

# 急速硬化에 의한 콘크리트 強도의 早期判定에 關한 實驗的 研究

An Experimental Study on the Early Prediction of Concrete Strength by Accelerating Agent

○ 金 昌 教\*      崔 彰 植\*\*      李 利 衡\*\*\*  
Kim, C. K.      Choi, C. S.      Lee, L. H.

## ABSTRACT

The purpose of this paper is to propose a method predetermining the 28-days strength of concrete. In this paper, it was predicted by regression analysis of the relation between 7-days and 28-days strength of fresh concrete and the strength of concrete early cured at 70° C for four hours after wet screening and addition of accelerating agent. It is concluded that the formula predetermining the 28-days strength of concrete using 25M/M rubbles from Sam-Cheok and sands from Yon-Gok, by the strength of concrete early cured for 4 hours is  $Y = -11.45 + 3.686X$ , where the coefficient of determination of regression-expression is  $r^2=0.938$ ,  $S=17.94(\text{kg}/\text{cm}^2)$ .

## 1. 序 論

### 1-1. 研究의 目的

콘크리트의 品質은 일반적으로 施工時 現場에서 채취한 供試體를 28일간 水中 養生시켜 나타난 壓縮 強度에 의해 판단되며, 完製品이 아니기 때문에 그 品質을 即時 確認할 수 없는 特性이 있다. 따라서 試驗結果가 所要強度에 이르지 못하게 되면 安全 問題 및 經劑的 損失을 招來하게 되고, 반대로 所要強度를 훨씬 上廻하면 非經劑的인 過多設計가 되어 버리게 된다. 이러한 問題點을 解決하기 爲해서는 콘크리트強度를 市販以前에 早期判定 하므로써, 그 結果를 즉시 콘크리트 配合設計에 Feed Back시켜 合理的인 品質管理를 행하는 것이다. 따라서, 本 研究에서는 可能한 콘크리트의 強度를 조속히 推定할 수 있는 回歸式을 提示하여, 合理的인 콘크리트 品質管理등의 基礎資料 提供을 그 目的으로 한다.

### 1-2. 研究의 範圍 및 方法

콘크리트를 構成하고 있는 시멘트, 자갈, 모래, 물 및 AE劑 등에 關한 既存 研究 文獻을 통하여 各材料의 特性이 콘크리트의 性質 및 配合에 미치는 影響을 調査·分析하고, 特히 各材料의 壓縮強度와의 相關 關係를 糾明하고자 한다. 本 調査·分析을 基礎로 試驗하고자 하는 材料의 壓縮強度를 考慮하여 材料를 選定하고, 그 材料를 利用하여 製造된 Fresh 콘크리트로부터 供試體를 製作하여 7日 및 28日 強度를 測定한다. 供試體 製作後 남은 콘크리트는 5M/M체로 Wet Screening 한 후 急速硬化劑를 添加하여 몰탈供試體를 製作, 高溫에서 急速 硬化시킨 強度로써 콘크리트 28日 強度의 回歸式을 推定한다.

따라서, 本 研究에서는 急速硬化劑의 最適 添加量을 決定하고 이에 따른 最適 養生 時間을 導出하여, 콘크리트 強度差에 의한 回歸式을 얻는것 까지를 그 範圍로 한다.

\* 正會員, 東洋시멘트 課長  
\*\* 正會員, 漢陽大 大學院 博士過程  
\*\*\* 正會員, 漢陽大 教授, 工博

## 2. 實驗

### 2-1. 實驗概要

本 實驗은 急速硬化劑를 시멘트 重量의 0, 2, 3, 5% 添加하고 高溫 高熱로 急速 硬化시켰다. 急速 硬化를 돕기 위해 Wet Screening하여 얻은 몰탈용 供試體 內部가 짧은 시간내에 일정한 高溫이 되도록 하였으며, 그 때의 急速 硬化 強度를 測定하였다. 이때 사용된 急速硬化劑는 白色 粉末形의 Alca li Metal Car-bonate였으며, 70° C, 95% RH(相對 濕度)에서 양생한 결과 재령 28일 강도의 30% 정도를 3-4시간내에 얻을수 있었다.

### 2-2. 使用材料 및 機器

本 實驗에 使用된 材料 및 使用機器는 表 2-1 및 表 2-2와 같다.

表 2-1. 使用材料

№	구 분	종 류	비 중	비 고	조립용
1	시멘트	보봉로포칼란트시멘트	3.14-3.15	동양시멘트(株)세움	—
2	조립재	40% 자연석	2.64	마평강자갈	—
		25% 채석	2.73	삼척상산생산	6.74
		자연석	2.63	마평강자갈	—
3	새합재	삼척미립사	2.64	—	—
		주문진면역사	2.58	—	2.89 3.21
4	물	상수도	1.00	—	—
5	혼화제	AE 감수제 (PARIC-KS)	1.13	—	—

表 2-2. 使用機器

№	항 목	구 격	수량	제조회사	비 고
1	탈온함습기	습도: 0-90% RH 온도: 0-90°C	1	우창	
2	MORTAR MIXER	4.7㎡	1	용진정밀	
3	#4 SIEVE	5%	1		
4	CUBE MOULD	5×5×5 cm	6조		
5	CONCRETE KNIFE	BLADE LENGTH 200%	1		

### 2-3. 實驗順序

本 研究의 實驗順序는 그림 2-1과 같다. 단, 本實驗은 連續的으로 行해져야 하며 試料 採取에서부터 共試體를 成形하는데까지 所要되는 時間은 30분 内外로 한다.

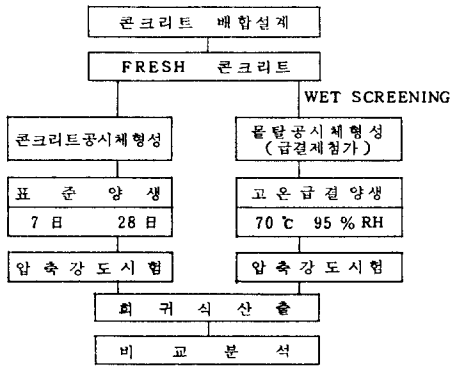


그림 2.1 實驗 흐름도

### 2-4. 急結劑 最適 添加量 決定 試驗

本 試驗은 豫備試驗으로 急結劑를 添加하여 高溫, 高濕養生한 콘크리트의 강도가 1)養生溫 濕度 2)養生時間 3)急結劑 添加量 등의 影響에 變動이 적은 구간을 判定하여 試驗의 精度를 높이는데 그 目的이 있으며, 配合設計는 표2-3과 같이 W/C=60%인 常用의 레미콘 配合으로 하였다.

표 2-3. 콘크리트의 配合設計表

W/C	S/A	시멘트	물	모래	자갈	AE감수제
60	48	298	178	863	1016	0.15%

### 2-5. 急速硬化에 의한 強度 早期 判定 試驗

強度差가 있다고 判斷되는 W/C=45~70 %의 레미콘 配合으로부터 얻은 Fresh 콘크리트를 5M/M제 (#4)로 Wet Screening하여 얻은 몰탈에 最適 急結劑를 添加한 후, 急速硬化(70° C, 95%RH)시킨 몰탈강도와 실제 콘크리트 7日 및 28日 強度와의 相關關係를 調査·分析하여 推定 回歸 直線式을 구한다.

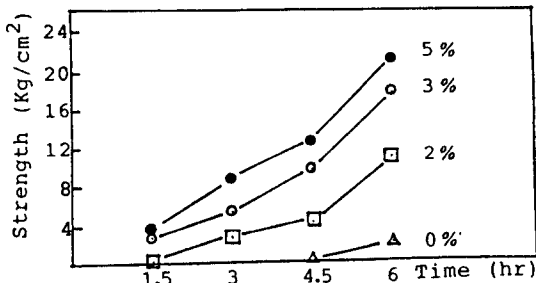


그림 3-1 時間, 壓縮強度, 添加量의 關係(23° C)

### 3. 實驗結果 및 考察

#### 3-1. 急結劑 最適 添加量 決定

急結劑를 시멘트 重量의 0, 2, 3, 5% 添加하고, 23° C, 95% RH에서 1.5, 3.0, 4.5, 6.0時間 동안 各各 養生한 후의 強度 試驗 結果는 그림3-1 과 같다.

그림 3-1에 의하면 23° C에서 急結劑를 첨가하고 6時間 經過할 때 까지의 急速 硬化 強度가 幾何級數的으로 增加하고있다. 또한, 1.5~6.0時間 내에 發現된 강도가 콘크리트 強度를 推定하기에는 너무 작아서 養生溫도를 23° C로 하는 것은 不適合하다는 것을 알 수 있다.

반면에, 急結劑를 시멘트 重量의 4, 5, 6% 添加하고 70° C, 95% RH에서 2, 3, 4, 5時間 동안 各各 養生한 후의 強度 試驗 結果는 그림3-2와 같다. 그림3-2에 의하면 急結劑 添加量이 4%에서 6%로 增加될수록 2時間 以後의 強度 增加率이 현저히 鈍化되고 특히 3時間 以後 5~6%에서는 強度 增加가 거의 없다.

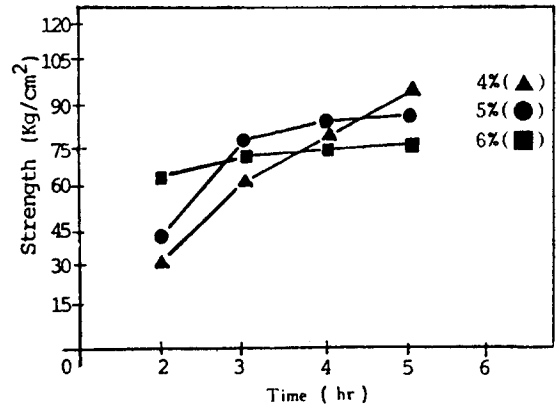


그림 3-2 時間, 壓縮強度, 添加量의 關係(70° C)

또한, 急結劑 및 壓縮強度와 時間과의 關係를 나타낸 그림3-3에 의하면, 急結劑 添加量이 增加함에 따라 2時間 養生時의 強度는 급격히 增加하나, 養生時間이 길수록 점점 鈍化되다가 5時間

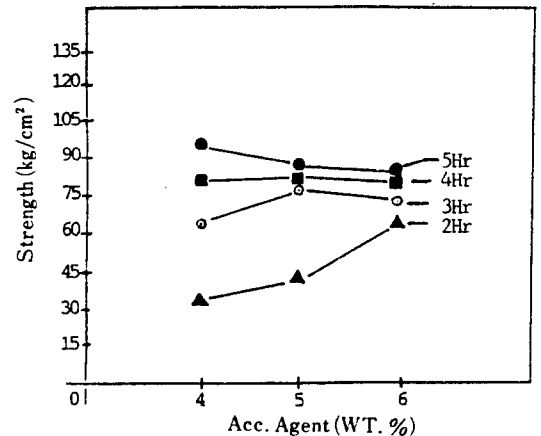


그림 3-3 急結劑, 壓縮強度와 時間과의 關係

養生한 急速硬化 強度는 完만하게 減少함을 알 수 있다. 따라서, 養生時間 및 急結劑 添加量에 대하여 強度의 變動이 가장 적은 구간은 i) 養生시간 3~5時間(70°C, 95% RH)이고 ii) 急結劑 添加量은 시멘트 重量의 5~6%인 것으로 判斷된다.

### 3-2. 急速硬化에 의한 콘크리트 強度 早期 判定

1) 주문진 연곡사와 25M/M 삼척 쇠석 골재 콘크리트에 있어서 3시간 急速硬化 強度의 7일 및 28일 強度 推定式을 回歸分析 理論<sup>6)</sup>에 의하여 구하면 표3-1과 같다.

표 3-1. 回歸分析에 의한 強度 推定 회귀선식

No	구 분	추정회귀 직선식	r <sup>2</sup>
1	3시간-7일 강도	$Y = -34.245 + 2.908X$	0.860
2	3시간-28일 강도	$Y = 17.630 + 3.250X$	0.867
3	7일-28일 강도	$Y = 60.170 + 1.096X$	0.968

表 3-1에서 알 수 있듯이 가장 정확한 回歸直線은 7일 강도로써 28일 강도를 推定하는 식이나 (r<sup>2</sup>=0.968), 3시간 養生하여 얻은 28일 強度 推定式의 檢出力도 r<sup>2</sup>=0.867로써 優秀하다고 볼 수 있다. 본 試驗 結果를 分布圖로 나타낸 것이 그림3-4, 3-5 이다.

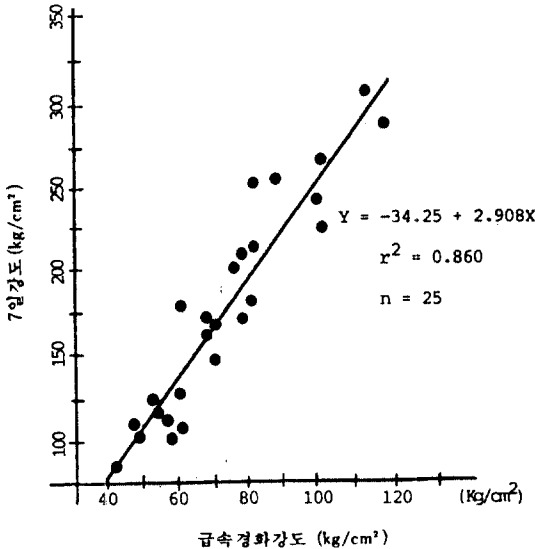


그림 3-4 3時間 急速硬化 強度(X)-콘크리트 7일 強度(Y)의 分布

### 2) 既存研究와의 比較·分析

본 研究에서 提案된 3時間 急結強度에 대한 28日 強度의 早期判定 適用 可能性을 評價하기 위하여 池田常治<sup>1)</sup>의 既存 研究結果를 그림3-6에 表示하였다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 特定시

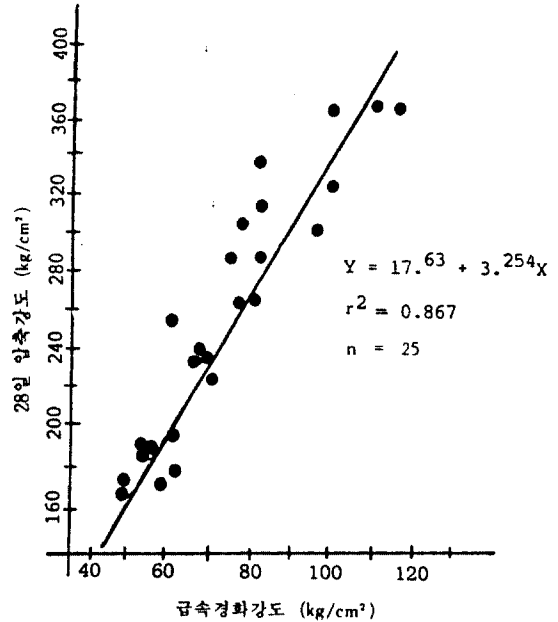


그림 3-5 3時間 急速硬化 強度(X)-콘크리트 28일 強度(Y)의 分布

멘트와 骨材를 사용한 研究結果와 既存 研究結果가 거의 誤差없이 一直線內에 있으며, 이로부터 實驗結果의 適用可能性이 상당히 높은 것을 알 수 있다. 既存 研究結果와의 推定 回歸直線式을 比較하면 표3-2와 같다.

표 3-2. 推定 回歸 直線式 比較

區 分	推定 回歸 直線式	r <sup>2</sup>
既存 研究	$Y = 34 + 2.66 X$	0.968
今回 研究	$Y = 17.63 + 3.25 X$	0.867

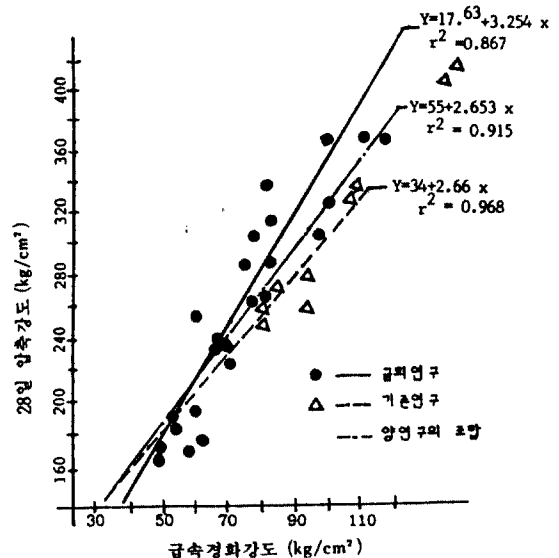


그림 3-6 3時間 急結強度에 대한 既存 研究 對比 散布圖

既存 研究의 回歸式 檢出力이 상당히 높게 나타난 것은 기존 연구의 시험 공시체가 10개로써今回 研究의 25개에 비하여 월신 적기 때문에 推定된다. 따라서,今回 研究結果와 既存 研究結果를 組合하여 推定 回歸 直線式을 구하면 아래와 같으며, 그림3-6에 表示한 바와 같다.

$$Y = 55 + 2.653 X \quad (r^2 = 0.915)$$

X: 3時間 急速硬化強度 (kg/cm<sup>2</sup>)  
Y: 28日 壓縮強度 (kg/cm<sup>2</sup>)

3) 주문진 연곡사와 25M/M 삼척 碎石 骨材 콘크리트에 있어서 4時間 急速硬化 強度에 의한 材齡 7일 및 28일 強度 推定式을 回歸 分析에 의하여 구하면 표3-3과 같다.

본 표에서 알 수 있듯이 4시간에 의한 급속경화가 3시간에 비해 檢出力에 있어 월신 優秀하다.

표 3-3. 回歸 分析에 의한 強度 推定式

No	구 분	추정회귀직선식	r <sup>2</sup>
1	3時間急速硬化-7日強度	$Y = -34.245 + 2.908 X$	0.86
2	3時間急速硬化-28日強度	$Y = 17.63 + 3.254 X$	0.867
3	*7日壓縮強度-28日強度	$Y = 60.17 + 1.096 X$	0.968
4	3時間急速硬化-28日強度(기존연구)	$Y = 34 + 2.66 X$	0.968
5	3時間急速硬化-28日強度(조합식)	$Y = 55 + 2.653 X$	0.915
6	4時間急速硬化-7日強度	$Y = -27.41 + 2.653 X$	0.807
7	4時間急速硬化-27日強度	$Y = -11.45 + 3.686 X$	0.938
8	*7日壓縮強度-28日強度	$Y = 51.25 + 1.101 X$	0.905

- \* 7일 壓縮強度로써 28일 壓縮強度를 推定하는 회귀직선은 本研究에서 比較分析을 위한 資料인 限임.
- 上記表에서 強度는 壓縮強度를 意味함.

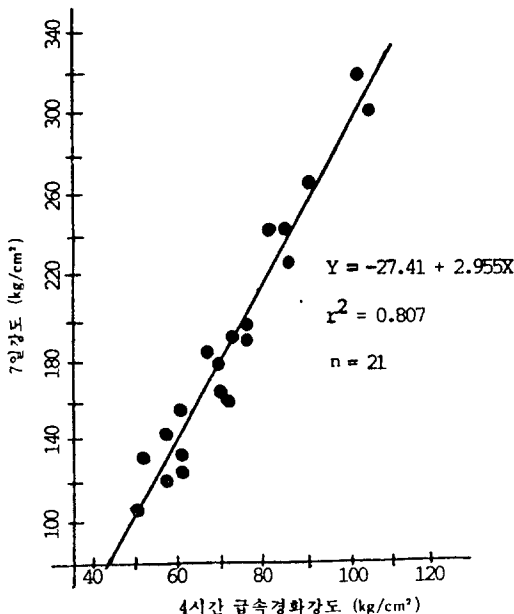


그림 3-7 4時間 急速硬化 強度(X)-콘크리트 7일 強度의 散布圖

또한, 急結劑 添加量도 最適 養生時間이 4時間에 비해 3時間이나 5時間은 強度偏差가 그 量에 따라 增加한다. 따라서, 콘크리트 28일 強度 推定 方法은 4時間 急速 硬化가 適當하고 또한 技術的으로 充分한 正確度를 가지고 있다고 할 수 있다. 本 實驗結果를 散布圖로 나타낸 것이 그림 3-7, 3-8이다.

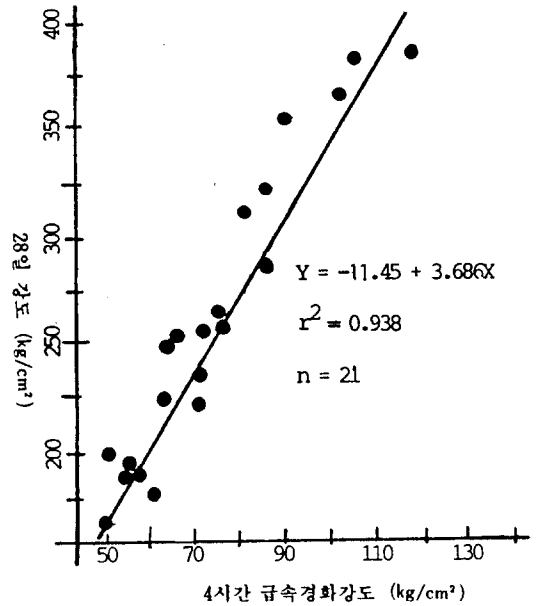


그림 3-8 4時間 急速硬化 強度(X)-콘크리트 28일 強度의 散布圖

#### 4) 骨材의 規格別 유의차 試驗

骨材의 規格 및 產地에 따라 推定回歸式이 달라질 것을 考慮하여 시험한 결과 回歸直線 比較表는 表3-4와 같다.

표 3-4. 骨材 規格別 유의차 시험

구 분	추정 회귀 직선식	r <sup>2</sup>
25M/M <#1, #3>	$Y = -11.45 + 3.686X$	0.938
25M/M <#1, #4>	$Y = -6.96 + 3.787X$	0.902
25M/M <#2, #3>	$Y = -36.93 + 3.693X$	0.847
25M/M <#2, #4>	$Y = -8.928 + 3.13 X$	0.904
40M/M <#2, #3>	$Y = 8.254 + 2.378X$	0.857
40M/M <#2, #4>	$Y = 18.10 + 3.089X$	0.924

- #1. 삼척쇄석, #2. 마평자연석,
- #3. 연곡사, #4. 마평사,

본 표에서 알 수 있듯이 40M/M 마평 自然石 및 연곡사의 경우와 같은 例外도 있으나 대부분 回歸直線의 기울기는 큰 변화 없이 同一하다고 할

수 있으며, 常數는 骨材에 따라 상당한 差異가 있음을 알 수 있다. 또한, 각 骨材에 따른 常數의 變化로 부터 같은 Wet Screening물탈 急速硬化 強度라 할지라도 骨材의 產地規格 및 形象에 따라 일정한 폭의 強度差가 있음을 알 수 있다.

#### 4. 結 論

本 研究를 통하여 콘크리트 早期 判定에 대한 強度 推定 回歸式을 提案하면 다음과 같다.

- 1) 3시간 急速硬化에 의한 本 研究를 池田常治의 既存 研究와 組合하여 28일 壓縮強度 推定을 구하면  $Y = 55 + 2.653X$  이며 식의 檢測力  $r^2 = 0.915$ ,  $S = 18.76 \text{ kg/cm}^2$ 으로 나타낼 수 있다.
- 2) 4時間 急速硬化에 의한 25M/M 삼척碎石 및 연곡사 使用 콘크리트의 28일 壓縮強度에 대한 提案 推定式은  $Y = -11.45 + 3.686 X$  이며, 回歸式의 檢測力  $r^2 = 0.938$ ,  $S = 17.9 \text{ kg/cm}^2$ 인 것으로 나타났다.
- 3) 기타 急速硬化을 위한 最適 急結劑 添加量은 5.5%(FEBGUN)가 적정치로 사료되며, 最適 養生時間은 4時間인 것으로 推定된다.

上記와 같이 本 研究結果는 技術的으로 充分한 正確度를 갖고 있는 것으로 判斷되나, 研究條件에 따라 回歸式 使用에 대한 慎重한 檢討 및 유 의차 시험을 行할 必要가 있으며, 今後 계속적인 補完연구가 進行되어야 할 것으로 思料된다.

#### 參 考 文 獻

1. 池田常治, "急速硬化による 콘크리트 強度 即時 判定에 關する 研究," 日本 土木學會 論文 報告 集, 第255號, 1976, pp.103-112.
2. 尹相泉, "加熱促進養生에 의한 콘크리트 強度의 早期判定에 關한 實驗的 研究," 漢陽大 大學院 碩士學位論文, 1982.2.
3. 全贊基, "콘크리트 強度의 早期判定에 關한 研究(I), (II)," 레미콘紙, 1988.9, pp.47-59.
4. 李昇赫 (譯), "Cement, Concrete의 混和材料," Cement紙, 第107集, 韓國洋灰工業協會, 1987.6
5. 韓千求, "콘크리트 強度 早期推定研究의 概況," 레미콘紙, 1987.12, pp.33-42.

6. 安江任, 荒井康夫, "セメント コソクリートの混和材料," Gypsum & Lime, No.208, 1987, pp.41-46.
7. 寺田光男, "콘크리트 強度를 推定する 新手法," 세멘트, 콘크리트, No.446, Apr., 1984, pp.40-46.
8. 韓千求, "酸中和法에 의한 콘크리트 強度의 早期判定," 레미콘紙, 1986.12, pp.2-11.
9. 金武漢, 朴正, 韓千求, "잔 골은 骨材로써 廢棄 콘크리트를 使用한 콘크리트에 關한 實驗的 研究(III) (比重計法에 의한 強度 早期判定)," 淸州大 論文集, pp.375-378.
10. 吳誠哲, 韓千求, 金武漢, "잔 골은 骨材로써 廢棄 콘크리트를 使用한 콘크리트에 關한 實驗的 研究(IV) (電氣抵抗法에 의한 強度 早期判定)," 淸州大 論文集, pp.379-382.
11. 全贊基, 元永壽, "加熱養生 콘크리트의 Maturity 適用에 關한 研究," 富川工業專門大學 論文集, 第9集, 1988.
12. 中川晃次, 平野建吉, "急結劑, 세멘트, 콘크리트, No.427, Sep., 1982.
13. 寺田米男, "콘크리트 強度의 推定式에 關する 研究," 日本建築學會 論文報告集, 第 361號, 1986.3.
14. 笠井順一, "세멘트를 急結させる 原理," 세멘트 化學理論, 1985.5.
15. 金基鐘, "PH-Meter에 의한 콘크리트 強度 早期判定에 關한 實驗的 研究," 淸州大 大學院, 1983.12.
16. 潘好鎔, 卜鐘眩, "콘크리트 強度의 早期判定에 關한 基礎研究 (Cement Paste의 PH를 測定하는 方法에 대하여)," 淸州大 論文集, pp.225-228.
17. 神田衛, "まだ 固まらない 콘크리트의 水 세멘트 比의 測定 方法," 세멘트-콘크리트, No. 300, 1972.2.
18. 朴聖炫, 回歸分析 (改定版), 1987, 大英社刊.
19. W.M. Dunagan, "A Study of the Analysis of Fresh Concrete," ASTM, Vol.31, 1931.
20. R.T. Kelly, J.W. Vail, "Rapid Analysis of Fresh Concrete," Apr.-May, 1968.
21. ASTM C 684-74, Standard Method of Making, Accelerated Curing and Testing of Concrete Compression Test Specimens, ASTM Book of Standard, Part 14, 1976, pp.405-412.