

시멘트 경화체의 건조수축에 관한 기초적 연구

Fundamental Study Of Drying Shrinkage Of Hardened Cement

이 영 진* 김 남 호** 정 재 동*** 이 한 봉****
Lee, YoungJin Kim, NamHo Jaung, JaeDong Lee, HanBong

ABSTRACT

Many papers have been published on drying shrinkage of hardened cement paste and cement mortar. The causes of drying shrinkage in cement mortar may be attributed to its mechanical properties, temperature, curing time and the evaporation of water from cement mortar. This paper deals only with drying shrinkage in cement mortar. In particular, the relationships between water evaporation and drying shrinkage are discussed.

1. 序論

産業의 급속한 發展과 더불어 시멘트는 초고층 빌딩, 水中 地下構造物, 原子力發電所등과 같이 더욱 다양하고 특수한 用途로의 使用이 늘어나고 있다. 그러나 이와 같이 半永久的으로 認識되어온 시멘트 硬化體가 시멘트 자체 耐久性의 脆弱으로 建設材料로서의 주어진 수명을 다하지 못하는 경우도 發生한다. 시멘트 경화체의 耐久性을 左右하는 여러가지 要因들 중에 가장 큰 問題중의 하나인 硬化體의 乾燥에 의한 收縮은, 경화체 表面에 微細한 龜裂을 發生시켜 力學的 破壞의 시점이 되거나 水分, 가스등의 浸透를 容易하게 하는 등의 여러가지 耐久性 低下의 問題를 誘發시키게 된다.¹⁾

本 研究는 시멘트 硬化體의 收縮을 減少시키기 위한 一連의 研究中 國內에서 生産되고 있는 普通 포틀랜드 시멘트의 乾燥收縮量의 把握을 一次的인 目的으로 하며 아울러 收縮에 影響을 미치는 各 要因들에 대하여서도 檢討를 하였다.

2. 試驗方法

2.1 使用材料 및 試驗體의 配合

使用한 시멘트는 1990년 6월에 수집한 國內 生産 6개사의 普通 포틀랜드 시멘트였으며 各各의 化學組成은 表1과 같다. 細骨材는 KS L

5100의 標準砂를 使用했고, 물/시멘트 비는 0.485-0.60으로 變化시켜, 0, 3, 5, 7일간의 水中 養生後 各各의 乾燥收縮量 測定에 使用하였다. 또한 시멘트 몰탈의 配合는 시멘트/모래 비를 1/2.45 및 1/2.75로 하였으며, 시멘트 몰탈의 混合은 KS L 5109의 方法에 準하였고, 2.54×2.54×25.4cm 크기의 試驗體를 製作하였다.

2.2 養生 및 測定方法

乾燥收縮量의 測定은 다이얼 게이지(最小 2 μm)를 利用하였고 소정일 水中 養生한 試料를 表面 乾燥前 길이 및 重量을 測定한 후 20℃,

표 1. 사용 시멘트의 화학성분

(wt%)

시료명 화학성분	A	B	C	D	E	F
L01	2.26	2.01	1.14	1.67	1.96	1.30
SiO ₂	21.41	21.37	21.39	21.44	21.51	21.51
Al ₂ O ₃	6.39	6.08	5.45	5.74	5.97	5.93
Fe ₂ O ₃	2.89	3.00	2.98	3.27	3.17	3.11
CaO	60.51	60.35	62.78	59.95	60.84	61.42
MgO	3.07	3.39	2.60	4.07	2.57	3.35
SO ₃	2.39	2.20	2.27	2.50	2.64	2.21
K ₂ O	0.76	1.09	1.19	0.99	1.00	0.90
Na ₂ O	0.14	0.35	0.03	0.04	0.05	0.06
F-L	0.62	1.15	0.62	1.27	0.84	0.68

* 단체회원 동양시멘트 기술연구소 연구원

** 단체회원 同, 주임연구원

*** 정 회 원 同, 선임연구원, 공박

**** 단체회원 同, 책임연구원

相對濕度 60%의 恒溫恒濕槽에 保管하여 1일 간격으로 測定하였다.²⁾ 乾燥 重量變化는 收縮量을 測定한 것과 同一한 試驗體를 利用, 0.01g까지 測定하였다. 測定中 實驗室 溫度는 23°C였고 相對濕度는 60±5% 이었다.

3. 結果 및 考察

3.1 國內 시멘트의 乾燥收縮率

國內의 6개사가 生産한 普通 포틀랜드 시멘트의 乾燥收縮率을 測定한 結果는 그림 1과 같으며 이들의 物性試驗 結果는 表2에 나타내었다. 그림1에서 보는 바와 같이 乾燥 收縮率은 材令 3 日에서 0.045-0.054%, 材令 7日에서는 0.062-0.080%, 材令 28日에서는 0.072-0.088%의 收縮率을 나타내고 있다. 이와 같은 結果는 各 시멘트의 化學成分에 의한 것으로 사료되고, 주로 Al_2O_3 및 SO_3 와 밀접한 關聯을 가지고 있는 것으로 判斷되며, 그 외에도 粉末度 등이 影響을 미치는 것으로 생각된다.³⁾

또한 그림2는 乾燥收縮에 同伴한 重量變化率을 나타낸 것이다. 重量變化率은 收縮率과 같은 傾向을 나타내는 것으로 보아 内部 水分의 變動이 收縮變化 性狀을 左右하는 것으로 사료된다.

표 2. 사용 시멘트의 물리적 특성

시료명 시험항목		A	B	C	D	E	F
주도(%)		25.5	24.5	25.0	25.5	24.0	25.5
응결 (분)	초결	254	220	222	212	220	212
	중결	396	378	376	341	340	340
안정도(%)		0.17	0.44	0.15	0.21	0.18	0.19
압축 강도 (Kg/ Cm ²)	3일	201	184	207	209	191	227
	7일	289	269	300	281	296	358
	28일	392	349	370	355	351	424
비표면적 (Cm ² /g)		3436	3779	3208	3655	3469	3430

3.2 시멘트 물탈의 乾燥收縮

乾燥收縮 試驗을 행한 結果는 그림3, 4, 5, 6과 같다. 그림3에는 물/시멘트비 0.50에 있어서 各 水中養生 期間별 收縮量과 乾燥材令의 關係를

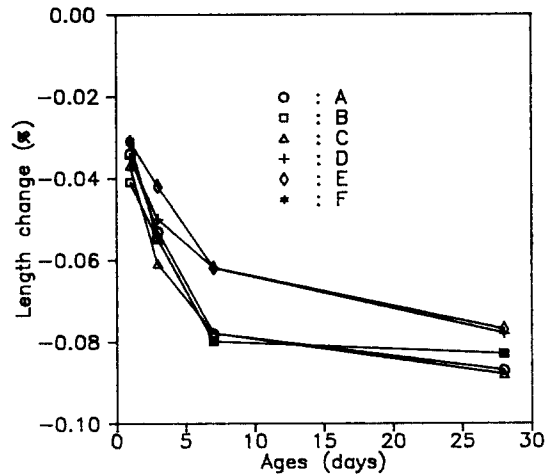


Fig.1 Relation between length change and ages according to various cement.

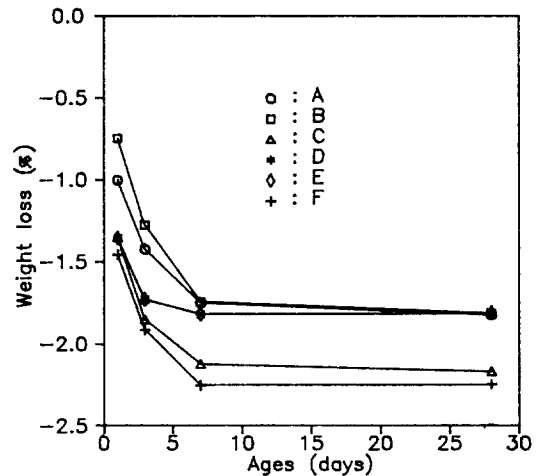


Fig.2 Relation between weight loss and ages according to various cement.

나타내었다.⁴⁾ 그림4에서는 水中養生期間 3日, 물/시멘트비 0.50, 0.55, 및 0.60에 대한 收縮量과 乾燥材令의 關係를 나타낸 것으로 同一 물/시멘트 비에 있어서 硬化體의 收縮量은 水中養生期間이 길수록 增加하는 傾向을 보이고 있음을 알 수 있다.⁵⁾ 또한 탈형직후 乾燥한 試驗體에 비하여 平衡에 到達하는 시기는 늦어지고 있다. 즉 탈형직후 60%의 相對濕度의 乾燥狀態에 놓인 試驗體는 材令 1주일까지 급격한 收縮을 보이다가 그 이후에는 材令增加와 더불어 비교

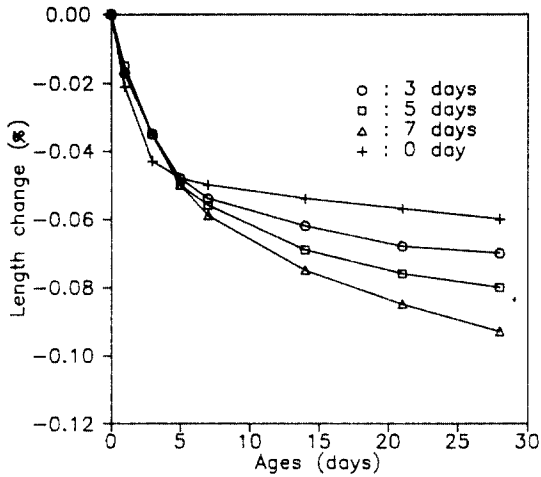


Fig.3 Relation between length change and ages according to each water curing time (W/C=0.5).

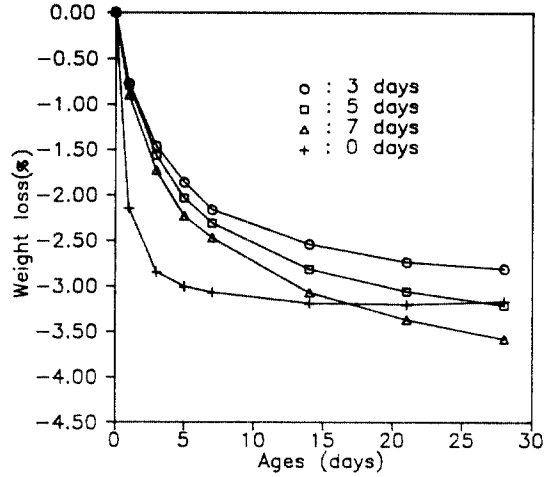


Fig.5 Relation between weight loss and ages according to each water curing time (W/C=0.5).

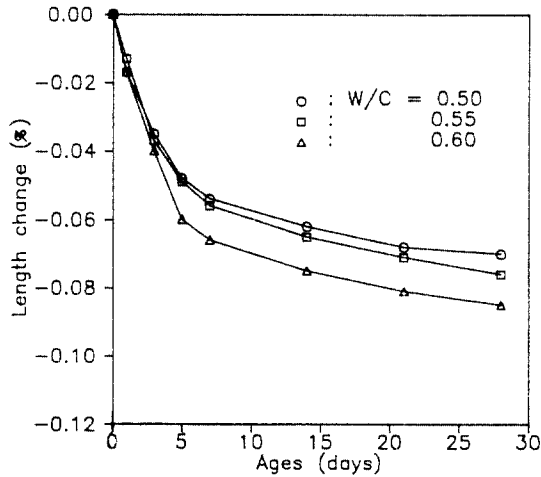


Fig.4 Relation between length change and ages according to each W/C ratios (3days in water curing).

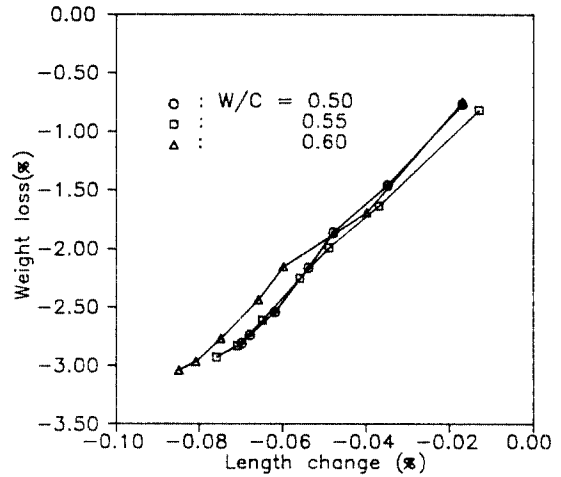


Fig.6 Effect of length change on water loss of mortars of different W/C ratios.

적 완만한 수축을 보이고 있는 반면에 水中養生을 한 경우에는 큰 폭으로 수축률이 커지고 있음을 알 수 있다. 이는 同一한 물/시멘트 비를 갖더라도 초기 水中養生으로 인하여 試驗體 内部의 微細氣孔 發達에 의한 毛細管 張力の 變化에 起因함으로 考察된다. 즉 硬化體 組織이 보다 緻密해 짐으로서 外部의 水蒸氣壓과 平衡을 이루는 毛細管의 發達로 水分의 離脫을 어렵게 하고, 또한 水分의 離脫에 의한 内部應力도 높아지게 되므로 同一한 重量 減少率에 대한 수축

率도 큰 差異가 있을 것으로 推測되며 이러한 사실은 그림5의 乾燥材齡에 대한 重量變化率과 그림6의 重量變化率에 대한 수축률과의 關係에서도 잘 나타나 있다. 즉 그림6은 물/시멘트비가 다른 경우의 乾燥收縮量과 重量變化率과의 關係를 水中養生 3일에 대하여 나타내었는데 同一한 重量變化率에 대한 乾燥收縮量은 水中養生期間 및 물/시멘트비가 變化하는 경우에 있어서와, 탈형직후 乾燥한 경우와는 매우 다른 樣相을 보여주고 있다. 水中養生을 했을 경우 물/시멘트비의 변화, 또는 水中養生 期間

의 변화에 따라 同一 乾燥材畝에 대한 收縮率 및 重量變化率은 비록 큰 차이는 있지만 거의 線型的인 關係를 나타내고 있다.⁶⁾ 그러나 탈형 직후 乾燥狀態에 놓인 試驗體는 위의 結果와는 매우 다른 結果를 보여주고 있다.⁷⁾ 同一 重量變化率에 대한 收縮量은 물/시멘트비가 높을 수록, 初期 乾燥材畝보다는 後期 乾燥材畝 일수록 收縮量은 增加하고 있음을 나타내고 있으며, 이는 硬化體 内部의 微細構造, 즉 水分의 存在狀態 및 毛細管의 分布狀態와 밀접한 關聯이 있을 것으로 考察되며 앞으로 이에 대한 綜合的인 研究가 계속되어야 할 것으로 생각된다.

4. 結論

1) 國內 6개사 生産 普通 포틀랜드 시멘트의 收縮率은 20°C, 相對濕度 60% 시, 材畝 28日에서 0.072~0.088%의 收縮率을 나타내고 있으며 이러한 약간의 差異는 각 시멘트의 化學成分, 특히 Al₂O₃, SO₃ 및 粉末度등의 影響으로 사료되며, 國內 각사 OPC의 수축율은 허용 수축율을 모두 만족하고 있다.

2) 同一한 물/시멘트 비에 있어서의 硬化體의 乾燥收縮量은 養生期間이 길수록 增加하는 傾向을 보이고 있으며, 水中養生을 하지 않은 試驗體에 비하여 平衡狀態에 到達하는 時期는 늦어지고 있다.

3) 同一 乾燥材畝에 있어서는 물/시멘트 비가 增加 할수록 收縮量 및 重量 減少率은 增加하고 있다. 이는 물/시멘트 비가 增加함에 따라 硬化體 内部의 모세관 공극을 增加시킴에 起因한 것으로 사료된다.

4) 乾燥 收縮率과 重量 變化率은 상당히 密接한 關係가 있는 것이 명확하며 乾燥材畝이 增加함에 따라 水分移動이 많아져 毛細管 張力의 上昇으로 인해 同一 水分發散으로도 收縮量은 현저히 增加함을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. I. Soroka, "Portland Cement Paste and Concrete," 1979, London.
2. H. Roper, "Cement Paste Shrinkage Relationship to Hydration Young's Modulus and Concrete Shrinkage," Proceedings of the Fifth International Symposium on the Chemistry of Cement, 1968, Tokyo.
3. D. Ravina and R. Shalon, "Plastic Shrinkage Cracking," ACI Journal, 282-292, April 1968.
4. M.D. Cohen, J. Olek, and W.L. Dolch, "Mechanism of Plastic Shrinkage Cracking in Portland Cement and Portland Cement-Silica Fume Paste and Mortar," CCR, Vol.20, 103-119, 1990.
5. K. Sakata, "A Study on Moisture Diffusion in Drying and Drying Shrinkage of Concrete," CCR, Vol.13, 216-224, 1983.
6. M.D. Cohen, B. Mobasher, "Drying Shrinkage of Expansive Cements," J. Mater. Sci., Vol.23, 1976-1980, 1988.
7. 米倉亞州夫 外 2人, "モルタルの乾燥收縮および"クリ-フ", セ技年報, Vol. 39, 1975.