

레미콘의 변신

이 경 희

(명지대학교 공과대학, 무기재료공학과, 공학박사)

1. 서 론

흐르는 강물속에서 타설이 가능한 콘크리트(수중부분리 콘크리트) 직경이 30m가 넘는 대형 교각 기초에 균열이 없는 콘크리트(저발열 콘크리트) 5cm간격으로 철근이 들어 있는 곳에 바이브레이터 없이 타설 할 수 있는 콘크리트(고유동화 콘크리트), 최고 압축강도 1000kgf/cm²인 콘크리트(고강도콘크리트) 이러한 콘크리트는 오늘날에 와서는 꼭 필요한 콘크리트로서 자리를 잡아가고 있다.

한편 외국의 경우 콘크리트 실명제에 의한 주문형 콘크리트까지 등장하여 고객이 원하는 특성을 가진 콘크리트를 품질 보증과 함께 레미콘 제조자의 실명화가 이루어지고 있다. 이와 같은 추세는 레미콘업계에 새로운 개념의 도입과 함께 커다란 변신을 요구하고 있다. 특히 오늘날과 같이 레미콘업계의 심각한 경쟁을 벗어나 고부가 가치의 창출과 함께 새로운 시장의 창출은 더 더욱 절실한 상황이라 할 수 있다. 고객이 원하는 콘크리트는 기존 콘크리트와는

그 개념 자체가 달라 가격의 현실화는 물론 앞으로의 수요를 선도할수 있는 유일한 방법이다. 이번 강좌는 다양해지는 고객의 요구와 사회의 요구에 충족되는 콘크리트를 만들기 위한 레미콘의 변신과 그것을 가능하게 하는 기술 중에서 혼합수의 중요성에 대하여 언급한다.

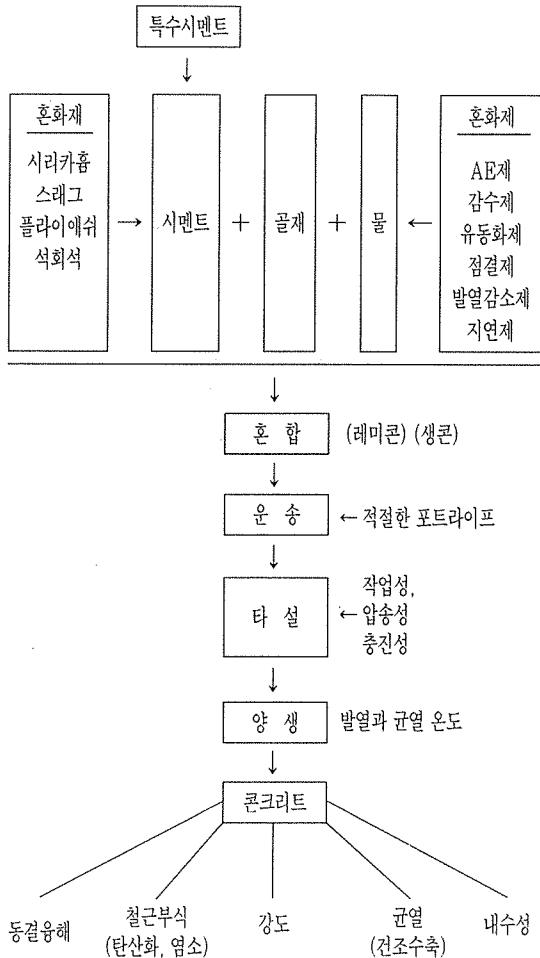
레미콘

콘크리트를 구성하는 원료들이 균일하게 혼합되어 있는 상태로써 타설작업에 필요한 성질들을 갖추고 있는 상태.

화학반응은 거의 일어나지 않는 상태로써 단지 시멘트 크링커 입자 표면에 얽은 수화반응 생성물로 덮여 있어 화학 반응이 잠시 중단되어 있는 상태임.

콘크리트

시멘트 크링커 입자들이 물과 반응하여 굳어져 있는 상태로써 레미콘의 작업성을 확보하기 위하여 여분으로 넣어준 물은 화학반응에서 사용되거나(약25%) 그 나머지는 증발된 상태.



〈그림 1〉 레미콘과 콘크리트

2. 콘크리트 물성에 미치는 혼합수의 영향

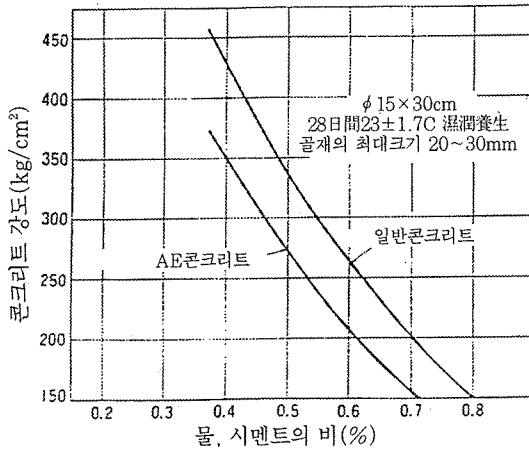
2.1 콘크리트의 강도

레미콘과 콘크리트는 그림1과 같은 공정을 통해서 살펴 볼 수 있다. 레미콘의 기본은 시멘트+골재+물을 잘 혼합하여 특수 차량에 의하여 시멘트, 골재, 물의 분리가 일어나지 않도록 섞어 주면서 타설 현장까지 운반해 주는 것이다.

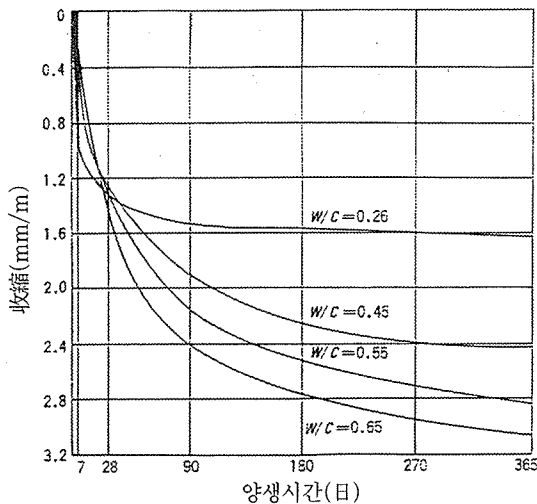
이렇게 생각하면 아주 간단한 공정에 지나지 않으나 다른 한편으로 생각하면 그리 간단하지 않다. 그 이유는 레미콘차로 운반되어 온 레미콘은 현장의 여러 환경에서 타설이 완벽하게 이루어지기 위한 까다로운 작업이 뒤따르게 되며 또한 타설이 끝난 후 양생을 거쳐 콘크리트가 된 후에 내구성, 강도등과 같은 여러 가지 물성을 충분히 발휘하여야 하기 때문이다.

콘크리트의 최종물성은 레미콘의 제조 조건 및 레미콘의 타설조건에 따라 완전히 달라지게 된다.

콘크리트의 강도는 물비에 따라 가장 크게 영향을 받는다. 예를 들어 시멘트가 완전 수화 반응을 하기 위한 물은 시멘트 중량의 약 27%정도이면 충분하다. 그러나 실제로 레미콘 타설작업을 위해서는 최소한 40%정도의 물이 없으면 취급이 불가능하며 더욱이 좀 더 쉬운 작업을 위해서는 60%정도로 작업하고 있다. 이 경우 반응에 필요한 약 30%물 이외의 나머지 30%는 결국 콘크리트가 굳은 후 증발되고 그 부분이 빈자리가 된다. 따라서 콘크리트 내부에 구멍이 나게 되며 결국 그만큼 강도가 떨어지게 된다. 이와 같은 관계는 그림 2에서 잘 보여주고 있다. 즉 기공율과 압축강도는 거의 직선적으로 비례 관계를 가진다. 예를 들어서 골재 최대 크기가 20~30mm 인 경우 23℃에서 28일간 양생시켰을 경우 물비가 0.4인 경우에는 일반 콘크리트에서 430kg/cm², AE콘크리트에서 350kg/cm²이 었으나 물비를 0.6으로 하면 일반 콘크리트에서 260kg/cm²로 된다. 즉 콘크리트에 물을 얼마나 섞어 주느냐 하는 것은 콘크리트의 강도에 최대의 관건이다. 레미콘차의 앞에 붙어 있는 “물을 타지 맙시다.”라는 표어는 바로 이와 같은 중요한 사항을 잊지 말자는 뜻이 된다.



〈그림 2〉 콘크리트 강도와 물, 시멘트비와의 강도(ACI)

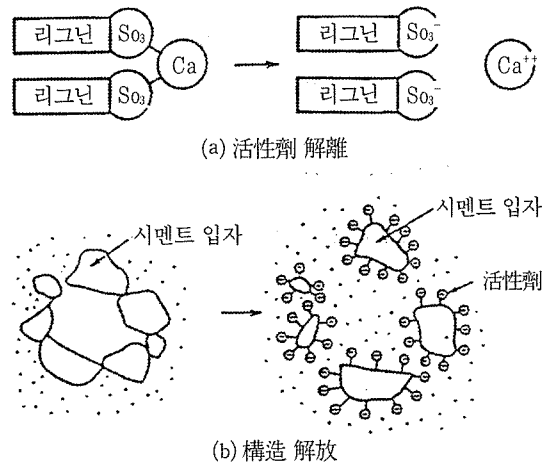


〈그림 3〉 물, 시멘트비가 서로다른 시멘트의 건조기간과 수축의 관계

물비는 콘크리트의 최종 수축과도 깊은 관계가 있다. 그림 3에는 물비에 따른 콘크리트의 수축을 나타낸다. 즉 물비가 0.26이면 수축은 1.6mm/m에 지나지 않으나 물비가 0.65가 되면 수축은 3.0mm/m정도로써 약 두배의 수축이 일어나게 되며 결국 수축이 클수록 콘크리트의 균열이 심해진다.

강도라는 측면을 보면 앞에서 언급되었듯

이 처음 레미콘에 넣어 주는 물의 양을 가능한 한 적게 해주는 것이 상책이다. 그러나 실제로는 약 40%이하의 물을 넣어 주면 레미콘 작업은 거의 힘들어진다. 따라서 작업이 가능한 상태를 유지시키면서 물의 배합비를 줄여가는 방법이 우선 레미콘 변신의 제 1조가 된다. 물비를 줄여 주는 가장 강력한 수단은 역시 시멘트크링커 입자들의 분산성을 좋게 해주는 방법이다. 이때에 사용되는 것이 AE감수제, 감수제, 유동화제 등이 된다. 이들 성분들이 콘크리트의 흐름성을 좋게 만들어 주는 원리는 그림 4에서 볼 수 있다.

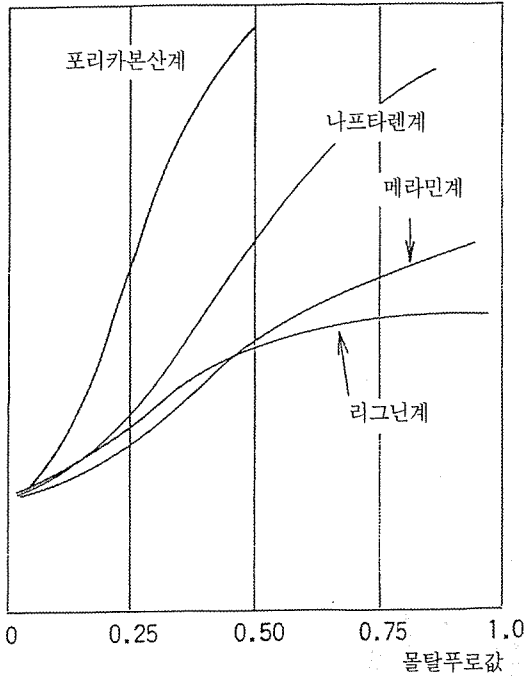


〈그림 4〉 시멘트의 분산과 계면활성제

여기서는 대표적으로 리그닌산염을 들어 설명하자. 그림 4는 리그닌산염의 생김새와 그것이 시멘트크링커 분말 표면에 흡착되어 입자들을 물 속에 분산시키는 모양을 잘 보여주고 있다.

그림 5와 그림 6에는 각종 감수제를 사용했을 때의 흐름성이 얼마나 좋아지는가 하는 것과 그때의 감수율이 얼마나 변화되는가를 보여주고 있다.

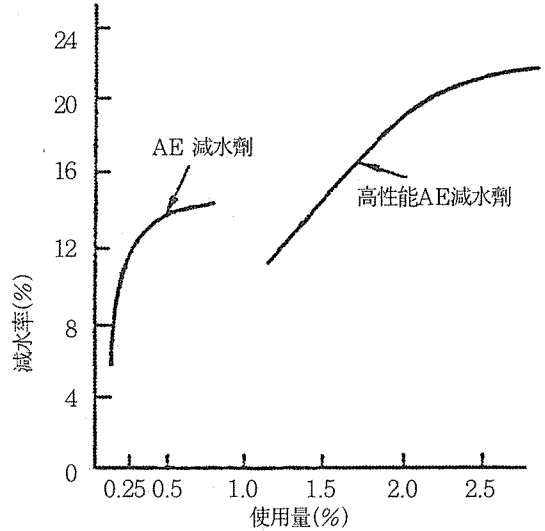
그림 5에 의하면 폴리카본산계가 흐름성에



〈그림 5〉 감수제의 첨가량에 따른 몰탈푸로값

미치는 영향은 제일 크게 나타나있다.

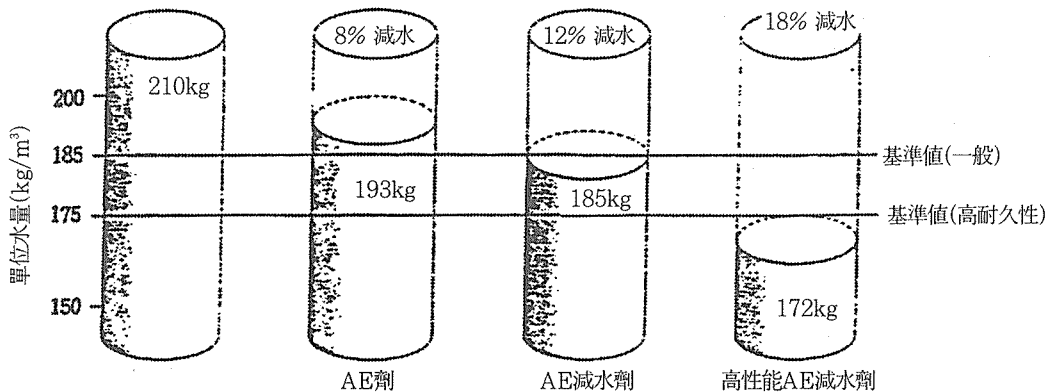
그림 6에 의하면 고성능 AE감수제의 경우 사용량이 2.0%넘어서면 감수율은 약 25%까지 되는 것을 볼 수 있으며 AE감수제의 경우는 0.5% 첨가 해 주면 약 15% 감수율을 얻을 수 있다. 이와 같이 감수제를 사용함에 따른 사용물량이 얼마나 줄어드는가 하는 것은



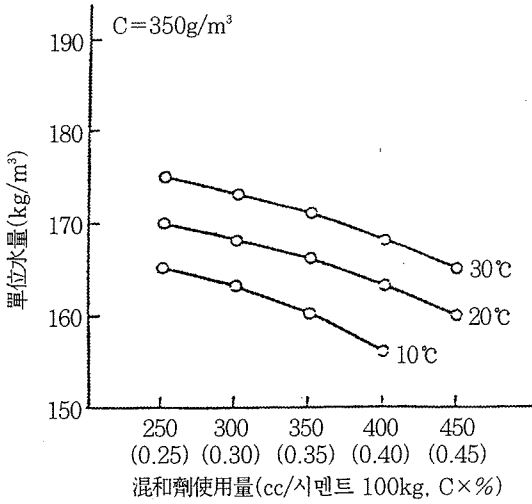
〈그림 6〉 고성능 감수제의 사용량과 감수율

그림 7에서 볼 수 있다.

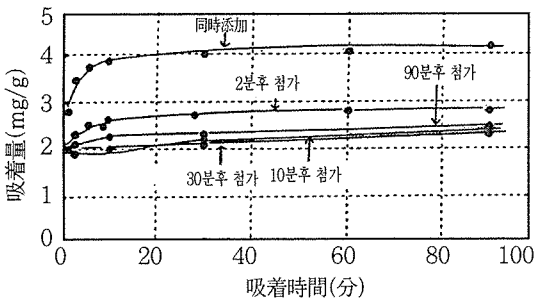
또한 감수제를 사용하더라도 감수 효과는 온도에 따라서도 약간 달라지며 그때의 모양을 그림 8에서 볼 수 있다. 그림 8에 의하면 그때의 외부온도가 높으면 단위수량도 늘어나게 되지만 혼화제 효과는 거의 같게 나타남을 알 수 있다. 전체적으로 감수제 양이 많아지면 단위 수량은 적어지며 또한 사용온도에 따라서도 달라져 동일한 양의 감수제를 사용하더라도 각각의 온도에 따라 단위수량이 달라진다.



〈그림 7〉 각종 혼화제와 감수율과의 관계



〈그림 8〉 콘크리트 온도, 혼화제 사용량과 단위 수량의 관계



〈그림 9〉 감수제의 첨가시기와 흡착량

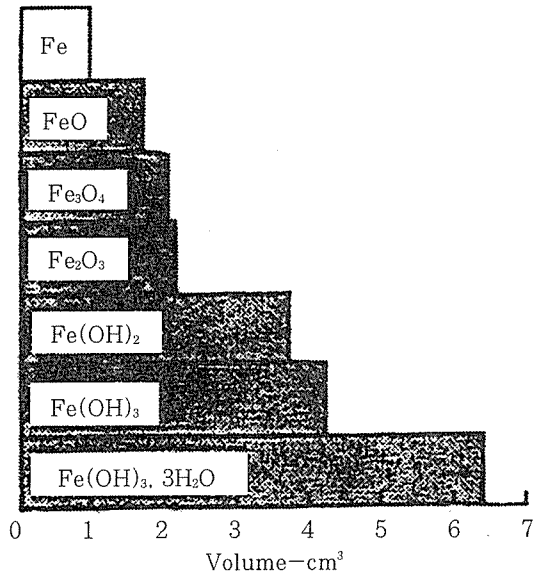
한편 그림 9는 감수제를 레미콘에 첨가할 때 그 시기에 따른 효과의 차이가 나타남을 보여준다.

즉 감수제를 다른 재료들과 동시에 넣고 혼합했을 경우 혹은 잠시 다른 재료들만 혼합한 후 약 10분 후에 감수제를 혼합했을 경우를 비교해 보면 동시 첨가의 경우는 감수제가 모두 다른 재료들에 흡착되어 감수제로서의 역할이 적어지며 약 10분 후에 첨가하면 흡착량이 적어 실제로 감수효과가 크게 나타난다.

2.2 콘크리트 내구성

콘크리트의 내구성은 강도와 같이 금방 눈

에 보이는 특성은 아니지만 어떤 면에서는 가장 중요한 성질의 하나인 것만은 틀림없다. 콘크리트의 내구성은 여러가지 특성을 묶어서 표시한 말로써 그 속에는 동결 용해에 대한 저항성, 탄산화, 중성화에 대한 저항성, 물에 침투에 대한 저항성 등을 모두 포함한다. 이와 같은 내구성이 좋지 않으면 내부의 철근 부식으로 인한 건물의 파손은 물론, 동결 용해에 의한 콘크리트 수축팽창에 따른 파괴 등 초기에 멀쩡했던 구조물이 3~5년 후에는 구제 불능의 폐품으로 화하게 된다.



〈그림 10〉 The relative volumes of iron and its corrosion reaction products

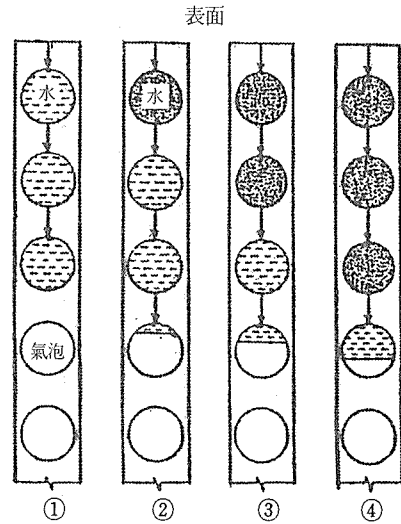
2.2.1 철근의 부식

우선 콘크리트 내부의 철근의 부식과 레미콘 관계를 살펴보자. 원래 콘크리트 내부의 철근은 콘크리트의 중성화(콘크리트 속의 알칼리성분의 중성화)가 이루어지면 녹이 썩기 시작한다. 콘크리트 내부의 철근은 콘크리트가 알칼리성을 유지하는 한 절대로 녹이 썩지 않는다. 그 이유는 콘크리트 내부의 철근 표

면은 콘크리트가 알칼리성을 유지하면 아주 치밀한 막이 덮고 있어(부동막) 외부로부터 침입되는 공기나 수증기로부터 철근을 보호한다. 그러나 만일 콘크리트에 균열이 있다든지 혹은 콘크리트의 시멘트 양이 부족하다든가 철근을 덮고 있는 콘크리트의 두께가 부족하다든가(2cm이하), 물비가 큰 콘크리트를 사용했다든가, 하여 외부로부터 산탄가스나 황산가스가 콘크리트 내부로 침투한다든가 혹은 바다모래와 같은 크롬성분이 많은 모래를 사용한다든가 하게 되면 콘크리트는 중성화가 되며 결국 콘크리트 내부의 철근 표면을 덮고 있던 보호 피막이 손상을 입어 철근의 부식이 일어나게 된다. 콘크리트 내부의 철근 부식은 철근의 강도가 약해진다는 점보다도 그때 철근의 체적이 늘어난다는 것이 제일 커다란 문제가 된다. 그림 10은 철근이 부식이 되면서 부식된 철의 화학성분에 따른 체적의 증가를 보여준다. 예를 들어 Fe가 $Fe(OH)_3 \cdot 3H_2O$ 가 되면 그 체적이 약 6배가 된다. 콘크리트 내부의 철근의 부식은 결국 철근의 체적 팽창으로 이어지고 그것은 결국 철근을 덮고 있던 콘크리트의 파괴로 연결된다.

2.2.2 동결융해

우리는 겨울이 되면 물 항아리가 얼어 항아리가 터져 버리는 경우를 흔히 본다. 이것은 물의 밀도가 4°C에서 가장 크며 그것의 기준으로 그 보다 온도가 내려가면 밀도가 적어지며 더욱이 얼음으로 되면서 그 체적이 커지기 때문이다. 콘크리트 내부에 조그마한 기공을 채우고 있던 물도 얼음이 되면 체적이 팽창이 되고 그로 인해 주위의 조직이 부서지게 되며 얼었다 녹았다 하는 과정을 몇 번 반복하게 되면 콘크리트의 파괴로까지 연장된다. 콘크리트 속의 기공에 차 있던 물이 얼어 들어가는 모양을 그림으로 나타내면 그림 11과 같다. 만일

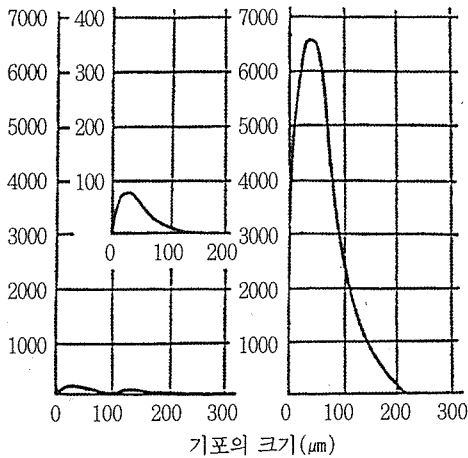


〈그림 11〉

콘크리트 속에 적당한 크기의 기공들이 적당한 간격을 두고 적당량(4%) 존재한다면 표면의 기공 속에 물이 얼면서 팽창된 분만큼 나머지 물은 콘크리트 안쪽의 기공으로 밀려 들어가 콘크리트가 물의 동결로 인한 팽창으로 인해 파괴되는 것을 막을 수가 있다. 이와 같은 콘크리트에 처음부터 즉 레미콘을 만들 때부터 적당한 기공을 넣어 준다면 콘크리트의 동결융해에 의한 파괴는 막을 수 있게 된다. 이때 사용되는 혼화제를 AE제라 부른다. AE란 Air Entrain이라는 말로 공기 연공이라는 말이다. 콘크리트에 AE제를 사용했을 때 콘크리트내의 기공이 얼마나 큰 크기로 그 양이 얼마나 되는가 하는 것을 그림 12에 나타낸다.

일반 AE제를 사용하지 않은 경우는 기공의 크기가 100 μ m이하의 기공의 수가 콘크리트 1cm³에 100개 미만인 것이 AE제를 적당량 사용해 주면 콘크리트 1cm³에 약 6000개 이상의 기공이 생겨난다.

이러한 기공들이 바로 콘크리트의 동결융해에 의한 팽창파괴로부터 콘크리트를 보호하게 된다.



〈그림 12〉 콘크리트 속의 기공의 분포와 AE제의 역할

2.2.3 콘크리트 건조 수축과 균열

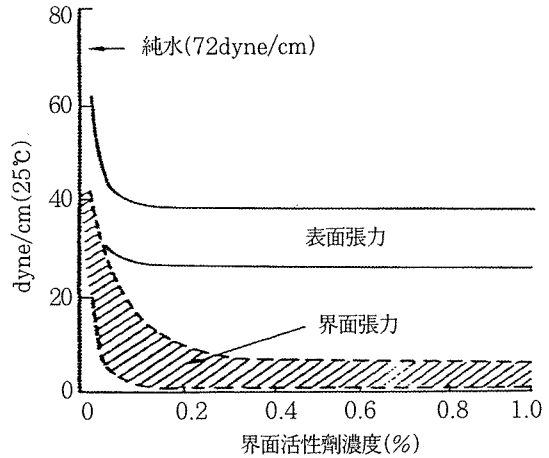
콘크리트의 건조 수축은 어느 면에서 보면 콘크리트의 숙명적인 현상이라 볼 수 있다. 그것은 우선 시멘트와 물의 반응 자체가 원칙적으로 체적이 감소되는 수축을 동반하는 반응이기 때문이다.

또 하나의 주원인은 앞에서 언급하였듯이 시멘트의 수화 반응에 필요한 물의 양보다 월등히 많은 물이 레미콘에 첨가되기 때문이다. 이와 같이 많은 물을 넣는 이유는 결국 작업성의 확보 때문이라는 것도 앞에서 언급되었다.

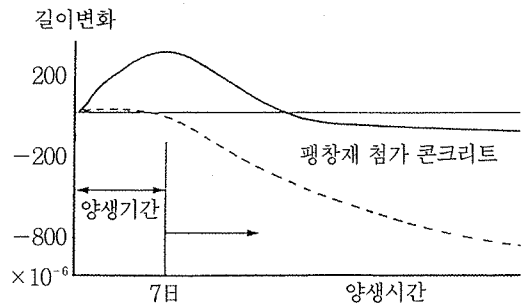
과잉의 물을 넣지 않고도 작업성을 확보하는 방법은 앞에서 언급하였듯이 감수제를 사용하여 해결할 수 있다. 그러나 감수제의 사용에는 항상 유념해야 할 부분은 감수제의 대부분이 콘크리트 응결 경화 시간에 영향을 준다는 사실이다.

대부분의 감수제는 콘크리트 응결 경화를 약간 지연시켜 준다.

여기서는 콘크리트 수축을 막아 줄 수 있는 두 가지의 방법을 소개한다. 우선 한 가지는 계면활성제의 활용이다. 계면활성제는 일반



〈그림 13〉 界面活性劑表面(界面) 張力-濃度曲線



〈그림 14〉 팽창제 사용에 따른 콘크리트의 길이변화

적으로 알콜류로 되어 있으며 그림 13에서 볼 수 있듯이 순수의 표면장력이 72dyne/cm 인 것에 비하여 물의 표면 장력 및 계면 장력을 아주 낮게 낮추어 주는 역할을 한다.

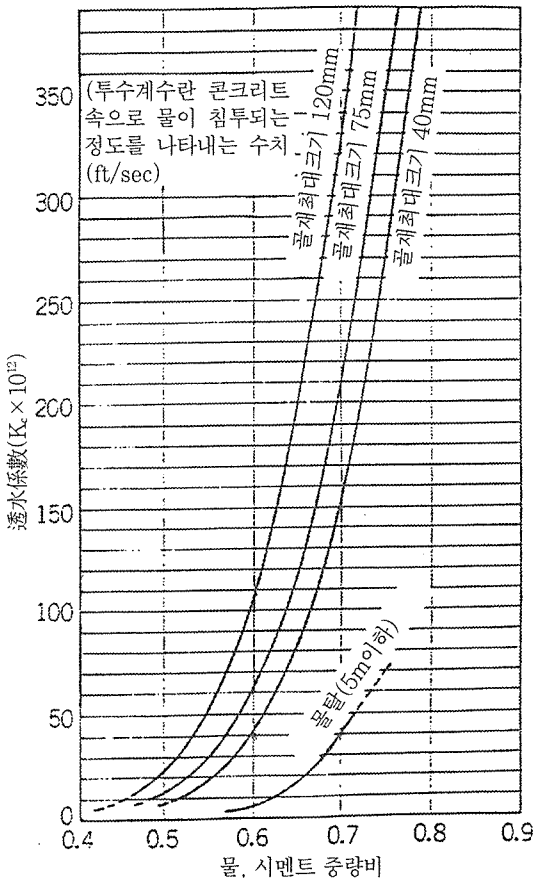
이와 같이하는 이유는 콘크리트 구성 시멘트 수화물 사이에 존재하던 물이 증발할 때 시멘트 수화물 사이에 서로 잡아당기어 주는 힘을 약하게 함으로써 전체적으로 건조 수축에 의한 균열을 적게 해줄 수 있다. 다른 한가지 방법은 특별히 제조된 팽창성 시멘트를 레미콘에 일정량 첨가해 주는 방법이다.

그림 14에서 볼 수 있듯이 팽창성 시멘트를 첨가해 주면 콘크리트가 수축해 주는 것을 팽창시멘트의 수화 팽창이 보상해 줌으로써

전체적인 콘크리트 수축을 막을 수 있다. 그림 13에서 혼합수에 계면 활성제를 첨가했을 경우 표면 및 계면 장력이 낮아지고 있음을 잘 보여 주고 있다.

2.2.4 투수계수

콘크리트의 투수계수는 콘크리트의 내구성과 깊은 관계가 있다. 우선 동결 융해에 대하여 미치는 영향이 크며 또한 철근 부식과도 관계가 깊다. 물론 투수계수를 적게 하기 위해서는 초기 배합수를 적게 하는 것도 중요하지만 여기서는 레미콘에 사용되는 조골재의 크기가 투수계수에 미치는 영향만을 살펴본



〈그림 15〉 최대골재크기와 콘크리트 투수계수의 물, 시멘트 비와의 관계

다.

그림 15는 조골재의 크기와 투수계수의 변화를 나타낸다. 조골재의 크기가 커질수록 투수계수는 커지며, 즉 물이 침투하기 쉬어짐을 볼 수 있다.

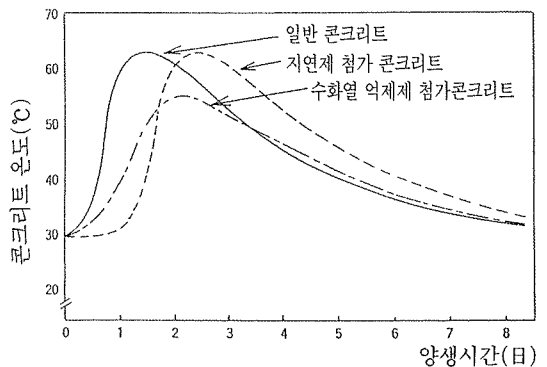
즉 물/시멘트 비를 동일하게 0.6으로 했을 경우 조골재의 최대크기가 40mm인 경우는 투수계수가 40인데 반하여 최대골재크기가 120mm가 되면 투수계수는 100이상으로 커지게 된다.

2.2.5 수화발열

시멘트는 물과 반응하여 시멘트 수화물이 되면서 열을 발생한다. 이와 같은 열은 메스콘크리트의 경우 약 50℃이상의 최고 최저 온도 변화를 가져오며 이와 같이 콘크리트 내부의 온도와 표면의 온도차가 생기면 그에 따른 물질의 팽창이 달라져 결국 콘크리트의 균열 발생의 원인이 된다.

그림 16은 수화열 억제제를 사용했을 경우 콘크리트 내부 수화열 상승을 억제시켜 줄 수 있음을 보여준다.

즉 수화 발열 억제제를 사용하여 주면 콘크리트 양생기의 콘크리트 내외부의 최고 온도차를 20℃정도로 까지 낮출 수가 있다.



〈그림 16〉 콘크리트 내부온도와 지연제 및 수화열 억제제와의 관계(60~100cm)

3. 결 론

물과 레미콘은 마치 가정을 이루는데 있어 부부의 관계와 같다.

가정이 모범적이 되기 위해서는 남편과 아내의 궁합이 잘 맞아야 하듯이 레미콘에 있어서의 물과 시멘트 및 골재의 궁합은 참으로 중요하며 결국 콘크리트의 모든 물성을 좌우하는 근본이라 할 수 있다. 특히 시멘트 양에 대한 물의 양의 비율은 레미콘의 흐름성, 재료분리성, 응결시간, 작업성 등 거의 모든 성질을 지배하며 결국 이와 같은 레미콘의 특성은 최종 콘크리트의 강도, 내구성 등 콘크리트의 품질을 결정 해 준다.

최근 들어 건축, 토목의 다양성, 대규모화, 수중시공, 땅속시공 등 시공 환경의 다양화가 급격히 진행되면서 레미콘에서도 지금까지

가지고 있던 일반적 개념이 달라지고 있다.

즉 초고강도 콘크리트(압축강도 1000kgf/cm² 이상), 초유동성 콘크리트 (흐름성 25cm이상), 초저발열 콘크리트 (최고 최저 온도차 20℃미만), 무균열 콘크리트 등의 특성을 가진 레미콘은 지금까지 가지고 있던 콘크리트의 개념을 변신시키기에 부족함이 없다.

이러한 사회적 요구를 충족시킬 수 있는 가장 바람직한 길은 레미콘의 혼합수량을 극도로 낮추어 주면서 충분한 흐름성, 충분한 작업성, 충분한 콘크리트 강도 및 내구성을 가져올 수 있는 제 3의 혼화제의 활용이다.

최근 들어 세계각국에서 이와 같은 혼화제를 발빠르게 도입 활용하는 기술의 확보가 경쟁에서 살아남는 지름길이 되고 있음을 강조한다.