

# 成形直後 蒸發作用을 받은 콘크리트의 強度에 對한 研究

## A Study on Compressive Strength of Concrete Exposed to Evaporation Immediately After Casting

吳 武 泳\*  
Moo Young Oh

### Summary

The objective of this study was to investigate the characteristics of the evaporation rate, the plastic shrinkage and the compressive strength of concrete exposed to a rapid evaporation environment immediately after casting.

Drying of concrete were conducted under a controlled chamber in which the temperature was mainfomed at  $30 \pm 1$  °C, the relative humidity  $22 \pm 1$  percent, and the wind velocity  $7 \pm 1$  m/sec. The compressive strength of concrete was tested after 28 days of standard curing. The results obtained are as follows:

1. The evaporation rate was the highest at the very beginning, was decreased as the drying progresses, and was kept almost constant after 6 hours.
2. The shrinkage of concrete was changed in three different rates for the concrete mixture having its slump vallue between 3.0 cm and 7.5cm.
3. The plastic shrinkage was ended within 5 or 6 hours after casting, regardless of the water cement ratio.
4. The shrinkage was increased within the limit of slump values between 3.0 cm and 7.5 cm as the water-cement ratio was increased.
5. The evaporation was kept on even after the plastic shrinkage was ended.
6. Within the limit of good workability (slump valuz between 4.5cm and 7.5cm), the compressive strength of concrete was increased when the shrinkage rate was slow but it was decreased when the rate was rapid
7. From the result of this study it is recommended that (1) the water-cement ratio should be less as long as the workability of concrete is allowable; (2) the evaporation should be prevented at least for 4 hours after casting concrete.

\* 忠北大學 農工學科

## I. 緒 論

콘크리트는 시멘트와 물 그리고 骨材가 結合해서 만들어진것으로 시멘트와 물은 시멘트 paste가 되어 骨材의 空隙를 메우고 硬化되면 強한 構造材料를 形成하게 된다.

이 시멘트는 1824年 영국의 Joseph Asp din이 portland 시멘트를 發明한 후 現在까지 重要한 建設材料로 使用되고 있다. 그러나 콘크리트의 材質은 物理的 또는 化學的 性質이 서로 다른 合成材料이며 工事現場마다 다른 條件과 施工法 등으로 均일하고 완전무결한 結果를 얻는다고는 할 수 없으며 아직도 많은 問題點을 남기고 있다.

최근 우리나라는 農業近代化 또는 食糧增産을 위한 農業土木業과 國土綜合開發을 위한 土木事業 등으로 海岸干拓工事 댐 工事 등의 大單位 콘크리트 工事が 많이 있었다. 이와같은 大單位의 콘크리트 施工中에 넓은 콘크리트 表面에서 微細한 收縮균열이 수차 露出되었다.

이 원인은 시멘트의 品質, 骨材의 材質과 粒度, 콘크리트의 규모와 配合, 거푸집, 施工法, 氣象狀態 등 많은 條件때문에 일어난다고 생각할 수 있다.<sup>1)17)</sup>

그러나 잘 設計管理된 콘크리트가 施工中에 表面 收縮 균열을 일으키는 것은 工事現場의 高溫 乾燥 氣候와 強한 風速때문이라고 생각된다.<sup>2)</sup>

暑中 콘크리트에 對하여 콘크리트 示方書에 依하면 第79條에는 콘크리트 溫度가 30°C이상이면 工事中 中止할 것을 要求하고 있다. 吉田<sup>3)</sup>에 依하면 콘크리트의 性質은 水中에서 硬化하면 膨脹하고 空氣中에서 硬化하면 收縮한다고 하였다. A.C.I. Manual<sup>4)</sup>에는 高溫에서 시멘트의 급속한 水和作用과 水分 蒸發때문에 體積變化가 일어난다고 하였다. 美國開拓局의 콘크리트 Manual<sup>5)</sup>에 依하면 콘크리트의 乾燥收縮은 單位水量과 初期濕潤 養生 期間등에 依해 좌우된다고 하였다.

基本的으로 콘크리트 收縮은 單位水量에 關係되며 Slump와 骨材粒度는 單位水量 변화와 함께 收縮에 影響을 준다고 생각된다.<sup>18)</sup>

본 試驗研究의 目的은 콘크리트가 成形된 直後에 高溫 乾燥送風상태에 露出되었을 때 그 콘크리트의 表面에서 일어나는 急速한 水分蒸發率에 따라 일어나는 Plaste 收縮變化特性을 조사하고 乾燥時間의 長短이 콘크리트의 強度에 미치는 影響을 究明하고

자 하는 데 있었다. 그리고 施工法을 改善하여 이 現象을 방지하고 좋은 콘크리트를 제작하는데 도움이 되고자 한것이다.

## II. 研究 史

콘크리트의 強度에 對한 理論은<sup>13)28)31)</sup> 1917年에 Taylor와 Thompson에 의하여 發表된 最大密度理論, 1918年에 Edward의 表面積理論, 1919年에 Abrams의 물-시멘트比 理論, 1921年에 Talbot의 시멘트 空隙理論 등이 있는데 이들 가운데 現在 人정을 받고 使用되고 있는 것은 물-시멘트比 理論<sup>19)20)</sup>으로 이것은 깨끗하고 強硬한 骨材를 使用하고 콘크리트가 plastic하고 Workability가 좋은 범위 안에서는 콘크리트 強度는 配合의 여하에 관계없이 시멘트 paste의 單位 물-시멘트比에 따라 결정되며, 콘크리트強度  $F$ 와 물-시멘트比  $x$ 와의 관계는 다음과 같이 된다고 하였다.

$$F = \frac{A}{Bx}$$

여기서  $A, B$ 는 시멘트의 性質 養生등에 의해서 결정되는 定數라고 한다.

콘크리트의 Plastic 收縮에 對한 研究報告는 처음으로 1957年 Lerch<sup>19)</sup>가 콘크리트 成形直後 처음 몇 시간 동안에 굳지 않은 콘크리트 表面에서 일어나는 收縮을 Plastic收縮이라고 하였으며, 이것은 콘크리트가 아직 Plastic한 동안에 일어나며 또 어떤 重要한 強度를 나타내기前的 狀態라고 하였다.

그리고 Lerch<sup>19)</sup>와 Beresford<sup>4)</sup>는 Plastic收縮균열은 콘크리트가 굳기전에 發生하며 이 本來의 균열된 모양은 정지되고 영구히 남는다고 하였다. 또 蒸發率이 bleeding수가 表面으로 올라오는것 보다 빠르던 Plastic收縮균열은 쉽게 일어난다고 하였다. 1958年 Shachlock<sup>22)</sup>는 굳지않은 콘크리트는 처음에 膨脹하여 2¼時間에 最高에 달하며 계속해서 급속한 收縮이 일어나는데 6時間後는 일정하게 된다고 하였으며 이와같은 初期收縮은 毛細管을 통하여 콘크리트 表面으로 水分이 蒸發하기 때문에 일어난다고 하였다.

1968年 Ravina와 Shalon<sup>23)</sup>는 굳기전 콘크리트의 균열에는 plastic收縮균열과 presetting균열의 두가지 種類가 있다고 하였고 plastic收縮균열 作用은 급속한 蒸發作用에 의해서 상당한 影響을 받으며 이때 收縮과 굽음 作用에서 引張應力이 일어나면 균열이 發生한다고 하였다. 그리고 蒸發作用을 完全히

防止하면 plastic收縮균열 作用은 제거될 수 있다고 하였다. 이와같은 現象에 對하여 콘크리트의 반죽 질기와 水量등이 지배적인 요소인가를 研究할 必要가 있다고 결론 지었다.

콘크리트 收縮에 對한 骨材영향의 研究는 1957年에 Hveen과 Tremper<sup>18)</sup>가 骨材의 性質에 있어서 一般的으로 骨材의 吸水性이 높은것은 콘크리트 收縮을 크게 일으킨다고 하였다. 1965年 Hansen과 Nielsen<sup>19)</sup>은 骨材의 性格에 있어 骨材粒子의 저항작용 효과를 받는 콘크리트는 일반적으로 純시멘트 baste보다 적게 收縮한다고 하였으며 또 骨材粒子에 의해서 나타나는 저항작용의 정도는 콘크리트안에 있는 骨材量에 의해서 결정된다고 하였다. 1973年 Ravina<sup>20)</sup>는 骨材가 乾燥作用으로 인한 콘크리트의 plastic 收縮을 억제 한다는 것을 발견하였고 결과적으로 内部引張 應력은 内部균열과 強度감소 현상과 같은 굵은 콘크리트의 物性を 손상시킨다고 하였다. 最大骨材크기가 크거나 또는 骨材量이 많으면 蒸發作用을 받은 후 굵은 콘크리트의 強度손실과 内部균열은 높아진다고 하였다.

물-시멘트比와 콘크리트 收縮에 대한 研究는 1967年 宮澤 靖<sup>21)</sup>이 乾燥收縮작용은 貧配合의 경우는 적고 富配合의 경우는 크며 均열발생이 쉽게 된다고 하였고 콘크리트 配合에 있어서 同一한 물-시멘트比의 경우는 slump가 큰쪽이 收縮이 크게 되며 同一한 slump의 경우는 물-시멘트比가 큰 쪽이 收縮이 크게 된다고 하였다. 1972年 向井<sup>22)</sup>은 시멘트 paste量의 변화가 협소한 경우의 乾燥收縮은 paste量에 따라서 直線的으로 변하고 paste量이 일정한 경우는 물-시멘트比가 크게 되면 收縮量도 크게 된다고 하였다. 그리고 반죽질기가 일정한 경우 물-시멘트比의 변화에 따르는 收縮은 전체적으로 불매 변하지 않는 것으로 본다고 하였다.

이밖에 養生 收縮強度등에 對한 研究는 1965年 日本콘크리트 委員會<sup>23)</sup>는 콘크리트 強度에 대한 成形 養生條件등의 영향에 대한 시험에서 低溫에 成形하여 高溫에 養生할 경우는 높은 強度를 나타내며 高溫에 成形하고 低溫에 養生할 경우는 낮은 強度를 나타낸다고 하였다. 1967年 slate와 Matheus<sup>24)</sup>는 시멘트 paste와 콘크리트는 養生條件에 따라 처음 24時間內에 1%이상의 收縮 또는 膨脹을 하는데 外部 自由水を 有用할 수 있는 경우에는 膨脹하고 外部 自由水가 有用되지 못할 경우에는 즉시 收縮현상이 일어난다고 하였다. 또 水中에 넣지 않은 養生에서 일어나는 體積변화는 미세한 均열의 원인이 된

다고 하였다.

1969年 Johnston과 Sidwell<sup>10)</sup>은 급속한 건조작용을 받은 콘크리트는 그 内部가 완전히 飽和된 상태에서도 乾燥作用을 받은 表面에는 수축을 일으키며 또 表面에서 内部로 향하는 均열의 착산을 일으킨다고 하였다. 그리고 콘크리트가 천천히 연장된 乾燥작용을 받으면 콘크리트 강도는 약간 증가하게 된다고 하였다. 1970年 Nagataki<sup>25)</sup>는 콘크리트 部材에서 일어나는 乾燥에 의한 收縮應력은 均등하지 않으며 表面에서 크고 内部에서 적다고 하였다. 1971年 椎名<sup>26)</sup>은 콘크리트의 乾燥에 의한 強度변화에 대한 시험에서 콘크리트의 壓縮強度는 乾燥에 따라 변한다고 하였다.

### Ⅲ. 材料 및 方法

#### 1. 시멘트

이 실험에서 사용한 시멘트는 보통시멘트(Type I)이며 物理的 性質은 다음 Table 1과 같다.

이것은 KS 규격안에 있다.

Table 1. Physical properties of normal cement.

Property		Result
Specific gravity		3.14
Fineness (cm <sup>2</sup> /gr)		3,290
Time of Setting	Initial(hr)	2.5
	Final (hr)	5.3
Normal Consistency(%)		26
Soundness		good
Comp.strength (kg/cm <sup>2</sup> )	3 days	151
	7 days	180
Ten. strength (kg/cm <sup>2</sup> )	3 days	23
	7 days	24

#### 2. 骨 材

간骨材는 자연상태의 骨材가운데 KSF 2526의 標準規格에 적합한 것을 채취하여 사용하였다. 간骨材와 굵은 骨材의 채취장소는 다음과 같다.

간 骨材: 충북 청원군 북일면 장대리  
 굵은 骨材: 충북 청원군 현도면 노산리

굵은 골材는 最大크기를 13mm로 하고 골材의 粒度는 土木學會 콘크리트 표준 시방서 13條와 KS F 2524의 標準粒度에 따라 제조하였다. 골材의 品質試驗方法은 각각 KS 규정에 의하였다.

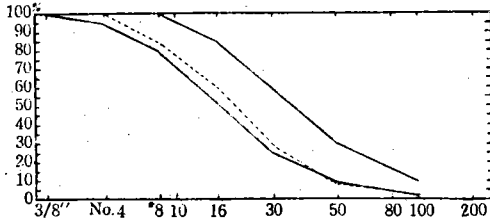


Fig. 1. Gradation curve of fine aggregate.

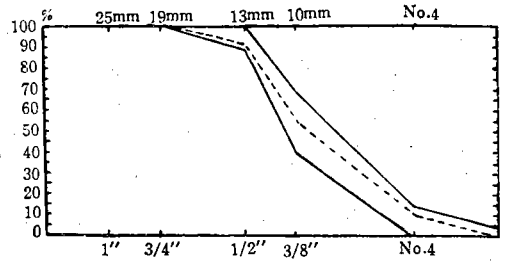


Fig. 2. Gradation curve of coarse aggregate.

잔 골材와 굵은 골材의 각각의 粒度曲線과 品質은 Fig. 1, Fig. 2 그리고 Table 2, Table 3과 같다.

Table 2. Quality of fine aggregate

Item	Specific Gravity	Absorption (%)	Unit wt. (gr/cm <sup>3</sup> )	No.200 Sieve passing (%)	Soundness	F.M	Clay lump	Organic Impurity
Result	2.59	1.33	1,590	0.5	—	3.23	—	good

Table 3. Quality of Coarse aggregate

Item	Specific Gravity	Absorption (%)	Unit wt. (gr/cm <sup>3</sup> )	Abrasion		Soundness	F.M	max. Agg (m,m)
				100R(%)	500R(%)			
Result	2.67	1.66	1,613	—	25.6	—	6.35	13

### 3. 供試體 製作

이 시험에 사용된 供試體는 壓縮強度 試驗用과 Plastic收縮量試驗用이 있다.

KSF2403의 壓縮強度 試驗用 供試體에 대한 규정에 따라 供試體의 크기는 지름 7.5cm, 높이 15cm로 하였다. 收縮供試體는 이에 대한 특별한 규정이 없으므로 ASTM; C157<sup>2)</sup>과 美國 開拓局<sup>3)</sup>의 일반 시험규정을 참고하고 Ravina<sup>29)</sup>의 시험방법을 응용하여서 70×70×300mm 供試體를 제작하였다.<sup>30)31)</sup>

콘크리트 配合設計는<sup>30)31)</sup> 굵은 골材의 最大 크기를 13mm로하고 單位 시멘트량을 380kg/m<sup>3</sup>로 하였다. 그리고 絶對 잔골材率을 47~51% 범위로 결정하였다. 콘크리트의 종류는 물-시멘트비에 따라 S-1, S-2, S-3, S-4 등의 4種으로 제작했으며 壓縮強度 供試體는 KSF2403 규정에 따라 3번복으로하여 6時間동안 時間別 측정을 하기위하여 84개 (4×7×3)를 제작하였고 收縮試驗用은 4개를 제작

하였다.

Table 4. Mix design of concrete.

Mix No.	S-1	S-2	S-3	S-4
Cement(kg)	380	380	380	380
Water(kg)	137	148	159	190
W/C (%)	36	39	42	50
S/a (%)	47	50	50	51
Sand(kg)	890	930	920	896
Gravel(kg)	1,030	960	950	890
Slump(cm)	3.0	4.5	7.5	14.0

### 4. 乾燥試驗

實驗室內에서 콘크리트 供試體를 成形한 직후, 露出된 콘크리트 표면에 급속한 蒸發作用 상태를 供試體에 주기 위하여 Wind Tunnel을 제작하였다. Wind Tunnel의 크기는 0.45×0.45×1.80m로 하고 한쪽 끝에는 送風機를 설치하였다.

乾燥試驗도중의 Wind Tunnel의 안은 風速은  $7 \pm 1$  m/sec, 溫度  $30 \pm 1^\circ\text{C}$ , 相對濕度  $22 \pm 1\%$ 를 계속 유지하였다.

壓縮強度 試驗供試體와 收縮量試驗供試體는 동시에 이속에서 6時間동안 乾燥作用을 받도록 하였다. 蒸發量測定은 壓縮強度供試體를 이용하였으며 계속 6時間동안 매시간 측정하였다.

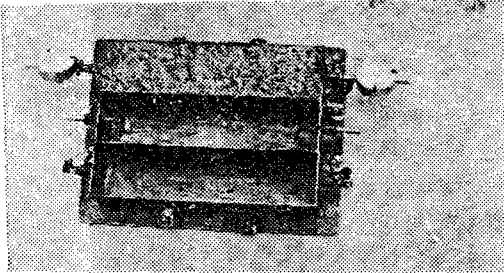


Fig 3. mold for shrinkage measurements of fresh concrete

### 5. 收縮量 試驗

成形直後の 콘크리트가 高溫, 乾燥狀態에서 露出된 表面으로부터 蒸發作用을 받으므로 일어나는 Plastic 收縮量의 變化를 測定하기 爲하여 Fig3과 같은  $70 \times 70 \times 300\text{mm}$  크기의 mold를 제작하였다.

mold의 길이방향 양쪽 끝에는 表面에서 20mm 깊이로 Dial gage를 고정할 수 있도록 holder를 만들었고, 콘크리트속에 묻어서 Dial gage의 끝과 접촉될 수 있도록 된 stud를 준비했으며 이 stud에는 콘크리트를 다질 때 이것이 움직이지 않도록 하는 sleeve를 끼워지도록 하였다.

試驗方法은 콘크리트를 mold속에 다져넣은 후 즉시 sleeve를 빼고 stud가 콘크리트 收縮에 따라서 자유롭게 움직이도록 하고 Dial gage를 holder에 고정시켰다.

콘크리트 成形 直後 mold를 Wind Tunnel 속에 넣고 乾燥作用 (風速  $7 \pm 1$  m/sec, 溫度  $30 \pm 1^\circ\text{C}$ , 濕度  $22 \pm 1\%$ )을 받도록 하였다. 收縮量 測定時間은 6時間동안 매時間마다 蒸發量測定과 同時에 測定하였다.

### 6. 壓縮強度 試驗

KSF2403 규정에 의하여 製作된 지름 7.5cm 높이 15.0cm의 壓縮用 供試體는 Wind Tunnel 안에서 露出된 表面으로부터 蒸發作用을 계속 받고, 매時間 Tunnel에서 3個씩 꺼내서 Polyethylene으로 蒸發하지 않도록 포장하였다가 成形後 24時後에 mold를 除去

하고 KSF 2403 규정에 따라 28日間 養生하였다.

壓縮強度試驗은 KSF 2405 규정에 의하여 施行하였다.

## III. 結果 및 考察

### 1. 蒸發率

各 乾燥時間에 있어서 蒸發率의 測定結果는 Table 5와 같고 이것을 圖示하면 Fig. 4와 같다.

Table 5를 보면 乾燥 2時間과 4時間에서 6個의 測定값이 빠졌는데 이것은 당초 蒸發量의 變化가 적을 것으로 생각되어 2時間 간격으로 測定하려고 했기 때문이다.

Table 5. Evaporation rate of exposed Specimens

Time(hr)	Evaporation rate(kg/m <sup>2</sup> /hr)			
	S-1	S-2	S-3	S-4
1	1.5	1.6	1.7	1.8
2	1.3	1.2	—	—
3	1.2	1.0	1.0	1.4
4	—	—	—	—
5	0.9	0.9	0.5	0.7
6	0.5	0.5	0.3	0.5
7	0.4	0.4	0.3	0.5

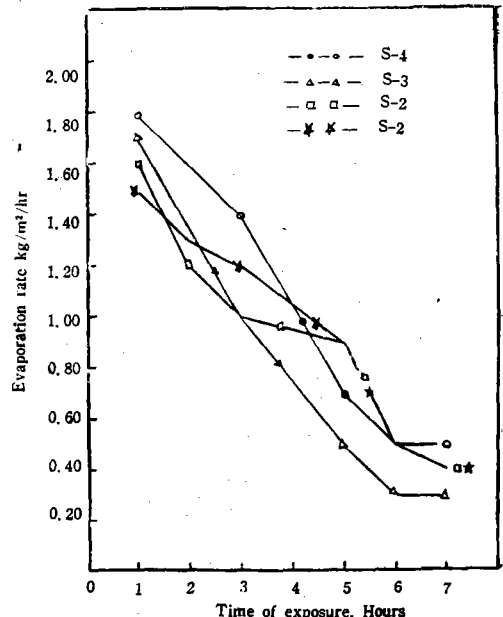


Fig 4. Evaporation rate of exposed specimens

成形直後 初期의 蒸發率을 보면 그 값이 제일 높은 것부터 S-4, S-3, S-2, S-1의 순서로 나타났다. 이 순서는 물-시멘트比 크기 순서와 같은 것이다. 그러나 乾燥時間 經過에 따라 물-시멘트比와는 관계없이 급격히 減少하였으며 대개 6時間 이후부터는 거의 변화를 나타내지 않았다. 그리고 이때 콘크리트는 Plastic 상태에서 굳은 상태로 변화를 시작하였다.

一般的으로 蒸發率은 成形直後 初期에 가장 높으며 乾燥時間 經過에 따라 급히 減少하였는데 이것은 Ravina<sup>20)</sup>의 試驗 結果와 一致하고 있다.

Table 6. Plastic shrinkage versus exposure time

Time(hr)	Shrinkage(mm/m)			
	S-1	S-2	S-3	S-4
1	0.10	0.10	0.21	0
2	0.27	0.31	0.90	0
3	0.40	0.64	1.10	0.10
4	0.46	0.75	1.16	0.18
5	0.48	0.79	1.17	0.21
6	0.49	0.79	1.17	0.21

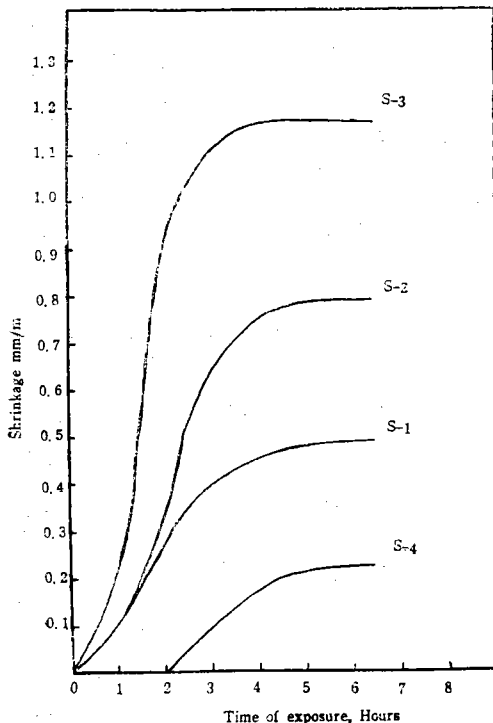


Fig 5. Plastic shrinkage versus exposure time

콘크리트는 Workability가 좋은 配合이면 全部 水和作用에 必要한 量보다 많은 水量을 갖고 있으며, 이 過剩水는 成形直後부터 分離 浮上하는데 콘크리트의 毛細管을 통하여 表面으로 올라와서 蒸發하게 된다.<sup>21)22)</sup>

그래서 콘크리트의 蒸發率은 成形直後 가장 높게 되며 水和作用이 계속됨에 따라 급속도로 蒸發率을 減少하게 될 것이다.

## 2. 收縮量

乾燥時間에 따라 收縮量을 測定한 結果는 Table 6와 같고 이것을 圖示하면 Fig. 5와 같다.

供試體 S-1, S-2, S-3의 收縮量은 成形直後 初期는 변화율이 적고 成形直後 1時間부터 3時間 사이에 대단히 크며 4時間부터 다시 완만하여 졌으며, S-1, S-2, S-3와 S-4까지 전부가 5~6時間에는 완전히 收縮이 정지되었다. 이것은 中條<sup>23)</sup>와 Shachlock<sup>22)</sup>의 보고와 일치한다.

이와 같이 글기 전에 일어나는 收縮을 Lerch<sup>19)</sup>는 Plastic收縮이라고 하였다.

Plastic收縮의 변화율은 앞에 考察한 바와 같이 Fig. 5에서 3단계로 나타났는데 다음과 같은 현상을 알 수 있었다.<sup>23)</sup>

첫단계는 콘크리트 表面이 아직 濕潤하고 收縮은 대단히 한정되었다.

둘째 단계는 體積 變化에 抵抗을 별로 받지 않는 Plastic한 상태로 남아 있는 동안이었다. 이 기간은 配合의 性格과 乾燥作用 상태에 따라 收縮이 매우 빠르고 상당한 값을 나타냈다.

셋째 단계는 콘크리트 組織의 變動性이 水和作用 과水分損失로써 감소된 때이며 또 Skeleton이 콘크리트에 형성된 때라고 생각한다. 이 때 蒸發은 아직 계속되지만 收縮率은 감소되었다.<sup>23)</sup>

收縮量과 물-시멘트比 관계는 Fig5에서 보는 바와 같이 S-3, S-2, S-1의 순서로 물-시멘트比가 크면 收縮量도 크게 나타났으며 또 Slump가 큰 경우에 收縮量도 크게 나타났다. 이것은 宮澤<sup>22)</sup> 何井<sup>23)</sup>, 小野<sup>27)</sup> 등의 보고와 一致한다.

그런데 S-4의 경우는 收縮현상이 成形後 2時間부터 일어났으며 最高收縮量은 S-3의 30%정도밖에 일어나지 않았다. 이것은 물-시멘트比가 높고 過剩水가 너무 많아서 成形直後 膨脹하였다가 수축 3단계 과정을 거치지 않고 셋째 단계로 옮긴 것으로 나타났다. 콘크리트는 成形直後 충분한 自由水를 유용할 수 있으면 膨脹하고 또 自由水를 유용할

수 없으면 收縮하게 된다. <sup>25)26)</sup> S-4의 경우도 過剩水에 의한 膨脹때문이라고 생각한다.

굳지 않은 콘크리트의 露出된 表面에서 일어나는 收縮균열은 Plastic收縮에 의한 急速한 體積變化를 수용할 수 없고 또 이 剛性이 收縮에 의한 内部引張應力에 抵抗하는데 充分한 強度를 發生할 수 없기 때문에 결국 균열을 일으킨다. <sup>19)20)22)</sup> 이와같은 균열은 Fig. 5의 급격한 收縮을 일으키는 2~3時間에서부터 발생할 것으로 생각된다.

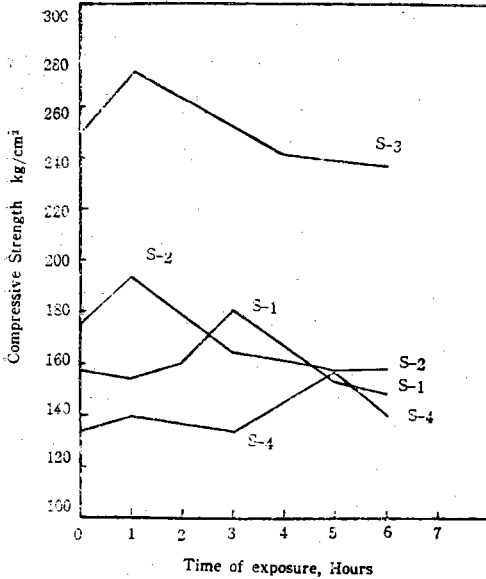


Fig. 6. Compressive strength of exposed specimens(28days)

Table 7. Compressive strength of exposed specimens

Time(hr)	28days strength(kg/cm²)			
	S-1	S-2	S-3	S-4
0	157	175	250	134
1	155	194	274	140
2	161	—	—	—
3	182	165	252	134
4	—	—	241	—
5	154	159	—	158
6	150	160	238	141

### 3. 壓縮強度

乾燥계속時間에 따라 蒸發作用을 한 각각의 供試體의 28日養生壓縮強度를 측정 한 결과는 Table 7과 같고 이것을 圖示하면 Fig. 6와 같이 된다. Table

7의 2時間과 4時間의 측정값에서 7개의 값이 빠진 것은 당초 계획에 있어 2時間以後부터는 강도의 변화가 크지 않을 것으로 기대되어 측정 간격을 2時間으로 계획하였던 때문이다.

콘크리트의 압축강도는 材料의 品質, 材料의 配合, 取扱方法등에 따라 決定된다. <sup>21)</sup> 또 콘크리트가 Plastic 하고 workability가 좋다면 壓縮強度는 配合에 關係없이 물—시멘트比에 따라 決定된다. <sup>19)20)</sup>

Fig. 6를 보면 平均壓縮強度의 크기는 S-3, S-2, S-1, S-4의 순서로 나타났는데 이것은 앞에서 서술된 것과 같이 配合과 取扱에 있어 가장 좋았던 순서이며, S-3와 S-2는 좋은 콘크리트 제작이 있다고 할 수 있으며 乾燥계속 時間에 따라 S-3와 S-2의 強度變化현상은 이 시험에서 다른 것보다 중요한 의미를 갖고 있다고 생각된다.

S-3, S-2 供試體의 蒸發에 露出示킨 것과 완전히 포장된 것과의 사이에 強度變化는 1時間 정도 乾燥시킨 것이 약 10%정도 높은 強度를 나타냈으며 이후 強度는 急降下하여서 4時間부터는 서서히 減少하고 6時間에는 포장된 것보다 5~8% 정도의 낮은 強度를 보였다. 이것은 Ravina<sup>20)</sup>의 시험결과와 일치한다.

S-1은 Slump가 적으며 따라서 Workability와 成形成이 나쁘기 때문에 전체적인 強度가 감소되었다. 乾燥에 의한 強度變化는 成形成初期에 오히려 낮고 3시간에 높아졌으며 이후부터 감소 현상을 나타내고 있다. S-4는 slump가 크며 재료가 너무 流動性이 었고 따라서 強度는 전체적으로 너무 낮게 되었다. 이들 두 재료는 蒸發作用에 의한 強度변화에 있어 어떤 일정한 규칙성을 주장할 수 없다고 생각된다.

### 4. 蒸發率, 收縮量 및 壓縮強度와의 關係

Fig.4과 Fig.5를 비교하여 보면 S-4의 蒸發率은 처음 3時間동안 S-3, S-2, S-1 보다 훨씬 높게 나타났으며 S-4의 收縮量은 아직 일어나지 않고 있다. 이것은 過剩水가 많고 이때 膨脹을 일으킨 상태라고 생각된다. <sup>23)24)</sup> 또 이같은 상태는 전체적인 S-4의 強度의 원인이 되었다고 생각된다.

전체적으로 모든 供試體의 一般의인 蒸發率은 6時間부터 거의 變化가 없었는데 이때 수축은 전부 정지되었으며 콘크리트는 Plastic에서부터 굳히기 시작했다. 이것은 Shachlock<sup>23)</sup>의 보고와 일치한다.

Fig. 5와 Fig. 6에서 보면 S-3, S-2는 收縮量이 빠르게 증가하기 전까지 強度는 增加했으나 이후부

터 계속 減少하고 있다. 그리고 收縮이 완화된 4時間 이후는 強度의 減少率은 鈍하게 되었다. 결국 乾燥에 依하여 強度에 영향을 주는 시간은 급격한 收縮을 일으키고 있는 동안, 즉 4시간 이전이었다.

이와같은 強度減少는 콘크리트의 露出된 表面에서 급속한 蒸發이 일어나면 收縮이 일어나고 이것은 균열에 抵抗하는 引張應力을 發生하여 收縮균열이 나타나게 되고<sup>20)</sup>이 균열은 표면에서 안으로 향하여 확산된다.<sup>20)</sup> 그리고 콘크리트 内部의 成分과 材料의 性質의 차이점등에 의하여 국부적인 内部組織을 파괴할 수 있기 때문에 나타나는 현상이라고 생각한다.<sup>21)</sup>

### V. 結 論

成形直後 高溫, 乾燥狀態에서 蒸發에 露出된 콘크리트의 Plastic收縮과 이 영향을 받은 콘크리트의 壓縮強度에 대한 試驗 結果의 考察에 따라서 다음과 같은 結論을 얻을 수 있다.

1. 콘크리트의 蒸發率은 成形直後 初期에 가장 높으며 乾燥時間 經過에 따라 급속도로 減少하고 6時間 이후부터는 거의 變하지 않았다.
2. 收縮量의 변화율은 Slump 3.0cm부터 7.5cm 사이에서 成形直後 初期는 적고 1時間부터 3時間 사이에 대단히 크며 4時間부터는 다시 적어져서 5~6時間에는 완전히 收縮이 정지되었다. 즉 3단계 收縮 변화를 하였다.
3. 一般적으로 Plastic收縮은 물-시멘트비에 관계없이 成形後 5~6時間이면 정지하였다. 그리고 Slump 3.0cm부터 7.5cm 범위에서는 물-시멘트비가 크면 收縮量도 크게 되었다.
4. Slump 14cm 정도에서는 成形直後 初期에는 膨脹하였다가 다시 收縮하였다.
5. 壓縮強度는 Workability가 좋은 범위 (Slump 4.5~7.5cm) 안에서 완전히 포장된 것보다 成形直後 1時間 정도 蒸發에 露出된 것이 더 增加하였다. 그러나 다시 急降下하고 4時間 이후부터는 서서히 減少하였다.
6. Plastic收縮이 정지된 후에도 蒸發은 初期보다 매우 작은 량이지만 계속되었다.
7. 收縮量의 增加率이 느린 동안은 Workability가 좋은 범위 (Slump 4.5~7.5cm) 안에서 壓縮強度는 增加하지만 增加率이 빠르게 되면 계속 減少하였다.
8. 乾燥에 의하여 強度에 영향을 주는 시간은 급

격한 수축을 일으키고 있는 동안, 즉 4時間內가 되었다.

9. 이상과 같은 結論에 따라 高溫乾燥氣候 아래서의 콘크리트 제작은 成形直後의 收縮과 균열 그리고 強度 減少를 방지하기 위하여 다음과 같은 施工改善이 必要할 것이다.

- ① 콘크리트의 Workability가 좋은 범위 안에서 물-시멘트비를 적게 하여야 한다.
- ② 콘크리트 強度에 큰 영향을 주는 成形直後 4時間 동안은 반드시 蒸發을 억제하도록 表面에 포장을 하여야 한다.
- ③ 콘크리트 溫度上昇을 減少시키기 위하여 低溫材料를 使用하고 적당한 養生 보호가 필요하다고 생각되는데 溫度變化에 대한 영향은 더욱 상세한 연구가 필요하다고 본다.

### VI. 摘 要

이 研究의 目的은 콘크리트를 成形한 直後 蒸發에 露出된 콘크리트 表面에서 高溫乾燥상태의 빠른 蒸發로 인하여 아직 굳기전에 發生한 收縮, 즉 Plastic 收縮特性에 대한 것이며 乾燥時間의 經過에 따라 水分蒸發率, 收縮量 및 壓縮強度 등의 변화와 관계를 조사한 것이다.

이 시험은 試驗室 안에서 溫度 30±1°C, 濕度 22±1°C, 風速 7±1m/sec로 乾燥試驗을 한 것이며 壓縮強度는 28日 標準養生으로 한 것이다.

이 試驗結果에 따라 다음과 같은 結論을 얻었다.

- 1) 蒸發率은 成形初期에 가장 높으며 乾燥時間의 經過에 따라 減少하고 6時間 이후 부터는 거의 변하지 않았다.
  - 2) 收縮量은 slump 3.0~7.5cm 범위에서 3단계 收縮변화를 하였다.
  - 3) plastic收縮은 물-시멘트비에 관계없이 成形後 5~6時間이면 정지 하였다.
  - 4) slump 3.0~7.5cm 범위에서 물-시멘트비가 크면 收縮量도 크게 되었다.
  - 5) plastic收縮이 정지된 후에도 蒸發은 계속 되었다.
  - 6) 收縮量의 增加率이 느린 동안은 workability가 좋은 범위 (slump 4.5cm~7.5cm)에서 壓縮強度는 增加하지만 增加率이 빠르게 되면 계속 減少하였다.
  - 7) 좋은 콘크리트를 제작 하려면
- ① Workability가 허용하는 한 물-시멘트비를 적게 하여야 할 것이다.



引 用 文 獻

- 1) American Concrete Institute(1959); manual of Concrete practice, p. 221~6.
- 2) — pp. 305-1~305-10.
- 3) American Society for Testing materials (1965) 5) Concrete and mineral Aggregate, ASTM part 10 pp 107-113.
- 4) Beresford, F.D. and mattison, E.N. (1958); Presetting Cracks in Fluid Concrete, Constructional Review(Sydney), v. 31, No. 9, pp. 23~26.
- 5) Blakey, B.E. and Bresford, F.D.(1959); Cracking of Concrete, Constructional Review(Sydney), V. 32, No. 2, pp. 24~28.
- 6) Bureau of Reclamation, U.S. Dep. (1955); Concrete manual, 6th Edition, pp. 16~17.
- 7) 콘크리트委員會 (1965); 콘크리트強度におよぼす 成形 養生條件の影響, セメント・コンクリート誌, No. 216, pp. 2~9.
- 8) Hansen, T.C. and mattock, A.H. (1966); Influence of Size and shape of member on the Shrinkage and creep of concrete, ACI Journal, V. 63, No. 2, pp. 267~289
- 9) Hansen, T.C. and Nielsen, Knud E.C. (1965); Influence of Aggregate properties on Concrete shrinkage, ACI Journal, V. 62, No. 7, pp. 783~793.
- 10) Johnston, C.D. and Sidwell E.H. (1969); Influence of Dring on Strength of Concrete Specimens, ACI Journal, V. 66, No. 9, pp. 748~755.
- 11) 木村惠雄(1968); セメントコンクリートの 収縮, セメント コンクリート誌, No.253 pp. 81~84.
- 12) 近藤泰夫, 坂靜雄(1973); 콘크리트工學 핸드ブック, 朝倉書店, pp. 189~231.
- 13) \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_( ); \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ pp. 275~374
- 14) \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_( ); \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ pp.1118~1119.
- 15) 近藤實 (1958); 硬化セメント ベスハ中の 水の形態と 水分の 擴散を 考慮した 乾燥収縮の 關係, セメント技術年報Ⅲ, pp. 136~149.
- 16) Klieger, p. (1955); Effect of Atmospheric Condition During the Bleeding Period and Time of Finishing on the Scale Resistance of Concrete, ACI Journal, V. 27, No. 3, pp. 309~326.
- 17) 國分正胤 (1972); 土木材料實驗, 技報堂, pp. 345~351.
- 18) Leong, T.W. and Warner, R.F. (1970); Creep and Shrinkege in Reinforced Concrete Beams, ASCE Journal, V. 96, No. St. 3, pp.509~533.
- 19) Lerch, W. (1957); Plastic Shrinkage, ACI Journal, V. 53, No. 8, pp. 797~802.
- 20) 丸安, 水野(1969); 콘크리트工學, コロメ社 p. 64.
- 21) \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_( ); \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ pp.122~124.
- 22) 宮澤 清(1967); 콘크리트の 収縮およびひびわれについて, セメント コンクリート誌, No. 241, pp. 4~7.
- 23) 向井 毅(1972); 콘크리트および 몰タル의 乾燥収縮に およぼす 페스드量 空けき量 水セメント比의 影響, セメント 콘크리트, No. 301, pp. 2~8.
- 24) Nagataki, S. (1970); Shrinkage and Shrinkage Restraints in concrete pavements, ASCE Journal, V. 96, No. St. 7 pp. 1333~1358.
- 25) 中條金兵衛, 近藤實 (1953); セメント 몰タル 콘크리트의 早期収縮に 6. ついて, セメント技術年報 7卷, pp. 159~163.
- 26) 盧 熙潤 (1971); 콘크리트配合設計, 建設工學社 pp. 16~73.
- 27) 小野竹之助 (1971); 콘크리트 工學(材料篇 森北出版, pp. 210~226
- 28) \_\_\_\_\_( ); \_\_\_\_\_( ), \_\_\_\_\_ pp. 132~173
- 29) Ravina, D. and Shalom, R. (1968); Plastic Shinkage Cracking, ACI Journal, V. 65, No. 4, pp. 282~291
- 30) Ravina, D. (1973); Influence of maximum Aggregate Size on Compressive Strength of Concrete Exposed to Evaporation Immediately After Casting, ACI Journal, V. 70, No. 8, pp. 582~588.
- 31) 宣 勇(1972); 구조물설계, 야정 문화사, pp.261~299.
- 32) Shachlock, B.W. (1958); The Early Shrinkage

- characteristics of Hand-placed Concrete. Mag. of Concrete Research, V. 10, pp. 3~12
- (33) 椎名國雄(1971); 콘크리트의 乾燥による 強度性狀의 變化, 세멘트, No. 288 pp. 7~13 콘크리트誌
- (34) Slate, F.O. and Matheus, R.E. (1967); Volume Changes on setting and Curing of Cement Paste and Concrete from zero to seven Days, ACI Journal, V. 64, No. 1 pp. 34~39.
- (35) 矢野考文, 徳永直臣(1971); 養生條件を 異にする 콘크리트의 壓縮強度に 關する 實驗, 세멘트콘크리트誌, No. 294, pp. 24~29.
- (36) 吉田徳次郎(1965); 鐵筋콘크리트設計方法, 養賢堂, pp. 109~111.

### 알 립



當學會 會員인 崔在甲先生께서 今年에 回甲을 맞이하게 되었습니다. 오랜 教育生活에 몸을 바쳐온 先生의 앞날에 多福 하심을 全會員과 더불어 祈願하는 바입니다.

- 30. 4. 4-35. 3. 15 公州公立高普 5年卒
- 35. 4. 1-38. 3. 15 平壤崇實專門 3年卒
- 39. 4. 1-41. 12. 27 北海道帝國大學 3年卒
- 42. 2. 13-43. 12. 13 北海道帝國大學助手
- 43. 12. 13-45. 10. 5 江景高女 敎育감결 校長
- 45. 10. 9-46. 10. 8 水原農林專門敎授
- 46. 10. 3-48. 5. 5 서울大, 農大 助敎授
- 48. 5. 9-49. 1. 5 國立農事敎導技師
- 49. 1. 5-52. 9. 30 中央農業技術院經營技術科長
- 52. 6. 30-54. 5. 27 忠南大學校農科大學敎授
- 54. 5. 27-60. 12. 31 忠南大學校工科大學長
- 60. 9. 30-60. 5. 14 忠南大學校敎學處長
- 62. 5. 14-63. 3. 1 忠清大學校農科大學長
- 63. 3. 1-65. 5 忠北大學長
- 66. 3. 1-74. 12 서울大, 農大 敎授