

이어도 종합해양과학기지 설치 및 임시운영에 대한 고찰 A study on Ieodo Ocean Research Station Installation and Provisional Operation

심재설¹ · 이승준²
 Jae Seol Shim¹ and Seung Jun Lee²

1. 서 론

선진외국에서는 관측탑을 1960년대부터 건설운영하고 있다. 이는 21세기 해양시대를 앞두고 있는 시점에서 해양자원의 탐사 및 개발과 해양환경보존 및 해상, 기상예측에 대한 기술의 확보는 매우 중요한 사항으로 대두되고 있다. 이를 위해서는 이러한 정보를 상시 관측할 수 있는 시설이 확보되어야 한다. 따라서 해양연구원과 해양수산부는 1997년부터 약 8년간에 걸친 이어도 프로젝트를 수행하여 2003년 6월에 이 공사를 마무리한 우리나라 최초의 고정식 해양구조물이 완성되었다. 본 논문에서 주요 관심으로 본 것은 구조물의 설치에 중점을 두었으며 이것을 다시 하부구조인 자켓과 상부구조인 데크 설치로 구분하여 소개하고자 한다.

1.1 설계 환경조건

이 구조물의 환경조건은 수명 50년, 피로수명 100년에 대하여 가장 불리한 환경하중 조합에도 안전하도록 설계하였다. 조위는 기본 수준면(chart Datum)인 약최저저조위(Approx. L. L. W)를 기준으로 한다. 해양구조물 설계에 사용되는 설계조위는 대조시 천문조와 태풍시 기상조의 합으로 이루어진다. 따라서 해양구조물에 작용하는 파랑 및 천단고 결정시 설계조위를 수심에 합산하여 사용하였다(Tab.1). 설계조위는 관측자료와 관련시방서에 기술된 조위를 비교분석하여 아래의 표에 나타

낸 바와 같이 (+)3.7m로 결정되었다.

Table 1. Designed Tide Level

조 위	설계기준면	비 고
고극조위(H. H. W)	(+)3.48m	서귀포
평균해수면(M. S. L)	(+)1.52m	서귀포
약최저저조위	(±)0.00	설계기준면
저극조위(L. L. W)	(-)0.48M	서귀포
천문조(2.7M)+기상조(0.93M:사하라)	3.63 ≃ (+)3.7	이어도

바람의 경우 해양구조물의 상부구조물에 대해서는 직접하중으로 작용하며, 하부구조(자켓 및 말뚝)에 대해서는 전도모멘트(Overturing Moment)를 발생시킨다. 설계풍속은 구조물이 설치될 장소에서 측정된 풍속통계자료나 Storm의 예상풍속분포도를 통하여 결정되는데 이때는 재현기간을 고려하여야 하며, 이어도의 해양구조물에 적용될 재현기간은 100년을 취하였다. 풍력(Wind force)은 API RP 2A에 따라 형상계수, 높이에 따른 풍력의 변화 등을 고려하여 산정한다. 바람은 조력(Current Force)과 동일선상으로 작용하는 경우를 고려한다. 각 부재에 작용하는 통상적인 파력을 산정하기 위하여 Morrison's equation을 사용하였으며, 극한조건일 경우 24.6m로 간주하였다. 설계 조류속은 대조시 최대값인 1m/sec와 설계풍속에서는

1 한국해양연구원 연안항만공학연구원본부(Coastal and Harbor Engineering Research Center, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan, Seoul 425-600, Korea)
 2 한국해양연구원 연안항만공학연구원본부(Coastal and Harbor Engineering Research Center, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan, Seoul 425-600, Korea)

4.5m/sec가 계속적으로 불 때의 취송류를 합한 값으로 결정되었다.

2. 구조물 설치

해양구조물의 설치작업 중 자켓진수(Launching) 또는 자켓 및 데크양중 작업이 진행되는 동안 48시간 내에 아래의 기후조건을 초과하거나 또는 초과 할 것으로 예보된 동안에는 해양구조물 설치작업을 일시 중단해야 한다(Table 2).

Table 2. Weather Limit During Heavy lifting

구 분	조 건
Wind	14.15m/sec
Wave & Swell	유의 파고 1.5m
Current	표면에서 0.74m/sec
Visibility	해양구조물과 Crane Barge를 육안으로 구분이 불가능한 경우

주 작업선은 Pipe laying이 전문인 HD-423이 투입되었다. HD-423은 Pipe laying 전문 Barge이기 때문에 구조물 설치작업에는 Main crane capacity의 부족으로 작업의 제약이 많으나, 태홍호 1500톤 Crane 으로 보완하고 Side wall(배의 외벽)이 없고 Pontoon¹ 형식으로 되어있는 이 배를 사용하게 되었다. HD-423의 이러한 특징 때문에 이어도의 엄청난 파도와 바람에도 육상과 비슷한 작업조건에서 공사를 할 수 있었다는 점에서는 탁월한 선택이었다. 또한 이 공사에는 총8대2의 선단이 투입되었다.

2.1 자켓 설치

Transportation

먼저 울산에서 작업선인 HD-423(10,500톤 Crane Barge)이 출발하고 이를 뒤인 9월30일 12시30분에 영암 삼호중공업에서 Jacket을 싣고 출발한 HDB-1007호(10,000톤 운송 Barge)가 10월 2일 새벽 04:00시 에 도착하였다.

¹ 필요에 따라 하부에 물을 넣고 뿔 수 있도록 제작된 형식

² HD-423 Pipe lay Barge, 태홍호 Crane Barge, HDB-1007호 Barge, 동방11호 Barge 이들 Barge를 예인해온 대휘호, SBM6, 해양5호, 동방호

Anchoring

안전한 구조물의 설치를 위하여 먼저 Barge의 Anchoring을 하게 되는데 먼저 지반조건에 따라 앵커의 형태를 결정한다. 이 구조물의 설치지역의 soil은 0~1.5m 구간은 응회암, 1.5m~8.0m 구간은 촘촘하고 세립성분이 포함되어 있는 실트질 모래, 8.0~12.0m 낮은 소성을 가진 연약과 중간사이의 강도를 가진 점토로 구성되어 있다. 통상적인 Drag Embedment Anchor를 사용할 경우에는 앵커가 땅속으로 파고들지 못하고 미끄러질 가능성이 크므로, Anchor Spreading 후에 반드시 Anchor Line에 긴장을 주어 Anchor의 끝림 여부를 확인하고, 만약 Anchor가 미끄러질 경우에는 다시 위치를 옮겨 실시한다.

Crane Barge의 지속적인 위치의 정확도와 보조선박의 위치를 유지하기 위해 DGPS(Differential Global Positioning System)나 고결정 항해 시스템(High Resolution Navigation System)과 같은 측위 시스템을 사용한다. 이번 공사에서는 총 8개의 Anchor를 HD-423을 중심으로 약1.2km 떨어진 곳에 설치하였다. 일반배 보다 상당히 길이를 길게 한 것이라 한다. Anchor 길이를 길게 한 첫 번째 이유는 Barge가 고파랑 및 강풍에 의한 큰 외력에 견디기 위함이고 다음으로 사방으로 1km이상 펼쳐져 있는 Anchor 범위 내에서 HD-423 Barge가 자유로이 이동할 수 있는 공간이 많이 확보되기 때문이다. HD-423은 동력이 없기 때문에 좌우 전후로 이동시 선내의 Control room에서 Anchor foreman 이 Anchor를 조종함으로써 이동이 가능하다. 그 예로 뒤로 후진하기 위해서 앞쪽 Anchor는 tension을 풀어주고 뒤에 있는 Anchor를 당기면서 이동하는 것이 이 배의 특징이기도 하다.

Jacket sea-fastening members cutting

Jacket Positioning을 하기에 앞서 Cargo 검사 후 Jacket Sea-Fastening절단을 한다. 먼저 전체부재의 60%를 산소절단기와 Gauging 기계로 절단하고 나머지 40%는 Jacket Lifting Sling을 Main Crane Hook에 걸고 약 50~100ton 정도의 tension을 가한 후 단계적으로 절단하였다. 여기서, Sea-Fastening이라 함은 어떤 구조물을 Barge에 싣고 이동할 때 파도나 바람의 영향으로 Barge가 흔들리게 되면 구조물에 손상을 줄뿐 아니라 전도되어 바다로 빠

질 수도 있기 때문에 미리 제작현장에서 Barge에 안전하게 고정시키는 것을 말한다.

Lifting and upending

절단이 완료되면 자켓양중(Jacket Lifting)을 하게 되는데 본 공사에서는 크레인 바야지를 이용하여 자켓을 해수면에 띄워놓고 자켓을 바로세우는 공법을 사용하였다. 태홍호를 이용하여 작업반경 26.5m에서 Crane의 양중능력은 1,500ton, 자켓의 무게는 1,125ton으로 Crane Ratio는 75.0%이다. 설치된 Jacket의 제원은 Table 3과 같다.

Table 3. Jacket Properties

Jacket Properties	Description
Jacket Type	1,664φ × 4Leg
Jacket Top size	12.5m × 12.5m, (+)8.0m
Jacket Bottom Size	31.5m × 31.5m, (-)40.0m
Jacket Weight	1,125 ton
Water Depth of Installation Area	40m

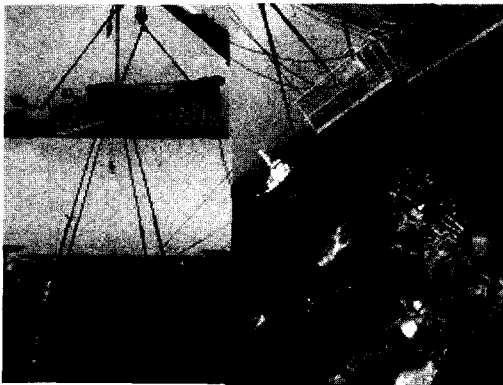


Fig. 1. Jacket Lifting and Upending.

Fig.1은 태홍호로 Jacket을 들어 해수면에 free floating하는 장면이다. 다음으로 upending 작업을 하게 되는데 Pump ballasting을 통하여 자켓의 아랫부분을 가라앉히고, 동시에 Derrick Crane 의 Hook에 하중을 가하여 자켓의 윗부분을 수면위로 들어올리는 양면작업을 통하여 자켓을 수직으로 세우는 작업이며 이때 자켓이 해저면 으로부터 충분한 여유를 가지도록 해야 한다.

Jacket positioning

설치위치로 이동하여 정확한 위치를 잡기 위하여 현장측량을 한 후 설치위치에 자켓을 안착시키고 Jacket leg에 물을 완전히 채운다. 그리고 자켓의 방위(허용오차 1°이내)와 level(4 leg의 상대오차 20cm 이내)를 check한 후 말뚝 항타를 하였다.

Pile Driving

Jacket을 정위치에 정착 후 말뚝항타를 실시한다. 이 공사에 사용된 말뚝의 제원은 Table 4와 같다.

Table 4. Pile Properties

	Pile properties	Description	Remarks
Main pile	Cut-off allowance	20.239m	Vertical Penetration Depth 51.0m
	P1 section	60.4m	124.0m
	P2 section	34.5m	
	P3 section	25.5m	
Skirt pile	Cut-off allowance	15.239m	Vertical Penetration Depth 51.0m
	P1 section	40.0m	80.8m
	P2 section	40.8m	

항타전에 미리 Jacket의 수평상태를 조사하고 항타작업이 진행되는 동안 자켓의 Level조정은 Leg의 높이가 높은 쪽 파일을 먼저 항타함으로써 부분적으로 자켓의 Level을 조정한다. 항타시 사용되는 항타기는 초기 항타시와 최종항타시로 구분 하였는데 먼저 구경1,524mm 길이 64m의 강관 말뚝(94톤)을 Jacket Leg(사람의 몸으로 치면 살과 근육과 같은 역할을 하며 반면 말뚝은 그 속에 있는 뼈와 같다.)에 삽입을 한 후 무게 120톤의 항타기 V-560을 크레인으로 들어 말뚝에 끼우고 항타기를 체결하였다. 최종 항타시 사용된 항타기 MRBS-4600은 무게만도 140톤이 넘는다. 말뚝항타시 말뚝의 두부를 보호하기 위하여 쿠션재 (Bongossi wood, 45개 조각으로 구성)를 말뚝 head 위에 놓고 항타를 하는데, 항타 에너지로 인해 불이 붙어 한번 항타 후에는 쿠션재를 교환해주어야 한다. 이 공사에서 사용된 말뚝은 메인 말뚝의 경우 3개의 말뚝으로 구성이 되었는데 가장먼저 64m 짜리인 P1을 항타 하고 34.5m의 P2

말뚝(46톤)을 P1에 용접하여 2차 항타를 한다. 마지막으로 25.5m의 P3 말뚝(33톤)을 P2와 용접하여 최종항타를 하게 되는데 이때 MRBS-4600을 사용하게 된다. 결국 Jacket Leg 하나에 들어가는 말뚝 길이만 해도 124m나 된다. 물론 최종 항타 되는 길이는 말뚝 항타 후 손상된 부분을 잘라내고 항타 기준에 의해 이보다 짧아질 수도 길어질 수도 있다.

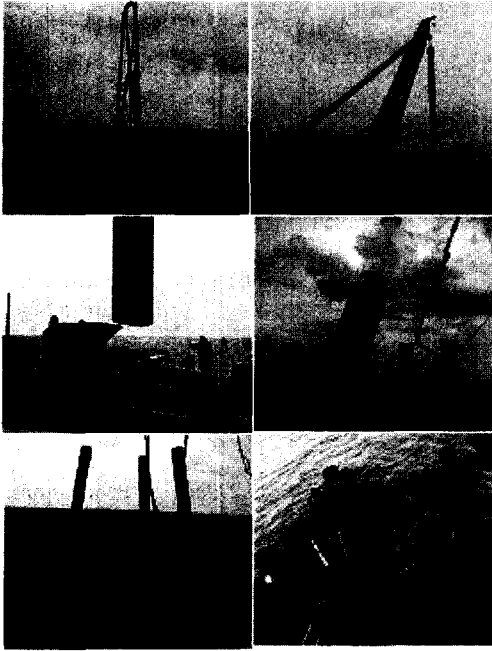


Fig. 2. Pile Driving (Left→Right).

관입깊이는 Jacket길이를 제외하면 설계상에는 51.3m이지만 공사완료 후 최종항타 결과는 설계상보다 6~10m정도 더 깊게 항타 했으며 PDA 실험결과에도 설계치 보다 큰 값의 안정성을 나타내었다. 항타작업이 완료되면 다시 자켓의 Level을 점검하여 전체의 수직방향으로의 위치오차가 ±20.0cm 이내에 들도록 조정하게 되는데 일반적으로 Derrick Crane을 이용하거나 Jacking System을 이용한다. 본 공사의 경우 Jacking을 이용하여 수평을 맞추었다.

Grouting, Boat-landing and Transition piece

Jacket Levelling 작업이 완료되면 Jacket leg와 주 말뚝, 보조 말뚝 사이의 공간은 팽창그라우팅으로 채워 leg와 말뚝을 일체화 시켜 강도를 높이기 위해 그라우팅을 하고 그라우팅 강도는 재령 28일 기준으로 $280\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 압축강도를 가져야 하

며, 밀도는 최소한 $1,900\text{kg}/\text{cm}^3$ 을 유지해야한다. 주말뚝의 경우 Pressurized 그라우팅공법 사용하였으며, 보조말뚝의 경우 Conventional 그라우팅 공법을 사용하였다.

접안시설인 Boat-landing을 설치하고 Transition piece를 Jacket의 각 Leg에 삽입하였다. 여기서 Transition piece라 함은 Jacket과 Deck를 연결하는 부위를 말하는데 이어도 과학기지의 경우 구조물의 안정성을 더하기 위하여 Jacket제작시 사항(경사각도 10.025°)으로 제작하여 수직면으로 제작된 상부구조인Deck를 올리기 위해서는 경사를 수직으로 변환시키는 설치가 필요하다. 이러한 기하학적 형상의 차이로 하부구조인 Jacket에 연결될 부분은 경사지고 상부구조인 Deck부분은 수직을 이루는 부속구조물을 Transition piece라 한다.

2.2 데크 설치

4월 26일 오전 11시20분 데크설치를 위해 출항하여 다음날 아침 5시30분경에 이어도 현장에 도착했을 때 바다는 호수처럼 잔잔했다. Tab.2에서 언급했듯이 해상공사의 주요변수는 해상조건이라고 할 수 있다. 자켓 설치와 마찬가지로 앵커를 놓고 고박시설을 절단하고 Lifting 무게의 약 10%정도 하중이 걸릴 때 까지 태홍호1200톤 크레인으로 데크를 들어올린다(Fig.3). 이때 데크의 무게중심과 태홍호의 Hook의 위치가 일직선상에 있는지를 확인, Tie down 부재가 데크로 부터 완전히 분리되었는지 여부, Crane의 작업반경 및 Working 하중 등을 확인한 후 들어올린다. 데크 운송바야지를 예인선으로 끌고나오면 Anchor의 Tension을 조정하면서 자켓 쪽으로 이동하여 Transition Piece와 데크의 Stabbing cone의 중심을 일치하도록 조정하여 데크를 내린 다음 두 부분을 용접한다. 다음으로 비파괴 검사를 실시하고 승인을 얻은 후 용접부위에 도장을 하게 되면 구조물 설치가 완료된다.

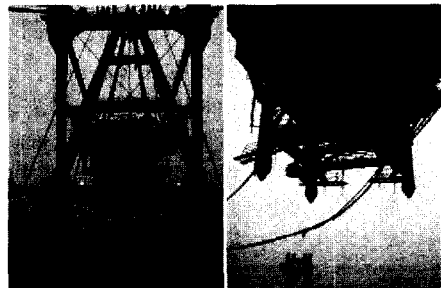


Fig. 3. Deck Lifting.

