

통합항법시스템에 적용하기 위한 3차원 해저지형의 시각화

배문기* · 신형일¹ · 이대재¹ · 강일권¹ · 이유원¹ · 김광식²

한국해양수산연수원 영도지원팀 · ¹부경대학교 해양생산시스템공학과 · ²마린전자상사

Three dimensional visualization of seafloor topography for the application of integrated navigation system

Mun-Ki BAE*, Hyeong-Il SHIN¹, Dae-Jae LEE¹, Il-Kwon KANG, Yoo-won LEE¹
and Kwang-Sik KIM²

Youngdo Support Team, Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, Busan 606-803, Busan

*¹Department of Marine Production System Engineering, Pukyong National University,
Busan 608-737, Korea*

²Marine Electronics Corporation, Busan 616-113, Korea

The 3D visualization of seafloor topography(ST) was realized to discuss the effective use by the 3D visualization of ST on the integrated navigation system(INS) for fishing boat. The software was to actually display the 3D visualization of ST using triangular irregular network, helical hyperspatial codes and stereo projection. The INS for fishing boat which applied the 3D visualization of ST will be utilized for safety voyage and the effective fishing work on the fishing ground.

Key words : 3D visualization, Seafloor topography, INS, Fishing boat

서 론

우리나라 어업은 1994년 UN해양협약 발효 이후 각 연안국들이 자국의 배타적 경제수역에서 외국 어선의 입어를 제한함으로써 해외어장이 축소되고, WTO(world trade organization)의 관세 인하 및 보조금철폐 등의 움직임으로 연근해 어업의 경영이 악화되고 있다. 더욱이 연안어장은 생활하수 유입으로 인한 해양환경 오염과 난개발로 인한 어장 파괴 및 적조와 갯녹음 현상이

확산됨에 따라 어장으로서의 기능이 점차 상실되고 있으며, 근해어장은 한·일, 한·중 어업협정의 체결로 조업구역이 대폭 축소됨에 따라 한정된 어장에서 수산자원의 지속적 이용을 도모하고 채산성을 안정적으로 확보하기란 쉽지 않다. 그래서 연근해 어선들은 채산성 악화를 극복하기 위하여 근거리 연안 해역에 국한되었던 조업구역을 점차 원거리까지 확장함으로써 장거리 항해 및 선원 부족에 따른 생력화를 위하여

*Corresponding author: mkbae@seaman.or.kr Tel: 82-51-419-7128 Fax: 82-51-419-7158

자동항법시스템(auto pilot) 및 통합항법시스템(INS: integrated navigation system)을 추구하고 있다.

이들 시스템은 이미 다수의 화객선에 탑재되어 운용되고 있지만, 연근해 어선에서는 아직 보급되지 못하고 있는 실정이다. 연근해 어선에서의 통합항법시스템은 디지털공학의 급속한 발전으로 그 실현이 가속화되고 있는데, 이러한 통합항법시스템에서 중요한 역할을 하는 것 중에 하나가 전자해도표시장치(ECDIS: electronic chart display and information system)이다. 현재 국제해사기구(IMO: international maritime organization)를 비롯한 여러 세계의 기구들은 전자해도와 각종 정보를 동시에 나타낼 수 있는 ECDIS를 사용하도록 권고하고 있으나, 어선에서는 현실적으로 ECDIS가 고가이며, 사용상의 어려움이 있어 종이해도나 비디오 플로터에 의존하고 있다.

한편, 기존의 비디오 플러터 및 ECDIS에서는 2차원으로 육지와 바다를 구분하고 있으나, 본 연구에서는 해저지형을 3차원으로 구현함으로써 어선들이 해상에서 항해 및 조업을 함에 있어 운항자들이 보다 현실감 있게 상황을 판단할 수 있도록 하였다.

우리나라에서 지형의 3차원화와 같은 지리정보시스템(GIS: geographic information system)은 1994년 추진된 국가 GIS 구축사업의 하나로서, GIS가 국가경쟁력 강화 및 행정생산성 제고 등에 기반이 되는 중요한 사회간접자본의 형태로 적극적으로 투자하기 시작하면서, 건설교통, 지형, 지하매설물 등과 같이 다양한 분야에서 이용되고 있다. 그중, 해저지형의 가시화에 관한 연구로서 저질의 분류, 좌초 선박의 정보 및 바다목장화를 위하여 설치된 인공어초의 사후관리 등의 다양한 목적으로 사이드 스캔 소너(sidescan sonar) 또는 멀티 빔 음향측심기(multibeam echo sounder)를 이용한 가시화의 고도화에 관한 연구는 국내외에 다수 있으나(Kim

et al., 2005; Kim et al., 1987; Lee et al., 2001; Schmahl et al., 2003), 이와 같이 구현된 3차원 해저지형을 안전항해 및 원활한 어로활동 등을 위하여 어업에 적용하려는 노력은 미흡하였다.

그래서 본 연구에서는 연근해 어선의 통합항법시스템을 구축함에 있어 기존에 ECDIS 상에서 2차원으로 나타내었던 해상부분을 어선에서 보다 효과적으로 활용할 수 있도록 3차원으로 해저지형을 시각화하여 통합항법시스템에 적용하기 위한 기초연구로서 3차원 해저지형 시각화 과정에 대하여 고찰하였다.

재료 및 방법

3차원 해저지형의 시각화

3차원 해저지형의 시각화 과정은 Fig. 1과 같이, 음향 측심자료, 측심자료의 전처리 및 보정, 수치지형모델, 영역 분할 및 인덱싱 그리고 3차원 시각화를 통하여 이루어졌다.

음향 측심자료는 멀티 빔 음향측심기를 이용하여 수심 데이터를 수집, 보정하여 이용하거나, 오차 없이 좌표축의 수심 데이터를 획득할 수 있도록 세계측지계(WGS84)를 사용하는 국제수로

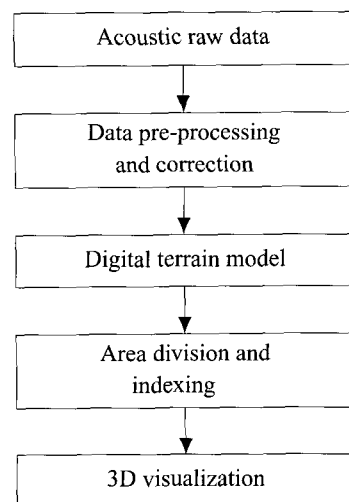


Fig. 1. The processing of 3D visualization of seafloor topography.

국(IHO: international hydrographic organization)의 S57(exchange data standard for ECDIS), NIMA(national imagery mapping agency)의 DNC(digital nautical chart), USGS(United States geographic survey)의 디지털 수심 데이터 등의 디지털 데이터를 WCS(world coordinate system)로 변환하여 이용할 수 있도록 구현하였다.

멀티 빔 음향측심기를 이용하여 얻어진 측심 자료는 모션 센서를 이용하여 rolling, pitching, heaving에 의한 오차를 보정하고, Gyro compass와 GPS를 이용하여 heading의 변화 등 각종 오류를 제거하는 전처리를 행하고, 최종적으로 해저면에서 돌아온 빔의 측정값을 작성하였으며, 이외에도 수심 및 수온에 따라 변하는 음속의 변화를 음속 프로파일 관측 시스템(SVP-15, Navitronics Co.)을 이용하여 작업 시작 전, 중식 후, 작업 종료 후 관측하였다. 또한 음속에 의한 측외곽 자료의 오측현상이 나타날 때마다 관측을 실시하여, 자료 취득 시스템인 Naviscan 소프트웨어를 이용하여 실시간 보정하였고, 후처리 작업에서도 시공간적으로 변화하는 음속 프로파일을 spatial interpolation 방법을 이용하여 보간 적용하였다(Lurton, 2002). 한편, 수영만 주변 해역 조사시의 조위보정은 국립해양조사원에서 1분 간격으로 관측한 부산항 검조소 조석자료를 10분 평균자료로 처리한 후, 이를 검조소와 조사위치 사이의 거리에 따른 조시차와 조고비를 적용하여 최종적으로 보정된 조고자료를 이용, 조고 개정을 실시하였다.

얻어진 디지털 데이터를 이용하여 3차원 해저 지형을 나타내기 위해서는 처리하기 용이한 방법으로 수치지형모델링(DTM: digital terrain model)을 하여야 하는데, GIS에서 3차원 지형정보를 나타내기 위해서는 수치표고모델(DEM: digital elevation model)과 부정형 삼각네트워크(TIN: triangular irregular network) 모델이 이용되고 있다(Kim, 2004; Lee, 2003).

DEM은 규칙적인 간격으로 표본지점이 추출

된 래티스(lattice) 형태의 데이터 모델로서, 구현이 간편하고 비교적 단순한 자료 표현 모델링에 적합하다. 그러나, 현실적으로 복잡한 지형에서는 보다 더 밀도가 높게 추출된 데이터가 필요하고, 단순 지형에서는 밀도가 낮은 데이터가 요구되지만, DEM에서 제공되는 데이터로는 복잡한 지형의 특성을 반영하는 데이터의 획득이 불가능하다. 뿐만 아니라 표본지점들 간의 간격을 조밀하게 추출할 경우 상대적으로 데이터의 양이 늘어나기 때문에 비교적 단순한 표면을 나타내는 경우에도 필요 이상으로 많은 데이터의 용량을 갖는 것이 단점이다.

그래서 본 연구에서는 TIN 모델을 이용하였는데, TIN 모델은 불규칙하게 분포된 위치에서 표고를 추출하여 이들 위치를 삼각형의 형태로 연결하여 전체 지형을 불규칙한 삼각형의 망으로 이루어진 모자이크 식으로 표현되며, 더욱이 지형의 특성을 고려하여 불규칙적으로 표본 지점을 추출하기 때문에 각 면의 경사도나 경사의

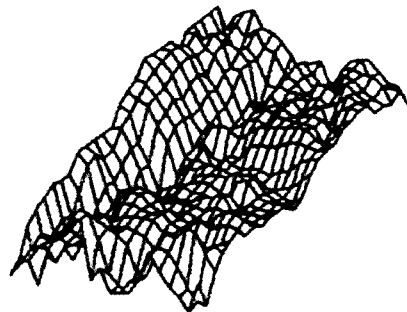


Fig. 2. 3D modeling of geometry data using DEM.

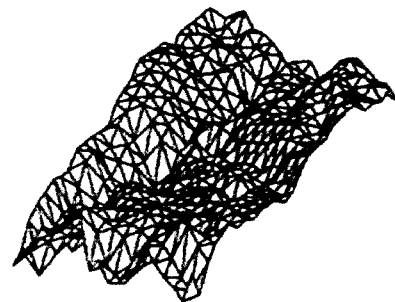


Fig. 3. 3D modeling of geometry data using TIN.

방향을 쉽게 파악할 수 있으며, 복잡한 지형을 표현하는데 매우 효과적이다. 한편, TIN 데이터를 추출하기 위한 삼각형화 방법으로는 보로노이 다이어그램(Voronoi diagram)과 래디얼 스위프(Radial sweep) 등이 제안되고 있으나, 본 연구에서는 보로노이 다이어그램에 의한 TIN 데이터 생성 방법을 사용하였다(Ryoo et al., 1997).

3차원으로 모델링된 해저 지형데이터를 보다 빠르게 시각화하기 위해서는 데이터를 적절한 크기로 분할하고, 각 분할된 부분에 대해서 빠른 검색을 위한 색인을 작성해야 한다. 일반적으로 데이터 중에서 경사가 심한 지역은 공간 해상도가 높아야 하고, 그렇지 않은 지역은 공간해상도가 낮아도 해저 지형의 특징을 표현할 수 있다. 그래서 본 연구에서는 Riemannian Hypercube Structure에 근간을 둔 HH(helical hyperspatial) 코드를 사용하였다(Gareau et al., 2003).

2차원 HH 코드는 Fig. 4(a)와 같이 2차원 공간을 4분할(quadtree)하여 각각 번호가 부여되어 마치 quadtree와 유사한 구조를 가지지만, 단순한 quadtree와 달리 공간색인 특성을 제공하기 때문에 별도의 위상을 부여하지 않아도 기본적인 공간 분석이 가능하다. 한편, 3차원 HH 코드는 Fig. 4(b)와 같이 8분할(octree)하여 각각 번호가 부여되게 된다. 이와 같은 2차원 및 3차원 HH 코드는 각각 1차원 HH 코드가 2개 및 3개가 인터레이스된 2진 스트림으로 구성되어 있다.

HH 코드의 계층성을 이용하여 포함, 인접성

등 관계를 특별한 처리과정 없이 확인할 수 있으며, 타일구조에서 점 단위로 위상 표현이 가능하며 선형자료도 HH 코드 기반으로 표현할 수 있다. 타일 기반으로 대표 고도값을 갖는 타일들을 기준으로 외곽선을 추출하면 통계적으로 가장 적합한 등심선을 얻을 수 있다. 또한, 관계형 데이터베이스를 사용하여 HH 코드를 구현한 경우, 계층구조를 가지기 때문에 해당 파일을 별도의 테이블로 관리 가능하며, 별도의 테이블로 관리하기 때문에 분산된 저장 공간에 관리할 수 있다. 그래서 검색 기준이 공간일 경우 자료가 분산 관리되어도 검색영역이 인접되어 있어 검색 속도의 급격한 저하가 발생하지 않는다는 장점이 있다.

3차원 시각화를 구현하기 위해 사용된 소프트웨어, OpenGL(open graphic library)은 대화식 3차원 그래픽스 렌더링을 위한 응용 프로그래밍 인터페이스(application programming interface)로서 많이 활용되는 것을 이용하였다(Richard et al., 2001).

3차원 WCS(world coordinates system) 상에 위치되어 있는 물체의 좌표는 변하지 않지만, 물체를 바라보는 시각 좌표계는 관찰자의 시점에 따라 변하게 되므로, WCS좌표를 관찰자의 시점을 원점으로 하는 시각 변환을 하여야 한다. 시각 변환을 한 후, 다시 시점과 물체 사이의 2차원 스크린 상으로 3차원의 좌표를 투영하여 스크린 좌표로 변환하여야 한다. 투영 방법으로는 원근

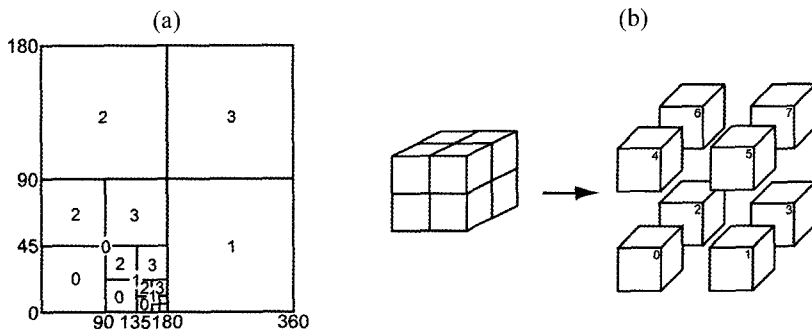


Fig. 4. Division of geographic coordinates using 2dimensional(a) or 3dimensional(b) HH codes.

투영(perspective projection), 평행 투영(parallel projection) 및 스테레오 투영(stereo projection)이 있다(Stuart, 1998).

원근 투영은 시점의 거리와 물체 사이의 원근에 따라 가까운 곳은 먼 곳에 비해 상대적으로 크게 나타나게 투영하여, 사람의 눈이 인식하는 방법과 같으므로 현실감이 뛰어나고, 평행 투영은 시점의 위치가 물체로부터 무한대의 거리에 있을 경우, 물체의 원근은 무시되어 x, y값이 그대로 스크린 좌표로 투영되어, 계산량이 감소하여 속도가 증가하나 원근 투영과 같은 현실감이 떨어진다. 그래서 본 연구에서는 두 가지 투영법의 장점을 합친 스테레오 투영을 이용하여 해저 지형에 대한 투영도를 만들었다. 한편, 시각적 효과 부여과정에서는 의사색 렌더링(pseudo-color rendering)을 사용하여 수심별 정보를 파악하기 용이하도록 구현하였다.

음향 측심 데이터

3차원 해저지형 시각화에 사용한 음향 측심 데이터 중, 부산 수영만 주변 해역데이터는 2002년 8월 멀티 빔 음향측심기(SeaBat 8125, REASON)를 용선의 선저에 설치하여 관측하였으며, 동해가스전 연안부 배관 매설 공사 데이터

는 2003년 5월 동장비를 동일한 방법으로 설치하여 음향측심데이터를 수록하였다. 사용된 멀티 빔 음향측심기의 주요 성능은 Table 1과 같다.

이와 같이 얻어진 데이터를 이용하여 3차원 해저지형을 시각화하고, 이것이 연안어선 통합항법시스템에 적용되었을 경우에 파생되는 장점에 대하여 고찰하였다.

Table 1. Specification of used multibeam echo sounder

Items	Specification
Frequency	455kHz
Depth resolution	6mm
Swath coverage	120°
Max range	150m
Number of beams	240
Along-track beamwidth	1°
Across-track beamwidth	0.5°
Operational speed	up to 12knot

결과 및 고찰

동해가스전 연안부 배관 매설 공사 주변 해역을 멀티 빔 음향측심기를 이용하여 수집된 데이터를 도식화한 결과는 Fig. 5와 같다.

Fig. 5는 멀티 빔 음향측심기에 의해 얻어진 수심데이터를 각 위치에 도시한 것으로 얻어진 데이터를 모두 이용할 경우 중첩에 의해 식별하기

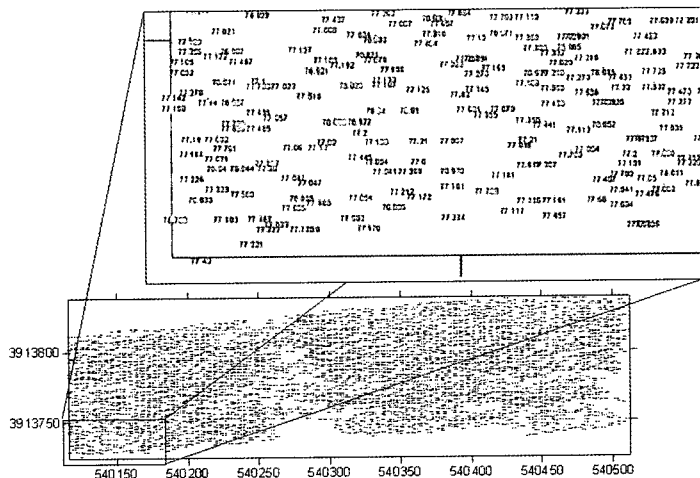


Fig. 5. Depth data obtained using multibeam echo sounder.

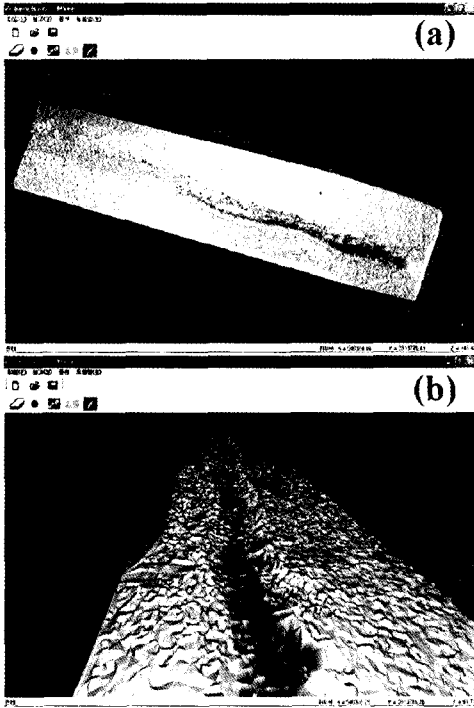


Fig. 6. 3D visualization with TIN(a) and rotated TIN(b) using dredge date.

곤란하여 그림에서는 샘플간격을 1/10로 하여 나타내었다. xyz형태의 데이터에서 x, y값은 UTM 좌표계에서 각각 Easting축과 Northing축을, z값은 xy좌표에서의 수심을 나타내는데 그림에서는 대부분의 수심이 77m대를 나타내고 있다.

Fig. 6(a)는 3차원 해저지형 시각화 프로그램을 이용하여 음향측심 데이터를 읽어 들여 TIN 데이터로 변환, 랜더링한 것을 나타내었다. 그림에서 가스전 배관 매설을 위하여 좌상측에서 우하측으로 준설한 공사 현장을 선명하게 확인할 수 있었다. Fig. 6(b)는 Fig. 6(a)를 회전시키고 확대한 결과를 나타내었는데, 준설공사 현장을 보다 현실감 있게 나타내고 있다.

한편, Fig. 7은 부산 수영만에서 송정해역 중 송정주변 해역을 확대하여 3차원 해저지형 시각화로 나타낸 결과이다. Fig. 7을 보면 송정해역은 암초지대와 연결되어 남동쪽으로 갈수록 수

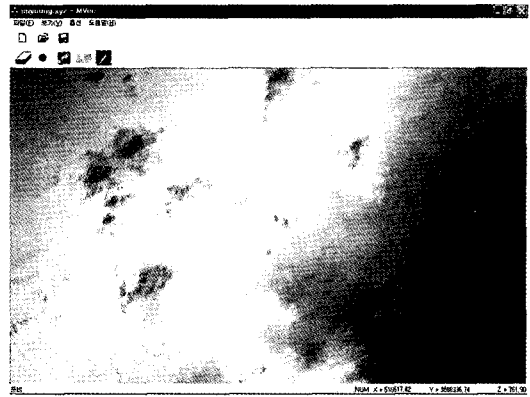


Fig. 7. 3D visualization with TIN in Songjeong, Busan.

심이 점차 깊어지는 지형이라는 것을 알 수 있으며, 오른쪽 중간부분이 인공어초가 설치된 해역이며, 암초에 의한 천심부분의 기복 등이 사실적으로 나타나있다.

이와 같이 구현된 3차원 해저지형을 연근해 어선 통합항법시스템에 적용하면, 기존에 2차원으로 육상과 해상을 나타내던 것을 3차원으로 육상과 해저부분을 나타내줌으로써, 항해시에는 암초와 같은 장애물을 보다 사실적으로 표현되어 안전항해에 기여할 것으로 판단된다. 또한 저층트롤에서는 해저에 의해 트롤망이 대파되는 경우가 잦은데, 3차원 해저지형을 활용하여 해저가 좋지 않은 지역은 사전에 피하여 조업함으로써 망파손에 따른 조업손실을 최소화할 수 있으며, 등심선을 따라 조업하는 기지트롤에서도 3차원 해저지형 가시화는 보다 효율적인 조업을 가능하게 할 것으로 판단된다. 그러나 3차원 해저지형 가시화를 연안해 어선 통합항법시스템에 적용하기 위해서는 ECDIS에 오버레이시키는 방법에 대하여 지속적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

본 연구의 기술적인 부분을 지원해주신 (주) UST 21의 박요섭 연구소장을 비롯하여 관계 여러분께 심심한 감사의 말씀을 드립니다.

결 론

연근해 어선의 통합항법시스템을 구축함에 있어 기존에 ECDIS 상에서 2차원으로 나타내었던 해상부분을 어선에서 보다 효과적으로 활용할 수 있도록 3차원으로 해저지형을 시각화하여 통합항법시스템에 적용하기 위한 기초연구로서 3차원 해저지형 시각화 과정에 대하여 고찰하였다. 멀티 빔 음향측심기에 의한 측심 데이터를 이용하여 3차원 해저지형 시각화 소프트웨어를 실행한 결과, TIN 모델에 의한 수심과 해저지형은 현실감 있게 구현되었다. 이와 같은 3차원 해저지형 시각화를 ECDIS에 적용하여 연안어선 통합항법시스템을 구축하면, 안전항해와 원활하고 효율적인 조업에 기여할 것으로 판단된다.

참고문헌

- Gareau, P, J. Stockhausen, J. Strang and H. Varma, 2003. A multi-dimensional approach to integrated hydrographic data management solutions. U.S. Hydrographic Conference 2003, pp. 11.
- Kim, G.H, 2004. Spatial analysis. Dooyangsa, Seoul, pp. 163-227.
- Kim, H.S., C.G., Kim, Y.K., Seo and G.Y., Kim, 2005. Subsidence characteristics of artificial reefs using sediment grain size and shear strength. Bull. Kor. Soc. Fish. Tech., 41(1), 46-53.
- Kim, S.R., H.R., Yoo, G.T. Park, Y.K., Lee and C.H., Ahn, 1987. Digital processing and acoustic backscattering characteristics on the seafloor image by sidescan sonar. J. Oce. Soc. Kor., 22(3), 143-152.
- Lee, D.J., J. Park and H.I. Kim, 2001. Development of algorithms for correcting and mapping high-resolution sidescan sonar imagery. Korean J. Remote Sensing, 17(1), 45-56.
- Lee, H.Y, 2003. GIS. Bobmunsa, Seoul, pp. 208-240.
- Lurton, X., 2002. An introduction to underwater acoustics: principles and applications. Springer, New York, pp. 247-293.
- Richard, S.W., R.S Michael and G.H. Nam, 2001. OpenGL super bible 2nd edition. Information Publishing, Seoul, pp. 797.
- Ryoo, S.T, C.H. Ahn and K.H. Yoon, 1997. Improved radial sweep algorithm for 3-dimensional terrain modelling. J. Kor. Soc. for Geo-Spatial Information System, 5(2), 77-85.
- Schmahl, G.P, E.L. Hickerson, D.C. Weaver and J.V. Gardner, 2003. High-resolution multibeam mapping and habitat characterization of topographic features in the northwestern Gulf of Mexico. U.S. Hydrographic Conference 2003, pp. 9.
- Stuart, M.S, 1998. Processing and management of underway marine geophysical data as SCRIPPS. Proceedings of the Oceans '88 Conference, 385-390.

2006년 4월 26일 접수

2006년 5월 12일 수리