

鹽酸溶解熱法の 콘크리트 強度 早期推定에 의한 레미콘 品質管理의 適用性 研究

— Fc = 180kg / cm²를 중심으로 —

An Application Study on Quality Control of Re-Mi-Con for Using the Early Estimating Method of Concrete Strength with the Test of Solution Heat of Hychrochloric Acid

— A Case Study on Fc = 180kg / cm² —

○ 韓 千 求* 尹 起 源**
Han, Cheon Goo Yoon, Gi Won

Abstract

To estimate the concrete strength at fresh state is very important problem in quality control. So, this study is designed for analyzing the quality control application of practical use Re-Mi-Con with the early estimation method of concrete strength using the test of solution heat of hydrochloric acid.

I. 序 論

1. 研究背景 및 目的

W. M. Dunagan¹의 셋기 분석법에 의한 콘크리트 強度 早期推定法이 발표된 이래 미국, 영국, 일본 등에서는 物理, 化學, 力學등 많은 원리의 방법들이 研究·提案되어 왔고, 그 중에서 일부는 실무적용성 연구에 이어 自國의 品質管理에 대한 規格化에 까지도 이르고 있는 등 많은 발전을 보이고 있다.^{2,3}

그러나 우리나라에서는 規格化는 아직 없고, 研究內容도 충분치 못한 실정으로 즉, 1980년도 초 鄭日榮의 W/C 및 7日 壓縮強度에 의한 強度 早期推定 研究,^{4,5} 1983년 이후 申鉉點·金贊基의 促進養生에 의한 強度 早期推定 研究,⁶ 및 1985년 이후 金武漢·韓千求의 굳지않은 상태에서의 콘크리트 強度 早期推定 研究^{7,8} 등 일부의 연구가 있을 뿐이다. 또한, 이 중 國外 및 國內 일부 연구의 경우 콘크리트의 강도추정까지는 몇시간 및 몇일이 소요되어 실무 레미콘 생산의 品質管理 適用에는 곤란함이 지적되기도 한다.

그러므로 본 연구에는 굳지않은 콘크리트 상태에서 강도를 조기에 추정하는 神田의 염산 용해열법의 一部分을 발췌하여 國內 모 레미콘社의 實察 出荷되는 레미콘에 적용하여, 本 方法의

精密度 및 타당성을 검토하고, 아울러 실무 레미콘 品質管理의 한 모델을 제시하므로써 콘크리트 品質向上에 기여토록 함에 본 연구의 목적이 있다.

2. 研究範圍 및 方法

本 研究의 범위중 먼저, 본방법 적용에 필요한 相關性實驗은 적용대상 레미콘사의 使用材料 및 配合表를 利用하여 壓縮強度 135~270 kg/cm² 사이의 슬럼프 8 및 12cm 7개 水準에 대하여 염산용해열법온도차와 압축강도간의 상관성을 구하여 品質管理의 尺度로 利用하도록 하였고, 염산용해열법에 의한 콘크리트 強度 早期推定의 實務 品質管理 適用性 研究는 일반레미콘 생산에서 출하량이 비교적 많은 25-180-8 및 25-180-12인 2개 규격을 택하여 30일간에 대하여만 品質管理 技法을 적용하는 것으로 하였다.

研究方法으로, 일반 콘크리트의 실험방법은 KS 관련규격의 標準的인 實驗方法으로 하였고, 염산용해열법에 의한 콘크리트 강도 조기추정은 神田의 염산용해열법을 이용하는 것으로 하였다. 또한, 콘크리트 強度 早期推定 品質管理의 適用技法으로는 TQC의 여러 道具中 χ -Rs 管理圖, 히스토그램 및 散點圖를 택하여 이방법에 대하여만 適用하는 것으로 하였다.

* 正會員, 淸州大 建築工學科 副教授, ** 正會員, 淸州大 大學院 碩士課程.

II. 염산용해열법 適用에 必要한 相關關係 實驗

1. 實驗計劃

適用對象 레미콘공장의 使用材料 및 配合條件으로 염산용해열법 온도차와 壓縮強度間의 關係를 실험을 통하여 구하므로써 레미콘 強度 早期推定 品質管理의 한 尺度로 利用하기 위한 本 研究의 實驗計劃은 표1과 같다.

표1. 콘크리트 配合計劃

구 격	W/C (_o /wt)	S/A (_o /vℓ)	단위수량 (kg/m ³)	질량용적(ℓ/m^3)			중량(kg/m ³)			혼화제 (g/m ³)
				C	S	G	C	S	G	
25-135-8	68.6	48.4	175	81	341	363	254	879	961	380
25-180-8	58.2	46.4	167	91	326	376	286	841	996	430
25-180-12	58.2	46.3	173	95	320	371	298	825	983	445
25-210-8	53.4	45.0	166	99	313	382	311	807	1012	466
25-210-12	53.4	44.9	170	101	309	379	317	797	1004	477
25-240-8	49.1	43.8	166	108	300	385	339	774	1020	507
25-270-12	45.3	42.0	173	122	279	385	383	719	1020	573

2. 使用材料

本 實驗에 使用한 시멘트는 벌크(Bulk)상태로 레미콘 공장에 반입된 국내산 某社의 比重 3.14인 보통 포틀랜드 시멘트이었고, 잔골재는 比重 2.58인 천연 강모래이었고, 굵은골재는 比重 2.65인 화강암을 쇼 크래셔로 분쇄한 碎石이었다. 混和劑는 국내산 AE 감수제 이었으며, 물은 공업용수를 이용하였다.

3. 實驗方法

本 研究의 實驗方法으로 콘크리트 混合, 슬럼프 시험, 공기량 시험, 공시체 제작 ($\phi 10 \times 20$ cm), 양생($23 \pm 2^\circ\text{C}$ 水中) 및 壓縮強度 試驗等 일련의 콘크리트 기초성상 시험은 KS F의 標準的인 方法에 따랐다.

단, 염산용해열법 실험은 채취된 콘크리트 시

료를 NO.4체로 체가름하여 시료몰탈 200cc를 정확히 채취하고 물800cc와 함께 단열통속에 넣어 회석액화 시킨다음 회석액 온도를 측정한다. 이때 미리 계량해 둔 500g 염산의 온도를 측정후 회석액과 화학반응이 일어날 수 있도록 단열용기에 넣고 30초 정도 가볍게 상하좌우로 흔들고 회석액과 염산이 화학 반응함으로써 발생하는 반응최고 온도를 봉상온도계로 측정한다. 온도차는 다음식과 같이 반응최고 온도에서 회석액과 염산 온도의 이론적인 대수합 온도를 뺀 것을 염산용해열법의 온도차로 취하였다.

$$\Delta T = T - (0.8 T_M + 0.2 T_{II}) \dots \dots \dots (1)$$

여기서 ΔT : 온도차 ($^\circ\text{C}$)

T : 반응 최고 온도 ($^\circ\text{C}$)

T_M : 반응전 몰탈 회석액 온도 ($^\circ\text{C}$)

T_{II} : 반응전 염산 온도 ($^\circ\text{C}$)

4. 實驗結果 및 分析

實驗計劃에 따라 선정된 배합을 실험실에서 計量 및 混合하고 測定한 굳지 않은 상태의 슬럼프 등 특성과 本 研究의 對象인 콘크리트의 強度 早期推定用 염산용해열법온도차 測定結果 및 레미콘 공장에서 이미 많은 실험으로 알려지고 있는 指定 및 配合強度 結果는 표2와 같다.

또한, 그림1은 콘크리트 品質管理用 指標로 삼기 위하여 표2의 온도차와 압축강도간의 關係를 相關圖로 나타낸 것이다.

이때, 온도차에서 추정하는 壓縮強度는

$$F = 8.73 T - 127.3 \dots \dots \dots (2)$$

인데, 상관계수는 0.91로서 매우 양호한 관계임을 알수 있었다.

표2. 實驗結果

구 격	W/C (_o /wt)	굳지 않은 콘크리트			압축강도(kg/cm ²)		온도차($^\circ\text{C}$)
		슬럼프(cm)	단위중량(kg/m ³)	공기량(%)	지정강도	배합강도	
25-135-8	68.6	8.4	2296	6.0	135	181	35.8
25-180-8	58.2	5.0	2354	4.5	180	226	39.7
25-180-12	58.2	9.4	2350	4.4	180	226	45.0
25-210-8	53.4	8.2	2315	3.2	210	256	42.4
25-210-12	53.4	14.2	2333	3.2	210	256	43.3
25-240-8	49.1	11.4	2339	3.3	240	285	45.8
25-270-12	45.3	9.2	2369	2.7	270	316	50.1

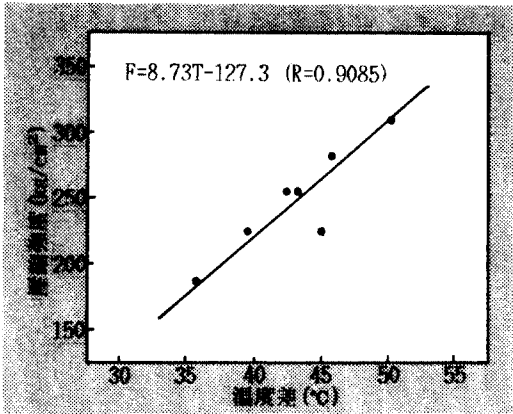


그림1. 溫度差와 壓縮強度

III. 鹽酸溶解熱法에 의한 레미콘 品質管理

1. 品質管理 適用 概要

그림1의 相關關係로 부터 실제로 出荷되는 레미콘을 대상으로 지정강도 180kg/cm²인 1日 1個規格씩 30일간에 걸쳐 매일 임의로 試料를 採取하여 II.3과 同一한 實驗方法으로 實驗하였다. 실험결과 슬럼프, 空氣量 등 굳지않은 狀態에서의 品質과 염산용해열법 온도차, 온도차에 의한 推定 壓縮強度 및 供試體를 製作하여 28일 경과후 실측한 壓縮強度結果는 표3과 같다.

本章에서는 이와같은 결과를 토대로 實務 品質管理에 利用하는 各種 道具로서 염산용해열법 콘크리트 強度 早期推定 品質管理 및 레미콘 品質에 대하여 分析하도록 研究計劃하였다.

2. 鹽酸溶解熱法 品質管理分析 및 레미콘 品質分析

콘크리트 壓縮強度는 材齡 28日을 기준하므로 28일이 경과하지 않으면 測定할 수 없다. 그러므로 그림2는 실제 출하되는 레미콘 트럭에서 試料를 採取하여 10분 이내에 즉시 실험한 온도차로 推定 壓縮強度를 구하여 30日간의 結果를 χ -Rs 管理圖로 作成한 것이고, 그림3은 28일 경과후 실측한 實測 壓縮強度로서 χ -Rs 管理圖를 作成한 것이다.

分析結果 推定과 實測 壓縮強度間인 두 그래프는 공히 管理限界 範圍內에서 中央線 上下 位置 分布의 全般的인 傾向은 매우 유사하게 나타나고

표3. 出荷레미콘 品質試驗 結果

굵은골재최대치수 : 25mm
압축강도 : 180kg/cm²

시험번호	각 표 속위크 (cm)	굳지않은 콘크리트		염산용해열 실험		실측압축강도 (kg/cm ²)
		슬럼프(cm)	공기량(%)	온도차	추정강도 (kg/cm ²)	
1	12	5.5	3.9	38.6	210	219
2	12	11.1	4.6	35.2	180	148
3	12	11.5	4.0	37.1	197	178
4	12	8.9	4.6	41.7	237	254
5	8	6.0	4.0	37.3	198	214
6	8	8.8	4.8	37.5	200	248
7	8	7.0	5.3	39.5	218	207
8	8	11.0	4.1	34.7	176	167
9	8	7.5	4.2	33.9	169	171
10	8	8.5	6.8	35.8	185	175
11	8	8.0	6.8	37.4	199	206
12	12	10.2	2.8	38.4	208	249
13	8	11.1	4.0	36.7	193	194
14	12	5.5	3.2	34.6	175	201
15	8	12.0	5.8	35.2	180	169
16	8	10.3	5.4	38.8	211	194
17	8	5.0	4.5	39.7	219	254
18	12	9.4	4.4	45.0	266	262
19	12	13.2	3.4	38.5	209	197
20	8	12.2	3.5	37.8	203	184
21	8	13.3	3.4	36.4	190	190
22	8	10.0	2.7	40.7	228	226
23	12	19.1	3.2	37.2	197	172
24	8	11.4	3.0	39.3	216	226
25	12	13.4	4.4	37.0	196	185
26	12	13.8	3.7	38.7	211	216
27	12	9.8	2.8	37.4	199	226
28	12	12.7	3.0	36.1	188	184
29	12	11.4	2.3	37.6	201	236
30	12	7.5	2.9	37.3	198	233

있어 염산용해열법의 콘크리트 強度 早期推定에 의한 良好한 品質管理의 可能性을 시사하고 있다. 단 특이한 점으로는, 實測 壓縮強度는 推定 壓縮強度보다 平均值에서 4.6kg/cm² 높고, 범위 평균도 14.2kg/cm² 높게 나타나고 있으며, χ 및 Rs管理圖의 UCL, LCL값도 實測 壓縮強度 試驗時의 誤差累積 要因이 作用함에 따라 실측 압축강도에서 추정 압축강도보다 UCL은 더욱 높고, LCL은 더욱 낮게 나타나고 있다.

또한, 管理圖上의 세부사항으로는 推定強度값의 14日~18日에서 관리한계를 벗어난 점이었고, 길이 5의 上昇傾向이 발견되었으며, 實測強度의 경

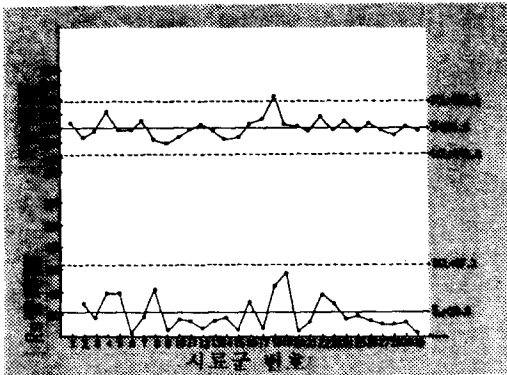


그림2. 鹽酸溶解法 推定 壓縮強度의 X-Rs管理圖

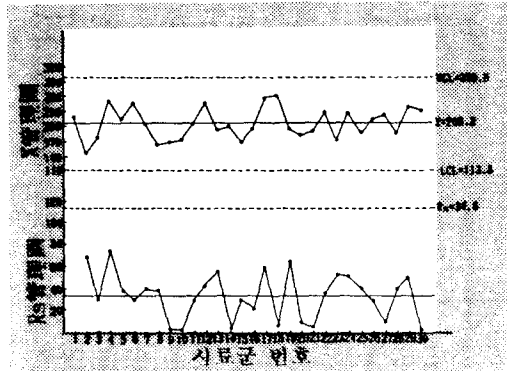


그림3. 實測 壓縮強度의 X-Rs管理圖

우 8일~12일까지 길이 5의 上昇傾向(Trend)이 있었다. 그러나 이와같은 結果들은 특별한 원인이 있는 것으로는 分析되고 있지 않았으며, 또한 偏向, 2σ와 3σ사이 分布 및 주기 등 문제시되는 結果들은 나타나고 있지는 않아 正常의인 管理狀態에서 레미콘이 出荷되었음을 알수 있었다.

그림4는 콘크리트 強度 早期推定의 精密度를 分析하기 위하여 推定 壓縮強度와 實測 壓縮強度간의 相關性을 相關圖로 分析한 것이다. 全般의인 傾向은 實測 壓縮強度가 推定 壓縮強度보다 1~2% 높게 나타나는데, 좁은 범위에서 分析한 것만에 起因하여 相關係數는 0.73로 그림1의 경우보다는 低下하나, 대체로 良好한 상관성이 나타남을 알수 있었다.

또한 營山용해열법 온도차 測定에 의한 壓縮強度 品質管理에 있어 式(2)의 회귀식을 계속 사용하여도 되는지에 관하여 實測 壓縮強度와 推定 壓縮強度간의 對應이 있는 平均値의 差를 t分布를 利用하여 유의할 만한 差異가 發生하고 있는지를 檢定하였다.¹²⁾

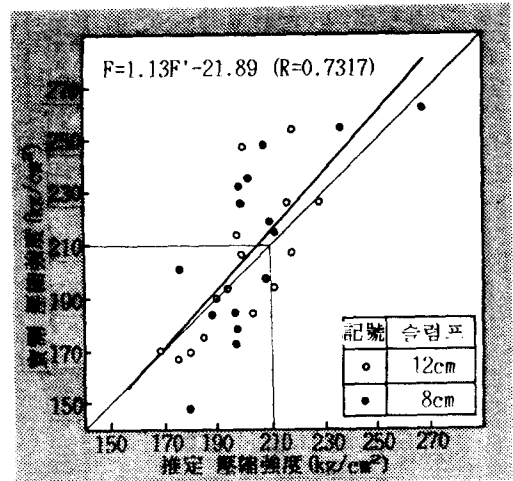


그림4. 推定과 實測 壓縮強度 關係

$$t_0 = \frac{\bar{d} - \delta}{\sqrt{Vd} / \sqrt{n}} \dots \dots \dots (3)$$

$$H_0 : \delta = 0, H_1 : \delta \neq 0$$

$$|t_0| = \frac{4.6}{\sqrt{169.7} / \sqrt{30}} = 1.933$$

$$|t_0| > t(29, 0.05) = 2.045$$

檢定結果 推定 壓縮強度와 實測 壓縮強度間에는 5%의 有意水準에도 속하지 않는 것으로 밝혀지고 있음에 次後 品質管理에도 계속 온도차에 의한 壓縮強度 推定式을 導入하는 것이 可能함을 알수 있었다.

그림5는 實測 및 推定 壓縮強度의 分布를 히스토그램(Histogram)으로 나타낸 것이다. 특히 研究對象 레미콘의 실제 출하되는 壓縮強度 品質을 分析하기 위하여 實測 壓縮強度의 경우만을 考察하면 $\bar{\chi} = 208.2 \text{ kg/cm}^2$ 이고, $\sigma = 30 \text{ kg/cm}^2$ 이었다.

그런데 KS F 4009 (레디믹스 콘크리트)의 경우 레미콘의 強度는 規定한 強度試驗結果 다음 規定을 만족시켜야 한다고 規定되어 있는데,

(1) 1회 試驗 結果는 구입자가 지정한 呼稱強度值의 85% 이상이어야 한다.

(2) 3회 試驗 結果의 平均値는 구입자가 指定한 呼稱強度의 값 이상이어야 한다.

위의 條件을 만족시키기 위한 配合強度는 條件(1)의 경우

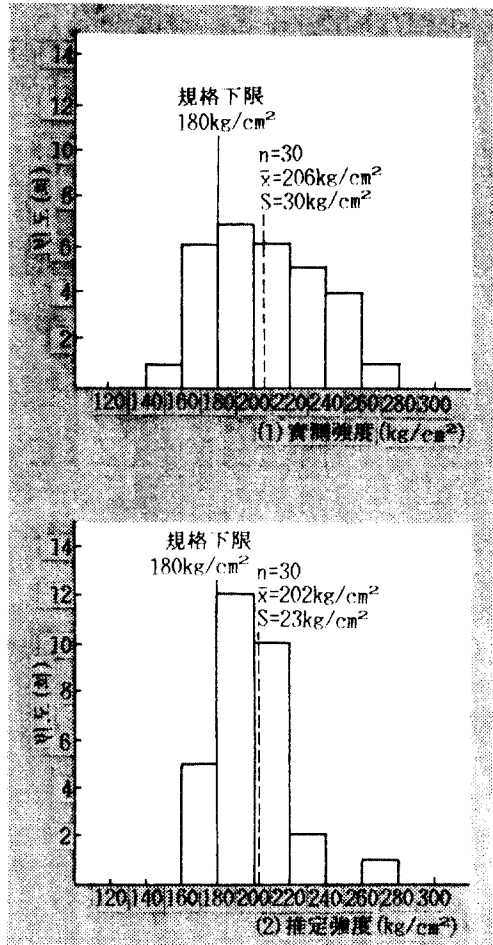


그림5. 實測 및 推定 壓縮強度 히스토그램

$$F > 0.85 F_0 + 3\sigma \text{ 또는 } > \frac{0.85 F_0}{1 - 3V/100} \dots (4)$$

條件(2)의 경우

$$F > F_0 + \frac{3\sigma}{\sqrt{3}} \text{ 또는 } F > \frac{F_0}{1 - 3V/100\sqrt{3}} \dots (5)$$

로 된다.

그러므로 條件(1)의 경우는 243kg/cm², 條件(2)의 경우는 232kg/cm²로서 종합적으로 本 檢討對象 레미콘의 配合強度는 243kg/cm²로 設計 되어야 한다.

그러나 本 檢討結果 指定強度 180kg/cm² 規格의 레미콘인 경우, 平均 實測 壓縮強度는 208kg/cm²이고, 配合強度는 226kg/cm²로서 이 레미콘의 경우 配合強度 발휘에는 18kg/cm²가 부족하고, 실제 생산 標準偏差를 감안한 수정 配合強度와 기존의

配合強度間에는 17kg/cm²의 壓縮強度가 不足하는 등 총체적으로는 壓縮強度를 35kg/cm² 크게 再標準으로 設定하여야 한다.

또한, 이때 밝혀진 標準偏差 30kg/cm²의 경우는 (變動係數로는 14%) 미국의 Road Note No.4와 Walker가 추천한 여러가지 품질관리 정도와 추천 변동계수¹²⁾인 표4와 比較할때 變動係數 12~15%의 範圍에 속하는 良(Good)의 水準, 우리나라 建築工事 標準 示方書¹³⁾의 25kg/cm²이내, 日本의 變動係數 10% 이내인 高級 水準보다는 不足한 普通水準인 것으로서, 綜合적으로는 더욱 發展할 여지가 남아있는 것으로 分析된다.

표4. 여러가지 품질관리의 추천 변동 계수

시험실에서 잘 조정할때만 가능	5
시험실 精度에 접근한 경우	10
우(excellent)	12
양(good)	15
가(fair)	18
가하(fair minus)	20
나쁨(bad)	25

3. 品質管理에 必要한 조치

실제 출하되는 레미콘을 대상으로 30일간 品質管理를 實施한 內容의 分析 結果로서, 次後 레미콘 生産에 導入하는 새로운 標準의 設定 및 發展을 위한 노력사항은 다음과 같이 요약되었다.

1) 指定強度 180kg/cm² 레미콘의 실제출하 平均 壓縮強度는 208kg/cm²로서 종전의 配合強度 226 kg/cm²보다 부족하여 문제가 되고, 또한 配合強度는 243kg/cm²로 개정 尙향한 레미콘 配合으로 출하되도록 조정이 요구된다.

2) 현재 출하되고 있는 레미콘은 標準偏差 30 kg/cm², 變動係數 14%로서 偏差를 줄이는 生産노력이 要求된다.

3) 鑛산용해열법에 의한 콘크리트강도 조기추정은 타당성이 있고, 이에 의한 품질관리는 가능한 것으로 밝혀졌으므로 계속 품질관리에 이용한다.

IV. 結 論

鑛산용해열법의 콘크리트 強度 早期推定을 導入하여 실제 工場에서 出荷되는 指定強度 180kg

/cm² 規格의 30日分 레미콘에 대하여 品質管理를 適用한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 指定強度 135~270kg/cm²의 7개 水準 範圍에서 本 연구의 鹽酸溶解熱法 溫度差와 配合強度 間에는 $F = 8.73 T - 127.3$ 으로서 相關係數 0.91의 良好한 相關性이 나타나고 있었다.

2) 30日間의 鹽酸溶解熱法 推定 壓縮強度의 $\chi - R_s$ 管理圖와 28일 경과후 實測 壓縮強度의 $\chi - R_s$ 管理圖間에는 상호 유사한 傾向이 發現되고 있고, 實測強度와 推定強度間에 相關係數 0.73의 대체로 良好한 相關性이 나타나고 있어 鹽酸溶解熱法 콘크리트 強度 早期推定の 活用性을 입증할 수 있었다.

3) 指定強度 180kg/cm²인 기존의 연구대상 레미콘은 偏差等を 고려할 때 配合強度 243kg/cm²로 평균 압축강도를 35kg/cm² 올리는 방향으로 수정되어야 하고, 偏差도 줄이는 노력이 要求 되었다.

4) 推定強度와 實測強度間에 t分布에 의한 檢定을 實施한 결과 5%의 有意水準에도 속하지 않아 差異가 없는 것으로 밝혀짐에 식의 變換없이 계속 품질관리를 進행하여도 좋음을 알 수 있었다.

5) 本 研究에서 實施한 모델을 參照하여 유사한 레미콘 生産에 鹽酸溶解熱法 콘크리트 強度 早期推定の 品質管理를 實施하면 우리나라 레미콘 品質向上에 크게 기여 할 수 있을 것으로 종합 고찰된다.

參 考 文 獻

- 1) W.M.Dunagan : A Study of the Analysis of Fresh Concrete. Proc. ASTM, Vol. 31, 1931
- 2) 콘크리트品質의早期判定研究委員會 ; 콘크리트品質의早期判定方法에關する概況, 日本콘크리트工學誌, Vol. 17, No.1, 1979, pp.24~38
- 3) 日本建築學會 ; 콘크리트의 早期迅速試驗方法集, 1975, pp.1~132
- 4) 鄭日榮 ; 콘크리트 強度의 早期推定에 관한 研究, 大韓建築學會誌, Vol. 24, No. 96, 1980, pp.62~65
- 5) 鄭日榮 ; 콘크리트 強度의 早期推定에 관한 研究, 大韓建築學會誌, Vol. 26, No.104, 1982, pp.43~46
- 6) 金贊基 ; 콘크리트 強度의 早期推定에 관한 研究(I)~(III), 한국레미콘협회지, No. 17~20, 1988~1989
- 7) 金武漢, 韓千求 ; 콘크리트 強度의 早期推定에 관한 基礎研究(시멘트 페이스트 및 몰탈의 酸中和 方法에 關하여), 大韓建築學會 學術發表論文集, Vol.5, No.1, 1985, pp.397~400
- 8) 韓千求 · 金武漢 ; 複合法에 의한 콘크리트 強度의 早期推定에 관한 實驗的 研究, 大韓建築學會論文集, Vol.4, No.2, 1988, pp.141~152
- 9) L.J.Murdock ; The Determination of the Proportions of Concrete, Cement and Lime Manufacture. Vol. 21, No.5, 1948
- 10) 常山源太郷, 小澤喬 ; 比重計法によるセメント定量, 日本業協會誌, Vol. 68, No.778, 1968
- 11) 水野俊一 ; まだ固まらないコンクリートの水セメント比の一試験方法, 日本土木學會誌, Vol.44, No.10, 1959, pp.1~7
- 12) 黃義徹 ; 最新 品質管理, 博英社, 1984, pp.223~224
- 13) 金용부 ; "콘크리트 강도"의 분석, 한국 콘크리트 학회지, Vol.2, No.2, 1990, p.11
- 14) 建設部 ; 建築工事 標準示方書, 大韓建築學會, 1986, pp.100~101