

효율적인 실시간 해양 모니터링 시스템 구축에 대한 고찰

심재설 (한국해양연구소 선임연구원)

신연철 (해양수산부 해양개발과 사무관)

서론

해양에서 해양요소를 직접 모니터링하는 방법은 부이, 고정구조물(기기 임시고정대 등 포함), 선박에 의한 것으로 크게 세 가지로 분류할 수 있다. 여객선과 같이 정해진 항로를 규칙적으로 운항하는 선박과 해양경찰청의 경비함과 같이 정해진 항로는 없지만 규칙적으로 운항하는 선박을 이용해 모니터링한 연안 환경요소는 선박의 이동에 따른 관측자료의 일관성, 관측요소의 제한성, 관측자료의 정도 등에 문제점이 상존하고 있다. 또한 등부표를 이용한 모니터링에도 주요항 주변에 집중적으로 설치되어 있어 관측장소의 제한성으로 반드시 모니터링이 필요한 장소에서 관측을 못하는 경우가 있다. 따라서 위와 같은 문제점을 해결할 수 있는 종합관측 부이 또는 관측 타워에 의한 해양 모니터링으로 보완이 필요하다.

기존의 관측망을 개선, 활용하고, 선박, 등부표, 종합관측부이 및 관측 타워를 이용한 직접적인 관측방법과 아울러 해양수치모델 및 해양원격탐사 기술의 하나인 단파(HF : High Frequency) 레이다를 이용한 간접적인 방법을 연계함으로써 우리나라 주변 연근해에서 최선의 입체적인 해양 모니터링 시스템을 구축할 수 있을 것이다.

여기에서는 관측시스템을 우리 기술로 개발하여 실시간으로 모니터링할 수 있는 방법들에 대하여 개략적으로 기술하고자 한다.

해양 모니터링 방법

등부표

등부표는 항로표지의 일종으로서 광파표지에 해당하는 것으로 항만의 접근항로, 항역내의 항로선, 박지 및 장애물의 표시, 충돌 및 좌초의 방지 등을 위하여 설치 운영되고 있다. 앞 장에서 언급한 그림 1은 현재 이어도에 설치되어 있는 등부표를 보여주고 있다.

이러한 등부표는 1996년 10월 현재 표 1과 같이 전국 연안 항로 및 항만 일대에 260개가 설치 운영되고 있으며, 그림 2는 경기만에서 설치될 위치의 예를

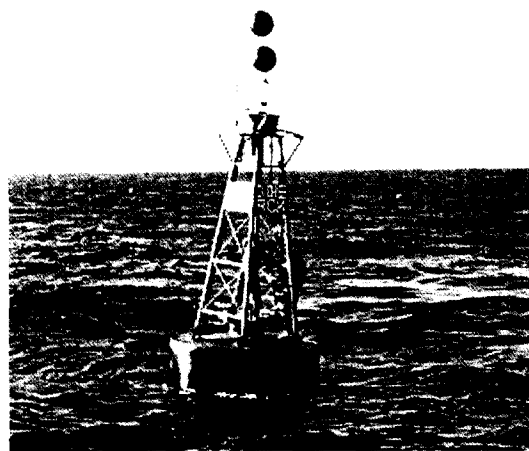


그림 1 이어도 등부표

표 1 관내별 등부표 현황(1996. 10. 30 현재)

부산	인천	마산	울산	여수	동해	군산	목포	포항	제주	대산	합계
17	67	28	33	60		24	20	9	2		260

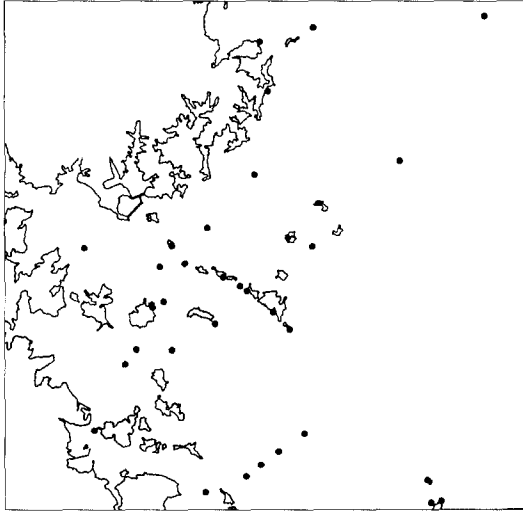


그림 2 경기만에서의 등부표 설치지점

보여주고 있다. 등부표는 연 1~2회씩 정기 점검을 통하여 배터리 교체, 도색 등을 하고, 선박의 충돌로 파손될 경우에는 새로운 등부표로 교체 설치하고 있다.

등부표는 그림에서 보는 바와 같이 주요항 주변에 집중적으로 설치되어 있어 관측장소의 제한성으로 반드시 관측이 필요한 장소에서 모니터링을 못하는 경우가 있고, 또한 등부표의 속성상 파랑에 의한 요동이 적게 설계되었기 때문에 파랑을 충실히 관측하는 데는 문제가 있다. 그러나 대부분이 해양오염의 문제가 되는 주요 항로와 항만 진입로에 설치되어 있어 해양 환경 오염의 모니터링에 적합하다.

따라서 등부표의 역할을 충실히 하면서 해양환경 및 기상요소를 관측할 수 있게 등부표와 계류시설은 고치지 않고 약간의 추가 작업으로 각종 센서와 자료 송신 장치를 부착하여 실시간 모니터링에 이용할 수 있는 기존 해양 시설물의 대표적인 것이라 하겠다. 이 모니터링 시스템은 경비가 적게 들고 유지관리가 편리하여 연안 환경모니터링에 효율적으로 활용할 수 있을 것이다.

선박

연안에서 운항하는 선박에 해양환경 센서를 부착하

여 모니터링하는 방법으로 고정 시설물에 의한 환경 모니터링 방법과 비교하면 선박이 정기적으로 항구에 입출항함으로써 유지 점검이 편리하고 경제적인 뿐만 아니라 한 시스템으로 넓은 장소의 환경 요소를 모니터링할 수 있는 장점이 있다. 특히 단기간에 시간적 변화가 크지 않은 수온, 염분 등의 요소들의 모니터링에 효율적이다. 그림 3은 비교적 자주 다니는 정기 여객선의 항로를 보여준다.

정기항로를 운항하는 여객선 이외에 해양경찰청의 순시함, 어선, 상선 등과 같이 정해진 항로는 없지만 규칙적으로 운항하는 선박을 이용하여 연안환경 모니터링을 하면 더욱더 효율적인 연안 환경 모니터링 시스템이 될 것으로 판단된다.

선박을 이용한 연안 환경 모니터링에서 가장 중요한 것은 측정장소의 위치와 관측요소를 Data Logger에 자동으로 입력되게 하고, 또한 선박이 빨리 운항함에 따른 기포와 관측 챔버에 침전물이 남지 않도록 강

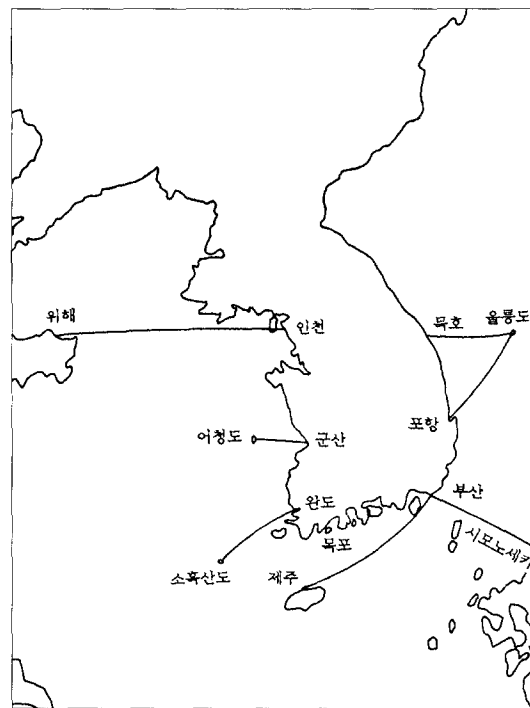


그림 3 연안 환경 모니터링에 적합한 정기 여객선의 항로

하게 펌핑을 하면 기포가 발생하는데 이 기포가 발생하지 않도록 고안해야 한다. 이 시스템은 실시간으로 운영하는 것이 바람직하나 단시간에 시간적 변화가 작은 요소에 적합하고, 또한 정기적으로 선박이 지정된 항구로 귀항하기 때문에 귀항 후 자료를 회수하여도 자료 사용에는 별문제가 없을 것으로 사료된다.

단파해양레이다

단파(HF : High Frequency)란 파장이 10~100 m, 주파수가 3~30MHz의 범위에 분포하는 전자기파를 통칭하는 것이다. 일반적으로 파(wave)는 물체에 부딪치면 산란하는 특성을 갖고 있으며 산란파는 물체의 형상, 운동 등에 관한 정보를 포함하게 된다. 레이더에서 전파를 해수면으로 발사하면 파랑의 영향으로 바다의 표면이 거울처럼 평탄하지 않기 때문에 전파는 해수면에 의해 산란되며 그 중 일부는 레이더로 되돌아온다(이것을 후방산란(back-scattering)이라 부른다). 단파해양레이다는 단파대역의 전파를 해양으로 발사하여 해수면에서 후방산란되는 전파의 도플러 스펙트럼을 이용하여 표층해수의 흐름, 표면 파랑의 파고, 주기, 스펙트럼 분포 및 해상풍 정보를 얻는 레이더를 말한다.

단파레이다(HF Radar)를 이용한 원격 해양 관측은 종래의 선박이나 부이를 이용하는 것과는 달리 2차원 영역(80km×80km)을 동시에 관측할 수 있다는 것이 큰 매력이다. 또한 적외선 밴드를 이용한 인공위성 원격탐사의 경우에는 구름에 의한 제한을 많이 받게 되나 단파레이다의 경우에는 전천후 관측이 가능하다는 장점이 있다. 따라서 지금도 미국, 캐나다, 영국, 프랑스, 일본 등 선진국에서는 단파레이다의 실용화를 위한 연구가 진행 중이다.

현재 상업용 단파해양레이다는 미국의 COS사가 개발한 CODAR 레이더가 있으며, 현재는 일본의 항만기술연구소도 상업용 레이더 개발을 위한 연구가 수행되고 있다. 우리나라의 경우 단파레이다를 해양 관측에 응용하려는 적극적인 시도는 없었으며, 다만 1992년에 한국해양연구소가 미국의 COS사와 공동

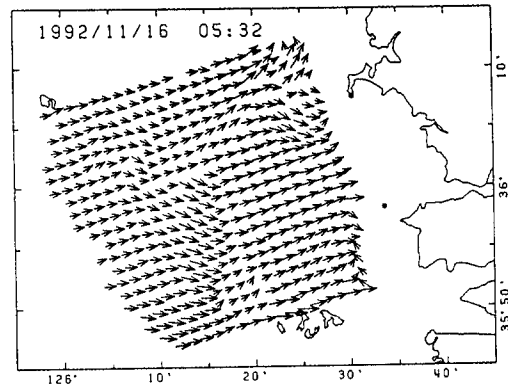


그림 4 군산 해역의 표층 유속도(1992년 11월 16일 05:32)

으로 CODAR 레이더의 성능 시험을 군산 해역에서 실시한 바 있다. 그림 4는 CODAR 레이더 자료를 분석하여 구한 1992년 11월 16일 05시 32분 군산 해역의 표층 유속도를 나타낸다. 그러나 당시 COS사는 파랑의 해석에는 실패하였는데 그 이유는 실험 대상 해역의 수심이 얇고 조류가 강한 관계로 조류-파랑 상호작용 효과를 무시할 수 없는데 COS사의 파랑 분석 소프트웨어가 이를 고려하지 않았기 때문으로 사료된다. 단파해양레이다는 해양역학, 신호처리 공학, 안테나 공학 분야의 기술이 집약된 첨단 기술로서 기술 파급 효과가 크고 해양에서의 활용성이 매우 높기 때문에 고가의 선진국 제품을 구입하는 것보다는 약간의 시일이 소요되더라도 국산화의 노력을 기울이는 것이 바람직하다고 생각된다.

단파해양레이다는 다음과 같은 목적으로 활용될 수 있다.

- 항만주변 조류/파랑의 공간분포의 실시간 제공으로 항만운영의 효율성 극대화
- VTS(Vessel Traffic System)의 핵심자료 제공
- 광역종합해양(80km×80km)의 해류와 파랑의 실시간 모니터링
- 항해, 어로 등 효율적인 산업활동 지원으로 경제적 해상산업 활동
- 유류오염 추적 및 해양 오염 방제 활동 지원

- 연안개발 및 연안구조물 설치시 최적설계자료 제공으로 막대한 건설비 절감
- 이어도 과학기지에 설치하여 태풍 예보의 정확성 제고
- 지뢰 추적, 수륙양용작전 등 연안에서의 군작전

종합관측부이

종합 해양 모니터링을 목적으로 설계·제작된 선진 외국의 종합관측부이를 구입하여 활용할 수 있으나, 이는 초기 경비가 많이 들고, 또 부이에 문제점이 발생시 제작회사의 기술을 필요로 하기 때문에 유지보수에도 경비와 시간이 많이 요구된다. 그리고 계속적으로 선진 외국의 고가 장비에 의존해야 하므로 국내의 관측 장비의 설계·제작 기술은 담보 상태에 놓이고 귀중한 외화 유출이 계속됨에 따라 우리나라의 경제여건에 악영향만 미칠 것이다.

따라서 한국해양연구소가 연구과제를 수행하여 얻은 종합해상·기상관측부이의 핵심기술인 부이제어, 자료 저장 및 송수신 기술이 어느 정도 축적되어 있고, 선박해양공학과 조선산업이 상당히 발전됨에 따라 부이 외형(hull)의 설계·제작기술도 확보된 상태이다. 따라서 선진외국의 OCEANOR와 같은 회사와 기술 제휴로 1~2개 공동 제작으로 기술 이전을 받아 우리의 실정에 맞게 부이를 재구성하여 해양 환경 모니터링 프로그램을 추진하는 것이 바람직하다고 본다. 당장은 선진외국으로부터 기상·해상 관측센서만 구입하고 그 외의 부분은 1~2회의 공동 제작을 통하여 선진 외국의 좀 더 발전된 기술을 확보하는 방향으로 부이 프로그램을 계획하는 것이 기술확보 측면이나 경제적 측면, 부이 유지 보수측면에서 합당하다고 본다.

한국해양연구소에서는 대만의 성공대학과 종합해상·기상관측부이(그림 5) 공동제작을 통하여 위에서 언급했듯이 부이제어, 자료관리 및 송수신 기술, 부이 hull 설계 및 제작 기술을 어느 정도 확보하고 있다. 특히 자료송수신은 무선 통신기술을 확보하고 있음은 물론 전세계적으로 널리 사용되고 있는 Inmarsat(국제해사위성)을 통하여 관측자료를 송신하는 방식을

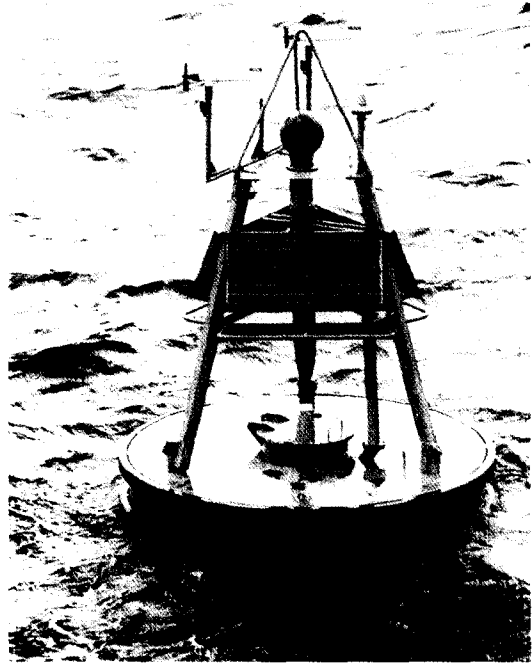


그림 5 종합해상·기상관측부이

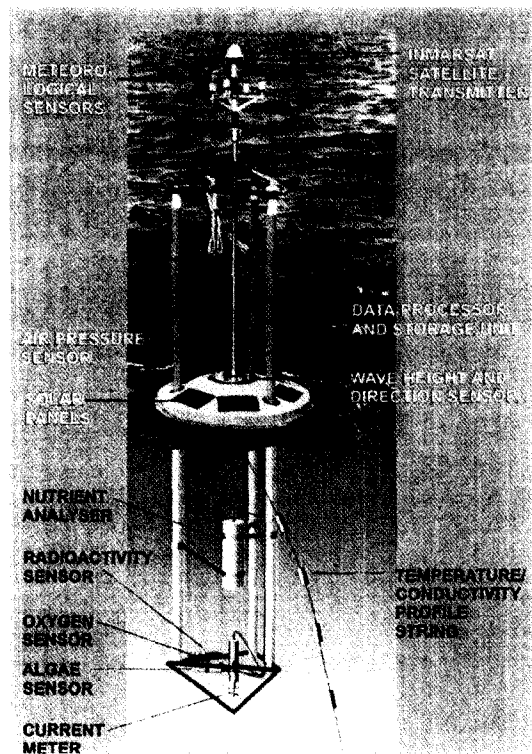


그림 6 OCEANOR의 SEAWATCH BUOY

우리 나라 최초로 종합관측부이에 적용하여 현재 사용 중에 있다.

OCEANOR의 SEAWATCH BUOY(그림 6)의 장점은 무게 450kg, 높이 6.5m, 부이 직경 1.2m의 소규모이면서도 다양한 환경요소(기상요소 : 풍향, 풍속, 기온, 기압 ; 해상요소 : 파향, 파고, 수온, 염분, 표층유속, 유향, DO, 영양염 등)를 관측한 값과 부이 제어를 실시간으로 송수신하는 시스템을 갖추고 있다. 이 부이는 선진외국의 종합관측부이보다 규격이 작아서 손쉽게 계류할 수 있고, 유지보수도 편리하다. 그러나 우리나라 연근해의 조업형태 등을 감안할 때 규격이 작아 누구나 손쉽게 부이를 선박으로 들어올려 계류선을 절단할 수 있기 때문에 고가 장비의 유실 가능성이 큰 종합관측부이와 같은 대형 부이보다 높을 것으로 생각된다. 부이의 규격이 너무 크면 부이의 육상운반에 어려움(도로규칙 시행법 상 폭이 3.0m이상의 물건에 대해선 화물운반 통행증을 화물차 앞에 부착하고 앞에서 호송차량이 있어야 하며, 반드시 야간에 국도로 운반해야 함)은 물론 부이 계류에 적합한

선박도 찾기가 힘들고, 유지보수에도 어려움이 있다.

따라서 우리의 현실을 볼 때 해상관측 장비로서 분실율을 최대한 낮추고, 육상운반 및 부이의 계류, 유지보수 문제 등을 고려하여 우리 실정에 적합한 부이를 우리 기술로 설계 및 제작하여 사용하는 것이 바람직하다고 본다. 그 일환으로 대만이 미국 NOAA로부터 기술 이전을 받아 7년간에 걸쳐 연구한 결과, 자체 모델을 한국해양연구소가 기술 도입한 종합관측부이(무게 1,300kg, 직경 2.5m, 높이 4.95m)를 토대로 연안 환경모니터링에 적합하도록 약간 개조하여 표시하면 그림 7과 같다. 이 부이는 부이의 기본 골격은 우리의 종합관측부이를 유지하면서 부이 하부의 해양환경 관측센서만 구입하여 부착한 것을 나타내고 있다.

부이의 계류위치는 실시간 연속 현장자료의 필요성, 부이의 안전성, 유지보수의 편리성을 고려해야 하는데, 이 중 자료의 필요성이 계류위치 결정에 가장 중요한 사항으로 해기상 예보, 어장 및 적조 예보의 적중률을 높일 수 있는 곳을 찾아 설치하는 것이 합당하다. 아울러 앞으로 위성에서의 원격해양탐사의 활용도가 높아짐에 따라 양질의 검증자료를 생산할 수 있는 곳도 중요한 고려사항이 될 이다. 따라서 연안 환경요소 및 연안 기상요소는 등부표를 개선하여 모니터링하고, 우리나라 주변 연근해의 종합 해상·기상관측과 해양 환경 모니터링을 위해서는 그림 8과 같이 적어도 서해중부, 마라도 앞바다, 부산 앞바다, 동해중부(후포뱅크)의 4개소와 흑산도 해양과학기술기지가 건설될 때까지 임시적으로 서해남부 해상에서의 실시간 관측이 요구된다. 아울러 적조가 매년 빈번히 발생하여 적조예보가 요구되는 해상이면서 등부표가 설치되어 있지 않아 등부표에 의한 연안 환경 모니터링을 할 수 없는 해상에서도 이 부이에 의한 모니터링이 적합하다고 본다.

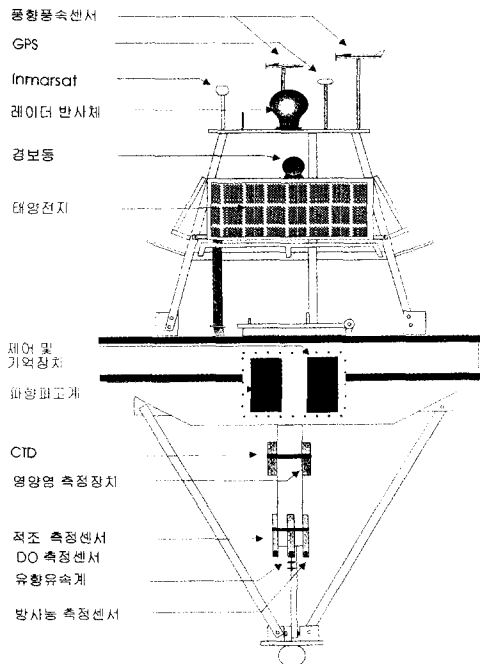


그림 7 개조한 종합관측부이

관측 타워

해상기상 및 해황변동의 관측과 아울러 해양환경요소의 장기적인 모니터링, 해양환경과 해양구조물과의 상호작용에 대한 연구를 위하여 해양 관측탑의 설치

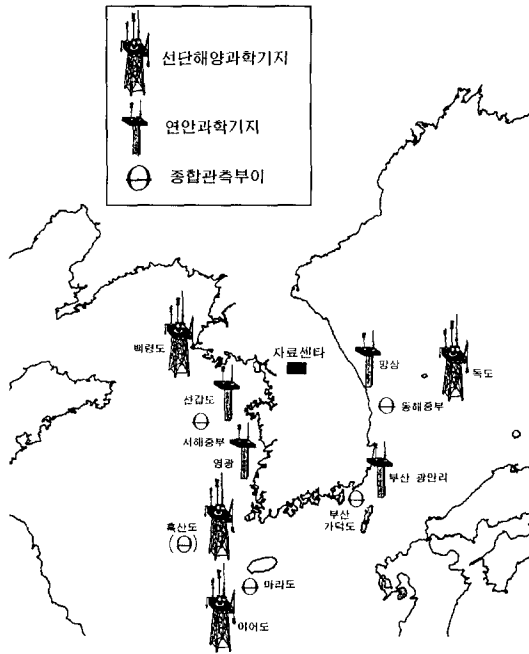


그림 8 종합 관측부이/타워 설치 예정 위치

표 2 관측탑과 관측부이의 장단점 비교

구분	장 점	단 점
관측탑	<ul style="list-style-type: none"> - 많은 항목의 관측이 가능하고 정확도가 비교적 높음 - 유지관리가 편리함 - 장기간의 정밀관측과 얇은 수심에 적합함 - 관측의 다목적적으로 활용 가능 - 분실의 위험이 없음 - 전원 문제 쉽게 해결됨 - 활용공간이 여유 있음 	<ul style="list-style-type: none"> - 초기 설치비가 많이 들고 공기가 길음 - 장소의 이동이 불가능함 - 연안에서는 선박항해에 지장을 주나 암초에 설치할 경우 등대 역할로 도움을 줌 - 구조물의 안전도를 고려한 설계·시공을 요함
관측 부이	<ul style="list-style-type: none"> - 설치가 간편하고, 대수심에 적합함 - 관측장소의 이전이 편리하고 경제적임 - 세계적으로 널리 사용됨 	<ul style="list-style-type: none"> - 관측 항목(바람, 유속, 조위 등)의 정밀도에 제한이 있음 - 항해선박과 충돌 및 분실 위험이 큼 - 전원문제로 유지관리를 위한 회수가 많음 - 부이의 방수문제 해결 요함

가 필요하다. 일반적으로 부이에 의해 해양환경을 모니터링하는 것이 경비도 저렴하여 많이 선호하고 있

는 실정이나 고정구조물에 의한 해양환경 모니터링은 장기간의 정밀관측에 적합하고, 관측 이외에 다목적 활용도(무인 등대, 수색 구난기지 등)가 높으며, 부이와 같이 유실에 따른 분실의 위험이 없다. 관측탑과 관측부이의 장단점을 비교한 것을 표 2에 나타냈다.

해양환경 모니터링을 위한 고정구조물 설치위치로는 그림 8에서 보는 바와 같이 육지에서 멀리 떨어져 있는 우리나라 국토의 선단인 이어도, 독도, 백령도, 흑산도, 선감도 등에 Jacket형 구조로 선단해양과학기지를 단계적으로 구축하는 것이 요망된다. 이와 같은 곳에서의 설치에 정부가 경비를 부담하는 국가주도 사업으로 추진되어야 한다고 생각한다. 선단해양과학기지에서의 실시간 관측자료는 주로 해상·기상예보, 어장예보, 해양원격탐사, 지구환경 변화 연구에 활용되고, 관측자료의 실시간 송수신 체제는 장거리 송수신에 적합한 위성통신을 사용하는 것이 바람직하다. 현재 통신위성으로 사용 가능한 것은 우리의 여건을 감안하면 세계적으로 널리 사용되고 있는 Inmarsat(국제해사위성)과 우리나라 무궁화 위성이다. 무궁화 위성은 지향성 위성으로 접시 안테나를 설치할 수 있는 구조물이 있어야 사용 가능하고, Inmarsat은 무지향성 위성으로 소형의 안테나를 부착할 수 있는 물체만 있으면 사용 가능하다. 따라서 무궁화 위성은 이어도 해양과학기지과 같은 고정구조물에서만 사용 가능하고, 국제해사위성은 고정 구조물이나 부이 등에 모두 사용 가능하다. 그리고 후자는 전세계에서 가장 널리 사용되어 상용화되어 있는 반면 전자는 이론적, 기술적, 통신범위 등에는 별문제가 없으나 해양에서 데이터 통신을 해본 경험이 없기 때문에 앞으로 기술 개발과 경험을 축적해야 사용할 수 있겠다. 따라서 선단 해양과학기지에서의 자료 및 음성통신의 주 사용위성은 무궁화 위성을 사용하는 것이 사용료에 의한 외화 유출을 막을 수 있고, 또한 우리 위성을 사용하는 것이 앞으로 우리나라의 통신위성 및 탐사위성의 기술개발에도 일조할 수 있을 것이다. 그리고 자료 송수신에서 안정도가 있는 Inmarsat을 back-up용으로 사용하는 것이 바람직한 것으로 본다.

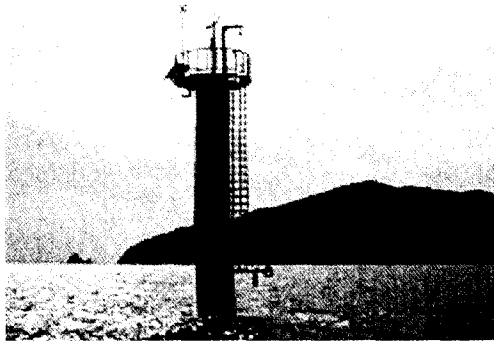


그림 9 부산 광안리 관측탑

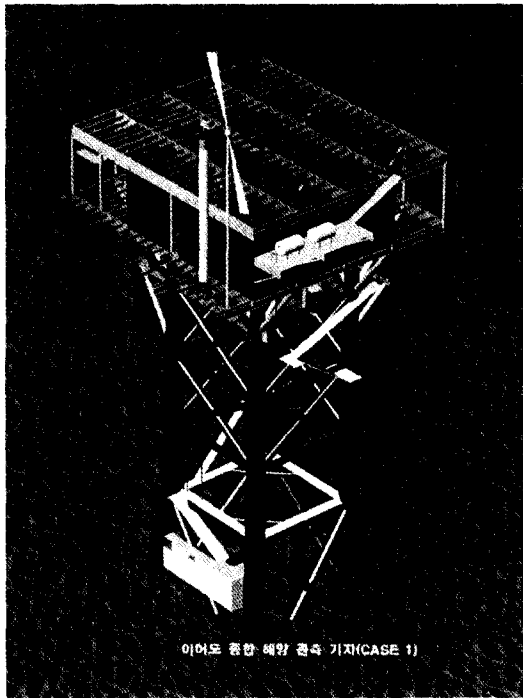


그림 10 이어도 종합해양과학기지

그리고 연안역에서 인공섬 건설, 대규모 간척사업, 해상 신공항 건설 등과 같이 장기간에 걸쳐 공사를 요하는 경우에 연안개발에 따른 환경피해 방지 및 최적 설계로 인한 공사비 절감, 경제적이고 효율적인 공사 진행 등을 위해 체계적이고 장기적인 해양자료의 축적이 요구된다. 따라서 우리 나라의 주요연안에는 연안과학기지를 소규모의 Jacket형 및 항형 타워로 건



그림 11 아드리아해 해양관측탑 전경

설하는 것이 과학기지의 기능적, 경제적인 측면에서 볼 때 바람직하다고 본다. 영광, 부산 광안리(그림 9)의 연안 과학기지는 공사 수익자 및 발주자가 경비를 부담하고, 망상의 경우는 순수 연안 과학기지로만 활용되기 때문에 정부가 경비를 부담해야 한다고 본다. 연안과학기지의 자료 송수신은 단거리(25km 이내) 무선통신을 이용하는 것이 사용료도 없고, 파랑자료와 같이 많은 양의 원시자료(raw data)도 자료센터로 송신이 가능하여 무선통신을 이용하는 것이 효율성이 높다.

위에서 설명한 선단/연안 과학기지는 부산 광안리만 항형 타워로 완공되었고, 나머지는 2층의 자켓형 타워로 사업이 진행 중에 있거나 계획 단계에 있다. 규모에 대하여 알아보면 이어도 종합해양과학기지는 헬기 이착륙장을 갖춘 약 235평(그림 10), 독도, 흑산도는 이탈리아 아드리아해 해양관측탑(그림 11)과 같은 규모의 약 50평, 선감도, 백령도 선단해양과학기

지와 서해 영광, 동해 망상 연안 과학기지는 큐슈대
 응용역학연구소의 파랑 관측탑(그림 12)과 같은 약
 20평 규모가 적합하다고 판단된다. 선단/연안 과학기
 지의 내용을 요약하여 정리하면 표 3과 같다. ●

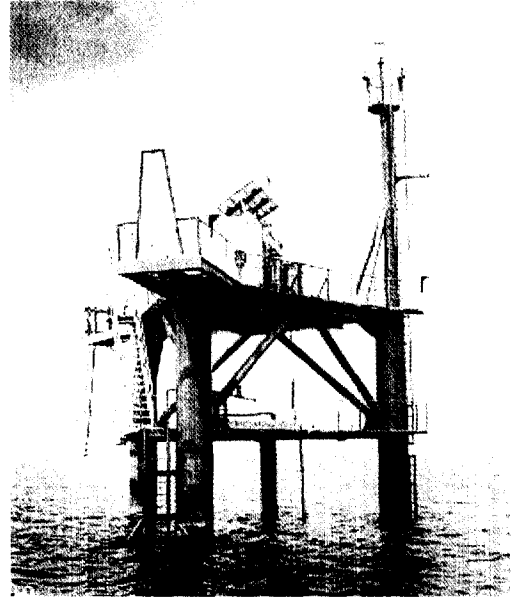


그림 12 일본 큐슈대 해상 관측탑

표 3 선단/연안 과학기지 내용 요약

위 치	구 분	형 태	규 모	착공년도	준공년도	추정예산(출처)
이어도	선단기지	자켓형	235평	1995년	2000년	25억(국가)
독도	선단기지	자켓형	50평	1998년	2001년	72억(국가)
선갑도	선단기지	자켓형	20평	2001년	2004년	47억(국가)
흑산도	선단기지	자켓형	50평	2003년	2006년	65억(국가)
백령도	선단기지	자켓형	20평	2005년	2008년	65억(국가)
부산광역시	연안기지	항형	3평	1996년	1997년	(부산시)
서해 영광	연안기지	자켓형	20평	-	-	(한진)
동해 망상	연안기지	자켓형	20평	-	-	(국가)