

다중빔 음향측심기를 이용한 삼천포 남부해역 수심자료 정확도 평가 공성규[†] · 김진권¹ · 심문보¹

(원고접수일 : 2008년 12월 2일, 원고수정일 : 2009년 1월 13일, 심사완료일 : 2010년 5월 25일)

A Study on Assessment of Depth Data from Hydrographic Surveying Using MBES around South Sea of Samcheonpo

Seong-Kyu Kong[†] · Jin-Kwon Kim¹ · Moon-Bo Shim¹

요약 : 삼천포항은 국가 지정 무역항으로 새로운 항만이 건설되고 있으며 이에 따른 안전의 요구가 증가하고 있다. 이러한 해상안전을 위한 요구사항을 충족하기 위해 다중빔 음향측심기를 이용한 삼천포 남부해역에 대한 수로측량이 실시되었다. 본 연구에서는 수로측량의 주요한 항목인 수심자료를 획득하였으며, 이 자료를 국제수로기구(IHO)에서 2008년 2월에 간행한 특별 간행물의 최소 수로측량 기준과 비교한다. 3단계로 수심자료를 분석한 결과, 좌·우현의 외곽 빔에 대한 제거범위를 산정하여 필터링함으로써 자료처리의 효율성과 자료의 정확도를 높일 수 있었으며, 남쪽해역은 해류 등 외부환경의 영향 큰 해역에서는 0.2m 정도의 오차가 나타났으며, 중앙 부 및 상부에서는 0.2m이내의 오차가 나타났다. 연구해역의 수심자료는 국제수로기구 수로측량 규정에서 특등급의 허용 오차 내에 99%가 포함되고 1등급에는 100%만족하는 것을 확인 하였다. 본 연구를 통해 해상교통안전지원, 연안관리 등 해양활동의 의사결정의 정확성을 높이는데 기여할 것이다.

주제어 : 다중빔 음향측심기, 수심자료, 수로측량기준

Abstract: Port of Samcheonpo, designated as a Trading Port, is constructing New Port for the increase in trade and the requirement of maritime safety is growing. To meet these requirement for maritime safety, hydrographic surveying around south sea area of Samcheonpo using Multibeam Echo Sounder(MBES), DGPS etc was conducted. In this study, major item of hydrographic surveying such as sounding data was acquired and analyzed depth data comparing with vertical uncertainty in the special publication for hydrographic minimum specification published in Feb, 2008 by International Hydrographic Organization. By analyzing the depth data with 3 steps procedure, the port and starboard beam by removing the outskirts of the data processing could improve the efficiency and accuracy. The error of south sea were about 0.2m and the upper central part of the error were within 0.2m. Depth data of the study area are included in the 99% of 1st order and satisfied with a 100% tolerance of special order based on the international hydrographic survey standard. This study will be a good case to support efficient decision-making for safe navigation, coastal management.

Key words: Multibeam Echo Sounder, Depth Data, Hydrographic Survey Standard

1. 서 론

수로측량(hydrographic surveying)의 주요한

목적은 안전한 해상교통지원에 있다.[1] 즉, 해도(nautical chart)에 수록되어 있는 정보를 최신

[†] 교신저자(국립해양조사원, E-mail:skkong@korea.kr, Tel: 032-880-0532)

¹ 국립해양조사원

화하고 무결성을 확보한다는 의미이다. 하지만 최근에는 해상에서 이루어지는 모든 활동을 지원하는 측량으로 점차 해상교통 이외 분야에서 정보에 대한 수요가 증가하고 있으며, 특히 자원개발 및 인접 국가 간 해양경계획정, 해양지명 제정 등을 위한 자료로 그 중요성이 증대되고 실정이다. 수로측량 성과의 가장 큰 장점은 국제적인 기준에 의해 자료의 품질이 관리된다는 점이다.

이 기준은 국제수로기구 (International Hydrographic Organization)에서 권고하는 수로측량 기준을 특별 간행물 S-44에서 정의하고 있다. 수로측량 기준은 5년 단위로 최신기술의 발전에 따라 적용 가능한 기술과 정확도를 검토하여 실무반(working group)의 기준 개정 작업을 통해 회원국의 승인을 받아 제정된다. 이러한 절차를 거쳐 2008년 2월에 다섯 번째 특별 간행물이 출간되었다.

현재 우리나라의 관련 연구 성과는 다중빔 음향소해 탐사시스템 자료의 오차분석 및 처리 기술연구[2]와 선박거동특성을 고려한 장주기 특성 보정 신기술에 관한 연구[3] 등의 연구 성과가 있으나 아직 국제적인 수로측량 기준에 대한 인식이 부족하고 이에 대한 연구 성과가 미미한 실정이다. 국제수로기구에서는 각 연안국으로 하여금 수로측량 기준을 준수하여 수로측량을 하도록 권고하고 있다. 2000년, 미 해양대기청(NOAA)의 보고서에 따르면 정확한 수로측량을 통해 발생하는 경제적인 영향은 플로리다 주의 Tampa항으로 진입하는 선박의 통항 안전수심 확보를 통해 선박의 선저가 해저면에 부딪히는 것을 예방하여 선박 당 \$36,000~\$288,000의 경제적인 비용을 절감한 것으로 나타났다. 선박의 통항 수심은 선박의 최저 선저 수심의 30cm~60cm를 고려하여 진입하기 때문에 통항수심의 정확도는 더욱 중요하다 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 삼천포 남부해역에 대한 수심자료를 분석하여 국제적인 기준에 부합하는지 여부를 단계별 정확도 분석을 통하여 전체적인 오차량에 대한 분석을 실시한다.

2. 측량개요

2.1 측량구역

그림 1에서 보는 것과 같이 측량구역은 경남 삼

천포 남부 해역 180km²으로, 좌표는 표 1과 같다.

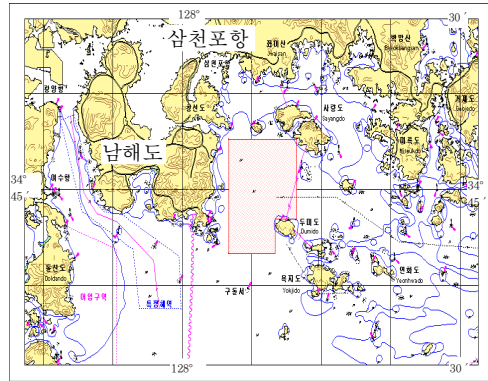


그림 1: 측량구역

표 1: 구역좌표

구역	축척	도법
①34-48-55N, 128-05-00E	1:30,000	U.T.M
②34-48-55N, 128-12-18E		
③34-42-42N, 128-12-18E		
④34-42-42N, 128-10-00E		
⑤34-40-00N, 128-10-00E		
⑥34-40-00N, 128-05-00E		

2.2 자료취득

음향측심기는 주제어부, 기록부, 송수신부 등으로 구성되어 있다. 주제어부는 음파 신호 발진 주기, 강도, 신호보정 등을 담당하고 있으며 주제어부가 트랜스듀서에 전기적 트리거 신호를 입력하면 트랜스듀서에서 특정 주파수의 음파가 해수면을 향해 방사되며 해저면에서 반사된 반사파는 다시 트랜스듀서에 전달되어 전기적 신호로 수신된다. 이때 송신에서 수신까지 걸린 왕복 주사시간(t)과 수중에서의 음파 전달속도(v)를 곱하여 전달거리(R)로 환산하게 된다.

$$R = \frac{t}{2} \times v \tag{1}$$

음향측심기를 이용한 해양에서의 음파 송수신 과정은 다음의 소나 방정식으로 표현할 수 있다.

$$SE = SL - 2TL + BS - NL + TA \tag{2}$$

SE: Signal Excess

SL: Source Level

TL: Transemission Loss

BS: Backscattering Strength

NL: Noise Level

TA: Target Area

음파의 세기는 SE와 SL의 비를 로그함수로 표현하며 단위는 dB(decibels)이다. 소나방정식에서 에너지 손실을 가져오는 요인은 크게 TL(전달 손실)과 NL(소음준위)로 나타낼 수 있는데 이중 전달 손실은 거리의 비례 함수로써 수중에서 음 전달시 구형확산과 에너지 흡수에 따라 발생한다. 구형확산은 음원으로부터 거리를 반지름으로 하는 구의 면적에 비례하며 음의 에너지 흡수는 주파수 특성에 기인하여 주파수가 높을수록 크게 나타난다.

본 연구에서 사용된 자료는 음향측심기 중 노르웨이 Kongsberg-Simrad사의 천해용 다중빔 음향측심 장비인 EM3000을 이용하였으며 127개의 빔을 가지며 장비의 사양은 표 2와 같다.

표 2: 장비사양

system performance	description
frequency	300 kHz
maximum ping rate	25 Hz
number of beams per ping	127(single)
beam width	$1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$
beam spacing	0.9°
depth range from sonar head	1 m ~ 250 m
depth resolution	1 cm
depth accuracy	5 cm RMS
range sampling rate	14 kHz

다중빔 음향측심기는 송수파기의 음향정보, 위치 정보, 모션센서의 히브, 롤, 피치의 선박의 거동정

보와 음속보정을 위한 음속정보를 통합적으로 포함하며 그림 2와 같다.

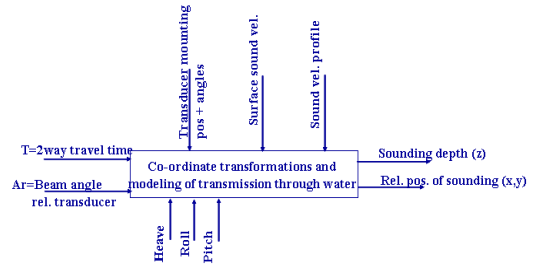


그림 2: 다중빔 음향측심기를 이용한 측량 다이어그램

3. 자료처리 및 분석

3.1 수심 자료처리

자료처리는 측량선의 항해정보에 대한 처리와 원 자료에 포함된 해양환경 및 장비로 기인한 오차를 제거하는 것을 말한다. 이를 위해 CARIS HIPS & SIPS¹⁾ Ver. 5.3을 이용하여 그림 3, 그림 4, 그림 5와 같이 각 시계열처리 인접 라인 간 비교처리 및 공간기반의 처리 과정을 거쳤다.

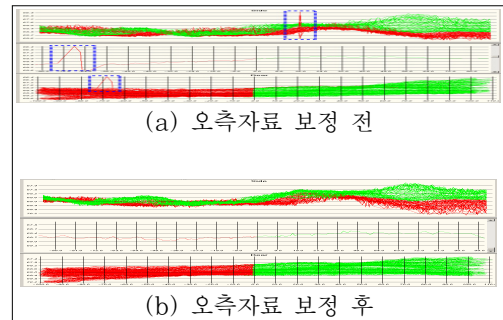


그림 3: 빔별 오측자료 처리

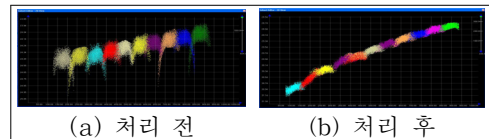


그림 4: 인접 라인 간 비교처리 전·후

1) 캐나다의 USL사에서 개발한 수로측량용 자료처리 소프트웨어

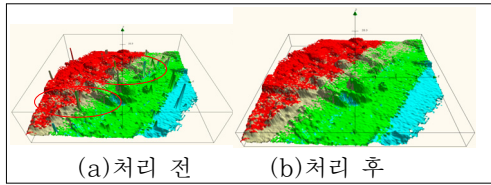


그림 5: 공간기반의 처리

3.2 수심자료의 오차 분석

오차분석은 빔별, 라인별, 라인 간 교차점 오차를 분석하는 3단계 절차를 거쳐 측량해역에 대한 오차분포를 분석한다.

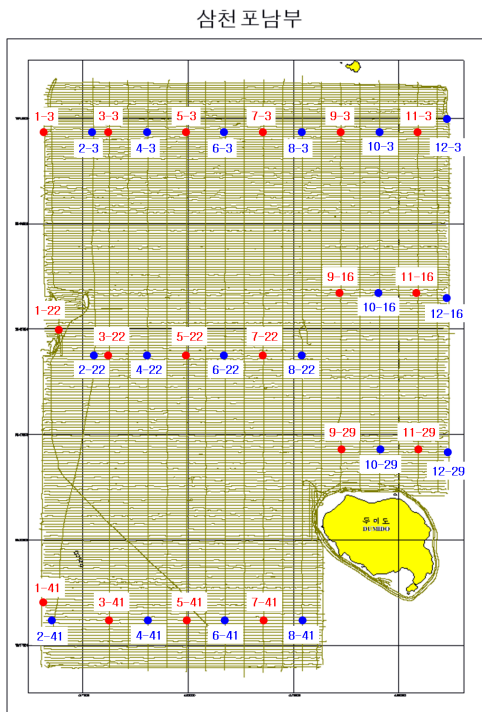


그림 6: 측량구역 내 오차분석 지점

그림 6은 측량구역 내의 오차분석을 위한 지점을 도시하였다. 빔별 오차분석은 해저지형이 평탄하여 빔의 특성을 파악할 수 있는 1-3지점을 선정하여 다중빔 음향측심기에서 송수신되는 127개의 빔의 상태를 분석하였다. 빔번호 1번에서 11번 외곽 좌현 빔 오차의 표준편차는 최대 0.15m이고, 우현 빔 111~127빔은 0.11m오차가 발생하였으

며, 직하방 내측빔은 0.05m의 오차가 발생함을 확인하여 외곽 빔으로 갈수록 오차의 크게 분포함을 알 수 있다. 그림 7과 표 3은 빔별 오차분석결과를 그래프와 표로 나타내었다. 17지점에 대하여 분석한 결과, 교차점의 최대차이는 0.149m, 최소 0.049m 발생하였다.

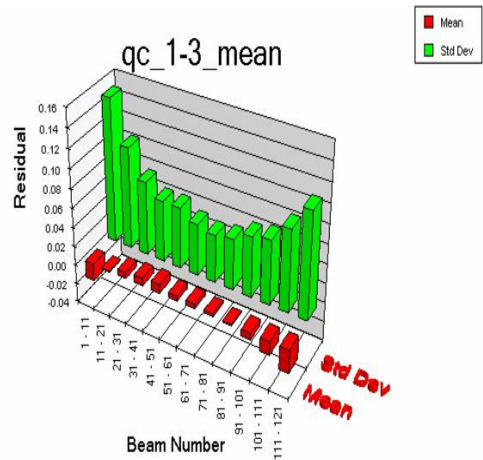


그림 7: 1-3지점의 빔 오차분석 그래프(단위:m)

표 3: 1-3지점의 빔별 오차분석

(단위:m)

Beam No	Count	Mean	Std Dev
1 - 11	4612	-0.018	0.149
11 - 21	10188	-0.001	0.105
21 - 31	10440	0.006	0.076
31 - 41	10053	0.008	0.063
41 - 51	10071	0.009	0.063
51 - 61	10557	0.005	0.053
61 - 71	10498	0.005	0.049
71 - 81	10477	0.003	0.052
81 - 91	9934	-0.001	0.062
91 - 101	9811	-0.007	0.066
101 - 111	10145	-0.014	0.084
111 - 121	9867	-0.024	0.109
121 - 127	2440	-0.03	0.132

그림 8에서 나타내듯이 교차라인에 대한 분석은 18개 주측 라인과 1개의 검측라인을 비교하여 표 4와 같이 전체 18개 라인의 교차점 중 최대 0.349m이고 평균차는 0.035m로 나타났다. 교차점 비교를 통해 해당라인에 내재된 오차를 파악하여 라인의 사용여부를 판단하게 된다.

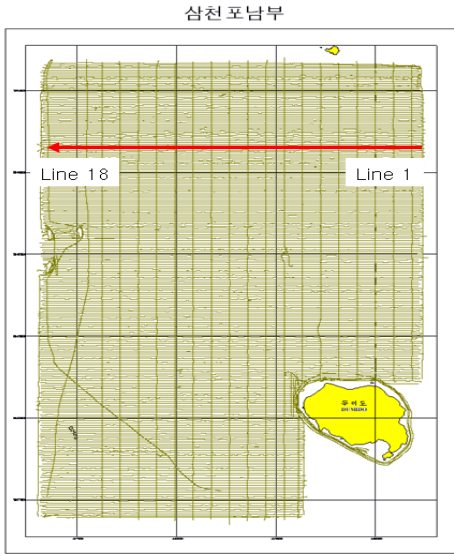


그림 8: 측량구역 내 오차분석 지점

표 4: 교차라인 오차 분석결과

(단위:m)

Line No	최대차	최소차	평균차	특등급 이상 차이
Line 01	0.247	0.000	0.065	0/142
Line 02	0.114	0.000	0.015	0/144
Line 03	0.098	0.000	0.022	0/144
.
.
.
Line 16	0.305	0.000	0.042	0/207
Line 17	0.349	0.000	0.047	0/207
Line 18	0.268	0.000	0.025	0/208

식 (4)는 95% 신뢰수준에서 수직요소 즉, 수심 값이 가질 수 있는 최대 허용 오차 또는 불확도, 즉 TVU(Total Vertical Uncertainty)를 나타낸다. 각 수심에서 최대 허용 TVU를 구하기 위한 식은 표 5와 같이 주어진 각 등급의 a와 b 매개변수, 수심 d를 이용하여 식으로 나타낼 수 있다. 그림 9는 수심대에 따른 허용오차의 범위를 도표 정리하였다. 본 연구해역의 수심대는 25m~40m의 수심대의 해저지형으로 국제수로기구의 수로측량기준에 따르면 항만진입 수로로 1등급에 해당하는 구역이다. 즉, 허용오차는 60~72cm의 구역이다.

표 5: 국제수로기구의 수로측량기준[4]

등급	특등급	1a, 1b	2
허용 수평오차	2m	5m+수심의 5%	20m + 수심의 10m
허용 수직오차	a=0.25m b=0.0075	a=0.5m b=0.013	a=1m b=0.023

$$TVU = \pm \sqrt{a^2 + (b \times d)^2} \quad (4)$$

TVU : Total Vertical Uncertainty

a: 수심에 따라 변하지 않는 오차

b: 수심의 변화에 따라 나타는 오차 상수

d: 수심

b×d 수심의 변화에 따른 오차

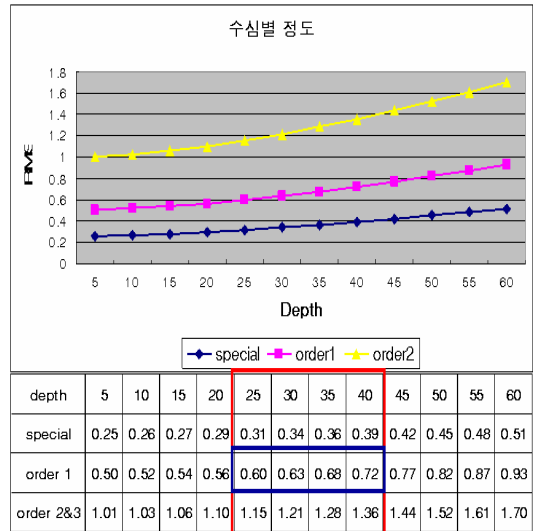


그림 9: 국제수로기구의 수심 허용오차(단위:m)

앞의 그림 8에서 선정된 지점에 대해 오차를 분석한 결과 표 6과 같이 나타났다. 선정지점에 대한 허용오차는 1등급 및 2등급은 100%만족하고 특등급에는 99%이상 만족하는 것을 알 수 있었다. 선정지점에서 나타난 오차분포를 연구해역에 도시하면 그림 10과 같다.

표 6: 선정지점에 대한 오차분석

순번	표준편차	특등급(%)	1a,1b (%)	2(%)
1-3	0.081m	98.82	100	100
1-22	0.051m	99.89	100	100
1-41	0.026m	99.96	100	100
2-3	0.065m	99.79	100	100
2-22	0.052m	99.94	100	100
2-41	0.064m	99.80	100	100
3-3	0.064m	99.82	100	100
3-22	0.047m	99.96	100	100
3-41	0.053m	99.98	100	100
4-3	0.065m	99.87	100	100
4-22	0.049m	99.98	100	100
4-41	0.057m	99.97	100	100
5-3	0.068m	99.81	100	100
5-22	0.048m	99.98	100	100
5-41	0.059m	99.98	100	100
6-3	0.054m	99.95	100	100
6-22	0.052m	99.97	100	100

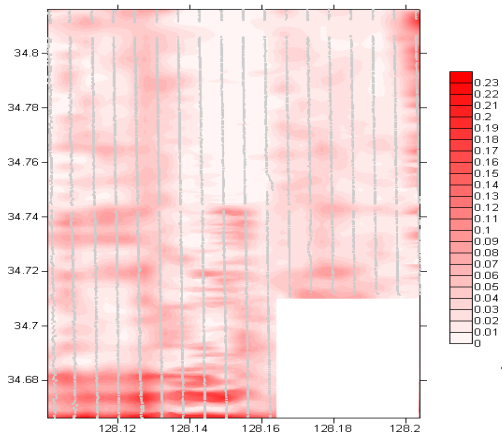


그림 10: 국제수로기구의 수심 허용오차(단위:m)

4. 결 론

다중빔 음향측심기는 넓은 지역을 효과적으로 고 해상 해저지형자료를 취득할 수 있는 장비이다. 이러한 장비를 이용하여 삼천포 남부해역을 측량한 수심자료를 이용하여 정확도를 파악하기 위해 3단계의 오차분석을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 빔별 오차분석을 통해 다중빔 음향측심기의 정상동작여부를 파악할 수 있으며, 본 연구에서 분석한 다중빔 음향측심기 자료의 분석결과 좌현 1~11번에 대한 오차가 최대 15cm가 발생하여 좌, 우현의 외곽빔에 대한 제거범위를 산정하여 필터링 함으로서 자료처리의 효율성을 높이고 자료의 정확도를 높일 수 있다.

둘째, 17개 교차점과 18개 교차라인의 비교를 통해 측량해역의 수심이 깊을수록 수신신호가 약해 지므로 주변 소음에 의한 영향이 크게 나타나고 수심의 오차 값이 증가하는 것을 알게 되었다. 또한, 측량자료가 국제기준에 부합하는지 여부를 파악하기 위해 통계적인 분석을 실시하여 측량구역 전체의 누적된 오차분포를 파악할 수 있다. 이를 통해 오차에 영향을 미치는 환경적인 요인, 즉, 파고, 조석 등의 영향을 파악할 수 있는 자료가 된다. 본 연구결과 남쪽해역은 해류 등 외부환경의 영향 큰 해역에서는 0.2m 정도의 오차가 나타났으며, 측량해역의 중앙 부 및 상부에서는 0.2m이내의 오차가 나타났다. 측량구역의 북쪽과 중앙은 두미도 등 섬이 분포하고 있어 외해에서 오는 파고를 막아주는 역할을 하여 측량자료의 정확도가 높은 반면 남쪽은 외해로 열려 있어 파고가 2~3m로 높게 발생하는 지역으로 환경적인 영향을 잘 보여주고 있다.

셋째, 측량대상 해역은 삼천포 남부해역으로 무역항 진입 해역으로 국제수로기구의 수로측량 기준에 의하면 1등급 해역에 당한다. 이것은 해도를 제작하고 활용하는데 있어 중요한 메타정보로 이용할 수 있다.

연구대상 해역 내의 전체 주·검측을 비교한 결과 대부분 국제수로기구 수로측량 규정의 특등급 허용 오차 내에 99%가 포함되고 1등급에는 100% 만족하는 것을 확인 하였다. 이 연구가 수로측량자료의 품질검증을 통해 사용되는 해도의 품질을 높이고, 정보 활용을 통한 의사결정을 위한 정확도를 향상하는 데 기여하게 될 것이다.

참고문헌

[1] IHO Standards for Hydrographic Surveys: Special Publication no. 44, 5th Edition,

- International Hydrographic Bureau, 2008.
- [2] 김주연, 김대철, 이광훈, 서영교, 임문수, 이은일, “다중빔 음향측심 오측자료 제거기법”, 한국마린엔지니어링학회 2008년 공동학술대회 논문집, pp. 187-189, 2008.
- [3] 박요섭, 다중빔 음향 소해탐사시스템 자료의 오차분석 및 처리 기술 연구, 박사학위논문, 인하대학교, 2004.
- [4] 최철웅, 김연수, “DGPS와 Motion Sensor를 이용한 선박 동적 거동특성”, 한국지형공간학회지, 제12권, 제4호, 2004.
- [5] IHO Standards for Hydrographic Surveys: Manual on hydrography, 1st Edition, International Hydrographic Bureau, 2005.
- [6] OMG of UNB in Canada and MPA of Singapore, 42nd Multibeam Sonar training course vol. 2, pp. 15-17, 2006.

저 자 소 개



공성규(孔成圭)

1972년생. 1998년 안양대학교 컴퓨 터 공학과(공학사), 2001년 인하대학교 정보공학과(공학석사), 2004년 - 현재 인하대학교 지리정보공학과(박사수료), 1998년 - 현재 국립해양조사원 근무. 관심분야 수로측량기술, 수로측량기준.



김진권(金鎭權)

1982년생. 1998년 한국해양대학교 해양환경전공(이학사), 2008년 - 현재 부경대학교 위성정보과학과재학, 2007년 - 현재 국립해양조사원 근무.



심문보(沈文輔)

1961년생. 1983년 인하대학교 해양학과(이학사), 1985년 인하대학교 해양학과(이학석사), 1996년 인하대학교 해양학과(이학박사), 1993년 - 현재 국립해양조사원 근무. 관심분야: 해양지명(동해) 및 대외협력.