

### 노출 콘크리트 실험 및 현장 적용

- An Experimental Study and Field Application of Exposed Concrete -



신성우\*



안종문\*\*

노출 콘크리트는 별도의 마감없이 콘크리트 면이 외부에 노출되는 특성상 최적의 품질을 가지는 콘크리트를 제조·시공하여야 하는데 이러한 노출 콘크리트는 제조 및 시공 방안이 까다로울 뿐만 아니라 그 내용이 각국 소속 회사의 기술 보유 차원에서 보호되고 있어 기술 도입이 어려운 점 이외에도 시멘트, 골재 등 국산 재료 사용과 시공 방안에 근거한 국내 실정에 적합한 제조 시공 기술과 이를 위한 시방서의 제작이 필요한 시점에 있다. 또한 국내의 경우에도 2002년 월드컵 부산, 광주(사진 1), 서귀포경기장(사진 2) 등의 경기장 건설에 노출 콘크리트를 사용하여 콘크리트 마감을 실시하고 있는 등 노출 콘크리트에 대한 요구 및 사용이 증가하고 있는 실정이다.

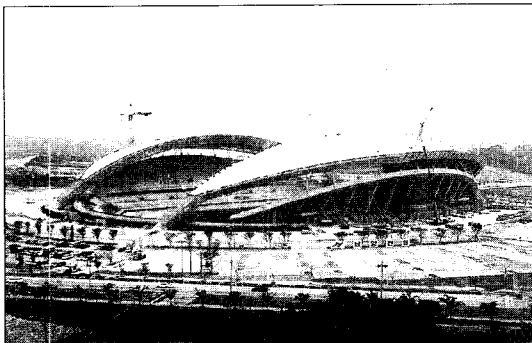


사진 1. 2002년 월드컵 광주경기장 전경



사진 2. 2002년 월드컵 제주경기장 전경

따라서 본고에서는 경부고속철도 천안역사<sup>1)</sup>나 제주월드컵경기장<sup>2)</sup>, 그리고 부사아시안경기 주경기장<sup>3)</sup>에 노출 콘크리트를 적용하기 위한 실험 및 현장 적용 사례를 소개한다.

#### 1. 일반 사항

경부고속철도 종합역사(사진 3)는 고속으로 통과하거나 정차하는 정차장부 지상 토목 구조물은 그 내부를 역과 민자 상업 시설의 실내로 이용하게 계획되었다. 따라서 통상적인 철도 교량 콘크리트 구조물들과는 다르게 건축물로 이용되는 구조물로서의 건축적 마감 처리가 요구된다. 이 때 건축 마감 재료를 붙이거나 바를 경우, 그 재료가 고속철도가 만드는 진동으로 떨어지거나 균열이 발생하는 등 정상 상태를 유지할 수 없을 것으로 판단된다. 따

\* 정회원, 한양대 건축학부 교수

\*\* 정회원, 한양대 STRESS 연구조교수

라서 대규모 토목 구조물이 갖고 있는 힘을 그대로 잘 드러내면서도 건축 마감으로 노출 콘크리트를 도입하고자 계획하였다.

본 연구는 이와 같은 경부고속철도 천안종합역사의 특성을 고려하고, 국내 실정에 적합한 노출 콘크리트의 제조 및 시공 방안을 강구함으로써 국내 콘크리트의 성능 향상 및 부가가치를 높이고 국제 수준에 견줄만한 최고 수준의 품질을 갖춘 노출 콘크리트를 제조하기 위하여 사전 실험실 배합 실험 및 적용 대상 현장인 천안종합역사 구조물을 대상으로 실물 모형 실험(Mock-up Test)을 실시하여 노출 콘크리트 시방서 작성에 필요한 기초 자료를 확보하는 데 그 목적이 있다.

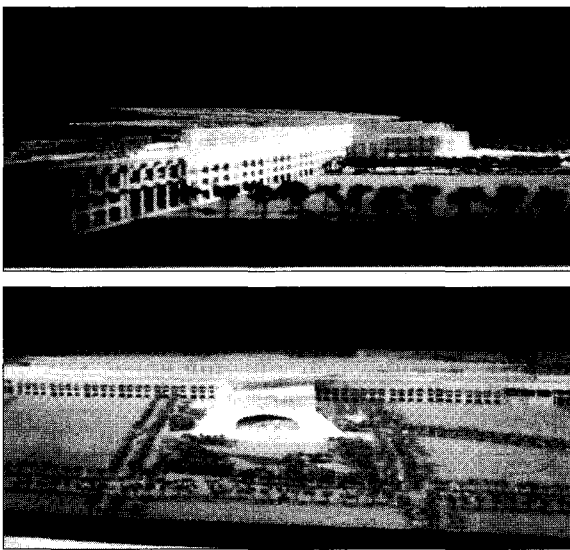


사진 3. 경부고속철도 천안종합역사 모형 사진

실험변수는 내구성을 고려한 노출 콘크리트의 마감면과 색상, 그리고 시공시의 작업성을 확보를 위한 실험실에서의 배합 실험 및 현장 여건을 고려하여 다음과 같이 계획하였다.

- 1) 콘크리트 압축강도( $f_{ck}$ ) : 300, 350 kgf/cm<sup>2</sup>
- 2) 백시멘트(White Cement) 대체율(%)  
: 0, 5, 10, 20, 30, 50, 100
- 3) 거푸집 종류 : 일반 합판(Ply wood), 코팅 합판(태고 합판), 철재 대형 거푸집, 이코노보드(우레탄 코팅, 우레탄 재코팅)
- 4) 고성능 감수제(S.P.제) : 첨가, 무첨가
- 5) 이어치기 시간(Cold Joint) : 1, 2, 3, 5, 24시간

## 2. 사용 재료

### 2.1 시멘트

노출 콘크리트 제조시 콘크리트 면의 적절한 질감 및 색상을

얻기 위하여 회색 시멘트를 기본으로 하고, 대체율에 따라 백색 포틀랜드 시멘트를 혼합하여 사용하였다.

### 2.2 골재

본 연구에서 사용한 골재는 굵은 골재로는 최대 크기 25 mm의 쇄석을, 잔골재로는 아산만에서 생산되는 강사를 사용하였다. 각 골재의 물리적 특성은 다음 <표 1>과 같다.

표 1. 골재의 물리적 특성

골재	조립률	비중	흡수율
굵은골재	6.67	2.69	0.78
잔골재	2.85	2.62	0.73

### 2.3 화학 혼화제

일반 콘크리트에서는 물-시멘트비가 비교적 큰 편이므로 운반 시간이 특별히 긴 경우를 제외하고는 시공성이 크게 문제가 되지 않는다. 그러나 노출 콘크리트의 경우는 일반 콘크리트와 물-시멘트비가 거의 비슷하다 할지라도 내구성을 확보하기 위해서는 물-시멘트비를 가능한 한 줄이는 것이 수밀한 콘크리트를 얻을 수 있을 것이다. 이를 위하여 고성능 감수제와 같은 화학혼화제의 사용이 필수적이지만 일정량 이상(약 2%)을 사용하게 되면 다른 혼화제와의 적합성 등에서 문제가 발생할 수도 있으므로 사용량을 되도록이면 줄이는 것이 바람직할 것이다. 따라서 본 연구에서는 고성능 감수제를 2% 이내로 사용하여 슬럼프치를 15~20 cm의 범위를 확보할 수 있도록 계획하였다. 본 연구에 사용된 고성능 감수제는 나프탈렌계의 제품으로, 사용된 고성능 감수제의 특성이 다음 <표 2>에 나타나 있다.

표 2. 고성능 감수제의 특성

색상	형태	주성분	비중	PH	고형분
암갈색	액체	Naphthalene Polymers	1.21	8.67	41.47

### 2.4 거푸집

노출 콘크리트는 별도의 외부 마감없이 콘크리트 면을 그대로 노출시키기 때문에 노출면의 색상이나 질감은 매우 우수하여야 한다. 즉 양호한 콘크리트 면을 얻기 위해서는 사용되는 각종 재료 중 거푸집의 재질은 매우 중요한 요소라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 노출 콘크리트 마감면을 비교 고찰하기 위하여 일반 합판(Ply wood)과 라미네이트 코팅 합판인 태고 합판, 그리고 우레탄 코팅 합판인 이코노 보드를 사용하였다. 이코노 보드

는 우레탄을 1차 코팅한 제품과 2차 코팅하여 완전 처리된 제품 (<사진 4>)의 2종류를 사용하였다.

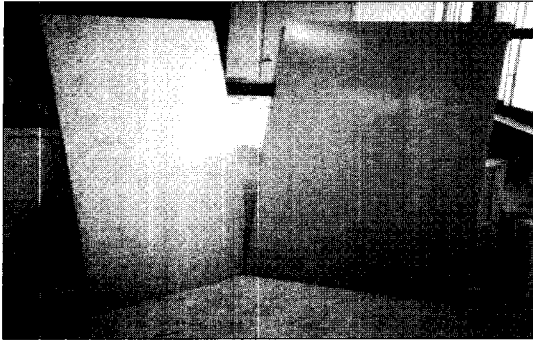


사진 4. 거푸집으로 사용된 2차 우레탄 코팅 이코노 보드

### 3. 실험

#### 3.1 실험실 배합 실험

본 연구에서는 국내 실정에 적합한 노출 콘크리트의 제조 및 시공을 위한 최적 배합비 도출을 위하여 실험실 실내 배합 실험을 실시한 후 재령 7일에 대한 압축강도와 마감면 색상 및 질감을 고려하여 2차 실험변수를 선정하였으며, 2차 실험에서는 천안종합역사 현장에서 사용되고 있는 골재와 시멘트 등을 사용한 비교 배합 실험을 함께 실시하였다.

##### 1) 콘크리트 제조

콘크리트의 배합은 용량 80리터(Liter), R.P.M. 50, 교반 날개가 3개 달린 강제식 믹서를 사용하여 믹서 내부에 잔골재와 굵은골재를 동시에 넣고 1분간 배합한 후 시멘트와 백시멘트를 넣고 2분간 건비빔을 하여 각 재료들이 충분히 섞이도록 하였다. 그리고 물을 투여하고 약 3분 정도 배합한 후 고성능 감수제를 첨가하여야 하는 경우에는 소요량의 1/2을 첨가하여 2분 정도 배합한 후 슬럼프치를 측정하여 시공성 확보를 위하여 배합 조건으로 정한 슬럼프치를 만족할 때까지 고성능 감수제의 양을 조절하며 추가 투여하는 방법으로 콘크리트를 제조하였다.

##### 2) 슬럼프(Slump)

굳지 않은 콘크리트의 성능 시험을 위하여 기준 슬럼프는  $18 \pm 3$  cm로 정하였다. 또한 현장에서 사용 중인 재료(시멘트, 골재, 혼화제 등)를 사용한 비교 배합 실험인 경우에는 물-시멘트 비를 40%, 잔골재율을 40%로 하고, 고성능 AE 감수제를 0.5~1.5%까지 변화시키면서 슬럼프, 공기량 등을 측정하도록 하였다. 이와 같은 사항이 다음 <표 3>에 나타나 있다.

표 3. 콘크리트 배합표(실험실 배합 실험)

구분	배합 강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	골재 크기 (mm)	단위시멘트량 (kg/m <sup>3</sup> )	물-시멘트비 (%)	백시멘트 대체율 (%)	잔골재율 (S/a, %)	혼화제
실험실	350	19	350	40	0, 5, 10, 20, 30, 50, 100	40	○*
				45			×
	400		40	-	○*		
			45		×		
현장	350	25	350	40	-	-	○**
				45			×

주 : \* 고성능 감수제, \*\* 고성능 AE 감수제

##### 3) 공시체 제작 및 양생

콘크리트 압축강도 측정용 공시체는  $\phi 10 \times 20$  cm의 원통형 물드를 사용하여 KS F 2405에 따라 제작하였으며, 제작 후 24시간이 경과하였을 때 탈형하여 온도  $20 \pm 3$  °C에서 수중 양생하였다. 또한 노출 콘크리트용 실험체의 콘크리트는 슬럼프를 측정 한 후 콘크리트를 플라스틱통(basket)으로 운반하여 거푸집에 부어 넣으면서 동시에 봉형진동기(Vibrator)를 이용하여 다짐을 하였으며(<사진 5>), 진동 다짐 후 대나무 다짐 효과를 알아보기 위하여 추가 다짐(실험실에서는 대나무를 대신하여  $\phi 35$  mm의 플라스틱 봉을 사용)을 실시하였다(<사진 6>). 콘크리트 타설이 완료된 실험체는 콘크리트 상부면을 비닐로 덮어 콘크리트 내 수분 증발을 방지하였으며, 실험실내에서 하루에 2번씩 살수하면서 4일간 양생한 후 거푸집을 탈형하였고 각 변수에 따른 노출 콘크리트의 색상, 질감, 기포 발생 여부 등을 관찰하였다. 이후 실험체가 완전히 건조될 때까지 색상의 변화를 관찰하였다.



사진 5. 실험체 제작 광경

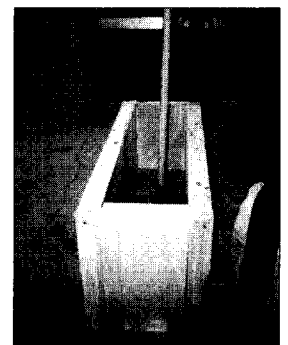


사진 6. 실험체 추가 다짐 광경(실험실, PVC pipe 사용)

##### 4) 콘크리트 마감면 표면반사율 측정

노출 콘크리트를 위한 각 실험체의 표면 상태(채도 및 명도)를 평가하기 위하여 자연광을 받는 콘크리트 면의 표면반사율을 측정하였다. 측정 대상 실험체는 이코노 보드(우레탄 재코팅 합판) 거푸집을 사용하고, 실험실 배합강도  $350 \text{ kg/cm}^2$ 인 실험체에 대

하여 백시멘트 대체율이 0, 10, 20, 30, 50, 100 %인 실험체를 대상으로 하였다. 표면반사율의 측정 방법은 조도계를 이용하여 실험 당시의 태양이 콘크리트 면에 작용하는 조도와 휘도를 측정한 후 콘크리트 면의 표면 반사율을 다음 식(1)을 사용하여 계산하였다(사진 7).

$$\rho = \frac{L\pi}{E} \times 100(\%) \quad \text{식(1)}$$

여기서  $\rho$  : 표면 반사율,  $L$  : 휘도(cd/m<sup>2</sup>),  
 $E$  : 조도(lx/m<sup>2</sup>)

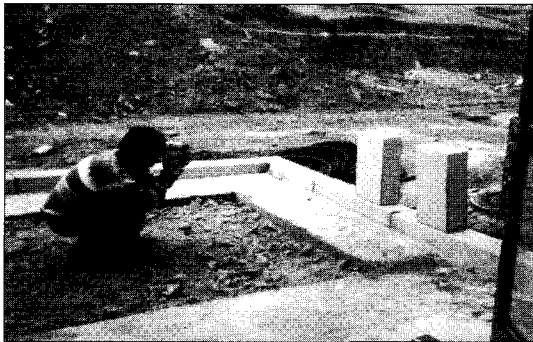


사진 7. 표면반사율 측정 광경

### 3.2 실물 모형 실험(Mock-up Test)

실험실에서의 실험 결과를 바탕으로 노출 콘크리트가 사용될 천안종합역사 현장의 실제 구조물을 Modeling한 기둥(1,000 × 1,000 × 2,000 mm)과 거더(1,000 × 1,400 × 6,000 mm) 각 1개씩의 실물 크기 모형 실험체를 제작하였다(사진 8).

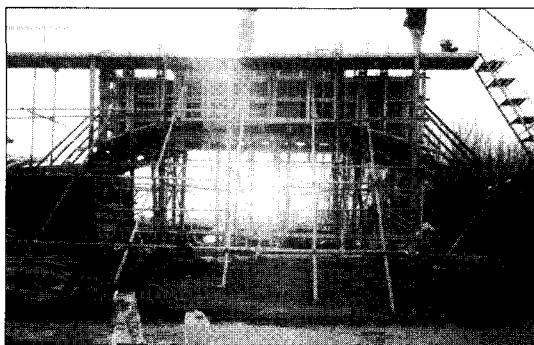


사진 8. 실물 모형 실험체(거어더) 전경

콘크리트 제조는 현장 인근에 위치한 레미콘 B/P를 이용하였으며, 콘크리트를 생산하여 현장까지의 운반 거리에 따른 콘크리트의 품질 변화 및 콘크리트 타설에 따른 제반 고려 사항을 검토하였고, 콘크리트 타설 및 다짐 방법은 실험실 배합 실험시 사용한 방법과 동일하게 적용하였다(사진 9, 10). 콘크리트 타설 후 기둥 및 거더의 마감면 상태(색갈, 질감 등)를 관찰하였다(사진 11). 실험체 제작에 사용된 거푸집 재료는 1, 2차 실험실

배합 실험을 통하여 가장 우수한 품질을 확보할 수 있는 것으로 나타난 우레탄 재코팅 합판을 사용하였으며, 콘크리트 배합표는 다음 <표 4>와 같다.

표 4. 콘크리트 배합표(실물 모형 실험)

배합 강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	골재 크기 (mm)	단위시멘트량 (kg/m <sup>3</sup> )	물-시멘트비 (%)	백시멘트 대체율 (%)	잔골재율 (S/a.%)	혼화제 (%)
300	25	438	40	50	39.2	1.2

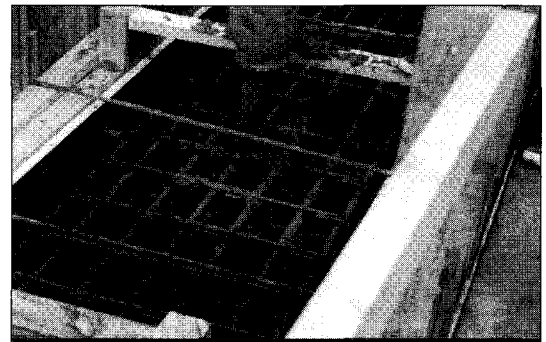


사진 9. 콘크리트 타설 광경

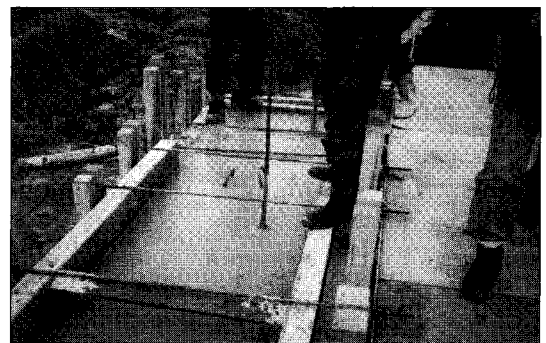


사진 10. 대나무를 사용한 추가 다짐 광경

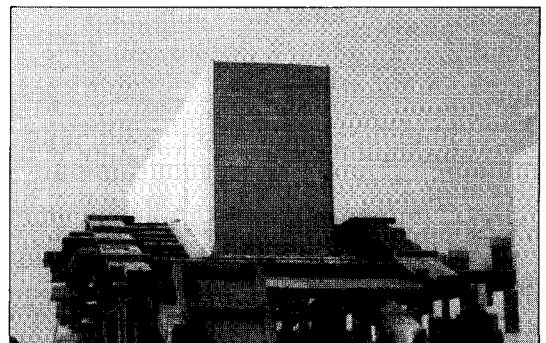


사진 11. 거푸집 탈형 후 콘크리트 마감면 상태

## 4. 실험 결과

이상과 같은 실험 과정을 통하여 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

### 4.1 콘크리트 압축강도

각 변수에 따라 제조된 콘크리트의 압축강도 측정 결과가 다음 <표 5, 6>에 나타나 있다. 표에서 알 수 있는 것처럼 재령 7일에서의 압축강도( $f_{ck}$ )는 28일 강도의 79% 이상 나타났으며, 재령 28일에서는 설계기준강도를 만족하는 것으로 나타났다. 백시멘트 대체율에 따른 압축강도 발현은 고성능 감수제(고유동화제)를 첨가하지 않은 경우 재령 7일에서는 백시멘트 대체율이 증가할수록 압축강도도 증가하였으나 28일에서는 백시멘트 대체율

표 5. 1차 실험실 배합 실험 결과

No.	배합강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	거푸집 종류	백시멘트 대체율 (%)	S.P.제 첨가율 (%)	실험 결과				
					Slump (cm)	$f_{ck}$ (7일)			
1	350	코팅 합판	0	-	17	257			
2			5		16.5	264			
3			10		16	265			
4			20		19	288			
5			30		16.5	273			
6			50		16	292			
7			100		16	293			
8	350	코팅 합판	0	1.2	19	261			
9			5		18	289			
10			10		19	274			
11			20		20	301			
12			30		20	320			
13			50		19	336			
14			100		18.5	322			
15			350		우레탄 코팅	0	-	17	257
16						5		16.5	261
17						10		16	265
18	20	17		288					
19	30	16.5		273					
20	50	16		292					
21	100	16		293					
22	350	우레탄 코팅		0		1.2		19	261
23				5				18	289
24				10				19	274
25			20	20	301				
26			30	20	320				
27			50	19	336				
28			100	18.5	322				
29			350	일반 합판	0		-	17	257
30					100			16.5	264
31					0			16	265
32	100	19			288				
33	350	우레탄 재코팅			0	1.2		16.5	273
34					10			16	292
35					20			16	293
36					30			19	261
37					50			18	289
38					100			19	274
39	400	코팅 합판	-	-	20	301			
40			1.2		20	320			
41			-		19	336			
42			1.2		18.5	322			

표 6(a). 2차 실험실 배합 실험 결과

No.	배합강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	백시멘트 대체율 (%)	S.P.제 첨가율 (%)	실험 결과			
				Slump (cm)	압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )		
					7일	28일	
1	350	0	-	17	257	349	
2		5		16.5	264	345	
3		10		16	265	342	
4		20		19	288	355	
5		30		16.5	273	355	
6		50		16	292	353	
7		100		16	293	353	
8		0		1.2	19	261	347
9		5			18	289	349
10		10			19	274	346
11		20		1.2	20	301	351
12		30			20	320	360
13		50			19	336	357
14		100		-	18.5	322	360
15		400		-	18	301	398
16				1.2	20	320	394
17				-	18.5	336	398
18				1.2	19.5	322	404

표 6(b). 2차 실험실 배합 실험 결과 (천안 현장 골재 사용 배합 실험 결과)

No.	AE제 첨가율(%)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	압축강도 (7일, kgf/cm <sup>2</sup> )
1	0.0	21	2.7	254
2	0.5	13	3.9	247
3	0.8	17	4.1	249
4	1.0	17	4.3	242
5	1.2	18	4.5	243
6	1.5	20	5.4	230

에 관계없이 압축강도는 거의 일정한 값을 나타내었다.

또한 고성능 감수제를 첨가한 경우도 첨가하지 않은 경우와 마찬가지로 압축강도 발현 양상이 비슷하게 나타났다. 그러나 천안 현장 골재를 사용하고 AE제를 첨가한 경우에는 재령 7일에서의 압축강도가 설계기준강도의 약 70% 정도로 나타나 AE제를 사용하지 않고 고성능 감수제를 사용한 경우보다 약 10% 정도의 강도 저하가 나타났으며 AE제 첨가율이 증가할수록 강도 발현 효과도 감소하는 것으로 나타났다.

#### 4.2 유동성 평가

각 배합에 따른 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프(Slump) 시험 결과 고성능 감수제를 첨가하지 않은 경우 슬럼프가 16.5 ~ 17 cm를 나타내어 초기에 조건으로 정한 18 ± 3cm를 만족하였고, 고성능 감수제를 첨가한 경우도 18.5 ~ 20cm를 나타내어 기준을 만족하는 것으로 나타나 고성능 감수제를 첨가할 경우 약 20% 정도 유동성이 증진되는 것으로 나타났다. 또한 백시멘트의 대체율에 따른 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프는 약 1 ~ 2cm 정도의 차이를 보여 백시멘트 대체율에 따른 유동성 저하는 없는 것으로 나타났다. 또한 현장 골재를 사용한 배합 실험 결과 굳지

얇은 콘크리트의 슬럼프는 고성능 AE 감수제를 첨가하지 않은 경우는 21 cm, 첨가한 경우는 첨가율에 따라 13 ~ 20 cm의 슬럼프값을 나타내었다. 그리고 콘크리트 믹서 내에서 배합되어 실험체에 타설하기까지 일련의 과정에서 작업성은 고성능 감수제를 사용할 경우에는 약간 저하되었으나, 고성능 감수제를 첨가하지 않은 경우나 고성능 AE 감수제를 사용한 경우에는 양호한 작업성을 나타내었다. 또한 AE 감수제를 사용하였을 경우 굳지 않은 콘크리트에 함유된 공기량은 앞의 <표 6(b)>에 나타나 있는 것처럼 3.9 ~ 5.4 %까지 나타나 AE 감수제의 첨가량이 증가할수록 공기량이 0.2 ~ 0.9%까지 증가하였다.

### 4.3 콘크리트 마감면 평가

#### 1) 색상

백시멘트 대체율에 따른 콘크리트 마감면의 색상은 대체율이 0 ~ 30 %까지인 경우는 색상의 차이가 거의 없는 것으로 나타났으며, 대체율이 50, 100 %인 경우는 약간 밝아지는 것으로 나타났다. 또한 거푸집 종류에 따른 콘크리트 마감면 색상은 일반 합판(Ply wood)을 사용한 경우를 제외하고는 거의 유사한 색상을 나타내었으며, 고성능 감수제를 첨가한 경우가 첨가하지 않은 경우보다 약간 진한색을 띄는 것으로 나타났다.

#### 2) 질감

백시멘트 대체율에 따른 콘크리트 마감면의 질감 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 그리고, 거푸집 종류에 따른 질감은 일반 합판을 사용한 경우 마감면에 합판의 결 무늬가 발생하는 등 제일 좋지 않은 것으로 나타났으며, 우레탄 코팅 합판의 경우도 마감면에 약간의 물결 무늬가 발생하여 양호하지 못한 결과를 나타내었다. 그러나 코팅 합판이나 우레탄 재코팅 합판의 경우는 질감의 차이가 거의 없이 양호한 상태를 나타내었다. 진동기를 사용한 경우가 사용하지 않은 경우보다 양호한 질감을 나타내었으며, 진동기 사용 후 대나무 다짐을 한 경우가 그렇지 않은 경우보다 기포의 발생없이 양호한 질감을 나타내었다. 또한 고성능 감수제의 첨가 유무에 따른 콘크리트 마감면의 질감 차이는 없는 것으로 나타났다. 그리고 콘크리트 압축강도의 차이(350, 400 kgf/cm<sup>2</sup>)에 따른 질감의 차이도 없는 것으로 나타났다.

#### 3) 표면반사율

백시멘트 대체율에 따른 콘크리트 마감면의 색상(채도)을 구분하기 위하여 태양광선에 의한 콘크리트 마감면의 조도와 휘도를 측정하여 계산된 표면반사율은 다음 <표 7>과 같다.

<표 7>에서 알 수 있는 것처럼 태양광선에 의한 콘크리트 마감면에서의 조도는 당일의 기상 여건(아주 맑음, 맑음, 흐림, 아주 흐림, 눈·비가 올 경우 등)에 따라 그리고 오전, 오후 시간의 변화에 따라 그 값이 다르기 때문에 콘크리트 면의 표면반사율로서 마감면의 밝기를 평가하여야 하는데 위의 <표 8>에서 알 수 있는 것처럼 백시멘트 대체율이 증가할수록 표면 반사율은 증

가하는 것으로 나타났으며 백시멘트 대체율이 0 %인 경우에 비해 50 %인 경우가 1.35배, 100 %인 경우가 1.76배 정도 밝아지는 것으로 나타났다.

표 7. 콘크리트 마감면의 표면반사율

백시멘트 대체율 (%)	1차		2차		3차	
	조도 (E:lx/m <sup>2</sup> )	표면 반사율 (ρ:%)	조도 (E:lx/m <sup>2</sup> )	표면 반사율 (ρ:%)	조도 (E:lx/m <sup>2</sup> )	표면 반사율 (ρ:%)
0	1200	39.22	4300	37.47	2850	39.98
10	1200	41.44	4300	42.82	2850	40.88
20	1200	46.44	4300	44.56	2850	46.73
30	1200	49.61	4300	48.40	2850	50.20
50	1200	52.70	4300	53.58	2850	50.99
100	1200	64.66	4300	67.41	2850	62.60

### 4.4 Cold Joint

콘크리트 타설시 부득이하게 이어치기할 부분이 발생할 수 있어 이에 대한 검토로서 콘크리트 이어치기 시간을 1, 2, 3, 5, 24시간의 시차를 두어 콘크리트를 분리 타설하여 실험한 결과 2 시간까지는 cold Joint의 발생이 없었으나 3시간, 5시간 및 24 시간의 경우에는 콘크리트 마감면에 Cold Joint가 뚜렷하게 나타났다.

## 5. 현장 적용

### 5.1 개요

노출 콘크리트가 양호하게 시공되기 위해서는 콘크리트 구조물의 내구성을 고려한 고품질의 콘크리트 시공이 이루어져야 하므로 이에 대한 세심한 제조 및 시공 계획이 수립되어야 한다. 특히 천안종합역사 구조물의 경우 부재 최소 단면 길이가 1 m 이상으로 Mass가 크기 때문에 타설되는 콘크리트의 물량이 대량으로 필요하고 이에 따라 수급되어야 하는 재료(시멘트, 골재, 혼화제 등)도 고품질의 재료를 대량으로 수급하여야 하는 어려움이 있다. 또한 레미콘 Batcher에서 생산된 콘크리트가 신속하게 운반되어 성공적으로 타설이 이루어져야 목표로 하는 고품질의 콘크리트를 얻을 수 있기 때문에 이러한 제반 문제를 고려하여 콘크리트 제조에서부터 시공 완료에 이르기까지의 일련의 과정에 대해 충분한 검토와 준비가 뒤따라야 하며 각 단계마다 엄격한 품질 관리 또한 있어야 할 것으로 사료된다. 본 연구에서는 이러한 상황을 고려하여 천안종합역사 토목 구조물에 대한 시험 시공을 다음과 같이 실시하였다.

### 5.2 재료 선정

경부고속철도 천안종합역사 시공에 사용되고 있는 재료는 천안

인근에서 조달 가능한 재료로서 시멘트의 경우 한라시멘트와 현대시멘트 두 종류가 사용되고 있으며 두 제품 모두 양호한 품질을 가지고 있는 것으로 확인되었다. 그러나 고품질의 노출 콘크리트를 얻기 위해서는 시공지침서에 언급된 것처럼 동일 회사의 제품을 사용하는 것이 유리하므로 노출 콘크리트 시공에 사용될 예정인 한라시멘트 한 종류를 반입하여 사용하여야 할 것으로 판단된다. 또한 골재의 경우는 다음 <표 8>에 나타나 있는 것처럼 현장에서 사용하고 있는 골재를 적용하였다.

표 8. 골재의 물리적 특성

골재	조립률	비중	흡수율
굵은골재	6.64	2.64	0.04
잔골재	2.76	2.61	1.30

### 5.3 최적 배합비

현장에서 시공되어지는 최적의 콘크리트를 제조하기 위해서는 앞에서 언급된 재료들에 대한 엄밀한 품질 관리가 이루어져야 하며, 배합시에는 골재의 현재 상태, 즉 표면수량에 따른 보정이 이루어져야 한다. 또한 현장 강도와 배합 강도의 차이 등을 고려하여 다음과 같은 배합의 전제 조건을 정하였다.

- 가. 양호한 작업성(Workability)과 펌핑성(Pumpability)을 얻기 위해서는 소요 슬럼프를 15 ~ 18 cm로 한다.
- 나. 물-시멘트비(W/C)는 45 % 이하로 한다.
- 다. 잔골재율은 42 ± 2 %로 한다.
- 라. 콘크리트 압축강도는 구조물의 내구성을 고려하여 300 kgf/cm<sup>2</sup> 이상의 소요 강도를 충분히 가져야 한다.
- 마. 콘크리트내의 허용 공기량은 3 % 이하로 한다.
- 바. 고유동화제의 첨가는 단위시멘트중량의 1.0 ~ 1.5 % 범위 내에서 고성능 AE 감수제의 첨가는 최대한 억제하되 사용하여야 할 경우 단위시멘트중량의 0.5 ~ 0.8 % 범위 내에서 분산 투여하도록 한다.

이상과 같은 배합 조건과 실험실에서의 배합 실험 결과 및 현장 모형 실험 결과를 바탕으로 선정된 최적의 배합비는 다음 <표 9>와 같다.

표 9. 현장 시험 시공을 위한 최적 배합비

배합강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	물-시멘트비 (W/C)	잔골재율 (S/A)	혼화제 (%)
350	40	40	고유동화제의 경우 : 1.0~1.5 고성능 AE 감수제의 경우 : 0.5~0.8

### 5.4 운반

레미콘 공장에서 제조된 콘크리트는 레미콘 운반트럭으로 운반

되어 슬럼프 손실없이 신속하게 타설이 이루어지도록 하여야 한다. 천안역사 현장은 B/P에서 수송 거리 5 km 이내에 위치하고 있어 수송 시간이 최대 30분이 넘지 않을 것으로 판단되며, 수송 중의 콘크리트 경시 변화는 2 ~ 4 cm 범위 내에 있을 것으로 판단되므로 위에서 언급된 고성능 감수제를 B/P에서 투입하여 Slump를 조절하도록 하였다.

### 5.5 타설 및 다짐(<사진 12, 13>)

콘크리트의 타설과 다짐은 다음의 원칙에 따라 진행되었다.

- 1) 콘크리트의 타설은 펌프카를 사용하여 신속하게 이루어지도록 하여야 하며 타설은 펌프카에서 먼 곳으로부터 가까운 곳으로 타설한다. 타설시 시간차가 생겨 Cold joint가 생기거나 하부에 레이턴스에 의한 줄기가 생길 우려가 있으므로 가능한 한 연속적으로 타설하도록 한다. 부득이하게 이어치기를 할 경우에는 2시간 이내에 실시하도록 한다.
- 2) 콘크리트 타설시 다짐은 콘크리트 봉형진동기(Vibrator)를 사용하며 진동기는 거푸집, 철근, 세퍼레이터 등에 접촉하지 않도록 주의한다. 진동기는 타설 각 층마다 사용하고 그 하부 층에 진동기가 30 cm 이상 삽입되도록 하되 수직으로 삽입한다. 삽입 간격은 약 60 cm 간격으로 하여 진동 효과가 중복되도록 하며 이어치기를 할 경우에는 Cold joint 방지를 위해 하부 콘크리트 층에도 약 30 cm 정도 넣는다. 이때 다짐 시간은 1개 소당 5 ~ 15초를 기준으로 한다. 기계 진동 다짐 이후에 대나무나 PVC Pipe 등을 이용하여 Vibrator를 사용할 때와 같은 다짐 방법으로 최종 다짐을 실시한다.
- 3) 콘크리트의 타설시 골재가 분리되지 않도록 콘크리트의 자유낙 높이는 1 m 이하로 하며 벽 또는 기둥과 같이 높이가 높은 구조물을 연속해서 타설할 경우에는 콘크리트의 타설 속도를 30분에 1 ~ 1.5 m 정도로 한다.
- 4) 천안종합역사의 경우 철도의 정차장과 부대 시설이 3개의 대형 구조물로 나누어 시공이 이루어지는 규모가 매우 크고 길이가 긴 Mass 구조물로서 1회에 타설하는 콘크리트의 양이 대량이기 때문에 콘크리트의 원활한 타설을 위해서는 여러 대의 펌프카가 필요하나 현장 지형이 굴곡이 심하고 펌프카를 설치 가능 면적이 협소하여 총 2대의 펌프카를 설치하여 구조물의 남쪽에서 북쪽 방향으로 진행하면서 연속적인 타설이 이루어지도록 한다. 이때 구조물의 길이가 길기 때문에 Expansion joint를 길이 방향으로 35.5 m마다 설치한다.

### 5.6 거푸집

천안종합역사의 노출 콘크리트 시공에 사용될 거푸집은 요구되는 심미성을 확보하기 위하여 우레탄 코팅 합판(Econo Board)

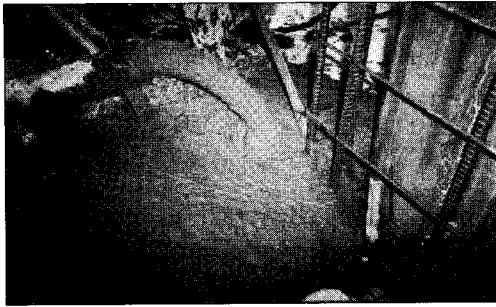


사진 12. 콘크리트 타설 광경 2

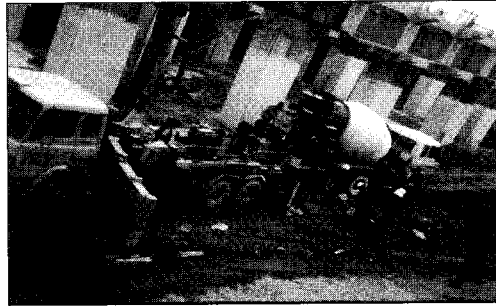


사진 13. 콘크리트 타설 광경 1

을 사용하며 이 경우 거푸집의 크기는 부재의 단면 크기를 고려하여 제작설치되어야 한다. 즉 천안종합역사 구조물의 기둥이나 거더의 단면 크기가 최소 1m 이상이 되기 때문에 거푸집은 1m × 2m 이상이 되도록 거푸집을 제작, 설치하였다.

### 5.7 양생

노출 대상이 되는 모든 콘크리트의 양생은 거푸집 해체 후 콘크리트 면에 철근 녹이나 불순물 등이 묻지 않도록 비닐 시트 등으로 덮어 양생하며 1일 2회 이상 살수하여 충분한 수분을 콘크리트 타설 후 14일까지 공급하도록 하였다. 또한 콘크리트가 타설된 상부 부분은 수분의 증발을 막기 위하여 비닐 등으로 덮고 그 위에 양생포(거적)를 덮어 양생하였다.

## 6. 결 론

국내 실정에 적합한 노출 콘크리트의 제조 및 실용화를 위하여 실험실 배합 실험, 현장 모형 실험, 그리고 현장 시험 시공의 일련의 시험 과정을 거쳐 도출한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

### 1) 백시멘트 대체율

노출 콘크리트 마감면의 색상 개선을 위한 적정 백시멘트 대체율을 콘크리트 마감면의 밝기, 즉 표면반사율에 따라 고려하면 표면반사율을 50% 이상 확보하고 만족스러운 색상을 얻기 위해서는 단위시멘트량의 약 50% 이상이 되어야 효과를 나타낼 것으로 판단된다. 또한 백시멘트 대체율을 100% 하였을 경우에는 콘크리트의 색상이 옅은 미색을 띠게 되므로 백시멘트 대체율은 50% 정도가 적당할 것으로 사료된다.

### 2) 거푸집

노출 콘크리트 마감면의 질감 향상을 위한 일반 합판이나 우레탄 코팅 합판의 사용은 양호한 질감을 얻을 수 없으며, 일반 코팅 합판이나 우레탄 재코팅 합판을 사용할 경우 양호한 질감을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

### 3) 고성능 감수제

고성능 감수제를 첨가할 경우 고성능 감수제의 색상이 암갈색을 띠기 때문에 콘크리트 색상이 어두워지는 단점이 있으나 콘크리트 타설시 물의 첨가없이 작업성(workability)을 향상시키기 위해서는 고성능 감수제를 시멘트 사용량의 약 1.0 ~ 1.5% 정도를 첨가하여야 할 것으로 판단된다. 또한 고성능 AE 감수제의 경우는 첨가량의 증가에 따라 공기량이 증가하면서 콘크리트에 기포의 발생이 증가하고 질감 또한 좋지 않게 나타나기 때문에 콘크리트 내부의 공기량이 3% 이내에 분포될 수 있도록 그 사용량을 0.5 ~ 0.8% 이하로 하여야 한다.

### 4) 진동기(vibrator)

콘크리트 내부의 불순물 제거와 공극을 메워주어 양호한 노출 콘크리트 면을 얻기 위해서는 진동기(Vibrator)를 사용하여 충분히 콘크리트를 다짐한 후 대나무나 P.V.C. Pipe를 이용하여 재다짐을 하여야 할 것으로 판단된다. 이때 진동기나 대나무의 콘크리트 내 삽입 깊이는 약 30cm 이상이 되어야 한다.

### 5) 이어치기 시간(Cold joint)

콘크리트를 이어치기할 경우 이어치는 시간은 2시간 정도까지는 양호한 콘크리트 마감면을 얻을 수 있지만 2시간을 초과할 경우에는 Cold Joint의 발생 가능성이 크므로 가급적 콘크리트 제조 후 2시간 이내에 콘크리트를 타설하도록 하여야 한다. □

## 참고문헌

1. 신성우, 안종문, "경부고속철도 천안종합역 노출콘크리트 시공지침서", 1999.
2. 신성우, 안종문, "부산종합운동장 주경기장 건립공사 시공지침서", 1995.
3. 신성우, 이한승, "제주월드컵경기장 건설공사 중 구조시스템 경제성 설계", 1999.
4. 건설교통부, "건축공사표준시방서", 1999.
5. 건설교통부, "콘크리트구조설계기준", 1999.
6. 이교선, 김일중, "품질향상을 위한 시방서 개선방안, 한국콘크리트학회지, 제7권 2호, 1995. 4, pp.6~11.
7. 조재병, 정상진, 최완철, "국의 현장콘크리트 품질확보 현황 및 제기준", 한국콘크리트학회지, 제7권 2호, 1995. 4, pp.12~22.
8. Portland Cement Association, "Color & Texture in Architectural Concrete", PCA, 1980, p.33.
9. 건설연구사, "현장기술자를 위한 콘크리트 구조물의 가설공법", 1995, p.404.