

종합관측부이 개발 및 실시간 관측기술 Development of Ocean Data Buoy and Real-Time Monitoring Technology

심재설* · 이동영* · 박우선* · 박광순*

Jae Seol Shim*, Dong Young Lee*, Woo Sun Park* and Kwang Soon Park*

요 旨 : 장기간의 해양 모니터링을 위해서는 종합관측부이를 국산화하여 활용하는 것이 요구된다. 이런 요구에 부응하여 한국과 비슷한 여건의 대만 성공대학교와 공동연구를 통해 종합관측부이 제작기술을 도입하여 이를 한국에서 더 효율적으로 해양 환경 모니터링에 활용할 수 있게 발전·개선시켰다. 부이의 크기는 육상 운반과 해상 설치에 편리하도록 직경 2.5 m로, NOAA의 3.0 m 부이보다 작다. 부이의 동적특성을 수치모델로 해석하였는데, 주기가 4초 이상의 파랑을 관측하는 데는 문제가 없는 것으로 나타났다. 부이의 관측 및 제어 시스템을 개선하여 더 많은 관측센서를 부착할 수 있고, 전원 소모량을 줄이고 또 자료의 분석 및 관리 기능을 높였다. 이 논문에서는 개선된 종합관측부이의 각 구성 부분을 자세히 설명하였다. 종합관측부이는 풍향, 풍속, 기온, 습도, 기압 및 파랑 등 기존의 해양기상 요소에다 수온, 염분, DO, pH 및 탁도 등 해양환경 요소를 첨가하였다. 원해에 설치된 부이로부터 실시간 자료 전송을 위해 Inmarsat 위성통신 시스템을 이용하였다. 개선 제작된 부이는 포항 앞바다에서 1개월 간의 시범운영을 통하여 계류, 자료 송신에 대한 성능 실험과 파랑자료를 검증하기 위하여 네덜란드의 Datawell사의 Wave-rider부이와 동시 관측 실험을 수행하였는데, 좋은 결과를 얻었다.

핵심용어 : 종합관측부이, 자료 전송, 동적특성, 현장실험

Abstract □ It is desired to use a domestically manufactured ocean data buoy for the long-term operational ocean monitoring. The ocean data buoy manufacturing technology was introduced through the research cooperation with the Qingkong University of Taiwan. The introduced ocean data buoy system was further expanded and improved for more efficient application for the marine environmental monitoring in Korea. The size of the ocean data buoy is 2.5 m in diameter, which is smaller compared to the NOAA's 3.0 m discus buoy to allow easy land transportation and ocean deployment as well. From the dynamic response test of the buoy carried out numerically, it was shown that the measurement of waves with period greater than 4 seconds is acceptable. The measurement and control system of the data buoy were improved to increase the number of measuring parameters, to reduce power consumption and to enhance better data analysis and management. Each component of the improved data buoy system was described in detail in this paper. Water quality sensors of water temperature, salinity, DO, pH and turbidity were added to the system in addition to the marine meteorological sensors of wind speed and direction, air temperature, humidity, air pressure and wave. Inmarsat satellite communication system is used for the real-time data telemetry from the buoy deployed offshore. A field performance test of the improved and domestically manufactured buoy was carried out for a month at the open sea off Pohang together with Datawell's Wave-rider buoy to compare the wave data. The results of the test were satisfactory.

Keywords : ocean data buoy, data telemetry, dynamic response, field test

* 한국해양연구소 연안·항만공학연구센터 (Coastal & Harbor Engineering Research Center, Korea Ocean Research & Development Institute, Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea)

1. 서 론

해양의 개발 및 이용 그리고 해양에서 자연재해의 방지 및 환경보전을 위해서는 해양 환경 요소의 현장 관측에 바탕을 둔 현황 파악과 예측 기술이 요구된다. 우리나라에서 그 동안의 해양 조사는 주로 비 실시간으로 운영되어 짧은 시간에 변화하는 해양의 현황 파악은 물론 예보에 크게 활용하지 못하여 왔다. 우리나라 기상청에서는 육상에서 매 15 km 마다 자동기상관측소를 설치하여 기상예보 지원에 활용하고 있으나, 해상기상 관측소는 제대로 갖추고 있지 못하여 각종 해양산업 활동 지원과 연안 선박 운항 및 연안재해 방지를 위한 예보업무에 실시간 해상기상 관측자료를 활용하고 있지 못한 실정이다.

선진외국을 보면 미국의 NOAA 산하 NDBC (National Data Buoy Center)에서는 이미 1960년대부터 처음에 12 m의 대형부이에서 시작하여 여러 종류의 부이를 개발하였으며, 그후 설치가 용이하고 경제적인 3 m 소형부이를 개발하여 이것으로 대형부이를 대체하고 있다(Hamilton, 1988). 그리고 일본 기상청에서는 1970년대부터 10 m에 달하는 대형부이를 제작하여 일본의 외해에 4개를 운영하고 있다(JMA, 1991). 노르웨이의 OCEANOR사는 아주 소형종합부이인 Seawatch Buoy를 개발하여 20여개 환경요소를 Inmarsat 및 Argos 시스템을 이용 실시간으로 모니터링하고 있으며, 이 부이를 노르웨이 이외에 태국, 인도네시아, 베트남 등에도 설치·운영중에 있고, 스페인, 그리스, 멕시코, 이탈리아 등에는 운영할 계획을 가지고 있다(Stel and Mannix, 1996). 네덜란드의 Datawell사는 파랑 관측 전용 부이를 상용화하여 전세계에서 활용하고 있다. 대만의 성공대학은 대만 기상국의 지속적인 지원을 받아 미국 NOAA에서 장기간 개발하여 현업에 이용하고 있는 3 m 해양기상 관측부이 제작 기술을 도입하여 대만의 실정에 맞게 개선하여 2.5 m 부이로 제작하여 대만 일대의 해양 기상 모니터링에 이용하고 있다. 우리나라에서는 최근의 외환위기로 인하여 관측기기의 국산화를 위한 정부기관, 연구소 및 중소기업의 기술개발에 대한 투자가 증가하고 있는 실정이지만 아직도 종합관측부이(Ocean Data Buoy)에 대한 기술개발은 미진하다. 다만 몇몇 연구자들(이 등, 1991; 진 등, 1997)에 의해 연구목적에 부합되게 일부 관측센서만 부착된 소형부이를 설계·제작하여 임시 운영한 바

있다. 아직 국내의 종합관측부이에 대한 설계·제작기술은 미진한 상태로 이의 개발과 상용화가 요구되고 있다.

그리고 기상청 및 해양수산부에서 추진하는 전 국가적인 해양관측시스템을 성공적으로 추진하고 또 신항만 개발 등 국지 연안개발과 연안 환경 모니터링을 위해 한국형 종합관측부이의 국산화 제작으로 해양 관측부이 프로그램을 성공적으로 추진할 수 있게 하는 것이 무엇보다 중요하다. 관측장비를 개발하는데 있어 처음부터 끝까지 국내기술로 국산화하는 것이 가장 바람직하나, 이는 많은 시간과 노력을 기울여야 하고, 설령 국산화에 성공하였다 하여도 선진외국은 이보다 훨씬 앞선 신형장비를 실용화하여 어렵게 국산화된 장비의 상대적 실용가치는 떨어지게 된다. 따라서 한국해양연구소는 해양에서 대표적인 관측기기인 종합관측부이를 대만 국립성공대학교 수리 및 해양공학과의 기술협력을 통하여 국산화하는데 성공하였다. 대만도 미국 NOAA로부터 과거 7년간 종합관측부이의 하드웨어 및 소프트웨어 관련기술을 이전받아 이를 바탕으로 종합관측부이의 국내 기술로의 제작 공급을 이룩할 수 있었다.

이와 같이 부이 국산화로 연구개발된 기술은 연구소뿐만 아니라 기상청, 해양수산부, 국립해양조사원 등에서 수행하고 있는 정기관측시스템 구축에 필요한 핵심기술로서 활용될 것이다. 또한 이 종합관측부이 시스템은 향후 건설예정인 국가선단해양과학기지(이어도, 독도, 백령도, 흑산도, 선감도)의 관측 시스템에도 활용이 가능하다. 즉, 시스템 제어 및 효율적인 관측기술, 관측자료의 실시간 송수신 및 활용기술, 과학기지의 운영기술 등을 그대로 사용할 수 있기 때문에 요소기술의 사전 확보 차원에서도 매우 중요하다.

본 논문에서는 개발된 종합관측부이 시스템에서 채택하고 있는 관측 및 제어 시스템, 실시간 자료 송수신 시스템, 계류시스템에 대해서 상세히 소개하였으며, 부이의 동적 해석을 통하여 현장 적용성을 검토하였다. 또한, 포항 앞바다에서 시범운영을 하고 그 결과를 기존의 Wave-rider 부이 결과와 비교검토하였다.

2. 종합관측부이 개발

2.1 종합관측부이 개발의 필요성

우리나라는 대부분의 해양 관측기기들을 수입에만

의존하고 있으나, 아직도 국내의 해양기기 산업의 육성을 위한 투자가 부족하여 국산기기를 제작하는 업체가 거의 없는 실정이다. 그리고 해양에서 제한된 사업기간 내에 사업목적을 성공적으로 완수하기 위해서는 측정장비가 필요하지만 우리의 측정장비 제작기술이 아직 미진하기 때문에 부득이 외국의 고가 장비에 의존하고 있다. 따라서, 국내의 관측장비의 설계·제작기술은 담보상태에 놓일 수밖에 없으며, 귀중한 외화가 유출되는 문제가 있다. 또한 수입된 관측장비에 이상이 생기면 제작회사의 기술지원이 필요하기 때문에 유지보수에도 경비와 시간이 많이 투입된다.

OCEANOR사의 Seawatch Buoy(Fig. 1)의 장점은 무게 450 kg, 높이 6.5 m, 부이 직경 1.2 m의 소규모이면서도 다양한 환경요소(기상요소: 풍향, 풍속, 기온, 기압, 일사량 등; 해상요소: 파향, 파고, 층별 수온, 층별 염분, 표층유속, 유향, DO, pH, 영양염, 방사능 등)를 계측하며 이를 실시간으로 송수신하는 시스템을 갖추고 있다(Hansen and Stel, 1997). 이 부이는 타 선진국의 종합관측부이보다 규격이 작아서 손쉽게 계류할 수 있고, 유지 보수도 편리하다는 장점이 있다. 그러나 우리 나라 연근해의 조업형태 등을 감안해 볼 때 규격이 작기 때문에 어업활동에 방해되는 경우 손쉽게 부이를 선박으로 들어올려 계류선을 절단할 수 있어 유실될 가능성이 매우 크다.

반면, 부이의 규격이 너무 크면 부이의 육상운반에 어려움[도로교통법(1984) 및 동 시행규칙(1985)상 폭이 3.0 m이상의 물건에 대해선 안전기준 초과적재 허

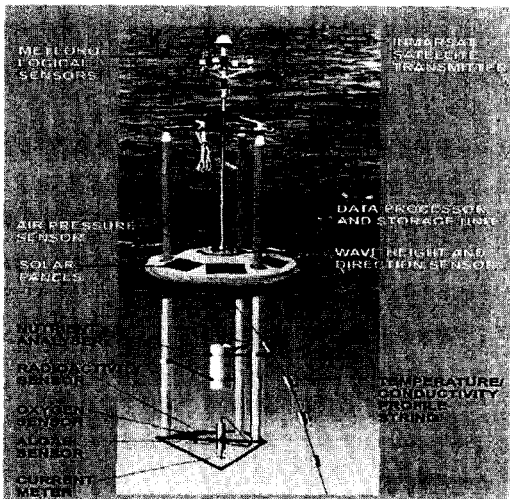


Fig. 1. Seawatch Buoy of OCEANOR.

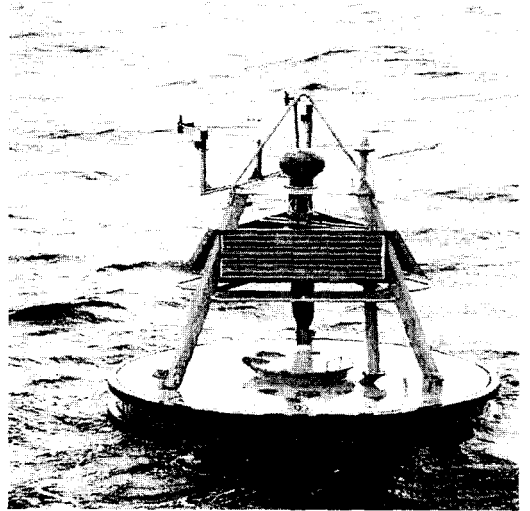


Fig. 2. Ocean data buoy.

가증을 화물차 양쪽 끝에 부착하고 통행하여야 함]은 물론 부이 계류에 적합한 선박도 찾기가 힘들고 유지보수에도 어려움이 있다. 따라서 우리의 현실을 감안할 때 해상관측 장비로서 분실율을 최대한 낮추고, 육상운반 및 부이의 계류, 유지보수 문제 등을 고려하여 우리 실정에 적합한 종합 관측부이를 우리 기술로 설계 및 제작하는 것이 바람직하다.

그 일환으로 한국해양연구소에서는 대만이 미국 NOAA로부터 기술 이전을 받아 7년간에 걸쳐 개발한 모델(무게 1,300 kg, 직경 2.5 m, 높이 4.95 m인 종합관측부이 Fig. 2; 기상: 풍향, 풍속, 기압; 해상: 파랑)을 도입하여 부이의 관측 및 제어 시스템, 통신 시스템을 개선하고 기상, 해상은 물론 수질요소(탁도, DO, pH, 수온, 염분 등)까지 실시간으로 모니터링할 수 있도록 개선하였다. 이 부이에 부착된 센서를 Fig. 3에 나타내었다.

2.2 종합관측부이 시스템의 개발·제작

개발된 종합관측부이의 관측 및 제어시스템(이하 "시스템")은 아날로그 데이터의 수집 및 전원제어, Inmarsat과의 인터페이스를 담당하는 "자료측정장치", 관측자료의 분석, 저장 및 GPS, 파향파고계, 수질관측장비와의 인터페이스를 담당하는 "자료분석저장장치", 축전지와 태양전지로부터 전원을 공급받아 시스템 및 계측기로 전원을 공급하는 "전원공급장치"와 관측센서 및 GPS 등으로 구성되어 있다.

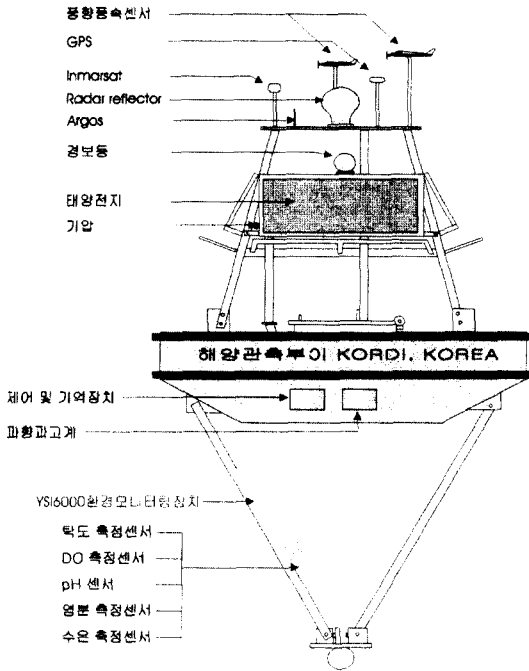


Fig. 3. Schematic diagram of the improved ocean data buoy.

시스템은 기능에 따라 “자료측정장치”, “자료분석저장장치”, “전원제어장치”로 나누는데, 시스템의 구성을 도식화하면 Fig. 4와 같다. 이 부이의 시스템은 설정시간에 의한 주기적인 관측 및 필요 시점에서 명령에 의한 비주기적인 관측이 모두 가능하며 이의 설정은 육상에서 가능하도록 하였다. 설정된 또는 명령된 관측시간의 판단은 상시 전원이 공급되어 있는 “자료측정장치”에서 관리하고 측정 시점에 전원을 투입하도록 “전원제어장치”에 명령을 하달한다. 관측된 데이터는 “자료분석저장장치”에서 분석·저장한 후, 데이터를 “자료측정장치”로 전송하여 Inmarsat로 육상에 최종 전송된다.

2.2.1 자료측정장치

“자료측정장치”는 전원의 소비가 적은 Microchip사의 Microcontroller인 PIC Chip을 사용하여 구성하였으며, 아날로그 자료수집을 위한 8채널의 A/D Converter, 전원 제어를 위한 4채널의 Digital Input 및 Output 그리고 2개의 RS-232C 통신용 포트를 내장한다. “자료측정장치”에는 전용 프로그램 개발 Tool인 Basic 계열의 PIC-BASIC으로 작성된 프로그램이 내장되어 있고, Windows 환경하에서 Compile/Download/Run이 가능하다. 범용의 Microcontroller를 사용하였고, 개발

언어도 Basic계열로 작성이 손쉬우므로 개발 후에도 유지보수에 매우 효율적인 것으로 기대된다. “자료측정장치”는 전기적인 충격 또는 외부의 영향으로 시스템이 오동작할 경우, 이를 방지할 수 있도록 Watchdog Timer를 내장하였다.

“자료측정장치”에서 관측하는 아날로그 데이터의 항목은 풍향, 풍속, 기압, 기온, 전압, 일사량 등과 별도의 수온, 염분 등이다.

주기적인 관측시의 관측간격 및 관측기간의 설정은 1시간 간격을 기본으로 관측기기의 특성에 따라 관측하는 것으로 한다. 단, 파랑은 3시간마다 10분간 관측하는 것을 원칙으로 한다. 이 때의 관측간격 및 관측기간의 설정은 육상에서 설정이 가능하도록 하였다. 이미 설정되어 있는 시간마다 일정시간 동안 관측을 실시하고 관측 자료를 육상으로 전송하는데 따른 제어 흐름을 나타내면 다음과 같다.

- ① “자료측정장치”는 항상 대기 상태로 육상으로부터의 자료 수신을 기다리며 내장 시계의 시간을 감시한다.
 - ② 내장 시계의 시간이 제어 주기의 시간과 일치하면 수신 대기 모드에서 관측모드로 변경한다.
 - ③ 관측모드로 전환되면 “자료측정장치”는 자체 A/D Converter에 연결되어 있는 전압을 읽어 전압이 정상인지 여부를 확인한 후, 정격 전압 이하일 경우 관측모드를 해제하고 수신 대기모드로 변경한다(12.2 Volt 이상일 경우 동작).
 - ④ 관측모드로 변경되면 먼저 각 계측기의 전원 및 “자료분석저장장치”의 전원을 ON시키고 각 계측기가 안정될 때까지 대기한다(약 30초).
 - ⑤ 전원을 공급한 후 대기 시간이 경과하면 설정시간 동안 관측을 실시한다.
 - ⑥ 관측시 “자료측정장치”는 자체의 A/D Converter로부터 데이터를 수집하여 “자료분석저장장치”로 전송한다.
 - ⑦ 관측이 완료되면 “자료분석저장장치”는 관측자료를 분석·저장한 후, 최종 데이터를 “자료측정장치”로 전송하고, 이 데이터는 Inmarsat를 통하여 육상으로 전송된다.
 - ⑧ 각 계측기 및 장치의 임무가 끝나면 “자료측정장치”는 각 계측기 및 “자료분석저장장치”의 전원을 OFF시키고 수신 대기 모드로 변경된다.
- 주기적인 관측시의 제어 흐름을 도식화하면 Fig.

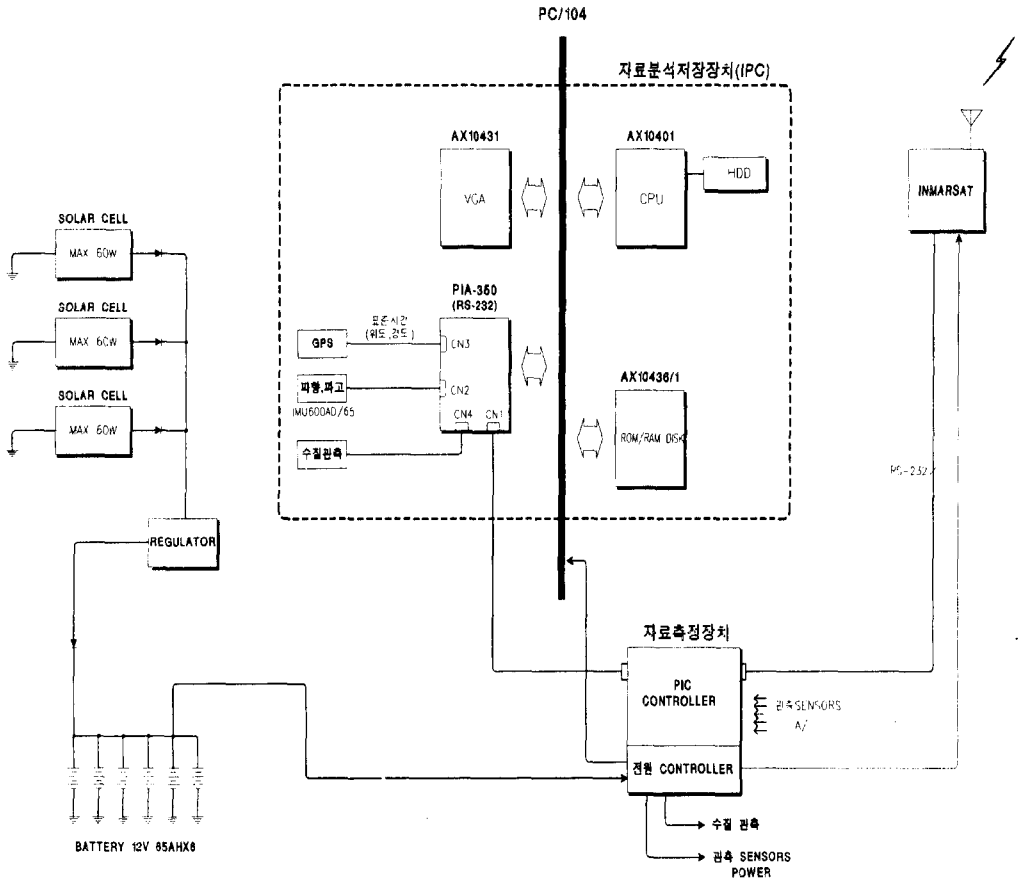


Fig. 4. System configuration.

5와 같고, 육상에서 필요에 따라 비주기적으로 관측하고자 할 경우에는 '관측 TIME =실정시간'을 '자료 관측 요구'로 대체하면 된다. 즉, 앞의 두 번째 내용이 다음과 같이 된다. 육상으로부터 관측명령(관측시점, 항목, 기간 등)이 수신되면 수신대기모드에서 관측모드로 변경된다. 그리고 관측이 끝난 시점에서 육상으로 전송하는데, 통신 이상 등의 발생으로 일정기간 동안 자료전송이 정상적으로 안될 경우 전송을 취소하고 수신대기모드로 전환하도록 되어 있다. 이 때의 전송되지 않은 데이터는 "자료분석저장장치"에 저장되어 있으므로 시스템이 정상적으로 작동되면 육상으로부터 데이터 전송 요구가 있을 경우에는 이 데이터를 다시 전송하게 된다. "자료측정장치"의 사용된 부품 구성은 아래와 같다.

- PIC-BASIC-5G
- PROGRAM MEMORY: 32KB
- DATA MEMORY: 8KB

- PORT: 2 SERIAL
- ANALOG INPUT: 8Ch
- DIGITAL INPUT: 4Ch
- DIGITAL OUTPUT: 4Ch
- WATCHDOG TIMER 내장

2.2.2 자료분석저장장치

"자료분석저장장치"는 전원의 소비가 적은 산업용 모듈인 PC104 BUS 방식의 제품을 사용하여 구성하였으며, 백업용 PCMCIA 방식의 하드디스크와 4개의 RS-232C 포트(관측용: 3개, 통신용: 1개)를 내장한다.

"자료분석저장장치"의 내부에는 C언어를 이용한 전용 프로그램이 내장되어 있고, RS-232C 포트를 사용하여 프로그램을 Download할 수 있다. "자료분석저장장치"는 파향파고 측정용 가속도계, 수질관측 장비인 YSI6000 및 GPS가 관측을 수행할 수 있도록 통신 프로토콜이 내장되어 이들 장비로부터 데이터를 수집하고, 또한 "자료측정장치"에서 관측한 아날로그 데이터

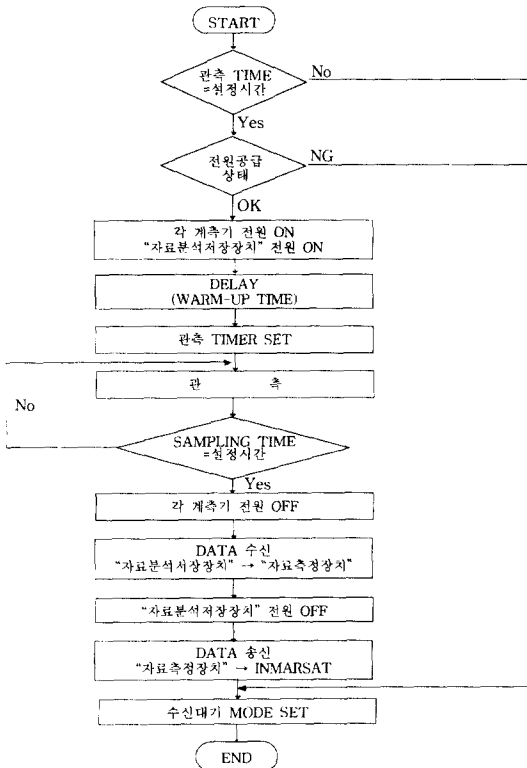


Fig. 5. Control flow under periodical data research.

를 통신 포트를 사용하여 수집한다. 최종 관측이 끝나면 수집한 관측 데이터를 분석·저장한 후, 분석 및 관측결과를 “자료측정장치”로 전송하고 이 데이터는 Inmarsat를 통하여 육상으로 전송한다.

“자료분석저장장치”는 항상 전원이 공급되는 상태가 아니라 “자료측정장치”에 의하여 필요시 전원을 공급받아 동작하고 모든 동작이 끝난 시점에서는 전원이 차단되도록 되어 있다. “자료분석저장장치”는 자료의 관측 및 관측자료의 분석, 저장이 주 기능으로 이때의 제어 흐름을 나타내면 다음과 같다.

- ① “자료측정장치”로부터 전원을 공급받아 프로그램 시작 후 대기 상태
- ② “자료측정장치”로부터 관측 시작 명령을 수신한 후 관측 시작
- ③ “자료측정장치”에서 수집한 데이터 및 파향파고 측정용 가속도, 수질자료 및 GPS 데이터 수집
- ④ 설정된 시간만큼 관측 후 관측 데이터 저장 및 “자료측정장치”로 전송
“자료측정장치”로부터 관측요구(주기적/비주기적)

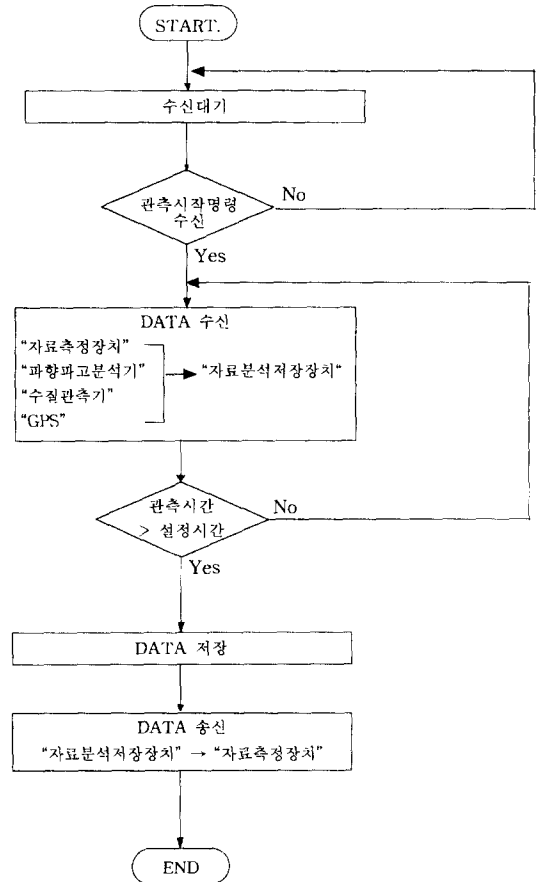


Fig. 6. Control flow of data analyzer.

를 수신하고 이에 따라 관측을 실시하는 제어 흐름을 도식화하면 Fig. 6과 같다.

관측 데이터는 날짜, 시간을 포함하여 월별, 일별 파일로 구분하여 저장되는데, 저장하는 데이터의 보관기간은 최소 1년으로 한다. 육상으로부터 이력 데이터의 요구가 있는 경우 “자료분석저장장치”는 “자료측정장치”로부터 이력 데이터를 요구하는 명령을 수신하게 되는데, 이 때 백업용 하드디스크로부터 해당 데이터를 읽어 들여 이를 “자료측정장치”로 전송한다. “자료분석저장장치”에 사용된 부품 구성은 아래와 같다.

- CPU MODULE

- PROCESSOR: 386SX-40
- MEMORY: 2MB
- HDD: 520MB
- PORT: 2 SERIAL, 1 PARALLEL
- WATCHDOG TIMER 내장

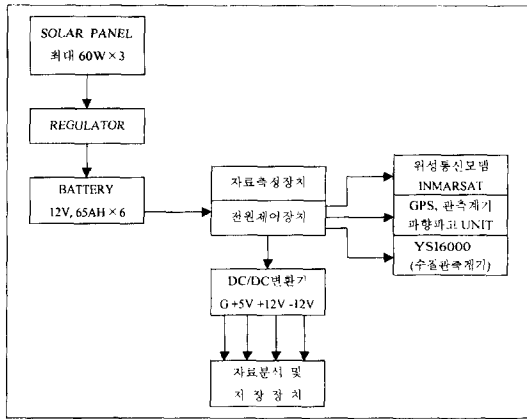


Fig. 7. Flow diagram of power supply.

- ROM/RAM DISK
- IMB FLASH MEMORY
- 확장 PORT MODULE: 4 SERIAL

2.2.3 전원공급장치

전원은 제어시스템의 심장이므로 특정 제어시스템의 안정성과 신뢰도는 상당 부분 전원장치에 달려 있다. 관측센서, 자료제어기(자료측정장치, 자료분석저장장치), 자료전송장치 및 부이 표시등 등에 직류 12V를 안정하게 공급하는 전원공급장치는 태양전지(Solar Panel), 축전지(Battery), 정전압장치(Regulator) 및 전원제어장치로 구성된다. 종합관측부이의 전원공급 계통도는 Fig. 7과 같다.

본 부이의 시스템은 육상에서도 제어할 수 있도록 설계·제작되어 있지만 관측부이에서 수신하기 위해서는 항상 Inmarsat가 수신 상태로 있어야 함으로 전원의 소모가 상당히 크기 때문에 본 부이에 설치된 태양전지로는 충당할 수 없다. 따라서 관측하여 분석 결과를 육상으로 송신만 할 수 있도록 시스템을 약간 개조하여 설계하였다. 소비전력을 계산하기 위해서는 우선 시스템의 동작시간 스케줄(Fig. 8)를 알아야 한다. 시스템 소비전력은 매시간마다 10분씩 관측하여 육상기 지국으로 송신할 경우 다음과 같다.

시스템 소비전력 계산

- 대기시: 자료측정장치
 $0.16A \times 24H/day = 3.84AH/day$
- 관측시: 자료측정장치+자료분석 및 저장장치+관측센서
 $0.16A+1.16A+0.1A=1.42A$
 $1.42A \times (10.5/60)H/회 \times 24회/day = 5.964AH/day$

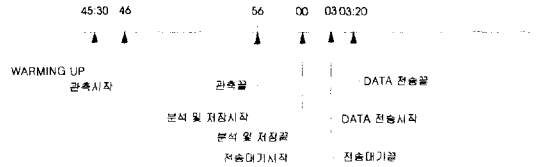


Fig. 8. Time schedule of system operation.

- 분석 및 저장시: 자료측정장치+자료분석 및 저장장치
 $0.16A+1.16A=1.32A$
 $1.32A \times (4/60)H/회 \times 24회/day = 2.112AH/day$
- 전송대기시: 자료측정장치+위성통신모뎀
 $0.16A+5.84A=6A$
 $6A \times (3/60)H/회 \times 24회/day = 7.2AH/day$
- 전송시: 자료측정장치+위성통신모뎀
 $0.16A+9A=9.16A$
 $9.16A \times (0.3/60)H/회 \times 24회/day = 1.09AH/day$
- 야간표시등: $0.3A \times 8H/day = 2.4AH/day$
- 총 소비전력: $3.84AH+5.964AH+2.112AH+7.2AH+1.09AH+2.4AH=22.606AH/day$

전원계통에 문제가 발생하여 태양전지로부터 축전지에 전원을 충전시킬 수 없는 상황일 경우 축전지에 충전된 전력만으로 시스템을 작동할 수 있는 일수를 계산하면 다음과 같다. 부이의 전원은 65AH 축전지를 병렬로 연결되어 있다.

- 축전지 최대 수용전력: $65AH \times 6개 = 390AH$
- 축전지 가용전력(축전지 최대 수용전력의 50%): 195AH
- 충전없이 전원공급 가능일수: $195/22.606=8.6일 \approx 8일$

2.3 기존 시스템과의 비교

대만제작 부이의 자료제어기(Data Controller)는 C-Engine을 핵심으로 구성되어 있는데(Fig. 9), 이 C-Engine은 일종의 자료기록기(Data Logger)로서 정해진 시각에 센서로부터의 신호를 측정하여 자료를 전달하거나 신호입력의 범위에 따라 특정장치를 제어할 수 있는 기능을 가진 것으로 그 기능을 C언어로 프로그래밍할 수 있게 되어 있다.

대만의 성공대학에서 사용하고 있는 C-Engine은 16Bit V25 CPU를 사용한 것으로 MS-DOS에서의 C++ 또는 Turbo-C로서 프로그래밍할 수 있게 되어 있다. 입력부는 11개 채널의 Analog 단자들으로써 12Bit 분해능의 Analog-to-Digital 변환기가, 출력부는 2개의 RS-232C 방식의 통신 Port가 그 특징이다. 본 관측부

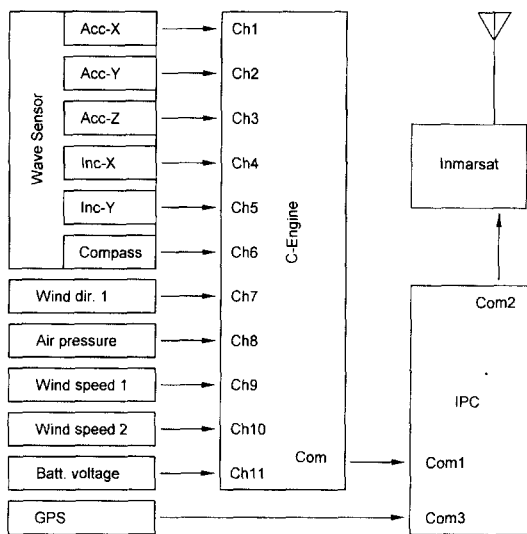


Fig. 9. Data controller system of Taiwan-made buoy.

이에서 C-Engine은 관측시간 동안 센서전원을 켜 다음 Data Controller부에 입력되는 Analog 센서자료를 0.5초 간격으로 10분간 측정하여 컴퓨터로 넘겨주는 역할을 한다. 따라서 C-Engine에 익숙하지 않은 기관에서 부이를 운영할 때 매우 어렵고, 센서와 Inmarsat과 같은 독립적인 장치를 추가한다거나 기능을 확장하고자 할 경우 제약을 받는 단점이 있다. 또한 축전지의 상태에 따른 전원관리와 충전량의 감시 등을 하기 힘들어서 전원문제가 부분적으로 발생하더라도 전체시스템이 오동작할 수 있는 문제점이 있다.

부이의 관측시스템은 대기(Stand-by), 관측(Measurement), 분석(Analysis), 송신(Transmission) 그리고 다시 대기 순서로 작동하는데, 기존 시스템은 대기 및 관측시의 제어에 C-Engine을 사용하고, 새로 개발된 시스템은 PIC-BASIC을 사용하는 것이 가장 큰 차이점이다. C-Engine과 PIC-BASIC은 소비전력과 성능면에서는 비슷하지만, C-Engine에 관련된 기술은 대만 성공대학에서 개발한 것으로 한국에서의 활용이 불편한 반면, PIC-BASIC은 국내기술로 개발하여 활용 및 확장이 편리하다.

기존 시스템은 6 자유도 가속계 자료를 6개의 Analog Channel로 수집하였으므로 이를 A/D 변환시 잡음제거를 위해 Filtering을 하였으나, 새 시스템은 가속계에서 제공되는 Digital Data를 Serial Port로 읽음으로써 Filtering이 필요없게 되었다. 그리고 관측장비와 자료제어기를 연결해 주는 입력채널수 및 Serial Port

Table 1. Comparison of main specification between new system and old system.

항 목	기존시스템의 주요 사양	새 시스템의 주요 사양
제어장치	C-Engine, IPC	PIC-BASIC, IPC
Analog 입력채널	11개	8개
A/D 분해능	12 Bit	12 Bit
Serial Port수	관측용 - 통신용 3개	3개 2개
가속도 Filtering	40분간 소요	Filtering 불필요
전원 장치	과충전방지 전원제어 없음	Regulator 부착 부착
총소비 전력(12V)	24.2 AH/day	22.6 AH/day

수는 새 시스템(13개)이 기존 시스템(14개)보다 1개 적지만 새 시스템이 기존 시스템에 없는 관측용 Serial Port가 3개 있기 때문에 기존 시스템보다 훨씬 많은 관측기기를 부착할 수 있다(예, 파향파고를 관측하기 위해선 Analog 채널 수가 6개 필요하나, Serial Port로는 1개만 필요). 또한 과충전방지방 정전압장치(Regulator)를 부착하여 과충전으로 인한 축전지의 문제 및 수명단축을 방지할 수 있고, 전체 시스템의 신뢰성 및 안정성 확보는 물론 최소의 소비전력으로 운영되도록 전원제어장치를 설계하였다. Table 1은 기존 시스템과 새 시스템의 주요 차이점을 나타낸 것으로 총소비전력도 약 1.6AH/day 만큼 줄어들었음을 보여준다.

2.4 자료전송

종합관측부이의 자료전송은 전파를 이용하지 않을 수 없다. 자료전송장치로는 가까운 거리(약 25 km 이내)의 경우 VHF대 혹은 UHF대의 송신기 또는 모뎀이 사용되고, 먼 거리의 경우에는 위성통신을 이용한다. 상업적으로 이용할 수 있는 위성통신에는 현재 Argos 시스템과 Inmarsat 시스템이 있는데, Argos 시스템은 1회 송신시의 자료길이가 32byte로 짧고(Argos, 1989), 위성(NOAA 위성)이 우리 나라 상공을 1일 8회 정도 밖에 지나가지 않으므로 송신자료의 양과 사용시간이 제한되는 반면에 Inmarsat 위성은 정지위성(지구자전과 같은 각속도로 자전)이므로 언제나 자료전송이 가능하고 자료의 양도 제한을 받지 않는다. Inmarsat 위성은 적도 상공 약 35,000 km에 떠있는 정지위성으로 위성의 개수는 총 4개(대서양에 2개, 인도양에 1개, 태평양에 1개)로 통신전용 위성이다. 그리고 이 위성은

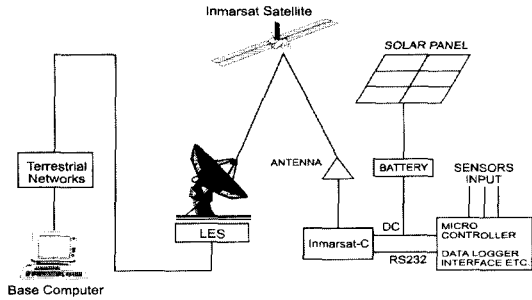


Fig. 10. Real-time, two-way communication system configuration using Inmarsat-C.

무지향성 위성으로 Inmarsat-C의 소형안테나를 부착할 수 있는 물체만 있으면 통신이 가능하기 때문에 부이에서 관측한 자료를 송신하는데 적격이다.

여기서 사용한 Inmarsat 시스템용 송수신기는 Inmarsat-C로써 디지털자료 송수신을 위한 것이다. Inmarsat-C 서비스는 Inmarsat 시스템을 이용하여 육상과 전세계의 이동지구국간 또는 이동지구국과 텔렉스, 데이터 및 조난통신이 가능한 서비스이다. 부이에 사용한 Inmarsat-C의 송수신장치는 Thrane & Thrane사의 제품인데, 본 제품은 안테나와 본체 및 안테나선과 컴퓨터와의 연결선(RS-232C)으로 구성되어 있고, 사용전원은 DC 12V이다.

Inmarsat-C를 이용한 실시간 자료 송수신 시스템의 모식도를 Fig. 10에 나타내었다. 부이에서 육상지구국(LES)으로의 송신 경로는 다음과 같다.

Inmarsat-C 고유번호(494500047) -> NCS(태평양 위성)
 -> LES 208(금산해안지구국) -> 한국통신(DNID 4500) -> 가입자(345-4040)

만일 육상에서 이동국인 부이에 Inmarsat-C로 자료를 보낼 때는 상기와는 역수순이 된다. 이 때 가입자가 사용하는 터미널에서 Inmarsat-C를 연결하는 코드는 다음과 같다.

국제접속코드(0) + 태평양 위성 코드(DNIC 1112) + Inmarsat-C 고유번호(494500047)

그리고 Inmarsat-C를 사용할 때의 통신요금은 1996년 7월 기준 256Bit(32Byte)당 160원으로 매시간 64Byte의 자료를 보낼 경우 한 달 동안 230,400원(= 320원/hr × 24hr × 30일/월)이 된다.

종합관측부이의 Inmarsat-C에서 송신된 자료는 태평양 위성과 금산해안지구국을 경유하여 최종사용자의 터미널까지 전달된다. 여기서 사용한 최종사용자의 터

미널은 한국통신 HINET-P의 X.25 터미널로 전송속도는 양방향 2,400BPS이며 항상 온라인 상태로 한국통신에 접속되어 있다.

2.5 부이의 동적특성

개발된 부이의 현지 파랑관측 관련 적용성을 파악하기 위하여 동적 해석을 수행하였다. 부이에 작용되는 파랑하중의 산정기법으로는 경계적분방정식법을 이용하였다(Garrison, 1975). 동적해석을 위해 개발된 부이의 단순화된 제원은 Fig. 11에 보인 바와 같다. 설치수심은 40 m를 대상으로 하였으며, 주기 1초에서 15초까지 파랑을 대상으로 하였다.

Fig. 12의 연직방향 운동특성을 살펴보면 주기가 4초 보다 긴 파랑인 경우에는 일정한 값을 보임을 알 수 있다. 특히, 주기 4초 이상의 조건에서는 연직방향 응답의 위상차가 거의 발생하지 않는 것으로 예측되었다. Fig. 13에 나타낸 회전방향에 대한 응답을 살펴보면 실제의 해석에서 입사파랑의 에너지가 적은 2.5초 부근에서 공진현상이 발생함을 볼 수 있다. 이와 같은 해석결과를 종합해 보면 이 부이는 주기 4초 이상의 파랑을 관측하는데는 거의 문제가 없다고 볼 수 있다.

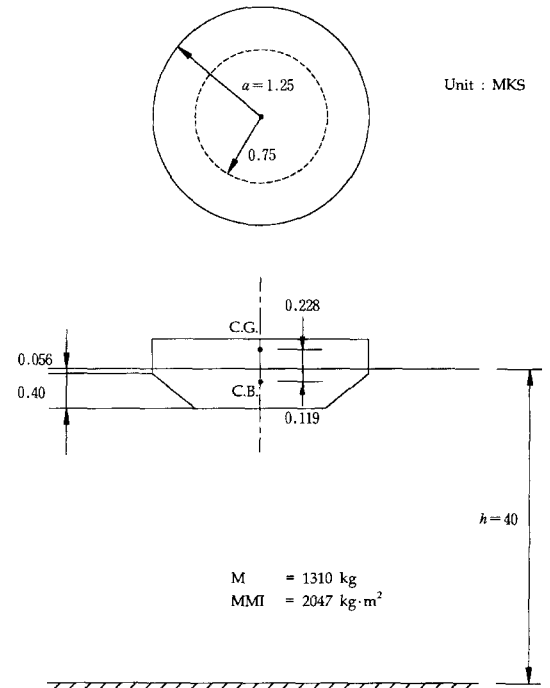


Fig. 11. Geometry and structural properties for a free floating ocean data buoy.

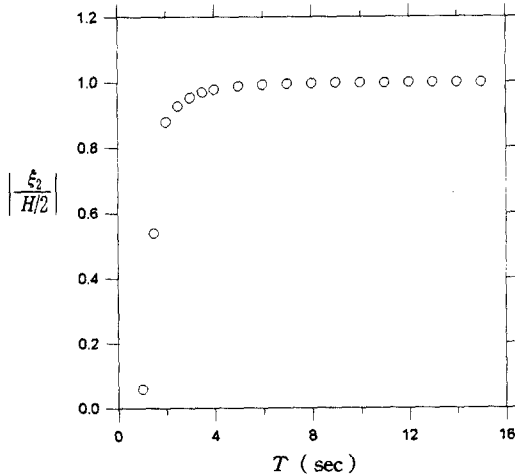


Fig. 12. Maximum vertical displacement of a free floating ocean data buoy.

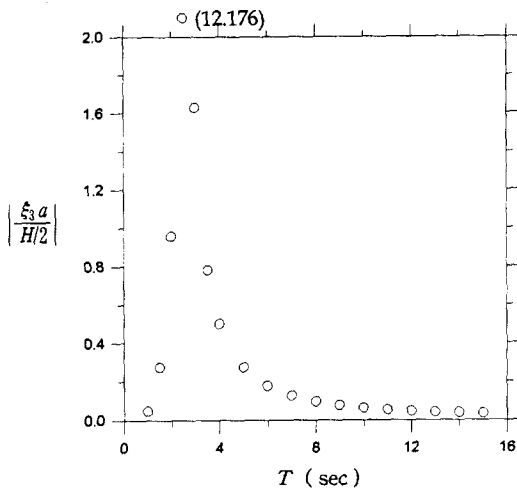


Fig. 13. Maximum pitching angle of a free floating ocean data buoy.

특수한 목적으로 이 보다 짧은 주기를 관측하고자 할 때는 크기를 줄인 부이를 사용하는 등의 대책이 필요하다.

이상의 결과는 계류선이 장착되지 않은 경우에 대한 결과로 계류선이 장착되는 실제 경우에는 특성이 변하게 된다. 따라서 실제 경우의 현상을 보다 잘 예측하여 부이를 설계하기 위해서는 계류선의 영향을 고려하여야 한다. 특히, 조류가 아주 센 지점에 설치된 경우에는 센서로부터 계측된 결과에는 부이의 동적 특성의 영향(계류시스템과 관련된 영향)이 가미될 가능성이 높으므로 이에 대한 검토가 필요하다.

3. 현장성능실험

종합관측부이를 효율적으로 운영하기 위해선 부이의 자연적 유실을 방지할 수 있는 계류기술 개발이 필요하다. 부이는 조류나 파랑 및 바람에 의하여 계류앵카를 중심으로 회전하기 때문에 계류선이 꼬이지 않도록 하기 위해서 Fig. 14와 같이 Swivel를 2군데에 설치하였다. 부이 바로 밑의 계류선을 체인으로 한 것은 부이 계류선의 인위적 절단을 방지하고, 부이가 큰 파랑에도 바란스를 유지하도록 하기 위함이다. 그리고 압력부이를 부착하여 계류선이 "N"자 형태로 계류한 이유는 부이가 큰 파랑에 부딪쳐도 계류선의 충격을 줄여 계류선이 손상을 입는 것을 방지하고, 파랑을 따라 부이가 원만히 운동할 수 있도록 하기 위함이다. 그리고 바닥에 깔린 38 mm의 체인은 Weight 역할뿐만 아니라 부이의 상하운동에 의한 연직력을 수평력으로 변환시켜 앵카에 전달하는 역할을 한다. 이 체인은 조류와 파랑이 같은 방향에서 내습하여 압력부이의 역할이 감소(계류선이 일직선이 됨)된 경우, 큰 파랑이 부이에 부딪쳐도 이를 재현할 수 있도록 하는 역할도 담당한다(Michael, 1993).

이미 종합관측부이로 파랑 관측자료를 제외한 다른 요소의 관측자료는 Inmarsat-C를 이용하여 실시간으로

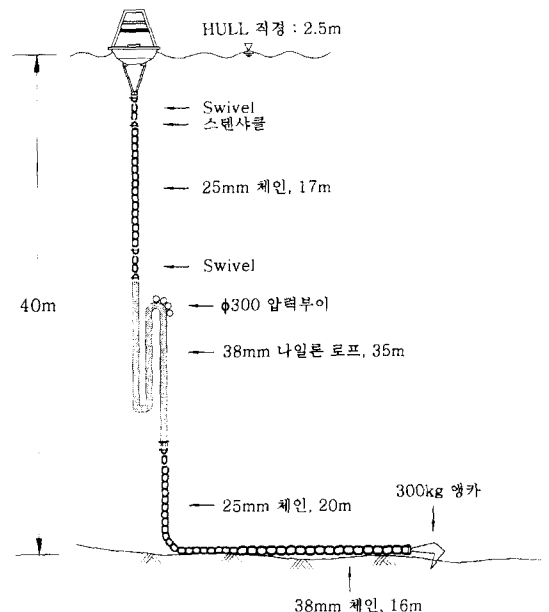


Fig. 14. Schematic diagram of mooring system of ocean data buoy.

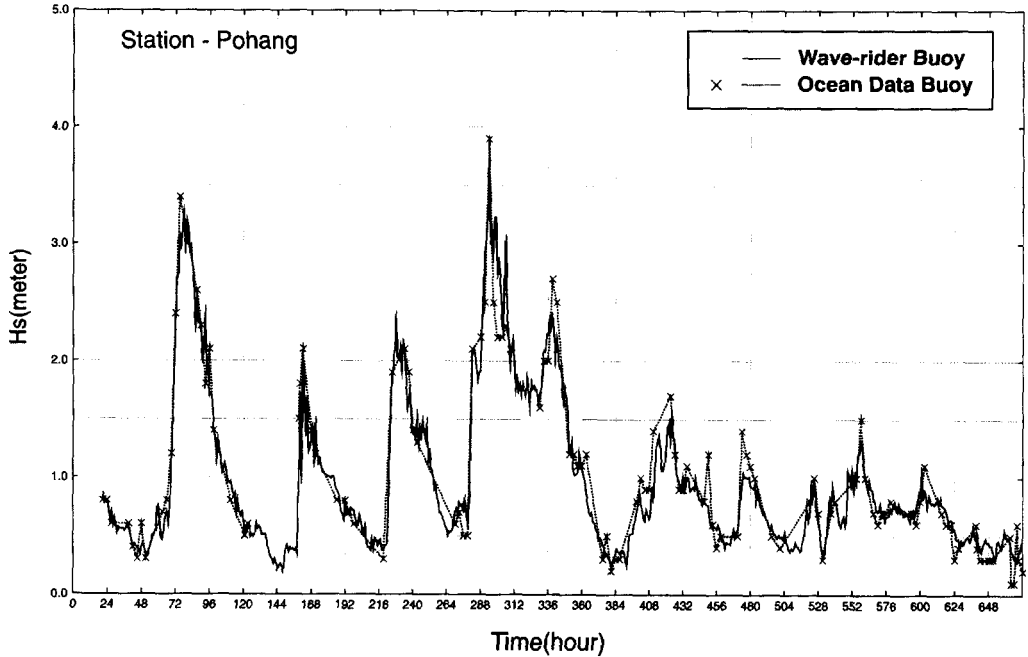


Fig. 15. Time series of the observed significant wave height.

얼은 바 있다. 따라서 파랑의 자료를 얻기 위해 부이의 “자료분석저장장치”에 내장된 파랑분석 프로그램을 수정하여 98년 2월 25일 포항 앞바다에 Wave-rider 파고계와 1개월간 동시관측을 실시하였다. 두 기기로 관측한 결과를 시간에 따라 파고를 표시하면 Fig. 15와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 종합관측부이로 관측한 파랑이 기존의 파고계로 관측한 것과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 그러나 앞으로 파랑분석법을 비롯하여 좀더 정확한 파랑분석을 위한 연구개발의 여지가 있다. 즉, 파랑은 직접 관측할 수 없기 때문에 가속도계로 파랑에 대한 가속도를 측정하여 수면변위로 환산 방법과 파향 및 파고분석 소프트웨어의 개발이 향후 연구해야 할 사항이다.

4. 결론 및 제언

우리나라에서는 처음으로 종합관측부이의 설계, 제작 및 현장성능실험을 실시하였다. 종합관측부이를 개발하는 과정에서 얻어진 결론을 정리하면 다음과 같다.

- 개발된 종합관측부이의 파랑관련 현지 적용성을 수치적으로 평가한 결과, 주기가 4초 이상의 파랑을

관측하는 데는 문제가 없는 것으로 예측되었다.

- 새로 개발된 종합관측부이의 시스템은 기존 시스템보다 많은 관측기기를 부착할 수 있고, 가속계에서 제공되는 Digital Data를 직접 Serial Port로 전송함으로써 잡음 제거가 필요한 기존 시스템의 문제점을 해결하였다.

- 새 시스템에는 과충전방지용 정전압장치를 부착하여 과충전으로 인한 축전지의 문제 및 수명단축을 방지할 수 있었고, 전체 시스템의 신뢰성 및 안정성 확보는 물론 최소의 소비전력으로 운영되도록 전원 제어 장치를 설계하였다.

먼바다에서 관측한 자료를 실시간으로 수집할 수 있는 기술을 확보하였으며, 그 기술을 종합관측부이에 활용한 결과는 성공적이었다.

본 연구를 수행하면서 도출되었던 미진한 연구 분야를 기술하면 아래와 같다.

- 가속도계로부터 측정된 결과를 수면변위로 환산하는 방법과 파향 및 파고의 좀더 정확한 분석방법 및 프로그램의 개발이 요구된다. Inmarsat 통신위성을 이용한 실시간 모니터링은 안정적으로 자료를 획득할 수 있지만 통신료가 비싼 편이다. 따라서 실시간으로 자료를 수집할 수 있는 이리듐(Iridium) 통신, 위성 통신

(Meteor Burst Communication) 등의 활용에 대한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

- 대만에서 제작한 부이의 무게가 1,300 kg 이상이라 인위적인 분실을 줄일 수 있지만 계류할 때 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다. 즉, 계류선박에 이 부이를 간단히 들 수 있는 크레인이 있어야 하는데, 우리나라 실정상 이와 같은 시설을 갖춘 선박은 흔하지 않다. 따라서 부이의 직경은 약 2.0 m, 무게를 약 800 kg 정도로 설계·제작하여 상용화하는 것이 바람직하다고 본다.

- 해양계측기의 국산 제작으로 수입대체 효과 및 비용절감 효과를 기대할 수 있을 것이고, 나아가는 연안 개발에 따른 제반 연안공학기술의 자체개발 및 첨단화를 통하여 관련기술의 외국 의존도를 탈피하고, 향후 개발도상국에의 지원을 통해 국제 교류의 확대 및 세계화에 기여할 수 있을 것이다. 또한 한반도 주변 전해역의 실시간 정보를 활용할 수 있기 위해서 현재 IOC가 한국, 중국, 일본 및 러시아의 참여로 추진하고 있는 동북아시아 해양관측시스템(NEAR-GOOS)에도 기여할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 1997, 1998년 과학기술부 특정사업인 "종합해양관측 시스템 구축(I, II)" 사업의 일환으로 이루어졌음을 밝힙니다. 그리고 본 논문을 작성하는데 도움을 주신 (주)여의자동화시스템에 감사드립니다.

참고문헌

- 도로교통법, 1984. 법률 제 3744호.
 도로교통법 시행규칙, 1985. 내무부령 제 1426호.
 이흥재, 이경인, 박건태, 황상철, 전호경, 1991. 소형 해양관측부이의 설계, 제작, 시험운영, 해양연구, **13**(2): 79-86.
 전호경, 함석현, 박동원, 1997. Telemetry Temperature Profiling System(TTPS) 개발연구(I), 해양연구, **19**(2): 105-114.
 ARGOS, 1989. *Guide to the ARGOS System*.
 Garrison, C.J., 1975. Hydrodynamics of large objects in the sea-Part II: Motion of free-floating bodies, *J. Hydrodynamics*, **9**(2), pp. 58-63.
 Hansen, S.E. and Stel J.H., 1997. SEAWATCH, Performance and future, Proc. 1st Int. Conf. on EuroGOOS, Hague, Netherlands, pp. 101-110.
 Hamilton, G.D., 1988. Small coastal data buoy, Proc. 4th Conf. on Meteorological and Oceanography of the Coastal Zone, American Meteor. Soc., pp. 74-78.
 Stel, J.H. and Mannix, B.F., 1996. A benefit-cost analysis of a regional Global Ocean Observing System: Seawatch Europe, *Marine Policy*, **20**(5), pp. 357-376.
 JMA, Marine Department, 1991. Activities of the JMA in oceanography and marine meteorology, p. 19.
 Michael, A.W., 1993. Mooring performance evaluation CY 1992, NOAA, Nation Data Buoy Center, Mississippi.

Received January 19, 1999

Accepted February 24, 1999