

## 콘크리트에 관련된 궁금증을 풀어 드립니다.

**Q** Auto Clave 양생을 하면 고강도가 된다고 하는데 어떤 작용을 해서 고강도가 되는지 이론적으로 조언해 주시기 바랍니다.  
[박 기청 (동양시멘트 기술부 부장)]

**A** Auto Clave 양생에 대한 관련 논문의 내용을 요약하면

i) 강도측면에서

일반적으로 양생온도가 높으면 강도발현이 빠르고 커지는 것이 보통입니다. 고압증기 양생하게 되면 보통 양생된 페이스트에 비해 비표면적이 작고 細孔經이 큰 특징을 나타냅니다. 또 고압 증기양생은 페이스트 화합물이 CSH겔 대신 C<sub>2</sub>SH(A)의 생성과 관련됩니다. 이 수화물은 固化物이 적어 강도가 적게 됩니다. 그러나 C/S(시멘트/실리카) 중량비가 대략 1이 되면 강도저하를 막을 수 있고 그 비율이 최적량이면 오토크레이브 양생한 콘크리트가 강도가 커지고 양생기간이 길면 더욱 효과적입니다.

ii) 건조수축 및 크리이프 영향에 대하여

오토크레이브 양생은 시멘트 페이스트의 건조수축량을 현저히 감소시킨다. 어느 학자는 보통 양생의 25%, 어느 학자는 50~65% 정도에 그치게 할 수 있다는 보고서를 내놓고 있습니다. [정 현수 교수 (중앙대학교 건축과)]

**Q** 실제로 레미콘공장에서 고강도콘크리트를 생산할 수 있는 방법과 필요한 제반설비, 그리고 제조상의 문제등을 조언해 주시기 바

랍니다. [김 수동 (서산콘크리트(주))]

**A** i) 고강도 콘크리트 제조 방법  
특별한 방법에 의해 제조하는 것이 아니고 지금까지 콘크리트 제조하는 방법과 동일하며 ① 물 시멘트비(W/C)를 낮추고 이때 시공연도가 나빠지는 것을 고성능 감수제를 사용하여 방지 ② 단위 시멘트량을 많게하여 부배합으로 설계 ③ 강도가 높은 시멘트와 골재사용 ④ 골재의 입도분포가 적당한 것을 쓰고 비빔, 다짐에 주의하고 양생온도가 적당하도록 주의해야 합니다. 단, 최근에는 1,000kg/cm<sup>2</sup> 이상의 초고강도 콘크리트제조에는 Microsilica Fume를 첨가해야 합니다.

ii) 고강도콘크리트 제조시 필요한 제반 설비

특수장비를 사용하지 않고 지금까지 쓰고 있는 설비 장비를 이용하면 됩니다. 단, 경사식 믹서에 비하면 강제식 팬 믹서를 사용하는 쪽이 더 높은 강도의 콘크리트를 얻을 수 있어, 강력한 강제식 팬믹서로 교체하여야 할 것입니다.

iii) 고강도콘크리트 제조상의 문제점

가장 주의해야 할 문제점은 낮은 물 시멘트비와 시멘트가 많이 들어감으로써 slump 값이 적어지게 됩니다. 이것을 감수제를 첨가함으로써 적당한 반죽으로 만들어지거나 시간이 지나면서 굳어지는데 그 속도가 상당히 빨라지기 때문에 장시간 동안 타설할 경우에는 주의해야되며 지연제 등 혼화제를 첨가할 필요가 생기기도 합니다. 고성능 감수제를 너무 많이

첨가하게 되면 오히려 강도가 떨어지는 경우도 생기므로 실제 콘크리트 배합하기 이전에 시험배합을 시행한 후 적당한 배합표를 만들어야 실패할 우려가 없어 집니다. 온도변화에 따라 민감하므로 주의깊게 관찰하고 다짐에도 주의를 기울여야 소정의 목표 강도를 얻을 수 있습니다. [정 현수 교수 (중앙대학교 건축과)]

**Q** 교량공사에 압축강도  $400\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 레미콘을 생산하고 있습니다. 현재 시멘트  $550\text{kg}/\text{m}^3$ 을 투입하여 생산할 경우 압축강도  $410\text{kg}/\text{cm}^2$ 이 발현되며 유동화제를 현장에서  $0.5\sim 1.0\%$ 를 첨가하여 slump를 높여 타설하고 있습니다.

앞으로 W/C를 줄이고, 공장에서 직접 유동화제를 첨가하여 시멘트량을 줄이면서 높은강도의 레미콘을 생산하고자 합니다. 좋은 방법을 조언해 주시기 바랍니다.

[우 세환 (설악레미콘(주) 품질관리실장)]

**A** 고강도 콘크리트 생산에 있어서 압축강도  $400\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 콘크리트를 얻기 위해서 단위시멘트량  $550\text{kg}/\text{m}^3$ 로써 제조한다는 것은 과다투입한 것 같습니다.

압축강도  $400\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 콘크리트를 얻으려면 시멘트량도  $400\text{kg}/\text{m}^3$ 정도만 투입하고 W/C는 미지수이나 약  $5\sim 10\%$ 정도 더 낮추면 되리라 생각합니다. 단지 현장에서든지 레미콘 공장에서 사용하는 믹서가 강제식이 아닌 경우에는  $400\text{kg}/\text{m}^3$ 의 시멘트로  $500\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 콘크리트 제조가 힘들 것으로 생각합니다.

그대신 적정 slump 값이 될때까지 혼화제를 조금씩 더 첨가해야 하며 단 혼화제 과다 사용으로 오히려 강도저하가 나타날수도 있으므로 주의가 필요하고 몇번의 시험배합을 실시한후 고정시키는 것이 중요합니다.

국내에서도 실험실에서는  $500\text{kg}/\text{cm}^2$ 정도의 시멘트량이면 압축강도  $800\text{kg}/\text{cm}^2$  발현이 가능하며, 미국에서는 실리카흙을 동시 첨가하여 압축강도  $1,500\text{kg}/\text{cm}^2$ 정도까지 강도를 높

인 예가 있습니다.

[정 현수 교수 (중앙대학교 건축공학과)]

**Q** 콘크리트配合에 있어 시멘트와 함께 플라이애쉬를 添加할 경우의 長點과 短點은 무엇이 있습니까?

**A** 1) 플라이애쉬는 자갈, 모래, 시멘트 등과 같은 微細粒子結合에서 대부분의 混和材料와 마찬가지로 構造用 콘크리트의 強度增進에 명백한 효과를 가지고 있으나, 使用者가 耐久性을 증진시키거나 透水性(Permeability)을 감소시키고 싶을 때는 주의를 기울여야 합니다.

싱가포르大學校에서 몇가지 混和材料에 대한 最近의 比較實驗에서는 아래와 같은 흥미 있는 결과를 제시하고 있는데 6시간동안의  $0.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 壓力에서 透水깊이(penetration)는 基準配合콘크리트(control concrete)에서  $31\text{mm}(1.2\text{in.})$ 였으며 高性能減水劑(superplasticizer)첨가의 경우는  $23\text{mm}(0.9\text{in.})$ , 10퍼센트플라이애쉬첨가는  $23\text{mm}(0.9\text{in.})$ , 그리고 20퍼센트 플라이애쉬첨가는  $19\text{mm}(0.7\text{in.})$ 였다.

BSS에 의거 측정된 吸水(absorption)는 基準配合에서  $1.4\%$ 였고 고성능감수제 혼입에서  $1.1\%$ , 플라이애쉬 10% 첨가에서  $1.0\%$ , 그리고 플라이애쉬 20% 첨가에서  $1.1\%$ 였다.

기준 콘크리트는 대략  $380\text{kg}/\text{m}^3(640\text{ lb}/\text{yd}^3)$ 의 普通포틀랜드 시멘트를 사용하였고 물·시멘트比는  $40\%$ 였다. 이 實驗은  $75\text{mm}(3\text{in.})$ 의 각주형몰드(cast cubes)에 기초했으므로 吸水値가 적게 될 경향이 있으나, 이에 불구하고 그들은 比較優位的인 長點을 가진 實驗値들을 제시하고 있다. 이 實驗은 Ng, Roy, Aldred에 의해 수행되었는데 더 깊은 내용은 "Concrete"1986. 12월호의 Dhir 등에 의한 실험과 Potter와 Ho에 의해 연구된 ACI SP-100의 "Concrete Durability"를 참조할 수 있다.

요약하면 만약 質疑者가 強度增進에 흥미를 가진다면 별 문제될 것이 없으나, 耐久性의 확

기적인 改善에 흥미가 있다면 그때는 실리카 함도 마찬가지로 다시 검토해보아야 할 것이다.

Jack Taylor(Technical Director, Cementaids)

2) Jack Taylor씨는 위의 質疑에 대하여 콘크리트배합에서 耐久性의 增加와 透水性 減少가 요구 될때 플라이애쉬를 사용할 시에는 주의를 기울여야 한다고 설명했다.

Taylor씨는 싱가포르대학에서 수행된 연구 데이터를 引用했는데 이 研究에서는 시멘트함량 640 lb/yd<sup>3</sup>와 40% 물·시멘트比에서의 基準配合(control mix)과 두종류의 플라이애쉬 배합, 고성능감수제혼입에 대하여 6시간동안 0.5kg/cm<sup>2</sup>의 壓力에 의한 透水깊이와 吸水를 보여주고 있다.

그러나 물·시멘트比가 기타 배합에서는 주어지지 않았고, 애쉬가 기준배합에서 시멘트량의 몇퍼센트를 대체하였는지, 혹은 다른 시멘트性分含量이 몇퍼센트 사용되었는지를 언급하지 않았으며, 또한 애쉬代替基準이 重量인지 혹은 容積인지, 사용된 애쉬는 어떤 종류인지에 대하여도 제시하지 않았고, 養生期間과 方法, 試驗材齡도 역시 주어지지 않았다.

싱가포르대학의 試驗結果는 기준배합에서 浸透깊이가 1.2in.(30.5mm)였는데 기준배합과 비교할 때 高性能減水劑混入에서는 25%, 플라이애쉬 20%混入에서는 42%, 그리고 플라이애쉬 10%混入에서는 25%의 浸透깊이의 減少가 있었다. 吸水는 기준배합에서 1.4%였는데 기준배합과 비교할 때 고성능감수제혼입은 21%, 플라이애쉬 20%혼입은 21%, 그리고 플라이애쉬10%혼입은 29%의 흡수감소가 있었다.

640 lb/yd<sup>3</sup>의 시멘트량과 낮은 물·시멘트比를 가진 基準配合는 충분히 不透水性일 것으로 기대되나, 애쉬배합은 예상했던대로 훨씬 더 나은 기능을 발휘하고 있다.

透水 및 吸水와 관련하여 美國의 플라이애쉬會社는 펜실베이니아주립대학에서 수행된 세종류 플라이애쉬에 대한 鹽素이온 浸透研究를

後援한 바 있다.

이 實驗은 AASHTO T-277에 의거 페이스트, 모르터, 콘크리트에 대하여 進行되었으며, 플라이애쉬의 종류는 높은 CaO함유의 C ash, 적당한 CaO함량의 F ash, 이보다 낮은 CaO함유의 F ash였다. 모르터는 대략 53%의 물·시멘트比로 설계되었으며, 페이스트는 애쉬혼합과 未混合(non ash mix)에 대하여 각각 53%와 35%의 두 종류의 물·시멘트比로 설계되었다. 25%와 35%의애쉬를 혼입한 配合들은 모르터와 페이스트의 세종류 애쉬에 모두 적용되었으며, 供試體는 73~100F(22.7~37.7)에서 28일과 90일간 濕潤養生후 실험되었다.

모든 애쉬混合은 Fly-ash未混入 配合과 비교할 때 鹽素이온浸透(Chloride ion permeability)가 유의할만하게 감소되었으며, 모르터는 모든 배합에 있어 페이스트보다 더 낮은 透水性을 나타내었다. 예상했던대로 溫度의 上昇과 養生期間이 증대됨에 따라 애쉬배합, 특히 F-ash배합에서 염소이온침투가 현저하게 감소되었다.

콘크리트配合는 단지 높은 칼슘형의 C ash에 대하여 0, 20, 40%의 比率로서, 總結合材量(total cementitious materials)은 564 lb(256kg)으로 설계되었으며, 물·시멘트비는 애쉬未混入(non ash mix)과 20% 애쉬배합에서는 57%였고 40% 애쉬배합에서는 47%였다.

위의 모든 것에도 불구하고 애쉬配合는 기능수행을 훌륭히 해낼 수 있으며 적절한 설계 조건에서 애쉬배합은 더 훌륭한 기능을 발휘할 것이다. 비록 미애쉬배합과 동등한 강도로 설계된 애쉬배합에서 耐久性이 눈에 띄게 증가되지 않을지라도 미애쉬배합은 애쉬를 첨가함으로써 종종 최초의 배합보다 보다 저렴한 비용으로 유의할만하게 개량될 수 있다. 플라이애쉬는 耐久性있고 不透水性의 콘크리트를 설계하는데 있어 훌륭한 역할을 수행할 수 있을 것이다.

Jim Jensen(American Fly Ash Company)