

서해 배타적경제수역(EEZ)내 해사채취구역의 지형변화

김백운^{1,*} · 이상호² · 양재삼²

¹군산대학교 새만금환경연구센터, 573-701 전라북도 군산시 미룡동 산 68번지

²군산대학교 해양학과, 573-701 전라북도 군산시 미룡동 산 68번지

Bathymetric Change of a Sand Mining Site within EEZ, West Sea of Korea

Baek-Oon Kim^{1,*}, Sang-Ho Lee² and Jae-Sam Yang²

¹SERC, Kunsan National University, Chonbuk 573-701, Korea

²Department of Oceanography, Kunsan National University, Chonbuk 573-701, Korea

Abstract: Two data sets of repeated hydrographic surveys with a single beam echo-sounder were obtained to investigate morphological changes on a sand mining site within EEZ near the Eocheong Islands, West Sea of Korea. Their accuracies of depth measurement, estimated from the crossover analysis, correspond to the Oder 2 of IHO standards. Bathymetric maps show a feature of 300 m wide and 10 m deep hollow, whose evolution can be seen in difference grids of the two bathymetric maps. However, data of higher accuracy and resolution enable precise quantification of extracted sand volume. Since this morphological change could affect sedimentary environment as well as benthic ecology, environmental impact assessment based on scientific research data is required for management and sustainable development of limited sand resource.

Keywords: EEZ, sand mining, hydrographic survey, crossover analysis, morphological change

요약: 서해 배타적경제수역내 해사채취구역에서 해저지형 변화를 규명하기 위하여 2회에 걸쳐 단일빔음향측심기를 이용한 측심자료를 획득하였다. 교차점 분석에 의한 측심자료의 정확도는 IHO 표준의 2등급에 해당하였다. 지형도는 폭 300 m, 깊이 10 m의 구덩이 형태를 나타내었으며, 이러한 지형의 변화 과정이 두 지형도 수심차의 분포에서 표현되었다. 그러나 해사채취량을 정량화하기 위해서는 더욱 정확하고 정밀한 자료가 요구된다. 이러한 지형변화는 퇴적환경 및 저서생태 환경에 영향을 미칠 수 있으므로 한정된 모래자원을 관리하고 지속가능한 개발을 위해서는 과학적인 조사자료에 근거한 환경영향평가가 요구된다.

주요어: 배타적경제수역, 해사채취, 수심측량, 교차점 분석, 지형변화

서론

대부분의 연안국은 해저에 퇴적된 모래와 자갈을 채굴하여 건설골재, 간척사업, 침식해안 복구 및 항만건설 등에 사용하고 있다. 우리나라의 경우 육상골재자원의 고갈, 해사채취 관련 환경관리제도의 미비, 채취 비용의 상대적 우위 등 여러 가지 요인으로 1992년 이후 바다모래에 대한 수요가 꾸준히 증가하여 최근에는 전체 골재수급의 30%(약 3,000만³m)를

차지할 만큼 그 비중이 높아졌다(조동오와 장학봉, 2003). 지난 5년간 해사채취 허가량의 99%가 전라남도 신안군, 진도군, 인천광역시 옹진군과 충청남도 태안군 해역에서 공급되었으며, 이와 같이 과도한 해사채취로 심각한 연안침식이 초래된 결과 2004년도에 이들 지역에서의 해사채취가 전면 금지되었다(박용욱, 2004). 한편 건설교통부는 2002년에 골재채취법을 개정하여 배타적경제수역(EEZ)에서 골재채취를 허용하였으며, 이를 계기로 2004년 초부터 서해 어청도 서남부 해역에서 해사가 채취되고 있다.

우리나라에서 해사채취는 펌프준설선과 바지(barge)선으로 구성된 고정식 준설(anchor dredging) 방법을 주로 사용한다. 이러한 채취방법은 저층과 표층에 고

*Corresponding author: bkim@kunsan.ac.kr

Tel: 82-63-469-4912

Fax: 82-63-461-6130

농도의 부유물을 발생시킬 뿐 아니라 해저에 직경이 수십에서 수백미터, 깊이는 최대 20 m에 이르는 구덩이를 형성한다. 이에 따른 환경영향은 어류, 저서생물의 서식지 및 산란장 파괴, 지형변화에 따른 퇴적 환경 및 해수유동 변화, 오염물질 증가로 인한 수질 환경 변화 등이 있다. 훼손된 생태계가 복구되는데 걸리는 시간은 1~15년 정도이며, 본래와 다른 특징의 생물상으로 복구되는 것이 일반적이다(Clark, 2001). 따라서 골재채취활동은 어떠한 경우에도 해양생태계에 악영향을 미치지 않기 때문에 해외에서는 골재채취에 대한 환경규제를 점차 강화하고 있다.

우리나라의 해사채취관련 환경관리제도는 환경영향 평가와 해역이용협약이 있다(장학봉, 2004). 그러나 해사채취는 골재채취법에 의한 '골재채취단지의 지정'의 경우를 제외하고는 사전환경성검토의 대상이 되지 못할 뿐만 아니라 채취면적이 25만^m² 이상이거나 채취허가량이 50만^m³ 이상인 경우에만 환경영향평가가 적용된다(장학봉, 2004). 더욱이 해사채취와 관련된 세부적인 평가항목과 기준이 마련되어 있지 않으며, 관련 법제간 연계성 부족 등으로 환경관리제도의 이행이 부실한 결과, 연간 200~400건의 해사채취에 관한 해역이용협약이 이루어졌음에도 불구하고 환경영향평가가 거의 없는 실정에 있다(장학봉과 박수진, 2003; 장학봉, 2004; 박용욱 2004). 이러한 제도적 문제와 더불어 해사채취에 따른 해저 및 생태환경 변화에 대한 구체적이고 과학적인 연구는 외면되어 왔다.

바다모래는 유한한 천연자원이다. 특히 배타적경제수역에 부존한 모래는 과거 해수면이 낮았던 시기에 고하천 환경에서 형성된 자원(박영수 외, 2003)으로서 해사채취이후 복원이 불가능하다. 이러한 바다모래를 보전하고 지속가능한 친환경적 개발을 위해서는 해사채취가 해양환경에 미치는 영향이 파악될 필요가 있으며, 이는 과학적인 해양조사 자료에 근거하여야 한다. 최근 배타적경제수역 해사채취 허가와 관련하여 해양수산부의 해역이용협약 과정에서 골재채취업체에 의한 사후영향조사가 수행되었다. 본 연구논문은 일련의 사후영향조사를 통하여 수집된 해양조사자료 중 가장 기초적인 해저지형 변화를 소개한다. 단 일빔 음향측심기(single beam echo-sounder)를 이용한 수심측량으로 해저지형을 조사하였으며, 신뢰할 만한 해저지형 변화를 파악하기 위하여 측심의 정확도와 측선 간격 등 국제적인 IHO 표준에 준하는 수심측량 자료를 생산하는데 주요 목적을 두었다.

Table 1. Vertex coordinates of sand mining site

경도	위도
125° 43'49"	36° 03'05"
125° 44'12"	36° 02'39"
125° 43'16"	36° 02'07"
125° 42'53"	36° 02'34"

연구 지역

해사채취 구역은 군산시 옥도면 어청도리 서남방 25 km 지점 인근으로서 Table 1에 제시된 꼭지점 좌표를 차례로 잇는 내부의 지역이다(Fig. 1). 이는 EEZ/영해 경계선에 인접하여 그 외측해역인 서남쪽으로 향하는 직사각형의 구역으로 면적은 약 170만 ^m²(1.0 km×1.7 km)이다. 이 중 약 25만^m²의 면적에서 골재채취업체 (유)동아모래가 해사를 2회 채취하였다. 1차 채취허가량은 2004년 1월부터 7월까지 50만^m³이었으며, 2차 채취허가량은 2004년 12월부터 2005년 3월까지 30만^m³이었다.

이 해역의 수심은 58~60 m의 범위로서 대체로 평탄한 지형을 보인다. 채취구역으로부터 5 km 정도 남쪽에 고도차 15 m, 폭 2~3 km, 길이 20 km 이상의 해저사구가 북동-남서 방향으로 발달하고 있다. 이러한 해저사구가 있는 해역은 45~49 m의 수심 범위를 보인다(해양수산부, 1997).

해사채취 구역은 95% 이상의 모래를 함유한 퇴적물이 분포하고 있다. 퇴적물의 평균입도는 1.5~2.4 ϕ의 범위로서 중립 또는 세립질 모래로 분류되며, 분급도는 0.38~0.79 범위로서 전반적으로 양호한 양상을 보인다(박영수 외, 2003).

어청도 인근 해역의 조석은 반일주조로서 평균조차가 3.6 m이며,大潮차와 소조차는 각각 5.0 m와 2.2 m이다(국립해양조사원, 2002). 어청도 주변해역의 지형특성에 따라 창조류는 북동류에서 북류로 변하는 형태를 보이며, 낙조류는 이와 반대로 유동한다. 평균대조기의 최강유속은 창조류 1.4~1.8 kn (0.72~0.93 m/s), 낙조류 1.3~1.7 kn (0.67~0.87 m/s)로서 창·낙조류의 유속은 거의 비슷하다(국립해양조사원, 2002).

조사해역의 바람 및 파랑특성은 덕적도와 칠발도의 해양기상관측부이 자료를 분석한 고희종 등(2005)의 연구결과로부터 추정해 볼 수 있다. 조사해역의 최대 풍속은 겨울철에 약 15 m/s, 여름철에 약 12 m/s이며, 계절별 최대 파고는 겨울철에 4 m, 여름철에 3 m 정

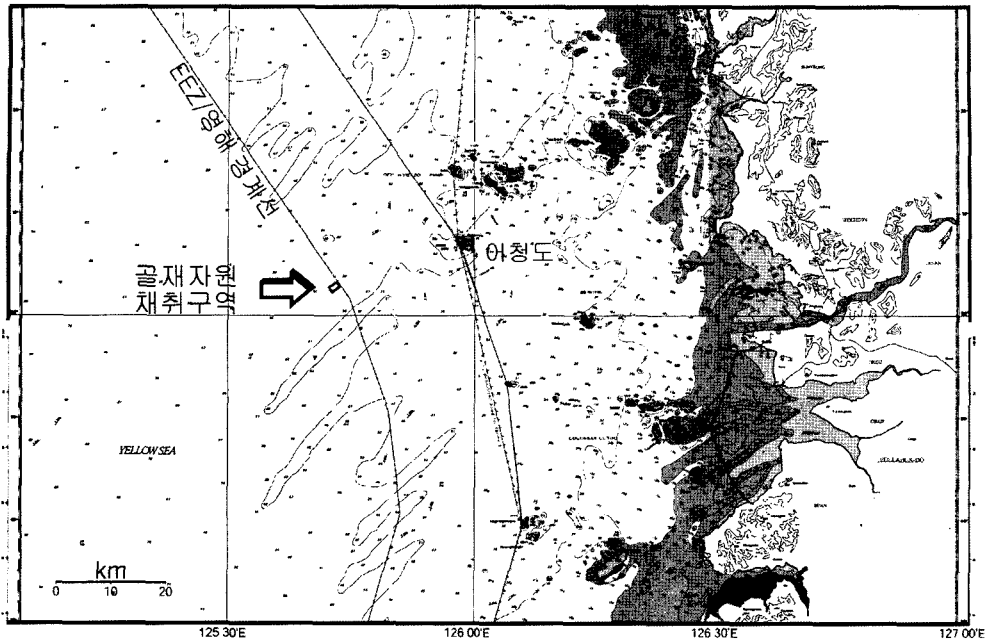


Fig. 1. Location map showing survey area.

도로 추산할 수 있다. 월평균 유의파고는 약 1m로 추산된다.

수심 측량

해저지형 변화를 정량적으로 파악하기 위해서는 우선 해사채취 이전에 해저지형을 측정할 자료가 획득되어야 한다. 그러나 골재자원 개발허가 해역이 배타적경제수역인 경우로서 당초 환경영향평가 등을 위한 사전조사는 이루어지지 못하였다. 그 대신 골재채취허가와 관련하여 두 차례의 골재채취 이후 사후영향조사가 수행되었다(Table 2). 이로써 2004년 8월과 2005년 6월에 해저지형 조사가 이루어졌으며, 이러한 해저지형자료의 상호 비교를 통하여 해사채취로 인한 해저지형 변화를 살펴볼 수 있게 되었다.

두 차례의 해저지형조사는 선척하부에 단일빔 음향측심기가 장착된 서로 다른 조사선을 사용하여 수심측량이 수행되었다(Table 2). 측정자료는 GPS의 위치정보 및 관측 시간을 통합하여 실시간으로 보여주는

항법시스템(navigation system)으로부터 기록되었다. 이러한 항법시스템을 활용함으로써 측선이 상호 교차하여 다수의 교차점을 얻을 수 있는 항적도가 만들어졌으며, 이로부터 교차점 분석을 통하여 측정자료의 정확도를 산정할 수 있는 자료가 생산되었다(International Hydrographic Bureau, 1998).

항법시스템으로부터 5초의 시간간격으로 경·위도 위치와 수심에 대한 관측 자료를 기록하였다. 수심측량 작업동안 선박의 속도가 1차조사에서는 4kn 이하, 2차조사에서는 6~7kn 정도로 유지되었다(Table 2). 이러한 관측자료의 최대 수평거리 간격은 각각 10m와 18m이다. 1차와 2차 조사에서 대략 2,000개의 측정치가 격자형태의 항적도를 따라 획득되었다.

정확한 수심측량을 수행하기 위해서는 일반적으로 수심측량장비의 검교정 및 유지관리, 선박운동의 안정도, 조석보정, 음파속도 보정 등 다양한 오차발생요인을 충분히 고려, 검토하여야 한다(USACE, 2002).

Table 2. Information of data acquisition

	일시	조사선	GPS 좌표계	흘수보정	운항속도
1차 조사	2004. 8. 13 15:00-18:00	성원5호 (세원산업)	Tokyo	+1.7 m	< 4 kn
2차 조사	2005. 6. 8 09:50-12:10	해립2호 (군산대학교)	WGS84	+2.4 m	6-7 kn

본 연구조사에서는 이러한 모든 요인을 검토할 수 있는 여건이 되지 못하였으며, 아래와 같이 몇 가지 오차발생 요인에 대한 보정작업을 수행하였다. 나머지 요인에 의한 수심측정 오차는 교차점 분석으로부터 추정되는 오차 범위에 포함되는 것으로 간주한다.

출수보정

음향측심기의 송수파기(transducer)가 선박 하부에 부착되어 있기 때문에 선박의 흘수(draft) 보정을 수행하여야만 실질적인 수심을 얻을 수 있다. 이를 위하여 어청도항에서 납추가 달린 로프로 구한 수심값을 음향측심기의 측심값과 비교하였으며, 두 조사선에 대한 흘수보정값은 각각 +1.7m와 +2.4 m로 결정되었다(Table 2).

조석보정

우리나라 서해와 같이 대조차 환경의 해역에서는 조석보정을 반드시 수행하여야 한다. 그러나 수심이 60 m 이상인 조사해역에서 수심측량과 동시에 조석 관측을 수행하기에는 현실적으로 매우 어려운 문제가 따른다. 따라서 어청도에서 25 km 정도 벗어난 조사해역의 조석이 어청도의 것과 유사하다는 가정 하에 어청도의 조석 예보값을 이용하여 조석보정을 수행하였다.

Fig. 2는 2005년 6월 8일(2차 조사) 어청도의 조시와 조고에 관한 조석 예보값을 도시한 것이다. 본 조사에서 7개의 예보값을 이용하여 스플라인(spline)기법으로 근사시킨 비선형 조석곡선에 근거하여 조석값을 보간(interpolation)하였다. 이러한 방법으로 얻어진 조석값을 수심측정값에 감해줌으로써 조석보정을 하였다. Fig. 3은 수심측정값의 원시자료와 조석이 보정된 자료의 시계열을 도시한 것이다. 원시자료의 경우, 최저수심이 60 m 정도에서 시작하여 시간이 지나면서 62 m 정도로 점차 깊어지는 경향이 있다. 반면에 조석을 보정한 수심자료는 관측이 수행된 시간동안 최저수심이 59 m 정도에서 크게 벗어나지 않음을 볼 수 있다. 따라서 조위변동에 따라 시간적으로 변하는 수심변동 값이 조석보정을 통하여 제거되었음을 보이고 있다.

교차점 분석에 의한 정확도 산정

수심측량의 오차를 추정하고 이에 따라 수심측량 자료의 신뢰도를 파악하는 방법 중 하나는 측선의

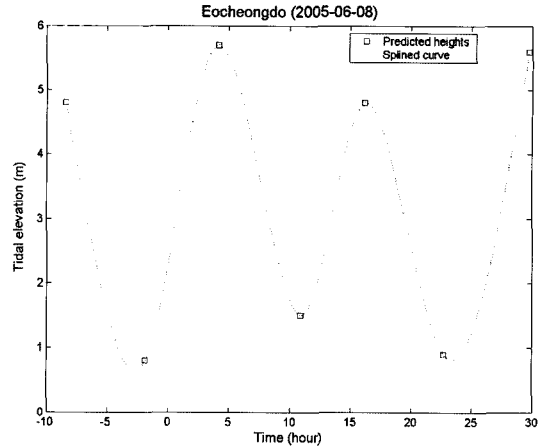


Fig. 2. Tidal elevation of Eocheongdo.

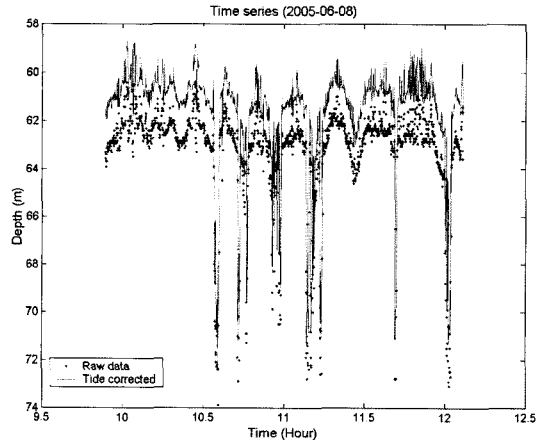


Fig. 3. Time series of depth measurements.

교차점에서 수심자료를 추출하여 상호 비교하는 것이다. 수심측량 측선의 교차점은 Hsu(1995)의 방법에 의하여 계산할 수 있다. 일반적으로 교차점의 수심은 동일지점에서 두 번 수심 측정된 것이므로 동일한 측심값을 기대할지도 모른다. 그러나 앞에서 기술한 바와 같이 수심측량시 다양한 요인에 의하여 측심오차가 발생한다. 이로 인하여 Fig. 4에 도시된 것처럼 실제 수심측량의 교차점에서 어느 정도의 오차가 나타난다. 이 경우 총 90개의 교차점 중 2m 이상의 수심 차이를 갖는 교차점(× 기호)이 4점, 1~2m 범위의 수심 차이를 갖는 교차점(□ 기호)이 5점이며, 나머지 교차점의 수심 차이는 1m 미만이다. 평균수심이 60 m 정도이고, 조석예보값으로 조석을 보정한 자료임을 감안한다면 비교적 정확도가 높은 측량성과라고 할 수 있다.

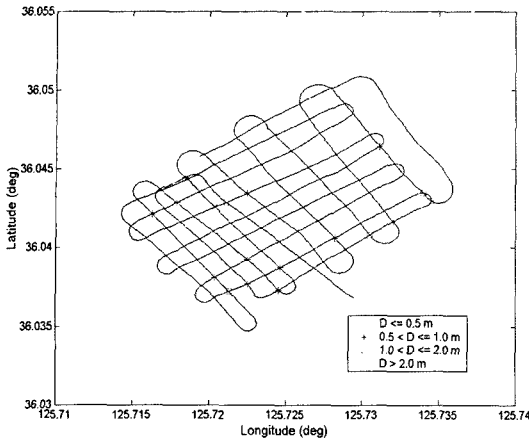


Fig. 4. Result of cross-over analysis.

이러한 교차점 분석 결과는 국제수리기구(International Hydrographic Organization: IHO)에서 1998년에 발표된 IHO 표준(IHO standard for hydrographic surveys)에 준하여 평가할 수 있다(International Hydrographic Bureau, 1998). IHO 표준은 측심자료의 공간상의 부정확도가 적절히 정량화되어야 한다는 것을 목적으로 수심측량의 최저기준을 규정한다(Table 3). 수심측량에 대한 정확도 요구수준을 장소와 깊이에 따라 차별하기 위하여 수심측량은 특등급(Special Order), 1등급(Order 1), 2등급(Order 2) 및 3등급(Order 3)과 같이 네 개의 등급으로 분류된다. 본 조사와 같이 단일범 음향측심기를 이용하는 경우, 측선을 교차하는 검측선(checkline)이 설정되어야 하며, 이로부터 교차점 수심자료의 오차 분석에 의한 정확도 산정을 권고한다.

USACE(2002)의 방법에 의하여 교차점 수심차이의 평균값(bias), 표준편차(standard deviation), 및 95% 수심정확도 범위를 계산한 결과를 Table 4에 제시하였다. 두 차례의 조사에서 수심 차이의 평균값은 각각 0.05 m와 -0.17 m로서 매우 작은 값이나 표준편차는 각각 0.60 m와 0.87 m로서 비교적 큰 값을 보였다. 또한, 수심정확도의 95% 신뢰구간은 ±1.2 m와 ±1.7 m로 산정되었다. 수심이 60 m인 경우에 적용할 수 있는 IHO 표준의 최저기준(Table 3)과 비교한다면 골재자원 채취구역의 수심측량 성과는 2등급에 해당하는 것으로 나타났다.

해저지형 변화

두 차례에 걸쳐 수집된 수심측량자료로부터 측선을

Table 3. Minimum standards for hydrographic surveys when water depth is 60 m

Order	Special	1	2	3
Horizontal Accuracy (95% Confidence Level)	±2 m	±8 m	±23 m	±153 m
Depth Accuracy for Reduced Depths (95% Confidence Level)	±0.5 m	±0.9 m	±1.7 m	±1.7 m
Maximum Line Spacing	100% Bottom Search	180 m	240 m	240 m

Table 4. Estimation of depth accuracy

	1차 조사	2차 조사
XOP No.	51	90
Bias	0.05 m	-0.17 m
Std. Dev	.060 m	0.87 m
95% Depth Accuracy	±1.2 m	±1.7 m

포함하는 해역의 지형도를 Fig. 5와 Fig. 6에 도시하였다. 2004년 8월 조사결과는 2005년 6월 조사결과에 비하여 측선의 간격이 넓으며 골재채취구역이 동측에 치우쳐있다. 이는 1차 수심측량 당시 조사선박의 항법시스템이 도교좌표계로 설정되어 있는 사실을 인지하지 못한 상태에서(Table 2) 골재채취구역의 WGS84 좌표값(Table 1)을 입력하였기 때문이다. 따라서 해사채취 흔적을 찾는데 많은 시간을 소비하였고 선박운항이 체계적이지 못하였다. 이에 반하여 2005년 6월 2차 조사에서는 IHO 표준에 준하는 측선 간격과 체계적인 격자형태의 항적도가 생성되었다.

두 시기의 지형을 상세하게 비교하기 위하여 골재자원 채취구역에 해당되는 지형도를 도시하였다(Fig. 7). 해사채취 이후의 수심범위는 대략 58~71 m로서 해사채취 이전의 개략적인 수심범위 58~60 m(해양수산부, 1997) 보다 크게 증가하였음을 보인다. 2004년 8월에 조사된 해저지형도에서 골재자원 채취구역의 서측에 구덩이 형태의 지형이 나타난다. 구덩이 지형은 66 m의 등심선을 기준으로 U자 형태를 보인다(Fig. 7a). 반면 2005년 6월에 조사된 해저지형도에서는 U자형의 구덩이가 원형으로 변하였으며, 그 서측에 소규모 구덩이 지형이 새로이 형성되었음을 볼 수 있다(Fig. 7b). 두 해저지형도에서 최대 수심은 약 72 m로 비슷한 값을 보인다. 그러나 1차조사 지형도의 60 m 등심선과 2차조사 지형도의 61 m 등심선의 수평적 위치가 유사한 것으로 보아 두 지형도 사이의 수심오차는 적어도 1 m 정도인 것으로 판단된다.

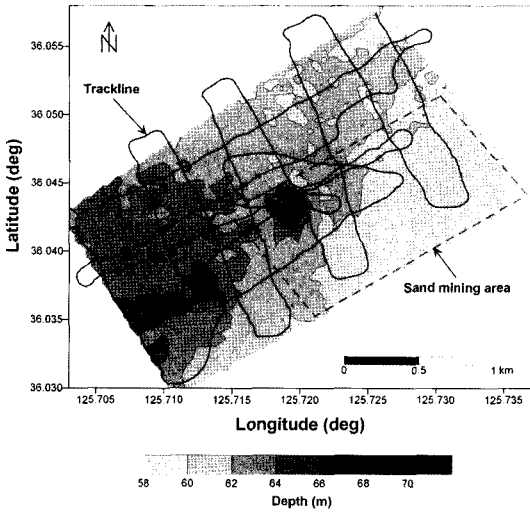


Fig. 5. Map showing trackline and bathymetry obtained from hydrographic survey in August 2004.

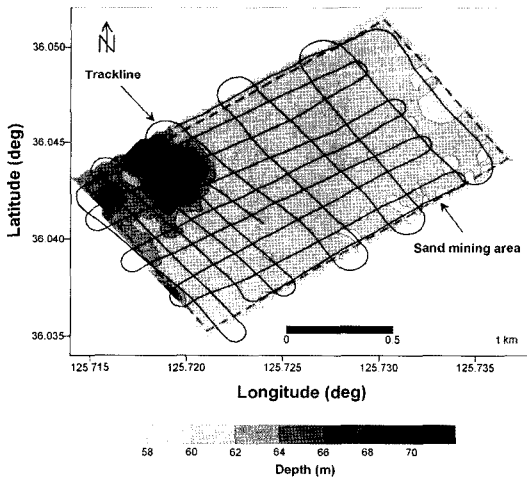


Fig. 6. Map showing trackline and bathymetry obtained from hydrographic survey in June 2005.

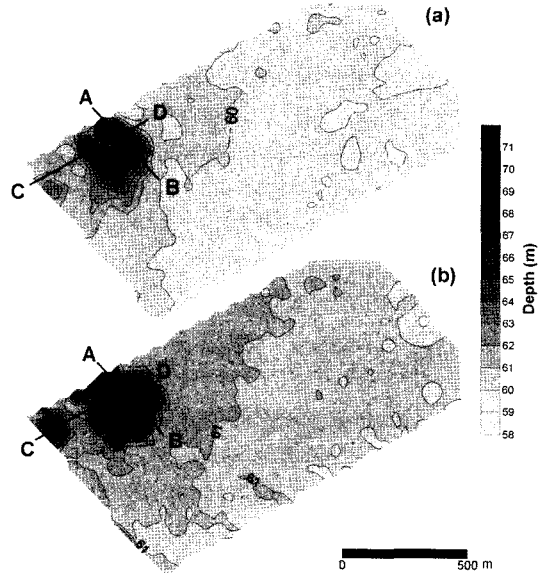


Fig. 7. Bathymetric map of the sand mining site. (a) August 2004, (b) June 2005.

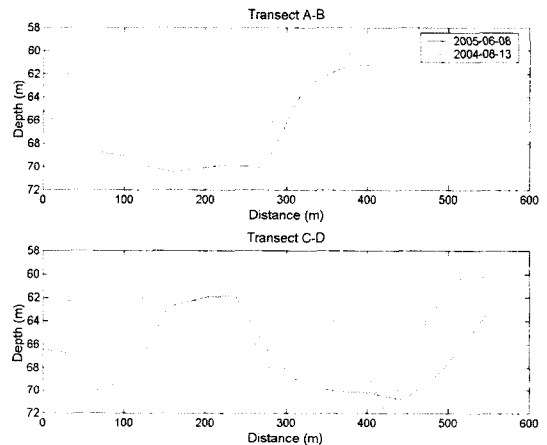


Fig. 8. Comparison of transect A-B and transect C-D.

골재자원 채취로 형성된 구덩이의 단면을 비교하기 위하여 두 지형도에서 북서-남동 방향(A-B)과 남서-북동 방향(C-D)의 횡단면을 동일하게 설정하여 이로부터 추출된 수심을 Fig. 8에 도시하였다. 단면도 A-B를 보면 수심 62m를 기준으로 구덩이의 폭이 2004년 8월 약 300m에서 2005년 6월 350m 이상으로 증가하였으며, 단면의 형태가 V자에서 U자형으로 변화하였다. 단면도 C-D에서는 2004년 W자 지형이 2005년에 V자 지형으로 바뀌었으며, 그 측면에 새로운 V자 지형이 형성되었음을 보여준다. 그런데 이러한 단면도의 변화에서 최대수심은 오히려 72m에서

70m로 약 2m 정도 감소한 것으로 나타난다. 이와 마찬가지로 W자 지형의 서쪽 측면(200~300m 거리 구간)에서 2m 정도 수심이 감소하였음을 보인다. 이러한 단면도의 변화는 Fig. 7의 지형도에서 최대깊이에 대한 변화가 없는 것과 상반된다. 따라서 단면도에서 보이는 수심오차는 두 지형도 사이에 1m 정도로 추정되는 오차보다 큰 것으로서 측심오차와 더불어 측선간격의 불일치에 따른 내삽(interpolation) 또는 지형도 격자의 분해능(resolution)과 관련된 오차로 해석된다.

Fig. 9에 두 시기의 측선 및 지형도 차이를 비교하

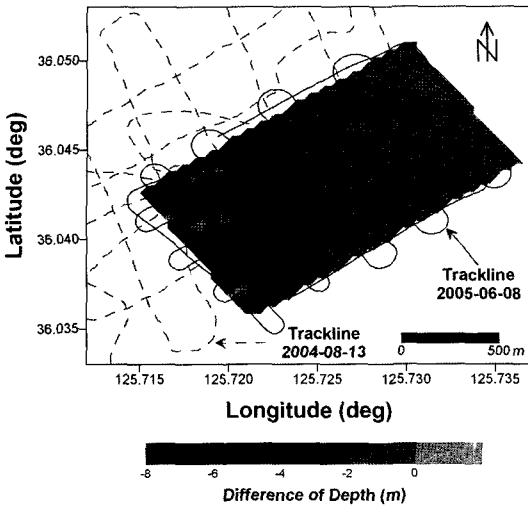


Fig. 9. Difference grid between two bathymetric data sets.

여 도시하였다. 수심차 분포는 +2~8m의 범위를 보인다. 수심측량의 정확도($\pm 1.2\text{m}$ 와 $\pm 1.7\text{m}$)를 고려할 때 수심차의 정확도는 $\pm 1.7\text{m}\sim\pm 2.9\text{m}$ 범위의 수준이라 할 수 있다. 따라서 수심차가 -3m 이하인 분포 지역이 유의한 지형변화를 나타낸다고 볼 수 있다. 특히 이러한 수심차가 유의한 지역이 골재자원 채취구역의 서측에 주로 분포한다. 수심변화는 2004년에 형성된 U자 구덩이 지형 주변과 새로이 형성된 구덩이 지형에서 크게 나타난다. U자 구덩이 주변에 환상으로 분포하는 이러한 수심변화 양상은 2004년 8월 이전에 형성된 구덩이의 사면에서 해사채취가 추가로 진행되었음을 지시한다. 새로이 형성된 구덩이 지형에서는 원형의 수심변화 양상을 보인다.

토 의

해저지형 변화를 규명하기 위한 수심측량자료는 매우 높은 수준의 정확도가 요구된다. 수심측량의 오차 수준은 일반적으로 연안환경에서 나타나는 지형변화의 크기에 필적하기 때문에 이로부터 계산되는 침식/퇴적 변화량은 그 신뢰도를 확보하기 쉽지 않다. 이러한 이유로써 해변단면(beach profile) 변화 연구에서 수심측량 대신 해저절매 또는 수륙양용차와 같은 특수 장비를 이용한다(Birkemeier et al., 1985; Gibeaut et al., 1998). 그러나 수심이 60m에 달하는 연구지역에서는 수심측량 이외에 적절한 해저지형조사 방법이 없다. 따라서 인위적인 지형변화를 탐지할 수 있

을 정도로 정확한 수심측량자료를 생산하는 것이 본 연구의 가장 중요한 과제라고 할 수 있다.

두 차례에 걸쳐 수행된 해저지형조사에서 IHO 표준의 2등급에 해당하는 수심측량 성과를 얻었으며, 이 정도의 정확도는 본 연구지역의 해저지형변화를 정성적으로 파악하기에는 충분한 것으로 보인다. 그러나 여전히 큰 오차수준임에 분명하다. 왜냐하면 해사채취로 인한 지형변화가 3m 내외인 경우에는 2등급 수준의 수심측량으로 지형변화를 파악하는 것은 어려운 일이기 때문이다. 다시 말해서 인위적인 지형변화가 2등급 오차수준 이상인 해사채취구역에서만 수심측량의 결과가 유용하다는 것을 의미한다. 따라서 해사채취의 규모에 관계없이 지형변화를 탐지하고 나아가서 정확한 해사채취량을 산정하기 위해서는 수심측량의 정확도가 더욱 향상될 필요가 있다.

해사채취로 인하여 해저에 폭 300m, 깊이 10m 규모의 구덩이가 형성되었다. 이것은 고정식 준설방법에 의한 전형적인 지형변화임을 보여준다. 수심이 얇은 연안환경과 달리 본 연구해역에서 형성된 구덩이 지형은 장기간의 퇴적작용으로 점차 사라질 것으로 예측된다. 그러나 해사채취구역의 최대 조류 속도는 1.0 m/s를 넘지 않으며, 수심이 60m 이상으로 깊은 환경이기 때문에 오직 간헐적인 태풍 또는 폭풍에 의한 해수유동만이 해저면에 직접적인 영향을 미칠 수 있다. 이러한 물리적 환경 조건은 구덩이 지형이 주변의 해저면과 평형상태를 이루는데 오랜 시간이 소요된다는 것을 의미한다.

인위적으로 형성된 구덩이가 장기간 존재함으로써 발생하는 일차적 영향은 조석, 파랑과 같은 해수유동의 변화이다(Maa et al., 2004). 이러한 해수유동의 변화는 구덩이의 형태, 면적, 수심 등에 따라 좌우되는 것으로 알려져 있다. 해수유동 변화로 인하여 퇴적물 이동, 퇴적환경에 변화가 발생할 수 있으며, 궁극적으로 저서생태계에도 영향을 미칠 수 있다(Van Dalssen et al., 2000). 이러한 구덩이 지형으로 인한 영향을 정확히 예측하고 저감방안을 수립하기 위해서는 과학적인 해양조사자료에 근거한 해수유동 및 퇴적물 이동 수치모델링 연구를 수행할 필요가 있다.

해사채취와 관련하여 수심이 얇은 연안환경에서는 퇴적물의 공급/퇴적 변동 양상에 따라 해안침식과 같은 영향이 다수 보고되고 있다. 그러나 배타적경제수역에 부존한 모래자원은 과거 해수면이 낮았던 시기에 형성된 퇴적층이기 때문에 현재 연안에서의 물질

순환체계와 밀접하게 관련되어 있다고 볼 수 없다. 따라서 배타적경제수역내 해사채취구역의 지형변화가 멀리 떨어진 연안 물질순환체계에 미치는 악역향은 미약할 것으로 사료된다.

결 론

해사채취 위치, 채취심도, 채취량 산정 등을 보다 효과적으로 관리하기 위해서는 채취작업 이전과 이후에 정확하고 정밀한 해저지형조사가 병행되어야만 한다. 본 연구에서 단일빔 음향측심기에 의한 수심측량이 IHO 표준의 2등급 오차수준에 해당되지만, 상세한 해저지형 변화를 정량적으로 파악하기 위해서는 1등급 이상의 오차수준으로서 보다 조밀한 측선간격의 수심측량이 요구된다. 또한, 정밀한 해저지형조사에 사용되는 다중빔 음향측심기를 사용하는 경우에도 IHO 표준에 준하는 자료가 획득되어야 정확도와 신뢰도를 확보할 수 있다. 이를 위해서는 국가적 차원의 기술교육과 지원이 뒷받침되어야 한다.

사 사

원고를 세밀하게 심사해 주신 김진호 박사와 임동일 박사께 감사드립니다. 본 연구논문은 (유)동아모래가 2004년과 2005년에 군산대학교 새만금환경연구센터와 적조연구센터에 위탁한 사후영향조사 연구로부터 수행되었습니다.

참고문헌

국립해양조사원, 2002, 조석표(한국연안). 인천, 282 p.
 고희중, 방익찬, 김태희, 2005, 한반도 주변 해역 5개 정점에서 파랑과 바람의 관계. 한국지구과학회지, 26 (3), 240-252.

박영수, 민건홍, 김성필, 2003, 어청도 서남부 배타적경제수역(EEZ)의 바다골재 부존량조사 시범연구. 한국지질자원연구원 수탁연구사업 최종보고서, 유한회사 동아모래, 43 p.
 박용욱, 2004, 해사채취에 따른 구체적인 해역이용협의기준을 마련해야. 해양수산동향, 1153, 1-16.
 장학봉, 2004, 해사채취의 환경관리제도 문제점과 개선방향. 월간 해양수산, 239, 87-92.
 장학봉, 박수진, 2004, 해역이용협의제도의 문제점과 개선방향-해사채취를 중심으로-. 월간 해양수산, 240, 31-43.
 조동우, 장학봉, 2003, 바다모래 수급실태 및 관리방안 연구. 한국해양수산개발원. 155 p.
 해양수산부, 1997, 바다안내도. 82 p.
 Birkemeier, W.A, Miller, H.C., Wilhelm, S.D., DeWall, A.E., and Gorbics, C.S., 1985, A user's guide to the coastal engineering research center's (CERC'S) field research facility. US Army Corps of Engineers, Report CERC-85-1, 107 p.
 Clark, R.B., 2001, Marine Pollution. 5th (ed.), Oxford University Press, Oxford, 236 p.
 Gibeau, J.C., Gutierrez, R., and Kyser, J.A., 1998, Increasing the accuracy and resolution of coastal bathymetric surveys. Journal of Coastal Research, 14, 1082-1098.
 Hsu, S.K., 1995, XCORR: A cross-over technique to adjust track data. Computers & Geosciences, 21, 259-271.
 International Hydrographic Bureau, 1998, IHO standards for hydrographic surveys. 4th (ed.), Special publication No. 44, Monaco, 23 p.
 Maa, J.P.Y, Hobbs, C.H., Kim, S.C., and Wei, E., 2004, Potential impacts of sand mining offshore of Maryland and Delaware: Part 1-Impacts on physical oceanographic processes. Journal of Coastal Research, 20, 44-60.
 USACE, 2002, Engineering and design: Hydrographic surveying. U.S Army Corps of Engineers Manual No. 1110-2-1003, Washington D.C., 570 p.
 Van Dalssen, J.A., Essink, E., Madsen, H.T., Birkund, J., Romero, J., and Manzanera, M., 2000, Differential response of macrozoobenthos to marine sand extraction in the North Sea and the Western Mediterranean. ICES Journal of Marine Science, 57, 1439-1445.

2005년 11월 8일 원고 접수
 2005년 11월 21일 수정원고 접수
 2005년 11월 30일 원고 채택