

混和材에 의한 콘크리트의 高強度化에 관한 實驗 研究 (II)

-人工輕量骨材 콘크리트를 대상으로-

The High-Strengthening of Concrete with Admixture

-On the Artificial Lightweight Aggregate Concrete-

김 화 중* 김 태 섭** 이 용 철*** 박 정 민****
Kim, Hwa Jung Kim, Tae Sub Lee, Yong Chul Park, Jung Min

ABSTRACT

The purpose of this study is to put to practical use the economical high-strength lightweight concrete manufactured by domestic materials, through the analysis on the properties of lightweight concrete with the natural zeolite and mud stone abundant in domestic and compare them with those with silica fume.

As a result, it was possible to gain proper workability in the lightweight concrete with admixtures through using the superplasticizer. The optimum replacement rate of zeolite and mud stone powder is respectively 5~10%, 10~15% on unit-cement amount. The strength development rate for plain concrete is 27%, 18% at optimum replacement rate.

1. 序 論

建築物의 構築에 있어 輕量콘크리트를 사용하게 되면, 自重減少로 인한 部材斷面の 縮小로 建物の 高層化에 有利하며, 斷熱 및 遮音性能 向上 등의 效果를 얻을 수 있다.

이에 따라, 先進諸國에서는 輕量콘크리트에 대한 持續的인 研究를 통하여, 이미 一般 構造物은 물론 海洋構造物 등의 特殊用度로 까지 輕量콘크리트의 使用範圍가 확대되어 있다. 그러나, 國內에 있어 輕量콘크리트는 斷熱 또는 遮音 등의 性能만을 충족시키는 非構造物 材料로 認識되고 있으며, 그 性能 改善을 위한 研究도 微微한 實情이다. 따라서, 輕量콘크리트를 構造物材料로 使用하기 위한 高強度化에 관한 研究가 絶실히 要求된다.

輕量콘크리트의 高強度化를 위해서는 使用 材料, 配合, 施工性 등의 側面에서 여러가지

方案이 검토될 수 있으며, 그 中 유력한 方案의 하나가 混和材를 사용하는 것이다.

따라서, 本 研究는 高強度用 混和材로서, 현재 強度增進 效果가 가장 우수한 것으로 評價되는 실리카 흡과 그 代替材料로서, 國內에 풍부히 埋藏되어 있는 天然 제올라이트 및 泥岩 微粉末을 사용한 輕量콘크리트의 強度性狀을 比較檢討하므로써, 國內産 材料를 사용한 經濟的인 高強度 輕量콘크리트의 實用化를 위한 資料를 提供하는데 그 目的이 있다.

2. 實 驗

2.1. 概要

本 實驗은 시멘트의 一部를 제올라이트 및 泥岩 微粉末, 실리카 흡으로 置換한 輕量콘크리트의 強度 性狀을 파악하기 위한 것으로, 이에 따른 實驗因子 및 水準은 표 1과 같다.

2.2. 使用材料

굵은骨材를 제외한 使用材料는 實驗(I)¹⁾과 同一하다. 本 實驗에 사용한 굵은骨材는

* 경북대 건축과 교수
** 한양대 건축과 박사과정
*** (주)장안레미콘 기획실
**** 경북대 건축과 박사과정

표 1. 實驗因子 및 水準

因子	水準	水準數
混和材 置換率	0%, 5%, 10%, 15%, 20%	5
單位結合材量	483 kg/m ³ , 533 kg/m ³ , 583 kg/m ³	3

水成岩系 膨脹粘土를 燒成시킨 최대크기 13mm의 人工輕量骨材로서, KS F 2462 및 KS F 2531~2534에 따라 그 物理的 性質을 檢討하였다(표 2 參照).

모든 骨材는 表乾狀態로 사용하였으며, 특히 굵은骨材는 24시간 이상 沈水시킨 후 믹서 投入 직전에 꺼내어 表面水를 제거하고 사용하였다.

표 2. 굵은骨材의 物理的 性質

種 類	表乾 比重	최대 크기 (mm)	單位容 積重量 (kg/m ³)	粗 粒 率		
				吸水率	空隙率	實積率
굵은骨材	1.19	13	724	21.07	39.2	60.8

2.3. 配合

單位水量은 145kg/m³, 160kg/m³, 175kg/m³로, 물結合材比는 30%로, 單位結合材量은 483kg/m³, 533kg/m³, 583kg/m³로, 單位結合材量에 대한 各 混和材의 置換率은 0%, 5%, 10%, 15%, 20%(重量比)로 하였다. 또한, 잔骨材率은 45%(容積比)로, 空氣量은 4%로 設計하였다.

2.4. 供試體의 製作 및 養生

굵은骨材와 結合材(시멘트와 混和材)를 믹서에 투입, 1분간 건비빔하여 굵은骨材를 結合材로 피복시킨 후, 잔骨材, 配合水의 順으로 믹서에 投入하면서 各 投入段階別로 콘크리트를 混合하였다.

Fresh 콘크리트의 目標 슬럼프는 12±2cm로 하였으며, 目標 슬럼프를 얻기 위하여 요구되는 高性能減水劑의 添加率은 試驗配合를 통하여 결정하였다. 高性能減水劑는 先添加를 원칙으로 配合水에 희석하여 사용하였으나, 단 비빔과정에서 예상 슬럼프가 目標 슬럼프에 비하여 현저히 작다고 판단될 때에는 高性能減水劑를 單位結合材量의 0.1% 단위로 後添加하였다.

기타 製作過程은 實驗(I)¹⁾과 同一하다.

2.5. 測定 方法 I

實驗(I)¹⁾과 同一하다.

3. 結果 및 考察

本 實驗의 配合 및 結果는 표 3과 같다.

3.1. 슬럼프

本 實驗에서는 슬럼프 12cm를 目標로, 이를 얻기 위하여 要求되는 高性能減水劑의 添加率에 대하여 檢討하였다.

高性能減水劑의 添加率은 單位水量이 작을수록, 混和材의 置換率이 높을수록 增加하였으며, 그 增加率은 제올라이트 및 泥岩으로 置換한 콘크리트가 실리카 함으로 置換한 콘크리트보다 조금 크게 나타났다(그림 1~3 參照).

3.2. 空氣量

Plain Concrete의 空氣量은 平均 4.6%로서 보통콘크리트의 일반적인 空氣量보다 높았

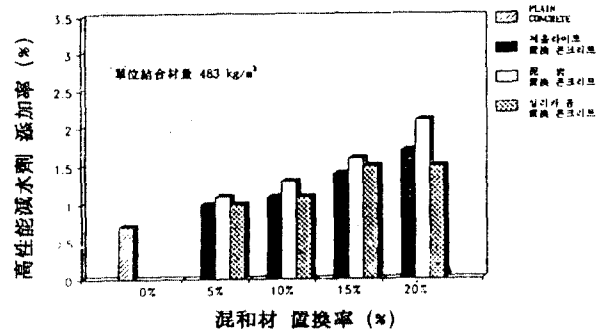


그림 1. 混和材의 置換率에 따른 高性能減水劑의 添加率

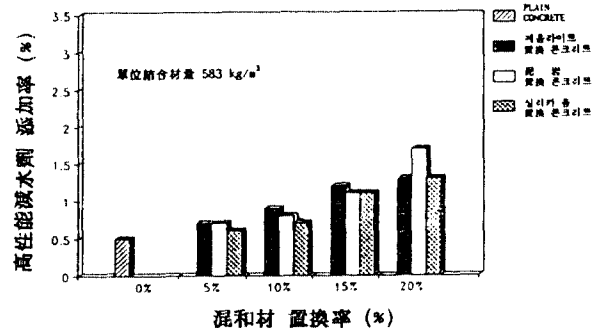


그림 2. 混和材의 置換率에 따른 高性能減水劑의 添加率

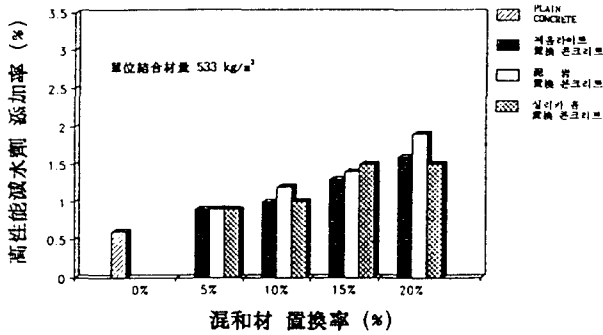


그림 3. 混和材의 置換率에 따른 고성능減水劑의 添加率

될진 낮았으며, 混和材 置換 콘크리트의 彈性係數는 強度의 增進에도 불구하고 變形度가 커지므로써 Plain Concrete와 큰 차이가 없었다.

3.4. 強度

3.4.1. 壓縮強度

1) 置換率과 壓縮強度

전반적으로 材齡 3日에서의 壓縮強度는 混和材의 種類에 관계없이 置換率 5%일 때 가장 높았으나, 材齡 28日에서 最高強度를 發現하는 混和材의 置換率은 제올라이트의 경우 5~10%, 泥岩 및 실리카 흙의 경우 10~15%인 것으로 나타났다. 또한, 置換率이 20%일 때의 壓縮強度는 混和材의 種類에 관계없이 거의 모든 配合에서 Plain Concrete 보다 낮게 나타났다.

한편, 單位結合材量 483kg/m³일 때에는 Plain Concrete에 대한 실리카 흙 置換 콘크리트의 強度增進率이 최고 9%였으나, 單位結合材量이 533kg/m³, 583kg/m³일 때에는 Plain Concrete에 대한 強度增進率이 각각 6%, 1%로서, 單位結合材量의 增加와 함께 強度增進率이 低下됨을 알 수 있다. 泥岩으로 置換한 경우에도 單位結合材量이 483kg/m³, 533kg/m³, 583kg/m³일 때, Plain Concrete에 대한 強度增進率은 각각 18%, 8%, 3%로서, 單位結合材量의 증가와 함께 強度增進率이 低下되었다. 그러나, 제올라이트로 置換한 輕量콘크리트의 壓縮強度는 單位結合材量에 관계없이 16~27%의 높은 強度增進率을 나타내었다.

한편, 材齡 91日에 있어서는 混和材 置換에 따른 強度增進率이 材齡 28日의 경우보다 增大되었다(그림 4~7 參照).

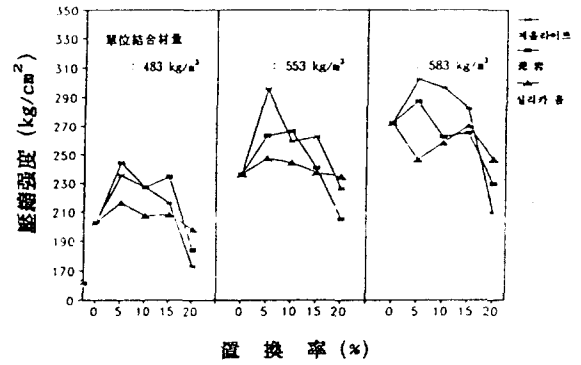


그림 4. 混和材의 置換率에 따른 壓縮強度 (材齡 3日)

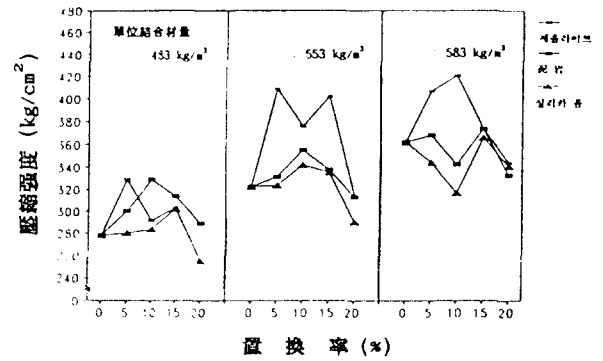


그림 5. 混和材의 置換率에 따른 壓縮強度 (材齡 7日)

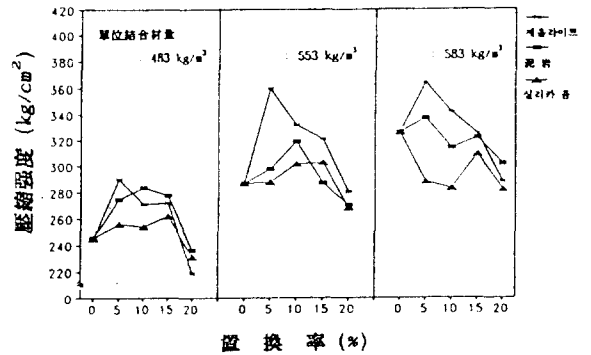


그림 6. 混和材의 置換率에 따른 壓縮強度 (材齡 28日)

2) 單位結合材量과 壓縮強度

單位結合材量이 483kg/m³에서 533kg/m³으로 增大될 때에는 壓縮強度가 큰 폭으로 增進되었다. 그러나, 單位結合材量이 533kg/m³에서 583kg/m³으로 增大될 때에는 그 強度增進率이 低下되거나, 일부 配合에서는 오히려 強度가 低下되는 現狀을 나타내었다.

3) 材齡과 壓縮強度

單位結合材量이 583kg/m³일 때와 混和材의

표 3. 輕量콘크리트의 配合 및 實驗結果

混和材 種類	置換 率(%)	單位 結 合 材 量 (kg/m ³)	單位重量(kg/m ³)						슬럼프 (cm)	空 氣 量 (%)	壓縮強度(kg/cm ²)					彈性係數 ×10 ⁵ (kg/cm ²)	引張 強度 (kg/ cm ²)	單位 容積 重量 (t/m ³)
			W	C	Ad	G	S	SP			3日	7日	28日		91日			
一	0	483	145	483	0	433	768	3.4	13.0	5.4	203	245	278	292	321	1.44	26	1.840
		533	160	533	0	413	732	3.2	12.5	4.5	236	287	323	332	351	1.55	29	1.883
		583	175	583	0	393	697	2.9	11.6	4.0	272	326	362	362	374	1.77	29	1.933
실 리 카 흙	5	483	145	459	24	431	764	4.8	12.0	5.0	216	256	280	287	363	1.48	29	1.806
				435	48	429	760	5.3	12.5	5.0	207	254	283	291	355	1.46	22	1.839
				411	72	427	757	7.2	10.0	3.2	208	262	302	308	370	1.43	26	1.785
	10	533	160	386	97	424	753	7.2	14.5	4.5	198	231	255	256	327	1.61	21	1.750
				506	27	410	728	4.8	10.0	5.0	247	288	324	308	477	1.69	27	1.883
				480	53	408	724	5.3	13.0	2.9	244	302	342	327	455	1.71	27	1.855
	15	583	175	453	80	406	719	8.0	9.3	4.1	237	303	335	347	436	1.74	29	1.853
				426	107	403	715	8.0	10.4	4.5	234	268	290	300	348	1.74	28	1.851
				554	29	390	692	3.5	13.5	3.8	246	288	344	317	462	1.88	28	1.855
	20	583	175	525	58	387	687	4.1	12.6	3.3	258	283	317	348	445	1.84	28	1.885
				496	87	385	682	6.4	13.4	3.1	270	309	366	325	453	1.86	21	1.872
				466	117	382	678	7.6	10.2	2.8	246	282	341	356	380	1.60	25	1.876
제 오 라 이 트	5	483	145	459	24	431	764	4.8	12.7	4.4	235	290	329	346	386	1.35	24	1.854
				435	48	429	761	5.3	12.0	4.4	227	271	291	286	397	1.78	27	1.845
				411	72	427	757	6.8	11.7	4.3	216	272	303	352	404	1.48	25	1.860
	10	533	160	386	97	425	753	8.2	12.8	5.0	173	219	255	300	347	1.40	23	1.811
				506	27	411	728	4.8	10.8	4.8	295	360	409	437	392	1.52	30	1.901
				480	53	408	724	5.3	11.5	4.4	259	332	376	405	409	1.58	30	1.894
	15	583	175	453	80	406	720	6.9	14.0	4.1	262	321	402	407	402	1.57	29	1.870
				426	107	404	716	8.5	10.2	5.1	226	280	315	364	384	1.37	23	1.816
				554	29	390	692	4.1	12.0	4.3	302	364	407	446	469	1.77	30	1.956
	20	583	175	525	58	388	688	5.2	12.5	5.1	296	342	421	412	435	1.58	30	1.880
				496	87	385	683	7.0	10.5	3.0	282	325	374	389	433	1.67	29	1.834
				466	117	382	678	7.6	12.0	3.0	209	288	344	309	375	1.41	26	1.820
泥 岩	5	483	145	459	24	431	764	5.3	12.5	5.5	244	275	300	357	337	1.88	29	1.850
				435	48	429	761	6.3	14.0	4.2	227	284	329	350	370	1.55	24	1.829
				411	72	427	757	7.7	13.8	4.5	234	278	314	348	334	1.46	26	1.819
	10	533	160	386	97	425	753	10.1	10.3	3.3	184	236	289	259	293	1.24	22	1.875
				506	27	411	728	4.8	14.0	4.8	263	298	332	394	389	1.45	30	1.861
				480	53	408	724	6.4	13.5	5.0	266	319	355	373	406	1.66	24	1.824
	15	583	175	453	80	406	720	7.5	13.6	4.1	240	287	338	332	366	1.62	26	1.821
				426	107	404	716	10.1	10.5	4.0	205	270	313	301	342	1.74	24	1.835
				554	29	390	692	4.1	14.0	3.3	287	337	368	354	381	1.70	34	1.923
	20	583	175	525	58	388	688	4.7	15.0	3.7	262	314	343	361	378	1.80	31	1.920
				496	87	385	683	6.4	14.0	3.0	265	322	374	372	400	1.79	28	1.945
				466	117	382	678	9.9	12.0	4.0	229	302	333	394	371	1.76	31	1.846

註) W: 물, C: 시멘트, Ad: 混和材, G: 굵은골재, S: 잔골재, SP: 고성능減水劑

다. 제올라이트, 泥岩 및 실리카 흙으로 置換한 輕量콘크리트의 平均空氣量은 각각 4.3%, 4.1%, 3.9%로서 Plain Concrete의 空氣量보다 낮게 나타났다.

3.3. 應力度-變形度

輕量콘크리트의 應力度-變形度 曲線은 載荷初期에 거의 線形舉動을 보이다가, 最大壓

縮載荷點 가까이에서부터 比線形舉動을 나타내었다.

輕量콘크리트에 있어 最大應力度에서의 變形度는 전반적으로 0.25% 이상으로서 보통콘크리트의 경우보다 컸으며, 混和材의 置換에 따라 더욱 增大되는 傾向을 나타내었다.

Plain Concrete의 彈性係數는 平均 1.59×10⁵kg/cm²로서 보통콘크리트의 彈性係數보다

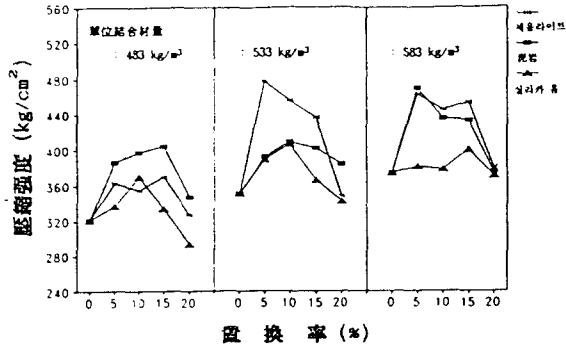


그림 7. 混和材의 置換率에 따른 壓縮強度 (材齡 91日)

置換率이 20%일 때를 제외한 모든 配合에서 混和材 置換 輕量콘크리트의 壓縮強度는 材齡에 관계없이 Plain Concrete 이상의 값을 나타내었다(그림 8~10 參照).

Plain Concrete에 있어 28日 強度에 대한 3日 強度의 百分率은 平均 74%, 7日 強度의 百分率은 平均 89%, 91日 強度의 百分率은 平均 109%로 나타났다.

混和材로 置換한 輕量콘크리트의 경우에

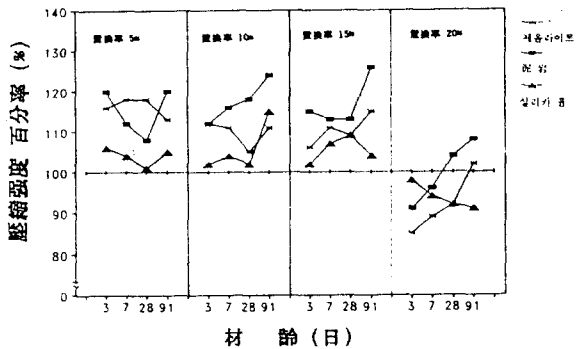


그림 8. 材齡에 따른 壓縮強度 百分率 (單位結合材量 483kg/m³)

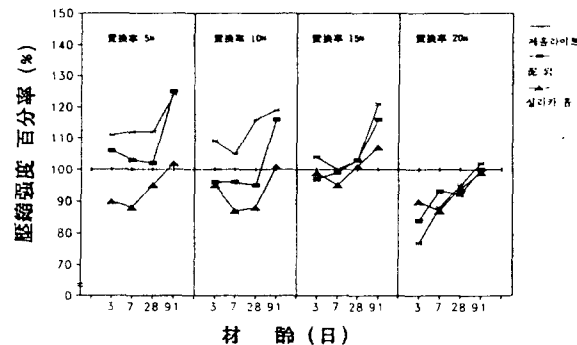


그림 9. 材齡에 따른 壓縮強度 百分率 (單位結合材量 533kg/m³)

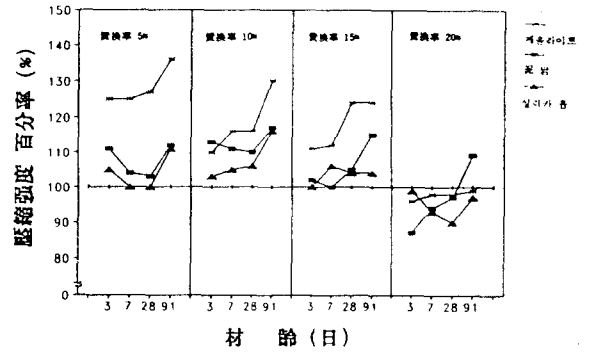


그림 10. 材齡에 따른 壓縮強度 百分率 (單位結合材量 583kg/m³)

있어서도 28日 強度에 대한 3日 強度 및 7日 強度의 百分率은 Plain Concrete와 비슷하였다. 그러나, 28日 強度에 대한 91日 強度는 제올라이트, 泥岩, 실리카 흙의 置換에 따라 각각 116%, 125%, 116%로서, 특히 泥岩 置換時 材齡 28日 이후에서의 強度增進이 큰 것으로 나타났다.

4) 氣中養生 콘크리트의 壓縮強度

Plain Concrete에 있어 水中養生時의 壓縮強度에 대한 氣中養生時의 壓縮強度는 103%로 나타났다. 또한, 제올라이트 및 泥岩, 실리카 흙으로 置換한 輕量콘크리트에 있어서는 水中養生時의 壓縮強度에 대한 氣中養生時의 壓縮強度가 각각 106%, 105%, 100%로 나타났다(그림 11 參照).

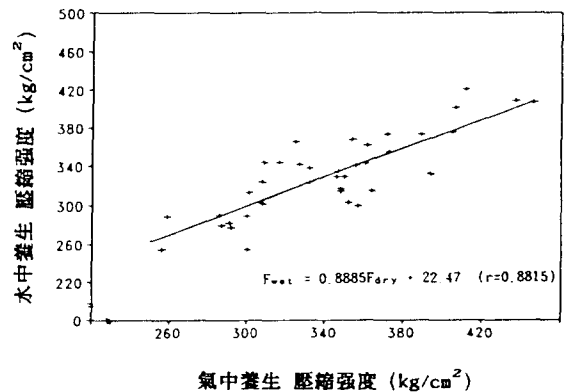


그림 11. 氣中養生 壓縮強度와 水中養生 壓縮強度의 關係

5) 單位容積重量과 壓縮強度

混和材의 比重이 시멘트보다 작으므로 混和材의 置換率이 증가할수록 輕量콘크리트의 單位容積重量이 減少되었다. 따라서, 適量

의 混和材로 置換한 輕量콘크리트는 強度增進效果와 함께 單位容積重量이 減少되므로써 比強度가 增進되었다. 이에 따라, 單位結合材量 533kg/m³, 제올라이트 置換率 5%인 輕量콘크리트의 比強度는 Plain Concrete에 비하여 27% 增進되었다(그림 12 參照).

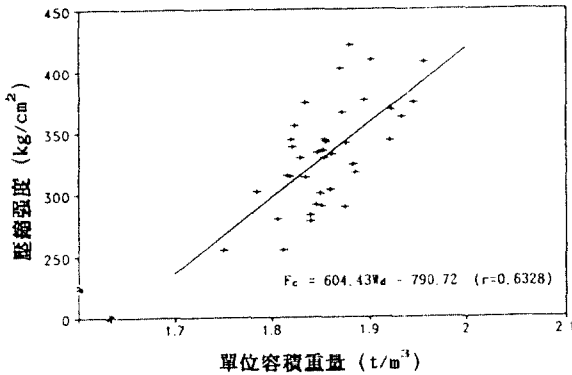


그림 12. 單位容積重量과 壓縮強度의 關係

3.4.2. 引張強度

輕量콘크리트의 脆度係數는 Plain Concrete의 경우 11.4로, 제올라이트, 泥岩 및 실리카 흙으로 置換한 경우에는 각각 12.9, 12.3, 12.3으로 나타났다. Plain Concrete보다 混和材로 置換한 輕量콘크리트의 脆度係數가 높게 나타난 것은 混和材 置換時 壓縮強度는 增加하였으나, 引張強度는 이와 比例하여 增加하지 않았기 때문이다. 混和材 置換 輕量콘크리트에 있어 引張強度와 壓縮強度의 相關性은 낮은 것으로 判斷된다.

4. 結 論

實驗結果, 輕量콘크리트의 高強度화를 위한 混和材로서 제올라이트 및 泥岩의 性能은 매우 우수한 것으로 判斷되며, 시멘트의 一部를 이들 混和材로 置換하므로써 壓縮強度 400kg/cm² 이상의 高強度 輕量콘크리트의 製造가 可能하였다. 各 實驗結果를 綜合한 本 研究의 結論은 다음과 같다.

1) 最高強度를 發現하기 위한 제올라이트의 適正置換率은 5~10% 範圍에 있으며, 泥

岩의 適定置換率은 10~15% 範圍에 있다. 適量의 제올라이트 및 泥岩 置換時 Plain Concrete에 대한 強度增進率은 각각 27%, 18%로서, 이는 실리카 흙의 強度增進率을 上廻한다.

2) 실리카 흙 및 泥岩으로 置換한 輕量콘크리트는 單位結合材量이 增大됨에 따라 Plain Concrete에 대한 強度增進率이 低下된다. 그러나, 제올라이트로 置換한 輕量콘크리트는 單位結合材量에 상관없이 높은 強度增進率을 나타낸다.

3) 제올라이트 및 泥岩의 置換에 따라 28日 強度에 대한 91日 強度의 百分率이 增大되며, 특히 泥岩 置換時 材齡 28日 이후에서의 強度增進이 크다.

4) 제올라이트 및 泥岩의 置換率이 높을수록 슬럼프가 低下되나, 高性能減水劑를 添加함에 따라 所要 水準의 슬럼프 確保가 可能하다.

參 考 文 獻

- 1) 김화중 ; 混和材에 의한 콘크리트의 高強度화에 관한 實驗 研究 (I) -碎石콘크리트를 대상으로-, 콘크리트學會 秋季學術發表會 論文集 1993, 11.
- 2) 서치호 ; 輕量콘크리트의 性狀에 관한 實驗的 研究, 漢陽大學校 博士學位 論文, 1986.
- 3) ACI Committee 211 ; Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete, ACI Material Journal, November-december 1990
- 4) The Concrete Society ; Lightweight Concrete, The Construction Press, 1980.
- 5) 向井毅外 ; 人工輕量骨材を用いたコンクリートの性質に関する検討, 日本建築學會大會學術講演概要集, 昭和 62年 10月
- 6) 關愼吾外 ; 超高強度輕量コンクリートの開發, セメント・コンクリート, NO.473, 1988. 6.
- 7) 友澤史紀外 ; 高強度輕量コンクリートの基礎的性質, 日本建築學會大會 學術講演概要集, 昭和 62年 10月
- 8) 日本建築學會 ; 輕量コンクリート調合設計 施工指針案 同解説, 1981.