

日本시멘트 産業의 現況과 展望

李 卿 喜

〈明知大學校 教授·工博〉

1. 1983年 日本시멘트産業現況

1) 生産動向

1983년도의 日本시멘트業界의 生産動向은 需要不振으로 말미암아 크링카기준 7,998 만톤, 시멘트기준 7,940 만톤으로서 크링카와 시멘트 모두 5年連續 前年 實績을 밑도는 경향을 보이고 있다. 이와같은 현상은 1984년에 들어서도 持續돼 지난 4월의 生産量은 크링카 전년대비 97%, 시멘트도 97.2%로 나타나고 있다.

品種別시멘트의 生産現況은 1983년 포틀랜드 시멘트系가 87.9%로서 전년도 구성비에 비교하여 1.0포인트 低下를 보였으며 이러한 현상은 1984년말까지 계속될 것으로 보인다. 生産量 低下의 大部分은 普通시멘트로서 普通시멘트의 감소를 절실하게 느끼게 한다. 한편 混合시멘트系에서는 高爐시멘트 生産의 增加가 특히 눈에 띄는데 그 伸張率은 1983년에 10.7%로서 사상처음 10%선을 넘겼으며 매년 꾸준한 增加를 볼 수 있다.

日本の 시멘트生産方式에는 乾式이 5개의 양식에 의하여 生産되고 濕式이 4개의 양식을 保有하고 있으며, 省에너지 및 省資源 合理化의 꾸준한 노력에 힘입어 乾式的 省에너지 合理型으로 移行돼 온 끝에 1982년을 기점으로 하여 全시멘트 生産이 모두 乾式 生産을 하게 되었다.

특히 NSP에 의한 生産은 78.2포인트로서 1981

년도에 비하여 3포인트정도 높아졌다. 이와 같은 현상은 1983년에도 계속되어 1983년말을 기점으로 볼때 特別한 目的을 가진 DB키른을 제외한 全키른의 NSP化가 기대되고 있다.

(〈表-1〉 참조).

原料消費를 原單位로 보면 實數로 볼때 石灰石이 減少되고 있으며 粘土 및 鐵鑛石은 增加되고 있다. 이와 같은 傾向은 高爐슬래그, 플라이애쉬 등이 代替 原料로서 使用되고 있으므로 앞으로도 계속될 것으로 보인다.

燃料 및 電力原單位를 보면 1982년은 1983년에 비하여 燃料面에서 약 5%, 電力面에서 약 2.5%의 절감을 보이고 있으며 1983년의 실적은 아직 완전한 수치는 발표되고 있지 않으나 1982년도 실적을 넘어 설 것으로 예상되고 있다. 〈그림-1~4〉에는 1983년도 일본 시멘트 生産량에 관한 자료를 참고로 표시한다.

〈그림-1〉은 일본의 총시멘트 生産량 및 國內의 판매량의 연도별 變化를 나타낸다. 〈그림-1〉에 의하면 1979년을 기점으로 하여 일본의 총시멘트 生産량이 계속 하락하고 있음을 한 눈에 볼 수 있다. 한편 國內수요를 보면 역시 1979년을 기점으로 하여 계속 수요의 감퇴를 보이고 있으며 1980년부터의 시멘트 해외 수출은 꾸준한 증가 추세를 보이고 있음을 알 수 있다.

일본에 있어서의 시멘트 수출 상대국의 내역을 살펴 보면 1979년 싱가포르가 136 만톤, 홍콩이 96 만톤이며 中東지역의 사우디아라비아 274

製 造 樣 式

<表-1>

年度	乾 式					濕 式			
	DB	HCB	L	SP	NSP	WFB	W	WF	WL
1975	5.8	2.7	13.8	33.6	39.1	1.0	3.7	-	0.3
1978	3.6	1.6	9.4	18.7	65.5	0.5	0.5	-	0.2
1979	4.3	2.2	9.9	26.5	55.4	0.7	0.7	-	0.3
1980	4.1	0.9	6.9	15.9	72.2	-	-	-	-
1981	4.0	-	5.0	15.7	75.3	-	-	-	-
1982	4.0	-	2.9	14.9	78.2	-	-	-	-

만톤, 쿠웨이트 202 만톤 등이다. 이와 같은 수출추이는 1983년까지도 변함이 없어 1983년 실적에 의하면 싱가포르가 142 만톤으로 1979년에 비하여 6 만톤 증가, 홍콩이 96 만톤으로 약간 증가, 사우디아라비아가 237 만톤으로 37 만톤 감소된 반면 쿠웨이트가 246 만톤으로 44 만톤의 증가를 보이고 있다.

<그림-2>에는 PC와 혼합시멘트와의生産량의 比率을 年度別로 표시하였다.

<그림-2>에 의하면 1978년부터 계속하여 PC의生産量 比率이 줄어들고 있으며 그에 비하여 혼합시멘트의 비율은 그 伸張이 눈에 띄

이게 늘어나고 있음을 알 수 있다. <그림-3>에는 PC中에서 각종시멘트 生産량의 비율을 연도별로 표시했다.

이 그림에서 미미한 양을 나타내는 중용열 PC는 도시하지 않았으며 早強 PC의 경우도 대체로 내황산염 PC와 거의 동일한 수치를 나타내므로 도시하지 않았다.

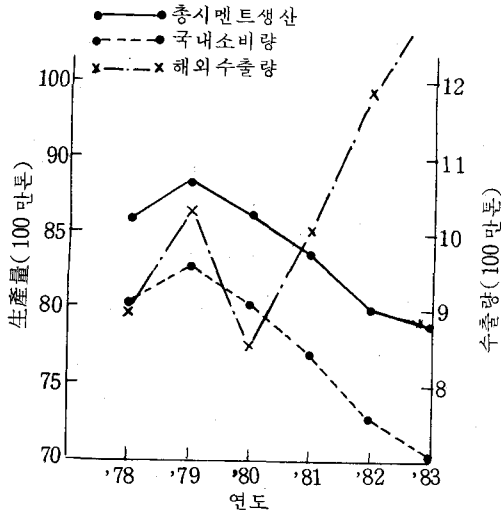
<그림-3>에 의하면 보통 PC의 감소가 뚜렷이 보이며 내황산염PC의 증가가 눈에 띄게 늘어나고 있음을 알 수 있다. <그림-4>에는 혼합시멘트의 종류별 生産량의 연도별 변화를 나타냈다.

시멘트原料 및 燃料消費原單位

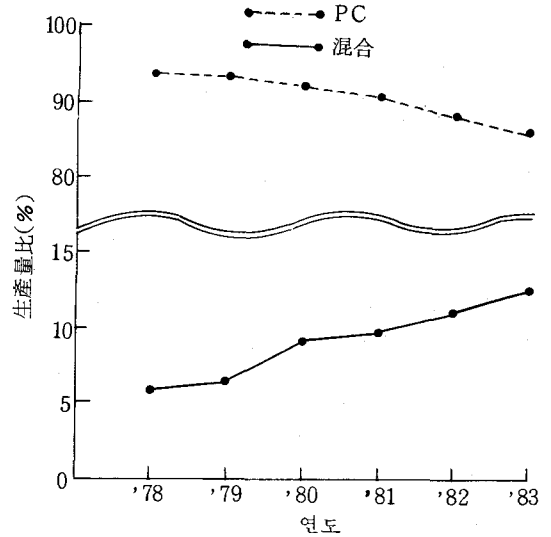
<表-2>

(單位: 천톤, kg/크링카톤, %)

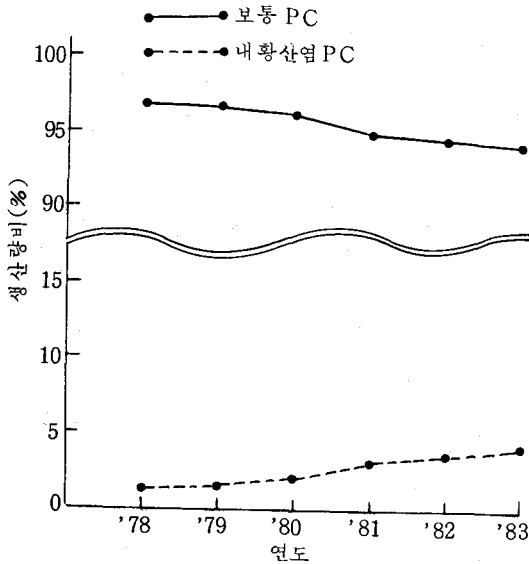
年度	1979			1980			1981			1982		
	消費	原單位	構成比	消費	原單位	構成比	消費	原單位	構成比	消費	原單位	構成比
석회석	105,484	1,164	77.3	100,733	1,153	77.4	97,452	1,148	77.6	92,681	1,144	78.6
점토	23,402	231	17.1	21,917	225	16.9	20,786	221	16.5	20,452	228	15.6
규석	4,254	46	3.1	4,284	48	3.3	4,080	47	3.2	3,740	45	3.1
철광석	2,805	30	2.1	2,652	30	2.0	2,722	31	2.2	2,660	32	2.2
기타	524	6	0.4	539	6	0.4	626	7	0.5	629	7	0.5
소계	-	1,477	100	-	1,462	100	-	1,454	100	-	1,456	100
석고	화학	2,602	28	2,650	29		2,711	30		2,680	31	
	천연	1	0				99	1		58	1	
중유(1,000 kl)	6,955	76 l/ct		3,385	38		631	7		494	6	
석탄(1,000 톤)	1,556	18 kg/ct		6,236	74		10,118	123		9,230	118	
전력(100 만 kwh)	10,486	121 kwh/ct		10,135	120		9,773	119		9,567	116	



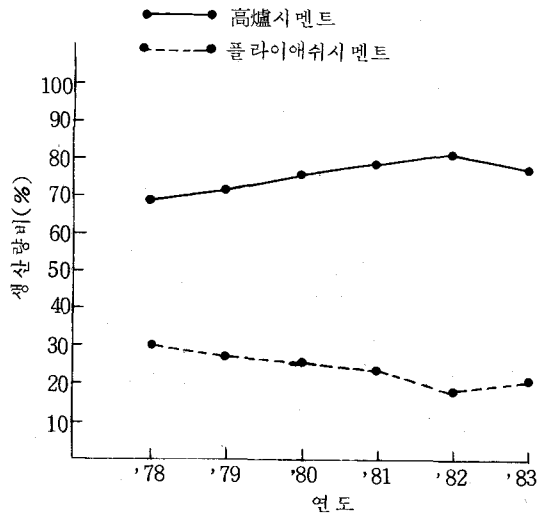
〈그림 - 1〉 일본의 총시멘트 생산량 및 국내의 판매량 年度別 變化



〈그림 - 2〉 PC와 혼합시멘트 生産量比의 年度別 變化



〈그림 - 3〉 PC 中 各種시멘트 生産량比의 年度別 變化



〈그림 - 4〉 혼합시멘트의 종류별 生産량의 年度別 變化

그림에 시리카혼합 시멘트를 도시하지 않은 것은 그 양이 아주 적기 때문이다. 〈그림-4〉에 의하면 고로시멘트의 생산량이 증가를 보이는 한편 플라이애쉬혼합 시멘트의 양이 줄어들고 있음을 보여 주고 있다.

2. 시멘트 연구動向

시멘트化學은 酸化物和 水和物의 溶解析出과 colloid 界面 및 硬化體의 性質을 폭넓게 취급

하고 있으며 시멘트 化學의 基礎命題인 水和過程에 關하여는 溶解 析出을 骨格으로 하는 Le-Chatelier의 結晶說 즉 液相反應說과 未水和物이 있었던 곳에 生成物이 生成된다는 說의 Michaelis의 colloid說, 즉 topo. chemical 反應說로서 쌍벽을 이루고 그 結말은 아직도 미지수인 상태이다.

시멘트 研究方法은 주로 結晶化學 및 characterization 이 強調되고 있으며 한편 新材料의 出現이 늘어남에 따라 단순 재료로서의 性質구 명보다는 도리어 재료실제면에서의 재료의 performance conception 的인 연구가 주목을 받고 있다. 또한 大量生産 및 消費의 특징으로 인한 製造에 關한 環境, 資源, 에너지, 廢棄物問題, 폐기물이용 등도 그 연구의 성과가 크다. 한편 prefabrication의 發展에 따라 반드시 시멘트라야 만이 가능하다는 생각은 점차 바뀌어 시멘트 대체재료의 부각이 눈에 띄게 되었다.

특히 日本의 모든 産業이 知識集約型으로 바뀐 오늘날에 와서는 시멘트工業 역시 從來의 포틀랜드 시멘트만의 製造競爭은 점차 그 意味를 잃게 되고 高度産業 國家에서 가능한 새로운 의미의 시멘트의 製造 및 높은 機能을 가진 소위 말하는 Fine cement의 出現이 불가피하게 되고 있다.

예를 들어서 原料 및 에너지의 큰부분을 海外에 依存하는 日本으로서의 슬래그를 主原料로한 低에너지 소비형 시멘트 제조가 거의 完 成 단 계에 있다.

環境문제, 廢棄物관계, 資源관계 및 에너지 문제 등은 人類의 生存과 關係되는 것으로서 例를 들어 有害廢棄物處理에의 시멘트의 化學적 方法은 monomer 含浸시멘트의 원자력 폐기물 처리 方法 등에서 거의 현실적인 단계에 와있으며 이 方法의 특징은 化學工學 및 세라믹스 的인 方法과 比較하여 省力 및 省에너지적인 側面에서 그 기대效果가 크다.

또한 海水로부터 우라늄이나 리튬 등의 採取에 水和物 多孔體의 利用과 clean energy로서의 水素와 石灰化合物의 利用 등에는 시멘트化學, 특히 水和物의 熱力學的 思考方法이 큰 役割을 한다.

最近 獨逸에 있어서의 카오린을 出發原料로하여 生産된 zeolite의 脫水-再水和에 의한 Solar energy의 저장法 등도 水和物의 熱力學的 思考에 그 基礎를 둔 아주 좋은 예의 하나라 할 수 있다.

1) 水和反應 機構

水和反應 機構에 關한 연구결과를 정리하면 C_3S 의 初期水和反應은 우선 C_3S 粒子 表面에 C_3SH_n 을 生成시키고 이로 因하여 잠시동안 水和反應의 지연이 오게되며 C_3SH_n 生成物 表面層中에 C/S mole 比가 낮은 水和物의 核이 生成된다.

C/S mole 比가 낮은 生成物의 核은 成長을 하게되며 이에 따라서 C_3SH_n 層으로 부터는 $Ca(OH)_2$ 의 溶出이 일어나고 이로 因하여 C_3SH_n 層에 細孔이 形成된다. 形成된 細孔을 통하여 물이 内部 未反應 C_3S 粒子로 浸透하게 되고 이로 因하여 C_3SH_n 層内部 에는 内部生成物이 生成되기 시작한다.

이와 같은 反應은 時間이 흐르면서 反應 s-ite가 늘어나게 되며 이에 따라 反應速度가 점차 커지게 된다. 한편 조금 다른 연구 결과에 의하면 水和反應이 誘導期로부터 加速期로 移行하는 메카니즘을 C_3SH_n 保護層에 의한 것으로 說明하지 않고 결합에 의한 것으로 설명한 예도 있다.

反應이 進行됨에 따라서 치밀한 내부 수화물 층은 점점 두꺼워지게 되며 이때부터 反應은 層을 통한 물질의 擴散에 의하여 律速을 이루게 된다.

그 후 내부수화물은 溶解 消失된다는 說도 있으며 水熱反應에 의한 $CaO-SiO_2$ 系에서는 이와 같은 現象이 잘 나타나고 있다.

시멘트 硬化體는 물分子의 透過는 쉬우나 이온의 透過는 물에 비하여 어렵다. 시멘트에 있어서 水和促進劑는 우선 움직이기 쉬운 陰이온을 含有하고 있으며 $Ca(OH)_2$ 의 溶出을 돕게되고 한편 水和遲延劑는 吸着되어 $Ca(OH)_2$ 의 溶出을 억제하게 된다.

또한 시멘트 硬化體는 電氣陰性半透膜의 作

用을 가지며 Na^+ 및 K^+ 이온의 易動度가 크고 白華나 알카리骨材反應을 일으킨다. 硬化體의 荷電은 硬化體 自身의 pH가 높으므로 제타電位의 測定이 대단히 어려우나 減水劑나 遲延劑의 效果, 시멘트와 石綿과의 친숙성 및 유리섬유와의 친숙성, 그리고 膨脹, 收縮, 強度 등과 같은 重要한 性質 등에 깊은 관계가 있음이 밝혀지고 있다.

2) 硬化體의 性質

시멘트 硬化體의 性質은 硬化體의 微細構造의 究明과 함께 커다란 發展을 하여왔다.

시멘트 硬化體의 強度, 彈性率, creep 등의 機械的性質과 水蒸氣 吸脫着的 hysteresis와 그와 同伴되는 길이變化 등이 毛管凝縮水, 吸着水, 層間水의 出入 및 移動에 기인된다.

硬化體內的 應力集中의 크기는 Griffith flaw와의 比가 크고 적음에 따라서 強度가 결정되고 또한 C_3S 硬化體의 破壞는 C-S-H 相을 통하여 傳播되며, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 結晶 주위로 전달된다. 따라서 水和가 進行되면 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 영향은 적어지게 된다.

細孔이 적은 고밀도, 高強度 콘크리트研究에 있어서는 減水劑를 使用했을 때의 水和 反應速度, 膨脹收縮, 強度, 水和硬化體의 細孔構造 등이 問題가 되고 있다.

한편 Ettringite의 경우 長時間 加壓 및 長時間 서서히 乾燥시켜 거의 完全 치밀화된 半透明 상태의 것을 얻을 수 있으며 이때의 強度는 約 $1,000 \text{ kg/cm}^2$ 의 것을 얻을 수 있다. 시멘트硬化體는 zeolite나 silica gel과 흡사한 정도의 細孔을 가지며 더우기 層構造를 이루고 있으므로 吸着量이 대단히 커서 公害防止 및 廢棄物處理 등에 應用 검토되고 있다.

3) 新 시멘트 製品

各種合成水和物이 새로운 材料로서 즉 複合材料 素材로서 發展되고 있다. C_2AH_8 과 같은 水和物은 球形의 결정을 얻을 수 있으며 C_3AH_6 는 24面體 혹은 그 이상의 面을 가지는 球狀

에 가까운 多面體 外形의 결정을 얻을 수 있다. 이와 같은 外形을 가진 水和物은 各種 polymer에 多量 配合이 가능하며 이에 따른 polymer의 性質改善 效果는 대단히 크다. 특히 C_3AH_6 는 polymer의 分解開始 溫度인 300°C 附近에서 脫水가 始作되어 polymer의 難燃性 부여에 큰 몫을 할 수 있다. $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 19\text{H}_2\text{O}$ 는 層間에 有機物을 침투시켜 重合시킴으로써 複合材料로서의 用途가 창출되고 있으며 이러한 材料의 용도는 점차 수요의 증대로 인하여 Fine cement의 영역을 넓혀 갈 전망이다.

複合材料에 있어서는 無機, 有機, 金屬 등 材料가 서로 다른 物質들을 混合 使用하여 새로운 材料의 物質을 창출시키는데 目的이 있으므로 結合력이 서로다른 物質을 서로 接合시킬 때의 親熱性부여를 위한 界面 化學的 處理가 重要하다.

칼슘 알루미네이트 및 아파타이트 등의 칼슘鹽은 表面 gel을 形成하여 適當한 細孔을 부여시켜 生體適合性을 向上시키는 效果를 가진다.

한편 칼슘鹽의 水和物은 結合력이 크고 安定하며 難溶性이므로 시멘트로서의 役割 以外에 産業廢棄物 處理에도 有效하다. 그 예를 들면 水和物의 大部分은 層構造로서 比表面積이 크며 異物質은 表面에 뿐만 아니라 層間에까지 침투 가능하여 吸着量이 크며 또한 強한 化學的 結合을 하는 경향이 있다. 硅酸鹽 水和物은 層間 칼슘이온 뿐만 아니라 硅素 역시 重金屬 이온과의 置換固定이 可能하다. 한편 Ettringite의 경우에는 더욱 難溶性으로서 6價크롬 등이 置換固定 된다.

4) 시멘트 材料設計

시멘트 化學은 순수 材料의 性質, 즉 結晶學的 및 硬化體의 性質을 추구하는 側面으로부터 材料의 設計라는 側面에서의 검토가 점점 강조되면서 복합양상을 지닌 시멘트의 수화 및 경화 기구를 동적관점에서 전체적으로 파악하고 그 과정 속에서의 제어인자를 파악, 제어가능 하도록 材料設計의 研究가 활발해지고 있다.

시멘트의 使用은 물, 모래, 시멘트, 골재 및 각

시멘트 경화체 물성發現에 관계되는 시멘트의 Character

<表-3>

물 성		character
유 동 성	응 결	C ₃ A _{ss} 의 수화; Ettringite 생성량과 형태, 반수석고량, fCaO量, fCaO量과 結晶度, C ₃ A _{ss} 양과 結晶系, C ₃ S量과 結晶系, 石膏量 및 種類
강 도	초 기 강 도 장 기 강 도 곡 강 도	CA, C ₁₁ A ₇ CaF ₂ - CaSO ₄ ; C ₄ A ₃ S ⁻ - CaSO ₄ 量, C ₃ S _{ss} 結晶系 및 量 C ₂ S _{ss} 의 量과 결정계 알루미늄산칼슘, CaSO ₄ , fCaO와 그 함량比
체 적 색	안 정 성 상	C ₃ A, CA, C ₄ A ₃ S, CaSO ₄ 의 量과 함량比, CaO 조성과 粒子徑 Fe ₂ O ₃ , MgO量과 그 비율, Fe ³⁺ (Fe ²⁺)의 量.
내 구 성	내 약 품 성 내알카리골재반응성 내 화 성	C ₃ S _{ss} 量, C ₃ A _{ss} 量, C ₄ AF量. 알카리量 Al ₂ O ₃ , BaO, SrO ₂ , ZrO ₂ 의 量.
시 공 성	(주입성)	입경, 입도분포 및 유동성 character, C ₂ S量, C ₄ AF量.

種混合劑 및 混和劑의 複合物로서 paste, mortar, concrete 등의 形態로 使用된다. 한편 使用條件의 폭도 넓어서 각각 다른 환경에서 水和反應의 進行과 同時에 시공이라는 動的 過程을 對象으로 物性を 제어해야 하므로 混合系에 있어서의 相互作用과 物性的 經時變化에 對應되는 dynamic character의 決定方法을 확립시킬 필요성을 가져온다.

材料設計의 側面에서 重要的 것은 材料에 要求되는 物性を 明確하게 鼎立시킬 必要가 있다. 이러한 의미에서 材料設計의 側面에서 시멘트 paste, mortar 및 concrete에 要求되는 character를 열거하면 다음과 같다.

① 굳기전까지의 시멘트混合物的 粘性制御와 凝結時間의 調節→slump의 經時變化 및 凝結

시간.

② 強度特性, 強度發現特性的 制御→ 曲強度가 높고, 빠른시간에 높은 強度를 나타내며 長期強度가 높고, 低温養生에 있어서도 빠르고 충분한 強度의 發現.

③ 硬化體의 길이 및 體積安定性的 制御→硬化後의 膨脹 및 乾燥收縮.

④ 耐久性的 制御→耐候性, 耐骨材性, 耐化合物性, 耐海水性, 耐火性.

⑤ 色の 制御→變하지 않는 均一色

⑥ 施工性的 制御→浸透性, 高温高壓下에서의 流動性,

등을 들수 있다.

<表-3>에는 시멘트 硬化體의 物性發現에 關係되는 시멘트의 character를 정리한다.♣

~~~~~  
집필을 마치며  
~~~~~

큰 과제를 집필의뢰 받은 후 약 4개월간 고심하였다.

과제에 비하여 불충분한 내용을 집필하여 송구스럽기 짝이 없으나 본인이 시멘트의 수화반응을 전공하고 있으므로 주로 수화 및 경화라는 시멘트 사용자측에서의 학문적인 방향과 현상의 일부를 축소집필하였다.

끝으로 이 글을 집필함에 있어서 참조 인용한 것은 日本 세라믹스誌(1978~1983년)와 日本 시멘트콘크리트誌(1978~1983)임을 밝혀둔다.