

콘크리트 強度 早期判定法の 實用化

阿部 龍介 (首都高速道路公團 工務部 設計技術課長)

丸山 眞佐雄 (設計技術課)

徐 庚 戌 (記)

머 리 말

現場 콘크리트의 品質은 一般的으로 標準養生을 行한 材令 28日의 壓縮強度를 基準으로 하는 일이 많다. 그러나 이 경우 試料를 採取하여서 콘크리트의 壓縮強度를 얻기까지 長時間을 要하게 되므로 品質管理上의 特性値로서 取扱하는 경우에는 여러가지 點에서 問題가 있다. 그래서 콘크리트의 品質을 가장 短時間에 把握하려고 하는 研究가 많이 이루어져 있고 그 중에는 實用化되는 段階에 이르러 있는 것도 있다.

本研究에서 使用하고 있는 “急速硬化判定方法”은, 東京都立大学の 池田助教授가 確立한 方法으로 콘크리트를 濕트스크리닝하여 얻은 물탈을 急速硬化시켜 그 壓縮強度에서 材令 28日에서의 콘크리트의 壓縮強度를 推定하고 콘크리트의 品質을 判定하려고 하는 것이다.^{1~4)}

首都高速道路公團에서는 本方法을 使用할 경우의 現場콘크리트의 品質判定精度 및 本方法을 實用化할 경우의 問題點을 檢討할 基礎的인 資料를 얻기 위하여, 實驗研究를 하고 있다⁵⁾. 現在 아직 中途段階이기는 하지만 여기에 그 概要를 報告한다.

1. 室內試驗 (I)

急速硬化 判定方法의 順序는(그림-1)에 圖示한 것과 같으나 全試驗期間을 通하여 精度가 좋은 再現性이 뛰어난 試驗을 하기 위하여 미리 予備試驗을 하고 試驗機器의 性能을 檢査하고

試驗의 順序, 方法등을 一定하게 할 必要가 있었다.

(1) 養生槽의 溫度와 濕度

養生槽는(사진-1)에서 보이는바와 같이 前面 開閉式의 箱子型(길이 30cm, 폭 70cm, 높이 40cm, 무게 32kg)이고 溫度, 濕度가 自動적으로 制御되는 시스템이 되어 있다. 内部는 上, 中, 下 3段으로 나누어져 있고 右 윗쪽에 蒸氣의 噴出口가 있다. 使用時의 條件은 溫度 70℃, 濕度 100%라고 定해져 있지만 槽內의 溫濕度의 分布 문짝의 開閉에 따르는 溫濕度의 變化가 物脫強度에 影響을 주는지 어떤지 알아 둘 必要가 있었다. 實驗의 結果 아래 事項을 알았다.

① 通常 環境溫度의 경우 試驗의 30分 程度 前에 通電하여 두면 槽內의 溫濕度는 所定의 條件에 達한다.

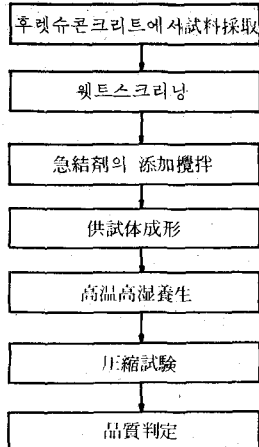
② 養生槽內의 上, 中, 下段의 住置의 影響을 調査한 結果 蒸氣의 噴出口 周邊(右 윗쪽)을 크게 열어서 型틀을 左側으로 기울이면 物脫強度에 大差없는 것을 알았다. 이에 대하여는 그 뒤 各段의 구멍板을 改良하여야만 改善된다.

③ 型틀을 養生槽에 넣었다 내었다 하는 때는 所要時間은 20秒 程度 있으면 充分한 것을 알 수 있었으므로 70℃, 100%의 狀態에서 20秒 間만 文짝을 열어놓고 닫고나서 元來 條件으로 되돌아 가기까지의 時間을 調査했다. 그 結果, 4分程度로 回復하는 것을 알았으므로 이 程度라면 物脫強度에 큰 影響은 주지 않는다고 생각되었다.

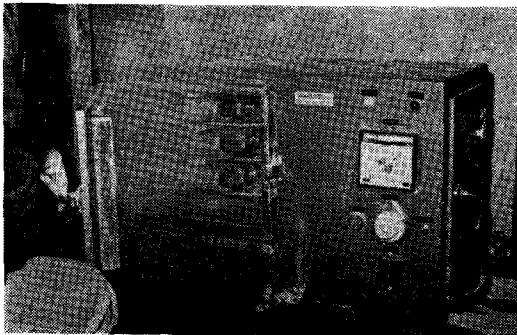
(2) 壓縮試驗機의 精度

壓縮試驗機는,〈사진-2〉에 보이는바와 같이 小型化되어 있고 積荷裝置, 手動式 油壓 펌프, 檢力部에 부루돈管을 사용한 메타가 파이프로 接

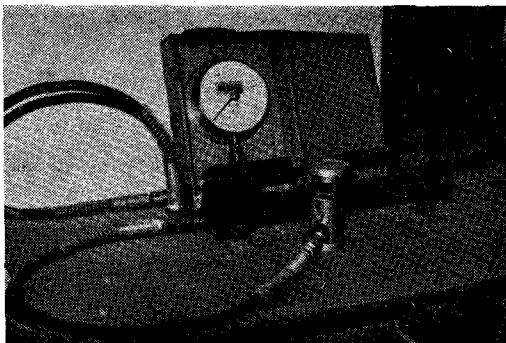
〈그림-1〉



急速硬化判定方法의 手順



〈사진-1〉 高溫高濕養生槽



〈사진-2〉 壓縮試驗機

續되어 있다. 重量은 約15kg이고 積荷板의 面積은 10cm²가 되어 있다.

当初 2작의 壓縮試驗機를 使用하여 試驗을 하고 있었으나 同時에 養生을 한 같은 配合의 物탈強度가 2작의 壓縮試驗機 사이에 誤差가 있었기때문에 試驗機의 精度를 檢査할 必要가 生겼다.

檢力計를 使用하여 檢査한 結果, 2작 모두 진짜 値를 보이지 않았고 短期間으로 指示値가 變하는 것이 判明되었다. 그 뒤 積荷裝置에 球座를 넣는 것 등의 処置에 의하여 改善되어 誤差는 3-4% 以內에 그쳐져 있다.

(3) 試驗方法의 統一

全試驗期間을 通하여 精度가 좋은 試驗을 하기 위하여는 統一한 試驗方法을 採用할 必要가 있다. 數次의 予備試驗을 하고 均等한 試料를 얻기 위한 方法 實際作業에 있어서 無理가 없는 時間工程을 檢討한 結果, 우선 다음과 같은 方法으로 統一했다.

① 採取그릇으로 約 5kg의 콘크리트를 採取한다.

② 直時 5mm채로 웨트스크리닝을 한다. 이 때, 試料는 1kg程度씩 數次로 나눈다.

◎ 試料를 採取하고나서 즉시 웨트스크리닝을 했을 경우와 20分 程度 時間을 두고 했을 경우의 比較試驗을 했으나, 差는 그다지 없었다. 그러나 될수 있는한 必要以上の 外의 因子를 주지않는 意味에서 즉각 웨트스크리닝을 하기로 했다. 또 試料를 1kg程度로 나눈 것은 웨트스크리닝의 作業效率를 考慮했기때문이다.

③ 웨트스크리닝은 채 위의 租骨材의 表面의 광도가 없어질 때까지 充分히 한다.

◎ 웨트스크리닝은〈사진-3〉에서 보는바와 같이 混合그릇 위에 채를 얹어서 前後, 左右로 움직여서 하고 있다. 그러나, 이 作業에는 誤差 熟練度가 必要하다고 생각되므로 試驗者間에 依한 差를 可能하면 작게 하기 위한 方法을 檢討할 必要가 있다.

④ 웨트스크리닝하여 얻은 物탈 全量을 30秒間 攪拌한 뒤 1밧기分 500g의 物탈을 採取한다.

⑤ 急結劑(日曹마스터빌다즈社製의 푸루릭스 PF-3)을 넣어 30秒間 充分히 攪拌한다.

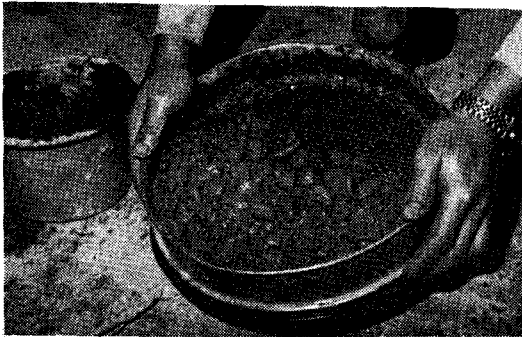
⑥ 靑틀($\sqrt{10} \times \sqrt{10} \times 5$ cm) 上部에 다른 틀을 얹어 물탈을 두 층으로 나누어 넣고 막대기로 充分히 굳힌다.

⑦ 供試體 上面을 스트레트엣지로 完成시킨다.

⑧ 急結劑를 添加하고 나서 5分 뒤에 養生槽에 넣는다.

◎ 急結劑를 添加하고 나서 養生槽에 넣기까지의 時間을 3分, 5分으로 比較試驗을 하였으나 差는 그다지 없었다.

⑨ 所定의 養生時間에 達한 供試體를 가지고



(사진-3) 웨트스크리닝

5分 뒤에 壓縮試驗을 한다.

◎ 養生槽에 靑틀을 끄집어내어 壓縮試驗을 하기까지의 時間을 5分, 30分으로하여 比較試驗을 한 結果, 물탈強度는 30分 뒤 쪽이 커지는 傾向이었으나 全體時間을 短縮할 目的으로 5分으로 統一했다.

이 統一된 方法으로 問題가 없는지 어떤지 確認하기 위하여 試驗者를 바꾸어 比較試驗을 한 結果 試驗者에 의한 差는 적고 그다지 熟練하여 있지않은 者라도 되풀이에 의한 再現性이 높았으므로 이 試驗方法이 妥當하다고 判定하여 以後의 試驗에 採用했다.

2. 室內試驗 (II)

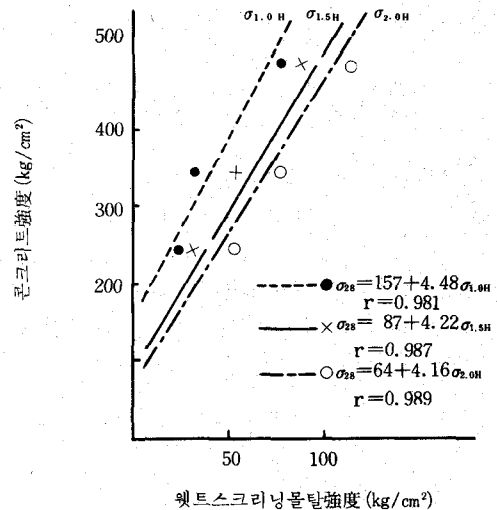
(1) 普通콘크리트

웨트스크리닝물탈強度와 콘크리트強度의 關係式을 얻기 위하여 또 시멘트 骨材등의 使用

材料의 商標 產地 差異의 影響을 調査하기 위하여 東京, 神奇川, 埼玉, 千葉의 레미콘工場에서 使用中인 材料를 採取하여 室內試驗을 하였다⁶⁾. 이들의 材料를 使用하고 普通콘크리트를 뒤섞어 웨트스크리닝물탈의 1時間, 1.5時間, 2時間強度와 콘크리트의 標準養生供試體의 28日壓縮強度를 求했다. 시멘트商標는 A社(4레미콘工場), B.C社(各3레미콘工場), D.E.F.G社(各2레미콘工場)의 7種類로서 시멘트商標가 같은 工場은 같은 商標의 混和劑를 使用하고 있었다.

이 結果, 各레미콘工場別로 보면(그림-2)에 보이는바와 같이 웨트스크리닝물탈의 強度와 콘크리트強度의 回歸式의 相關係數는 平均적으로 0.98程度의 뛰어난 直線性을 보이고 있으나 시멘트商標가 같은 그룹으로 보면,(그림-3)에 보이는 바와 같이 相關係數는 0.8程度가 되고 直線性이 떨어지는 結果가 되었다. 시멘트商標가 같은 工場에서는 混和劑의 商標도 같았으므로 骨材의 產地 差異가 크게 影響하고 있는 것이라고 생각된다.

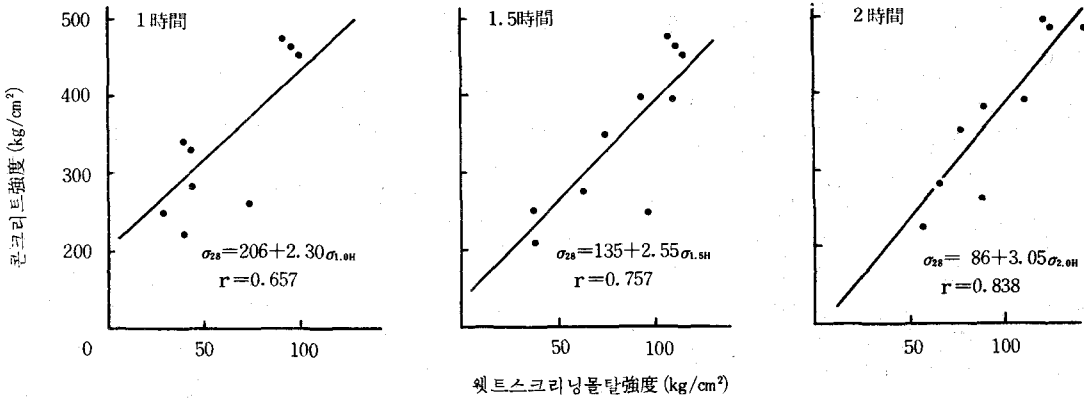
또 시멘트商標別로 웨트스크리닝물탈의 強度와 콘크리트強度의 關係를 보면(그림-4)와 같이 되고 같은 물탈強度에 對하여 콘크리트強



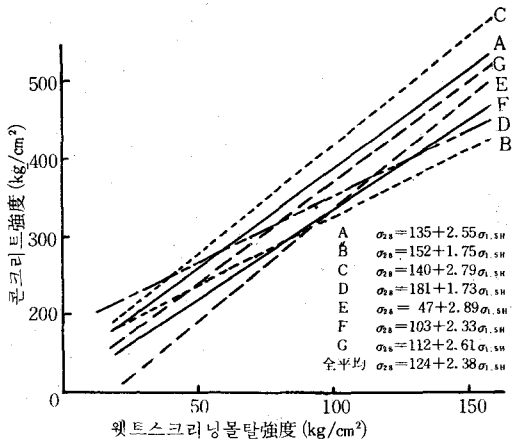
(그림-2) 웨트스크리닝물탈強度와 콘크리트強度의 回歸直線 (레미콘工場)

도가 100kg/cm² 정도 차이가 생기는 것이 있다.
 이와 같이 室内試驗의 結果를 보면 材材의

차이에 따른 차이가 꽤 많으며 推定式을 作成할
 경우에 檢討하지 않으면 안 될 課題가 되었다.



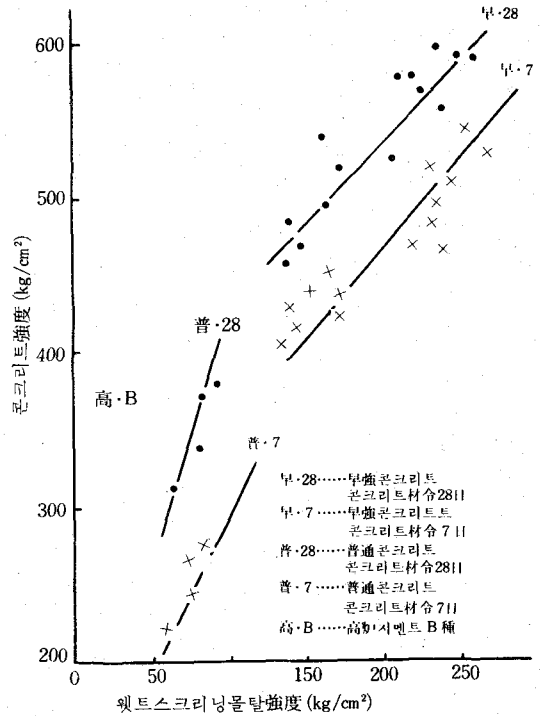
〈그림-3〉 웨트스크리닝물탈강도와 콘크리트강도의 回歸直線 (시멘트商標 ㉔)



〈그림-4〉시멘트商標別의 웨트스크리닝물탈강도와 콘크리트강도의 關係 (養生時間 1.5時間)

(2) 特殊콘크리트

早強시멘트, 高炉시멘트를 使用한 콘크리트에 대하여 室内試驗을 하였다. 웨트스크리닝물탈강도와 콘크리트 강도의 關係의 一例를 〈그림-5〉에 보인다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 같은 商標의 시멘트 및 같은 産地의 骨材를 使用해도 早強콘크리트와 普通콘크리트로서는 回歸直線이 다르기 때문에 推定式은 따로따로 만들어 取扱할 必要가 있다. 또 高炉시멘트를 使用한 콘크리트로는 物脫강도의 發現이 늦으므로 養生時間을 길게 하느냐 하는 경우에 따라서는 急結劑의 종류도 檢討할 必要가 생겼다.



〈그림-5〉特殊웨트스크리닝물탈강도와 콘크리트 강도의 關係 (시멘트商標 B社)

3. 現場試驗

室内試驗의 結果 시멘트商標, 骨材産地등의 相異에 의한 影響이 크기때문에 各工場마다 推定式을 設定하는 것이 좋다고 생각되었으나 現場試驗에 있어서는 다음 4 종류의 推定式을 使

現場 콘크리트의 強度推定結果

〈表-1〉

σ_{ck} kg/cm ²	試驗 數	実績 σ_{cs} kg/cm ²	養生時間 1.5時間											
			工場式			시멘트商標式			全平均式			公団式		
			推定値 kg/cm ²	變動 係數	推/実	推定値 kg/cm ²	變動 係數	推/実	推定値 kg/cm ²	變動 係數	推/実	推定値 kg/cm ²	變動 係數	推/実
210	6	266	287	3.7	1.08	256	2.4	0.96	237	2.5	0.89	229	2.4	0.86
	19	277	232	8.1	0.84	243	4.4	0.88	247	5.9	0.89	239	5.5	0.86
240	12	336	380	7.0	1.13	312	5.2	0.93	289	5.2	0.86	280	5.2	0.83
	10	332	399	12.3	1.20	323	9.2	0.97	300	8.3	0.90	290	9.2	0.87
270	5	342	434	7.4	1.27	346	5.6	1.01	320	5.7	0.94	309	5.9	0.90
	11	362	245	8.8	0.68	254	9.0	0.70	294	6.4	0.81	285	6.5	0.79
300	4	384	466	6.9	1.21	364	5.2	0.95	338	5.4	0.88	328	6.0	0.85
350	1	447	610	-	1.36	451	-	1.01	419	-	0.94	418	-	0.94

養生時間 2時間											
工場式			시멘트商標式			全平均式			公団式		
推定値 kg/cm ²	變動 係數	推/実	推定値 kg/cm ²	變動 係數	推/実	推定値 kg/cm ²	變動 係數	推/実	推定値 kg/cm ²	變動 係數	推/実
272	4.0	1.02	238	3.5	0.89	232	2.6	0.87	235	2.7	0.88
234	6.4	0.84	238	3.8	0.86	240	5.1	0.87	242	4.8	0.87
375	6.3	1.12	314	5.5	0.93	289	4.5	0.86	289	4.2	0.86
398	11.3	1.20	331	10.0	1.00	302	8.2	0.91	303	8.7	0.91
426	8.2	1.25	351	7.4	1.03	317	6.1	0.93	340	9.2	0.99
246	7.6	0.68	250	7.6	0.69	292	6.4	0.81	292	5.9	0.81
470	11.3	1.22	384	10.1	1.00	342	8.6	0.89	361	13.6	0.94
646	-	1.45	513	-	1.15	438	-	0.98	520	-	1.16

用하여 比較하기로 했다.

- ① 工場式：各工場마다 求한 實驗式
- ② 시멘트商標式：同一商標의 시멘트를 使用하고 있는 工場의 試驗値를 綜合하여 求한 實驗式
- ③ 全平均式：全工場의 試驗値에서 求한 實驗式
- ④ 公団式：各工場의 材料를 首都高速道路公団의 表示配合에 의하여 섞어 얻은 웨트스크리닝몰탈強度의 平均値를 配合強度에 対応하는 것이라고 간주하여 求한 關係式

現場試驗에서는 레미콘車에서 콘크리트를 採取하여 스텝프, 空氣量, 콘크리트溫度의 測定을 하는 同時에 웨트스크리닝몰탈의 1.5時間, 2時間 養生供試體의 壓縮強度試驗을 하였다.

또, 同時에 $\phi 10 \times 20$ cm 型틀에 의한 콘크리트의 標準養生供試體를 作成하고 材令28日의 壓縮強度試驗을 하였다. 콘크리트 供試體는 斷熱壁을 가진 木箱子 안에서 24時間 養生을 하고 實驗室로 가지고 와서 시멘트 페스트로 컷팅하여 48時間 뒤에 脫型하고 試驗材令까지 標準

養生을 하였다.

또 現場試驗의 對象으로한 콘크리트는 首都高速道路公団에 있어서 比較的 使用頻度가 높은 配合 5種類 ($\sigma_{ck} = 210 \sim 350$ kg/cm²)를 선택하고 10施工現場에서 試驗을 하였다.

前述한 4개의 推定式에서 求한 推定値와 콘크리트의 標準養生供試體의 28日 強度를(表-1)에 보이지만 이것으로 다음과 같은 것을 알 수 있다.

- ① [推定値/実績値]의 値를 보면 1.5時間보다는 2時間으로 推定한 편이 작기는 하지만 精度가 좋다.
- ② 工場式은 대단히 推定하기 쉬운 例가 있는 反面 平均的으로는 推定値가 実績値보다 커지고 危險側의 推定을 하게 되므로 實用上은 問題가 있는 것처럼 생각된다.
- ③ 室内試驗에서는 粗雜이 컸었던 시멘트商標式은 実績値보다 약간 낮게 推定하고 더욱 精度가 좋았다.

④ 하나의 式으로서 全平均式, 公团式은 類似的 傾向을 보이고 推定精度도 0.85 ~ 0.95 程度로 比較的 좋은 結果를 보이고 있다

4. 맺음

콘크리트強度를 短時間으로 判定하고 施工面, 管理面에서 有效하게 利用하기 위한 基礎資料를 얻는것을 目的으로하여 急速硬化判定方法에 의한 콘크리트強度의 早期判定에 關한 試驗을 하였다. 이 試驗은 그 性質上 施工現場에서 容易하게 實施되어야 하므로 가령

- ① 試驗機를 小型化 可搬式으로 하고 있다.
- ② 試料의 採取容器를 비롯하여 必要한 機器類가 셋트로 되어 急結劑도 1回分式 分包로 하고 있다.
- ③ 供試體의 斷面척수가 10cm²程度이고 強度의 換算이 容易하게 되어 있다.

등의 各種 研究가 되어 있다. 그러나 試驗機, 急結劑는 市販이 막 開始된 무렵이었기때문에 性能의 確認試驗등부터 시작하지않으면 안되었 다. 今般의 試驗은 現場試驗時間이 寒冷期였 던만큼 콘크리트에 使用되어있는 材料도 限定 되어 있었지만 우수한 再現性을 보였고 變動이 작고 꽤 좋은 精度로 推定할수있는 結果를 얻었으므로 또한 實用化하기위한 試驗을 거듭 하여 不充分한 點을 보충해 나갈 予定이다. 또 今後의 研究課題 가운데 몇가지를 아래에 기록한다.

- ① 試驗機器는 小型化 되어 있지만 全體의 精度를 向上시키기 위하여 더욱 改良을 계속 할 必要가 있다.
- ② 一連의 作業에 있어서 可能한限 試驗者의 熟練度의 影響이 미치지않도록 配慮 가령 人力으로 하고있는 濕트스크리닝의 作業에 機械를 導入하는것 같은 檢討를 한다.
- ③ 材料의 차이, 季節의 차이(콘크리트溫度나 混和劑의 차이)의 影響을 더욱 檢討할 必要가 있다.

[参考文献]

- 1) 池田尚治 急速硬化에 의한 콘크리트強度即時判定方法에 關한研究 土木学会論文報告集 第255号, 1976年11月
- 2) 池田尚治 混成時점에 콘크리트強度를 判定하는 方法에 關한 研究, 土木学会第31回年次學術講演會講演概要集 第5部, 1976年10月
- 3) 池田尚治 信田佳延, 秋元泰輔, 急速硬化에 의한 콘크리트 強度 即時判定法의 現場實驗, 土木学会關東支部第4回年次研究發表會講演概要集, 1977年1月
- 4) 池田尚治 急速硬化에 의한 콘크리트強度의 即時判定方法, 시멘트·콘크리트 No.366, 1977年8月
- 5) 首都高速道路公团 콘크리트強度의 早期判定에 關한 研究(그1), 1977年3月
- 6) 首都高速道路公团 日本콘설탄트콘크리트強度의 早期判定에 關한研究(그2), 1978年3月

