

Note

심해 예인 탐사장비의 위치 보정에 대한 고찰

이근창* · 고영탁 · 유찬민 · 지상범 · 김종욱 · 함동진

한국해양연구원 해양자원연구본부
(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29호

Review on Underwater Positioning for Deep Towing Vehicles

Gun Chang Lee*, Young Tak Ko, Chan Min Yoo, Sang Bum Chi,
Jonguk Kim, and Dong Jin HamMarine Resources Research Department, KORDI
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

Abstract : The underwater positioning system is important in interpreting data that are acquired from towing vehicles such as the deep-sea camera (DSC) system. Currently, several acoustic positioning systems such as long baseline (LBL), short baseline (SBL), and ultra short baseline (USBL), are used for underwater positioning. The accurate position of DSC, however, could not be determined in a R/V Onnuri unequipped with any of these underwater positioning systems. As an alternative, the DSC position was estimated based on the topography of towing track and cable length in the cruises before 1999. The great uncertainties, however, were found in the areas of flat bottom topography. In the 2003 and 2004 cruises these uncertainties were reduced by calculating the position of DSC with the cable length and seafloor depth below the vessel. The Japanese cruises for Mn-nodule used a similar estimation method for the DSC positioning system with a CTD sensor. Although the latter can provide better information for the position of DSC, the USBL underwater positioning system is strongly recommended for establishing better positioning of DSC and other towing devices.

Key words : 수중 위치추적 방식 (underwater positioning system), 장거리 기선 (Long Baseline, LBL), 단거리 기선 (Short Baseline, SBL), 초단거리 기선 (Ultra Short Baseline, USBL), 심해저카메라시스템 (deep-sea camera system)

1. 서 론

한국해양연구원에서는 1992년부터 심해저 망간단괴 탐사와 남서태평양 망간각 및 해저 열수광상 탐사에서 심해저카메라시스템 (deep-sea camera system, DSC)을 사용하여 해저면에 분포하는 망간단괴와 해저지형에 대한 영상 및 사진자료를 획득하여 왔다. DSC는 망간각 탐사에서 지구물리 자료와 종합하여 해저산의 망간각 시료 채취 위치를 선정하기 위하여 사용하며, 또한 깊이에 따라 나타나

는 망간각의 피복정도를 판단하는데 유용한 정보를 제공한다. 해저 열수광상 탐사에서는 열수공의 위치 파악 및 열수시료 채취 시 DSC 자료를 유용하게 사용할 수 있다.

조사선에서 스틸와이어를 이용하여 투하되는 장비들은 상자형 주상 시료 채취기 (box corer), 다중 주상 시료 채취기 (multiple corer), 그랩 (grab) 등이 있으며, 전기전도도, 수온 및 수심 측정기 (conductivity temperature depth, CTD) 등은 케이블을 사용하여 조사선이 정지한 상태에서 투하하거나 회수된다. 조사선의 스틸와이어에 의해 예인되는 장비들은 암석시료 채취기 (dredge), 예인식 망간단괴 시료 채취기 (beam trawl) 등 시료 채취장비가 있으며, 케

*Corresponding author. E-mail : gclee@kordi.re.kr

이들에 의해 예인되는 장비로는 DSC, 심해용 예인식 측면 주사 음향 탐사기(deep tow side scan sonar) 등이 있고 이들은 주로 해저면에서 일정한 높이를 유지하며 조사선에 의해 예인되면서 영상 및 지구물리 자료들을 취합하는 장비들이다. 이러한 해저예인체의 위치를 정확하게 결정하기 위해서는 위치 측정 시스템(positioning system)이 필요하다. 지금까지의 탐사에서 해저예인체의 위치는 조사선의 위성 위치 확인 시스템(global positioning system, GPS)에서 측정된 조사선 자체의 위치와 동일하게 취급 사용하여 왔다. 그러나 이러한 방법들은 바람이나 해류 등 여러 변화 요인에 따라 조사선과 예인체의 위치변화가 클 수 있는 평균수심이 약 5,000 m에 달하는 심해저 환경에서는 정확한 예인체의 위치를 측정할 수 없다. 이에 반해 자동 위치제어(dynamic positioning, DP) 시스템을 갖춘 조사선들은 바람과 해류에 대하여 현재 위치를 유지하면서 시료채취 장비들을 투하하므로 실제 장비 투하 후 와이어의 길이와 수심자료, 해수 중 장비의 수심을 측정하는 파동을 발진장치(pinger) 등을 이용하여 비교적 정확하게 예인체 위치를 파악할 수 있다. 현재는 장비의 발전으로 초단거리 기선(Ultra Short Baseline, USBL)을 이용하여 예인되는 장비의 정확한 3차원적 위치를 나타낼 수 있다. 그러나 이러한 위치 정보 시스템을 갖추지 못한 장비들은 여러 가지 방법으로 예인되는 장비의 근접 위치를 추정하여 사용하여 왔다.

본 연구에서는 수중 위치 측정 시스템에 대한 간략한 소개와 위치 측정 시스템을 갖추지 못한 한국해양연구원의 DSC와 외국 예인 장비의 위치 보정 방법에 대한 장단점을 비교하고자 한다.

2. 심해저카메라시스템

한국해양연구원의 심해저카메라시스템은 미국 Benthos사에서 제작한 장비로, 아연도금의 철재 파이프 프레임(Tow Sled, 2×1×1 m)에 정지 화상 카메라 및 쇼 카메라를 부착하여 해저면의 상태를 상세히 기록할 수 있는 실시간(real-time) 해저면 영상 획득 장비이다. 이 장비는 시스템 조정장치, 윈치, 케이블(tow cable), 프레임(tow frame), 영상 및 전원 변환기(multiplexer(MUX) subsystem), 비디오 시스템(video subsystem), 사진 시스템(photographic subsystem)으로 구성되어 있다. 획득되는 자료는 해저면의 실시간 비디오 영상(video image)과 원하는 시간 또는 일정한 시간 간격으로 촬영된 스틸사진(35 mm photograph, 최대 사용량: 800장)이다. DSC에 사용된 사진기에는 수중에서 사용할 수 있도록 고안된 표준 니콘(Nikon) 28 mm 렌즈가 장착되어 있으며, 스틸사진촬영에는 Kodak plus-X pan film(100 feet, 흑백)을 이용했다. 해저면에서 DSC

까지의 거리, 즉 DSC의 고도(altitude, H)와 획득된 사진의 가로(P1), 세로(P2) 크기 간 관계는 각각 $P1 = 0.93 \times H$, $P2 = 0.63 \times H$ 이다(Benthos Inc., 1992). DSC는 대형 크레인 또는 A-frame을 이용하여 투하 및 회수하며, 윈치에 감겨있는 직경 17 mm 케이블에 연결하여 해저면과 2~10 m의 거리를 유지하면서 조사선의 이동(1~2 knot)에 따라 예인되고, 작동한다. 작동가능 수심은 7,500 m이다. 실시간으로 나타나는 해저면에서 장비까지의 고도 자료를 기초로 해저면을 모니터 상에서 관찰하면서 원격 윈치 조정기(remote winch controller)로 조정한다. 조사선 진행방향의 정밀 수심조사를 위해서 노르웨이 Simrad사의 정밀 수심측정기인 EA-500을 사용하였다. 이 장비는 12 kHz대의 주파수 영역을 사용하며, 10초 간격으로 데이터가 획득되고, 해저 매질에 따라서 약 50 m 깊이의 해저면을 투과할 수 있다. 이렇게 획득된 수심 자료 그리고 KONMAP system에서 전송된 위성 위치 확인 시스템에 의해 획득된 위치 자료는 Marine Data Management(MDM) System에 의해 결합(merge)된 후 사용한다(해양수산부 1999).

DSC는 윈치조정 박스의 개인용 컴퓨터와 연결되어 있으며, 10초에 한번씩 케이블의 풀리는 속도, 장력, 케이블의 풀려나간 길이 등의 자료를 획득한다. 이 자료들은 현장탐사를 마친 후 연구실에서 정리하여 DSC의 위치를 보정하는 자료로 사용되어 진다.

3. 심해저 예인 장비의 위치보정

수중 위치추적 방식은 추적용 센서 간 간격에 따라 장거리 기선(Long Baseline, LBL), 단거리 기선(Short Baseline, SBL), 초단거리 기선(Ultra Short Baseline, USBL) 방식으로 구분한다(이 등 2000).

LBL 수중위치추정 기법은 수백 미터로부터 넓게는 수십 킬로미터까지 대체로 넓은 영역에서 사용되는 추적체계이다. 여러 개의 트랜스폰더를 간격을 넓게 하여 수중에 부설해야 하므로 트랜스폰더의 설치 및 회수에 시간과 인력이 과다 소요되나 LBL은 SBL이나 USBL에 비해 기선(baseline)이 더 길기 때문에 SBL이나 USBL 보다 더 정확성을 기할 수 있는 장점이 있다(<<http://www.sonardyne.co.uk/theory.htm>>). LBL 수중위치추정 시스템은 두 부분으로 나눌 수 있다. 첫째 부분은 좌표가 정해진 해저면에 계류하는 여러개의 트랜스폰더(bottom transponder)를 포함한다. 처음에 심해저로 투하하는 3개 이상의 트랜스폰더(bottom transponder)의 정확한 좌표를 구하기 위해 음향변환기를 매단 조사선이 트랜스폰더(bottom transponder)가 형성하는 삼각지대 사이를 수회 통과하면서 음향 통신 데이터를 이용해 트랜스폰더(bottom transponder)들의 절대위치를 찾아낸다. 이 트랜스폰더 사이의 거리는 이 시스

템의 기선으로 사용된다. 기선의 길이가 수~수십 킬로미터로 SBL과 비교하여 상대적으로 길므로 LBL로 칭한다. 둘째 부분은 예인체에 부착되는 송수신기의 음향변환기(towed array)로 구성된다. 송수신기의 음향변환기로부터 트랜스폰더까지의 거리는 음향변환기에 의한 짧은 음향 신호와 트랜스폰더에 의한 응답으로 측정된다. 그 과정은 남아있는 트랜스폰더들에 반복 되어지고 트랜스폰더 비이콘의 배열과 관계된 예인체의 위치가 계산되어 진다(Fig. 1) <<http://www.sonardyne.co.uk/theory.htm>>.

SBL 수중위치추정 기법은 수십미터 간격으로 추적용 음향센서를 연구선 선저에 부착하여 근거리 표적(예인체)의 위치를 추적한다. 제한된 여건에서 비교적 정확도가 높지만 3개 이상의 음향센서가 부착 가능한 환경이 마련되어야 운영이 가능하다. 예인체에 부착된 트랜스폰더에서 음향신호를 보내면 선저에 부착된 추적용 음향센서에서 수신된다. 이 때 선저에 삼각형이나 사각형 모양으로 부착된 3개 이상의 음향센서 사이의 거리가 기선이 되며 LBL과 비교 시 거리가 상대적으로 짧아 SBL로 칭한다. 그 거리가 적어도 10 m 이상이 되어야 하므로 대부분 바지선

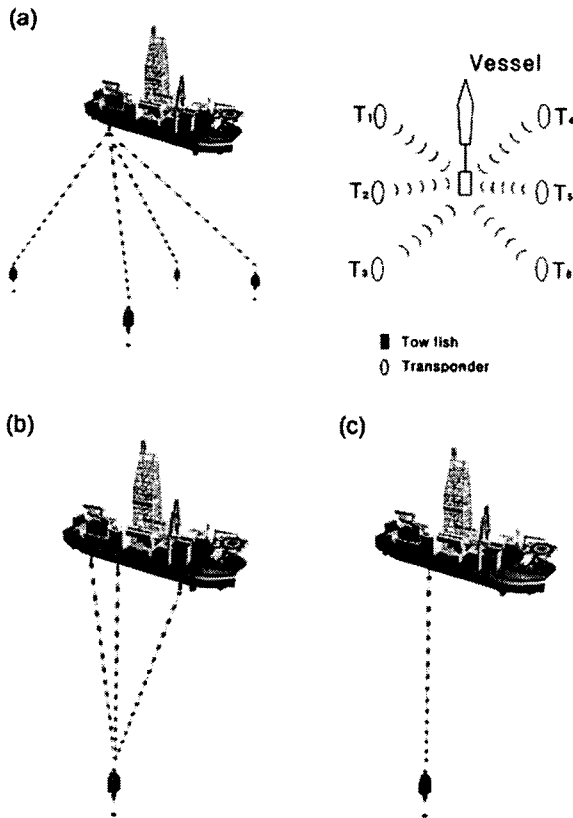


Fig. 1. Schematic diagrams for the underwater positioning systems using Long Baseline (a), Short Baseline (b), Ultra Short Baseline (c).

이나 드릴링선 등 규모가 큰 대형선박의 경우에 적합하며, 중소형 선박일 경우는 선미의 폭이 좁아 이 기법의 사용이 부적합하다(Fig. 1) <<http://www.sonardyne.co.uk/theory.htm>>.

USBL 수중위치추정 기법은 수~수십 센티미터의 좁은 간격으로 구성된 한 그룹의 음향센서 배열을 연구선 선저에 부착하여 수중 표적(예인체)의 위치를 추적한다. 단일 센서배열 이므로 설치가 용이하지만 센서간격이 좁아 정확도 측면에서는 불리해질 수 있다. USBL에 의한 거리추정 개념은 표적에서 송신한 신호와 추적용 센서가 수신한 신호의 전달 시간을 상호상관관계(cross-correlation) 검출 방식으로 계산하고 수중음속을 곱하여 거리를 계산한다. USBL에 의한 방위추정 개념은 표적으로 부터의 음향이 각 센서에 수신되면서 센서간 간격에 의해 발생하는 시간 지연(time delay) 또는 두 센서간의 위상지연(phase delay)에 의해 방위를 추정한다(이 등 2000). 최근에 심해저에서 예인되는 전자장비는 USBL을 이용한 수중 위치추적 시스템을 운영하는 추세이며, 이러한 환경하에서 예인되는 예인체는 획득 자료에 대한 정확한 위치자료를 제시할 수 있다(Fig. 1).

일본에서는 1992년 조사선 Hakurei Maru호와 미국 Benthos 사의 DSC를 사용하여 심해저 탐사를 실시했으며, 이때 사용된 DSC에는 CTD 센서가 장착되었다. 조사선에 의해 예인되는 DSC에는 CTD 센서가 있어 DSC의 수심을 알고 DSC에 부착된 고도 센서를 통하여 DSC의 해저면으로 부터의 높이를 알 수 있었다. 케이블의 풀려나간 길이를 알고 예인체의 수심을 알아내어 DSC가 조사선으로부터 떨어진 수평거리(l 값)를 구하는 방법을 사용하였다(Fig. 2)(Yamazaki and Sharma 2000).

한국해양연구원에서는 1998년도, 1999년도 심해저 망간단괴 탐사 시 DSC를 이용하여 영상 및 화상 자료를 획득 하였으며, DSC에 위치 보정 시스템이나 CTD 센서 등

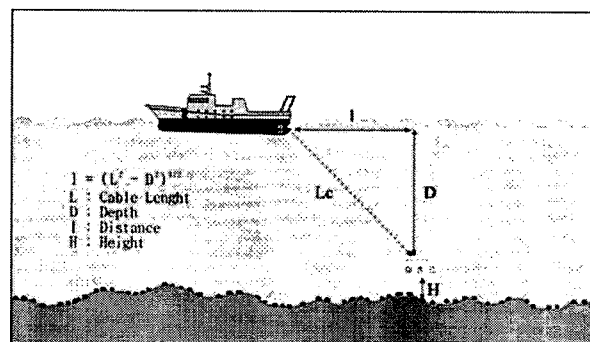


Fig. 2. Schematic diagram for the calculation of position and depth of DSC using Japanese deep-sea cruise (modified after Yamazaki and Sharma 2000).

이 갖추어지지 않은 상황에서 다음과 같은 방법으로 예인체의 위치를 추정하였다. DSC는 예인될 때 조사선 직하방에 위치할 수 없고 예인 방향의 후미에 위치하게 된다. 따라서 DSC의 위치를 조사선에 나타난 위성 위치 확인 시스템에 의한 위치와 동일시하는 것은 불가능하다. DSC는 대략 1.2 knot의 일정속도로 예인되었고 이러한 자료 등에 근거할 때 DSC는 조사선과 약 1시간의 시차를 두고 조사선 후방에서 예인되는 것으로 계산되므로 이 시차 값에 근거하여 자료를 해석하였다. 즉 1998년도, 1999년도 연구결과에 표기된 모든 MDM 시간자료(조사선의 위치별 GPS 시간)는 원시 자료에서 1시간을 뺀 값이다(Fig. 3)(해양수산부 1998).

2003년도, 2004년도에는 DSC에 위치 보정 시스템이나 CTD 센서 등이 갖추어지지 않은 상황에서 1998년도, 1999년도에 사용했던 방법과 달리 다음과 같은 방법으로 DSC의 위치를 추정하였다. 심해에서 예인되는 장비들은 조사선의 직하방에 위치하고 있지 않기 때문에 정확한 위치를 알기 위해서는 획득된 위치자료에서 보정이 필요하다. 이를 위해서는 심해 위치 시스템과 같은 장비의 도입이 필요하지만 당시 이러한 장비의 사용이 어려웠기 때문에 다른 자료들을 이용하여 DSC의 위치를 보정하였다.

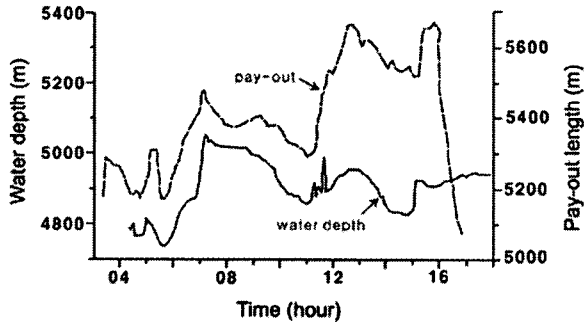


Fig. 3. Position of DSC was calculated using the wire pay-out and the water depth in the KODOS-98, 99 cruises.

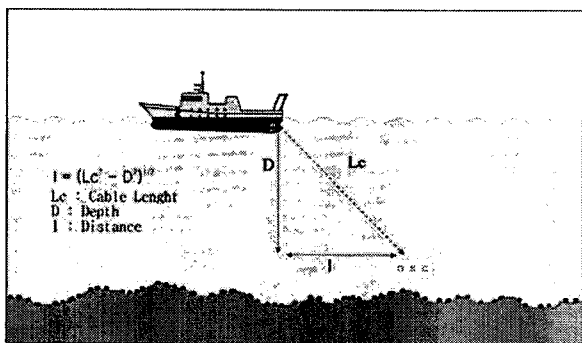


Fig. 4. Schematic diagram for the calculation of DSC position during the KODOS-03, 04 cruises.

조사선이 위치하고 있는 지점에서의 정확한 해저면의 깊이(D)는 정밀 음향 측심기를 이용하여 측정된다. 그리고 예인되는 DSC의 풀려나간 케이블 길이(Lc) 또한 알고 있으므로 이를 이용하여 DSC가 조사선으로부터 떨어진 거리를 계산할 수 있다(Fig. 4)(해양수산부 2004).

4. 토의 및 결론

본 연구에서는 외국의 DSC 위치 보정방법과 한국해양연구원이 보유한 DSC의 위치 보정방법을 비교하였다. 또한 추적용 센서를 이용한 수중 위치추적 기법의 소개와 필요성을 논의하여, 향후 조사선을 통하여 예인되는 심해 고가 전자 장비들의 정확한 위치 정보를 획득하는데 이용하고자 하였다.

일본은 1992년 조사선 Hakurei Maru를 이용하여 실험역에서 DSC 탐사를 수행했으며, DSC에 부착된 CTD 센서에 의해 DSC의 실제 수심을 측정하였다. Yamazaki와 Sharma(2000)는 이를 이용하여 조사선에서 케이블이 DSC와 사선으로 연결되어 있고, DSC가 직후방에서 따라온다는 가정 하에 DSC의 수중 위치를 추정하였다. 그러나 실제 탐사 시 대부분의 예인장비는 바람이나 해류의 영향에 의해 직후방으로 부터 좌, 우로 쏠려서 예인되기도 한다. 특히 DSC와 같은 예인장비는 1~2 knot 정도의 저속으로 운영되어 케이블이 늘어지게 되므로 조사선과 DSC 사이의 케이블이 처짐이 없는 사선으로 예인되지 않는 경향이 더 많이 나타난다.

1998년도와 1999년도 심해저 탐사 시 DSC의 위치는 MDM GPS 시간자료와 EA-500 수심 자료 등을 분석하고 케이블의 방출길이와 조사선의 속도를 감안하여 원시자료에서 1시간을 뺀 MDM GPS 시간자료를 사용하여 보정하였다. 이 방법은 해저면의 높이가 자주 변하는 곳에서는 수심과 케이블의 풀려나간 길이의 연관성을 찾기가 쉽지만 평탄한 구조의 해저면에서는 상호 연관성을 찾기가 쉽지 않다. 또한 DSC의 정확한 수심을 알 수 없어 획득된 다른 자료들의 조합으로 DSC의 위치를 유추하기 때문에 오차요인이 많이 포함되어 있어 정확한 DSC의 위치를 알아내는 데는 한계가 있었다.

2003년도와 2004년도 탐사 시 사용했던 방법은 일본의 Yamazaki와 Sharma(2000)에 의해 사용된 방법과 유사하다. 다만 한국해양연구원이 보유한 DSC에는 CTD 센서가 부착되어있지 않아 DSC의 정확한 수심을 알 수 는 없지만 정밀 음향 측심기를 이용하여 조사선이 위치한 지점의 정확한 수심을 측정하고, 케이블의 풀려나간 길이를 알아내어 Yamazaki와 Sharma(2000)의 위치 보정식을 역으로 계산한 결과, 한국해양연구원이 기존에 사용한 방법에 비해 DSC의 위치를 보다 정확하게 측정할 수 있었다. 그러

나 이 방법 또한 DSC 내에 CTD 센서가 부착되지 않아 DSC 자체의 수심을 알 수 없으므로 여전히 조사선의 수심을 이용하여 추정하게 된다. 이는 조사선에서 DSC까지의 케이블이 정확한 사선으로 연결되어 내려가지 않으며, 케이블 자체 무게에 의한 처짐 또는 조류에 의한 휨 현상이 많아져 DSC의 수심 및 조사선과의 거리 계산에 오차가 여전히 많이 발생할 수 밖에 없었다. 결과적으로 DSC의 직접적인 위치자료가 없이 위치를 추정할 수 있는 주변자료에 의존한 DSC의 위치 보정방법은 보정방법에 따라 오차요인을 감소시켜 근접한 위치를 알아낼 수는 있으나 정확한 DSC의 실제위치는 알아낼 수 없는 한계가 있다. USBL을 이용한 심해 예인장비들은 예인체 자체에 직접 음파 발생장치를 부착하고 조사선의 선미 양쪽에 추적용 음향센서를 장착하여 예인체로부터 들어오는 신호를 시간에 의한 위상각의 차이로 예인체의 정확한 3차원적 위치를 알아낼 수 있다. 예인체의 정확한 위치를 알아내는 것은 예인체에서 수집되는 자료가 근사 추정이 아닌 실제 위치에 근거한 자료의 획득을 의미한다.

한국해양연구원에서 1992년도 구입하여 현재까지 사용해왔던 DSC는 심해저 망간단괴탐사는 물론 남서태평양 망간간 및 해저 열수 광상탐사에서도 방대한 양의 영상 및 화상 자료를 획득하여 왔으며, 심해저 광물탐사에서 중요한 기초 자료로써 이용되어 왔다. 그러나 정확한 DSC의 위치 자료를 알 수 없어 획득된 영상 및 화상 자료의 정확한 위치 자료를 파악하는데 어려움이 있었다. 현재는 해양기술의 발전으로 국외는 물론 국내에서도 심해 예인장비의 정확한 위치를 제공하는 수중 위치추적 기법이 사용되고 있으며, 향후 해양장비들은 더욱 정밀한 자료와 정확한 위치 자료를 필요로 할 것이다. USBL을 이용한 심해 위치정보 시스템은 모든 해양 예인 장비에 있어 시료나 자료획득 지점의 실제 위치를 파악하여 예인 장비들로

부터 얻어지는 모든 자료의 실 측정 자료를 통하여 연구의 질적 향상을 가져오는데 이용될 것으로 사료된다.

사 사

이 연구는 해양수산부가 지원하는 태평양 심해저 광물 자원 개발사업(PM32101, PM32103)의 일환으로 수행되었다. 연구 수행에 많은 도움을 주신 심해저자원연구센터 연구원 여러분과 온누리호 승조원 여러분께 감사드리며, 심사와 교정에 많은 시간을 할애해 주신 심사자께 감사드립니다.

참고문헌

- 이용건, 이상국, 도경철. 2000. 위상 스펙트럼에 의한 USBL 수중위치 추정기법 연구. *한국군사과학기술학회지*, 3(1), 85-91.
- 해양수산부. 1998. 1998 심해저 광물자원탐사 보고서. 190-191 p.
- 해양수산부. 2003. 2003 심해저 광물자원개발 보고서. 114-115 p., 122 p.
- 해양수산부. 2004. 2004 심해저 광물자원개발 보고서. 48-49 p.
- Benthos Inc. 1992. KORDI Deep Tow Imaging System : Operation, Maintenance and Subsystems Manual, 1-9 p.
- Yamazaki, T. and R. Sharma. 2000. Morphological features of Co-rich manganese deposits and their relation to seabed slopes. *Mar. Georesour. Geotechnol.*, 18(1), 43-76.

Received Apr. 22, 2005

Accepted Jul. 4, 2005