

콘크리트의 효율적인 이용에 대한 小考

金 生 彬

東國大學校 工科大學 教授

近來에 와서 콘크리트 材料는 우리들 生活과 密接한 關係를 맺고 있다. 콘크리트를 構成하는 材料중 骨材를 結着시키는데 必要한 시멘트가 개발된지는 불과 160余年으로 우리 人間의 創始에 比하면 極히 歷史는 짧다할 수 있다. 포틀랜드시멘트가 1824年에 英國의 벽돌공인 Jceseph Aspdin 에 의해 發明되었지만 실은 이와 비슷한 自然産의 견고한 석회모르터를 우리 人間이 사용하게 된 것은 기원전 3,000余年으로 볼 수 있다. 그 당시 에집트에서는 巨大한 피라미드가 建造되었는데(제일 큰 Pyramid 는 BC 2900년경 Khufu 왕의 pyramid 로 이를 建造하는데 10余年이 걸렸고, 크기로 볼 때 地面의 한변길이가 230m, 높이 146.5m 나되고 2.5ton의 큰 돌 230만개를 겹쳐 쌓아 이룩했다) 이 때 石炭와 나일 泥土가 사용되었다 한다. 그러나 그 당시의 모르터는 水硬性이 아닌 氣硬性이었다.

그후 회랍과 로마 時代로 접어 들면서 처음에는 燒石炭를 썼으나 그후에 石炭나 물에 모래나 부순돌 또는 벽돌 부스러기등을 넣어 사용하게 되었는데 이것이 역사상 最初의 콘크리트라 할 수 있다.

이와 같이 모르터나 콘크리트로 만들어진 구조물로서 우리 人間生活에 직접적으로 많은 편익을 제공한 것들이 세계도처에 散在해 있지만 유명한 것으로는 원래모습 그대로 볼 수 있는 로마에서 가장오래된 페브리치오橋 (fabricio : 2경간 아치교로 BC 62年에 만들어

짐)나 콜로세움(Colosseum : 원형경기장으로 AD 80에 준공)을 들 수 있다. 이와 비슷한 年代에 建造된 것으로는 프랑스의 니입스(Nimes)에 있는 가알 水路橋(Gard Bridge)로서 BC 19년에 로마인에 의해 만들어졌으며 3층교량으로 3층부는 수로교이고 2층부와 1층부는 일반도로교이다. 더욱 有名한 것으로는 스페인의 Segovia 에 있는 로마時代의 水路橋(일명 惡靈의 다리)로서 그 당시 人間의 힘으로는 도저히 새울수없고 악마의 靈力만으로도 새울수 있다하여 악마의 다리라 불리워지고 있으며, 世界의 土木, 建築技術者에게 주목을 집중시키고 있다. 이 유래에 對해서는, 이 지방에는 물이 아주 귀해서 이웃간 되어 河川에서 물 갖는 것이 하루 日課였다. 매일 물 갖기가 힘들었던 한 아름다운 처녀가 내 대신 물을 길어주는 사람이 있으면 시집가겠다는 말을 惡靈이 듣고 하루밤사이 지었는데 마지막 돌을 쌓는 순간 아침해가 비쳐서 가린한 악마의 소원만은 이루어지지 못했다는 전설이 있다. 이 水路橋는 全長728m 二段아치구조로서 제일 높은 곳은 28.3m이며 167개의 아치로 構成되어 있다. 建造年代는 확실치 않으나 대략 AD 100年 경에 세워진 것으로 본다.

이와같은 모르터를 이용한 구조물은 지금까지 2000年間이나 우리 人間을 위하여 供用되고 있고 耐久의인 材料로 평가된다. 이 당시에는 現代와 같이 科學技術의 발전도 기여할 수 없었기 때문에 構造物의 設計理論도 물론 확

림되지 못했을 것이고 그저 경험적인 지식으로 설계도면을 작성하여 긴 세월이 걸쳐 구조물을 세웠을 것이다.

우리 나라의 역사는 4,300余年이나 되지않아 上告時代의 기록이 없기 때문에 알 수 없으나 三國時代에 들어 橋梁은 국가시책에 의해 대부분 축조되었으며 三國史記나 平壤誌등 文獻에 의하면 최초의 橋梁工事は 新羅 18代 實聖 尼師今十二年(AD413)에 完成한 平壤州大橋로 그 位置는 미상이나 그 당시로는 상당히 대대적인 공사로 진행된 것 같다.

우리나라에 시멘트工場이 처음으로 세워진 것은 1919年 일본의 小野田시멘트에 의해 건설된 平壤工場(年産 18萬톤)이 첫째였고(日本은 1872年에 官營의 沈川 시멘트 製造所를 건설해서 1875年에 시멘트를 出荷시킴, 현재의 日本시멘트 주식회사의 전신임) 그후 해방(1945년)될 때까지 삼척(동양시멘트(株))과 38이북에 몇개의 시멘트공장이 건설되었으나, 現在에는 9個 시멘트회사에 年産 3,000萬ton에 이르고 있다. 이 시멘트로 만들어지는 콘크리트 구조물은 우리들이 접할때 우둔하고 차며, 융통성이 없는 멧없는 대상으로 여겨지지만 실제에는 우리에게 안전하고도 온화한 느낌을 주고 있는 것이 사실이다. 왜냐하면 우리가 살기위한 주택이나 生活환경의 개선을 위한 도로, 철도, 항만, 댐공사등에서 없어서는 안될 材料가 콘크리트이기 때문이다. 그러나 콘크리트는 鐵鋼材와는 달리 材料의 選定으로부터 콘크리트의 製造 및 施工에 이르기까지 全過程이 建設技術分野에 속하기 때문에 이 중 하나라도 소홀히 한다면 所期の 耐用壽命을 다할 수 없으므로 위험을 가져오게 된다. 콘크리트 構造物의 壽命이란 일반적인 概念으로서 物理的인 耐用年數와 機能的인 혹은 經濟的인 耐用年數로 대별하게 되는데 그 구조물이 위치하는 환경이나 氣象作用 및 作用荷重에 따라서 耐用年數는 달라진다. 보통 50年~70年 정도로서 우리 人間의 壽命과도 비슷한 정도로 보면 좋을 것이다.

土木構造物에서 특히 橋梁인 경우에는 橋面은 항상 圖面에 露出되어 있고 動的인 荷重을 連續해서 받고 있기 때문에 一般建築構造物에 比해서는 耐久年限이 떨어지게 된다.

근년에 와서 기존 콘크리트 교량의 耐久壽命을 조사하기 위해 年代別로 耐久性을 조사한적이 있는데 아주 오래된 것이 덜 오래된 것보다 耐久性에서 더 좋은 경우가 있었는데 이는 미단 우리뿐 아니라 이웃 日本에서도 이와 비슷한 報告書가 있다. 즉 朝日新聞의 본사건물을 해체할 때 이 건물의 半은 1927年에 건조되고 半은 1958年에 증축되었는데, 조사결과를 보면 먼저 건조된 쪽이 철근의 녹이 덜 쓸었다는 것이다. 이는 전에 만들어진 鋼들의 품질이 각기 다르다는 것으로 근래에 와서 우리는 鋼의 品質向上을 위해 주로 高強度化를 목표로 하는 경향이 있고 耐久性에 대해서는 등한시하는 면을 엿볼 수 있다.

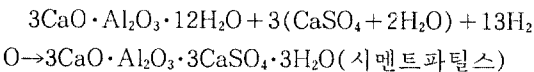
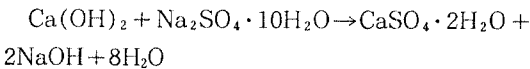
콘크리트 構造物의 耐久性에 영향을 주는 要素로서는, 外的要素로서 氣象作用에 대한 凍結融解와 콘크리트 中性化에 의한 철근 부식, 海水나 化學藥品에 의한 콘크리트의 침식, 交通이나 水流에 의한 마모등을 들을 수 있고 內的要素로서는 알칼리 骨材反應이나 透水 및 吸水등을 꼽을 수 있다. 따라서 耐久的인 콘크리트를 만들어 上記의 여러 원인에 의한 劣化에 대하여 견딜 수 있는 品質의 콘크리트를 製造해야 하는데 여기에는 材料의 選擇에서, 配合設計 및 施工에 이르기까지 品質관리나 施工관리등에 신경을 써야한다.

필자는 그동안 기존 콘크리트 構造物에 대하여(콘크리트 교량, PC빔, 콘크리트터널, 河川 복개구조물이나 옹벽등) 여러차례 安全診斷관계로 조사한 사례가 있는데 물론 이 중에는 콘크리트 強度자체가 부족하여 문제된 구조물도 있었지만 대개는 施工부주의에 의하거나 長期使用에 따른 劣化現象에 의해 문제되는 경우가 많았다. 이 중에서 한두가지 문제가지 심각했던 劣化現象에 대하여 알아본다.

첫째로 河川복개구조물로서 海岸에 인접한

구조물 하부의 교각이 썩물때 밀려오는 海水에 의해 化學的인 浸蝕을 받아 水面에 인접한 콘크리트의 덩개가 다 떨어져나가 철근이 노출되고 파괴직전에 이른 것을 보았다. 즉 海水中에 함유되어 있는 鹽化마그네슘(Mg Cl₂), 黃酸마그네슘(Mg SO₄)이 문제되는데 예로서 Mg Cl₂는 콘크리트 중의 石炭과 化合해서 鹽化칼슘을 生成하고 이 물질은 可溶性이기 때문에 溶出해서 콘크리트를 多孔質로 만든다. 또 알루민산 칼슘 및 水酸化칼슘과 海水中の 黃酸鹽과 作用해서 시멘트 파틸스를 만들어 팽창하여 콘크리트의 조직을 파괴시키게 된다.

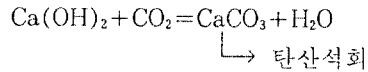
예로서 黃酸나트륨에 의한 反應은 다음과 같다.



海水位 부근의 콘크리트 構造物은 이들 化學的作用외에 동결융해, 乾溫의 되풀이 및 破壞에 의한 기계적 파괴작용도 받게 된다. 이에 대한 대비책으로는 철근이 녹슬지 않도록 방청제나 동해를 받지 않도록 AE제 또는 AE감수제를 쓰도록하고 시멘트로서는 고로슬래그 시멘트나 耐黃酸鹽 시멘트 등을 사용하는 것이 좋다.

두번째로는 일반콘크리트 構造物에서 水密性 不足으로 기인한 吸水과 漏水에 의한 凍結融解作用으로, 毛細管水가 凍結하여 體質팽창에 수반되는 아직 凍結되지 않은 물의 移動으로 생기는 滲透壓에 기인되는 콘크리트 표면의 균열과 박리현상등을 들을 수 있다. 이와같은 現象은 주로 콘크리트 포장이나 콘크리트 교량의 바닥 슬래그보에서 흔히 볼 수 있다. 이에 대한 대비책으로는 콘크리트 配合設計에서 물·시멘트비를 Workability가 양호한 범위 내에서 적게하고, AE제나 AE감수제를 사용하고 또 중요한 것은 콘크리트를 다질때 충분히 다져서 密實한 콘크리트로 만들어야 한다.

세번째로 콘크리트 터널에서 차량배기 가스와 透水에 의한 炭酸化作用이다. 앞에서 지적한 바와같이 콘크리트 라이닝에서 透水가 있게 되면 콘크리트의 水酸化칼슘이 용해되어 분출하게 되고 여기에 차량에서 排出된 탄산가스와 化學反應으로 백태현상(탄산 석회의 생성)이 나타난다. 즉



이 반응이 진행하여 Ca(OH)₂가 소비되면 시멘트풀은 中性化가 된다. 시멘트풀에 대한 탄산화반응은 Ca(OH)₂ 뿐 아니라 각종 水和生成物이나 未水和物에 대해서도 생기지만, 中性化에 관해서는 Ca(OH)₂의 탄산화의 영향이 가장 크다. 이렇게 해서 탄산화된 콘크리트는 수축하게 되고 表面에 미세한 균열을 발생시킨다. 이 수축균열은 공기와 물의 통로가 되어 더욱 투수를 촉진하게 돼 콘크리트의 수명을 단축시키게 된다. 이에 대한 대책으로는 차량배기 가스가 터널내에 머물지 않도록 즉 환기장치를 갖추어야 되고 또 누수가 생기지 않도록 즉 防水대책을 강구해야 한다.

위와같은 사례외에도 여러가지 원인분석이 있겠지만 여기서는 몇 가지에 대해서만 언급했으며 결론적으로 콘크리트 구조물의 壽命은 무한한 것이 아니고 마치 우리 人體와도 똑같다고 볼 수 있다. 우리가 건강한 몸으로 오래 살기 위해서는 내몸에 대해서 수시로 진단하여 이상이 발생되었다면 적절한 투약으로 낮게 하고, 이상이 발생되지 않았다하더라도 미리미리 예방조치함으로써 長壽를 누릴 수 있듯이, 콘크리트 構造物을 효율적으로 耐用壽命을 다할때까지 사용하기 위해서는 콘크리트 구조물도 施工과정중이나 完工이 된 후에도 定期的인 檢查를 하여 維持管理에 힘써으로써 劣化의 早期發見뿐 아니라 劣化의 增大를 豫防하는데 가장 좋은 方策이라 생각된다.