

# 人工輕量骨材 콘크리트의 配合과 強度性狀에 관한 實驗的研究

金 和 中

(慶北大學校 建築工學科 助教授)

## 1. 序 論

1917년 Stephen J. Hayde에 의해 膨脹頁岩(expanded shale)에 의한 人工輕量骨材가 개발된 이래, 輕量 콘크리트는 船舶, 高架道路, 橋梁床板, 프리캐스트(Precast)製品 및 耐震設計 等の 多様な 用途에 適用되어 왔다.

人工輕量骨材 콘크리트는 普通 콘크리트에 비해서 重量과 密度가 낮아 熱傳導性 및 熱膨脹係數가 작기 때문에 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 效用性を 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 等の 많은 利點을 갖고 있다. 그러나 輕量骨材의 多孔質構造에 의한 높은 吸水率과 낮은 比重, 낮은 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에는 構造用으로 使用되기보다는 주로 斷熱과 防音を 目的으로 한 間막이壁과 슬래브 等の 非構造用 材料로 써 더 많이 使用되었으며, 關心도 주로 콘크리트의 自重減少에 集中되어 있었다.

그러나 最近에 天然骨材는 점차 枯竭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 必要性和 構造用 人工輕量骨材 콘크리트의 高強度化는 더욱 切實하다고 하겠다. 따라서 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 國內의 實情을 勘案하여 本 研究에서는 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 考察함과 아울러 施工性を 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.

## 2. 實 驗

### 2-1. 使用材料

#### 2-1-1. 시멘트

本 實驗에 使用된 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 <sup>2</sup> )		
		cm <sup>3</sup> /g	初結	終結	3日	7日	28日
3.15	良好	3250	1:20	6:30	204	295	385

### 2-1-2. 骨材

一般的으로 輕量 細骨材보다 江모래를 使用하면 施工軟度和 強度增進에 有效하므로 本實驗에는 粗骨材로써 慶北 예천產 江모래를 5mm의 체로 쳐서 配合時 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 骨材內部에 氣孔이 많기 때문에 吸水量이 普通骨材보다 훨씬 크고 時間의 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 施工軟度の 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 物理的 性質은 <표 2>와 같다.

<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	實績率	粗粒率
		kg/m <sup>3</sup>				
粗骨材	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

### 2-1-3. 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.

## 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 粗骨材率 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 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

因子	單位 시멘트량	물시멘트比	粗骨材率
	kg/m <sup>3</sup>	%	
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 混合은 配合量이 적은 關係로 삽을 使用하여 손비빔을 행하였다. 實驗用 供試體는 KS F 2403에 따라 Ø10×20cm의 圓形몰드를 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하고 나서 12時間 지나서 캡핑(capping)을 하고, 그 後 12時間 뒤에 脫型하였다.

### 2-3-2. 養生

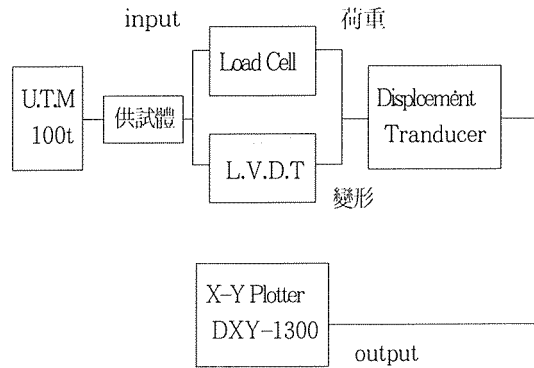
KS F 2404의 規定에 따라 脫型한 供試體를 流水와 振動이 없는 23±2℃의 常溫水槽에 넣어 濕潤狀態로 貯藏하여 養生하였다.

### 2-3-3. 應力-變形度 試驗

應力-變形度 試驗은 KS F 2405에 따라 행하였으며, 油壓式 萬能試驗機 및 Load Cell, compressor Meter, L. V. D. T., Strain Meter, 그리고 X-Y Plotter 等の 器機를 組合하여 行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 頂 部分 加壓板의 球座의 中央에 오도록 한 다음 荷重을 加壓板이 1.3mm/min의 速度로 衝擊을 주지 않도록 斷續的으로 加壓하여 供試體에 加해지는 最大荷重을 記錄하였으며, 콘크리트 供試體의 材齡에 대해서 各各 7日과 28日 壓縮強度를 測定하였다.

應力度-變形度 曲線은 完全破壞가 일어날 때까지 追跡하였으며, 單調增加荷重과 2-3회 程度의 反復壓縮荷重을 實施하였다. 測定系의 흐름도는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 測定系의 흐름도

### 3. 實驗結果 및 分析

實驗에 對한 配合計劃과 그 結果는 <표 4>와 같다.

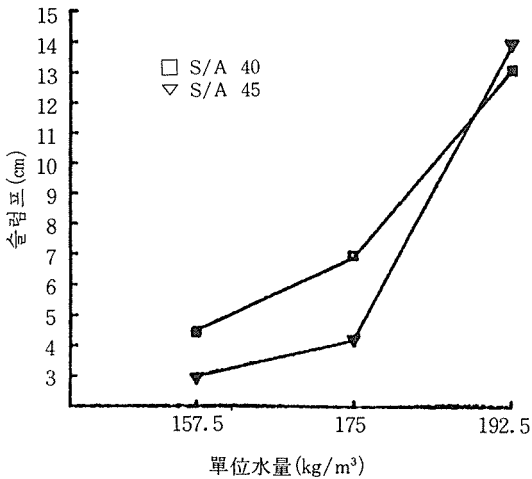
<표 4> 콘크리트의 配合計劃 및 實驗結果

供試體	單位 水量 (kg/m <sup>3</sup> )	絕對容積(ℓ/m <sup>3</sup> )			混和劑 g	슬럼프 cm	壓縮強度(kg/cm <sup>2</sup> )	
		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)

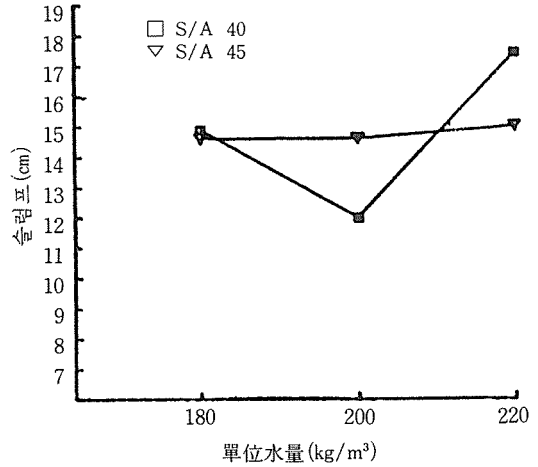
#### 3-1-1. 슬럼프와 單位水量

〈그림 2〉는 물시멘트비가 35%일 때 잔骨材率이 각각 40, 45%인 輕量 콘크리트의 單位水量에 대한 슬럼프값을 나타낸 것으로, 이때 單位水量은 157.5, 175, 192.5(kg/m<sup>3</sup>)이 되도록 設定하였다. 單位水量이 增加할 때 슬럼프값도 增加하고 있으며, 單位水量 175kg/m<sup>3</sup>을 基準으로 볼 때 잔骨材率 40, 45% 두 境遇 모두 單位水量이 175kg/m<sup>3</sup> 이상일 때가 그 以下인 境遇보다 슬럼프가 急激히 增加하고 있다.



〈그림 2〉 슬럼프와 單位水量(W/C=35%)

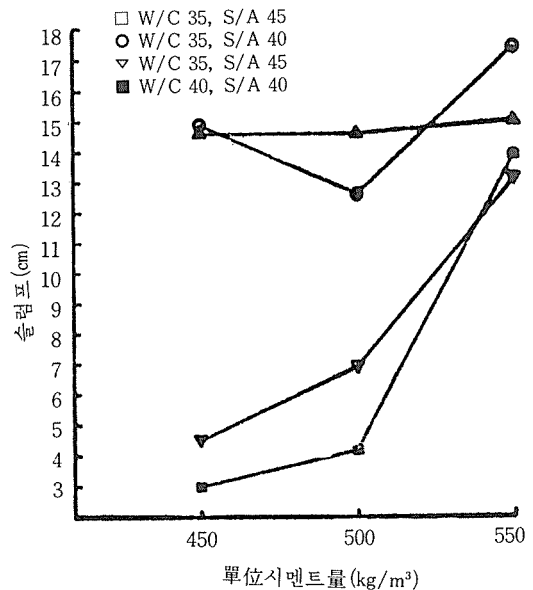
〈그림 3〉은 물시멘트비가 40%일 때의 單位水量에 대한 슬럼프값을 나타낸 것인데, 이때 單位水量이 180, 200, 220(kg/m<sup>3</sup>)이 되도록 設定하였다. 마찬가지로 單位水量이 增加할 때 슬럼프값도 대체로 增加하고 있으며, 그 增加率은 물시멘트비가 35%인 境遇보다 적은 것으로 나타났다.



〈그림 3〉 슬럼프와 單位水量(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

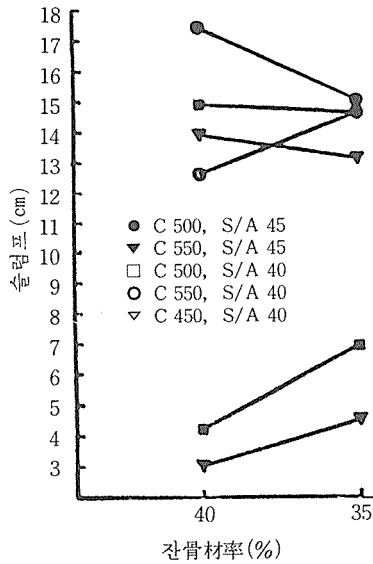


〈그림 4〉 슬럼프와 單位시멘트량

것으로 單位시멘트量이 增加할 때 슬럼프값도 대체로 增加하고 있으며, 이때 그 增加率은 같은 잔骨材率과 單位시멘트量에 대해서 물시멘트比가 35%인 境遇가 40%인 境遇보다 더 크게 나타나고 있다.

### 3-1-3. 슬럼프와 잔骨材率

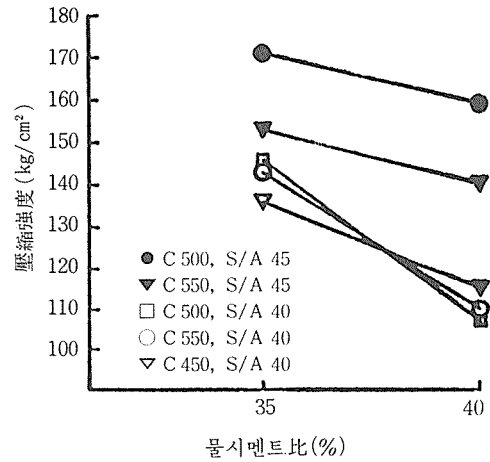
〈그림 5〉는 殘骨材率 40, 45%에 대한 슬럼프값을 나타낸 것인데, 殘骨材率이 增加할 때 單位시멘트量과 물시멘트比가 큰 境遇보다 작을 때의 슬럼프값이 대체로 增加하고 있으며, 殘骨材率이 일정할 때에 單位시멘트量과 물시멘트比가 增加하는 境遇에 슬럼프는 더 크게 나타났다.



〈그림 5〉 슬럼프와 殘骨材率

## 3-2. 壓縮強度

### 3-2-1. 물시멘트比와 壓縮強度

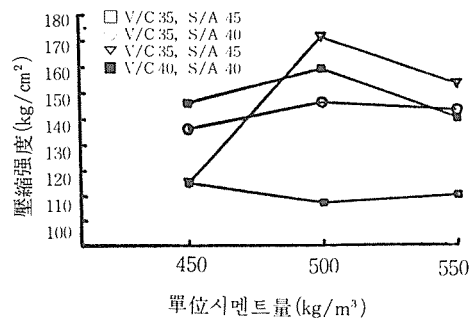


〈그림 6〉 물시멘트比와 壓縮強度

〈그림 6〉은 물시멘트比와 輕量 콘크리트의 28日 壓縮強度와의 關係를 나타낸 것으로 물시멘트比가 增加할 수록 壓縮強度는 減少하고 있으며, 同一한 물시멘트比일 때 單位 시멘트量과 殘骨材率이 큰 境遇에 대체로 壓縮強度는 크게 나타나고 있다.

### 3-2-2. 單位 시멘트量과 壓縮強度

〈그림 7〉은 輕量 콘크리트의 單位시멘트量과 28日 壓縮強度의 關係를 나타낸 것인데, 대체로 單位시멘트量이 增加할 때에 壓縮強度도 增加하고 있으나, 實驗結果에서는 單位시멘트量을 500kg/

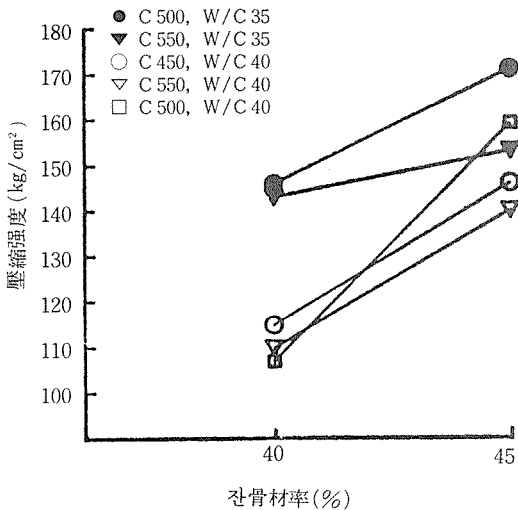


〈그림 7〉 單位시멘트量과 壓縮強度

m<sup>3</sup>에서 550kg/m<sup>3</sup>으로 증가시켰을 경우에 壓縮強度는 低下하였다. 이를 미루어 볼 때 一般적으로 單位시멘트量이 增加할 때 壓縮強度도 增加하지만, 一定範圍에서부터 壓縮強度는 單位시멘트量에 直接的인 影響을 받지 않고 다른 配合要因에 影響을 받고 있음을 생각할 수 있다. 그리고 單位시멘트量이 같은 境遇에는 물시멘트比가 작고 잔骨材率이 클 때 壓縮強度는 크게 나타나고 있다.

### 3-2-3. 잔骨材率과 壓縮強度

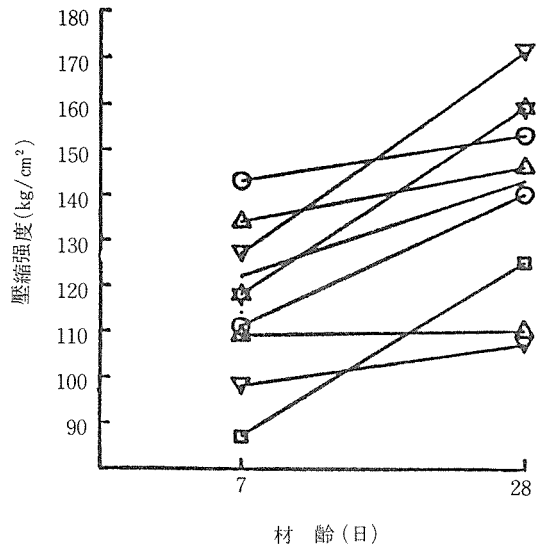
〈그림 8〉은 輕量 콘크리트의 殘骨材率과 28日 壓縮強度의 關係를 나타낸 것인데, 殘骨材率이 增加할 때 壓縮強度도 增加하고 있으며 殘骨材率이 40%에서 45%로 增加할 때 壓縮強度의 增加率은 物시멘트比가 35%일 때 보다는 40%일 때가 더 큰 것으로 나타났다.



〈그림 8〉 殘骨材率과 壓縮強度

### 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



〈그림 9〉 材齡과 壓縮強度

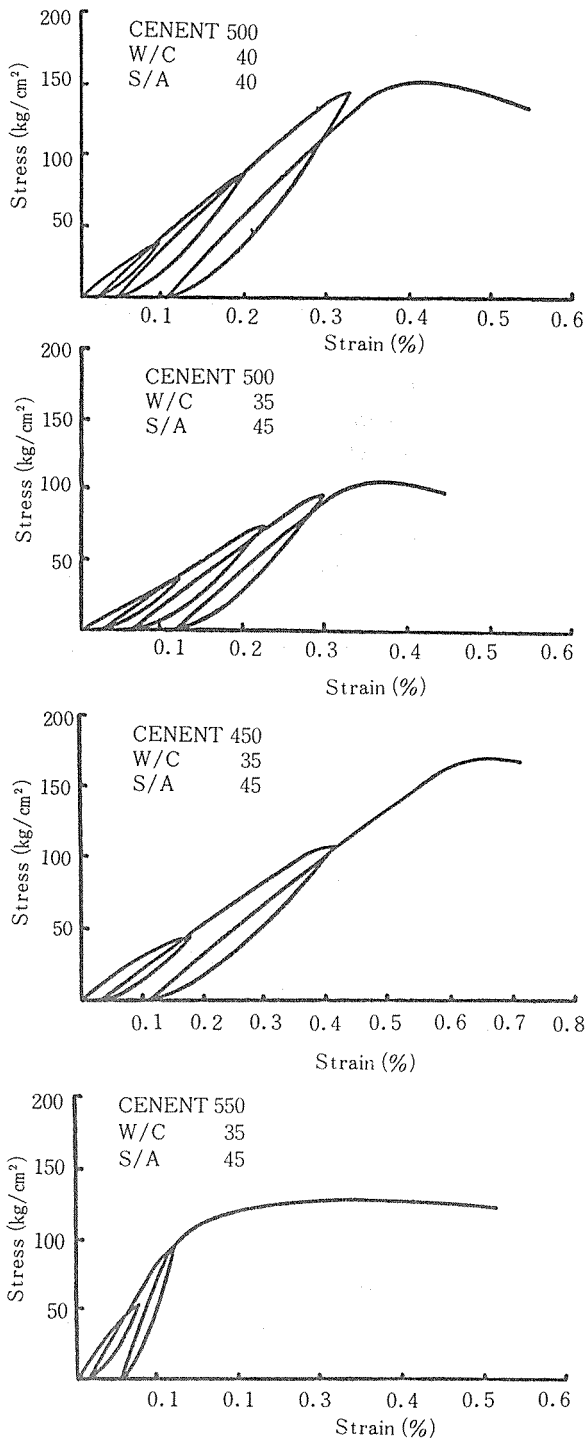
비해서 낮은 편으로, 材齡이 7日일 때의 壓縮強度發現은 28日 壓縮強度에 대해서 物시멘트比가 35%일 때는 약 85%이며, 物시멘트比가 40%일 때는 87%程度로 나타나고 있다.

### 3-3. 應力度-變形度 關係

#### 3-3-1. 應力度-變形度 曲線의 樣相

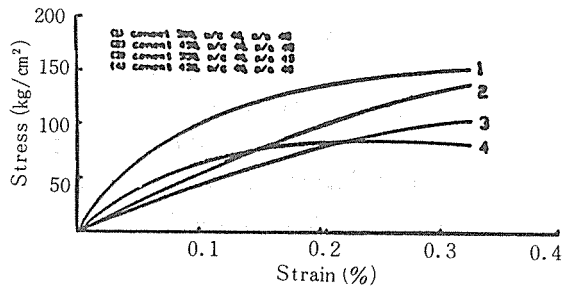
〈그림 10〉과 〈그림 11〉은 各各 人工輕量骨材 콘크리트의 單調增加 및 反復壓縮載荷時의 應力度-變形度 曲線이다. 實驗結果에 의하면 이 曲線은 載荷初期에는 거의 線形舉動을 보이다가 콘크리트의 最大壓縮載荷點 가까이에서부터는 非線形舉動을 나타내면서 일정한 應力에 대해서 變形度가 급격히 증가하고 있으며, 동시에 供試體는 破壞되었다.

그리고 보통 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 나타내고 있는데, 이로써 輕量 콘크리트가 보통 콘크리트보다 더 延性的인 性質을 가지고 있음을 알 수 있다.



〈그림 10〉 反復 壓縮載荷時의 應力-變形度 曲線

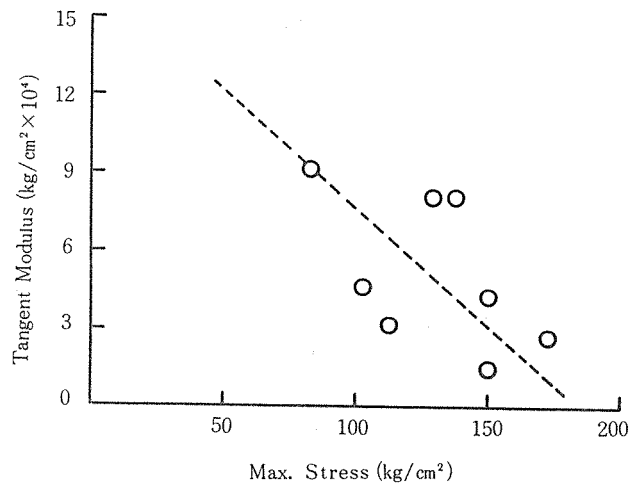
供試體의 公同적인 破壞形狀으로써 모두가 시멘트 페이스트(cement paste)와 骨材間的 接着部에서보다 軟弱 骨材 자체에서 破壞가 이루어지고 있다.



〈그림 11〉 單調增加 壓縮載荷時의 應力-變形度 曲線

### 3-3-2. 彈性係數

實驗結果에 의한 輕量 콘크리트의 彈性係數 ( $E_v/3$ )와 強度의 關係를 〈그림 12〉에 나타낸다. 이에 의하면 彈性係數는 콘크리트의 強度가 클 수록 작아지는 傾向을 나타내고 있는데, 이는 既存의 研究結果<sup>(16)</sup>  $E_{v/2} = 133F^{0.439}$  ( $10^2 \text{ kg/cm}^2$ ) ( $E$ : 탄성계수,  $F$ : 강도) 등과 比較해 볼 때 그 傾向은 반대 현상으로 좀 더 많은 實驗을 통해서 確認하여 볼 필요가 있다고 하겠다.



〈그림 12〉 彈性係數와 強度와의 關係

## 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로써 프리웨팅(pre-wetting)을 행하고 骨材를 天然모래로 代替하면 效果의이다.
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 때 보다 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할 수록 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 물 시멘트比가 작고 骨材率이 클수록 壓縮強度는 크게 나타났다.
4. 應力-變形度 曲線에서의 輕量 콘크리트의 破壞舉動은 最初載荷에서 最大載荷點까지는 대체로 보통 콘크리트에 비해서 線形的이었으며, 이 以後로는 急激히 破壞가 이루어지고 있다. 또한 최대 應力시의 變形은 보통 콘크리트보다 1.5~2배 정도 큰 값을 나타내고 있어서, 탄성계수 값이 작으며 延性的인 성질이 있음을 알 수 있었다.
5. 輕量 콘크리트의 彈性係數는 強度가 클 수록 작아지는 傾向을 나타내고 있다.

\* 本 研究의 內容 大部分은 1991年度 韓國콘크리트學會, 봄 學術發表會에서 發表된 것임.

### 〈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 一軸壓縮載荷時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.
8. 村田二郎 外 2人, 高強度輕量骨材 콘크리트, 山海堂 昭和 41年 4月



9. 洪思天, “韓國産 人工輕量骨材의 特性에 관한 研究”, 大韓建築學會誌 20卷 68號, 1976年 2月
10. 吳昌熙, 서치호, “人工輕量骨材를 利用한 輕量콘크리트의 活用に 관한 研究”, 大韓建築學會誌 23卷 88號 1979年 6月
11. Donald W. Pfeifer, “Sand Replacement in Structural Lightweight Concrete”- Creep and Shrinkage Studies, ACI JOURNAL, FEBRUARY 1968.
12. P. T. WANG, S.P.SHAN, A.E. NAAMAN, “Stress-Strain Curves of Normal and Lightweight Concrete in Compression”, ACI JOURNAL, NOVEMBER 1978.
13. VINCENT SUSSMAN, “Lightweight Plastic-Aggregate Concrete”, ACI JOURNAL, JULY 1975.
14. 向井毅, 菊池雅史, 苦米地彰, “人工超輕量骨材を用いたコンクリートの性質に関する検討(その1. 骨材および 基礎的性質)”, 日本建築學會大會學術講演梗概集(北海道), p. 15-18, 昭和 61年 8月.
15. 市本隆一, “コンクリートツソ用骨材-超輕量骨材-”, 콘크리트工學, vol. 24, NO. 3, P. 15-18, March 1986.
16. 近藤泰夫, 坂 靜雄, “콘크리트工學ハソトフック”, 朝倉書店 p. 491.
17. 人工輕量骨材協會, “ALA CONCRETE-高強度 콘크리트(高強度人工輕量骨材 콘크리트の基礎的性質について), 昭和 63年 5月.

## 投稿를 환영합니다

「레미콘」誌는 讀者 여러분을 筆者로 招待합니다. 많은 投稿로서 本誌를 빛내주시기 바랍니다.

### 內 容

1. 레미콘工業 및 관련分野의 品質·技術研究
2. 經濟, 經營 및 法律關係論文
3. 國內外業界消息, 動靜, 提言 등
4. 海外技術情報 및 論文翻譯

### ○原稿枚數

200字 원고지로 自由

### ○마 감 일

수시

### ○기 타

관련 사진, 도표 등봉 요망

揭載된 원고는 協會所定の 稿料支給.

### ○제 출 처

서울·江南區 驛三洞 832-2

한국레미콘工業協會 企劃課