

# 혼화재료를 사용한 콘크리트의 특성

권 순 옥  
〈한일시멘트공업(주)〉

## 1. 머릿말

소비자들의 요구가 다양해 지면서 콘크리트의 특성은 고강도, 고기능 및 고성능이 요구되고 있다.

콘크리트의 기본재료인 시멘트, 골재 및 일반AE감수제의 사용으로는 소비자들의 요구 및 레미콘 업체의 원가절감에 기여하기 어려우므로 경제적이며, 품질이 우수한 혼화재료를 사용할수 있다면 레미콘 업체의 경쟁력에 큰 도움이 될 것이다.

현재 국내 건설경기의 침체는 레미콘 판매 단가의 급격한 하락을 야기 시켰으며, 특히 물류비 및 시멘트, 골재등의 원재료 단가의 상승은 레미콘 업체의 어려움을 가중시키고 있다. 이러한 상황에서는 레미콘 제조비용을 낮추는 노력이 필요하다.

원재료중 단가비중이 높은 시멘트의 일정량을 혼화재료에 의해 절약할수 있다면 원가절감에 상당한 효과가 있을 것이다.

본보고는 1)고성능AE감수제의 보통강도 콘크리트 적용시의 장점 2)플라이애쉬 및 고로슬래그분말을 사용한 저발열콘크리트에 의한 품질특성 3)고강도 혼화재( $\Omega 2000$ )를 사용한 콘크리트의 물성에 대해 기술하고자한다.

## 2. 고성능AE감수제의 보통강도 콘크리트 적용시의 장점

### 2.1 고성능AE감수제란

콘크리트 수요자들은 고내구성, 고기능, 고강도화등 품질이 우수한 콘크리트를 요구하고 있어 종래의 소량 사용으로 단순히 작업성과 동결융해저항성 향상을 목적으로 사용하였던 일반AE감수제 등으로는 수요자의 요구를 충족 시키기에는 큰 어려움이 있을 것이다.

고성능AE감수제는 높은감수율과 적은 슬럼프손실을 특징으로 하고있으며 그주성분은 나프탈렌 설폰산, 멜라민 설폰산, 변성리그닌, 폴리칼본산, 아미노 설폰산등의 한가지 성분 또는 여러 가지 성분의 복합물로서 주성분별로 나프탈렌계, 멜라민계, 폴리카본산계, 아미노설폰산계로 분리되고 있다.

고성능AE감수제는 성능면에서는 종래의 AE감수제의 특성인 공기연행작용, 응결시간의 조절작용을 가지며 시멘트의 분산작용 즉 감수작용을 대폭적으로 증대시키면서 슬럼프손실을 억제하는 능력을 가지도록 한 것이다.

고성능AE감수제의 콘크리트 사용할 때의 유용성은 단위수량을 대폭적으로 저감할수 있

[표 1] 혼화제의 성능(KSF 2560)

항 목	AE 감수제			고성능 AE 감수제		
	표 준 형	지 연 형	촉 진 형	표 준 형	지 연 형	
감수율 %	10 이상	10 이상	8 이상	18 이상	18 이상	
블리딩량비 %	70 이하	70 이하	70 이하	60 이하	70 이하	
응결시간 차 min	초결	-60~+90	+60~+210	+30 이하	-30~+120	+90~+120
	중결	-60~+90	+210 이하	0 이하	-30~+120	+240 이하
압축 강도비 %	3일	115 이상	105 이상	125 이상	135 이상	135 이상
	7일	110 이상	110 이상	115 이상	125 이상	125 이상
	28일	110 이상	110 이상	110 이상	115 이상	115 이상
길이변화비 %	120 이하	120 이하	120 이하	110 이하	110 이하	
동결융해 저항성 %	80 이상	80 이상	80 이상	80 이상	80 이상	
경시 변화	슬럼프 cm	-	-	-	6.0 이하	6.0 이하
	공기량 %	-	-	-	±1.5 이내	±1.5 이내

으며, 이로 인해 내구성의 향상을 도모하고, 초유동 콘크리트의 제조 및 고강도콘크리트 제조가 가능할 것이다.

위 [표 1]에 나타낸 것과 같이 고성능AE감수제를 사용하면 콘크리트의 물리적 성능이 개선됨을 알 수 있다.

KSF 2560의 고성능AE감수제는 일반적인 AE감수제(감수율10%)의 기능을 더욱 향상시켜 시멘트를 효과적으로 분산시키고 응결 지연 및 지나친 공기연행, 강도저하 등의 악영향 없이 단위수량을 18% 이상 감소시킬 수 있는 혼화제를 말한다.

국내에서의 고성능AE감수제 적용은 고강도 콘크리트에 주로 이용되었으며, 고강도 콘크리트에서는 필수 불가결한 재료가 되었다.

따라서 고강도콘크리트 뿐만 아니라 보통강도콘크리트에 고성능AE감수제 적용시 여러 가지 장점이 있을 것이다.

## 2.2 고성능AE감수제를 사용할 때의 장점

### 1. 건축공사 표준시방서 규준을 충족시킬 수

있다.

“콘크리트의 내구성 확보를 위한 단위수량은 185kg/m<sup>3</sup> 이하로 한다.”

[표 2] 각 지역의 단위수량 (25-240-15)

공 장	AE 감수제 배합비(kg)	고성능 AE 감수제 배합비(kg)
서울	188	176
대구	196	184
부산	189	178
광주	195	183

위 [표 2]에 나타난 것과 같이 각 지역의 단위수량은 일반 AE감수제를 사용하여 건축공사표준시방서의 규준을 벗어 나고 있다. 고성능 AE감수제를 사용하면 단위수량을 감소시켜 건축공사표준시방서 규준에 적합한 배합이 가능하다.

2. KS 사후검사 항목중의 동하중 검사 계량 오차 관리가 용이하게 된다.

AE감수제는 시멘트의 0.3%를 사용하고 있어, 계량오차 범위 내로 관리가 어려운 실정이

(표 3) KSF 4009

항 목	오차범위
시멘트	± 1%
물	± 1%
골재	± 3%
혼화제	± 3%
혼화제	± 2%

다. 고성능 AE감수제는 사용량(시멘트량의 0.6% 이상 예정)이 많아 계량오차 범위 관리가 용이해진다.

### 3. 원가 절감효과가 기대된다.

콘크리트 배합설계는 콘크리트 강도이론인 W/C 이론에 의거 배합설계를 하고 있다. W/C 이론이란 “콘크리트 강도는 페이스트 강도, 페이스트-골재간의 부착 강도 및 골재의 몇가지 성질에 의하여 결정된다. 페이스트강도는 W/C에 의해 결정되며 W/C는 페이스트-골재간의 부착강도를 결정하는 인자이다.” 다시말하면 골재의 영향은 무시하고 시멘트의 수화도가 일정하다면 콘크리트 강도의 차이는 W/C로만 결정된다. 이에따라 고성능AE감수

제를 사용하면 1m<sup>3</sup>당 단위수량을 줄일수 있고, W/C이론에 의거 단위시멘트량을 줄일수 있다. 그러나 단위시멘트량이 줄어도 콘크리트 W/C 이론에 의거 동등한 콘크리트의 강도가 확보된다. 따라서 단위시멘트량 절감에 의해서 원가절감이 기대된다.

4. 고품질의 콘크리트를 수요자에게 공급하여 레미콘 영업활동 및 수주에 도움이 될 것이다.

일반적인 생각은 레미콘은 범용화 되어있어 어느회사의 제품을 사용하나 큰문제가 없는 것으로 알고있으나, 사실은 제조회사가 어떤 원재료를 사용하느냐에 따라 제품의 품질은 큰차이가 있을수있다. 더우기 콘크리트 내구성에 큰영향을 미치는 단위수량을 저감하는 고성능AE감수제를 보통강도 콘크리트에 적용한다면, 동업타사 제품에 비해 레미콘 품질의 우수성을 수요자에 알리는 결과가 되어 제품의 신뢰도가 높아 질 것이다.

5. 고성능 AE감수제를 고강도콘크리트의 제조시에도 사용할 수 있어 고강도콘크리트

규 격	구 분	W	C	S1	S2	G	AE 감수제	고성능 AE 감수제	원재료(원)	W/C
25-210-15	기본 배합	190	336	249	582	921	1.01	-	33,104	56.5%
	고성능AE 감수제	178	315	263	602	916	-	1.89	32,658	
25-240-15	기본 배합	189	373	244	558	913	1.12	-	35,189	50.7%
	고성능AE 감수제	177	349	256	586	920	-	2.09	34,738	
25-270-15	기본 배합	193	419	228	532	916	1.26	-	37,811	46%
	고성능AE 감수제	180	391	244	558	922	-	2.35	37,209	

[계산근거] C : 62원/kg(운반비 포함), S<sub>1</sub>(해사) : 8원/kg, S<sub>2</sub>(쇄사) : 7.3원/kg, G : 6원/kg, AE감수제(리그닌계):500원/kg, 고성능 AE감수제(나프탈렌계):600원/kg, 물 : 제외

제조 비용화가 기대된다.

6. 하절기 보통강도 콘크리트 규격에 저발열콘크리트를 채용할 수 있어 하절기 레미콘 영업활동 및 수주에 큰 영향을 미칠 것이다.

7. 건조수축 및 소성수축균열 저감에 효과가 있다.

콘크리트 원재료중 물은 시멘트를 경화시키는데 필요한 재료이지만 시멘트수화 이상의 물, 또는 가수등에 의한 과량의 물 공급은 콘크리트의 강도뿐 아니라 균열등 내구성에 치명적인 악영향을 준다. 따라서 콘크리트 용적중에서 물이 차지하는 용적을 작업이 가능한 범위내에서 가능한 적게 사용하여야 내구성이 우수한 고품질의 콘크리트를 제조할 수 있다.

8. 블리딩 감소 및 수밀성이 증가한다.

콘크리트에서 물의 분리는 콘크리트 물성에 좋지않은 영향을 주는 경우가 많다.

콘크리트는 치어붓기후 비교적 가벼운 물이나 미세한 물질등이 상승하고 비교적 무거운 골재나 시멘트는 침하한다. 이와같이 물이 상승하는 현상을 블리딩이라 한다. 일종의 물의 분리이며 콘크리트의 내부에서도 발생하므로 고정된 수평철근이나 굵은골재의 하부에 수막이나 공극을 형성한다.

그결과 철근과 콘크리트의 부착력 저하 및 수밀성 저하에 의한 콘크리트 재료분리로 콘크리트의 내구성에 치명적인 영향을 미친다.

따라서 블리딩 감소 및 수밀성 증가를 위해서는 감수율이 높은 고성능AE감수제의 사용이 필요하다.

9. 콘크리트 혼합재로써 F/A 및 고로슬래그분말 사용도 기대할수 있어 원가절감 및 내구성향상이 기대된다

### 3. 저발열(저균열) 콘크리트

#### 3.1 개 요

본 보고에서는 4종 저열시멘트(고벨라이트 시멘트)를 사용한 저발열콘크리트는 제외하고, 레미콘업체에서 손쉽게 접근할 수 있는 혼화재를 이용한 저발열콘크리트에 관해 기술하고자 한다.

저발열콘크리트는 기존의 콘크리트 배합설계시 시멘트량(결합재량)의 일부를 포졸란 재료(플라이 애쉬, 실리카 흙) 또는 잠재수경성 재료(고로슬래그 분말)로 대체한 2성분계 및 3성분계에 의해 수화열을 저감하는 콘크리트이다.

포졸란 재료의 사용에의해 장기강도는 우수하지만 초기강도가 낮아지는 것을 방지하고, 단위수량을 대폭적으로 절감하여 내구성이 우수한 콘크리트의 제조를 위해 일반 AE감수제 대신 고성능 AE감수제(지연형)를 사용한다.

수화열 저감에 의해 콘크리트 중심부와 외부의 온도차이를 줄일수 있어 온도차이에 의한 균열을 방지하는 효과가 있으므로 하절기 또는 매스콘크리트 등에 저발열 콘크리트를 적용하면, 품질의 균일성을 유지하면서 안정적으로 서중콘크리트 및 매스구조물의 대책안이 될 것이다.

저발열콘크리트를 적용할수 있는 콘크리트는

- 보통강도 콘크리트
- 고강도콘크리트
- 서중콘크리트
- 매스콘크리트
- 원자력 발전소의 차폐벽, 원자로건물
- 비교적 단면이 작은 건축용부재

저발열콘크리트는 수화열 저감 및 W/C를 낮추어 균열 제어 및 안정된 강도 확보 뿐만 아니라 1m<sup>3</sup> 용적에서 차지하는 단위수량의 저감에 의해 수밀성 및 화학저항성, 알카리골재반

### 3.1.1 저발열 시멘트의 품질 종합 비교표<sup>1)</sup>

구 분		2성분계 저발열 시멘트 (슬래그-시멘트계)	3성분계 저발열 시멘트 (슬래그-플라이애쉬-시멘트계)	고 belite 시멘트
수화열(28일)		60~80 cal/g	45~60 cal/g	40~75 cal/g
단열온도 상승치		35~45°C	23~30°C	25~38°C
압축강도	28일	300~450kgf/cm <sup>2</sup> 초기강도 높음	250~350kgf/cm <sup>2</sup>	120~400kgf/cm <sup>2</sup> 초기강도 낮음
	91일	350~550kgf/cm <sup>2</sup>	300~400kgf/cm <sup>2</sup>	500~650kgf/cm <sup>2</sup> 장기 고강도
온도의존성 (고온양생)	수화열	크다(반응속도) 단열온도 상승이 높은 경향	작다 (수화촉진)	작다 (수화촉진)
	발현 강도	장기강도 발현 불량 (조직 pores)	양호	양호
내구성 및 이온 투과성 (염해, 내알칼리 골재반응성)		양호 (보통 시멘트에 비해)	양호 (보통 시멘트에 비해)	양호 (보통 시멘트에 비해)
품질 안정화		세심한 품질관리 필요 (슬래그와 시멘트간의 적 합성 및 슬래그 품위에 큰 영향)	세심한 품질관리 필요 (슬래그, 플라이애쉬, 시멘 트간의 적합성 및 슬래그, 플 라이애쉬의 품위에 큰 영향)	보통 포틀랜드 시멘트와 동 등한 품질 안정화가 가능

### 3.1.2 각종 초저발열 및 저열시멘트의 물성<sup>2)</sup>

시멘트 종류	시멘트 번호	비중	비표면적 브레인 (cm <sup>2</sup> /g)	응 결			압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )				수화열(cal/g)			
				수량	초결 (h-min)	종결 (h-min)	3일	7일	28 일	91 일	3일	7일	28 일	91 일
보통-슬래그계 2 성분	NS 58	3.00	3590	32.2	4-07	5-42	76	161	370	493	41.7	54.3	71.9	84.5
	NS 67	2.81	3050	29.6	3-30	5-10	59	135	303	414	34.0	41.4	54.5	60.1
중용열-슬래그계 2 성분	MS 55	2.95	3350	28.4	4-16	6-51	49	89	251	372	38.2	48.1	64.2	74.8
	MS 70	3.00	3870	31.5	4-18	6-16	66	158	303	415	33.8	45.4	52.0	58.0
조강-슬래그계 2 성분	HS 80	2.94	5060	27.6	5-24	7-45	128	252	418	556	42.8	51.3	59.1	64.2
중용열-슬래그- 플라이애쉬계 3 성분	MS 50-F 20	2.94	3830	30.8	5-36	7-06	56	115	305	439	35.9	51.0	62.0	67.4
	MS 40-F 15	3.02	3600	32.6	5-15	8-15	55	116	307	501	43.5	48.8	65.0	70.1
	MS 40-F 20	2.93	3550	30.0	4-50	7-25	57	120	343	503	37.8	47.6	64.8	66.8
고로시멘트 B종	NS 50	3.03	3460	29.6	3-43	5-04	103	192	386	-	44.4	62.4	77.9	-

주 \* 시멘트 번호 : 혼합제 혼합을 표시  
 N : 보통포틀랜드 시멘트, M : 중용열 시멘트, H : 조강 시멘트, S : 고로슬래그 시멘트, F : 플라이애쉬

응등 내구성 향상에 큰 효과가 있다.  
 단위수량의 저감은 내구성 뿐만 아니라 소

성수축 균열, 건조수축균열 등을 방지하는데  
 도 기여한다.

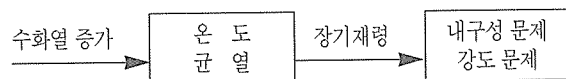
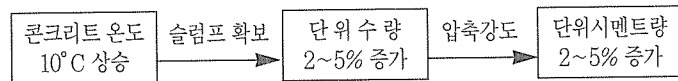
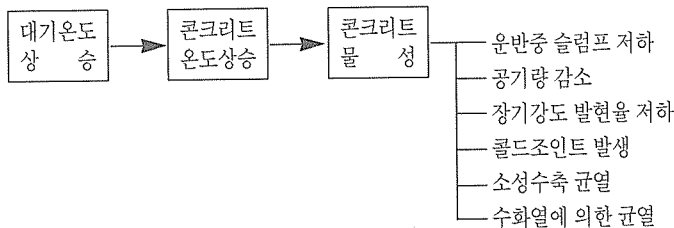
### 3.2 하절기 콘크리트의 문제점

- 콘크리트 타설시 기온이 30℃를 넘으면 서중콘크리트로서의 여러 가지 성상이 변하므로 하루 평균 기온이 25℃를 넘을때는 서중콘크리트로서 시공할 수 있도록 준비해야 한다.

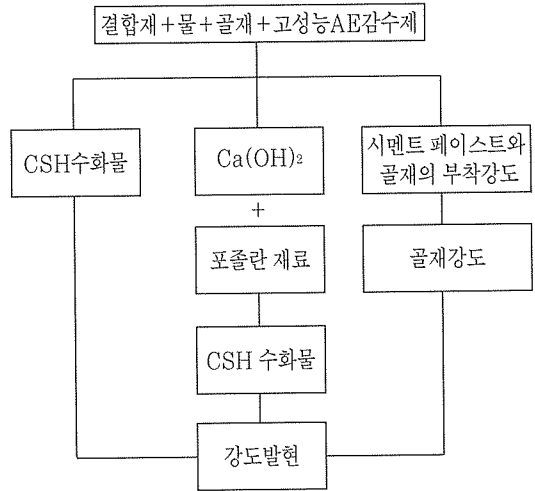
- 다시말하면 1)원재료(시멘트, 골재, 물)의 온도증가에 의해, 레미콘공장에서서의 표면수보정시 실제표면수 적용의 어려움 2)대기온도의 증가에의한 초기양생온도(공시체 제작후 탈형시까지 2일)의 상승으로 시멘트 수화물조직의 다공화에의한 장기강도 발현을 저하 3)'98년의 경우 하절기 물량이 예년에 비해 줄어 들어 레미콘공장의 회수수 농도가 높아짐. 이에따라 강알카리인 회수수에 의해 슬럼프의 급격한 저하 및 초기강도 증가후 후기강도 발현율이 저하된다.

- 콘크리트 칠때와 친후에는 될 수있는 대로 콘크리트의 온도가 낮아지도록 재료의 취급, 비비기, 운반,치기 및 양생 등에 대하여 특별한 배려를 해야한다.

- 따라서 하절기에 저발열 콘크리트를 적용하면 콘크리트의 재료적인 물성 개선 뿐만 아니라 시공개선에도 큰 도움이 될 것이다.



### 3.3 저발열 콘크리트의 강도발현 기구



시멘트와 물과의 반응시 주수화생성물은 Ca(OH)<sub>2</sub>와 강도발현에 영향을 미치는 CSH 수화물이며, 2차적으로 포졸란재료(비정질 실리카)와 시멘트 생성물인 Ca(OH)<sub>2</sub>와 반응하여 불용성의 CSH 수화물이 생성되어 강도를 발현한다.

또한 단위시멘트량을 포졸란재료로 대체하여 초기의 높은수화열을 저감하고 고성능AE 감수제에 의해 응결시간을 조절하여 수화열을 억제할수있어 콘크리트의 수화열에의한 균열을 억제할수 있다.

### 3.4 저발열 콘크리트의 장점

\* 수화열 감소

F/A 및 고로슬래그분말등은 시멘트의 수화생성물인 수산화칼슘과 반응하여 경화성을 발휘하지만 그반응속도는 시멘트와 비교하여 상당히 늦고, 수화발

열량도 적다. 따라서 F/A 및 슬래그분말을 사용한 콘크리트는 수화열에 의한 균열을 방지할 목적으로 댐과 같은 매스콘크리트나 교량공사 등에 많이 이용되고 있다.

**\* 콘크리트 온도 상승 억제**

보통포틀랜드 시멘트를 사용한 경우보다 단열온도 상승량이 작으며, 초기재령에서는 특히 현저하다. 따라서 하절기콘크리트의 대책안이 될 수 있을 것이다.

**\* 장기강도의 증가**

F/A 및 고로슬래그분말등을 사용한 콘크리트의 강도는 비교적 초기 재령에서는 일반콘크리트보다 낮지만 재령이 길어짐에 따라 포졸란 반응의 증가에 의해 장기강도는 증가한다.

**\* 하절기 콘크리트 적용시 강도 증진 효과**

F/A 및 고로슬래그분말등의 포졸란 반응 또는 잠재수경성 반응은 온도가 높아짐에 따라 활성화 되어 강도증진 효과는 온도가 높을 수록 현저해 진다.

**\* 유동성 개선**

F/A는 구상의 미립자로 콘크리트중에서 블베어링과 같은 작용을 하므로 워커빌리티를 개선하여 소요반죽질기를 얻기위한 단위수량을 감소 시킨다. 그러나 국내에 공급되는 F/A는 품질에 따라 상이한 결과가 나타나므로 품질이 확보된 F/A의 사용이 요구된다. 고로슬래그분말은 블레인 4,000cm<sup>2</sup>/g 이상에서 시멘트(블레인 3,300cm<sup>2</sup>/g 내외) 치환(내할)으로 콘크리트에 적용되면 콘크리트중의 시멘트 입자를 최밀충진하는 효과와 물과 접촉 직후에는 거의 반응하지않고 입자표면에 수화물을 생성하지 않으므로 시멘트 입자간에 발생하는 마찰력을 저감시켜 유동성을 개선한다. 또한

바인더의 총량에서 시멘트의 성분이 작아져 흙착성분이 큰 C<sub>3</sub>A량이 감소하므로 고성능 AE감수제의 효과가 유효하게 작용해 유동성 확보가 쉽다.

**\* 알카리골재 반응에 대한 저항성 강화**

많은 연구자들에 의해 F/A 및 고로슬래그분말은 알카리골재 반응에 의한 팽창을 억제하는 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 그 매카니즘은 포졸란 반응에 의해 콘크리트중의 수산화 칼슘을 감소시켜 세공용액중의 수산화이온(알카리골재 반응에 관계하는 이온)을 감소시키고, 비표면적이 큰 저칼슘형 규산칼슘 수화물의 생성과 그것에 의한 알카리 이온의 흡착, 경화 시멘트페이스트 조직의 치밀화에 의한 물의 이동속도 및 Na<sup>+</sup>나 K<sup>+</sup>의 확산속도의 저하등이 있다.

**\* 건조수축균열 저감**

F/A의 블베어링 효과 및 고로슬래그분말의 최밀충진효과에 의한 단위수량 감소로 건조수축 균열 저감이 기대된다.

**\* 황산염에 의한 부식성 감소**

지하 및 해안 구조물 콘크리트는 토양중의 지하수나 바닷물에 함유되어 있는 황산염(sulphate)에 의해 팽창 부식된다. F/A 및 고로슬래그 분말을 첨가함에 따라 시멘트량이 상대적으로 감소하고 포졸란반응 및 잠재수경성반응으로 시멘트중의 C<sub>3</sub>A 및 수산화칼슘량이 감소하여 황산염과의 반응으로 생기는 에트린자이트의 생성량이 감소됨으로서 에트린자이트의 생성에 따른 팽창압이 완화되기 때문에 황산염에 의한 부식성이 감소된다.

**\* 콘크리트 백화현상 억제**

백화는 콘크리트속에 있는 물에 용해될 수

있는 성분이 내부를 통과하여 표면으로 이동하고 다시 공기중의 탄산가스등과 결합하여 수분의 증발후 흰색 분출물이 되어 나타나는 현상이다. 백화는 수분의 이동이 쉬운 경로 즉, W/C가 크고 단위수량이 많은 콘크리트로서 조적이 치밀하지 못하여 물이 이동하기 쉬운 경우에 발생하기 쉽다. F/A 및 고로슬래그 분말을 사용한 콘크리트는 포졸란 반응으로 생성된 칼슘실리케이트 수화물등에 의거 모세관공극을 막아 물의 이동을 억제함으로써 백화현상을 억제 할수있다.

**\* 수밀성 증가**

F/A 및 고로슬래그 분말을 사용한 콘크리트는 포졸란 반응으로 생성된 칼슘실리케이트 수화물이나 칼슘알루미네이트 수화물이 콘크리트 경화체내의 모세관 공극을 막아 물의 이동을 억제함으로써 침투성이 감소하게된다. 특히 F/A 콘크리트의 수밀성은 초기채령에서 보다 장기채령에서 현저히 향상되는 것으로 알려져 있다.

**3.5 출하 실적**

**3.5.1 광주지역**

- 출하일시 : 98. 6. 15

- 출 하 량 : 600m<sup>3</sup>

- 출하규격 : 25-240-18

- 배합비

구분	W/C	S/a	W	C	F.A	S	G	AE1	AE2
Plain	48.9	49.6	193	395	-	834	847	1.19	-
저발열	44	48	170	309	77	839	909	-	4.63

(주)AE1:일반AE감수제, AE2:고성능AE감수제

**- 시험결과**

구분	공기량 (%)	경기변화(cm)		압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )		
		초기	현장(50분)	3d	7d	28d
저발열 Con.	3.5	21	19	150	224	290

**- 수화온도 측정결과**

시간(hr)	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52
대기온도(°C)	30	25	21	19.5	22	28	32	26	22	20	26	33	35	27
Plain(°C)	34	44	49	53	55	58	60	60	58	57	54	52	50	49
저발열(°C)	30	38	44	48.5	51	51.5	52	52.5	52	52	51	50	49	48.5

**3.5.2 부산지역**

- 출하일시 : 98. 7. 23.

- 출하량 : 156m<sup>3</sup>

- 출하규격 : 25-300-18

- 배합비

구분	W/C	S/a	W	C	F.A	S	G	AD
Plain	42.7	47	188	418	22	770	912	2.64
저발열	41.2	46.7	178	346	86	780	935	4.75

(주) AD:고성능AE감수제(이지콘HS)

**- 시험결과**

구분	공기량 (%)	경기변화(cm)		압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )		
		초기	현장	4d	7d	28d
저발열 Con.	3.5	21	19.5	200	240	330

**4. 고강도 혼화재**

**4.1 개 요**

한일 Ω2000은 시멘트량의 20~30%를 치환첨가하여 표준양생 또는 상압증기양생만으로 고강도 콘크리트를 제조할 수 있도록 첨가되는 혼화재이다.



한일 Q2000은

- ① C-S-H계의 결합력 증대
- ② 에트린자이트( $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ )의 생성
- ③ 칼슘실리케이트의 수화촉진

에 의해 수화가 활성화 된다. 이 결과, 조직이 치밀해져 고강도가 발현되며 내구성이 향상된다.

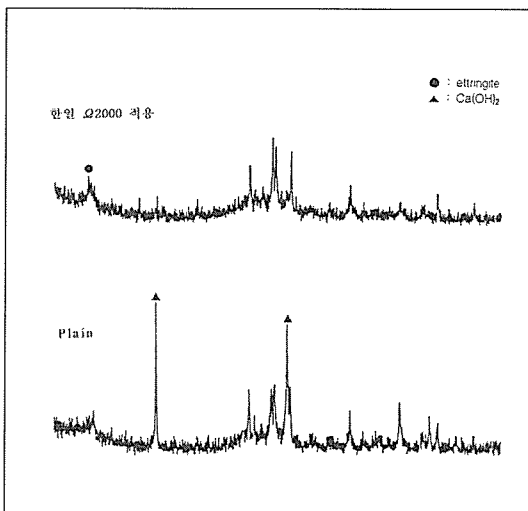
## 4.2. 한일 Q2000의 특징

### 4.2.1 단기간에 초고강도 콘크리트 제조가능

- 표준양생으로 3일에  $400kg/cm^2$ 이상의 강도발현(W/C에 따라 다름)
- PHC파일 제조시 상압증기양생을 통하여 3일에  $850kg/cm^2$ 이상의 강도 발현 가능

### 4.2.2 내구성 향상

- 동결융해 저항성의 향상이 크다.
- 풍화에 대한 저항성이 우수하다.
- 화학적 저항성이 크다.
- 해수저항성이 크다.



(그림) 한일 Q2000 적용시 경화체의 XRD피이크

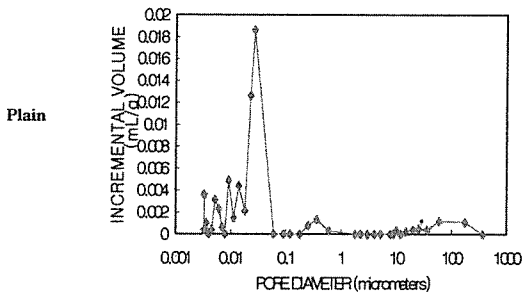
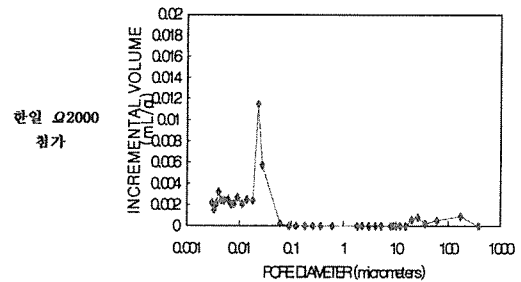
## 4.3 한일 Q2000 사용시 강도발현 기구

### 4.3.1 C-S-H( $CaO-SiO_2-H_2O$ )계의 증대에 의한 고강도 발현

칼슘실리케이트의 수화반응을 통해 Ca이온의 용출이 많아져 과포화 되면  $Ca(OH)_2$ 가 석출하지만, 한일 Q2000을 사용하면 수화촉진을 하면서  $Ca(OH)_2$ 가 한일 Q2000과 반응하여 C-S-H를 생성함으로써 고강도를 발현한다.

### 4.3.2 에트린자이트의 생성에 의한 고강도 발현

한일 Q2000의 첨가로 에트린자이트( $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ )를 생성시켜 감수효과를 갖는다. 또한 이 침상의 에트린자이트가 콘크리트 내부의 공극을 충전시킴으로써 조직을 치밀화시켜 고강도를 발현한다.

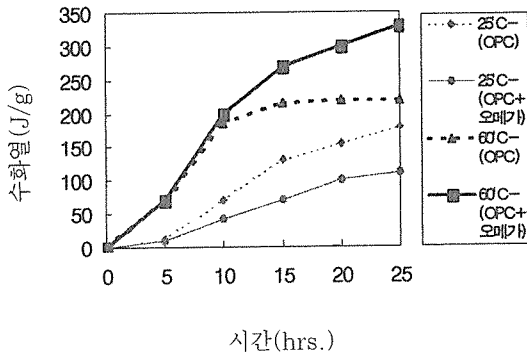


(그림) 한일 Q2000 적용시 경화체의 기공률 분포

#### 4.4 한일 Q2000을 사용한 PHC의 고내구성 발현 기구

- ① 조적의 치밀화에 의한 내구성 증가
  - C-S-H 증대 및 에트린자이트 생성
- ② C-S-H계의 결합력 증대에 의한 내구성 증가
  - 한일 Q2000 첨가에 의해 C-S-H계 수화물 증대
- ③ 콘크리트 경화체 내부의 Ca(OH)<sub>2</sub> 제거
  - 한일 Q2000 첨가에 의해 Ca(OH)<sub>2</sub> 제거
  - Ca(OH)<sub>2</sub>가 있으면,
 
$$\text{Ca(OH)}_2 + \text{MgSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{Mg(OH)}_2$$

$$\text{Ca(OH)}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{NaOH}$$
 생성된 2수석고가 시멘트내의 C<sub>3</sub>A, C<sub>4</sub>AF와 반응해서 과량의 에트린자이트를 생성시킴으로써 팽창이 되어 내구성이 떨어진다.
- ④ 상압증기양생 후 미수화 시멘트양이 적다.
  - 상압증기양생 후, 미수화로 남아있는 시멘트 양이 적기 때문에 장기재령에 있어서 안정성이 좋다.



(그림) 한일 Q2000 적용시 수화열 변화

#### 4.5 고강도콘크리트 배합설계 예

##### 4.5.1 표준양생의 경우(레미콘 출하)

25-600-21

구분	W/B	S/a	W	C	Q2000	S	G	AD
Plain	30.8	38	185	600	-	582	977	7.2
Q2000	"	"	"	480	120	580	971	"

주) AD:고성능AE감수제

구분	슬럼프(cm)	공기량(%)	3d	7d	28d
Plain	20	3.8	423	470	560
Q2000	24	3.7	475	571	710

- 슬럼프는 Plain콘크리트에 비해 증가하는 경향을 보였는데, 이것은 Q2000이 시멘트에 비해 분말도가 높으므로, 시멘트 치환으로 적용한 본 보고의 경우에는 콘크리트중의 시멘트 입자 사이의 공극을 충전하는 효과에 기인한 것으로 보인다.

- 공기량은 큰차이가 없었다.

- 압축강도는 Plain콘크리트에 비해, 28일 강도를 기준으로 27%의 강도증진 효과가 있음을 알수 있었다.

##### 4.5.2 상압증기양생의 경우(프리텐션방식 원심력고강도 말뚝, KSF 4306)

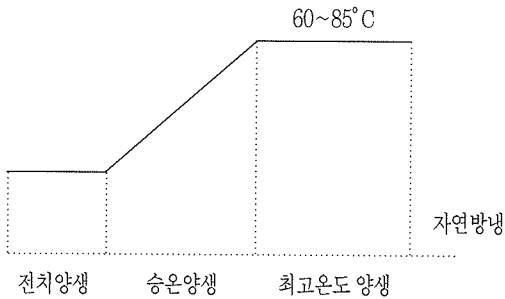
- 배 합

20-800-5

W/B (%)	S/a (%)	slump (cm)	Binder(B)		W	S	G	AD
			cement (kg/m <sup>3</sup> )	Q2000 (kg/m <sup>3</sup> )				
23.5	33	5	389	151	127	577	1217	9.72

- 양생방법

KSF4306에 의한 고강도 말뚝의 양생방법은 크게 상압증기양생방법과 고온고압증기양



생으로 구분되는데, 본보고에서는 고강도 말뚝의 제조시 초기투자비가 적게 들고 기존의 PC 말뚝공장의 고강도 말뚝의 전환이 손쉬운 상압증기양생방법을 채택하였으며, 양생방법은 아래와 같다.

- 원심성형조건

원심력 다짐 콘크리트에서 주의할점은 콘크리트 원심다짐 후의 재료분리 발생이다.

원심력 다짐 콘크리트에서는 재료분리를 최대한 방지하고 재료의 특징을 감안하여 콘크리트의 다짐이 충분이 될 수있는 조건을 도출해야되며, 본실험에서는 아래의 조건으로 성형하였다.

구분	저속	중속	중고속	고속
원심력(g)	3	8	20	35
시간(분)	3	1	2	3

- 압축강도

고강도원심력 말뚝의 출하강도인 800kg

W/B=23.5%	S/a=33%	압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )	
B(φ)=540(28)	AD=B×1.8%	1일	7일
	(단위:kg/m <sup>3</sup> )	820	910

/cm<sup>2</sup> 이상을 1일강도에서 만족함을 알 수 있다.

상압증기양생에 의한 원심력고강도 말뚝의 조기출하가 가능함을 알수있다.

- 균열 휨 모멘트와 파괴 휨 모멘트의 비교

KS F4306에 따르면 φ400mm A종의 균열 휨 모멘트와 파괴 휨 모멘트는 아래와 같다.

기준	균열 휨 모멘트(tf·m)	파괴 휨 모멘트(tf·m)
KS F 4306	5.5	8.3

같은 조건에서 한일 2000을 사용했을 경우 KS에 비해 150~200%의 균열 및 파괴 휨 모멘트를 얻을 수 있다.

## 참고문헌

1. 羽原俊祐, 飛内圭之, “低發熱セメント”, セメント・コンクリート, No.535, p.12-24, 1991.
2. 中野 錦日, “概説/超低發熱セメント”, セメント・コンクリート, No.535, p.12-24, 1991.