

수입 시멘트의 품질에 관한 고찰

吳 炳 煥

〈서울대학교 공과대학 토목공학과 교수〉

1. 서 언

지난 수년간 건설공사의 확대와 콘크리트 소요물량의 급증으로 국내시멘트공급량이 모자람에 따라 외국산 시멘트가 수입되어 사용되기 시작하였다. 외국산은 주로 일본, 중국, 대만 등의 국가로서, 본 小考에서는 이들 각 시멘트가 어느 정도의 품질을 갖고 있는지, 국내 각 사용기관 및 시험소에서 이들 시멘트에 대하여 시험한 결과를 이용하여 분석하고자 한다.

2. 수입 시멘트의 품질 비교

2. 1 개요

시멘트의 품질을 비교 분석하기 위하여 시멘트의 기본 성질과 화학성분 그리고 시멘트 강도등 제반특성을 각 연구기관의 시험결과를 바탕으로 비교 고찰하였다.

2. 2 비중

시멘트의 비중은 시멘트 클링커의 구성성분의 비중에 의해 결정된다. 다음 〈표 1〉은 시멘트 클링커를 구성하는 광물의 비중을 나타낸다.

〈표 1〉 시멘트 클링커의 구성성분의 비중

조성광물	알루미늄산삼석회 (C ₃ A)	규산삼석회 (C ₃ S)	규산이석회 (C ₂ S)	알루미늄산철사석회 (C ₄ AF)
비중	3.00	3.13	3.28	3.77

〈표 2〉 중국산 시멘트의 비중

시멘트종류 평가기관	보통포틀랜드 시멘트	425R	525R
국립건설시험소	3.137 (10)	3.16 (1)	3.144 (8)

(주: 괄호 안의 수는 시험한 샘플의 수를 나타낸다)

〈표 2〉는 중국산 시멘트의 비중을 시멘트 종류별로 평균하여 정리한 것인데, 중국산 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트의 비중인 3.14~3.16의 범위에 속한다.

시멘트 성분중 석고(비중 2.32)의 양이 많거나 혼합시멘트에서 혼합재의 양이 많아지면 비중이 작아진다. 또한 시멘트는 저장중에 공

기중의 습기 및 CO₂를 흡수하면, 수립생성물과 반응하여 비중이 감소되고, 강열감량을 증가시키고, 강도의 발현성을 저하시킨다.

〈표 3〉은 시멘트의 저장기간에 따른 비중의 감소를 보여 준다.

〈표 3〉 시멘트의 저장기간과 비중

저장기간	0	1개월	2개월	3개월
비중	3.14	3.14	3.11	3.09

2. 3 분말도

분말도는 시멘트 콘크리트의 성질을 좌우하는 중요한 물리적 인자로서 모르타르, 콘크리트

트의 제 성질을 예측할 수 있다.

시멘트 분말도를 측정하는 시험방법으로 블레인 공기투과장치에 의한 비표면적 시험(KS L 5106)과 표준체 No.325(44 μ)에 의한 방법(KS L 5112)이 있다. 일반적으로 분말도는 비표면적으로 나타내며, 비표면적(cm²/g)은 1g의 시멘트가 가지고 있는 총 표면적을 의미한다. 한국공업규격에 규정된 보통 포틀랜드 시멘트의 분말도는 비표면적 2,800cm²/g 이상을 기준으로 하고, 국내산 시멘트의 경우 비표면적 3,200cm²/g 이상의 수치를 보인다. 〈표 2〉는 수입 시멘트를 분말도를 나타내는 데, KS 규격에는 부합되나, 국내산 시멘트보다 낮은 분말도를 보인 시멘트가 약 50% 정도이다.

〈표 4〉 각 국의 시멘트 분말도(cm²/g)

국가	평가기관	국립공업 시험원	국립건설 시험소	쌍용 시멘트	동양 시멘트	아세아 시멘트	한일 시멘트	평균
중 국	1종 보통		3,015(10)		3,260			3,037
	425					3,523		3,523
	425R	3,510	2,890					3,200
	525	3,550		3,280		3,373	3,058(5)	3,174
	525R	3,190	2,995(8)			3,032		3,018
북 한					3,270		3,480(2)	3,410
대 만					3,207			3,207
멕시코					3,708			3,708
불가리아						2,921		2,921
루마니아						3,068		3,068
일본				3,090	3,448			3,269
한국		3,289 이상			3,200	3,200		3,289이상

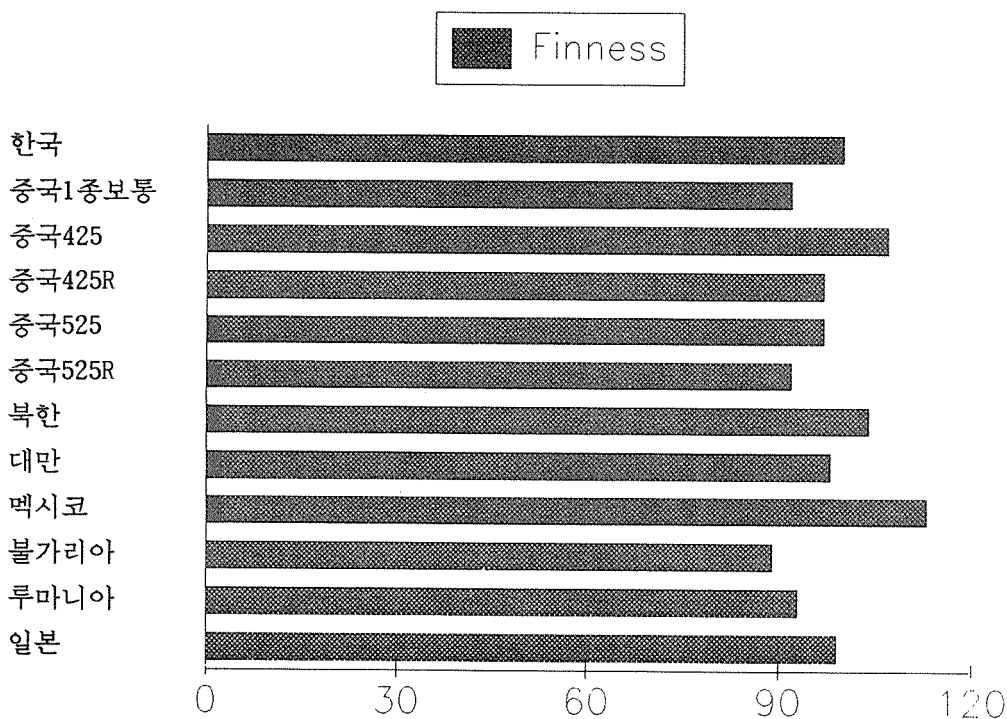
(주 : 괄호안의 수는 시험 샘플 수를 나타낸다.)

〈그림 1〉은 국산 시멘트의 분말도를 100으로 하였을때의 각 국의 시멘트의 분말도의 비를 나타낸 그림이다.

2. 4 안정도

시멘트의 안정성은 시멘트가 수화반응을 일으키며 경화하면서 용적이 팽창 또는 수축하

는 것을 말한다. 시멘트 클링커의 구성성분중 유리산화 칼슘, 산화 마그네슘(MgO), 삼산화황(SO₃) 등의 함량이 한도를 넘으면 시멘트가 불안정하게 되고, 이러한 시멘트를 사용한 콘크리트는 팽창으로 인하여 균열이 발생하거나, 뒤틀림을 일으켜 구조물의 내구성을 저하시키는 원인이 된다.

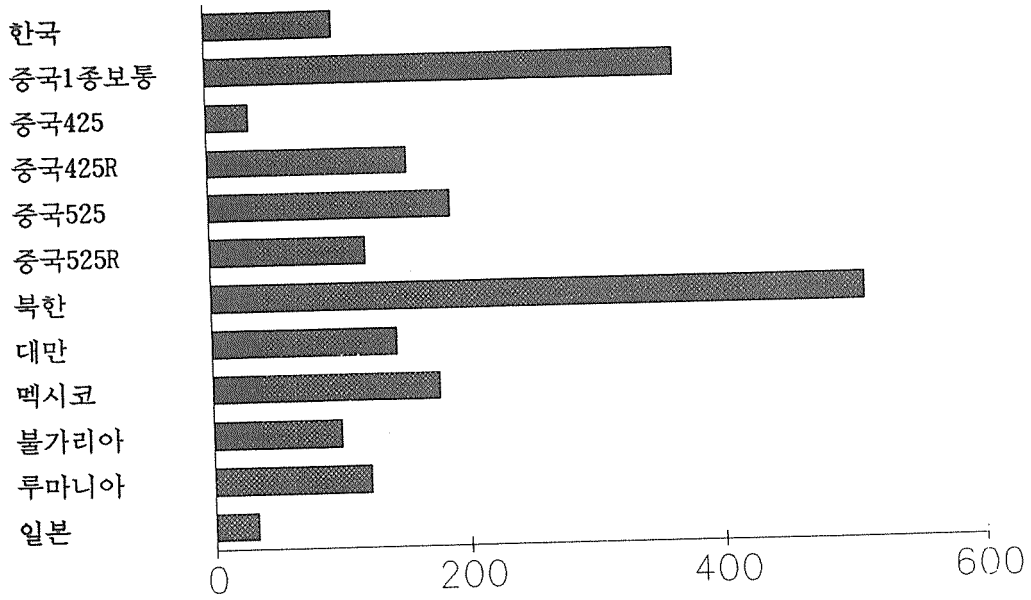


〈그림 1〉 국산 및 수입 시멘트의 분말도의 비교

〈표 5〉 각 국의 시멘트 안정도(오토클레이브 팽창도 : %)

국가	평가기관	국립공업 시험원	국립건설 시험소	쌍용 시멘트	동양 시멘트	아세아 시멘트	한일 시멘트	평균
중국	1종 보통		0.12(10)					
	425					0.03		0.03
	425R	0.13	0.14					0.14
	525	0.19		0.14		0.35	0.11(3)	0.17
	525R	0.06	0.08(7)			0.37		0.11
북한					0.46			0.46
대만					0.13			0.13
멕시코					0.16			0.16
불가리아						0.09		0.09
루마니아						0.11		0.11
일본				0.03	0.03			0.03
한국	국내 평균	0.09			0.17	0.10		0.09

Autoclave expansion



〈그림 2〉 국산 및 수입 시멘트의 안정도의 비교

시멘트의 안정도는 오토클레이브 팽창도 시험방법(KS L 5107)에 의해 시험체의 길이 변화를 측정하여 그 정도를 나타낸다. 한국공업규격은 보통 포틀랜드 시멘트의 안정도를 오토클레이브 팽창도 0.80% 이하로 규정하고 있다.

〈표 5〉는 국산과 수입시멘트의 안정도를 비교한 것으로, KS규격은 충족시키나 중국산 제1종 보통시멘트와 북한산 시멘트는 다소 불안정한 값을 보였다. 〈그림 2〉는 국산 시멘트의 안정도를 100으로 하였을 때의 수입시멘트의 안정도의 비를 나타낸 그림이다.

2. 5 강열감량

강열감량은 시멘트를 800-1000℃로 가열했을 때 휘발하는 성분의 합계를 나타낸다. 그 양은 3.0% 이하로 규정하고 시멘트의 휘발 성분은 물과 탄산분이다.

〈표 6〉 국산 및 중국산 시멘트의 강열감량

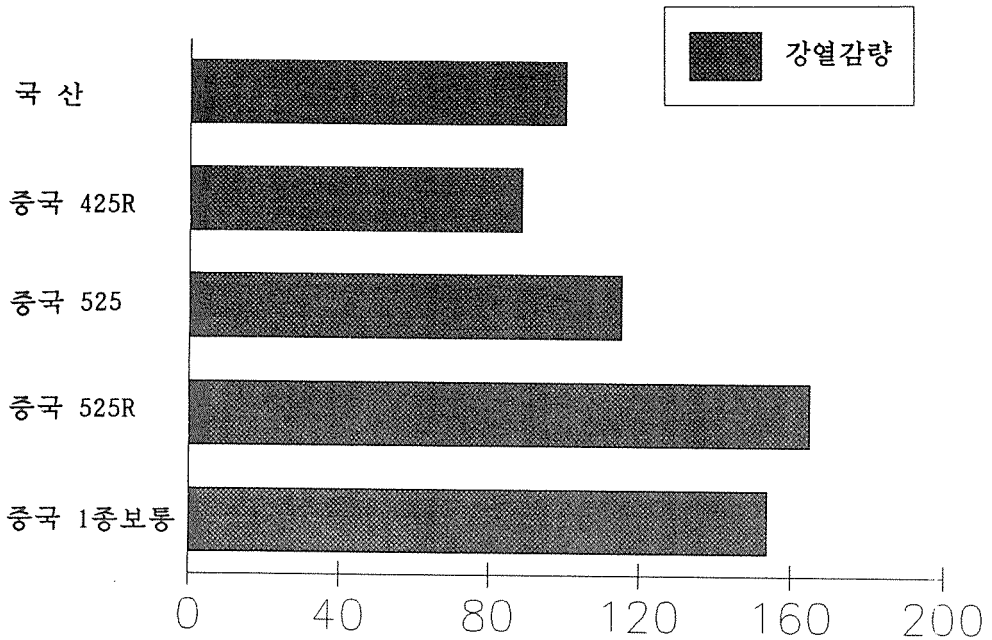
평가시험기관	원산지	중국				
	종류	1종보통	425R	525	525R	1종보통
국립공업시험원		1.30	1.60	1.50	2.90	
국립건설시험소			0.7		2.05	2.00
산술 평균		1.30	1.15	1.50	2.48	2.00

전자의 대부분은 시멘트의 응결조절용으로 가해지는 석고의 결정수(석고 중에 6-21% 포함)에 의한 것이지만 일부는 시멘트의 풍화에 의하여 가두어진 물이다. 시멘트는 물과의 친화력이 강하기 때문에 공기중의 습기를 흡수하여 수화되며 수산화칼슘 Ca(OH)₂를 생성한다. 또한 이 수산화칼슘은 공기중의 탄산가스 CO₂와 반응하여 탄산칼슘이 된다. 독일의 규정에서는 강열감량을 물과 탄산분으로

나누어 그 양에 따라 풍화의 정도를 결정한다.

〈표 6〉은 국산 및 중국산 시멘트의 강열감량을 비교하여 수록한 표이며, 〈그림 3〉은 국산 시멘트의 강열감량을 100으로 하였을 때

의 중국산 시멘트의 강열감량의 비를 나타낸 그림이다. 국내 KS규준은 산화마그네슘의 함량을 3%이하로 규정하고 있다. 이때, 중국산 시멘트는 425R을 제외하고는 국산제품에 비하여, 강열감량이 높은 경향을 나타내고 있다.



〈그림 3〉 국산 및 중국산 시멘트의 강열감량 비교

2. 6 산화마그네슘과 아황산가스

시멘트의 구성성분중 산화마그네슘과 아황산가스는 1-2% 정도 존재하는데 이들은 시멘트의 경화과정에서 팽창되어 콘크리트의 균열 및 뒤틀림으로 인한 내구성의 저하를 유발할 수 있다. 따라서 KS규격에서는 산화마그네슘의 경우 5% 아황산가스의 경우 3%이하로 규제하고 있다.

2. 6. 1 산화마그네슘

산화마그네슘은 산화칼슘(석회)과는 화학적으로 가까운 관계에 있으면서도 석회와 같

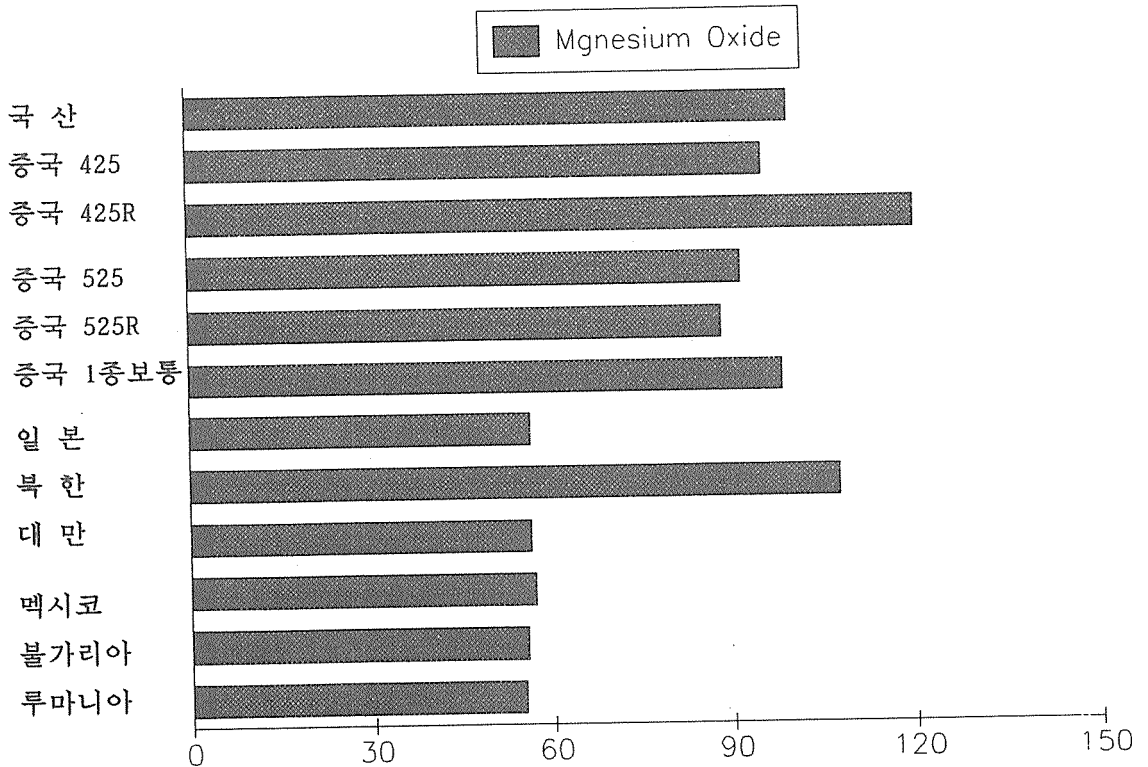
이 수경성 화합물을 형성하지 않고 시멘트 속에 일부 존재한다. 산화마그네슘은 물과 천천히 消化반응을 일으키고 용적이 큰 수산화마그네슘이 되어 그 용적증대가 경화된 콘크리트 구조물을 팽창과괴하는 수도 있다. 따라서 그 양을 규제하는데 국내 KS규준은 안정적인계로서 산화마그네슘의 함량을 5%이하로 규정하고 있다.

〈표 7〉은 국산 및 외국산 시멘트의 산화마그네슘의 함량을 수록한 표이며, 〈그림 4〉는 국산 시멘트의 산화마그네슘의 함량을 100으로 하였을 때의 외국산 시멘트의 산화마그네슘의 함량비를 나타낸 그림이다.

〈표 7〉 국산 및 외국산 시멘트의 산화마그네슘의 함량

단위(%)

원산지	평가기관 종류	국립공업	국립건설	쌍용	동양	한일	아세아	산술 평균
		시험원	시험소	시멘트	시멘트	시멘트	시멘트	
국산	1종 보통	2.7			2.51		3.0	2.7
중국	425						2.58	2.58
	425R	3.6	2.9					3.25
	525	2.7		2.4			2.33	2.48
	525R	1.5	2.47(7)				2.71	2.39
	1종보통		2.51(10)		4.17			2.66
일본	1종 보통			1.3	1.74			1.52
북한	1종 보통				2.82	2.99		2.91
대만	1종 보통				1.52			1.52
멕시코					1.54			1.54
불가리아	350						1.50	1.50
루마니아	1종 보통						1.49	1.49

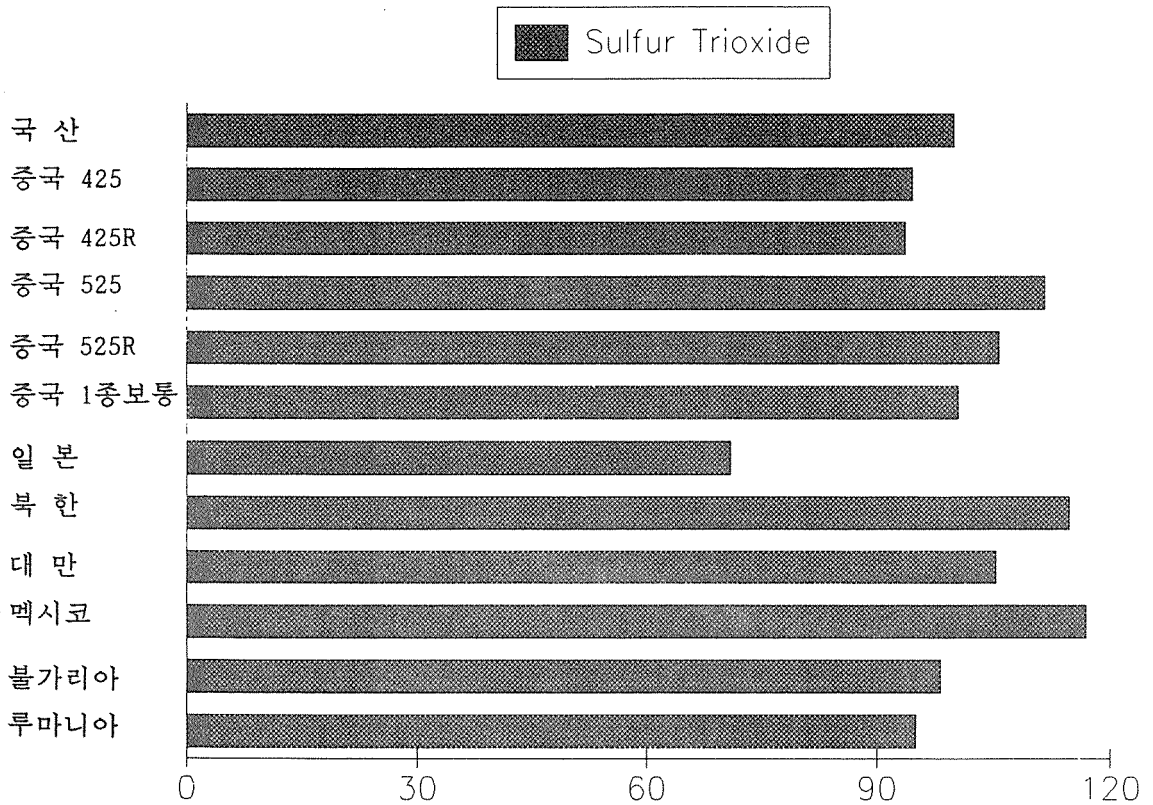


〈그림 4〉 국산 및 외국산 시멘트의 산화마그네슘의 함량의 비교

〈표 8〉 국산 및 외국산 시멘트의 아황산가스 함유량

단위(%)

원산지	평가기관	국립공업 시험원	국립건설 시험소	쌍용 시멘트	동양 시멘트	한일 시멘트	아세아 시멘트	산술 평균
	종류							
국산	1종 보통	2.3			2.13		2.3	2.24
중국	425						2.12	2.12
	425R	1.7	2.5					2.10
	525	2.7		2.2			2.59	2.50
	525R	2.4	2.33(7)				2.39	2.37
	1종보통		2.32(10)		1.57			2.25
일본	1종 보통			1.4	1.77			1.59
북한	1종 보통				2.34	2.79		2.57
대만	1종 보통				2.36			2.36
멕시코					3.04			2.62
불가리아	350						2.20	2.20
루마니아	1종 보통						2.13	2.13



〈그림 5〉 국산 및 외국산 시멘트의 아황산 가스 함유량의 비교

〈표 7〉에서와 같이 외국산 시멘트는 모두 KS규준을 충족시키고 있고, 〈그림 4〉에서 알 수 있듯이 중국산의 425R와 북한산 시멘트를 제외하고는 모두 오히려 국산제품에 비하여 산화마그네슘의 함유량이 적은 것으로 나타났다.

2. 6. 2 아황산가스

〈표 8〉은 국산 및 외국산 시멘트의 아황산가스 함유량을 수록한 표이며, 〈그림 5〉는 국산 시멘트의 아황산가스 함유량 100으로 하였을 때의 외국산 시멘트의 아황산가스 함유량의 비를 나타낸 그림이다.

국내 KS규준은 산화마그네슘의 함량을 3% 이하로 규정하고 있으며, 외국산 시멘트는 모두 KS규준을 충족시키고 있다.

2. 7 응결시간

시멘트의 응결은 시멘트와 물과의 화학반응인 수화작용의 한 현상이다. 시멘트의 응결은 여러 원인에 의해 변화하는데 분말도가 높을

수록, 물-시멘트비가 적을수록, 또 온도가 높을수록 빠르고 풍화된 시멘트일수록 느리다. 또 시멘트 클링커를 미분쇄할때 첨가되는 석고의 양이나 혼화제의 혼입에도 큰 영향을 받는다.

시멘트 응결시간 시험방법에는 비카(Vicat)장치에 의한 방법(KS L 5102, KS L 5108)과 길모아 침(Gillmore needle)에 의한 방법(KS L 5103)이 있고, 보통 포틀랜드 시멘트의 응결규격은 〈표 9〉와 같다.

〈표 9〉 보통 포틀랜드 시멘트의 응결시간

비카 시험	길모아 시험	
	초결(분)	종결(시간)
A급 45이상, B급 60이상	60이상	10이하

〈표 10〉은 국산 및 외국산 시멘트의 응결시간을 수록한 표이다. 국내 KS규준은 초결 응결시간을 60분이상, 종결응결시간을 10시간 이하로 규정하고 있으며, 외국산 시멘트는 모두 KS규준을 충족시키고 있다.

〈표 10〉 국산 및 외국산 시멘트의 응결시간

(단위 : 시간 : 분)

원산지	평가기관 종류	국립공업	국립건설	쌍용 시멘트	동양 시멘트	아세아 시멘트	천마 콘크리트	산술 평균
		시험원	시험소					
국산	1종 보통	3 : 50 6 : 45			3 : 25 5 : 30	4 : 10 6 : 00		3 : 48 6 : 05
						6 : 00 8 : 20		6 : 00 8 : 20
중국	425						4 : 22(9) 8 : 34(9)	4 : 23 8 : 14
	425R	3 : 45 6 : 15	5 : 05 7 : 15					4 : 48 7 : 20
	525	2 : 45 4 : 15	6 : 50 10 : 35			4 : 50 7 : 10		4 : 48 7 : 20
	525R	3 : 30 5 : 00	4 : 46(7) 7 : 21(7)			5 : 20 7 : 25	4 : 28(18) 7 : 29(18)	5 : 16 7 : 21
	1종 보통		4 : 45(10) 7 : 19(10)		8 : 12			4 : 45 7 : 24
일본	1종 보통			0 : 30 7 : 30	5 : 49			0 : 30 6 : 40
북한	1종 보통				5 : 54			5 : 54
대만	1종 보통				6 : 11			6 : 11
멕시코	1종 보통				5 : 40			5 : 40
불가리아	350					288		3 : 00 5 : 05
루마니아	1종 보통					3 : 00 5 : 05		3 : 00 5 : 00
소련							3 : 04 4 : 23	3 : 04 4 : 23

시멘트 응결·경화는 화학반응의 일종으로 온도가 높을수록 빠른 속도로 경화한다. <표 11>은 보통 포틀랜드 시멘트의 온도와 응결시간과의 관계를 표시한 것이다.

〈표 11〉 보통 포틀랜드 시멘트의 온도와 응결시간과의 관계

시멘트	시험 온도 (℃)	습도 (%)	수량 (%)	초결 시간 (hr-mim)	종결 시간 (hr-mim)
보통 포틀랜드 시멘트	5	91	25.0	8-10	10-25
	10	91	25.2	5-03	7-28
	15	84	25.3	2-13	3-38
	20	94	25.6	1-41	2-48
	25	86	25.6	1-35	2-30
	30	86	25.7	1-11	2-06

2. 8 시멘트강도

시멘트강도는 시멘트의 품질을 평가하는데 있어 가장 중요한 요소라 할 수 있는데 골재

의 조건이 동일할 경우 콘크리트 강도 발현을 지배한다. 시멘트강도에 관한 한국공업규격 (KS L 5105)의 규정은 다음 <표 12>와 같다.

〈표 12〉 시멘트의 압축강도에 관한 KS규격

시멘트	재령		
	3일	7일	28일
보통포틀랜드시멘트	130이상	200이상	290이상

2. 8. 1 3일 강도

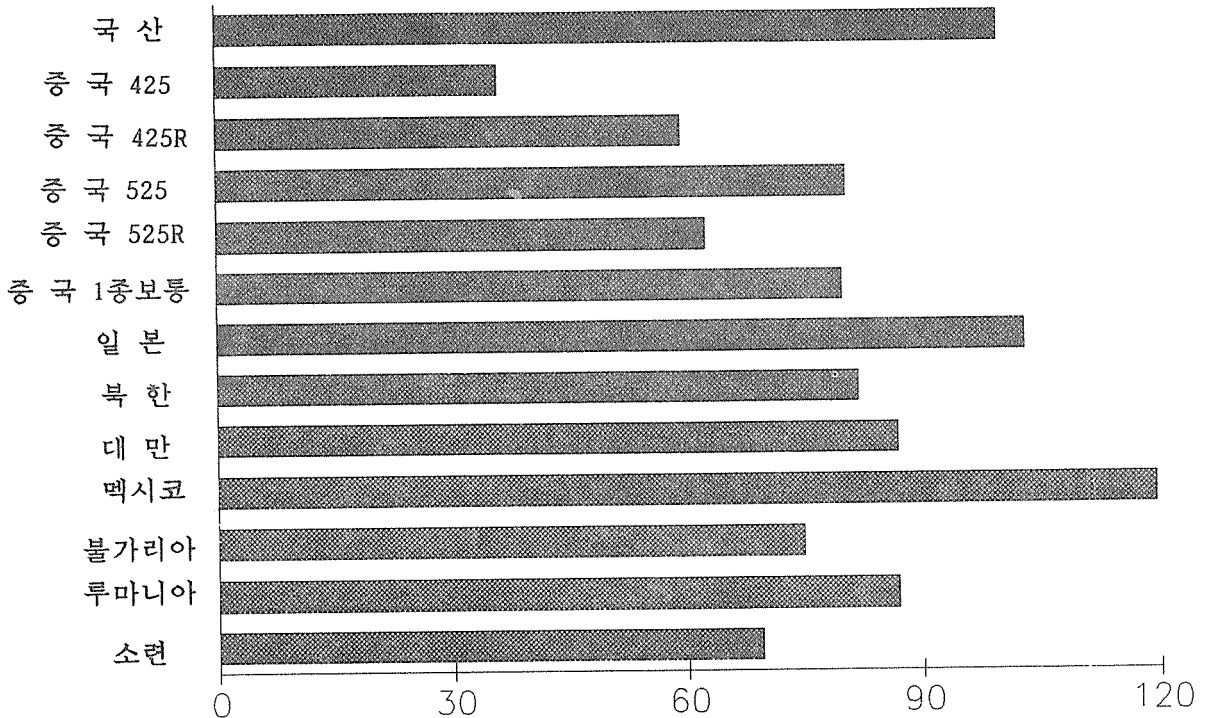
<표 13>은 국산 및 외국산 시멘트의 3일 강도를 수록한 표이며, <그림 6>은 국산 시멘트가 3일 강도를 100으로 하였을 때의 외국산 시멘트의 3일 강도의 비를 나타낸 그림이다. 국내 KS규준은 3일 강도를 130이상으로 규정하고 있으며, 중국산의 425, 425R와 525R을 제외하고는 모두 KS 규준을 충족시키고 있다.

〈표 13〉 국산 및 외국산 시멘트의 3일 강도

단위(kg/cm²)

원산지	평가기관 종류	국립공업 시험원	국립건설 시험소	쌍용 시멘트	동양 시멘트	한일 시멘트	아세아 시멘트	천마 콘크리트	동아 건설산업	산술 평균
국산	1종 보통	202			209		190			200
중국	425						72			72
	425R	150	187					111(9)		119
	525	151	176				157			161
	525R	257	136(8)				142	110(18)	170	125
	1종보통		158(10)		178					160
일본	1종 보통			185	223				210	206
북한	1종 보통				179	179(2)		119		164
대만	1종 보통				174					174
멕시코	1종 보통				239					239
불가리아	350						150			150
루마니아	1종 보통						174			174
소련								139		139

3-DAY STRENGTH



〈그림 6〉 국산 및 외국산 시멘트의 3일 강도의 비교

또한, 그림에서 보듯이 대부분의 외국산 시멘트는 국산제품에 비하여 품질이 떨어지는 경향을 나타내었다.

2. 8. 2 7일 강도

〈표 14〉는 국산 및 외국산 시멘트의 7일 강도를 수록한 표이며, 〈그림 7〉은 국산 시멘트의 7일 강도를 100으로 하였을 때의 외국산 시멘트의 7일 강도의 비를 나타낸 그림이다.

국내 KS규준은 3일 강도를 200이상으로 규정하고 있으며, 중국산의 425, 425R, 525R과 소련산 시멘트를 제외하고는 모두 KS규준을 충족시키고 있다.

또한, 그림에서 보듯이 대부분의 외국산 시멘트는 국산제품에 비하여 품질이 떨어지는 경향을 나타내었다.

2. 8. 3 28일 강도

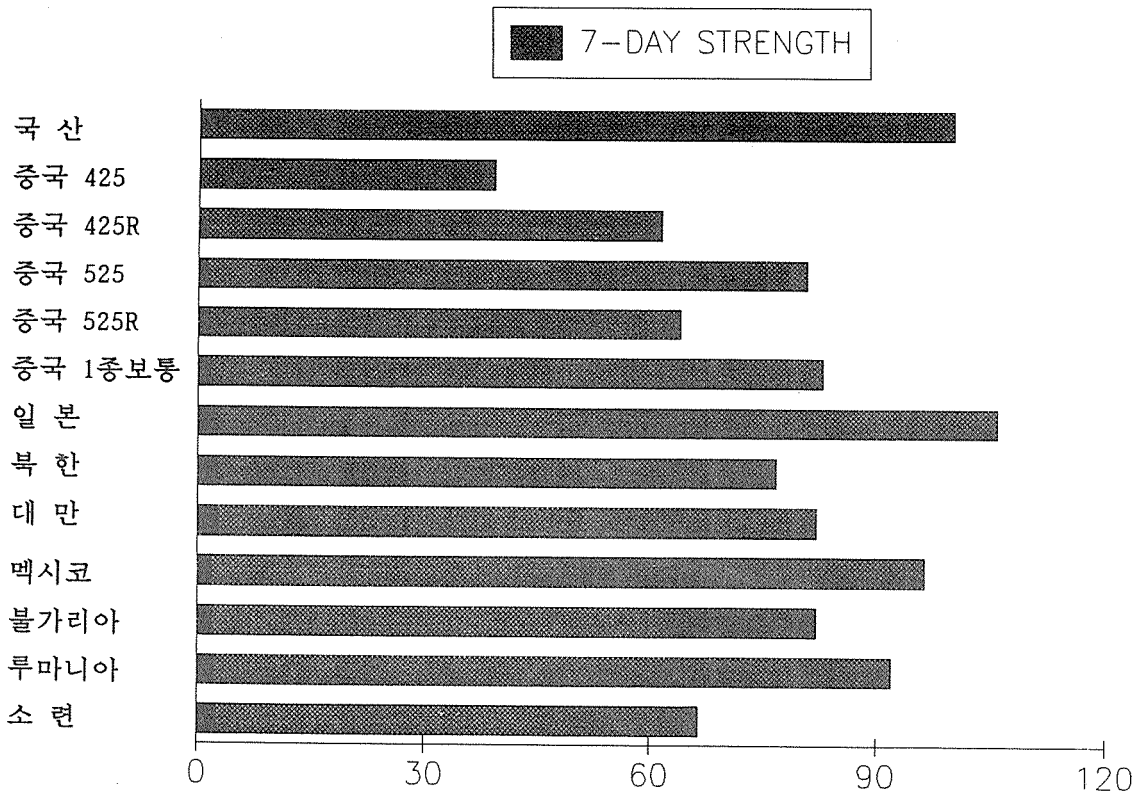
〈표 15〉는 국산 및 외국산 시멘트의 28일 강도를 수록한 표이며, 〈그림 8〉은 국산 시멘트의 28일 강도를 100으로 하였을 때의 외국산 시멘트의 28일 강도의 비를 나타낸 그림이다.

국내 KS규준은 28일 강도를 290이상으로 규정하고 있으며, 중국산의 425, 425R, 525R과 불가리아산 시멘트를 제외하고는 모두 KS규준을 충족시키고 있다.

〈표 14〉 국산 및 외국산 시멘트의 7일 강도

단위(kg/cm²)

원산지	평가기관 종류	국립공업 시험원	국립건설 시험소	쌍용 시멘트	동양 시멘트	한일 시멘트	아세아 시멘트	천마 콘크리트	동아 건설산업	산술 평균
국산	1종 보통	271			275		280			275
중국	425						108			108
	425R	280	239					161(9)		169
	525	205		250			210			222
	525R	335	190(8)				206	156(18)	230	176
	1종보통		226(10)		252					228
일본	1종 보통			257	316				300	291
북한	1종 보통				235	225(2)		158		211
대만	1종 보통				226					226
멕시코	1종 보통				265					265
불가리아	350						226			226
루마니아	1종 보통						253			253
소련								186		186



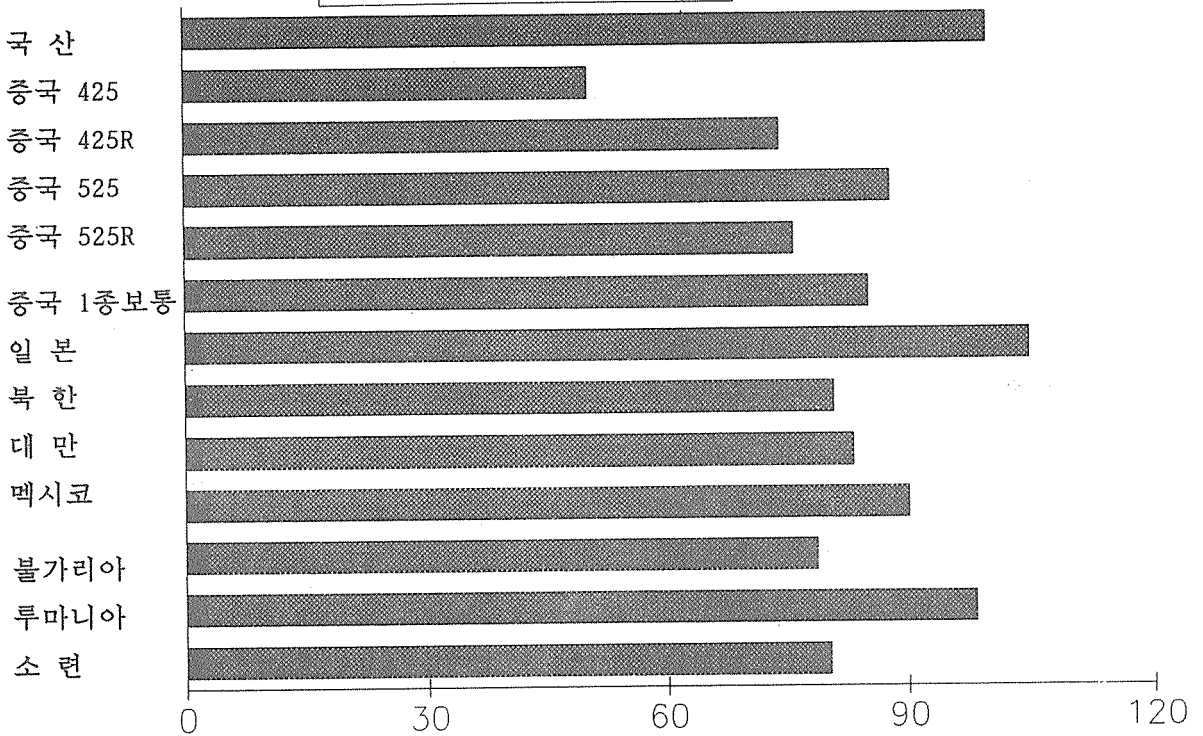
〈그림 7〉 국산 및 외국산 시멘트의 7일 강도의 비교

〈표 15〉 국산 및 외국산 시멘트의 28일 강도

단위(kg/cm²)

원산지	평가기관	국립공업	국립건설	쌍용	동양	한일	아세아	천마	동아	산술 평균
	종류	시험원	시험소	시멘트	시멘트	시멘트	시멘트	콘크리트	건설산업	
국산	1종 보통	368			380		350			366
중국	425						184			184
	425R	292	317					265(9)		272
	525	301		349			316			322
	525R	376	276(8)				297	271(18)	290	278
	1종보통		311(10)		319					312
일본	1종 보통			369	432				350	384
북한	1종 보통				320	305		262		296
대만	1종 보통				305					305
멕시코	1종 보통				330					330
불가리아	350						288			288
루마니아	1종 보통						360			360
소련								294		294

■ 28-DAY STRENGTH



〈그림 8〉 국산 및 외국산 시멘트의 28일 강도의 비교

또한, 그림에서 보듯이 대부분의 외국산 시멘트는 국산제품에 비하여 품질이 떨어지는 경향을 나타내었다.

이들 각 기관의 시험 결과를 토대로 중국산의 425, 525와 525R은 3일강도, 7일강도, 28일강도 모두 KS규준이하의 제품으로 나타나고 있다.

3. 맺는말

本 小考에서는 최근에 우리나라 각 사용 및

연구기관에서 외국에서 수입된 시멘트에 대하여 시험하여 평가한 시험결과를 중심으로 품질의 정도를 비교 고찰하였다.

비교결과 외국산의 품질이 국내 KS 공업규격에 대부분 만족되고 있으나 시멘트강도등 일부항목이 국내 산 시멘트에 비해서 떨어지고 있는 경향을 나타내었다.

분석결과 각국의 시멘트가 나라마다 많은 차이를 나타내고 있었으며 사용시 이에 대한 결과를 검토한 후 주의 깊게 고려하여야 할 것으로 사료된다.

技術賞 制度實施

當 協會에서는 레미콘에 관한 研究와 技術水準을 向上, 鼓吹함으로서 韓國레미콘 工業發展에 寄與하기 위하여 本施賞制度를 마련하였습니다.

會員社 여러분들의 적극적 참여있기를 바랍니다.

1. 施賞部門：當該年度 레미콘誌에 발표된 論文中에서 選定

가. 論文部門

나. 技術情報部門

2. 受賞資格：當 協會 會員社 任職員

3. 受賞人員：2名 以內(各 部門 1名)

4. 施 賞 日：1993年 12月

5. 施賞內容：賞狀 및 副賞

6. 番 查：當 協會 技術分科委員會

7. 其 他：상세한 내용은 當 協會 기획과로 문의하시기 바람.

TEL：(02)566-7162, FAX：(02)554-7420