

부산~거제간 연결도로 해상교량기초 그라우팅 시공사례 연구 Application of Grouting of the Sea-Crossing Bridge Foundation in Busan-Geoje Fixed Link

박충환¹⁾, Chung-Whan Park, 정상균²⁾, Sang-Kyoon Jeong, 정경환³⁾, Gyeong-Hwan Jeong,
신민식⁴⁾, Min-Sik Shin, 박찬우⁵⁾, Chan-Woo Park, 권진욱⁶⁾, Jin-Wook Kwon

¹⁾ (주)대우건설 상무, Managing Director, Construction Dept. Daewoo E&C Co., Ltd.

²⁾ (주)대우건설 대리/공학박사, Assistant Manager, Construction Dept. Daewoo E&C Co., Ltd.

³⁾ (주)동아지질 대표이사/공학박사, CEO, Dong-A Geological Engineering Co., Ltd.

⁴⁾ (주)동아지질 부장, General Manager, Dong-A Geological Engineering Co., Ltd.

⁵⁾ (주)동아지질 차장, Deputy General Manager, Dong-A Geological Engineering Co., Ltd.

⁶⁾ (주)동아지질 차장, Deputy General Manager, Dong-A Geological Engineering Co., Ltd.

SYNOPSIS : It was applied the grouting method to fill densely the space between the bottom of the caisson and the ground with the grout mixture mixed with anti-washout admixture after locating accurately the precast caisson on three concrete landing pads. but it is far different from a costly conventional method, which place concrete to build the foundation of reinforcement concrete on the spot after excavating inside of the temporary coffering wall for the bridge foundation in the sea.

To verify the grouting method in advance, the full-scale trial test was performed twice on the land. After confirming the fluidity of material for the injection and some possible problems during construction and then enhancing the original design, the main process is ongoing and it has been finished 12 spots until now.

The purpose of this study is to introduces for the first time in Korea the grouting method including the automatic and the manual monitoring process applied to, based on the main process of the caisson foundation finished already in the site.

In a similar construction it is sincerely expected to be referred to in the future.

Keywords : Full-Scale Trial Test, Caisson Foundation, Mortar Grout, Self-Levelling, Monitoring System

1. 서론

부산~거제간 연결도로는 국지도 58호선으로서 교량구간의 총연장은 4219.5m이고, 주예비항로부 LOT2와 부예비항로부 LOT1이 설치되는 사장교구간(LOT1:3주탑사장교, LOT2:2주탑사장교)과 접속교구간(접속1,2,3과 4교)으로 구성되어 있다. 사장교의 주탑부를 제외한 나머지 부분은 제작장에서 Precast로 미리 제작(케이슨, 교각, 코핑, 상판 등)하여 현장으로 운반한 후 조립하는 방법으로 시공된다. 본 사업의 교량 하부기초 케이슨은 총 23기(LOT1 P2~P13:12개소, LOT2 P1~P13:11개소)로 계획되어 있으며 구간별 교량현황 및 세부구성은 그림 1~3과 같다.(정상균 등 2005)

Precast로 제작된 교량 기초케이슨은 현장에 미리 설치된 3개의 Landing Pad위에 거치되며 케이슨 슬래브 저면과 원 지반사이를 일체화하기 위하여 수중 불분리재를 사용한 그라우트재를 주입하는 공법이 적용되었다.



그림 1. 사정교 구간 주변현황

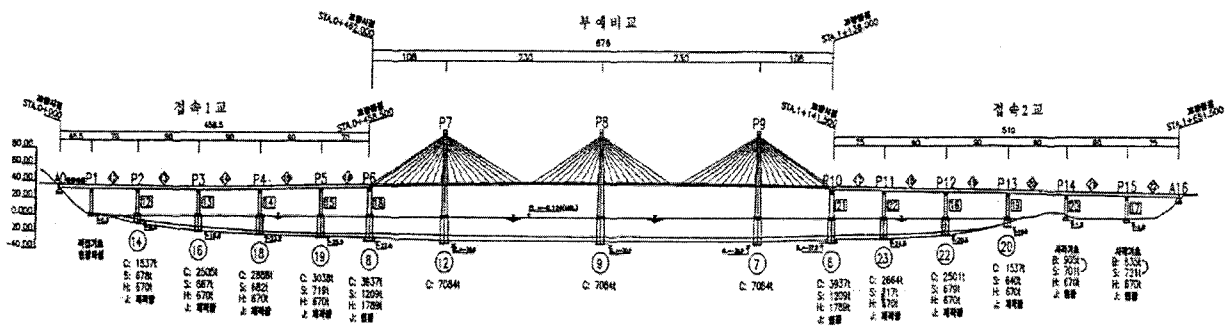


그림 2. 부예비항로부 LOT1의 교량현황

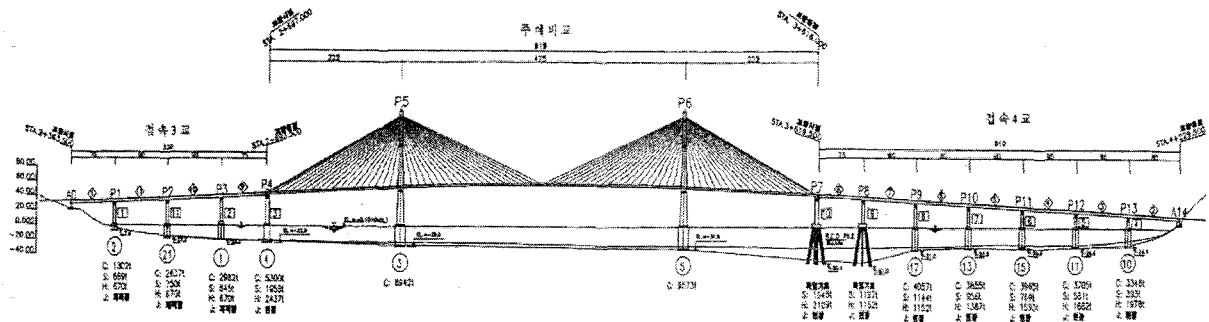


그림 3. 주예비항로부 LOT2의 교량현황

2. 기초공법 선정

최근까지 시공된 국내 해상기초 사례를 정리하면 표 1과 같고, 본 현장의 기초형식인 케이슨기초가 채택된 일본 시공사례를 정리하면 표 2와 같다.

표 1. 국내 해상기초 사례분석

교량명	위치	교량형식	기초형식
남해대교	경남 하동~남해	현수교	우물통 기초
돌산대교	전남 여수	강 사장교	뉴메틱케이슨
진도대교	전남 해남	강 사장교	직접 기초
나로도연도교	전남 고흥	PSC 상자형교	우물통 기초
서해대교	경기도 평택~충남 당진	강합성 사장교 / PSC 상자형교	우물통기초 / 현장타설말뚝
광안대교	부산광역시	현수교	Steel 케이슨 / 현장타설말뚝
초양대교	경남 사천	중로식 케이블 아치교	직접 기초
삼천포대교	경남 사천~남해	강합성 사장교	우물통 기초
영종대교	인천광역시	강합성교 / 현수교	뉴메틱케이슨 / 현장타설말뚝
영흥대교	인천광역시	강 사장교 / 강합성 상형교	Steel 케이슨/RCD 기초
북항대교	부산광역시	강합성 사장교	현장타설말뚝
인천대교	인천광역시	사장교	현장타설말뚝(RCD)

표 2. 일본 해상 케이슨 기초 사례

구분	Hitsuishijima교		Iwakurojima교			Kurushima Kaikyo교			
	HB2P	HB3P	1B2P	1B3P	1B4P	3P	5P	2P	9P
교량의구분	3경간 연속사장교		3경간 연속사장교			3경간 연속 현수교			
케이슨 규격(m)	46×25×32.5	46×29×30.5	46×18×17.5	46×22×26.5	32×36×16.5	43×26×47	Dia 48×39	15×41×13	23×49×23
케이슨 중량(tonf)	2,570	10,500	1,100	1,800	2,800	2,672	2,240	2,320	11,600
케이슨 시공법	강재 케이슨		강재 케이슨			강재 케이슨		콘크리트 케이슨	

구분	Minami,Kita Bisan-Seto교					Akashi Kaikyo교		
	BB2P	BB3P	BB4A	BB5P	BB6P	BB7A	2P	3P
교량의구분	3경간 연속 보강트러스 현수교					세계 최대3경간 현수교		
케이슨 규격(m)	57×23×13	57×23×13	62×57×13	59×27×37	59×28×55	59×75×55	Dia 80×65	Dia 78×63
케이슨 중량(tonf)	1,300	1,300	2,000	9,300	11,900	20,000	15,000	14,000
케이슨 시공법	강재 케이슨					강재 케이슨		

본 과업의 사장교 기초형식은 현장여건 및 국내의 적용사례 조사를 토대로 선정된 콘크리트 케이슨 기초로서, 상부에서의 하중을 기초저면 전체가 받는 구조로 계획되었다. 케이슨 거치를 위한 해저 굴착은 장비의 정밀성으로 인해 토공 계획면의 평탄성 확보가 어려울 것으로 예상되어 토공을 완료한 굴착면에 별도의 PAD를 거치하고 상부에 케이슨을 거치하는 것으로 계획하였다. 따라서, 케이슨 거치시 케이슨 바닥 슬래브의 하부와 굴착면 사이에는 공극이 발생할 가능성이 있으므로 별도의 충전이 필요하다. 이에 따라 본 공사에 적용되는 수중 불분리 모르타는 케이슨 저판과 기초 암반사이를 확실하게 충전할 수 있는 성능과 하중 전달에 필요한 강도를 가지는 품질이 요구되므로, 수중 모르타의 배합 및 충전기술이 뒷받침되어야 한다.

충전 대상인 케이슨 기초의 크기는 11m×17.5m~41m×20.25m의 총11개 Type이며, 그림 4는 규모가 가장 큰 Lot2-P5의 단면을 나타내고, 굴착오차는 그림 5에서 보는 바와 같이 계획 굴착 Level에서 +20cm~-30cm로 최대 65cm의 공극을 충전하는 것으로 계획하였다.

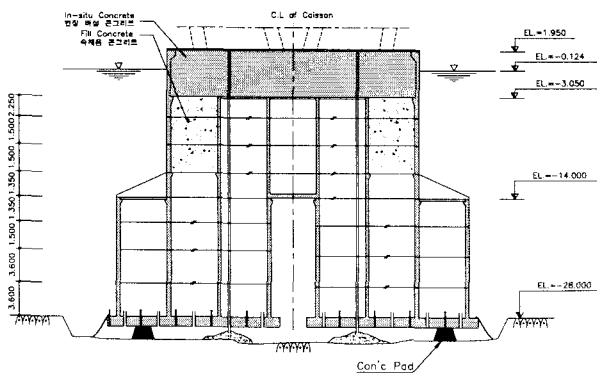


그림 4. 케이슨 설치 대표단면(Lot2-P5)

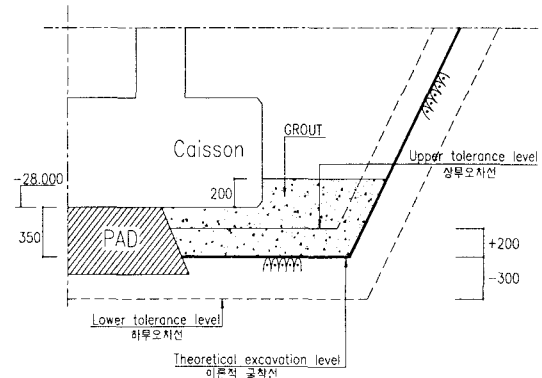


그림 5. 케이슨 하부 그라우팅 충전단면

3. 배합설계 및 배합시험

사장교 Caisson 기초 하부에 사용될 그라우팅용 모르터에는 구조물의 내구성 향상 및 시공성을 동시에 만족시키기 위하여 고로슬래그 시멘트를 사용하였고, 수중불분리성 혼화제와 고성능 AE 감수제를 병용하여 재료분리 저항성의 향상과 충전성을 높이고자 하였다.

배합설계를 위하여 콘크리트 표준시방서에 의해 기준강도를 설정하고 배합강도를 다음 식과 같이 결정 후 실내 배합을 실시하였으며, 안전을 고려하여 당초의 시방기준안인 90일 강도를 28일 설계강도로 설정하였다.

$$F28 = (15/0.8) \times 1.25 = 23.4(\text{MPa}) \quad (1)$$

실내 시험에서 결정된 시방배합을 현장 B/Plant에서 생산하여 모르터의 물리적 성질 및 시간에 따른 물성 변화를 측정하였다. 각 혼화제 생산회사의 제품별로 그라우팅 모르터를 배합하여 Slump Flow, 탁도 및 pH, 공기량과 압축강도의 기본적 품질특성을 시험한 결과를 그림 6의 그래프에서 나타내었다.

그림 6에서 나타난 바와 같이 Slump Flow의 변화는 혼화제 회사에 따라 약간의 차이를 나타내었으나 5시간까지의 Slump Flow 유지효과는 양호한 것으로 나타났다. 탁도 및 pH는 50mg/l이하로 나타났고 공기량은 Max. 5.5%로 최초치가 측정되어 콘크리트 기준보다는 역시 높은 측정치를 보였다.

일반적으로 수중불분리성 혼화제를 사용한 모르터의 압축강도는 응결시간의 지연으로 초기강도의 저하와 수중타설시 재료분리로 인하여 장기강도가 저하되는 특징을 가지고 있으나, 현장 적용시험에서의 강도특성은 초기재령 2일, 7일, 28일강도가 모두 배합설계시의 강도와 동등 이상의 결과치를 나타내었고 수중과 기중대비 약 80% 이상의 강도 발현을 나타내었다.

이는 B/P 시험에서 사용된 시멘트 및 잔골재의 품질과, 수중불분리성 혼화제의 성능이 잘 조화되어 Slump Flow 등의 제반 품질이 품질기준에 맞게 관리되어 나타난 결과이므로 추후 지속적인 원재료의 품질관리나, 표면수의 보정 및 정확한 생산관리가 품질 유지에 중요한 역할을 할 것이라 판단되었다.

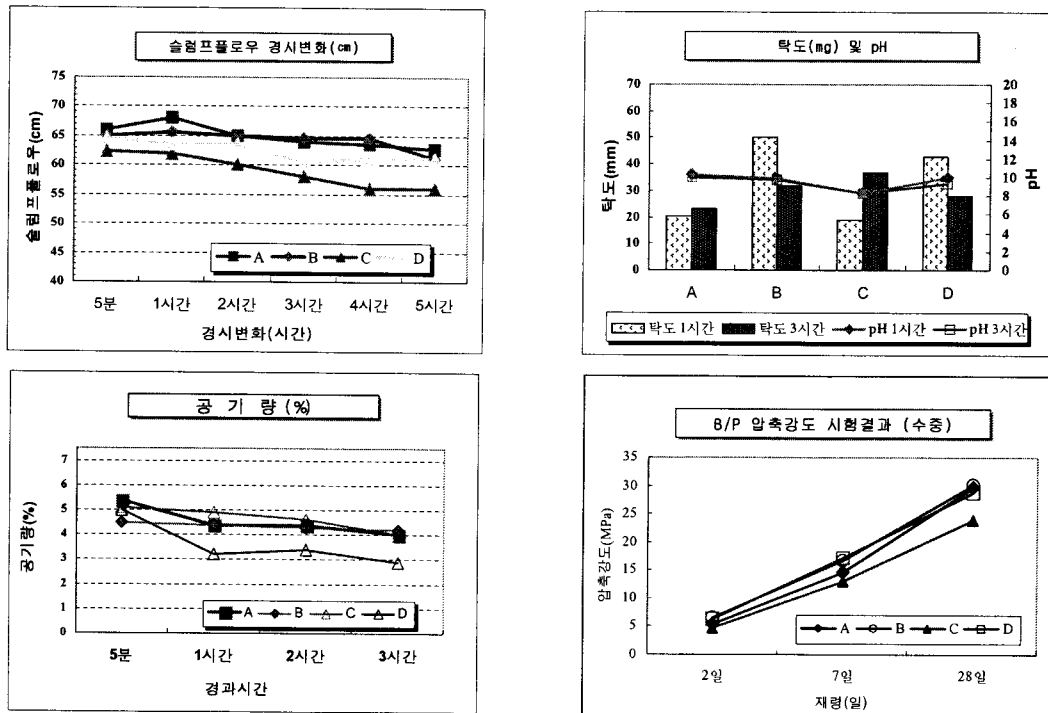


그림 6. 그라우팅 모르터의 품질특성

모르터의 유동성은 실제 시공시 충전에 유리하도록 충분한 Self-leveling 성능을 갖고 있었으며 Slump Flow의 경시변화는 5시간까지 측정된 결과 품질규격에서 요구하는 성능을 충분히 만족하는 것으로 나타났다. 수중불분리체를 혼합한 그라우팅 모르터의 응결시간은 초결은 15시간 이상, 종결은 24시간 이내로 수심 약 30m의 수중에 타설될 모르터의 선, 후 타설에 따른 Bonding에 문제가 없을 것으로 판단되었다. 또한, B/P 시험을 통하여 얻은 재령 28일 강도는 배합설계의 목표강도를 충분히 만족하였다. 그라우팅용 모르터의 충전성, 유동거리 및 강도발현 등 실제 시공시 주요 요구조건들은 실험을 통하여 확인하였다.

4. 실험모형시험

4.1 시험장치 및 방법

실험모형시험은 케이슨 기초 저면부의 그라우팅 시공방법에 대하여 현장여건을 고려한 실험크기의 모형을 제작하여 시험을 실시함으로써, 본 시공시 적용될 시스템을 점검하고 발생 가능한 문제점 등을 사전에 파악하여 적절한 대책을 수립하기 위하여 수행되었다.

시험장소를 지정, 부지 정리작업을 실시한 후 바닥 콘크리트를 타설하고, 본 시공시 설치 예정인 콘크리트 PAD 3개를 사진 1과 같이 제작하였다.

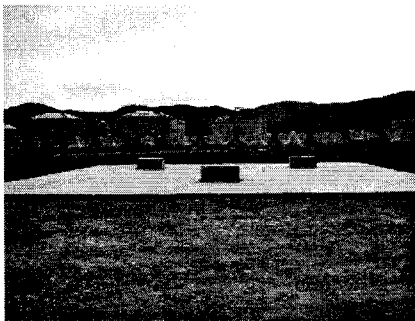


사진 1. 콘크리트 PAD설치

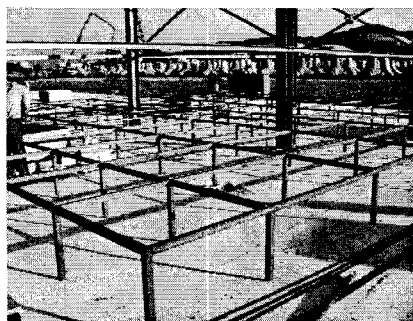


사진 2. 수조제작



사진 3. Trench Flap 설치

사진 2와 같이 내부수조를 제작하고 1차시험시 투명한 아크릴 2면, Steel Plate 2면을 설치하고, 2차 시험에서는 투명 아크릴 4면의 시험수조를 제작 한 후 케이슨이 설치되는 해저면의 굴착오차를 감안하여 그라우트재의 유동 및 충전에 저해요인이 되도록 모르터 또는 전석(직경200mm정도)으로 +20cm 이내의 거친 굴착면을 임의로 조성하였다.

사진 3과 같이 2면만 Trench Flap을 설치하여 그라우팅시의 작동여부를 확인하고, Trench Flap이 설치되지 않은 2면은 그라우트재의 충전상황과 유동거리를 육안으로 관측하였다. 그라우트재 충전상황을 확인하기 위한 자동계측장치를 Vent Hole 아크릴 파이프 내의 상·하부에 충전감지센서와 온도센서를 각각 2개씩 설치하였다.

그라우트재 주입작업을 위한 상부지지 구조물을 설치하고 압송 및 주입파이프와 파이프 하단에 밸브를 설치하여 조절가능토록 한 후, 수조안에 해수를 채우고 조류 발생을 위한 수중펌프(2inch) 4대를 배치하였다. 사진 4는 실험모형시험 수조의 완성 후 전경이고, 그림 7은 설치단면을 나타낸다.

PC 제작장 Batch Plant에서 제작된 수중 불분리 모르터를 1개소의 주입공을 통해 주입하여 유동거리를 확인하고 순차적으로 나머지 주입공을 통해 주입하면서 내·외부수조 아크릴판에 기 설치된 육안관측용 눈금자를 통해 유동거리 및 유동구배를 확인하는 동시에 자동계측 및 외측수조의 육안관측을 통하여 Self-Levelling, 재료분리 여부 등을 확인하였다. 이후, 자동계측장치와 연결된 Data Logger를 통해 육안 관측 결과와 비교하여 충전감지 상태를 점검하였다.

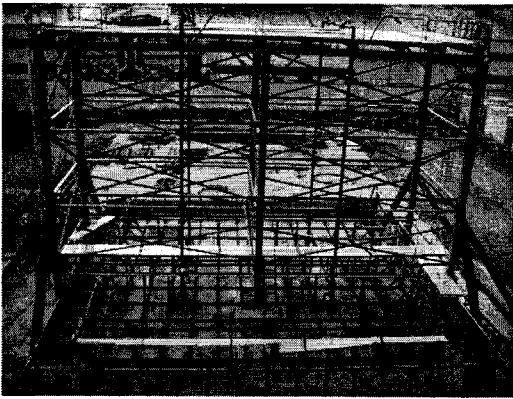


사진 4. 실대모형시험 수조 전경

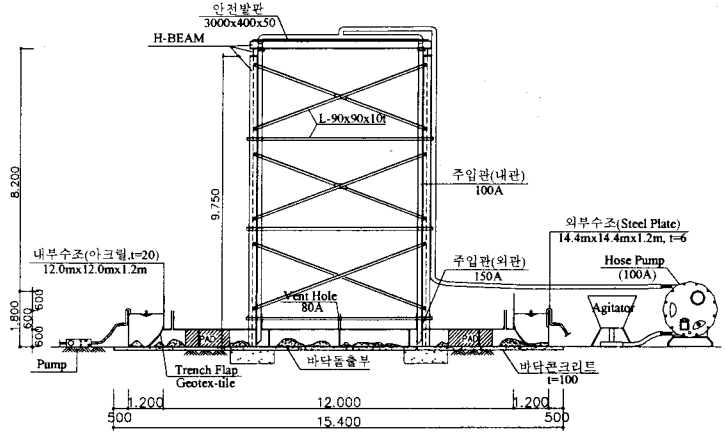


그림 7. 실대모형시험 수조 단면도

4.2 시험결과 분석

4.2.1 유동성

그림 8과 같이 충전감지센서(B1~B11)를 1.5m 간격으로 11개소에 설치하고, 12m 이격된 B8센서가 반응할 때까지 2번 주입공(I-2)에서만 그라우트 주입을 실시하였는데, 실시공시 주입간격인 5.5m(B5)까지는 30분정도 소요되고, 시험시 최대거리인 12m(B8센서)까지는 2시간 정도가 소요되었다.

그림 9에 의하면 2번 주입공을 기준으로 좌·우 대칭으로 설치된 (B1~B3)과 (B9~B11)의 충전감지센서가 대칭적인 포물선 형태의 거리별 충전속도 그래프를 나타내는데, 주입공에서 이격거리 4.5m까지는 50cm/min에서 10cm/min으로 충전속도가 급격히 느려지지만 이격거리 6.0m이상인 경우는 약7.5cm/min의 일정한 속도가 유지되어 그라우트재가 충분한 유동성을 가짐을 알 수 있다.

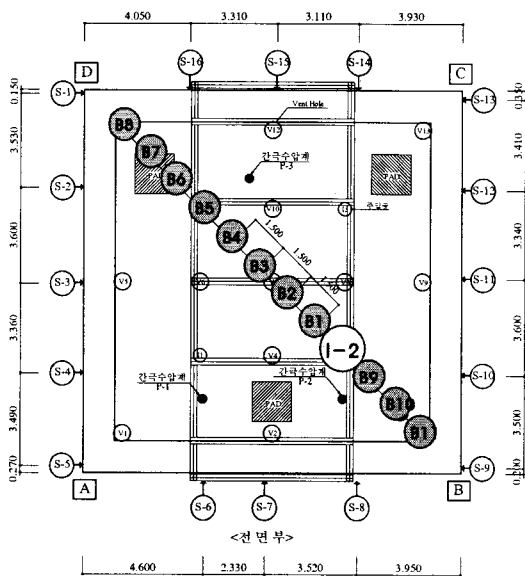


그림 8. 수조 바닥 충전감지센서 배치

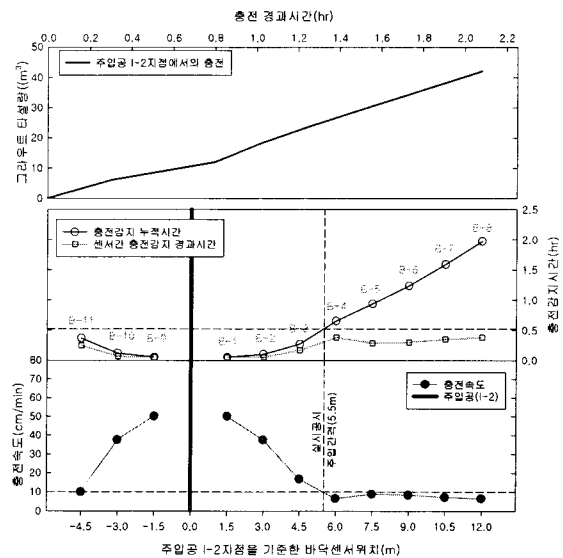


그림 9. 수조 바닥 충전감지센서 측정결과

4.2.2 Self-Levelling

외부수조 모서리를 구역별로 눈금자와 주입공으로 구분하여 10cm씩 충전되는 각 단계별로 소요시간을 측정한 결과 그림 10과 같이 주입공에서 이격될수록 콘크리트 PAD나 수조 모서리부에 위치하면 충전시간이 많이 소요되는 것으로 나타났다.

주입공 I-2지점을 기준하여 이격거리가 비슷하고, 콘크리트 PAD의 영향이 없는 외부수조 눈금위치

S-7, 8, 10, 11에 대하여 경과시간에 따른 그라우트 충전높이를 비교하면 그림 11과 같이 충전고 60cm 까지 도달하는 양상이 유사한 것으로부터 Self-Levelling이 무난하게 이루어지고 있음을 알 수 있다.

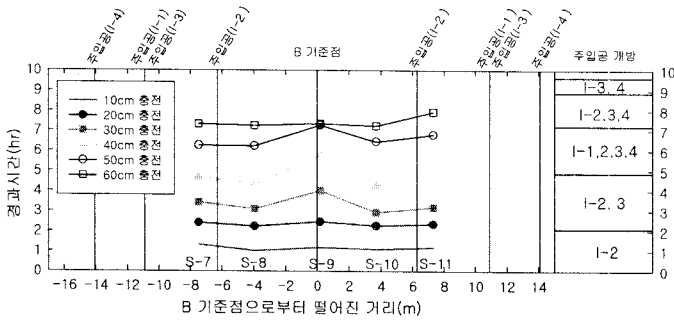


그림 10. 경과시간에 따른 외부수조 관측(모서리부 B)

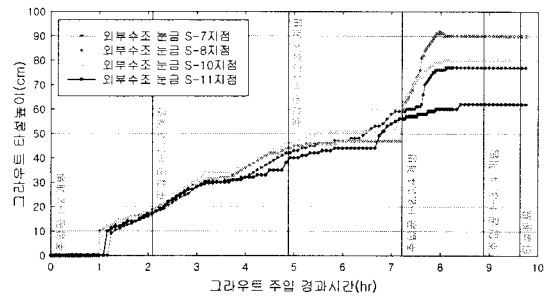


그림 11. S-7, 8, 10, 11지점의 육안관측 결과

그림 12는 자동계측기 배치를, 그림 13은 설치단면을 나타내며, 측정결과 그림 14와 같이 1차 충전 감지센서(바닥으로부터 50cm)는 주입 후 5~7시간 이내에 V-1, V-13을 제외하고 모두 감지되었다. 전술한 것과 같이 모서리부에 위치한 V-1, 3, 11, 13의 충전시간이 많이 소요되었으며, V-2, 11, 13지점은 콘크리트 PAD의 영향으로 좀 더 많은 시간이 걸린 것으로 판단된다.

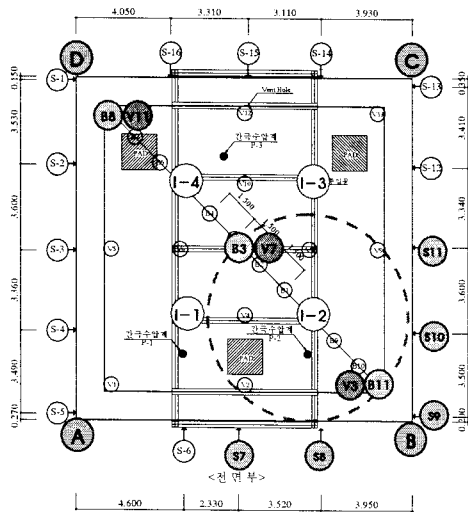


그림 12. 자동계측기 배치도

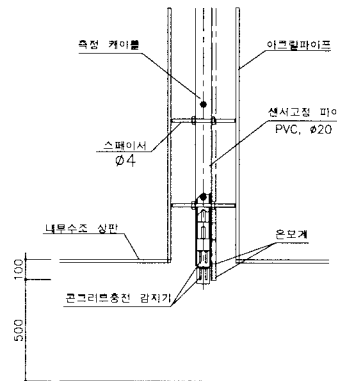


그림 13. 센서 설치단면(2차시험)

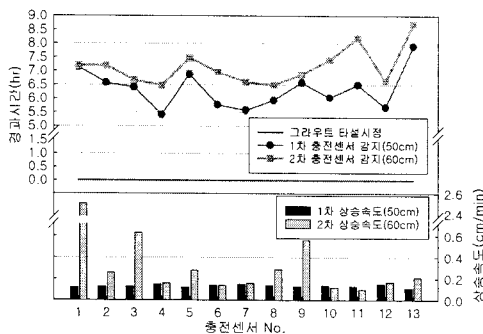


그림 14. 충전감지센서 측정결과

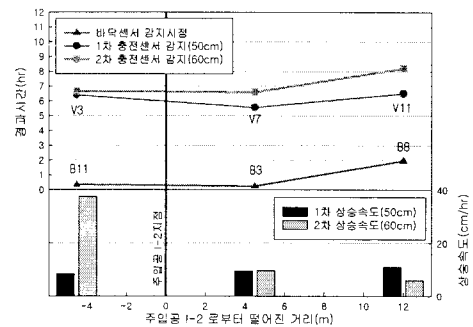


그림 15. I-2를 기준한 설치높이별 결과

Vent Hole과 수조바닥 충전감지센서가 동일한 위치에 설치된 지점에 대해 그림 15와 같이 설치높이 별 충전소요시간을 나타내었다. 주입공 I-2지점에서 이격거리가 동일한 B11, V3과 B3, V7의 계측기

접촉시간이 비슷함으로 내부수조의 Self-Levelling이 잘 되고 있음을 알 수 있으며 B8, V11은 콘크리트 PAD의 영향으로 접촉까지 다소 많은 시간이 소요되었다.

4.2.3 코아 강도시험

수중 불분리 모르타의 재료분리 발생여부는 양생 후 코아를 채취하여 강도시험을 실시하였으며 재료 분리 현상은 발생하지 않았다.

재령 28일 압축강도는 그림 16과 같이 최저 161kgf/cm²(코아채취), 237kgf/cm²(공시체 수중제작)로서 기준강도 150kgf/cm²를 초과하며, 그림 17의 배합설계시 압축강도와 마찬가지로 만족하였다.

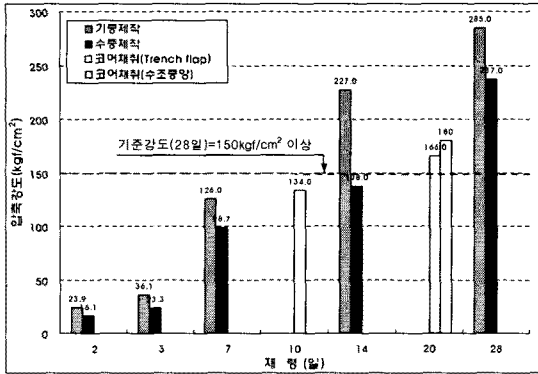


그림 16. 2차 신탈대형시험 강도

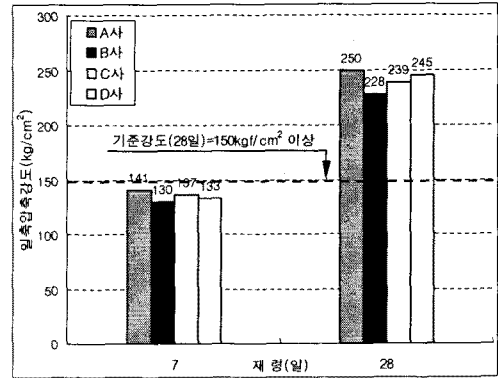


그림 17. 배합설계시 강도

4.2.4 Trench Flap

케이슨 차단공법으로는 시공성과 사례조사를 통해 그 중 설치속도가 빠르고 시공관리와 굴착면의 기복 대응에 유리한 Trench Flap(Geotextile 3ton/m)을 채택하였다. 사진 5와 같이 Trench Flap 사이로 그라우트재가 충전되어 동일한 모양으로 부풀어 올랐으며 그라우트 종료 후 내부와 외부의 타설 높이를 비교한 결과, 내부가 10cm 높게 측정되었다. 따라서, Trench Flap이 조류유속에 의한 세굴방지와 그라우트재의 충전성 향상에 기여함을 확인하였다.

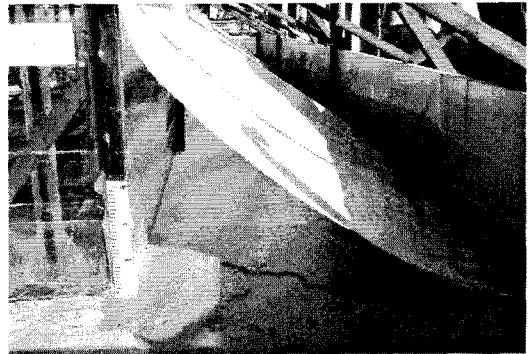


사진 5. 시험 후 Trench Flap

4.2.5 충전율

케이슨 바닥과 그라우트재와의 접촉상태를 가름할 수 있는 수조상부에서의 충전율을 확인결과, 그림 18과 같이 충전율은 그라우트재의 양생기간동안 작용하는 케이슨 외력에 지지할 수 있는 기준충전율인 상부80%를 만족하는 것을 알 수 있었다.

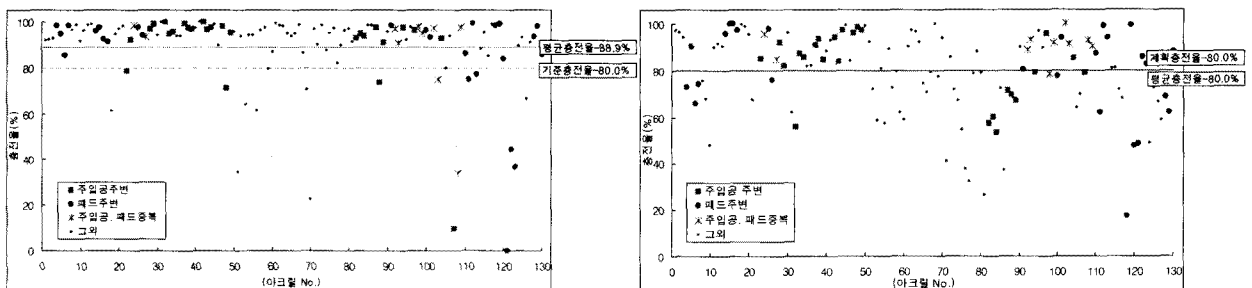


그림 18. 내부수조 상부 충전율(1, 2차)

5. 본 시공

5.1 전체 시공현황

거가대교 사장교의 교량은 접속교, 주 예비교 및 부 예비교로, 이에 따른 하부 기초 케이슨은 총 23 개소(Lot1-P2~P13 : 12개소, Lot2-P1~P6, P9~P13 :11개소)이다. 2006년 3월 L2-P1을 시작으로 2007년 8월 현재까지 12개소의 그라우트 충전이 실시되었으며 그 현황은 표 3과 같고, 설계충전량 대비 시공충전량의 증감을 그림 19에 나타내었다.

표 3. 케이슨 기초 크기 및 시공 충전량

(m³)

구 분	케이슨 규 격	설 계 충전량	시 공 완료일	시 공 충전량	구 분	케이슨 규 격	설 계 충전량	시 공 완료일	시 공 충전량		
접속 1교	L1-P2	11.0×17.5	127.4	-	접속 3교	L2-P1	11.0×17.5	127.4	06. 3. 6	212	
	L1-P3	12.0×17.5	184.6	-		L2-P2	17.5×17.5	222.3	-	-	
	L1-P4	12.0×17.5	202.8	-		L2-P3	17.5×17.5	222.3	06. 8. 8	388	
	L1-P5	13.0×18.5	202.8	07. 6. 26		512	L2-P4	17.5×22.7	410.8	06. 10. 13	636
부예비교	L1-P6	17.5×17.5	156	-	주예비교	L2-P5	19.0×37.7	542.1	06. 10. 17	600	
	L1-P7	13.55×37.7	436.8	-		L2-P6	19.0×37.7	542.1	06. 10. 5	1352	
	L1-P8	14.55×37.7	436.8	07. 5. 30		812	L2-P9	13.0×23.7	205.4	-	-
	L1-P9	13.55×37.7	436.8	07. 4. 5		669	L2-P10	12.0×22.7	205.4	-	-
접속 2교	L1-P10	17.5×17.5	156.0	07. 1. 5	570	접속 4교	L2-P11	12.0×22.7	205.4	07. 6. 21	350
	L1-P11	13.0×21.5	178.1	-	L2-P12		12.0×22.7	191.1	-	-	
	L1-P12	13.0×21.5	178.1	-	L2-P13		13.0×22.7	191.1	06. 12. 20	483	
	L1-P13	12.0×17.5	127.4	06. 12. 23	351						

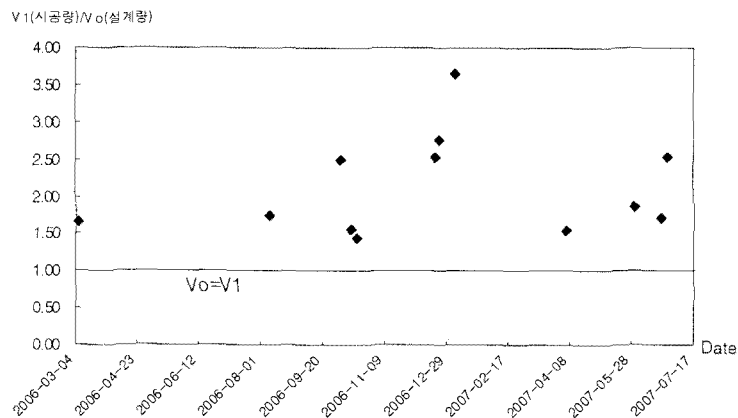


그림 19. 시공일자별 충전현황

5.2 시공과정

5.2.1 케이슨제작

케이슨은 중량에 따라 육상 PC 제작장 및 인근 해상에서 사진 6~사진 7과 같이 제작되었다.

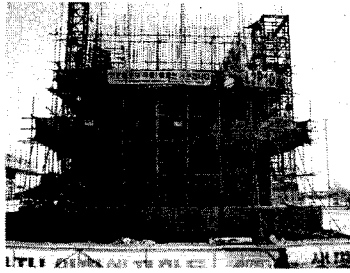


사진 6. 육상 제작 중 전경

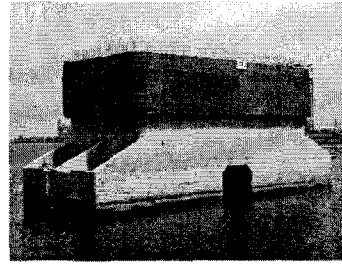


사진 7. 해상 제작 중 전경

5.2.2 계측기 설치

계측기는 Vent Hole 하부 케이슨 저면과 동일한 심도에 사진 8~사진 9와 같은 충전센서 및 온도센서를 1개조로 설치하였으며, 사진10과 같이 실대모형시험시 설치하지 않았던 케이슨 외곽부 측면 4곳에 상(저면으로부터 20cm) 하(저면으로부터 10cm)에 추가로(2개) 충전센서를 설치하여 Grouting의 진행 상황 및 저면 밀착 상황을 파악하였다.



사진 8. 자동계측기

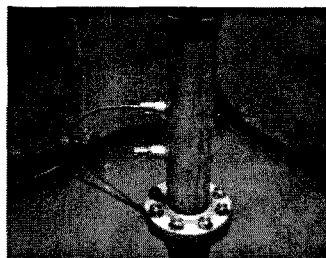


사진 9. Vent Hole내 계측기 설치

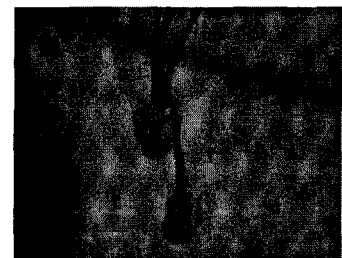


사진 10. 케이슨 외곽 충전센서

5.2.3 Trench Flap 설치

케이슨 하부 그라우트 타설시 케이슨 구조체의 끝단에 그라우트재의 누설 방지 및 해수의 흐름을 줄여 케이슨 외곽부 그라우트재 세굴을 차단하기 위하여 차단막인 Trench Flap을 설치하였다. Trench Flap의 설치 단면도는 그림 20, 설치 후 모습은 사진 11과 같다.

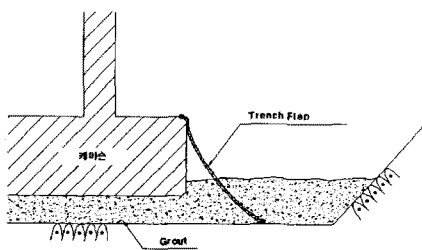


그림 20. Trench Flap 설치단면

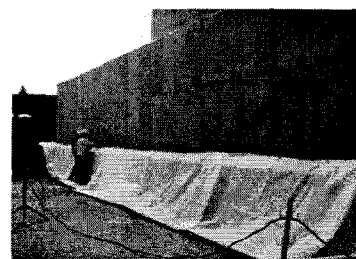


사진 11. Trench Flap 설치 모습

5.2.4 케이슨 운반

PC 제작장에서 제작된 케이슨을 사진 12와 같이 해상크레인과 바지선을 이용하여 사장교 교량 기초 시공위치로 운반하였다.

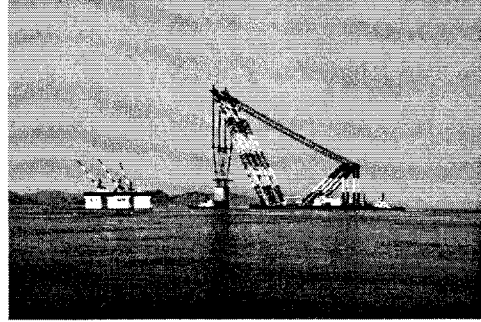
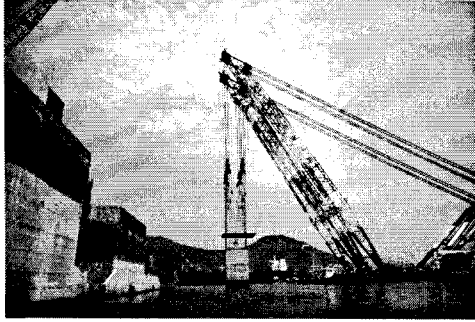


사진 12. 해상크레인에 의한 케이스 운반

5.2.5 케이스 하부 준설

착수 전 사진 13과 같이 수심측량을 실시한 후 사진 14와 같이 준설선단을 조직하여, 쇄암봉(사진 15) 및 발파로 준설을 실시하였다. 준설 작업 Flow Chart는 다음과 같다.

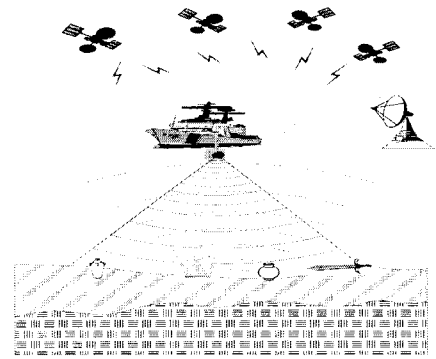
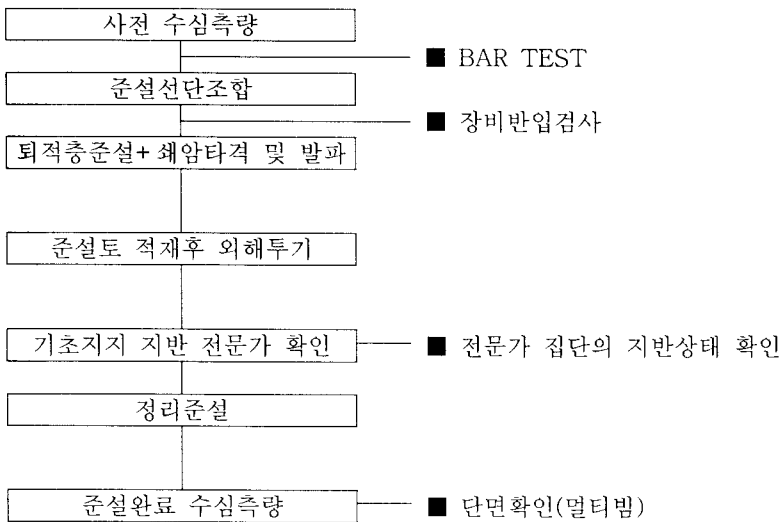


사진 13. 준설 전 수심측량

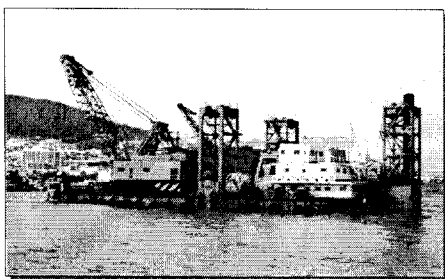


사진 14. Grab 준설선 전경

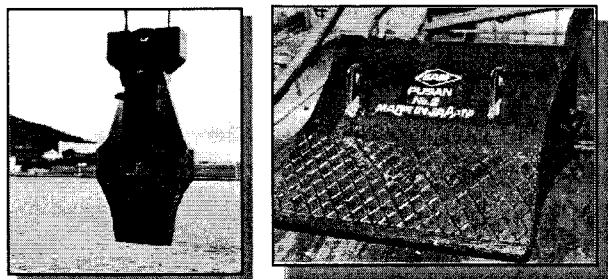


사진 15. 52Ton 쇄암봉

5.2.6 PAD 그라우트

PAD 하부 그라우팅 시공 지점의 유속이 빠른 관계로 그림 21과 같이 PAD 설치지점 중앙부에 콘크리트 블록(1개소)을 설치 후, 와이어를 크레인으로 고정된 상태에서 Grouting 파이프를 기 설치된 와이어에 순차적으로 체결하여 주입하였으며, 사진 16과 같이 해상 B/P선에서 직접 타설하였다.

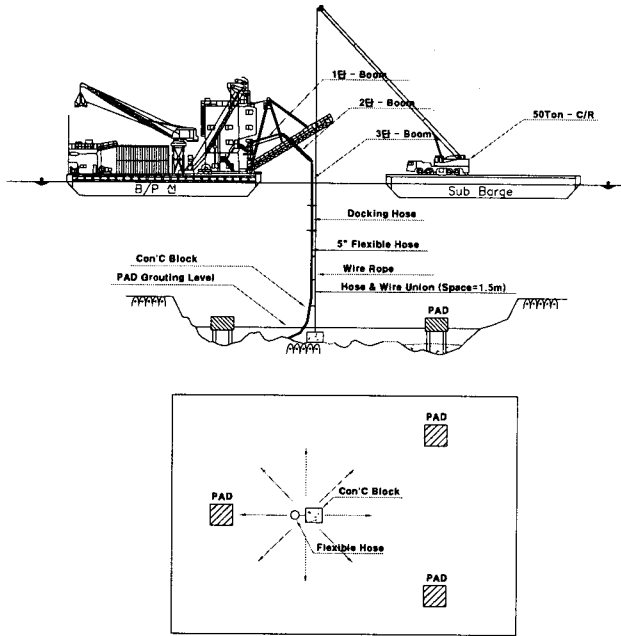


그림 21. PAD 하부 그라우팅 개념도

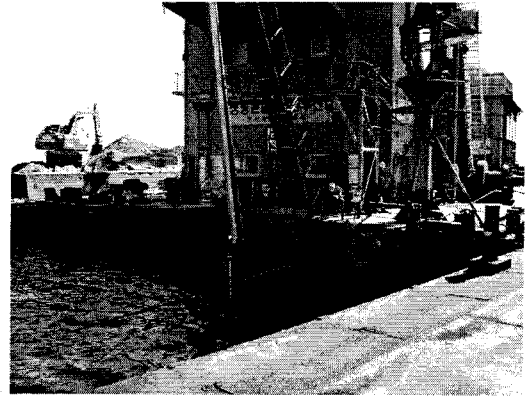


사진 16. PAD 하부 그라우팅 전경

5.2.7 케이슨 하부 그라우트

그라우팅용 Barge선의 Crane과 잠수부를 이용하여 4"그라우트 Pipe를 케이슨 격벽내에 설치된 각각의 주입관(6") 내부로 삽입한 후 사진 17과 같이 해상 B/P선에서 Boom을 이용, Barge선의 Agitator 스크린 상부로 재료분리가 일어나지 않도록 주의하여 공급하였다.

사진 18과 같이 Hose Pump로 케이슨 중앙부에서 외곽부로 순차적으로 재료를 타설하였으며, 주입압력은 +0.5~3.0 kgf/cm²으로 하였다.

그라우트의 예정 타설고 확인은 케이슨 외곽 차단부에 설치된 충전센서와 잠수부의 육안 관측으로 확인하였으며, Check & Vent Hole에 기 설치한 자동 계측기를 통해서도 충전성을 확인하였다.

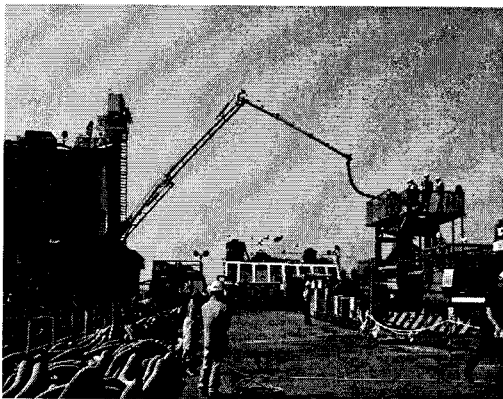


사진 17. B/P선에서 Agitator로 모르터 공급

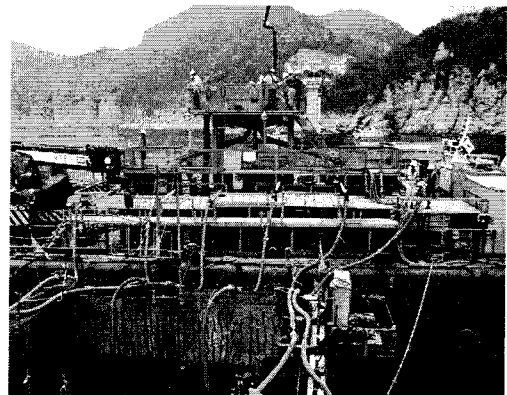


사진 18. Hose Pump에서 케이슨내 모르터 주입

5.3 그라우트 충전확인

시공 상세 설계시 자동계측기 설치위치가 Vent Hole 내부 +5 cm로 계획(대우건설 등 2005)되었으나, 실험결과에 따라 그림 22와 같이 본 시공을 위한 자동계측기 설치위치를 케이슨 저판과 수평하게 Vent Hole 입구에 설치하는 것으로 변경하였으며(박충환 등 2007), 현재까지 12개 케이슨 기초의 시공을 통하여 자동계측의 정확성을 확인할 수 있었다. 충전센서는 모르타와 접촉시 전압이 급격히 떨어지는 현상을, 온도센서는 급격히 상승하는 현상을 보이는데, 측정 결과 예는 그림 23~그림 24와 같다.

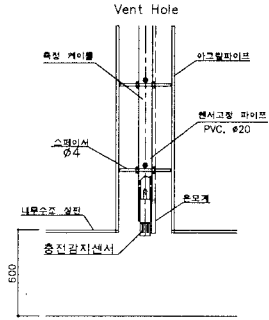


그림 22. 자동계측기 설치위치

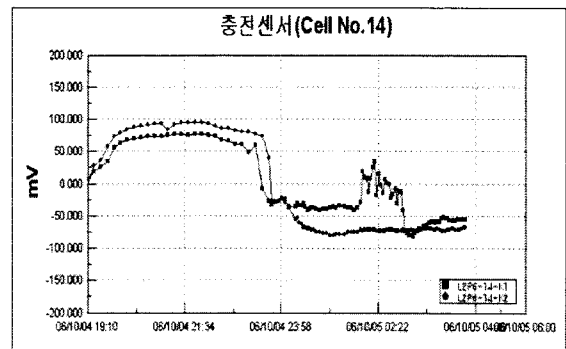
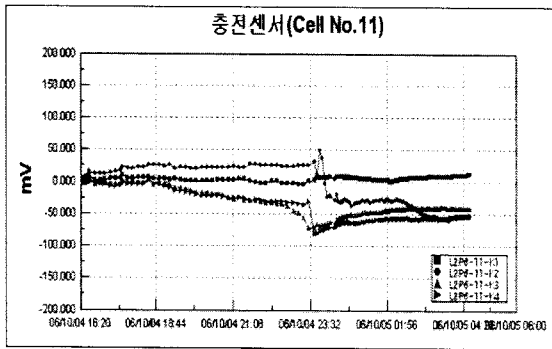


그림 23. 충전센서 측정결과 (Cell No.11 & 14)

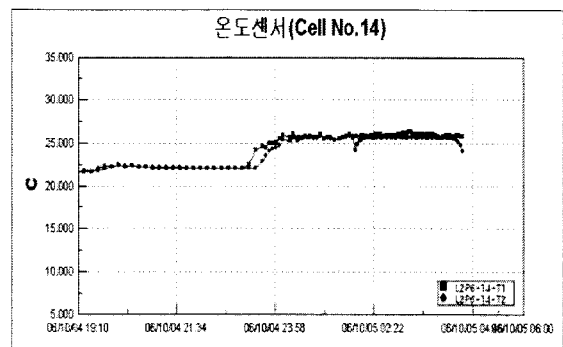
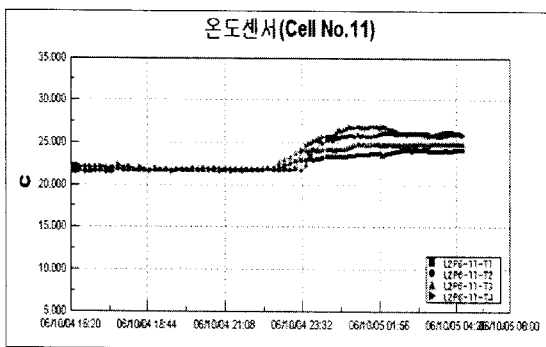


그림 24. 온도센서 측정결과 (Cell No.11 & 14)

6. 결론

본 사례 연구에서는 거가대교 사장교 교각기초 Grouting 배합설계 후 실시한 실험결과 즉, 실물 크기의 모형을 이용한 시험을 통하여 본 시공시 적용될 시스템을 점검하고, 발생 가능한 문제점을 사전에 파악하여 적절한 대책을 수립하였다. 본 시공을 통해 계획되어진 항목들이 전체적으로 만족하는 지를 확인하였으며, 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 배합설계

그라우팅 모르타의 유동성은 실제 시공시 충전에 유리하도록 충분한 Self-leveling 성능을 갖고 있었으며 Slump Flow의 경시변화는 5시간까지 측정된 결과 품질규격에서 요구하는 성능을 충분히 만족

하였다. 수중불분리제를 혼합한 그라우팅 모르타의 응결시간은 초결은 15시간 이상, 종결은 24시간 이내로 수심 약 30m의 수중에 타설될 모르타의 선, 후 타설에 따른 Bonding에 문제가 없을 것으로 판단되었다. 또한, B/P 시험을 통하여 얻은 재령 28일 강도는 배합설계의 목표강도를 충분히 만족하였으며 블리딩 시험결과 표면에 나타나지 않았으므로 그라우팅 후 재료의 침하는 크지 않을 것으로 판단되었다.

(2) 실대모형시험

1, 2차 실대모형시험 결과 유동성 및 Self-Levelling, 자동계측기 감지상태, Trench Flap 역할 등은 양호한 것으로 나타났고, 재령 28일 일축압축강도는 최소 161(1차)~237kgf/cm²(2차) 이상으로 기준치를 만족하였다. 또한, 내부수조 상부의 충전율을 확인한 결과, 시방 기준인 80%를 상회하였다.

시공 상세 설계시 자동계측기 설치위치가 Vent Hole 내부 +5cm로 계획(대우건설 등 2005)되었으나, 실대모형시험 결과에 따라 본 시공을 위한 자동계측기 설치위치를 케이슨 저판과 수평하게 Vent Hole 입구에 설치하는 것으로 변경하였다.

(3) 본 시공

실대모형시험에서는 Hose Pump 1대당 4개의 Pipe를 연결하였으나, 본 시공에서는 자체 개발된 Agitator에서의 모르타 분배시스템을 활용하여 6대 Hose Pump를 배치, Pump 1대당 1개의 Pipe를 연결하여 효율적인 시공이 이루어졌다.

각 케이슨 기초 충전시 실대모형시험을 통해 검증된 충전센서 및 온도센서를 통해 철저한 시공관리가 실시되었고, 2007년 8월 현재까지 총 23개소의 케이슨 기초 중 12개소의 시공이 성공적으로 완료되었다.

기존의 국내외 해상기초 공법보다 경제적이고 시공속도가 빠른 그라우팅공법을 적용한 본 프로젝트는 현재 11개소의 미 시공분이 남아있으며, 최종 시공 완료 후 그 결과를 정리하여 보고할 계획이다.

참고문헌

1. 건설교통부제정(2003), “콘크리트표준시방서”, 한국콘크리트학회, pp.194~197.
2. 대한토목학회(1995), “콘크리트용 수중불분리성 혼화제 품질규격(안)”
3. 문한영, 김성수, 김홍삼, 김종필(2000), “수중불분리성 콘크리트의 내구성에 대한 실험적 연구”, 대한토목학회 학술발표회 논문집(I), pp.27~28.
4. 설진송 김성수(2001), 수중불분리성 콘크리트의특성, 한국콘크리트학회논문집, 제13권 2호, pp23-29.
5. 문한영, 이승태, 김홍삼(2001), 시멘트 경화체의 해수침식에 의한 성능저하 및 저항성 평가, 한국콘크리트학회 논문집, 제13권 2호, pp. 175~183.
6. 정상균, 장현갑, 정경환, 백주현(2005), “부산-거제간 연결도로 해상교량기초 그라우팅을 위한 배합설계”, 대한토목학회 정기학술발표회 논문집, pp.3990~3993.
7. 박충환, 정상균, 정경환, 신민식, 박찬우, 권진욱(2007), “부산부산-거제간 연결도로 해상교량기초 그라우팅 실대모형시험”, 한국지반공학학회 정기학술발표회 논문집, pp.1~10.
8. (주)다우건설품질컨설팅(2005), “GROUTING MORTAR 배합설계보고서”, pp.69.
9. (주)대우건설, (주)동아지질(2005), “거가대교 교각기초 GROUTING 배합설계 및 시공상세 계획서”
10. 神谷昌文, 國田淳, 關信一郎, 下林清一(1998), 海洋環境下に30年間曝されたコンクリートの物理化學的評價, 土木學會論文集, Vol. 39, No. 592, pp. 131-145.
11. Al-Amoudi, O. S. B., Maslehuddin M. and Mahmoud M. Saadi(1995), Effect of Magnesium and Sodium Sulfate on the Durability Performance of Plain and Blended Cements, ACI Materials Journal, Jan.-Feb., pp. 15-24.
12. Tomita, Yoshida(1995), "Design and construction of 2P and 9P cassions for the Kurushima Bridge", Honshi Technical Report No.75, vol.19, pp48~50.