

포리마 함유법에 의한 超高強度 콘크리트의 開發

金 敬 泰 (訳)

1. 머릿말

近年, 低成長時代를 만났다고는 말하지만 建設分野에서의 技術革新은 현저하고 이 傾向에 맞춰한 新規 高性能材料의 要求가 高潮되어 있다. 이와같은 要求의 하나로, 콘크리트의 高強度化를 들 수 있으며 우리나라뿐만 아니라 여러 外國에 있어서도 이 方面의 研究者의 關心이 높아져 있다. 一般的으로 構造物에 대한 高強度 콘크리트의 使用에 의하여 材料의 節減과 同時에 輕量化가 피하게 된다.

이제까지의 많은 報告에서 보는 것처럼, 高強度 콘크리트는, 다음과 같은 프로세스의 单独 또는 두개 以上의 混成에 의하여 製造된다.

- (1) 減水劑添加에 의한 配合
- (2) 活性인 骨材를 使用하는 配合
- (3) 포리마에 의한 改質
- (4) 纖維에 의한 補強
- (5) 加壓成形
- (6) 오토크레이브 養生

그러나, 壓縮強度 $2,000\text{kg/cm}^2$ 以上을 가진 超高強度 콘크리트는 우리나라에서도 이제까지 開發되어 있지 않고 또 世界的으로 보아도 1973년의 미국의 L. E. Kukacka 등¹⁾ 및 1975년 이탈리아의 A. Rio 등²⁾의 研究가 있을 뿐이다. 1976년에서 1978년에 걸쳐 筆者들은 前述의 (1) (3) 및 (6)의 混成에 의한 프로세스에 의하여 $2,000 \sim 2,800\text{kg/cm}^2$ 에도 達하는 壓縮強度를 가진 超高強度 콘크리트의 開發에 成功했다. 이 超高強度 콘크리트는 普通 콘크리트에 使用되는 材料 (特殊材料를 使用하지 않고)를 使用하여 오토

크레이브 養生과 포리마 함유법을 併用하는 것에 의하여 製造되는데에 큰 特徵이 있다.

本橋에서는 筆者들의 開發한 超高強度 콘크리트에 대하여 그 製造方法 性質등을 紹介하고자 한다.

2. 超高強度 콘크리트의 製造方法

(1) 原材料

基材 (被含浸材)인 오토크레이브 養生 콘크리트의 製造에는 普通 토폴랜드시멘트 (特殊 시멘트를 使用할 必要는 없음) 혼합材料로서 高純度 시리카 (이를테면 슈리製造用의 것)과 포리알킬 아리르슬혼酸鹽系 高性能 減水劑 骨材로서 高強度의 安山岩 등의 碎石이나 江자갈, 良質의 江모래등이 使用된다.

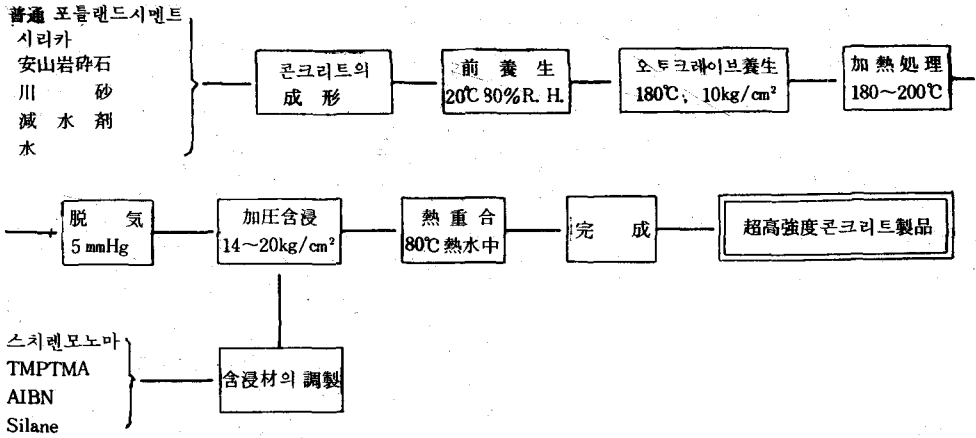
含浸材의 調製에는, 시멘트 水和物과의 化學結合이 期待되는 工業用 스티렌^(註), 架橋製로서의 트리메치롤프로판트리메탁크리레트 (TMPTMA), 觸媒로서의 2, 2'-아조비스이소브치로니트릴 (AIBN), 시란카프링劑 (Silane) 등이 使用된다. 또 含浸材의 組成은 스티렌 : TMPTMA : AIBN : Silane = 90 : 10 : 1 : 1 (重量比)를 標準으로 한다.

(註) $\text{CH}=\text{CH}_2$



(2) 製造 프로세스의 概要

超高強度 콘크리트는, <그림-1>에 보이는 製造 프로세스에 따라서 低水시멘트比 配合의 콘크리트를 오토크레이브 養生하여 또한 加熱處理

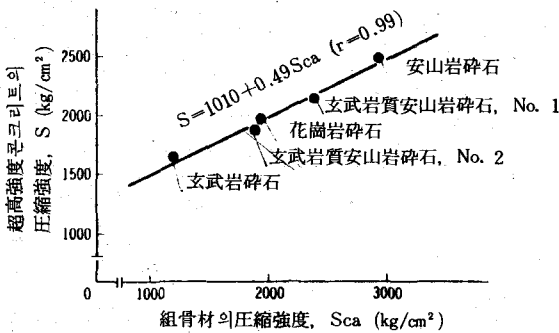


(그림 - 1) 超高強度콘크리트의 混成 製造 프로세스

하여 基材를 만들고 이에 含浸材를 含浸시켜 熱重合을 하여 製造된다.

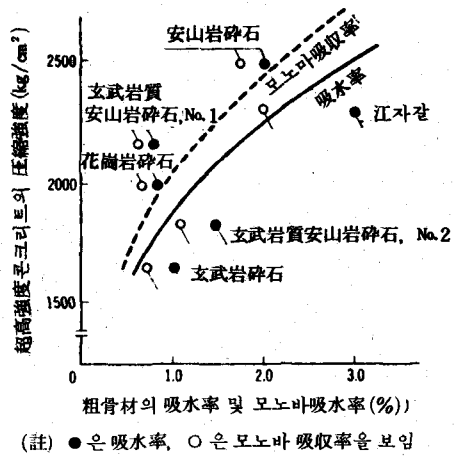
(3) 壓縮強度에 미치는 骨材의 影響

普通콘크리트와 같이 超高強度콘크리트에 있어서도 그 配合上 큰 容積을 차지하는 骨材의 品質이 그 壓縮強度를 크게 左右한다. 當然한 일이지만 超高強度콘크리트로서는 高強度의 骨材가 要求된다.



(그림 - 2) 超高強度콘크리트의 壓縮強度와 組骨材의 壓縮強度關係

(그림 - 2)에는 超高強度콘크리트의 壓縮強度와 組骨材의 壓縮強度의 關係를 보인다 3). 이 그림에서 본다면 될 수 있는 限 高強度의 骨材를 使用할만큼 콘크리트의 高強度化를 도모할 수 있다고는 하지만 이 關係를 써서 組骨材의 壓縮強度에서 超高強度콘크리트의 그것을 算出할 수 있다.



(그림 - 3) 超高強度콘크리트의 壓縮強度와 組骨材의 吸水率 및 모노머吸水率 關係

또 하나 興味있는 것은 (그림 - 3)에 보인바와 같이 4) 高強度 骨材中에서도 吸水率이 比較的 높고, 含浸材를 吸收하기 쉬운 組骨材의 使用이 바람직한 일이다. 그 理由는 組骨材의 포리마 含浸에 의하여 그 自體의 強化와 同時에 一種의 投錨效果에 의하여 매트릭스와 組骨材間의 結合이 強固해지기 때문이라고 생각할 수 있다.

(4) 壓縮強度에 미치는 基材콘크리트 配合의 配合

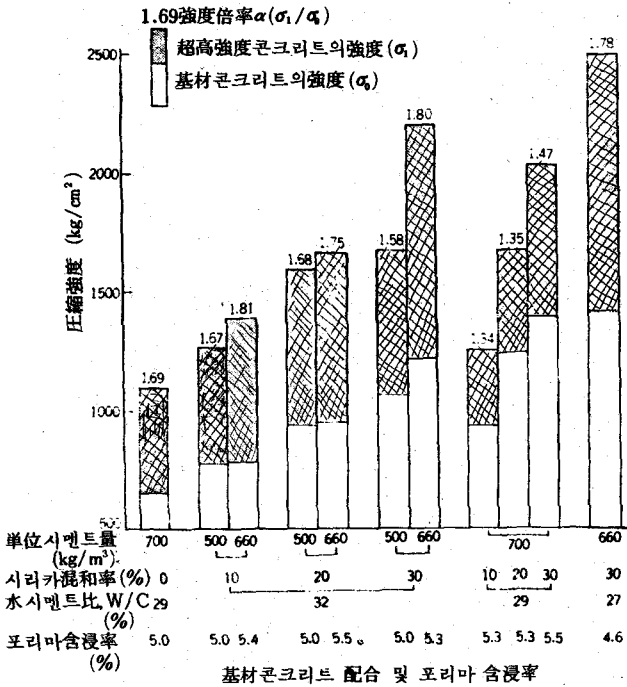
超高強度콘크리트의 壓縮強度와 基材 콘크리트 配合의 關係를 (그림 - 4)에 보인다 5). 이

그림에 의하여 一般的으로 말하면 超高強度 콘크리트 및 基材의 壓縮強度는 單位시멘트량과 시리카 混和率의 增加와 水시멘트比의 減少에 따라 增大하는 傾向에 있다. 높은 壓縮強度의 基材에서 만들어진 超高強度콘크리트가 반드시 높은 壓縮強度를 준다고는 말할 수 없다. 또 그 壓縮強度는 포리마含浸率〔(포리마含浸

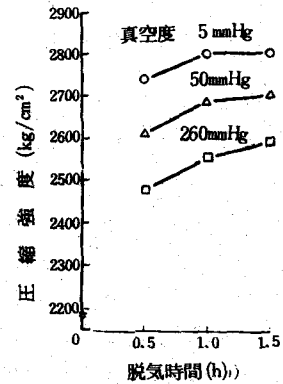
後의 콘크리트重量) - (基材重量)〕 / (基材重量) × 100이라고 定義한다]에는 거의 左右되지 않는다.

(5) 壓縮強度에 미치는 프로세스條件의 影響

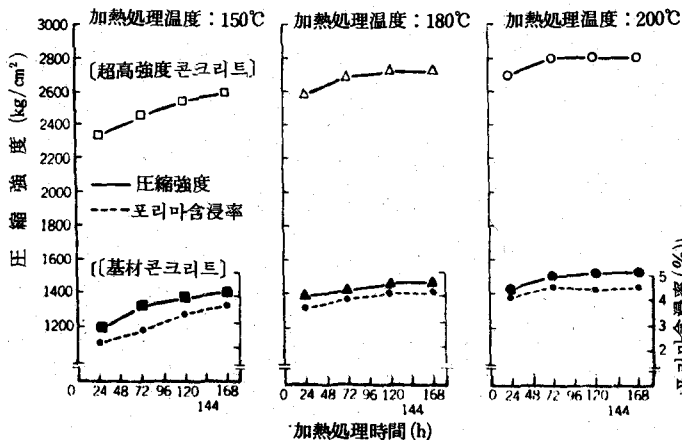
超高強度콘크리트의 壓縮強度와 프로세스條件의 關係를 (그림-5), (그림-6), (그림-



〈그림-4〉 超高強度콘크리트의 壓縮強度와 基材콘크리트 配合 및 포리마含浸率의 關係

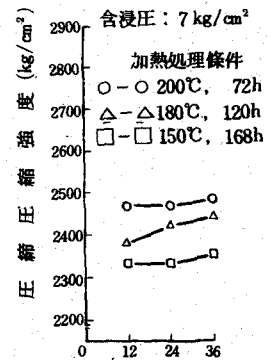


〈그림-6〉 超高強度콘크리트의 壓縮強度와 脱氣時間 關係

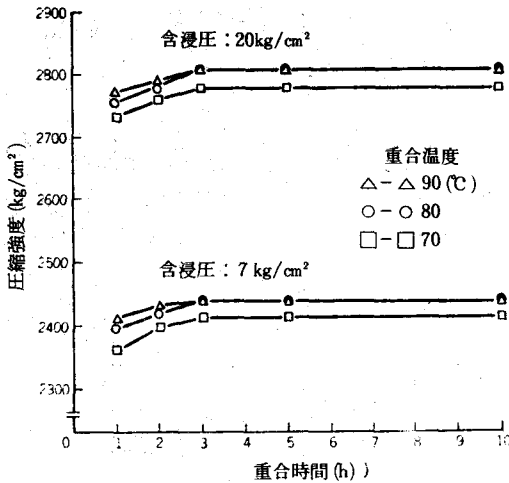


(註) 〈그림-5, 6 實驗에서의 含浸壓은 모두 20kg/cm²로 했다.

〈그림-5〉 超高強度콘크리트의 壓縮強度와 加熱處理時間 關係



〈그림-7〉 超高強度콘크리트



(註) 本実験에서의 含浸圧은 7 및 20kg/cm²로 했다.

〈그림-8〉 超高強度콘크리트의 壓縮強度와 重合溫度 및 重合時間關係

7) 및 〈그림-8〉에 보인다. 이들의 그림에서 보면 超高強度콘크리트의 壓縮強度에 가장 큰 影響을 주는 프로세스條件은 加壓含浸時的 壓力(含浸壓이라고 부른다)인 것을 알 수 있다. 이와같은 實驗結果를 總括하여 2,800kg/cm² 이상의 壓縮強度를 얻는 最適프로세스 條件을 묶어보면, 다음과 같다.

- (1) 基材의 加熱處理條件: 溫度200°C, 加熱時間72h
- (2) 脫氣條件: 真空度 5 mmHg, 脫氣時間 1h
- (3) 含浸條件: 含浸壓 20kg/cm², 含浸時間 5h
- (4) 重合條件: 溫度 80°C, 重合時間 3h

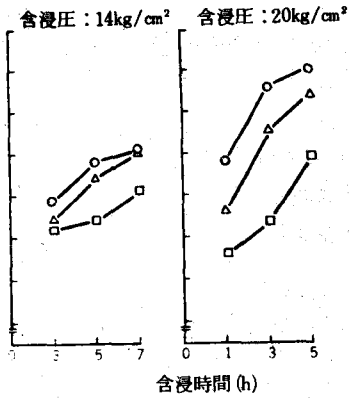
(6) 壓縮強度의 再現性

超高強度콘크리트의 壓縮強度의 再現性을 確認하기 위하여 行한 實驗結果를 〈表-1〉에 보인다. 이 結果로 본다면 相當히 높은 再現性을 가지고 극히 높은 壓縮強度를 얻어진다는 것을 알 수 있다.

(7) 超高強度콘크리트의 最適製造條件

前述한 製造上의 各種要因에 대하여 檢討하고 2,000kg/cm² 이상의 壓縮強度를 가진 超高強度 콘크리트를 만들기 위한 最適製造條件을 整理하면 다음과 같다.

- (1) 安山岩 碎石과 같은 高強度로서 더구나



壓縮強度와 各種含浸壓에서의 含浸時間關係

〈表-1〉 超高強度콘크리트의 壓縮強度의 再現性

供試体 No.	콘크리트의 配合			
	單位시멘트量 600kg/m ³ 시리카混和率 30%		單位시멘트量 660kg/m ³ 시리카混和率 30%	
	水시멘트比, W/C 32%		水시멘트比, W/C 27%	
	포리마하 浸率 (%)	壓縮強度 (kg/cm ²)	포리마하 浸率 (%)	壓縮強度 (kg/cm ²)
1	5.4	2,070	4.5	2,420
2	5.3	1,870	4.6	2,490
3	5.5	1,810	4.6	2,400
4	5.5	2,150	4.5	2,290
5	5.5	1,990	4.8	2,310
6	5.5	2,000	4.7	2,360
7	5.7	2,160	4.4	2,200
8	5.6	2,150	4.9	2,330
9	5.2	1,860	4.5	2,360
10	5.3	2,050	4.7	2,330
11	5.2	1,990	4.7	2,450
12	5.5	2,110	4.8	2,260
13	5.5	1,860	4.6	2,400
14	5.3	2,220	4.5	2,260
15	5.3	2,180	4.8	2,260
16	5.1	2,200	4.5	2,260
17	5.4	2,240	4.8	2,450
18	5.0	2,050	4.8	2,200
19	5.3	1,730	4.8	2,240
20	-	-	4.6	2,290
平均	5.4	2,040	4.7	2,330
標準偏差 (kg/cm ²)		147		83
變動係數 (%)		7.2		3.6

흡수材를 適當하게 吸收하기 쉬운 組骨材를 選擇하여 使用한다.

(2) 基材콘크리트의 配合은, 單位시멘트量 660 kg/m³ 以上, 시리카混和率 30% (CaO/SiO₂ 몰比, 1.33) 水시멘트 32% 以下, 減水劑添加率 2.0% 로 한다.

(3) 基材콘크리트의 오토크레이브 養生은 溫度 180°C, 壓力 10kg/cm²에서의 保持時間 3 h로 한다 (實驗에 대한 詳細한 것은 本橋에서는 省略했다.

(4) 포리마 含浸操作에서의 프로세스條件은,
(a) 基材의 加熱處理條件: 溫度 180°C~200°C, 加熱時間 48~96h (b) 脫氣條件: 真空度 5 mm Hg, 脫氣時間 0.5~1h (c) 含浸條件: 含浸壓 14~20kg/cm², 含浸時間 3~7h (d) 重合條件: 溫度 80°C, 重合時間 3h로 하였다.

3. 超高強度 콘크리트의 主要한 性質

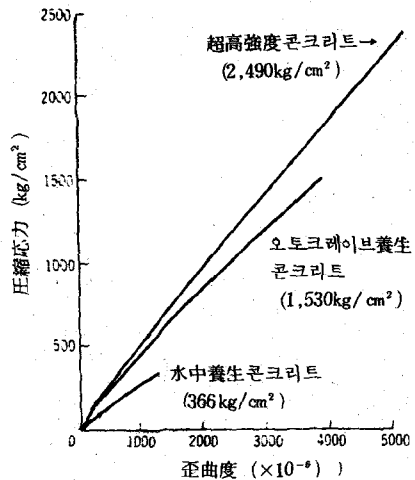
筆者들이 開發한 壓縮強度 2,000kg/cm² 以上의 超高強度 콘크리트中에서 安定한 品質을 얻을 수 있는 2,500kg/cm² 級의 콘크리트를 中心으로 그 主要性質을 말하겠다. <表-2> 8)에 따른 콘크리트와 比較한 超高強度 콘크리트의 強度特性, <表-3> 9)에 오토크레이브 養生 콘크리트의 포리마含浸法에 의하여 얻어진 超高強度 콘크리트의 研究者別 壓縮強度比較, <그림-9> 10)에 따른 콘크리트와 比較한 超高強度 콘크리트의 壓縮應力~歪曲線을 보인다.

超高強度 콘크리트의 壓縮強度는 普通콘크리트의 約 8 倍에나 達하지만 그의 引張強度, 曲強度 및 專斷強度는 普通 콘크리트의 約 2 倍이다.

(表-2) 各種콘크리트의 強度特性

콘크리트의 種類	콘크리트의 種類		
	超高強度 콘크리트	水中養生 콘크리트	오토크레이브 養生콘크리트
強度			
壓縮強度 (kg/cm ²)	2,490 (100)	336 (100)	1,530 (100)
彈性係數	E 1/2	4.64 × 10 ⁵	2.73 × 10 ⁵
	E 1/4	4.75 × 10 ⁵	2.80 × 10 ⁵
引張強度 (kg/cm ²)	69.3 (2.8)	34.2 (9.3)	53.5 (3.5)
曲 強度 (kg/cm ²)	85.2 (3.4)	50.9 (13.9)	71.6 (4.7)
專斷強度 (kg/cm ²)	134 (5.4)	53.3 (14.5)	109 (7.1)

註: 壓縮強度에 對한 相對值을 보인다.



(그림-9) 各種콘크리트의 壓縮應力 歪曲線

또 다른 콘크리트와 比較하여 超高強度 콘크리트의 壓縮強度에 對한 다른 強度의 比는 작다. 超高強度 콘크리트의 彈性係數는 普通 콘크리트의 約 1.7 倍나 크지만 오토크레이브

(表-3)

超高強度 콘크리트의 研究者別 壓縮強度比較

開發 年度	研究者名 (國 名)	使用 材 料			壓縮強度 (kg/cm ²)
		시 멘 트	骨 材	모 노 마	
1976~ 1977	福地, 大浜	普通포트랜드시멘트	安山岩碎石 및 江모래	스 치 렌	2,040~ 2,800
	日本大学工学部 (日本)				
1975	A. Rio, S. Biagni ¹⁾	포트랜드시멘트 (Type III)	玄武岩碎石	메타크릴酸 메칠	2,196
	로마大学 (이탈리아)	高시리카시멘트	玄武岩碎石	메타크릴酸 메칠	2,310~2,870
1973	L. E. Kuckacka ¹⁾ Brookhaven National Laboratory (아메리카)	普通포트랜드시멘트	Pit-Run Clear Creek 産 骨材	메타크릴酸 메칠	2,160

養生 콘크리트와의 차는 僅少하다. 다른 研究者의 成果와 比較하면 이탈리아의 A. Rio들과 同等의 2,800kg/cm²까지의 高強度를 普通 포틀랜드와 스킨의 使用에 의하여 얻어지고 있다.

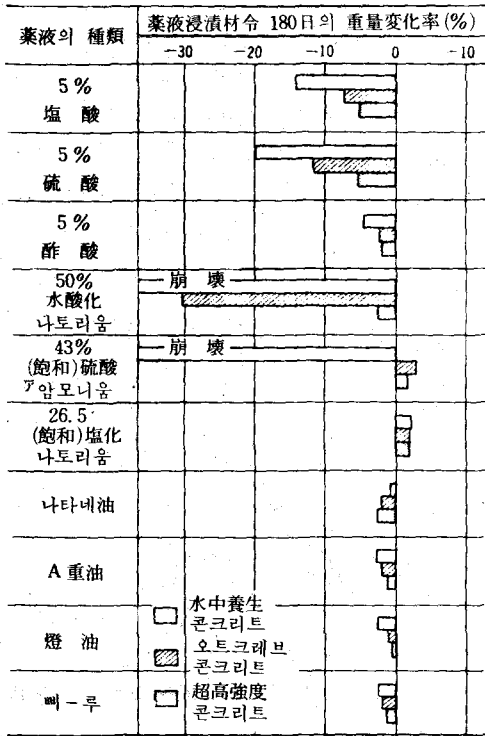
또 超高強度 콘크리트의 耐藥品性を (그림-10)에서 보인다. 이 그림에 의하면 普通

콘크리트와 比較하여 超高強度 콘크리트의 酸이나 硫酸鹽 그 밖의 藥液에 對한 抵抗성이 현저하게 뛰어난 것을 알 수 있다. 그 理由는 오토크레이브養生과 포리마 含浸에 의하여 密實한 構造가 形成되기 때문이라고 推察된다.

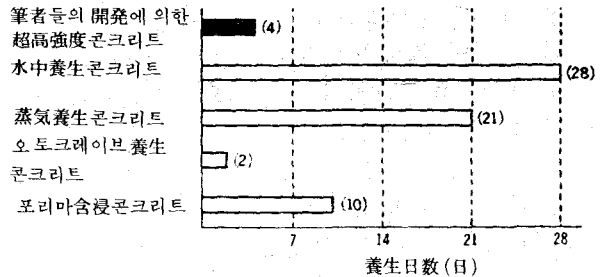
4. 맺 음

以上 말한바와 같이 筆者들은 普通 포틀랜드 시멘트와 高強度骨材를 使用하여 또한 시리카와 高性能 減水劑를 包含한 配合콘크리트를 오토크레이브 養生하여 基材를 만들고이에 포리스치렌을 含浸시킴에 의하여 壓縮強度 2,000 ~ 2,800kg/cm²의 超高強度 콘크리트의 開發에 成功했다.

(그림-11)에 보이는 바와 같이 이 콘크리트의 製品化에 있어서는 製品이 予想되는 製造日數는 4日은 짧고 量産化에는 좋으나 製造프랜트에 따라서는 이 日數를 또 短縮이



(그림-10) 各種콘크리트의 耐藥品性



(그림-11) 各種콘크리트製品의 養生法別 所要製造日數

各種콘크리트의 主要性能 및 經濟性

(表-4)

콘크리트의 種類	筆者들의 開發에 의한 超高強度 콘크리트	포리마 含浸 콘크리트	오토크레이브 養生콘크리트	蒸氣養生 콘크리트	水中養生 콘크리트
性能					
壓縮強度 (kg/cm ²)	2,000~2,800	1,000~1,500	400~700	150~400	150~400
水密性(透水係數) (×10 ⁻¹² cm/s)	< 1	< 1	1~10	10~100	10~100
耐藥品性					
5% 鹽酸	◎	◎	○	×	×
5% 硫酸	○	○	△	×	×
單 價 (円/cm ²)	57,000	50,000	30,000	20,000	9,000
單位強度當單價 [(円/m ³)/(kg/cm ²)]	20.4~28.5	33.3~50.0	42.9~75.0	50.0~133.0	22.5~60.0

(註) ◎ 거의 侵食되지 않음 ○ 약간 侵食됨 △ 侵食됨 × 侵食이 激함
(但, 藥液中에 28日間 浸漬했을 때의 侵食狀態이다)

可能하다. 이것은, 주로 型틀의 迅速한 回轉과 所養養生材畵의 短縮에 의하여 達成되는 것이다.

超高強度 콘크리트의 主要性能 및 經濟性を 다른 콘크리트와 比較하여 (表-4) 13)에 보인다. 이 表에 의하면 超高強度 콘크리트의 單位強度當 單位는 普通콘크리트와는 變하지 않고 經濟적으로도 충분히 알맞는 材料라고 할 수 있다. 그러나 나아가 그 用途에 合致할 詳細한 研究 開發이 必要할 것이다. 또 普通콘크리트와 比較하여 이 콘크리트는 極히 높은 壓縮強度를 주는데도 不拘하고 그밖의 強度의 發現은 그만큼 좋지 않으므로 今後는 이 點의 改善이 바람직하다.

参考文献

- 1) Kukacka, L. E., De Puy, G. W., et al, "Concrete-Polymer Materials (Fifth Topical Report)" BNL50390 and REC-ERC73-12, Dec. 1973, p. 13.
- 2) Rio, A. and Biagin, S., "Recent Progress in the Field of Polymer-Impregnated Concretes", Proceedings of the First International Congress on Polymer Concretes (Polymers in Concrete), The Construction Press, Lancaster, 1976, pp. 14-23.
- 3) Fukuchi, T., Ohama, Y., Demura, K. and Suzuki, S., "Effect of Coarse Aggregate on Compressive Strength of Autoclaved Concrete," Proceedings of the Twenty-Second Japan Congress on Materials Research, 1979 ((投稿中, 審査済))
- 4) 3과 같음.
- 5) 福地利夫, 大浜嘉彦, 「壓縮強度 2,000kg/cm²級の 콘크리트(그 製造方法 및 性質)」, 建築技術, No.309, May 1977, p. 105.
- 6) 福地利夫, 大浜嘉彦, 犬石衛一, 出村克宣, 鈴木清司, 「高圧포리마하浸法에 의한 超高強度 콘크리트製造條件의 檢討」, 日本建築学会大会 學術講演梗概集(構造系), Sept. 1978, p. 360.
- 7) 5)와 같음.
- 8) 5)와 같음.
- 9) Fukuchi, T. and Ohama, Y., "Process Technology and Properties of 2,500kg/cm²-Strength Polymer-Impregnated Concrete", Second International Congress on Polymers in Concrete, The University of Texas at Austin, Austin, Oct. 1978, p. 50
- 10) 5)와 같음.
- 11) 未發表.
- 12) 福地利夫, 大浜嘉彦, 「포리마하浸에 의한 超高強度 콘크리트의 開發」, 工業材料, V.25, No. 12, Dec. 1977, p. 57.
- 13) 12)의 p.59.

