

시멘트와 建築



漢陽大學校工科大學
建築工學科教授

洪 鵬 羲

1. 歷史的發展

紀元前 에짚트, 그리스時代의 古建築들은 主로 石材나 煉瓦를 흙반죽으로 構築하였으나 이것은 風雨에 對하여 弱하므로 흙반죽보다 接着性 耐久性이 높은 物質을 發見하기에 努力해 왔다.

마침내 西紀 200年頃부터 로마時代 建築에서 흙반죽 代身으로 mortar를 使用하게 되었다. 勿論 이때의 mortar이라 함은 지금과 같은 Cement mortar이 아니고 火山灰와 石灰에 모래를 混合한 것이었다. 이것은 흙반죽과 같이 乾燥固化에 依한 것이 아니고 水硬性에 依한 硬化作用이 있었으므로 風雨에 接觸도 短時日에 破損되지 않고 상당한 長期間의 壽命을 維持할수가 있었다.

그리하여 Rome 時代以後의 石造建築들은 巨大한 壁體, Dome, Vault 등을 mortar로 組積하여 形成된 것이 오늘까지 그 遺構를 남기게 되었다. 그뿐아니라 Byzantin 建築에 와서는 火山灰·石灰·碎石등을 混合한 Concrete로 建築物의 壁體나 바닥, Dome, Vault에 이르기까지 構築할 수가 있게되었다. 그때부터 이미 그 施工法이 發達되어 型틀을 짜세우고 그 속에 Concrete를 부어넣는 一體式構造法이 使用되었으며 組積式壁의 內部를 補強하는 用途로도 쓰워졌다. 그러나 火山灰는 制限된 地域에서만 얻을 수 있고 強度도 Cement와는 比較되지 않을 程度로 낮은

것이였으므로 그보다 優秀한 物質을 多量生産하여 廣範하게 利用할 수 있는 것을 만들고져 努力한 結果 1824年에 英國人 Joseph Aspdin에 依해 英國에서 손쉽게 얻을 수 있는 Portland stone 이란 石灰石의 一種을 주워서 粉碎한 粉末을 써서 mortar를 만드려 본것이 火山灰 mortar보다 優秀한 性質을 가졌다는 것을 發見하여 이것을 Portland Cement라 부르게 되었다. 그後 1844年에 亦是 英國에서 Issac Charles Johnson에 依하여 그 製法과 品質良改이 이루어져서 現在의인 Portland Cement로 本格的인 生産이 可能케 되었고 그後 1819年에는 프랑스에서 1850年에는 도위취에서 1871年에는 美國에서 1875年에는 日本에서 1919年에는 우리나라에서도 시멘트工場이 처음으로 建設되어 世界的인 生産工業으로 發展된 것이다.

2. 시멘트

Cement란 源語은 라틴語의 Caementum 이란 말에서 온 것인데 처음에는 鑛物의 粉碎物이란 뜻이었으나 1824年以後로 Portland Cement가 發明된 뒤에는 “他物體를 結合시키는 것”이란 뜻으로 通하게 되었다. 위에서 본 歷史的 發達을 거쳐 現代에 와서는 建築材料로서는 빼놓 수 없는 貴重한 材料가 되었다. 現代建築의 三大主要材料로 Cement, steel, Glass라고 보는데 그 중에서도 가장 主要하고 또 多量으로 쓰여지는

것은 Cement 이다.

現在 우리나라 서울에 수많은 高層 Building 들에게서 Cement 를 빼고나면 그야말로 보잘것 없는 모래, 자갈, 쇠, 유리, 나무조각들이 쌓인 쓰레기 더미 같이 될 것이다. 이와같이 貴重한 Cement 에 對하여 몇가지 事項을 알아 보기로 한다.

a) 原 料

石灰分을 主成分으로 하는 石灰石인데 石灰石의 成分은 CaO(54.82%), SiO₂(1.16), Al₂O₃(0.33), Fe₂O₃(0.08), MgO(0.28)등이다. 들쭉原料로는 軟質粘土인데 이 成分은 SiO₂(58.78%) Al₂O₃(18.42), Fe₂O₃(7.60) 其他이다. SiO₂ 成分이 不足한 粘土를 쓸때는 SiO₂ 分을 補充하기 위해 風化된 珪石을 若干 添加하거나 鐵分을 補充하기 위하여 鐵鑛石이나 鑛滓등을 添加하고 緩結劑로 石膏를 燒塊(clinker)에 混合粉碎한다.

b) 製 法

原料配合은 Cement 의 所要性質을 갖게 하기 위해 Cement 의 主要構成化合物의 量에서 各原料의 配合比를 定한다. 그 方法에는 몇가지가 있으나 水硬率(Hydraulic modulus)이라는 것을 쓰는 경우가 많다.

$$\text{水硬率(H.M.)} = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} \approx 1.8 \sim$$

2.4의 範圍로 한다. 大略의 原料量을 Cement 1 ton 當에 對하여 石灰石 1.2t, 粘土 0.3t, 酸化鐵 0.03t, 정도로 보아 全體原料量은 約 1.5ton 이 必要한 셈이다.

위와같은 配合率로 配合된 原料를 充分히 粉碎한 後에 乾式 또는 濕式으로 均一하게 混合한 後에 回轉窯(Rotary Kiln)內에서 1,500°C 정도로 加熱燒成하면 熔融化合하여 潤기있는 帶綠黑色의 자갈만한 덩이가 되어 5/100 정도의 경사도를 가진 回轉窯의 出口에서 排出되어 冷却한 것이 燒塊(Clinker)인데 여기다 石膏를 約 3% 쯤 添加하여 粉末度 3,500cm²/g 정도로 微粉碎

하면 이것이 곧 Portland Cement 이다.

이렇게 粉碎된 Cement 는 Silo 에 貯藏되었다가 計量包裝된 것으로나 無包裝시멘트(Bulk Cement)로 出荷된다.

c) 性 質

Cement 의 成分은 CaO(64.1), SiO₂(22.9), Al₂O₃(4.50), Fe₂O₃(3.11), SO₃(2.37)등인데 그中에서 水硬性이 있는 成分은 CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ 등이고 其他 成分들은 不純物로 Cement 에 包含된다.

Cement 中에 있는 主要 化合組成物은 珪酸三石灰(3CaO·SiO₂=C₃S), 珪酸二石灰(2CaO·SiO₂=C₂S), 알민酸三石灰(3CaO·Al₂O₃=C₃A), 알민酸鐵四石灰(4CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃=C₄AF)등이다.

그 特性은 C₃S는 水和作用이 빠르므로 早期強度(3~28日)를 發生하며 發熱量은 120 cal/g이며 空氣中에서 收縮은 적고 水中에서 膨脹은 약간 큰 편이다. C₂S는 水和作用이 늦어서 長期強度(28日以後)를 發生하고 發熱量은 62cal/g 이며 空氣中의 收縮은 크고 水中膨脹은 적은 편이다. C₃A는 水和作用이 매우 빨라 凝結과 初期強度(3日 以內)를 發生하고 發熱量도 가장 많아 207cal/g 이다. C₄AF는 水和作用이 매우 늦고 發熱量도 적으나 耐硫酸鹽性이 있다. 이와 같은 主要化學組成物의 含有率에 따라 Cement 의 性質의 差異가 생기므로 Cement 中에 몇가지 種類가 생긴다.

Cement 種類別成分表

Cement 種類	C ₂ S(%)	C ₃ S(%)	C ₃ A(%)	C ₄ AF(%)	其他
普通Portland Cement	22-43 (31)	29-54 (43)	9-14 (10)	6-10 (8)	약간
早強	10-28 (15)	34-70 (50)	7-17 (12)	6-10 (8)	〃
中庸熱	22-46 (30)	29-50 (43)	3-9 (6)	10-18 (13)	〃

中庸熱시멘트는 C₃A가 적고 C₄AF가 좀 많은 편이므로 發熱량이 적고 收縮도 적으며 耐酸

◇ 特別企劃 II ◇

酸鹽性이 있고 早強시멘트는 C_3S C_3A 가 많으므로 水和作用이 빠르고 發熱量도 높으므로 緊急工事 寒冷工事 등에 쓰인다.

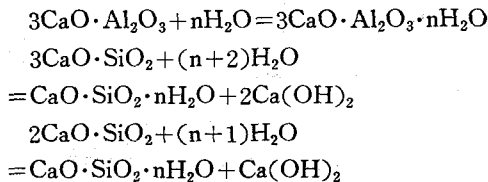
其他 成分中에서 游離石灰(CaO), 游離마그네시아(MgO) 등이 많이 包含된 Cement는 Concrete의 膨脹龜裂이 생기며 Na_2O , K_2O 등의 alkali 成分이 많이 包含된 것은 concrete의 表面龜裂이 發生하며 特別 alkali 骨材反應이 생기는 骨材를 쓰면 concrete의 破壞를 가져오기도 한다.

成分中에서 強熱減量(Ignition loss)이 큰 Cement는 空氣中에서 風化度가 높다. Cement의 風化作用은 空氣中에서 濕氣를 吸收하여 水酸化石灰가 생기고 다시 CO_2 를 吸收하여 炭酸石灰로 變質된다. 그 式은 $Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O$ 이며 여기서 생긴 水分은 다시 水酸化石灰를 만들고 그것이 다시 作用하여 炭酸石灰로 變하는 風化가 進行되어 Cement는 部分的으로 硬化變質되어 그 Cement를 使用하여도 水和作用이 減少되고 強度가 低下된다.

d) 強 度

Cement에 加水하면 約 10 時間以內에 凝結(setting)이 끝나고 계속해서 水和作用이 進行되어 約 28 日以內에 實用強度인 $250 \sim 300 \text{kg/cm}^2$ 정도의 最大壓縮強度를 낸다.

水和作用의 化學反應式은 다음과 같다.



C_3S , C_2S 의 水和作用으로 多量의 水酸化石灰 등이 생기며 이 反應으로 생기는 Gell의 硬化物의 體積은 Cement와 물의 體積의 合計보다 작으므로 Cement paste가 硬化될 때는 收縮된다. 水和作用의 進行은 Cement 粒子의 表面에서 부터 內部로 進行되므로 常溫($20^\circ C$) 狀態에서도 約 28 日間이나 걸린다. 充分한 強度를 내게하기 위한 條件으로는,

① 물시멘트화(W/C)를 $0.4 \sim 0.7$ 의 範圍內에

서 반죽을 均質로 만들 수 있기만하면 可及的 W/C를 적게하는 것이 強度를 높이는 데 도움이 된다.

② Cement와 骨材와 配合比를 1:5 以內로 減少시켜서 富配合으로 한다.

③ Cement와 骨材와 물의 質이 좋은 것을 써야 한다.

④ Cement, 骨材, 물을 完全히 均質이 되게 充分히 混合하여야 한다.

⑤ 型틀(form)에 부어넣을 때는 空隙이 생기지 않게 다져서 均質密實하게 한다.

⑥ 水和作用이 進行되는 期間은 水和反應에 支障이 없이 溫度, 濕度, 保護를 한다.

⑦ 아무리 保養을 잘 하여도 所要期間의 材齡을 經過하여야 充分한 強度가 發生한다.

e) 混和劑

Cement의 性質中 一部分을 改善키 위하여 骨材나 물 以外에 混合하는 物質들이다.

① 포조리스(Pozzolith)는 水和作用促進, 分散 空氣連行 등의 作用으로 Concrete의 「워카빌리티」(workability)를 改善하며 單位水량을 減少시키고 시멘트량로 節約할 수가 있다. Pozzolith에는 3種이 있어 硬化速度를 變更시킬 수도 있다. 標準型(No. 5. 5L.)은 硬化速度變更는 없으나 遲延型(No. 8)은 硬化速度를 늦추고, 促進型(No. 10)은 硬化速度를 增加시킨다.

② A. E. 劑(Air Entraining Agent)는 液體粉末形의 製品으로서 Portland Cement에 混合하여 加水하면 微細氣泡(直徑 $0.025 \sim 0.25 \text{mm}$)가 發生하여 Concrete의 workability를 改良하여 施工을 容易케하며 分散作用으로 Concrete의 表面을 平滑케하며 單位水량은 減少시켜 水密性增加 凍寒防止 比重減少 등의 效果를 가진다.

③ 鹽化칼시슘의 2% 정도의 水溶液을 混合하면 凝結促進 凍寒防止에 有效하다.

3. 建築材料

建築은 좋은 計劃과 設計를 바탕으로 하여 優

秀한 材料를 適材適所에 잘 活用하여 科學的인 施工法으로 構築되어야만 훌륭한 建築物이 될 것이다.

建築에 必要한 材料는 그 種類가 甚히 많은데 Cement 外에도 骨材, 木材, 石材, 粘土製品材, 金屬材, 유리, 合成樹脂, 纖維製品, 塗料 등이 있다. 그러나 그 中에서 가장 量的으로나 質的으로도 建築에서 빼놓 수 없는 材料는 Cement 라 하겠다.

現代建築의 大部分은 거이가 Cement 로 築쳐진 巨大한 構築物들인 것이다.

建築材料中에서는 用途에 따라 構造材, 修裝材, 設備材 등이 있다.

a) 構造材

① 一體式構造材로는 高層建築物을 構成하고 있는 라멘式(Rahmen) 構造體인데, 이것은 全體 建築物의 기초, 바닥, 기둥, 보, 계단, 지붕틀 등을 한덩이로 鑄造하는 것이다. 必要한 形態로 型을 짜 세우고 그 속에 鐵骨이나 鐵筋을 넣은 후에 Concrete 를 부어넣어서 硬化시켜 一體의 構造體를 만드는 것이다. 이 構造體에는 莫大한 量의 Cement 가 使用되는데 Concrete 를 만드는 作業法으로는 現場에 直接 作業施設를 架設하여서 Concrete 製造와 運搬注入 등의 作業을 하는 方法인데 Concrete 의 品質管理가 不充分하고 作業能率이 低下되고 假設費가 높아진다.

最近에는 一定場所에 Cement 骨材, 咖啡 등의 材料 및 Concrete 製造施設를 完備한 工場을 建築하여 注文에 依한 所要條件에 맞는 Concrete 를 工場製造하여 便利한 特殊運搬車(Truck Mixer 등)로 工事現場까지 運搬注入함으로서 Concrete 의 品質管理가 保障되고 工事現場의 假設費를 節約할 수 있고 作業能率向上과 工費節約을 企할 수 있는 「리디, 믹스드, 콘크리트」(Ready Mixed Concrete)가 都心地 建築工事に 많이 利用된다.

② 組積式構造材는 시멘트벽돌, 콘크리트 블록 등의 Cement 製品을 工場生産하여 充分한 保養을 한 것을 現場에 運搬하여 Cement mortar 로 組積하여 構築하는 것이다.

우리나라에서는 地震이 거이없는 地域이므로 組積式構法이 가장 經濟的인 材料使用法이라 할 수 있다.

③ 架構式組立構造材는 木材나 鐵骨材에 依한 架構式的 構築法을 Cement 製品으로 利用하는 方法이다. 木材는 火災腐蝕의 缺點이 있어 都心地 建築에는 不適當하고 鐵骨材는 耐火性不足 工費增大로 因하여 一般建築物에는 쓰이지 않고 特殊한 建築物에 限하여서만 利用할 수 있다. 이와 같은 木材나 鐵材보다는 有利한 Cement 製品을 利用하면 防火, 耐久, 經濟面 등에 有利하므로 最近에는 工場生産의 pre-cast Concrete member 를 建築材로 많이 利用케 되었다. 더욱이 力學的으로 有利하게 하기 위해 pre-stressed Concrete 部材로 기둥, 보 등을 만든것과 其他 바닥판, 벽판, 지붕틀, 계단, 창호틀, 루-바, 마고라등의 部分에 널리 活用되고 있다. 組立式施工法은 一體式이나 組積式보다 作業이 簡便하고 乾式施工이 되므로 工期를 短縮할 수 있는 利點이 있으며 더욱이 輕量化한 pre-cast Concrete 部材는 保溫·防音效果도 있고 高層建築의 荷重輕減에도 도움이 되며 앞으로 많이 利用될 것이다.

b) 修裝材

① Cement mortar 은 構造體表面을 保護美化하기 위하여 美匠材를 씨워지며 內外壁面, 바닥 천장등에는 mortar 바탕을 바른 후에 더욱 美化效果를 내기 위하여 着色 mortar 을 色칠하거나 石板이나 테라조, 타일 등을 Cement mortar 로 붙이기도 하며 水性塗裝을 하는 경우도 있다. Cement mortar 은 灰色이지만 硬度가 크므로 모든 修裝의 바탕層으로 바르는 材料로는 不可避한 것이다. 회반죽 tex 붙임등의 바탕도 Cement mortar 로 바탕바르기를 한 후에 다른 마감施工을 하게 된다.

② 人造石은 內外壁面, 體面등에 널리 利用되는데 그 原料로서는 白시멘트와 顔料, 種石등인데 白시멘트도 portland Cement 의 一種이다. 普通人造石은 Portland Cement 와 石灰를 白시멘트 代用으로 할 수도 있고 高級人造石을 Terazzo

◇ 建築과 시멘트 ◇

라 하는데 이것은 工場製品으로 하여 現場에서는 Cement mortar 로 바탕에 붙어대는 경우가 많다.

③ Cement tile 및 Cement board 는 一定한 形態의 얽은관으로 工場製造하여 工事現場에 運搬하여 바탕에 덮거나 붙이는 것이다. 시멘트기와는 Cement mortar 로 기와形으로 工場生産한 것을 傾斜지붕에 덮어서 지붕防水에 쓰이며 Cement 板은 所要치수의 板으로 만드려 卞지붕의 防水層을 ぬ르는 保護板으로 깔아덮는 경우도 있고 工場, 倉庫, 步道등의 床面을 鋪裝하는 경우도 있다. 石綿 Cement 製品으로 slate 를 만드려 기와代用으로 쓰기도 한다.

④ 設備材料로는 흙관(Concrete pipe)은 上下水道管으로 鑄鐵代用으로 쓰이고 Cement mortar 管은 下水管 Cable 管 등으로 쓰이며 石綿Cement 管은 煙筒, 排氣管 등에 쓰인다. 그밖에도 水槽浴槽, 망홀筒, Sink 등을 Cement 製品으로 製作하여 利用하는 경우도 있다.

4. 結 論

시멘트와 建築은 不可分離의 關係가 있는 것

(39面에서)

의 經過에 따라 容積을 變化시키는 것이 보통인 것이다. 따라서 물탈 끝막이에 자세히 보면 실금이 있는 것을 손쉬움게 發見할 수 있으며 이것은 이러한 種類의 原因도 있는 것이다. 이것은 시멘트와 물과의 化學反應에 의하여 硬化하니까 이러한 容積變化는 시멘트自體의 特性에 의한다고 하여도 過言이 아닌 것이다. 따라서 시멘트生産工場에서는 可能한限 容積變化가 작은 시멘트를 供給하게 特別한 힘을 써야 마땅할 것이다.

시멘트의 品質은 建築工事に 있어서는 以上과

으로 Cement 의 需要量의 絕對多數가 建築工事に 쓰여지므로 建築工事的 增加는 곧 Cement 生産量의 增加를 要하게 된다. 우리나라의 實情으로 보아서 昨年度까지는 國內 Cement 生産량이 不足하여 工事盛需期에는 Cement 의 品貴狀態가 생겨서 不得已 工事着工前に Cement 를 購入貯藏하여 놓고서야 工事計劃을 할 정도 이었으므로 使用時에는 一部風化된 것을 쓸수밖에 없었으므로 Cement 의 質의 檢討를 할 餘裕조차 없었다.

多幸히 今年度부터는 生産량이 約 570萬 ㄱ인 데 國內需要量은 約 539萬 ㄱ이므로 輸出量을 約 20萬 ㄱ으로 보고도 約 11萬 ㄱ의 餘裕를 가지게 된다니 기쁜일이다.

이제부터는 量的增産도 必要하지만 品質改善을 위하여 研究를 傾注해 주길 바란다. 鐵鋼材도 High-bar 란 高強度鐵筋이 生産되므로 이에 어깨를 겨누워 高強度 시멘트의 生産도 可能할 줄로 안다.

시멘트界의 發展을 慶祝하면서 앞으로 더욱 分발을 期待하는 바이다.

같이 說明한 強度面과 凝結時間 그리고 體積變化 以外에도 여러가지 性質이 생각되어지지만 대개는 이러한 特性値에 의하여 시멘트의 品質이 決定되어야 한다고 생각되어도 過言은 아닌 것이다.

따라서 시멘트 生産에 있어서 이러한 點에 格別히 注意하여 研究의 焦點을 두고 시멘트品質 向上에 積極的인 努力을 加하여 韓國의 시멘트 工業의 앞날을 더욱 開拓하여 國際적으로 뒤지지 않는 鞏固한 基盤을 마련하여 줄것을 建築을 專門으로하는 工學徒로서 當부하는 바인 것이다.