

Autoclave 養生法에 의한

Cement 長期強度 迅速推定

朴 秉 鎬

<星信化學丹陽工場>

I. 序 言

cement의 強度는 일정 기간이 경과된 후에 發現하므로 強度는 cement의 가장 중요한 品質特性이면서도 品質管理를 위한 lot 追跡不能으로 事後管理가 된 느낌이 없지 않다.

連速製造工程인 cement 工業에서 母集團의 品質特性을 빨리 파악함으로써 lot 追跡 및 신속한 조치로 品質向上과 製品의 均一化를 위하여 종래 諸係數의 調整에 의한 推定에서 迅速方法으로 結果에 의한 品質管理를 하고자 早期強度 推定實驗 가능성을 검토하여 보았다.

現在 cement 工場에서의 強度推定은 強度發現 要素들을 control 함으로써 品質管理를 하여 왔다. 즉 原料의 諸係數調整(SM, IM, LSF) 및 clinker의 free lime과 諸 compound 調整, cement mill에서 Blaine·sieve·ignition loss control로써 管理되어 온 것이다. 그러나 強度의 영향이 가장 큰 kiln內的 反應, 즉 燒成溫度에 따른 복합적인 結晶構造와 冷却時의 α , β , γ 의 轉移 등 가장 중요하면서도 정확히 check 調整이 되지 못하는 요소에 대한 諸係數調整 및 物理的 여건에 의한 品質特性推定은 판단의 착오를 범하고 있는 것이 사실이다.

그러므로 本實驗은 cement 工場에서의 品質向上을 위한 管理를 보다 정확하게 效率的으로 수행하고, 事前管理로써 不良原因을 迅速히 파악

제거함으로써 品質保證으로 對外 信用度を 높이고, 製品의 均一化를 위한 方法으로 cement의 硬化速度를 autoclave에 의해 高溫·高壓으로 급속히 發現시켜 강도를 조기 추정토록 하였다.

그리하여 점차 다양해 가는 소비자의 요구를 충족시키고 新製品 개발에 조그마한 도움이 되었으면 한다.

II. 實驗裝置 및 使用材料

1. 實驗裝置

1) autoclave tester: 시멘트 安定度 試驗用(0~40 kg/cm² 압력 自動 조절용)

2) mould mixer: 유성 운동 및 회전 운동 mixer
① 초속: 62 RPM 유성 운동, 140±5 RPM 회전 운동

② 중속: 125 RPM 유성 운동, 285 RPM±10 RPM 회전 운동

3) mortar flow table: 시멘트 시험용 flow table

4) moisture box: 습도 90% 이상, 溫度 23°C ±2°C 자동 조절용

5) 2 inch cube mould: KSL 5105 시멘트 압축 강도 시험용 몰드

6) compressive tester: 시멘트 mortar 압축 강도 시험용(W. Feddeler, WBP 100)

2. 使用材料

1) cement: 當社製品(자재 ball mill에서 均一

混合)

2) sand: KSL 5100 압축 강도용 표준砂

III. 實驗概要

KSL 5105, 5109 에 의하여 제작된 몰드를 습윤 양생함에서 24 시간 양생시킨 후 脫型하여 自動壓力調節用 autoclave 에 압력을 가하여 強度를 신속히 發現시켰으며, 기본 방법에 의하여 製作 實驗한 強度를 standard 強度로 하였다. 또 신속 방법에 의한 강도를 standard 強度와 비교하기 위하여 溫度 및 壓力, 養生時間 등을 변화시켜 standard 強度値와 가장 近似한 data 를 반복 實驗으로 再現性을 고찰하고 檢定하였다.

또한 random sample 을 취하여 개개의 試料를 기본 방법과 신속 방법으로 비교 검토하였다.

IV. 化學成分 및 物理性能(표준 시멘트)

化學成分 및 物理性能은 3회 반복 실험 결과 <表-1>, <表-2>와 같다.

1. 化學成分

化學成分은 <表-1>과 같다.

<表-1> 化學成分

No.	成分			
	1	2	3	平均
SiO ₂ (%)	22.20	22.05	22.32	22.19
Al ₂ O ₃ (%)	4.42	4.48	4.51	4.47
Fe ₂ O ₃ (%)	3.04	3.08	3.06	3.06
CaO (%)	64.26	64.34	64.31	64.30
MgO (%)	2.35	2.38	2.32	2.35
SO ₃ (%)	1.83	1.85	1.84	1.84
Ig. loss (%)	0.80	0.85	0.80	0.81
In. sol (%)	0.10	0.10	0.12	0.11
Total (%)	99.00	99.13	99.28	99.13
F. L (%)	0.86	0.82	0.90	0.86
HM	2.17	2.17	2.15	2.16
SM	2.98	2.92	2.95	2.95
IM	1.45	1.45	1.47	1.46
AI	5.02	4.92	4.95	4.96
LSF	91.2	91.6	90.5	91.1

2. 物理性能

物理性能은 <表-2>와 같다.

<表-2> 物理性能

No.	成分 Blaine (cm ² /g)	sieve (88 μ %)	안정도 (%)	setting time	
				초결(分)	종결(時)
1	3,250	1.3	0.06	200	4.42
2	3,245	1.2	0.08	192	4.40
3	3,250	1.3	0.05	185	4.30
平均	3,248	1.27	0.06	192	4.37

3. 基本方法的 壓縮強度

基本方法的 強度實驗은 KS 規格 規定方法으로 實驗하였으며 同一試料를 3일 強度는 15회, 7일, 28일 強度는 20회 反復實驗으로 再現性 및 散布를 檢定하였고, 그 平均置를 standard data 로 보았다.

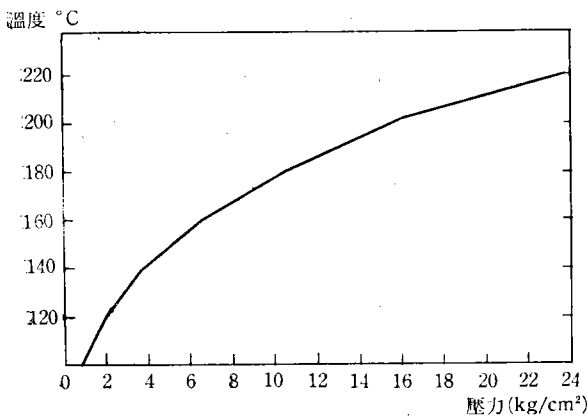
<表-3> 基本方法的 壓縮強度

回數 強度	3日 強度 (kg/cm ²)	7日 強度 (kg/cm ²)	28日 強度 (kg/cm ²)
	1	195	264
2	193	266	355
3	194	260	360
4	197	267	348
5	200	252	357
6	190	258	354
7	195	262	351
8	198	267	349
9	190	260	358
10	194	265	361
11	186	259	348
12	188	255	345
13	192	262	362
14	194	256	352
15	196	258	350
16		264	355
17		266	364
18		253	360
19		260	355
20		252	362
平均	193.4	260.2	354.6
표준편차	3.7	4.7	5.65

V. 迅速推定 實驗

1. 溫도와 蒸氣壓과의 관계

溫도와 蒸氣壓과의 관계는 <그림-1>과 같으며 壓力 上昇速度는 autoclave 內的 空氣除去로부터 5 kg/cm² 까지 20 分, 10 kg/cm² 까지 30 分, 20 kg/cm² 까지는 45 分으로 상승 속도를 유지하였다. 또 壓力 상승 후 養生 시간은 自動調節



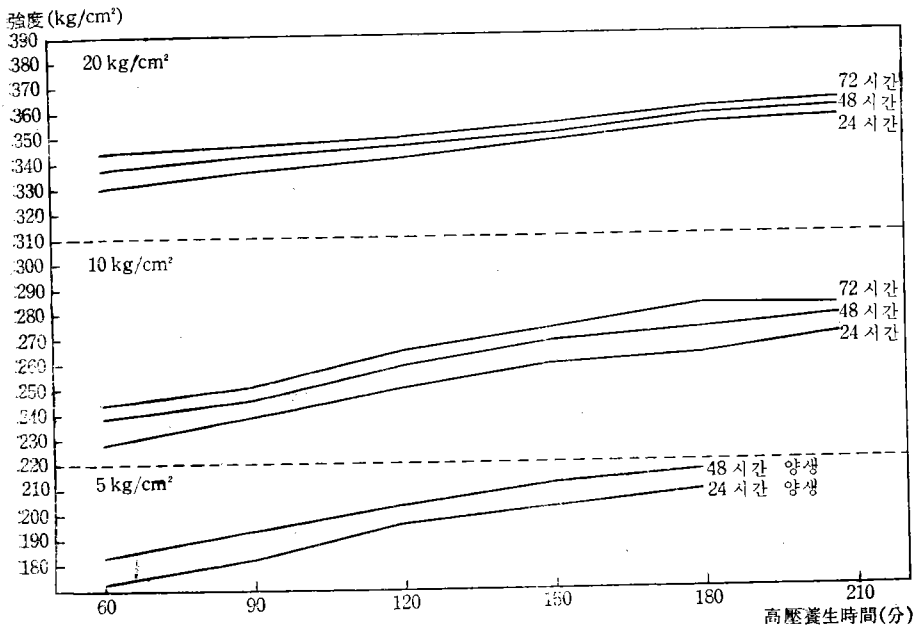
<그림-1> 온도와 증기압과의 관계

用 lamp 休止 시간부터 계산하였으며 autoclave 內的 水量을 試料 밀면의 1 cm 간격으로 試料가 직접 물에 잠기지 않도록 하여 養生後 室溫까지 徐冷시켰다.

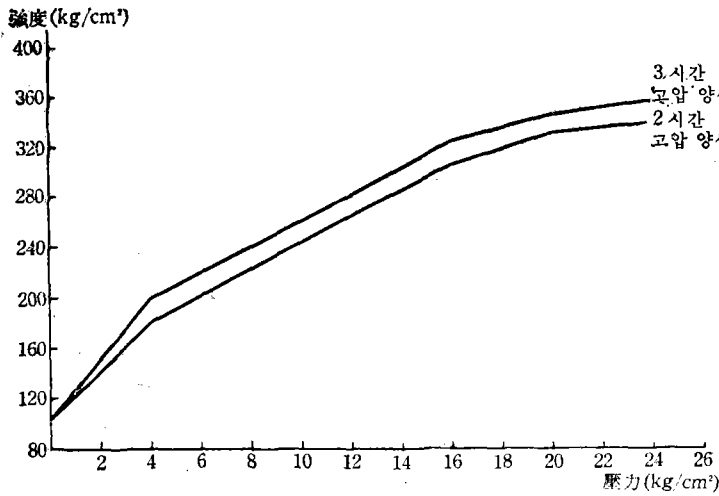
2. 습기함 양생 시간에 의한 강도 변화

물드 製作方法은 기본 방법과 동일하고 습기함에서 24 시간, 48 시간, 72 시간 양생으로 同一壓力에서 養生 시간에 따른 強度變化를 考察하였으며 그 결과는 <그림-2>와 같다.

<그림-2>에서 습기함 양생 시간에 의한 강도 변화를 考察하면 初期強度에서는 直線的으로 민감한 반응을 나타내나 長期強度에 갈수록 반응 속도는 현저하게 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이 원인은 水和反應 후 응결 경화 과정에서 고압 증기 양생으로 C₃A의 급격한 반응 및 C₃S, C₂S의 반응으로 초기 강도에서는 양생 시간에 의한 강도 변화가 현저하나 장기 강도에서는 強度發現要素가 고압 증기 양생으로 시멘트 강도의 限界點에 도달되어 계속 완만한 반응을 장시간 계속하기 때문이다. 그 예로서 20 kg/cm²에서 2시간 30分 이후에는 습기함 양생 시간에 따른 강도 변화가 극히 적게 나타나고 있다.



<그림-2> 養生 시간에 의한 強度變化



<그림-3> 高壓養生時間에 의한 強度變化

킨 물드를 迅速實驗方法으로 실험하였다. 그 결과가 기본 방법의 平均値에 一致되는 조건을 찾기 위하여 壓力에 따른 고압 양생 시간 및 강도의 변화를 실험하였다(<그림-3> 參照).

<그림-3>에서 壓力이 증가하고 양생 시간이 길어짐에 따라 強度가 상승되며 2~3 시간의 고압 양생 사이에서 약 10 kg/cm²의 強度 차이를 나타내고 있다. 그러므로 신속 방법은 규정된 시간 및 壓力이 철

3. 高壓養生時間에 의한 強度比較

기본 방법에 의한 強度實驗의 平均値를 母集團의 均형으로 보고 24 시간 습기함에서 양생시

<表-4> 신속 실험 결과

強度	回數	3日 強度 (kg/cm ²)	7日 強度 (kg/cm ²)	28日 強度 (kg/cm ²)
	1	198	262	347
	2	198	264	359
	3	205	255	344
	4	197	262	362
	5	190	257	362
	6	201	260	349
	7	196	265	355
	8	186	266	344
	9	191	262	348
	10	200	260	350
	11	198	254	345
	12	195	250	351
	13	203	265	361
	14	190	269	349
	15	192	259	344
	16		264	349
	17		266	345
	18		271	354
	19		265	365
	20		258	354
平均		195.9	261.7	351.9
표준편차		5.20	5.15	6.63

저히 요구된다.

이상의 습기함 양생 시간과 고압 양생 시간 및 壓力을 고찰하면, 3일 강도에서는 24 시간 습기함 양생 후 5 kg/cm²에서 2시간 고압 양생이 기본 방법의 평균치와 유사하고, 7일 강도에서는 24 시간 습기함 양생 후 10 kg/cm²에서 3시간 고압 양생, 28일 강도는 24 시간 습기함 양생 후 20 kg/cm²에서 3시간 고압 양생이 최적 조건임을 알 수 있다.

4. 신속 방법에 의한 強度實驗結果

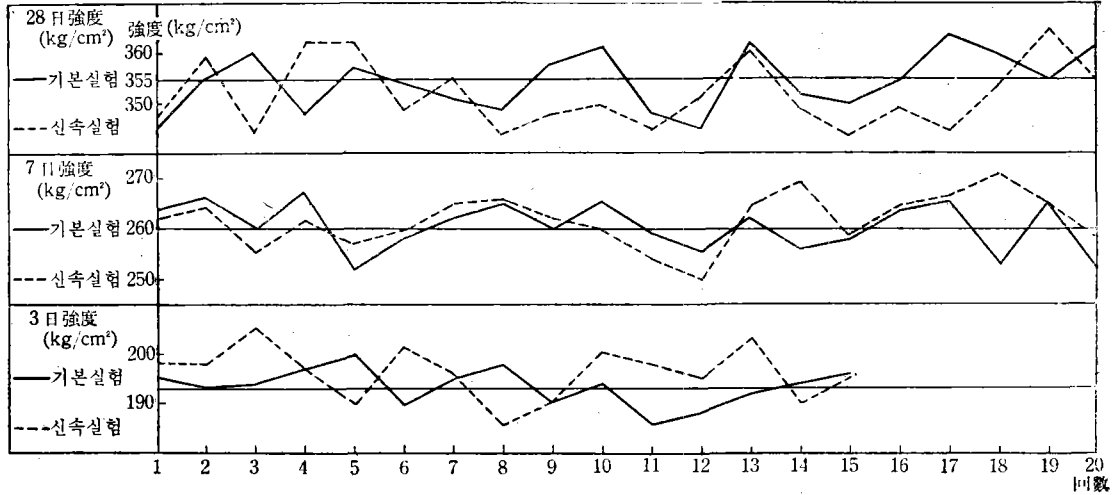
強度實驗結果는 <表-4>와 같다.

VI. 고 찰

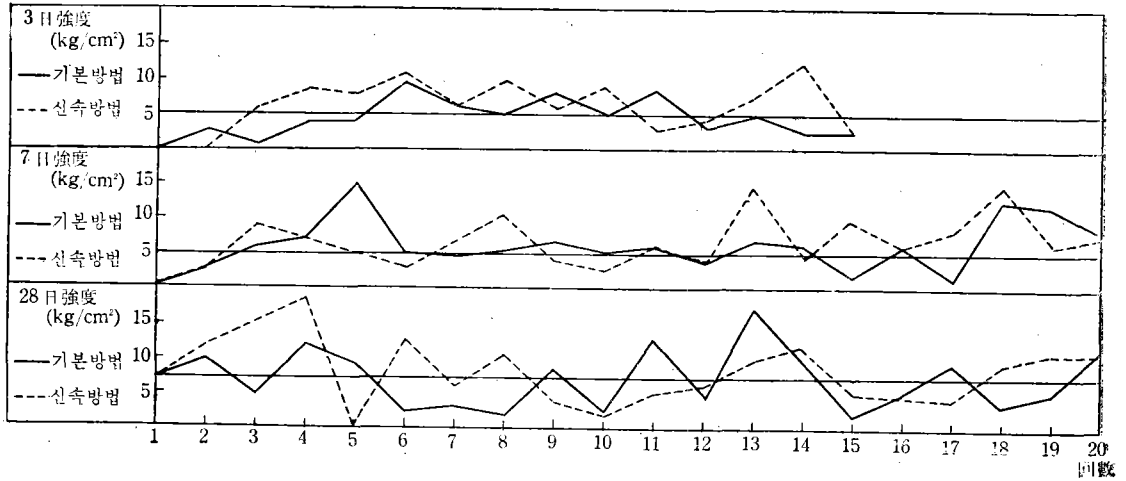
기본 실험과 신속 실험 결과에 관하여 그 신뢰성 유무를 검토하여 보고자 한다.

1. 치우침의 신뢰성 검토

기본 방법과 신속 방법간의 치우침의 신뢰성 검토 결과 3일 강도에서는 기본 방법에 비하여 변동이 있으나 7일, 28일 강도에서는 안정된 상태를 나타내고 있다. 그리고 기본 실험의 측정치 변동에 따라 신속 실험의 측정치가 상관적으로 변동하고 있는데 이는 물드의 제작 조건 또는 습기함 양생 조건 등 복합적인 원인에 있는 것으로 추정된다. 또 3일 강도의 편차는 강도 발현을 신속히 진행시키고 시멘트의 강도는 양



<그림-4> 신뢰성 검토



<그림-5> 정밀도의 검토

생 시간 및 압력에 민감하므로 자동 조절용 gage 를 좀더 세밀한 gage로 대체한다면 초기 강도의 신뢰성을 증가시킬 수 있으리라 믿는다.

데 그 원인은 다음 점에서 검토하겠다.

2. 정밀도의 신뢰성 검토

기본 방법과 신속 방법의 산포를 검토하면 <그림-5>와 같다.

<그림-5>에서는 기본 방법에 비하여 분산의 범위가 있으나 통계적 검정으로 差의 유무를 검토하여야 한다.

上記 data의 정밀도 오차 범위가 기본 실험에서도 장기 강도에 갈수록 산포가 크게 나타나는

VII. 실험 오차

시멘트 強度의 實驗 오차는 ① 실험실의 溫度와 濕度 ② 混水量 ③ 濕氣函의 溫度와 濕度 ④ 養生溫度 ⑤ 몰드 製作方法에 의한 오차(temper) ⑥ mortar의 팽창 수축 ⑦ 개인간의 실험 오차 ⑧ 강도기의 加壓速度가 미치는 誤差 ⑨ 기타 등으로 야기된다. 이상의 원인들은 단독 또는 복합으로 시멘트 강도에 영향을 끼치는데 여기서는 그중 가장 중요한 원인 몇 가지만 골라 살펴

보기로 한다.

1. 養生溫度에 의한 誤差

養生溫度가 시멘트 強度에 미치는 영향은 대단히 크므로 養生溫度를 일정하게 管理하기 위하여 KS 規格으로 23°C±1.7°C의 범위를 유지시키도록 하고 있다.

<表-5> 養生溫度에 따른 強度 비교

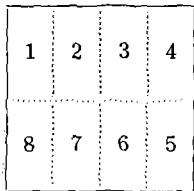
養生水溫度 (°C)	3日 強度		7日 強度		28日 強度	
	強度 (kg/cm ²)	強度比 (%)	強度 (kg/cm ²)	強度比 (%)	強度 (kg/cm ²)	強度比 (%)
17°C±1°C	166	86	239	92	327	93
20°C±1°C	183	95	250	96	338	96
23°C±1°C	193	100	260	100	352	100
27°C±1°C	203	105	273	105	362	103

註: 強度비 (%)는 23°C±1°C를 100으로 본 수치임.

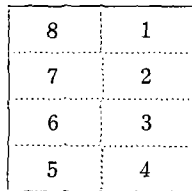
<表-5>를 살펴보면 초기 강도는 양생수의 온도가 압축 강도에 미치는 영향이 대단히 크며 장기 강도에 갈수록 약간 감소하는 경향을 나타내나 실험 시간이 길어지면 실험 오차를 낼 수 있는 제원인이 상대적으로 많아지므로 신뢰성 있는 실험을 하기 위하여는 실험 오차의 모든 원인을 제거할 수 있는 설비 및 실험자의 주의가 항상 요구된다.

2. 성형 방법에 의한 오차

압축 강도용 몰탈 제작중 템퍼로 다져 주는 방법은 2inch cube mould에 mortar을 1/2 채우고 10초 동안에 32회 밀면에 닿을 정도로 다져 주고 또 완전히 채우고 32회 1/2면까지 다져 주도록 되어 있으나 실험자간 또는 실험 개수 등에 따라 오차가 나타난다.



1:3 바퀴



2:4 바퀴

<그림-6> temper 순서

temper 에 의한 오차는 加壓壓力에 대한 技術

的인 체크가 불가능하므로 본실험에서는 同一人으로 하여금 3회 반복 실험한 평균치를 이용하였다 (<表-6> 參照).

<表-6> 템퍼에 의한 강도 비교

No.	상 태	3日 강도 (kg/cm ²)	7日 강도 (kg/cm ²)	28日 강도 (kg/cm ²)
1	템퍼 없음	170	235	337
2	정상 템퍼	192	260	352
3	강한 템퍼	199	272	364

上記 data와 같이 템퍼에 의한 실험 오차는 상당히 크다. 정상 템퍼에 비하여 강한 템퍼는 3일 強度에서 7 kg/cm², 7일 強度에서 12 kg/cm² 28일 強度에서 12 kg/cm²의 오차를 나타내고 있다.

3. 混水量에 의한 강도 비교

混水量이 많으면 強度가 下落하고 混水量이 적으면 強度가 상승되나 너무 적으면 오히려 하락된다. 이는 물, 시멘트 비가 크면 초기 水和反應이 늦어지고 mortar 內의 gel space 間의 공간이 치밀하지 못하므로 나타나는 원인인 듯하다. 물, 시멘트 비가 작으면 초기 수화 속도 증가로 초기 강도의 상승을 나타내나 너무 작으면 충분한 수화 반응을 하지 못하므로 강도의 하락을 초래하며 장기 강도에서는 물의 양에 의한 強度差가 감소하는 결과를 나타낸다. 이러한 실험 결과는 아래와 같다.

<表-7> 混水量과 강도 변화

混水量 (w/c %)	3日 강도 (kg/cm ²)	7日 강도 (kg/cm ²)	28日 강도 (kg/cm ²)
60	165	231	330
56	182	248	346
54	190	256	354
52	192	260	352
50	203	265	354
48	200	262	348
44	190	250	342

註: 52%時 정상적 혼수량임.

VIII. 통계적 검정

1. 평균치 차의 검정

이상의 동일 시료에 대한 서로 다른 실험 방

<表-8>

基本實驗과 신속 실험의 平均値 비교

	기 본 실험			신 속 실험		
	3 일 강도 (kg/cm ²)	7 일 강도 (kg/cm ²)	28 일 강도 (kg/cm ²)	3 일 강도 (kg/cm ²)	7 일 강도 (kg/cm ²)	28 일 강도 (kg/cm ²)
強 度	193.4	260.2	354.6	195.9	261.7	351.9
표 준 편 차	3.7	4.7	5.65	5.20	5.15	6.63

법간의 data가 과연 신뢰성이 있고 오차는 허용 한계내에 드는가를 검정하여 보고자 한다.

본 data 중 기본 실험의 평균치와 신속 실험의 평균치는 <表-8>과 같다.

상기 두 평균치의 差의 유무를 검정해 보기로 한다.

1) 3日 압축 강도

① X의 합계 T와 X²의 합계 Q를 계산하면

$$T_1=2,902 \quad \# \quad Q_1=561,669$$

$$T_2=2,939 \quad \# \quad Q_2=576,571$$

X: 각 측정치 T₁, Q₁=기본 실험 T₂, Q₂=신속 실험

② 각 조의 평균치 \bar{X}_1 과 \bar{X}_2 를 계산하면

$$\bar{X}_1 = \frac{2,902}{15} = 193.4 \dots \dots \text{기본 실험 평균치}$$

$$\bar{X}_2 = \frac{2,939}{15} = 195.9 \dots \dots \text{신속 실험 평균치}$$

③ \bar{X}_1 과 \bar{X}_2 과의 差의 절대치 d를 계산하면

$$d = 195.9 - 193.4 = 2.5$$

④ $(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)$ 의 표준 편차 δ_a 를 계산하면

$$\delta_a = \sqrt{\frac{1}{15} (3.7^2 + 5.15^2)} = 1.64$$

⑤ u_0 를 계산하면

$$u_0 = \frac{2.5}{1.64} = 1.52$$

⑥ 이때 위험률 α 를 0.05로 정하면

$$K \cdot \frac{\alpha}{2} \text{는 } 1.96 \text{ 이므로}$$

u_0 와 $K \cdot \frac{\alpha}{2}$ 를 비교하면 $1.52 < 1.96$ 이다. 따라서 두 평균치는 차가 있다고 말할 수 없다(위험률 5%).

2) 7日 強度

$$\bar{x}_1 = 260.2$$

$$\bar{x}_2 = 261.7$$

$$d = 1.5$$

$$\delta_a = \sqrt{\frac{1}{20} (4.7^2 + 5.19^2)} = 1.57$$

$$u_0 = \frac{1.50}{1.57} = 0.96$$

α 를 0.05로 정하면 $K \cdot \frac{\alpha}{2}$ 는 1.96이므로 $0.96 < 1.96$ 이다. 따라서 두 평균치에는 差가 있다고 할 수 없다(위험률 5%).

3) 28日 強度

$$\bar{x}_1 = 354.6$$

$$\bar{x}_2 = 351.9$$

$$d = 2.7$$

$$\delta_a = \sqrt{\frac{1}{20} (5.65^2 + 6.63^2)} = 1.96$$

$$u_0 = \frac{2.7}{1.96} = 1.38$$

위험률 α 를 0.05로 정하면 $K \cdot \frac{\alpha}{2}$ 는 1.96 따라서 $1.38 < 1.96$ 이므로 두 평균치에는 差가 있다고 말할 수 없다(위험률 5%).

이상의 검정 결과 두 평균치에는 差가 없다는 結論인 바 기본 실험을 기준치로 두었을 때 신속 실험 결과와의 差가 있겠는가를 검정하여 보자.

2. 기준치와 측정치와의 差의 檢定

1) 3日 강도

기준치는 193.4 kg/cm^2 이고 신속 실험 측정치의 평균치는 195.9 kg/cm^2 이며 이때 표준 편차는 5.15이고 기준치와 측정치와의 차의 절대치는 2.5이므로

$$u_0 = \frac{\sqrt{15} \times 2.5}{5.15} = 1.87$$

위험률 α 를 0.05로 정하면 $K \cdot \frac{\alpha}{2}$ 는 1.96 따라서 $1.87 < 1.96$ 이므로 기준치와 측정치와의 差는 있다고 말할 수 없다(위험률 5%).

2) 7日 강도

여기서도 $1.30 < 1.96$ 이므로 차가 없다는 결론이며, 28日 강도에서도 $1.83 < 1.96$ 이므로 기준치와 측정치와의 차가 있다고 말할 수 없다는 결

론이다. 따라서 이제는 分散의 差가 있는지를 檢正하여 보고자 한다.

3. 두 分散의 差의 檢定

1) 3日 強度

① X_1 의 합계 T_1 과 X_1^2 의 합계 Q_1 , X_2 의 합계 T_2 와 X_2^2 의 합계 Q_2 를 計算한다(X_1 =기본 실험, X_2 =신속 실험).

X_1 의 합계

$$T_1=2,902 \quad Q_1=561,640$$

X_2 의 합계

$$T_2=2,939 \quad Q_2=576,638$$

② X_1 및 X_2 의 편차 제곱의 합 S_1 및 S_2 를 計算한다.

$$S_1=561,640 - \frac{2,902^2}{15} = 200$$

$$S_2=576,638 - \frac{2,939^2}{15} = 790$$

③ 다음 F_0 를 計算한다.

여기에서 S_2 쪽이 S_1 보다 크므로

$$F_0 = \frac{790}{200} = 3.95$$

④ 위험률 α 를 0.05로 정하면

$$f_1=f_2=15-1=14$$

$$\frac{\alpha}{2} = 0.025 \text{ 이므로}$$

$$F_{14}^{14}(0.025) = 2.98$$

⑤ $3.95 < 2.98$ 이므로 기본 실험과 신속 실험의 分散의 差는 있다고 말할 수 있다(위험률 5%).

2) 7日 強度

$$S_1=1,354,518 - \frac{5,204^2}{20} = 437$$

$$S_2=1,370,252 - \frac{5,234^2}{20} = 518$$

$$F_0 = \frac{518}{437} = 1.19$$

α 를 0.05로 정하면 $\frac{\alpha}{2} = 0.025$

$$f_{18}^{18}(0.025) = 2.53$$

$1.19 < 2.53$ 이므로 두 分散의 差는 있다고 말할 수 없다(위험률 5%).

3) 28日 強度

$$S_1=2,514,773 - \frac{7,091^2}{20} = 659$$

$$S_2=2,476,847 - \frac{7,037^2}{20} = 879$$

$$F_0 = \frac{879}{659} = 1.33$$

α 를 0.05로 정하면 $\frac{\alpha}{2}$ 는 0.025

$$F_{18}^{18}(0.025) = 2.53$$

$1.33 < 2.53$ 이므로 두 分散의 差는 있다고 말할 수 없다(위험률 5%).

이상의 통계적 檢正 결과 두 평균치에는 差가 없으며 기본 실험의 평균치를 기준치로 두었을 때에도 신속 실험의 평균치와 차가 없다는 결론이 나온다. 그리고 分散의 檢正에서 3일 강도의 分散은 기본 실험과 신속 실험간에 차가 있고 7일, 28일 強度의 分散은 差가 없다는 결론이다.

그러므로 3일 強度의 신속 방법에 의한 추정 실험의 實用化를 위하여는 精밀도를 향상시키고 分散을 적게 하여 신뢰성 있는 data를 얻을 수 있도록 현재 사용 중인 자동 압력 조절용 gage를 좀더 예민한 것으로 交替해야 될 것으로 믿는다.

상기 실험과 檢正 결과로 7일 강도 및 28일 강도의 추정 실험 가능성이 인정되므로 서로 다른 개개의 시료를 기본 실험과 신속 실험으로 비교 실험하였으며 그 결과는 <表-9>와 같다.

IX. 결 론

이상의 실험 결과는 同一製造工程의 製品으로 化學成分(諸係數) 및 物理性能(blaine sieve)이 管理限界線內에(36) 포함되는 製品에 대한 實驗으로, 製造工程이 다르거나, 物理性能의 격차는 신속 실험의 오차 범위를 확대시키므로, 이때는 standard curb를 作成하여 보정하여야 한다.

그리고 기본 실험과 신속 실험결과, 3日 강도는 $5 \text{ kg/cm}^2 (151^\circ \text{C})$ 에서 2시간, 7日 강도는 $10 \text{ kg/cm}^2 (178^\circ \text{C})$ 에서 3시간, 28日 강도는 $20 \text{ kg/cm}^2 (212^\circ \text{C})$ 에서 3시간 고압 양생이 최적조건이며 이때의 표준편차는 <表-10>과 같다.

<表-9>

다른 시료의 기본 방법과 신속 방법간의 비교 실험

強度 (kg/cm ²)	試料 No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	표준 편차 $\delta f-w$
3日 強度	기본 실험	148	155	152	160	142	154	160	167	162	173	165	168	159	163	160	
	신속 실험	145	160	144	168	156	155	163	168	166	168	155	158	166	166	154	7.0
7日 強度	기본 실험	215	218	206	221	192	205	225	224	237	232	236	235	228	221	218	
	신속 실험	219	226	202	212	197	209	238	240	235	230	225	236	228	231	225	8.1
28日 強度	기본 실험	313	320	305	325	292	308	326	330	336	347	340	345	326	329	315	
	신속 실험	322	328	302	334	310	315	335	333	345	342	330	331	325	341	321	9.6

註: 표준 편차 $(\delta f-w) = \sqrt{\frac{\sum (xf-xw)^2}{n-1}}$

xf: 기본 실험 強度值(kg/cm²)

xw: 신속 실험 強度值(kg/cm²)

<表-10> 標準 偏差

強度(kg/cm ²)	기본 실험	신속 실험
3日 強度	3.7	5.20
7日 強度	4.7	5.15
28日 強度	5.65	6.63

<表-10>의 표준 편차는 기본 실험에 비하여 재현성 및 정밀도가 떨어지며, 측정 오차는 3일

強度에서 6 kg/cm², 7日 強度에서 6 kg/cm², 28日 強度에서 9 kg/cm²의 오차 범위를 나타내나 통계적 검정 결과 7일, 28일 強度에서는 차이가 없다는 결론이었다(95% 신뢰율). 따라서 장기 강도를 신속히 추정하면 제품의 不良原因을 제거할 수 있고 나아가서 품질 관리 및 생산 관리 개선에도 많은 도움이 되리라 믿는다.

近 着 國 外 圖 書

◎ INDIAN CONCRETE JOURNAL, May 1972

- * Editorial: Stability of modern buildings
- * Letters to the Editor: Dynamic pressures of powdery materials in silos with particular reference to cement
- * Search for economic and universal housing systems-some design and construction experience: 1, Zenon A. Zielinski
- * Usefulness of the coefficient of variation for the quality control, and economical production of concrete, A.M. Singal
- * A study of the frost damage of concrete: 2-freezing of concrete containing different surface active solutions, S. Chatterji
- * Concrete water towers at Alencon in France
- * The ISI Jubilee Convention
- * A comparative study of the economics of different types of isolated reinforced concrete

footings, M. L. Kalra and S. G. Balasubramanian

◎ INDIAN CONCRETE JOURNAL, June 1972

- * Editorial: Pumped concrete
- * Letters to the Editor: Low-cost LIC housing at Borivli, Bombay: use of composite brick-masonry reinforced concrete load-bearing walls
- * Search for economic and universal housing systems-some design and construction experience: 2, Zenon A. Zielinski
- * Deformation of soil around a multi-underreamed pile, G. S. Tain and S. P. Gupta
- * Concrete roads in Europe: 1
- * Application of electrokinetics for piles in black cotton soil, S. Sridhara
- * Design of concrete members with ribbed tor-steel with reference to cracking, S. Pasupathy