이 높아질수록 既存의 研究結果⁵⁾에서와 같이 콘크리트의 流動性을 改善시켰기 때문에 일어난 것으로 보인다. 반면, 제지슬리애쉬의 경우는 置換率이 20%를 超過하면 슬럼프 값이 급격히 작아지고 있음을 보여주고 있다. Fig.1에서 보는 바와 같이, 제지슬리애쉬는 置換率 30%에서 슬럼프 2cm를 나타냈으며, 더 이상 置換率을 높여 콘크리트를 製作할 수 없어 50%까지의 置換은 不可能 하였다. 이는 제지슬리애쉬가 粒子表面에서 配合用 물을 多量으로 吸收함에 따라, Fig.2 Air Content by the Substitution Ratio 비비는데에 使用되어야 할 물의 不足현상이 發生하여, 混合이 不可能 하였다. 제지슬리애쉬의 경우, 置換率 20%와 30%에서 블리딩수의 不足으로 凝結이 빨리 일어나므로, 표면마감 時間의 調節에 注意를 요한다.

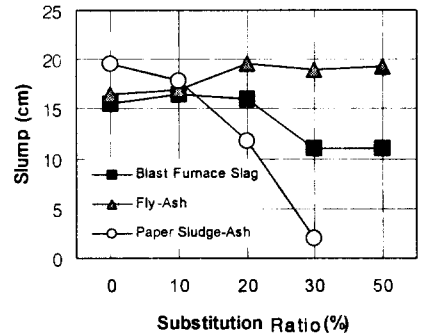


Fig.1 Slump by the Substitution Ratio

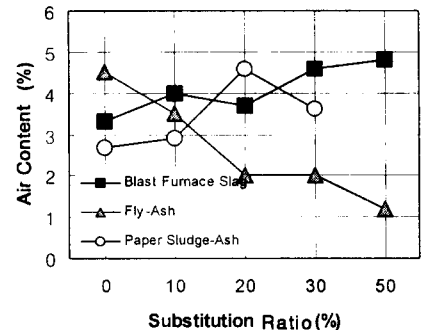


Fig.2 Air Content by the Substitution Ratio

參考的으로, 플라이애쉬의 置換率이 20%-30%-50%일 때, 슬럼프플로우값은 36.0-34.5-39.5cm 었다. 이는 플라이애쉬의 置換率이 높을 경우, 매우 우수한 流動性을 보여주고 있음을 알 수 있다. 반면 제지슬러지애쉬의 경우, 置換率 10%-20%-30%에서의 슬럼프플로우값은 26.0-20.5-20.0cm 었다.

Fig.2에는 置換率과 空氣量과의 關係를 나타내었다. 슬래그의 경우, 置換率이 높을수록 空氣量이 增加하는 傾向을 보였다. 반면, 플라이애쉬의 경우에는 置換率이 높아질수록 空氣量이 減少하는 傾向을 보였는데, 이는 플라이애쉬에 포함된 未燃炭素에 의해 連行空氣가 吸着되었기 때문인 것으로 생각된다.⁶⁾ 제지슬러지애쉬의 경우는 슬래그의 경우와 같이 置換率이 높아질수록 空氣量이 약간씩 增加하는 傾向을 나타냈다.

3.2. 硬化콘크리트의 性狀

3.2.1. 壓縮強度

(1) 7일 壓縮強度

Fig.3은 각 材料別 置換率과 材齡 7일 壓縮強度와의 關係를 나타낸다. 基準콘크리트와 比較해보면, 슬래그의 경우는 置換率 10%, 20%, 30%에서 基準콘크리트와 거의 同等한 값을 나타내었고, 置換率 50%에 있어서는 오히려 基準콘크리트의 壓縮強度보다 약간 높게 強度를 나타냈다. 플라이애쉬는 置換率 10%와 20%에서 基準콘크리트에 비해 다소 높은 傾向을 보이다가, 30%이상의 置換率이면 強度가 低下되는 傾向을 나타냈다. 置換率이 50%일 때, 壓縮強度값은 基準콘크리트의 壓縮強度에 비해 56%정도의 水準에 불과하였다. 既存의 研究結果⁷⁾들과 마찬가지로 플라이애쉬의 置換量이 20%를 넘게 되면 初期強度가 낮아지는 傾向을 나타내고 있음을 알 수 있다. 제지슬러지애쉬의 경우에는 10%와 20%에서 基準콘크리트와 同一한 水準의 壓縮強度를 보이다가, 30%에서는 약간 낮아지고 있음을 알 수 있다. 이는 제지슬러지애쉬의 表面에서 水分을 吸收함으로 인해 流動性이 나빠졌기 때문인 것으로 생각된다.

(2) 28일 壓縮強度

Fig.4에서는 각 材料別 置換率과 材齡 28일 壓縮強度와의 關係를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이, 슬래그는 置換率의 增加와 상관없이 基準콘크리트와 거의 비슷한 強度를 보였다. 플라이애쉬는 置換率 20%까지 基準콘크리트와 거의 同一한 強度를 보였으나, 30%이상 置換하였을 경우 強度가 低下하는 傾向을 나타냈다. 반면, 제지슬러지애쉬는 置換率 10%, 20%, 30% 모두 基準콘크리트와 同等한 水準의 強度를 보였다.

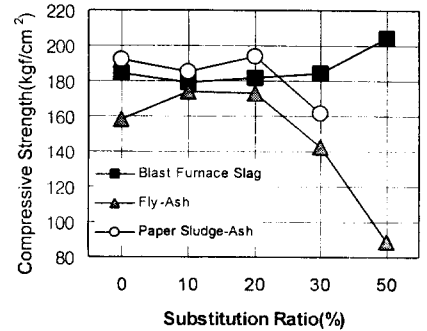


Fig.3 7Days Compressive Strength

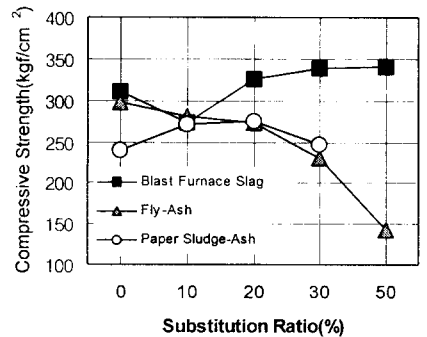


Fig.4 28Days Compressive Strength

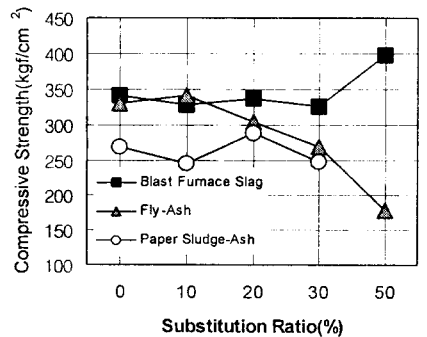


Fig.5 90Days Compressive Strength

(3) 90일 壓縮強度

Fig.5에서는 각 材料別 置換率에 따른 材齡 90일 壓縮強度를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이, 슬래그의 경우 置換率 30%까지는 基準콘크리트와 거의 同等한 強度를 보였으며, 置換率 50%에서는 基準콘크리트보다 60kgf/cm² 정도 높은 強度값을 보였다. 플라이애쉬의 경우, 置換率 20%까지는 基準콘크리트와 同等한 強度를 보이다가, 30%이상 되면 強度가 低下하는 傾向을 나타냈다. 플라이애쉬를 混合한 콘크리트는 長期強度가 改善된다는 설이 있지만, 置換率을 考慮하여 使用하여야 할 것으로 생각된다. 제지슬러지애쉬 또한 28일 壓縮強度에서 나타난 것 처럼 置換率의 增加에 상관없이 基準콘크리트와 거의 同一한 強度값을 나타내었다.

3.2.2. 휨強度

(1) 7일 휨強度

Fig.6은 각 材料別 置換率과 材齡 7일 휨強度와의 關係를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이, 슬래그의 경우는 基準콘크리트와 비교해서 置換率이 增加할수록 壓縮強度와 같이 휨強度 또한 조금씩 增加하는 傾向을 보였다. 플라이애쉬는 置換率 20%까지는 基準콘크리트와 同一한 水準의 強度를 보였으나, 置換率 30%이상 되면 強度가 減少하는 傾向을 보여주었다. 제지슬러지애쉬의 경우는 置換率 10%까지 基準콘크리트와 同一한 水準의 強度를 보였으나, 置換率 20%부터는 基準콘크리트에 비해 낮은 휨強度값을 나타내었다.

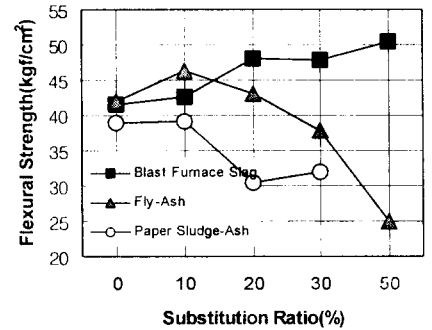


Fig.6 7Days Flexural Strength

(2) 28일 휨強度

Fig.7은 각 材料別 置換率과 材齡 28일 휨強度와의 關係를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이, 슬래그의 경우는 置換率 增加에 따라 強度가 높아지는 傾向을 보였다. 플라이애쉬의 경우는 置換率 30%까지 基準콘크리트와 同一한 強度값을 나타냈고, 置換率 50%에서 급격히 低下하는 傾向을 보였다. 제지슬러지애쉬는 置換率 10%, 20%, 30% 모두 基準콘크리트와 同等한 強度를 나타내었다.

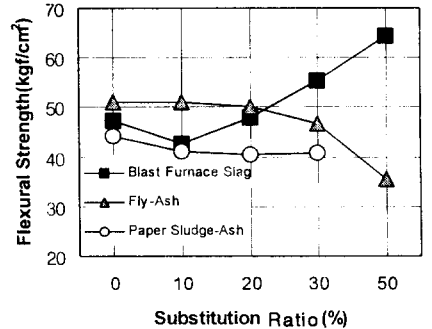


Fig.7 28Days Flexural Strength

(3) 90일 휨強度

Fig.8에서는 각 材料別 置換率과 材齡 90일 휨強度와의 關係를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이, 슬래그의 경우는 置換率 30%까지는 基準콘크리트와 同一한 水準의 強度를 보이다가 置換率 50%에서 基準콘크리트에 비해 높은 強度를 나타냈다. 플라이애쉬의 경우도 置換率 30%까지는 슬래그의 경우와 같이 基準콘크리트와 同一한 水準의 強度를 보였으나, 置換率 50%에서는 급격한 強度低下를 나타냈다. 제지슬러지애쉬의 경우에는 Fig.7의 材齡 28일 휨強度에서 나타난 特性和 유사하게, 置換率 10%, 20%, 30% 모두 基準콘크리트보다는 強度가 약간 低下하였으나, 置換率과 상관없이 거의 同一한 強度를 나타냈다.

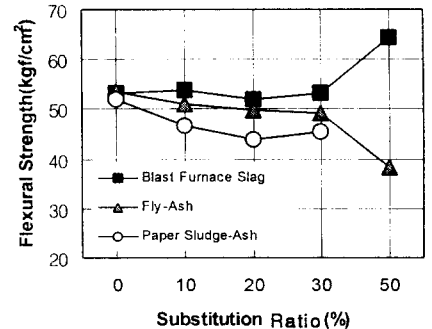


Fig.8 90Days Flexural Strength

4. 結論

産業副産物의 一種인 슬래그(Blast Furnace Slag), 플라이애쉬(Fly-Ash), 제지슬러지애쉬(Paper Sludge-Ash)를 시멘트의 일부로 代替하여 製造한 콘크리트의 性狀을 밝히기 위한 基礎的 實驗을 實施한 結果, 다음과 같은 結論을 얻을 수 있다.

- 1) 슬래그, 제지슬러지애쉬 혼입콘크리트의 空氣量은 置換率의 增加와 함께 增加하는 傾向을 나타냈지만, 플라이애쉬 혼입콘크리트는 반대로 低下하는 傾向을 나타냈다.
- 2) 슬래그 混入콘크리트의 流動性은 置換率 20%까지 基準콘크리트와 거의 같은 水準을 나타내다가 置換率이 20%以上이 되면 약간 低下하지만, 대체적으로 良好한 편이었다. 壓縮 및 韌強度는 初期·長期 모든 材齡에서 置換率의 增加에 關係없이 同等한 水準을 나타냈다. 특히 置換率 50%에서는 壓縮 및 韌強度에서 基準콘크리트보다 높은 強度값을 나타냈다.
- 3) 플라이애쉬 混入콘크리트는 置換率의 增加와 함께 流動性이 크게 改善되는 傾向을 나타냈다. 壓縮 및 韌強度는 置換率 20%까지 初期·長期 모두에 있어서 거의 같은 水準을 나타내다가, 置換率이 20%以上 增加하면 強度低下가 나타났다.
- 4) 제지슬러지애쉬 混入콘크리트의 流動性은 置換率의 增加와 함께 低下되는 傾向을 나타냈다. 壓縮 및 韌強度는 初期·長期 모든 材齡에 있어서 基準콘크리트와 거의 같은 水準의 強度값을 나타냈다.

以上の 結果를 綜合해 보면, 産業副産物로 얻어지는 슬래그, 플라이애쉬, 제지슬러지애쉬는 그 特性에 따라 置換率을 調整해 주면, 시멘트 代替材料로서 效果的으로 再利用할 수 있다는 結論을 얻을 수 있다. 즉, 流動性이 극히 나쁜 제지슬러지애쉬에 流動性이 좋은 플라이애쉬와 슬래그를 적정한 比率로 混合하면, 流動性이나 強度면에서 우수한 콘크리트를 만들 수 있다고 思慮된다.

따라서, 이러한 포졸란 材料들이 各各 가지고 있는 長點과 短點을 相互補完적으로 利用할 수 있는 방안에 대하여, 今後 더 많은 研究가 必要하다.

參考文獻

1. P.Jahren, "Use of Silica Fume in Concrete, Fly-Ash, Silica Fume, Slag and Other Mineral By-Products in Concrete", ACI, SP-70, 1983, pp. 625~642.
2. Jubal D. Hamernik and Gregory C. Frantz, "Strength of Concrete Containing Municipal Solid Waste Fly-Ash", ACI Materials Journal, Vol. 88, No. 5, 1991, pp. 508~517.
3. 吉兼 亨, "콘크리트用骨材ならびに混和材料としての各種廢棄物の再利用の可能性", JCI. Vol. 34, No.2, 1996. 2, pp. 72~80.
4. 依田彰彦, "高爐슬래그微粉末を用いた콘크리트", JCI. Vol. 34, No. 4,, 1996. 4, pp. 72~82.
5. 大賀宏行, "フライアッシュや石炭灰を用いた콘크리트", JCI. Vol.34. No.6, 1996. 6, pp. 69~74.
6. 하상욱외 2인, "플라이애쉬 混合 모르타르의 空氣連行特性에 대한 研究", 韓國콘크리트學會 봄 學術發表會 論文集, 第10卷 1號, 1998. 5, pp. 137~140.
7. 이찬식외 2인, "플라이애시를 混入한 콘크리트블록의 強度特性에 관한 實驗的 研究", 大韓建築學會 論文集, 第14卷 2號, 1998. 4, pp. 331~339.