

■ SUMMARY ■

The Quality Test of the domestic Cement and Measures for Improvement

by *Boong Hee Hong*

College of Engineering
Hanyang University, Seoul.

Generally the mixture ratio and the execution method of Concrete are very important factors to obtain the utmost effect of Concrete, which is one of the main materials of Constructions. The intensity of Cement, however, gives more important effect over 60 percent to Concrete at the Same Conditions, such quality of Cement renders a great influence to the intensity, durability, and economy of Concrete,

Since the era of Rome, Volcanic ashes and limes stone had been used as natural Cement, but as such are not only lack of hardness in water but also lack of durability weathering by means of moisture and the change of temperature improvement of quality had been studied since then. In 1824. A new manufacturing method of portland Cement, was invented by Issac Charles Jhonson in England for the first time and successively, in 1848 a manufacturing plant was erected in France, and Germany in 1850. America in 1871, Japan in 1875 and Korea in 1919, respectively. The Present domestic yield of Cement indicates 5,827 $\frac{1}{2}$ %, which allows for domestic and some amount for foreign exports.

The reason that such improvement and develop-

ment of manufacturing of Cement in a world wide has been made are;

1. The raw materials of portland cement as lime stone and clay are available easily on every part of the world.
2. The excellence of the quality of portland cement in chemical and physical aspects is most suitable to the materials for constructions.
3. The processing of manufacturing of portland Cement is comparatively simple and mass production is possible.

Domestic cement is supplied sufficiently for its demands in Korea.

The quality, however, must be examined if the quality of domestic Cement is in that of standard international level, and accordingly, a measure for improvement in quality must be devised. This thesis treats a series of tests of portland cement of domestic production by 6 manufactures and a Japanese typical portland cement as testing materials, and in addition, some testing records by the manufactures were arranged for a comparative analysis of the quality and the identical factors of portland cement, therefrom an improvement measure for domestic Cement is derived.

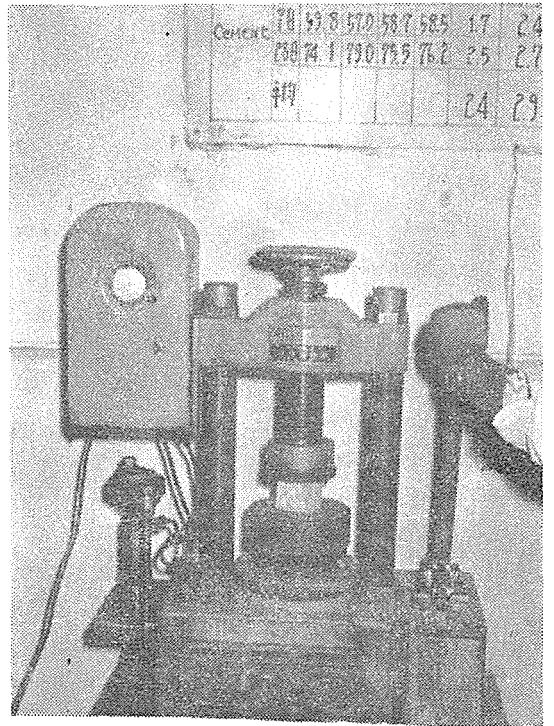
국산 Cement의 품질시험에 관하여

홍 봉 의

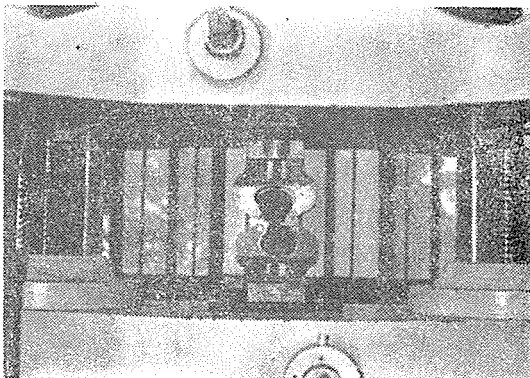
1. 서 론

주요건축의 구조재료인 Concrete의 질적보장을 위하여는 Concrete의 배합비, 시공방법 및 원재료의 품질등이 그 중요한 요소라 할 수 있다. 그 중에서도 원재료의 품질을 중점적으로 검토하기로 한다. 별제 논문에서 골재시험을 한바 있으므로 본 논문에서는 보통 Portland Cement에 대한 품질시험과 그 결과를 검토하기로 한다.

Concrete의 강도에서 Cement가 주는 영향은 $F = \frac{3.16K}{12.9X}$ 인 O, Graf식에서 X를 W/C로 K를 사용 Cement의 강도로 하면 F는 Concrete의 28일 강도로 볼 수 있다. X를 65%로 하면 $F=0.7K$ 정도로 볼 수 있으므로 Cement의 강도의 약 70%를 Concrete의 강도로 볼 수 있게 된다. 이와같이 중요한 역할을 하는 Cement의 품질여하는 곧 Concrete의 강도, 내구성, 경제성에 큰 영향을 주게 된다. 고대 로마시대부터 화산회나 석회를 천연 Cement로 이용하였으나 1824년에 영국인 Issac Charless Johnson 씨가 처음으로 Portland Concrete를 발명하여 영국에서 인조 Cement가 처음으로, 1844년에 생산되었고 불란서에서 1848년에 독일에서,



Cement 공시체 강도시험기



Cemente 강도시험을 끝낸 공시체

1850년에 미국에서 1871년에 일본에서 1875년에 조선에서 1919년에 각각 Cement 생산공장이 건설되었다. 현재는 한국의 Cement 총생산량이 5,827,000%에 도달하여 국내수요량을 충족하고도 약간의 수출을 할 수 있게까지 되었다.

이와같은 Cement 생산이 세계적으로 급속도로 발전된 이유로는 다음 몇 가지를 들 수 있다.

- (1) Portland Cement의 주원료인 석회석과 점토는 지구상 어떤 지역에서나 손쉽게 얻을 수 있는 물질이라는 것.

(2) Portland Cement의 화학적 물리적 성질이 우수하여 건설재료로 쓰기에 알맞는 재료라는 것.

(3) Portland Cement의 제조법이 그리 복잡한 공정을 거치지 않고서도 다량생산이 가능한 것.

이와같이 양적으로 보장이 된 Cement는 그 품질에서도 국제적 수준에 도달하였는가를 검토하여 보아야 하겠다.

본 논문은 1969년도 국산 Portland Cement (6종)와 대표적인 외국산 portland Cement(2종)를 각 공장에서 또는 포장제품중에서 시료를 채취하여 직접시험한 결과 및 국립건설연구소의 연구보고서, 또는 각 생산공장의 시험성적보고서등을 정리하여 품질 및 균일성에 대한 비교검토를 하므로 앞으로의 국산 Cement의 개량점을 논술하기로 한다.

2. 시 험

2.1 개 요

2.1.1 시 료

본 시험에서는 필요한 자료를 얻기 위해 한국내(남한)에 건설된 Cement 생산공장의 실태를 조사하고 그 생산품의 대표적인 시료 및 그 시험성적표의 제공을 신청한바 1969년 6월에서 7월간에 그 시료 및 시험성적표를 얻었으며 동 기간중에 일본의 제품 및 성적표의 일부도 입수할 수가 있었다. 수집된 시료내용은 다음과 같다.

Portland Cement 시료표

<표 2 1. 1-1>

시료기호	국	적	시 료	접 수 일 자
C ₁	한	국	8 배	6월 7일
C ₂	"	"	8 "	6월 13일
C ₃	"	"	8 "	7월 3일
C ₄	"	"	8 "	7월 1일
C ₅	"	"	8 "	6월 24일
C ₆	"	"	8 "	6월 17일
C ₇	Japan		20kg	6월 5일
C ₈	"		시험표	5월 3일
C ₉	"		10kg	6월 10일
C ₁₀	"		10kg	6"10"

단 maker별의 내용은 필자가 보관하고 있다.

2.1.2. 시료 채취 및 보관

본 시험에 사용된 시료는 국내 Cement는 일반 시판품과 같은 지대포장 제품을 목재 상자에 봉입하여 공장에서 철도편으로 반입하였고 외제Cement는 Vinyl레 대로 방송 포장하여 금속상자에 봉입한것을 항공기 편으로 반입하여 시험실내의 초차제 방습기중에 보관하였 다가 1개월 이내에 시험을 하였다.

2.1.3 시험방법

본 시험에서 화학분석은 생산공장의 시험실에서 1969년 6월 1일에서 7월 30일간에 작성된 성분분석시험표와 국립건설연구소의 연구보고서 제1집에 의한 data를 종합검토 하였다.

물리적인 제 성질은 수집된 시료를 써서 1969년 6월 1일부터 8월 15일간에 KS규격에 따르는 시험을 하였고 그 중 몇가지 KS규격이 미제정된 사항은 J.I.S 및 ASTM 규격을 준용하였다.

2.2 화학성분의 분석시험

2.2.1 시험방법

본 시험은 한국내의 국산 Cement 공장에서 1969년 6월 1일~7월 30일간에 작성된 화학성분시험의 성적표와 국립건설연구소에서 발행된 연구보고서 제1집의 data를 종합정리하여 검토하였다.

2.2.2 시험결과

각 시료별의 화학성분을 비교하여 국산 Cement의 상호간 차이점 및 외산 Cement와의 차이등을 비교하였고 각 시료의 연도별 성분변동의 정도를 표시하였다.

2.2.3 결과검토

A. 화학성분

(a) 일반적으로는 KS규격에 합격되나 SiO₂분만은 KS규격에서 벗어나는 것이 몇 시료 (C₁, C₂, C₃, C₄, C₆, C₇등)가 있다. SiO₂ 성분의 포함율이 지나치게 많으면 강도저하 수화열량감소의 원인이 될 수 있다. 특히 C₄는 좀 많은 편이다.

<표 2.2.2~1> 각 시료의 성분함유율비교표(%)

시료	성분	성분								
		Ig.Loss	Ins.R	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Total
C ₁		0.57	0.15	21.22	5.95	3.37	63.10	1.84	2.49	98.69
C ₂		1.32	0.17	22.18	5.32	3.26	63.51	1.70	1.54	99.00
C ₃		0.89	0.25	21.22	5.95	3.68	62.94	2.82	1.75	99.50
C ₄		0.78	0.35	22.95	5.36	2.68	63.76	2.66	1.26	99.80
C ₅		2.40	0.37	20.50	5.48	3.43	62.32	3.06	2.37	99.83
C ₆		0.61	0.20	22.30	5.21	4.27	64.07	1.41	1.73	99.80
평	관	1.09	0.25	21.85	5.75	3.46	63.10	2.02	2.06	99.58
K	S	<3.00	<0.75	<21.00	<6.00	<6.00	<65.00	<5.00	<2.50	—
외	제	0.50	0.44	21.91	5.43	3.21	64.62	1.52	2.05	99.66
증	감	+0.59	-0.19	-0.06	+0.32	+0.25	-1.52	+0.50	-0.01	-0.08

단 증감은 외제Cement에 대한 국산 Cement의 평균치의 증감율이다.

<표 2.2.2~2> 각 시료의 화학성분 연도비교표 (%)

시료	성분	년 도	성분								
			Ig.loss	Ins.R	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Total
C ₁		1967	1.01	0.31	21.01	6.01	3.27	63.00	2.71	2.19	99.50
		1969	0.59	0.15	21.22	5.95	3.37	63.10	1.84	2.49	98.71
		차	-0.42	-0.16	+0.21	-0.06	+0.10	+0.10	-0.87	+0.30	-0.79
C ₂		1967	1.11	0.28	21.71	6.05	3.30	63.33	2.04	1.90	99.61
		1969	1.32	0.17	22.18	5.32	3.26	63.51	1.70	1.54	99.00
		차	+0.21	-0.11	+0.47	-0.73	-0.04	+0.18	-0.34	-0.36	-0.61
C ₃		1967	1.01	0.30	21.22	5.95	3.68	62.94	2.29	2.11	99.45
		1969	0.89	0.25	—	—	—	—	2.82	1.75	—
		차	-0.12	-0.05	—	—	—	—	-0.53	-0.36	—
C ₄		1967	1.47	0.31	20.90	6.32	3.52	61.60	3.03	2.06	99.54
		1969	0.78	0.35	22.95	5.36	2.68	63.76	2.66	1.26	99.80
		차	-0.69	+0.04	+2.05	-0.96	-0.84	-2.16	-0.37	0.80	+0.26
C ₅		1967	2.05	0.35	20.70	6.48	3.43	62.32	2.14	3.05	99.51
		1969	2.40	0.37	—	—	—	—	3.06	2.37	—
		차	+0.35	+0.02	—	—	—	—	+0.92	-0.68	—
C ₆		1967	1.27	0.34	21.32	6.12	3.81	53.15	1.41	2.14	99.54
		1969	0.61	0.20	22.30	5.21	4.27	64.07	1.40	1.73	99.80
		차	-0.66	-0.14	+0.98	-0.91	+0.46	-10.92	-0.01	-0.41	+0.26
C ₇		1969	0.50	0.44	21.91	5.43	3.21	64.62	1.50	2.05	99.66

(b) 화학성분이 가장 양호한 함유율범위는 다음 표와 같다고 본다.

<표 2.2.3-1> 보통 Portland Cement 화학성분범위표(%)

성분	Ig. loss	Ins.R	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Alkali
함유량	0.6~2.5	0.2~1.0	20~26	4~9	2~4	60~66	1~3	1~2.8	0.5~1.0

적정범위는 수야(符野)박사 조사서에 의한 것이다.

<표 2.2.3-2> (표 2.2.3-1)을 기준한 대조표

성분 시료	Ig Loss	Ins.R	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	비고
C ₁	▽	▽	○	○	○	○	○	○	
C ₃	○	▽	○	○	○	○	○	○	
C ₃	○	○	○	○	○	○	○	○	
C ₄	○	○	○	○	○	○	○	○	
C ₅	○	○	○	○	○	○	○	△	
C ₆	○	○	○	○	△	○	○	○	
C ₈	▽	○	○	○	○	○	○	○	
기호	표 2.2.3-1을 기준으로 그 범위내(○), 그 이상(△), 그 이하(▽)로 함.								

윗표에 C₁ C₈는 강열감량(Ig Loss)이 특히 적으므로 석고종의 결정수가 적고 풍화정도가 적고 H₂O, CO₂량이 적으므로 품질이 좋다고 볼 수 있다. C₅는 강열감량이 2%를 초과하여 풍화정도가 있으므로 방습포장에 유의할 필요가 있다.

(c) C₁ C₂는 불용해잔분(Ins.R)의 포함량이 적으므로 석고의 불순물이 적은 것을 의미하므로 품질상 유리하다.

(d) Fe₂O₃가 약간 많은 C₆는 Cement색이 약간 암록색을 띄우며 Fe₂O₃가 지나치게 많으면 장기구조물에 팽창균열이 생길 우려가 있다.

(e) SO₃가 약간 많은 C₁ C₅는 석고의 첨가량이 좀 많은 듯 하며 지나치게 SO₃가 많이 포함되면 Concrete 구조물의 붕괴의 원인이 될 수도 있다.

(f) alkali (Na₂O, K₂O 등)은 점토원료에서 오는 성분으로서 한국산 점토에는 극히 적으므로 별로 품질에 영향은 없으나 지나치게 많이 포함되면 alkali 골재반응으로 Concrete의 팽창균열이 발생하는 수가 있다.

B. 수경성화합물

(a) C₃S의 함유량이 특히 적은 C₁은 조기강도, 수화열량등이 부족할 것으로 본다.

(b) C₂S의 함유량은 일반적으로 기준범위내에 들어

<표 2.2.3-3> 각 시료의 수경성화합물표(%)

성분 시료	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	H.M	A.L	I.M	S.M	L.S.F
C ₁	39.0	31.0	10.0	10.0	2.03	3.52	1.77	2.28	0.89
C ₂	42.0	30.0	11.0	10.0	1.99	3.58	1.84	2.31	0.89
C ₃	42.0	29.0	10.0	11.0	1.99	3.62	1.61	2.21	0.90
C ₄	41.5	34.0	9.7	8.2	2.03	3.27	2.00	2.86	0.86
C ₅	42.0	28.0	11.0	10.0	2.00	3.27	1.88	2.12	0.90
C ₆	42.0	29.0	10.0	12.0	1.97	3.48	1.61	2.15	0.89
적정범위	45~48	18~30	7.5~10	8.5~10.5	2.00	3.40	1.70	2.10	0.90

있다

(c) C₃A의 함유량이 많은 C₂는 조기강도가 크고 해수저항이 크며 방풍에도 유리하나 경화시에 수축균열이 발생된다.

(d) 기타 수경성화합물(H.M), 활동계수(A.L) 철물(I.M) 규산염(S.M), 석회포화물(L.S.F) 등은 대략기준범위내에 있다.

2.3. 물리적성질시험

본 시험은 한국내 각 생산공장에서 수집된 시료 및 외국산시료를 KS규정에 따라 시험하여 얻은 결과와 각 생산공장 시험실에서 1969년 6월 1일에서 7월 30일간에 작성한 시험성적표 및 국립건설연구소 발행 연구보고서의 제1집의 data 등을 종합비교하여 정리한 것이다.

2.3.1 비교시험

A. 시 료

본시험은 국산 Cement(6종)와 외산 Cement(2종)를 시료로 하여 1969년 6월 1일부터 10일간에 KS, L 511 (Cement 비중시험)에 따라 시험하였다.

B. 시험방법

수집된 시료를 표준 Le-Chatelier 비중병으로 시험했다. 먼저 탈수한 광유를 비중병의 0~1m/간의 눈금선까지 채우고 병내벽을 마르게 한 후 광유온도차를 0.2° C 이내로 유지하여 광유면의 눈금을 기록 한다.

그 후에 시료 Cement 약 64g을 정확히 계량하여 광유와 같은 온도에서 조금씩 넣는다. 이때 병 내벽에

Cement가 붙지 않게 약간진동하면서 조심하여 넣고 마개를 막은 다음 조금 기울이고 서서히 수평으로 굴러서 Cement 내의 공기를 제거 한다.

이때의 온도를 일정하게 하고 올라온 광유면의 상부 눈금을 읽는다.

C. 시험결과

다음과 같은 식으로 비중을 계산한다.

$$\text{비중} = \frac{A}{B}$$

A: Cement 시료의 중량(g)

B: 비중병의 나중 눈금에서 처음 눈금을 뺀 치(mL),

단 이 방법에 의하여 시험한 비교치를 2회 측정하여 그 차가 0.01 이내된 것을 취했다.

<표 2.3.1>

각 시료의 비중표

시 료 년 도	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉
1 9 6 7	3.13	3.13	3.10	3.12	3.07	3.13	—	—	—
1 9 6 9	3.08	3.12	3.08	3.11	3.05	3.14	3.13	—	3.14
증 감	-0.05	-0.01	-0.02	-0.01	-0.02	+0.02	—	—	—

D. 결과검토

대체로 표준비중범위인 3.08~3.12에 대하여 C₅가 약간 비중이 적은 편인데 비중이 너무 적은 것은 소성온도부족이나 혼화물포함, 또는 풍화작용을 받은 것이므로 강도저하의 우려가 있다.

< 표 2.3.3.2-1>

비표면적분말도표(cm²/g)

시 료 년 도	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉
1 9 6 7	3,196	3,217	3,381	3,472	3,699	3,546	—	—	—
1 9 6 9	2,830	2,984	3,200	3,177	3,333	2,853	3,040	—	—
증 감	-376	-233	-181	-295	-366	-693	—	—	—

D. 결과검토

분말도의 KS 규격은 2,600cm²/g 이상이므로 본 시료는 전부 합격품이며 특히 C₃ C₄ C₅ C₇ 등은 우수한 편이므로 수화작용이 빠르고 수화열량이 많아서 응결시간이 짧고 조기강도가 높을 것이다.

2.3.3 주(稠)도시험

A. 시 료

본시험은 한국내의 국산 Cement(6종)와 외제 Cement(2종)를 시료로 하여 1969년 7월1일에서 10일간에 KS, L 5102(표준주도 시험법) 규정에 따라 시험하였다.

2.3.2 분말도시험

A. 시 료

본시험은 국산 Cement(6종) 및 외산 Cement(1종)의 생산공장시험성적표 및 국립건설연구소의 연구보고서 제1집의 data를 종합비교 검토한 것이다.

B. 시험결과

B. 시험법

(a) Cement시료 약 500g을 메끈한 비흡수성 반죽판에 놓고 중앙에 흡을 내고 소요량의 물을 흡안에 붓고 흡손으로 흡안에 Cement를 걸어 넣어 30초간 흡수시킨 후 깨끗한 고무장갑을 낀 손으로 실하게 개여 90초이내에 반죽을 한다.

(b) 두손을 15cm간격으로 벌리어 구형 Cement 반죽을 한손에서 다른 손으로 6회를 던져 잘 이긴 것을 원추형 Ring 의 큰 구멍으로 Cement 구형 반죽을 채우고 여분을 손바닥으로 한번에 빼어 낸다. Ring 의 큰쪽을 유리판 위에 놓고 작은 쪽의 여분반죽을 예리한흡손끝

으로 잘라내고 윗면을 매끈하게 한다.

(c) 시험장치의 Rod의 중앙에 맞게 공시체를 놓고 풀턴저끝을 반죽표면에 접촉시켜 멈춘다음 자동침 윗끝을 눈금자의 0에 맞추고 혼합후 30초후에 처음 면에서의 10±1mm의 점까지 자동침이 내리갔을 때의 반죽상

태를 표준주도로 하고 이 표준주도가 될 때까지의 물의 양을 변경시켜 시험반죽을 만든다.

C. 시험결과

표준주도를 얻을 때 소요수량을 건조 Cement중량의 백분율로 계산한다.

<표 2.3.3> 표준주도의 W/C표(%)

시 료	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉
1 9 6 7	25.5	24.6	24.6	25.3	25.1	26.4	—	—	—
1 9 6 9	26.0	25.2	25.3	25.5	25.3	26.1	—	26.1	—
증 감	+0.5	+0.7	+0.7	-0.2	+0.2	-0.3	—	—	—

1) 결과검토

(a) 점주도가 큰 C₁, C₆, C₉등은 Concrete의 재료분리가 적고 Workability가 좋을 것이다.

(b) 점주도가 낮은 C₂, C₃등은 Concrete의 Workability가 좋지 않고 재료분리가 생겨서 강도가 저하될 우려가 있다.

2.3.4 응결시간시험

A. 시 료

본 시험의 시료 500g을 메끄럽고 비흡수성인 반죽판 위에 놓고 중앙에 홈을 낸 다음 표준주도를 얻는데 필요한 혼합수량을 홈안에 넣고 30초이내에 Cement를 흡손으로 걸어넣어 흡수시키고 계속하여 고무장갑을 낀 손으로 세계 개여 반죽하되 90초동안에 작업을 완수

<표 2.3.4-1> 시 결 시 간 표 (시·분)

시 료	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉
1 9 6 7	3 : 15	2 : 34	2 : 19	2 : 07	2 : 25	2 : 22	—	—	—
1 9 6 9	2 : 41	3 : 15	3 : 13	2 : 10	2 : 54	3 : 14	2 : 25	—	3 : 05
증 감	-0 : 34	+0 : 41	+0 : 54	+0 : 03	+0.29	+0 : 52	—	—	—

<표 2.3.4-2> 종 결 시 간 표(시·분)

시 료	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉
1 9 6 7	5 : 05	4 : 30	3 : 37	4 : 03	4 : 01	4 : 30	—	—	—
1 9 6 9	4 : 05	4 : 50	4 : 30	4 : 10	4 : 15	5 : 05	4 : 50	—	4 : 30
증 감	-1 : 00	+0 : 20	-0 : 07	+0.07	+0 : 14	+0 : 35	—	—	—

C 결과검토

(a) Cement에 가수한 후에 20분 쯤 되면 경미한 위응결 현상이 생겼다가 다시 연화되었다, 재응결이 되는

한다.

B. 시험방법

위에서 준비된 Cement 반죽으로 약 10cm 정방형의 유리판위에 지름이 약 7.5cm 중앙면의 두께가 약 1.3cm이고 바깥쪽으로 갈수록 점점 얇은 패트를 만든다.

패트는 습기상자속에 넣고 응결시간을 측정하는 시간의에는 정치하여 둔다.

C. 시험결과

응결시간을 측정하는때는 침을 수직의 위치로 놓고 패트의 표면에 가볍게 댄다. 알아볼만한 흔적을 내지 않고 패트가 길모아의 초결침을 받치고 있을 때를 Cement의 시결로 하고 또 패트가 길모아 종결침을 받치고 있을 때를 Cement의 종결로 한다.

수가 있는데 이것은 석고의 변화로 인한 일시적인 초기 수화반응인 것이다.

(b) Cement 성분중에 SO₃ 성분이 많이 함유된 C₁, C₅등은 역시 응결시간이 빠를 것이다.

(c) 초결시간이 너무 빠른 것은 Concrete의 작업시간이 짧아서 Ready mixed concrete용으로 부적당하다. 특히 C₃는 응결시간이 짧으므로 주의할 필요가 있다.

2.3.5 안정도시험

A. 시 료

본 시험은 한국내의 각 Concrete 생산공장에서 1969년 6월 1일에서 7월 30일간에 작성한 시험성적표를 종합 검토하였다.

B. 시험결과

본 시험은 Autoclave expansion의 백분율(%)로 표시 하였다.

<표 2.3.5.> 안정도표(%)

시 료	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉
안정도	0.09	0.21	0.14	0.19	0.59	0.066	0.02	-	-

단 수축된 것은 -로 표시한다.

C. 결과검토

(a) Cement의 성분중에 SCO₃나 유리석회(CaO) 등이 지나치게 많이 함유된 Cement는 경화중에 팽창현상이 생긴다.

(b) C₅는 안정도가 낮은 편이어서 Concrete의 팽창귀열이 발생될 우려가 있다.

(c) C₁, C₆, C₇등은 안정도가 좋은 편이다.

2.4 역학적시험

본시험은 한국내의 각 Cement (6종) 및 외국 Cement (2종)을 시료로 하여 1969년 7월 1일에서 8월 20일 간에 KS규격에 따라 시험하였고 KS규격이 미제정된 것은 JIS규격 및 ASTM규격을 준용하여 시험하였다.

2.4.1 압축강도시험

A. 시험체

(a) KSL5100(표준사) 규정에 의하여 강원도 주문진

<표 2.4.1-1>

3일 압축강도표(kg/cm²)

시 료	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	KS
1967년	151	142	149	155	151	150	-	-	-	-
1969년	183	168	178	190	160	168	205	-	201	> 85
차	+32	+26	+29	+35	+9	+18	-	-	-	-

읍의 천연사를 채취하여 불순물을 제거하고 건조시켜 다음과 같은 입도로 체가름 하였다.

<표 2.4.1~A> 표준사의 입도표

항 목	입도(표준체의 잔류분) %			
	840μ	590μ	297μ	단위용적량
압축강도용	-	1.0이하	95이상	1.60kg/l
인장강도용	1.0이하	95이상	-	1.53 "

단 입도시험은 KSF 2502 규격에 의한 것.

단위용적중량은 KSF 2505 규격에 의한 것이다.

(b) mortar 배합비는 Cement 표준사가 1 : 2.45의 중량비로 섞어서 한 Batch에 9개의 공시체분으로 Cement량 760g과 표준사 1,862g, 물 197g(W/C=25~26%)으로 하여 flow가 100이 되게 하였다.

(c) 성형은 KSL 5105 규격에 맞는 50.8mm의 입방체의 mold를 써서 각 재령별로 각각 3개씩을 만들었다.

(d) 양생은 다음 순서로 한다.

형성된 시험체는 초자판에 없어서 습기상자내에 24시간 보관하였다가 mold를 떼고 깨끗한 수조속에 담가 놓아 둔다.

B. 시험방법

(a) 재령은 3일, 7일, 28일의 삼중으로 구분하여 각각 3개씩의 공시체를 시험한다.

(b) 공시체를 수조에서 5집어 내어 표면이 건조상태가 되도록 수분을 닦고 강도시험기(marudo No. 143, 615 수동식 및 Willow Grove PA전동식 testing machine)의 지지 Bearing Block위에 중심이 맞도록 정확히 놓고 파괴될 때까지 끊임없이 하중을 가하여 시험체가 파괴되도록 한다.

C. 시험결과

공시체가 표시한 최대 중하중을 기록하여 그것을 수압면적으로 나누어 산출한다.

<표 2.4.1-2>

7일 압축강도표(kg/cm²)

시 료	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	KS
1967년	245	239	24	249	230	237	—	—	—	—
1969년	237	254	232	229	210	226	272	—	287	> 150
차	-8	-15	-16	-20	-20	-11	—	—	—	—

<표 2.4.1-3>

28일 압축강도표(kg/cm²)

시 료	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	KS
1967년	319	353	339	333	312	346	—	—	—	—
1969년	333	380	318	367	277	355	450	410	412	> 245
차	+14	+27	-21	+34	-35	+9	—	—	—	—

D. 결과검토

(a) Cement의 압축강도는 가장 중요한 강도이며 조기강도(3일~7일)는 성분중에서 C₃A가 많은 Cement가 유리하다.

(b) C₅는 조기강도가 낮은 편인데 소성부족이나 분말도부족 풍화작용 등의 영향인듯 하다.

(c) 조기강도의 순위를 보면 7일강도에서 C₇>C₂>C₁>C₃>C₄>C₆>C₅로 된다.

그 중에서 외제 Cement (C₇)와 국산 Cement (C₂)와의 차는 약 7%의 저하율이고 C₂와 C₅의 차이는 약 20%가 된다.

(d) 국산 Cement의 조기강도의 연도별 변동은 3일 강도에서는 1967년보다 1969년도것이 전부가 모두 10~30%의 증가를 보이고 있으나 7일 강도는 도리어 전부가 모두 10~20%의 감소를 보여 준다.

(e) 장기강도(28일)의 순위는 C₇>C₂>C₄>C₆>C₁>C₃>C₅이며 국산 Cement중의 최고(C₂)와 최저(C₅)간에는 약 27%의 강도차가 있으며 외산 Cement (C₇)과 국산 Cement의 대표적인 C₂와의 강도차는 약 15%나 있다.

2.4.2 인장강도

A. 공시체

(a) KSL 5100(표준사)규격에 맞도록 강원도 주문진 음 모래를 불순물 제거와 입도를 조절을 했다.

(b) 표준 mortar은 Cement와 표준사의 중량비로 1 : 2.7이 되게 혼합하여 표준주도를 나타낼 때의 순

<표 2.4.2-3>

3일 인장강도표(kg/cm²)

시 료	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	KS
1967년	22.1	23.0	22.6	23.0	23.0	23.0	—	—	—	—
1969년	16.0	20.1	18.4	18.0	15.0	21.0	20.80	—	22.3	> 10
차	-6.1	-2.9	-3.6	-5.0	-8.0	-2.0	—	—	—	—

Cement 반죽의 W/c을 기준으로한 표준 mortar의 수량은 다음 표에 의한다.

표준 mortar재료에 대한 수량비(%)

<표 2.4.2-1>

표준주도의 Cement반죽량에 대한 수량비	23	24	25	26	27
표준 mortar재에 대한 수량비	10.3	10.5	10.7	10.8	11.0

(c) 성형은 브리켓 mold를 사용하여 공시체 9개용으로 1. Batch내에 전조재료의 중량 1,800g정도를 넣고 KSL 5104규격에 맞는 공시체를 만든다.

(d) 양생은 mold를 유리판위에 얹은 채로 습기상자 내에 20~24시간 넣어 두었다가 24시간후에 mold를 빼고 수조속의 청수중에 담가 둔다.

B. 시험방법

(a) 수조에서 꺼낸 직후에 젖은 면포로 덮어 놓았다가 브리켓이 표면건조상태로 되게 수분을 닦고 각재별 별로 각각 3개씩 시험한다.

(b) 강도시험기의 Clip과 접촉하는 면을 청결히 하고 Pivots는 정확히 조정하여 Clip이 자유로 Pivots주위로 움직이게 한다.

브리켓 공시체를 Clip의 중심에 오도록 넣고 하중을 계속해서 270±10kg/min의 속도로 걸어서 파괴시킨다.

C. 시험결과

브리켓의 동부가 두개로 분리될 때의 하중을 동부의 단면적(6.45cm²)으로 나누어 인장강도를 산출한다.

<표 2.4.2-3>

7일 인장강도표(kg/cm²)

시 료	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	KS
1 9 6 7	27.0	28.0	28.0	27.0	27.0	29.0	—	—	—	—
1 9 6 9	21.3	24.7	22.7	22.5	21.0	23.3	23.4	—	25.1	> 20
차	-5.7	-3.3	-5.3	-1.5	-6.0	-5.7	—	—	—	—

<표 2-4.2-4>

28일 인장강도표(kg/cm²)

시 료	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	KS
1 9 6 7	33.0	34.0	34.0	35.0	34.0	35.0	—	—	—	—
1 9 6 9	29.5	29.5	27.8	29.8	27.3	28.4	29.5	29.4	29.7	>25
차	-3.5	-4.5	-6.2	-5.2	-6.7	-6.6	—	—	—	—

D. 결과검토

(a) Cement mortar의 인장강도는 취도계수에 요소가 되며 인장강도가 적은 Concrete 일수록 취도계수가 커지는데 이 계수가 큰 Concrete는 수축균열이 생겨서 파괴요소가 되기 쉽다.

(b) 7일강도에서 C₄> C₂> C₇> C₆> C₃> C₁> C₅로서 C₅는 C₄보다 약 20%가 적은 편이며 일반적으로 1967년보다 1969년이 약 5%가량씩이 저하되고 있다.

(c) 28일 강도에서는 C₇> C₂> C₄> C₆> C₁> C₃> C₅로서 C₅는 C₂보다 약 27%가 낮고 년도별로는 약 5%가량 저하되며 C₇(의제)과 C₁(국산)의 차는 약 18%의 저하율을 보인다.

2.4.3 취 강도시험

A. 공시체

(a) 강원도 주문진읍 모래를 KSL 5100(표준사)의 규정에 맞도록 정제하여 순도와 입도를 조정한것을 썼다.

(b) mortar은 Cement : 표준사의 중량비를 1:2로 하고 w/c를 맞추어 40mm×40mm×160mm의 공시체를 만든다. 1 Batch에서 9개의 공시체를 만들기 위하여 Cement 520g과 표준사 1,040g을 정확히 계량하여 넣고 2분간 혼합한 후 338g의 물을 넣어 다시 3분간을 섞어서 mold에 넣는다.

(c) mold의 1/2씩 넣고 20회씩을 균일하게 다지고, 나머지 부분을 채워 상부에 2cm정도 높이 덮어 쌓고 가볍게 눌러 마감한다.

(d) 마감한 mold를 밀판 위에 놓고 습기상자속에서 20~24시간을 경과한 뒤에 mold를 빼며 수조의 칭수중에서 양생한다.

B. 시험방법

각재령마다 3개씩의 시험체에 대하여 시험하는데 수

중에서 꺼집어낸 공시체를 곧 강도시험기에 넣고 지간의 거리를 10mm로 하고 매초 5kg의 평균속도로 공시체의 측면중앙에 하중을 가하여 파괴될때의 하중을 측정하여 휨강도를 산출한다.

C. 시험결과

휨강도(kg/cm²) = $\frac{3pl}{2bd^2}$

p: 공시체의 파괴하중(kg)

l: 공시체의 지간거리(cm)

b: 공시체의 단면의 폭(cm)

d: 교시체의 단면의 고(cm)

<표 2.4.3-1> 3일 휨강도표(kg/cm²)

시 료	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	KS
강 도	28.6	25.5	26.4	31.0	24.0	27.9	30.9	32.0	30.4	>15

<표 2.4.3-2> 7일 휨강도표(kg/cm²)

시 료	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	KS
강 도	42.7	38.7	39.8	46.1	37.9	41.6	46.3	49.0	45.7	>25

<표 2.4.3-3> 28일 휨강도표(kg/cm²)

시 료	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	KS
강 도	59.2	63.0	59.5	62.6	52.6	64.3	68.0	67.6	67.7	>40

D. 결과검토

(a) Cement mortar의 휨강도는 압축강도의 약 15% 정도가 되는데 인장강도에 대하여는 약 1.5~2배정도 되는 경우가 많다.

(b) 7일 휨강도에서 C₇> C₄> C₁> C₆> C₃> C₂> C₅인데 C₅는 C₄보다 약 20%가 적고 C₄보다도 C₇은 약 10%가 많다.

(c) 28일 휨강도에서는 C₇> C₆> C₂> C₄> C₃> C₁> C₅의 순으로 되어있는데 C₄와 C₅의 강도차는 약

18%이며 C₇(외제)과 C₁(국산)과의 강도차는 약 13%가 된다.

3. 결 론

3.1. 각 Cement의 특성

국산 및 외산 Cement에 대하여 본시험을 통한 결과를 종합하면 다음과 같이 각 사항별로 우량가의 단계로 분류할 수 있다.

<표 3.1-1> 각 Cement의 특성평가표

특 질	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉
화 학 성 분	○	×	△	×	×	△	-	○	-
화 합 물	△	×	△	×	×	-	-	-	-
비 중	×	△	△	△	×	○	○	-	○
분 말 도	×	×	○	○	○	×	△	-	-
주 도	△	×	×	△	△	○	-	○	-
응 결 시 간	○	△	×	△	○	△	△	-	-
안 정 도	○	△	△	△	×	○	○	-	-
7 일 압 강	○	○	△	△	×	×	○	○	
장 기 압 축	△	○	△	○	×	△	○	○	
인 장 강 도	○	○	×	○	×	△	○	○	○
휨 강 도	△	○	△	○	×	○	○	○	○
비 고	우수(○)		양호(△)		가(×)				

3.2.1 각 Cement의 연차적인 발전상황

국산 Cement에 관하여 1965년도에서 1969년도까지의 품질상의 개량정도의 차이를 비교해 본다.

<표 3.3-1> 국산 Cement의 성분상 변동표

년 도	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
65~66년	-	-	+	○	-	+
66~67	+	+	+	○	+	-
67~69	+	-	+	+	-	+
65~69	+	+	+	○	-	+

비고 개량(+) 저하(-)

<표 3.2-2> 국산 Cement의 물리적성질변동표

년 도	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
65~66년	-	-	-	○	-	-
66~67	+	-	+	○	+	+
67~69	+	-	+	+	-	-
65~69	-	+	+	○	+	-

비고 개량(+) 저하(-)

<표 3.2-2> 국산 Cement의 강도상변동표

년 도	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
65~66년	-	-	-	○	-	-
65~67	+	+	+	○	+	+
67~69	+	+	-	+	-	+

비고 개량(+) 저하(-)

3.3. 국산 Cement 외산 Cement의 비교

국산 Cement의 6종중에서 가장 생산량이 많은 것중 1종(C₁)을 선택하여 외산 Cement의 대표적인 것 1종(C₇)과를 비교하여 그 차이를 찾아 본다.

<표 3.2-1> 화학성분의 비교표

성 분	Ig. Loss	InS.R	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	C ₂ S	C ₃ S	C ₃ A
국 산	0.57	0.15	21.22	3.37	1.84	2.4	31	39	10
외 산	0.50	0.44	21.91	3.21	1.50	-	25	50	9
차	+0.07	-0.09	-0.74	+0.16	+0.34	-	+6	-11	+1

차는 외산에 대한 국산의 증감을

<표 3.2-2> 물리적성질의 비교표

성 질	비 중	분말도	주 도	초 결	종 결	안정도
국 산	3.08	2,830	26.0	2:10	3:00	0.09
외 산	3.16	3,040	25.5	2:25	4:10	0.02
차	-0.08	-210	+0.5	-0:15	-1:10	+0.07

<표 3.2-3> 강도상의 비교표

강도	압축강도			인장강도kg/cm ²			휨 강도		
재령	3일	7일	28일	3일	7일	28일	3일	7일	28일
국산	183	237	333	16.0	21.3	29.5	28.6	42.7	59.2
외산	205	272	450	20.8	23.4	29.5	30.9	46.3	68.0
차	-22	-35	-117	-4.8	-2.1	0	-2.3	-3.6	-8.8

(a) 이상 비교에서 성분상으로는 특히 국산 Cement는 외산보다 C₃S가 30%나 적고 C₃A가 10% C₂S가 20% 정도 많은 것이다.

이것은 국산 Cement가 초기강도보다도 장기강도의 저하원인이 될 수 있다.

(b) 물리적성질에서 국산 Cement의 비중 분말도 강도등이 모두 부족하며 응결시간은 빠르게 되어 있다.

(c) 강도상 비교를 보면 모두 10~15%정도 부족하며 특히 장기강도에서 저하율이 크다.

3.4. 결 어

(a) 국산 Cement의 품질개량은 년도별로는 약간씩

이나마 향상되고 있으나 그 정도가 미미하며 특히 C₂, C₅등은 별로 강도개량의 진전이 없는듯 하다.

(b) 외국산 Cement와 비교할 때 물리적성질 및 강도상에서는 저조한 상태를 보여주며 특히 강도면에서는 20%이상의 큰 차이로 뒤떨어져 있음을 보여 주고 있다.

(c) 국산 Cement의 생산공장별로 비교하면 강도면에서 최고 Cement와 최저 Cement의 차이는 또한 25%~30%나 되므로 국산 Cement의 품질상의 균일화를 촉진시켜야 할 것이며 전체면에서는 외산 Cement의 품질을 추종할 수 있도록 분발할 필요가 있다.

(d) 본시험을 진행함에 있어 이종근 박사 이희수 박사의 지도를 감사하며 특히 시험의 실무를 맡아준 장동일 노희일 양교수와 토목공학과 및 건축공학과 학생들의 노고를 치하 한다.

참고문헌

1. Davis Testing and in spection of engineering materials, Mc Graw-Hill, (1955)
2. La Londe; Concrete engineering handbook, McGraw-Hill (1955)
3. W.A. Cordin; Evaluation of Concrete and mortar mix J.ACI. V3I. No. 7. (1960)
4. S. A. Greenberg & L.M. Meyer; Rheology of fresh Portland Cement Pastes, Highway research record No.3, (1963)
5. W.G. Hime and R.A. Wills: A method for the determi

- nation of the Cement Content of Plastic Concrete, ASTM Bil. No. 209. (1953)
6. Hornbostel: Materials for architecture. Mc Graw-Hill. (1957)
7. R.J.Schulz; Setting time of Concrete Controlled by the use of admixturesm J.ACI. V.3 No.7 (1958)
8. C.A. Vollick: Effects of revibrating Concrete, J.ACI, V, 29, No. 9 (1958)
9. J.R. Shank: Plastic flow of Concrete at high Overload J. of ACI, Vol, 20, No.6 (1949)
10. L.Murdok: Concrete materials and Practice. London (1948)
11. D. Watstein: Effect of Straining rate on the Compressice Strength and elastic Properties of Concrete, J. of ACI. Vol, 24, No. 8 (1953)
12. C.C.Willey: Effect of temperature on the Strength of Concrete, Engineering News Recor Vol. 102 (1959)
13. S.G. Bergstrom: Curing temperature, Age and Stre ngth of Concrete, Betong, Bol. 38, No I.(1953)
14. J.P.Granel: Relative Strength of Portland Cement mortar in bending under various loading Conditions, J. ACI, 20,—1, (1948)
15. Timoshenko: Strength of materials. Part II, D. Van Nostrand Company. New York (1946)
16. G. Picket: Shrinkage Stresses in Concrete. Part 2, Proc ACI, 44, 149—175, (1946)
17. J.J. Shideler: Low Pressure Steam Curing. Proc. J.A CI, V.60, No. 8, p. 953—986 (1963)
18. 濱田稔: 재료시험법 이화학서원(소화30년)
19. 濱田稔: 건축재료학 마루켄(丸善)(소화37년)
20. 표준국: 한국공업규격(K.S) 규격협회 (1968)
21. 일본공업규격(JIS) 일본상공성(1968)

(필자, 한양대학교 공과대학 교수)

11월 1일은 제 4 회 잡지의 날

☆ 잡지는 어른의 기수, 생활의 길잡이.

☆ 잡지의 여론으로 밝은 사회 이룩하자.

☆ 잡지윤리 확립하여 민족문화 드높이자.

