

# 氣泡連行(Air-Entrained) 콘크리트에 關하여

張 復 基

〈全南大 工科大学 無機材料工學科 工學博士 副教授〉

## 1. 概要

시멘트 겔의 物理化學的 性質上 및 시멘트 硬化體(石)의 微細組織(氣孔構造: gelpore, micropore, wide pore/capillary pore 및 air void) 上 콘크리트는 건조와 濕潤의 과정이 되풀이 되는 동안에 수축과 팽창을 일으키게되며, 그 結果 漸次로 콘크리트 組織의 脆弱化가 招來된다. 그리고 이러한 組織弱화 現象은 콘크리트가 - 特히 熱膨脹係數가 매우 相異한 骨材를 使用할 時 - 심한 溫度變化에 處하게될 때도 일어난다.

콘크리트의 物性은 또 콘크리트가 凍結 - 融解의 反復에 얼마큼 抵抗할 수 있는가에 따라서도 영향을 받는데, 이의 程度는 前述한 수축 - 팽창 및 溫度變化에 依한 경우보다 훨씬 심각하다. 즉 凍結融解의 反復에 依하여 콘크리트 組織은 甚하게 破損되는 수가 있는데, 筆者가 經驗한 한 事例의 경우는 이렇다: 南海岸의 某 海產物 集散 및 加工地에 1,000㎡以上 크기의 冷凍倉庫를 레미콘으로 建立하였는데, 얼마 못가서 倉庫內部壁이 5cm 두께로 부스러져 剝離가 되었다.

## 2. 凍害作用 및 그 機構

凍結融解가 콘크리트에 미치는 侵蝕作用은 간

단히 말하자면 물이 結水할 때 約 10%의 容積 膨脹을 일으키는 事實에 根據한다. 즉 水分으로 포화된 콘크리트는 零下(約  $-1^{\circ}\text{C}$  以下)의 溫度에서 結水으로 因한 큰 팽창을 當하면서 이에 相應한 自體 組織의 弛緩을 結果하게된다.

水分으로 포화된 콘크리트가 받는 結水作用의 侵蝕은 콘크리트 構造物의 한 側面(콘크리트道路, 建物の 外壁 等等)에서, 또는 稿脚 其他 單獨으로 設立된 支柱와 壁 및 集水댐의 경우처럼 여러 面에서 同詩에 일어날 수 있다(그림1 참고). 그림에서 보는 것처럼, 壁表面에서부터 毛管水가 結水하게 되면, 이로 因한 부피 팽창으로말미암아 보다 內壁에 位置한, 아직 얼지 않은 毛管水는 콘크리트 內部로 밀려 移動하게되면서 큰 水壓(hydraulic pressure)을 作用하게된다(특히 그림의 右側의 경우). 그리고 이 水壓으로 因하여 콘크리트組織은 永久的인 非可逆的 膨脹을 일으키게 되며, 특히 콘크리트 表面의 脆弱한 部分에서 表面剝離를 誘發한다.

또 冬季에 道路上의 除雪이나 解氷을 爲하여 融解用 鹽類(食鹽, 염화칼슘 기타)를 撒布하는데, 이 때 道路表面은 前述한 凍害의 侵蝕을 보다 強하게 받게된다. 融解劑 撒布 時 鹽의 作用으로 道路上의 눈이나 얼음은 勿論 溶解하게되겠지만, 이 溶解에 必要한 重量(334KJ/kg ice)은 結局 主로 콘크리트 自體로부터 取해지기 때문에, 콘크리트는 이로 말미암아 순간적으로

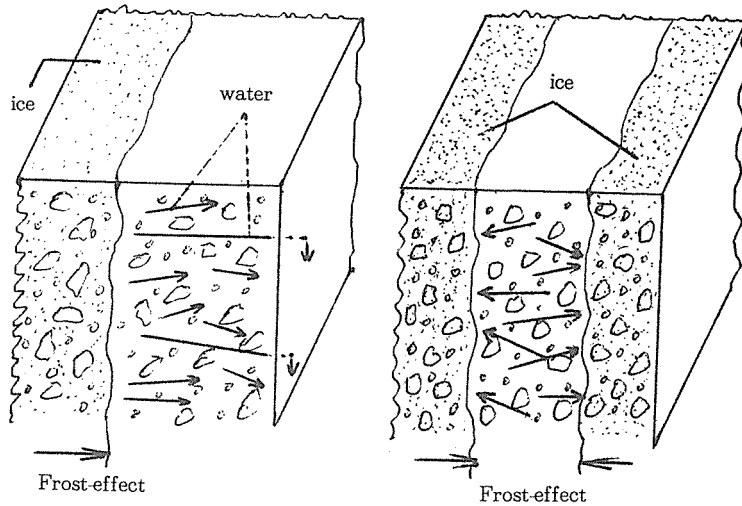


Fig. 1. Schematized representation of a one side and a two sides frost reaction

急作스런 그리고 큰 溫度降下(寒冷쇼크)를 當하게된다. 그 結果 콘크리트 內의 毛管水가 갑자기 結水하게되고 同詩에 溫度變化에 따른 應力(一例:  $40\text{ kg/cm}^2$ )을 받는다. 融解劑의 使用時에 우선 寒冷쇼크를 받는 콘크리트의 表層과 그리고 融解劑가 아직 浸透되지 않은 部位가 各各 結水하게된다. 反面에 이 두 層 사이에 存在하는 部位는 融解劑의 濃도變化에따라 時間的으로 보다 後에 結水하게되지만, 이 새로

운 結水으로 因한 體積의 膨大는 이미 結水했던 콘크리트 層에 壓力을 加하는 結果를 낳는다(그림2 참고). 그리고 이 壓力은 결국 콘크리트 表層組織을 弛緩시키거나 甚한 경우 表層 剝離를 惹起한다.

結水侵蝕의 程度는 콘크리트 內 毛管水의 含量, 따라서 混合水의 量(w/c)에 따라 左右되는데(그림3 참고), 完全히 水和한 시멘트는 化學的 및 物理的(gelpore 및 一部分의 air void)으로

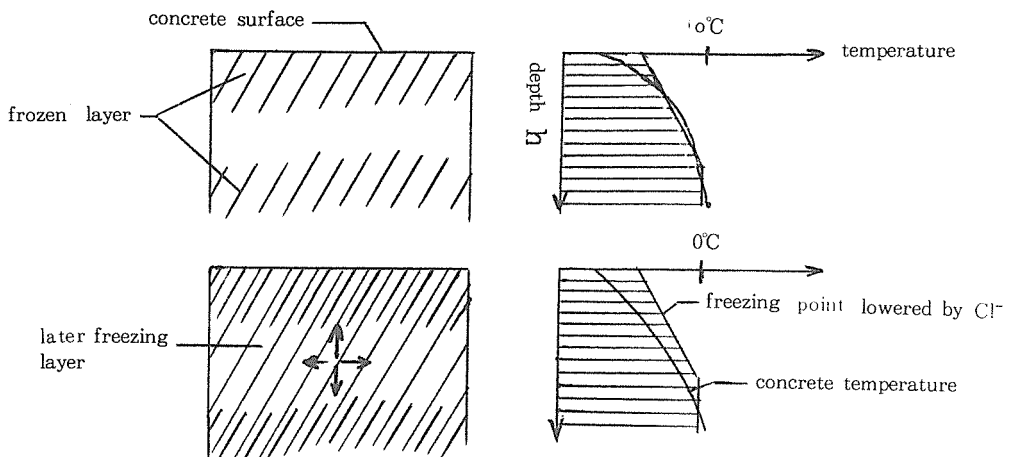


Fig. 2 The incline of concentration of the chloride content is lowering the freezing point and is considered as the reason for the following freezing of an intermediate zone

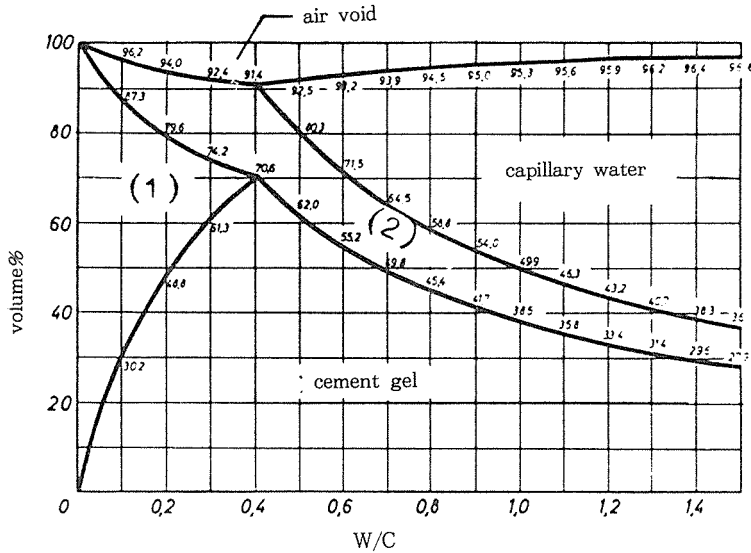


Fig. 3. Volume portion of each component of cementstone in dependence upon the water-cement ratio (Hydration grade 100%)  
 (1) : unhydrated cement (2) : gelwater

絶 40%(W/C=0.40)의 물을 결합함으로凍結融解侵蝕은理論上으로毛管이形成되는W/C>0.40의경우에문제가된다.

### 3. 獨立 連行氣泡

獨立氣泡를 콘크리트 內에 連行하는 첨가제(AE劑)를 使用하여 前述한 凍結融解 抵抗性を 提高할 수 있다. 氣泡는 結水으로 因하여 생기는 水壓을 吸收하는 완충작용을 하기 때문이다.

氣泡連行을 爲한 添加劑로는 alkylarylsulfonate, polyamine, polyglycoether 및 기타 resin-soap들이 使用된다. 그리고 이들의 添加로 凍害가 防止되기 爲해서는, 連行되는 氣泡의 크기가 毛管보다 분명히 더 커야(특히 直徑≤0.3mm의 氣泡가 適合)하며, 그 量은 理論的으로 남은 氣孔의 9%는 최소한 達해야한다(融解時 물은 크기가 보다 작은 毛管으로 吸込作用에 依하여 다시 移動해 간다). 또 氣泡 相互間의

距離(AF)도 同詩에 考慮되어야하는 바,  $AF \leq 0.25mm$ 라야한다(AF는 콘크리트 內 任意의 一點을 기점으로하여 가장 가까이에 存在하는 氣泡들 까지의 平均 距離를 말함).

凍結融解 抵抗성이 큰 콘크리트의 全氣泡量 例를 몇가지 提示하면 表1에서 보는 바와 같다. 表의 例示에 依하면, 粗立分이 增加할수록 즉 시멘트 含量이 減小할수록 凍害防止를 爲하여 必要한 全氣泡含量은 低下되고 있다. 그런데 AE劑의 効能은 여러 因子들에 依해 決定된다. 즉 細砂 및 微粒의 含有量 外에 시멘트의 種類, 콘크리트의 조도, 混合方法과 時間 그리고 溫度 및 或 同詩에 添加되는 다른 혼화제들에 의해서도 영향을 받는다. 따라서 生콘크리트에 실제로 連行된 氣泡量을 콘크리트 使用 前에 점검할 必要가 있다.

그림 4~6에 凍結融解 抵抗성이 良好한 콘크리트의 현미경(그림 4) 및 走査電子현미경(그림 5) 寫眞을 圖示하였다. 특히 그림 6은 copoly-

Table 1. Total air-void contents for concrete with high frost-resistance

concrete composition	concrete with largest grains of		
	7mm	30mm	50mm
contents(kg/m <sup>3</sup> ) of cement + fine - grains up to 0.2mm	500	400	300
water contents(1/m <sup>3</sup> ) up to	210	170	155
finemortar contents(grains up to 0.2mm + water) in volume %	38	30	26
total air-void contents of concrete in % (average-value at least)	4.5	3.5	3.0

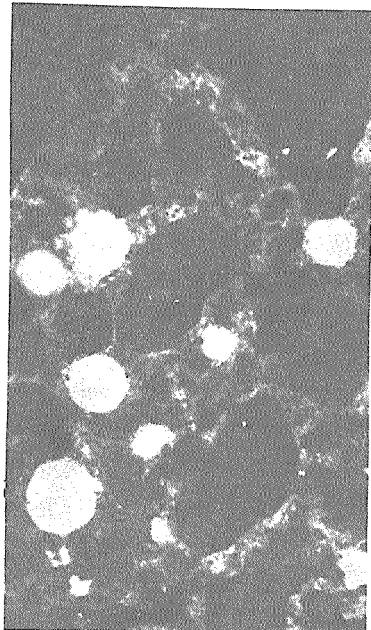


Fig. 4. Concrete resisting to the freezing-thawing alternating. Microscopic examination with an embedded fluorescent material.

Black : aggregates,

White : cavities, here spherical air pores,

Grey : cement stone

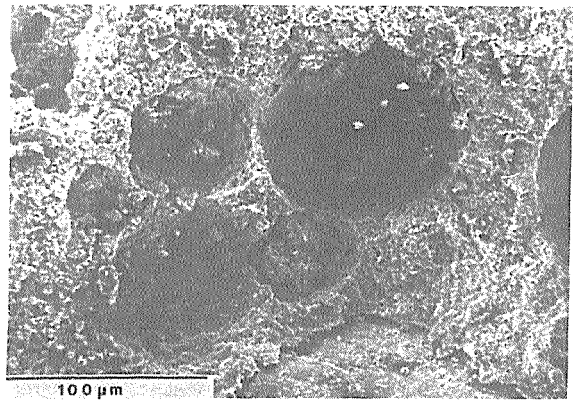
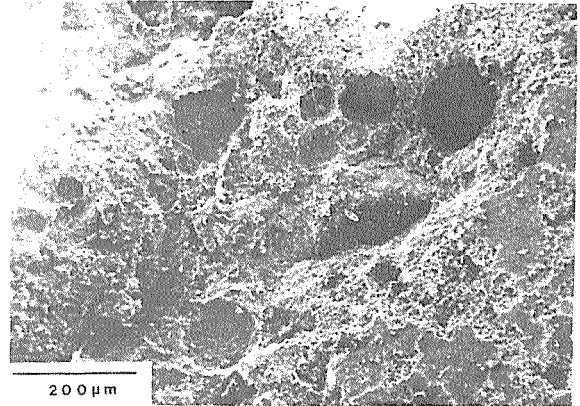


Fig. 5. Electronic scanning microscope photo of air-entrained concrete produced with AE agent

mer(vinyliden-chlorid-acetonitril)의 空球(직경 20-40 $\mu m$ )를 보여주고 있는데, 이 球는 安定하고 콘크리트 混合過程에서 파괴되지 않으며, 이 AE콘크리트는 強度減少도 근소한 것으로 알려져 있다.

#### 4. 氣泡連行 콘크리트의 特性

그림 7에 氣泡를 전혀 包含치 않은 경우와 16%의 氣泡를 含有한 시멘트 硬化體(石)의 溫度에 따른 試片 길이 變化를 提示하였다. 氣泡를 含有치 않은 試片은 溫度가 零點 以下로 降下함에 따라 約 -6°C에서부터 急히 膨脹함을 잘 보여주고 있다. 그리고 다시 昇溫融解시켰을

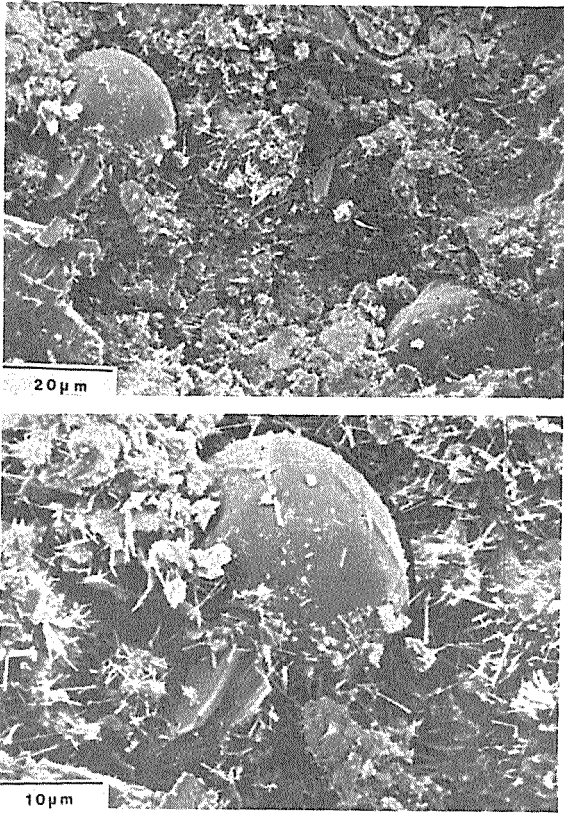


Fig. 6. Electronic scanning microscope photo of air-entrained concrete : with hollow microspheres

때 結氷으로 招來되던 팽창은 漸次 다시 還元되지만, 0°C 以上에서는 거의 體積變化를 나타내지 않는다. 그러나 試片은 -25°C 때 나타났던 팽창의 約 1/3에 相當하는 所謂 “永久 結氷 膨脹”, 즉 硬化體 組織의 脆弱化를 겪게된다.

다른 한편으로 16%의 氣泡을 包含한 試片은 溫度變化에 따라 수축·팽창의 單純한 體積變化를 나타낼뿐, 體積의 永久의인 變化는 結果하지 않고있다. 이는 毛管水의 結氷膨脹에도 不拘하고 原來의 硬化體組織에 變化가 發生치 않음을 意味한다. 그리고 氣泡含量이 8~10%일 때, 시멘트硬化體는 +20~-20°C 사이에서 寫眞的으로 容積變化를 나타내지 않는것으로돼있다.

氣泡導入의 影響으로 그림 8에서 아주 印象

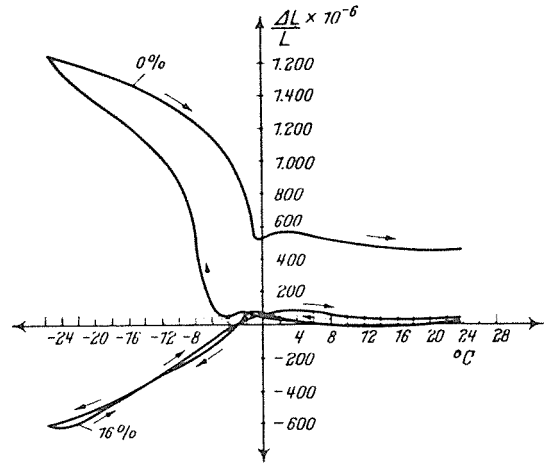


Fig. 7. Length change of a far-going hydrated, water saturated cementstone(W/C=0.65) without and with 16% air void during the freezing-thawing alternating

的으로 確認할 수 있다. 그림의 從軸에는 本來 콘크리트의 탄성률이 羊減되기까지에 要求되는 凍結-融解의 反復回數를 表示하고 있다. 이 그림의 콘크리트 試片은 相異한 組成을 갖는 여러가지 시멘트들로부터 其他 同一한 條件下에서 製造한 것인데, 氣泡導入으로 콘크리트의 凍結融解抵抗性이 어떻게 극적으로 改善될 수 있는지를 立證하고 있다. 또 그림(座標)의 零點 부근(點線之域內) 資料들은 AE劑를 含有치 않은 콘크리트 試片들이 받는 凍害影響을 例示한다. 한가지 特記할 點은 시멘트의 種類(組成과 商標)에 따라 凍害作用에 있어서 相當한 差異(0~150 回數)를 나타낸다는 事實이다. 그러나 이 差異는 氣泡을 人爲的으로 導入한 콘크리트와 比較하면, 凍結融解抵抗性의 問題에 있어서 실제적으로는 無意味하다.

끝으로 水雪融解用 鹽類의 使用이-般 콘크리트와 氣泡을 含有(5%)한 콘크리트에 각각 미치는 凍害影響을 考慮해보면, 그림 9에 圖示한 바와 같다. 前 그림에서는 從軸에 凍結-融解過程을 反復할 때 콘크리트가 받는 凍害의 程度를 1~5段階로 相對的인 區別을 해서 提示하

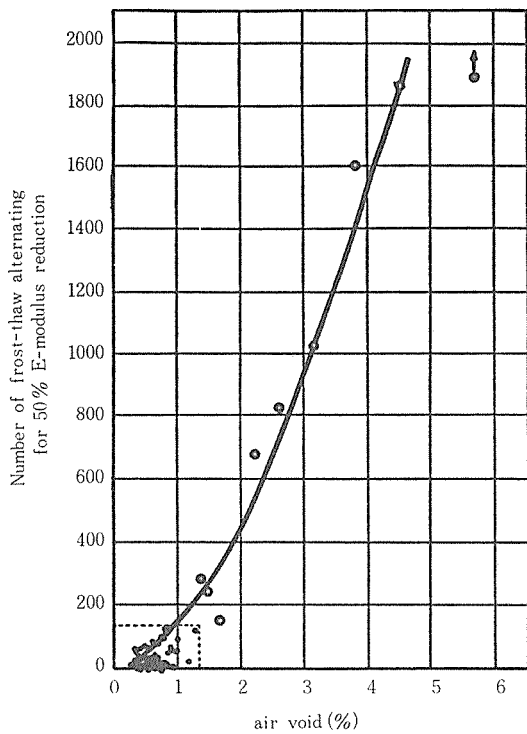


Fig. 8. Effect of air-void contents on the frost resistance of concrete out of different cements

었다. 前 그림을 보면, 融解塩에 依한 콘크리트의 侵蝕 亦是 氣泡의 導入으로 매우 有利하게 對處할 수 있음이 分明하다.

### 5. 맺는 말

上述한 理論的 및 實驗結果的 考慮로부터 다음과 같은 結論을 내릴 수 있다.

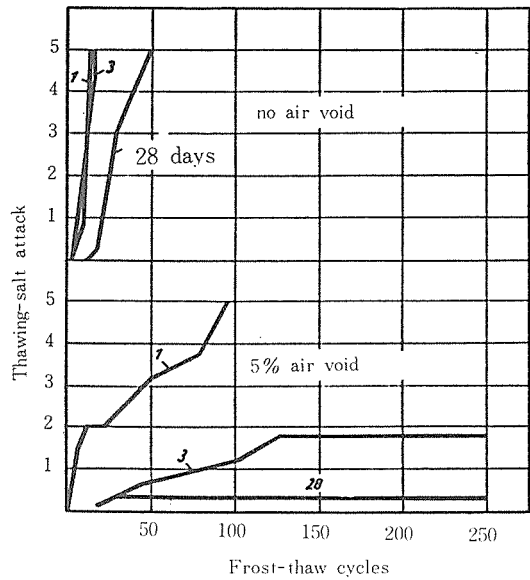


Fig. 9. Concrete resistance to the effect of thawing-salt in dependence on the air void content and the concrete age

- ① 一般 콘크리트의 腐蝕을 招來하는(가장) 큰 原因은 凍害作用이다.
- ② 콘크리트 內에 毛管形成을 原初부터 避할 수 없을 境遇에는, 콘크리트의 強度問題의 考慮아래 AE劑를 適切하게 使用하여 콘크리트의 凍結融解 抵抗性を 현저하게 改善할 수 있다.
- ③ 특수한 AE劑를 使用하면, 生콘크리트 內 氣泡의 安定性 및 AE콘크리트의 強度를 크게 向上시킬 수 있다.