



콘크리트용 혼화제

지연제 · 촉진제 및 팽창재

Retarder, Accelerator and Expansive Admixture



김 경 환*



김 승 현**



이 장 화***

1. 서 론

콘크리트는 혼합 즉시 시멘트의 수화반응이 시작되어 유동성을 잃고 경화되며 시간의 경과에 따라 강도가 증가하게 된다.

이러한 과정을 응결·경화라고 하며 응결·경화를 조절하는 혼화제로서 지연제와 촉진제가 사용된다. 응결·경화과정을 빠르게 하는 혼화제를 “촉진제”라 하고, 느리게 하는 혼화제를 “지연제”라고 한다. 시멘트의 수화속도는 그 때의 온도의 영향을 크게 받아 온도가 높아지면 반응이 빨리 진행하고, 낮아지면 늦게 진행한다. 따라서 응결·경화의 속도는 경우에 따라서는 촉진제나 지연제의 효과보다도 온도의 영향이 클 수도 있다. 그러므로 이러한 종류의 혼화제를 사용할 때는 콘크리트의 온도조건, 예를 들면 시공시기가 하절기인가, 동절기인가 또는 시공할 장소가 한냉지인가, 온난지인가 등을 충분히 고려하여야 한다.

일반적으로 콘크리트에는 건조수축과 경화시에 발생하는 열에 의해서 인장응력이 발생되고, 그 응력이 콘크리트의 인장강도를 상회하는 시점에서 균열이 발생하며 이로 인한 누수문제, 탄산화와 염분의 침투에 의한 철근부식, 나아가서 콘크리트의 붕괴에 이르는 경우가 많다. 또 콘크리트의 인장강도가 작은 것이 균열을 일으키기 쉽게 하는 요인의 하나이며 인장과 휨의 작용을 받는 콘크리트의 경우에 큰 결점으로 된다. 또한 top down(逆打)콘크리트와 그라우팅(充填)모르터 등에 있어서는 블리이딩과 건조수축에 의해서 구조체와의 사이에 간극이 없는 완전한 충전할 수 없게된다. 이러한 결점들을 개선하기 위하여 사용되는 것이 콘크리트용 팽창재(이하 팽창재)이다.

2. 지연제

2.1 분류 및 종류

지연제는 시멘트 수화반응의 지연만을 주목적으로 하는 단순지연제와 감수효과를 부여한 감수

* 코리아마스터빌더스(주), 차장

** 정회원, 코리아마스터빌더스(주), 부장

*** 정회원, 한국건설기술연구원, 수석연구원

형지연제, 감수효과와 공기연행 효과를 동시에 가지는 AE감수형지연제의 3종류가 대표적이며, 그 외에도 고성능감수제, AE고성능감수제 등에도 지연형이 있다.

주요 구성성분에 따른 지연제의 종류에는 여러 가지가 있으나 그중 대표적인 것을 들면 아래와 같다.

- ① 리그닌술폰산염 또는 그 유도체를 주성분으로 한 것.
- ② 고급다가 알콜의 술폰산염을 주성분으로 하는 것.
- ③ 옥시유기산을 주성분으로 하는 것.
- ④ 고분자 방향족 술폰산염을 주성분으로 하는 것.
- ⑤ 폴리올 복합체를 주성분으로 하는 것.
- ⑥ 기타, 무기계 재료.

이중 ①과 ⑤가 가장 일반적으로 사용되고 있으며, 그외의 것은 그 작용이 불안정하거나 ①과 ⑤에 비하여 고가이므로 실용화되지 않고 있는 것이 대부분이다.

2.2 작용 및 효과

시멘트와 물이 접촉하여 응결이 완료될 때까지의 기간은 $C_3S(3CaO \cdot SiO_2)$, $C_3A(3CaO \cdot Al_2O_3)$, 석고의 가수분해 및 수화반응의 단계이고, 시멘트성분은 물에 용해하여 포화 또는 과포화상태에 도달한 후에 수화생성물을 생성·적출하여 가는 수화과정을 시작한다(이 시기에 액상중의 칼슘이온(Ca^{2+}) 농도가 최고로 된다). Ca^{2+} 농도가 최고에 달할 때까지의 시간을 지연시키고, Ca^{2+} 농도 자체를 낮게 억제하는 약품이 지연제로서의 기능을 가진 것이다. 리그닌 술폰산염¹⁾과 방향족 술폰화물²⁾ 등 소수기(疎水基)가 어느정도 이상인 약품은 시멘트 입자와 수화물에 흡착하여 입자표면에 다분자층 흡착막을 형성하며 이것이 시멘트의 수화를 억제한다.

옥시 유기산과 아미노 유기산은 강력한 이온 분쇄작용을 가지고 Ca^{2+} 와도 화합물을 형성하여 수화반응에 필요한 Ca^{2+} 이온을 분쇄해 버린다.

무기질계의 각종 염들은 난용성(難溶性) 칼슘염을 형성하고 시멘트 입자를 피복하여 수화반응을 지연시킨다.

최근에는 수화반응을 단순 지연시키는데 그치지 않고 일정시간(72시간 정도까지)동안 수화반응을 정지시키는 “수화반응 조절제(안정제, stabilizer)”가 개발되어 콘크리트의 생산 및 현장여건에 따른 타설시간 제한을 해소하게 되었으며, 특히 유럽이나 미주의 경우 콘크리트타설에 따른 인원과 경비의 절감 및 시간경과시에도 콘크리트의 폐기없이 공사를 진행할 수 있다는 이점으로 많은 사용실적이 있으며 특히 습식 슛크리트에(건식 슛크리트에도 사용가능) 사용되어 여러가지 효과를 보고 있다.

이러한 모든 지연제는 사용량, 시멘트의 type 및 제조회사, 배합, 온도, 첨가시기 등에 따라 그 성능이 달라지므로 사전에 충분한 시험을 한 후 사용하는 것이 바람직하다.(그림 1, 그림 2 참조)

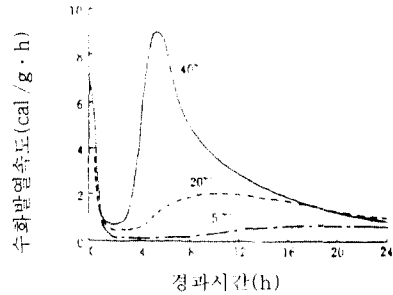


그림 1 시멘트의 온도에 따른 초기발열변화

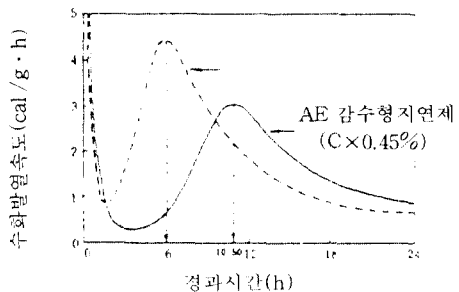


그림 2 시멘트의 초기발열속도에 미치는 AE 감수형지연제의 영향(30°C의 경우)

2.3 용도 및 사용상의 주의점

콘크리트의 응결·경화는 온도가 높아지면 촉진되어 초기 수화열의 발생을 가속시키게 되고 따라서 초기열팽창을 증가시키게 되며, 이후에 열의 발산으로 온도가 저하하면 수축을 일으키게 된다.

이때, 타설된 콘크리트의 수축을 구속하는 요인(기초암반 또는 구콘크리트)들이 있으면 인장응력이 발생되고, 이것이 그때의 콘크리트 인장강도보다 크면 균열이 발생한다. 지연제는 응결·경화의 속도를 지연시키는 것으로서 초기 열팽창을 감소시키게 되며 다음과 같은 용도에 사용된다.

1) 서중(하절기) 콘크리트에 사용하여 응결을 지연시킨다.

레미콘공장에서 제조된 콘크리트가 고온으로 인하여 운반중에 빠르게 응결하기 시작하면 현장 도착시에는 슬럼프저하가 일어나고, 작업성이 나쁜 콘크리트를 타설하게 되면 경화후의 충전불량, cold joint의 원인이 된다.

2) Dam, 원자력 발전소 등 매시브한 콘크리트 공사에 사용된다.

콘크리트부재의 단면이 커지면 시멘트의 수화열이 내부에 축적되어 콘크리트 온도가 높아진다. 외부구속이 있는 경우 온도의 저하에 따라 온도응력이 발생하고, 또 외기에 접하는 표면부분이 냉각되면 표면과 내부사이에서도 온도응력이 발생하여 콘크리트에 균열을 일으키는 원인이 된다.

지연제는 시멘트의 수화를 늦추는 것에 따라 발열속도를 느리게 하여 열의 외부로의 발산을 도와주고 축열량을 감소시켜 온도상승의 정도를 낮추어 준다.

3) P.C. 박스교량의 상판콘크리트 타설공사에 사용된다.

P.C. 박스교량 상판콘크리트 타설의 경우 먼저 타설된 콘크리트의 응결·경화가 빨리 진행되면 나중에 타설하는 콘크리트의 자중에 의하여 균열이 발생한다. 이에대한 대책으로서 최초에 타설하는 콘크리트에 지연제를 첨가하고, 타설하는 순서에 따라 지연제의 첨가량을 적게 하여 전체의 콘크리트가 동시에 응결하도록 하여 균열발생을 방지한다.

이외에 슬립폼(slip form)공법, 이어치는 면의 부착성개선, 야간콘크리트의 타설을 중지하는 경우의 cold joint방지 등의 목적으로 사용할 수 있지만, 이러한 경우는 장시간의 지연효과와 정밀한 응결시간의 관리가 필요하므로 사전에 충분한 시험후 사용하는 것이 요구된다.

지연제 사용시의 응결지연 정도는 콘크리트 시공시의 온도, 콘크리트재료 특히 시멘트의 품질과 종류에 따라 달라진다. 또, 성분이 다르면 성능도 달라지므로 사전에 충분한 조사에 의해 지연제의 종류와 사용량을 결정하여야 한다. 지연제의 일반적인 특성으로서 첨가량을 과도하게 사용하면 콘크리트는 경화불량이 되며, 동일 사용량에 있어서도 성분에 따라 차이가 있지만, 타설후 10일 이내에 응결·경화가 시작되면, 약 1개월에 플레인 콘크리트의 28일 강도와 거의 동등한 강도로 회복하는 것이 확인³⁾되어 있다.

지연제 사용시 균일한 지연효과를 얻기 위해서는 혼합수와 같이 첨가되어야 한다. 지연제의 첨가가 늦어지면 지연정도가 증가하게 되지만 균일한 지연이 되지 않게 되므로 주의하여야 한다. 또한, 지연제를 사용한 콘크리트는 굳기까지의 시간이 길어지므로 플라스틱균열(콘크리트가 굳기전에 발생하는 균열)의 발생위험이 많으므로 충분한 주의를 기울여 양생하는 것이 중요하다.

특히 batch plant에서의 관리소홀로 과다첨가되는 경우에는 응결 및 경화의 지연이 과도하게 일어나게 되므로 주의하여야 한다.

3. 촉진제

3.1 분류 및 종류

촉진제는 콘크리트의 응결·경화를 촉진시키는 혼화제로 지연제의 경우와 같이 단순촉진제, 감수형 촉진제, AE감수형 촉진제 등이 있으며, 대부분이 감수형 촉진제 또는 AE감수형 촉진제의 형태로 사용된다.

이러한 촉진작용을 하는 약품으로서 무기염계에는 염화칼슘으로 대표되는 염소화합물, 초산염, 아초산염, 티오황산염, 티오시안산염 등이 있고,

표 1 포틀랜드시멘트의 응결시간에 미치는 염화칼슘, 초산칼슘, 티오황산칼슘의 효과⁴⁾

응결시간	첨가량(%)	염화칼슘					초산칼슘					티오황산칼슘			
	0	0.5	1.0	3.0	6.0	0	0.5	1.0	3.0	6.0	0	1.2	1.8	2.9	
초결(h:min)	2:50	1:58	1:18	0:45	0:05	2:28	1:52	1:35	1:40	3:05	2:44	1:21	1:04	0:23	
종결(h:min)	4:20	3:15	2:02	1:20	0:11	4:10	2:12	2:40	3:30	5:55	3:56	1:54	1:39	0:40	

표 2 모르터의 강도발현에 미치는 염화칼슘, 초산칼슘, 티오황산칼슘의 효과(kg/cm²)⁴⁾

축진제 종류	첨가량 (%)	1일		3일		7일		28일	
		휨 강도	압축 강도	휨 강도	압축 강도	휨 강도	압축 강도	휨 강도	압축 강도
기준	0	15.8	39.0	34.3	120	52.8	221	79.0	379
염화칼슘	1.0	20.8	69.5	40.0	150	54.9	291	76.1	381
	2.0	24.2	82.5	46.9	172	51.5	243	77.1	352
	3.0	26.7	85.3	45.5	177	55.5	265	74.9	364
초산칼슘	2.0	7	18.7	34.2	113	47.3	193	74.6	316
	5.0	15.1	42.3	41.0	173	63.1	261	77.3	351
티오황산칼슘	1.0	17.1	44.7	34.6	117	51.9	210	73.6	341
	2.0	18.1	46.7	35.6	127	53.2	203	76.2	328
	3.0	18.8	55.8	37.8	130	53.1	237	75.2	366
	5.0	20.1	59.3	40.6	150	55.7	205	66.1	310
	6.5	21.1	69.3	37.6	143	50.9	207	63.4	268

이것들의 축진효과는 양이온의 종류에 따라 다르고, Ca염이 가장 강력한 것으로 알려져 있다. 유기염계에는 디에타놀 아민, 트리에타놀아민 등의 아민류, 개미산, 초산, 아크릴산 등의 유기산Ca염이 알려져 있다. 이것들 중에서 단독으로 콘크리트용 축진제로 실용화되어 있는 것은 염화칼슘 뿐이고 다른 것들은 경제적인 면에서 염화칼슘보다 훨씬 비싸므로 단독사용은 없고, 최근 콘크리트층의 염화물규제가 엄격하게 이루어짐에 따라 일부의 것이 감수제, AE감수제에 혼합되어 무염화 조강제의 제조에 사용되고 있다. 또한 감수제, AE감수제에 소량 혼합되어 감수성분의 응결지연성을 보완하는 목적으로 사용되는 경우도 있다.

3.2 작용 및 효과

염화칼슘과 티오황산칼슘 등의 무기질축진제는 시멘트중의 Alit(C₃S)의 수화반응을 촉진한다.⁴⁾

시멘트에 염화칼슘을 첨가하면 C₃S의 수화반응이 촉진되고 용액중의 수산화칼슘(Ca(OH)₂)의 과포화도가 높아져서, 시멘트겔(CSH 겔)등 수화

생성물의 척출이 왕성하게 되어 초기강도가 증대하게 된다. 또 염화칼슘은 CSH의 결정형태에 영향을 미쳐서, 긴 섬유상 결정이 치밀하게 휘감기어 합쳐진 조직을 만들어 강도를 증대시킨다.

한편 음이온 이동속도의 연구에서는 C₃S와 시멘트에 대한 무기 전해질의 수화촉진작용은 음이온의 이동속도에 좌우되고, 염화칼슘의 촉진작용은 염소이온(Cl⁻)의 이동속도가 현저하게 큰 것에 의한 것이라고 설명되어 있다.⁵⁾

염화칼슘, 초산칼슘 및 티오황산칼슘 첨가시 시멘트의 응결, 모르터의 강도에 미치는 효과를 표 1, 2에 나타낸다. 응결과 초기경화에 대하여 염화칼슘과 티오황산칼슘에서 사용량에 따른 축진효과를 볼 수 있다. 초산칼슘에서는 사용량의 영향을 볼 수 있고, 응결은 낮은 사용량에서, 강도는 높은 사용량에서 촉진되고 있다.

축진제의 사용량과 경화속도의 사이에 비례 관계가 항상 성립한다고 하지만 염화칼슘의 경우는 시멘트중량의 1%첨가는 경화속도에 있어서 6℃의 온도상승과 같은 효과를 미친다고 볼 수 있다.

3.3 용도 및 사용상의 주의

축진제는 다음과 같은 경우에 사용된다.

1) 동절기 콘크리트시공에 있어서 응결·경화를 촉진하여 동해에 견디는 강도를 조기에 발현시킨다. 그러나 응결이 종료될 때까지는 콘크리트의 온도는 0℃ 이상을 유지하여야 한다.

2) 2차 제품공장의 거푸집 회전을 빨리하고, 가열양생에 소비되는 열량을 절감시키는 등의 목적으로 감수제, AE감수제, 고성능 감수제 등과 병용하여 사용된다.

3) 유기질계 혼화제에 포함되어 있는 감수성분은 일반적으로 시멘트의 수화반응을 지연시키므로 여기에 소량첨가하여 초기 강도발현을 촉진시키는 경우가 있다.

4) 기타 긴급을 요하는 보수공사, 시멘트 그라우트 등에 사용된다.

촉진제는 주로 칼슘염이므로 다른 혼화제에 혼합하여 사용하는 경우에는 사전에 양자의 용해성을 확인할 필요가 있다. 염화칼슘은 뛰어난 응결·경화촉진작용을 가지는 반면, 콘크리트중의 철근을 부식시키는 작용도 크다. 콘크리트 내부가 높은 알칼리성으로 보호되고 있고, 철근 표면이 부동태화되어 있는 동안에는 부식하지 않지만, 한도량을 초과하는 염화물이 존재하면 부동태피막이 파괴되면 철근이 부식하기 때문이다.

따라서 각종 시방서 및 규격에서는 콘크리트중에 포함된 염화물량은 염소이온으로서 타설시점에서 $0.30\text{kg}/\text{m}^2$ 이하로 규정되어 있다.

이외에 한중시공에 있어서 단순히 콘크리트 동결온도를 낮추는 목적으로 염화칼슘등을 다량 사용해서는 안되며, 또 시멘트 중량의 2%를 초과하는 염화칼슘을 사용하면 콘크리트의 건조수축을 크게 하고 황산염에 대한 저항성을 약하게 하는 등의 악영향이 나타날 수 있으므로 주의하여야 한다.

4. 팽창재

4.1 분류 및 종류

ACI(American Concrete Institute)는 팽창재를 함유한 팽창시멘트를 K, S, M형의 3가지로 분류⁶⁾하고 있다. 일본을 제외한 미국등 외국에서는 팽창재를 제조하지 않고 팽창시멘트로서 제조하고 있으나 팽창의 원리는 같기 때문에 여기에서는 팽창재로서 취급하기로 한다.

K형 팽창재는 칼슘술포알루미늄에이트($3\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4$)와 석고(CaSO_4) 및 산화칼슘(CaO)으로 된 팽창재로 물과 혼합하면 반응하여 팽창성의 에트링가이트를 생성하여 팽창하는 것이다.

S형 팽창재는 알루미늄산삼칼슘($(3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3)$)과 석고의 혼합물로 K형과 같이 물과 혼합하면 반응하여 에트링가이트를 생성하는 것이다.

이상의 3종류 팽창재는 모두 에트링가이트를 생

성하여 그 팽창을 콘크리트의 팽창에 이용하는 것이지만 일본에서 개발된 것은 산화칼슘을 주성분으로 하는 것으로 물과 반응하여 생성되는 수산화칼슘의 팽창을 이용하는 것으로 석회계 또는 O형이라고 명명하였다. 이러한 팽창재를 이용한 혼화재로서 충전모르터, 콘크리트용 혼화재, 매스콘크리트용 팽창재 및 셸프레벨링 시멘트용 혼화재 등이 있다.

충전용 혼화재는 팽창재외에 블리이딩 방지와 유동성 향상을 위한 고성능감수제, 증점제, 초기 팽창을 부여하기 위한 기포제(주로 금속 알루미늄 분말) 및 필요에 따라 소포제 등이 혼합된 것이다.

매스콘크리트용 팽창재는 팽창재용 수화지연제를 첨가한 것으로 매스콘크리트에서 특히 문제되고 있는 균열을 방지할 목적으로 개발된 것이 매스콘크리트용 또는 저열형 팽창재이다.

셸프레벨링 시멘트용 혼화재는 충전용 혼화재와 같이 유동성의 향상, 블리이딩의 감소 등에 의해 마감을 필요로 하지 않고 스스로 수평활면을 형성시키기 위해서 사용하는 모르터용 혼화재로 조성은 비슷하지만 팽창재는 주로 건조수축에 인하는 균열방지를 목적으로 사용된다.

4.2 팽창재의 용도 및 작용

4.2.1 팽창콘크리트 일반

팽창콘크리트의 화학적·물리적 성질은 사용하는 팽창재의 제조회사, 혼화율 등에 따라 다르지만 제조회사에 따른 차는 비교적 작은 것으로 보아도 좋다. 또 혼화율에 관해서는 시멘트에 대한 혼화율 보다도 단위팽창재량(kg/m^3)으로서 취급하는 것이 적절하며, 일반적인 최대단위량은 $60\text{kg}/\text{m}^3$ 정도이므로 그 범위내에서 기술한다.

(1) 결합재

팽창콘크리트의 배합설계에 있어서 팽창재는 시멘트에 대한 비율로 사용한다. 시멘트와 팽창재의 혼합물은 결합재라 부르고, 단위 팽창재량이 일정할 때 콘크리트의 압축강도와 결합재·물비의 관계는 어느 범위에서는 직선관계로 되고, 보통콘크리트의 압축강도와 시멘트·물비의 관계와 거의 일치한다.

(2) 굳지 않은 콘크리트의 성질

컨시스턴시, 공기량, 응결시간 및 블리이딩은 단위 팽창재량이 증가하여도 단위 결합재량이 일정한 경우는 보통콘크리트와 거의 같다.

(3) 굳은 콘크리트의 성질

① 팽창특성

단위 팽창재량의 증가에 따라 콘크리트의 무구속팽창 및 구속팽창은 증대한다. 무구속팽창율과 구속팽창율의 관계는 팽창재의 종류에 관계없이 그림 1에 보여주는 관계가 있으며, 물·결합재비에 의한 팽창변화는 적다. 시멘트 종류에 따라 팽창속도 및 팽창율은 변화하지만 보통포틀랜드 시멘트에서는 그 차가 적다. 팽창율은 콘크리트의 구속조건에 의해 영향을 받고, 구속철근비가 커지면 팽창율은 작아진다.

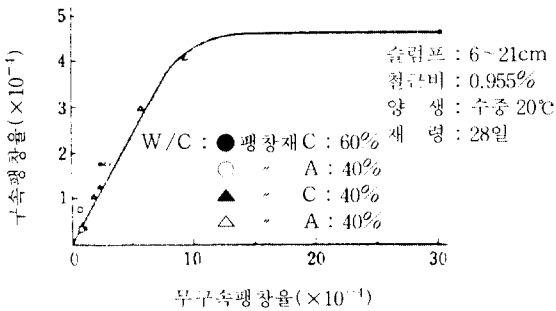


그림 3 무구속팽창율과 구속팽창율의 관계⁷⁾

② 강도특성

무구속으로 양생된 경우에는 팽창율(단위 팽창재량)이 어느 정도 커지면 저하하지만, 단위 팽창재량이 30kg/m³ 정도까지는 보통콘크리트와 같은 정도의 압축강도를 보여준다. 그러나 철제 거푸집에 채워진 채로 양생된 경우에는 무구속팽창율(단위 팽창재량)이 커져도 압축강도는 저하하지 않는다. 결합재·물비와 압축강도의 관계는 보통콘크리트와 거의 같은 관계를 보여주며, 또 양생온도와 압축강도의 관계, 탄성계수, 크리프(Creep)도 보통콘크리트와 같다.

③ 내구성

팽창콘크리트는 팽창이 일정한 값에 달한 후에

는 팽창율이 거의 변하지 않고 건조되면 수축하며, 오토클레이브 야생을 행하여도 특별한 팽창을 나타내지 않아 장기적으로 안정하다고 판단된다. 동결융해에 대한 저항성은 단위 팽창재량이 일정하면 구속철근비가 클수록 저항성은 향상하지만⁸⁾ 단위 팽창재량이 30kg/m³ 정도이면 구속의 유무에 관계없이 보통콘크리트와 같은 정도⁹⁾로 보아도 좋다. 기타 내황산염, 중성화, 내마모성, 수밀성 등도 보통콘크리트와 큰 차이는 없다.

4.2.2 수축보상

철근콘크리트에 팽창혼화제를 사용한 경우, 초기 양생시에 콘크리트가 팽창하고 철근이 신장하여 콘크리트에 압축응력이 발생한다. 그후 콘크리트가 건조를 받으면 수축하고, 철근의 신장이 콘크리트 타설시점과 같이 0으로 돌아올 때까지는 콘크리트의 압축응력이 감소하지만 인장응력은 발생하지 않는다. 이처럼 건조수축에 의한 균열의 주원인으로 되는 콘크리트의 건조수축을 팽창으로 막아서 콘크리트에 인장응력을 발생시키지 않는다. 즉 타설시점의 용적이하로 콘크리트를 수축시키지 않는다고 하는 것이 수축보상의 기본 개형이다. 그러나 실제로는 팽창 콘크리트의 절대 건조수축에 맞는 만큼의 팽창을 경화초기에 부여하는 것은 구속이 적은 부분의 강도저하와 팽창과다에 의한 파괴 등의 문제가 있어 채용될 수 없고 진정한 의미의 수축보상은 실현할 수 없다.

일본의 건축학회 및 토목학회는 수축보상을 목적으로 사용되는 팽창콘크리트의 단위 팽창재량으로서 약 30kg/m³를 하나의 표준으로 하고 있다. 이것은 무구속상태에 있는 콘크리트의 압축강도가 보통콘크리트에 비하여 저하하지 않는 범위에서 적절한 팽창율을 정하는 것을 전제로 한 것이며, 그 결과 최대 팽창율에 달한 철근콘크리트는 건조수축에 의해서 타설시의 용적이하로 수축해 버리기 때문에 「실제의 수축보상이라는 것은 수축에 의한 균열발생을 저감시키기 위한 팽창을 콘크리트에 부여하는 것」으로 이해하면 된다.

4.2.3 충전

(1) 팽창콘크리트의 충전

지하의 수력발전용 수압철관의 매립 충전에 팽창콘크리트를 사용하면 그 팽창작용에 의해 철관과 주변암반을 일체화할 수 있고, 그라우트공사를 생략할 수 있으며, 일본의 경우 그 시공예^{10),11)}가 있다. 또 원자로 격납용기와 그 아래의 기초콘크리트와의 간극에 팽창콘크리트 또는 팽창모르터를 충전하여 용기와 콘크리트의 일체화¹²⁾를 꾀할 수 있고, 일시적으로 간극이 벌어져 있는 콘크리트의 간극 충전, 철제 파이프(예를 들면 강관철탑)내부 충전¹³⁾, 철제교각의 내부충전에 의한 보강과 소음발생량의 저감 등 팽창모르터 및 콘크리트는 충분한 충전효과가 있다.

(2) 무수축 그라우트(충전)재

Top-down 콘크리트에서 상부콘크리트와 하부에서 타설되는 콘크리트 사이의 간극충전, 기계설치시 anchor bolt 및 기계 base plate와 base concrete와의 일체화, 교량의 shoe와 교대 또는 교각과의 일체화 등 간극부분을 충전하여 하중에 대한 내력을 부여하는 경우에 사용된다.

이러한 충전모르터 및 콘크리트에 요구되는 성능으로서는 ㉔발리이딩이 없을 것, ㉕충분한 유동성, ㉖충전 직후부터 팽창하여 조기에 팽창이 종료하고, 그 후는 수축이 없을 것, ㉗소요 압축강도를 발현할 것. 특별한 경우 소요의 조기 강도발현, ㉘균열을 발생하지 않을 것, 특히 비교적 매시브한 상태에서 충전되는 경우에 열응력에 따른 균열을 발생하지 않을 것 등 대단히 높은 기술을 요구한다.

이러한 고급용도에는 일반적인 팽창모르터·콘크리트로는 불충분한 경우가 많기 때문에 무수축 그라우트재가 개발되어 사용되고 있으며, 무수축 그라우트재는 대부분 현장에서 물만을 첨가하여 사용할 수 있도록 모든 재료를 미리 혼합한 것이 주종을 이루며, 기계설치, 철구조물 안치 등 여러 가지 용도로 사용되고 있다.

4.3 사용상 주의

4.3.1 팽창재의 저장

팽창재의 취급 및 저장방법은 다음과 같다.

- ① 풍화하지 않도록 충분히 배려하여 저장한다.
- ② 지대에 포장된 것은 사용직전에 개봉한다.
- ③ 지대가 파손되어 대기에 노출된 것은 사용하지 않는다.
- ④ 지대의 적재시 15포 이상 쌓지 않는다.
- ⑤ 팽창재 및 팽창재와 시멘트를 미리 혼합한 것은 밀폐상태가 양호한 사일로 등에 저장하고, 다른 재료와 혼합되지 않도록 주의한다.
- ⑥ 장기간 저장한 제품은 시험을 행하여 소정의 품질을 확인한 후에 사용한다.

팽창재는 시멘트보다 풍화하기 쉽기 때문에 지대내부에 비닐등 기밀재료가 내장된 것으로 포장되어 있으며, 약 5개월간 공장에 쌓아둔 후에도 품질의 변화가 없는 것으로 보고되어 있다.¹⁴⁾

4.3.2 팽창콘크리트의 제조 및 품질관리

팽창콘크리트의 제조 및 품질관리상 주의사항^{15),16)}은 아래와 같다.

- ① 시멘트의 응결·경화와 팽창속도가 조화를 이루어 유효한 팽창을 일으키게 할 것.
- ② 가능한 한 소량의 팽창재량으로 필요한 팽창을 일으킬 것.
- ③ 콘크리트의 팽창은 상온에서 초기팽창량이 적고, 1주일 정도에서 최대값에 달할 것.
- ④ 팽창콘크리트의 강도 및 물리·화학적 특성 등을 저해하지 않을 것.
- ⑤ 팽창후의 콘크리트 건조수축을 감소시킬 것.
- ⑥ 팽창재는 다른 재료와 별도로 중량으로 계량하고, 그 오차는 1회 계량에서 2%이내 일 것.
- ⑦ 팽창재는 가능한 직접 믹서에 투입할 것.
- ⑧ 팽창콘크리트의 혼합시간은 일반적인 콘크리트 혼합시간에 가경식 믹서의 경우 30초 이상, 강제식 믹서의 경우 10초 이상을 더한 것으로 한다.

이중에서 ①의 팽창속도 조절이 가장 중요하다. 팽창콘크리트의 팽창이 응결전에 일어나면 발포제를 혼합한 경우와 같이 조적이 거칠어지든가, 철근과의 부착력이 발생하기 전에 팽창하게 되어 철근을 인장(pre-tension) 할 수 없는 경우가 있다.

4.3.3 팽창콘크리트의 시공

팽창콘크리트의 시공시 특히 주의하여야 할 사항을 열거하면 아래와 같다.^{15),16)}

(1) 양생

콘크리트 타설후에는 살수 또는 그외의 방법으로 습윤상태를 유지하고 직사일광, 급격한 건조 및 한기(寒氣)에 대해서 적절한 양생을 해야 하며, 콘크리트의 온도는 2℃ 이상으로 유지하고, 그 기간은 시멘트의 종류에 관계없이 5일로 한다. 특히 노출면은 콘크리트가 양생작업에 의해서 해를 받지 않을 정도로 경화한 후 5일 이상 아래의 방법 중 하나로 적절한 양생을 행하여 항상 습윤상태를 유지한다.

- ① 적당한 시간 간격으로 직접 노출면에 살수한다.
- ② 양생매트류로 덮고, 양생기간중 양생매트류가 충분히 물을 함유하도록 적당히 살수한다.
- ③ 쉬트류로 간극없이 덮는다.
- ④ 피막 양생제를 도포한다.
- ⑤ 기포집을 제거한 후 콘크리트의 노출면, 특히 외벽면은 직사일광, 급격한 건조 및 한기(寒氣)에 대하여 필요에 따라 양생매트, 쉬트류 또는 살수 등에 의해 적당한 양생을 한다.

(2) 기포집의 제거

보통콘크리트의 경우와 달리 기포집의 제거는 강도의 확보와 동시에 팽창율을 확보하는 것이 대단히 중요하다. 따라서 콘크리트의 초기재령에서 건조에 의해서 수화반응에 필요한 수분이 날아가는 것을 방지하기 위해 기포집의 존치기간을 평균 기온 20℃ 미만에서는 5일 이상으로 하고, 20℃ 이상에서는 팽창재의 수화반응이 전자에 비하여 빨라지기 때문에 3일 이상으로 하는 것이 좋다.

5. 국내외 사용현황

5.1 지연제·축진제

우리나라를 포함한 대부분의 국가에서 응결·경화 지연제를 단독으로 사용하는 경우 보다는 강

수 또는 AE감수효과를 함께 갖도록 하여 사용하고 있는 경우가 많다.

미국(ASTM C 494), 캐나다(CSA A 266.2), 영국(BS 5075)등의 국가에서는 단순지연제와 축진제에 대한 규정을 수립하고 있으므로, 이들에 대한 별도의 규정이 없는 우리나라에서도 이러한 규격을 참고로 하여 규격을 제정하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

한편 최근에는 초지연제, 슬럼프 손실저감형 혼화제, 동해방지제(방동제)등 응결·경화 조절제를 응용한 다양한 제품들이 개발되어 사용되고 있으며, 이러한 제품들의 적절한 사용으로 기후에 따른 여러가지 여건들에 제한받지 않고 공사를 진행할 수 있다.

5.2 팽창재

콘크리트용 팽창재의 경우 국내의 사용실적이 많지는 않지만 일본의 경우는 어느정도 활발한 사용실적이 있으며, 이러한 팽창재의 적절하고 폭넓은 이용은 콘크리트 품질향상에 도움이 될 것으로 판단된다.

우리나라의 경우 팽창재로 잘못 이해하고 있는 알루미늄 분말은 기포를 일으켜 팽창을 일으키는 것이므로 숨은 골재가 있는 콘크리트에서는 팽창의 균일성을 확보하기 어려우며, 특히 알루미늄 분말은 불과 접촉하는 순간부터 팽창을 시작하여 3시간 정도 이내에 팽창이 완료되고 팽창량도 상당히 크므로 팽창콘크리트용으로 사용하여서는 안된다. 이것은 Prepacked Concrete의 채움용으로 시멘트 paste, PS 강선 보호용 시멘트 paste 등에 혼합되어 사용되는 것이다.

기계기초, 철골기초 등 무수축 또는 팽창 모르타의 충전이 필요한 부분은 기의 대부분이 premixed 무수축 그라우트재를 사용하고 있으나 이들에 대한 품질규준이 아직 마련되어 있지 않아 철저한 검증을 통한 올바른 선택이 이루어지지 않고 있는 것이 큰 문제이다. 그러나 ASTM C1107 및 ACI에서는 구체적 품질조건과 사용방법에 대하여 규정하고 있으므로 이러한 관련규격들을 근거로 한 시험을 통해 재료의 선택이 요구된다.

참 고 문 헌

1. 眞鍋敏雄ほか, セメントによるリグニンスルホン酸カルシウムの吸着とペーストの異常な凝結現象セメント技術年報 XIV, 1960, pp.57-60.
2. 坂井悦郎ほか, セメントの初期水和反應速度におよぼす芳香族スルホン酸ナトリウムの影響 日本化学會誌, No. 2, 1977, pp.208-213.
3. 山本泰彦, コンクリートにおける遅延剤および減水剤の使用に関する基礎研究, 土木學會論文報告集, 第265號, 1977, pp.91-106.
4. 村上恵一ほか, ポルトランドセメント凝結硬化に対する CaSO_3 の促進作用と他の無機類との比較, 窯業協誌 76-11, 1968, pp.373-384.
5. 近藤連一ほか, エーライトおよびセメントの水和速度に及ぼす無機電解質の作用機構, セメント技術年報 29, 1975, pp.57-61.
6. 長重義, 膨脹セメントコンクリートの現況(1), (2), (3), コンクリートジャーナル, Vol.10, No. 1-5, 1972.
7. 中野昌之ほか ; 石灰系膨脹材を混和したモルタル・コンクリートの一般性狀について, セメント技術年報 26, 1972.
8. 小林正凡ほか, 膨脹混和材を用いたコンクリートの凍結融解に対する抵抗性について, 膨脹性セメント混和材を用いたコンクリートに関する講演概要集, 日本土木學會, 1972.
9. 日本セメント(株), 膨脹コンクリートの拘束効果について, セメント工業, No.129, 1974.
10. 錦織達郎, 水壓鐵管路における膨脹コンクリートの施工, コンクリートジャーナル, Vol.12, No.7, 1974.
11. 門司唱, 水壓鐵管のノングラウト工法における膨脹量管理の問題點, セメント・コンクリート No.334, 1974.
12. 千田實, 建築マスコンクリートの施工について, コンクリート工學 Vol.13, No.11, 1975.
13. 小野田セメント(株)技術資料, 中部電力(株)東尾張一日進線MC鐵塔工事グラウト用エクスパンモルタル試験報告書, 1973.
14. 河野俊夫, 生コン工場における特殊コンクリートのつくり方(膨脹コンクリート), セメント・コンクリート, No.343, 1975.
15. 日本建築學會, 膨脹材を使用するコンクリートの調合設計・施工指針案・同解説, 1982.
16. 日本土木學會, 膨脹コンクリート設計施工指針(案), 1983. 