

콘크리트를 다루는 사람이 알아야 하는 콘크리트에 관한 것

What Everyone Who is "in" Concrete Should Know About Concrete



최석환 譯*

이 글의 제목은 길지만, 이 글이 두꺼운 콘크리트 책의 내용을 요약한 것은 아니다. 의도는 콘크리트 분야에 종사하는 사람이라면, 내 생각에, 반드시 알아야 하는 사항들에 대해서 말하는 것이다. 여기서 안다고 하는 것은 구체적인 기술적 지식을 가져야 한다는 것이 아니라 무엇이 중요한지를 이해하여야 한다는 뜻이다. 무엇이 중요한지를 안다면 거기에 주의를 기울이고, 기회가 닿는 대로 구체적인 내용을 직접 찾아보거나 혹은 주위의 동료들에게 물어보게 된다.

내가 어떤 형태의 체크 리스트를 제공하겠다는 뜻은 아니다. 다만 여기서 언급되는 사항들이 중요하게 다루어져야 하는 이유를 설명하고 싶다. 아울러 여기서는 콘크리트 연구에 관하여 토론하지도 않고 다가 올 기술발전을 예측하지도 않는다. 현재 알려진 지식을 기초로 하고자 한다.

• 콘크리트에 관한 문제들

서로 다른 경력을 지닌 채 서로 다른 전문분야에서 활동하고 있는 여러 사람들이 이 글을 읽을 것이다. 서로 공통점이 있다면 불량 콘크리트를 모두가 너무 자주 접한다는 사실일 것이다. 이 말에 화를 내지는 말기 바란다. 나는 모든 사람들이 일을 잘하고 있다고 생각하지만, 구조물 내에서 최종적으로 보게 되는 콘크리트는 당연한 어떤 수준 혹은 도달할 수 있는 수준에 못 미치는 것을 종종 보게 된다. 그리고, 이 때의 콘크리트에 관한 문제는 특별한 것들이 아니다.

몇몇은 현실적인 문제들이다; 철근의 부식으로 인한 성능저하, 풍화작용이나 변색으로 인한 흉측한 외관 등이 그것이다. 다른 문제들은 경우에 따라 현실적인 문제가 되기도 하지만, 자기가 좋아하는 주제에 대해서 여러 해 동안 연구하는 학자들에 의해서 비정상적으로 부풀려졌다: '지연 에트린자이트 형성'이 그것이고, 알칼리 골재반응과

by Adam Neville, Concrete International, April 1999 pp.57-61

*정회원, 국민대학교 토목환경공학과 전임강사

지도 그 예에 속한다고 할 수 있다. 그들은 실험실에서 발견한 것들을 당연히 발표할 것이고, 이러한 공포로 인해 콘크리트는 실제보다 더 나쁜 인상을 주게 된다. 이러한 문제가 현실적이지 못하다는 것이 아니라, 많은 문제들이 지구상의 일부 지역에 국한된 것이거나, 혹은 프리캐스트 콘크리트를 생산할 때 사용된 특정 열처리 기법에 기인한다는 의미이다. 이러한 문제들은 보편적인 것이 아니라 일부지역에 국한된 특수 문제이다. 다시 말하면 어느 특정 지역에 말라리아가 발생했다고 해서 휴가를 외국에서 보내지 말아야 한다는 것은 아니다.

한가지를 분명히 하고자 한다: 우리는 최고의 콘크리트를 만들기 위해서 노력해야 하는 것이 아니라, 필요한 특정 용도에 맞는 좋은 콘크리트를 만들어야 한다. 나의 의견을 전달하기 위해서 때에 따라서 자극적인 말을 일부러 하기도 하지만, 내가 말하는 내용을 진지하게 받아 들이기를 바란다.

• 어떠한 콘크리트를 만들어야 하는가

먼저 말해두고자 하는 것은 '만인의 콘크리트'라 할 만한 것을 만들던 때는 지나갔거나 아니면 곧 그렇게 될 것이다. 만인의 콘크리트라는 개념은 영국의 레미콘회사들에 의해서 실제로 도입된 것이다. 그들에 의하면 고객은 단지 두 가지 만을 명시해야 한다: 강도와 작업성이다. 고강도 콘크리트 혹은 저강도 콘크리트를 요구하거나, 작업성이 좋은 콘크리트 혹은 작업성이 나쁜 콘크리트를 고를 수 있다. 강도와 작업성은 독립적으로 선택될 수 있기 때문에 4가지의 조합이 존재한다. 이렇게 하면 레미콘회사로서는 매우 편리하겠지만, 고객을 충분히 만족시키지는 못한다. 산다는 것이 그렇게 간단하지는 않다. 콘크리트의 배합이 필요한 용도에 맞아야 한다.

사실, 이를 복잡하게 만드는 두 가지 이유를 들 수 있다. 첫째는 경화된 상태에서 만족할 만한 콘크리트의 기준으로 강도가 유일한 것이 될 수는 없다는 것이다. 두 번째는 오늘날 콘크리트 속에는 포트랜드 시멘트 뿐만 아니라 다른 여러 가지의 시멘트계 재료가 들어있다는 사실이다. 또한 적절한 작업성을 얻는 방법도 여러 가지이다.

강도에 대해서 먼저 얘기해 보자. 콘크리트의 강도는 거의 대부분 몇 MPa 혹은 몇 psi로 명시되어 왔다. 이것은 구조물에 대한 설계기준을 만족시키기 위해서 필요한 것이고, 더불어 28일 강도 같은 것도 바로 확인할 수 있다. 나의 경험으로는 콘크리트에서 강도가 부적절한 경우는 드물며, 또한 강도가 낮아서 파괴에 도달하거나 붕괴가 일어나는 경우는 극히 드물다. 반면에 내구성이 모자라서 계구실을 못하는 경우는 많이 볼 수 있다.

내구성은 콘크리트로 만든 구조물이나 부재가 노출되어 있는 특정 상황에 따라 서로 다르다. 여기서 부재라고 말한 것은 같은 구조물이라도 부분별로 서로 다른 환경 -국외외기조건(micro-climate, 미기후)이라고 불리기도 한다- 에 노출될 수 있기 때문이다. 예를 들면, 황산염이 함유된 지반 내에 있는 기초를 위해서는 특별한 콘크리트 배합이 요구될 것이다. 주기적으로 습윤상태와 건조상태가 반복되는 구조물이나 부재에서도 마찬가지다. 해수에 의해서 그럴 경우는 특히 더 그렇다. 구조물의 일부분이 동결 융해 작용에 노출되어 있을 수도 있다. 건물의 내부는 동결이나, 황산염 침식, 또는 해수 등으로 부터는 보호된다. 반면에 에어컨이 가동된 건물 내부에서는 건물 외부에서보다 더 심각한 탄산화가 일어난다. 왜냐하면 상대습도가 매우 높거나 혹은 매우 낮은 경우는 탄산화가 덜 일어나며, 또한 노출된 외부에서는 비가 씻어 내리기 때문이다.

• 콘크리트에 관한 설계명세

구조물을 설계하는 사람이 이 모든 요소들을 고려하여 어떤 콘크리트가 필요한지 명시하여야 한다고 말할지도 모른다. 하지만 그렇게 될 수가 없는 두 가지 이유를 들겠다. 하나는 설계기술자가 콘크리트의 배합에 따라 달라지는 콘크리트의 특성에 관한 정보를 갖고 있지 않은 경우가 많고, 또한 어떤 콘크리트가 실제 사용될지 알지 못한다. 또한 설계기술자는 시공사가, 경제적인 측면을 고려하여, 어디에서 재료를 가져다 쓰길 원하는지 알지 못한다.

구조물 설계기술자가 콘크리트의 배합을 명시하지 않는 두 번째 이유는 재료의 양을 일일이 주는 방법이 사용되지 않기 때문이다. 단위 부피

당 콘크리트에 요구되는 시멘트의 양, 혹은 정확한 물-시멘트 비를 요구하던 시대는 갔다. 그것은 이러한 방식이 경제적인 면에서나 경쟁의 논리로 보나 도움이 되지 않기 때문이다: 어느 시공사나 같은 결과를 가져 다 줄 것이고, 많은 지식과 더 좋은 기술을 가지고 있는 시공사라 할지라도 다른 사람과의 경쟁에서 이길 수 없을 것이다. 더 나은 시공사는 적합한 재료를 선택하는 방법, 그리고 적절한 혼화제를 사용해서 운반과 타설 조건(펌핑, 슬립 폼 등)에 맞추는 방법을 남보다 더 잘 알고 있을 것이다.

요즘 여러 나라에서 시방기준을 콘크리트의 성능으로 표시하는 것이 많이 사용되고 있다. 성능은 특정 실험을 만족하는 것으로 정해진다. 즉, ASTM 기준을 이용한 동결융해 반복 시험: 또 다른 ASTM 실험법을 이용한 황산염 침식에 대한 저항시험: ASTM 혹은 다른 주어진 실험을 이용한 염화물 침투에 대한 저항시험 등을 예로 들 수 있다. 이러한 실험적 요구사항을 만족시키기 위해서는 시공사는 실험 자체에 대해서 뿐만 아니라, 각 실험조건 하에서 콘크리트 배합에 관련된 어떤 변수가 콘크리트의 성능에 어떤 영향을 미치는지도 잘 알고 있어야 한다.

여기에 약간 부연을 하면, 실험의 결과가 어떻게 나왔는지를 보는 것은 쉽다. 그러나 배합에 쓰이는 재료와 배합비가 실험에서 콘크리트의 성능에 어떤 영향을 미치는지를 식별하는 것은 쉽지 않다. 예를 들면, 콘크리트에 대한 염화물 침투는 여러 가지에 의해 영향을 받는다. 물-시멘트 비에 관한 것은 잘 알려져 있을 것이다. 그러나 일정 물-시멘트 비에 대한 침투성은 수화된 시멘트 풀의 공극 구조에 의해서, 사실은 주로 공극의 크기에 의해서 정해진다. 더 미세한 공극구조는 실리카 폼을 넣음으로써 얻어지는데, 이것은 실리카 폼 입자가 시멘트 입자 사이의 간격을 메우고, 특히 시멘트 입자와 골재표면 사이의 공간을 메우기 때문이다. 또한 염화물의 일부는 시멘트 풀에 의해서 둘러 쌓여진다: 결합의 정도는 포트랜드 시멘트 내에 포함된 알루미늄 산화물(C3A)의 양에 의해서 영향을 받으며, 포트랜드 시멘트 만 사용되었을 경우의 결합은 고로슬래그에 의한 결합보다 더 작다는 것을 알아야 한다.

요지는 이렇다: 배합재료가 미치는 영향을 안다면, 설계명세를 봤을 때, 배합에 실리카 폼이나, 메타카올린(metakaolin), 혹은 탄화된 왕겨의 사용을 고려해야 한다는 것을 금방 알게 된다. 이렇게 되면, 배합재료에 드는 경비를 알게 되고, 또한 부적절한 콘크리트 배합을 사용하는 실수를 저지르지 않을 것이다. 더러는 규정이 더 많은 것을 요구하면서도 덜 분명한 경우도 있다. 예를 들어 주요 대형터널 또는 교량에 있어서 기준이 예상수명으로 주어지는 경우도 있다: 흔히 120년이 사용된다. 우리가 이런 요구에 부딪혔을 때는 상당히 복잡한 배합을 필요로 한다는 것을 아는 것이 중요하다.

• 규준이 주어지지 않은 경우의 배합

배합의 선택에 있어서 내구성 문제는 단지 크고 유명한, 혹은 색다른 구조물에만 상관있다는 인상을 주고 싶지는 않다. 일반 주택을 지을 경우에도 토양 속에 황산염이 많이 들어있는 지역에서는 이러한 문제가 실제 있거나 있을 가능성이 많다. 이러한 종류의 공사에서는 엔지니어가 설계에 관여하지 않고 공학적인 규준이 없을지도 모른다. 시공사가 들고있는 건축가의 도면에는 콘크리트 기초와 바닥 콘크리트 상재가 아마도 철근망 보강과 함께 표시되어 있을 것이다. 도면 설명에는 간단하게 국가코드, 혹은 지방자치단체의 코드를 따른다고 표현되어 있을 것이다. 도면에는 토양이나 지하수가 황산염을 포함하고 있다는 사실을 언급하고 있을 지도 모른다. 혹은 토질 전문가에게 자문하라는 말이 어디 있을지도 모른다. 전문가들은 황산염의 상태가 얼마나 심각한지에 관한 정보를 줄 수도 있고, 시공사를 위해서 콘크리트 배합을 설계할 수도 있을 것이다.

중요한 점은 콘크리트가 용도에 맞아야 한다는 것이다. 다시 말하면, 실제 노출조건에 상응하는 내구성을 지녀야 한다. 이러한 간접적인 정보를 기준으로 어떤 콘크리트 배합을 선택할 것인지는 시공사에 달려 있을 것이다. 시공사들은 이러한 문제는 당연히 레미콘 업자가 결정을 내려야 한다고 생각할 것이다. 그러나 정말 그런가? 규모가 크고 틀이 잡힌 레미콘 업자들은 많은 지식을 가지고 있기는 하겠지만, 많은 경우에 그들은

도면을 직접 들고 있지도 않고 또한 도면을 이해하는 전문적인 지식도 아마 부족할 것이다. 또한 배합설계에 관한 시방기준을 그들이 다 알아야 하는 것도 아니다. 배합에 관하여 어디를 찾아봐야 하는지를 알기 위해서는 시방기준에 매우 익숙하여야 한다.

일반적으로 주택기초는 특별한 콘크리트로 취급되지 않는다. 그럼에도 불구하고 노출상태가 심각하다면 콘크리트의 설계-공급-시공의 연결고리 내에서 충분한 지식을 가지고 있는 사람이 있어야 한다. 누가 그러한 지식을 가져야 하는지는 국가적인 혹은 자치단체의 관례에 의해서 정해지거나 서로의 합의에 의해서 결정될 것이다. 아는 사람이 아무도 없다면 모든 당사자가 연관된 법적 분쟁이 생길지도 모르고 콘크리트에 관한 좋은 이미지는 손상을 입을 것이다.

노출조건에 대해서 얘기를 더 하고자 한다. 왜냐하면 토양 속에 황산염이 존재한다는 사실만으로는 콘크리트 기초나 슬래브가 어떤 조건에 노출되어 있는지를 정할 수 없다. 바닥 콘크리트인지 아니면 매달린 형태의 슬래브(suspended slab) 인지를 알아야 한다. 또한 불투과막이 사용되었는지, 콘크리트를 유해물질로부터 보호하기 위한 배수시설은 되어 있는지 알아야 한다. 우리는 이러한 세부사항을 국부외기조건으로 간주할 수 있다. 중요한 것은 콘크리트 배합을 결정하는 사람이 콘크리트에 대한 침식의 위험을 깨닫고 있어야 하고, 적절한 재료와 배합비를 잘 선택할 줄 알아야 한다는 것이다.

• 용도에 맞는 콘크리트

이제 우리는 어떠한 결론을 얻을 수 있는가? 앞서서도 얘기했듯이 '만인의 콘크리트' 라든가 혹은 그냥 보통 콘크리트는 존재하지 않는다. 종종 요구되는 것은 '설계자 콘크리트'(Designer Concrete) 혹은 '주문 콘크리트'(Custom-Built Concrete)라고 불릴 수 있는 것들이다. 이 용어가 적합한 것이 못 될지도 모른다. 그러나 내가 이 말을 쓰는 것은 고급양장점이나 고객 주문주택이 똑 같은 형태로 대량생산되는 기성복이나 일렬로 서 있는 연립주택과는 다르다는 것을 보이기 위해서이다.

사실 '설계자' 콘크리트에 해당하는 특정 콘크리트를 지칭하는 용어는 있다: 그것을 고성능 콘크리트(HPC)라 부른다. 고성능콘크리트는 특별한 용도나 성능에 맞는 콘크리트에 불과하다. 이러한 성능은 압축강도가 될 수도 있고, 아니면 인장강도, 투수성, 혹은 내구성에 관한 요구조건, 또는 탄성계수도 될 수가 있다. 내가 제안하고 싶은 것은 고성능콘크리트를 더 이상 유별한 것이나 특수한 것이 아니라, 전체 콘크리트 범주 내에 있는 것으로 간주해야 한다는 것이다. 따라서 '콘크리트'를 포괄적인 이름으로 계속 사용하고자 한다.

이제 1999년에는 우리가 다 알아야 하는, 그러나 10년 전만 하더라도 콘크리트 적용기술분야에서는 제대로 파악이 되지 않은 경화된 콘크리트의 성질에 대해서 생각해 보고자 한다. 나는 '적용'이라는 말을 강조하고 싶다. 그 이유는 그러한 지식들이 실험실이나, 대학, 책 속에는 이미 있었기 때문이다. 우리가 그런 것을 왜 생각해야 하는가?

설계기술자가 구조물 설계시에 더 많은 것을 요구하기 시작했는데, 그것은 옳은 일이고 또한 적절하다. 그 이유는 우리는 더 낮고, 더 효율적이고, 더 경제적인 구조물을 만들기 위해서 노력해야 하기 때문이다. 많은 설계기술자들은 수축, 크리프, 열 팽창에 관해서 이제 더 많은 관심을 가지고 있으며, 그들의 요구 사항을 구체적으로 명시하거나, 혹은 내재적으로 표현하게 되었다.

예를 들면, 철근 콘크리트 기둥과 연결되어 있는 외장재를 생각해 보자. 일정 하중 하에서 콘크리트의 크리프에 의해서 기둥은 길이가 짧아지지만, 외장재는 그렇지 않다. 외장재를 고정하는데 대한 설계상세가 주어지겠지만, 기둥의 움직임이 받아 들여질 수 있는 지는 수축뿐만 아니라 얼마만한 크리프가 생길 지에도 달려있다.

고층빌딩에서 발코니를 외관상 이유로 혹은 그늘을 만들기 위해서 비내력 수직칸막이(fin)로 연결하는 경우에도 비슷한 문제가 생긴다. 크리프로 인한 기둥의 수축으로 핀에 압축응력이 도입된다. 이 경우 칸막이가 좌굴을 일으키거나 떨어져 나간 것을 콜롬비아, 터키, 오스트레일리아처럼 서로 관련이 없는 여러 나라에서 보았다.

콘크리트의 크리프에 관해서는 엔지니어의 지

시가 분명하지 않은 경우가 많은 것 같다. 많이 아는 시공사는 비록 크리프에 관한 전문가가 될 수 없다 할지라도 잠재적인 문제점을 인식하고 있을 것이다.

시공사는 무엇을 하고 있을까? 내재된 문제점을 인식한다면, 콘크리트 배합은 과거의 경험에 비추어 선택될 것이고, 예로써 수축을 일으키는 골재는 제외될 것이다. 혹은 시공사는 설계기술자에게 크리프 변형을 설계에서 어떻게 흡수할 수 있는지를 물어 볼 것이다. 내가 말하고 싶은 것은 시공사측 혹은 누구든지 배합을 정하는 쪽에서 이러한 상황을 인식하는 것이 반드시 필요하다는 것이다.

수축이음이 넓게 배치되어 있는 빌딩에서도 마찬가지이다. 여기서는 열 변형이 중요할 것이고, 콘크리트 배합을 결정하는데 있어서 열 팽창율이 높은 골재를 피하는 것이 중요하다. 여기에서도, 다른 열팽창 계수를 가진 골재가 존재한다는 사실을 누군가가 알고 있어야 한다.

수축은 또 다른 문제이다. 아마 여러 종류의 공사에서 광범위하게 존재하는 가장 일반적인 문제일 것이다. 엄밀히 말해서 수축 그 자체 만으로는 문제가 되지 않지만, 구속상태 하에서의 수축으로 인해서 생기는 균열이 문제이다. 간단한 예를 들면, 차고 슬래브, 파티오(patio), 차도 등에 콘크리트 슬래브를 타설하는 경우에는 수축 이음부를 두어야 한다. 이러한 이음부는 최대 간격이 4미터 정도이고, 이음부에 둘러 쌓인 슬래브 부는 한 쪽으로 너무 길지 않아야 하며 길이가 폭의 1.5배 이하가 되어야 한다. 특히 슬래브에 요각이 있는 경우는 내각쪽에서는 균열이 거의 일어난다. 이러한 모양은 피해야 하고, 고객에게 이 모든 것을 잘 알려야 한다.

슬래브의 이음부는 처음부터 모양대로 제작될 수도 있고, 자를 수도 있다. 잘랐을 경우에는 라벨링(ravelling)이 생길 가능성이 크기 때문에 규산질 골재를 피하는 것이 중요하다. 따라서 배합설계에 있어서 누군가가 적절한 골재를 선택해야 한다. 골재의 선택은 콘크리트 표면에서의 마찰저항과도 관계가 있기 때문에 역시 중요하다.

어떤 독자는 이 모든 것이 잘 알려져 있고 너무 분명하다고 생각할지도 모른다. 그럼에도 불

구하고 수축으로 인한 문제들은 끊임없이 많이 생기고 있다. 또 다른 독자들은 이 모든 문제들은 건축 혹은 토목 설계기술자의 문제라고 생각할지도 모른다. 진짜 그런지는 논의의 여지가 있지만, 요즈음 그들이 알고 있는 것은 20년 전에 그들이 알고 있었던 것에도 미치지 못한다. 이것은 교육이 점점 정밀한 구조해석과 그로 인한 CAD의 선취로 이동하여, 콘크리트에 대한 이해의 부족 및 구체적인 지식의 배제로 이어졌기 때문이다.

엔지니어의 지식이 부족하게 된 것은 콘크리트가 4반세기 전보다는 훨씬 더 복잡한 재료가 되었다는 사실에도 이유가 있다. 그때는 시멘트, 모래, 자갈, 그리고 물에 대해서만 알았으면 되었다. (이 말도 물론 나의 도발적인 과장의 한 예이다.)

• 오늘날 콘크리트의 배합재료

또 다른 과장으로 시작해 보자: 콘크리트에 시멘트계 재료만이 들어있을 날은 이제 얼마 남지 않았다. 포트랜드 시멘트는 훌륭한 재료이다 -영국에서 발명된 모양 그대로였어야 했다! 그러나 포트랜드 시멘트는 수 없이 많은 문제를 일으킨다. 열거해 보겠다.

포트랜드 시멘트의 수화작용으로 열이 발생하고, 이로 인해 콘크리트 내의 열이 상승하면서 팽창이 일어나고, 다시 수축하면서 균열이 생길 수가 있다. 수축을 일으키는 것은 수화된 포트랜드 시멘트 풀이다. 이는 또한 크리프의 근원이 되기도 한다. 대부분의 수분과 유해한 화학성분들이 유입되는 것이 수화된 시멘트 풀을 통해서이다. 동결 용해작용으로 인한 손상도 수화된 시멘트 풀 내에서 일어난다. 화학적인 침식은 시멘트 풀 내에서 이거나 반응을 일으키는 골재입자와의 경계에서 일어난다. 또한 수화된 포트랜드 시멘트의 공극구조 때문에 일반적으로 압축강도와 내구성에 실제적인 한계가 생긴다.

따라서 해결책은 포트랜드 시멘트와 함께 다른 시멘트계 재료를 사용하는데 있다. 포트랜드 시멘트는 반드시 필요한 재료지만, 여러 가능한 재료들 중의 하나이고, 종종 다른 재료가 훨씬 더 나은 경우도 있다. 플라이애쉬, 고로슬래그, 실리카 폼 등을 들 수 있다. 다른 재료들로는 천연포졸란, 석회 플라이애쉬, 왕겨, 고령토(metakaolin),

무반응 충전재 등을 들 수 있다. 모두가 각자의 역할이 있고, 고유하게 기여할 수 있다. 마찬가지로 고성능 감수제를 비롯한 각종 혼화제도 큰 도움을 준다.

이 글에서 이러한 여러 가지 재료의 사용에 관해서 설명하거나 논의할 수는 없다. 내가 말하고자 하는 바는 콘크리트에 관여하는 사람들은 이러한 시멘트계 재료의 작용에 대해서 충분히 알고 있어야 한다는 것이다. 덧붙인다면 이 모두가 시멘트계 재료는 아니지만, 용이하고 논리적인 용어인 것 같다. 종종 대체재료라는 용어가 사용되는 줄 알고 있지만, 내 생각으로는 앞서 언급한 여러 시멘트계 재료가 배합에서 시멘트 대신이 아니라 시멘트와 동격으로 사용된다. 어떤 이는 보조재료라는 용어를 쓰는데, 마찬가지로 내 생각으로는 이들이 보조, 추가되는 재료가 아니라 포트랜드 시멘트와 동격으로 사용되고 있다.

예전에는 내 견해에 반대하거나, 화를 내는 포트랜드 시멘트 제조업자들도 보았다. 나의 견해에 반대하는 것보다, 합성 혹은 혼합시멘트가 더 좋은 콘크리트를 만든다는 것을 인식하는 것이 더 낫다고 생각한다. 결국 포트랜드 시멘트 제조업자는 시멘트의 사용에 관심이 있기 때문이다. 경제적인 면에서 단위 부피당 콘크리트에 더 적은 양의 시멘트를 넣고, 더 많은 부피의 콘크리트를 생산하는 것이 더 낫다. 양질의 콘크리트는 판매를 신장시키고 불량 콘크리트는 사람들이 방향을 바꿔서 새로운 재료와 해법을 찾게 만든다.

· 배합과 양생

지금까지 콘크리트의 구성성분에 대해서만 얘기했다; 뭐니뭐니해도 배합재료가 최종 결과물의 거동에 주된 영향을 미친다. 그러나 훌륭한 요리 재료를 가지고도 시원찮은 음식을 만들 수도 있다. 그래서 배합재료와 연결해서 두 가지 요법을 제시하고자 한다.

첫 번째는 계량과 비빔에 관한 것이다. 컴퓨터를 이용한 그 모든 제어에도 불구하고 배합에 들어가는 물의 양이 필요한 만큼 항상 정확하게 계량되는 것은 아니다. 일반적으로 문제는 골재에, 특히 잔골재에 있다. 골재의 표면수의 양이 종종 정확하게 계산되지 않는다. 골재에 포함된

수분함유량이 정확하게 측정되었다 할 지라도, 필요한 만큼 충분한 횟수로 반복 측정되지 않는다. 덧붙여 골재 저장소의 배수가 잘 안되거나 배수 주기가 부적절하다면, 혹은 빗물이 스며든다든지 하면 같은 무게의 골재 속에 서로 다른 양의 수분이 포함되는 것은 당연하다. 물론 표면건조 포수상태에 있는 골재의 실제 무게는 경우에 따라서 다르다. 바람이 불고 해가 쬐는 날씨에서는 골재는 표면건조 포수상태보다 더 적은 양의 물을 포함하고 있을 것이다. 이러한 경우 믹서 속의 유리수의 양은 정해지지 않는다.

어떤 경우는 부적절한 비빔이 문제가 되기도 한다. 여러 종류의 시멘트계 재료가 같이 사용되었을 경우, 특히 실리카 폼이 포함되어 있는 경우는 더 그렇다. 아주 좋은 재료를 사용했지만 콘크리트 내에 실리카 폼이 덩어리져 있는 경우를 많이 봤다. 플라이애쉬가 콘크리트의 한 쪽에는 너무 없고 다른 쪽에는 너무 많이 들어간 경우도 있다. 이 모든 경우는 비빔시간이 너무 짧기 때문이라고 얘기할 수 있다. ASTM이나 ACI기준에 믹서의 크기에 따라 비빔시간을 정하는 기준이 있기는 하지만, 강제 조항은 아니다. 더군다나 비빔시간은 시공사의 문제이고, 그들은 늘 비빔시간을 줄여서 믹서 한 대당 작업량을 늘이기를 원한다. 이 부분을 예의 주시하여야 한다는 것이 내 생각이다.

비빔에 관하여 한 가지 더 말하는 것이 좋겠다. 가끔은 믹서가 낡아서 제대로 작동하지 않는 경우를 보았다. 또 오랫동안 내부를 청소하지 않아서 경화된 시멘트 풀이 껍질처럼 앉아있어 정상적인 비빔에 영향을 주는 경우도 보았다. 문제가 있을 때는 믹서를 살펴보는 것도 필요하다.

두 번째 요법은 양생에 관한 것인데, 대학에서 신경을 써야 할 만큼 큰 기술이 필요한 것은 아니라고 생각하는 경우가 종종 있다. 시방기준에 양생에 관하여 자세하게 기술되어 있지만 제대로 되는 경우가 별로 없다. 늘 지켜보고 있지 않기 때문에 제대로 양생 되었는지 확신을 갖기가 어렵다. 그러나 습윤양생이 제대로 안되었을 경우 표시가 난다. 다형스텝게도 금방 표시는 나지 않는다. 그러나 나중에 제대로 양생된 외부 콘크리트에 탄산화가 과도하게 일어날 경우나 염화물이

단시간에 많이 유입되었을 경우에는 드러나게 된다. 콘크리트의 피복부에 절대적인 영향을 미치는 것이 양생이고, 많은 경우에 있어서 구조물의 내구성에 직접적인 영향을 미치는 것이 바로 피복부이다. 배합에 마이크로 실리카가 포함되어 있을 경우는 습윤양생을 잘 하는 것이 더욱 더 중요하다. 그래서 양생에 철저한 주의를 기울여라 하는 것을 말하고 싶다.

· 요약

물론 이 글이 콘크리트 분야에 종사하는 사람이 알아야 하는 모든 것을 언급하지는 않는다: 본인의 저서 'Properties of Concrete'의 판매에 나쁜 영향을 주고 싶지도 않다. 내가 원하는 것은 콘크리트를 제작할 때 우리 모두가 주의를 기울여야 하는 중요한 몇 가지를 강조하는 것이다.

포트랜드 시멘트 만 들어있는 보통의 콘크리트가 사용되는 시대는 이미 사라져가고 있고, 단순한 응용을 제외하고는 곧 사라질 것이다. 대부분의 경우는 가능한 일련의 시멘트계 재료 중에 선택을 해야 한다. 혼화제, 특히 고성능 감수제는 중요한 역할을 한다. 물을 많이 첨가하는 것이 작업성을 높이는 유일한 방법도 아니고 최선의 방법도 아니다. 성능을 기준으로 한 기준설정에 관여하는 사람은 이 모든 것을 명심해야 한다. 그렇지 않으면 시방기준에 명시된 규정과 근원적인 요구사항이 잘못 이해되고, 시험배합을 통해서만 잘못되었다는 것이 분명해지게 된다. 그 단계에서는 예상보다, 비록 틀린 것이지만, 더 많은 비용이 들 것이다.

시방규정은 통상적인 조항 외에 갈수록 내구성에 관심을 더 많이 보인다. 가끔은 내구성이 구조물의 기대수명에 대한 연수로 표현되기도 한다. 이 숫자를 배합재료에 관한 자료로 변환시키는데는 여러 배합재료 및 배합비가 콘크리트의 성질에 미치는 영향에 관하여 깊이 알고 있어야 한다. 모든 사람이 그러한 구체적인 지식을 가질 필요는 없지만, 각 조직마다 상의할 수 있는 사람이 있어야 한다.

엔지니어가 언급한 규정이 따로 없고, 도면의 주를 참고하거나, 구체적인 절이 명시되지 않은 상태에서 국가 시방기준을 통해서 조금씩 내용을

수집해야 하는 경우의 상황은 더 난감하다. 이러한 경우는 배합설계나 재료의 선택을 책임지고 있는 사람이, 환경에 대한 노출조건 및 필요한 배합재료에 관하여 잘 알고 있어야 한다.

일반적으로 말해서 콘크리트의 배합은 필요한 특정용도에 따라서 선택되어야 한다. 이것이 사람들이 고성능 콘크리트라 부르는 것이라고도 할 수 있다. 내 생각으로는 고성능 콘크리트와 보통 콘크리트의 경계는 곧 사라질 것이고, 앞으로 대다수 고객에게 주문 콘크리트 혹은 맞춤 콘크리트를 제공해야 할 것이다.

만약 이러한 접근방식에 더 많은 비용이 든다면, 그것을 보상하는 방법은 콘크리트에 대한 이미지를 높이고, 또한 앞으로 모든 용도에 계속적으로 이용될 수 있도록 하는 것이다. 아니면 구조물을 보수하고, 보수한 것을 또 보수하고, 해체하고 해야 할 것이다. 결국은 재활용 골재를 생산할 수 있다고 웃으면서 말할지 모르지만, 이런 식으로는 불만을 지닌 사용자가 콘크리트를 가능하면 멀리하게 만들 것이다. 콘크리트는 절대 심각한 경쟁에 처하지 않을 것이라는 가정은 무모하다.

내가 배합비에 대해서 강조해 왔지만, 이것으로 최종적으로 좋은 콘크리트가 된다는 보장은 없다. 비빔에서는 일반적으로 큰 문제는 없지만 골재에 함유된 수분을 더 잘 제어해야하고 주의를 기울이지 말아야 한다. 비빔시간은 모든 재료가 잘 섞이기에 충분해야 하는데, 마이크로 실리카가 포함되어 있을 경우에는 더욱 그렇다. 단위시간당 믹서의 작업량을 높이기 위해서 충분히 비비지 않아서는 안된다. 그리고 마지막으로, 콘크리트가 타설되고 다져진 후, 적절하게 양생이 되어야 한다. 마이크로 실리카가 배합에 사용되었을 경우에는 특히 그러하지만, 이것은 모든 콘크리트에서 양생을 잘하는 것이 피복부에서 유해물질이 유입되는 것을 최소화하고 철근을 완전히 보호하는데 있어서 절대적이다.

내가 지금까지 말한 것은 콘크리트에 관한 충분한 지식과 이해를 필요로 한다. 이것은 당연하고 또한 적절한 것이라고 생각한다. 왜냐하면 더 이상 콘크리트를 수준낮은 싸구려 재료로 간주해서는 안되기 때문이다. [E]