

콘크리트 強度試驗結果의 評價指針

~ACI 214—65의 改訂案에 따른~

美國 콘크리트協會

李 善 敬 譯

<韓國科學技術情報센터>

- ◆……統計學的인 節次는 모든 強度試驗結果의 評價에 有用한 道具가 될 수 있으며 이러한 方……◆
- ◆……法은 設計基準 및 仕様을 設定하는데 대단히 價値 있는 일이다. 本報告書는 콘크리트 強……◆
- ◆……度試驗에 나타나는 여러가지 變異量을 簡單히 檢討하고 이러한 變異量을 評價하는데 유……◆
- ◆……용한 統計的인 評價方法에 關係 紹介하고 있다. ……………◆

keywords : 強度變異係數, 壓縮試驗, 壓縮強度, 콘크리트築造, 콘크리트, 試供體, 評價, 品質管理, 샘플링, 標準偏差, 統計學的 分析, 變化量

第1章 序 論

콘크리트 強度試驗의 目的은 콘크리트의 強度 仕様과의 一致 여부를 결정하고 그 가능성을 測定하는데 있다. 콘크리트는 原來 異種物質이 混合하여 硬化된 것이므로 여러가지 변화의 영향을 받게 마련이다. 콘크리트 成分의 각 특성은 그것들의 가능성 여하에 따라 콘크리트의 強度에 차이를 야기시킨다. 이러한 強度上의 차이는 配合, 混合, 移送, 打設 및 養生 등과 같은 施工法의 차이에서도 그 原因을 찾아 볼 수 있다. 콘크리트 자체의 強度差異 以外에도 試供體의 製作과 試驗 및 取扱方法 여하에 따라서도 차이가 생긴다고 볼 수 있다. 결국 콘크리트 強度의 차이는 불가피하다고 보아야겠지만 그때그때의 주어진 條件에 맞는 品質管理가 유지되고 試驗結果를 올바르게 解析하여 일정한 한계를 벗어나지 않는다면 적합한 品質의 콘크리트는 自信을 갖고 만들어 낼 수 있다.

알맞은 品質管理는 좋은 材料를 選定하여 이것을 올바르게 配合하고 混合한다든지 移送과 打設, 養生 및 試驗 등을 올바르게 施行하면 충분히 達成될 수 있다. 비록 콘크리트는 異物質의 混合 硬化體이기 때문에 完全한 同質性을 發揮할 수는 없지만 콘크리트 強度의 극단적인 強度差異는 알맞은 施工法으로 어느 정도 調節할 수 있다. 콘크리트의 一般強度로도 仕様要求值에 近似하게 들어 맞기 때문에 施工法만 잘 改善하면 工費도 節減시킬 수 있다.

콘크리트 強度는 耐久性과 같은 다른 여러가지 要素가 要求強度를 내는데 실제로 필요한 물-시멘트比를 낮출 수도 있기 때문에 콘크리트 配合設計에는 반드시 결정적인 要素가 된다고 볼 수 없다. 이와 같은 경우에 強度는 틀림 없이 過剩強度 상태에 놓여 있는 것이다. 따라서 한가지 配合設計에서 強度上의 차이가 생기면 다른 콘크리트 특성에도 변화가 생기기 때문에 이러한 경우에는 強度試驗이 眞實히 要望된다.

試供體는 構造物에 사용된 콘크리트의 실제적

인 強度보다 크게 나타난다. 그래서 올바르게 하려면 콘크리트의 強度 決定은 콘크리트의 特性을 合理的이면서도 正確히 測定할 수 있는 올바른 試驗에서 誘導되어야 한다. 불충분한 試驗의 結果는 신뢰할 수 없다.

統計學的인 節次에 따라 試驗을 하면 強度試驗의 結果를 評價하는데 대단히 유용한 資料를 얻을 수 있으며 이러한 節次에서 얻어지는 모든 資料는 또한 設計基準 및 仕様을 결정하는데도 유용하게 쓸 수 있다. 本報告書는 콘크리트 強度上의 차이에 관해 檢討하고 이들 強度差異를 要求되는 設計基準 및 仕様에 맞추는데 필요한 統計學的인 試驗節次에 관해 紹介하려는 것이다. 이 統計學的인 試驗節次를 올바르게 施行하려면 모든 資料들은 반드시 試料採取者가 좋은 것만을 골라 낼 수 없도록 無作為 샘플링計劃(random sampling plan)을 통해 입수한 試料들로부터 誘導된 것이라야 한다. 여기서 말하는 無作為 샘플링(random sampling)이라고 하는 것은 모든 採取된 샘플은 均等한 採擇機會를 갖는다는 것을 뜻한다. 이러한 無作為 샘플링을 확실히 하기 위해서는 샘플 選擇을 亂數表(table of random numbers)와 같은 客觀的인 메카니즘을 통해 실시되어야 한다. 만일 샘플 배치(sample batch)를 試料採取者 자신이 자기의 판단을 근거로 選擇한다면 先入觀이 介在되어 여기에서 紹介하려고 하는 統計學的인 試驗節次로 分析된 結果를 信賴할 수 없게 만들지도 모른다. 參考文獻¹⁾에 보면 無作為 샘플링에 관한 詳細한 說明과 사용하기 편리한 亂數表가 紹介되어 있다.

本技術指針의 意義와 用法에 관해 좀더 자세히 알고싶을 때에는 "Realism in the Application of ACI Standard 214-65"¹⁾를 參照하길 바란다. 이 冊子는 1971년 美國 뉴우욕의 Buffalo에서 열린 심포지움에 提出된 ACI 214-65에 관한 資料를 編輯한 것인데 여기에는 심포지움에 관한 報告內容 외에도 ACI 定期刊行物에 전부터 실려온 이에 관련된 몇편의 研究論文과 討論內容도 실려 있다. 비록 이들 資料들이 ACI 214-65에 局限되어 있지만 대부분이 아직도 유용한 內容이 많이 있다. 強度試驗의 評價에 관한 附加的인 情報源으로는 1960년에 發刊된 "ACI Biblio-

graph No.2"²⁾가 있다.

第2章 強度의 差異

2.1 一般

콘크리트 試供體의 強度差異는 使用된 材料와 콘크리트 製造法 및 試驗이 얼마나 잘 統制되었느냐에 좌우된다. 強度差異는 다음 <表-2.1>에 表示한 바와 같은 根本的으로 다른 두개의 原因으로 追跡해 볼 수 있다. 즉 ① 콘크리트 混合物과 組成物의 強度特性의 차이 ② 試驗工程의 차이에서 생기는 強度差異

<表-2.1> 強度差異의 根本的인 原因

콘크리트 特性에 따른 強度差異	強度試驗의 變化에 따른 強度差異
물-시멘트比의 變化 ○ 물의 未熟한 調節 ○ 骨材表面水의 過重한 差異 ○ 再混合 所要水量의 變化 ○ 骨材粒度, 吸水量, 粒型 ○ 시멘트와 添加劑의 特性 ○ 空氣含量 ○ 給水時間과 溫度 콘크리트 組成物의 特性과 配合의 差異 ○ 骨材 ○ 시멘트 ○ 포졸란 ○ 添加劑 移送과 打設 및 다짐의 差異 異溫도와 養生의 差異	不適合한 샘플링 手法 試供體 製作技術에 의한 強度差 ○ 새로 만든 실린더의 取扱 및 養生 ○ 不良한 品質의 모울드 養生의 變動 ○ 溫度變化 ○ 多樣한 濕度 ○ 實驗室로 실린더를 옮기는 時間의 遲延 未熟한 試驗節次 ○ 실린더 캠핑 ○ 壓縮試驗

2.2 콘크리트의 特性

콘크리트의 強度는 물-시멘트比에 의해 크게 좌우된다는 것은 이미 잘 알려진 사실이다. 따라서 일정한 強度를 갖는 콘크리트를 만들어 내기 위한 첫째 條件은 일정한 물-시멘트比를 採用해야 한다는 것이다. 시멘트와 添加水 定量은

정확히 測定할 수 있는 것이기 때문에 일정한 물-시멘트비를 유지하는 문제는 骨材의 表面水分量 修正만 올바르게 하면 解決된다고 볼 수 있다.

콘크리트의 均質性은 사용되는 骨材와 시멘트 및 添加劑들이 각각 콘크리트의 強度發揮에 寄與하기 때문에 이들 組成物의 차이에 크게 영향을 받는다. 생콘크리트의 溫度는 適合한 硬度를 내는데 필요한 水量과 函數關係에 있으며 結果적으로 이것에 의하여 콘크리트 強度에 차이가 생기는 것이다. 콘크리트 施工法 역시 不適合한 混合工程, 不確實한 다짐工程, 遲延 및 불충분한 養生 등으로 인해 콘크리트의 強度에 차이를 야기시키기도 한다.

콘크리트用 添加劑를 사용할 때에도 強度에 미치는 영향을 무시할 수 없기 때문에 硬化促進劑와 遲延劑, 포졸란 및 AE劑 등의 混合은 신중히 統制해야 한다.

2.3 試驗方法

一般的인 콘크리트 試驗은 試供體를 만들고 난 후에 나타나는 變數 여하에 따라서 콘크리트의 強度變化를 包含하기도 하고 제외하기도 한다. 한편 샘플링과 養生 및 試供體의 試驗 등의 方法이 相異하게 되면 이미 構造物에 利用된 콘크리트에서는 볼 수 없는 強度差異를 일으키는 경우가 있다. 이러한 強度差異가 걱정하나 반드시 이 工事 자체가 잘못되었다고 볼 수만은 없다. 試驗方法만 올바르게 採擇하면 이러한 強度差異는 減少시킬 수 있으며 ASTM 標準規格에 나와 있는 대로 標準試驗節次를 嚴格히 遵守하면 過誤를 避할 수 있다.

精密한 試驗機器를 사용하여 高強度의 薄板 및 平行 靛을 만들어 내는 것이 무엇보다도 중요하다. 이것은 試驗機器나 試驗方法이 精密하지 않은데 試驗結果가 精密하게 나올 수는 없기 때문이다. 다시말해서 均一한 試驗結果를 반드시 正確한 試驗結果라고는 볼 수 없다는 것이다. 實驗室裝備와 試驗方法은 항상 週期的으로 校正하고 點檢해야 한다.

第3章 強度試驗結果의 分析

3.1 記號表示

d_2 와 $1/d_2$ = 平均值域으로부터 試驗의 標準偏差를 計算하기 위한 因數

f_{cr} = 試驗의 許容配合비가 어떤 特定한 強度 以下로 더 以上 내려가지 않을 것이라고 確信할 수 있는 平均強度

f_c' = 特定強度(工事契約時 指定된 要求強度)

n = 試驗回數

R = 值域

\bar{R}_m = 動平均品質管理圖表에 使用되는 最大平均值域

\bar{R} = 平均值域

σ = 全體的인 標準偏差

σ_1 = 單一 배치(batch)에 의한 標準偏差

σ_2 = 여러 배치의 試驗에 의한 標準偏差

$t = f_c'$ 值 未達되는 試驗回數에 따른 標準偏差(σ)에 대한 乘數

V = 強度變移係數

V_1 = 單一 배치에 의한 強度變移係數

X_i = 個別的인 試驗結果

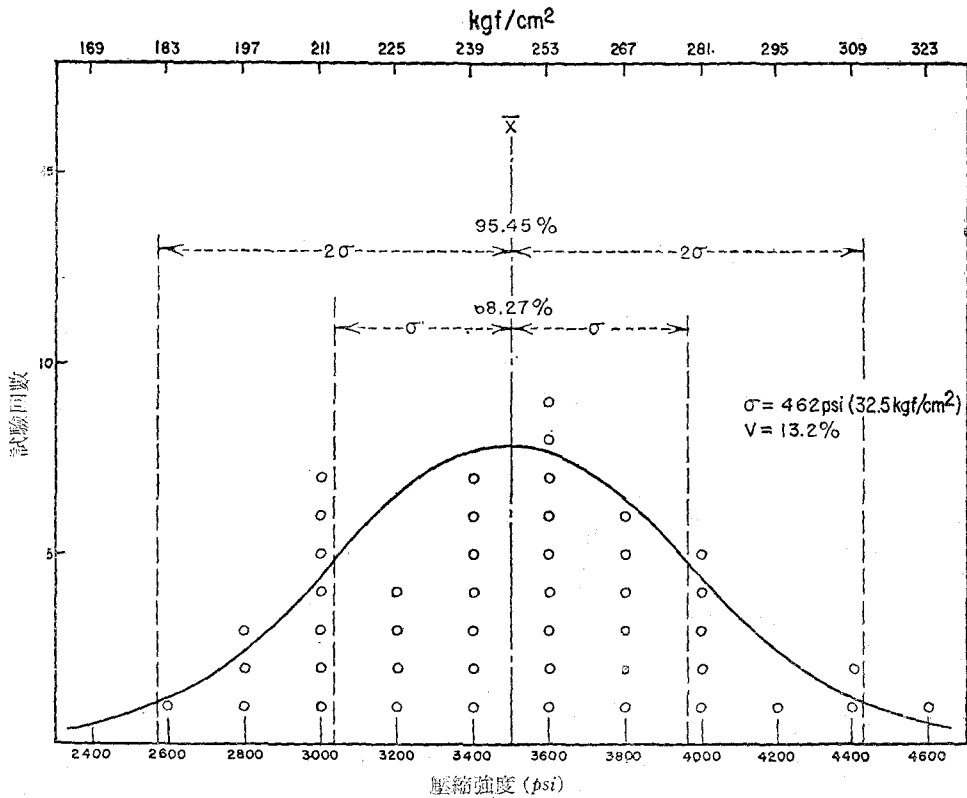
\bar{X} = 試驗結果의 平均值

3.2 一般

보다 많은 資料를 얻으려면 充分한 回數의 試驗을 거듭하여 製造된 콘크리트의 變分을 表示하고 試驗結果를 分析評價하는데는 統計의 手法을 사용하도록 해야 한다. 統計的인 手法은 이러한 結果로부터 콘크리트의 잠재적인 品質과 強度를 決定하고 가장 有用한 형태로 評價하는데 基本이 되는 資料를 제공해 준다.

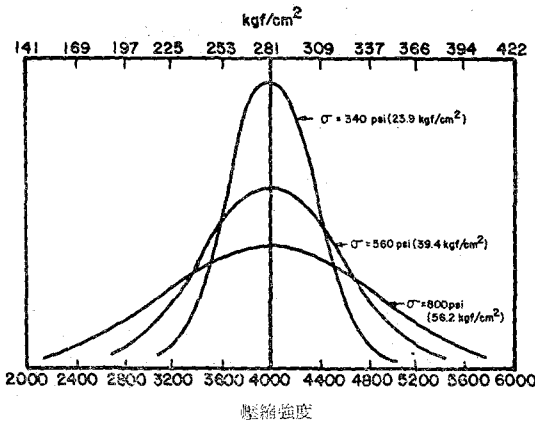
3.3 統計函數

어떤 工事を 위한 콘크리트 試供體의 強度는 <그림-3.3(a)>에 圖示한 正常頻度分布曲線의 형태로 이루어진다고 볼 수 있다. 試驗統制를 철저히 遂行하면 그만큼 強度試驗値는 平均值에 近似하게 나타날 것이며 曲線도 높을 때 가서는 높고 낮을 때 가서는 낮아지는 뚜렷한 모양으로 作



<그림-3.3(a)> 強度試驗結果의 頻度分布과 이에 따른 正常分布曲線

成되는 것이다. 콘크리트 強度의 차이가 增加함에 따라 分析値는 넓게 流布되어 <그림-3.3(b)>에 나타낸 理想的인 曲線과 같이 낮고 옆으로 길게 퍼지는 曲線이 된다. 이러한 曲線의 特性은 數學的으로 糾明이 可能하기 때문에 強度에 대한 一定한 函數를 다음과 같이 計算할 수가 있다.



<그림-3.3(b)> 相異한 標準偏差에 대한 正常頻度 曲線

3.3.1 平均值(\bar{X})

모든 個別的인 試驗에 의한 平均強度는

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} \dots\dots\dots (3-1)$$

로 表示되며 여기에서 $X_1, X_2, X_3 \dots X_n$ 는 個別的인 強度試驗의 結果値이며 n 는 總試驗回數이다. 一連의 試驗은 동일한 콘크리트 배치(batch)에서 採取한 샘플로 동일한 材畧에 걸쳐 만든 모든 試供體의 平均強度를 찾아내는 作業으로 볼 수 있다.

3.3.2 標準偏差(σ)

一般的으로 알려진 分散에 관한 測定方法은 平均值로 나타낸 強度偏差의 自乘平均平方根法(RMS: root-mean-square)이다. 이러한 것을 統計學에서는 標準偏差라고 말하며 <그림-3.3(a)>에 圖示한 曲線에서는 強度評價資料의 頻度分布 曲線下部面積의 對角線에 대한 回轉半徑이라고

볼 수 있다. 한정된 測定資料를 가지고 最善의 評價를 하려면 (3-2)式 또는 代數的 同值인 (3-2a)式을 利用하면 된다. 後者의 公式는 簡單하고 卓床用 計算機에 適用하기 쉬울 뿐 아니라 四捨五入에 의한 誤差를 防止할 수 있다.

$$\sigma = [\{ (X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2 \} / n - 1]^{1/2} \dots \dots \dots (3-2)$$

또는

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} (\sum X_i^2 - n\bar{X}^2)} \dots \dots \dots (3-2a)$$

3.3.3 強度變異係數(V)

平均強度의 百分率로 나타내는 標準偏差를 보통 強度變異係數 (coefficient of variation)라고 하며 다음과 같이 表示한다.

$$V = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100 \dots \dots \dots (3-3)$$

3.3.4 值域(R)

여기에서 말하는 值域이란 한 試驗 그룹 중에서 가장 높은 數로부터 가장 낮은 數를 빼서 얻어지는 統計值를 뜻한다. 그리고 單一 배치에 의한 值域은 試驗值를 내기 위해서 平均值를 잡은 실험된 試供體의 強度 중에서 가장 작은 數를 가장 높은 數로부터 빼는 것이다. 單一 배치에 의한 值域은 다음에서 言及하게 될 單一 배치에 의한 標準偏差를 計算할 때 有用하게 쓰인다.

3.4 強度變異

前에도 說明하였듯이 強度試驗結果의 차이는 두가지의 상이한 原因 때문이라고 볼 수 있다. 즉 ① 試驗方法의 차이 ② 콘크리트 混合物과 成分의 特性差 때문이다. 이들 각각의 原因으로 발생하는 強度差異의 計算은 變形分析으로 가능해진다.

3.4.1 單一試驗에 의한 強度變異

單一試驗에 의한 콘크리트 強度의 차이는 한 배치에서 採取한 同一한 콘크리트 샘플로 만든 試供體의 強度를 計算해서 구하는 것이다. 따라서 콘크리트의 試驗用 샘플은 品質이 均一하여

이러한 샘플로 만든 同質의 試供體間에 생기는 強度의 차이는 單純히 콘크리트의 混合과 養生 및 試驗方法의 차이에 起因하는 것이라고 볼 수 있다.

그러나 콘크리트의 單一 배치를 가지고는 統計學的인 分析에 필요한 충분한 資料를 蒐集할 수 없으며 신뢰할 수 있는 值域을 알아 내려면 적어도 10個 배치 程度는 필요하다. 單一試驗에 의한 標準偏差와 強度의 變異量係數는 편의상 다음과 같이 計算한다.

$$\sigma_1 = \frac{1}{d_2} \bar{R} \dots \dots \dots (3-4)$$

$$V_1 = \frac{\sigma_1}{\bar{X}} \times 100 \dots \dots \dots (3-5)$$

단, σ_1 = 單一試驗에 의한 標準偏差
 $1/d_2$ = 試驗值를 내기 위한 試供體의 平均個數에 따른 常數 <表-3.4.1 참조>

\bar{R} = 同一한 배치의 샘플로 만든 試供體들의 平均值域

V_1 = 單一試驗에 의한 콘크리트 強度의 變化係數

\bar{X} = 平均強度

3.4.2. 배치와 배치간의 強度差異

전에도 言及하였듯이 배치가 바뀔 때 생기는 콘크리트 強度의 差異는 ① 콘크리트 組成物의 特性 ② 배치 (batching)과 混合 및 샘플링 ③ 배치별로 區分하여 행하지 않은 試驗 등에 의하여 생긴다.

<表-3.4.1> 單一 배치의 콘크리트 強度試驗에 의한 標準偏差의 計算을 위한 要素

試 供 體 數	d_2	$1/d_2$
2	1.128	0.8865
3	1.693	0.5907
4	2.059	0.4857
5	2.326	0.4299
6	2.534	0.3946
7	2.704	0.3698
8	2.847	0.3512
9	2.970	0.3367
10	3.078	0.3249

* 材料의 品質管理에 관한 ASTM Manual의 <表-B2>에서 引來 (參考文獻) 參照

強度差異가 생기는 原因 중에서 여러 배치를 試驗하여 分析했을 때의 原因과 單一 배치만을 試驗分析했을 때의 原因의 전체적인 強度差異에 대한 關係는 다음과 같은 式으로 表示된다.

$$\sigma^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 \dots \dots \dots (3-6)$$

단,

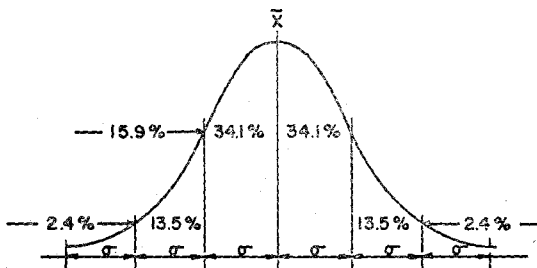
σ = 全體의인 標準偏差

σ_1 = 單一 배치의 試驗만에 의한 標準偏差

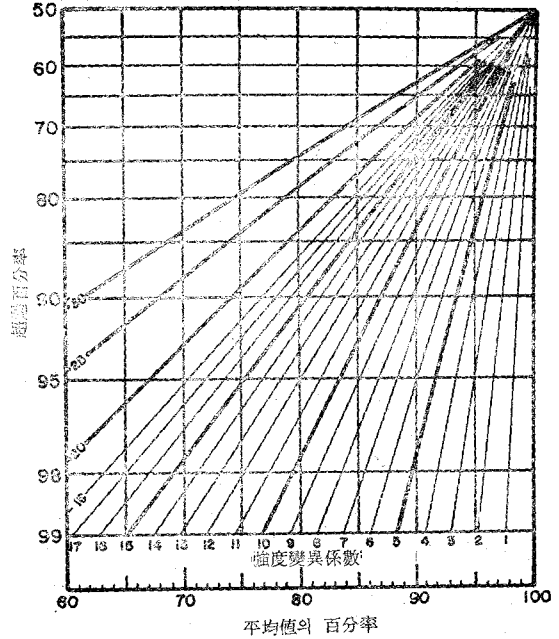
σ_2 = 여러배치의 試驗을 통해 얻은 標準偏差

일단 이러한 母數(parameter)들이 計算되고 이 結果가 正常的인 頻度分布曲線을 만들어 낼 수 있을 것이라는 假定을 내릴 수 있으면 試驗結果에 대한 資料는 충분히 蒐集되었다는 것을 알 수 있다. <그림-3.4.2(a)>는 正常的인 頻度分布曲線 下部의 面積을 等分한 것이다. 즉 그 曲線內부의 面積 중에서 약 68% (試驗結果의 약 68%에 該當됨)는 平均値의 $\pm 1\sigma$ 內에 存在하며 95%는 $\pm 2\sigma$ 內에 存在한다. 이 그림을 통해서 σ 의 平均値 또는 다른 特定한 값의 주어진 倍數內에 들어 올 試驗結果의 一部分이 되도록 推算을 할 수 있는 것이다. <表-3.4.2>는 理論的인 正常頻度分布曲線의 正常確率整數로부터 修正하여 作成된 것으로 $\bar{X} = f_{cr} = (f'_c + f \cdot \sigma)$ 라는 콘크리트 混合物의 平均強度 형태로 f'_c 에 미치지 못하는 試驗의 確率値를 나타낸다. 또한 累積分布曲線은 여러 強度變異係數와 標準偏差에 대한 平均強度의 百分率로 나타나는 임의의 주어진 強度보다 적은 試驗回數를 累積하여 標定하면 作圖할 수가 있다. <그림-3.4.2(b)>와 <그림-3.4.2(c)>는 이와 같은 資料들을 구하는데 이용된다.

이 그림에서 座標는 一定한 強度變異 및 標準



<그림-3.4.2(a)> 正常頻度分布曲線과 軸이 만드는 面積의 等分



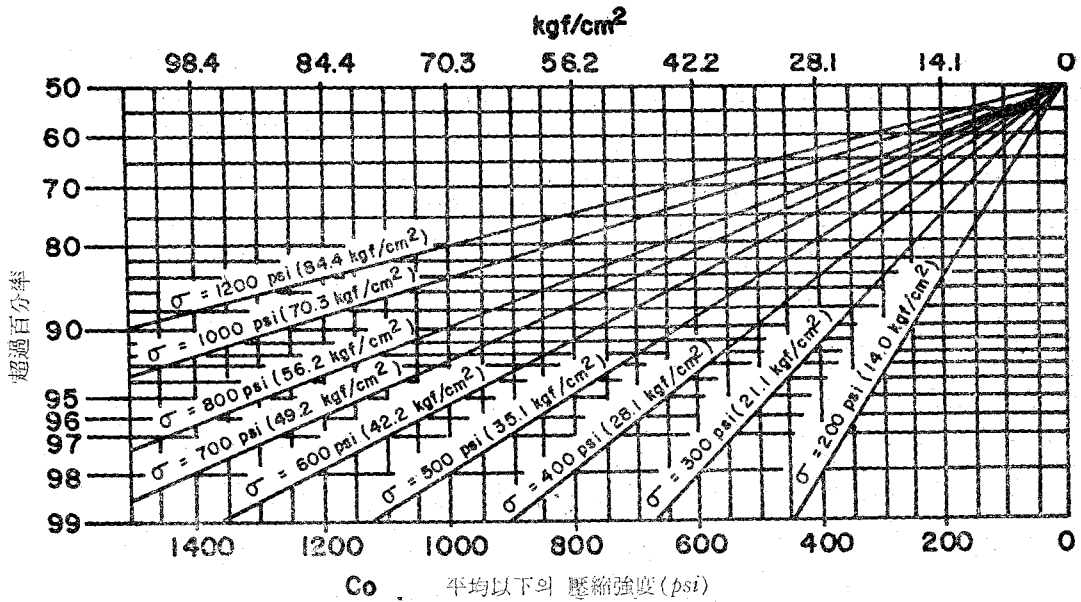
<그림-3.4.2(b)> 相異한 여러 強度變異係數에 대한 累積分布曲線

偏差에 대한 橫座標値로 표시되는 強度보다 큰 數値의 母集團(population)을 百分率로 나타내 주고 있다.

3.5 品質管理規定

標準偏差나 強度變異係數가 어떠한 경우에도 적용할 수 있도록 올바로 測定된 것인지의 여부를 결정하는 것은 이 두가지 測定値 가운데 어느 것이 주어진 條件에 있어서 強度特性의 值域中 가장 일정한 값을 유지하느냐에 달려 있다. 本報告書에 例示한 資料를 例로 들어 보면 두가지 測定値 가운데 強度變異係數보다 標準偏差가 3,000psi(211kgf/cm²) 以上の 強度에서 특히 一定數를 유지하고 있음을 알 수 있다. 한편 單一 배치에 의한 強度差異에 있어서는 變異係數가 더 適合하다고 볼 수 있다(參考文獻 5~10 參照).

<表-3.5>를 보면 相異한 品質管理를 받는 壓縮強度試驗에서 발생하는 可變性을 알아 볼 수가 있다. 이 數値들은 다른 強度試驗에도 적용할 수 있다.



<그림-3.4.2(c)> 相異한 標準偏差에 대한 累積分布曲線

第 4 章 強度의 評價基準

4.1 一般

品質管理를 거쳐 만들어진 콘크리트 試供體의 強度는 대개 構造物을 築造하는데 사용되는 콘
<表-3.5>

콘크리트의 品質에 대한 有形的인 形跡에 불과하다. 試供體의 強度와 構造物의 實質的인 載荷能力 사이에 생기기 쉬운 不均衡 때문에 不適當한 強度測定 結果를 신뢰한다는 것은 현명한 일이 못된다.

콘크리트 試驗回數는 構造物의 載荷能力을 計算하는데 試驗에서 얻은 平均強度보다 더 중요

콘크리트 品質管理의 標準規格

作 業 別	相異한 制御規格에 대한 標準偏差 psi(kgf/cm ²)				
	우 수 합	대단히 양호	양 호	보 통	불 량
綜合的인 強度差異 一般 現場 試驗	以下 400 (28.1)	400 (28.1) 500 (35.2)	500 (35.2) 600 (42.2)	600 (42.2) 700 (49.2)	以上 700 (49.2) 200 (14.1)
實驗室에서의 試驗用 배치	以下 200 (14.1)	200 (14.1) 250 (17.6)	250 (17.6) 300 (21.1)	300 (21.1) 350 (24.6)	以上 350 (24.6)
作 業 別	相異한 制御規定에 대한 強度變異係數 (%)				
	우 수 합	대단히 양호	양 호	보 통	불 량
單一배치에 의한 強度差異 野 外 制 御 試 驗	以下 3.0	3.0 4.0	4.0 5.0	5.0 6.0	以上 6.0
實驗室에서의 試驗用 배치	以下 2.0	2.0 3.0	3.0 4.0	4.0 5.0	以上 5.0

하다. 그러나 대개는 調整을 철저히 하더라도 낮은 強度가 나타날 可能性은 항상 존재하기 때문에 最少強度를 미리 정해 놓는 것은 바람직한 方法이 되질 못한다. 또한 試供體의 모든 諸元이 실제 構造物의 各 部材에 그대로 나타난다고는 볼 수 없다는 것도 감안하지 않으면 안된다. 실제 設計公式에는 安全係數가 적용되어 構造物의 安全을 위태롭게 하지 않는 範圍內에서 要求되는 強度에 차이가 생기게 마련이다. 이와 같은 要素들은 주로 施工業者들이 採用하는 施工法과 設計過程 및 品質管理制度 등에 適用되어 왔기 때문이다. 그리고 만일 試驗結果值가 設計強度에 조금이라도 未達될 때에는 그만큼 결정적인 破壞地點에 영향이 擴大되어 나갈 確率이 커진다는 것을 잊어서는 안된다. 실제 構造物에 있어서 局部的인 低強度 콘크리트에 의한 영향은 과도한 早期載荷, 各 部材에 있어서 低質 콘크리트 地點의 位置와 擴大, 設計時의 強度 信賴度, 低強度의 初期原因 및 構造物破壞의 結果와 經濟性 등의 여러가지 要素에 좌우된다.

設計時에 사용되는 f'_c 에 약간 未達되는 것을 許容하는 最終的인 判定基準은 결국 設計者가 자기의 試驗에 입각하여 決定할 수밖에 없다. 이에 관한 指針은 "Building Code Requirements for Reinforced Concrete CACI 318-71"에 상세히 規定되어 있다.

이러한 형태로 표시되는 強度發揮 要求條件을 만족시키기 위해서는 콘크리트의 平均強度가 設計強度인 f'_c 보다 커야만 한다. 그리고 얼마나 더 커야 하는가는 強度變異係數 및 標準偏差로 나타나는 콘크리트 製造時의 調整方法과 強度試驗의 許容回數에 따라 달라진다.

標準偏差나 強度變異係數를 결정하는데 필요한 強度試驗資料들은 工事契約時에 要求된 條件과 同一한 條件下에 製造된 콘크리트를 적어도 30회의 連續試驗을 거쳐 얻어진 資料라야만 한다. 여기에서 말하는 30회 以上の 連續強度試驗이란 것은 同種의 콘크리트로 된 30個의 배치를 連續的으로 試驗한 結果值나 30個가 넘을 경우에는 그것을 두 그룹으로 나누어 실시한 후 그 結果值를 둘로 나누는 統計學的인 平均値를 뜻하는 것이다. 일반적으로 材料의 변화나 試驗方法이 변

경되면 標準偏差나 強度變異係數에 미치는 영향보다 平均強度 쪽에 더 큰 영향을 미치는 것이 보통이다. 이러한 影響을 주는 材料나 試驗方法의 變更은 주로 포틀랜드시멘트의 類型 및 商標의 變更, 添加劑, 骨材의 出處, 混合比率, 배칭, 混合, 分配 및 試驗 등의 變경으로 構成된다. 모든 試驗結果值는 원래의 工事目的에 맞도록 규정된 強度를 낼 수 있도록 만든 콘크리트에서 얻어진 것이 아니면 안된다. 標準偏差는 平均強度가 변하는데 따라 달라지기 때문이다. 어떠한 設計에 있어서도 필요한 平均強度(f_{cr})는 強度變異係數 및 標準偏差 중 어느것이 사용되느냐에 따라 다음 (4-1) 또는 (4-1a)式과 <表-3.4.2>를 가지고 計算할 수 있다(<그림-4.1(a)> 및 <그림-4.1(b)> 參照).

$$f_{cr} = \frac{f'_c}{(1+tV)} \dots\dots\dots (4-1)$$

$$f_{cr} = f'_c + t\sigma \dots\dots\dots (4-1a)$$

단, f_{cr} =要求되는 平均強度

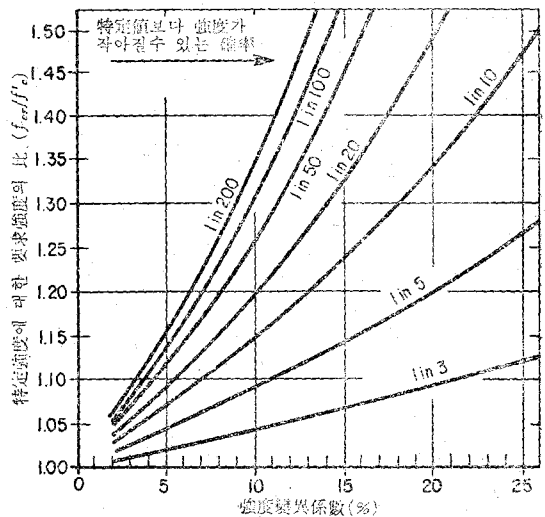
f'_c =特定 設計強度

$t=f'_c$ 보다 작은 試驗回數에 따른 常數(<表-4.1>)

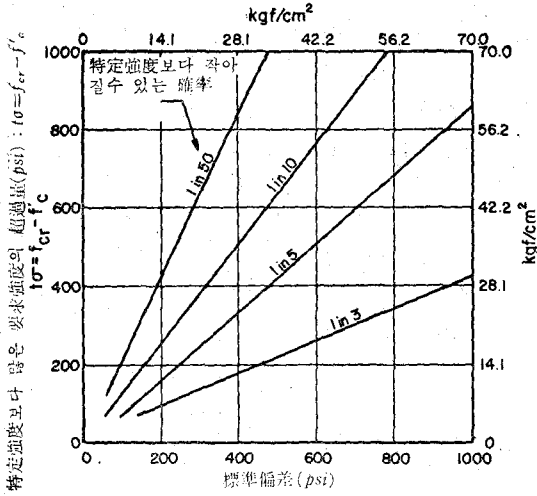
V =分數로 表示되는 強度變異係數의 推定值

σ =標準偏差의 推定值

일정한 試驗回數 n 의 平均値가 示方書에 나와



<그림-4.1(a)> 各種 變異係數에 따른 特定強度(f'_c)에 대한 要求平均強度(f_{cr})의 比와 特定強度보다 작아질 수 있는 確率



<그림-4.1(b)> 各種 標準偏差에 따른 特定強度 (f'_c) 보다 많은 必要한 平均強度 (f_{cr})의 超過量과 特定強度보다 작아질 수 있는 確率

있을 경우에는 上記한 (4-1)식은 다음과 같이 修正된다.

$$f_{cr} = \frac{f'_c}{1 - \frac{tV}{\sqrt{n}}} \dots\dots\dots (4-1b)$$

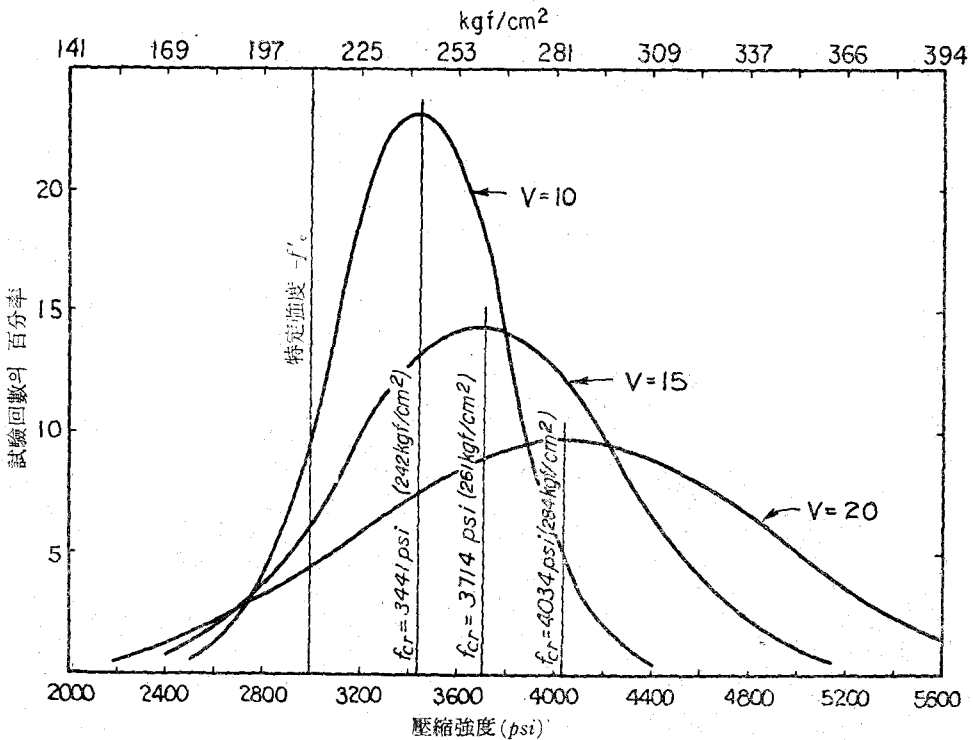
또는

$$f_{cr} = f'_c + \frac{t\sigma}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (4-1c)$$

<그림-4.1(c)>에는 10%, 15% 및 20%의 強度變異係數에 대한 正常頻度曲線을 圖示하여 보았는데 이것을 보면 可變性이 增加하면 f_{cr} 도 반드시 增加하기 때문에 그만큼 精密한 試驗이 어느 정도 經濟性이 있는가를 보여 주고 있다.

이미 言及한 바와 같이 적어도 30回 정도의 試驗을 거쳐야 한다는 것은 均等하게 分布된 母集團(population)에서 25~30개를 임의로 골라낸 試驗結果値는 母集團 平均値 또는 母集團値로 사용되는 標準偏差 등을 推定할 수 있기 때문인 것이다. 만일 推定에 근거를 둘 수 있는 試驗結果値가 단 한개뿐이라면 標準偏差를 구하는데 使用할 資料로서는 信憑性이 전혀 없으며 f_{cr} 을 결정할 수 없기 때문에 앞으로의 試驗回數의 百分率은 當時의 試驗結果만이 唯一한 資料가 되므로 f'_c 보다 커지게 된다.

만일 위에서 說明한 것과 비슷한 條件에 맞는 同一한 工場에서 製造된 콘크리트에 대한 資料가



<그림-4.1(c)> 10%, 15% 및 20%의 強度變異係數에 대한 正常頻度曲線

아직 남아 있는 경우에는 이것을 f_{cr} 결정에 사용할 σ 의 試驗値를 計算하는데 쓸 수가 있다.

방금 시작된 小規模의 工事에서 以前의 試驗資料가 전혀 없는 경우에는 콘크리트 設計를 f'_c 보다 크면서 적어도 1,200 psi (84.4 kgf/cm²) 정도의 強度로 基準을 정해야 한다. 工事が 進陟됨에 따라 強度試驗에 관한 結果値가 많이 蓄積되면 모든 지금까지의 強度試驗値를 綜合적으로 分析하여 보다 信賴性 있는 標準偏差를 구할 수 있게 되고 (4-1)式과 (4-1a)式 및 (4-1c)式을 이용하여 보다 새로운 平均強度(f_{cr})를 計算할 수 있게 된다.

4.2 強度要求量의 決定基準

콘크리트 混合物의 平均強度인 f_{cr} 이 f'_c 를 초과하는 量은 그 工事に 대한 示方規定에 採用된 設計基準에 달렸다. 다음은 어떤 特定한 規定이나 示方書가 要求하는 條件을 만족시킬 수 있는 콘크리트 混合物의 設計強度를 選定하는 計算方法의 例를 몇가지 들어 보기로 한다.

4.2.1 第1設計基準

平均強度가 f'_c 에 未達되는 것이 許容되는 임의의 개별적인 強度의 最大比率

ASTM 94-74 에도 이와 비슷한 方法을 採用하고 있다. 極限強度로 設計된 構造物의 콘크리트에 대해서 ASTM은 強度試驗回數의 10% 이하가 어떤 特定한 콘크리트 強度 f'_c 보다 작은 數値를 나타내도록 해야 한다고 말하고 있다.

예를 들어 임의로 선정하여 個別的으로 強度試驗値가 10개 있다고 할 때 그 중에서 f'_c 가 4,000 psi (281 kgf/cm²)에 미달되는 것이 하나라도 있어서 안되는 경우에;

標準偏差法~콘크리트의 品質管理가 완벽하게 실시되어 標準偏差가 450psi (31.7 kgf/cm²)를 나타냈다고 보고 (4-1a)式과 <表-4.1>을 이용하면

$$\begin{aligned} f_{cr} &= f'_c + t \cdot \sigma \\ &= 4,000 + 1.28 \times 450 \\ &= 4,580 \text{ psi (322 kgf/cm}^2\text{)} \end{aligned}$$

結果적으로 4,000 psi (281 kgf/cm²)되는 構造

<表-4.1> t 의 값

$X \pm t \cdot \sigma$ 範圍內의 試驗回數의 百分率	下限値에 미치지 않을 確率	t
40	3 in 10	0.52
50	2.5 in 10	0.67
60	2 in 10	0.84
68.27	1 in 6.3	1.00
70	1.5 in 10	1.04
80	1 in 10	1.28
90	1 in 20	1.65
95	1 in 40	1.96
95.45	1 in 44	2.00
98	1 in 100	2.33
99	1 in 200	2.58
99.73	1 in 741	3.00

設計強度 f'_c 에 대해서는 콘크리트 混合物이 적어도 4,580 psi (322 kgf/cm²) 이상의 平均強度를 내도록 配合되어야 한다는 것이다. 이 경우 強度變異係數는 (450/4,580) × 100 = 9.8%가 된다.

強度變異係數法~콘크리트의 品質管理가 완벽하게 실시되어 強度變異係數가 10%로 나타났다고 보고 (4-1)式과 <表-4.1>을 이용하면

$$\begin{aligned} f_{cr} &= \frac{f'_c}{1 - tV} \\ &= \frac{f'_c}{1 - 1.28(0.10)} \\ &= 1.15 f'_c \text{ (<그림-4.1(a)> 참조)} \\ &= 4,600 \text{ psi (324 kgf/cm}^2\text{)} \end{aligned}$$

이러한 方法과 資料를 이용하여 콘크리트 混合物은 적어도 4,600 psi (324 kgf/cm²) 이상의 平均強度를 내도록 配合되어야 한다는 것을 알 수 있다.

4.2.2 第2設計基準

連續적인 強度試驗의 n 回數의 平均値는 f'_c 에 미달되는 一定한 確率

ACI 318-71에 의할 것 같으면 어떤 工事に 따른 콘크리트의 強度試驗結果에 관한 資料가 충분해진 다음에는 f'_c 에 미달되는 3회의 連續 強度試驗의 平均値가 발생하는 頻度가 1/100을 超過해서는 안된다는 것이다.

그 例로서 3회의 連續試驗의 平均値 가운데

f'_c 가 4,000 psi (281 kgf/cm²)에 미달되는 것이 100에 1개 이상 있어서는 안된다는 경우에;

標準偏差法~標準偏差가 750psi (53 kgf/cm²)라고 보고 (4-1c)식과 <表-4.1>을 이용하여

$$\begin{aligned} f_{cr} &= f'_c + \frac{t\sigma}{\sqrt{n}} \\ &= 4,000 \text{ psi} + \frac{2.33(750)}{\sqrt{3}} \\ &= 5,000 \text{ psi} (351 \text{ kgf/cm}^2) \end{aligned}$$

따라서 f'_c 가 4,000 psi (281 kgf/cm²)되는 構造設計強度에 대해서 콘크리트 混合物은 적어도 5,000 psi (351 kgf/cm²) 이상의 平均強度를 내도록 配合되지 않으면 안된다는 것이다.

強度變異係數法~強度變異係數가 15%라고 보고 (4-1b)식과 <表-4.1>을 이용하여

$$\begin{aligned} f_{cr} &= \frac{f'_c}{1 - \frac{tV}{\sqrt{n}}} \\ &= \frac{4,000}{1 - \frac{2.33(0.15)}{\sqrt{3}}} \\ &= 5,000 \text{ psi} (351 \text{ kgf/cm}^2) \end{aligned}$$

이러한 方法을 통해서 콘크리트 混合物은 적어도 5,000 psi (351 kgf/cm²) 이상의 平均強度를 내도록 配合되어야 한다는 것을 알게 된다.

4.2.3 第3設計基準

임의로 選定하여 個別的으로 實施한 強度試驗值가 f'_c 에 미달되는 어떤 일정한 量보다 많아질 確率

이러한 方法도 역시 ACI 318-71에 規定되어 있는데 이에 따르면 f'_c 보다는 작으면서 500 psi (35.1 kgf/cm²)보다 큰 임의로 選定하여 실시한 試驗值를 얻을 수 있는 確率이 1/100은 되어야 한다.

그 例로서 強度試驗值가 4,000 psi (281 kgf/cm²)의 f'_c 에는 미달되면서 500 psi (35.1 kgf/cm²)를 넘게 될 確率이 1/100이 되는 경우,

標準偏差法~標準偏差를 750 psi로 보고 (4-1a)식과 <表-4.1>을 이용하면

$$\begin{aligned} f_{cr} &= f'_c - 500 + t\sigma \\ &= 4,000 - 500 + 2.33(750) \\ &= 5,245 \text{ psi} (369 \text{ kgf/cm}^2) \end{aligned}$$

따라서 콘크리트 混合物은 5,245 psi (369 kgf/cm²)

cm²) 이상의 平均強度를 낼 수 있도록 配合되어야 한다는 것을 알 수 있다.

強度變異係數法~(4-1)식과 <表-4.1>을 이용하고 強度變異係數를 15%로 보면

$$\begin{aligned} f_{cr} &= \frac{f'_c - 500}{1 - tV} \\ &= \frac{4,000 - 500}{1 - 2.33(0.15)} \\ &= 5,390 \text{ psi} (379 \text{ kgf/cm}^2) \end{aligned}$$

결국 여기에서도 콘크리트 混合物은 5,390 psi (379 kgf/cm²) 이상의 強度를 낼 수 있도록 配合되어야 한다.

4.2.4 第4設計基準

任意로 選定하여 個別的으로 실시한 強度試驗이 f'_c 의 일정한 百分率 以下가 되는 確率

그 例로서 한번 強度試驗을 해서 f'_c 가 4,000 psi (281 kgf/cm²)의 85% 以下가 될 確率이 1/100인 경우를 생각할 때;

標準偏差法~(4-1a)식과 <表-4.1>을 이용하여 標準偏差가 750 psi (53 kgf/cm²)라고 가정하면

$$\begin{aligned} f_{cr} &= 0.85f'_c + t\sigma \\ &= 0.85(4,000) + 2.33(750) \\ &= 5,145 \text{ psi} (361 \text{ kgf/cm}^2) \end{aligned}$$

따라서 콘크리트 混合物은 적어도 5,145 psi (361 kgf/cm²) 이상의 平均強度를 낼 수 있도록 配合되어야 한다.

強度變異係數法~強度變異係數가 15%라고 보고 (4-1)식과 <表-4.1>을 利用하면;

$$\begin{aligned} f_{cr} &= \frac{0.85f'_c}{1 - tV} \\ &= \frac{0.85(4,000)}{1 - 2.33(0.15)} \\ &= 5,230 \text{ psi} (368 \text{ kgf/cm}^2) \end{aligned}$$

따라서 이 경우에 콘크리트 混合物은 5,230 psi (368 kgf/cm²) 이상의 平均強度를 내도록 配合되지 않으면 안된다.

4.3 其他 評價資料

<表-4.3>은 콘크리트 強度試驗의 評價를 위한 其他 여러가지 資料들을 表示한 것이다. 圖

<表-4.3>

連續的인 低強度試驗結果의 評價

1	2	3	4	5	
平均連續試驗回數	指定된 數値보다 적은 平均値는 조사해볼 需要가 있다. ¹⁾			f_c' 보다 작은 平均値의 確率(%) ²⁾	
	f_{cr} 의 初期選定基準				
	10回 中 1회가 f_c' 에 미달된 경우		100回 中 1회가 f_c' =500 psi에 미달된 경우		10回 中 1회가 f_c' 에 미달된 경우
	$V=15$ 인 경우 (%)	주어진 σ 의 경우	주어진 σ 의 경우		
1	$0.86 f_c'$	$f_c' - 0.77\sigma$	$f_c' - 500 + 0.76\sigma$	10.0	
2	$0.97 f_c'$	$f_c' - 0.17\sigma$	$f_c' - 500 + 0.88\sigma$	3.5	
3	$1.02 f_c'$	$f_c' - 0.10\sigma$	$f_c' - 500 + 1.14\sigma$	1.3	
4	$1.05 f_c'$	$f_c' + 0.26\sigma$	$f_c' - 500 + 1.30\sigma$	0.5	
5	$1.07 f_c'$	$f_c' + 0.36\sigma$	$f_c' - 500 + 1.41\sigma$	0.2	
6	$1.08 f_c'$	$f_c' + 0.44\sigma$	$f_c' - 500 + 1.49\sigma$	0.1	

註 1) 指定된 범위보다 작은 平均値가 나올 確率은 同一한 試料의 平均強度가 f_{cr} 과 같고 標準偏差 또는 強度變異係數가 假定値와 비슷할 경우에는 약 2% 정도가 된다.

2) 同一한 試料의 平均強度가 f_{cr} 과 같고 標準偏差 또는 強度變異係數가 假定値와 비슷할 경우를 말한다.

表의 2, 3, 4欄의 數値들은 個別的인 試驗의 回數 또는 相異한 여러 試驗回數의 平均値보다 대체로 큰 強度를 나타낸 것이다. 이 數値들은 또한 콘크리트가 f_{cr} 과 같은 平均強度를 내도록 配合되었다는 假定下에 計算된 것이다. 2欄에 있는 數値는 強度變異係數가 15%되는 콘크리트에 한해서만 理論的으로 適正한 數値라고 볼 수 있고 3欄과 4欄에 있는 數値는 모든 標準偏差에 適用할 수 있다. 이 두가지 경우 중 어떠한 경우에도 콘크리트를 製造할 때 品質管理만 제대로 實施되어 表에 나타난 數値들을 超過하는 확율은 경우 0.02에 지나지 못한다. 이와 같이 대부분의 경우 圖表에 나타난 限界値에 들어 맞지 않은 것은 現行 平均強度가 f_{cr} 보다 적거나 σ 또는 V 가 增加하는 것을 뜻한다고 볼 수 있다. 이것은 強度나 品質管理가 기대했던 것보다 낮거나 불량했기 때문에 발생한다고 볼 수 있다. 그리고 試驗値가 위 圖表에 表示된 限界値에 미달되는 것은 콘크리트 자체의 缺陷보다는 샘플링이나 試驗節次의 誤謬에 起因할 가능성도 있다는 것을 잊어서는 안된다.

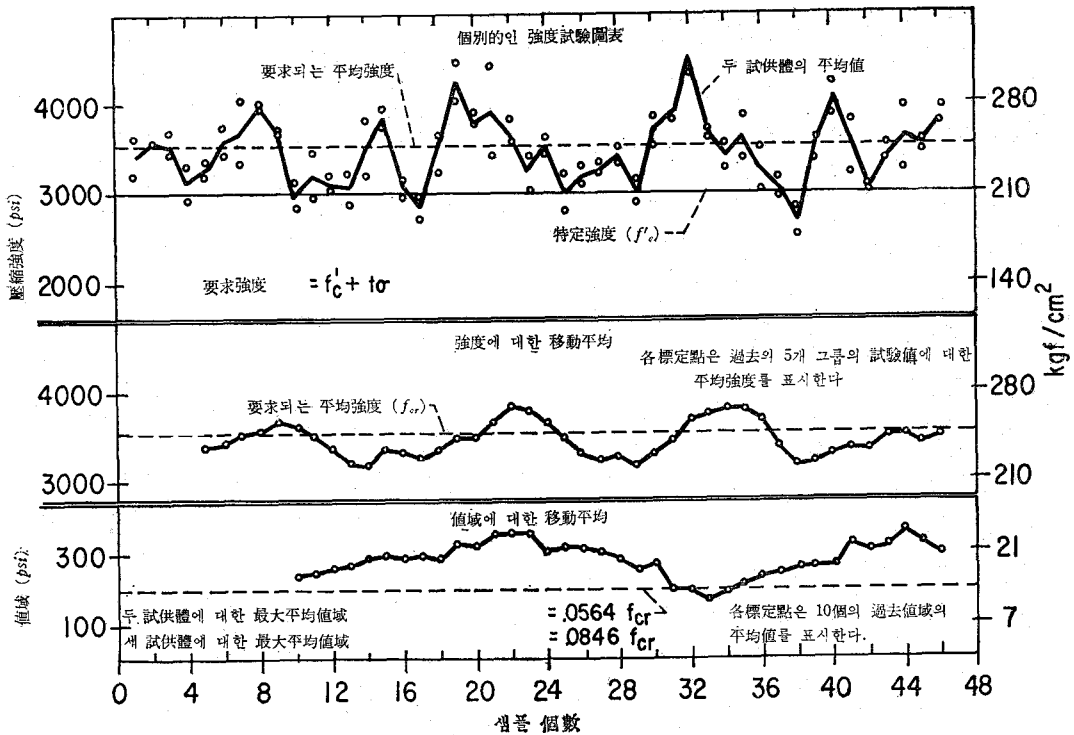
5欄에 있는 數値는 콘크리트가 f_{cr} 과 同一한 平均強度를 내도록 配合되었을 때 어떤 주어진 連續試驗의 平均回數가 f_c' 와 같거나 또는 超過하지 못할 確率을 表示해 주고 있다. 따라서 試

驗回數의 平均値를 내기 전에 그 回數를 增加시키면 強度差異가 增加된 試驗回數와 相殺되어 f_c' 는 限界値를 超過할 가능성이 커진다. 이러한 취약점을 補強하기 위해서는 平均値를 구하기 위한 連續試驗 回數는 f_c' 가 적절한 수준이 되도록 선정하는 것이 타당하며 論理的이라고 볼 수 있다. 이것은 결국 10回的 試驗 가운데 1回 정도는 그 값이 f_c' 보다 낮아도 무방하다는 3回 連續試驗의 平均値를 뜻하는 것이다. 그러나 한가지 念頭해 둘 것은 試驗結果値를 誘導해 내는 過程에서 假定한 統計學的 理論에 의할 것 같으면 콘크리트의 品質管理가 아무리 철저히 행해지고 平均強度가 아무리 f_{cr} 과 같은 정도로 設計하였다 하더라도 위에서 言及한 缺陷狀態는 50회에 한번 정도로 발생하게 마련이다.

대부분의 콘크리트 強度에 관한 示方書에서는 同一한 試料를 가지고 실시한 試驗에서 적어도 2~3個의 資料를 구해낼 것을 요구하고 있다. 이러한 資料들은 주어진 샘플에 대한 믿을 만한 平均強度를 내고 單一 샘플에 의한 強度 차이를 구하기 위한 值域을 提供하는데 필요한 것이다.

4.4 콘크리트의 品質管理圖表

지금까지 콘크리트 製造業界에서는 品質管理



〈그림-4.4〉 콘크리트의 品質管理圖表

圖表를 사용하여 콘크리트 強度의 變性을 減少시키고 生産能率을 向上시켜 왔다. 이러한 圖表를 作成하는 方法은 여러모로 開發되어 ASTM의 "Manual on Quality Control of Materials"⁴⁾에 대단히 보기에 편리한 태도로 要約되어 있다. 과거의 試驗結果와 限界數值를 근거로 하여 圖表를 作成하게 되어 있기 때문에 새로운 試驗結果值를 順序대로 標定해 나가면 試驗結果의 傾向을 한눈에 볼 수 있도록 되어 있다. 이미 計算된 範圍밖에 標定되는 點들이 생길 때는 工程에 어떤 잘못이 생겼음을 말해 준다. 이와 같은 圖表는 콘크리트가 어떤 일정한 期間 동안 계속적으로 生産되는 곳에서는 어디에서나 사용해 볼만한 것이다.

콘크리트의 品質管理를 위해 특별히 마련한 3개의 簡易圖表를 〈그림-4.4〉에 圖示해 놓았다. 이 圖表에는 正式 品質管理에 필요한 모든 樣式이 다 갖추어져 있지는 못하지만, 이 정도의 圖表로도 콘크리트 生産技術者와 建築技師 및 工場長들에게는 有用한 圖表가 되리라 믿는다. 본

圖表의 특징으로는 다음 세가지를 들 수 있다.

① 이 圖表에는 모든 強度試驗의 結果가 나오는데로 標定이 가능하다. 요구되는 平均強度를 나타내는 線은 (4-1a)式 또는 <表-4.3>에서 구하거나 처음부터 주어진 特定設計強度에 따라 쉽사리 設定할 수 있다.

② 이 圖表에는 壓縮強度에 대한 移動平均値가 있어서 每日 또는 그때그때 바뀌는 배치에서 採取된 두개의 試供體로 構成된 過去의 5셋트에 대한 平均強度를 標定할 수가 있다. 이 圖表의 경우 特定強度는 最低限界에 속한다. 이 圖表는 試驗傾向을 표시하는데 유용하며 季節에 의한 強度差異 및 材料의 變化에 의한 強度差異 등을 분명히 식별할 수 있게 해 준다. 적절한 下限線으로 移動平均値를 標定하기 위해 平均을 잡은 試驗回數는 편의상 변경시킬 수 있다.

③ 이 圖表는 또한 值域에 대한 移動平均値가 있기 때문에 同一試料로 만든 두개의 試供體로 構成된 과거의 10그룹에 대한 平均值域을 매일 標定할 수가 있다. 철저한 品質管理를 할 수 있

는 實驗室用 最大平均値域도 역시 標定이 가능하다. 이 最大平均値域은 4.5節에서 說明한 대로 하던 구할 수 있다.

4.5 바람직한 試驗方法과 試供體

어떠한 경우에 있어서도 콘크리트의 強度差異를 精密하게 표시하려면 충분한 試驗回數를 거쳐야 한다. 이러한 콘크리트 試驗은 또한 경과된 時間 또는 打設된 콘크리트의 量에 基準을 두고 행해져야 하며 필요한 試驗回數를 결정하는 가장 實質的인 方法은 그때그때의 條件에 알맞도록 하는 것이다. 試驗의 結果는 모름지기 同一한 콘크리트 배치에서 採取한 샘플로 만들어진 同一 材令의 여러 試供體에서 얻은 強度를 平均値로 나타내야 하는 것이다.

모든 콘크리트 製造工程이 한 사람의 技術者에 의해 統制되는 경우에는 品質管理를 처음부터 一貫性 있게 잘 해 나갈 수 있으며 試驗回數도 最少限으로 줄여서 信賴할 수 있는 正確한 試驗結果도 구할 수 있다. 일단 콘크리트의 製造工程이 순조롭게 進行되면 生産되는 콘크리트의 量에 따라 하루에 한번 또는 두세번의 試驗結果로도 構造物에 그 콘크리트가 打設되었을 때에 發揮할 強度를 충분히 알아 낼 수가 있다. 그러나 일반적으로는 충분한 試驗回數를 거쳐서 하루 동안에 계속 打設되는 여러 형태의 콘크리트가 필요한 材令에서 試驗되는 두개의 6×12 in 標準型 試供體의 平均値를 적어도 1회의 試驗値로 나타낼 수가 있어야 한다. 每日 두개의 相異한 배치에서 採取하여 만든 하나의 試供體는 더욱 信賴할 만한 資料를 提供해 줄 수 있지만 一般적으로 單一 배치의 強度差異를 點檢하기 위해서는 同一 試料를 가지고 만든 試供體로서도 충분하다고 본다.

建築技師가 필요로 하는 試供體數는 既存標準規定 대로 결정해야 하지만 試供體를 만드는 사람이나 實驗室 및 建設請負業者 등의 技術上의 信賴度에 따라 다소 減少시킬 수 있다.

實驗室은 精密한 試驗을 해야하는 責任이 있으며 試驗結果가 심한 強度差異를 나타내어 실제보다 훨씬 낮은 平均強度를 나타내면 애매한 콘크

리트만 궁지에 몰리게 된다. 同一한 試料로 만들어 동시에 試驗한 콘크리트 試供體間의 値域은 實驗室의 責任이기 때문에 <그림-4.4>와 같은 品質管理圖表가 試驗工程의 一貫性을 기하기 위해서 반드시 實驗室에 구비되어 있어야 한다. 그리고 이러한 値域은 長期間에 걸쳐 콘크리트 強度에 영향을 미칠 試驗方法, 養生, 거푸집 設置 및 試驗節次 등의 그날그날의 차이를 표시해 주지 못한다는 것을 유의하지 않으면 안된다. 이러한 試供體들간의 値域은 한 그룹當 試供體의 數와 單一 배치에 의한 試供體의 強度差異에 따라 좌우된다. 이 關係를 式으로 表示하면 다음과 같이 나타난다(3-4)式과 (3-5)式 參照).

$$\bar{R}_m = f_{cr} V_1 d_2 \dots \dots \dots (4-2)$$

但, 여기에서 \bar{R}_m 은 <그림-4.4>의 下部圖表에 있는 平均値域에 대한 最大値를 뜻한다. 單一 배치에 의한 強度變異係數인 V_1 은 品質管理가 충분히 행해졌을 경우에 5%를 넘어서는 안되고(<表-3.5>) 이 때의 平均値域은 다음과 같이 計算한다.

한 試驗 그룹이 두개의 試供體로 構成된 그룹에 대해서는;

$$\bar{R}_m = (0.05 \times 1,128) f_{cr} = 0.05640 f_{cr}$$

한 試驗 그룹이 세개의 試供體로 構成된 그룹에 대해서는;

$$\bar{R}_m = (0.05 \times 1,693) f_{cr} = 0.08465 f_{cr}$$

28日間 21°C에서 濕潤養生된 直徑 6 in. 높이 12 in. 되는 콘크리트 試供體는 一般적으로 粗骨材의 公稱 치수가 2인치를 超過하지 않으면 콘크리트의 強度와 品質管理에 標準試供體라고 볼 수 있다.

때때로 특히 試驗의 初期段階에서는 28日強度에 관한 結果가 나오기 전에 生産되고 있는 콘크리트의 強度를 推算할 필요가 생기는데 이러한 경우에는 同一한 배치에서 採取한 콘크리트로 만든 試供體를 加速試驗法을 이용하여 7日 또는 그보다 이른 材令에서 試驗을 실시하고 이들 初期試驗資料들을 重疊시킴으로써 28日 強度를 구할 수 있다.

後期材令의 콘크리트 強度, 특히 포졸란 및 遲延強度 시멘트를 사용할 때의 後期材令의 콘크리트 強度는 標準 28日 強度보다 훨씬 높다. 어떤

構造物은 콘크리트가 長期間에 걸쳐 충분히 硬化되어 28日以後에도 強度가 계속 올라가는 利點을 살릴 수 있을 때까지 載荷하지 않은 경우도 있다. 어떤 콘크리트는 28日에 가서도 자체의 極限強度의 50%도 다 發揮하지 못하는 경우도 있다. 만일 構造物 設計를 滿期材畧의 콘크리트 強度에 基準을 두고 실시했다면 滿期材畧의 試供體를 이용할 필요가 없기 때문에 이들 強度를 28日 強度의 標準試供體에 맞추는 수밖에 없게 된다. 가끔적으로 이러한 경우는 工事가 시작되기 전에 試驗室에서 精密하게 試驗한 후 적용해야 한다.

때로는 現場에서 工事條件에 맞추어 콘크리트 強度 試驗用 試供體를 養生하는 것도 바람직한 경우가 있다. 이러한 특별한 경우의 試驗은 標準品質管理를 통한 強度試驗과 혼동하거나 對置되어서는 안된다. 現場試驗이 대단히 유리한 경우는 특히 氣候가 寒冷할 때 거푸집을 除去할 時期를 결정할 때라든지 또는 蒸氣養生된 콘크리트 파이프와 블록 및 構造物部材의 強度를 決定할 때라고 볼 수 있다.

4.6 의심스러운 試供體의 棄却

試驗值가 너무 차이가 심하다고 하여 試供體를 任意로 棄却해 버리는 것은 確率의 正常 패턴을 파괴할 가능성이 있기 때문에 바람직한 일이 되지 못한다. 無分別하게 試供體의 試驗結果를 버리는 것은 콘크리트의 強度分布를 일그러지게 하여 結果分析을 믿을 수 없게 만들 우려가 있다.

가끔 同一한 試料를 가지고 만든 試供 그룹 중의 한 試供體의 強度가 平均值와 너무 차이가 심해서 믿어지지 않을 때가 있다. 따라서 3개 또는 그 이상의 試供體를 동시에 試驗하여 본 결과 그중 한 試供體가 平均試驗보다 3σ 이상의 偏差가 생기기 전에는 棄却해 버려서는 안된다. 그리고 만일 試供體를 配合하여 養生하고 試驗할 때 過度한 強度差가 발견되면 그때에는 그 試供體를 棄却해도 무방하며 이때에는 나머지 試供體를 가지고 平均強度를 計算하면 된다.

한번 採取한 샘플로 만든 모든 試供體의 平均

強度試驗值는 그 試供體들이 잘못 製造된 것으로 判定되지 않는 한 棄却되어서는 안된다. 이 試驗值가 그 샘플에 대한 強度를 알아내는데 가장 좋은 資料가 되기 때문이다.

第5章 結 論

1949년에 構成된 214委員會는 그 첫번 標準規格을 1957년에 발표하였다. 이 標準規格이 시도한 方法은 그 당시 產業界에 처음 소개된 것이었으며 간소화된 統計學的인 品質管理法을 紹介하는 附錄은 1965년에 추가되었다. 그 다음 해에 이 附錄은 별로 價値가 없음이 밝혀지고 產業界 중에서도 특히 小規模 企業家들의 이 統計學的인 品質管理法에 대한 認識은 계속 나빠졌다. 따라서 本委員會의 委員들은 더 이상 이에 관한 修正은 加할 필요가 없으며 現在의 規格을 그대로 사용하는 데만 注力을 해야 되겠다고 생각했다. 그러던 중 1971년에 "Realism in the Application of ACI Standard 214-65"라는 主題의 심포지움이 開催되었다. 이 內容은 1973년에 發刊되었다. 이때에 改正된 이 統計學的인 品質管理法은 다만 ACI 214-65가 아직도 業體들에 의해 認識이 부족하니 보강되어야 한다는 정도의 몇 句節에 지나지 않았다.

이렇게 하여 改正된 것이 이 글의 <表-3.5>인 品質管理의 標準規格이다. 이제 콘크리트의 全體的인 強度差異는 標準偏差와 強度變異係數로 表示할 수 있게 되었다. 이것은 最近에 발견된 「標準偏差는 콘크리트의 強度가 3,000 psi (211 kgf/cm²) 이상에서는 거의 常數로 된다」는 學說에서 基本을 찾아 볼 수 있는 것이다. 單一배치에 의한 強度變異는 아직 係數의 형태로 計算한다.

最近에 와서는 1965년에 改正된 附錄은 너무 問題點이 많아서 廢止하고 말았다.

標準規格을 더욱 유용하게 만들기 위하여 4.2節을 現行 示方規定의 要求條件을 충족시키는데 필요한 콘크리트의 要求強度를 구하는 理論을 說明하는 方式으로 開發시킨 것이다.

[参 考 文 献]

- 1) Natrella, M. G., "Experimental Statistics," Handbook No.91, U. S. Department of Standards, National Bureau of Standards, Washington, D. C. 1963, pp. 1~4 to 1~6.
- 2) *Realism in the Application of ACI Standard 214* ~65, SP-37, American Concrete Institute, Detroit 1973, pp. 215.
- 3) "Evaluation of Strength Tests of Concrete," ACI Bibliography No. 2, American Concrete Institute, Detroit, 1960, pp. 13.
- 4) *ASTM Manual on Quality Control of Materials*, STP 15-C, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Jan. 1951, pp. 127.
- 5) Neville, A. M., "The Relation Between Standard Deviation and Mean Strength of Concrete Test Cubes," Magazine of Concrete Research (London), V. 11, No. 32, July 1959, pp. 75~84.
- 6) Metcalf, J. B., "The Specification of Concrete Strength, Part II, The Distribution of Strength of Concrete for Structures in Current Practice", RRL Report No. LR300, Road Research Laboratory, Crawthorne, Berk Shire, 1970, pp. 22.
- 7) Murdock, C. J., "The Control of Concrete Quality," Proceedings, Institute of Civil Engineers (London), V. 2, Part I, July 1953.
- 8) Erntroy, H.C., "The Variation of Works Test Cubes," Research Report No. 10, Cement and Concrete Association, London, Nov. 1960, pp. 28.
- 9) Rüsck, H., "Statistical Quality Control of Concrete," Materialprüfung (Düsseldorf), V. 6, No. 11, Nov. 1964, pp. 387~394.
- 10) "Tentative Recommended Practice for Conducting an Interlaboratory Test Program to Determine the Precision of Test Methods for Construction Materials," (ASTM C 802-74T), 1975 Annual Book of ASTM Standards, Part 13, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp. 414~443.