

Note

한국 심해연구지역에서 획득된 EM 120과 SeaBeam 2000의 자료 비교

이근창* · 김현섭 · 고영탁 · 정미숙 · 함동진 · 김종욱

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

Comparison of EM 120 Multibeam Echo Sounding Data with SeaBeam 2000 Data Acquired at KODOS(Korea Deep Ocean Study) Area

Gun Chang Lee*, Hyun Sub Kim, Young Tak Ko, Mee Sook Jung,
Dong Jin Ham, and Jonguk KimMarine Resources Research Department, KORDI
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

Abstract : The EM 120, a newly installed multibeam echo sounder on R/V Onnuri, has several advantages over the previously installed SeaBeam 2000 in performance and thus data quality. The EM 120 system provides a bottom topographic map with high resolution by (1) increasing the number of beams, (2) increasing the across track swath range, (3) measuring the more accurate sound velocity within the water column, and (4) improving stabilization for pitching, rolling, and yawing of the ship. This study compares EM 120 and SeaBeam 2000 echo sounders in terms of the data quality from the same survey area in the Clarion-Clipperton Zone, NE Pacific. Our result shows that the EM 120 provides more precise topographic data than the SeaBeam 2000. Although overall trends of data, such as topographic direction and relief, are similar for both echo sounders, the water depths measured by the EM 120 are shallower than that of SeaBeam 2000 by 80 to 90 meters.

Key words : multibeam echo sounder, EM 120, SeaBeam 2000, Clarion-Clipperton Zone

1. 서 론

우리나라에 심해용 다중빔 음향측심기가 소개된 것은 한국해양연구원이 1992년에 해양조사선 온누리호의 건조와 맞추어 미국의 SeaBeam Instruments사의 SeaBeam 2000을 도입, 장착하면서 부터이다. 이 후 한국지질자원연구원이 탐해 2호를 진수하면서 노르웨이 Simrad사가 제작한 EM12 다중빔 음향측심기를 도입하고 이어서 국립해양조사원이 해양 2000호에 SeaBeam 2100을 장착하면서 우리나라도 명실공히 해저 지형조사에 선진국 못지않은 기반을 갖추게 되었다. 현재 심해용 다중빔 음향측심기

사용의 세계적인 추세를 살펴보면 Kongsberg Maritime사와 SeaBeam Instruments사의 제품이 주로 사용되고 있다. SeaBeam Instruments사의 경제적 상황이 어려워져 SeaBeam 후속 모델이 개발되지 못한 반면 Kongsberg Maritime사는 꾸준히 심해용 다중빔 음향측심기 모델을 계속 개발하였다. 따라서 최근에는 영국, 독일, 미국, 중국 등 여러 나라에서 SeaBeam 모델 보다는 Kongsberg Maritime사의 EM 120 모델을 심해용 다중빔 음향측심기로 채택하고 있다. 한국해양연구원은 온누리호에 장착되어 10년 동안 사용한 SeaBeam 2000 장비를 장비의 노후화와 시스템 성능 저하로 인해 EM 120 장비로 교체하였다. 본 단보에서는 신규 장착 다중빔 음향측심기 EM 120과 SeaBeam 2000의 장비 특성을 비교하고 2005년도에

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

한국심해연구(KODOS, Korea Deep Ocean Study) 지역 중 KR5 지역에서 획득했던 EM 120의 자료와 2004년까지 동일 지역에서 SeaBeam 2000을 이용하여 획득한 자료를 비교하여 개선된 사항을 살펴보았다.

2. EM 120과 SeaBeam 2000의 장비 특성비교

기존 장비인 SeaBeam 2000은 12 kHz 주파수 특성을

Table 1. Comparison of specification between SeaBeam 2000 and EM 120.

Item	SeaBeam 2000	EM 120
Main operational frequency	12 kHz (11-16 kHz)	12 kHz (11.25-12.60 kHz)
Depth range	10-11,000 m	20-12,000 m
Maximum ping rate	1 Hz	5 Hz
Number of beams	121	191
Swath width	90-120 Deg	150 Deg
Pulse length	3-20 ms	2, 5, 15 ms
Pitch	±7.5 Deg	±10 Deg
Roll	±10 Deg	±15 Deg
Yaw		±10 Deg
Depth mode	Very shallow	10-100 m
	Shallow	10-600 m
	Medium	300-1,400 m
	Deep	400-11,000 m
	Very deep	6000-12,000 m

갖는 28개의 음원 발생기(Projector)를 동시에 동작시켜 해저면으로부터 반사된 신호를 84개의 수신기로 수신하여 탐사선 항적의 수직 방향에 대한 일정한 폭(90-120도)의 수심을 실시간으로 측정, 컴퓨터의 기억장치에 수록하고, 도면에 출력하는 다중빔 음향측심기이다. SeaBeam 2000의 하드웨어 구성은 크게 송, 수신 부분과 자료처리 부분으로 나뉜다. 송, 수신부를 동시에 발전하며 각 음원 발생기는 8개의 변환기(Transducer)로 구성되어 있다(Renard and Allenou 1979; Tyce 1987; Asada 1991; 한국해양연구소 1993). Table 1에 SeaBeam 2000과 EM 120의 제원을 비교하였다.

EM 120은 SeaBeam 2000과 비교하여 향상된 기능을 몇 가지로 나누어 살펴볼 수 있다.

첫째, 가장 큰 변화는 빔 갯수의 증가에 따른 지형자료 해상도의 향상과 조사선 운항 방향의 직각 방향(across track)에 대한 자료획득 범위의 증가이다. 신규로 설치된 EM 120은 종전의 SeaBeam 2000과 비교하여 총 빔의 갯수가 121개에서 191개로 증가하였다. 따라서 획득자료의 간격이 조밀해져, 해저의 지형기록을 판별할 수 있는 최소 길이인 지형자료 해상도가 향상되었다. 또한 EM 120은 조사선 운항 방향의 직각 방향의 자료획득 범위가 EM 120의 경우 천해(50-600 m)/중간(300-1,400 m) 사양에서 수심의 7배, 심해(800-9,000 m) 사양에서 수심의 4배를 차지한다. 따라서 탐사지역의 평균수심이 약 5,000 m 정도 되는 KR5 구역에서 조사선 운항 방향의 직각 방향의 자료획득 범위가 SeaBeam 2000의 경우 수심의 약 3배인 15 km 정도인 반면 EM 120의 경우는 약 20 km로 증가하

Table 2. Results of data acquisition of EM 120 and SeaBeam 2000 in KR5 area.

	SeaBeam 2000		EM 120	
	200		200	
Number of records				
Bathymetry data	(121 beams)		(191 beams)	
Number of beams:	24200		38200	
Number of good beams	11573	47.82%	37046	96.98%
Number of zero beams	12627	52.18%	1154	3.02%
Number of flagged beams	0	0.00%	0	0.00%
Amplitude data	(121 beams)		(191 beams)	
Number of beams:	24200		38200	
Number of good beams	11573	47.82%	37046	96.98%
Number of zero beams	12627	52.18%	1154	3.02%
Number of flagged beams	0	0.00%	0	0.00%
Sidescan data	(2000 pixels)		(1024 pixels)	
Number of pixels:	400000		204800	
Number of good pixels	0	0.00%	155261	75.81%
Number of zero pixels	400000	100.00%	49539	24.19%
Number of flagged pixels	0	0.00%	0	0.00%

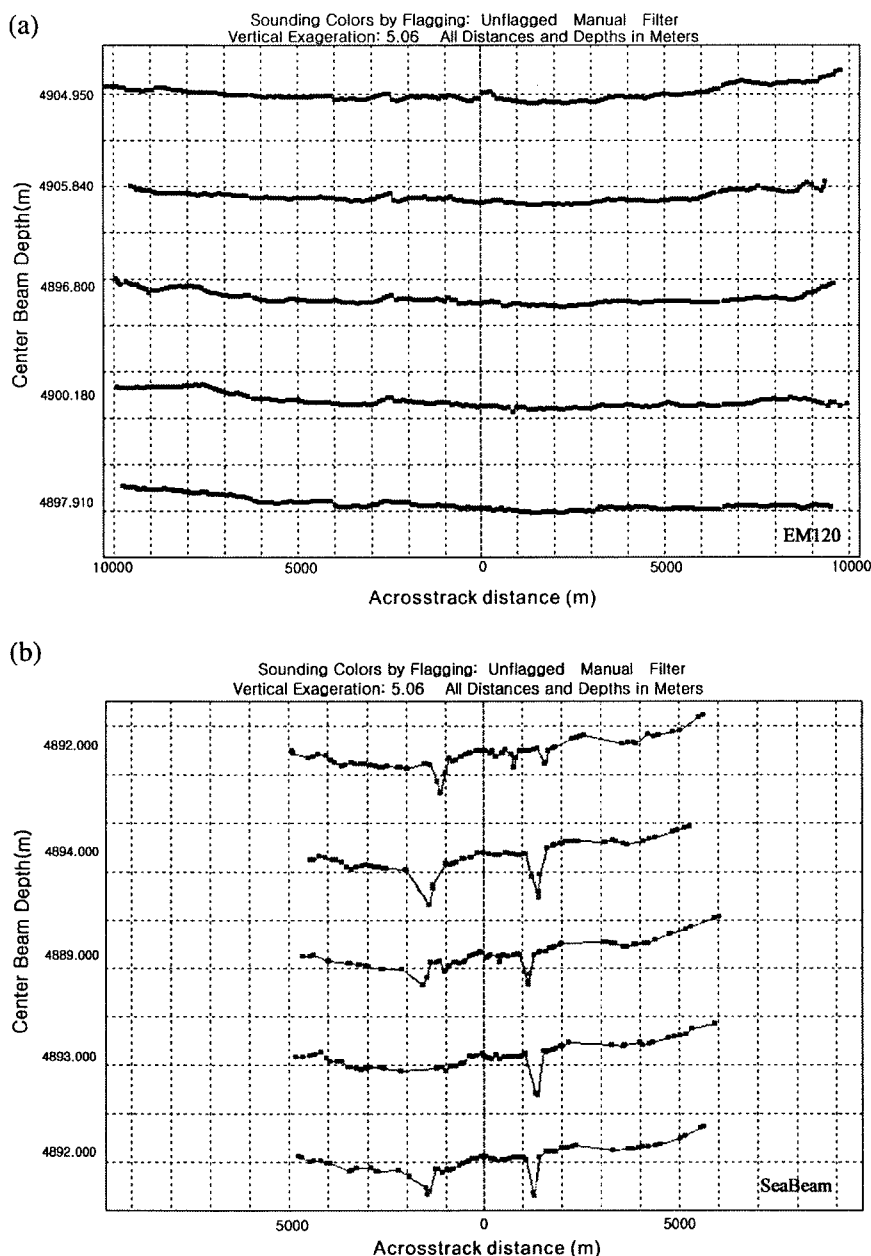


Fig 1. (a) The screndump of *mbedit* session in MB-systems (Caress and Chayes 1996) showing EM 120 bathymetry data which were acquired in the study area. (b) The screndump of *mbedit* session in MB-systems (Caress and Chayes 1996) showing SeaBeam 2000 bathymetry data which were acquired in study area. Signals of instrumental error are indicated by red color.

였다. Table 2는 KR 5의 동일한 조사 지역에서 SeaBeam 2000과 EM 120을 운영한 결과로 EM 120의 경우 획득한 총 빔수도 증가하였으며, 자료획득 시 시스템 자체 필터를 통과한 유효한 빔 획득 수도 SeaBeam 2000의 11,573개 (47.82%)에서 37,046개(96.98%)로 증가한 것을 단적으로 보여준다. 측면주사음향자료(Sidescan Sonar Data)는

SeaBeam 2000의 경우 자료획득 하드웨어(sea logger)의 문제로 획득하지 못하였지만 EM 120 경우에는 양질의 자료를 획득하였다. Fig. 1(a)와 Fig. 1(b)는 각각 KR 5의 동일한 조사 지역에서 EM 120과 SeaBeam 2000의 획득자료의 질을 비교한 것으로 Fig. 1(b)에 비하여 Fig. 1(a)에서 조사선 운항 방향의 직각 방향(across track)에 대한 자

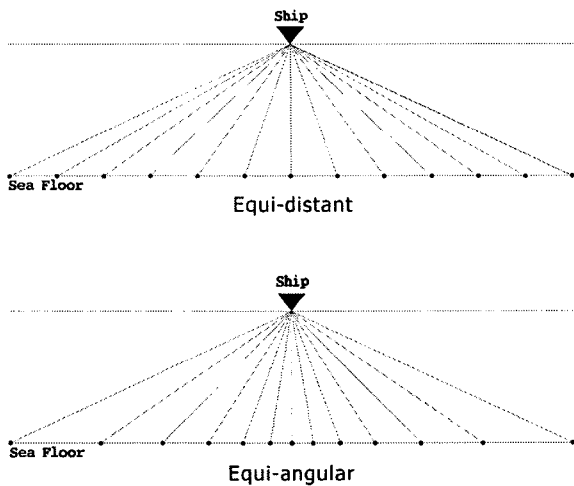


Fig. 2. Schematic diagrams of equi-angular and equi-distant modes.

료획득 범위의 증가를 볼 수 있으며, 획득자료의 간격이 좁아 해상도가 증가되었음을 알 수 있다. 또한 오류가 포함된 자료도 Fig. 1(b)에 비하여 Fig. 1(a)에서 감소하는 것을 보여준다.

둘째, 음파속도 측정장비 및 측정방법의 변화이다. 다중 빔 음향탐사자료의 정확도, 특히 외각빔들에 의한 왜곡현상을 유발하는 가장 큰 요인은 수층에서의 음파진행 속도의 부정확성에 기인한다(Moustier *et al.* 1990). 이를 방지하기 위하여 탐사 시작 직전 수층별 음파속도를 측정하는 것이 중요하기 때문에 SeaBeam 2000 탐사자료의 경우는 음속측정을 XBT 탐사장비를 이용하여 정기적으로 실시하고 이를 탐사기에 입력하였다(한국해양연구소 1993). EM 120의 경우는 음속 보정을 위하여 선상에서 케이블을 이용하여 투하시키는 SVP와 선저에 부착된 자동 표층 음속측정장치를 이용한다. SVP와 기존의 XBT의 측정가능 수심은 각각 2,000 m와 1,850 m로 거의 같다고 할 수 있다. 두 장비를 이용한 자료의 가장 큰 차이점은 SeaBeam 2000의 경우 정기적으로 XBT를 이용하여 음속측정을 했지만, EM 120의 자동 표층 음속측정 장치는 실시간으로 선저의 음파속도를 측정하여 HWS에 보내져 해당 윈도우에 나타내며 SVP와 함께 측정된 값이 ± 5 m/s 보다 크게 차이가 나면 경고 메시지를 보낸다. 따라서 실시간으로 음파 보정 기능을 강조한 EM 120의 음속 측정 장치들은 장비의 정확도와 신뢰도에 향상을 가져온 것으로 판단된다. 또한 XBT의 경우 1회용 온도센서를, 진행되는 연구선 상에서 투하하여 낙하시간에 따라 수심대역을 유추하여 해당 수심의 음파속도를 계산하는 방식으로 이용하는 장비인데 반해, SVP는 온도 및 압력센서를 장착한 센서를 케이블을 이용하여 해당 자료를 획득하는 장비로 재사용이

가능한 장비이다. XBT의 운영방법은 조사선의 속도를 5 knot로 유지하고, 끝에 온도센서가 부착된 구리선을 물속으로 자유낙하시켜 전송된 온도 자료로부터 음속을 추정한다. XBT가 가지고 있는 문제점으로는 자료가 측정된 수심 추정의 오류 가능성이 크다는 것이다. 5 knot로 정속 운항은 현실적으로 불가능하며, 조류 등 해상상황에 따라 추의 낙하속도도 달라질 수 있기 때문이다. 실제로 선상의 컴퓨터에서는 1,850 m까지 자료의 전송이 완료되었으나 센서 줄이 다 풀리지 않고 남아있는 경우가 흔하게 나타나며, 이 반대의 경우도 발생하곤 한다. 또한 음파속도에 영향을 주는 염분도 자료를 상수값으로 설정하여 임의로 대입하므로 정확한 값을 기대할 수 없다. 반면 SVP의 경우 내장된 압력, 염분도, 온도 센서가 각 물리량을 직접 측정하므로 측정의 신뢰도를 높일 수 있다고 생각된다.

셋째, 조사선 운항 방향의 직각 방향의 자료획득방식의 변화이다. 빔간격 설정 중 기존의 SeaBeam 2000에서 사용되었던 등각도(Equi-angular) 방법은 빔을 동일 간격의 각도로 주사하여 해저면을 측정하므로 조사선의 중앙 부분에서는 자료의 해상도가 높고 양끝으로 갈수록 낮아져 외각 부분에서는 자료가 왜곡되어 나타나는 단점이 있었다. EM 120에서 사용하는 등거리(Equi-distant) 방법은 등각도 방법과 달리 주사되는 빔각과 상관없이 해저면상의 빔간 간격을 일정하게 해주어 동일한 해상도의 자료획득을 가능하게 해준다(Fig. 2).

넷째, 조사선의 3차원적 거동을 표현하는 수단으로 좌우(roll), 전후(pitch), 수평회전(yaw)의 안정화 범위의 차이이다. Table 1에서와 같이 SeaBeam 2000에 비해 EM 120의 경우 더 큰 폭의 전후, 좌우의 움직임에서도 안정적인 자료를 획득할 수 있으며, 수평회전의 경우는 EM 120에서만 안정화 기능을 가지고 있다. 또한 SeaBeam 2000의 자료 취득 소프트웨어는 VAX 운영체제에서 구동되어 사용 시 불편하였으나 EM 120 시스템의 자료 취득 소프트웨어인 SIS(Seafloor Information System)은 윈도우 환경에서 구현되어 사용자의 편의성을 증대시키고, 다양한 화면구성과 가시화(visualization) 도구를 채용하여 자료획득과정의 능률을 향상시켰다.

3. 실해역 탐사 운영 결과 및 토의

실해역 탐사인 태평양 심해저 광물자원 탐사사업에 EM 120을 사용하여 음향자료를 획득함으로써 기존에 SeaBeam 2000을 이용하여 동일 지역에서 획득했던 자료와 상호 비교를 할 수 있었다. EM 120을 이용한 실해역 탐사에서는 우리나라 광구인 KR5 지역을 동서방향으로 총 22개의 측선을 설정하여 정밀해저 지형탐사를 실시하였다. Fig. 3(a)는 현장 자료처리를 통해 얻어진 정밀 수

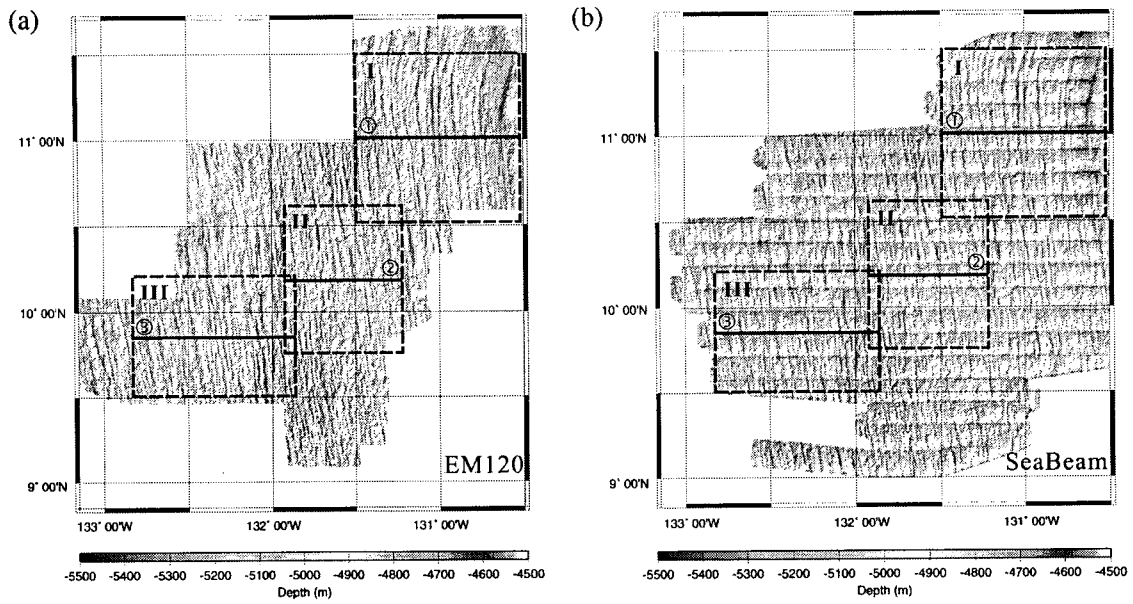


Fig 3. (a) Regional bathymetry map of the study area from the EM 120. (b) Regional bathymetry map of the B2 block from the SeaBeam 2000. Note that the B2 block covers the study area. The boxes are selected areas for data comparison in Fig. 4.

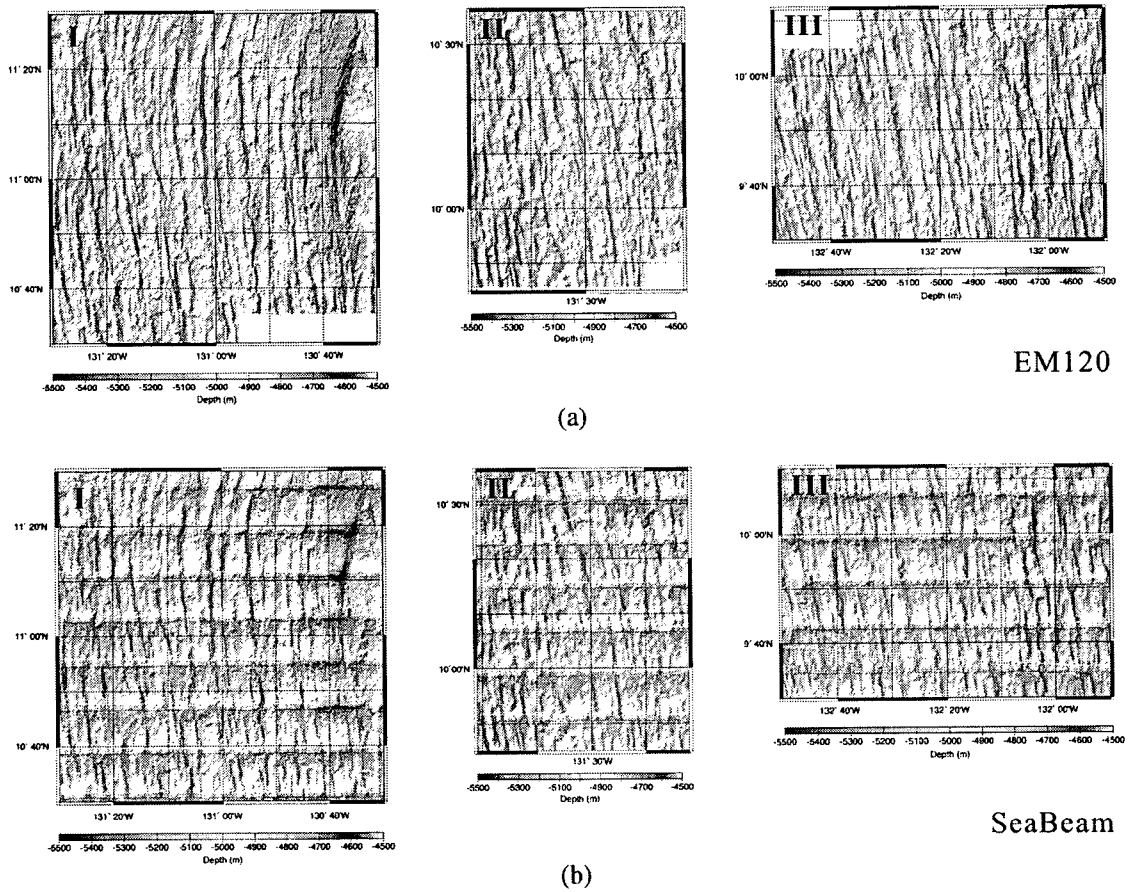


Fig. 4. Selected bathymetry maps for comparison of data from Fig. 3. (a) the EM 120 (b) the SeaBeam 2000.

심도이다. Simrad사에서 만든 자료처리 소프트웨어인 Neptune에서 필터링한 수심자료를 아스키 형태 (x, y, z)로 저장하여 범용 다중빔 자료 처리 소프트웨어인 GMT와 MB-system을 이용하여 0.5'(약 100 m) 간격으로 격자화하여 지도로 표현하였다. 보다 정량적인 자료 비교를 위하여 1994년 이후 SeaBeam 2000을 이용하여 탐사한 동일 지역의 다중빔 탐사자료를 Fig. 3(b)에 나타내었다. Fig. 3(a)의 작성방법과 동일하게 GMT와 MB-system을 이용하여 지형도를 완성하였다. 격자간격은 약 200 m로서 EM 120에 의한 Fig. 3(a)에 비해 두 배 정도 크다. 이는 사용하는 빔의 갯수가 SeaBeam 2000은 121개이나 EM 120의 경우 191개로 증가하였기 때문으로 판단된다. 두 가지 다중빔 음향측심기에 의해 획득한 자료는 전체 지역에서 대체로 일치하는 경향을 보인다. 남북 방향의 주기적인 해령·해곡의 경향과 조사 지역의 가운데 부분이 주변에 비해 깊어지는 경향을 보이는 것은 대표적인 예이다. Fig. 3에 검은색 점선 상자로 표시된 지형도를 대표적인 세부부분으로 선정하여 북부, 중부, 남부를 I, II, III로 구분하여 상호 비교하여 보았다(Fig. 4). 전체적으로 남북방향으로 해령의 연속적인 분포 경향이 서로 일치하였으며, 탐사지역의 동에서 서쪽으로 갈수록 주향방향이 북북동에서 북북서로 이동하는 경향도 일치하고 있다. 반면 EM 120

자료에서는 발견할 수 없는 동서 방향의 부풀어 오른 듯한 이상 지형대가 SeaBeam 2000의 지형도에는 연속적으로 탐사지역 전반에 걸쳐 나타나고 있다. 이러한 왜곡현상은 도입 당시의 SeaBeam 2000의 자료에서는 발견할 수 없었던 현상이다(한국해양연구소 1993). 이는 SeaBeam 2000의 장비 노후화에 따른 후처리 모듈의 오류에서 기인한 것으로, 빔의 왜곡 측면에서 발생하는 자료의 왜곡을 보정하지 못해 나타나는 문제로 판단된다. Fig. 5는 위에서 설명한 부분 그림들의 동서 방향 단면, 즉 Fig. 3의 검은색 실선 부분을 그래프로 도시하였다. 측선 부근 즉 연구선에서 측면에서 가까운 내각 빔들로 구성된 그래프 I과 II는 적색선인 EM 120의 수심이 흑색선으로 표시된 SeaBeam 2000의 수심에 비해 낮은 경향을 보이고 있다. 그 차이는 약 80-90 m로 일률적으로 동일한 형태를 나타낸다. 반면, 최외각 왜곡 부분에 위치한 그래프 III의 경우 수심의 절대값에서도 EM 120과 SeaBeam 2000 자료가 비교적 정확히 일치하는 것을 볼 수 있으나, 측면에서는 약간의 차이가 나타나고 있다(해양수산부 2005). Table 3은 수심단면 그래프에 사용한 수심자료에 대한 통계 분석 결과를 나타낸 것이다. 조사지역 I과 II에서 EM 120과 SeaBeam 2000 자료는 표준편차가 70에서 90 m로 평균수심 4,950 m를 고려할 때 수용 가능한 범위내의 값이라 판단되며, 두 값의 차이도 80 m 정도로 EM 120이 낮게 나타나는 경향이 있음을 알 수 있다. 반면 SeaBeam 2000의 최외각 탐사지역인 조사지역 III은 앞의 I, II와 달리 수심 차의 평균값이 5.3 m에 불과해 거의 동일한 값을 나타내며, 이는 SeaBeam 2000 자료가 과보정되었음을

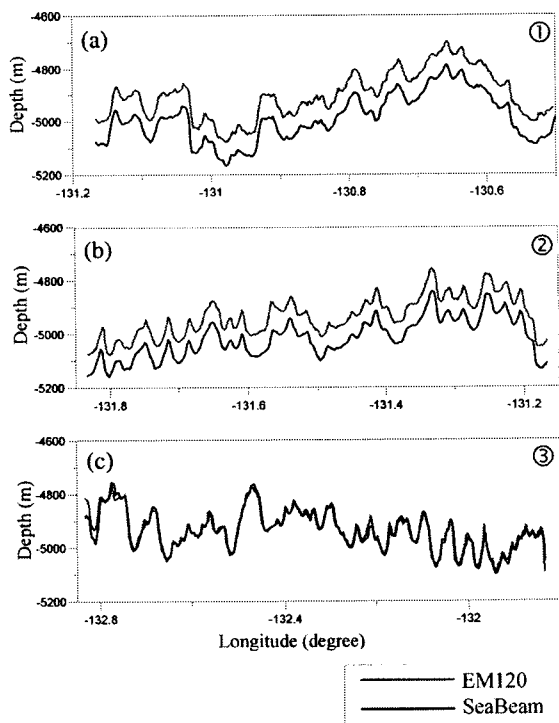


Fig. 5. Cross sections of selected bathymetry map of Fig. 4. Positions of cross lines are indicated by solid lines in Fig. 3.

Table 3. Result of statistical analysis on the cross section in Fig. 5.

	EM 120 (a)	SB 2000 (b)	Difference (a-b)
Plate I			
# of samples	332	332	332
Mean	-4902.77	-4989.94	86.59
Stdev	89.13	88.71	8.54
Max	-4697.14	-4787.03	148.56
Min	-5077.16	-5166.89	52.56
Plate II			
# of samples	334	334	334
Mean	-4937.03	-5016.51	79.48
Stdev	72.42	71.17	8.55
Max	-4758.01	-4841.28	127.31
Min	-5076.26	-5157.59	59.44
Plate III			
# of samples	500	500	500
Mean	-4934.87	-4940.20	5.33
Stdev	71.25	73.46	13.85
Max	-4755.97	-4759.22	71.99
Min	-5091.68	-5102.19	-44.31

지시한다.

이상의 결과로 유추하여 볼 때 SeaBeam 2000의 측정 수심은 탐사 지역 대부분에서 EM 120의 경향과 일치하고 있는 것으로 판단할 수 있으며, EM 120 자료에 비해 약 80-90 m 정도 상대적으로 작은 값을 갖는 것을 알 수 있었다.

사 사

본 연구는 해양수산부가 지원하는 “태평양 심해저 광물 자원 개발사업(PM38201, PM38202)”의 일환으로 수행되었다. 연구수행에 많은 도움을 주신 심해연구사업단 연구원 여러분과 남해연구소 연구선운항팀에 감사드리며, 심사와 교정에 많은 시간을 할애해 주신 심사자께 감사드립니다.

참고문헌

한국해양연구소. 1993. 온누리호 장착 “SeaBeam2000”의 운

- 용 및 응용 기술에 관한 연구. PE 35700. 203 p.
 해양수산부. 2005. 2005 심해저 광물자원개발 보고서. p. 30.
 Asada, A. 1991. SeaBeam2000: Bathymetric Survey with Interferometer. UJNR/SBS/20-JT3.
 Caress, D.W. and D.N. Chayes. 1996. Improved processing of Hydrosweep DS multibeam data on the R/V Maurice Ewing. *Mar. Geophys. Res.*, 18, 631-650.
 Moustier, C., P.F. Lonsdale, and A.N. Shor. 1990. Simultaneous operation of the Sea Beam Multibeam Echo-sounder and SeaMarcII Bathymetric Sidescan Sonar System. *IEEE J. Oceanic Eng.*, 15, 84-89.
 Renard, V. and J.-P. Allenou. 1979. Sea beam, multi-beam echo sounding in JEAN CHARCOT, Description, evaluation, and first results. *Int. Hydrogr. Rev.*, LVI, 35-36.
 Tyce, R.C. 1987. Deep Seafloor Mapping Systems-A review. *Mar. Technol. Soc. J.*, 20, 4-16.

Received Nov. 3, 2006

Accepted Nov. 20, 2006