

콘크리트 技術者가 바라는 시멘트

文 翰 英

〈漢陽大學校 工大教授〉

1. 序 言

無機質膠着材料인 水硬性시멘트로 製造되는 콘크리트는 人工構造材로서 鐵鋼材와 더불어 土木, 建築用 材料로서 으뜸가는 位置에 놓여 있을 뿐만 아니라 建設材料中에서 빼놓고 생각할 수 없는 基本資材이기도 하다.

近年에 와서 콘크리트는 建設關係 構造物을 위시하여 特殊用途에 이르기까지 널리 응용됨으로써 콘크리트가 現代文明에 차지하는 비중도 커졌다고 볼 수 있겠다. 특히 콘크리트가 建設材料로서 脚光을 받게 된 이유 중에는 콘크리트의 主素材가 되는 시멘트의 原料가 地殼의 어디서나 經濟的이고 容易하게 구할 수 있으며, 거의 無限에 가깝도록 埋藏되어 있다는 점을 들 수 있겠다.

몇년전 미국 콘크리트학회 Kesler 전회장에 의하면 1972 년도에 벌써 지구상의 1년 간 콘크리트 사용량이 40 억톤 정도나 되며 연간 전세계 인구 1인당 사용 콘크리트량은 1,000 kg 이나 된다고 발표한 적이 있다.⁽¹⁾

이러한 龐大한 실적을 가진 콘크리트도 돌이켜보면 1824년 포틀랜드시멘트가 特許를 획득한 이후 약 150여년의 역사속에서 오늘날과 같이 크게 성장해 왔다고 하겠다.

周知하는 바와같이 우리나라의 시멘트산업은 60여년의 짧은 연륜에도 불구하고 시멘트 연간 생산능력 2,000만톤 규모로 성장한 경이적인 발전을 이룩했다. 필자는 시멘트 산업에 대해서는 門外漢이나 다를바 없지만 다만 시멘트를 사용하는 입장에 있는 콘크리트 기술자의 한사람으로서 몇몇 자료들을 인용하여 평소에 국산시멘트에 대하여 느낀 바를 몇가지로 간추려 기술하는 바이다.

2. 우리나라 시멘트工業의 現況과 問題

2-1 우리나라 시멘트의 生産量과 消費量

우리나라 시멘트공업의 발자취를 살펴보면, 1919년에 연간 생산량 30만톤의 乾式工場을 평양 근교의 江東郡에 건설한 것이 최초라 한다.⁽²⁾ 해방당시인 1945년 6개 공장의 총생산능력은 약 170만톤 정도였으며, 남한에는 江原道 三陟郡에 三陟工場이 1937

2 시멘트 심포지움

년에 착공되어 1942년에 完工되었으며 이때 85,850톤이 생산되었다고 하나, 1945년 해방되던 해는 생산량이 9,063톤으로 하락세를 나타내었다.⁽³⁾ 그 이후 1962년 第1次 經濟開發 5個年 計劃에 따라 시멘트業界는 이 기간중 눈부신 발전을 이룩하였으며 쌍용, 한일, 현대, 충북(현 아세아), 성신공장이 건설되어 총생산 약 78만톤 규모가 되었다. 이러한 발전으로 1973년에는 보통포틀랜드시멘트공장 9개, 백색시멘트제조공장 1개로 10개의 공장에서 연간 생산능력 850만톤 규모로 성장되었으며, 1979년도에는 9개 회사에 보통포틀랜드시멘트 약 1,800만톤, 백색시멘트 42,000톤 규모로 비약적인 성장을 해왔다(〈표-1〉 참조).^(4,5)

〈표-1〉 우리나라 포틀랜드 시멘트의 생산실적

년 도	생산량(톤)		년 도	생산량(톤)	
	포틀랜드 시멘트	백색 시멘트		포틀랜드 시멘트	백색 시멘트
1945	9,063	—	1970	5,821,604	19,203
1950	11,512	—	1972	6,486,293	14,639
1955	56,257	—	1975	10,129,264	29,585
1960	464,265	—	1977	14,418,187	39,409
1965	1,614,141	8,063	1979	약 1,800 만	약 42,000

그러면 우리나라의 시멘트 생산량과 소비량이 다른 나라와 비교해서 어떤 위치에 있는가를 알아보기 위해 1978년도 유럽 시멘트협회의 통계자료로서 세계 각국의 시멘트 연간 생산량의 순위로 정리한 것이 〈표-2〉이다.⁽⁶⁾

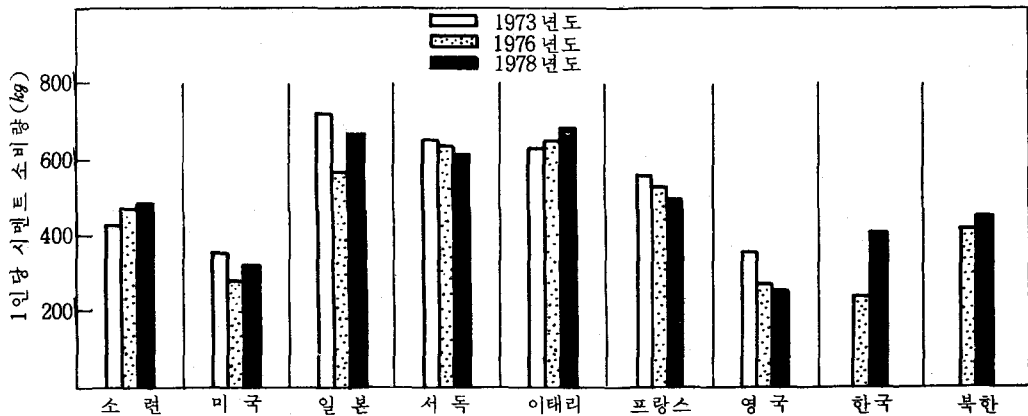
이 〈표-2〉에 의하면 우리나라의 시멘트 생산량은 1,540만톤으로 세계 제 15위 정도이며, 연간 1인당 소비량은 403kg으로 세계 제 23위 정도에 해당되어, 세계 각국의 소비량 평균 206kg보다는 훨씬 많은 소비량이 된다. 그런데 1977~1978년 1년간 시멘트 소비량의 증가비율은 130%로서 세계 제 1위를 나타내었다. 한편 북한의 시멘트 생산량과 소비량을 알아보기 위해 참고로 소개해 보면 생산량에서는 약 400만톤 정도 우리나라에 뒤지고 있으나, 연간 1인당 소비량은 우리나라보다 얼마간 앞서는 것으로 나타나고 있다.

선진 몇개국의 3년간 1인당 시멘트 소비량을 비교해 보았다.^(6,7) 〈그림-1〉에서 알 수 있듯이 미국, 영국과 같은 선진국이 연간 국민 1인당 소비량이 비교적 작은 값을 나타내고 있음을 알 수 있으나, 대체로 선진국일수록 시멘트의 소비량이 크게 나타남을 알 수 있다. 이번에는 1973년도 우리나라 시멘트의 消費構造를 部門別로 分類하여 정리한 것이 〈그림-2〉이다.⁽⁸⁾ 1973년도 우리나라의 시멘트 소비량이 700만톤 정도로서 10년전인 1963년도 100만톤 정도와 비교해 보면 약 7배로 증가한 값이 된다.

〈표-2〉 세계 각국의 시멘트 생산량 및 소비량 비교 (1978년)

국명	생산량		수입량 (1,000톤)	수출량 (1,000톤)	소비량 (1,000톤)	1인당 소비량	
	(1,000톤)	전년도비 (%)				(kg)	전년도비 (%)
소련	129,280	101.8	592	3,548	126,324	483	100.6
일본	84,353	112.2	-	8,342	79,187	689	113.3
미국	72,471	106.6	5,960	90	74,326	341	106.9
중국	68,000	121.4	(200)	(1,600)	66,600	71	120.3
이태리	38,493	100.1	68	1,585	37,200	656	98.1
서독	32,993	103.5	1,465	2,644	31,882	520	103.1
스페인	32,064	109.0	97	9,762	22,028	599	100.3
프랑스	31,175	102.5	314	3,786	26,947	506	96.4
브라질	23,203	109.8	190	127	23,343	202	106.9
중근동제국	23,000	119.8	17,800	1,500	38,900	454	111.8
폴란드	21,678	101.8	(300)	2,000	(21,178)	604	100.7
인도	19,561	102.5	1,316	66	20,247	32	110.3
영국	16,564	103.2	107	1,879	14,900	267	103.1
아프리카제국	16,536	111.3	(13,350)	(1,000)	(25,860)	-	-
한국	15,467	107.3	286	1,845	14,762	403	132.1
북한	(8,500)	103.7	-	(700)	(7,800)	(457)	100.2
세계각국의 합계	859,000	107.3	61,700	65,500	848,400	206	109.6

주. ()내는 추정 * 수입량, 수출량은 크링커 포함
The European Cement Association 발행의 World Statistical Review No. 36에서



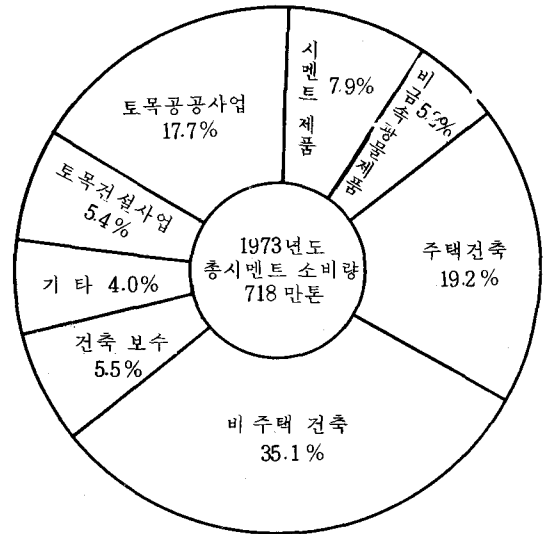
〈그림-1〉 세계 각국의 연간 국민 1인당 시멘트 소비량

4 시멘트 심포지움

시멘트의 소비부문별로 살펴보면 주택건축과 비주택건축이 전체의 약 54%로 절반 이상의 비중을 차지하고, 토목공사사업과 토목건설사업이 약 23% 정도, 시멘트제품부문의 소비량이 56만톤 정도로 약 8%, 기타 나머지가 15% 정도의 비율임을 알 수 있다

그래서 1973년 동일시기의 일본의 시멘트 소비부문은 어떠한지 需給別 販賣實績으로 조사한 것을 <표-3>으로 정리하였다.^(9,10)

일본의 경우 시멘트의 消費構造는 部門別 分類方法의 차이가 있어 직접 비교는 불가능하지만 다소 상이한 소비구조로 나타났다. 1973년도의 레디믹스트 콘크리트 판매실적은 시멘트 전체 판매량의 57.6%를 차지하였으며, 1978년도에는 약 66%나 되는 큰 비율로 증가하고 있는 실정이다. 그 다음으로 시멘트제품 부문이 전체의 15.7%를 차지하여 우리나라의 7.9%보다 약간 많은 비율을 나타내고 있다. 이 시기의 일본의 시멘트 소비량은 우리나라 시멘트 소비량의 약 10배에 해당되는 7,740만톤 정도나 된다.



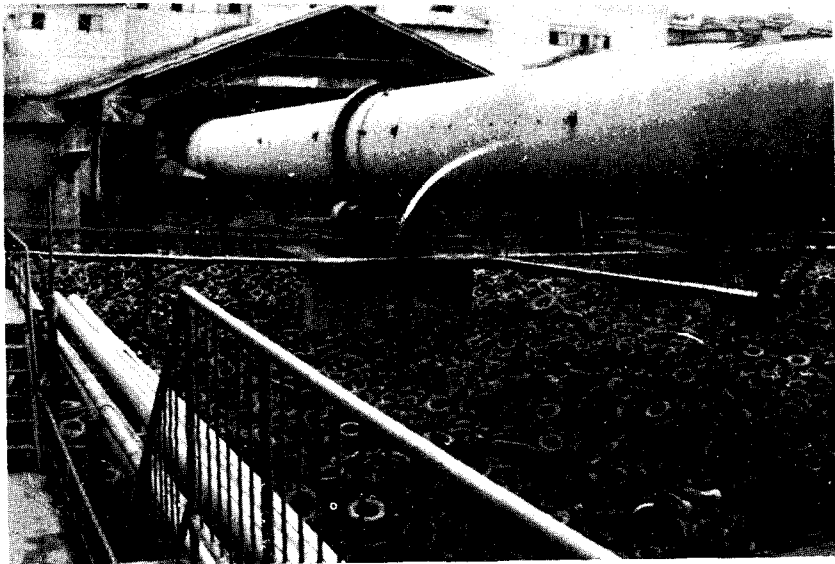
<그림-2> 우리나라 시멘트의 消費構造

<표-3> 일본의 시멘트 需要部門別 판매실적

부 문	1973		1978	
	판매량 (1,000톤)	판매구성비율 (%)	판매량 (1,000톤)	판매구성비율 (%)
시멘트 제품	12,493	15.7	12,341	15.3
레디믹스트콘크리트	45,445	57.6	53,016	65.9
건축 부문	4,541	6.1	3,164	4.5
토목 부문	3,825	5.9	3,523	4.3
전 력	620	0.7	530	0.7
철 도	701	0.9	246	0.3
기 타	9,424	12.8	7,221	9.0
합 계	77,399	100.0	80,494	100.0

2-2 우리나라 시멘트 산업과 문제점

周知하는 바와 같이 시멘트 1톤을 생산하기 위하여 석회석 1.2톤, 점토 0.25톤 기타 산화철과 석고를 합쳐서 약 1.5톤의 원료가 필요하며, 粉碎 및 燒成에 필요한 연료와 동력은 重油 90ℓ, 전력 120 kwh가 소요된다고 한다. 시멘트 산업은 막대한 資源과 대량의 에너지를 消費하는 대표적 산업으로 크링카 製造原價의 약 50%가 연료비라 하며, 우리나라와 같이 賦存資源 특히 에너지 자원이 부족하여 연료의 거의 대부분을 輸入燃料인 重油에 의존하고 있는 나라에서는 代替에너지의 開發과 시멘트제조과정에서 熱效率의 改善 및 低熱을 사용한 시멘트제조에 대한 연구개발이 시급하고 절실하다고 생각된다. 예를 들면 시멘트산업의 省資源, 省에너지를 도모하기 위한 수단으로 産業副産物인 플라이애쉬, 高爐슬래그 등을 시멘트와 混合하여 사용하는 混合시멘트의 開發을 들 수 있겠다. 그리고 代替에너지의 一環으로서 타이어와 같은 産業廢棄物을 연료로 개발하는 방안도 그 좋은 보기가 되겠다. <사진-1>은 자동차 타이어를 연료로 사용하기 위하여 日本 시멘트社 埼玉工場에 쌓아둔 것을 찍은 사진이다. 1개월에 약 10만개 정도를 연료로 소모함으로써 연료의 약 3% 정도를 절약하고 있다고 한다.



<사진-1> 시멘트燒成燃料로 사용하기 위하여 쌓아둔 타이어

또한 무포장 시멘트의 공급을 확대함으로써 포장지에 소요되는 상당량의 외화를 절약하며, 시멘트포장과 해체작업에 따른 인건비 등을 절약할 수 있을 것으로 생각되므로 省資源의 관점에서 벌크시멘트의 적극적인 보급에 대한 방안이 필요하다고 생각되어진다. 한편으로 시멘트산업은 자원, 에너지문제 이외에도 시멘트공장 주위의 大氣汚

染, 水質汚濁, 粉塵 및 騒音 등에 따른 公害問題에 대한 技術檢討가 時急한 課題이며, 이에 대한 대책이 강구되어야 할 줄로 생각된다. 그 이외에도 우리나라는 建設盛需期의 供給不足, 輸送手段의 不在 및 流通 構造上의 問題 등으로 인하여 거의 매년 고질적으로 겪고 있는 시멘트波動에 대한 대책이 요망되며, 이는 시멘트산업의 발전을 阻害하는 한 要因으로 생각된다.

3. 우리나라 시멘트의 種別에 대한 고찰

근년에 와서 건설기술의 현저한 진보발전에 따라 長大橋梁, 超高層建物, 原子力발전소, 超低溫液化가스 貯藏탱크 및 海洋構造物 등 콘크리트 構造物의 규모가 대형화 내지는 용도면에서 다양화되고 있는 실정이다. 이런 추세에 즈음하여 새로운 구조물의 용도를 만족시키기 위하여 콘크리트 技術者들은 混和材料의 개발 등 콘크리트 자체의 품질개선에 부단한 노력을 아끼지 않고 있지만, 이러한 여망에 부응하기 위해서는 콘크리트의 母材인 시멘트의 質的向上은 말할 것도 없이 사용목적에 적합한 새로운 종류의 시멘트 개발이 시급하다고 하겠다. 그런데 우리나라 공업규격에는 포틀랜드시멘트 4종류를 포함 전부 6종류의 시멘트가 규정되어 있지만 실제로 시판되는 시멘트는 보통 포틀랜드시멘트 생산 일변도를 탈피하지 못하고 있는 실정인 것 같다. 앞에서도 지적한 바와 같이 시멘트원료 및 에너지절약을 위한 수단으로서나 콘크리트의 物性改善을 위해서라도 슬래그, 플라이애쉬를 섞은 혼합시멘트의 적극적인 개발이 절실하다고 생각된다. 우리나라 混合시멘트의 생산실적을 살펴보면, 1963년과 1964년에 대한양회 문경공장에서 약 40만톤의 포조란시멘트를 생산하여 춘천댐, 섬진강댐에 사용하였다고 하며, 1971년 아산만 공사에도 사용한 실적이 있다. 그후 1976년 7월부터 浦項製鐵所에서 시멘트混和材로 슬래그를 연간 50만톤 생산하였다는 기록이 있다.⁽¹⁵⁾ 이번에는 세계 각국의 混合시멘트의 生産量에 대한 자료인 <표-4>를 소개하고자 한다.⁽¹⁶⁾

<표-4>에서 알 수 있듯이 선진 각국의 혼합시멘트의 생산량 비율은 일정하지 않고 각국별로 현저하게 다른 경향을 나타내고 있다. 1976년도 포틀랜드시멘트에 대한 혼합시멘트의 생산비율이 큰 나라를 소개해 보면 오스트리아, 프랑스, 네델란드로서 각각 50%이상의 큰 비율을 차지하고 있는 반면에 일본 6.2%, 영국과 스페인은 각각 3%밖에 안되는 작은 비율로 생산하고 있음을 알 수 있다. 이번에는 일본의 시멘트 종류별 생산량을 3년간의 실적으로 비교한 것이 <표-5>이다.⁽¹⁶⁻¹⁸⁾ 1978년도 일본의 혼합시멘트 생산량은 600만톤 정도로서 전체 시멘트 생산량의 약 7%정도를 나타내고 있다.

〈표-4〉 세계 각국의 혼합시멘트 생산량

국명	생산량 년도	총 생산량 (1,000톤)	혼합시멘트 생산량 (1,000톤)	혼합시멘트의 생산비 (%)			
				1976			
				1969	1972	1974	1976
소련		124,000	43,400	-	-	-	-
일본		68,200	4,800	-	-	7	6.2
미국		61,700	5,000	-	-	-	-
오스트리아		5,800	4,400	18	75	76	76
이태리		36,600	15,000	-	40	46	41
서독		33,800	9,200	14	21	23	27
프랑스		30,600	19,000	11	57	65	62
스페인		26,000	800	3	2	3	3
영국		16,400	500	2	2	2	3
네델란드		3,500	2,100	56	55	56	59

포틀랜드시멘트나 混合시멘트 이외에도 建設工事に 있어서 工期短縮, 콘크리트 2차 제품 製造의 早期脫型, 原價節減 등의 要求에 부응하기 위하여 빨리 硬化되고, 소정의 物性を 만족시키는 超早強시멘트, Jet 시멘트 및 알루미늄시멘트 등 強度早期發現시멘트나 또 한편으로 水槽, 기름탱크, 水路構造物, 涵管 등과 같이 특히 水密, 防水를 요구하는 구조물에 有效한 膨脹性시멘트와 같은 특수시멘트의 개발도 절실히 요망된다.

〈표-5〉 일본의 시멘트종류별 생산량(1,000톤)

년도	시멘트의 종별 생산량	포틀랜드시멘트					高爐	시리카	플라이 애쉬	규격외	합계
		보통	조강 초조강	중용열	耐硫酸鹽	계					
1974	생산량 (톤)	66,184	787	321	-	67,914	2,779	68	1,888	31	72,682
	비율 (%)	91.9	1.1	0.4	-	93.4	3.8	0.09	2.6	0.04	100.0
1976	생산량 (톤)	62,192	938	498	-	63,629	2,539	33	1,541	124	67,869
	비율 (%)	91.7	1.4	0.7	-	93.8	3.7	0.05	2.3	0.2	100.0
1978	생산량 (톤)	77,393	1,552	205	731	79,882	4,076	38	1,743	86	85,827
	비율 (%)	90.2	1.8	0.2	0.9	93.1	4.8	0.04	2.0	0.1	100.0

4. 우리나라 시멘트의 規格과 試驗方法에 대한 고찰

工業規格이란 工產品에 대한 一定한 規格을 정함으로써 生産能率의 증대, 品質의 向上, 재료의 절약, 消費使用의 合理化 및 生産비의 절감 등의 효과를 기대할 수 있으며 한편으로 불량품의 범람을 예방하는 데도 그 목적이 있다고 볼 수 있다. 이러한 취지를 실현하고자 1947년 國際標準化機構(International Standards Organization)가 설립되었고, 우리나라에서는 1962년 韓國工業規格이 설립되었다. 어떤 종류의 공업이나 工產品이든지 발전하기 위해서는 최소한 標準化가 필요한 것은 두말 할 나위도 없다. 그러나 規格이나 標準化가 오히려 어떤 工產品의 새로운 진보발전의 계기를 阻害하는 要因이 될 수 있다고 생각되어 진다. 왜냐하면 위의 標準化의 規格들은 기술수준이 낮고 工場施設이 充分히 갖추어지지 않은 경우에는 의무규정으로 어쩔 수 없다고 하겠으나 어느 수준 이상에 도달한 경우에는 새로운 공산품에 대한 製造方法이나 新製品開發에 創意性을 발휘할 수 있도록 해줌으로써 발전 내지는 기술혁신의 계기가 되도록 하는 조치가 바람직하기 때문이다. 이런 점을 고려할 때 生産者側이 工業規格에 합격하는 製品을 공급하는 것만으로 의무를 다했다고 만족해 한다면 그 결과 새로운 製品開發이나 技術向上 등에 투자없이 안이한 생각에서 製品이 지닌 결점이나 부족한 점을 개선, 보완하여 보다 좋은 제품을 개발하고자 하는 노력이 결여되어 제자리 걸음을 면치 못하는 결과를 초래할 것으로 염려되기 때문이다. 그래서 우리나라의 시멘트 공업규격을 살펴보기 위하여 시멘트의 物理的性質에 대한 규격을 나타낸 것이 <표-6>이다.⁽¹⁹⁾

<표-6> 우리나라 시멘트의 물리적 성질에 관한 규격

종류	항 목	비표면적 (cm ² /g)	안 정 도 (%)	Vicat 방법 (분)	Gillmore 방법	
					초 결 (분)	종 결 (시)
보 통		2,600 (2,500) 이상	0.8 이하	60 (60) 이상	60 이상	10 이하
중 용 열		2,600 (2,500)	"	60 (60)	"	"
조 강		- (3,000)	"	60 (45)	"	"

()는 1978년 4월 개정된 JIS 값

<표-6>에서 시멘트의 粉末度를 나타내는 比表面積은 우리나라 규격에는 2,600 cm²/g 이상, 조강포틀랜드시멘트의 경우 규격이 정해져 있지 않는데 비해, 일본공업규격에는 보통, 중용열포틀랜드시멘트가 2,500 cm²/g 이상, 조강시멘트 3,000 cm²/g 이상으로 규정되어 있다. 참고로 JIS에는 시멘트 분말도의 규격값은 2,500 cm²/g 이상이지만 일반적

으로 3,000 cm²/g 이하의 비표면적을 가진 시멘트는 거의 상식 밖으로 생각되고 있다. 그런데, 우리나라의 조강시멘트의 경우에는 분말도의 규격을 정하지 않은 점은 잘 이해가 되지 않을 뿐더러 중대한 미스가 아닌가 생각되어 진다. 그러면 우리나라 시멘트 강도에 대한 규격값은 어떻게 정하고 있는지 <표-7>로서 살펴보자.⁽¹⁹⁾

<표-7> 우리나라 시멘트의 강도에 대한 규격

강도 재령(일) 종류	압 축 강 도 (kg/cm ²)			
	1	3	7	28
보 통	-	110 (70) 이상	175 (150) 이상	245 (300) 이상
중 용 열	-	105 (50) "	175 (100) "	245 (230) "
조 강	125 (65) 이상	245 (130) "	- (230) "	- (330) "

()는 1978년 4월 개정된 JIS 값

K-S와 JIS의 시험방법이 <표-8>에서와 같이 다르기 때문에 규격값을 직접 비교할 수는 없겠으나, 참고하기 위해 팔호내에 소개했다. 그런데 우리나라의 경우 보통, 중용열포틀랜드시멘트의 초기 재령에서 시멘트 강도의 규격값은 크게 나타나고 있으나 재령 28일에서는 오히려 훨씬 적은 값으로 규정되어 있다. 그리고 조강포틀랜드시멘트의 경우에도 초기재령에서 약 2배 가까운 큰 값으로 정하고 있으나, 재령 7일, 28일 규격값은 정하지 않고 있다. 조강시멘트의 재령 7, 28일 강도의 최소값을 규정하는 것이 바람직하다고 생각된다. 지면관계로 이유는 생략한다. 그래서 참고로 세계 몇개국

<표-8> 세계 각국 시멘트의 압축강도 시험방법 비교

국 명	공 시 체		배합비율 (중량비)	모 르 터		성형방법
	입방체(cm)	직방체(cm)		물시멘트비	반죽질기	
미 국	5.08	-	1 : 2.75	(0.52)	뭉은반죽	다짐봉
캐 나 다	5.08	-	1 : 2.75	(0.52)	"	"
서 독	-	4 × 4 × 16	1 : 3.0	0.60	"	"
일 본	-	"	1 : 2.0	0.65	"	"
프 랑 스	5.00	-	1 : 3.0	(0.44)	뒀반죽	"
오스트리아	7.07	-	1 : 3.0	-	"	함 마
소 련	"	-	"	0.32	"	"
영 국	"	-	"	0.40	"	진 동
이 태 리	"	-	"	0.32	"	함 마
한 국	5.08	-	1 : 2.45	(0.38)	"	다짐봉

의 시멘트의 압축강도시험방법을 비교한 표를 소개한다.

우리나라의 K·S 규격은 미국 규격에 거의 비슷한 방법임을 알 수 있다.

5. 우리나라 시멘트의 品質에 대한 고찰

시멘트의 품질도 시멘트의 化學成分과 物理的 性質이 그 나라가 정하는 工業規格에 合格하는지 여부가 품질판정의 기준이 되겠으며, 그 다음으로는 그 시멘트를 사용한 콘크리트가 굳지 않은 상태에서 좋은 작업성을 가지며 경화한 다음에는 소정의 強度, 耐久性 및 水密性 등의 諸力學的 性質을 만족시키는지에 따라 그 시멘트의 품질이 좋고 나쁜점을 가릴 수 있을 것으로 생각된다. 그런데 시멘트 품질에 대한 국내자료가 잘 구해지지 않아 사단법인 일본시멘트협회가 실시한 1971년 및 1976년에 입수한 외국 시멘트시료, 영국 5, 프랑스 2, 서독 3, 인도네시아 5, 한국 4, 필리핀 3, 홍콩 2, 중국 2, 태국 2, 파키스탄 2, 이란 1 및 오스트리아 5개 시료로서 합계 12개국 36개 시료의 보통포틀랜드시멘트의 품질에 대한 시험결과를 정리한 것이다.⁽²⁰⁾ 물론 이 자료는 일본시멘트협회가 일본공업규격에 의하여 시험한 결과이기 때문에 신뢰성 문제에 있어서는 다소 의문이 있겠지만 참고자료로서는 가치가 있을 것으로 생각되므로 소개하는 것이기 때문에 오해 없기를 바란다. <표-9>에서 알 수 있듯이 보통포틀랜드시멘트의 화학성분 시험결과만을 정리한 것으로서 공업규격에 합격되는 결과이며, 아울러 세계 몇개국의 평균값에 상당하는 값임을 알 수 있다.

<표-9> 세계 각국 포틀랜드시멘트의 화학성분 시험결과 (JIS 방법)

시험항목	화 학 성 분 (%)												계 수		
	시료	년 도	ig. loss	insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	f. CaO	HM	LSD
한 국	1971		1.4	0.0	21.6	6.0	3.3	63.2	2.0	1.4	0.05	1.52	—	2.01	0.89
			1.8	0.1	20.8	6.4	3.3	61.5	2.6	2.1	0.08	1.48	—	1.97	0.88
	1976		1.1	0.2	21.6	5.2	3.3	63.2	2.4	1.7	0.13	1.38	0.5	2.06	0.90
			1.6	0.3	21.5	5.8	3.3	62.6	1.4	1.8	0.14	1.22	2.2	2.00	0.89
평 균	—	1.6	0.4	21.0	5.8	3.0	63.4	1.7	2.2	0.17	0.66	0.7	2.08	0.92	
최 대	—	3.8	3.5	23.0	7.1	5.3	65.2	3.6	3.2	0.67	1.62	2.2	2.30	1.02	
최 소	—	0.5	0.0	18.7	4.5	1.9	59.0	0.6	1.1	0.00	0.15	0.2	1.88	0.82	

마찬가지로 세계 각국 포틀랜드시멘트의 물리시험결과만을 정리한 것이 <표-10> 이다.

이 表에 나타난것을 살펴보면 우리나라 시멘트의 比表面積은 한개의 試料가 平均값

3,370 cm²/g 에 못미치고 있는 實情이다. 물론 이 값은 K-S 規格 시멘트의 比表面積 2,600 cm²/g 以上되는 合格品이다.

한편, 시멘트의 壓縮強度와 韌強度를 살펴보면 우리나라의 試料는 平均값에 머무르는 水準이거나 약간 下廻하는 정도이다.

〈표-10〉 세계 각국 포틀랜드시멘트의 물리시험결과 (JIS 방법)

시험항목 시 료	비 중	분 말 도		응 결			韌 강 도 (kg/cm ²)			압 축 강 도 (kg/cm ²)			
		비표면적 (cm ² /g)	88 μ 殘分 (%)	水 量 (%)	始 發 (h-m)	終 結 (h-m)	flow 값	3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日
한 국	3.15	3,160	2.8	27.9	2-24	3-20	255	23.8	41.4	60.3	99	176	314
	3.12	4,120	1.8	27.2	1-54	3-00	246	30.2	43.2	58.6	120	201	329
평 균	3.13	3,370	4.5	26.7	2-37	4-00	249	33.3	45.9	62.9	132	204	318
최 대	3.18	4,260	12.7	29.8	4-23	5-43	270	45.1	59.6	72.7	198	280	407
최 소	3.03	2,550	0.8	24.0	1-12	2-37	228	18.8	26.2	42.4	65	103	188

〈표-10〉의 시료들을 ASTM 방법과 BS 방법에 의하여 실시한 시험의 경우에도 대체로 비슷한 결과를 나타내었다.⁽²²⁾ 그래서 이번에는 콘크리트 시험에서 얻어진 국내자료를 소개하고자 한다. 국산시멘트를 레디믹스트콘크리트에 적용할 때 압축강도 180 kg/cm²를 얻기 위하여 국산시멘트는 단위시멘트를 300 kg/m³ 이상이 필요한데 비해 일본의 경우에는 250 kg 정도로서 얻어지는 강도라고 한다.⁽²²⁾ 그렇다면 동일한 콘크리트의 강도를 얻기 위해서 우리나라 시멘트를 사용했을 때 50 kg 이상의 단위시멘트량이 더 필요하다는 의미가 된다. 이번에는 필자가 실시한 콘크리트의 高強度化에 대한 시험결과를 정리한 것이 〈표-11〉이다.⁽²³⁾

〈표-11〉 콘크리트의 압축강도 시험결과와 비교

시멘트량 (kg/m ³)	고성능감수제 사용량 (cc)	W/C (%)	s/a (%)	압 축 강 도 (kg/cm ²)
400	2,000	40.0	40	295
	4,000	39.0	40	291
500	2,000	29.5	38	421
	4,000	29.0	38	437
700	2,000	25.8	35	473

〈표-11〉에서는 단위시멘트량 400, 500 및 700 kg/m³ 일 때 高性能減水劑를 시멘트중량 100 kg 에 대하여 2,000 cc 와 4,000 cc 사용한 콘크리트의 압축강도 시험결과를 나타낸 것이다. 이 시험결과에 의하면 단위시멘트량이 500 kg/m³, 700 kg/m³ 에서도 재령 28 일 압축강도가 500 kg/cm² 을 넘지 못하고 있다. 그래서 혼화제 제조회사인 일본 포조리스 회사의 시험결과를 조사해 보았다. 물론 사용재료에서부터 배합, 시험조건 등 제반조건이 많이 상이하기 때문에 직접적인 강도비교가 불가능 하였지만 제조회사에서 실시한 콘크리트의 압축강도는 단위시멘트량 500 kg/m³ 에서 재령 28 일이 압축강도 700 kg/cm² 를 넘는 高強度를 나타내었다. 이상의 몇가지 자료에서 나타난 바와 같이 시멘트강도나 콘크리트의 강도가 낮은 원인을 분석해 볼 때 우리나라 시멘트의 품질에 다소 문제점이 있다고 생각된다.

6. 結 言

우리나라 시멘트산업은 1986 년대 4,000 만톤을 생산목표로 세계 제 5, 6 위 권의 생산국으로 발돋움하고 있어, 연간 국민 1 인당 소비량도 700 kg 정도로 선진국의 시멘트 소비수준에 도달한다는 기대에 부풀어 量的 成長에 지나치게 역점을 두고 있는 듯하다. 더구나 우리나라의 시멘트산업은 포틀랜드시멘트 생산 일변도를 크게 탈피하지 못하고 있는 실정이므로 수년내 양과 질에서 다같이 명실상부한 세계 선진 시멘트공업국으로 자부할 수 있겠는지에 대해서는 기우가 앞선다. 近藤博士가 경고했듯이 “大量的 資源과 에너지를 소비하는 시멘트공업이 장래에도 존속하며 사회에 기여하기 위해서는 자신의 체질을 바꾸어 적응하지 않으면 맘모스와 같이 자멸하는 운명이 될지도 모른다.” 라는 글귀가 새삼 생각이 난다. 우리나라 시멘트산업도 근년에 와서 특히 세계적으로 심각하게 겪고있는 油類波動에 대처하기 위해서는 무척 어려울 것으로 예상되지만, 시멘트산업에 종사하시는 여러분께서 “보다 좋은 품질의 시멘트”, “보다 많은 종류의 시멘트” 를 생산해 주시기를 부탁드립니다. 끝으로 우리나라의 시멘트관계협회와 학회 및 제조업체 그리고 시멘트를 사용하는 토목, 건축관계 기술자가 産學協同의 삼위 일체가 되어 시멘트, 콘크리트의 발전을 위한 시멘트, 콘크리트학회 내지는 협회가 탄생되는 계기가 되어 주었으면 하는 마음 간절하다.

제 8 회 시멘트 심포지움에서 “콘크리트 기술자가 바라는 시멘트”란 제목으로 발표할 수 있는 기회를 주신 한국요업학회와 한국양회공업협회의 여러분께 감사의 인사를 드리며, 同 학회와 협회의 무궁한 발전이 있기를 빈다.

參 考 文 獻

- 1) CE. Kesler, The future of concrete. Japan National Council on Concrete, vol. 10, 1972. 1.
- 2) 金基衡, 韓國窯業의 展望. — 시멘트工業을 中心으로 —. 제 7 회 시멘트심포지움. 1979.
- 3) 시멘트産業史, 韓國의 시멘트産業(創立 10 週年紀念). 韓國洋灰工業協會. 1974. 3.
- 4) 南基棟, 韓國시멘트工業의 現況과 展望. 제 1 회 시멘트심포지움. 1973.
- 5) 시멘트生産實績統計資料, 시멘트. 韓國洋灰工業協會 제 77 집. 1979. 12.
- 6) 世界主要國의 セメント統計, セメント・コンクリート. 社團法人セメント協會 No. 396. 1980. 2.
- 7) 世界主要國의 セメント統計, セメント・コンクリート. No. 372. 1978. 2.
- 8) 朴俊圭, 시멘트의 消費構造分析. 시멘트. 제 67 집. 1977. 6.
- 9) セメント需給概況, セメント・コンクリート. 社團法人セメント協會. No. 326. 1974. 4.
- 10) セメント需給概況, セメント需給部門別販賣實績. 社團法人セメント協會. No. 398. 1980. 4.
- 11) 崔相紘, 시멘트製造에서의 熱節減. 제 4 회 시멘트工業 熱관리세미나. 1978.
- 12) 朴秀勳, 에너지節約推進計劃. 제 4 회 시멘트工業 熱관리세미나. 1978.
- 13) 鄭尙基, 시멘트業界의 에너지 原單位管理現況. 제 4 회 시멘트工業 熱관리세미나. 1978.
- 14) 韓基成, 우리나라 시멘트工業의 熱管理. 제 3 회 시멘트工業 熱관리세미나. 1977.
- 15) 竹本國博, セメント製造技術の 將來. セメント・コンクリート No. 355. 1976.
- 16) セメント需給概況, セメント・コンクリート. 社團法人セメント協會. No. 337. 1975. 3.
- 17) セメント需給概況, セメント・コンクリート. 社團法人セメント協會. No. 371. 1978. 1.
- 18) セメント需給概況, セメント・コンクリート. 社團法人セメント協會. No. 398. 1980. 4.
- 19) 韓國工業規格, 포틀랜드시멘트(KSL 5201). 社團法人 韓國工業規格協會. 1977. 3.
- 20) セメント協會技術部, 外國製セメント品質の 一例. セメント・コンクリート. No. 379. 1978. 9.
- 21) 第 3 회 海外セメント品質試驗報告, 社團法人 세멘트協會. 1978. 2.
- 22) 朴鍾煥, 레미콘의 溯考와 展望. 시멘트. 제 57 집. 1974. 12.
- 23) 文翰英, 安泰松, 高強度콘크리트의 基礎的 性質에 관한 研究.
大韓土木學會 學術發表會 概要集. 1978. 10.
- 24) 近藤連一, セメント化學の 現狀と 將來. セメント・コンクリート. No. 355. 1976. 9.
- 25) 森仁明, 最近の セメントの 知識. セメント・コンクリート. No. 378. 1978. 8.