

# 고품질 해저 광물자원 탐사시스템 개발

## A Development of Exploration System for High Quality Underwater Mineral Resources

\*김 영진, \*조 영준  
(Young Jin Kim, Young June Cho)

**Abstract** : Currently for exploring marine resources, After confirming the location of the resources by controlling search equipment and sensor module in research vessel, the method which collects sample of searched resources and analyzes the quality and a contents of the resources in research vessel is been applying. This search method is structure which analyzes an ingredient in ship and decides the quality of the resources. And real-time processing for an effective resources search is been demanding. Therefore in this paper, we have developed a resources identification algorithm that can display the type feature of resources by real-time 3D Graphic.

**Key Words** : exploration system, marine resources, observation instrument, detection algorithm

### 1. 장 서 론

세계적으로 에너지자원 기술개발의 정책방향이 온실가스를 저감하고 기후변화 협약에 대응하기 위하여 에너지자원의 안정적인 공급에서 지속가능한 발전으로 전환되고 있다. 그러나 고품위 전략급속 자원인 망간, 구리, 코발트, 니켈 등에 대한 선점경쟁은 지속되고 있으며, 이러한 금속성분을 다량 포함하고 있는 열수광상, 망간각 및 망간단괴 등 심해저 광물자원의 개발 필요성이 대두되고 있다[1]. 현재 해양자원을 탐사하기 위해서는 탐사선에서 탐사장비 및 센서모듈을 투우요우하여 자원의 위치를 확인하고, 탐사된 자원의 시료를 채취하여 자원의 품질과 내용을 분석하는 방법을 적용하고 있다[2]. 이러한 탐사방법은 금속자원의 시료를 채취하여 선상 및 육상에서 성분을 분석하고 자원의 품위를 결정하는 구조로 효과적인 자원탐사를 위한 실시간성이 요구되고 있다. 그리고 WHOI(Woods Hole Oceanographic Institution)는 2008년도에 AUV (Autonomous Underwater Vehicle-ABE)를 이용하여 열수플룸을 탐사하여 2D Graphic 형태로 나타내었다[3]. 본 논문에서는 해저 광물자원탐사 센서모듈과 측면주사 음탐기를 이용하여 획득한 탐사 정보를 기반으로 하여 자원의 종류에 따른 특징을 실시간 3D Graphic 형태로 표시할 수 있고, 광대역에서 장시간 운용 가능하도록 저소비전력 제어시스템이 탑재된 고품위 해저 광물자원 탐사시스템을 개발하였으며 탐사알고리즘의 효율성을 모의실험을 통해서 확인하였다.

### 저자 소개

- \* 金 營 振 : 韓國生産技術研究院, 工博
- \*\* 曹 永 準 : 韓國生産技術研究院, 工博

### 2. 장 본 론

#### 2.1 해저 광물자원 탐사시스템

해저 광물자원 탐사시스템은 그림1과 같이 해저 광물자원의 특징을 검출하기위한 수중자원 탐사센서부와 탐사정보를 탐사모듈 원격제어부로 전달하는 정보전송장치(MODEM), 그리고 선상에 위치하고 측면주사음탐기(Side Scan Sonar, 400/1,250[kHz] Dual)를 이용한 해저지형도 획득장치와 탐사시스템을 원격으로 제어하고 자원의 유형 및 위치식별 알고리즘이 탑재된 주제어장치(Main Control Unit)로 구성된다.

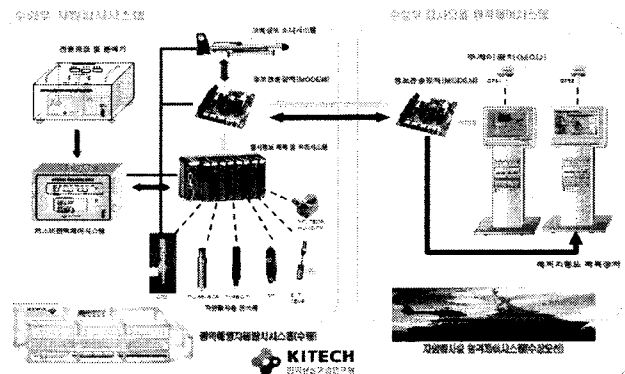


그림 1 해저 광물자원 탐사시스템 구성도

### 2.1.1 수중자원 탐사모듈

수중자원 탐사모듈은 그림 2와 같이 지화학적인 방법으로 광물자원의 특징을 검출하기 위한 센서모듈과 고해상도 소나 시스템을 이용하는 해저지형정보 획득모듈, 탐사센서 모듈을 통해 획득한 데이터를 처리하는 탐사정보 획득 및 처리 시스템(NI-CFP2120), 가공된 정보를 수상으로 전달하는 정보전송장치(MODEM, FOCAL-907, USA), 수중 환경에서 탐사장비를 장시간 운용하기 위한 저소비전력제어시스템으로 구성된다. 탐사센서 모듈은 해저광물자원의 특징을 검출하는데 열수광상은 고온의 열수와 주변 해수와의 기온기 변화를 검출하고, CTD(Conductivity Temp. Depth) 센서(SBE-49 FastCAT)를 이용하여 해수의 전기전도도와 탐사장비 주변의 온도와 깊이를 확인한다. 그리고 망간단괴와 망간각 주변은 금속이온을 다량 함유한 상태의 산소결핍층과 외부에서 유입되는 저층해류(산소풍부)층이 공존 하므로 용존산소량(Dissolved Oxygen Sensor : Oxygen Optodes 3835)의 변화를 검출한다. 고해상도소나시스템은 광물자원의 징후를 포착하면 그 지점의 해저 지형을 정밀분석하기 위한 해저 지형도 획득 시스템이다.

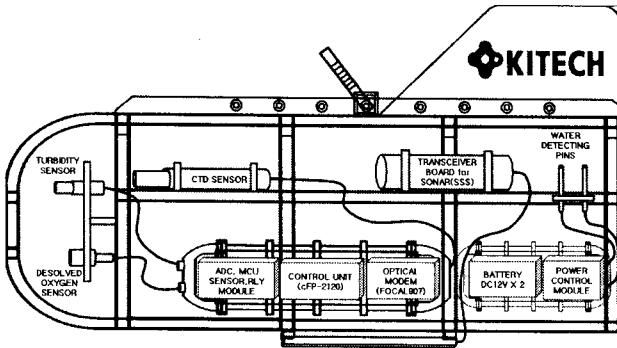


그림 2 수중부 자원탐사 및 소나시스템

### 2.1.2 수상 탐사모듈 원격 제어모듈

수중에서 탐사센서 모듈을 통해서 획득한 자원의 특징 정보는 수상 탐사모듈 원격제어시스템으로 전송되며, 측면주사 음탐기를 통해 해저지형도를 획득하고, 주제어장치에 내장된 자원탐사정보 획득 및 처리용 GUI를 이용하여 자원의 유형과 위치를 표시한다. 그림 3은 자원탐사정보 획득처리 및 제어용 GUI(Graphic User Interface)를 보여주고 있다. 중간부상단은 자원의 위치정보 및 탐사경로를 표시하기 위한 위치정보(GPS, GARMIN LV18-5M) 표시부 이고, 중간부 하단에서는 자원탐사정보를 획득하여 실시간으로 표시(Data Base)하며, 우측 하단은 자원탐사장비 저소비전력제어시스템의 동작 상태를 시각적으로 표시한다. 수중 탐사센서 모듈을 통해 획득한 데이터를 우측상단에 자원탐사결과로 3D Graphic 형태로 디스플레이 한다. 이러한 방법으로 탐사된 결과를 누적시켜 표시하면 자원의 유형에 따른 특징점을 얻어낼 수 있다.

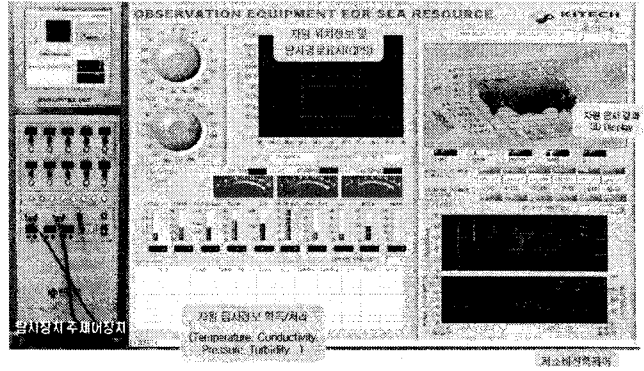


그림 3 탐사정보 획득처리 및 제어용 GUI

### 2.1.3 저소비전력 제어모듈

해저 광물자원 탐사장비의 저소비전력 제어모듈은 그림 4와 같이 3단계의 전력제어 알고리즘을 통해서 소비전력을 저감시킨다. 제1단계 전력제어 알고리즘은 수중/공기 중 전력제어 알고리즘으로 해수의 전기전도도 특성을 이용하였다. 탐사장비 외부에 부착된 두 금속이 전해질 환경에 놓이고, 직류 전원(DC12[V])을 공급 인위적인 전위차를 발생시키면 두 금속 사이에 미세전류가 흐르고 이 전류를 FET(Field Effect Transistor)의 구동을 위한 Bias Signal로 활용하여 탐사장비의 수중/공기 중 여부를 판단하였다. 2단계 전력제어 알고리즘은 자원유형별 탐사영역에 따른 전력제어 알고리즘으로 매 1초 간격으로 20[ms]의 신호기간 동안 8[ms]이상의 제어명령(command signal)을 인식하면 수신대기(standby mode)상태에서 이탈(wake-up)되어 탐사모듈에 전력을 선택적으로 공급하였다. 제 3단계는 내장된 리튬폴리머(DC29[V], 7.5[A]) 배터리가 방전되어 저전압(DC19[V]이하) 상태나, 자원탐사장비 이상시 비상탈출을 위한 과구동 안전제어 알고리즘으로 DC29[V]-DC19[V]사이에서 수행한다.

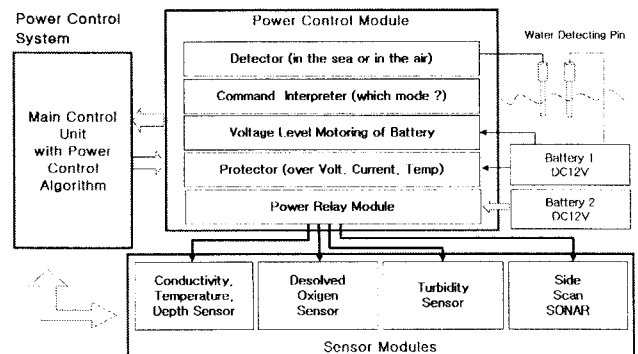


그림 4 전력제어시스템 구성도

### 2.2 해저 광물자원 식별 알고리즘

고부가가치 해저 광물자원인 열수광상 및 망간각, 망간단괴를 탐지하여 식별하기 위해서는 지화학적인 센서모듈을 사용하여 광물자원의 특징을 검출하고, 측면주사음탐기로 획득한 해저지형도 상에 센서모듈을 이용하여 획득한 정보를 실시간 3D Graphic 형태로 디스플레이하여 자원의 유형 및 위치를 식별한다. 먼저 열수광상은 고온(300~400[°C]정도)의 열수가 분출되어 주변해수(약 2[°C]정도)와 상대적으로 온도차가 크게 발생하므로 온도기온기를 CTD센서(Fast CAT,

SBE-49)를 이용하여 관찰하고, 열수구 주변의 메탄과 유황성분의 농도 변화를 검출하여 열수광상의 가능성을 확인한다. 열수구 주변 금속물질의 산화도(eH)가 주변의 금속물질에 비해 해수에 노출된 시간이 적어 상대적으로 낮게 나타나고, 탁도(Seapoint Turbidity Meter)는 열수에 포함되어 있는 여러 종류의 혼합물에 의하여 주변 해수에 비해 높게 나타나며, 열수구 주변에서는 황화수소와 이산화탄소의 영향으로 pH농도가 변화한다[4]. 그리고 망간단괴와 망간각 주변은 금속이온을 다량 함유한 상태이나 산소결핍현상이 발생하며, 외부에서 유입되는 저층해류에 포함된 다량의 산소에 의해 산화되어 침적되는 과정으로 광물자원이 생성[5] 되므로 용존산소량센서(SBE-43, Dissolved Oxygen Sensor)의 변화를 감지하면 망간각, 망간단괴의 분포가능성을 확인할 수 있다. 이러한 특징들을 지화화학적 센서를 사용하여 검출하고 실시간으로 수상부 탐사모듈 원격제어 시스템(LabVIEW 8.5)으로 정보전송장치(MODEM)를 이용하여 전송한다. 이렇게 획득한 자원의 지화화학적 특징정보를 축면주사음탐기로 획득한 해저지형도상에 매핑 하여 자원의 유형과 위치를 나타낼 수 있다.

### 3. 장 실험 및 고찰

#### 3.1 실험 조건 및 방법

해저 광물자원 탐사시스템의 소비전력 저감특성 및 광물자원 식별특성을 평가하기 위하여 그림 5와 같이 실험 장치를 구성하였다.

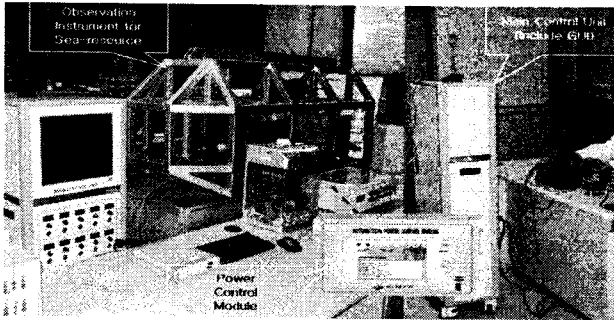


그림 5 전력제어 시스템 실험장치 구성

#### 3.2 소비전력 저감특성 평가결과

단계별 전력제어 알고리즘을 통해서 얻게 되는 소비전력의 저감특성을 비 전력제어 시와 비교하는 방법으로 평가하였다. 전력제어 알고리즘을 통한 소비전력 저감특성은 탐사장비에 부착되는 센서모듈의 소비전류를 계산(Specification current)하여 비 전력제어 시 최대전류가 지속적으로 소비되는 조건으로 Simulation하고, 동시에 실부하(Load)를 탐사장비에 접속하고 단계별 전력제어 알고리즘을 수행하여 비 전력제어 시와 비교 평가하였다. 그림 6과 같이 전력제어 모듈의 전원을 제외한 해저 광물자원 탐사시스템의 센서모듈에 공급되는 전원을 차단하는 빈도가 높아지게 되어 비 전력제어 시와 비교하여 적분한 전력량이 상대적으로 12% 정도 저감되는 것을 확인할 수 있었다.

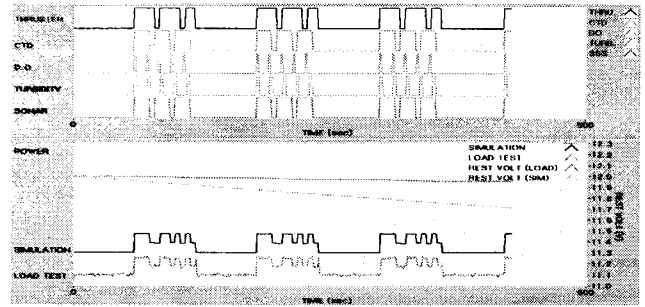


그림 6 전력제어 알고리즘 시 소비전력저감특성

#### 3.3 해저 광물자원 식별특성 평가

해저 광물자원 식별특성을 평가하기 위해서 열수광상의 특징정보를 입력하여 위치(위도/경도)에 따른 탐사센서 정보를 3D Graphic으로 Simulation한 결과이다. 특정위치에서 급격한 온도상승(0.5->32[°C])과 전기전도도 특성의 변화(3.1->4.0[S/m]) 그리고 압력감소(200->150[bar]) 조건을 모의시험 하였다. 그림 7은 특정영역에서 주변해수에 비해 상대적으로 높은 온도분포 특성을 나타내는 열수장의 특징을 모의시험 한 결과를 보여주고 있다.

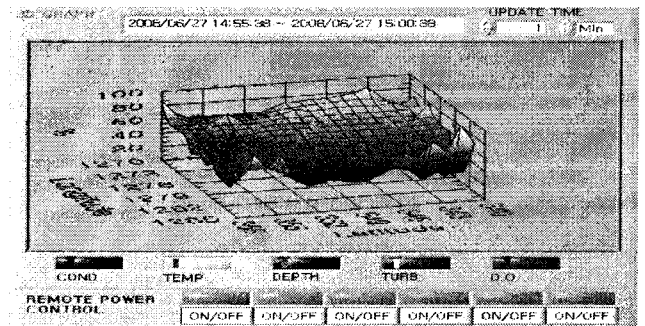


그림 7 해저 광물자원 식별특성 모의시험 결과

### 4. 장 결론

해저면에 근접하여 고품위의 해저 광물자원인 열수광상, 망간각, 망간단괴 등 자원재를 탐사할 수 있는 지능형 탐사시스템을 개발하여 탐사알고리즘의 효율성을 확인하였다. 저 소비전력제어 알고리즘을 통해서 배터리에 의존하여 장시간 운용되어야 하는 해저자원 관측 장비의 전력소비를 비 전력제어 시와 비교하여 약12[%] 정도 저감할 수 있었고, 해저 광물자원 식별 알고리즘의 모의시험을 통해서 광물자원의 특징점을 3D Graphic 형태로 디스플레이 하였다. 그리고 지화화학적 방법으로 자원의 특징점을 검출하고 이를 소나시스템을 통해 획득한 해저지형도 상에 디스플레이하면 해저 광물자원의 유형 및 분포를 나타낼 수 있음을 모의실험을 통하여 확인하였다.

향후에는 제안하는 알고리즘의 실효성을 검증하기 위하여 실험적 평가를 실시하고 해저 광물자원의 식별 정확도를 향상시키는 연구가 지속되어야 할 것이다.

※ 후기: 본 논문은 에너지자원기술개발사업(에너지관리공단)으로 수행 중인 제 3차년도 연구개발 결과의 일부임을 밝히며, 연

구비 지원에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 우종식, 이철원, 오영석, “무인잠수정의 안전운항 제약과 극복”, 한국해양공학회 춘계학술대회 논문집, PP.123-127, 2000년.
- [2] 이관목 외, “무인잠수정을 이용한 열수환경 탐사기술 개발 연구보고서”, 2005년.
- [3] Christopher R. German et al, " Instrument and Methods Hydro thermal exploration with the Autonomous Benthic Explorer", PP.203-219, 2008년.
- [4] 이관목 외, “차세대 심해용 무인자무정 개발(3) 연구보고서, 2004.
- [5] 박동준, “해저과학 광물탐사 조선일보”, <http://blog.naver.com/seonghk88/140035070141>, 2007년.