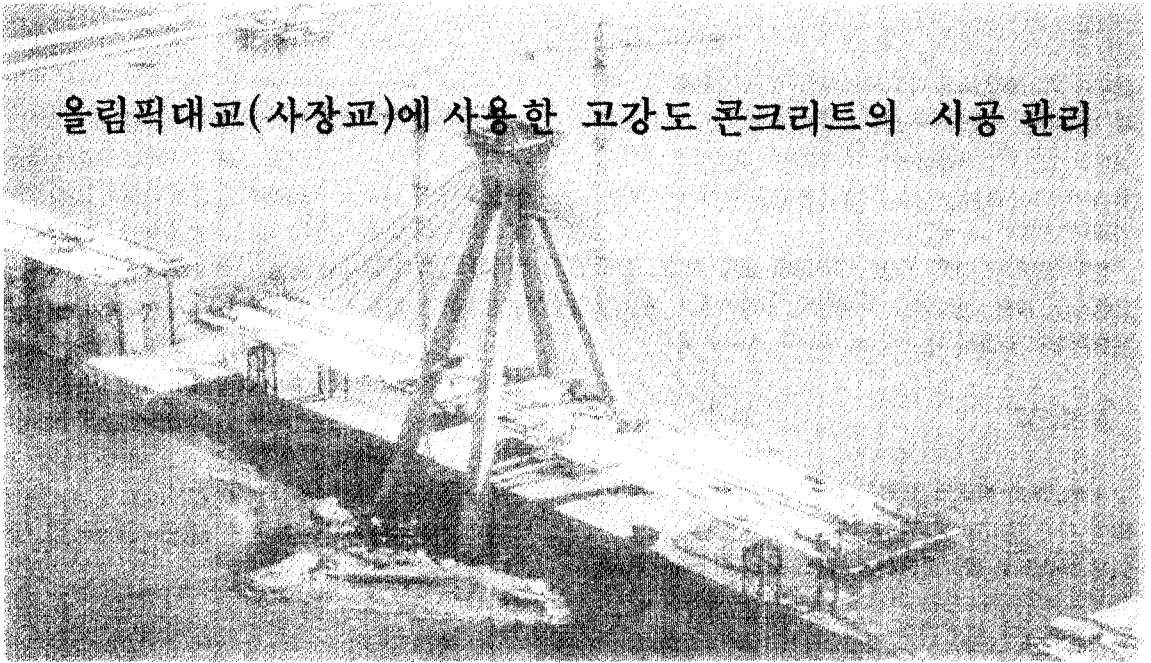
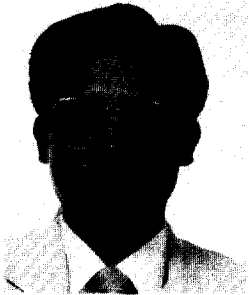


올림픽대교(사장교)에 사용한 고강도 콘크리트의 시공 관리



1989년 건설 당시의 올림픽대교



김 태 훈*

1. 머리말

건설 분야에서 콘크리트가 차지하는 비중은 새삼 말할 나위도 없다. 그만큼 콘크리트에 관한 중요성이 막대하기 때문이다. 콘크리트는 생산하기 전부터 이루고자 하는 구조물을 완성한 후에까지도 너무나도 많은 공정관리가 이루어져야 한다. 특히 콘크리트를 주재료로 건설되는 콘크리트 연속교량에서는 공정관리중에 야

*유원건설(주) 기술연구소 기술개발부장

기되는 단 한번의 실수는 치명적이 될 수 있다. 그러므로 공사에 앞서 어떠한 종류의 콘크리트를 어떻게 사용하느냐 하는 문제는 공사 전반에 미치는 핵심이라고 할 수 있다.

본고에서는 한국 최초의 콘크리트 사장교인 올림픽대교에서 국내 최초로 조강 시멘트를 사용한 고강도 콘크리트의 실용화에 대한 실제 적용사례를 보고하는 형식으로 서술하고자 한다.

2. 올림픽대교 공사현황

2.1 전체 공사개요

총길이 3,240m(폭 30~55m)로 건설되는 올림픽대교의 본선은 1,470m(폭 30m)로서 사장교 300m 구간과 접속교 1,170m로 이루어지는 PC BOX GIRDER 교량이다. 접속도로는 1,770m이며 램프 9개소로서 총사업비 687억원(공사비 496억원, 보상비 191억원)이 소요되었다. 공사기간 및 시행자는 다음과 같다.

- 공사기간

착공일자 : 1985년 10월 28일

강남접속도로 개통 : 1988년 8월 30일

올림픽대교 개통 : 1989년 11월 15일

- 시행자

시행청 : 서울특별시

설 계 : 주식회사 삼우기술단

감 리 : 한국종합기술개발공사

시공자 : 유원건설주식회사

2.2 교량가설 공법의 특징

올림픽대교 본선의 상부구조물 시공은 사장교 구간(300m)에는 FCM(Free Cantilever Method), 사장교

상 일체로 시공하도록 계획되어 있다.

FSM과 MSS 구간에서의 시공단면은 그림과 같다.

2.2.1 사장교의 시공

제24회 88서울올림픽대회 유치에 따른 기념비적 사업으로 완성된 올림픽대교 사장교의 주탑은 양방향으로 A-프레임 형태(4기둥, 높이 88m)이며, 케이블 배열은 세로방향으로 부채꼴, 가로방향으로는 단일면(single plane)이 되는데 (1단면 24줄) 총 48줄로 이루어져 있다.

사장교의 건설은 기초공법인 지중연속벽(slurry wall) 시공을 기점으로 경사방향의 4개의 주탑(柱塔,

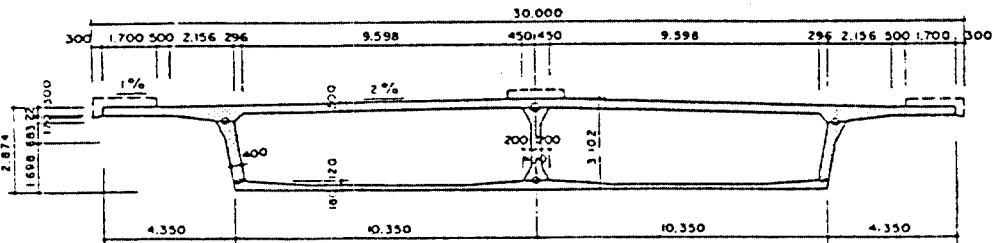


그림1. 사장교 단면(FCM 구간)

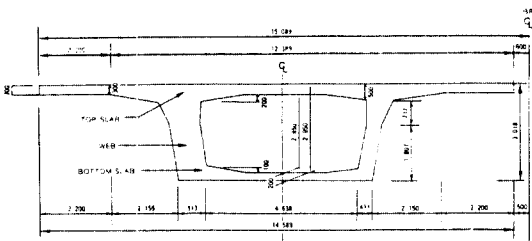


그림2. 접속교 단면(MSS 구간)

와 접속되는 양측(계 650m)에는 MSS (Movable Scaffolding System), 기타 ABUT 방향(본선 520m)과 입체교차로에는 FSM(Full Staging Method)의 교량 상판 가설방법이 적용된다.

이때의 사용 콘크리트의 설계기준압축강도 $\sigma_{ck} = 400\text{kg/cm}^2$ 이며, FSM구간의 콘크리트치기는 2회(바닥, 벽체+상판)로, FCM과 MSS구간에서는 공정

pylon leg)과 정부(頂部, pylon head)의 시공, 이동식 거푸집(form traveller)을 이용한 상부구조물의 시공, 단부(端部, end diaphragm)의 시공, 케이블(stay cable)의 설치 및 인장과 조정 그리고 시멘트 그라우트 등의 작업공정으로 이루어져 있다.

상부거더는 케이블 배열에 적합한 2연 박스거더(double cell box girder)로서, 폼트래블러로 시공되는 폭 29.4m, 높이 3.102m이며, 세로 및 가로방향의 프리스트레싱이 도입되었다. 케이블의 정착부와 단부 배어링이 설치되는 곳에는 다이어프램이 설계되어 있어서 벽체와 함께 전체 구조물이 격자구조(grid structure)로 거동하도록 되어 있다.

폼 트래블러는 동바리 설치가 필요없이 거푸집을 이동하며 콘크리트를 쳐나가는 이동식 가설장치로서 약 90ton으로 설계된 폭 29.6m 길이 18.4m 높이 9.7m의 강재 트러스 구조이다. 1회(segment) 시공 길이는

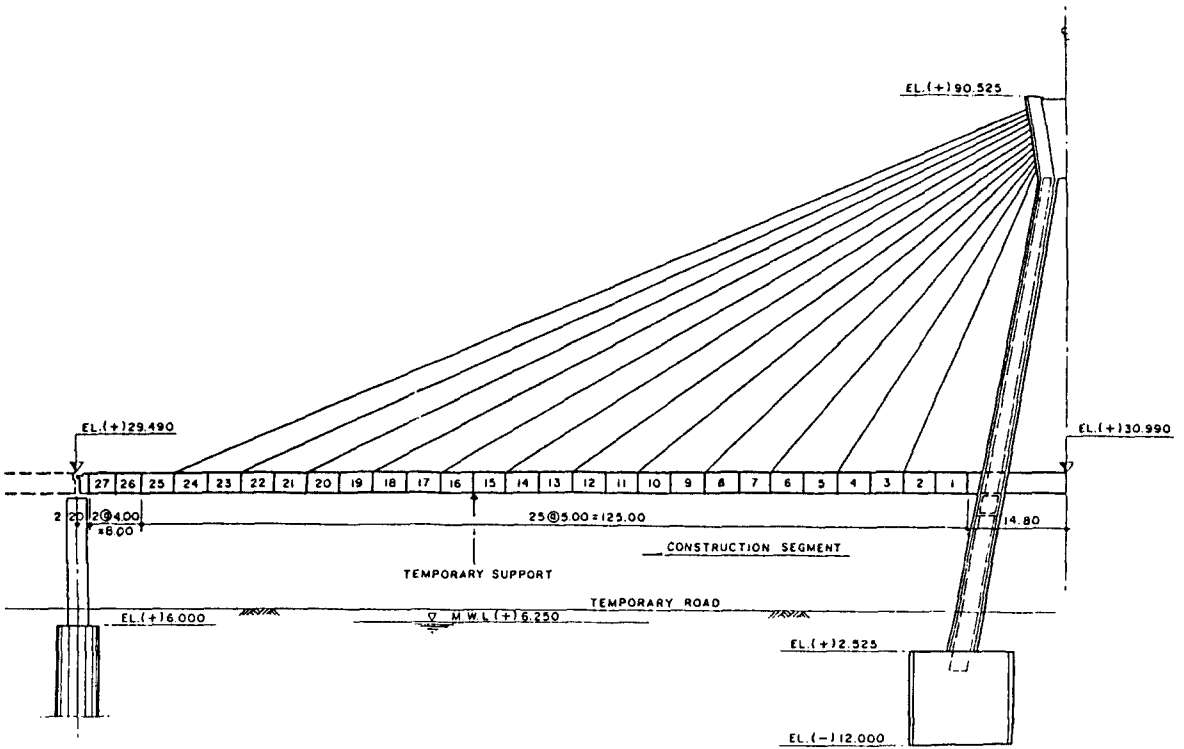


그림3. 사장교 SEGMENTATION PROFILE

5.0m이며 1회 콘크리트량 98m³, 철근량 14.6ton이다. 케이블 설치용 앵커 블록(매 10m 마다)이 있는 경우와 다이아프램이 있는 경우로 구분되는데 강북 양방향 각각 27segment로 시공되었다.

상판의 시공계획고는 콘크리트치기 전후, FCD(Free Cantilever Device)의 이동전, 케이블 재킹전, 케이블 조정, 바닥 슬래브의 프리스트레싱, FCD의 해체, 케이블 리락세이션, 사하중 등에 의하여 설계된다. 이 설계치는 시공에 적용한 결과 상당한 차이가 발견되었다. 원인 구명중 콘크리트 탄성계수 시험 결과에 따라 이론치를 수정하여 새로운 값으로 적용한 후 정확한 시공이 이루어졌다.

FCD로 시공되는 상판의 27세그먼트에 이어진 단부(end diaphragm)의 시공은 정확한 계획고에 의하여야 한다. 단부와 MSS로 시공된 접속교와의 마감시공은 각각의 교각에 강제지보공으로 동바리를 설치하였다. 기

온에 의한 케이블의 이완작용으로 낮에는 상판이 밑으로 처지고 밤에는 올라가는 현상이 반복되어 1일 온도차에 의한 변위가 약 100mm내외 발생된다. 따라서 이음부(joint) 결합을 위하여 국부적인 인장(partial prestressing)을 실시함은 물론 27세그먼트 상판 위에 물탱크 등 중량물을 설치하여 변위를 조정하도록 하였다. 물 1ton은 상판 약 1.2mm의 변위조정에 해당된다.

단부시공은 케이블과 상판의 온도차로 인한 변형을 억제하기 위하여 케이블에 햇빛에 차단해야 하기 때문에 야간에 콘크리트를 치도록 계획되었고, 양생 10시간 내 콘크리트 압축강도가 60kg/cm²이상 발현되어야 다이아프램 및 상판 하부에 국부적인 인장(전인장량의 20%)을 실시하고 압축강도가 300kg/cm²에 도달되면 100% 인장후 거푸집을 해체하도록 하였다.

3. 올림픽대교 사용 콘크리트

올림픽대교 건설에 사용할 고강도 콘크리트의 품질 및 생산 검토는 착공시부터 고심한 결과 국내 포틀랜드 시멘트 1종으로는 품질관리상 문제점이 제기될 수 있다고 판단하여 3종 규격 수준 이상의 고품질 시멘트를 사용하였는데, 이를 계기로 국내에서 가장 확실한 고강도 콘크리트 생산이 실용화하게 되었다.

3.1 사용 시멘트의 결정

PS 콘크리트공에 있어서 조기강도를 높임으로써, 공기의 단축에 의한 생산성의 증대 등 경제성 향상에 기여함은 매우 중요한 목표이다. 따라서 다음 세가지 사항에 중점을 두어 연구하게 되었다.

1. 조강의 효과가 있는 고품질의 시멘트 사용
2. 철근의 부식 문제를 배제한 가소성 감수제 사용
3. 양생 방법의 개선

이에 따라 조기강도 및 장기강도가 높은 고품질의 시멘트사용과 유동화제를 첨가하는 방안으로 검토되었다. 검토 당시 국내 포틀랜드 시멘트의 압축강도 기준은 표1과 같으며, 그후 변경된 품질기준과 사용제품의 품질결과는 표2와 같다.

사용 고품질의 시멘트는 국내 KS L 5201 3종 조강 포틀랜드 시멘트 수준 이상으로서, 그 특징으로는 1종 보통 포틀랜드 시멘트에 비하여 광물조성에서 C₃A의 양을 많게 하고(상대적으로 C₃S의 양 감소) 분말도를 증대시켜 수화반응의 속도를 크게 하여 조기강도를 증대시킨다. 또한 수화한 시멘트를 미량 첨가하여 촉매효과를 얻고, 석고(SO₃)의 첨가를 증대시켜 응결경화의 안정화와 건조 및 경화 수축을 적게 한다. 특히 생산과정에서 시멘트 밀 쿨러(Cement Mill Cooler)시설이 완비된 생산공장의 제품을 사용하도록 조치하고 생산 즉시 60℃이하로 냉각 처리되도록 1987년 2월 7일 KS 표시허가를 얻은 쌍용양회 동해공장에서 구입토록 하였다.

표1. 검토당시 국내의 시멘트 주요 품질 기준(1985-1986)

구분	항목	C ₃ S (%)	C ₃ A (%)	Blaine (cm ² /g)	압축강도 (kg/cm ²)			
					1일	3일	7일	28일
보통 포틀랜드 시멘트 KS L5201(1종)		-	-	2,800이상	-	127이상	197이상	281이상
조강 포틀랜드 시멘트 KS L5201(3종)		-	15.0이하	-	125이상	245이상	-	-
ASTM C 150 TYPE I		-	-	2,800이상	-	127이상	197이상	281이상
ASTM C 150 TYPE III		-	15.0이하	-	126이상	246이상	-	-
JIS R5201 보통		-	-	2,500이상	-	70이상	150이상	300이상
JIS R5201 조강		-	-	3,300이상	65이상	130이상	230이상	330이상
JIS R5201 초조강		-	-	4,000이상	130이상	200이상	280이상	330이상

표2. 시멘트 품질 현황

구분	C ₃ S (%)	C ₃ A (%)	Blaine (cm ² /g)	안정도 (%)	응결시간		압축강도 (kg/cm ²)				비고
					초결(분)	종결(시간)	1일	3일	7일	28일	
KS 1종(기준)	-	-	2,800이상	0.8이하	60이상	10이하	-	130이상	200이상	290이상	KS L5201
KS 3종(기준)	-	15이하	3,300이상	0.8이하	60이상	10이하	130이상	250이상	280이상	310이상	- 1986
국내 1종 평균	38	10.6	3,300	0.19	260	6:50	90	180	240	320	85년 실적
하와이수출품	50	10.3	3,700	0.10	220	5:20	150	280	370	460	쌍용제품
비주수출품	56	8.5	3,840	0.05	240	5:50	160	275	345	440	쌍용제품
사용시멘트	-	10.1	4,750	0.11	200	5:00	190	310	390	455	89.10.15

표3. 사용 시멘트의 품질기준

1. 화학 성분

구 분	MgO	SO ₃ (C ₃ A, 8%이상일때)	상열산량	C ₃ A
KS L5201 3종	5.0이하	4.5이하	3.0이하	15이하
JIS R5201 조강	5.0이하	3.5이하	3.0이하	-
초조강	5.0이하	4.5이하	3.0이하	-
사용시멘트 자체시험	2.92	4.16~4.28	1.39~1.61	8.6

2. 물리적 성분

구 분	분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	응결시간(길모아)			압축강도(kg/cm ²)			
			초결	종결	1일	3일	7일	28일	
	(이상)	(이하)	(이상)	(이하)	(이상)	(이상)	(이상)	(이상)	
KS L5201 3종	3,300	0.8	60분	10시간	130	250	280	310	
JIS R5201 조강	3,300	양호	45분	10시간	65	130	230	330	
초조강	4,000	양호	45분	10시간	130	200	280	350	
사용시멘트 자체시험	4,400~4,600	0.20	190~220	4:50~5:20	190~234	327~350	384~420	429~454	

표4. 화학 혼화제 MIGHTY-150의 성질

구 분	성 질
내 용 조 성	B-나프탈렌 술폰산 포르말린 축합물
의 관	흑갈색 액체
PH (5% Sol. 상온)	8~10
비 중 (20℃ /4℃)	1.190~1.210
시멘트 flow 비(1.2C×Wt. %, 18~22℃)	155~195
고형분 (100-Volatile Matter)	40~44%
콘크리트 공기량	2% 이하

3.2 혼화제의 첨가

유동화 콘크리트는 건조수축의 극소화, 블리딩(bleeding)의 감소, 수밀성의 개선, 수화발열량의 감소 등 품질개선과 펌프압송 등 시공 능력의 향상, 그리고 공기의 단축, 마감시간의 단축 등 시공성 개선을 목적으로 사용하고 있다.

콘크리트 첨가시 특히 주의할 점은 기능공의 실수로 과량 투입하여도 응결에 특별히 지장이 없는 등 품질상 변동이 극히 적은 제품이어야 한다. 이와같은 목적으로 여러 차례에 걸친 시험 결과 일본제품인 고성능 가소성 혼화제(Superplasticizer) MIGHTY-150(Cao Corporation)을 사용하게 되었다.

3.3 사용 골재

골재의 산지는 경기도 한강종합개발사업으로 시행중인 골재 채취지역 하남시 미사동이며, 굵은 골재는 최상의 품질과 최상의 작업성을 감안하여 최대크기 19mm인 자연자갈을 사용하였다.

3.4 콘크리트의 성질

콘크리트의 배합설계는 현장 시험실에서 올림피아대교 건설 초기부터 생산-운반-치기-양생 측면에서 종합적으로 연구한 결과, 단위시멘트량이 450~480kg/m³, 분시멘트비 30~32%, 잔골재율 35~38%, 혼화제(고성

표5. JIS A6204(1982) 콘크리트용 혼화제 성능시험 결과

시 험 명	JIS A 6204	시험결과 (slump)		비 고
		8cm	18cm	
1. 콘크리트 시험				
블리딩량의 비(%)	4 이상	10	11	
응결시간의 차(min)				
초 결	-90~+60	+6	+8	
중 결	-90~+60	+4	+5	
압축강도의 비(%)				
재령 3일	115 이상	130	129	
재령 7일	110 이상	129	129	
재령 28일	110 이상	130	129	
길이변화비(%)	120 이하	94	97	
2. 화학혼화제 중의 염화물량시험	0.02 이하	0		0%
염화물량(kg/m ³)				
3. 화학혼화제 중의 진알칼리량 시험	0.03 이하	0.14		3.9%
진알칼리량(kg/m ³)				

- * 콘크리트 배합은 최대단위시멘트량 300kg/m³, 혼화제량은 3.6kg/m³로 사용한 기준임.
- * 염화물량 규정은 1종으로 제조시에 염화물을 가하지 않은 화학혼화제로서 비염화물 또는 무염화물 형임.

능 응동화제)는 시멘트량의 1% 내외일 경우에 현장 시공조건을 고려한 가장 확실한 품질의 시험결과를 얻게 되었다. 이에 따라 공급처인 쌍용양회 풍납동 레미콘 공장 시험실에서 콤팩트믹서를 사용하여 다음과 같이 최종 배합 시험을 완료하였다. 배합강도는 480kg/cm²으로 1.2σ_{ck}이다.

이와 같은 콘크리트 배합의 결과 공기중 양생 3일 후 320kg/cm² 7일 후 400kg/cm² 수준의 실용 강도에 도

달하였다.

콘크리트는 시간에 따라 그 성질이 변하므로 현장에서 쉽게 슬럼프를 조정하여 사용함이 이상적이다. 혼화제를 첨가하지 않은 된 비빔 콘크리트는 생산 및 운반에 문제가 있으므로, 혼화제는 시공조건에 준하여 공장에서 70% 현장에서 30%정도로 첨가하는 방식을 취하였다. 즉 슬럼프 4cm 이하인 베이스 콘크리트에 혼화제를 첨가하여 슬럼프 10±2cm 정도가 되도록 생산하여 운반한 후 현장에서 소요의 시공성에 맞추어 재첨가하도록 하였던 것이다.

여름철에는 보통 시멘트 중량의 1.2%정도, 겨울철에는 0.8%정도 첨가하였으며 믹서트럭의 운반량은 혼합의 원활을 기하기 위하여 대당 6m³(7.5m³용적)이하로 제한하였다.

시간경과에 따른 슬럼프 저하 그래프를 그린 결과 슬럼프 12cm를 하한선으로 규정할 때 공장생산 직후 45분 이내에 콘크리트를 치는 것이 가장 이상적이다. 생산공장은 현장에서 운반시간 20분 이내의 쌍용양회 풍납동 공장이므로 운반에 따른 어려움은 없었다.

상상고 상부구조물 시공중 사용 콘크리트에 대한 탄성계수 시험은 쌍용양회 중앙연구소 2차 제품 연구실에서 시험하였는데, 상판의 변위에 대한 문제점 검토 중 직접 현장 모델드(mold)로 측정하고 그 결과를 설계값과 비교하여 변위량을 조정하였다. 6세그먼트 상판 콘크리트를 친 당시(88.12.10)의 시험 결과는 표9와 같다.

이때 설계 적용치는 설계기준강도 σ_{ck}=400kg/cm², 단위부게 2.50t/cm³일때 E_c=3.376×10⁵×4.270√σ_{ck}으로 설계되었는데, 결과적으로 현장 양생기준 설계값

표6. 사용골재의 품질

구 분	최대크기	비 중	흡 수 율	조 입 율	No.100통과율	단위용적량
모 래	5mm	2.60	0.86%	2.69	5%	1.605kg/m ³
자 갈	19mm	2.65	0.70	6.64	1.2%	1.624kg/m ³

표7. 사용 콘크리트(규격 19-400-15)의 배합기준

설계기준	굵은골재 최대치수	베이스 슬럼프	슬럼프 기준(cm)	물시멘트 비(W/C)	잔골재율 (S/A)	단위 재료량(kg/m ³)				
						시멘트	물	모래	자갈	혼화제
400kg/cm ²	19mm	4cm이하	15±3	30.5%	36%	480	146	657	1190	C×0.01내외

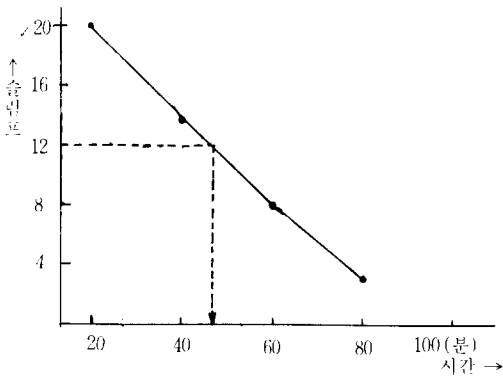


표8. 시간별 슬럼프 변화(經時變化)

표9. 탄성계수 시험결과표

(모ULD 크기: $\phi 15 \times 30\text{cm}$)

구 분	양생상태	탄성계수($\times 10^4 \text{kg/cm}^2$)		압축강도 (kg/cm^2)	단위무게 (t/cm^3)
		실 측 치	계 산 치		
재령11일	수 중	3.19	3.46	474	2.401
		3.14	3.39	455	2.403
		3.10	3.44	470	2.401
		$\bar{x}=3.14$	$\bar{x}=3.43$	$\bar{x}=466$	$\bar{x}=2.402$
	현 장	2.94	3.10	396	2.368
		2.76	3.10	396	2.369
2.96		3.10	390	2.380	
	$\bar{x}=2.89$	$\bar{x}=3.10$	$\bar{x}=394$	$\bar{x}=2.372$	
재령28일	수 중	3.25	3.58	501	2.411
		3.28	3.52	501	2.386
		3.33	3.62	518	2.405
		$\bar{x}=3.29$	$\bar{x}=3.57$	$\bar{x}=507$	$\bar{x}=2.401$
	현 장	3.06	3.32	458	2.361
		3.06	3.35	461	2.372
2.86		3.25	439	2.362	
	$\bar{x}=2.99$	$\bar{x}=3.31$	$\bar{x}=453$	$\bar{x}=2.365$	

과 10%이상 차이가 난다.

3.5 콘크리트의 품질관리

상관의 프리스트레싱 시점은 현장양생 콘크리트 압축 강도가 320kg/cm^2 이상일 때에 실시하였다. 보통 콘크리트를 친 후 2일 또는 3일에 행하여졌다. 현장양생 재령 3일의 콘크리트 압축강도는 350kg/cm^2 이며, 수중

양생(표준양생)을 기준으로 재령 28일의 압축강도는 470kg/cm^2 수준으로 나타났다.

현장양생은 교량상관 가설공법인 ILM에서 주로 실시하는 증기양생 등의 특별한 조치는 취하지 않고, 콘크리트 치기후 3시간 이내에 비닐과 담요를 덮어 수분의 증발을 방지하였다. 겨울에는 양생포 위에 천막을 치고 20°C 내외의 기온이 되도록 2일간 열풍기로 조절하였다.

한편 상관콘크리트 시공중 중앙 벽체에 미세한 전단 균열(shearing crack)이 발생되어 검토 결과 전단응력은 최대허용전단응력(DIN B35) 40kg/cm^2 이내이며 배근상태도 문제 없다고 판단된 경우가 있었다. 따라서 콘크리트의 품질을 개선하기 위하여 스티립 간격을 줄이고, 콘크리트 칠 때의 진동상태 그리고 동계보온양생 시 가열상태를 철저히 하여 추후 문제점은 제거되지 않았다. 또한 폼트래블러 이동시 이음부(joint) 바닥 슬래브에 균열과 함께 약 1~2cm의 단(段, offset)이 발견되었다. 바닥 및 기타 슬래브에는 이상이 없었으나 이는 디비탁 강봉(Dywidack Bar)의 처짐으로 인하여 거푸집 재고정이 확실하지 않은 상태로서 판명되었으며, 이후 신규 콘크리트면의 예열에 주의하면서 콘크리트 순서를 변경하여 시공이음부를 나중에 치도록 하였으며, 바닥 거푸집 고정용 행거를 4개 추가 설치하였다.

3.6 사장교 단부시공 콘크리트 품질관리

사장교 상관이 끝나는 지점은 접속교 상판과 연결되어야 상부구조물 시공이 완료된다. 상판과의 변위가 없을 때가 가장 이상적이나, 이러한 조건에 접근할 때에 시공하면 무리가 없다. 따라서 햇빛이 없는 야간에 작업을 하되 다음 조건에서 단부 콘크리트를 치는 시점을 정하였다.

1) 상관의 최대 처짐량이 완료된 후에 급격한 변화가 없을 때

2) 사하중(물의 양)으로 처짐을 조정할 수 있는 범위 내에 있을 때

3) 필요로 하는 계획고에 도달하고 있을 때

콘크리트 치기 후 10시간에 100kg/cm^2 이상의 압축 강도의 발현에 대한 검토 사항은 다음과 같다.

표 10. 상부구조물 압축강도 발현 결과표(현장양생, 재령28일)
(단위: kg/cm²)

순위	위 치	일 자	X ₁	X ₂	X ₃	\bar{X}	R	비고 (3일)
1	Pier table(Top)	88. 3.28	414	395	401	403	19	297
2	Segment 1	8.17	522	452	471	482	70	393
3	Segment 2	9. 6	528	509	439	492	89	415
4	Segment 3	10. 7	459	478	478	472	19	357
5	Segment 4	11.11	465	471	478	471	13	340
6	Segment 5	11.25	420	439	446	435	26	282
7	Segment 6	12.10	414	408	401	408	13	318
8	Segment 7	12.20	490	529	510	510	39	283
9	Segment 8	12.30	459	490	510	486	51	369
10	Segment 9	89. 1.12	-	490	-	490	0	427
11	Segment 10	1.23	408	427	439	425	31	329
12	Segment 11	2. 1	490	471	503	488	32	299
13	Segment 12	2.26	451	435	446	444	11	353
14	Segment 13	3. 8	465	465	484	471	19	318
15	Segment 14	3.18	427	433	446	435	19	321
16	Segment 15	3.28	471	439	471	460	32	374
17	Segment 16	4. 7	465	459	497	474	38	342
18	Segment 17	4.17	484	471	446	467	38	372
19	Segment 18	4.26	465	510	510	495	45	373
20	Segment 19	5. 6	471	465	510	482	45	355
21	Segment 20	5.16	487	510	427	499	83	361
22	Segment 21	5.25	446	490	490	475	44	333
23	Segment 22	6. 3	433	452	452	446	19	386
24	Segment 23	6.13	471	452	561	462	109	382
25	Segment 24	6.22	452	452	459	451	7	346
26	Segment 25	6.30	489	478	478	482	12	350
27	Segment 26	7.10	439	427	427	431	12	357
28	Segment 27	7.19	471	459	452	461	19	348
29	End diaphragm(N)	8. 4	471	471	478	473	7	389
30	End diaphragm(S)	8. 7	484	484	478	482	6	414

- 1) 쌍용양회 제품인 초조강시멘트에 대한 배합
- 2) 현재 사용중인 쌍용 3종 시멘트 배합의 슬럼프 18cm 의 품질

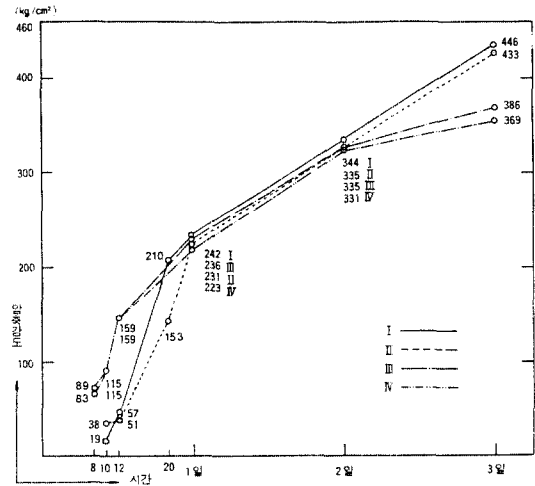
3) 현재 사용 시멘트 배합에 조강제 투입

이에 관한 비교시험 실시(1989. 6)결과 초조강시멘트는 3종 시멘트에 비하여 1일 이전에는 오히려 강도 발현이 늦은 편이며, 조강제 사용은 별다른 효과를 얻지 못하여, 기사용 배합 수준으로 충분히 10시간 후 목표치에 도달할 수 있으므로 슬럼프 18cm 이하의 시방조건으로 특별관리를 하여 단부 시공에 임하도록 결정하였다.

표 11. 쌍용 초조강 시멘트의 품질

CHEMICAL COMPOSITIONS		PHYSICAL PROPERTIES
Silicon dioxide (SiO ₂)	20.4%	Finess(Blaine) 6,000cm ² /g
Aluminum oxide (Al ₂ O ₃)	4.7%	Time of setting
Iron oxide (Fe ₂ O ₃)	3.1%	initial set 199 mins
Calcium oxide (CaO)	62.8%	final set 5:41 hrs
Magnesium oxide (MgO)	3.0%	Compressive strength(kg/cm ²)
Sulfur trioxide (SO ₃)	4.3%	1day:230, 3days:385
Loss on ignition	1.5%	7days:435, 28days:500

표 12. 콘크리트 초기강도 발현 그래프



양생상태 : 온도 21℃, 습도 78%

구 분	시 험 일	사용 시멘트	시멘트량	W/C	S/A	유동화제	조 강 제	슬 럽 프
I	1989.6.10	쌍용 초조강	480kg/m ³	29.5%	36%	C×1%내외	-	19cm
II	-	쌍용 초조강	480kg/m ³	31.5%	36%	-	-	21.5cm
III	1989.6.10	쌍 용 3종	480kg/m ³	29.5%	36%	-	-	18cm
IV	-	쌍 용 3종	480kg/m ³	29.5%	36%	-	C×0.5%	21cm

기온의 변화에 따라 케이블의 변위가 발생하고 이로 인하여 상판의 처짐(deflection)이 뒤따른다. 27세그먼트 콘크리트 친 후의 마지막 단부 시공은 이러한 요인으로 인하여 계획고에 근접하기 위한 정밀 시공이 필요하게 되었으며, 기상 변화에 따른 상판의 처짐량을 사선에 예상할 수 있도록 계획하였다.

표 13은 이론적으로 상판과 케이블의 온도차 ($T_{max} - T_{min}$)를 비교하여 처짐량을 구하는 표이다.

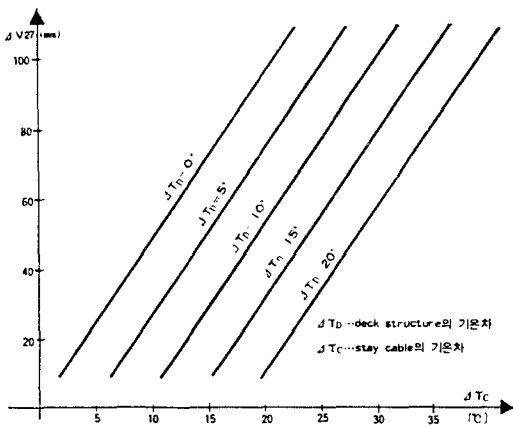


표 13. 기온차에 의한 27세그먼트(상판)의 설치

25세그먼트 시공(89. 6. 30) 후 상판의 온도 변화에 의한 처짐량 측정 결과는 그림과 같으며, 27세그먼트 시공(89. 7. 19) 후 기온의 변화에 따라 약 60mm의 변위를 예상하여 계획고(EL=29.484m) 위치에 근접하도록 50ton의 물탱크를 설치하였다.

표 14. 1°C에 대한 상판의 변위량

일 자	측정위치	상판의 변위량(mm)	1일중 기온차(°C)	1°C에 대한 변위량(mm)	1°C에 대한 이론치(mm)
89. 4. 6	15seg시공 후	46	24	1.9	1.96
89. 4.25	17seg시공 후	34	14	2.4	2.16
5.15	19seg시공 후	38	14	2.7	2.37
6. 2	21seg시공 후	65	20	3.2	2.57
6.21	23seg시공 후	55	14	3.9	2.78

이에 따라 마감시공 후 콘크리트 양생에 따른 압축강도 시험을 실시하였는데 압축강도 100kg/cm²에 해당되는 20% 부분 스트레싱에 만족할 만한 성과를 얻었다.

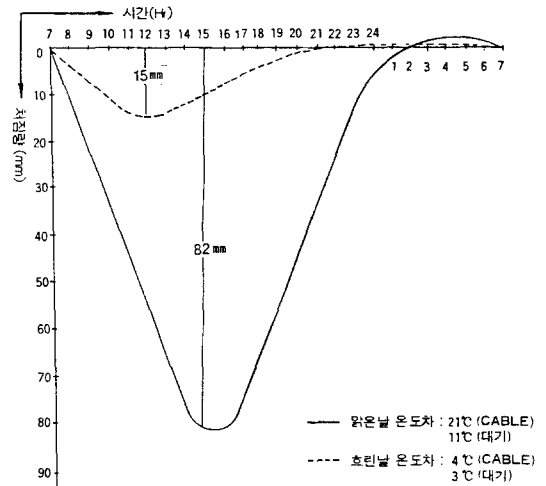


표 15. 기온에 따른 시간별 상판의 변위량(25SEG)

표 16. 콘크리트 압축강도 시험 결과(현장 양생)

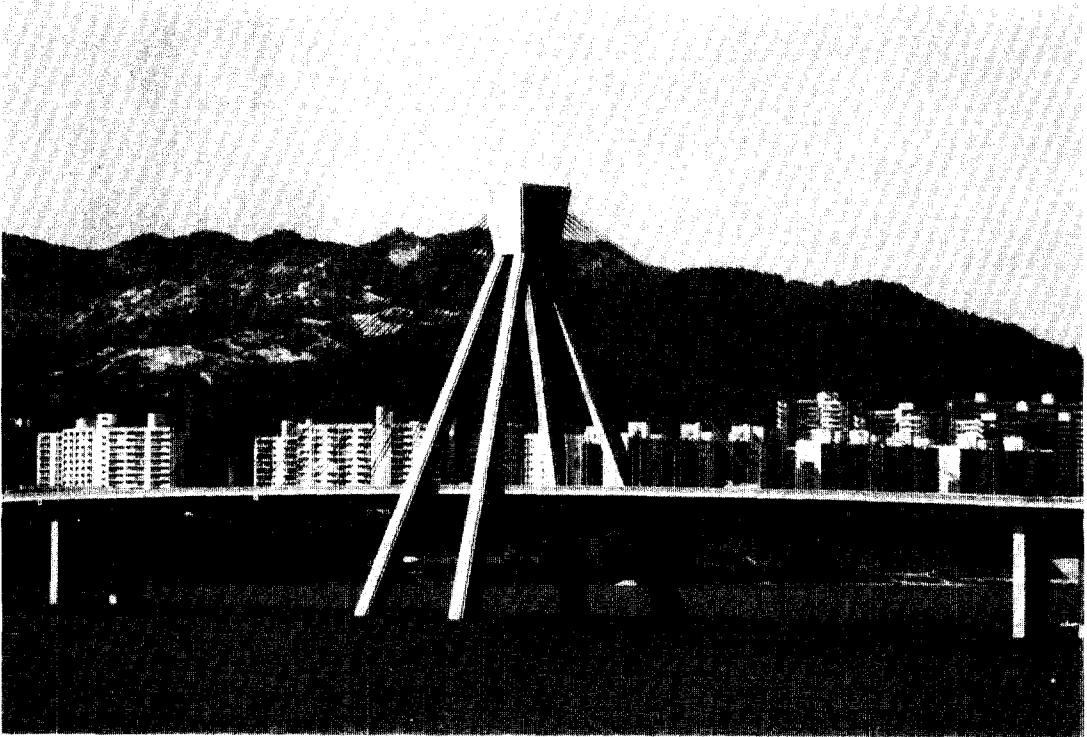
(단위 kg/cm ²)							
시분	7시 30분	8시 30분	9시 30분	3월	7월	28일	비고
장목	61	-	110	389	452	473	89.8.4
장남	-	60	98	144	457	482	89.8.7

4. 맺음말

국내 최초로 3종 시멘트를 사용한 고강도 콘크리트를 국내 최초의 콘크리트 사장교인 올림픽대교에 적용하여 철저한 품질관리를 함으로써 첨단 교량시공을 성공적으로 완수하는데 밑거름이 될것을 자랑스럽게 생각한다. 특히 고유동화제를 현장에서 매 트럭마다 투입하여 좋은 워커빌리티를 얻는 등 시공성을 유지한 점은 대단한 노력과 인내가 필요했다고 말하고 싶다. 확실한 압축강도 발현으로 현상 양생 기준 100% 이상의 성과, 시공중 탄성계수 시험 확인으로 사장교 상판의 시공계획고변경, 단부시공시 초기 콘크리트 관리로 국부적 PT에 성공한 점은 품질관리가 시공전반을 주도했다는 점과 일맥상통하다. 또한 당시 3종 시멘트의 KS품이 없는 상태에서 국내 시멘트업계의 기술경쟁을 유도한 효과도 다분하다고 생각한다.

현장에서 콘크리트를 관리한다는 문제는 쉬운 이야기가 아니다. 믹서트럭이 도착된 후 단순히 슬럼프 시험을 하는 데에도 마찰이 따르기 쉽다. 근래 레미콘 수급사정이 악화되고 '기능공 모셔오기 시대'에서 품질관리는 형

식적이지도 못하다. 최첨단의 교량인 올림픽대교에서 다행히 이러한 상황은 전개되지 않았으나 앞으로의 콘크리트 품질관리는 주변 여건에 관계없이 계속 정착되어야 한다.



올림픽대교의 완성된 모습