

人工輕量骨材 콘크리트의 配合과 力學的性狀에 관한 實驗的研究

An Experimental Study on the Mixing and Mechanical Properties
of Artificial Lightweight Aggregate(ALA) Concrete

金 和 中¹⁾ 金 泰 燮²⁾ 全 明 勳³⁾ 安 相 建⁴⁾
Kim, Wha Jung Kim, Tai Sub Jun, Myoung Hun An, Sang Gun

ABSTRACT

It is necessary to generalize the use for structural ALA Concrete in our country, as increasing in the need for the development of ALA and the use of ALA Concrete which is related with the diminution of the self load and foundation section of structure responding to the realistic requirement against the decrease of natural aggregate and the high-rising and large-sizing of structures.

This little study, therefore intended to help in the mixing design of concrete by considering the fundamental properties of ALA Concrete used with expanded clay, which is considered by adopting the experimental factors such as unit cement content, water cement ratio and the rate of fine aggregate.

By considering the results of this experiment, it has difficulty in getting expected slump with the unit water content of normal concrete because of the large absorption of lightweight aggregate, and because the weight of unit volume and specific gravity ALA Concrete are small it appears that the strength and Elastic Modulus of that are small too and that it is more ductile than normal concrete.

1. 序論

1917年 Stephen J. Hayde에 의해 膨脹頁岩(expanded shale)에 의한 人工輕量骨材가 開發된 以來, 輕量 콘크리트는 船舶, 高架道路, 橋梁床板, 프리캐스트 製品 및 耐震設計 等의 多樣한 用途에 適用되어 왔다.

人工輕量骨材 콘크리트는 普通 콘크리트에 비해서 重量과 密度가 낮아서 熱傳導性 및 熱膨脹係數가 작기때문에 斷熱, 耐火, 그리고 防音性能이 優秀할 뿐만 아니라, 固定荷重(dead load), 斷面과 基礎의 크기를 줄일 수 있다. 그래서 이를 使用해서 構造物을 築造할 時에 그 效用性을 높일 수 있으며 輕量骨材의 生産費用에 비해서 建物全體의 建築費用을 節減할 수 있는 等의 많은 利點을 갖고 있지만, 輕量骨材의 多孔質構造에 의한 높은 吸水率과 낮은 比重, 單位容積重量, 그리고 骨材自體의 強度가 弱하기 때문에 輕量骨材 콘크리트는 普通 콘크리트에 비해서 壓縮強度가 훨씬 떨어진다.

그 때문에 從來엔 構造用으로 使用되기보다는 주로 斷熱과 防音을 目的으로 한 間막이壁과 슬래브 등의 非構造用 材料로써 더 많이 使用되었으며, 關心도 주로 콘크리트의 自重減少에 集中되었었다.

그러나 最近에 天然骨材는 점차 枯渴되어 가고 있는 反面에 骨材의 需要는 점차 急增하고 있고, 또한 構造物이 高層, 大型化되어감에 따라 構造物의 自重減少와 斷面 및 基礎의 크기 縮小를 위한 人工輕量骨材 使用의 必要性과 構造用 人工輕量骨材 콘크리트의 高強度化는 더욱 切實하다. 하지만 國內엔 外國에 비해서 人工輕量骨材의 生産과 그를 使用한 콘크리트에 대한 研究와 基本資料가 不足한 實情이다.

그래서 本 研究에서는 國內외의 既存資料들을 參考로 하여 人工輕量骨材 콘크리트의 配合設計와 供試體의 製作 및 諸 實驗을 통하여 人工輕量骨材 콘크리트의 物理的, 力學的 性狀을 比較, 考察함과 아울러 워커빌리티를 考慮한 構造用 人工輕量骨材 콘크리트의 強度改善과 配合設計를 위한 基礎資料를 提供하고자 한다.

- 1) 慶北大學校 工科大學 建築工學科, 助教授
- 2) 漢陽大學校 建築工學科, 博士過程
- 3) 慶北大學校 建築工學科, 碩士
- 4) 慶北大學校 建築工學科, 碩士過程

2. 實驗

2-1. 使用材料

2-1-1. 시멘트

本實驗에 사용된 시멘트는 KS L 5201에 規定된 國產 普通 포틀랜드 시멘트이며, 實驗에 의한 그의 物理的 性質은 <표 1>과 같다.

(표 1) 시멘트의 物理的 性質

比重	安定性	粉末度	凝結時間 (h:m)		壓縮強度 (kg/cm ²)		
		cm ³ /g	初結	終結	3日	7日	28日
3.15	良好	3250	5:20	6:30	127	197	281

2-1-2. 骨材

一般的으로 輕量細骨材 보다 江모래를 使用하면 施工軟度及 強度增進에 有效하므로 本實驗에는 粗骨材로써 慶北 兪천產 江모래를 5mm의 체로 쳐서 配合時에 表面乾燥飽和狀態로 使用하였다.

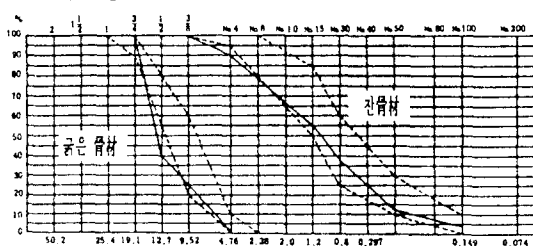
굵은 骨材는 그 最大粒徑이 19mm인 水成岩系의 膨脹粘土(expanded clay)를 燒成시켜서 만든 人工輕量 粗骨材인데, 이것은 骨材内部에 氣孔이 많기 때문에 吸水量이 普通骨材보다 훨씬 크고 時間的 變化에 따른 吸水率은 正確히 判斷하기가 어렵다. 그래서 콘크리트 配合時에 配合水의 多量吸水에 의한 workability의 急激한 減少를 防止하기 위해 配合前에 配合水의 一部를 粗骨材에 미리 축여 주었고 混和劑로써 流動化劑를 使用하였다. 그리고 強度低下를 考慮하여 單位 시멘트량을 크게 하였다.

KS F 2502 2506의 規定에 의해 實驗한 骨材의 粒度分布와 物理的 性質은 各各 <그림 1>과 <표 2>와 같다.

2-1-3. 混和劑

本實驗에 使用한 混和劑는 商品名이 SIKAMENT인 流動化劑로 單位 시멘트량에 대해서 0.5%를 混入하였다.

(그림 1) 骨材의 粒度分布



(표 2) 骨材의 物理的 性質

骨材	表乾比重	容積重量	吸水率	空隙率	實積率	粗粒率
		kg/m ³				
잔骨材	2.61	1622.0	2.2	37.9	62.1	3.3
굵은骨材	1.194	558.6	29.3	53.2	46.8	7.5

2-2. 配合計劃

本實驗에서는 콘크리트의 物理的 및 力學的 性質에 가장 影響을 많이 미친다고 생각되는 單位 시멘트量, 물시멘트比, 그리고 잔骨材率 등의 3個의 實驗要因을 採擇하였으며, 各各의 因子에 대한 輕量 콘크리트의 諸特性을 比較, 考察코자 하였다.

그리고 空氣量은 0.5%로 하였으며, 實驗에 採擇된 因子와 水準은 <표 3>과 같다.

(표 3) 實驗에 採擇된 因子와 水準

	單位 시멘트량	물시멘트比	잔骨材率
	kg/m ³	%	%
水準	450	35	40
	500	40	45
	550	—	—
水準數	3	2	2

2-3. 實驗方法

2-3-1. 供試體의 製作

콘크리트의 混和는 配合量이 적은 關係로 삼을 使用하여 손비빔을 행하였다. 實驗用 供試體는 KS F 2403에 따라 10x20cm의 圓形물드를 使用하여 總 12 batch에 대하여 各 batch當 3個씩 모두 36個의 供試體를 製作하였으며, 成形하고나서 12時間 지나서 캡핑(capping)을 하고, 그 後 12時間 뒤에 脫型하였다.

2-3-2. 養生

KS F 2404의 規定에 따라 脫型한 供試體를 流水와 振動이 없는 23 ± 2 °C의 常溫水槽에 넣어 濕潤狀態로 貯藏하여 養生하였다.

2-3-3. 壓縮強度 및 變形度 試驗

壓縮強度 試驗은 KS F 2405에 따라 행하였으며, 油壓式 萬能試驗機에 供試體 및 Load Cell, Compressor Meter, L.V.D.T., Strain

Meter, 그리고 X - Y Plotter 等の 器機를 組合하여 變形度 測定을 함께 하였다(參考文獻 7 參照).

試驗은 諸 器機를 組合한 後에 供試體의 軸이 윗 部分 加壓板의 球座의 中央에 오도록 한 다음에 荷重을 加壓板이 1.3mm/min의 速度로 衝擊을 주지 않도록 繼續的으로 加壓하여 供試體에 가해지는 最大荷重을 記錄하였으며, 콘크리트 供試體의 材齡에 대해서 各各 7日과 28日 強度를 測定하였다.

應力度 - 變形度 曲線은 完全破壞가 일어날 때까지 追跡하였으며, 2 - 3回 程度의 反復壓縮荷를 實施하였다.

3. 實驗結果 및 分析

實驗에 대한 配合計劃과 그 結果는 <표 4>와 같다.

<표 4> 콘크리트의 配合計劃 및 實驗結果

供試體	單位 kg/m ³	總對容積 l/m ³			觀和劑 g	슬럼프 cm		壓縮強度 (kg/cm ²)	
		시멘트	細骨材	粗骨材		7 日	28 日		
1	157.5	142.9	259.9	389.8	14.85	3.0	136	152	
2	157.5	142.9	292.3	357.3	14.85	4.5	115	125	
3	180	142.9	250.9	449.3	14.85	14.9	87	115	
4	180	142.9	282.2	344.9	14.85	14.6	134	146	
5	175	158.7	246.5	369.8	16.5	4.2	134	146	
6	175	158.7	277.3	339.0	16.5	6.9	127	171	
7	200	158.7	236.5	354.8	16.5	12.6	98	107	
8	200	158.7	266.1	325.2	16.5	14.6	118	159	
9	192.5	174.6	233.2	349.7	18.15	13.9	122	143	
10	192.5	174.6	262.3	320.6	18.15	13.1	143	153	
11	220	174.6	222.2	333.2	18.5	17.4	109	110	
12	220	174.6	249.9	305.5	18.15	15.0	111	140	

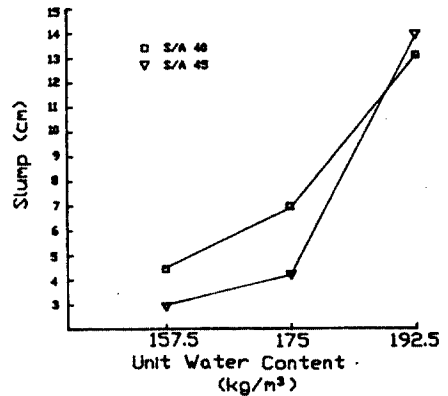
3-1. 슬럼프 (slump)

3-1-1. 슬럼프와 單位水量

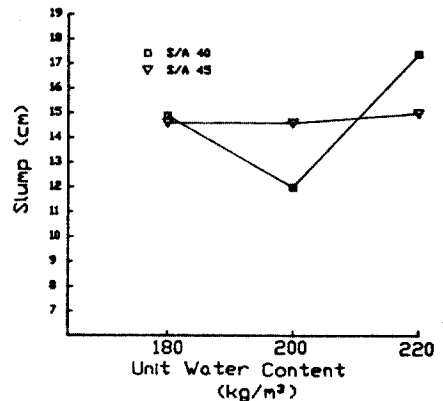
<그림 2>는 물시멘트비가 35%일 때 잔骨材率이 各各 40, 45%인 輕量 콘크리트의 單位水量에 대한 슬럼프값을 나타낸 것으로 單位水量이 增加할 때 슬럼프값도 增加하고 있으며, 單位水量 175kg/m³을 基準으로 볼 때 잔骨材率 40, 45% 두 境遇 모두 單位水量이 175kg/m³以上일

때가 그 以下인 境遇보다 슬럼프의 增加率이 顯著하게 크게 나타났다.

<그림 3>은 물시멘트비 40%일 때의 單位水量에 대한 슬럼프값을 나타낸 것인데 마찬가지로 單位水量이 增加할 때 슬럼프값도 대체로 增加하고 있으며, 그 增加率은 물시멘트비가 35%인 境遇보다 적은 것으로 나타났다.



<그림 2> 슬럼프와 單位 수량 (W/C 35)



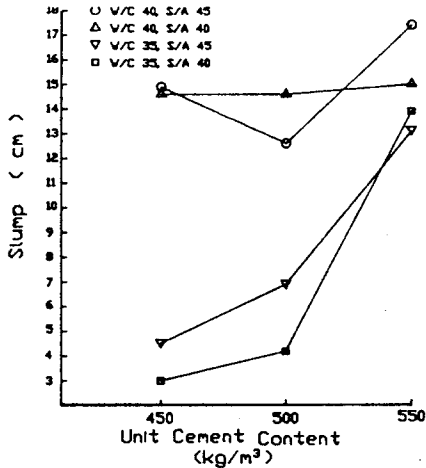
<그림 3> 슬럼프와 單位 수량 (W/C 40)

3-1-2. 슬럼프와 單位 시멘트량

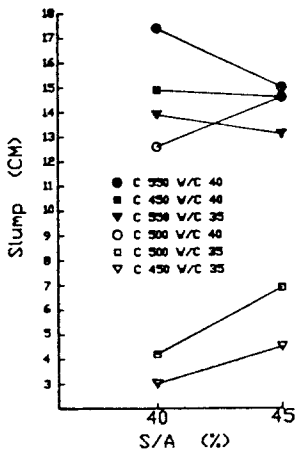
<그림 4>는 물시멘트비가 35%일 때 잔骨材率이 40, 45%, 그리고 물시멘트비가 40%일 때 잔骨材率이 40, 45%인 境遇의 單位 시멘트량에 대한 슬럼프값의 變化를 나타낸 것으로 單位 시멘트량이 增加할 때 슬럼프값도 대체로 增加하고 있으며 이때 그 增加率은 같은 잔骨材率과 單位 시멘트량에 대해서 물시멘트비가 작을 수록 더 크게 나타나고 있다.

3-1-3. 슬럼프와 잔骨材率

<그림 5>는 잔骨材率 40, 45%에 대한 슬럼프 값을 나타낸 것인데 잔骨材率이 증가할 때 單位 시멘트량과 물시멘트比가 큰 境遇보다 작은 □의 슬럼프값이 대체로 증가하고 있으며, 이때 一定한 잔骨材率에 대해 單位 시멘트량이 증가할 때보다 물시멘트比가 증가하는 境遇에 슬럼프는 더 크게 나타났다.



<그림 4> 슬럼프와 단위 시멘트량

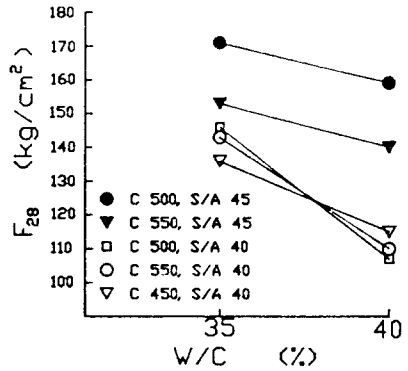


<그림 5> 슬럼프와 잔骨材率

3-2. 壓縮強度

3-2-1. 물시멘트比와 壓縮強度

<그림 6>은 물시멘트比와 輕量 콘크리트의 28日 壓縮強度와의 關係를 나타낸 것으로, 물시멘트比가 증가할수록 壓縮強度는 減少하고 있으며 同一한 물시멘트比일 때 單位 시멘트량과 잔骨材率이 큰 境遇에 대체로 壓縮強度는 크게 나타나고 있다.

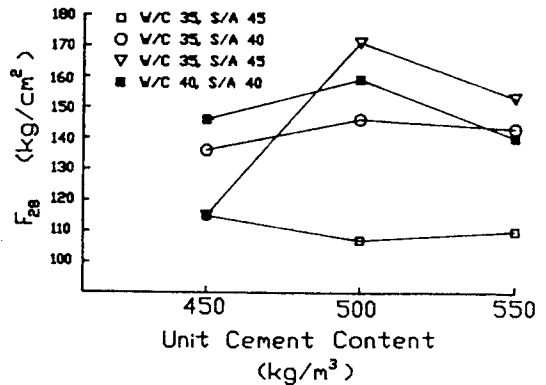


<그림 6> 물 시멘트比와 압축 강도

3-2-2. 單位 시멘트량과 壓縮強度

<그림 7>은 輕量 콘크리트의 單位 시멘트량과 28日 壓縮強度의 關係를 나타낸 것인데, 一般적으로 單位 시멘트량이 증가할수록 壓縮強度도 증가하고 있으나 實驗結果에서는 單位 시멘트량을 500kg/m³에서 550kg/m³으로 증가시켰을 境遇에 壓縮強度는 低下하였다.

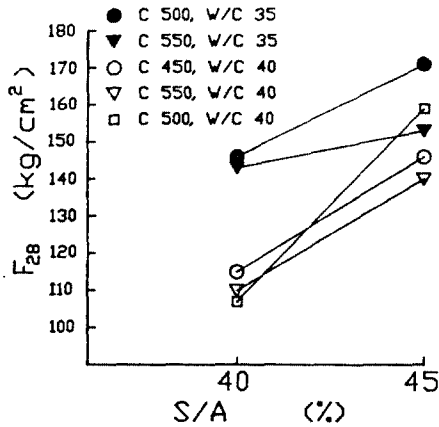
그리고 單位 시멘트량을 固定시켰을 境遇 물시멘트比가 작고 잔骨材率이 클수록 壓縮強度는 크게 나타나고 있다.



<그림 7> 단위 시멘트량과 압축 강도

3-2-3. 잔骨材率과 壓縮強度

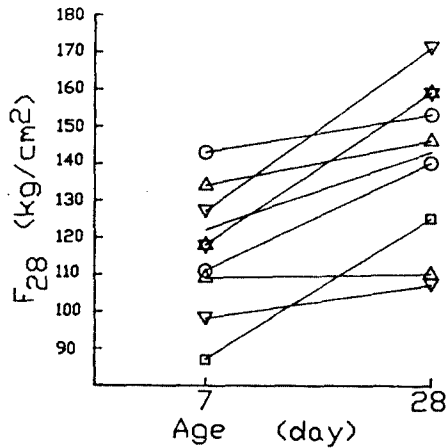
<그림 8>은 輕量 콘크리트의 잔骨材率과 28日 壓縮強度의 關係를 나타낸 것인데, 잔骨材率이 증가할수록 壓縮強度도 증가하고 있으며 잔骨材率이 40%에서 45%로 증가할 때 壓縮強度의 증가率は 물시멘트比가 35%일 때보다도 40%일 때가 더 큰 것으로 나타났다.



<그림 8> 잔골재율과 압축강도

3-2-4. 材齡과 壓縮強度

<그림 9>는 材齡에 따른 壓縮強度의 變化를 나타낸 것으로 材齡이 增加할수록 壓縮強度도 增加하고 있다. 그 增加率은 普通 콘크리트에 비해서 많이 떨어지는데, 그것은 輕量骨材의 낮은 重量과 強度에 基因하는 것으로 思料된다.



<그림 9> 재령과 압축강도

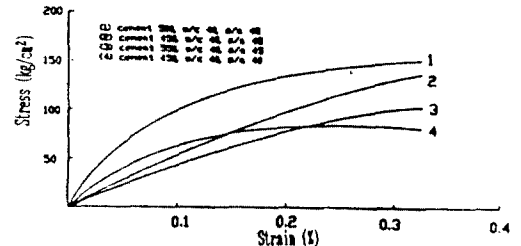
3-3. 應力度-變形度 曲線

<그림 10>과 <그림 11>은 人工輕量骨材 콘크리트의 單調增加 및 反復壓縮載荷時의 應力度-變形度 曲線이다. 實驗結果에 의하면 이 曲線은 載荷初期에는 거의 線形舉動을 보이다가 콘크리트의 最大壓縮載荷點 가까이에서부터는 非線形舉動을 나타내고 있으며, 變形度率이 急激히 增加하면서 供試體는 破壞되었다.

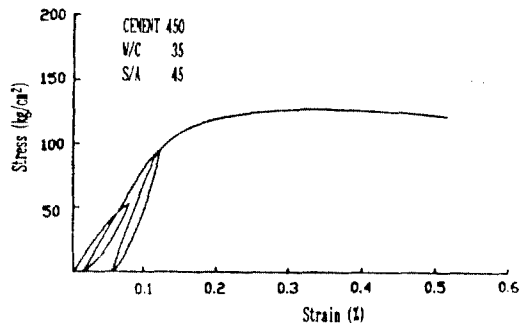
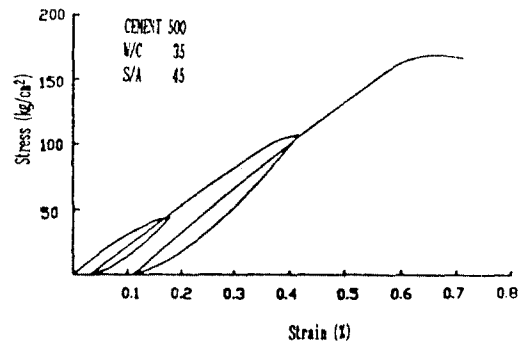
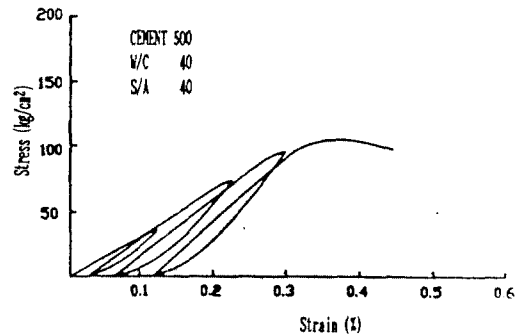
그리고 普通 콘크리트가 最大應力度時의 變形率이 0.2%程度인데 비해서 輕量 콘크리트는

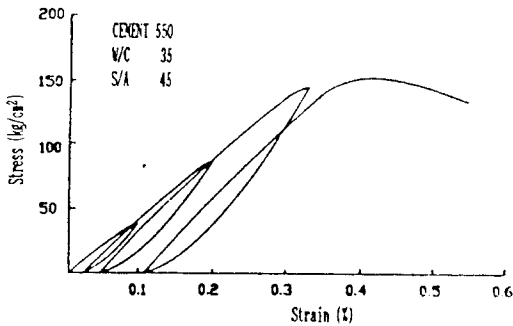
0.3 - 0.4%를 記錄하고 있는데, 이로써 輕量骨材 콘크리트가 普通 콘크리트보다 延性的인 性質을 가지고 있음을 알 수 있다.

供試體의 共通의인 破壞形狀으로써 모두가 시멘트 페이스트와 骨材間의 接着部에서보다 骨材自體에서 破壞가 이루어지고 있다.



<그림 10> 單調增加 壓縮載荷時의 應力度-變形度 曲線





(그림 11) 反復壓縮載荷時의 應力度-變形度 曲線

<參考文獻>

1. 서치호, "輕量콘크리트의 性狀에 關한 實驗的 研究", 漢陽大學校博士學位論文, 1985
2. ACI Committee 213 "Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete", ACI JOURNAL, AUGUST 1967
3. ACI Committee 211 "Standard Practice for Selecting Proportions for structural Lightweight Concrete", ACI Material Journal, NOVEMBER-DECEMBER 1990
4. Floyd O. Slate, Arthur H. Nilson, "Mechanical Properties of High-Strength Lightweight Concrete", ACI JOURNAL, JULY-AUGUST 1986
5. ACI Committee 304, "Batching, Mixing, and Job Control of Lightweight Concrete"
6. 日本メサライト工業株式會社(三井金屬鑛業株式會社), "メサライトコンクリートマニュアル"
7. 부척량, 김화중, 이상재, "炭素纖維補強 콘크리트의 一畝壓縮載荷時의 力學的 特性에 關한 實驗的 研究", 콘크리트學會誌 第 2卷 3號, 1990年 9月

4. 結論

以上の 實驗과 分析으로부터 다음과 같은 結論을 얻을 수 있다.

1. 輕量骨材는 内部에 空隙이 많아서 吸水量이 크기 때문에 單位水量을 適切히 調節하지 않으면 現場配合時에 workability가 急激히 減少한다. 이를 改善하기 위해서 配合水의 一部를 가지고 프리웨팅을 행하고 骨材를 天然 모래로 代替하면 效果的이다.
2. 輕量 콘크리트의 슬럼프는 특히 單位水量에 크게 左右되는데 單位水量의 增加에 따른 슬럼프의 增加率은 骨材率이 40% 일 때보다 45%일 때 더욱 크며, 骨材率과 單位 시멘트量이 一定할 때의 슬럼프의 增加率은 물시멘트比가 작을수록 더 크게 나타나고 있다.
3. 壓縮強度는 물 시멘트比가 增加할수록 低下하고 있으며, 물시멘트比가 一定할 때엔 單位 시멘트量과 骨材率이 큰 境遇에, 그리고 單位 시멘트量이 一定한 境遇에는 물시멘트比가 작고 骨材率이 클수록 壓縮強度는 크게 나타났다.
4. 變形試驗에서의 輕量 콘크리트의 破壞 舉動은 最初載荷에서 最大載荷點까지의 應力度-變形度 曲線은 대체로 線形的이었으며, 그 以後로는 急激히 破壞가 이루어지고 있다.

* 本 研究는 90年度 韓國科學財團의 特定目的의 基礎 研究費로 이루어진 것으로 이에 感謝드립니다.