

比重計法の 콘크리트 強度 早期推定에 의한 레미콘 品質管理의 適用性 研究

— $F_c = 210 \text{kg/cm}^2$ 를 中心으로 —

韓千求¹⁾ 尹起原²⁾

1) 淸州大學校 理工大學 建築工學科 副教授

2) 淸州大學校 理工大學 建築工學科 碩士課程

I. 序 論

1. 研究目的

레미콘은 일반 工產品과 달리 半製品 狀態로 出荷되어 현장에서 슬럼프 및 공기량等 不均勻인 狀態에서의 品質과 量만을 檢査받고 構造體에 塔設하게 되고, 경화 콘크리트의 代表的 性質인 壓縮強度는 콘크리트 塔設과 동시에 KS規定에 의거 공시체를 製作 28일간 標準 養生한 다음 強度試驗을 實施하여 평가하게 된다.

그러나 만약 경화콘크리트에서 強度 瑕疵가 發生하게 되면 最近 문제시되고 있는 평촌 신시가지 아파트의 레미콘 불량사고와 같이 構造物 철거等 매우 곤란한 問題로 대두되는데 즉, 高度의 品質 및 施工의 速度가 강조되는 品質管理 측면에서는 要求條件에 맞는 콘크리트를 精確히 納品하고, 納品 즉시 올바른 評價를 받기 위하여는 콘크리트가 현장에 인도됨과 동시에 不均勻인 콘크리트의 性質은 물론이고, 경화후의 強度까지도 早期에 判定받는 콘크리트강도의 早期推定

法이 精確히 要求되고 있다.

그러므로 本 研究에서는 不均勻인 콘크리트 狀態에서 強度를 早期에 推定하는 L. J. Murdock¹⁾, 常山源太郷²⁾, 水野俊一³⁾ 등의 比重計法을 새롭게 改良한 장치 및 方法⁴⁾으로 國內 某 레미콘社의 실제 出荷되는 레미콘에 適用하여, 本 方法의 精密度 및 妥當性을 檢討하고, 아울러 實務 레미콘 品質管理에 應用하는데 따르는 한 모델을 提示하므로써 國內 레미콘의 品質向上에 기여토록 研究目的한다.

2. 研究範圍 및 方法

本 研究의 範圍중 먼저, 本 方法 適用에 필요한 相關性實驗은 適用 對象 레미콘社의 使用材料 및 配合表를 利用하여 壓縮強度 135~270kg/cm²사이의 슬럼프 8 및 12cm 7개 水準에 대하여 比重値와 壓縮強度間의 상관性을 求하여 品質管理의 尺度로 利用하도록 하였고, 比重計法에 의한 콘크리트 強度 早期推定の 實務 品質管理 適用性 研究는 일

반 레미콘 생산에서 출하량이 비교적 많은 25-210-8 및 25-210-12인 2개 규격을 택하여 30일간에 대하여만品質管理技法을適用하는 것으로 하였다.

研究方法으로 일반 콘크리트의 實驗方法은 KS 關聯規格의 標準的인 實驗方法으로 하였고, 比重計法에 의한 콘크리트강도 早期推定은 既往에 本人인 開發한 콘크리트 稀釋液이용 比重계법 裝置⁴⁾를 이용하는 것으로 하였다. 또한, 콘크리트 强度 早期推定 品質管理의 適用技法으로는 TQC의 여러 도구중 x-Rs 管理圖, 히스토그램 및 散點圖를 택하여 이 方法에 대하여만 適用하는 것으로 하였다.

II. 比重計法 適用에 必要한 相關關係 實驗

1. 實驗計劃

適用對象 레미콘 공장의 使用材料 및 配合要件으로서, 比重計法 比重値와 壓縮强度間의 關係를 實驗으로 구하여 레미콘 强度 早期推定 品質管理의 한 尺度로 이용하기 위한 콘크리트 配合計劃은 표1과 같다.

2. 使用材料

本 實驗에 사용한 시멘트는 벌크(Bulk) 狀

態로 레미콘 공장에 搬入된 國內產 某社의 比重 3.14인 보통 포틀랜드 시멘트였으며, 잔골재는 비중 2.58인 천연 강모래였으며, 굵은골재는 비중 2.65인 花崗岩을 조크라셔로 분쇄한 쇠석이였다. 混和劑는 국내산 AE감수제 이었으며, 물은 公業용수를 이용하였다.

3. 實驗方法

本研究의 實驗方法으로 콘크리트 混合, 슬럼프 試驗, 공기량 試驗, 공시체 製作(∅ 10×20cm), 養生(23±2℃;水中) 및 壓縮强度 試驗등 일련의 콘크리트 基礎性狀 試驗은 KS F의 標準的인 方法에 따랐다. 단, 比重計法 實驗은 콘크리트 혼합직후 지름 15.56cm, 높이 10.5cm인 2l 용기에 2층으로 나누어 ∅ 16mm다짐봉으로 15회씩 다짐한 다음 표면을 평활하게 깎아 2l의 콘크리트를 정확히 計量한다. 計量된 콘크리트를 다시 지름 15.56cm, 높이 53cm인 통속에 넣고, 微細粒子의 懸濁액화를 持續시키기 위하여 분산제인 리그날-GP 10cc를 넣으며 다시 8l의 물을 넣고 뚜껑을 닫은다음 20초 동안에 10회 反轉한다. 反轉 完了時間을 基準으로 초시계를 눌러 30초 이내에 브러쉬로 거품을 除去하고, 이때 미리 맑은 물에 띄워둔 보오메 比重계를 꺼내어 表面을 닦아 이를 試驗하고자 하는 懸濁액중에

표1. 콘크리트 배합계획

규격	W/C (°/wt)	S/A (°/vl)	단위수량 (kg/m³)	절대용적 (l/m³)			중량배합(kg/m³)			혼화제 (g/m³)
				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

떡위 2분 經過後 나타난 비중값을 읽어 比重値로 취하였다. (그림1참조)

$$F = 10,225 \cdot G - 10,417.4 \dots\dots\dots (1)$$

인데, 相關關係는 0.95로서 매우 良好한 關係임을 알수 있었다.

4. 實驗結果 및 分析

實驗計劃에 따라 선정된 配合를 實驗室에서 計量 및 混合하고 測定한 굳지않은 상태의 슬럼프 等 特性과 콘크리트의 強度 早期推定用 比重치 測定結果 및 레미콘 공장에서 이미 많은 實驗으로 알려지고 있는 指定 및 配合強度 結果는 표2와 같다.

이때 比重値에서 推定하는 壓縮強度는 그림2와 같고,

Ⅲ. 比重計法에 의한 레미콘 品質管理

1. 品質管理適用概要

그림2의 相關關係로부터 실제로 出荷되는 레미콘을 대상으로 指定強度 210kg/cm²인 1일1개 規格씩 30일간에 걸쳐 매일 임의로 시료를 採取하여 Ⅱ.3과 동일한 實驗方法으로

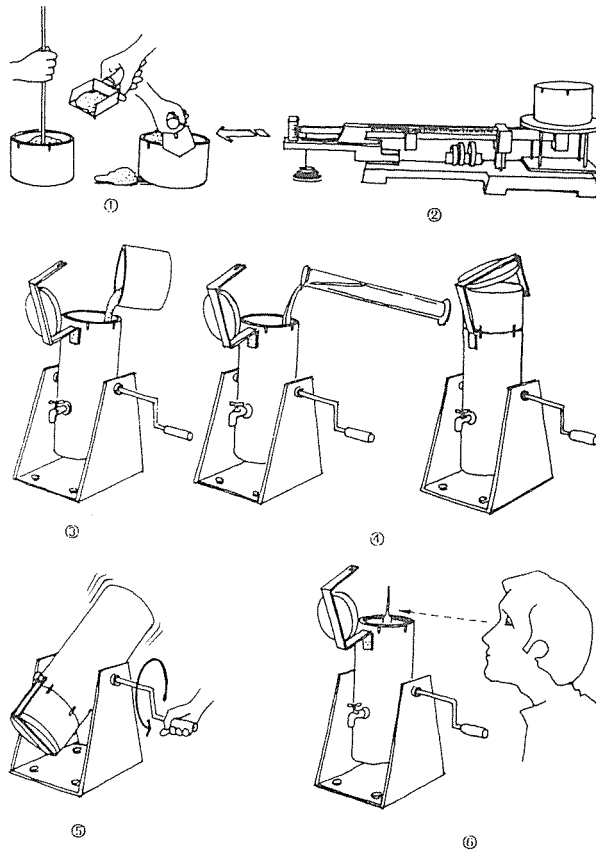


그림 1. 比重計法 強度 早期推定 實驗 順序圖

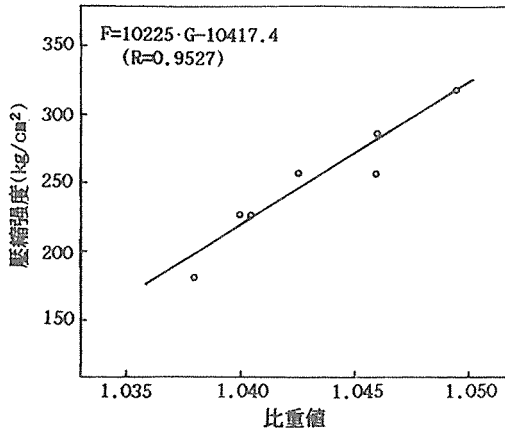


그림 2. 比重値와 壓縮強度 關係

로 實驗하였다. 實驗結果 슬럼프, 공기량 등 굳지 않은 상태에서의 品質과 比重計法 2분 比重値, 比重値에 의한 推定 壓縮強度 및 공시체를 製作하여 28일 경과후 實測한 壓縮強度 결과는 표3과 같다.

본 장에서는 아래와 같은 結果를 토대로 實務 品質管理에 이용하는 각종 道具로서 比重計法 콘크리트 強度 早期推定 品質管理 및 레미콘 品質에 대하여 分析하도록 한다.

2. 比重計法 品質管理 分析 및 레미콘 品質分析

콘크리트 壓縮強度는 재령 28일을 基準하므로 28일이 經過하지 않으면 測定할 수 없

다. 그러므로 그림3은 실제 出荷되는 레미콘 트럭에서 시료를 採取하여 10분 이내에 즉시 實驗한 2분 比重値로 推定 壓縮強度를 구하여 30일간의 結果를 x-Rs管理圖로 作成한 것이고, 그림4는 28일 경과후 실측한 實測 壓縮強度로서 x-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 중앙선 상하 位置分布의 全般의인 傾向은 매우 類似하게 나타나고 있어 比重計法 콘크리트 強度 早期推定에 의한 양호한 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치에서 7.4kg/cm² 높고 범위평균은 2.93kg/cm² 낮게 나타나고 있다.

또한, 管理圖上의 細部事項으로는 推定強度값의 x管理圖에서 12일~19일간 길이 8의 런(Run)이 중앙선 하부에 발견되었고, R管理圖에서 15일~19일 및 25일~30일에서 길이 5 및 6인 런이 중앙선 下部에 발견되었고, 실측강도값에서는 x管理圖 및 R관리도에서 이상 현상은 발견되지 않았다. 그러나, 이와같은 결과들은 특별한 原因이 있는 것으로는 分析되지 않았으며, 또한 편향 2σ와 3σ 사이 分布 및 주기 등 問題視되는 結果들은 나타나지 않아 불규칙한 양상이나 양호한 管理狀態에서 레미콘이 出荷되었음

표2. 實驗結果

규 격	W/C (%/wt)	굳지 않은 콘크리트			압 축 강 도		2 분 비중치
		슬럼프 (cm)	단위중량 (kg/m ³)	공기량 (%)	지정강도 (kg/cm ²)	배합강도 (kg/cm ²)	
25-135-8	68.6	8.4	2296	6.0	135	181	1.0380
25-180-8	58.2	5.0	2354	4.5	180	226	1.0400
25-180-12	58.2	9.4	2350	4.4	180	226	1.0405
25-210-8	53.4	8.2	2315	3.2	210	256	1.0460
25-210-12	53.4	14.2	2333	3.2	210	256	1.0425
25-240-8	49.1	11.4	2339	3.3	240	285	1.0460
25-270-12	45.3	9.2	2369	2.7	270	316	1.0495

표3. 출하레미콘 품질시험 결과

시 료 번 호	목 표 슬럼프 (cm)	아직굳지않은 콘크리트			압축강도 (kg/cm ²)	
		슬럼프 (cm)	공기량 (%)	2분 비중	추 정	실 측
1	8	7.1	2.2	1.0360	176	196
2	8	10.4	7.2	1.0425	243	238
3	12	12.5	6.5	1.0370	186	205
4	8	6.0	4.8	1.0410	227	240
5	8	4.8	2.9	1.0400	217	225
6	12	14.4	5.8	1.0430	248	225
7	8	12.4	3.7	1.0410	227	222
8	8	7.8	3.3	1.0400	217	223
9	12	6.5	4.9	1.0415	232	277
10	8	11.7	5.0	1.0370	186	234
11	12	12.6	6.1	1.0440	258	259
12	12	8.8	5.5	1.0395	212	186
13	12	9.5	4.1	1.0400	217	211
14	8	4.8	5.1	1.0370	186	195
15	8	10.1	5.3	1.0380	197	199
16	12	13.0	4.9	1.0400	217	228
17	8	9.7	4.3	1.0390	207	241
18	8	4.7	3.1	1.0395	212	238
19	12	13.4	3.6	1.0390	207	206
20	8	8.2	3.2	1.0460	278	273
21	12	14.2	3.2	1.0425	243	272
22	12	13.7	4.8	1.0380	197	213
23	12	14.5	4.1	1.0420	237	229
24	12	10.4	5.0	1.0380	197	208
25	12	11.2	4.0	1.0400	217	213
26	8	12.0	4.4	1.0380	197	189
27	12	8.8	2.9	1.0400	217	222
28	12	7.5	3.4	1.0420	237	240
29	12	9.7	3.3	1.0440	250	264
30	12	7.5	2.8	1.0430	248	242

굵은골재 최대치수 : 25mm
 압축강도 : 210kg/cm²

을 알 수 있었다.

그림5는 콘크리트 强度 早期推定의 精密 度를 分析하기 위하여 추정 압축강도와 실 측 압축강도간의 상관성을 상관도로 분석한 것이다. 전반적인 경향은 실측 압축강도가 추정 壓縮强度보다 작은 强度일수록 크기는

하나, 약 3%정도 높게 나타났는데, 좁은 범위에서 分析한 것임에 기인하여 相關係數는 0.75로써 대체로 良好한 相關性이 나타남을 알 수 있었다.

또한 比重計法 比重值 測定에 의한 壓縮 强度 品質管理에 있어 식(1)의 회귀식을 계

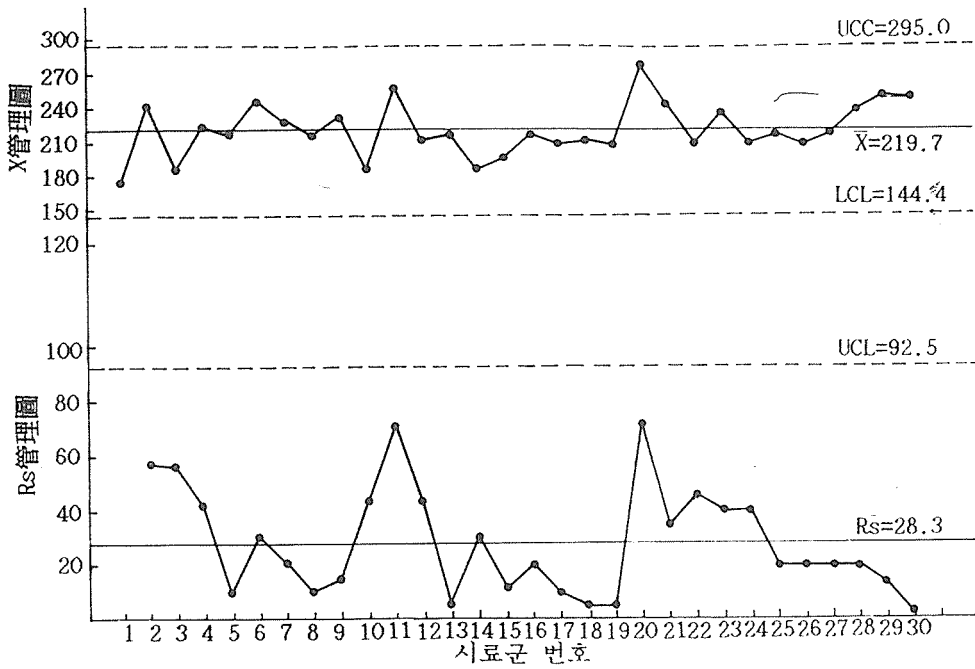


그림 3. 推定 壓縮強度의 X-Rs 管理圖

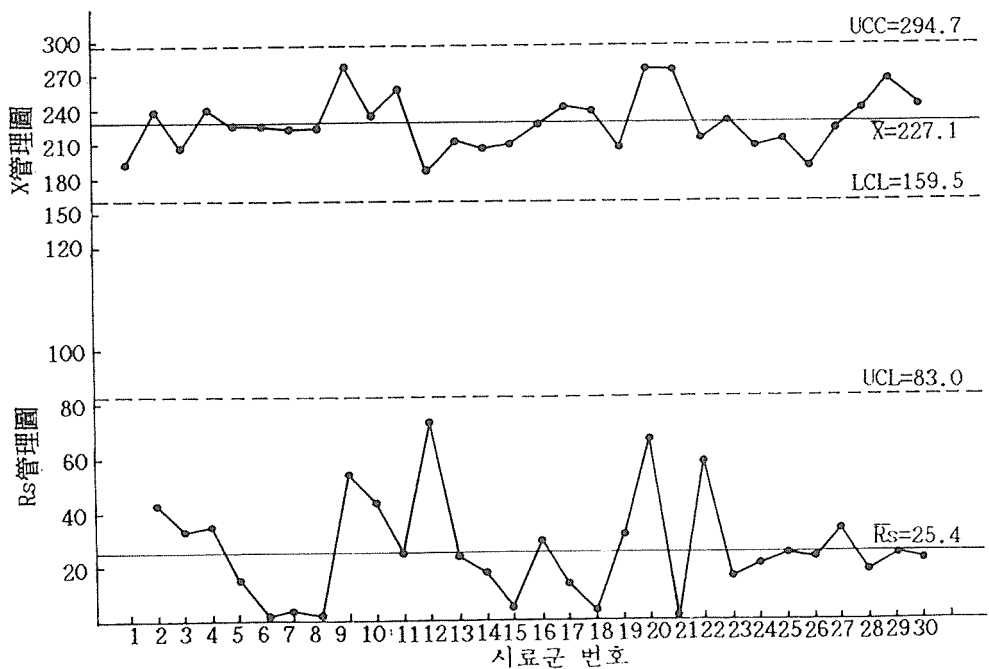


그림 4. 實測 壓縮強度의 X-Rs 管理圖

속 사용하여도 되는지에 관하여 실측압축강도와 추정압축강도간의 대응이 있는 평균치의 차를 t분포를 이용하여 有意할만한 차이가 發生하고 있는지를 검정하였다.⁵⁾

$$t_0 = \frac{d - \delta}{\sqrt{Vd} / \sqrt{n}}$$

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

$$|t_0| = \frac{7.4}{\sqrt{176.5} / \sqrt{30}} = 3.051^{**}$$

$$|t_0| > t(29, 0.01) = 2.756$$

檢定結果 推定 壓縮強도와 實測 壓縮強度間에는 1%의 有意水準으로 差異가 있는 것으로 밝혀지고 있음에 次後 品質管理에는 재차 比重値에 의한 壓縮強度 推定式을 導入하는 것이 要求되었다.

그림6은 實測 및 推定 壓縮強度的 分布를 히스토그램(Histogram)으로 나타낸 것이다. 특히 研究對象 레미콘의 實際 出荷되는 壓縮強度的 品質을 分析하기 위하여 實測 壓縮強度的 경우만을 집중 考察하면 $\bar{x} = 227.1 \text{ kg/cm}^2$ 이고, $\sigma = 24.5 \text{ kg/cm}^2$ 이었다.

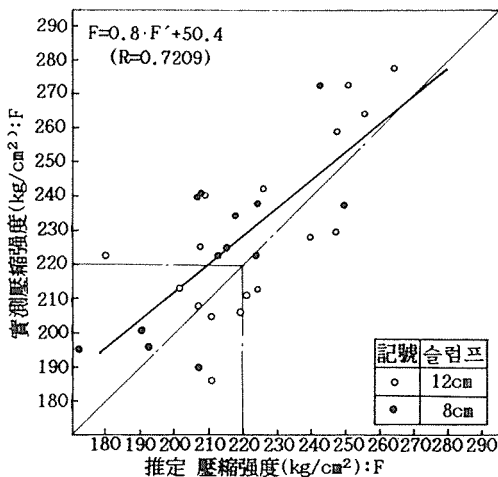


그림 5. 推定과 實測 壓縮強度 關係

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

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

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

위의 조건을 만족시키기 위한 배합강도는 조건(1)의 경우

$$F \geq 0.85 F_c + 3\sigma \dots\dots\dots(3)$$

조건(2)의 경우

$$F \geq F_c + \frac{3\sigma}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots(4)$$

로 된다.

그러므로 조건(1)과 조건(2)를 동시에 만족시키는 값은 252 kg/cm^2 로서 본 檢討 對象 레미콘의 配合強度는 252 kg/cm^2 로 設計되어야 한다.

그러나 본 檢査結果 指定強度 210 kg/cm^2 規格의 레미콘인 경우 平均 實測 壓縮強度는 227 kg/cm^2 이고, 配合強度는 표2와 같이 256 kg/cm^2 로서 이 레미콘의 경우 配合強度의 설정은 양호하나 실제강도의 發揮에는 29 kg/cm^2 가 不足한 것으로 나타났음에 시멘트 강도의 검토, 골재의 품질검토 등 배합강도 발휘에 관한 검토가 요구되었다.

또한, 이때 밝혀진 標準偏差 24.5 kg/cm^2 의 경우는(변동계수로는 10.8%) 미국의 Road Note No. 4와 Walker가 추천한 여러가지 品質管理 정도와 추천 변동계수⁶⁾인 표4와 比較할때 우(excellent)의水準, 우리나라 建築工事 標準 시방서⁷⁾의 25 kg/cm^2 이내와, 日本의 변동계수 10%이내인 高級水準과 類似한 수준인 것으로서, 양호한 수준이기는 하나 더욱 發展할 여지는 남아 있는 것으로 分析된다.

그림7은 比重計法 콘크리트 強度 早期推定 品質管理로서, (3)식에 의거 t분포 檢定

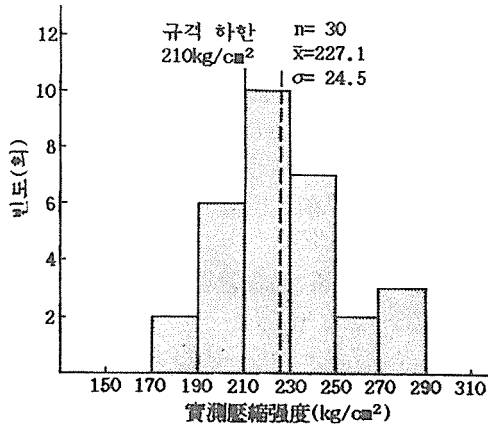
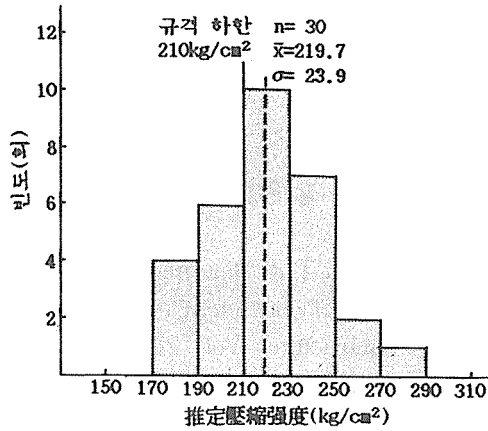


그림 6. 實測 및 推定強度 히스토그램

結果 既存의 推定式에는 再 標準 설정이 要求되었음에 30일간의 측정된 비중치와 28일 경과후 실측한 壓縮強度간의 關係로서 다음 (5) 식을 구하였다.

$$F = 7,258.7G - 7,324.0 \quad (5)$$

그러므로 다시 1개월간의 比重計法에 의한 레미콘 品質管理에는 상기식을 이용하여 管理하도록 計劃을 수립 한다.

3. 品質管理에 必要한 조치

실제 出荷되는 레미콘을 對象으로 30일간

표4. 여러가지 品質관리와 추천 변동계수

品質 관리 정도	변동 계수
실험실에서 잘 조정시 가능	5%
실험실 정도에 접근한 경우	10%
우 (excellent)	12%
양 (good)	15%
가 (fair)	18%
가하 (fair minus)	20%
나쁨 (bad)	25%

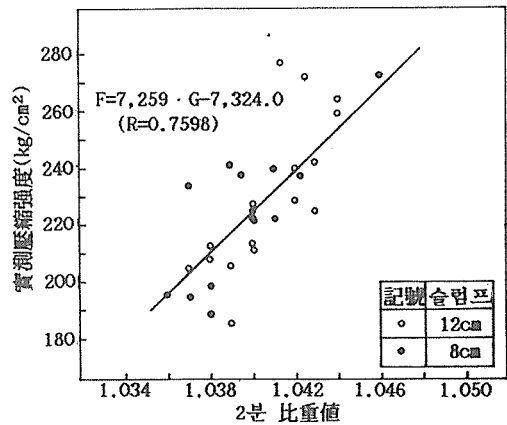


그림 7. 比重値와 實測 壓縮強度 關係

品質管理을 실시한 내용의 分析結果로서, 차후 레미콘 생산에 導入하는 새로운 標準의 設定 및 發展을 위한 努力事項은 다음과 같이 要求되었다.

1) 指定強度 210kg/cm² 레미콘의 실제 출하 평균 壓縮強度는 227kg/cm²로서 종전의 배합강도 256kg/cm²보다 부족하여 問題視 됨으로, 사용재료의 品質 검토 등 실제강도가 配合強度에 접근하도록 하는 노력이 要求된다.

2) 현재 出荷되고 있는 레미콘은 표준편차 24.5kg/cm², 변동계수 10.8%로서 양호한 수준이기는 하나 偏差를 줄이는 계속적인 생산노력이 要求된다.

3) 比重計法의 레미콘 強度 早期推定 회

귀식은 $F = 7,258.7G - 7,324.0$ 으로 再 標 準을 設定하여 品質管理하도록 한다.

IV. 結論

比重計法の 콘크리트 強度 早期推定을 도입하여 실제 공장에서 出荷되는 指定強度 210kg/cm³規格의 30일분 레미콘에 대하여 品質管理를 適用한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 지정강도 135~270kg/cm³의 7개 水準 範圍에서 本 研究의 改善 比重計法 2분 比重値와 配合強度間에는 $F = 10,225 \cdot G - 10,417.4$ 로서 相關係數 0.95의 良好한 相關性이 나타나고 있었다.

2) 30일간의 比重計法 推定 壓縮強度 $x - R_s$ 관리도와 28일 경과후 實측壓縮強度의 $x - R_s$ 관리도간에는 相互 類似한 傾向이 발견되고 있고, 實측강도와 추정강도간에 相關係數 0.75의 대체로 良好한 상관성이 나타나고 있어 比重計法 콘크리트 強度 早期推定の 精密度 및 妥當性을 立證할 수 있었다.

3) 지정강도 210kg/cm³인 既存의 배합강도 설정은 적절하였으나 실제강도가 배합강도에 미치지 못하고 있음에 재료품질 검토 등으로 강도 발휘에 유의하고, 편차도 줄이는 노력이 要求되었다.

4) 추정강도와 實측강도간에 t分布에 의한 檢定을 실시한 結果 1%의 有意水準으로 差異가 발생함이 인정됨으로 比重計法 비중치에 의한 壓縮強度 推定式은 차후의 品質管理에 $F = 7,259 \cdot G - 7,324.0$ 으로 수정하도록 조치함이 밝혀졌다.

5) 本研究에서 실시한 모델을 參照하여 類似한 레미콘 생산에 比重計法 콘크리트 強度早期推定の 品質 管理를 실시하면 최근 평촌신시가지 아파트의 레미콘 불량사고와 같

은 강도 부족하자과 예방 및 우리나라 레미콘 品質向上에 크게 기여할수 있을 것으로 綜合 考察된다.

參考文獻

1. L. J. Murdock: The Determination of the Proportions of Concrete, Cement and Lime Manufacture, Vol. 21, No. 5, 1948.
2. 常山源太郷, 小澤喬; 比重計法によるセメント定量, 日本窯業協會誌, Vol. 68, No. 778, 1968.
3. 水野俊一; また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.
4. 韓千求; 콘크리트強度의 早期推定에 관한 研究, 忠南大學校 大學院 博士 學位論文, 1988.
5. 黃義澈; 最新 品質管理, 博英社, 1984, pp. 223~224.
6. 김용부; “콘크리트 강도”의 분석, 한국 콘크리트 학회지, Vol. 2, No. 2, 1990, p. 11.
7. 建設部; 建築工事 標準示方書, 大韓建築學會, 1986, pp. 100~101.
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. 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, 日本コンクリート工學誌, Vol. 31, 1931.
10. 日本建築學會; 콘크리트의 早期迅速試驗方法集, 1975, pp. 1~132.