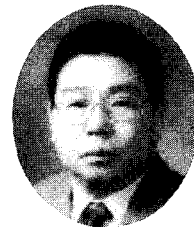
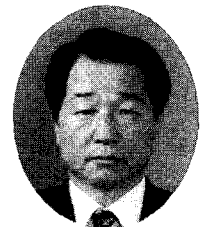


영흥대교 사장교 기초 시공법

- The Substructure Construction Method of Young-Hung Cable Stayed Bridge -



민상기*



이광원**

1. 서 언

영흥대교는 인천광역시에 소재한 선재도와 영흥도를 연결하는 총연장 1,250m의 교량으로 460m 구간의 사장교와 시점부 240m, 종점부 550m의 강합성 박스 거더 교로 구성되어 있다. 사장교는 중앙경간 240m, 측경간 110m의 3경간 왕복 2차선 강 사장교이며, 다이아몬드 형상의 주탑은 높이 77.4m, 2열의 2.8m×3.5m의 강 박스 단면으로 구성되어 있다. 또한, 보강형은 유선형 강 박스로 전폭이 17.6m, 높이가 2.5m이다. 케이블은 총 64개의 Semi-Harp 타입의 2면 케이블 형태이며, 각 케이블은 21~51가닥의 $\phi 15.7\text{mm}$ parallel strand로 구성되어 있다. <사진 1>에는 영흥대교의 전경을 나타내고 있다.

사장교의 기초는 RCD와 강각가물막이 공법으로 시공하였으며, 상부는 floating crane과 jack-up barge를 이용한 대블럭 가설 공법으로 일괄 가설하였으며, 케이블은 모노잭을 이용한 Isotensioning 방법

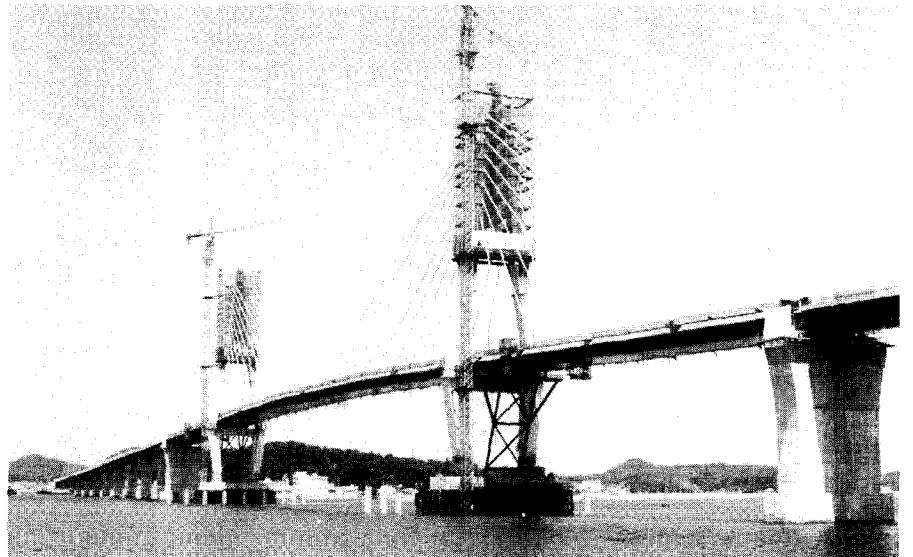


사진 1. 영흥대교 사장교 전경

으로 긴장력을 도입하였다. 현재(2001년 6월) 영흥대교는 key-segment 접합 및 장력 조절이 완료된 상태이며 가설 단계 해석, 장력 결정, 선형 관리 등 사장교 시공에 관련된 모든 과정들이 순수 국내 기술진에 의하여 성공리에 수행된 것이 가장 큰 특징이라 할 수 있다. <사진 2>에는 사장교의 보강형 대블럭 가설 공사 전경을

나타내고 있으며, <사진 3>에는 모노잭을 이용하여 사장교 케이블을 긴장하는 모습을 나타내고 있다.

본고에서는 사장교 기초 시공법에 대한 개략적인 소개와 더불어 수중불분리 콘크리트 시공, 매스 콘크리트의 수화열 관리, 주탑 기부 무수축 모르타르 시공법에 대하여 기술하고자 한다.

* 현대건설(주) 토목사업부 상무

** 현대건설(주) 토목사업부 부장

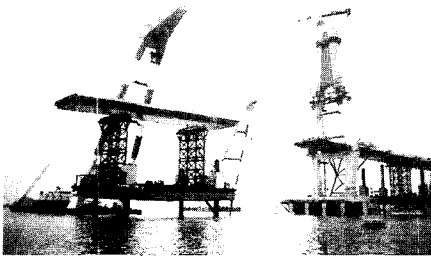


사진 2 사장교 보강형 대블럭 설치



사진 3. 모노잭을 이용한 마스터 스트랜드 긴장

2. 사장교 기초공

2.1 사장교 기초 제원

사장교는 P6, P7 주탑 기초와 P5, P8 단부 기초로 구성되어 있으며, 보오링 조사와 탄성파 조사(SPT)을 토대로 P5, P6, P7은 RCD+직접기초로 설계되었고 P8은 직접 기초로 설계되었다. <표 1>에 사장교 기초 제원을 정리하였다. P8의 RCD 6본은 부력 방지와 강각 가물막이 설치용이다.

2.2 기초 시공 방법

기초의 물막이공으로는 별도의 부대공이 필요없고 공기 및 공사비에 유리한 강각 가물막이 공법을 이용하였다. 강각 가물막이 공법은 기초 크기와 최고조 수위, 정수압, 파압, 유수압, 작업하중, 시공성 등을 고려하여 강각 가물막이를 육상에서 제작하고, floating crane과 RCD 강관을

이용하여 소정의 위치에 설치한 후, 수중 콘크리트를 타설하여 차수하고 기초 및 구체 콘크리트를 시공하는 방법이다. <그림 1> 참조)

강각 가물막이에는 RCD 강관보다 내경이 20cm 큰 슬리브 판이 설치되어 있어서 가물막이 설치시 가이드 역할과 설치 후 사석을 채우고 수중 콘크리트를 타설하기 전까지 흔들림 방지 역할을 수행한다. P6, P7 강각 가물막이의 경우 8개의 슬리브 판이 설치되어 있으며, 총 35개의 RCD 강관 중 슬리브 판에 삽입될 8개의 강관을 제외하고는 수중 절단을 하여 가물막이와 간섭이 없도록 하고, <사진 4>와 같이 1500tonf floating crane을 이용하여 해수면에 돌출된 8개의 RCD 강관에 강각 가물막이 슬리브 판을 삽입하여 거치하게 된다. 설치하기 전 RCD 강관의 연직도를 측량하여 슬리브판과의 유격으로 설치 가능한지 반드시 확인하여야 한다. 당 현장에서는 <사진 5>와 같이 RCD 강관 위에 원추형의 가이드 플레이트를 부착하여 해상에서 슬리브 판 삽입을 용이하게 하였다.

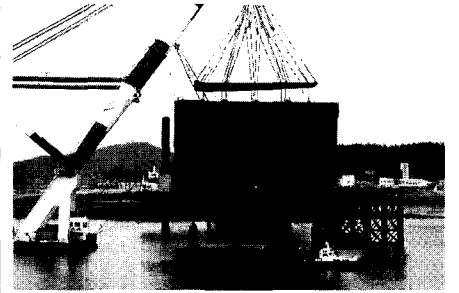


사진 4. 강각 가물막이 설치

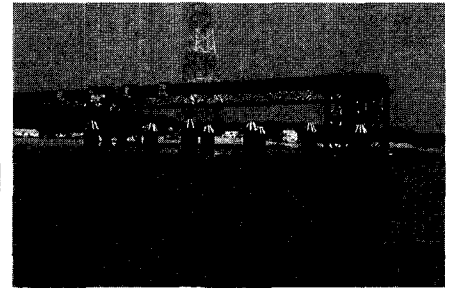


사진 5. 가이드 플레이트

수중 콘크리트 및 기초 콘크리트 타설 시에는 강각 가물막이의 skin plate가 거푸집 역할을 하며, 벽체 시공 시에는 가물막이 내부 스트러트 간격을 고려하여 콘크리트 타설 높이를 결정하였으며, 별도의 거푸집을 제작하여 콘크리트를 타설하였다.

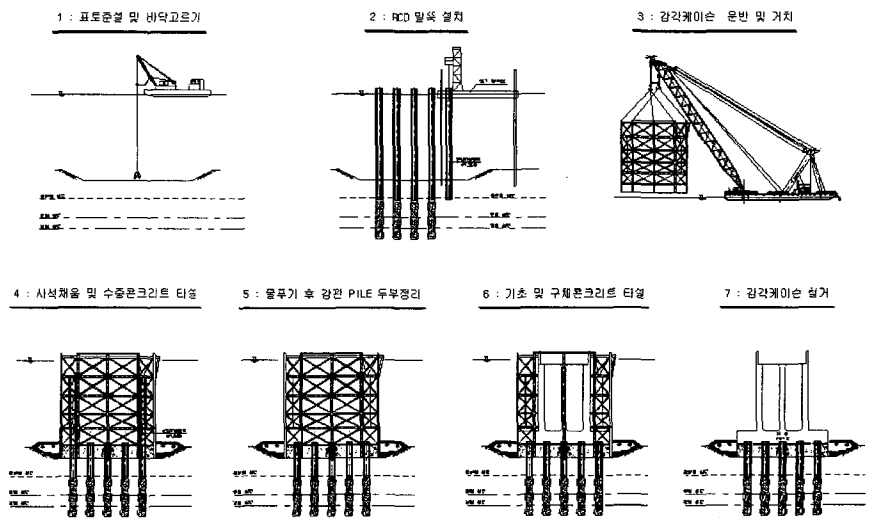


그림 1. 사장교 기초 시공 방법

표 1. 사장교 기초 제원

	총높이(m)	수중 콘크리트(m)	하부 슬래브(m)	중공부 벽체(m)	상부 슬래브(m)	RCD
P5	21.2	20×17×3	20×17×3	20×8×12.2	20×8×3	φ1.5m 20본
P6	26.55	27.5×21×3	27.5×21×3	27.5×12×15.55	27.5×12×5	φ1.5m 35본
P7	26.55	27.5×21×3	27.5×21×3	27.5×12×15.55	27.5×12×5	φ1.5m 35본
P8	17.1	20×13×4.2	20×13×3	20×8×6.9	20×8×3	φ1.5m 6본

스트러트를 해체하기 전에는 정수압, 파압, 유수압을 고려하여 Screw Jack의 용량과 개수를 결정하였고 설치시기는 재령에 따른 콘크리트의 지압 강도를 고려하여 결정하였다.

콘크리트는 가교와 Catwalk을 이용하여 육상에서 공급하였으며, P5, P8 수중 콘크리트에는 재료분리 저항성, 셀프레벨링성 및 충전성 등 많은 잇점이 있는 수중 불분리 콘크리트로 시공하였고, 전형적인 매스 콘크리트인 기초 상부 및 하부 슬래브는 수화열 해석을 수행하여 파이프 간격, 양생 방법, 양생 기간 등을 결정하고 시공함으로써 균열을 제어하였다. P6, P7 주탑 기초의 경우 주탑 Baseplate와의 접합을 위한 고강도 무수축 모르타르를 그라우트 주입 공법을 이용하여 시공하였다. <그림 2>는 사장교 기초의 콘크리트 시공 흐름도를 나타내고 있다.

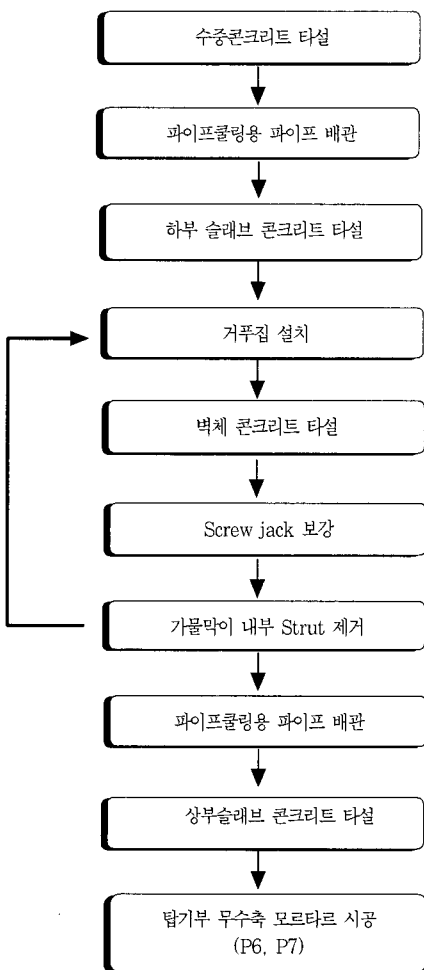


그림 2. 사장교 기초 콘크리트 시공 흐름도

3. 수중불분리 콘크리트

P6, P7은 트레미 공법을 이용하여 일반 콘크리트를 수중 타설하였는데 RCD 강관과 가물막이 H-beam 기둥 부근에 누수 현상이 발생하였다. 이는 트레미관 작업미숙 등 시공상의 문제점도 있었으나, 근본적으로 내부 스트러트 간섭과 가교와 Catwalk을 이용한 콘크리트 공급에 제한이 있는 등 작업 여건이 좋지 않은 가물막이에서 일반 콘크리트로는 수중에서 다수의 불연속면을 밀실하게 채우기 어려운 문제점이 있었다. 따라서 P5, P8 수중 콘크리트 중 일부는 수중 불분리 콘크리트를 이용하여 품질과 시공성을 개선하였다.

<표 2>에 수중 콘크리트 타설 현황을 간단하게 나타내었다.

수중불분리 콘크리트에서 시멘트는 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고 굵은 골재는 최대치수 25mm의 쇄석 골재를 사용하였으며 잔골재는 세척한 해사를 사용하였다. 혼화제는 백색 분말 형태인 Hydroxy ethyl cellulose 수중불분리성 혼화제(AWA)와 멜라민계의 유동화제(SP)를 사용하였다.

<표 3>에 현장에 적용한 배합비를 나타내었으며, 현장 실험실에서 굳지 않은 수중불분리성 콘크리트의 pH, 현탁물질량, 슬럼프 플로우 및 공기량 실험 결과와 경화된 콘크리트의 수중 및 기건 압축 강도 실험 결과를 <표 4>에 정리하였다.

표 2. 기초 수중 콘크리트 타설 현황

	P5	P6	P7	P8
수중 콘크리트 면적(m ²)	20×17	27.5×21	27.5×21	20×13
수중 콘크리트 높이(m)	3	3	3	4.2
수중불분리 콘크리트(m)	하부 1.5	사용안함	사용안함	하부 2.0
누수량(m ³ /hr)	거의 없음	17	18 m ³ /hr	거의 없음
누수 원인	-	트레미관 설치/이동 시간 지연 및 작업 미숙 압송배관 진동으로 타설장애	트레미관 설치/이동 시간 지연 및 작업 미숙 레미콘 공급 지연	-
누수 처리	-	누수 부위 표면부 그라우팅 처리함 배수로 2곳 설치 후 양수기로 펌핑	누수 부위 골착, air lifting 수행 후 수중불분리 콘크리트 타설하고 그라우팅 주입 배수로 2곳 설치 후 양수기로 펌핑	-

표 3. 수중불분리 콘크리트 시방 배합

구 분	W/C	s/a	Unit weight (kg/m ³)					
			W	C	S	G	AWA	SP
시방배합	50	46	210	420	746.1	869	1.68	6.3

표 4. 수중불분리 콘크리트 실험 결과

시험 항목	단 위	기 준	실험 결과
슬럼프 로우	cm	50±5	53
공기량	%	4이하	3.4
수중 낙하 시험	현탁물질 (mg/l)	150이하	122
	pH	12이하	11.5
수중 압축 강도	7일 (kg/cm ²)	130이상	165
	28일 (kg/cm ²)	230이상	220
기건 / 수중 압축 강도비	7일(%)	60이상	83
	28일(%)	70이상	85

수중불분리 콘크리트의 단위 수량과 단위 시멘트량, 물-시멘트비의 변화에 따른 압축 강도는 전반적으로 보통 콘크리트와 비슷하고, 잔골재율과 수중불분리 혼화제와 유동화제 사용량이 증가할수록 증가하는 경향이 있다. 실험에서 압축 강도가 다소 작게 나온 것은 수중불분리 혼화제가 혼합수의 0.8%이고 유동화제가 시멘트의 1.5%로써 사용량이 작았기 때문이라고 사료된다. 유동성과 재료 분리 저항성이 우수하고 수중불분리 콘크리트 타설의 주목적이 차수에 있으므로 상기 배합비를 현장 배합비로 채택하였다.

4. 수화열 관리

사장교 기초 상부 및 하부 슬래브와 같은 매스 콘크리트는 콘크리트의 배합 조건, 구조물의 구속 조건, 단위 시멘트량, 콘크리트 타설 온도, 양생 방법 및 재료, 콘크리트의 물성, 구조물의 형상, 기후 조건 등 각종 요인에 따라 온도와 응력의 이력이 다르기 때문에 적용 현장에 따라 적절한 품질 관리 방안이 요구된다.

당 현장에서는 5m 높이의 슬래브는 2회 타설하고, 3m 높이의 슬래브는 1회 타설하여 공기 단축을 도모함과 동시에 균열을 억제하기 위한 노력으로 파이프 쿨링을 이용하여 수화열에 의한 온도 상승량을 억제하는 방안과 양생포와 열풍기 등을 이용하여 콘크리트 중심부와 표면부의 온도차를 줄이는 방안으로 수화열을 관리하였다.

4.1 수화열 해석

수화열 해석은 해당 구조물의 형상과 외기 조건 등 열경계 조건 그리고 열적 특성을 입력하여 시간에 따른 온도 분포와 온도 응력을 구하는 과정이다. 범용 유한요소해석 프로그램인 DIANA를 이용하여 사장교 기초 상부 및 하부 슬래브의 수화열 해석을 수행하였으며 대상 구조물은 3차원으로 모델링하였다. 취약부에서 온도 균열 지수가 1.0 이상이 되도록 타설 높이와 파이프 쿨링 배관을 계획하였으며, <표 5>에 각 기초 슬래브의 해석 조건을 정리하였다.

파이프 통수 온도는 해수를 이용하였으므로 타설 시기의 해수 온도로 가정하였고, 콘크리트의 측면 온도도 강각 기물막이 skin plate를 사이에 두고 해수와 접해있으므로 해수의 온도로 가정하였다. <그림 3>~<그림 6>은 수화열 및 열응력 해석 결과를 나타내고 있다.

<콘크리트>

- 20절점 solid 요소
- 압축 강도 240 kgf/cm²
- 단위 시멘트량 304 kgf/m³, 플라이 애쉬 10% 사용
- 단열온도 상승곡선 : 콘크리트표준시방서
- 강도 발현 및 탄성 계수의 시간 이력 곡선 : ACI Committee 209

표 5. 사장교 기초 슬래브 수화열 해석 조건

	제 원(m)	콘크리트 타설 온도(°C)	파이프 통수 온도(°C)	초기 양생 온도(°C)	콘크리트 측면 온도(°C)
P5 하부슬래브	20×17×3	29	24	29	24
P6 하부슬래브	27.5×21×3	20	13	20	13
P7 하부슬래브	27.5×21×3	29	24	29	24
P8 하부슬래브	20×13×3	29	24	29	24
P5 상부슬래브	20×8×3	15	15	15	15
P6 상부슬래브 1차	27.5×12×2.3	22	15	22	15
P6 상부슬래브 2차	27.5×12×2.7	15	15	15	15
P7 상부슬래브 1차	27.5×12×2.3	22	15	22	15
P7 상부슬래브 2차	27.5×12×2.7	15	15	15	15
P8 상부슬래브	20×8×3	15	15	15	15

<파이프 쿨링>

- 2절점 pipe cooling 요소
- 외경 25.4mm 강관
- 2단 배관, 수평 배관 간격 1m
- 유속 16 l/min
- 통수 기간 14일

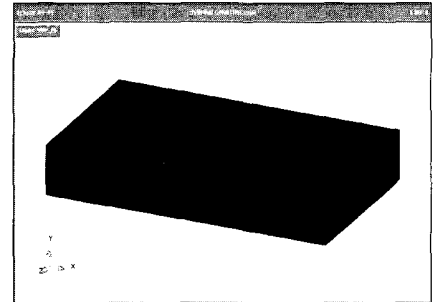


그림 3. P5 하부 슬래브 모델링

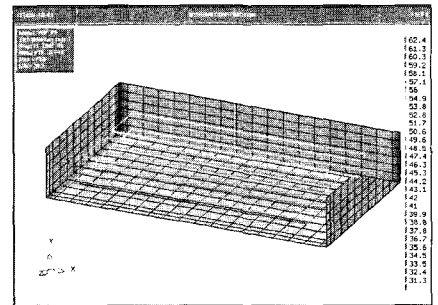


그림 4. P5 최대 온도 발생시 온도 분포

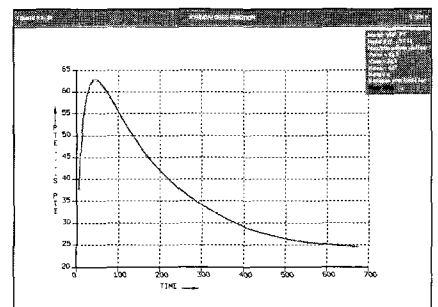


그림 5. P5 중심부 콘크리트 온도 이력

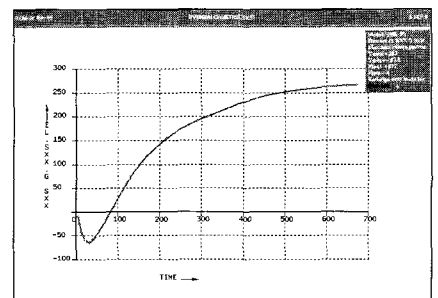


그림 6. P5 중심부 콘크리트 응력 이력

4.2 수화열 계측

〈그림 7〉과 같이 측정 위치 a에서 h까지 8개의 위치에서 콘크리트의 온도 계측을 수행하였으며, a에서 f까지는 콘크리트 표면에서 약 5cm 깊이에 매설하였고, 중심부 온도를 측정하기 위한 g와 h는 슬래브 중앙에 위치하도록 하였다. 또한 양생포 속에 1개소, 대기중에 1개소, 파이프 쿨링에 사용되는 유입 및 유출 용수 각각 1개소에 설치하였다.

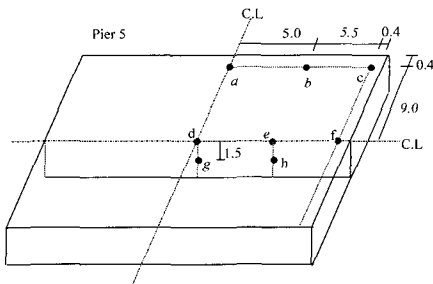


그림 7. 수화열 계측 위치

4.3 수화열 측정 결과

사장교 기초 슬래브는 6월부터 12월까지 타설하였으므로 콘크리트 타설 온도, 파이프 통수 온도, 양생 온도가 각각 다르다. 〈표 6〉에 나타나 있듯이 P5 하부 슬래브와 같이 예상 공정이 많이 변경된 경우에는 해석 조건과 실제 조건의 차가 컸

으나, 대체적으로 해석 조건과 유사했으며 파이프 통수온도의 경우에는 P6 하부 슬래브를 제외하고는 해석조건보다 낮았다.

콘크리트 타설 후 열전달 저감에 효과적인 비닐과 양생포를 이용하여 10일 동안 습윤양생을 수행하였으며, 10월부터는 비닐과 양생포 이외에 열풍기를 이용하여 콘크리트 표면부 온도의 하강을 방지하였다. 수화열 측정 결과 중심부 최고 온도와 온도 상승량 및 중심부와 표면부 온도 차이를 해석 조건과 비교하여 〈표 7〉에 나타내었다.

최초 타설한 P6 하부 슬래브의 경우 파이프 통수 온도가 높았고 통수량이 계획대

로 관리되지 않아서 온도 상승량이 다소 컸으나, 해석시 하부를 완전 구축한 불리한 조건을 감안하면 응력의 여유가 있었을 것으로 판단된다. 이후 파이프 쿨링 관리를 철저히 수행한 다른 슬래브들은 해석치와 유사하거나 작은 온도 상승량을 나타내었다.

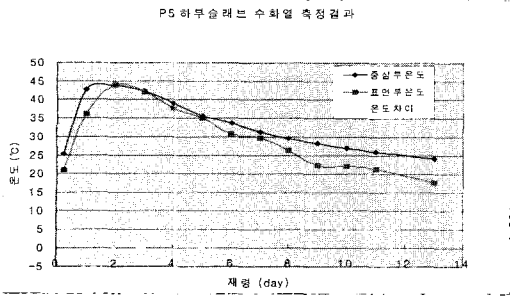
중심부와 표면부의 온도 차이는 대부분 목표치인 15°C 이내로 관리되었으며, 콘크리트 타설 온도 보다 높은 온도로 양생이 이루어진 점도 초기 압축 강도(인장 강도)와 탄성 계수를 증가시키므로 초기 균열 방지에 효과적이었다. 실제로 양생 기간이 지난 후 육안 조사를 수행한 결과 수화열에 의한 균열은 발견되지 않았다.

표 7. 수화열 측정 결과

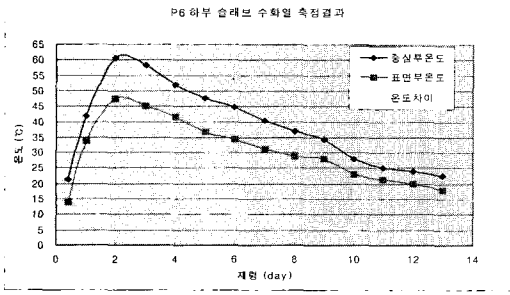
	해석 조건		측정 결과		
	중심부 최고 온도(°C)	온도 상승량(°C)	중심부 최고 온도(°C)	온도 상승량(°C)	중심부와 표면부 온도 차이(°C)
P5 하부 슬래브	63.5	34.5	44.0	26.0	0~5
P6 하부 슬래브	57.0	37.0	60.6	41.6	4~13
P7 하부 슬래브	66.2	37.2	67.6	39.6	0~20
P8 하부 슬래브	64.0	35.0	66.2	38.2	8~12
P5 상부 슬래브	53.8	38.8	47.0	36.0	5~15
P6 상부 슬래브 1차	53.4	31.4	47.0	32.0	7~14
P6 상부 슬래브 2차	46.7	31.7	47.2	32.2	5~12
P7 상부 슬래브 1차	53.4	31.4	47.3	32.3	5~15
P7 상부 슬래브 2차	46.7	31.7	47.7	32.7	5~13
P8 상부 슬래브	53.8	38.8	50.0	30.0	5~14

표 6. 수화열 해석조건과 실제 타설 조건

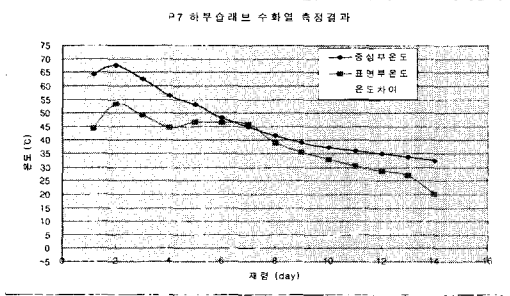
	해석 조건			타설 조건					
	타설온도(°C)	파이프 통수 온도(°C)	초기 양생 온도(°C)	타설 온도(°C)	파이프 통수 온도(°C)	초기 양생 온도(°C)	양생 방법	양생일(일)	타설일
P5 하부 슬래브	29	24	29	18	18	23	비닐+양생포	10	09.29 12:00
P6 하부 슬래브	20	13	20	19	20	20	비닐+양생포	10	06.22 15:40
P7 하부 슬래브	29	24	29	28	25	35	비닐+양생포	10	08.08 10:00
P8 하부 슬래브	29	24	29	28	26	30	비닐+양생포	10	08.28 08:00
P5 상부 슬래브	15	15	15	11	6	25	비닐+양생포+열풍기	10	12.18 22:00
P6 상부 슬래브 1차	22	15	22	15	5	18	비닐+양생포+열풍기	10	11.08 17:00
P6 상부 슬래브 2차	15	15	15	15	10	19	비닐+양생포+열풍기	10	11.26 17:35
P7 상부 슬래브 1차	22	15	22	15	6	19	비닐+양생포+열풍기	10	12.17 22:00
P7 상부 슬래브 2차	15	15	15	15	5	19	비닐+양생포+열풍기	10	12.08 21:30
P8 상부 슬래브	15	15	15	20	17	25	비닐+양생포+열풍기	10	10.26 16:00



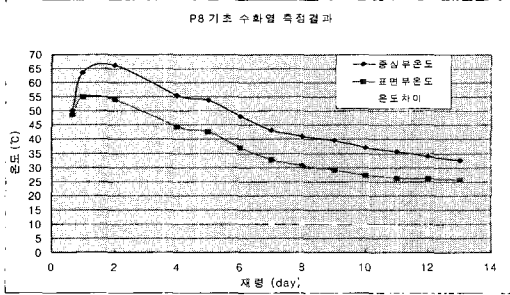
(a) P5 하부 슬래브



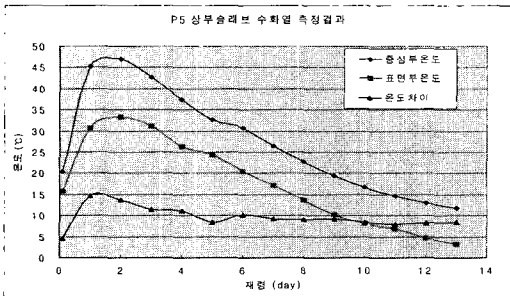
(b) P6 하부 슬래브



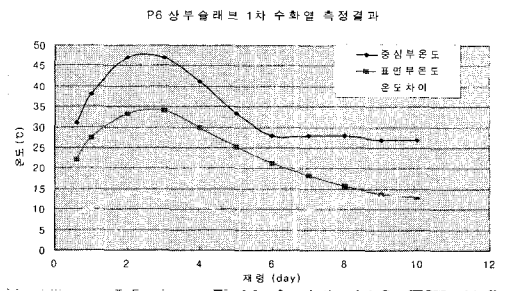
(c) P7 하부 슬래브



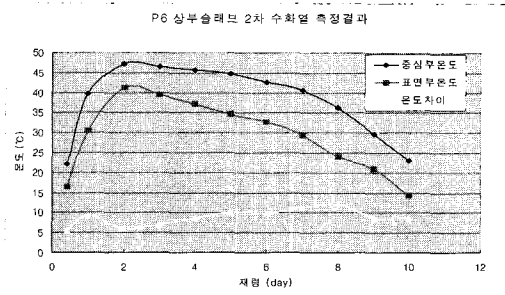
(d) P8 하부 슬래브



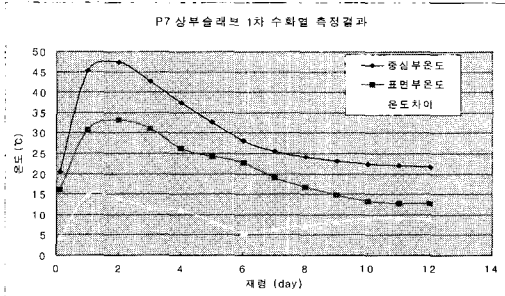
(e) P5 상부 슬래브



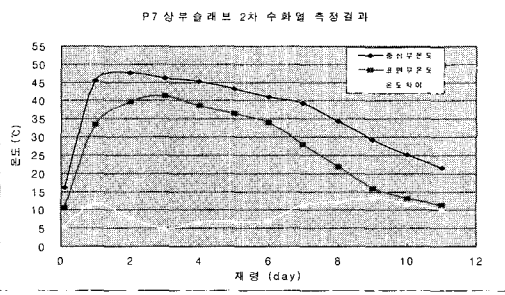
(f) P6 상부 슬래브 1차



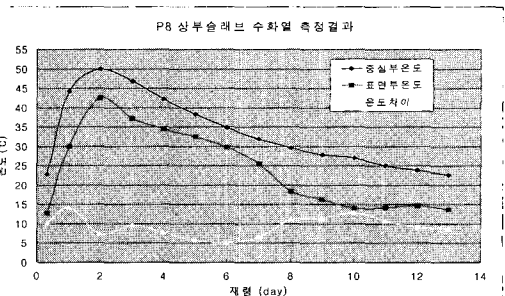
(g) P6 상부 슬래브 2차



(h) P7 상부 슬래브 1차



(i) P7 상부 슬래브 2차



(j) P8 상부 슬래브

그림 8. 사장교 기초 수화열 측정 그래프

〈그림 8〉는 각 슬래브의 중심부 온도, 표면부 온도, 중심부 표면의 온도 차이를 나타내고 있으며, 중심부 온도는 게이지 g의 온도이며, 표면부 온도는 게이지 a~f의 평균값이다.

5. 탑 기부 무수축 모르타르 시공

사장교 기초와 주탑 baseplate의 접합면은 주탑 및 보강형의 자중과 케이블로부터 전달되는 압축력을 받게 되므로 콘크리트의 지압 파괴가 발생하지 않도록 고강도로 시공되어야 하고, 탑 상부 케이블 정착구의 정밀도를 위하여 1/10000 이상의 수평도를 유지하도록 하여야 한다. 일반적으로 기초와 baseplate를 접합하는 방법으로는 연마 공법과 그라우트 주입 공법이 사용되어 왔는데 당 현장에서는 그라우트 주입 공법을 적용하였다.

5.1 그라우트 주입 공법

주탑 baseplate와 기초와의 간격 76.5mm을 유동성이 좋은 고강도 무수축 모르타르로 충전하는 공법으로써 충진율 90% 이상이 되도록 하여야 한다. 현장에서 사용한 무수축 그라우트재의 특성을 〈표 8〉에 나타내었다.

Baseplate는 폭 4.65m×5.1m에 두께 200mm인 후판이며, 무수축 모르타르

표 8. 그라우트재의 특성

구분	SEILCON PM-2	시험 방법
유동성(Flow)	28초	CRD C611
응결 시간	7시간 10분	ASTM C191
팽창율	0.07%	CRD C611
수축율	0%	CRD C611
7일 압축 강도	450 kgf/cm ²	ASTM C109
28일 압축 강도	672 kgf/cm ²	ASTM C109

표 9. Bag pipe 재질

구분	Bag pipe
Size	φ 200 mm
인장 강도	10 tonf/m
인장 신도	10~40%
투수 계수	2~4 cm/sec
재질	폴리에스터
중량	300 gf/m ²

를 충전할 블록 아웃의 크기는 5.25m×5.7m로 하였다. 블록 아웃 전면적을 한번에 그라우트하면 내부에 공기가 갇힐 수 있고, 모르타르의 균질한 충전, 반죽 절기, 응결 등을 확보하기 어려우므로 〈표 9〉의 성질을 가진 bag pipe를 격벽으로 이용하여 5개의 cell로 구분하여 순차적으로 모르타르를 주입하였다.

그라우트 주입 공법으로는 hopper를 높게 설치하여 중력을 이용한 자연 주입 공법과 기계압을 이용한 펌프 주입 공법이 있다. 당 현장에서는 자연 주입 공법을 채택하였으며, 내부의 갇힌 공기를 배출하기 위한 air vent는 별도로 제작하지 않고 기존의 24개의 앵커 볼트와 hole사이의 여유간격을 이용하였다.

앵커 볼트의 직경은 φ125mm이고 base-plate의 hole은 φ140mm이므로 개당 31.2 cm² 면적의 air vent 역할을 한다. 〈그림 9〉와 〈그림 10〉에 실시공시 bag pipe의 간격, 타설 순서 및 장비 배치를 나타내었다.

그라우트 주입 공법의 시공 순서와 시공시 유의점을 정리하면 다음과 같다.

1. 콘크리트 면처리
 - 콘크리트 표면의 이물질 완전 제거
 - 습윤 상태 유지
2. 거푸집 설치
 - Dummy plate 설치
 - 배출구에는 자연스러운 overflow가 발생하도록 함

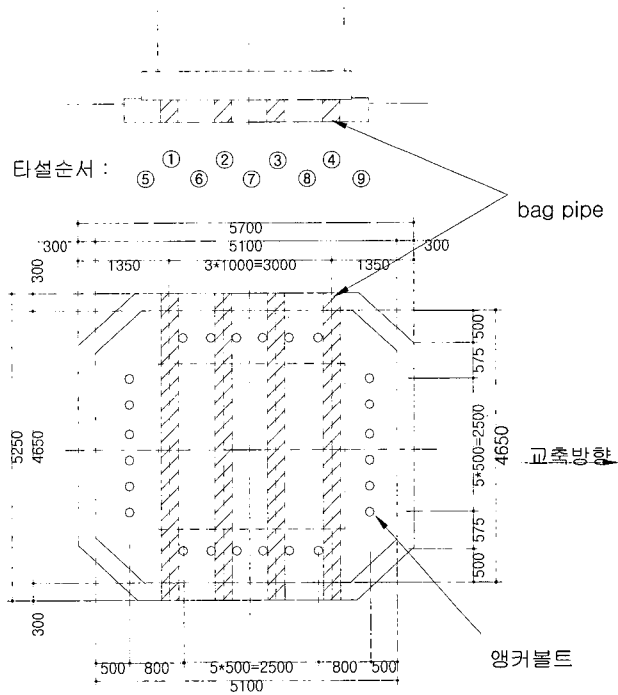


그림 9. Bag pipe 간격 및 타설순서

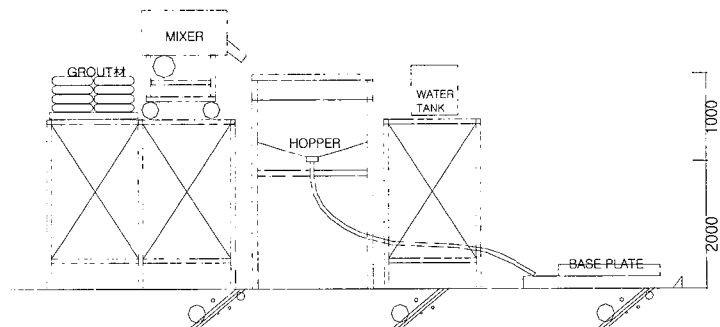


그림 10. 그라우트 장비 배치도

3. bag pipe 설치

- 물축입후 1시간 정도 자연 건조하여 포화 상태가 되도록 함
- 봉재선은 bag pipe 내부 아래에 위치하도록 함

4. 그라우트 타설 준비

- 타설시 10℃ 이상 유지
- 혼합수 온도는 15℃~25℃ 유지
- 콘시스턴시 측정(7.5±0.5초)
- hopper와 주입 호스는 마찰 저항이 최소가 되도록 함

5. bag pipe에 모르타르 주입

- 응결의 불연속이 발생하지 않도록 1회 사용량을 한번에 mixing
- 압력을 유지한 상태에서 호스를 벨브에서 제거.

6. 격벽 모르타르 주입

- 내부 공기가 빠져나갈 수 있는 air vent 설치
- bag pipe 주입후 3~4시간 경화 후 모르타르 주입
- 주입 속도와 주입량을 일정하게 유지
- 충분히 overflow 시킴

7. 양생

- 외기 온도가 5℃ 이상 유지 (열풍기 사용)
- 충격이나 진동 방지.

5.2 모의 실험

그라우트 주입 공법과 타설 방법을 결정하기 위하여 여러 차례의 모의 실험을 수행하였다. 주로 자연 주입 공법에 대하여 실험을 수행하였으며, 내부 공기를 효율적으로 배출하고 균질한 충진을 위

한 낙하고, 응결 시간, 물 시멘트비, overflow량 및 거푸집 높이 등을 검토하였다. 당 현장에서 실험으로 구한 최적의 그라우트 자연 주입 방법은 <표 10>과 같다.

상기 주입 방법으로 <그림 11>과 같이 모의 실험을 수행하였다. 장변은 4.65m로 실물과 동일하게 하였고 단변은 2.55m로 3개의 cell로 구성하였으며, 앵커 볼트 주위에 4개의 φ22 hole을 뚫어 내부 공기가 빠져나가게 하였다. 그라우트 모르타르의 consistency는 시방서 규준이 7.5±0.5초이므로, A부분은 8초, B부분은 7.5초, C부분은 7초로 consistency를 제작하여 실험하였다. 그라우트를 주입하고 3일 동안 습윤 양생 시킨 후 baseplate

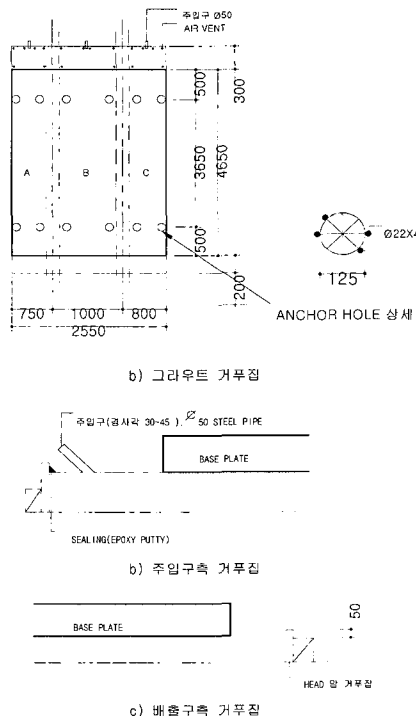


그림 11. 그라우트 모의 실험 제원

를 해체하여 그라우트 표면을 관찰한 결과 <사진 6>과 같이 모르타르의 consistency가 7~7.5초인 B, C 구간의 경우에는 표면 공극 및 불연속 면이 거의 발생하지 않았다. 충전성이 가장 안 좋았던 A 구간도 충전율을 조사해본 결과 96%으로써 시방 규준에 만족하는 것으로 나왔다.

6. 결론

영흥대교 사장교는 기초에서 케이블공까지 순수 국내 기술진에 의하여 시공된 최초의 사장교로써, 축적된 기술력과 시공력을 바탕으로 성공리에 공사가 수행되어 올해 말(2001년 12월) 완공될 예정이다.

사장교 기초는 RCD+강각 가물막이 공법으로 시공되었으며, 수중불분리 콘크리트를 이용하여 가물막이 차수를 수행하였고, 매스 콘크리트인 기초 슬래브는 수화열 해석을 통해 타설 높이, 파이프 간격, 통수 기간 등을 결정하여 균열 제어를 도모하였으며, 실험을 통한 최적의 자연 주입 공법을 채택하여 탑 기부 접합면 무수축 모르타르를 그라우팅 하였다.

기초 시공의 모든 과정이 실험과 해석을 통하여 결정되었으며, 공기 단축과 원가 절감을 위한 최적의 조건을 찾으려 노력하였다. 이러한 시공 과정 및 유의점들을 본고에 정리하였으니 향후 유사한 현장에 관여하는 기술자에게 다소나마 도움이 되었으면 한다. □

표 10. 모의 실험 그라우트 자연주입 방법

주입 공법	자연 주입 공법
낙하고	2m
bag pipe 응결 시간	4시간
overflow 량	30%
배출구 거푸집 높이	base plate보다 5cm 높임
물 시멘트비	19%
분당 주입량	50l/min
주입 호스 길이	3m 이하



사진 6. 그라우트 모의 실험 결과