

酸中和法에 의한 콘크리트 强度的 早期推定

韓 千 求

〈清州大 建築工學科 助教授〉

〈目 次〉

1. 序 論
2. 實驗計劃 및 方法
 - 2-1 實驗概要
 - 2-2 使用材料
 - 2-3 實驗原理 및 方法
3. 實驗結果 및 分析
 - 3-1 콘크리트의 基礎 力學的 性質
 - 3-2 早期材齡强度 測定에 의한 强度推定
 - 3-3 酸中和量에 미치는 影響因子
 - 3-4 酸中和量에 依한 强度早期推定
4. 結 論

1. 序 論

콘크리트의 品質管理에 있어 施工契約과 같은 强度的 콘크리트로 打設되었는가를 檢査할 때에는 一般的으로 建設工事와 並行하여 KS規格에 의거 供試체를 製作하고 28日間 標準養生한 다음 强度試驗을 實施하여 判定하고 있다.

그러나 이때는 이미 콘크리트가 構造物에 打

設되어 硬化된 다음으로 만약 供試체 콘크리트의 强度에 一部 혹은 全体的으로 瑕疵가 發生하게 되면 構造体 콘크리트의 强度를 非破壞試驗으로 再檢討하게 되고, 이때도 같은 結果로 判定하게 되면 構造物의 補修 補強, 撤去 및 損害 補償等 重大한 問題가 發生하게 되는데(그림 1 參照), 이와같은 觀點에서 콘크리트 打設 以前인 굳지않은 콘크리트 狀態로 强度를 早期에 推定할 必要性이 있는 것이다(그림 2 參照).

콘크리트 强度의 早期推定에 관한 既往의 研究로서는 아직 굳지 않은 콘크리트의 췌기分析 試驗方法, 콘크리트 分析機 RAM에 의한 方法, 比重計法, 鹽酸溶解熱法, 化學的 方法, PH Meter에 의한 方法, 超音波速度測定에 의한 方法, 電氣抵抗測定法, 促進養生에 의한 方法, 早期材齡强度測定에 의한 强度推定法 등이 있는데 本 研究는 既往에 發表된 블리이딩水의 酸中和量 測定法 研究(妥當性 및 骨材條件에 따른 影響因子分析에 이어 굳지않은 콘크리트 狀態에서 콘시스턴시 測定の 重要한 尺度인 슬럼프值를 中心으로 影響因子 分析 및 이 方法을 實務에 適用할 때의 相關性分析 등 一部 參考資料로 提供하고자 함을 研究目的으로 하였다.

아울러 本研究의 遂行過程中에서 研究分析 가능한 普通콘크리트의 力學的性質 및 早期材齡 强度 測定에 의한 强度推定에 관하여도 附加的으로 本研究와 同時에 分析하도록 하였다.

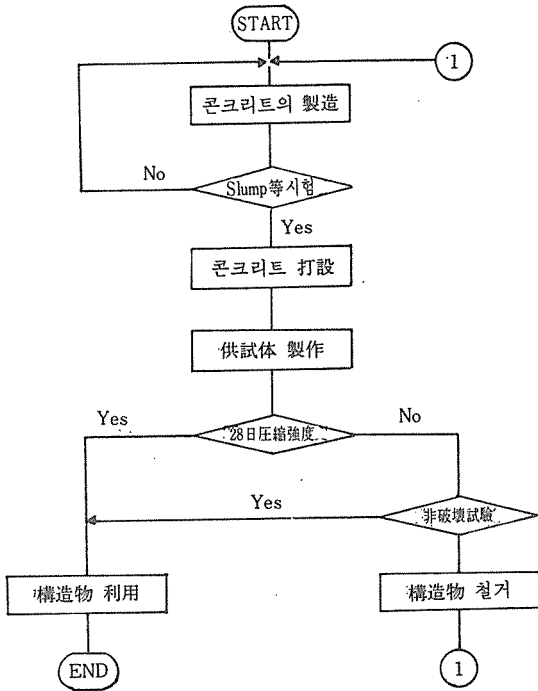


그림 1. 現行 콘크리트 品質管理 Flow-Chart

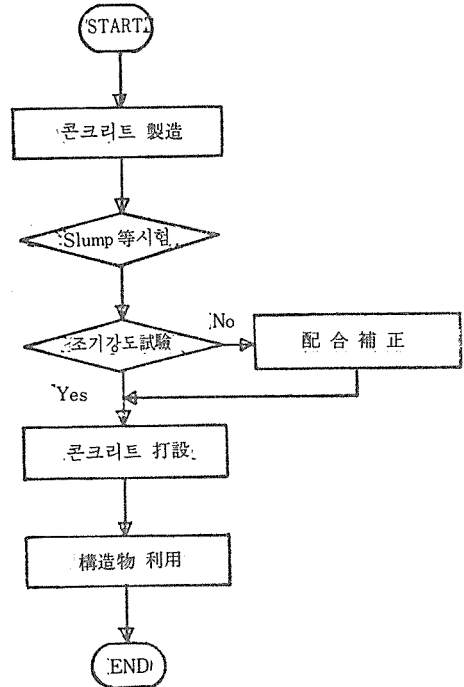


그림 2. 콘크리트의 品質管理改善 Flow-Chart

2. 實驗計劃 및 方法

2-1. 實驗概要

本實驗은 一般 建設工事에서 가장 普遍的으로 많이 利用하는 材料條件(시멘트; 1種A級, 잔骨材; FM=2.8, 굵은骨材; NO.57骨材), 물 시멘트比(0.4~0.7) 및 슬럼프值(8, 12 및 18cm)에 대하여 콘크리트 品質管理에 重要한 3日, 7日 및 28日의 材齡으로 試驗을 實施, 물 시멘트比, 슬럼프 및 材齡變化에 따른 블리딩水의 鹽酸中和量(以下 酸中和量 및 酸中和法이라 칭함)과 壓縮強度間의 影響因子 究明 및 相關性分析을 目的으로 다음 표 1과 같이 調查計劃하였다.

2-2. 使用材料

本實驗에 使用한 시멘트는 國內產 S社의 普

通포틀랜드 시멘트 이었고, 잔骨材 및 굵은骨材는 忠北 淸原郡 茨江產 天然骨材이었는데, 잔骨材의 경우는 粗粒率 2.8이 되도록 체가름 粒度調節하여 利用하였다. 各 使用材料의 物性은 표 2, 3 및 그림 3과 같고, 물은 淸州市 上水道를 利用하였으며, 混合材는 使用하지 않았다.

2-3. 實驗原理 및 方法

콘크리트의 混合은 實驗室用 重力式 可傾式 믹서(공칭용량 50ℓ)를 利用하였고, 슬럼프試驗, 壓縮強度試驗用 供試體製作(φ10×20cm), 水中養生(23±2℃) 및 強度試驗은 모두 KS 規格에 의한 콘크리트의 標準的인 試驗方法에 따랐다.

酸中和法에 관하여, 먼저 實驗原理로서는, 콘크리트의 調合變化에 따른 알카리度 變化에 基礎하여 即, 콘크리트 強度發揮의 重要한 影響因

表 1. 調査計劃

記號	W/C (%)	目標 slump (cm)	S/A (%)	單水位置 (kg/m³)	絕對容積 (l/m³)		
					시멘트	잔골재	굵은골재
A ₁	40	8	34.0	171	136	232	451
A ₂		12	32.1	182	144	213	451
A ₃		18	32.8	205	163	204	418
B ₁	45	8	35.9	168	118	253	451
B ₂		12	34.2	179	126	234	451
B ₃		18	35.8	199	140	233	418
C ₁	50	8	37.1	167	106	266	451
C ₂		12	35.8	176	112	251	451
C ₃		18	37.9	194	123	255	418
D ₁	55	8	38.0	166	95	277	451
D ₂		12	37.0	174	100	265	451
D ₃		18	39.3	191	110	271	418
E ₁	60	8	38.9	165	87	287	451
E ₂		12	37.9	173	91	275	451
E ₃		18	40.4	189	100	283	418
F ₁	65	8	40.2	165	81	299	445
F ₂		12	39.4	172	84	289	445
F ₃		18	42.0	188	92	298	412
G ₁	70	8	41.0	165	75	308	442
G ₂		12	40.5	173	78	299	440
G ₃		18	43.5	188	85	312	405

*記號中 A~G는 물 시멘트比 첨자 1~3은 目標슬럼프值에 따른 것임.

표 2. 시멘트의 物理的 性質

比重	粉末度 (cm²/g)	凝結(h-m)		壓縮強度(kg/cm²)		
		初結	終結	.3日	7日	28日
3.15	3,190	2-53	5-03	202	282	365

표 3. 骨材의 物理的 性質

種類	比重	F·M	吸水率 (%)	單位容積重量 (kg/m³)	空隙率 (%)
잔骨材	2.546	2.81	1.99	1,570	38.3
굵은骨材	2.590	7.03	1.60	1,730	33.1

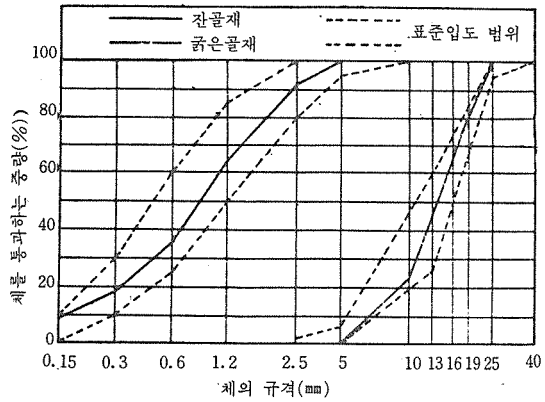


그림 3. 骨材의 粒度曲線

자는 시멘트인데 이의 化學性分中 少量의 유리 석회, Na₂O, K₂O 등 알카리성 物質은 콘크리트 混合時 알카리성을 띠게되며, C₃S, C₂S 등 鑛物造成은 서서히 水和反應을 일으키면서 Ca(OH)₂을 發生 PH 12~14인 알카리성 콘크리트 混合物이 만들어지게 된다.

또한 콘크리트의 強度는 볼 시멘트比, 시멘트 強度 및 骨材要因等 여러因子에 의하여 달라지기는하나, 어느 特定 레미콘 生産工場의 強度와 關聯한 콘크리트 品質管理에 대하여 예를들면 시멘트, 骨材, 用水等 材料條件은 同一 및 저의 一定하고 주로 물 시멘트比가 重要하게 作用하게 된다. 이에, 물 시멘트比의 變動은, 굳지않은 콘크리트 狀態에서 콘크리트 表面에 發生하게 되는 블리이딩水の 알카리度 差異로 나타나게 되는데, 이것은 페놀프탈레인을 지시약으로 使用하면, 묽은 鹽酸으로 中和點을 찾을 수 있게 될 것이다. 이것을 標準的인 試驗室의 調査 및 強度試驗한 結果와 相互 相關性을 맺는다면 콘크리트의 強度早期推定 및 標準配合과의 誤差, 品質變動等 強度管理는 可能할 것으로 推測된다.

上記 原理에 따르는 酸中和法 實驗方法은, 콘크리트 混合後 打設(20分 經過) 콘크리트 面에 發生된 블리이딩水を 30分 및 60分에서 스포이드로 採取, 여과지로 여과한 다음, 10mℓ를 正確히 피펫으로 採取하여 50cc 비이커에 넣고 5

% 페놀프탈레인 알콜 용액 한방울을 滴定하여 赤變시키고, 용액을 교반하면서 0.1N 鹽酸을 뷰렛으로 넣어 白色으로 變色하는 中和量을 測定하여 그 값을 實驗結果值로 採하는 方法으로 하였는데, 實驗過程 및 方法의 개략적인 플로우 차트는 그림 4 와 같고 實驗結果는 표 4 와 같다.

表 4. 實驗結果

記號	굳지않은 콘크리트		壓縮強度(kg/cm ²)			酸中和量(cc)	
	슬럼프(cm)	溫度(°C)	3日	7日	28日	30分	60分
A ₁	9.0	26.5	188	258	330	7.8	8.6
A ₂	13.2	26.5	178	254	330	8.0	9.0
A ₃	18.8	26.5	186	270	332	8.2	9.3
B ₁	7.0	26.4	166	220	306	7.4	7.8
B ₂	12.0	26.0	169	229	294	7.8	8.7
B ₃	18.7	26.0	159	208	288	8.0	8.9
C ₁	7.7	26.5	143	195	271	6.5	7.6
C ₂	12.4	26.0	136	195	275	7.0	7.8
C ₃	18.3	27.0	131	182	264	7.5	8.6
D ₁	6.1	27.0	111	176	232	6.1	6.7
D ₂	10.8	27.0	113	164	229	6.7	7.2
D ₃	19.2	27.5	102	176	230	7.0	7.5
E ₁	6.2	26.0	87	131	199	5.8	6.0
E ₂	12.1	26.5	82	139	191	6.1	6.4
E ₃	19.1	26.8	80	137	201	6.5	6.8
F ₁	5.5	28.0	80	113	188	5.4	5.7
F ₂	9.5	28.5	78	120	184	5.8	6.1
F ₃	17.1	27.5	76	117	184	6.1	6.7
G ₁	5.0	26.5	67	104	159	5.0	5.1
G ₂	9.2	27.0	67	94	160	5.2	5.3
G ₃	17.7	27.0	61	91	166	6.0	6.2

* 實驗結果는 3回試驗 平均值임.

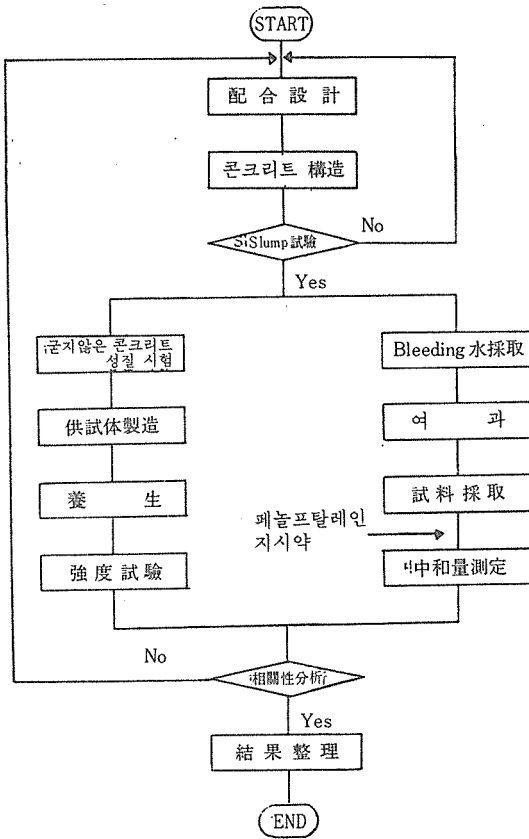


그림 4. 實驗過程 Flow-Chart

3. 實驗結果 및 分析

3-1. 콘크리트의 基礎 力學的 性質

酸中和法에 의한 콘크리트 強度 早期推定 研究의 實驗過程中 附加的으로 分析 可能한 基礎 力學的 性質인 즉, 시멘트 물比, 材齡 및 슬럼프

프值 變化에 따른 壓縮強度間의 關係를 比較하였는데, 그 結果는 그림 5~7과 같다.

結果分析으로는 當然한 것이겠지만, 콘크리트의 壓縮強度는 물 시멘트비의 역수인 시멘트 물比에 比例하여, 材齡의 log 함수에 比例하여 增加하는 傾向을 나타내었다. 또한, 슬럼프치의 경우는 8, 12 및 18cm에 있어 작은 슬럼프일수록 약간 큰값을 나타내는 경향을 보이는듯 하나 그比率은 5%미만으로 거의 無關한 關係로 分析되어진다.

3-2. 早期材齡強度 測定에 의한 強度推定

早期材齡強度 測定에 의한 標準材齡의 強度를

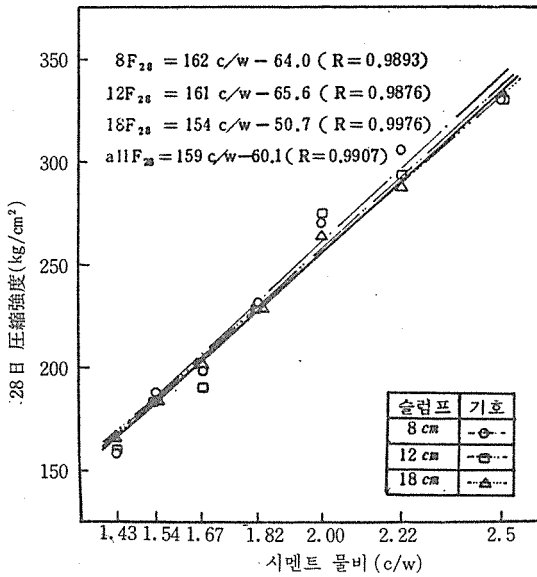


그림 5. 시멘트물비와 28日 壓縮強度와의 關係

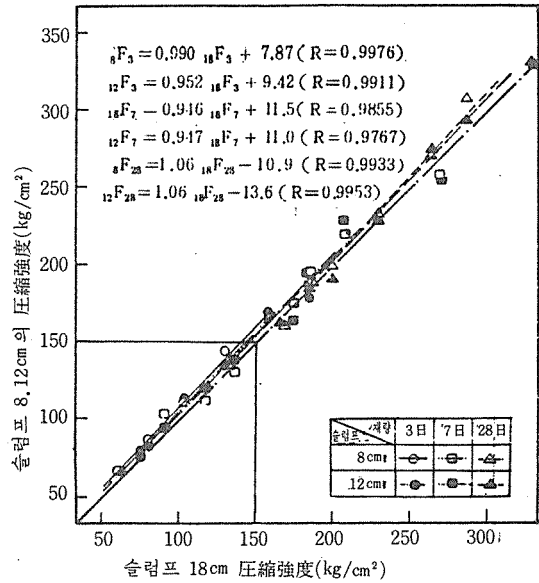


그림 7. 슬럼프 18cm 壓縮強度와 8, 12cm 壓縮強度와의 關係

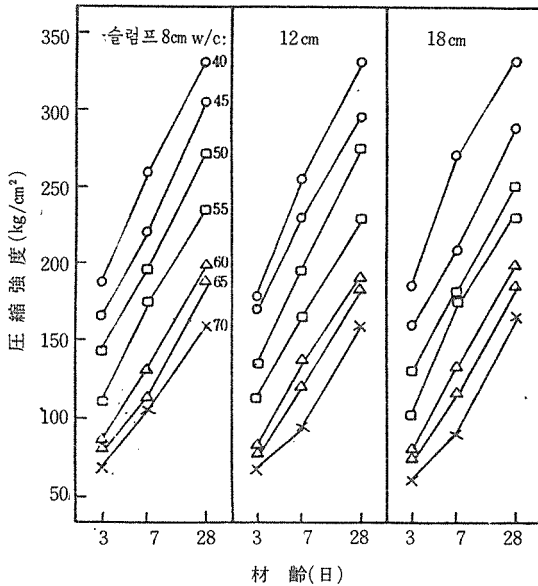


그림 6. 材齡과 壓縮強度와의 關係

推定하는 方法으로 即, 3 및 7日 材齡 壓縮強度로 28日 材齡 壓縮強度를 推定하는 것에 대하여 分析하였는데 3, 7日 材齡에서 各 슬럼프值別 回歸式은 그림 8, 9와 같다. 이때 前 分析에서 슬럼프值間 強度 差異는 微少하였음에 슬

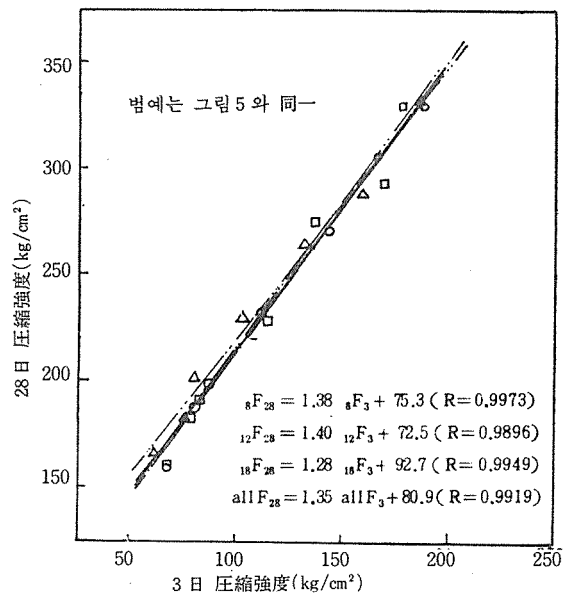


그림 8. 3日 壓縮強度에 의한 28日 壓縮強度 推定

럼프值까지 無視하고 推定式을 求하면 다음式과 같은데 이때의 相關性은 相關係數 0.99程度로 良好하였다.

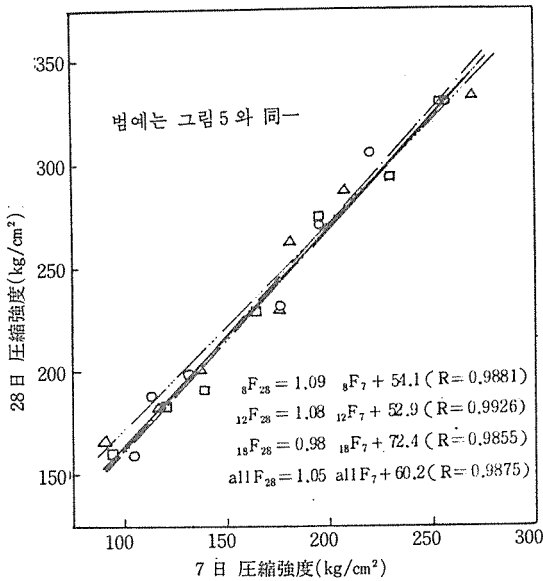


그림 9. 7일 압축강도에 의한 28일 압축강도推定

$$F_{28} = 1.347F_3 + 80.9 (R=0.9917)$$

$$F_{28} = 1.049F_7 + 60.2 (R=0.9875)$$

여기서 F_3 , F_7 , F_{28} 은 3, 7, 28일 材齡콘크리트의 압축강도를 意味한다.

3-3. 酸中和量에 미치는 影響因子

콘크리트의 알칼리도에 影響을 줄 수 있는 要因으로는 材料的인 面과 混合時의 調合 變數의인 面 및 環境的인 側面으로 分類할 수 있는데, 그 중 먼저 材料的인 因子로 시멘트는 鑛物造成, 化學性分, 粉末度, 風和程度 等이고, 骨材 및 用水는 材料自體의 알칼리 程度 및 알칼리성 物質의 可溶解性 等이며, 混和材料는 시멘트 水和作用에 促進 및 遲延性能 程度 및 自體 化學性分에 따른 알칼리特性 等이고 混合時의 調合 變數의인 因子로서는 물 시멘트比, 單位시멘트量, 슬럼프, 잔骨材率 等이며, 環境的인 因子로서는 溫濕度, 經過時間, 다짐程度 等이 될 것으로 推測된다.

本 實驗研究에서는 上記의 여러 要因中 混合時 調合變數 및 環境的인 側面에서의 一部 因子인 물 시멘트比, 單位시멘트量, 슬럼프值 및 酸

中和量 測定 時間帶를 中心으로 實驗計劃 및 結果分析 하도록 하였는데, 그 結果는 그림 그림 10~15와 같다. 即, 시멘트 물비가 增加할수록 (W/C는 減少할수록), 單位시멘트量이 增加하는 調合인 슬럼프值가 클수록, 測定時間이 經過할수록 블리이딩水の 알칼리성 中和에 必要한 鹽酸量은 增加하는데 各各의 相關性은 그림 중에 提示되어져 있는 回歸式과 같다.

여기서 특이한 것은 먼저 實驗計劃에서 單位시멘트量을 增加시켜 슬럼프值가 變化하도록 實驗計劃하였으므로 슬럼프值를 無視할때 시멘트 물비보다는 單位시멘트量과 酸中和量의 相關性인 相關係數가 높게 나타난 것이었음이 分析되어지고, 슬럼프值間 變化는 슬럼프值가 클수록 많은 中和量을 나타내는데 微小하기는 하나 富配合일수록 슬럼프值가 커짐에따라 시멘트의 初期 水和作用이 促進되어 酸中和量이 增加된 양상을 나타낸 것으로 分析되어져, 時間變化는 酸中和量이 많은 富配合일수록 30分에서보다 60分에서 더 큰값을 나타내는데 이는 富配合에서 絶對시멘트量이 많음으로 계속적인 水和作用進

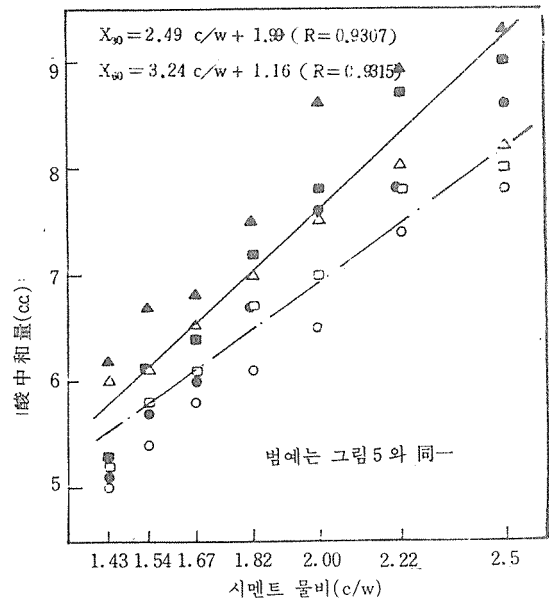


그림 10. 시멘트 물 비와 酸中和量과의 關係

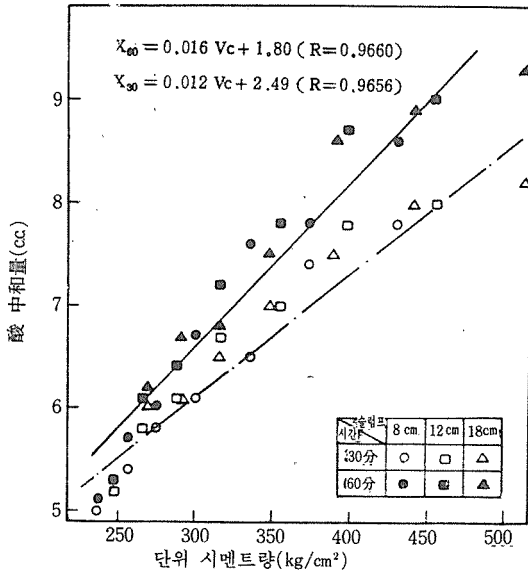


그림 11. 단위 시멘트량과 酸中和量과의 關係

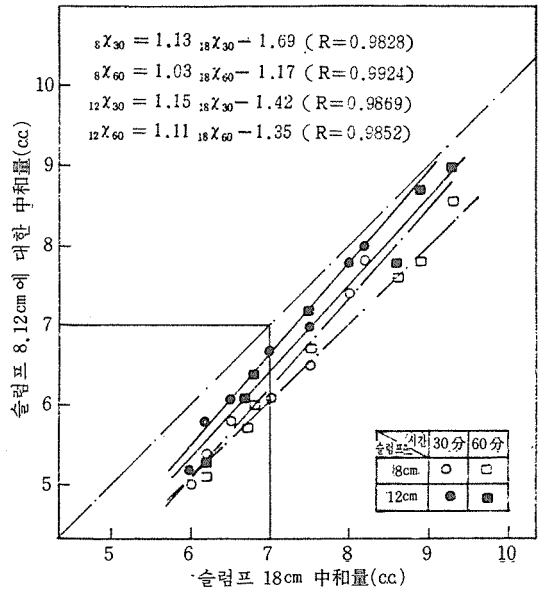


그림 13. 슬럼프 18cm 酸中和量과 슬럼프 8, 12cm 酸中和量과의 關係

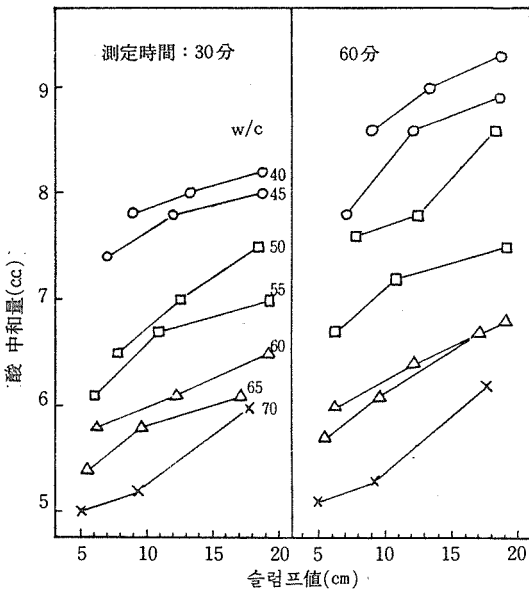


그림 12. 슬럼프值와 酸中和量과의 關係

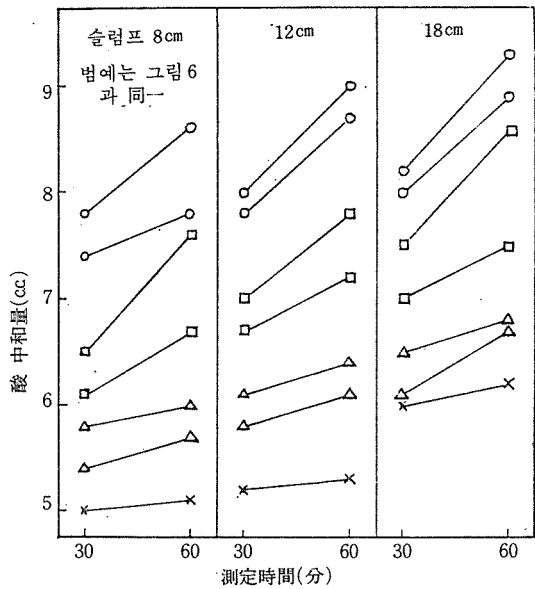


그림 14. 測定時間과 酸中和量과의 關係

행에 따라 야기된 結果로 分析되어진다. 단, 그림 15에서 30분과 60分 中和量間에는 슬럼프值에 거의 無關하게 一定한 關係를 나타내는데 이

는 그림 12 및 13에서 各調合別 슬럼프值 變化에 따른 酸中和量 變化 傾向이 비슷함에서 起因된 結果로 分析되어진다.

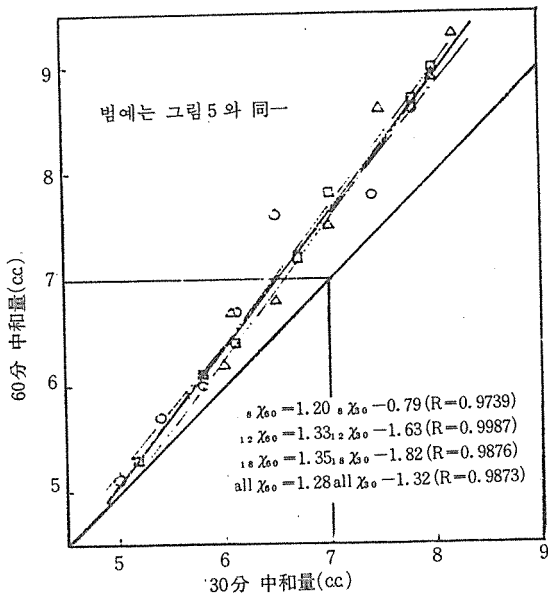


그림 15. 30分 酸中和量과 60分 酸中和量과의 關係

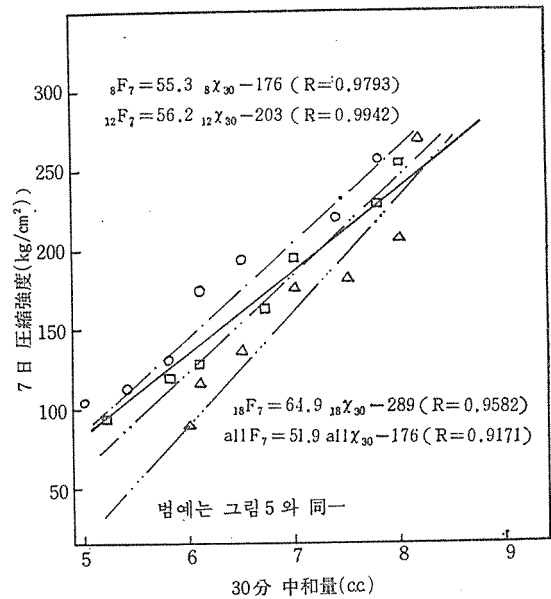


그림 17. 30分 酸中和量과 7日 壓縮強度와의 關係

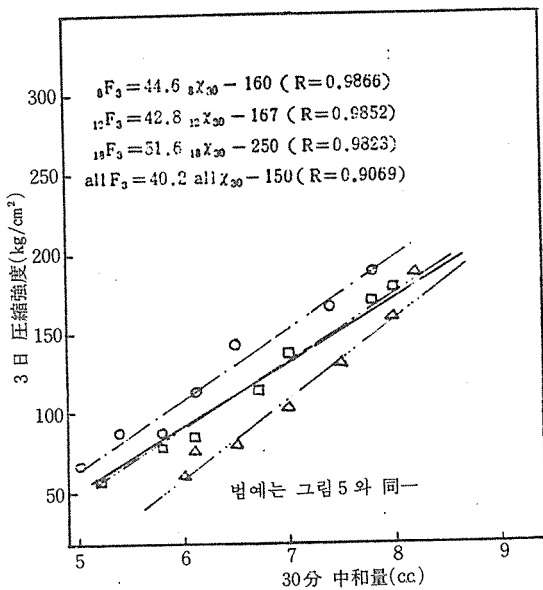


그림 16. 30分 酸中和量과 3日 壓縮強度와의 關係

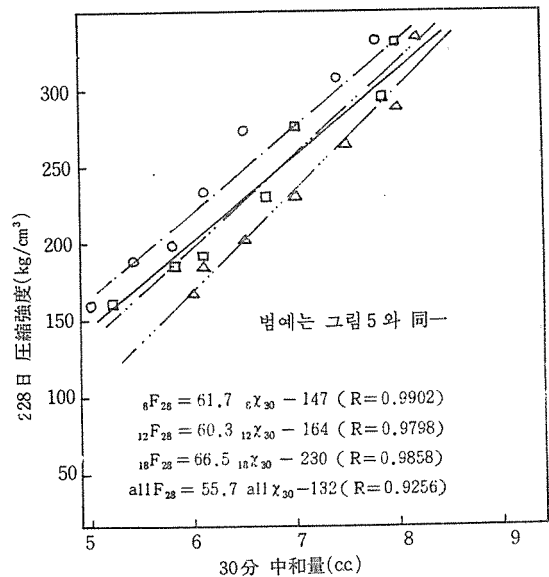


그림 18. 30分 酸中和量과 28日 壓縮強度와의 關係

3-4. 酸中和量에 의한 強度早期推定

콘크리트의 基礎力學的性質 및 酸中和量에 미치는 影響因子分析을 綜合的으로 聯關하여 即

슬럼프 8, 12, 18 및 슬럼프를 無視한 경우의 30分 및 60分에서 酸中和量을 測定하여 3, 7 및 28日 材齡 콘크리트의 壓縮強度를 推定하는 回歸式을 유도하면 그림 16~21에 提示되어져 있

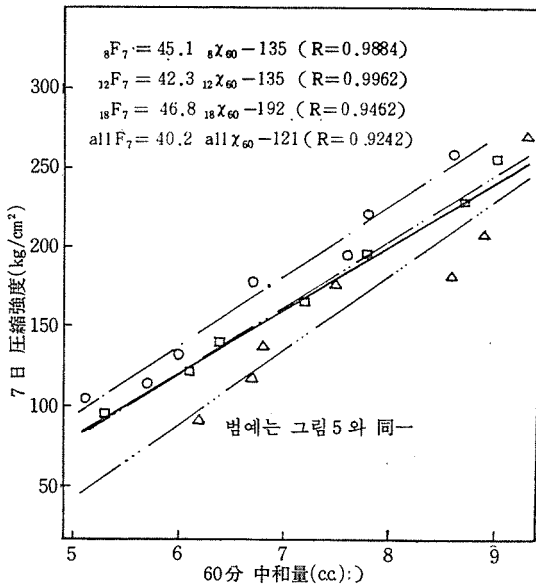


그림 19. 60분 酸中和量과 3日 壓縮強度와의 關係

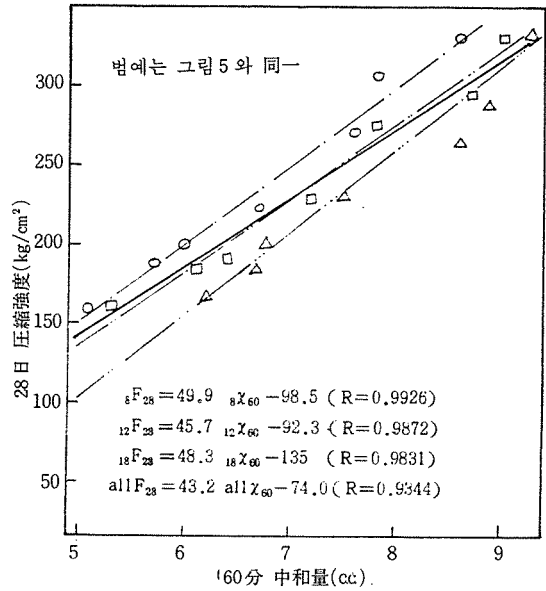


그림 21. 60분 酸中和量과 28日 壓縮強度와의 關係

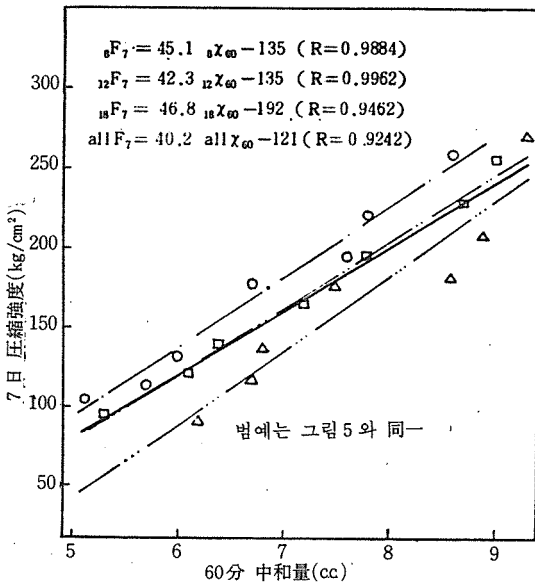


그림 20. 60분 酸中和量과 7日 壓縮強度와의 關係

는 바와 같게 된다.

이때 各 回歸式間의 相關性은 30分에서 보다 60分에서, 슬럼프值 18cm보다 8 및 12cm와 같은 된비빔에서, 材齡은 거의 無關하게 良好하였다.

이때 代表的으로 相關性이 第一 良好한 60分 中 和量에서 28日 壓縮強度를 推定하는 回歸式은 다음과 같이 나타났다.

$$\begin{aligned} 8F_{28} &= 49.9 \cdot 8x_{60} - 98.5 \quad (R=0.9926) \\ 12F_{28} &= 45.7 \cdot 12x_{60} - 92.3 \quad (R=0.9872) \\ 18F_{28} &= 48.3 \cdot 18x_{60} - 135 \quad (R=0.9831) \\ allF_{28} &= 43.2 \cdot allx_{60} - 74.0 \quad (R=0.9344) \end{aligned}$$

여기서 $8F_{28}$ 과 같이 앞숫자 8은 슬럼프值(cm)를 意味하고 F_{28} 은 28日 材齡 壓縮強度(kg/cm²)이며, $8x_{60}$ 과 같이 앞숫자 8은 슬럼프值(cm)를, x_{60} 은 60分 中和量(cc)을 意味한다.

4. 結 論

아직 굳지 않은 콘크리트 狀態에서 블리딩 水를 採取, 酸으로 中和하는 方法으로 硬化 콘크리트의 強度를 早期에 推定하거나 品質管理에 利用하고자 함에 있어 W/C, 슬럼프 및 時間變化 側面에서 本 方法의 影響因子를 究明하고, 아울러 實務 適用時의 相關性을 分析하기 위한 實驗研究에서 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 本 實驗研究의 부수적인 結果로 콘크리트

의 壓縮強度는 W/C의 逆數인 C/W 및 材齡의 log 함수에 比例하여 增進하였고, 슬럼프值 間에는 거의 無關한 既往의 理論을 재확인할 수 있었다.

2. 早期材齡強度 測定에 의한 強度推定 으로 3日 및 7日 壓縮強度에서 28日 壓縮強度를 推定하는 回歸式은 다음과 같이 나타났다.

$$F_{28} = 1.347F_3 + 80.9$$

$$F_{28} = 1.049F_7 + 60.2$$

3. 酸中和法에 의한 強度 早期推定으로, 먼저 酸中和量에 미치는 影響因子로는 시멘트 물비가 클수록, 슬럼프值가 클수록, 測定時間이 經過할수록 中和量이 많게 나타나는데 各各의 關係는 그림中の 回歸式과 같다.

4. 酸中和量에 의한 強度 早期推定 相關性은 測定時間 60分에서 슬럼프值는 8 및 12cm와 같

은 된비빔에서, 材齡은 거의 無關係하게 相關係數 0.9以上으로 強度推定 相關性이 良好하였는데 各 回歸式은 本文中 그림과 같고, 이중 60分 中和量에서 28日 壓縮強度를 推定하는 回歸式은 다음과 같다.

$${}_8F_{28} = 49.9 \cdot {}_8x_{60} - 98.5$$

$${}_{12}F_{28} = 45.7 \cdot {}_{12}x_{60} - 92.3$$

$${}_{18}F_{28} = 48.3 \cdot {}_{18}x_{60} - 135$$

$${}_{au}F_{28} = 43.2 \cdot {}_{au}x_{60} - 74.0$$

以上을 綜合하여 볼때 굳지 않은 콘크리트 狀態에서 酸中和量과 壓縮強度間에는 相關性이 매우 높아 本方法의 實務適用 可能性은 再次立證되었다. 단, 本 研究는 實驗室 條件의 特定材料의 경우로 本資料를 實用化할 때는 各경우마다 심도있는 檢討를 要한다.*

德微而位尊
智小而謀大
無禍者鮮矣

— 周易 —

덕이 없으면서 지위가 높고
지혜가 적으면서 꾀하는 것이 크면
진실로 화를 당하지 않을 사람이 없느니라