

콘크리트 구조체의 함수량 측정

鄭 尙 鎮

<檀國大學校 建築工學科 助教授, 工博>

I. 序 論	IV. 高溫下에 있어서 콘크리트 含水量의 測定에 대한 檢討
II. 含水量의 測定方法에 관한 文獻檢討	V. 結 論
III. 電極法에 대해서	

I. 序 論

콘크리트중의 含水量은 強度나 熱特性的의 熱物性值에 커다란 影響을 주고 있음¹⁾이 既存의 研究에서 지적되고 있다. 그러나 콘크리트중의 含水量을 測定하는 기술이 規格화되어 있지 않아 콘크리트 구조체에 있어서 含水量의 把握이 어려운 상황이며, 테스트피스(test pieces)크기의 수준에서 重量測定法으로 含水量을 把握하고 있는 실정이다. 한편 일반 構造物과 마찬가지로 원자력 構造物의 설계에 있어서 安全性을 檢討하는 데에는 高溫下에 있어서 콘크리트의 強度 및 熱特性에 미치는 含水量의 影響이 지대한 것으로 알려지고 있다. 그로 인하여 넓은 온도 범위에 있어서 실제 構造物의 함수분포와 그 시간적인 變化를 지속적으로 조사할 필요가 있다.

따라서 본 研究에서는 溫度履歷을 받은 매스 콘크리트의 含水舉動을 조사하기 위하여 문헌 조사에서 含水測定法으로 電氣抵抗에 의한 전극법(供試體 속에 電極端子를 埋設하는 方法)을 選定해서, 전극법(電極法)으로 常溫으로부터 175℃의 온도 범위에서 含水量의 測定 가

능성을 檢討하는 것을 目的으로 하고 있다.

II. 含水量의 測定方法에 관한 文獻檢討

1. 콘크리트중 상대 습도의 變化를 이용한 測定法

콘크리트중의 自由水量에 따라 相對濕度가 變化되는 것을 利用하여 相對濕度를 媒體로 하여 自由水量의 多少를 評價하는 것이다. 그러나 이 方法은 콘크리트중 自由水의 절대량을 把握할 수 없으며, 콘크리트 部材중의 含水量을 세분화하는 것이 어렵고, 100℃를 넘는 高溫에 있어서 測定이 불가능하여 적용범위가 한정되어 있다. 이 方法을 利用한 測定例는 다음과 같다. Carl. A. Menzel²⁾은 感濕素子 直徑이 25mm의 것을 사용해서 슬라브의 相對濕度의 시간적인 變化를 測定하였다. 이 方法의 測定原理는 含水量에 따라 變化하는 吸着物質인 含水水分이 實測하고자 하는 콘크리트 部位의 濕度와 平衡狀態가 되었을 때의 電氣抵抗을 測定해서 미리 구해놓은 濕度의 抵抗值와의

關係로부터 相對濕度を 推定하는 것이다.

또한 官野³⁾는 $\phi 5 \times 30\text{mm}$ 의 세렌 乾濕素子를 사용하여 콘크리트 블럭내부의 濕度を 測定하였다. 또한 仕入·椎名⁴⁾은 외형 8mm의 植物纖維를 사용한 乾濕素子로서 3種類 두께의 콘크리트 部材에 대해서 相對濕度を 測定하였다. 그리고 長龍⁵⁾은 鹽化리튬으로 피막한 植物纖維를 사용한 乾濕素子로서 콘크리트중의 相對濕度を 測定하였다. 平賀⁶⁾등은 습도에 대해서 可逆性を 나타내는 發色紙를 콘크리트내의 작은 구멍에 넣어서 發色紙의 變色상태로서 콘크리트의 相對濕度を 測定하였다.

이러한 相對濕度の 測定은 感濕素子の 構成材料과 치수가 測定의 應答速度에 影響을 주며, 測定가능한 콘크리트중의 相對濕도와 平衡狀態로 되는 시간이 20分 前後가 되고, 급속한 水分量의 變化에 따라 對應할 수 없는 제약이 있다.

또한 이와 같은 本質의 素子は 내열성이 없으며, 高溫에서의 적용은 불가능하다.

2. 콘크리트의 重量變化를 利用한 測定法

콘크리트중의 自由水量에 의해 變化하는 重量을 測定하는 것으로 水分量의 多少를 評價하는 것이다. 이 方法은 건조함에 따른 콘크리트중 自由水의 變化를 어느정도 알 수는 있어도, 水和로 인해서 분실되는 自由水量을 얻을 수는 없다. 또한 重量測定이 가능한 범위의 소형 테스트피스(test pieces)크기의 수준에서만 적용할 수 있으며, 實際 構造體內部的 含水分分布를 把握할 수 없다. 일반적으로 콘크리트의 乾燥收縮, 크리프등의 소형 테스트피스(test pieces)에 의한 水分量의 評價는 이 方法에 의존하고 있다.

3. 콘크리트의 電氣抵抗을 利用한 測定法

水分을 포함하고 있는 콘크리트가 電解質 材料와 동일한 性質을 갖고 있는 것을 利用한 方

法으로 自由水의 多少에 따라 變化되는 콘크리트의 電氣抵抗으로 含水量을 推定하는 것으로서 필자가 檢討한 것도 이 方法에 바탕을 두고 있다. 이 方法은 콘크리트속에 埋設한 電極端子가 小型化될 수 있기 때문에 實際의 部材斷面 內部的 含水分分布를 測定할 수 있으며, 自動記錄計로 지속적인 變化나 急速히 變化하는 含水率의 測定도 가능하다.

이상으로, 콘크리트 구조체의 含水量測定法에 대해서 기존의 測定例를 알아 보았지만 콘크리트 部材內部的 含水分分布의 測定이 가능하며 常溫에서 高溫까지 適用이 가능하고, 測定할시의 간편함등을 고려하여, 콘크리트 電氣抵抗을 利用한 測定法이 가장 合理的인 方法이라고 생각할 수 있다.

III. 電極法에 대해서

1. 電極法の 測定순서

電極法에 사용한 電極端子의 形상을 <그림 1>에 나타낸다. 전극의 길이(L)는 測定值가 전극사이에 있는 空隙이나 골재의 影響을 고려하여 8cm로 하였다. 電極法에 의한 含水率의 測定은 다음과 같은 순서로 실시한다.

- ① 콘크리트에 埋設한 電極端子에 그림 2에서 나타난 회로로서 1차전압 : $V_1 (=5V \text{ 一定})$ 을 준다.
- ② 2차전압 : V_2 를 測定한다.
- ③ 式(1)로서 電極間의 抵抗值R을 산출한다.
- ④ 미리 구해둔 抵抗值와 含水量의 關係를 나타내는 校正曲線으로 含水量을 求한다.

$$\text{抵抗值}(R) = R_0 \cdot V_2 \frac{1}{V_1 - V_2} \dots \text{式}(1)$$

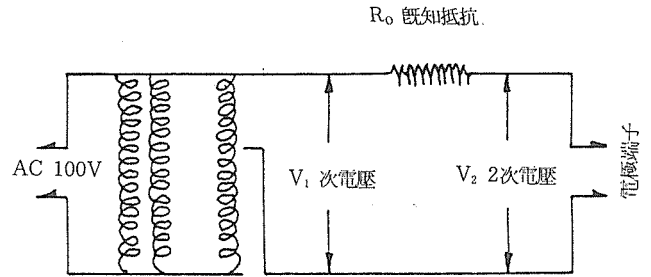
여기서

- R : 電極間 抵抗
- R_0 : 既知抵抗(Ω)
- V_1 : 1次 電壓(V)

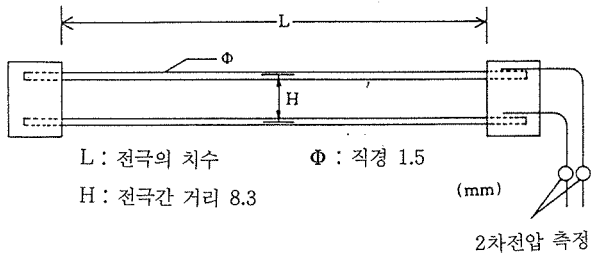
V_2 : 2次 電壓(V)

2. 常溫下에 있어서 철근콘크리트 構造物의 測定例

測定 對象으로한 構造物은 지하2층, 지상3층 철근콘크리트 구조의 사무소 건축물이며, 測定部位는 내부의 기둥으로 하였다. 測定한 결과의 一例를 <그림 3>에 나타낸다. <그림 3>에서는 材畧에 따라 含水量이 적어지며, 表面부에 가까울수록 크게 낮아지고 있음을 보여주고 있다.



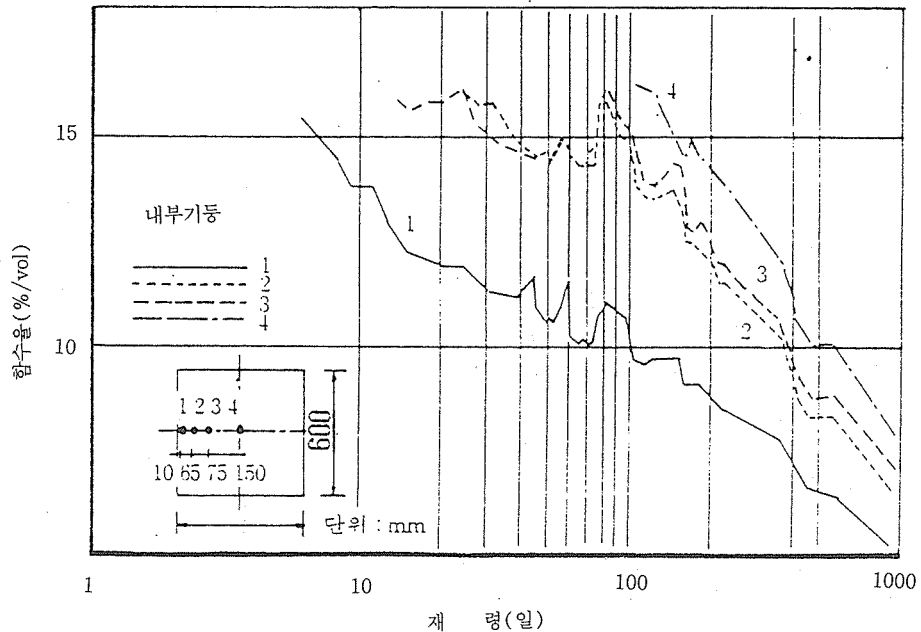
<그림 2> 測定回路



<그림 1> 電極端子

IV. 高溫下에 있어서 콘크리트 含水量의 測定에 대한 檢討

常溫下에서 含水量을 電極法으로 推定하는 것이 실용가능성 있음을 前節에서 지적하였다. 따라서 本節에서는 電極法으로 高溫 콘크리트 部材의 含水量 測定에 대한 가능성 여부를 다음과 같은 단계로 檢討한다.



<그림 3> 含水量의 時間的인 變化

제1단계 : 高溫下에서 校正曲線作成名 供試體의 密封方法에 檢討

제2단계 : 抵抗値와 含水量과의 校正曲線 作成, 抵抗値와 양생材合과의 關係 檢討

제3단계 : 제2단계에서 작성한 校正曲線을 利用하여 推定한 含水量에 對한 精密度의 檢討

1. 實驗概要

(1) 사용재료 및 배합

시멘트는 플라야에서 B종 시멘트를, 굵은 골재는 경질쇄석(비중 2.60, 흡수율 0.86, 조립률 1.14)을, 잔골재는 경질쇄석과 강모래의 혼합골재(비중 2.60, 흡수율 2.68, 조립률 2.62)를 사용하였다. 혼화제는 지연형 감수제 포졸리스 NO.8과 공기연행 조절용 NO. 303A의 AE제를 사용하였다. 콘크리트 배합은 <표 1>과 같다.

<표 1> 콘크리트 배합

물시멘트비(%)	55
세골재율(%)	43
단위수량(kg/m ³)	164
단위시멘트량(kg/m ³)	298
세골재량(kg/m ³)	777
조골재량(kg/m ³)	1030
혼화제(g)	745

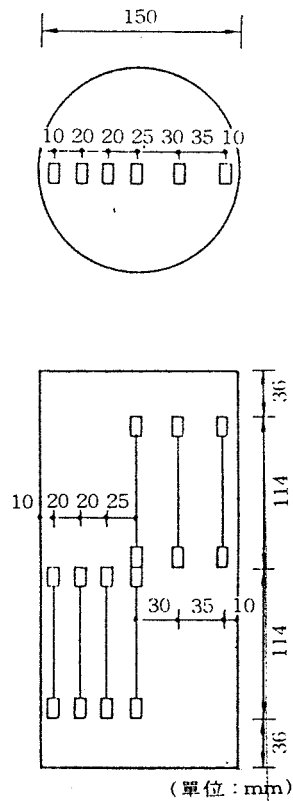
(2) 實驗方法

1) 校正曲線 作成用의 供試體 密封方法
試作한 鋼製密封容器에 물을 넣고 175℃의 가열온도(물의 포화 수증기압 9.1kg/cm²)를 시험적으로 가한다.

그리고 密封容器 개체의 密封을 確認한 密封容器에 다시 電極과 熱電對線을 넣어 각 선으로부터의 물의 누수를 檢討한다. 마지막으로 前述한 密封容器와 密封方法으로 供試體의 重量變化를 확인한다. 아울러 拘束材로서 콘크리트 供試體의 均열방지 效果를 檢討한다.

2) 抵抗値와 含水量과의 校正曲線 作成
電極端子를 埋設한 콘크리트 供試體(입경 10mm이하의 琿자갈 사용 4×4×16cm)의 含水量을 미리 5種類로 變化시켜서 前述한 1)의 實驗結果에 의거한 密封方法으로 密封한다. 密封한 供試體는 10℃의 間격으로 최고 175℃ 온도 範圍까지 가열하며, 각 온도에 對한 電極端子間의 抵抗値를 測定해서 含水量과 온도의 關係를 구한다. 이와같이 해서 校正曲線을 作成한다. 그리고 供試體의 양생재령은 28.56일로 하였다.

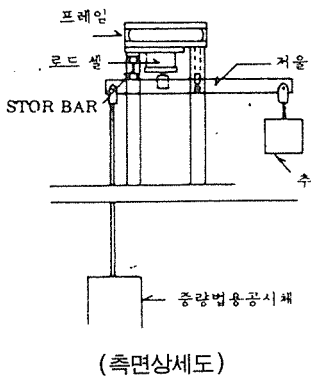
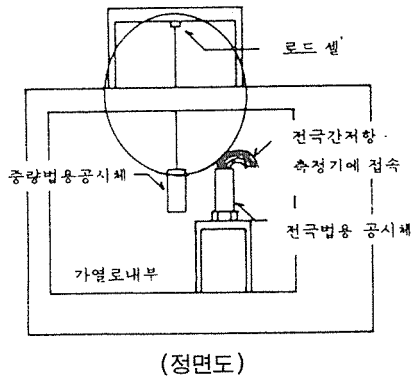
3) 콘크리트 供試體의 含水量 測定



<그림 4> 電極端子의 埋設間隔

콘크리트 供試體($\phi 15 \times 30\text{cm}$)는 <그림 1>의 電極端子를 <그림 4>와 같이 埋設하여 6°C/h 의 가열속도로 하여 175°C 까지 온도를 상승시켜 가면서 供試體를 건조시켰다. 각 온도마다 校正曲線을 사용하여 供試體의 평균含水量을 구하였다.

또한 電極端子를 埋設하지 아니하고 같은 치수로서 동등한 배합으로 제작한 콘크리트 供試體는 前述한 溫度履歷을 주어 <그림 5>에서 표시하고 있는 load cell을 사용한 重量測程器(이하에서 自動重量測定器로 칭함)로 含水量을 구하였으며, 自動重量測定器로 구한 含水量과 電極法으로 推定한 含水量을 상호 비교하였다. 그리고 소정의 양생재령으로 가열건조시킨 供試體는 다시 수중에 넣어 흡수시킨후, 동등한 溫度履歷下에서 실시한 供試體의 含水量推定에 대하여 再現性을 檢討하였다.

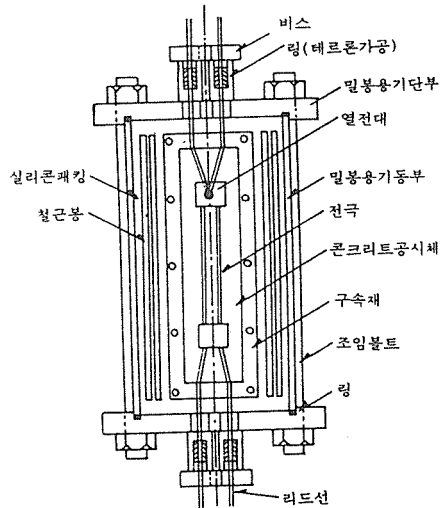


<그림 5> 자동중량측정기와 가열로

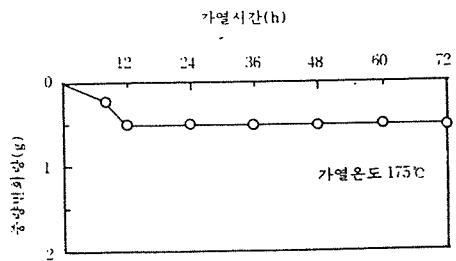
2. 實驗結果와 檢討

(1) 校正曲線 作成용의 供試體 密封

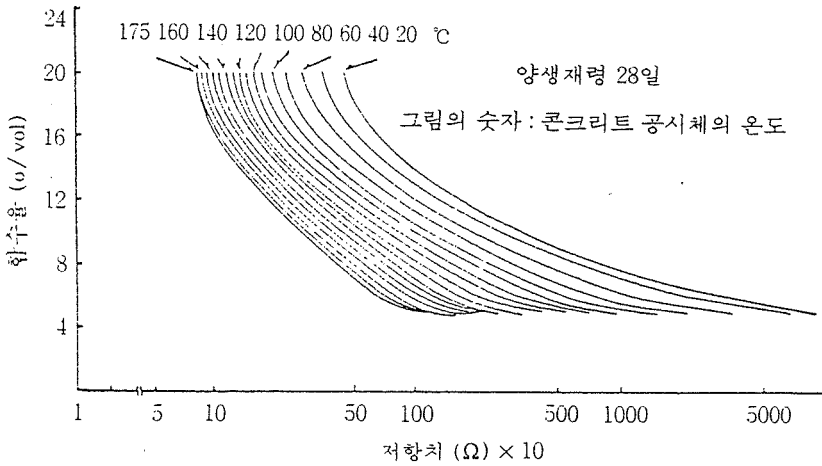
校正曲線 作成용의 콘크리트 供試體는 <그림 6>에서 나타내는 密封方法으로 密封하고, 175°C 로 가열한 결과는 <그림 7>과 같다. 그림에서 나타내는 바와 같이 물의 누수는 거의 없어 密封方法이 완벽한 것임을 알 수 있었다. 그리고 電極端子의 耐熱接着材와 콘크리트의 熱膨脹係數의 차이로 발생하는 供試體의 균열을 <그림 6>에 나타내는 拘束材로서 거의 방지할 수 있었다.



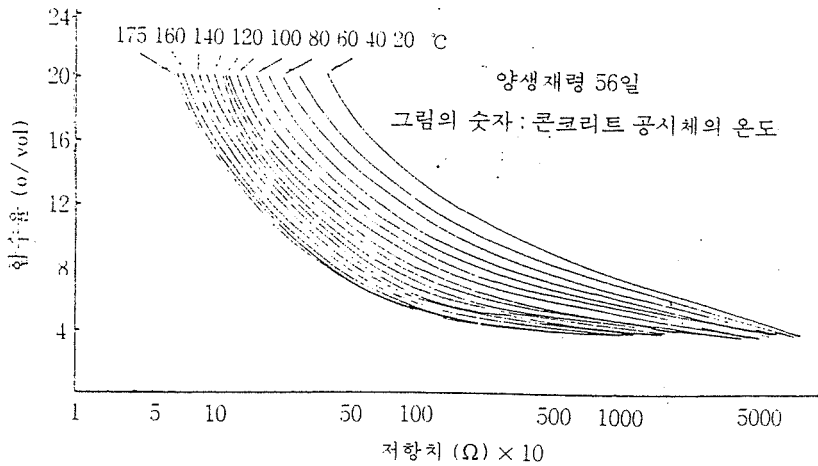
<그림 6> 校正曲線作成용 콘크리트 공시체의 密封方法



<그림 7> 校正曲線作成용 콘크리트 공시체의 密封性



<그림 8> 抵抗値와 含水量의 校正曲線



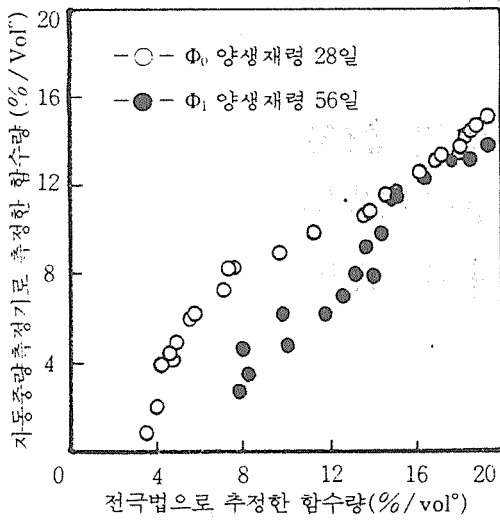
<그림 9> 抵抗値와 含水量의 校正曲線

(2) 抵抗値에 미치는 양생재령의 影響

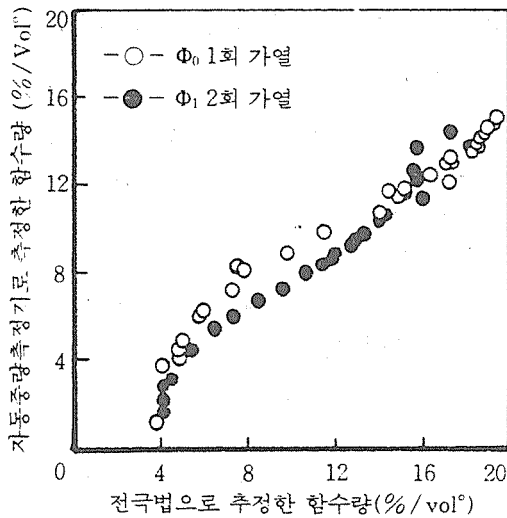
제2단계 實驗으로 작성한 校正曲線을 <그림 8>, <그림 9>에 나타낸다. 양생재령 28일에 작성한 校正曲線과 56일에 작성한 校正曲線을 비교하면, 약간의 차이가 있음을 알 수가 있다. 이와 같은 것은 양생재령의 차이로 생기는 供試體의 水和度가 다르므로 인해 가열중의 自由水가 감소하기 때문으로 해석할 수 있다.

(3) 電極法으로 推定한 含水量에 대한 精密度的 檢討

自動重量測定器로 推定한 含水量과 電極法으로 推定한 含水量과의 關係를 <그림 10>에 나타낸다. 그림으로부터, 양생재령 28일의 供試體로 推定한 含水量보다 양생재령 56일의 供試體로 推定한 含水量의 對應關係가 양호함을 표시하고 있다. 이것으로, 양생재령이 경과함에 따라 推定精密도가 향상됨을 알 수 있다. 또한 양생재령 28, 56일의 自動重量測定器로 測定한 含水量과 電極法으로 推定한 含水量과의 關係는 대개 面線關係에 있음을 알 수가 있다. 가열 건조한 供試體를 다시 흡수시켜 前述한 방법으로 含水量을 檢討한 결과는 <그림 11>에 나



<그림 10> 電極法으로 推定한 含水量의 精密度



<그림 11> 반복가열에 의해 推定한 含水量의 再現性

타낸다. 그림에서 電極法으로 含水量을 推定하는 데에는 再現性이 있음을 알 수가 있다.

3. 소 결

본 實驗으로 常溫에서 175℃까지의 高溫下

에 있어서 콘크리트 供試體의 含水量은 電極法으로 推定 可能性을 把握할 수 있었다. 今後 實際構造物의 含水量 變化를 長期적으로 把握하기 위해서는 電極法의 安定性을 檢討할 必要가 있다.

V. 結 論

본 논문에서 서술한 電極法은 熱電對에 의한 溫度分布 測定과 동등하여 實際部材 斷面內部的 含水量分布을 常溫에서 高溫까지 推定이 가능하며, 콘크리트 構造物의 特性과 含水量과의 關係를 論하는데 有効한 資料를 얻을 수 있는 方法임을 제시할 수 있었다.

參考文獻

- 1) Walter, H.P., "Factors Influencing Concrete Strength", *A.C.I. Journal* (1952. 2).
- 2) Carl. A. Menzel, "A Method for Determining the Moisture Condition of Hardened Concrete in Terms of Relative Humidity", *ASTM*, 55 (1955).
- 3) 官野 외, 「構造體內的 溫度分布와 그 變動에 대해서」(3보), *日本建築學會論文報告集* 76호 (1962).
- 4) 椎名 외, 「乾燥에 따른 콘크리트 部材의 溫度勾配에 關한 研究」, *시멘트 技術年報* (1968).
- 5) 長龍, 「콘크리트, 特히 포장용 콘크리트의 乾燥收縮에 關한 研究」, *東京大學學位論文* (1965).
- 6) 平賀 외, 「發色紙에 의한 콘크리트의 濕度 및 含水測定方法에 關한 研究」, *시멘트 技術年報* (1984).