

케이슨식 교량기초 제작 및 거치 시공사례

울산 신항 방파제현장 시공 사례를 중심으로

장병수* · 신성권* · 김덕호**

*삼성물산(건설부문)울산신항방파제현장

**삼성물산(건설부문)울산신항방파제현장 현장소장

A Case Study of Caisson Typed Bridge-Foundation Fabrication and Installation in Ul-san Newport Breakwater Project

BYUNG-SOO JANG*, SUNG-GWEN SIN*, AND DUCK-HO KIM**

*Samsung Corporation(E & C Group), Ul-san Newport Breakwater Site

**Samsung Corporation(E & C Group), Ul-san Newport Breakwater Site, The head of field

KEY WORDS : Newport 신항만, Caisson 케이슨, Draft 홀수, QRR Compaction 사석다짐, Floating Dock(F/D) 해상침설선, Floating Crane(F/C) 해상기중기선

ABSTRACT : The method of caisson typed bridge-foundation fabrication and installation applied in ul-san newport breakwater project is thoroughly carried out to compact QRR mound vibro-hammer step by step to minimize settlement through stability check. Floating Dock was mobilized for caisson fabrication due to limited site area. fabricated caisson on the Floating Dock was towed to the deeper area of 8m water depth to be launched, and Floating Crane assisted launching and installation work of the caisson. finally water filling was done followed by surveying work to permanent installation.

1. 사업개요

정부는 Photo 1 에서 보여준 바와 같이 기존의 울산항 및 온산항을 동북아 지역 및 환동해권 경제활동의 거점인 동남권 공업벨트의 중심항으로 개발하기 위하여 울산신항만 개발사업을 계획·추진 중에 있다. 사업추진은 안벽 6,705Km, 방파제 5.35Km 및 호안 4.57Km를 1단계(1995년~2006년) 및 2단계(2007년~2011년)로 나누어 진행된다. 총사업비는 3.3조원 정도로 정부 및 민간 투자항만사업 형태로 추진된다.

본 사례의 대상이 되는 현장은 이중 1단계 공사로서 Photo 1 의 총길이 900m의 방파제(이하, 중앙방파제라 칭함)를 축조하는 공사이다.

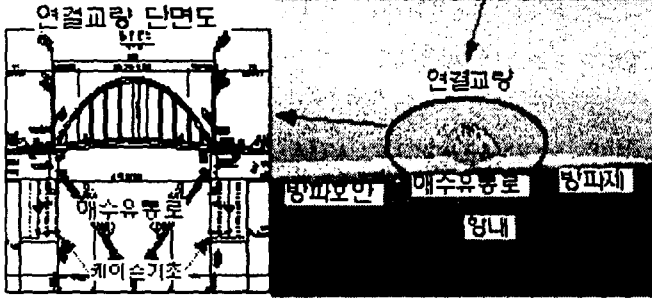
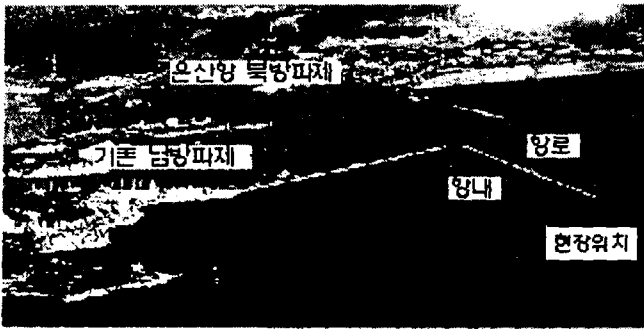
본 공사의 특징은 Photo 1의 항내 해수오염 저감차원에서 원활한 해수순환을 위해 중앙방파제 중간에 길이 80m 구간을 해수유통로 두었다. 이러한 특수성 때문에 중앙방파제는 해수유통로를 중심으로 기존 남방파제(방파제에 연결된 진입호안)에 연결된 구간(이후, 방파호안이라 칭함)과 떨어져 있는 구간(이후 방파제라 칭함)으로 나누어진다.



(a) Plane view of Ul-san newport

제1저자 장병수 연락처 : 울산광역시 온산읍 처용리 99번지

052-237-4491 jbstf555@samsung.com



(b) Constructed sea bridge

Photo 1 A view of ul-san newport development project

해수유통로 구간은 방파제 손상시 보수 및 등대의 유지관리와 일반인의 통행을 위해 Arch교 형식의 연결교량(85m(L) X 9.2m(B) X 16.2m(H))으로 연결되며, 연결교량의 기초에 케이슨이 사용된다. 당초 기존 온산항의 북방파제를 제거하여, 이때 발생하는 케이슨(12m(B) X 20m(L) X 15m(H))을 전용하는 것으로 하였으나, 추후 축조예정인 Photo 1의 북방파제와 남방파제가 축조되기 전에는 제거하지 않기로 결정됨에 따라 신규로 12m(B) X 10m(L) X 13m(H) 규모의 케이슨 2함을 제작하여 사용하는 것으로 하였다.

본 공사는 현재 약 90%정도의 공정이 진행 중에 있으며, Photo 1의 (b)에 나타낸 바와 같이 연결교량 거치가 완료되었다. 본 사례에서는 연결교량의 기초로 이용하게 될 케이슨의 제작 및 거치와 관련한 설계 및 시공사례에 대해 소개한다.

2. 케이슨 설계조건 및 설계기준

2.1 설계조건

설계과정에서 고려해야할 조건들은 Table 1 과 2 에 나타낸 바와 같다.

대상해역의 조위차는 약 0.5m정도로 남·서해역에 비해 작은 편이며, 태풍내습에 따른 해일(조위편차)은 태풍 사라(1959년)를 기준으로 산출하였다.

방파제의 항내측과 항로측에 대해 파랑에 의한 안정성 평가를 위한 설계파랑은 S10°W방향과 E방향으로 나누어 산정하였으며, S10°W방향의 파랑은 주로 여름철 태풍기에 우리나라를 상륙하여 통과하는 태풍에 의해 발생하며, E방향의 파랑은 일본 쪽을 통과하는 태풍에 의해 발생하는 파랑에 해당한다. 여기서 본 설계조위는 국립해양조사원의 자료를 근거로 작성되었으며, 설계파랑은 울산 신항 방파제 기본설계 수치모형실험

평균치를 적용하였다. 1999년에 기본설계가 이루어진 탓으로 2003년 발생한 태풍 매미는 고려되어 있지 않다.

Table 1 Tide level

classification	tide level(m)
high water ordinary mean tide	DL(+).0.489
mean Sea Level	DL(+).0.316
low water ordinary mean tide	DL(+).0.143
storm surge height	DL(+).1.050

Table 2 Shallow water design wave

wave direction	S 10° W		E	
	wave height (m)	wave period(s)	wave height (m)	wave period(s)
central breakwater	6.0	32	4.4	51
central revetment	5.6	3.4	4.3	36

2.2 케이슨 설계기준

케이슨을 설계함에 있어서 고려해야 될 하중은 고정하중, 활하중, 토압, 파압 등이 있다. 고정하중은 각 재료(무근,철근 콘크리트 등)의 단위중량으로 하였고, 활하중은 자동차, 하역기계 등 동하중이며 교량에 재하되는 표준트럭하중(DB하중) 또는 차로하중(DL하중)은 교량등급 3등급에 준한 활하중을 적용하였다. 토압은 평상시에는 Rankine, Coulomb 주동토압계수를 사용하였고, 지진시에는 Monobe-Okabe 주동토압계수를 적용하여 계산하였다. 파압에 대해서는 직립면 저면으로부터 마루까지의 파압을 충분히 고려하여야 하며, Table 2의 설계파랑에서 탁월한 S10°W방향의 파랑을 대상으로 검토하였다.

3. 케이슨식 교량기초시공사례

3.1케이슨 제작 및 거치 시공 순서도

사석반입/투하부터 케이슨 운반/거치까지 케이슨시공 전 공정에 대한 시공 Flow chart는 Fig. 1 과 같다.

3.2 단계별 시공 방법

3.2.1 기초사석 투하 및 다짐작업

케이슨 거치를 위한 기초사석투하 작업전 육상 광파기 측량으로 사석투하 위치에 Buoy를 설치한다. Setting Barge(S-B/G)를 방파호안 및 방파제의 사석 투하위치에 Setting한 다음 S-B/G에 사석 B/G를 접안후 사석B/G 위에서 백호우(포크레인, 1.0 m³급)로 사석을 투하하고, 층별(다짐높이별)로 기초사석을 다진다. 기초사석 투하 및 다짐은 총 5단계에 걸쳐 시공하였으며 이에 대한 표준도는 Fig. 2 와 같다.

사석층별 다짐작업전 S-B/G에 Table 3 와 같은 다짐조합 장비를 탑재하였다. Photo 2 에서 본 바와 같이 층별 사석다짐 상세 작업방법은 50ton Crane에 Vibro Hammer를 연결하

고 그 아래에 다짐판을 부착한 조합장비인 Hammer(H/M)를 수직 상하 운동과 진동으로 사석 마운드를 교란시켜 최대한의 침하를 일으켰다. Fig. 2 에서 나타낸 바와 같이 각 층당 (1m당) 15cm정도의 침하가 일어났고, 최종 사석면은 장기침하를 대비해 여성고를 40Cm 두었다.

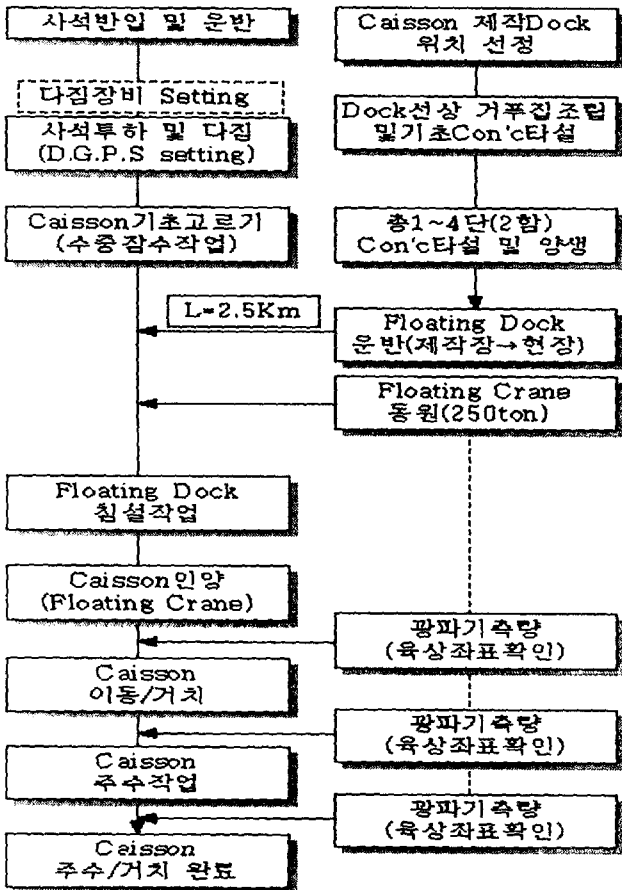


Fig. 1 Construction flow of Caisson

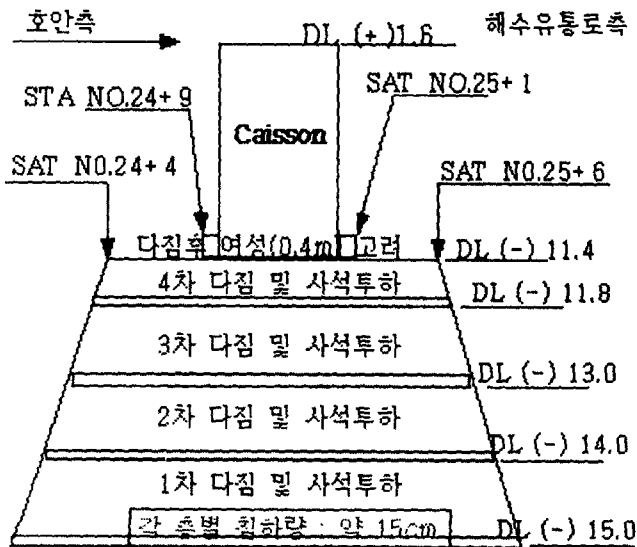


Fig. 2 Caisson QRR mound compaction typical model

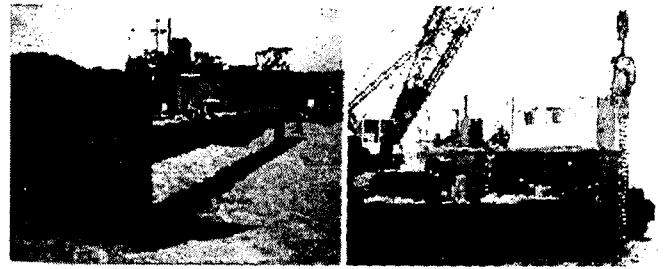


Photo 2 Compaction plate and a view of compaction work

Table 3 Compaction equipment

equipment	specification	equipment	specification
setting b/g	1,700P	h-beam	400*400*21*21mm
vibro h/m	50Kw	crane	50ton
compaction plate	1.5m*1.5m	generator	100Kw

3.2.2 케이슨 제작

당 현장에 적용된 케이슨 기초는 크기가 12m(B) X 10m(L) X 13m(H)이고, 전체 중량이 1140ton에 이르는 거대한 격자식 콘크리트 블록으로 방파호안과 방파제의 양쪽에 설치하므로 2합을 제작하여야 하고, 이를 제작함에 있어 제작장의 여유 공간이 확보 되지 않아 Photo 3 와 같이 기존 제작장 해상에 Floating Dock(F/D)을 운반하여 setting 시킨 뒤 F/D 선상에서 케이슨을 제작하기로 결정하였다.

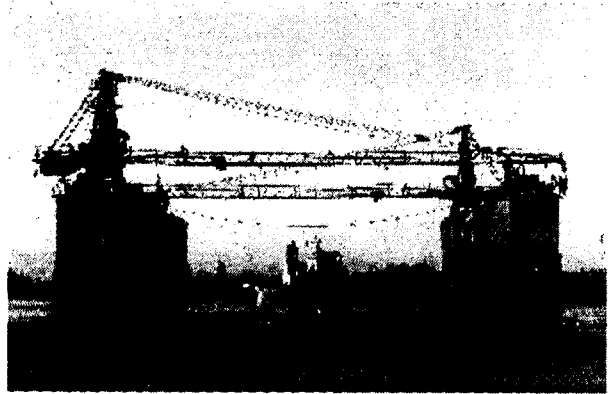


Photo 3 A view of floating dock (F/D)

Caisson 제작용 거푸집은 Fig. 3 와 같은 층별 간격으로 유로폼을 사용하여 조립하였고, 거푸집 설치 후 수직도 및 수평도를 물수평기, level 등을 이용하여 정확히 확인 하였다. Caisson con'c 타설은 Fig. 3 에서 본 바와 같이 각 층별(벽체 총 4단)로 나누어 타설 하였고, con'c 단과 단 사이 접속부에는 층별 시공에 의한 시공이음이 생기지만 해수의 침투가 되지 않도록 지수판을 설치하고, 와이어브러쉬로 레이탄스를 제거 후 다음층의 con'c를 타설하였다. 특히, Fig. 3 와 같이 콘크리트 타설 평면도를 작성하여 각 장비별 지정된 위치 및 콘크리트

선적시 필요한 발판을 견고히 설치하여 안전에 만전을 기하여 시공 하였다. Fig. 3 의 콘크리트 타설 평면도를 활용한 타설 전경 및 제작완료된 케이슨 전경을 Photo 4 에서 보여 주고 있다.

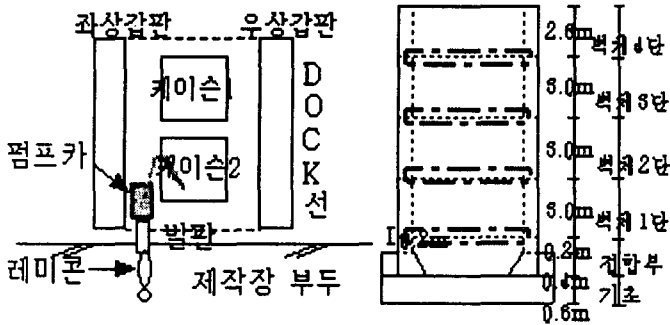


Fig. 3 Layout plan of pumpcar casting and stagnant water plate diagram

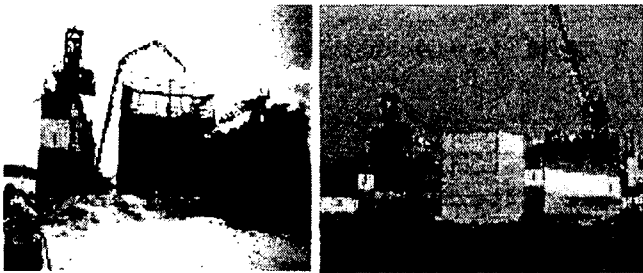


Photo 4 A view of con'c casting and completed caisson construction

3.2.3 케이슨 운반 및 거치

Photo 5 와 같이 예인선 Caisson 격실내 작업시 안전을 위한 추락방지망 및 작업발판을 설치하고, 인양을 위한 device를 설치한다. 인터넷 기상대를 이용한 주간 예보를 파악하여 파고가 1m, 풍속이 12m/sec이내 일때를 선택하여 F/D를 예인한다. 주 예인선 1대에 현장에서 사용중인 예인선 2대를 활용하여 선수 및 측면에서 F/D를 예인하였다.

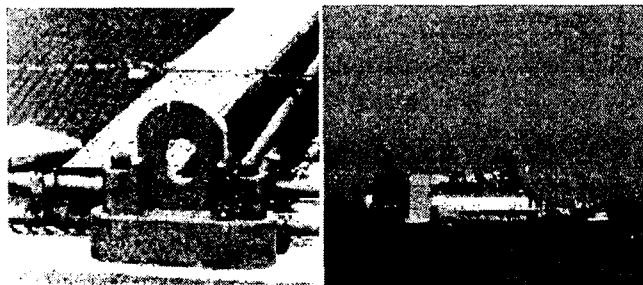


Photo 5 Device installation and F/D tug

Floating Crane (F/C) 및 S-B/G를 사전에 동원하여 F/D 도착전에 현장내 계류시켜준다. 예인되어온 F/D를 Fig. 6의 계획위치

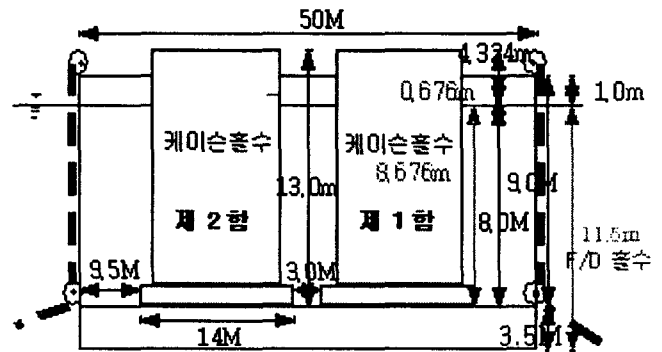
에 setting 하고, 이를 확인후 S-B/G에 탑재한 14" 수중펌프(780m³/hr-2대)를 가동시켜 F/D를 서서히 침설시킨다. 이때 Fig. 4 와 같이 F/D의 상부갑판에서의 최대출수를 감안해 F/D 침설깊이를 8m로 하고, 수중펌프의 양수 용량을 고려해 약 3.2m/1hr (8m 침설시 2.5시간 소요 되었습)의 속도로 침설시킨다.

케이슨이 F/D와 함께 침설되면 현장내 대기하고 있던 F/C(250ton)이 제1함부터 들고리를 체결하여 인양작업을 실시한다. Fig. 4 와 같이 F/D 최대출수가 11.5m(상부갑판에서는 8m)이고, 케이슨의 출수는 8.676m 이므로 케이슨이 F/D의 상부갑판에서 부양하기 위해서는 0.676m를 F/C를 이용해 인양하여야 한다.

이때 F/C를 선정하기 위한 중량을 산정해보면,

- 케이슨 총중량(13m) : (콘크리트+철근)×단위중량
455.671m³×2.45t/m³=1116ton
- 케이슨 기초부적용 중량 : 12m×14m×0.676m
=113.6ton

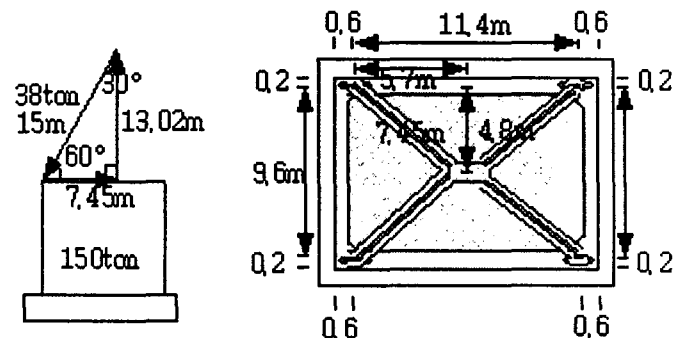
∴ 113.6ton을 인양할 수 있는 F/C를 선정하면 되지만 작업여건 및 안전을 고려하여 250ton F/C를 선정하였다.



*인양하중 약 114TON (0.676M)

Fig. 4 Caisson draft diagram as caisson deposited on the F/D

Fig. 5 에 나타난 바와 같이 접지력을 포함한 약150ton의 하중을 인양하기 위해서는 F/C뿐만 아니라 들고리의 설치위치 및 인양용 wire rope길이 등을 고려해서 수직, 수평력을 구해 들고리 매입부의 벽체가 안전한지를 확인후 인양작업을 실시한다.



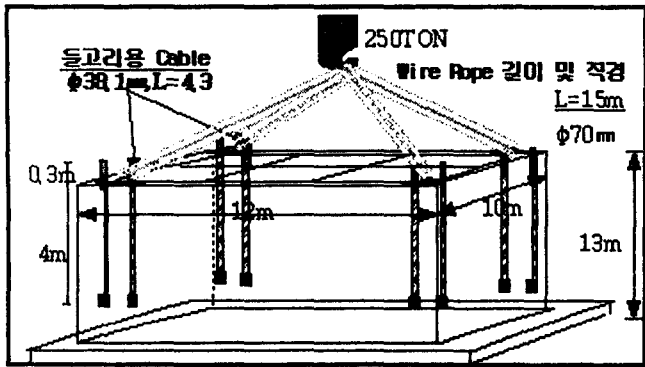


Fig. 5 Shear force and drawing of wire rope length and layout plan of caisson lifting

인양된 케이슨을 Fig. 6 와 같이 제1함은 방파제측에, 제2 함은 방파호안측에 거치한다. 거치할 위치에는 Buoy등으로 표시해 두고 F/C를 서서히 이동하여 거치위치에 다다르면 F/C와 육상 측량자간 상호연락을 취하여 F/C을 대략의 거치 위치에 오게 하고, F/C을 정지 시킨뒤 대기하고 있던 S-B/G (Crane 50TON, Generator, 수중펌프 2대)를 접안시켜 케이슨 격실에 주수작업을 실시한다. 거치시 F/D, F/C 및 Anchor의 위치는 Fig. 6 와 같이 배치한다.

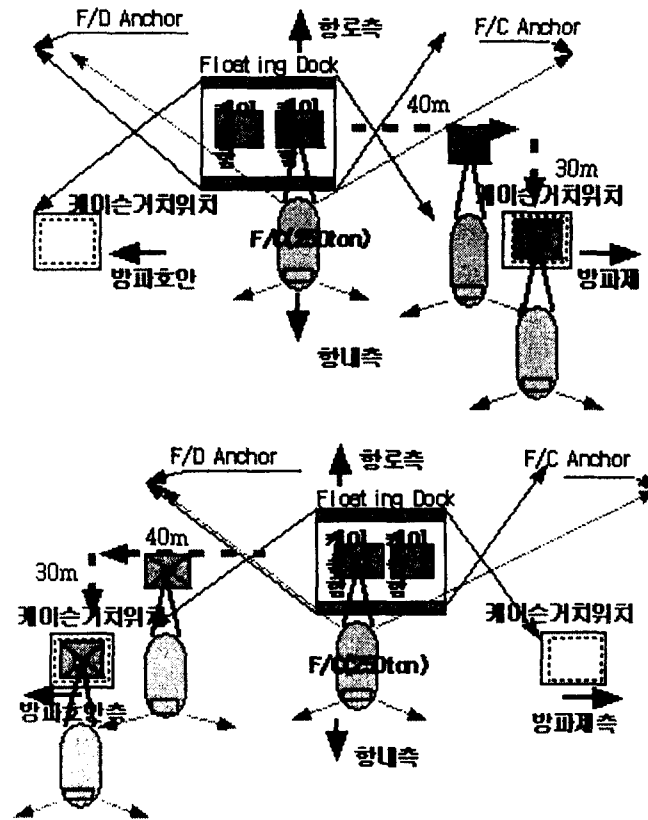


Fig. 6 Layout plan of caisson disposition

주수작업은 1차로 4m 실시한다. 거치할 기초사석고르기의 level이 DL(-)11.5~6 이므로 Table 4와 같이 케이슨 객실내에 4m가량 주수하면 케이슨 저면이 기초 사석 고르기면과 거의 일치하고 안정하기 때문이다. 주수시 중량 및 흡수, 안정 상태 등은 Table 4 와 같다.

가거치시 4m 주수후 거의 정확한 위치에 거치되면 수중펌프를 이용하여 5m까지 주수하여 케이슨을 기초 사석층위에 완전히 거치하여 안정을 추가로 확보하고, 정거치는 F/C를 이용하여 아주 미세하게 양중(약 10cm)하여 거치한다.

이때 오차범위(200ton이하 범선허용오차 ±10cm, level 허용 오차 ±10cm이내) 내에 설치완료하기 위하여 육상 광파기측량과 병행하여 시공하고, 정거치가 완료되면 객실공간에 주수하여 케이슨 거치를 완료한다.

Table 4 Weight and draft table as pouring water into caisson

specification	caisson weight (ton)	water (volume)	total weight(ton)
pouring water ×	116.39		116.39
1m주수	116.39	89.08	1207.70
2m주수	116.39	178.15	1299.00
3m주수	116.39	267.23	1390.30
4m주수	116.39	356.30	1481.61
5m주수	116.39	445.38	1572.91
specification	draft(m)	time(min)	remarks
pouring water ×	8.68	-	안정5%미달
1m주수	9.42	10	안정
2m주수	10.16	20	안정
3m주수	10.90	30	안정
4m주수	11.65	40	안정
5m주수	12.39	49	가라앉음

4. 케이슨거치 후 교량거치시기 결정

케이슨 거치후 케이슨속채움, 캡콘크리트타설, 상치콘크리트(2단)타설 등의 후속공정을 진행하였고, 교량거치전 재하능력(최대하중 1870ton)으로 선행하중을 가하여 교량으로 인한 침하량을 사전에 배제하였다.

교량거치 시기를 결정하기위해서는 재하능력 제거시기, 재하능력제거기준, 현장실측 계측자료, 이론계측자료 등을 종합하고, 이를 기준으로 Table 5 와 같이 안정성을 평가 하여 만족하여야 한다.

Table 5 에서 나타낸바와 같이 기초 사석 시공시 총별 진동다짐공법 적용으로 침하기간을 단축할 수 있었다. (200day → 77day : 123day단축)

Table 5 A result of stability test

구분	기준 (Cm)	방파호안 (Cm)	방파제 (Cm)	비고
침하량	59.05 , 57.97	55.4	48.9	
잔류 침하량	5 이하	0.7	1.1	쌍곡선법
수평 변위량	1.918	1.2	0.4	
침하 대기기간	200day 이상	77day	69day	

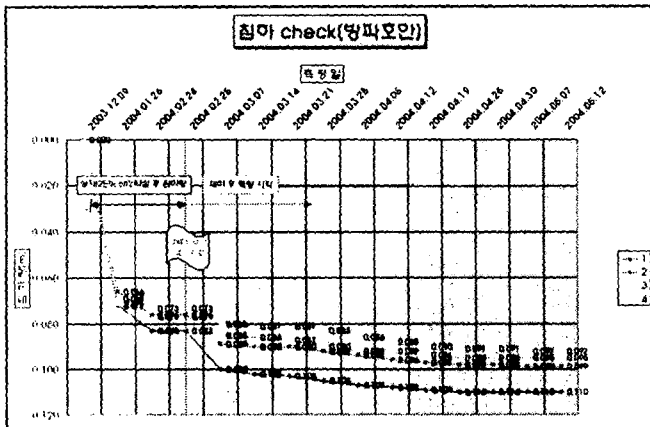


Fig. 7 Settlement graph (measure in site)

Fig. 7 에 나타낸 침하 그래프는 재하블럭을 거치하여 제거 시까지의 침하수렴을 나타낸 그래프로써 Fig. 7 및 Table 5 를 토대로 재하블럭 제거시기를 결정하였고, 재하블럭이 제거 되면 후속공정(교대con'c 타설, 교좌장치 설치)을 진행시킨후, 연결교량을 거치하였다.

Photo 6 는 케이슨 및 교량을 F/C를 이용해 거치하는 광경을 보여주고 있다.



Photo 6 a view of Caisson deposition and on the sea bridge installation

5. 맺음말

본 사례는 방파제 건설에 따른 항내 해수오염 저감을 위해 방파제 중간에 해수유통로를 설치하고, 그 사이를 연결하는 교

량기초에 이용한 케이슨에 대한 제작 및 거치 사례를 소개한 것으로 본 사례에서 다른 주요내용은 다음과 같다.

- (1) 사석 층별 진동다짐공법
- (2) F/D 선상에서 케이슨 제작
- (3) F/C 선정 및 케이슨 거치 방법
- (4) 재하블럭 제거 및 교량거치시기 결정

현재 본 공사는 교량기초의 설계부터 제작·거치를 완료하여 상부교량의 성공적인 거치까지 완료되었다. 중앙방파제의 해수유통로 연결교량 설치는 지금까지 예가 없었던 사업으로서, 일반교량의 기초와는 달리 방파제 시공시와 같은 기초 사석 마운드 위에 케이슨을 거치하고 교량을 설치하였다는 점에서 주목되고 있다.

항만건설에 따라 필연적으로 따르게 되는 항내 해수오염을 저감시킨다는 차원에서 본 사례에서 소개한 케이슨을 기초로 한 연결교량은 그 방법의 하나로서 충분히 생각될 수 있다.

이러한 입장에서 본 시공사례가 향후 유사공사의 중요한 참고자료로써 활용되기를 기대한다.

후 기

울산신항방파제건설공사에 참여하고 있는 울산지방해양수산청과 감리단, 공동도급사 및 삼성물산(주)토목사업본부 임직원 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

(주)한아엔지니어링, 삼성물산(주) (1999). "울산신항방파제 1단계(1공구)축조공사 실시실제보고서"
 울산지방해양수산청 (2003). "울산신항방파제 1단계(1공구) 축조공사 연결교량기초 보고서".
 삼성물산(주) (2003). "기초사석 다짐 및 기초 속고르기 시공계획서"
 삼성물산(주) (2003). "케이슨 제작공사 시공계획서"
 삼성물산(주) (2003). "케이슨 운반/거치 시공계획서"