

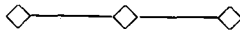
管理職을 爲한 시멘트知識

金 東 洙

(東洋시멘트(株) 生産管理部次長)

目 次

- I. 序 論
- II. 시멘트의 定義
- III. 시멘트의 製造
- IV. 시멘트의 品質과 規格
- V. 시멘트의 特性
- VI. 시멘트 種類別 用途
- VII. 結 論



I. 序 論

포틀랜드 시멘트는 建設部門의 基礎材料로서 國家經濟發展에 따라 그 需要도 크게 伸張되어 온 바 1980년도 世界 시멘트 生産量은 8억4천만톤에 達하고 있다.

韓國의 시멘트 工業도 經濟發展에 따른 高度 成長에 힘입어 시멘트의 生産能力이 비약적으로 增大돼 81年度 시멘트 生産能力이 2천3백만톤을 웃돌고 있다.

그러나 1974년과 1979년의 두차례 energy 파동은 國內外에 景氣沈滯를 가져왔으며 시멘트의 需要減少는 energy 費用의 양등과 더불어 시멘트産業에 深刻한 經營壓迫을 주는 要因이 되고 있음은 周知의 事實이다.

시멘트 業界는 이러한 惡條件 下에서도 國際 競爭力 提高를 爲해 燒成用 燃料의 脫石油化政策을 果敢히 推進, 他業界보다 먼저 短時間內에 石炭轉換을 이룩하여 이를 바탕으로 內需物量 不振에 따른 剩餘物量을 輸出로 돌리고 있

으나 輸出市場의 競爭激化 등 輸出與件이 점점 어려워지고 있는 局面이다.

더우기 오늘날의 시멘트市場은 建設工事의 多樣化로 特殊化 내지 初現代化되어, 使用되고 있는 시멘트도 一般的인 보통 포틀랜드 시멘트로는 機能的으로 不充分해서 工事性格에 맞는 特殊한 性能을 가진 시멘트가 要求되고 있다.

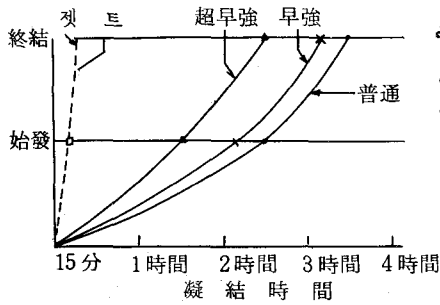
이러한 限定된 特殊性은 限定된 生産量을 갖게되어 시멘트工業 本來의 大量生産에 의한 經濟性이 없어져 凡用性의 보통 포틀랜드 시멘트에 비해 價格이 비싸며 流通面에서도 普編性이 적고 需給도 圓滑치 못하게 되는 短點으로 꼽힌다.

이와 같은 諸般與件에 能動的으로 對處하기 위해서는 시멘트業界 從事者의 경우 시멘트에 관한 限一般的인 知識 정도는 지닐 必要가 있다고 思料되어 시멘트의 常識的인 面을 重點으로 記述코져 한다.

II. 시멘트의 定義

시멘트의 語源은 羅典語로서 “切石”이나 “大理石 碎石”을 意味하여 왔던 것이나 19세기 후반부터 他物質과 結合하는 것이란 語義로 使用되어 왔다.

그렇게 보면, 古代 이집트에서 피라밋의 石塊 結合에 使用되었던 石膏나 Greece 및 Rome 時代의 建築物에 使用되었던 石灰와 火山灰(pozzolan)의 混合物도 一種의 天然 cement라 할 수



〈그림-1〉 各種 시멘트 凝結時間의 一例

있겠다.

現在 널리 使用되고 있는 cement는 19세기 초에 英國의 煉瓦職工 J. Aspdin의 發明에 의한 것이며 當時 많이 使用되고 있었던 portland 石材와 色相이 비슷한데서 由來되어 portland cement 라고 부르게 되었다.

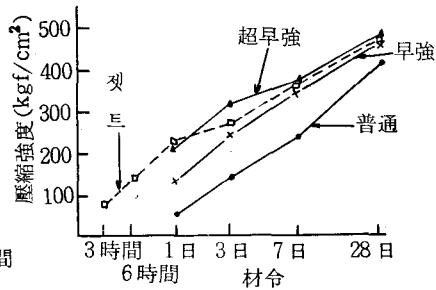
우리들이 一般적으로 cement 라고 부르고 있는 것은 正確히 portland cement 中の 1種 普通 포틀랜드 시멘트이다.

포틀랜드 시멘트에는 此外에 早強 및 中庸熱 시멘트와 白色 포틀랜드 시멘트가 있다. 〈그림-1〉 과 같이 早強 portland cement는 普通 포틀랜드 시멘트보다 약 절반정도의 養生時間에서 같은 強度가 發生한다고 생각하면 틀림없으며 工事を 急히 할 때에 使用한다.

시멘트는 응고할 때에 물과 化合하여 發熱되며 dam 등의 콘크리트에서는 内部에서 發生한 熱이 外部로 發散하지 못하고 溫度가 上昇되어 팽창함으로써 破壞되는 수가 있기 때문에 물과 化合(水和)할 때 發熱量(水和熱)이 적은 cement가 必要하게 된다.

그래서 dam用으로는 中庸熱 포틀랜드 시멘트를 使用하고 白色 포틀랜드는 주로 建築物의 内外裝 用으로 使用되고 있다.

우리나라에서도 포틀랜드 시멘트 外에 高爐



各種 시멘트 壓縮強度 一例

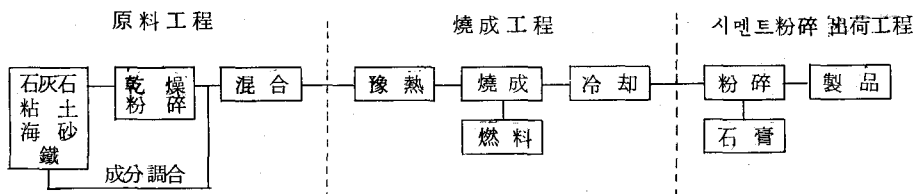
슬래그 Fly-Ash, 실리카質 混合材를 混合한 所謂 고로슬래그 시멘트, Fly-Ash 시멘트, 포틀랜드 포조란시멘트(portland pozzolan cement)라고 하는 混合시멘트가 規格化되어 있다.

이와 같은 混合材는 그 自身만으로는 응고하지 않으나 시멘트가 水和할 때 같이 化合하여 強度가 發生하는 것이 特徵이며 普通 시멘트보다 價格이 저렴할 뿐 아니라 使用目的에 따라서 普通 시멘트보다 우수한 경우도 있다.

Ⅲ. 시멘트의 製造

시멘트 製造工程은 크게 乾式法과 濕式法으로 區分되는데 이들 製造法은 原料 工程上 原料를 乾燥한 後 微粉碎하는 것과 原料를 注水하여 slurry 狀態로 微粉碎하는 것에 差異가 있다.

現在 우리나라에 設置된 플랜트는 全部 乾式法이다. 〈그림-2〉에 表示된대로 製造工程을 說明하면 먼저 原料工程에서는 石灰質原料, 粘土質原料, 硅酸質原料 및 酸化鐵原料를 乾燥하여 調合하게 되며 다음에 粉碎機에서 粉末狀態로 微粉碎한 後 空氣混合裝置로 보내져 原料配合 率차를 縮小시키는데, 最近에는 原料粉末의 成分組成을 均劑化하기 爲하여 On-Line 螢光 X-



〈그림-2〉 工 程 概 要

Ray 分析裝置와 computer 를 結合함으로써 原料 調査의 精度 向上을 도모하는 例가 많다.

燒成工程은 Rotary kiln에 依해 行해지며 燒成 爐에 供給된 原料는 B.C oil 이나 石炭을 燃 燒시킴으로써 1,400~1,500°C에서 燒成되어 크 링카鑛物이 産出되게 된다.

여기서 燒成熱量의 節減과 生産能力을 높이 기 爲해 1960年代 부터 回轉가마의 排gas 出 口側에 豫熱機(Suspension Preheater 일명 S P 라 부름. 싸이크론型的 熱交換機를 數段直 徑

렬로 設置)를 附着, 高溫의 排gas를 利用하여 供給原料의 30~40%를 假燒(CaCO₃을 CaO 로의 脫炭酸反應狀態)시킴으로써 生産能力을 비 약적으로 增大케 되었으며 또한 1970年代에는 S P 部에 別途 燃燒爐를 設置, 脫炭酸率을 더욱 向上시켜 燒成能力을 大幅으로 增大한 新 燒 成工法인 NSP方式이 開發되었다.

燒成爐에서 나온 크링카(半製品)는 冷却機에 서 急冷시킨 後 시멘트 粉碎機에 보내져 크링 카 鑛物에 3~4%의 石膏를 添加하여 微粉碎

화 학 성 분

<表-1>

항 목	종 류	1 종		2 종		3 종	
		A 급	B 급	A 급	B 급	A 급	B 급
실리카(SiO ₂) (%)				21.0 이상	21.0 이상		
산화 알루미늄(Al ₂ O ₃) (%)				6.0 이하	6.0 이하		
산화 제이철(Fe ₂ O ₃) (%)				6.0 이하	6.0 이하		
산화 마그네슘(MgO) (%)		6.0 이하	5.0 이하	6.0 이하	5.0 이하	6.0 이하	6.0 이하
삼산화황(SO ₃)							
3 CaO Al ₂ O ₃ 가 8% 이하일 때 (%)		3.0 이하	3.0 이하	3.0 이하	3.0 이하	3.5 이하	3.5 이하
3 CaO Al ₂ O ₃ 가 8%를 초과할 때		3.5 이하	3.5 이하			4.5 이하	4.5 이하
강열 감량(%)		3.0 이하	3.0 이하	3.0 이하	3.0 이하	3.0 이하	3.0 이하
알루미늄산 3석회(3CaO Al ₂ O ₃) (%)				8.0 이하	8.0 이하	15 이하	15 이하
규산 3석회의 알루미늄산 3석회(1)의 합계(%)				58 이하	58 이하		

물 리 성 능

항 목	종 류	1 종		2 종		3 종		
		A 급	B 급	A 급	B 급	A 급	B 급	
분 말 도(1)	비 표면적 Blam(cm ² /g)	2800 이상	2600 이상	2800 이상	2600 이상	-	-	
	표준 체 88 μ의 잔분(%)		10 이하		10 이하	-	-	
안 정 도	오오토클레이브 팽창도(%)	0.8 이하	0.8 이하	0.8 이하	0.8 이하	0.8 이하	0.8 이하	
응 결 시 간	길모어 시험	초 결(분)	60 이상	60 이상	60 이상	60 이상	60 이상	60 이상
		종 결(시간)	10 이하	10 이하	10 이하	10 이하	10 이하	10 이하
	비이커 시험	초 결(분)	45 이상	60 이상	45 이상	60 이상	45 이상	60 이상
		종 결(시간)	8 이하		8 이하		8 이하	
수 화 열	7 일(cal/g)			70 이하	70 이하			
	28 일(cal/g)				80 이하			
압 축 강 도 (kgf/cm ²)(2)X ³)	1 일					125 이상	102 이상	
	3 일	127 이상	120 이상	105 이상	105 이상	245 이상	197 이상	
	7 일	197 이상	185 이상	175 이상	175 이상			
	28 일	281 이상	260 이상	281 이상	245 이상			

한 後 出荷하게 된다.

1981年 8月 18日 KS 規格 改定에서는 에너지節約과 廢資源活用이라는 國家的인 견지에서 보통 포틀랜드시멘트에 5% 範圍內的 슬래그 포조란 플라이애쉬 같은 添加劑를 混合할 수 있게 品質規格을 變更하였다.

IV. 시멘트의 品質과 規格

〈表-1〉〈表-2〉은 시멘트品質의 韓國工業規格(KS)과 世界主要國 規格을 表示한 것으로 現在 KS에는 포틀랜드시멘트 4種類와 混合시멘트 3種類가 規程되어 있다.

V. 시멘트의 特性

〈表-2〉 世界主要國規格(美國, 英國) (보통포틀랜드시멘트)

ITEM	UNIT	ASTM C 150-70	BS 12-1978
CHEMICAL COMPOSITION			
SiO ₂	%		
Al ₂ O ₃	%		
Fe ₂ O ₃	%		
CaO	%		
MgO	%	< 6.0	< 4.0
SO ₃	%	< 3.0 < 3.5 (C ₃ A ≤ 8), (C ₃ A > 8)	< 2.5 < 3.0 (C ₃ A ≤ 5), (C ₃ A > 5)
Loss on Ignition	%	< 3.0	< 3.0
Insoluble residue	%	< 0.75	< 1.5
Lime saturation factor	%		0.66 - 1.02
Alumina-Iron ratio	%		> 0.66
Alkalies	%	< 0.6 Na ₂ O + 0.658K ₂ O	
PHYSICAL PROPERTIES			
Fineness, specific surface			
Blaine	cm ² /g	> 2800	
Lea - Nurse	cm ² /g		> 2250
Soundness			
Autoclave expansion	%	< 0.80	
Le - Chatelier	mm		< 10
Time of setting			
Gillmore test			
Initial set	hr - min	> 60 min	
Final set	hr - min	< 10 hrs	
Vicat test			
Initial set	hr - min		> 45 min
Final set	hr - min		< 10 hrs
Compressive strength			
3 days	N/mm ²	> 12.4	> 13
7 days	N/mm ²	> 19.3	
28 days	N/mm ²	27.6	> 29

註 ASTM : American Society for Testing and Materials 약자 미국규격
BS : British Standards 약자 영국규격

1. 시멘트의 物理的 性質

灰色粉末의 시멘트를 손에 쥐어 손가락으로 문지르면 촉감을 느끼고 입에 넣어도 거친程度일 뿐 無味乾燥한 物質이나 시멘트에 물을 加하면 硬固하여 지는 것을 알 수 있다.

그래서 시멘트에 물을 加하여 混練한 後 放置하면 2~3時間에 凝固하지만 칼(knife)로서 쉽게 切斷할 수 있다.

이러한 狀態를 시멘트가 凝結하였다고 한다.

시멘트에 물을 넣어 混練한 다음 물게 된 것을 거푸집에 流込시켜 放置하면 곧 凝固하고 硬固해지는 性質을 水硬性이라고 한다.

시멘트와 恰似한 것으로 石灰가 있으나 보통의 消石灰는 물을 加하여도 硬固하지 않고 空氣中の 炭酸 gas (CO₂)와 化合하여 炭酸石灰로 될 때 硬化하는데 이런 性質을 氣硬性 이라고 한다.

그러나 이 化學反應은 常溫에서는 매우 늦고 시멘트와 같이 널리 使用되지 않고 있다.

시멘트는 一種의 풀이라 할 수 있으며 풀로서 物體를 附着할 때 풀의 層을 두껍게 하는 것은 損害이다. 시멘트 풀의 경우도 單獨으로 建設工事に 使用되는 것이 아니고 자갈, 모래와 같이 混合하여 쓰이며 자갈, 모래와 시멘트를 混合하여 硬化한 것이 바로 콘크리트 (Concrete)이다. 모래와 시멘트를 混合 물을 加하여 硬化시킨 것은 mortar, 시멘트에 물을 加하여 混合한 것을 시멘트풀 즉 cement paste라고 한다.

시멘트에 要求되는 性質은 먼저 強度이다. 그러나 시멘트의 強度試驗法은 모래, 水量, mold 등이 國家에 따라 서로 다르므로 各國의 試驗值를 直接 比較 될 수 없다는 不便이 있다. 시멘트에 물을 加하면 2~3時間內에 凝結되는데 이 凝結時間은 使用上에 매우 重要的 要素가 되고 있어서 시멘트 凝結時間을 測定 管理하도록 KS 規格으로 規制하고 있다.

시멘트는 使用時間이 經過함에 따라 膨脹하여 균열을 發生하는 것도 있는데 이것은 燒成 不良인 경우(遊離石灰가 많음)에 많이 發生하

며 이것을 調査하는 것이 安定度試驗(soundness test)이다.

韓國工業規格(KS)에서는 이 外에도 시멘트의 粉末度를 測定하게 되어있다. 粉末度는 強度에 關係가 있는 重要的 性質이며 粉末度는 1 cm² 當 70 細目の 篩로서 選粉한 殘分의 百分率(%)로 表示하며 이것을 細度(fineness)라고 한다.

KS 規格에는 10%로 規定되어 있으나 近來에는 시멘트의 強度를 向上시키기 爲해 점점 微粉碎를 높여 粉末度를 5%前後로 하고 있다.

그러나 이것은 篩를 通過한 95%가 어떤 粒度로 分布되어 있는가는 알 수 없으므로 시멘트의 性質을 表現하는 데는 不充分하여 이를 改善 補完코져 시멘트 1g의 表面積(cm²)을 粉末度로 表示하는 方法이 考案되었다.

이것은 美國의 Blaine 氏가 考案한 것으로써 시멘트層 속을 一定量의 空氣가 通過하는 時間으로부터 表面積을 即時 計算할 수 있는 裝置로서 簡單하고 便利하기 때문에 世界的으로 널리 使用되고 있다.

우리나라에서도 시멘트의 粉末度는 Blaine 法으로 測定하도록 規程되어 있다.

2. 시멘트의 化學的 性質

韓國工業規格에서는 포틀랜드 시멘트를 다음과 같이 定義하고 있다.

「포틀랜드 시멘트는 크링카에 適量의 石膏를 加해 粉碎하여 製造한다. 크링카는 주로 石灰質原料, 粘土質原料를 適當한 比率로 充分히 混合하여 그 一部가 溶融할 때까지 燒成하여 얻어진 것이다」

그렇다면 시멘트는 化學的으로 어떠한 것일까. 보통 포틀랜드 시멘트를 化學分析하면 <表-3>과 같이 된다.

其中 SO₃와 그것에 對應하는 CaO는 주로

普通포틀랜드 시멘트의 分析值
<表-3>

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃
62-65	21-23	5-6.5	2.5-3.5	1.1-2.2

石膏에서 온 것이고 其他의 것은 위의 定義에서 말한 바와 같이 clinker 라고 할 수 있다.

즉 크링카는 主成分으로써 $CaO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3$ 를 대체로 위의 比率로 含有하고 있다고 보겠으나 그밖에 各種의 元素를 少量씩 含有하고 있어서 上記 4成分의 合計는 100%가 되지 않는다.

시멘트의 性質을 決定하는 것은 上記 4成分이며 시멘트 性質을 理解하는 데는 이들 主成分의 그 絶對值가 아닌 다음과 같은 係數로 表示한 方法이 便利하다.

1) 水硬率 (Hydraulic Modulus: HM)

시멘트工場에서는 시멘트原料의 調合, 製造된 시멘트의 品質管理를 爲해서 化學成分比를 活用하여 成分管理를 行하고 있다.

$$\text{水硬率 (HM)} = \frac{C}{S+A+F}$$

(註) C, S, A, F는 $CaO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3$ 의 略字임.

原料나 크링카의 경우는 위의 式이 되며 시멘트의 경우는 C의 代身에 $C-0.7 \times SO_3$ 를 適用한다.

水硬率は 시멘트工場에선 시멘트 強度發現上 가장 重要한 係數이므로 이 값을 제일 重要視하고 있으며 一般的으로 이 값이 클수록 燒成하기는 어려우나 早期強度가 나타난다.

2) 珪酸率 (Silica Modulus: SM) = $\frac{S}{A+F}$

이것이 높으면 原料混合物의 燒成이 困難하여 燒成에 高溫이 必要하게 되어 燃料消費가 많아진다. SM이 높으면 크링카에 C_2S 가 많게 되어 長期強度가 나타난다.

3) 鐵率 (Iron Modulus: IM) = $\frac{A}{F}$

이것은 Al_2O_3 와 Fe_2O_3 와의 量的 關係를 나타내는 比率로서 시멘트의 易燒成(burnability)에 影響이 크다.

鐵率이 높으면 燒成이 어려워 燃料消費가 增加되며 Al_2O_3 가 많은 原料로 生成된 시멘트가 되어 C_3A 含有量이 많게 되어 初期強度가 높고 水和熱이 크고 黃酸鹽 抵抗性이 적게 된다.

4) 活動係數 (Activity Index: AI) = $\frac{S}{A}$

이 係數는 燒成된 크링카에서는 珪酸率(SM)과 똑같은 意味를 가진다.

5) 石灰飽和度 (Lime Saturation Factor: LSF)

크링카中에 實質的으로 어떤 化合物이 生成되고 있는가를 알기 爲하여 CaO 의 最大含有量을 定할 必要가 있다. 石灰飽和度가 높은 原料混合物은 크링카 燒成이 어려워 크링카에 遊離 CaO 含量이 많게되는 危險이 있으며 燒成이 잘된 크링카는 早強型 크링카를 얻을 수 있다.

石灰飽和度가 낮은 原料混合物은 C_3S 가 적고 C_2S 가 많게되어 遲硬性 크링카가 된다. 特히 英國 規格에서는 이것을 重視하여 보통 포틀랜드 시멘트 및 早強 포틀랜드 시멘트는 $0.66 \leq LSF \leq 1.02$ 로 規定하고 있으며 시멘트 化學成分으로부터 LSF를 求하는 式은 다음 계산 式을 適用하고 있다.

$$LSF = \frac{CaO - 0.7 SO_3}{2.8SiO_2 + 1.2Al_2O_3 + 0.65Fe_2O_3} \leq 1.02 \sim \geq 0.66$$

以上の 比率 係數를 調整하는데 따라 普通 早強 中庸熱 시멘트가 되고 같은 普通 시멘트에서도 性質이 變化하게 된다.

<表-4>에서 SM은 變動하지 않으나 HM, IM은 中庸熱, 普通, 早強 시멘트의 順으로 높아져 있음을 알 수 있다. 또한 같은 係數라 할 지라도 原料에 따라 製造方法에 依하여 性質이 달라지고 있다.

시멘트 化學成分의 KS規格에는 MgO (Magnesium Oxide)가 6%(B급 5.0%) 이하로 되어 있는데 MgO 가 이보다 많으면 콘크리트가 膨脹하여 龜裂을 일으킬 우려가 있기 때문이다.

그러나 MgO 가 有害한 뜻이 아니고 商品으로서의 시멘트는 色相이 重要하며 一般的으로

<表-4> 포틀랜드 시멘트 係數의 範圍

區分	普通	早強	中庸熱	備考
H M	1.95~2.15	2.15~2.30	1.95~2.04	
S M	2.2~2.8	2.3~3.0	2.4~2.9	
I M	1.2~2.2	1.4~2.0	0.9~1.5	

暗綠色(greenish grey colour)이 바람직하나 이 색은 크링카 中의 Fe_2O_3 와 MgO 의 量으로 決定된다.

즉 $MgO \cdot Fe_2O_3$ 의 量이 增加하면 靑色이 增加하고 減少하면 赤色이 增加한다. 즉 크링카에 適量의 MgO 를 投入하면 燒成하기 쉽고 많아지면 害가 된다는 뜻이 되겠다.

시멘트 粉碎機에서 凝結調整(regulating setting time)을 目的으로 添加하는 石膏(gypsum)도 量을 많게 混合하면 시멘트가 膨脹하여 龜裂을 發生시키므로 SO_3 (sulphuric anhydride)의 量은 보통 포틀랜드 시멘트로서 3.0% 以下로 規定하고 있다.

포틀랜드 시멘트의 強熱減量(%)은 시멘트 試料를 $950^\circ C \pm 50^\circ C$ 에서 恒量이 될 때까지 強熱했을 때의 重量減少量의 比率로서 分析試料에 含有되어 있는 水分이나 炭酸 gas 量(CO_2)을 表示한다.

시멘트를 長期間 貯藏하면 空氣中의 水分이나 炭酸 gas를 吸收(風化)하고 이 強熱減量(1g-loss)比率은 0.6~0.9%로서 이의 測定으로 시멘트의 風化度를 알 수가 있다.

強熱減量의 含量이 높으면 強度에 影響을 주게 되므로 高溫多濕 地域에서의 保管時 乾燥狀態 維持가 必要하다.

不溶解殘分(insoluble residue)은 시멘트를 鹽酸溶液으로 溶解하여 除去한 殘留物로서 이것은 單純한 不純物로서 存在하는 것이기 때문에 적은 便이 좋다.

시멘트에는 少量의 石膏를 加하고 있어서 이 石膏中에 不溶解殘分이 약간 含有되어 있다. 포틀랜드 시멘트에서 alkali라 부르는 物質로는 K_2O 와 Na_2O 로 存在되는데 주로 粘土原料에 含有되어 있고 시멘트에는 Na_2O 기준의 total alkali로 0.5~1.0% 程度 含有되어 있는데 되도록 적은 것이 좋다.

이 含量이 어느 水準 以上 到達하면 시멘트 凝結時間 調整이 힘들고 alkali 性 骨材와 反應을 일으켜 콘크리트 破壞要因이 되므로 美國規格(ASTM)에서는 alkali 含量을 規制하고 있다.

total alkali(Na_2O Base) 含量은 $Na_2O + 0.$

$658K_2O$ 로 計算되어진다.

韓國工業規格(KS)에서는 假凝結(false set)을 포틀랜드 시멘트 반죽물, 몰탈 및 콘크리트 混合時 多量의 熱을 發生함이 없이 急速한 硬直現象이 생기나 이 硬直現象은 混合水를 追加함이 없이 混合을 繼續할 때 硬直性이 풀리고 가소성(workability)이 다시 생기는 現象이라고 說明하고 있다.

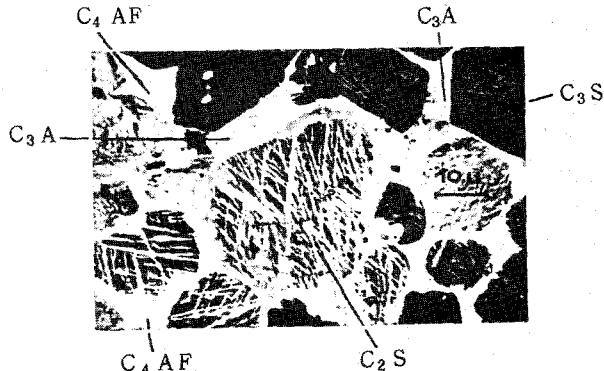
또한 急凝結은 반죽물, 몰탈 및 콘크리트를 混合할 때 一般적으로 相當한 熱을 發生하고 急速한 硬直現象이 생기며 물을 다시 添加하지 않고 混合操作을 繼續할 때 硬直現象이 다시 풀리거나 가소성(workability)이 다시 생기지 않는 現象을 백화현상(콘크리트 또는 몰탈 施工後 相當日數를 經過하면 表面에 白色粉狀이 나타나는 現象)이라고 말한다.

白華自體는 시멘트 硬化에는 별 影響을 주지 않지만 美觀上 問題가 되고 있다.

白華成分은 一定치 않지만 콘크리트 또는 몰탈 表面에 關係材料가 溶解된 물이 증발해서 形成된 可溶性 또는 不溶性 鹽類로 炭酸칼슘($CaCO_3$)이 主成分이며 黃酸소다 黃酸칼리를 少量 含有한 경우가 많다.

白華 生成의 防止法은 W/C(물·시멘트比)을 적게하여 치밀한 콘크리트를 打設하는 것과 白華成分을 不溶化하는 成分을 添加하는 方法 등이 있다.

크링카를 太陽光線 下에서 觀察하면 暗綠色의 粒子가 반짝반짝 빛나는 微細한 結晶이 보인다.



(註) C_3S : 珪酸三石灰, C_2S : 珪酸二石灰
 C_3A : 알루미나산삼산화칼슘, C_4AF : 鐵알루미나산 4산화칼슘

<그림-3> 포틀랜드시멘트크링카 현미경사진

<表-5> 포틀랜드 시멘트의 鑛物比率의 例

區 分	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
普 通포틀랜드시멘트	53	23	8	10
早 強포틀랜드시멘트	67	9	8	8
中庸熱포틀랜드시멘트	48	30	5	11
白 色포틀랜드시멘트	51	28	12	1

이 結晶은 大角形의 것이 C₃S(Tricalcium Silicate 珪酸三石灰), 둥근 것이 C₂S(Dicalcium Silicate 珪酸二石灰), 그 사이 빛나는 부분이 C₄AF(Tetracalcium Aluminoferrite 알루미늄酸四石灰), 밝은 회색으로 보이는 結晶이 C₃A(Tricalcium Aluminate 鐵알루미늄酸四石灰)로 결국 크링카는 4개의 鑛物로서 構成되어 있음을 알 수 있다.

이러한 鑛物은 <表-5>에 表示한 것과 같이 보통 시멘트의 경우 크링카의 約 半은 C₃S(3 CaO, SiO₂의 略字)이다.

C₃S가 많은 시멘트는 短期強度가 發現되므로 早強시멘트는 이것이 많이 含有되도록 한 것이나 그 反面 C₃S와 C₃A는 水和熱이 크므로 中庸熱 시멘트는 이러한 含有比率을 적게 하고 있다.

前述한 諸係數 H M, S M, I M은 이러한 鑛物의 比率을 決定하는 方法이라 할 수 있다.

포틀랜드시멘트 化學成分에서 시멘트를 構成하는 化合物을 計算하는 式은 R. H. Bogue 씨에 依해 提案된 다음式을 使用한다.

$$C_3S(\%) = (4.07 \times CaO) - (7.60 \times SiO_2) - (6.72 \times Al_2O_3) - (14.3 \times Fe_2O_3)$$

$$C_2S(\%) = (2.87 \times SiO_2) - (0.754 \times C_3S)$$

$$C_3A(\%) = (2.65 \times Al_2O_3) - (1.69 \times Fe_2O_3)$$

$$C_4AF(\%) = 3.04 \times Fe_2O_3$$

(上式의 右邊 各 化學成分値는 %을 適用함)

다음은 포틀랜드시멘트의 代表的인 化學成分値를 가지고 전술한 式을 利用하여 計算한 것이다.

- 強熱減量(Ignition Loss) : 2.0 %
- 不溶解殘分(Insoluble Residue) : 0.5 %
- 二酸化珪素(Silicon Dioxide) : 20.0 %
- 酸化알루미늄(Aluminum Oxide) : 6.0 %
- 酸化第2鐵(Ferric Oxide) : 3.0 %

<表-6> 水硬性化合物特性的 相對性比較

項 目	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
強度發現	短期	大	小	大	小
	長期	"	大	小	"
水和熱	中	小	大	"	
化學抵抗性	"	大	小	中	
乾燥收縮	"	小	大	小	

- 酸化칼슘(Calcium Oxide) : 63.0 %
- 酸化마그네슘(Magnesium Oxide) : 1.5 "
- 三酸化황(Sulfur Trioxide) : 2.0 "
- 酸化칼륨(Potassium Oxide) : 1.0 "
- 酸化나트륨(Sodium Oxide) :
- Balace : 1.0 "

計 100 %

水硬率(Hydraulic Modulus: HM)

$$= \frac{CaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3} = 2.17$$

珪酸率(Silica Modulus: SM)

$$= \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} = 2.2$$

鐵 率(Iron Modulus: IM) = $\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} = 2.0$

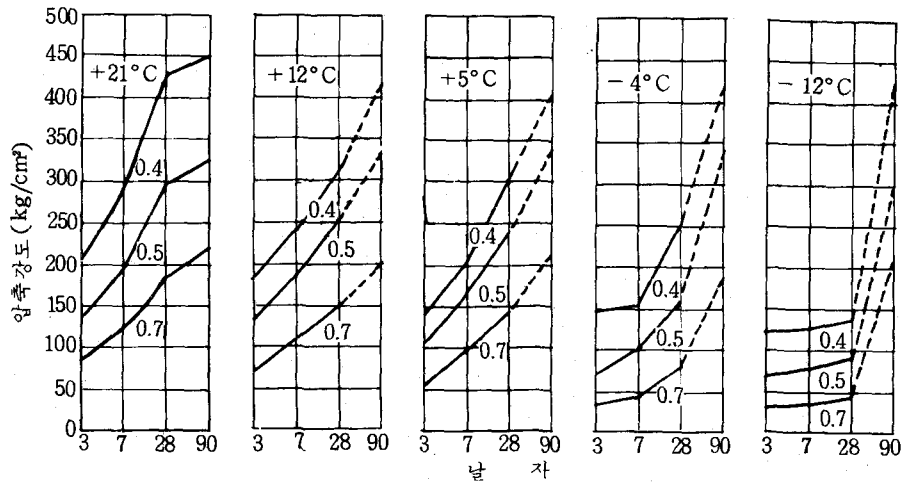
石灰飽和度(Lime Saturation Degree: LSD)

$$= \frac{(CaO) - 0.7(SO_3)}{2.8(SiO_2) + 1.1(Al_2O_3) + 0.7(Fe_2O_3)} \times 100 = 95.2$$

시멘트는 왜 硬化하는 것일까. 그것은 이러한 鑛物이 물과 化合物하여 水和鑛物을 造成하므로 시멘트의 水和物은 水酸化칼슘이나 珪酸칼슘水和物이 가장 많고 알루미늄酸, 칼슘水和物 珪酸四石灰 등 많은 種類로 이루어져 있다.

시멘트 粒子表面에 이러한 水和物이 둘러싸여 水和進行이 妨害되고 있으므로 물로서 混練한 뒤에도 잠시동안은 流動性을 維持한다. 成分中의 C₃A는 먼저 石膏와 反應하지만 石膏가 없어지면 C₃A만의 水和가 始作되고 이와 同時에 C₃S의 水和反應이 進行되어 이러한 水和物이 시멘트 粒子를 相互 結合시켜 凝結狀態가 된다.

時間이 經過함에 따라 시멘트 粒子사이는 微細結晶으로 물려져 그 表面 energy로서 서로



〈그림-4〉 콘크리트 배합조건이 시멘트량 340, 270, 200kg/m³이고 W/C비가 각각 0.4, 0.5, 0.7일 때 양생온도가 압축강도에 미치는 영향

凝集하여 分子間 引力이나 갖가지 結合력이 加해져 強度가 發生하는데 이 強度는 3日後 本來 지니고 있는 硬化力의 約 20%, 7日後는 40%, 28日後는 80%, 3個月째는 90%, 1年 經過하면 95%, 3年 經過하면 100% 硬化하는 것으로 나타나 있다.

그러나 硬化進行 速度는 〈그림-4〉와 같이

클·시멘트 配合比와 溫度에 따라 현저하게 影響을 받으므로 注意를 要한다.

上記數値는 養生溫度가 20°C 前後인 경우의 data 이다.

VI. 시멘트 種類別 用途

시멘트 種類別 用途

種 類	規 格	性 質	主 用 途
1種 보통포틀랜드시멘트 (한) 보통포틀랜드시멘트 (일) Type 1 포틀랜드시멘트 (미) (General use Cement)	KS L 5201 (1982) JIS R 5210 (1964) ASTM C-150 (1959)	MgO, SO ₃ 強熱減量이 規定되고 있으며 또 분말도 응결시간·安定度 및 強度가 各各 規定되고 있다. 一般적으로 시멘트로서 만능 보편적인 性質을 具備하고 있다.	土木, 建築의 各工事に 만능 시멘트로서 널리 使用되고 있다.
2종 중용열 포틀랜드시멘트 (한) 중 용 열 포틀랜드시멘트 (일) Type 2 포틀랜드시멘트 (미) (Moderate heat of hydration Cement)	KS L 5201 (1982) JIS R 5210 (1960) ASTM C-150 (1959)	C ₃ S는 50%以下, C ₃ A 8% 以下로 規定되고 있다. 수화열은 70 cal/g 以下(7일) 80 cal/g 以下(28일)을 維持하게끔 規定되고 있다. 長期強度가 增加된다. 水和熱이 낮고 용적 變化率이 적다. 短期強度는 낮지만 長期強度는 높다.	一般으로 mass concrete用, 댐, 대교량공사 및 거대 構造物的 基礎工事
3종 초강도 포틀랜드시멘트 (한) 초강도 포틀랜드시멘트 (일) Type 3 포틀랜드시멘트 (미) (High early strength Cement)	KS L 5201 (1982) JIS R 5210 (1960) ASTM C-150 (1959)	C ₃ S의 함유량을 最大限度로 維持하며 適當量의 석고에 의하여 응결시간을 調節하고 있다. 特히 早期強度(1일, 3일)을 強하게 發現시킨다. 1일 압축강도 12 kg/cm ² 以上, 3일 압축강도 2 kg/cm ² 以上으로 規定하고 있다. 低溫時에도 強度發現性이 強하다.	지급공사의 경우 보통 포틀랜드 시멘트 대신 使用된다. 寒中공사에 적합하며 建築, 道路 시멘트製品에 使用

種 類	規 格	性 質	主 用 途
4 중저열포틀랜드시멘트(한) " (일) Type 0 포틀랜드시멘트(미)	- - ASTM C-150(1959)	수화열이 중용열 시멘트보다 10 cal/g 낮다. 수화열은 7 일 60 cal/g, 28 일 70 cal/g 이하로 規定되고 있다(ASTM). 浬用 시멘트로서 最低의 水和熱을 發生한다.	2 중 포틀랜드 시멘트와 同一
5 중 황산염 포틀랜드시멘트(한) " (일) Type 5 포틀랜드시멘트(미) (Sulfate Resisting Cement)	ASTM C-150(1959)	C ₃ S 50%以下 C ₃ A 5% 以下로 規定되어 있다. (ASTM) 시멘트의 C ₃ A 含有量을 最大限度로 維持하여 황산염에 대한 저항성을 강조하고 있다.	황산염을 많이 함유하는 토양 地下와 접촉되는 부분의 콘크리트 공사에 사용, 터널수로, 내장 압거, 항만, 해양구조물
포틀랜드포조란시멘트(한) 시 리 커 시 멘 트(일) 포틀랜드포조란시멘트(미) IP 및 IP-A형	KS L 5401 (1964) JIS R 5212 (1964) ASTM C-340-58T	silica 質 混合材料(火山灰, 白土) 를 시멘트와 混合한 製品. 水密性, 化學的 저항성, 耐熱性이 豊富, 시리커 혼합재의 분량(% W)에 따라 3種類가 있다. A: 10% 以下 B: 10~20% 以下, C: 20~30% 以下	一般工浬用 및 浬水路의 mass 콘크리트用
푸 라이 애 쉬 시 멘 트(일)	JIS R 213 (1964)	火力發電所에서 얻어지는 石灰灰(fly-ash) 를 시멘트와 混合한 製品 水和熱이 낮고 化學적 저항성이 豊富하다. 푸라이애쉬의 분량에 따라 3종이 있다. A: 10 以下, B: 10~20 以下 C: 20~30 以下	一般工浬用 浬工浬用에 使用
高 爐 슬 래 그 시 멘 트(한) 高 爐 시 멘 트(일) Portland Blast-Furnace Slag Cement IS 및 IS-A형	KS L 5210(1978) JIS R 5211(1964) ASTM C-205-58 T BS 146: part 2 (1978)	高爐에서 銑鐵을 製造하는 과정에서 生産되는 副産物인 광재(slag)를 急冷해서 混合한 製品. 長期強度, 化學적 저항성, 耐熱性이 좋다. 고로 slag의 분량에 따라 3종이 있다. A: 30% 以下, B: 30~60% C: 60~70% 以下	一般用 浬, mass 콘크리트用 (7項의 使用上의 注意點 參照)

Ⅶ. 結 論

이상과 같이 포틀랜드 시멘트는 獨特한 性質을 지니고 있어서 製品固有의 特性發揮를 爲하여는 시멘트製品의 生産者, 購入者, 販賣者가 시멘트에 關한 豫備知識을 가지고 充分히 協議할 必要가 있다.

시멘트를 理解하는데는 많은 분량의 文獻이 要求되나 여기서 記述한 것은 포틀랜드 시멘트에 對하여 管理者가 一般의 浬로 알아야 할 事項을 要約 說明한 것이므로 未洽한 點이 있지만 實務에 도움이 되기를 期待하는 바이다.

〈 參 考 文 獻 〉

1) Dr. h. c. Wolfgang Czermin, Cement Chemi-

stry and Physics for Civil Engineers, 2nd English edition.

- 2) Kurt E. Peray, Cement Manufacturer's hand book.
- 3) H. Duda, Cement data book.
- 4) The Cement Association of Japan, Cement & Concreae, No. 397, Mar. 1980.
- 5) Labahn 原著, 朴炳哲 譯, 시멘트 기술자 핸드 북.
- 6) 한국양회공업협회, 시멘트技術情報, Vol. 7, No. 4, Aug. 1981.
- 7) 東洋세멘트工業(株) 教育教材(中級)
- 8) ASTM Standards Part 13.
- 9) BSI 12:1978, Specification for ordinary and rapid-hardning Portland Cement.
- 10) KS L 5201-82 포틀랜드 시멘트 ♣♣