

콘크리트용 화학 혼화제의 개발 및 연구의 최신 동향

- Recent Development and Research of Chemical Admixtures for Concrete -



김병기*



김승호**

1. 서 론

전 세계에서 콘크리트 관련 기술의 변천사를 살펴보면 공기 연행제(air entraining agent), 감수제(water reducing agent), 고성능 감수제(superplasticizer, high range water reducing agent)로 대변되는 콘크리트용 화학 혼화제의 개발이 콘크리트의 성능 향상의 큰 전기 중의 하나라고 할 수 있다. 1930년대 미국에서 우연히 발견된 공기 연행제의 사용으로 콘크리트의 동결 용해 저항 성능을 획기적으로 개선할 수 있게 되었으며, 또한 펄프 폐액에서 추출되는 리그닌(lignosulfonates)이 시멘트의 분산성을 높여 주는 것을 발견하게 되었다.

그 후 감수제 및 공기 연행제를 배합한 AE 감수제를 콘크리트의 유동성 및 강도 증진에 본격적으로 사용하게 되었다. 또한 콘크리트의 응결 작용을 조절하는 혼화제로 촉진제, 지연제 등이 개발되어 사용되어 왔고, 콘크리트의 내구성을 향상시키는 방청제(corrosion inhibitor), 알칼리 골재 반

응 억제제(alkali aggregate reaction reducing admixture), 수축 저감제(shrinkage-reducing agent) 등이 사용되어지고 있다. 또한 급속한 사회 발전과 더불어 건축물의 대형화, 초고층화에 따른 콘크리트의 슬럼프 로스를 줄이며 워커빌리티를 오랫동안 확보할 수 있는 고성능 AE 감수제(air entraining and high-range water reducing agent)의 개발이 또 한번의 콘크리트 성능 개선을 진일보할 수 있게 하였다.

또한 수중 콘크리트, 자기충전 콘크리트 등에 사용되는 증점제(viscosity modifying admixture or viscosity enhancing admixture) 혹은 분리 저감제(anti-segregating admixture) 등의 개발이 특수 콘크리트의 개발에 일조하였다고 할 수 있다.

본고에서는 저자가 1990년 이후부터 2001년 후반까지 세계 각국에서 개최된 콘크리트 및 화학 혼화제 관련 국제 심포지엄에서 확보한 자료 및 개인적으로 수집한 자료를 토대로 하여 콘크리트용 화학

혼화제의 최신 기술 개발 및 연구 동향들을 정리하여 기술하고자 한다.

2. 일반 감수제에서 고성능 AE 감수제로

리그닌산 설펜염으로 대표되는 일반 감수제는 펄프에서 부생되는 폐액을 이용하여 콘크리트용 혼화제를 제조하여 사용할 수 있다는 그 자체가 중요한 기술 발전이며, 특히 리그닌에 공기 연행제를 투입한 AE 감수제는 콘크리트의 내구성 증대에 큰 몫을 했다고 할 수 있다. 하지만 일반 감수제는 감수율이 10% 내외이고, 과량 첨가시에 콘크리트의 응결 및 경화 불량이 발생할 수 있으며, 과다한 공기를 연행하는 등의 문제점들을 가지고 있었다. 또한 전 세계적으로 자연보호 정책으로 인하여 펄프의 생산량이 줄어들고, 주로 리그닌을 추출할 수 있는 이황산법의 펄프 제조 공정이 크라프트법으로 바뀌어 리그닌의 생산량이 줄어들고 있는 실정이다. 더군다나 몇 해 전에 미국 캘리포니아에 리그닌 제조 공장이 있는 GP사가 전기적인 문제로 인하여 공장을 닫는 등 리그닌의 공급이 많이 모자라는 실정이다. 현재에 국내로 수입되는 리그닌은 남

* 정희원, 경기화학공업(주) 연구소 혼화제료팀 팀장 겸 (주)이지콘 콘크리트연구실 실장, 공학박사

** 정희원, (주)홍진씨엔텍 대표이사, 공학박사

아프리카, 노르웨이, 중국, 프랑스 등에서 수입되고 있는 실정이다. 한편 국내에서는 리그닌의 단점을 보완하기 위하여 나프탈렌계 AE 감수제가 개발되어 많은 레미콘사에서 사용되고 있다.

고성능 콘크리트의 제조에 사용되는 고성능 감수제는 1960년대 일본에서 나프탈렌술포산 포르말린 축합물(NSF 또는 PNS)과 독일에서 멜라민술포산 포르말린 축합물(MSF 혹은 PMS)이 각각 개발되었다. 이 혼화제는 첨가율이 0.5 ~ 3.0%로 높게 사용될 수 있고, 응결의 과도한 지연이나 공기를 과잉으로 연행시키는 부작용이 적을 뿐만 아니라 감수율이 20% 이상으로 리그닌계 AE 감수제의 두 배 이상 되어 고성능 감수제라 불리게 되었다. 이 고성능 감수제의 개발 당시 일본에서는 동일 슬럼프에서 단위수량의 저감 효과를 이용하여 고강도 콘크리트를 제조하는데 주로 사용하였고, 독일에서는 슬럼프 증대 효과를 이용하여 강도 저하 없이 유동화 콘크리트를 제조하는데 주로 사용하였으나, 현재는 이들 두 가지 용도가 모두 전 세계적으로 보급되어 있다. 현재 국내에서는 경기화학공업(주)이 PNS를 연간 8만 톤(액상기준) 정도를 생산하여 국내 판매 및 국외에 수출하고 있으며, 그 생산 규모는 세계에서 가장 큰 것 중의 하나이다. 그 외에 소규모의 PNS 혹은 PMS를 생산하는 회사들이 3~4개 정도가 있다.

리그닌계 일반 감수제와 PNS 및 PMS계 고성능 감수제의 화학적 구조식은 <그림 1>에 나타내었으며, <그림 2>에서는 PNS 및 PMS계 고성능 감수제의 분산 메커니즘에 대해 그림으로 보여주고 있다. <그림 2>에서 나타낸 것과 같이 PNS 및 PMS계 고성능 감수제는 시멘트 입자에 흡착되어 정전기적 반발력(electrostatic repulsive forces), 입체 반발력(static repulsive forces) 및 기타의 반발력 등으로 시멘트 입자들을 분산시키게 되는데(jolicouer et al. ref. 9), Uchikawa(ref. 6)의 연구에 의하면 입체적인 반발력보다는 정전기

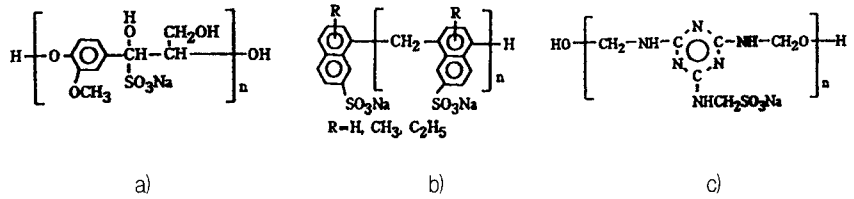


그림 1. a) 리그닌, b) PNS, c) PMS의 화학적 구조

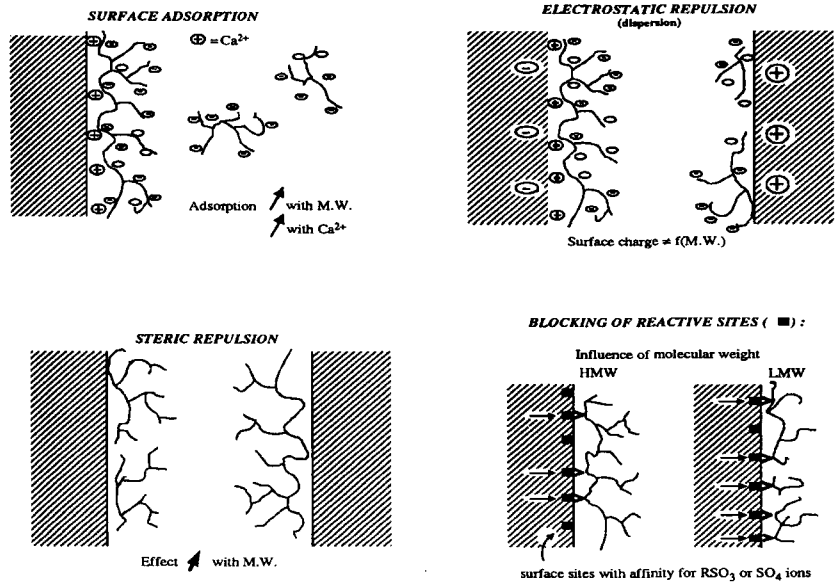


그림 2. PNS 및 PMS의 분산 메커니즘(Jolicouer et al. ref. 9)

적 반발력이 PNS 및 PMS계 고성능 감수제의 주 효과라고 밝히고 있다.

PNS 및 PMS계 고성능 감수제들은 초기의 유동성은 쉽게 확보할 수 있으나 시간이 지날수록 콘크리트의 유동성의 저하(슬럼프 로스)를 해결해야 되는 문제를 안고 있었다. 이러한 슬럼프 로스 문제를 해결하기 위해 많은 연구진에 의하여 시멘트와 고성능 감수제의 상용성(compatibility)에 관한 연구가 많이 진행되어 왔다. 이 분야에서 세계에서 두각을 나타내고 있는 연구 그룹들 중의 하나인 캐나다 Sherbrooke 대학의 Aïtcin 교수팀의 연구(2, 4-7, 12-15)가 실질적으로 시멘트 업계나 혼화제 업체에 많은 도움을 주고 있다. 그들의 최근 논문에 의하면 시멘트의 구성 성분 중에 소량으로 존재하는 알칼리의 영향이 PNS를 함유하는 콘크리트의 유동성에 큰 영향을 준다는 것을 밝혀낸 바 있다. 그들의 발표 자료에 따르면 시멘트의 총 알칼

리량(total Na₂O eq)보다는 물 용해성 알칼리량(water soluble Na₂O eq)이 더욱 중요하며, 물 용해성 알칼리량이 0.4 ~ 0.6%가 존재하는 시멘트일 경우 슬럼프 로스의 문제가 없으며, 물 용해성 알칼리량이 아주 적을 때에 슬럼프 로스의 문제가 심각하게 발생함을 보여 주고 있다. 또한 이 결과를 유럽산 22개 종류의 시멘트에 적용 실험한 경우에도 유사한 결론을 내릴 수 있었다. <그림 3>은 PNS계 고성능 감수제를 함유한 콘크리트에서 알칼리량에 따른 슬럼프 로스 현상의 메커니즘을 그림으로 나타내었다.

<그림 3>에 의하면 고알칼리 시멘트(high-alkali cements)의 경우 초기에(initial) 투입된 PNS의 50 ~ 60%가 먼저 시멘트에 흡착되어 흡착층(layer of PNS adsorbed)을 생성하게 되고, 또한 시간이 지남에 따라(intermediate I, intermediate II) 흡착층의 PNS 분자들

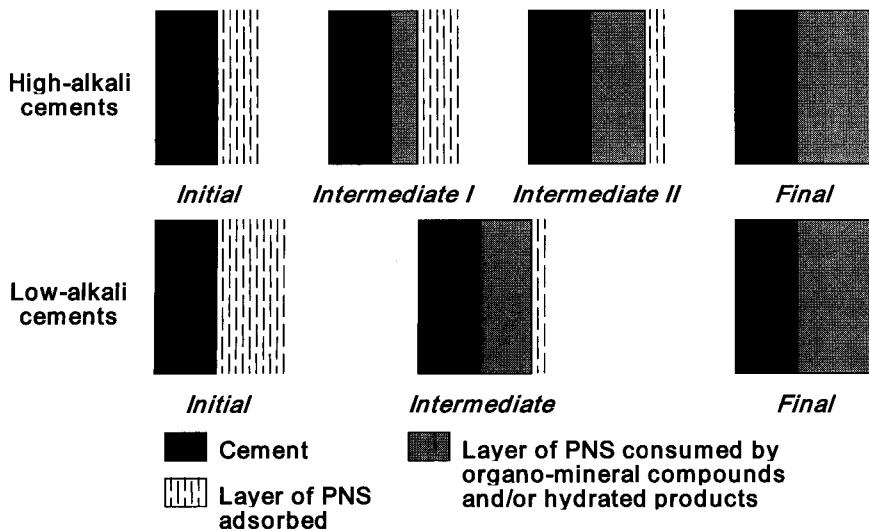


그림 3. PNS계 고성능 감수제의 슬럼프ロス 메커니즘

이 시멘트와 반응하여 분산력을 잃어버리는 층(layer of PNS consumed)이 된다. 하지만 초기에 흡착되지 않고 남아 있던 PNS 분자들이 계속하여 흡착하게 되어 흡착층이 일정 기간 유지되다가 시간이 많이 흐른 후에 흡착층이 완전히 사라지게 되어 결국은 분산력을 잃게 된다. 즉, 고알칼리 시멘트의 경우에는 상대적으로 슬럼프 경시 변화가 천천히 일어난다. 하지만 저알칼리 시멘트(low-alkali cements)의 경우에는 초기에 투입된 PNS 분자들의 대부분이 먼저 시멘트 입자에 흡착되나 그 중의 대부분이 시멘트와 반응하여 분산력을 빨리 잃어버리게 되고, 또한 콘크리트 중에 남아 있는 PNS 분자의 양이 적어서 시멘트 입자에 계속하여 흡착하지 못하기 때문에 분산력을 빨리 잃어버리게 되어 슬럼프 로스의 문제가 발생하게 된다고 설명하고 있다.

PNS 및 PMS계 고성능 감수제의 슬럼프로스 문제를 해결하기 위해 전세계적으로 많은 연구자들이 연구를 해 왔다. 크게 보면 세 가지의 방향으로 그 연구가 진행되어 왔는데, 첫째는 PNS나 PMS의 화학적 구조를 변화시키는 방법, 둘째는 슬럼프 로스를 줄이는 화학 첨가제를 투여하는 방법, 셋째는 화학적 구조를 달리하는 PC(Polycarboxylate)계 고성능 감수제의 개발이다.

첫째 방법으로, Page (5)등은 PNS gamma를 개발했다고 보고하였는데, 이것은 PNS와 두 개의 기능기(bi-functional)를 갖는 방향족 화합물의 공중합체이다. 그들의 연구 결과에 따르면 PNS gamma는 기존의 PNS에 비하여 슬럼프 유지 성능이 우수한 것으로 보고하였고, 동일한 초기 슬럼프를 얻기 위해 기존의 PNS에 비해 약 15% 정도의 PNS gamma를 줄일 수 있다고 발표하였다. 또한 Sudoh (5)등은 기존의 PMS계 고성능 감수제가 감수 성능은 우수하나 유지 성능이 떨어지는 원인을 분자량이 많기 때문일 것이라고 예상하면서, 분자량을 줄이면서 아미도설포네이트에 의해 PMS를 변성시켜 품질을 테스트하였다. 그들의 연구 결과에 따르면 새로운 PMS는 기존의 PMS에 비해 감수 성능 및 슬럼프 유지 성능이 우수하고, 공기 연행 효과도 없다고 밝혔다. 그들은 새로운 PMS는 기존의 PMS에 비해 초기에 시멘트에 의한 흡착량이 줄어들어 콘크리트의 액상 중에 남아 있는 PMS 분자들이 많이 존재하기 때문이라고 밝혔다.

둘째 방법으로, 기존의 PNS나 PMS계 고성능 감수제에 슬럼프 유지 성능의 화학 첨가제를 투입하는 방법으로 Mantegazza 등 및 Ramachandran 등에 의해 발표되었다. Mantegazza (5)등은 PNS계 고성

능 감수제에 여러 종류의 하이드록시카르복실산(HA) 구조의 첨가제를 투입하여 콘크리트를 테스트하였다. 여러 종류의 HA 중에서 탄소수가 8개인 것이 감수성 및 슬럼프 유지 성능이 우수하였으며 1일 압축강도도 기존의 PNS에 비해 유사하게 나타난 것으로 밝혔다. 기존의 PNS 및 PMS계 고성능 감수제의 슬럼프 로스를 줄이는 방법으로 국내의 업계에서도 연구가 많이 진행되고 있는 실정이다. 특히 글루콘산 나트륨 등의 지연제를 기존의 고성능 감수제와 병용하여 시멘트 수화 반응의 지연에 따른 슬럼프 로스를 줄이는 방법은 이미 오래된 기술이다. 최근에는 국내에서 분산성 유지 성능이 우수한 고분자 첨가제들이 많이 개발되어 많이 응용되고 있는 실정이다. 이 방법은 기존의 PNS이나 PMS계 고성능 감수제와 비교하였을 때 초기 유동성의 유지 성능도 크게 우수하며, PC계 고성능 감수제에 비해 가격이 싸고, 다양한 혼화제 배합을 할 수 있다는 장점이 있다. 특히, 이런 종류의 첨가제는 다른 어느 나라보다도 한국에서 다양한 좋은 성능의 제품들이 개발되어 있어서 현재는 PC계 고성능 감수제에 비해서도 성능이 크게 뒤지지 않는 제품들이 개발되어 시판되고 있다.

셋째 방법으로, 감수 성능 및 유동성 유지 성능이 기존의 PNS 및 PMS계 고성능 감수제에 비해 우수한 PC계 고성능 감수제의 개발이다. PC계 고성능 감수제는 그 화학적 구조와 성능들이 아주 다양하기 때문에 간단하게 설명하기는 힘들지만 크게 두 종류로 분류할 수 있으며, 일반적으로 자체적으로 공기 연행 성능을 가지고 있어 고성능 AE 감수제라고 불리며 소포제들과 병용하여 사용하기도 한다.

- (1) 1성분계 [분산 유지 성능을 갖는 분산성(감수성) 성분]
- (2) 2성분계 [분산성(감수성) + 분산 유지 성능]

<그림 4>에서 PC계 고성능 AE 감수제

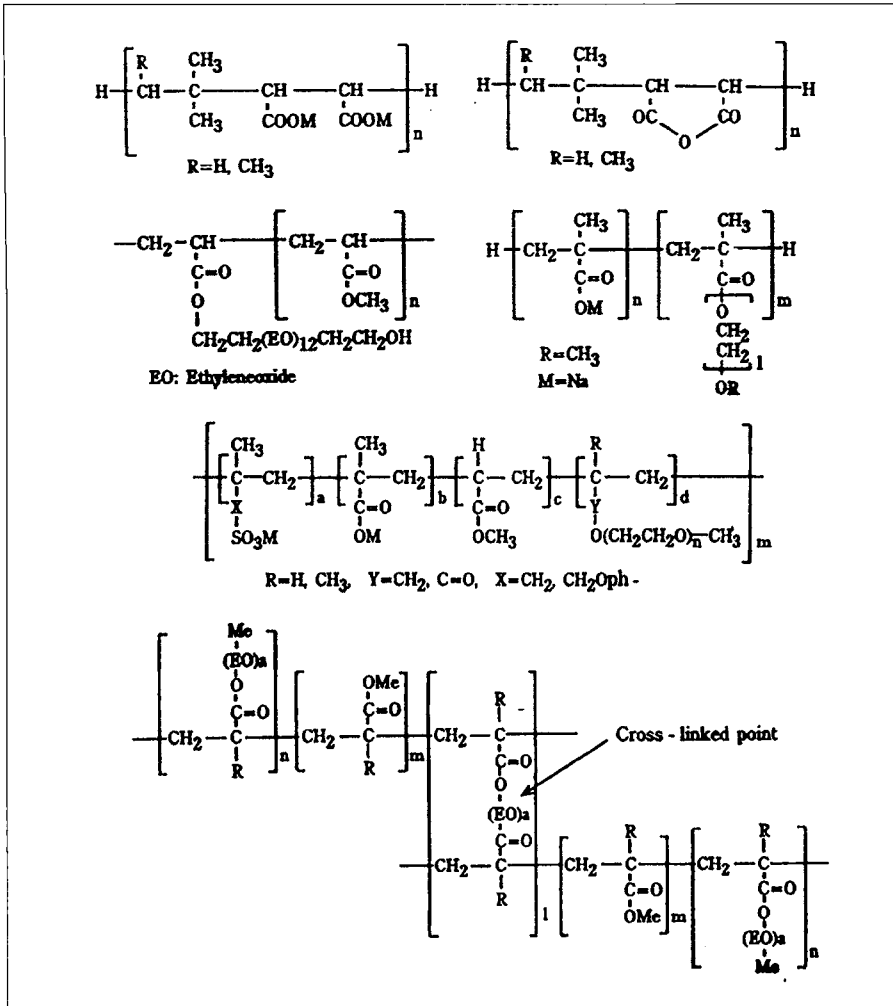


그림 4. 여러 종류의 PC계 고성능 AE 감수제의 화학적 구조

들의 화학적 구조를 나타내었다. PC계 고성능 감수제들은 PNS나 PMS계 고성능 감수제들과 비교해 볼 때 시멘트와 혼합했을 때 초기의 흡착량이 적고 액상 중에 많이 존재하여 분산 성능을 유지시키는 데 도움을 주며, 또한 흡착된 분자의 구조에 축쇄의 길이가 길기 때문에 시멘트의 수화 반응에 의해 분산성을 잃는 시간이 오래 지속될 수 있다. PC계 고성능 감수제가 우수한 슬럼프 유지 성능을 나타내도록 하는 또 하나의 획기적인 방법은 분산 유지 성분을 첨가하는 것이다. 이 분산 유지 성분들은 일반적으로 그 화학적 구조에 무수 말레인산 구조나 가교 폴리머의 구조를 가지고 있다. 이들의 특성은 시멘트의 수화 반응에 의해 pH가 12 ~ 13이 되면 링 구조 및 가교 부분이 서서히 절단되고 시멘트 입자에 대해서 분산성을 갖는 카르복산

구조로 변화하여 재응집을 시작하려는 시멘트 입자를 재분산시켜 콘크리트의 슬럼프 유지 성능을 확보하게 된다.

PC계 고성능 감수제는 일본을 중심으로 활발하게 연구 개발되고 있다. 이러한 연구가 일본에서 활발하게 진행되고 있는 이유는 여러 가지가 있겠으나, 전식 레미콘이 보급되지 않고 있으며, 지진 대비 설계를 위한 고강도 레미콘 수요의 증대, 고임금에 따른 레미콘 품질 관리의 단순화의 필요성에 그 원인이 있다고 보여진다. 특히, 1997년부터 콘크리트의 단위수량 규정이 강화되면서 PC계 고성능 감수제에 대한 수요가 획기적으로 늘어났으며, 1999년부터는 일본 레미콘조합에서 슬럼프 18cm 이상이면서 30 Nf/mm² 이상의 콘크리트에는 PC계 고성능 감수제를 의무적으로 사용하도록 규정하였다. 미국

등 북미 지역 및 유럽 지역에서도 최근에 이에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 이를 생산하고 있는 회사도 생기고 있다. 하지만 그 품질 수준은 일본산에 미치지 못하고 있는 것으로 판단된다. 한국에서는 대형 사회간접자본 시설(SOC)의 건설, 특히 인천 및 통영 LNG 탱크 터미널의 건설에 PC계 고성능 감수제가 사용되면서 이에 대한 관심이 높아지고, 그 수요도 서서히 늘어나고 있는 실정이다. PC계 고성능 감수제는 그 성능이 우수한 장점이 있으나, 가격이 비싸고, 다른 혼화제(리그닌, 나프탈렌계, 멜라민계 등)와의 혼용성이 떨어지는 단점이 있다. 따라서 PC계 고성능 감수제는 레미콘 단가보다는 품질을 최우선으로 고려해야 하는 LNG 탱크 터미널과 같은 특수 구조물에 주로 사용되고, 일반적인 용도로는 나프탈렌계 고성능 감수제에 유동성 유지 첨가제를 첨가한 형태의 중간 제품이 주로 사용될 것으로 전망된다.

3. 방청제(corrosion-inhibiting admixtures)

자연산 골재의 고갈로 인하여 철근 콘크리트의 제조에도 하천사를 대신하여 해사를 사용하는 경우가 많기 때문에 이로 인한 철근의 부식이 발생할 수 있다. 방청제는 콘크리트에 사용된 철근의 부식을 지연시키거나 방청을 목적으로 사용되는 혼화제로서 부식 방지제라고도 한다. 일반적으로 아질산칼슘(Ca(NO₂)₂)과 아질산나트륨(NaNO₂) 등이 많이 사용된다. 철근의 부식 메커니즘을 먼저 살펴보면, 보통의 콘크리트는 강알칼리성이기 때문에 그 속에 있는 철근은 산화철(Fe₂O₃)의 부동태 막(passivity layer, protective film)으로 싸워져 있기 때문에 부식으로부터 보호된다. 그러나, 알칼리, 염소, 물 등에 의해 철근의 표면에 존재하는 이온들의 농도가 차이가 나고, 이러한 원인으로 양극(anode), 음극(cathode)이 발생하여 전기 화학적 반응이 일어난다. 양극에서

생성되는 철 이온(Fe^{++})과 수산화기(OH)와 반응하여 생성되는 수산화철 $[(Fe(OH)_x)]$ 은 그 부피가 상대적으로 많이 증가되기 때문에 철근 콘크리트의 내구 성능을 치명적으로 저하시킨다. 특히 콘크리트 내에 염소 이온은 철근의 부식을 촉진시킨다. 아질산염의 방청제는 양극의 수산화철과 반응하여 산화철을 재생성시켜 다시 부동태 막을 형성시키는 메커니즘에 의하여 부식을 줄인다. Alonso 등은 콘크리트의 중성화로 인하여 발생한 콘크리트 중의 철근의 부식 방지를 위해서는 3% 정도의 아질산염을 사용해야 된다고 보고하였다. 2%의 아질산칼슘을 시멘트량 $391 kg/m^3$ 을 사용한 콘크리트에서 염소 이온이 콘크리트 $1 m^3$ 당 $0.6 \sim 1.2 kg$ 일 경우에 부식이 개시되었다고 보여 주었다. 아질산염 나트륨도 방청제로 사용될 수 있으나 알칼리-골재 반응을 촉진시킬 수 있다고 알려져 있다. 그 외에 방청제로 산화아연(ZnO), 소듐 몰리브데이트 (Sodium molybdate), 테트라 메틸 포스포니움 아질산염(tetramethyl phosphonium nitrite) 등이 알려져 있다. 최근에는 유기계인 아미노 카르복실레이트계(amino-carboxylate) 방청제가 개발되었고, 이러한 방청제는 MCI(migrating corrosion inhibitor)라고 불리며 그 특성이 콘크리트에 투입되었을 때 확산 메커니즘에 의해 콘크리트 중의 철근까지 침투되어 철근의 부식을 지연이나 방지시킨다.

4. 증점제(viscosity enhancing (or modifying) admixtures)

증점제는 콘크리트의 점성을 증가시켜 콘크리트 중의 골재가 페이스트로부터 침전이나 분리되는 현상을 줄여 주는 화학 혼화제이다. 이 혼화제는 사용 목적에 따라 수중 불분리 콘크리트에 사용될 경우에는 수중 불분리성 혼화제(antiwashout admixture)로 불리기도 하고, 고유동 콘크리트 혹은 자기 충전 콘크리트의 분리 저감을 목적으로 사용할 경우에는 분리 저

감제(anti-segregating admixture)로 불리기도 한다. 증점제의 종류로는 메틸 셀룰로즈, 하이드록시 에틸셀룰로즈, 하이드록시 프로필 셀룰로즈 등의 셀룰로즈계, 폴리아크릴아미드계 고분자, 웰란검, 커들란 등의 폴리카사라이드계의 바이오 고분자 등이 있으며 대부분이 분말 형태로 시판 및 사용되고 있다.

최근에 웰란검을 생산하는 미국의 K사에서는 S-657이라는 폴리카사라이드계 바이오 고분자를 연구 개발하여 소개했다. 그들의 발표 자료에 따르면 PNS계 고성능 감수제와 병용하여 사용할 경우에 S-657은 웰란검에 비해 적은 양의 PNS를 사용할 수 있다고 밝혔다. 또한 일본의 K사에서는 폴리글루탐산(polyglutamic acid)을 자기 충전 콘크리트용 증점제로 소개하였다. 하지만 증점제의 대부분은 분말 형태로 시판되기 때문에 콘크리트 제조시에 증점제의 투입을 위해 별도의 저장 설비가 필요하거나 백 타입의 제품을 사람이 직접 손으로 투입해야 되는 등의 불편함이 있다. 그래서 최근에 일본의 K사에서는 수용해성 증점제를 개발하였다고 보고하였다. 또한 국내의 두 개의 벤처회사에서 바이오 고분자계의 수용해성 증점제를 개발하여, 그 중의 한 회사는 액상 증점제를 사용하여 국내의 건설사와 함께 자기 충전 콘크리트를 실용화하고 있다고 본 학회 2001년 가을 학술발표회에서 보고하였다.

5. 알칼리-골재 반응 억제제(alkali-aggregate expansion inhibiting admixtures)

알칼리-골재 반응 억제제는 알칼리-골재 반응에 의한 콘크리트의 팽창을 줄이기 위해 사용되어지는 혼화제이다. 이 혼화제는 1950년대에 처음 소개되었고, 주로 리튬염, 바륨염, 나트륨염 등이 연구되었다. Ohama 등은 실리코플로라이드 나트륨염, 알킬알콕시실란, 리튬탄산염, 리튬폴로라이드, 스타이렌-부타디엔 러브라텍스, 리

튬하이드록사이드 등을 2%의 알칼리를 함유하는 시멘트에서 알칼리-골재 반응 억제 성능을 연구하였다. 그 중에서 알킬알콕시실란 중의 하나인 핵실트리메톡시실란이 가장 효과가 좋게 나타났으며, 억제제를 함유하지 않은 콘크리트에 비해 팽창을 95%까지 줄일 수 있다고 보고하였다. 또한 Sakaguchi 등은 리튬카보네이트, 리튬하이드록사이드, 리튬나이트리트 등의 알칼리-실리카 반응 억제 성능을 연구하였는데 리튬하이드록사이드 0.65% 투입 시에 대략 60%의 팽창을 억제할 수 있다는 결과를 보였다. 한편 Yamamoto 등은 아질산리튬($LiNO_2$)을 사용하여 이미 알칼리-골재 반응에 의해 팽창이 진행된 콘크리트에 적용하여 알칼리-골재 반응 억제 성능을 확인하였다. Stokes 등은 질산리튬($LiNO_3$)이 수산화리튬($LiOH$)과 비교하여 물에 녹았을 때 수산화(OH) 이온을 방출하지 않고 보다 사용하기가 훨씬 안정적이라고 발표하였다. 이러한 알칼리-골재 반응 억제제는 아직까지 국내에서는 사용되고 있지 않으나, 국내에서도 알칼리-골재 반응에 의한 콘크리트의 내구성 저하의 문제가 발생될 수 있으므로 국내에서도 많은 연구 및 개발이 필요하다.

6. 결 론

위에서 살펴 본 바와 같이, 콘크리트 기술의 발전과 더불어 콘크리트용 화학 혼화제도 다양화, 고성능화되어 가고 있다. 특히 콘크리트가 고성능화, 고유동화, 고강도화, 고내구성화 등의 방향으로 더욱 발전하게 되는 향후에도 그 요구에 맞는 화학 혼화제의 개발이 필요하며, 관련된 업계 및 학계에서 많은 연구가 진행되기를 바란다. □

참고문헌

1. "Proceedings of the Second International Symposium on Self-Compacting Concrete". (Edited K.Ozawa & M. Ouchi), Tokyo.

Japan, Oct. 23-25 2001.

2. "Proceedings of International Workshop on The Utilization of Superplasticizer on Concrete, Taiwan Construction Research Institute", Taipei, Taiwan, April 12-13 2001.
3. "Proceedings of the Fifth CANMET/ACI International Concrete on Recent Advances in Concrete Technology", Singapore, July-August 2001.
4. "Proceedings of International Symposium on High Performance Concrete - Workability, Strength and Durability", Hong Kong & Shenzhen, China, Dec. 10-16 2000.
5. "Proceedings of the Sixth CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete", Nice, France, (SP-195) Oct. 2000.
6. "Proceedings of RILEM International Symposium on The Role of Admixtures in High Performance Concrete", Monterrey, Mexico, March 21-26 1999.
7. "Proceedings of the 4th Beijing International Symposium on Cement and Concrete", Beijing, 1998.
8. "Proceedings of the Fifth CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete", (Edited by V.M. Malhotra), Rome, Itali, (SP-173), Oct. 1997.
9. "Proceedings of the Fourth CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete", (Edited by V.M. Malhotra), Montreal, Canada, (SP -148), Oct. 1994.
10. V.S. Ramachandran, "Concrete Admixture Handbook (2nd Edition)", Noyes publications, 1995.
11. R. Rixom and N. Mailvaganam, "Chemical Admixtures for Concrete (3rd Edition)", E & FN Spon, 1999.
12. B.-G. Kim, S.P. Jiang, and P.-C. Aitcin, "The Adsorption Behavior of PNS Superplasticizer and Its Relation to Fluidity of Cement Paste", Cement and Concrete Research, Vol. 30, 2000, pp.887 ~ 893.
13. B.-G. Kim, S.P. Jiang, and P.-C. Aitcin, "Slump improvement mechanism of alkalis in PNS superplasticized cement pastes Materials and Structures", Vol. 33, July 2000, pp. 363 ~ 369.
14. Jiang, S.P., Kim, B.-G. and Aitcin, P.-C., "A Practical Method to Solve Slump Loss Problem in Superplasticized High-Performance Concrete", Cement, Concrete, and Aggregate, June 2000, pp. 10 ~ 15.
15. Jiang S. P., Kim B.-G. and Aitcin P.-C., "Importance of Adequate Soluble Alkali Content to Ensure Cement/Superplasticizer Compatibility", Cement and Concrete Research, Vol. 29, 1999, pp. 71 ~ 78.
16. '2001년도 콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집'

건설 수주 추이

구 분	1997년	1998년	1999년	2000년				2001년(P)		
				1/4분기	2/4분기	3/4분기	4/4분기	1/4분기	2/4분기	
건설 투자(단위 : 조원, 1995년 불변가격 기준)										
토목 투자	40.07	37.95	40.43	5.82	10.23	9.97	12.06	38.08	5.75	9.97
건축 투자	49.21	42.34	31.63	7.59	7.77	7.74	7.94	31.05	7.85	8.20
주거용	26.67	24.55	20.51	4.65	4.60	4.45	4.58	18.28	4.72	4.90
비주거용	22.54	17.79	11.13	2.94	3.17	3.29	3.37	12.77	3.13	3.29
건설 투자	89.29	80.30	72.06	13.40	18.01	17.72	20.00	69.13	13.60	18.16
증감률(단위 : %, 전년 동기 대비)										
토목 투자	10.2	-5.3	6.5	-4.0	-6.2	-6.1	-6.0	-5.8	-1.2	-2.6
건축 투자	-3.3	-14.0	-25.3	-8.8	-1.5	0.2	3.2	-1.8	3.4	5.4
주거용	-6.3	-7.9	-16.5	-10.4	-13.8	-12.0	-6.9	-10.9	1.6	6.5
비주거용	0.5	-21.1	-37.5	-5.9	24.2	23.2	21.2	14.8	6.4	3.8
건설 투자	2.3	-10.1	-10.3	-6.8	-4.2	-3.5	-2.5	-4.1	1.4	0.9

자료 : 한국은행, 「국민계정」, 각년호