

# ASTM問題 : 포틀랜드 시멘트 + 石灰石

李 承 燾(譯)

〈韓國洋灰工業協會 技術課 代理〉

## 1. 개 요

최근 미국 ASTM C-1(시멘트) 위원회는 포틀랜드 시멘트 전반에 걸친 기본 규격으로서 ASTM 규격 C-150을 개정, 석회석을 5%까지 크링카와 혼합제조할 수 있도록 허용키로 했다. 이 중요하고도 원대한(?) 계획은 포틀랜드 시멘트의 정의마저 뒤바꿔 놓을 정도로 위원회 내부에 심각한 논쟁을 불러 일으켰다. 본고는 이러한 문제에 대한 양쪽의 강한 논쟁을 다룬 것으로서 제안자는 품질이 저하되지 않고도 분명히 생산공정에 에너지 절감을 가져오는 물론 시멘트 및 콘크리트의 특성까지도 개선시키게 될 것을 주장하고 있는 반면, 상대방에서는 석회석은 단지 혼합재로서 작용될 뿐이며 강도가 저하되는 만큼 일정 기준치 이하의 석회석은 폐기되어야 한다고 주장하고 있다.

매우 흥미 있는 첨가물로서 炭酸鹽(Carbonate: CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub> 등 위원회의 논의 중 사용된 용어)의 첨가는 이 제안을 고무시키게 될 역사적 의미를 가지고 있다. 대부분의 위원들은 이 제안에 대한 각 分派로부터 識見을 얻어내기 위해 고심하던 차에 결국에는 개개인의 견해를 무시하고 과거의 역사에 의지하게 되고야 말았다.

현재 시멘트 위원회에서 논의되고 있는 탄산염 첨가의 제안은 시멘트의 역사속에 그 뿌리가 있다. 즉 수 세기 동안 건축업자들은 경제적

인 이유에서 性能 特性을 개선시키기 위해, 美學 목적 혹은 여러가지 건축재료의 성질을 파악하기 위해 시멘트나 모르타르에 反應性, 非反應性 물질 모두를 첨가하여 보았었다. 시멘트나 모르타르에의 첨가에 대한 논쟁은 이제 새로운 것은 아니지만 논쟁이 발생되었을 때 가능한 한 객관적으로 보존될 수 있는 規格明細를 詳述할 사람이 있으므로 인해 讀者는 스스로 자신의 결론을 내릴 수 있게 될 것이다.

## 2. 초기 문명

최초 문명의 역사는 인류가 행위에 관한 法典을 발전시키고 완성시키기 위한 원시의 본능을 지니고 있음을 알려주고 있다. 오늘날의 이라크地域인 티그리스와 유프라테스강 사이의 계곡은 문명의 발상지로 알려져 있으며 행위에 관한 최초의 법전 몇가지는 이곳에서 발전되었다. 이들 법전에는 모든 활동형태 즉 환율을 포함해서 임금, 행동규범, 육체적·금전적 형벌 그리고 본문에서 다루어질 재료의 규격까지도 언급되어 있다.

B.C 2000년 경 Eshnunna 법<sup>1)</sup>에는 다음과 같은 판결법이 있었다.

「58: 만일 벽이 무너질 것 같아서 관현이 그 소유자에게 이 사실을 알렸음에도 불구하고 그의 벽을 보강하지 않음으로 인해 벽이 붕괴되어 자유시민이 죽게 된다면 그것은 중죄가 된다(왕

의 재판권).」

또한 B.C 1700년 경 함무라비(Hammurabi) 법전<sup>2)</sup>에서도 건축법상의 형벌이 이어지고 있다.

「229 : 건축업자가 領主(여기서는 높은 지위의 관료 등을 뜻함)의 집을 지었으나 工事不實로 그가 지은 집이 붕괴되어 집주인이 죽게 되는 결과를 가져왔다면 그 건축업자는 죽어 마땅하다. 230 : 만일 집주인의 아들이 죽게 된다면 건축업자의 아들도 죽어야 한다. 231 : 또한 집주인의 아들의 노예가 죽었다면 그는 집주인에게 다른 노예를 대신 주어야 한다. 232 : 만일 재산이 파손되었다면 파손된 그 어떠한 것도 원상복귀시켜야 하며 또한 그가 견고하게 짓지 않아서 붕괴되었기 때문에 그는 자신의 비용으로 붕괴된 집을 다시 지어주어야 한다.」

### 3. 고대의 시멘트

이러한 초기의 법전에서 언급된 벽은 대개 모르타르를 건축재료로 사용하였을 것이며 그 모르타르는 煨燒 石灰石이나 석고 또는 그 혼합물을 함유하고 있었을 것으로 본다. 잉카, 중국, 이집트, 바빌로니아 등 전세계의 고대 문명은 이렇듯 풍부한 재료로서의 시멘트 성질을 우연히 터득하였을 것이 분명하며 이로써 광범위하게 사용할 수 있게 된 것이다. 바그다드 남쪽 50마일 지역의 고대도시인 바빌론의 건축물 중 줄눈 모르타르의 조직에는 하소 석고가 들어 있었다. 구운 석고(Plaster of paris)로 알려진 하소 석고는 물에 노출되면 석고형태로 다시 水和反應을 일으키게 되는데 이것은 산성비나 지하수에 노출되지만 않는다면 비교적 안정된 물질이다. 이집트의 피라미드<sup>3)</sup>는 석회와 석고의 모르타르 또는 플라스틱으로 만든 거대한 石塊로 축조된 것이다. 이 영구적인 불후의 명작은 B.C 4000 ~ 2000년에 세워진 것으로서 세월이 흘러 수십 세기가 지났어도 風化의 영향은 아주 작다.

그리스 특히 로마에서는 주요 건축재료로서 석회 모르타르의 사용이 발달되었다. A.D 1세기경 로마의 건축가이며 공학자인 비트루비우스(Vitruvius)는 시멘트가 될 수 있는 어떤 암석<sup>4)</sup>

에 대한 반응을 규명코자 시도한 바 있다.

「모든 다른 물질과 마찬가지로 돌 또한 원소들로 결합되어 있다. 그것은 많은 공기가 들어 있어서 부드럽고 물을 함유하여 습기가 있기 때문에 질기지만 불에는 약해서 부서지기 쉽다. 이러한 돌을 그저 잘게 빻아서 불에 굽지 않고 모래와 섞을 때는 굳거나 결합하지 않지만 이것을 가마불 속에 던져서 높은 열을 통과시키면 이전의 견고함을 잃게 되고 하소되어 강도가 없어지며 일부가 날아가서 空隙으로 가득차게 된다. 그러므로 물과 공기는 돌에 들어 있는 물질 중의 일부이다. 이렇게 몰아낸 뒤에 숨은 열만 남게 되었을 때 다시 물을 뿌려 불기를 없애면 활력을 되찾게 되고 공극 속으로 들어간 물로 인해 發效가 된다. 석회재료는 이렇게 냉각시키고 남아 있는 많은 열을 방출시킨 것이다.」

비트루비우스는 또한 物質規格을 개발 중이었는데 그 중 한가지는 석회를 만들어 사용할 때 필요한 돌의 選別에 관계된 것이었다. 즉 비트루비우스가 성능을 규명하기 위해 만든 이상세한 규격 중에는 여러가지 석회질 암석의 1년간의 風化에 대해 언급되어 있으며 그 이후의 物理的 狀態에 관한 시험도 있었다.

로마인들은 天然시멘트(Natural rock cement)와 포졸란 시멘트(Pozzolanic cement)<sup>5)</sup>를 대량으로 사용하였다. 前者는 순도가 낮은 석회석을 하소시켜 만든 것이며 後者는 석회석 및 포졸란이라 불리는 火山재를 혼합 분쇄시켜 만든 것이다.

「사실상 초기 이후 천연시멘트의 역사에 대해서는 이 정도에 그칠 뿐이다. 최초의 제조기를 정확하게 알아내기는 불가능하다. 그러나 4천년 전 이집트인이 만들었던 물에 의해 凝結·硬化되는 천연시멘트에 대해서는 널리 알려져 있다. 로마인들은 2천년 전에 하수도, 수도, 목욕탕, 부두, 방파제, 수로 등에 막대한 양을 사용하였다. 그 이전에도 카르타고의 고대도시에서는 길이 70마일이 넘는 水路가 건설된 바 있는데 이것은 한 곳에서 높이 100피트가 넘는 아치를 가로질러 통과하도록 설계된 것으로서 그것도 횡렬로 1,000개의 아치가 있다. 이 건설에서도 막대한 양의 천연 수정성 시멘트가 사

용되었다. 아치의 어느 한 꼭대기에서 일부분이 바위 아래로 떨어졌다고 하나 아직까지도 부서지지 않고 고스란히 남아 있는 것은 천연시멘트의 靱性和 粘着性的의 우수한 실례를 보여주고 있는 것이라 하겠다.]

#### 4. 현대의 시멘트

중세는 시멘트 재료에 대한 지식이 고대를 되풀이하는데 지나지 않는 전반적으로 퇴보된 시대였음이 입증되었다. 포졸란은 사라져 버렸고 석회 모르타르나 그 기술 수준은 보잘것 없었다. 그러나 15, 16세기에 들어와서 점차 개선되었고 포졸란을 사용하는 경향도 짙어졌다.

[1756년 영국의 기술자인 존 스미튼(John Smeaton)은 영국 議會로부터 콘월(Cornwall) 해안에서 얼마 안되는 에디스톤 라이트하우스(Eddystone Lighthouse)를 개축할 것을 위임 받았다. 이 라이트하우스는 여러차례 격렬한 폭풍을 겪었기 때문에 영구적인 구조물로서 필요했던 것이다. 스미튼은 석회와 포졸란을 수차레나 실험하고 海水 및 淡水에 대한 풍화작용을 시험해 보기로 결심했다. 스미튼의 중대한 발견은 일부 점토질 물질이 함유된 순도가 낮은 軟質 석회석으로 최고의 수경성 시멘트를 만들어냈다는 점인데(ASTM C-209에 定義) 이러한 종류의 시멘트가 에디스톤 라이트하우스의 건축에 사용된 것이다. 40년 뒤 영국의 조셉 파커(Joseph Parker)는 ‘Septaria’라 불리는 더욱 낮은 순도의 석회석 單塊로 우수한 수경성 시멘트를 제조할 수 있다는 것을 알았다. 이것은 고대 로만시멘트의 색상과 같았기 때문에 로만시멘트로서 알려져 있다(초기의 로만시멘트는 그 어느 것이나 석회석을 소성시켜 만든 것이며 고대 로만시멘트는 천연적으로 존재하는 저급의 석회석을 소성시킨 것으로서 포졸란을 함유하지 않은 것이다). 1802년 프랑스에서도 이러한 단괴로부터 시멘트가 제조되어 프랑스 시멘트 공업의 시초가 되었다. 그후 1810년 영국의 에드가 돕스(Edgar Dobbs)는 석회석과 점토로부터 시멘트를 제조한 바 있고 1813년 프랑스의 비카(Vicat)와 1822년 영국의 제임스

프로스트(James Frost) 역시 석회석과 점토로부터 시멘트를 만들기 시작하였다.』

시멘트의 역사에서 가장 중요한 발전은 포틀랜드 시멘트의 발명이다. 대개는 영국의 벽돌 직공인 조셉 아스프딘(Joseph Aspdin)을 1824년 포틀랜드 시멘트의 발명자로 생각하고 있다. 포틀랜드라고 불리게 된 이유는 경화된 포틀랜드 시멘트 모르타르와 영국 포틀랜드에서 발견된 건축용 석회암의 類似性에 의한 것이다. 아스프딘의 특허 내용에는 “아스프딘은 종래보다 더욱 고급화한 시멘트를 제조하였다.”고 나와 있으나 그 이후의 품질에 비하면 훨씬 떨어지는 것이 사실이다.

#### 5. 燒成 溫度

아스프딘의 제법에서 얻은 소성온도에 대해서는 몇가지 추측이 있다. 권위자들 중 일부는 그 온도가 단지 석회석의 煨燒에 필요한 온도였을 것으로 보는 반면에 그것은 오늘날의 熔融開始溫度에 근접했었을 것이라는 다른 견해도 있다. 어쨌든 아스프딘은 單塊를 사용하는 것보다는 키른에 투입하기 위해 분쇄시킨 점토와 석회석을 사용함으로써 그의 一定比率를 적용하였을 것이라는 것만은 확실하다.

1845년 영국의 존슨(I.C. Johnson)은 일련의 실험을 통해 오늘날의 製法과 매우 유사한 포틀랜드 시멘트 제법상의 原料配合比率과 燒成溫度를 確立하였으나 불행하게도 그의 업적은 크게 주목받지 못하고 말았다.

1850년 천연시멘트 및 포틀랜드 시멘트의 발전에 있어서 선구자인 데이비드 세일러(David Saylor)는 펜실베이니아주 Coplay에서 미국 최초의 시멘트 공장을 설립하였다. 1870년 그가 소유하고 있는 광석은 우수한 품질로 생산되고 있던 천연시멘트(광석 자체를 소성한 것)의 제조에 소요되는 온도보다 더 높은 온도에서 소성된다는 것을 발견하였다.

그는 이듬해인 1871년 그 공정으로 특허를 획득하여 새로운 시멘트(초기의 포틀랜드 시멘트로서 혼합원료를 소성한 것)의 생산을 개시하였다.

## 6. 초기의 화학

1887년은 빛나는 프랑스의 화학자인 앙리 르 샤텔리에(Henri Le Chatelier)가 그의 博士學位論文(Experimental Researches on the Constitution of Hydraulic Mortars<sup>7)</sup>)을 집필하던 해였다. 이것은 100여년 뒤인 오늘날에 와서 까지도 인정받는 포틀랜드 시멘트의 化學과 根據를 설명하기 위한 최초의 시도였다. 이에는 다음과 같은 매우 흥미있는 평가자료가 한가지 들어 있다.

「다음과 같은 두가지의 시멘트 크링카 성분을 비교해 보면 첫 번째 것은 품질이 우수하나 다음 것은 석회와 과다하게 들어있기 때문에 응결이 어렵고 팽창에 의해 곧 분해되고 말 것이다. 물론 두가지 경우 모두 소성은 완전하다. 본인이 이제까지 실시한 바와 같이 실리카 분자를 單位原으로 하여 分子數의 比率로 해석하면 더욱 쉽게 비교할 수 있다는 결론을 내리고자 한다.」

	보통시멘트	석회과잉 시멘트
감량 및 잡성분	0.94 %	1.820 %
실리카, SiO <sub>2</sub>	21.43 %	20.085 %
알루미나, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.66 %	5.814 %
산화철, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.29 %	1.607 %
마그네시아, MgO	1.15 %	0.677 %
석회, CaO	65.80 %	69.545 %
황산칼슘, CaSO <sub>4</sub>	0.73 %	0.456 %
計	100.00 %	100.004 %

위에서 쉽게 알 수 있듯이 凝結時間을 調節하는 기능의 첨가제인 石膏에 대해서는 비록 석고(또는 플라스터)의 다양한 특성이 잘 알려져 있고 이에 관한 르샤텔리에의 견해가 있었음에도 불구하고 당시는 사용치 않고 있었다. 석고는 가끔 분쇄과정 중 시멘트 free lime의 水和를 목적으로 즉 수분을 공급하기 위해 사용되었다. 르샤텔리에의 언급을 인용해 보자.

「약간의 또한 부피가 큰 石灰石 粒子的 混入을 막기 위해 갖가지 豫防手段을 동원했는데도

그것은 매우 어려운 일이었다. 그 입자는 소성 중에 free lime을 발생케 한다. 그러므로 시멘트를 사용하기 전에 가능한 한 많은 석회를 消和시키는 것이 필요하다. 이러한 목적에서 분쇄된 시멘트를 공기 중에 얼마동안 두거나 또는 시멘트가 가열되었을 때 수증기를 막을 수 있는 물질, 예를 들면 석고 또는 이미 수화된 시멘트를 분쇄과정 중의 밀 내에 첨가하였다.」

## 7. 遲延劑

르샤텔리에와 같은 시대의 프랑스 과학자 칸드로(Candlot)는 포틀랜드 시멘트의 응결조절 첨가제의 성질을 시험한 최초의 연구자였다. 그는 염화칼슘과 황산칼슘 수화물(석고)에 관한 일련의 실험을 수행하던 결과 염화칼슘의 묽은 용액은 응결을 지연시키는 작용을 하는 반면 진한 용액은 促進劑로서 작용한다는 것을 발견하였다. 황산칼슘 수화물의 첨가에 의한 응결시간의 지연에 대해서 칸드로는 다음과 같이 설명하였다.

「최고급의 포틀랜드 시멘트에도 항상 약간의 free lime이 남아 있게 마련인데 어느 정도의 알루미나가 존재할 때 free lime이 급속히 분해되어 알루미네이트의 수화를 지연시킨다. 즉 용액속에 녹은 황산칼슘 자체로는 알루미네이트의 응결을 지연시키기에 불충분하나 석회의 溶出作用을 도와 알루미네이트의 역할을 억제할 수 있으므로 효과가 있는 것이다.」

미국의 시멘트 공장에서 응결조절 첨가제로서 석고를 가장 먼저 사용한 예는 레슬리(R.W. Lesley)<sup>8)</sup>가 보그(R. H. Bogue)에게 보낸 서한에서 알 수 있다.

「아틀라스 공장에서 최초의 로타리 키론으로 제조한 시멘트는 심한 急結性을 띄었기 때문에 거의 팔리지 않게 되어버렸고 한때 이 새로운 燒成法으로서의 가치 또한 소멸되다시피 되어버렸습니다. 그러던 중 정확한 날짜는 알 수 없으나 1890년대 초 어디선가 지롱(P. I. Giron)이라는 이름의 프랑스 화학자가 아틀라스 시멘트 회사에 오게 되었는데 그의 업무는 그가 조감독의 직책으로 있으면서 이러한 로타리 크링카

의 급결 문제를 해결하기 위한 것이었습니다. 새로 온 지롱은 프랑스의 몇몇 콘크리트 포장 시공에서 인부가 물과 석고를 혼합하여 사용하는 것을 본 적이 있다고 했는데 그것은 귀하가 아시는 바와 같이 그 나라에는 매우 풍부하며 응결을 지연시키는 방법으로 사용되어 왔던 것입니다. 지롱은 이로부터 응결이 느린 시멘트를 만들기 위한 아이디어를 제공하였고 여러가지 방법으로 이 정보가 아틀라스 사람들에게 전해져서 지롱이 미국으로 건너온 이후 실제로 미국의 시멘트 산업은 로타리 키른에 의한 응결이 느린 시멘트를 제조하기 시작하게 된 것입니다.]

## 8. 로타리 키른

로타리 키른의 발전은 포틀랜드 시멘트의 역사에 있어서 또하나의 중요한 요소이다. 이로써 産業革命을 일으켰으며 현대의 전세계 모든 시멘트 공장은 이 설비를 적용하고 있다. 미국 최초의 로타리 키른의 건설은 지롱이 일하던 공장에서였음이 아틀라스회사(Atlas Portland Cement Co.) 부사장인 알폰소 나바로(Alfonso de Navarro)에 의해 언급되었으며 그의 아버지인 호세 나바로(Jose F. de Navarro)는 로타리 키른을 소개할 책임이 있었다.

다시 레슬리의 언급<sup>9)</sup>을 인용해 보자.

「1886년 호세 나바로와 그의 두 아들 안토니오와 알폰소 나바로 는 시멘트의 조성 및 제조 설비로서 최초의 로타리 실린더를 미국에 건설하였다. 이 실린더는 헨리 매시(Henry Mathey)의 이름으로 특허를 출원하여 나바로 가문이 관리하였다.」

영국 최초의 로타리 키른은 깁스(Gibbs) 포틀랜드 시멘트 회사의 프레데릭 랜섬(Frederick Ransome)에 의해 개발되었다.

## 9. 초기의 시멘트 규격

1890년대 중반은 포틀랜드 시멘트의 생산공정에 일관성이 있었던 시기로서 로타리 키른은 初期熔融을 지배하는 충분히 높은 온도에서 가

동되었으며 원료는 정확한 화학적 범위내에서 割當되었고 또한 적절한 소성을 위해 높은 粉末度로 분쇄되었으며 응결조절을 목적으로 일정량의 석고를 첨가하기도 하였다. 그 시대는 생산자나 사용자 모두 客觀的으로 인정할 수 있는 규격의 출현이 무르익을 시기였으므로 1890년대 중반에는 수백가지의 규격이 서로 중복됨이 없이 존재했었을 것이라는 추측이다.

시멘트의 품질을 凝結時間, 安定度, 強度의 세가지 기준으로 審査하는 방식은 오래 전부터 인정<sup>9)</sup>되어 오고 있던 것이다.

「무엇보다도 이 세가지 성질에는 최상의 중요성이 있음이 오래 전부터 인정되어 오고 있으며 비카(Vicat)는 시멘트의 初結을 얻는데 요구되는 時間의 量을 측정하는 장치를 발명하였다. 비카 침(Vicat needle)으로 불리는 이 장치는 잘 알려진 것으로서 규격시험장치 중의 하나다. 같은 보편적인 着想(옴폭 패이는데 대한 저항)에 기초를 둔 길모어 침(Gillmore needles)으로 알려진 장치가 있는데 이는 美 陸軍省의 엔지니어를 위해 일련의 시멘트 연구를 수행하던 길모어(Quincy Adams Gillmore) 육군 소장(1825~1888)의 이름에서 유래된 것이다. 이 장치는 프랑스의 앙트와네 라쿠르(M. Antoine Racourt)가 최초로 考案한 것으로서 이후 그의 시험에 사용하였으며 토튼(J. G. Totten, 1788~1864) 장군도 포트 아담스의 연구소에서 1830년까지 몇 년간 그의 실험에 사용하여 왔었다고 길모어는 언급하고 있다.

오늘날 사용되고 있는 이 針의 크기와 무게는 당시 토튼과 길모어가 사용했던 것과 같다. 길모어는 시멘트의 水硬活性度(hydraulic activity: 凝結速度)와 水硬力(hydraulic power: 硬度的 지속적인 증가)을 측정하기 위해 두가지의 침을 사용하였다.

安定度(Soundness) 시험은 가장 간단한 방법으로 행하여졌는데 그랜트(Grant)가 처음 고안한 것으로서 이는 단지 여러 개의 매끈한 시멘트 페이스트 덩어리를 유리판 위에 놓아 굳힌 다음 덩어리에 龜裂이 생기면 불안정한 것으로 간주한다. 그러나 만일 균열이 생기지 않으면 그 시멘트는 안정한 것으로서 free lime 이

조금도 들어 있지 않은 것으로 간주하였던 것이다. 간혹 안정도의 시험으로서 끓는 물이나 증기속에 沈漬시키는 방법이 사용되었는데 이 끓이는 시험은 1895년경 윌리엄 마이클스(Wil-liam Michaelis)에 의해 제안된 것이다.

引張強度의 측정에 대한 첫번째 시도는 벽돌로 이은 캔틸레버 빔(cantilever beam)으로 된 假建物에서 그 자신이 지탱할 수 있는 범위에서의 길이를 파악하는 것으로서 이 길이를 모르타르의 인장강도로 결정하였던 것이다.]

1904년에는 粉末度에 대한 관심이 대두되었는데 매더(Mather)<sup>10)</sup>는 다음과 같이 記述한 바 있다.

「1904년에 아버지는 트로트윈(Trautwine)의 'Civil Engineers Pocket Book' 한 권을 입수하게 되었다. 그 책에는 1885년에 발간된 "A SCE Committee on a Uniform System for Test of Cement" 최종 보고서의 요약이 수록되어 있는데 이 보고서는 길모어(Q. A. Gillmore)가 議長職을 맡았던 위원회가 작성한 것이다. 당시 길모어는 공병부대의 장교였으나 후에 부대장이 되었으며 길모어 칩이라는 용어도 이때부터 명명되었다. 그 요약의 처음 두 귀절은 다음과 같이 써어져 있었다. "비록 이해력이 있고 주의깊은 사람이라 하더라도 익숙치 못한 첫번의 시험은 대개 모순이 생기며 부정확하기 마련인데 이는 대다수의 고지식한 觀測者들간의 個人誤差에서 나타나는 可變性을 제거할 수 있는 경험의 축적이 없기 때문이다. 겉보기에 대수롭지 않은 그 어떠한 사항에 대해서도 경험과 이해력을 바탕으로 매우 주의하여 결과에 대한 영향이 확실해질 수 있도록 노력하는 것만이 信賴性 있는 시험이 될 수 있다."

이 보고서에서는 粉末度, 龜裂發生有無, 引張強度의 3가지 시험으로 제한할 것을 권하고 있다. 그 다음 트로트윈은 1901년에 'Corps of Engineers Professional Paper 28'로서 발간된 '시멘트의 특성 및 시험에 관한 美陸軍 공병장교회의 결과보고서'를 요약해 놓았다. 여기서는 粉末度, 比重, 安定度, 凝結時間, 引張強度의 5가지 시험을 권하고 있다. 그들이 제시하는 분말도는 No. 100번체의 통과분이 87~92%이

야 한다고 脚註로 달아 놓았는데 이는 輸入시멘트에서도 92% 이상의 것은 거의 없으며 그들에게는 주로 87%의 것이 사용되었다는 것을 암시하는 것이다. 또한 비중은 3.10~3.25이어야 하며 응결시간에 있어서 느린 응결 시멘트의 初結과 終結時間은 각각 45분 및 10시간을 권하고 있으나 빠른 응결 시멘트에 대해서는 그들은 초결 20~30분, 종결은 45분~2시간 30분을 요구하고 있다. 그리고 그들은 인장강도의 요구수준을 시멘트 페이스트와 모르타르에 공히 적용하여 28일에서 7일이 넘도록 강도의 증가를 보이지 않는 시멘트는 거부하여야 할 것을 제시하고 있다.]

건축재료로서 시멘트의 사용이 증가함에 따라 포틀랜드 시멘트의 규격에 대한 전반적인 요구 또한 가속화하여 새로 구성된 ASTM(American Society for Testing Materials: 1916년에 American Society for Testing and Materials로 개칭)과 미국내 포틀랜드 시멘트업제 그리고 미국 철도기술 및 도로관리협회(American Railway Engineering and Maintenance of Way Association)의 협력하에 1902년 그 명확한 표현의 기초가 마련됐다. 그리고 1904년 이 共同委員會는 정확한 規格의 制限을 權하는 보고서를 작성하였으며 각계의 協力機構들은 이를 기꺼이 채택하였다. 이 규격은 1903년과 1904년에 미국 土木學會의 시멘트 시험위원회(Committee on Uniform Tests of Cement of the American Society of Civil Engineers)가 채택한 시험방법을 기초로 한 것이다.

이 공동위원회의 작업 결과로서 포틀랜드 시멘트의 定義<sup>11)</sup>를 다음과 같이 내리고 있다.

「포틀랜드 시멘트의 정의: 이 용어는 점토질 및 석회질 물질을 적당한 비율로 한 혼합물을 소성하여 얻은 후 미세하게 분쇄한 산출물로서 소성 후에 만들어진 첨가물이 3% 이상이 아닌 것에 대하여 적용한다.」

## 10. 偽 和(Adulteration)

과학적·기술적 진보와 함께 19세기말 경에는 포틀랜드 시멘트 산업이 발전하여 偽和에 관

해 언급된 문헌이 많이 있다. 버틀러(Butler)<sup>12)</sup>의 저서 'Portland Cement' Chapter VIII에는 다음과 같은 내용이 있다.

「1885년 6월 영국 공학회(Society of Engineers)에서 발표한 故 Henry Faija의 논문 중 結論에는 다음과 같은 구절이 있다. “논문의 첫 부분에서 시멘트의 粗粒子(coarse particles)에 관해” 언급할 때 저자는 ‘adulterant’라는 단어를 사용하였다. 그는 독일 시멘트 조합은 당시의 시멘트가 偽和(adulterated)되어 있는지 아닌지를 해결할 목적으로 최근에 Fresenius 박사의 정확한 실험결과로 이루어진 논문을 제출하였다고 하였으며 Fresenius 박사는 “최근 화학분석으로조차도 발견할 수 없는 시멘트와 매우 유사한 물질이 다량으로 섞여 있기 때문에 많은 시험결과와 함께 그러한 偽和物을 발견해 낼 수 있는 화학공정에 관한 보고서를 조합에 제출한다”고 하였다.」

저자는 시멘트에 ‘Kentish rag’(Kent州의 모래 석회석)의 사용을 주장하는 영국의 일부 제조업자에 대해서 논평을 하였는데 이들 제조업자들은 이 석회석은 偽和物이 아니며 실제로 시멘트의 품질을 개선시키고 있다고 주장하였다고 한다. 버틀러는 이어

「이러한 혼합물의 실제 영향을 확인할 목적으로 저자는 그 主題에 관해 일련의 상당한 실험을 수행한 후 그의 논문에서 구체적으로 밝혔다. 이로써 그는 1896년 영국 공학회로부터 ‘The honour of reading’(學識의 名譽)을 얻었다.」

포틀랜드 시멘트의 偽和는 또한 미국내에서도 관심을 가지고 있는데 포크(Falk)<sup>13)</sup>가 1904년 ASCE Proceedings에서 인용한 바에 의하면 다음과 같다.

「의의 : 화학분석은 상당한 양의 슬래그나 석회석 분말에 의한 시멘트의 偽和를 발견하는데 귀중한 도움을 준다. 이는 또한 어떠한 성분인가를 결정하는데 이용되어 마그네시아나 무수황산 등이 일정비율을 초과했을 때의 害를 고려한 許容規制値를 산출해 낼 수 있다. 아직 이러한 불순물의 명확한 규제치가 추천되지는 않았으나 위원회는 가장 새롭고 신뢰할 수 있는 근

거로서 마그네시아는 5%이내, 무수황산은 1.75%이내이어야 해로움이 없다는 것을 제시하고 있다.」

슬래그와 석회석을 한데 몰아서 위화물로 생각하는 것에는 상당한 주의를 요한다. 슬래그는 현재 ASTM C 595 (수경성 혼합시멘트)에 명시되어 있는 반면에 석회석은 ASTM C 219 - 84 (수경성 시멘트에 관련된 용어의 정의)에서 메이슨리의 가능한 성분 중의 하나로서 언급되어 있다.

## 11. 偽和物의 檢出

1905년 영국의 레드그레이브와 스팍크맨(Redgrave and Spackman)<sup>14)</sup>은 포틀랜드 시멘트의 품질과 위화물의 검출에 대한 화학분석의 중요성을 논한 바 있다.

「포틀랜드 시멘트의 화학분석 하나만으로는 품질을 평가할 수 없다. 최고의 품질을 갖추기 위해 시멘트의 元素組成이 제아무리 우수하다 하여도 그 자체에는 결함이 많을 수도 있는 것이다. 화학분석은 단지 시멘트가 적합한 물질로 만들어졌는가 또는 올바른 비율로 결합되었는가 아니면 마그네시아나 무수황산 등 일정량을 초과할 때 문제를 야기시킬 수 있는 어떠한 성분이 요구한계 내에 있는가 등을 나타내 줄 뿐이다. 이에 偽和의 많은 형태를 檢出하기 위한 방법까지 가능하다. 원료 혼합물의 성분이 올바른 비율로서 적절히 분쇄되고 균일하게 혼합되었거나 또는 시멘트가 충분히 소성되었다고 하더라도 분석만으로는 그것을 알아낼 수 없다. 이러한 점을 결정하기 위해 또한 포틀랜드 시멘트의 성질에 대한 완벽한 정보를 얻기 위해서는 화학분석 외에 物理性能을 시험해 보아야 한다.」

‘偽和하다(adulterate)’라는 용어는 이렇듯 初期의 文獻에 빈번하게 나타나고 있다. 웹스터 사전에는 이 용어를 ‘값어치가 낮거나 活性이 없는 物質로 더욱 값어치가 높아지도록 代替하여 販賣用으로 내놓다’라고 정의가 내려져 있다. 필자는 이 용어가 포틀랜드 시멘트에 석회석을 첨가하는 경우를 정확하게 묘사하고 있다

고 본다. 그러나 독자는 ‘添加(addition)’라는 용어를 더 選好할지도 모른다.

테일러와 톰슨(Taylor and Thompson)<sup>11)</sup>은 1906년에 純度의 시험방법을 제안한 바 있다.

「순도: 유리 스토퍼가 달린 염산병, 두 개의 얇은 흰색 사발 또는 0.5×6인치 크기의 시험관, 유리막대 그리고 고무장갑을 준비한다. 다음 5센트짜리 동전 위에 올려 놓을 수 있을만큼의 시멘트를 사발이나 시험관에 넣고 티스푼의 반만큼 물을 넣어 축인 다음 유리막대로 저으면서 시멘트 위에 깨끗한 염산을 서서히 붓고 덮개로 덮는다. 순수한 포틀랜드 시멘트에서는 약간의 거품과 함께 자극성 가스가 발산될 것이며 沈澱物 없이 점차 연황색의 젤리 형태로 될 것이다. 여기에다 석회석 분말이나 水和 시멘트 분말을 첨가하면 격렬하게 끓게 되는데 石灰炭酸鹽 모두가 소진되어 연황색의 젤리가 될 때까지 염산이 끓으면서 강한 증기가 발산된다. 미분쇄시킨 모래나 石英 또는 실리카를 시멘트에 혼합하면 시멘트는 젤리 밑부분에서 溶解되지 않고 남은 침전물 이외의 다른 것이 생긴다. 이렇듯이 어느 하나의 僞和物이 들어있는 시멘트는 거부되어야 한다.」

또다른 순도시험 방법이 1911년 Meade<sup>12)</sup>에 의해 출판된 저서에 나와 있다.

「르샤틀리에에는 시멘트의 아주 쉬운 僞和 시험방법을 고안했는데 이것은 시멘트보다 위화물의 밀도가 낮다는 점을 이용한 것이다. 그 방법은 요드화 메틸과 벤젠의 혼합물을 이용한 重液選別法으로서 시멘트로부터 더 가벼운 不純物을 분리시키는 것인데 가벼운 것은 표면 위에 뜨고 순수한 시멘트는 가라 앉는다. 이 방법을 필라델피아 시험시험소에서 사용함으로써 포틀랜드 시멘트에 ‘Rosendale’(뉴욕주에서 생산한 천연 시멘트)이 혼합되어 있다는 것을 발견하게 되어 큰 성과를 올린 바 있다.」

## 12. 石油 不足

금세기 동안 미국내에서는 炭酸鹽의 첨가를 허용하도록 포틀랜드 시멘트 규격을 개정하는데 대한 관심이 대두되어 왔다. 미국의 시멘트産業

史를 올바르게 詳說함으로써 순수한 倫理的 理由만으로 그 제안을 거부하기 위해 시험관제자들을 납득시킬 수도 있었다. 그러나 1974년에 일어나기 시작한 세계적인 석유부족은 富족한 化石燃料의 依存度를 줄일 수 있는 모든 가능성을 타진하기 위해 聯邦政府와 시멘트 産業을 자극하게 되었다. 그 해인 1974년 美 議會는 聯邦 에너지管理法과 公法 93-275條를 통과시켰다. 이 법은 모든 수정성 시멘트 제조업자에게 위임통치하도록 하여 標準産業分類 SIC 3241로 간주하게 되었으며 1972년을 기준연도로 하여 1980년까지 15.7%의 에너지 소비를 줄이도록 하였다. 석유부족으로 인한 첫번째 반응 중의 하나는 시멘트 키른을 石炭 燃燒方式으로 전환하는 것이었다. 1985년에는 석탄 또는 코크스의 混燒率이 92% 이상이었으며 더욱이 그 기간 동안에는 대부분의 연소 효율이 낮은 舊型의 생산설비는 영구적으로 가동 중단되었고 대부분의 설비는 효율이 더 높은 설비로 개조할 수밖에 없었던 것이다.

석유부족으로 야기된 不確實性으로 인해 에너지 절약을 목적으로 포틀랜드 시멘트에 석회석을 첨가하는 방안이 세계적으로 퍼져 있다. 이로 인해 시멘트와 콘크리트에 미치는 영향을 결정하기 위해 상당한 연구가 진행되었고 아직 진행 중인 것도 있다. 現場에서 혹은 實驗室條件下에서 시멘트·콘크리트에 대한 석회석의 효능이 기술된 논문이 전세계에 출판되어 있지만 데이터의 차이가 매우 크며 結論도 여러 가지이기 때문에 현실점에서 C-1위원회 회원들간의 의견 일치는 불가능 할 것으로 보인다.

캐나다 規格協會는 그들의 포틀랜드 시멘트 규격(CAN-A5-M83)에 炭酸鹽의 첨가 한계를 결정하였다.

### 「2. 정 의

2.1 다음의 정의를 본 규격에 적용한다: 포틀랜드 시멘트는 본질적으로 수정성 칼슘 실리케이트로 이루어진 크링카 및 석고, 석회석\*, 물 그리고 제조자 임의로 첨가할 수 있는 공정상 첨가물을 미분쇄하여 얻은 생산물을 의미한다.



\* 위원회는 일부 포틀랜드 시멘트에 최적으로 첨가된 탄산염의 존재를 인정하였다. 따라서 보통 포틀랜드 시멘트에 5% 이하의 석회석을 첨가하도록 허용하며 이러한 석회석은 포틀랜드 시멘트 크링카의 제조에 적합한 품질의 것이어야 한다.]

### 13. 유럽 규격

유럽규격위원회(CEN : European Committee for Standardization)는 '포틀랜드 합성 시멘트(Portland-composite cement)'와 '포틀랜드 충전劑 시멘트(Portland-filler cement)'의規格初案을 작업 중이다. 합성시멘트는 충전제로서 不活性 또는 약간의 水硬性 물질을 0~20% 함유할 수 있으며 충전제 시멘트는 충전제로서 10~20% 함유할 수 있다.

### 14. 결 론

미국에서 현재 제안된 탄산염의 첨가 계획은 순도 70% 이상의 석회석을 5%까지 포틀랜드 시멘트에 혼합 분쇄할 수 있도록 허용한다는 방침이다. 석회석과 포틀랜드 시멘트의 화학적·물리적 상호작용에 대한 논쟁은 무기한 계속될 것으로 보인다. 여기에 석회석은 포졸란이 아니기 때문에 칼슘 실리케이트 수화물(C-S-H)의 생성에 수반될 수 없다는 일반적인 견해가 있으며 또한 탄산칼슘의 溶解度는 매우 낮은(0.014 g/ℓ·25℃) 반면에 석고는 매우 높다는(2.41 g/ℓ·냉수) 견해가 있다. 그리고 정확한 실험실 조건하에서 두가지 형태를 가지는 칼슘 카보 알루미늄베이트의 존재가 포틀랜드 시멘트와 석회석 분말의 혼합물에서 검출되고 있음은 대다수의 연구자들에 의해 입증된 바 있다. 이제 이러한 작용이 실제 상황에서 일어나는 것인지, 그렇다면 어떠한 영향이 있는 것인지가 논쟁의 출발점이다.

《譯者註 : 本文은 美國 Southwestern 시멘트社의 生産部長인 Mayfield氏가 寄稿한 原文內容을 完譯한 것임》

### 〈參考文獻〉

- 1) Goetze, A. (translator), "The Laws of Eshnunna," in *The Ancient Near East*, J. B. Pritchard, Ed., Princeton University Press, Princeton, NJ, 1958, p. 138.
- 2) Meek, T. J. (translator), "The Code of Hammurabi," in *The Ancient Near East*, J. B. Pritchard, Ed., Princeton University Press, Princeton, NJ, 1958, p. 163.
- 3) Boynton, R. S., "Chemistry and Technology of Lime and Limestone," John Wiley, New York, 1966, pp. 3-4.
- 4) Bogue, R. H., *The Chemistry of Portland Cement*, 2nd ed., Reinhold, New York, 1955, pp. 4, 486-488.
- 5) Cummings, U., *American Cements*, Rogers and Manson, Boston, 1898, p. 13.
- 6) Blanks and Kennedy, *The Technology of Cement and Concrete*, John Wiley, New York, 1955, pp. 4-5.
- 7) Le Chatelier, H., "Experimental Researches on the Constitution of Hydraulic Mortars," translated by J. L. Mack, McGraw, New York, 1905, pp. 121-122, 90-91.
- 8) Lesley, R. W., *History of the Portland Cement Industry in the United States*, International Trade Press, Chicago, 1924, p. 109.
- 9) Draffin, J. O., "A Brief History of Lime, Cement, Concrete and Reinforced Concrete," *Journal of the Western Society of Engineers*, Vol. 48, No. 1, March 1943, pp. 22-23.
- 10) Mather, B., "Cement Specifications," Portland Cement Association, Mill Session Papers, M-199, 1973, p. 4.
- 11) Taylor, F. W. and Thompson, S. E., *A Treatise on Concrete Plain and Reinforced*, John Wiley, New York, 1906, pp. 29, 4.
- 12) Butler, D. B., *Portland Cement*, E. & F. N. Spon, Ltd., London, 1899, pp. 268-271, 281-282.
- 13) Falk, M. S., *Cements, Mortars and Concretes*, M. C. Clark, New York, 1904, p. 159.
- 14) Redgrave, G. R. and Spackman, C., *Calcareous Cements*, 2nd and revised ed., Charles Griffin and Co., Ltd., London, 1905, p. 70.
- 15) Meade, R. K., *Portland Cement*, 2nd ed., Chemical Publishing Co., Easton, PA, 1911, p. 481. ♣

〈資料 : CCA, ASTM, Vol. 10-1, 1988〉