



高強度콘크리트의 製造技術

張 復 基

<全南大學校 工大 副教授 · 工博>

高強度콘크리트의 製造技術

高強度콘크리트하면, 압축강도가 500kg/cm² 이상 (普通 高強度)에서부터 1000以上 3000 (또는 그以上)kg/cm²의 超高強度 콘크리트 (MDF 시멘트, DSP 및 폴리머 함浸콘크리트 등 등)를 이른다. 그리고 이들 콘크리트의 製造는 高強度의 크기에 따라 그 技術이 달라진다. 普通 高強度콘크리트는 콘크리트強度에 영향을 미치는 要因들을 一般의인 方法으로 制御함으로써 얻을 수 있으며, 超高強度의 경우는 新原材料 및 燒成材料(도자기 등)에서 使用하는 方法과 類似한 製造工程등을 通하여 製造하고 있다.

콘크리트強度에 영향을 미치는 要因들은 그 數가 매우 많다. 그리고 이들 各各은 또 다른 因子들에 依해 영향을 받는다. 例로 主要한 因子으로써 우선 시멘트의 水和도와 混合水量 및 配合比등을 들 수 있는데, 水和도는 다시 養生期間, 양생條件(空氣 또는 水中)과 양생溫度 및 시멘트의 種類等에 따라 相異한 結果를 나타낸다. 混合水の 量 문제에 있어서도 상황은 마찬가지로이다. 混合水量을 작게하면 콘크리트 氣孔率이 낮아져 強度가 增進되지만, 混合水量

은 콘크리트의 作業성과 密接한 關係에 있어 그 量을 任意로 低下시킬 수 없다. 作業성이 나쁠 때는 充填이 不良해져 오히려 콘크리트氣 功率(氣孔의 量 및 크기)을 增大시키고 強度를 決定的으로 惡化 시킬 수 있다.

이러한 점들을 감안하여 本稿에서는(보통 高강도)콘크리트의 強度에 영향을 미치는 몇 가지 要因들을 1) 原材料, 2) 製造工程, 3) 다짐과 養生의 3가지 項目으로 區分하여 高찰함으로써 高강도 콘크리트 製造기술에 다소나마 보탬이 되고저 한다.

— 콘크리트強度에 영향을 미치는 要因

1. 原材料
 - 1.1 시멘트
 - 1.2 물(混合水)
 - 1.3 골재
 - 1.4 混和劑 및 混合材
2. 製造工程
 - 2.1 配合
 - 2.1.1 시멘트量
 - 2.1.2 골재量
 - 2.1.3 混合水量
 - 2.2. 混合
3. 다짐과 養生(Nachbehandlung)
 - 3.1 다짐
 - 3.2 양생

콘크리트強度에 영향을 미치는 要因

1. 原材料

1.1 시멘트

콘크리트의 強度는 시멘트가 混合水와 反應한 時間이 길수록 增加한다. 골재들을 서로 結合시켜 強度를 發生시키는 主役을 시멘트水和物(시멘트 겔)이 맡아 遂行하는데 이 水和物은 水和期間이 길수록 많이 生成된다. 그림1에 水和期間에 따른 압축강도 變化를 圖示하였다. 그림은 콘크리트 강도가 水和期間의 對數에 直線的으로 增加함을 보여준다.

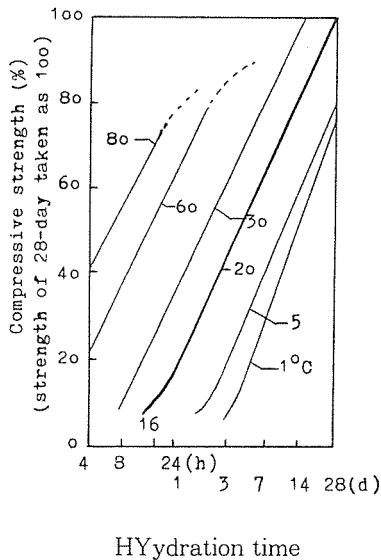


Fig. 1 Effect of hydration time on the strength development of concrete

그림1에는 溫度の 變化가 強度生成에 미치는 영향도 나타나있다. 그리고 그림2에는 시멘트 겔量-強度 關係가 圖示되어있다. 콘크리트 強度는 시멘트-겔量에 對하여 指數函數的으로 增加하고 있다. 그림은 混水量(W/C)이 적은 경우(W/C=0.24)가 같은 水和期間(28日)

에 높은 強度(약 1200kg/cm²)를 나타냄을 보여주는데, 그 이유는 水和物(겔)量이 많기 때문인 것으로 그림에 圖示되어있다.

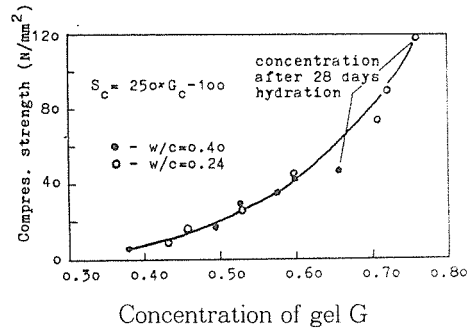


Fig. 2 Relation of compressive strength to gel concentration in hardened cement paste

시멘트는 몇가지 클링커 鑛物로 構成되어있다. 名 鑛物은 水和反應度 또는 強度發生 能力이 매우 相異한데, 그 傾向을 보면 그림 3과 같다. C₃S는 특히 初期強度 發顯에 重要的 役割을 하는 鑛物이다. 그리고 시멘트를 微細하게 粉碎할수록 單位時間에 混合水와 反應할 表面的이 커지므로 高強度를 發生할 수 있다. 이 두가지 利點을 活用한 例로 독일의 경우 高強度시멘트(450 및 550kg/cm²)를 規格化하여 生産하고 있다.

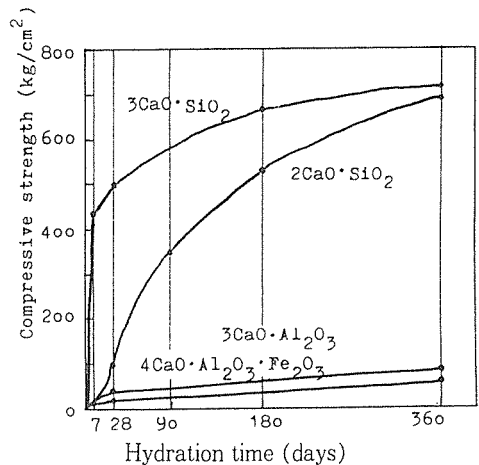


Fig. 3. Strength development of the clinker minerals

그림 4에 이들 시멘트의 28日強度와 또 混合水量에 따른 28日高強度變化를 提示하였다. 이들 高強度시멘트들은 普通 시멘트(350kg/cm²)보다 C₃S含量이 많고 그 粉末度가 높다. 그리고 이들은 高強度콘크리트 製造에 使用되고 있다.

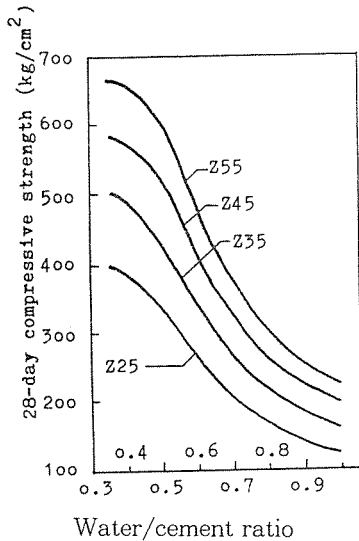
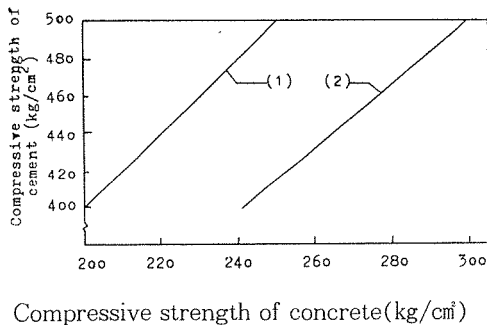


Fig. 4. Strength and w/c ratio of various standard cements(DIN 1164)

그림 5는, 기타 다른 條件들이 같을 때, 콘크리트의 強度가 시멘트強度에 어떻게 依存하는가를 보여준다. 즉 線分 (1)의 경우, 시멘트



Compressive strength of concrete(kg/cm²)
Fig. 5 Concrete strength depending on the strength of cement

400으로 콘크리트 200kg/cm² 強度를 生成할 수 있는 條件에서 만일 시멘트 400 대신 시멘트 500을 使用하면 강도 250kg/cm²의 콘크리트를 만들 수 있다.

結局 콘크리트의 高強度化를 爲해서는 水和期間을 오래하여 시멘트 겔 形成量을 될수록 많게 하고, 可能하면 高強度시멘트를 使用함이 바람직하다. 高強度시멘트는 이 외에 冬季 工事に 使用하거나 시멘트(콘크리트)重量을 低下시키는 目的으로도 使用된다.

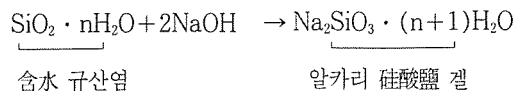
1. 2. 混合水

混合水로는 工業規格에서 定한 물을 使用해야 한다. 近來에는 環境보호와 廢資源 再活用의 側面에서 슬릿지水(上澄水)를 使用하고 있는데, 또 實驗報告 結果 슬릿지水 3%까지는 콘크리트強度에 影響을 미치지 않는 것으로 알려져 있으나, 高強度콘크리트를 爲해서는 混合水の 質에도 留意해야 한다.

1. 3. 骨 材

高強度콘크리트를 爲해서는 當然히 高品位의 骨材를 使用해야한다. 自然骨材가 品貴되면서 碎石을 골재로 많이 使用하는데, 骨材(碎石)의 品質不良으로 普通콘크리트에서도 종종 問題가 發生하고 있다.

本稿에서는 특별히 알카리-骨材反應에 對하여 言及코져 한다. 알카리-骨材反應이란 骨材內의 SiO₂成分과 (시멘트 中의)알카리가 서로 反應하여 알카리 珪酸鹽 겔을 形成하는 化學 反應을 意味한다. 結晶型의 珪砂는 安定하여 通常 알카리와 反應을 하지않으나 非晶質의 含水性 珪酸鹽物 등은 反對로 알카리에 脆弱하여 敏感한 反應을 나타내고 그 反應生成物은 팽창성을 지닌다



이 알칼리-골재反應 겔은 容積이 매우 커서 콘크리트의 局部的인 균열을 招來할 수 있으며 따라서 콘크리트 強度低下의 原因이된다. 그리고 이러한 알칼리-골재反應을 惹起할 수 있는 骨材로는 (현무암, 硅酸質 片岩 및 플린트 등에 含有되있는) 蛋白石, (硅酸質 石灰石과 一部 砂岩에서 보는) 玉髓(Chalcedon), 火山性 유리質(黑曜石, Obsidian)과 알칼리를 내는 沸石(Zeolite) 등(그 含有量)을 들 수 있다. 모든 알칼리 反應性 광물은 同時에 포졸란이다. 포졸란은 微粉했을 때는 水硬性을 나타내어 시멘트 成分으로서 바람직하지만, 骨材粒으로서는 알칼리-골재反應을 일으키기 때문에 有害하거나 적어도 의심스런 原料이다.

1.4. 混和劑와 混合材

콘크리트의 物性を 合目的으로 調整하기 위하여 여러가지 混和劑를 使用한다. 그 中 콘크리트 強度增進과 관계된 混和劑로 水和促進劑, 치밀화劑 및 流動化 또는 減水劑를 들 수 있다.

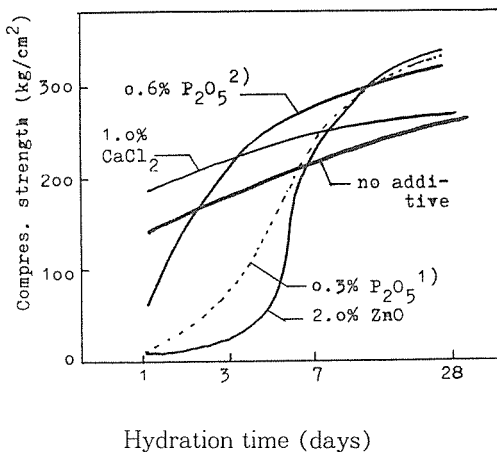


Fig. 6. Strength of cement mortar with and without additive

- 1) as $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
- 2) as $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

치밀화劑는 콘크리트에 形成되는 氣孔을 硬化反應時 生成되는 反應物로 充填시켜서 氣孔率이 낮은 치밀한 微構造를 만들고 이로써 콘크리트의 強度를 增進시키는 助劑인데, 그 效果가 그렇게 두드러지지 않는다.

水和促進劑는 水和反應을 促進시켜 同一한 水和期間內에 높은 強度를 發生시키는 添加劑이다. 그림 6에 몇가지 添加劑가 強度發顯에 미치는 影響을 圖示하였다. 水和促進劑는 그림에서 볼 수 있는 것처럼 初期응결을 촉진하는 경우와 后期硬化를 增進시키는 添加劑로 分類할 수 있다. 一般的으로 初期 水和反應이 促進되면 后期(例: 28日) 強度는 低下되는 傾向을 나타낸다.

水和促進劑로 가장 널리 알려진 添加劑는 염화칼슘이다. 본 混和劑는 한 때 高強度시멘트 製造時 약 2%까지 添加된 바가 있으며, 現在도 많은 早強度用 混和劑에 使用되고 있다. 그러나 오늘날 大部分의 先進國에서는 철근 콘크리트의 鹽害를 우려하여 그 混和使用을 禁하고 있다. (콘크리트의 鹽害-염화물 制限量에 對해서는 筆者의 “레미콘”/1992년 12월號 技術論叢을 參考하기 바람). 그림 7에 염화칼슘을

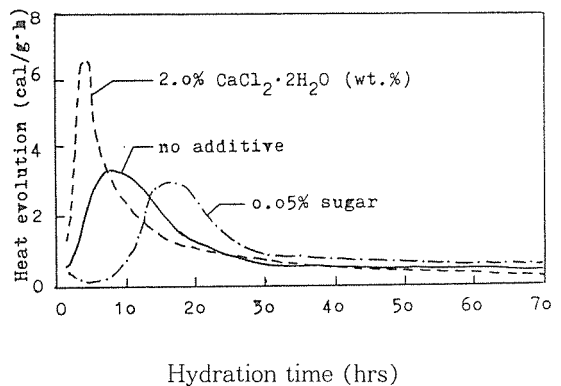


Fig. 7 Effect of calcium chloride and sugar on the hydration heat evolution

加했을 때의 水和熱發生 關係를 圖示하였다. 水和促進(또는 抑制)는 水和熱 發生과정 및

량과 密接한 關係가 있다. 이러한 이유로 수화촉진제는 冬季의 콘크리트工事を 원활히 하기 위해서도 使用되는 添加劑가 된다.

그림8에 市販中인 混和劑 5種에 對한 슬럼프

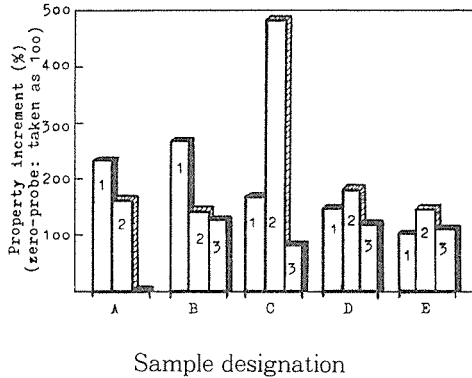


Fig. 8 Effect of concrete additives on the properties of fresh and hardened concrete (1:slump, 2:air content, 3: strength)

프, 空氣量 및 압축강도 實驗結果를 나타내었다. 그림은 混和劑를 첨가치 않은 경우에 對한 增加率로 表示하고 있다. 一例로 混和劑 C의 경우에는, 空氣量은 약 4.8배정도 증가하지만, 압축강도는 反對로 표준시편의 80% 즉 약 20% 減少를 招來한다. 混和劑 C는 따라서 좋은 AE劑이나, 많은 氣泡連行의 結果 강도弱화를 醸고 있다. 한편 混和劑 B는 슬럼프도 약 2.5배 改善되고 압축강도 역시 40%程度 向上되고 있다. 混和劑 B의 경우는 슬럼프改善에 相應하게 混水量을 節減하면 압축강도는 훨씬 더 높일 수 있게 된다. 高強度콘크리트 製造를 爲해서는 高性能減水劑를 使用하여 混水量(W/C) ≤25까지 降下시키고 있다. 高性能감수제로는 보통 멜라민系와 나프탈린系의 포름알데히드 및 리그닌술폰鹽이 使用된다(그림9 參考)

混合材는 微量 添加되는 混和劑와는 달리 比較的 多量으로 添加되며, 시멘트水和時 解離되는 石灰와 混合材 사이에 化學反應을 통한 水

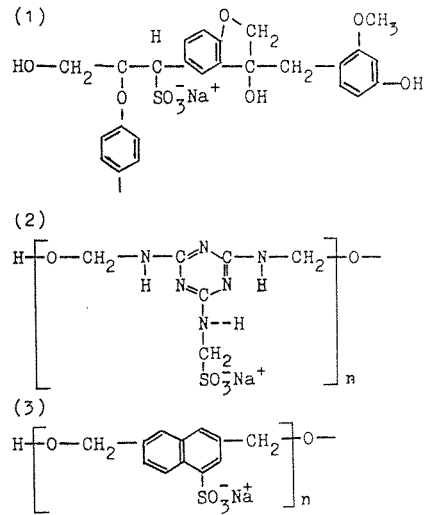


Fig. 9 Idealized chemical formulae showing typical repeating units for:

- (1) sodiumlignosulphonate
- (2) sulphonated melamine – formalde – hyde condensate
- (3) sulphonated naphthalene – form – aldehyde condensate

和物 결 形成으로 말미암아 콘크리트氣孔들이 점차 充填되고 微構造가 치밀화되어 強度를 增進케하는 二次的 原材料이다. 混合材는 微粉碎한 高爐슬래그 및 플라이 애쉬, 大山재와 실리카 흙等 포졸란을 들 수 있다.

2. 生産 工程

2. 1 配 合

2. 1. 1 시멘트量

콘크리트의 強度는 骨材를 接合하는 시멘트 基地(matrix)에 根據한다. 따라서 시멘트基地가 어떻게 骨材들을 서로 接合하는가의 樣相, 즉 시멘트量이 重要的 役割을 수행한다. 시멘

트량이 골재를 서로 接合시키기에 未洽하여도 안되며, 또 그 量이 너무 많아도 強度의 減小 뿐만 아니라 다른 물성들의 劣惡化를 招來하게 된다. 즉 過量의 시멘트는 콘크리트의 水密性, 凍結融解低抗性 및 化學浸蝕에 對한 耐久性을 경우에 따라 減小시키며, 시멘트량이 많을수록 콘크리트의 건조수축 및 그릴 性向이 加重되며, 또 경제적인 考慮에서도 必要以上の 시멘트량은 바람직하지가 못하다.

그림10에 시멘트量(및 혼합工程)에 따른, 골재接合樣相을 圖示하였다. 그림은 所謂

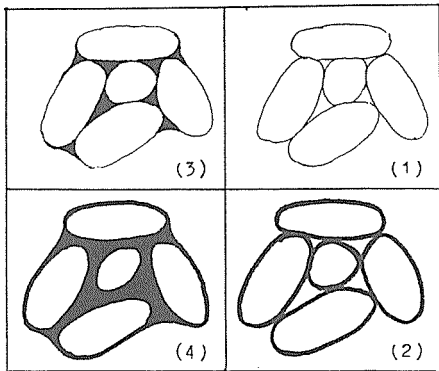


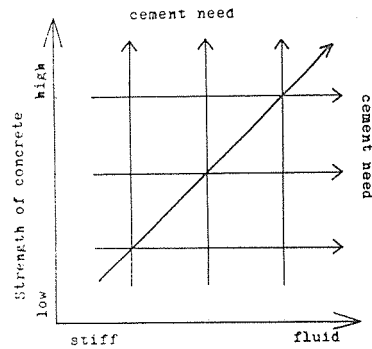
Fig. 10 Cement slurry + aggregate = concrete, Kennedy principle
 1: aggregates, dense packed
 2: aggregate surface covered with cement slurry
 3: hole between aggregates filled with cement slurry
 4: construction of a heavy concrete

Kennedy原理에 따른 것인데, 그림의 (1)은 골재들끼리의 密接狀態이고 (2)는 골재表面이 시멘트슬러리로 둘러쌓이고 따라서 골재간의 接合이 이루어진 경우이다. (3)은 골재사이의 空隙이 시멘트슬러리로 채워져, 이러한 상태에서 콘크리트는 치밀하고 高強度를 나타내게된다. 또 (4)는 (1)~(3)의 集形으로서 重量콘크리트의

構造를 나타낸다. 必要한 強度를 爲해서 콘크리트의 시멘트量에는 最低値가 存在하며 또 경제성의 理由에서 最高値가 限定되어있다. 그런데 시멘트量의 最高値는 여러 要因들에 依하여 可變的이다 :

1. 콘크리트 強度(品級),
2. 시멘트 強度(品級),
3. 골재粒度分布曲線(sieve line)의 如何,
4. 콘크리트 반죽물의 作業性 等等

그런데 우리나라에서는 一般的으로 一種의 시멘트(品級)만이 使用되므로, 시멘트強度에 따른 考慮는 不要한다. 시멘트量은 (同一한 品級の 시멘트를 使用할 때) 콘크리트強度에 比例하여 增加한다. 또 같은 作業性일 때 콘크리트強度가 높을수록 많은 시멘트量이 要求되며, 同一한 強度의 콘크리트이면 作業性이 좋은 반죽물일수록 시멘트(슬러리)量이 많이 所要된다. 이 關係를 圖式的으로 그림11에 提示하였



Workability of concrete mix
 Fig. 11 Cement content depending on workability and strength of concrete(sieve line—good/useful—kept constant)

다. 그리고 그림12에 특별히 콘크리트반죽물의 作業性이, 골재 組成(粒度分布)이 같은 條件 下에서, 시멘트(슬러리)量에 따라 어떻게 變하는 가를 表示하였다.

예를 들어, 시멘트슬러리 量이 250 dm^3 일 때 콘크리트作業性은 S1(stiff)상태이지만, 이

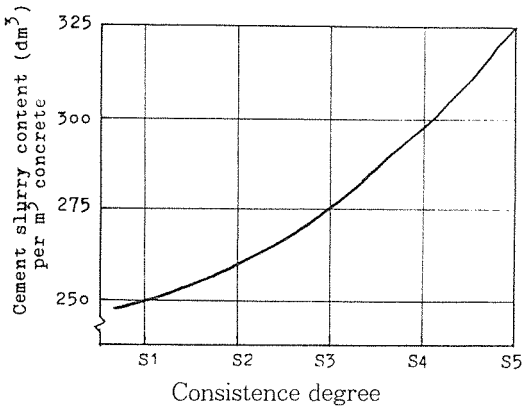


Fig. 12 Example for the relation between consistency and cement slurry contents
 S1:stiff, S3:soft, S5:fluid
 (condition:the same aggregate composition)

와 똑같은 骨材組成에 325 dm^3 의 시멘트슬러리를 加하면 그 때의 작업성은 S5(fluid)상태가 된다.

2. 1. 2 骨 材 (量)

콘크리트가 高強度를 나타내기 爲해서는 서로 크기가 다른 骨材들이 一定量의 比로 構成될 必要가 있다. 그리고 그 量比 關係는 골재의 최대 치수에 따라 달라진다. 그림13에 최대 치수가 名名 8.0, 16.0, 32.0 및 63.0mm인 골재의 粒度分布曲線을 提示하였다. 高強度콘크리트를 製造하려면, 골재粒度分布가 될수록 "favourable"域 內에 들어갈 必要가 있다. 이 때 골재들은 서로 치밀한 充塡을 하게된다.

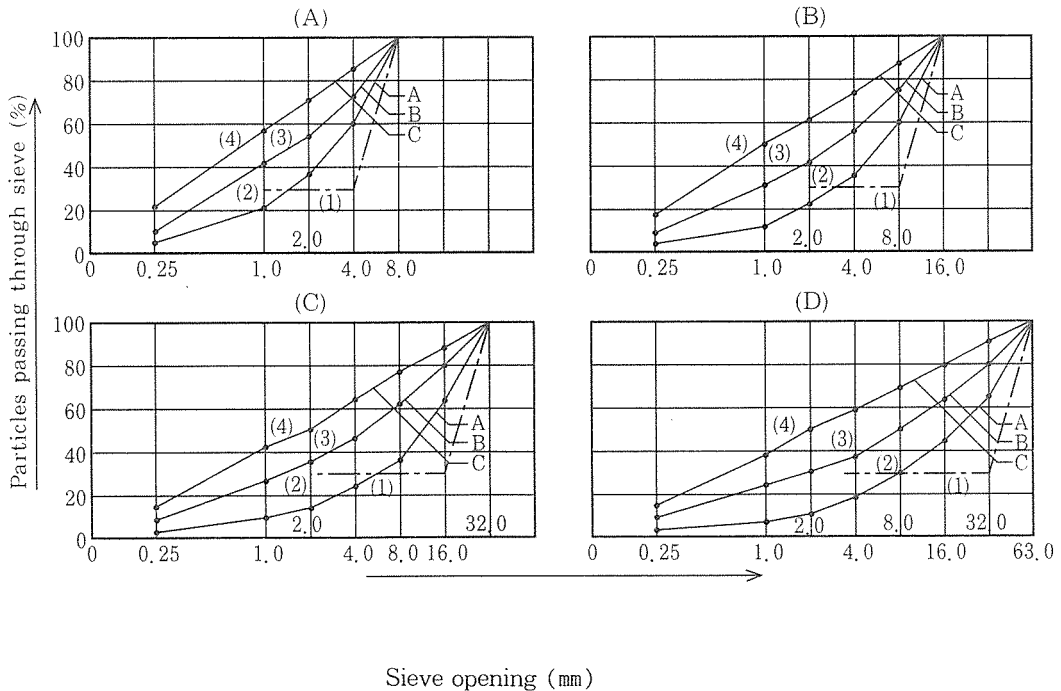


Fig. 13 Sieve lines with different maximum particle size
 (1:useless – too coarse, 2:favourable, 3:useful, 4:useless – too fine)

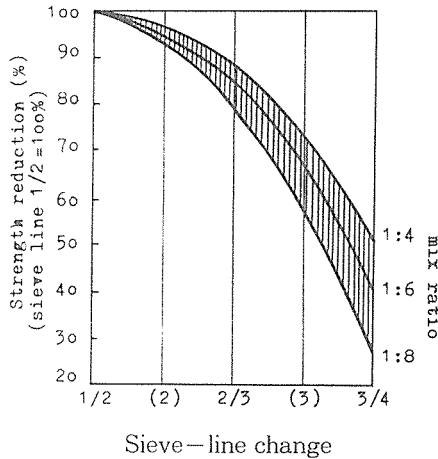


Fig. 14 Reduction of concrete strength by transition from sieve-line 1/2 over 2/3 to 3/4

그리고 그림14에 골재粒度分布가 變化함에 따라 콘크리트強度가 어떻게 低下하게 되는지를 例示하였다. 콘크리트強度는 骨材組成上 잔골재분이 많을수록(그림13에서 맨 위 曲線쪽으로 分布가 變할수록) 크게 低下한다(그림14). 그리고 이러한 경향은 또 시멘트 : 골재 混合비가 클수록 두드러진다. 한 例로 골재粒度分布가 3/4(그림13 참고)에 解當하고 시멘트 : 골재 混合비가 1:8일 때 그 強度는 골재 입도분포 1/2일 때 強度의 30%에도 미치지 못한다. 이같이 골재의 粒度組成은 매우 重要하다.

또 그림15에는 골재의 粒度分布關係가 變함에 따라, 반죽물의 作業性(괴짐성)을 同하게 持持하기 爲하여 混水量이 얼마나 더 必要하게되는 지를 圖示하였다. 골재粒度가 잔골재분이 많은 組成을 가질수록 (1/2에서 3/4側으로 移動), 같은 作業성을 나타내기 爲하여 相對적으로 많은 混수가 要求되며 따라서 強度 低下의 要因이 된다. 그리고 이러한 경향은 시멘트 : 골재의 混合비가 클수록 深化하며, 그림14에서와 같이 더욱 큰 強度減小를 結果

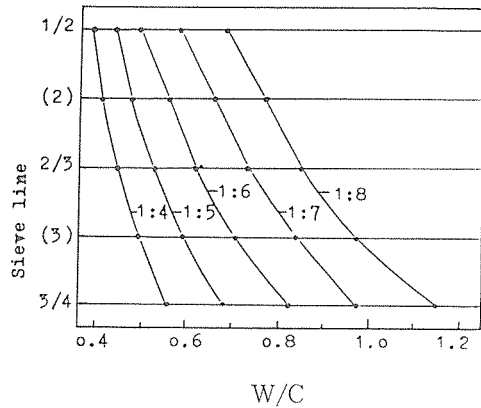


Fig. 15 Water-to-cement ratio change at the same spread (flow table) in dependence on the sieve line for various mixing proportion

하게 된다.

2. 1. 3 混水量

시멘트가 물과 完全反應하여 水和物 겔을 形成하는데 必要한 물의 量은 시멘트 100g 當 물 약 25g 에 不過하다($W/C=0.25$). 그러나 實際 콘크리트를 製造할 때는 作業性的 이유 때문에 이보다 훨씬 많은 量의 물을 加한다. 따라서 $W/C=0.25$ 以上으로 加한 물은 全部 콘크리트 內에 氣孔으로 남게된다. 그리고 이는 시멘트가 完全水和했을 경우의 事項이고 實際로는 完全水和 以前에 벌써 많은 量($W/C=0.25$ 以上の 分量)의 물은 大氣 中에서 증발하여 보다 多量의 氣孔을 形成하게 된다.

뿐만 아니라 시멘트가 完全水和할 수 있기 爲해서는, 그림16에서 보는 바와 같이 시멘트 반죽물의 混水量이 $W/C \geq 0.4$ 이라야 한다. 이 數値보다 混水量이 더 적을 때는 몇가지 物理的인 理由에서 반죽물 成形體 內의 시멘트가 完全水和에 到達하지 못한다.

이같이 콘크리트 內에는 不可避하게 氣孔들이 形成된다. 그리고 이러한 氣孔들의 量은,

그림16이 나타내는 것처럼, W/C값이 클수록

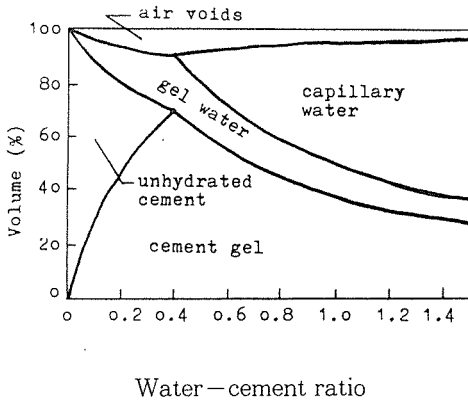


Fig. 16 Composition of hardened cement paste as a function of w/c ratio (100 percent hydration)

많아진다. 문제는 콘크리트의 강도가 기공률에 指數函數的으로 減小한다는 事實이다.

$$S = S_0 \exp(-bP)$$

여기서 b 는 常數, P 는 기공率이고 S_0 는 $P=0$ 시의 強度, S 는 기공率 P 일 때의 콘크리트 強度이다.

그림17에 기공률과 콘크리트 強度 사이의 關

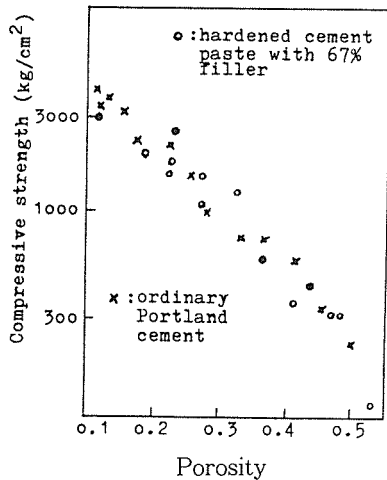


Fig. 17 Strength and porosity of hardened cement paste

係를 實驗結果에 따라 圖示하였다. 強度를 對數로 取할 때, 위 式과 같이, 직선關係를 보여 준다. 그리고 그림17에 依하면, 콘크리트의 기공率이 0.1%에 達할 때 그 強度는 3,000kg/cm² 以上에 到達함을 알 수 있다.

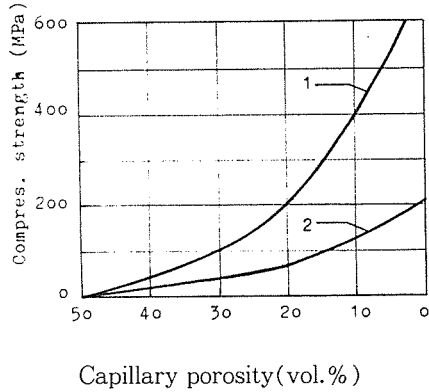


Fig. 18 Effect of capillary porosity on the compressive strength of cement stone (1:w/c=0.1, hydration at 100–250°C and pressure of 175–350 MPa, 2:w/c=0.2, normal hydration)

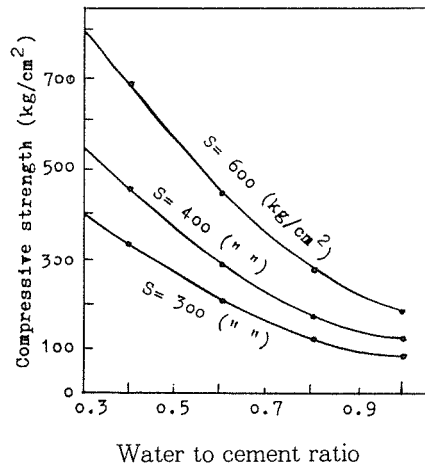


Fig. 19 Compressive strength of various concrete mixes in dependence on the water-to-cement ratio

그림18은, 같은 관계이지만, 압축강도와 毛細(管)공극率 사이에 指數函數的 關係가 있음

을 보여준다.養生條件으로서 溫度와 壓力을 共히 높혀주면, 正常 條件下에서보다 훨씬 높은 強度가 發顯되며 強度-氣孔率 間的 指數함수 관계도 두드러진다.

壓縮強度와 混水量(W/C)사이의 直接的인 關係를 그림19에 圖示하였다. 그림은 各各 600, 400 및 300kg/cm²의 強度를 나타내는 콘크리트가 W/C값만 變化시킬 때 強度가 어떻게 變化하는 가를 보여준다. 一例로 600kg/cm²의 콘크리트 경우 W/C=0.3에서 W/C=1.0으로 變할 때 強度는 約 $\frac{1}{3}$ 로 低下된다. 그림20

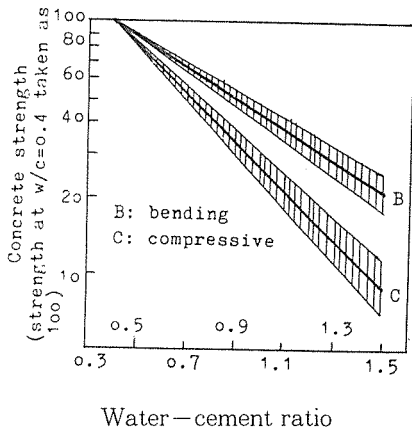


Fig. 20 Concrete strength and water-cement ratio

도 마찬가지로 強度와 混水量 사이의 關係를 보여주는데, 압축강도와 휨강도를 對數로 取할 때 둘 다 W/C에 직선적인 함수관계에 있다. 이는 강도와 氣孔率 관계에서와 같다.

결국 콘크리트의 強度를 增進시키는 對策으로서 混水量을 低下시키는 方法이 필수적인데, 反面에 混水量은 콘크리트 반죽물의 作業性 때문에 任意로 低下시킬 수가 없다. 그래서 混水量을 낮게 策定하면서 作業性을 同時에 좋게하는 方法으로서 감수제/可塑劑/流動化劑를 使用하고 있는 것이다. 이 混和劑들은 낮은 混水量에서도 콘크리트 반죽물의 流動性(rheology)을 현저히 提高시키는 作用을 한다.

2. 2. 混 合(mixing)

콘크리트가 高強度를 나타내기 爲해서는, 그림10에서 대략 본 바와 같이, 시멘트(슬러리)가 모든 골재表面을 充分히 둘러싸고 있어야 하며 또 大小의 골재들이, 크기別로 分離되지 않고, 均一하게 잘 混合되있어서 반죽물 全部를 通하여 하나의 均質한 相을 이루어야 한다. 그러기 爲해서는 混合工程이 잘 되어야 한다.

3. 다짐과 養生

3. 1. 다짐

氣孔이 強度低下의 要因이되므로 타설 后 적당한 조치를 通하여 될수록 氣孔率을 最小化해 야 한다. 다짐을 하고 안하고에 따라서 強度에 큰 差異를 나타내는데, 한편 이러한 다짐의 効果는 콘크리트반죽물의 다짐性(압축성) 또는 作業性에 따라 左右된다. 이 關係를 圖示하면 그림21과 같다.

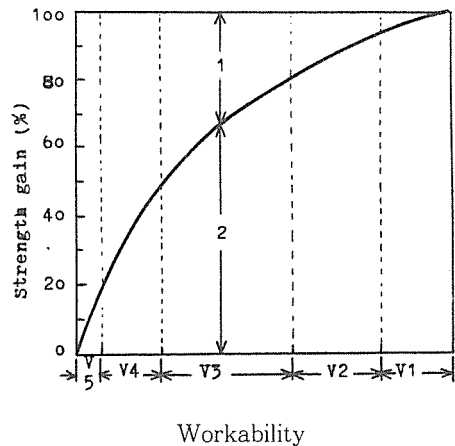


Fig. 21 Strength gain by condensation in dependence on compressibility
1: strength without condensation
2: max. strength gain by condensation V1: stiff, V3: soft, V5: fluid

다짐은 根本적으로 두가지 方法 즉 外部壓力과 振動을 加함으로써 이루어진다. 外部로부터 壓力을 加하여 콘크리트반죽물 内部抵抗을 克服하고 그로써 空氣(氣孔)을 除去하는 다짐法을 그림22에 表示하였다. 그리고 그림23은 콘크리트반죽물을 振動함으로써 반죽물의 流動性

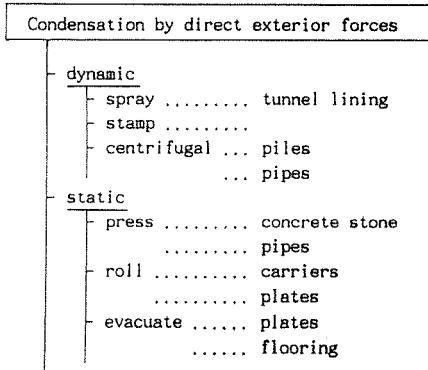


Fig. 22. Concrete condensation by exterior forces

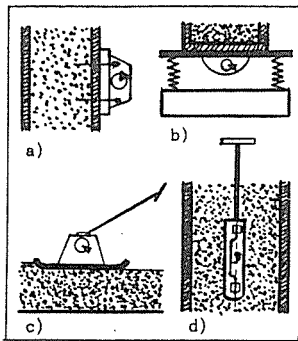


Fig. 23. Concrete compaction by vibration
 a) mould-vibrator/Schalungsrüttler
 b) vibration table/Rütteltisch
 c) surface vibrator
 d) internal vibrator/Innenrüttler

을 좋게하고 이로써 氣孔들이 반죽물表面으로 쉽게 上昇하도록하는 振動다짐法을 보여준다. 다짐의 效果를 提高하려면, 壓力과 振動을 同時에 加하면 좋다. 그리고 그림24에 콘크리트 반죽물의 作業性에 따른 有效 다짐性을 分類하여 놓았다.

Condensation by/on	Workability				
	V5	V4	V3	V2	V1
Ramming					
Vibration table					
Surface vibrating					
Internal vibrator					
Mould-vibrator					
Poking					

Fig. 24. Use of condensation process according to the workability of fresh concrete

3. 2. 養生

콘크리트의 強度는 앞서 考察한 바와 같이 水和(養生)期間에 따라 크게 左右되지만, 同一한 養生期間이라하더라도 그 條件 즉 溫度, 濕度 및 壓力에 큰 影響을 받는다. 그림25에

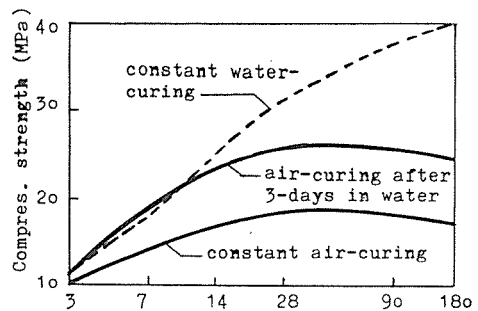


Fig. 25. Effect of curing on the strength development of concrete with w/c=0.50

濕度の 強度에 미치는 影響을 圖示하였다. 水中養生과 大氣中養生 사이에는 強度增進에 미치는 效果에 있어 매우 큰 差異가 存在한다. 따라서 同一 養生期間에 높은 強度를 얻으려면 될수록 水中(高濕)養生함이 바람직하다.

濕度 外에 溫度가 強度發生에 큰 作用을 한다(그림26). 따라서 같은 養生期間에 高強度

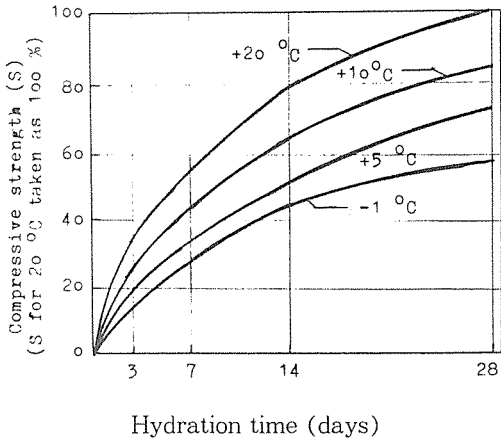


Fig. 26. Concrete strength depending on the hydration temperature

를 達成할 目的이라면, 養生溫度를 높게 할 必要가 있다. 그러나 溫度와 強度 關係에 있어 留意할 點은 高溫으로 水和反應이 促進되어 같은 (短)期間에 高強度를 發生하는 것이지 長期的으로는 高強度發顯과 無關하며 오히려 高溫이 強度減小의 要因으로 作用한다는 點이다. (그림1 參照). 故로 養生期間을 充分히 길게 하여도 無妨한 콘크리트라면 養生溫度를 낮게 維持함이 차라리 바람직하다. 이러한 關係는 水和物 質 또는 結晶相이 養生溫度條件에 따라 달라지기 때문이다.

콘크리트를 速成시키기 爲해서, 混合水가 증발을 못하도록 閉空間에서 養生溫度를 높게 維持하거나 또는 普通 많이 活用되고 있는 바와 같이 高溫증기 養生法을 쓰고 있다. 그림27에

증기養生法에 있어서의 養生時間-溫度 關係를 例示하였다. 等溫期間은 普通 2~6時間에 이르며, 最適溫度 亦是 溫度가 높을수록 后期(28日)強度가 相對的으로 劣惡해지기 때문에 포트랜드시멘트 경우는 85°C 그리고 高爐슬래그시멘트 경우는 95°C를 넘지 않게 維持한다. 또 最高溫度가 70°C를 밑돌 時는 經濟的이 못 된다.

溫度뿐만 아니라 壓力 亦是 水和反應을 促進시키기 때문에 (그림18 參照) 溫度와 壓力을 同時에 높일 수 있는 養生法으로서 autoclave가 使用되기도 한다. 이 方法으로는 普通 溫度·壓力 條件에서는 일어나지 않는 硅砂-石灰 사이의 反應도 活性化할 수 있기 때문에 limesand콘크리트 또는 硅砂-시멘트系 高強度 콘크리트를 製造할 수 있다.

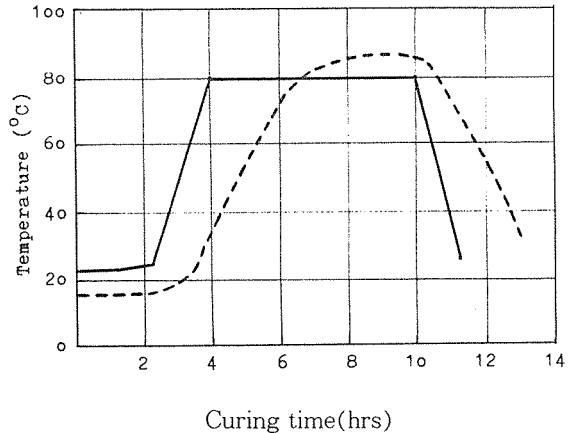


Fig. 27. Temperature regulation principle during steam curing
(---:concrete temp., ___:steam temp.)