

# 시멘트 콘크리트의 체질개선

최 상 흘 <한양대학교 교수, 공학박사>

시멘트는 쓰이는 환경이 다양하며, 시멘트를 사용하여 만들어지는 콘크리트는 그것을 타설할때의 환경이 각양각색이므로, 그환경에 맞는 성질을 갖는 시멘트·콘크리트가 바람직하다.

춘천에서 화천으로 가는 5번국도를 북한강을 왼쪽으로 끼고 차를 달리다 보면 눈앞에 춘천댐의 웅장한 모습이 나타난다. 언젠가 인하대 한기성 교수와 함께 이길을 달려 이댐에 이르렀을때 한교수가 했던 회고담이 생각난다.

1960년대초, 이댐을 건설할 때 국산 포졸란시멘트를 사용하였다 한다. 당시 우리나라의 시멘트 산업은 막 6·25의 상처를 씻고 정상 가동에 들어간 동양시멘트 삼척공장과 UNKRA의 원조로 새로 건설된 대한양회 문경공장(지금의 쌍용양회 문경공장) 두 공장에서 시멘트를 생산공급하고 있던 때로 총생산량이 60만톤으로 오늘날에 비하면 요람기였다. 그러나 때마침, 문경공장(당시 실험실장 한기성교수)에서는 포졸란시멘트개발에 성공하였을 때라

이공사에 포졸란시멘트를 공급할 수 있었고, 춘천댐은 이 국산 포졸란시멘트로 건설될 수 있었다고 한다. 차를 세워 댐을 바라보고 또 가까이 가서 댐의 이곳저곳을 눈여겨 보는 한 교수의 모습에서 시멘트인의 보람을 볼 수 있었다.

시멘트는 쓰이는 환경이 다양하며, 시멘트를 사용하여 만들어지는 콘크리트는 그것을 타설할때의 환경이 각양각색이므로, 그환경에 맞는 성질을 갖는 시멘트·콘크리트가 바람직하다. 이런 경우 그 어떤 특정한 환경에 맞는 성질을 시멘트·콘크리트가 갖게 하기 위하여 시멘트에는 골재, 물 이외에 특수 혼화 재료를 가하여 그 체질(물성)을 바꾸어 줄 수 있다.

시멘트·콘크리트에 쓰이는 혼화

재료에는 첨가하는 목적에 따라, 발휘하는 효과에 따라, 또는 사용되는 양에 따라 여러 종류의 것이 있는데, 첨가량과 기능에 따라 혼화제(混和材, admixing materials, mineral admixture)와 혼화제(混和劑, admixing agents, chemical admixture)로 구별할 수 있다.

혼화제는 보통 사용량이 적고 약 품적인 것으로 작용하여 그것이 콘크리트와의 부피비로는 거의 무시할 수 있는 것이고, 사용량이 많으며 시멘트의 수화반응에 관여하여 수화 생성물을 생성하거나 콘크리트 중에 그자체가 일정 부피를 차지하는 것은 혼화제라 한다. 혼화제로는 포졸란, 플라이애쉬, 고로슬래그 미분말 그리고 실리카폼 등 광물질 미분말이 있으며 혼화제로는 AE제, 감수제, 고성능감수제, 그리고 유동화제,

반응촉진제 및 지연제, 발포제, 방수제 등 다양하다.

포틀랜드 시멘트에 혼화재를 혼합하여 만든 포졸란 시멘트, 플라이애쉬 시멘트, 고로슬래그 시멘트 등 혼합시멘트(본 연재 ④에서 기술)는 포틀랜드 시멘트의 체질(품질)을 이들 혼화제의 혼합으로 개선한 시멘트이다. 수밀성이 좋고 내구성이 있으며 수화발열이 적은 특성을 갖는 포졸란 시멘트가 춘천댐 건설공사에 쓰인 이유를 알 수 있을 것이다.

### 혼화제

고로슬래그 미분말은 용광로에서 부산되는 슬래그를 물로 급냉하여 미분쇄 한 것으로 주성분은 CaO(38~45%), SiO<sub>2</sub>(30~35%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(13~18%)이다. 고로슬래그는 그 자체가 물과 반응하여 굳지는 않으나 주위환경이 알칼리성이면 그자극에 의하여 반응하여 굳는 성질을 갖는다. 이와 같은 성질을 잠재수경성이라 한다. 고로슬래그를 사용하면 바닷물, 지하수 등에 대한 내식성, 내약품성이 뛰어나고 알칼리골재 반응(시멘트의 알칼리 성분과 어떤종류의 골재가 반응하여 이상 팽창을 일으키는 현상, 후에 다룰 예정) 등을 억제할 수 있으며 수화열도 적고 장기강도도 증진된다.

플라이애쉬는 화력발전소의 보일러에서 미분탄이

연소될때 재가 용융되어 표면이 유리질의 미세한 알갱이(약20 $\mu$ m)로 되어 배기 가스과 함께 배출된 것을 집진 시설에 모아진 것으로 주성분은 SiO<sub>2</sub> (45%이상)이다.

플라이애쉬도 물과 반응하여 굳는 것은 아니나 시멘트의 수화반응에 의하여 생성된 수화물과 반응하여 굳는다. 플라이애쉬는 유리질의 구상입자이므로 콘크리트에 혼합되면 단위수량이 감소하고 유동성이 좋아지며 수밀성이 있고 화학저항성도 높아지고 수화열도 적어진다. 또 초기강도는 낮으나 충분한 습윤양생으로 장기강도는 증진된다.

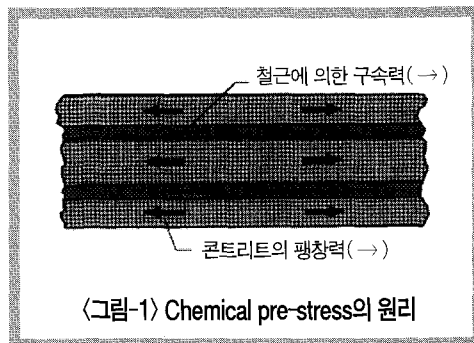
실리카폼은 실리콘을 제조할때의 부산물로 초미립 알갱이 (평균입경 0.1 $\mu$ m, 비표면적 20m<sup>2</sup>/g)로 주성분은 비정질의 SiO<sub>2</sub>(90%이상)이다. 초미립 알갱이이므로 시멘트 수화물 사이에 끼어들어 콘크리트의 조직을 치밀화하며(micro filler) 시멘트 수화반응 생성물과 화합하여 굳으므로 이것을 사용한 콘크리트는 보통 콘크리트에 비하여 강도가 높아지고

수밀성이나 화학저항성 및 내구성도 향상된다. 실리카폼은 알갱이가 너무 미세하여 처음에는 콘크리트에 혼합이 힘들었으나 유동화제가 개발되면서 콘크리트에 사용하게 된 혼화제이다. 팽창재는 콘크리트의 부피수축을 보상시켜 주는 혼화제이다. 콘크리트는 건조시 부피가 수축하는 성질이 있어 이 건조·수축으로 콘크리트에 균열이 생길 수 있으며, 또 시멘트 수화발열에 따른 부피증가·감소로 균열이 생길 수 있는데, 이것을 저감시키기 위하여 콘크리트를 팽창시켜 수축을 보상하는데 이 팽창재가 사용된다.

팽창재는 건조수축보상용 외에도 콘크리트에 chemical pre-stress를 주는데도 쓰인다. 철근 콘크리트에서 수축보상에 필요한 량보다 많은 팽창재를 첨가하면 콘크리트의 팽창량은 증가하고 이것이 철근에 의하여 구속되므로 즉 철근에는 인장력이 작용하고 콘크리트에는 압축응력이 작용하는데 이 응력은 화학적으로 생긴 것이므로 chemical pre-stress라 한다.(그림-1) 그러나 철근이 없는 무구속상태에서 팽창재의 첨가량이 많으면 콘크리트의 강도가 떨어지는 역효과를 줄 수도 있다.

### 혼화제

석회 모르타르에 우지 등을 혼화하여 사용하였다는 말은 예부터 전해오고 있으



<그림-1> Chemical pre-stress의 원리

나 시멘트·콘크리트에 혼화제가 쓰인 것은 1930년대의 일로, 미국에서 시멘트의 분쇄조제로 사용한 지방류가 콘크리트의 동결융해에 대하여 큰 내구성을 갖는다는 것을 알게 된 것이 계기가 되어 계면활성제에 의한 분쇄 조제가 연구되고 AE제가 개발되었다.

콘크리트속에 작은 독립기포를 많이 고루 분포시키기 위하여 사용되는 혼화제를 공기 연행제 (airentraining agent, AE제)라 한다. AE제는 계면활성제로서 한 분자속에 친수(hydrophilic)기와 소수(hydrophobic)기를 갖고 있으며 친수기의 종류에 따라 음이온계, 양이온계, 비이온계 등으로 나뉘고 있는데, 많이 쓰이고 있는 음이온계 AE제로는 수지계, alkylaryl sulphonic acid계의 것 등이 있다.

AE제를 가하면 10~250 $\mu$ m 크기의 둥근 기포(entrained air)가 아직 굳지 않은 콘크리트에 독립적으로 고르게 생겨 분산하게 되는데 가장 가까운 기공까지의 거리(void spacing factor)는 약 150 $\mu$ m이다. AE제를 혼합하지 않은 콘크리트는 500~700 $\mu$ m 정도의 비교적 큰 기포(entrapped air)가 1~2% 불균일하게 존재한다. Entrapped air는 시멘트나 골재입자 사이에 분

포되어 ball bearing과 같이 작용하여 콘크리트의 workability를 향상시키며 경화 후에는 모세공극중의 물이 동결할 경우 팽창압을 완화하므로 AE콘크리트는 동결 융해작용에 대한 저항성을 향상시킨다.

AE제를 사용하여 AE콘크리트를 만들 때 적정 공기량은 내구성이나 골재 등에 따라 결정되나 보통 3~6%의 범위로 하고 있으며 AE제의 양은 시멘트 무게의 0.05%이다.

물, 시멘트 비가 일정할 때 공기량 1% 증가는 강도를 약 5% 정도 감소시키나 AE제 사용으로 혼수량의 감소 효과도 있다.(AE감수제 참조) 공기량이 1% 증가할 때 콘크리트의 수량은 2~4% 감소되고 수량의 감소는 콘크리트의 강도를 증가시키므로 강도 변화는 서로 상쇄효과가 있다. 시멘트에 물을 가하면 보통시멘트 입자는 응집하여 flocc상으로 되는 경향이 있는데, 콘크리트 중

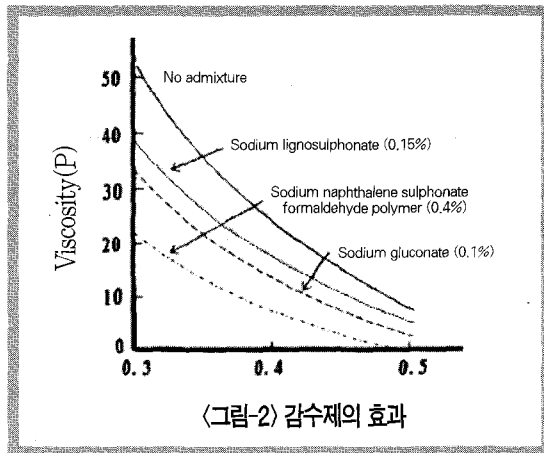
의 시멘트 입자를 정전기적으로 활성화시켜 서로 반발하여 분산시키는 효과를 이용하여 물·시멘트비(W/C)를 감소시키는 혼화제를 감수제(water reduced agent, plasticizer 라고도 함)라 한다. 보통감수제는 W/C비를 5~15%까지 감소시킨다.

감수제는 콘크리트의 workability를 개선하고 소정의 consistency 및 강도를 얻는데 필요한 물량을 감소시킨다.(그림-2)

감수제는 그종류나 시멘트 종류, 콘크리트 배합조건 등에 따라 다르기는 하나 보통 W/C비를 5~15%를 감소시키는데 시멘트 무게의 0.2% 정도를 첨가한다. 널리 사용되는 감수제로는 calcium 또는 sodium lignosulphonate, hydroxy carboxyl acid 등의 염이다.

AE제 감수제는 AE제와 감수제의 두 작용을 함께 갖춘 혼화제로서 감수제에 음이온 계면활성제를 조합한 것이 많이 쓰이고 있다.

고성능 감수제는 감수제에 비하여 W/C를 더욱 현저히 감소시킬 수 있는 혼화제로서 20~30%의 감수효과를 보이며, 심한 응결지연이나 공기연행을 하지 않고 시멘트의 수화에 필요한 이론 수량에 가까운 낮은 W/C비로 workability가 좋은 콘크리트를 만들 수 있다. 또, micro-



〈그림-2〉 감수제의 효과

silica를 혼합할 경우 작은 W/C 비로 고강도 콘크리트를 만들 수 있고 self-leveling이나 펌프시공 등 유동화 콘크리트를 만들 수 있다. 이 혼화제는 사용 목적이나 방법에 따라 유동화제라고도 한다.

고성능 감수제로는 흔히 sulphonated melamin formaldehyde polymer(SMF)계, sulphonated naphtalene formaldehyde polymer (SNF)계 및 modified lignosulphonated material계 등이 쓰인다. <그림-3>

고성능 감수제는 콘크리트를 혼합할 때 첨가하는 경우와 콘크리트를 혼합하고 난 뒤에 혼합하는 방법이 있는데 혼합후 수분 뒤에 첨가할 때 slump loss를 더 증가시키며 SMF계가 더 높은 분산성을 보인다.

이외에도 콘크리트의 점성을 크게 증대시킴으로서 콘크리트를 물속에 직접 떨어뜨려도 거의 재료 분리가 일어나지 않는 성질을 주는 수중불분리 혼화제도 있으며, 이 혼화제를 혼합한 콘크리트를 수중불분리 콘크리트라 한다. 또 고성능 감수제와 함께 사용하므로써 자기 스스로 수평을 유지하는 self leveling성을 갖는 콘크리트로 얻을 수 있다.

콘크리트를 칠때의 조건이나 기온에 따라 응

결시간을 조절할 목적으로 촉진제, 지연제, 급결제 등도 쓰이고 있다. 시멘트의 응결·경화를 빠르게 하는 혼화제를 촉진제(accelerator)라 한다.

촉진제는 콘크리트의 양생기간을 단축하여 한냉시의 콘크리트나 조기 탈형으로 형틀의 사용 회전을 높이는 목적으로 사용된다.

시멘트의 수화반응을 촉진하는 물질로는 칼슘이나 sodium의 염화물, 탄산염, 황산염, 질산염 등의 무기염류의 triethanolamide (TEA) 등의 유기물이 있다. 그러나 염화칼슘은 염소 이온에 의한 철근의 부식으로 사용에 제한을 받는다. 이외에 시멘트의 응결을 현저히 촉진시키는 알미산염, 칼슘염퍼알루미네이트 등을 주성분으로 하는 급결제도 있다.

시멘트의 응력을 늦게하는 혼화제를 지연제(retarder)라 하는데, 응결을 1~4시간 늦게하는 보통지연

제와 지연 특성을 극단적으로 발휘하는 초지연제가 있다.

지연제는 더운 날씨의 콘크리트 공사, 유정 시멘트 공사 또는 레미콘을 장시간 운반할 때와 같은 경우에 사용되며 또 대형 콘크리트 구조물의 cold joint 예방을 위한 목적으로도 사용된다.

유기지연제로는 sucrose, calcium citrate, calcium lignosulphate 등이 있으며 무기지연제로는 규불화물이나 붕산염 등이 있는데, 실제로 많이 사용되는 지연제로는 hydroxy carboxylic acid 또는 citrate나 heptonate 같은 그들의 염, 그리고 lignosulphate 등이다. 지연제는 공기 연행성이 있어 강도 저하를 가져올 수 있으므로 첨가량을 많이 할 수 없다.

지금까지 시멘트·콘크리트의 성능을 개선하는데 쓰이는 주요 혼화재료에 대하여 설명하였다. 오늘날 시멘트·콘크리트도 다양화·다기능화의 시대를 맞고 있다. 초고강도, 초저발열, 초고내구성 등 초기능에 도전하는 이들 시멘트·콘크리트의 개발을 각종 혼화재료의 사용으로 가능해지고 있으며 우리는 계속 시멘트·콘크리트 재료의 체질개선으로 초기능화에 도전하고 있다. 