

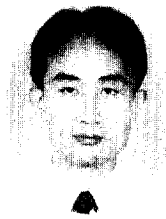
# 혼합형 저발열 시멘트를 사용한 콘크리트의 초유동성 및 내해수성에 관한 연구

A Study on the Resistance to Sea Water and High Flowing Properties of Concrete Using Blended Low Heat Cement



송용순\*

Song, Yong Soon



노재호\*\*

Noh, Jae Ho



강석화\*\*\*

Kang, Suck Hwa

## ABSTRACT

This study has been performed to test the flowability and filling ability of high flowing concrete as well as distribution of aggregate and pore of core specimen, heat of hydration, compressive strength and core strength of concrete. In addition, the resistance to chloride ion penetration and chemical solution of concrete was tested in order to evaluate the resistance to sea water of concrete and its application of high flowing concrete using blended low heat cement in the field of Seohae Grand Bridge. The properties of high flowing concrete with blended low heat cement were compared with ordinary 25-240-15 concrete using Type V cement.

As the results of this study, the flowability and filling ability of high flowing concrete with blended low heat cement is satisfied without vibration. Though the cement content of high flowing concrete with blended low heat cement was 400kg/m<sup>3</sup>, the rising temperature of it was relatively lower than that of the ordinary 25-240-15 concrete with Type V cement. Also, the compressive of high flowing concrete with blended low heat cement is similar to that of the ordinary 25-240-15 concrete with Type V cement.

\* 정회원, 동양중앙연구소 건설재료연구팀 주임연구원

\*\* 정회원, 동양중앙연구소 건설재료연구팀 선임연구원

\*\*\* 정회원, 동양중앙연구소 건설재료연구팀장 책임연구원

• 본 논문에 대한 토의를 1999년 4월 30일까지 학회로 보내 주시면 1999년 6월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

On the other hand, the passed charge(coulomb) to resist chloride ion penetration of concrete with blended low heat cement is 5 times lower than that of the ordinary 25-240-15 concrete with Type V cement concrete and the resistance to chemical ion of high flowing concrete with blended low heat cement is higher than that of the ordinary 25-240-15 concrete with Type V cement. Therefore blended low heat cement expects that it is suitable to cement for spread footing of Seohae Grand Bridge.

Keywords : Blended Low Heat Cement, High flowing concrete, Mass concrete, Heat of Hydration, Chemical Resistance, Pore structure.

## 1. 서 론

서해안고속도로 구간에 건설되고있는 서해대교에는 교량 중앙부에 사장교가 설치되는데, 이 사장교의 주탑 기초부는 L×D×H:66×28×32~38.2m인 해양 매스 콘크리트 구조물로서, 수화열에 의한 온도균열의 발생을 방지하기 위하여 파이프 쿨링 작업을 실시하도록 되어 있고, 구조물 자체에 철근이 조밀하게 배근되어 있어 콘크리트 타설시 다짐작업이 매우 어렵다는 현장 조건을 가지고 있다. 따라서, 콘크리트 타설시 다짐작업을 생략할 수 있고, 수화열에 의한 온도균열 발생을 제어할 수 있는 콘크리트의 사용에 대하여 적극적으로 검토가 되어왔다. 한편, 최근에 개발된 혼합형 저발열시멘트(이하 저발열시멘트로 약칭)는 일반 보통 포틀랜드시멘트에 산업부산물인 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬를 적당한 비율로 혼합 제조한 시멘트로서 수화발열량이 낮고 우수한 유동성을 갖고 있으며, 해양 구조물에 요구되고 있는 콘크리트의 내해수성 측면에서도 매우 우수한 것으로 알려져 있다.<sup>(1,2)</sup>

따라서, 본 연구에서는 상기와 같은 서해대교의 주탑 기초 콘크리트의 시공성 개선과 수화열 저감의 일환으로 저발열시멘트를 사용한 초유동 콘크리트(이하 저발열시멘트 콘크리트(Low heat cement concret): LHCC로 약칭)를 적용할 경우를 대상으로 하여 현장 배치 플랜트에서 제조한 후, 주탑 기초 일부분에 시험 타설하여 초유동 콘크리트의 초유동성과 재료분리 저항성, 강도 발현 성능, 수화열 특성, 내해수성, 내화학성 등을 현재 현장에서 사용중인 5종시멘트를 사용한 25-240-15 레미콘 규격의 보통 콘크리트(이하 5종 25-240-15로 약칭)와 비교 평가하였다.

## 2. 콘크리트의 사용 재료와 배합

### 2.1 사용재료

실험에 사용된 각 재료의 물성은 Table 1 및 2와 같다. 시멘트의 누적수화발열량은 미소수화열량계를 이용하여 23℃환경에서 72시간동안 측정하였다. 골재는 현장에서 사용중인 것이며, 실내실험에서는 표면건조 포화상태로 만들어 사용하였다. 혼화제는 저발열시멘트 콘크리트의 제조를 위해서 나프탈렌계 고성능감수제와 지방산염계 공기연행제를 사용하였고, 5종 25-240-15에는 현장에서 사용하고 있는 리그네티계 AE감수제를 사용하였다.

Table 1 Physical properties of cement

type of cement	heat evolution (cal/g)	specific gravity	blaine (or %)	setting time (hr:min)		compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )		
				initial	final	3	7	28
low heat	45	2.78	4080	5:35	8:35	90	165	363
Type V	66	3.17	3190	5:05	8:10	201	274	375

Table 2 Physical properties of materials

materials	properties
coarse aggregate	-LHCC C <sub>max</sub> 19mm(crushed stone) -25-240-15 C <sub>max</sub> 25mm(crushed stone) specific gravity 2.59
fine aggregate	-specific gravity 2.592(river sand) -absorption 2.6%
admixture	-naphthalene type superplasticizer(LHCC) -fatty acid salts air entraining agent(LHCC) -fimin type water reducer(25-240-15)

### 2.2 콘크리트 배합

저발열시멘트 콘크리트의 초유동성을 평가하기

위해서 슬럼프 플로우시험과 O형 깔때기 시험, 철근 배근 박스형 충전성 시험, 철근 배근 L형 충전성 시험 등을 실시하였으며, 각 시험항목들의 기본 목표치로서 Table 3과 같이 설정하였다.

Table 3 Target properties of LHCC

test item	target value
slump flow test	60±10cm
O type funnel test	10~15 sec
BOX type filling test	~10cm
L type filling test	perfect filling
Air content	1~1.5(%)
specified compressive strength	$\sigma_{28} = 240\text{kgf/cm}^2$

Table 3과 같은 평가항목 및 목표치에 따라 시험배합은 물시멘트비(W/C) 33~52%의 범위에서 목표 슬럼프 플로우를 얻기 위해 필요한 고성능 감수제 첨가량을 결정하였고, 잔골재율(S/A)은 콘크리트가 유동시 골재가 서로 응집하는 현상을 나타내지 않도록 조정하였다. 또한, 저발열시멘트 콘크리트 배합은 기본적으로 목표물성을 만족하는 것에서 경제적이면서도 수화열을 최대로 억제할 수 있도록 설계하였으며, 5종 25-240-15의 배합은 현장에서 결정한 것을 그대로 적용하였다.

시험배합을 통하여 결정된 저발열시멘트 콘크리트의 배합과 현장에서 사용되고 있는 5종 25-240-15 배합은 Table 4와 같다. 저발열시멘트 콘크리트의 고성능감수제 사용량은 실내 시험에서 약 1.8% 정도가 적합한 것으로 나타났으나, 현장에서의 믹서 성능 및 혼합시간 등 현장 상황을 고려하여 시멘트 중량의 2.1%로 조정하였다.

Table 4 Concrete mix proportion

type of concrete	$G_{max}$ (mm)	W/C (%)	S/A (%)	water content (kg/m <sup>3</sup> )	cement content (kg/m <sup>3</sup> )	aggregate (kg/m <sup>3</sup> )		Sp	AEA
						fine	coarse		
LHCC	19	45	53	180	400	872	788	2.1	0.03
25-240-15	25	51	46	175	346	756	1002	0.3	

\* AE감수제 사용

### 3. 콘크리트의 현장적용 및 실험내용

#### 3.1 현장 적용 부재 및 시험 개요

저발열시멘트 콘크리트와 5종 25-240-15의 비교 시험을 위하여 Fig. 1과 같이 3.4×3.7×1.1 m 크기로 주탑 기초의 일부에 콘크리트를 타설하였다. 비교 물성은 Table 5와 같다.

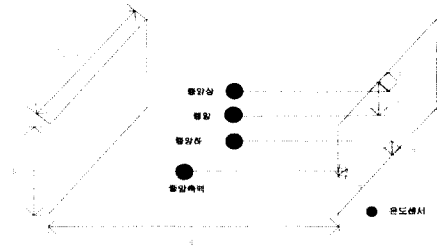


Fig. 1 Setting position of thermocouple

#### 3.2 저발열시멘트 콘크리트의 제조

##### 3.2.1 제조

실내에서 설정된 배합비인 Table 4.를 기준으로 현장에 설치되어 있는 배치 플랜트에서 저발열시멘트 콘크리트를 제조하였다. 현장 배치 플랜트에서 사용되는 잔골재의 표면수 변화는 콘크리트의 유동성에 매우 큰 영향을 미치게 되므로 콘크리트 제조시 잔골재의 표면수를 적외선 수분측정기로 3회 측정하여 6.4%를 적용하였다. 또한, 저발열시멘트 콘크리트의 1회 혼합량은 1.5m로 저발열시멘트와 물, 골재는 자동으로 계량하고 고성능감수제는 계량된 양을 수동으로 투입하였다. 믹싱 시간은 배치플랜트 운전조작 계기판의 믹서 부하를 나타내는 전류계의 눈금이 대략적으로 안정되는 시간을 관찰하여 1분으로 설정하였다.

Table 5 Item of experiment

item	measuring method	remark
workability	slump flow, air content	
segregation of aggregate	evaluating distribution of aggregate(core specimen)	φ 10×20cm
compressive strength (KS F 2405)	water curing(3,7,28,56,91days) core(3,7,28,56days)	φ 10×20cm
chloride ion penetration resistance	ASTM C 1202 91. AASHTO T 259 water curing(28, 56days)	φ 10×5cm
chemical resistance	weight and compressive strength change(%) immersed after water curing for 28days	sea water (ASTM D 1141) -10% MgSO <sub>4</sub> -5% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
pore structure	analysis of photograph (core specimen) porosimeter	φ 9.4×0.5cm
concrete temperature	for 72hrs interval 1 hr	size 3.4×3.7×1.1m

### 3.2.2 시간경과에 따른 물성변화

현장 배치 플랜트에서 제조한 저발열시멘트 콘크리트에 대해서 현장까지의 운반시간과 타설 준비 시간을 고려한 경시변화 특성을 확인하기 위하여 현장 타설전 레미콘 운반 트럭에 적재하여 1시간까지의 슬럼프 플로우 및 공기량을 측정하였으며, 그 결과는 Table 6과 같다. 실험결과, 콘크리트 제조후 약 1시간까지는 초유동성에 필요한 슬럼프 플로우 60+10cm의 확보와 공기량의 변화는 거의 없는 것으로 나타나 현장 타설에 필요한 작업시간(약 40~50분)까지는 초유동성 확보가 가능하였다.

Table 6 Slump flow and air of LHCC with elapsed time (before concrete placing)

elapsed time	slump flow(cm)	air(%)
after mixing	60	3.5
30min	60	3.4
60min	59	3.3

## 4. 현장 적용시험 결과

### 4.1 초유동성 및 재료분리 저항성

#### 4.1.1 초유동성

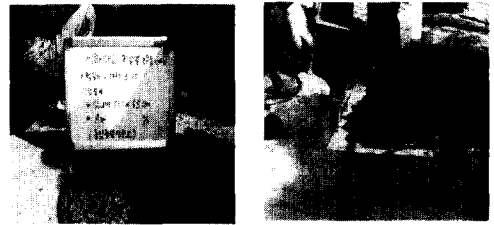
Photo 1 및 Table 7과 같이 현장 배치 플랜트에서 제조한 저발열시멘트 콘크리트의 슬럼프 플로우는 목표로 한 값을 만족하였으며, 현장 도착 후 슬럼프 플로우의 손실은 거의 없어 다짐 작업 없이도 초유동성에 의한 우수한 작업성과 자기충전성을 나타내었으나, 5종 25-240-15는 다짐 작업을 하지 않으면 작업성이 좋지 않았기 때문에 다짐작업을 통하여 타설할 필요가 있었다.

Table 7 Slump flow and air of LHCC with elapsed time (after concrete placing)

elapsed time	slump flow(cm)	air(%)
after mixing	56	4.5
arrive in field(25min)	55	4.5

#### 4.1.2 재료분리 저항성

본 연구에서는 콘크리트의 재료분리저항성을 각각 평가하기 위해서 다짐작업을 실시한 5종 25-240-15와 다짐작업을 실시하지 않은 저발열시멘트 콘크리트를 타설한 주탑기초의 실구조체에서 상부 30~50cm 깊이로  $\phi$ 10cm 코어 공시



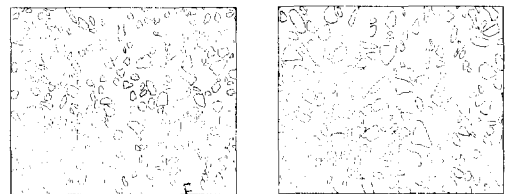
(a)LHCC

(b)25-240-15

Photo. 1 Photographs of concrete workability

체를 채취한 후 높이 20cm 크기의 공시체로 절단하여 표면의 굵은골재 분포를 조사하였다. Fig. 2는 코어공시체에 투명한 트레이싱지를 대고 표면의 굵은골재 분포상태를 연필로 직접 그린 그림으로서, 두 종류의 콘크리트 모두 굵은골재가 분리 혹은 응집되지 않고 균등하게 분포되어있는 것으로 나타났다. 이러한 결과로 볼 때 저발열시멘트 콘크리트는 우수한 유동성에도 불구하고 재료분리없이 균일하게 타설되었음을 확인할 수 있었다.

또한 Table 8은 코어공시체의 굵은골재 면적율로서, 이 표에 의하면 저발열시멘트 콘크리트의 굵은골재 면적율이 5종 25-240-15보다 상대적으로 적은 것으로 나타나 있는데, 이는 배합비 자체가 굵은골재 사용량이 적기 때문인 것으로 판단된다.



(a)LHCC

(b)25-240-15

Fig. 2 Distribution of coarse aggregate in core surface

Table 8 Area ratio of coarse aggregate in core surface(%)

type of concrete core No.	LHCC	25-240-15
core I	26.5	34.4
core II	23.5	33.1
core III	25.6	32.3
meant(%)	25.2	33.3
standard deviation	1.52	1.05

## 4.2 강도 발현성

채령 91일까지의 경화 콘크리트의 압축강도 측정결과를 Table 9 및 Fig. 3에 나타내었다.

저발열시멘트 콘크리트와 5종 25-240-15는 Table 4와 같이 배합상 단위시멘트량이 다소 다르기 때문에 직접적인 강도 비교는 어렵지만, 두 배합 모두 수중양생한 공시체가 채령 28일 설계 기준강도( $\sigma_{ck}=240\text{kgf/cm}^2$ )를 만족한 것으로 나타났다.

부재의 상부에서 30~50cm 깊이로 채취한 코아 공시체는 초기채령에서 5종 25-240-15와 저발열시멘트 콘크리트가 거의 동등한 압축강도 발현을 나타내고 있다. 이것은 매스 콘크리트 부재 내부의 온도 영향으로 저발열시멘트에 포함되어 있는 고로슬래그 미분말 및 플라이애쉬 등 혼화재의 잠재수경성 및 포졸란 반응이 활성화되어 나타난 결과로 판단된다.<sup>(3)</sup> 또한, 코아 공시체의 강도는 채령이 경과할수록 시멘트 종류에 상관없이 수중양생 공시체의 강도보다 낮게 나타나고 있다. 이러한 현상은 초기의 급격한 수화반응에 의해서 상대적으로 커다란 다공질의 수화생성물이 생성되어 대부분의 공극이 채워지지 않고, 수화에 필요한 수분의 이탈에 의해서 수화반응에 필요한 수분이 부족하기 때문에 강도발현율이 낮게 나타난 것으로 판단된다.

Table 9 Compressive strength of concrete

class	ages					
	3days	7days	28days	56days	91days	
water curing	LHCC	66	184	298	326	377
	25-240-15	129	170	296	344	371
core	LHCC	94	118	209	289	-
	25-240-15	98	129	208	222	-

## 4.3. 콘크리트 온도 상승량

주탑 기초부의 일부에 Fig. 1과 같은 블록형태로 콘크리트를 타설하고, 온도측정을 위해서 4개의 열전대를 설치하였다. 콘크리트 타설후 부재 내부의 온도를 측정된 결과는 Fig. 4와 같다. 이 그림을 보면 타설시 초기온도는 18℃로서 5종 25-240-15의 경우 중심부에서 타설후 35시간만에 최대온도치 51.4℃를 나타내고 있어 초기온도에 비하여 33.4℃ 정도 상승한 것으로 나타났다.

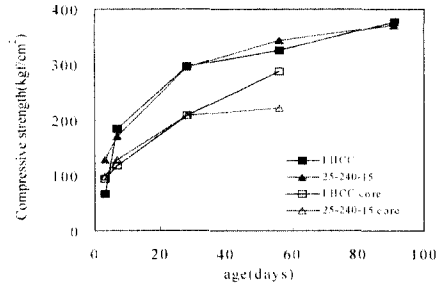


Fig. 3 Compressive strength of concrete

그러나, 저발열시멘트 콘크리트는 중심부에서 타설후 51시간에 최대온도 41.4℃에 도달하여 5종 25-240-15보다 10.4℃ 정도 저감되는 효과를 나타내었다. 이 결과를 종합해 보면 Table 10과 같다. 이러한 결과로 볼 때 주탑기초에 기존의 5종 25-240-15보다는 저발열시멘트 콘크리트를 타설하는 것이 수화열에 의한 온도상승량을 크게 줄일 수가 있고, 최대온도 도달시키는 16시간 정도 더 늦은 것으로 나타나 온도균열의 발생 가능성을 대폭 줄일 수 있을 것으로 사료되며, 나아가서는 온도균열의 발생을 대폭 억제할 수 있어서 보수비용의 절감뿐 아니라 구조물의 안전성에도 매우 유효할 것으로 예상된다.

Table 10 Comparison of concrete temperature of LHCC and 25-240-15

Type of concrete	starting temperature (℃)	peak temperature at center (℃)	reaching time of the peak temperature (hrs)	temperature rise (℃)
LHCC	18.4	41.4	51	23.0
25-240-15	18.0	51.4	35	33.4

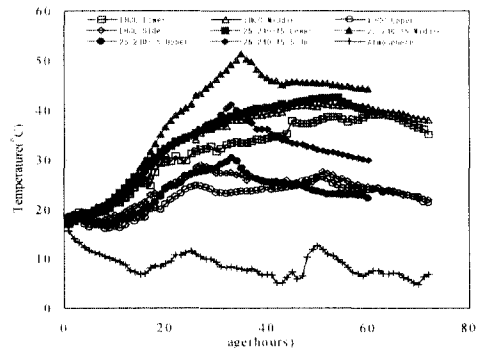


Fig. 4 Results of concrete temperature

#### 4.4. 기포 분포 특성

Table 11 및 Photo 2는 코아 공시체 단면을 화학처리하여 기포 분포를 측정 한 것으로 저발열시멘트 콘크리트는 공기연행에 의한 기포 평균 1mm이하(입경 10~300 $\mu$ m)<sup>(11)</sup>가 균등하게 분포하고 있는 반면, 5종 25-240-15는 기포가 상대적으로 적게 나타났다. 이것은 콘크리트중에 연행된 공기의 대부분이 모르타르중에 존재하므로 상대적으로 모르타르양이 많은 저발열시멘트 콘크리트가 기포 면적이 크다. 또한, 2mm이상의 기포가 많은 이유는 다짐없이 콘크리트를 타설함으로써 갇힌 공기가 일부 발생된 것으로 판단된다. 이와 반대로 5종 25-240-15가 상대적으로 적게 나타난 것은 제조시에 공기연행이 불충분하였거나 타설시에 진동다짐에 의해 연행공기가 일부 소실되었기 때문인 것으로 사료된다.

Table 11 Area ratio of pore in core cutting section(%)

type of concrete core No.	LHCC			25-240-15		
	1mm이하	1~2mm	2mm이상	1mm이하	1~2mm	2mm이상
Core I	0.90	2.88	6.07	0.06	0.17	0.58
Core II	1.39	3.02	3.97	0.16	0.60	1.50
Core III	0.60	1.81	2.43	0.39	0.96	2.07
mean(%)	0.97	2.57	4.16	0.20	0.58	1.38

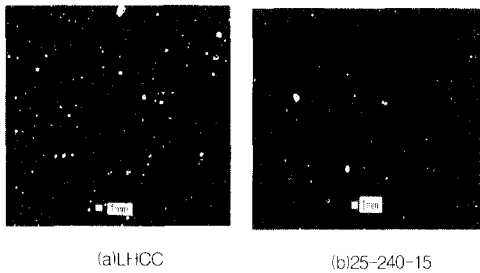


Photo 2 Distribution of pore in core cutting section

#### 4.5 내해수성 및 내화학적성

##### 4.5.1 내해수성

서해대교 사장교 주탑기초는 해양 구조물로서 해수 성분중 염소이온의 침투에 의한 철근 부식으로 구조물의 내구성에 치명적인 손상을 가져올 수 있기 때문에 염소이온 침투에 대한 검토가 필요하다. 따라서, 본 실험에서는 ASTM C1202-91<sup>(15)</sup>와 AASHTO T 259<sup>(16)</sup>의 방법에 의

거하여 염소이온 침투 저항성을 평가하였다.

염소이온 침투 시험 결과는 Fig. 5에 나타낸바와 같이 5종 25-240-15의 경우보다 저발열시멘트 콘크리트가 통과 전하량이 재령 56일에서 1/5 정도로 낮게 나타나 염소이온에 대한 침투 저항성이 매우 양호함을 알 수 있다. 저발열시멘트의 성분중 고로슬래그 미분말 및 플라이애쉬 등 혼화재들의 영향으로 저발열시멘트는 장기에 걸쳐 수화반응(포졸란반응 등)을 일으킴으로써 반응 생성물에 의해 경화체의 미세구조를 치밀하게 형성시킨다. 결국 외부로부터의 이온 침투경로를 반응 생성물이 메워줌으로써 염소이온의 침투를 차단시키는 것으로 판단된다.<sup>(7)</sup> 특히 장기재령으로 갈수록 통과전하량이 줄어들고 있는 것은 혼화체의 잠재수경성 및 포졸란 반응이 장기에 걸쳐 진행되고 있음을 알 수 있다.

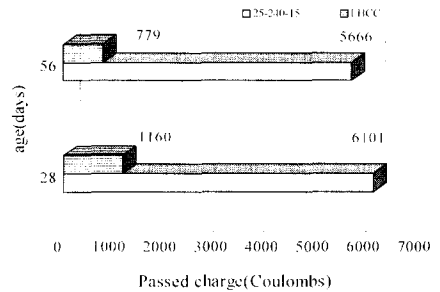


Fig. 5 Passed charges of chloride ion penetration

이를 보다 구체적으로 확인하기 위하여 수은압입식 기공율 측정기(porosimeter)를 이용해 경화체내의 미세공극을 측정하였다. 측정 결과 Table 12와 같이 저발열시멘트 콘크리트가 5종 25-240-15의 경우보다 전체 공극율은 약간 증가하는 반면에 공극의 크기는 5종 25-240-15 경화체에 비해 1/2로 감소하고 있음을 알 수 있다. 즉, Fig. 6에서와 같이 경화체의 미세 공극 분포를 보면 1~0.5 $\mu$ m의 모세관 공극은 5종 25-240-15가 저발열시멘트 콘크리트보다 많은 반면 저발열시멘트 콘크리트는 포졸란 및 잠재수경성 혼화제의 반응에 의해 생성된 수화물이 염소이온의 주요 침투 경로인 모세관 공극(1~0.5 $\mu$ m)을 메워줌으로써 결국 모세관 공극의 크기를 줄인다는 사실을 밝혀준다. 이와 같은 현상은 Photo. 3의 저발열시멘트 콘크리트와 5종

25-240-15의 경화체 조직을 주사전자현미경(SEM)으로 관찰한 결과에서도 알 수 있는 바와 같이 5종 25-240-15의 경화체 조직에서는 연속 공극으로 판단되는 큰 공극들이 자주 발견되었으나 저발열시멘트 콘크리트의 경우에는 그러한 연속공극은 거의 나타나지 않았다.

Table 12 Comparison of mortar porosity

type of concrete	LHCC				25-240-15			
	water	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>	sea water	water	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>	sea water
total pore volume (cm <sup>3</sup> /g)	0.108	0.104	0.115	0.11	0.096	0.105	0.098	0.098
average pore diameter (nm)	11.4	10.5	12.0	11.3	18.8	19.95	22.65	22.45
porosity (%)	22.2	19.6	22.5	22.0	19.0	22.5	21.5	19.2

콘크리트 공시체 양생조건

- 수중 : 91일 수중양생시킨 공시체
- 황산, 황산염, 인공해수 : 28일 수중양생후 63일간 각 용액에 침지한 공시체

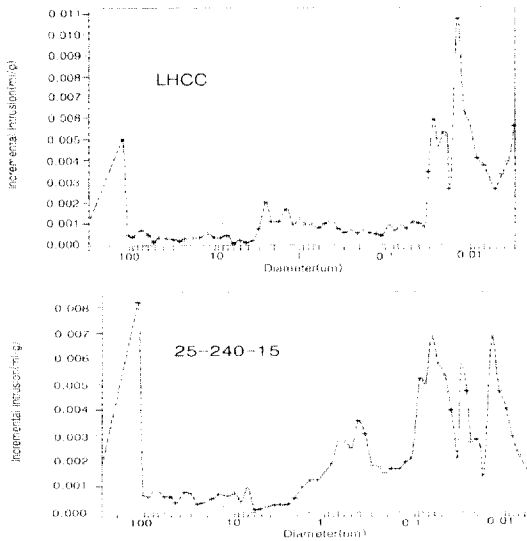


Fig. 6 Pore structure of mortar

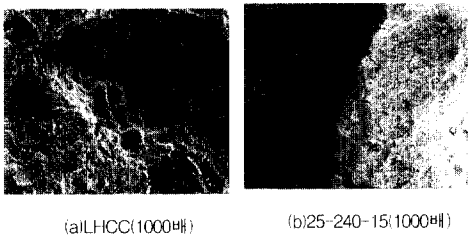


Photo. 3 SEM photographs of mortar after 56days

#### 4.5.2 내화학적

콘크리트의 내화학적에 관한 표준적인 시험규격으로는 미국개척국법, ASTM법, JIS(원안)법 Fig.등이 있다. 본 실험에서는 5% 황산, 10% 황산염 용액을 JIS(원안)법<sup>(8)</sup>을 참조하여 조제하였으며, pH 조정액으로 시험재령까지 일정하게 pH 농도를 유지시켰다. 이와 함께 2배 농도 인공해수 용액을 ASTM D 1141<sup>(9)</sup>에 따라 제조하여 사용하였다.

내화학적에 대한 물성 측정항목은 시험용액의 종류에 따라 다르며 일반적으로 중량, 외관, 압축강도, 필요에 따라서는 세공경 분포 등이 있지만, 본 실험에서는 침지전 초기치 또는 표준 수중양생에 대한 변화율로 중량 및 압축강도를 측정하였다. 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 5% 용액 및 황산염(MgSO<sub>4</sub>) 10% 용액에 공시체를 침지시킨후, 10주까지의 중량변화율 및 침지후 재령 28, 63일 압축강도를 측정된 결과는 Table 13 및 Fig. 7, 8, Photo. 4에 나타내었다.

Table 13 Compressive strength of mortar immersed in several type chemical solution

ages, cure	type of concrete		
	LHCC	25-240-15	
56days (28days)	water	326(100)	344(100)
	2 times sea water	303(93)	313(91)
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	302(93)	282(82)
	MgSO <sub>4</sub>	330(101)	346(101)
91days (63days)	water	377(100)	371(100)
	2 times sea water	328(87)	323(87)
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	336(89)	257(69)
	MgSO <sub>4</sub>	390(103)	367(99)

- \* ( )는 수중양생율 100%로 할 때 각 화학용액 침지후 강도 백분율
- \*\* ( )는 화학용액 침지 재령

Fig. 7의 실험결과에 나타난 것처럼 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)용액에 63일간 침지시킨 5종 25-240-15 만이 약 10% 이상의 중량감소율을 보였으나, 저발열시멘트 콘크리트의 경우는 중량감소를 거의 나타내지 않았다. 이러한 원인은 5종 25-240-15는 수화물중의 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>)과 칼슘실리케이트수화물(CSH)이 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)과 반응하여 이수석고(CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O)를 생성시키는데 이것은 물에 의해 쉽게 용해되므로 이에 따라 중량이 감소한 것으로 판단된다.<sup>(10)</sup>그

러나 황산염에 침지시킨 경우에는 두 공시체 모두 중량이 약간 증가하는 결과를 나타내었는데 이것은 콘크리트의 세공 및 표면에서 반응생성물의 결정화가 침적되었기 때문인 것으로 판단된다.

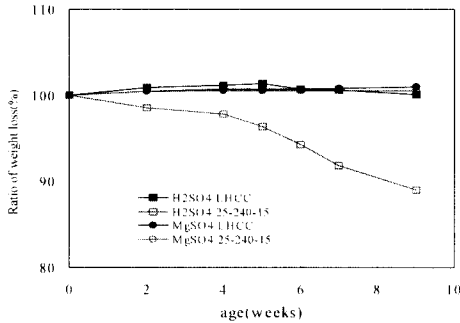
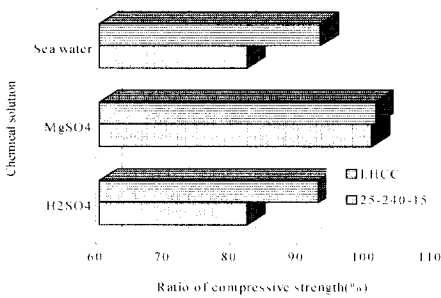
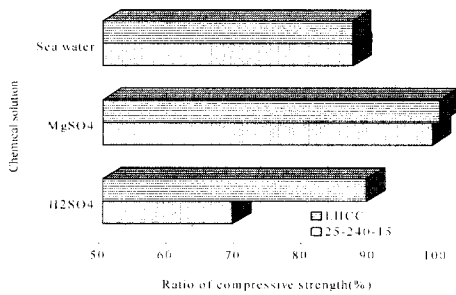


Fig. 7 Weight change of concrete after immersed in several type chemical solutions



(a) Immersed for 28days



(b) Immersed for 63days

Fig. 8 Compressive strength change of concrete after immersed in several type chemical solution

Fig. 8은 재령 56, 91일의 수중양생 압축강도를 100으로 기준할 때 황산 및 황산염, 인공해수에

에 침지시킨 공시체의 압축강도를 비교한 결과로서 양쪽 모두 화학약품의 침식에 의해 강도가 저하하는 경향을 나타내었다. 그러나, 5종 25-240-15의 경우 황산에 63일간 침지시킨 공시체의 경우는 동일 재령 수중양생 공시체의 60% 수준으로 저하하고 있어서 5종 시멘트가 황산의 화학적 침식에 약함을 알 수 있다.

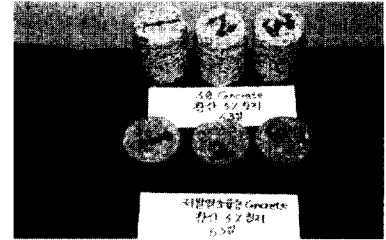


Photo. 4 Photographs of concrete after immersed 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution

## 5. 결론

본 연구에서는 서해대교 사장교 주탑기초의 매스콘크리트 구조물에 저발열시멘트를 사용한 초유동 콘크리트의 적용을 대상으로 현장 레미콘에서 제조한 후 주탑 베이스 기초 일부분에 타설하여 시공성 및 수화열, 강도 발현율, 내해수성 등을 5종 시멘트를 사용한 콘크리트와 비교 분석하였다.

연구를 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

(1) 저발열시멘트를 사용한 초유동콘크리트는 기존에 사용하고 있던 콘크리트보다 단위시멘트량이 증가했음에도 불구하고 주탑기초 내부에서의 중심부 최고 온도가 약 10.4℃ 정도 저감되어 저발열 시멘트를 사용한 콘크리트는 수화열의 저감효과가 대단히 우수하였으며, 온도균열의 제어에도 매우 효과적일 것으로 예측되었다.

(2) 초유동콘크리트의 수중양생 공시체는 28일 재령의 설계기준강도를 만족하였으며, 주탑기초에서 채취한 코어 공시체의 초기강도는 5종 시멘트를 사용한 콘크리트와 동등한 강도 발현율을 나타내어 초기재령에서의 강도발현에도 문제가 없었다.



(3) 5종시멘트를 사용한 보통콘크리트와 비교한 초유동 콘크리트의 염소이온 침투에 대한 전하량은 약 3~5배 이상 감소하여 저발열시멘트를 사용한 초유동 콘크리트는 염소이온침투에 의한 철근의 부식 억제에 매우 우수할 것으로 판단되었으며, 내약품성은 5종시멘트와 거의 동등한 성능을 나타내었다.

이상의 결과로 볼 때 저발열시멘트를 사용한 초유동 콘크리트는 유동성 개선에 의한 다짐 작업의 생략 효과와 더불어 수화열 저감 효과에 따른 온도균열제어 및 각종 화학성분에 대한 저항성이 매우 우수한 것으로 판단된다.

### 참고문헌

(1) 上野雅之, 田中敏嗣, 下山淳秀, "混合セメント系低發熱セメントの斷熱溫度上昇特性," セメント・コンクリート論文集, No. 46, 1992, pp. 856~861.  
 (2) 문현영, 김성수, 신화철, "저발열시멘트 콘크리트의 물성에 관한 연구", 한양대학교 건설연구소, 1998.5, pp.52~144

(3) 加藤和己, 松崎茂, 澤木省一郎 : 斷熱溫度上昇過程におけるセメント強度發現性, セメント・コンクリート論文集, No.45, pp.116~121, 1991  
 (4) 笠井芳夫, 小林正凡, "セメント・コンクリート用混和材料", 技術書院, 1986.3, pp.237~239.  
 (5) ASTM C 1202-91, "Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration"  
 (6) American Association of State Highway and Transportation Officials(AASHTO) "Designation T-277 Rapid Determination of the Chloride Permeability of Concrete"  
 (7) 방완근, "플라이애쉬-슬래그-시멘트 경화체의 특성", 연세대학교 세라믹공학과 박사학위 논문, 1997. 8, pp.26~52  
 (8) 콘크리트工学編集委員會, "コンクリートの溶液浸せきによる耐薬品性試験方法(案)", 콘크리트工学 Vol.23, No.3, pp.59~62, 1985.3  
 (9) ASTM D 1141-86, "Standard Specification for SUBSTITUTE OCEAN WATER"  
 (10) 五十嵐 秀明, "耐硫酸鹽とセメント", セメント・コンクリート, No. 594, 1996年 8月, pp. 59~62.

### 요 약

본 연구는 해양 배스 콘크리트 구조물인 서해대교 사장교 주탑기초(L×D×H:66×28×32~38.2m)에 콘크리트 타설시 다짐작업을 생략할 수 있고, 수화열에 의한 온도균열 발생을 제어할 수 있는 콘크리트의 사용에 대하여 적극적으로 검토한 것으로서, 혼합형 저발열시멘트를 사용한 초유동 콘크리트와 현장에서 사용중인 5종시멘트를 사용한 25-240-15 보통 콘크리트를 주탑 기초 일부분에 적용하여 유동성, 강도발현 성능, 재료분리 저항성, 수화열, 내해수성 등을 비교 평가한 것이다.

그 결과, 저발열시멘트를 사용한 초유동 콘크리트는 별도의 다짐 작업없이도 우수한 작업성과 자기 충전성, 재료분리 저항성을 나타냈으며, 5종시멘트를 사용한 25-240-15 보통 콘크리트보다 단위시멘트량이 54kg/m<sup>3</sup> 정도 증가했음에도 불구하고 오히려 수화열은 10℃이상 저감되어 온도균열 제어에 매우 효과적임을 확인할 수 있었다. 또한, 부재에서 채취한 코어의 압축강도는 5종시멘트를 사용한 25-240-15 보통 콘크리트와 동등한 강도 발현율을 나타내었다. 특히 해수중 염소이온의 침투에 대한 저항성을 평가하기 위해 실시한 촉진 염소이온침투 시험결과 통과전하량이 5종 보통 콘크리트보다 5배정도 낮게 나타났으며, 기타 화학물질에 대한 저항성은 비슷한 경향을 보였다.

따라서, 저발열 시멘트를 사용한 초유동 콘크리트는 유동성 개선에 의한 다짐 작업의 생략 효과와 더불어 수화열 저감 효과에 따른 온도균열제어 및 공기단축 등으로 주탑기초의 콘크리트에 매우 유리한 시멘트라고 판단되었다.

(접수일자 : 1998. 8. 10)