Check for updates

한국해양환경 · 에너지학회지
J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy
Vol. 24, No. 4, 249-262, November 2021

https://doi.org/10.7846/JKOSMEE.2021.24.4.249
ISSN 2288-0089(Print) / ISSN 2288-081X(Online)

Original Article

서·남해 EEZ 해역의 골재채취로 인한 해저지형 변화 연구

김성은[1] · 김도연[2] · 박재문[3] · 손규희[4,†]
[1](주)아라종합기술 대표이사
[2](주)아라종합기술 이사
[3](주)아라종합기술 과장
[4]해양환경공단 미래성장처 처장

Study on the Morphological Changes Following Marine Aggregate Extraction in the South and West Sea EEZ waters of South Korea

Seongeun Kim[1], Doyoun Kim[2], Jaemoon Park[3], and Kyuhee Son[4,†]
[1]CEO, ARA Consulting & Technology, Ltd., Incheon 21990, Korea
[2]Director, ARA Consulting & Technology, Ltd., Incheon 21990, Korea
[3]General Manager, ARA Consulting & Technology, Ltd., Incheon 21990, Korea
[4]Team Manager, Department of Future Business Development Team, Korea Marine Environment Management Corporation, Seoul 05718, Korea

요 약

본 연구에서는 바다골재 채취로 인한 해저지형 변화를 파악하기 위해 골재채취가 진행되었던 남·서해 EEZ 내 각각 4개 광구와 7개 광구의 수심도를 2 m 격자로 통합·제작하여 분석하였다. 2008년부터 채취를 시작한 남해 EEZ에서는 전체적으로 평균 5 m 이상으로 채취되었고 최대 채취깊이는 광구 4G에서 19.5 m인 반면 2010년부터 채취한 서해 EEZ에서는 국지적으로 5 m 이상의 집중 채취가 이루어졌고 최대 깊이는 광구 9에서 19.0 m인 것으로 분석되었다. 남·서해 EEZ 골재채취단지의 웅덩이 형태의 해저지형은 채취 종료 6년이 지난 후에도 회복되지 않는 것으로 파악되었다. 연안환경과 달리 수심이 깊고 퇴적물의 공급이 활발하지 않는 EEZ 해역의 특성을 고려할 때 수십 년이 경과하더라도 지형의 완전한 회복은 이루어지지 않을 것으로 판단된다.

Abstract – To investigate changes in th seabed morphology after marine aggregates extraction, hydrographic surveys were carried out to produce bathymetric maps with 2 m grid resolution. Since the start of extraction in 2008, the South Sea EEZ marked 19.5 m of maximum depth and displayed an average extraction depth greater than 5 m overall. In contrast, the West Sea EEZ which extracted from 2010, recorded 19.0 m of maximum depth and locally intensive extraction with an average of 5 m or more. Seabed depressions in both areas had not recovered back to pre-extraction status after six years. Unlike dynamic environment in the coastal areas, far and deep offshore is rarely introduced with sediment, and thus, it is expected that the complete fill-up of sediment in the depressions are unlikely even after decades.

Keywords: Exclusive economic zone(배타적경제수역), Marine aggregates extraction(바다골재채취), Extraction zone(채취광구), Morphological change(지형변화), Depression(함몰지형)

1. 서 론

해양은 어업, 해운, 해상풍력, 석유, 준설 및 골재채취 등 많은 인간활동이 이루어지는 장소이며, 이러한 활동들은 해양환경에 서로 다른 영향을 미치며 향후 심화될 것으로 판단되고 있다(Jongbloed *et al.*[2014]). 바다골재는 1960년대에 전 세계적으로 건설 산업의 주목을 받으면서 대규모로 채취하기 시작하였으며, 육상자원의 고갈이나 엄격한 환경규제로 인한 이용 한계에 따라 지속적으로 증가하고 있다(Mielck *et al.*[2019]).

우리나라 골재산업의 한 축을 담당하고 있는 바다골재 채취는 1991년 제정된 골재채취법에 의거하여 주로 수심 20 m 안팎의 연

†Corresponding author: scuba89@koem.or.kr

안에서 진행되다가 2004년부터 부산신항 건설 등 국책사업에 필요한 모래의 안정적인 공급을 위하여 남해와 서해 배타적경제수역(EEZs)에서 채취를 시작하였고, 2008년부터 EEZ 해역의 골재채취단지 지정을 계기로 현재까지 대규모 채취가 이루어지고 있다(Cho[2006]; Kim[2009]; Kim *et al.*[2014]; Lee *et al.*[2010b]).

바다골재채취 선진국인 ICES 회원국에서 선호하는 트레일러호퍼 채취공법(ICES[2016]; OSPAR Commission[2009])은 일반적으로 깊이 0.5 m와 너비 2–3 m의 고랑 또는 골 형태의 길쭉한 홈을 생성하고, 국내에서 사용하는 고정식 채취공법은 1회 굴착 시 깊이 4.6m 및 반경 40–60 m의 웅덩이를 생성하는 것으로 보고되고 있다(Marine Ecological Surveys[2008]; Velegrakis *et al.*[2010]).

이와 같은 채취 공법의 차이는 해저지형, 퇴적물의 구성 및 이와 관련된 저서생물 군집에 다른 영향을 미치게 되며, 이를 비교한 연구들이 지속적으로 이루어졌다(Hitchcock and Bell[2004]; Newell *et al.*[2004]; Phua *et al.*[2002]; POSFORD DUVIVIER ENVIRONMENT and HILL[2001]). 또한 골재채취 해역의 물리환경과 해저지형변화에 초점을 둔 선진사례의 연구들이 이루어졌다(Boyd *et al.*[2004]; Degrendele *et al.*[2010]; Schwarzer[2010]; Van Lancker *et al.*[2010]). 특히 SANDPIT(Van Rijn *et al.*[2004]) 및 EUMARSAND(Bonne [2010])와 같은 연구 프로젝트에서는 연안의 얕은 수심을 대상으로 이 주제를 심도 있게 다루었으나, 우리나라 남·서해 EEZ 해역처럼 수심이 깊고 인근에 연안 및 하천 등 퇴적물 공급원이 없는 해역에서 채취로 인해 발생된 함몰지형(웅덩이) 변화에 대한 정보는 아직 잘 알려져 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 남·서해 EEZ 골재채취단지의 채취량에 따른 채취 깊이 및 면적 분포, 최대 채취 깊이를 분석하고 채취 종료 후 함몰지형의 장·단기 변화 및 이에 따른 회복 여부를 평가·파악하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2008년에 지정된 남해 EEZ 골재채취단지는 경상남도에 위치한 욕지도 남동방 50 km 부근으로 사퇴(sand ridge) 및 고하천(paleo-channel)이 발달된 해역이며, 수심은 약 80 m 이상이다(Fig. 1). 2010년에 변경/연장된 서해 EEZ 골재채취단지는 군산시 옥도면 어청도리 서남방 25 km 지점 인근으로서 수심은 약 58–60 m의 범위로서 대체로 평탄한 지형을 보이고 있다(Fig. 1).

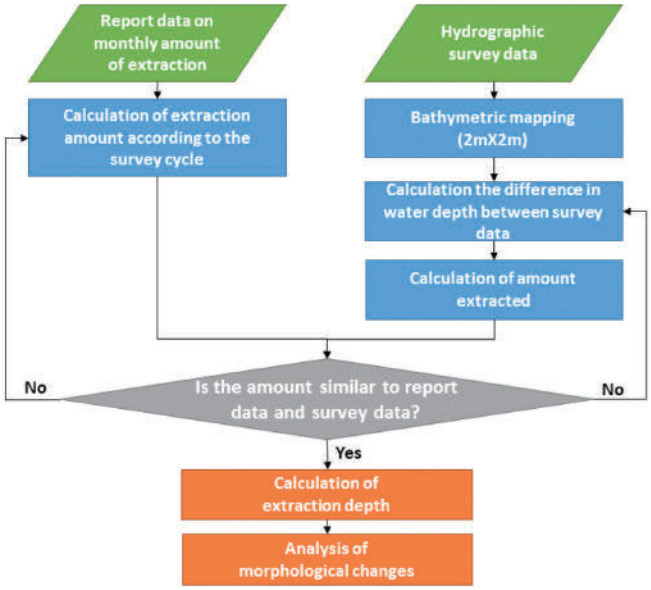

Fig. 2. Methodological flowchart of seabed morphological change following marine aggregates extraction.

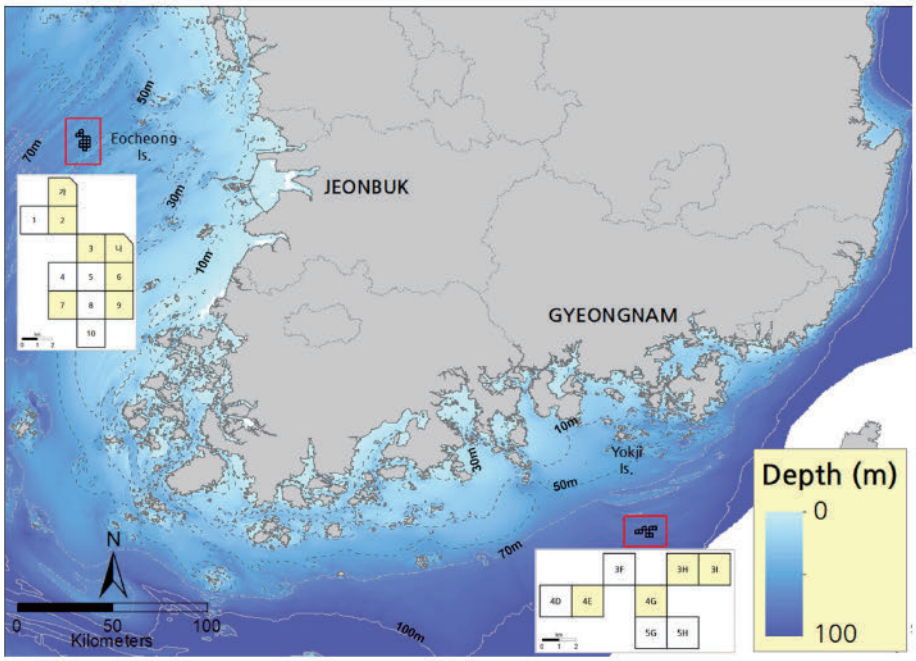

Fig. 1. Location of marine aggregates extraction sites.

2.1 광구별 격자수심자료

본 연구에서는 골재채취에 따른 해저지형 변화를 파악하기 위해 해역이용협의, 해양환경영향 및 국립해양조사원에서 수행한 자료를 수집하여 분석하였다. 측량시기별로 서로 다른 격자수심을 2 m 격자의 수심도로 통합·제작하고 측량주기별 수심변화를 산정한 후 수심기반의 골재채취량과 동일 기간의 채취실적 골재채취량을 비교하여 채취심도를 분석하였다(Fig. 2).

남해 EEZ 골재채취단지의 경우 2008년도만 채취한 광구 3F와 2016년도만 채취한 광구 4D, 5G, 5H는 분석에서 제외시켰고, 서해 EEZ는 변경/연장 광구 중 채취가 이루어지지 않은 광구(광구 4, 5)와 채취량 규모가 작은 광구(광구 1, 8)는 남해 EEZ와 마찬가지로 분석에서 제외시켰다. 이에 따라 분석에 사용된 채취광구는 남해 EEZ의 경우 3H, 3I, 4E 및 4G 광구이고, 서해 EEZ는 2, 3, 6, 7, 9, 가 및 나 광구이다(Fig. 1).

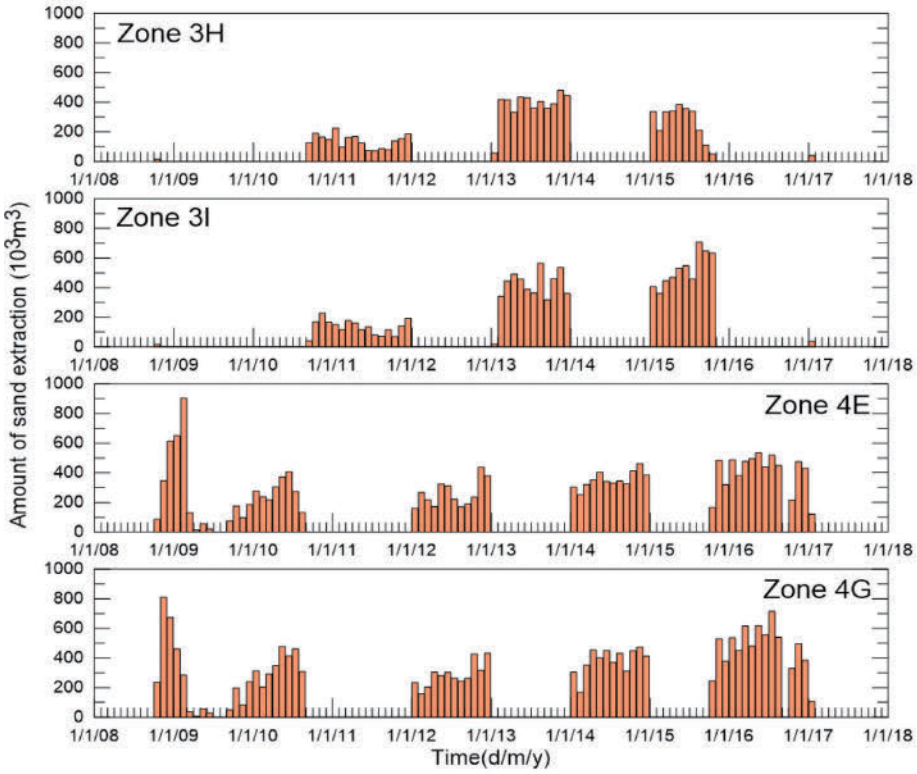

Fig. 3. Monthly amount of sand extraction within EEZ of South sea from 2008 to 2017.

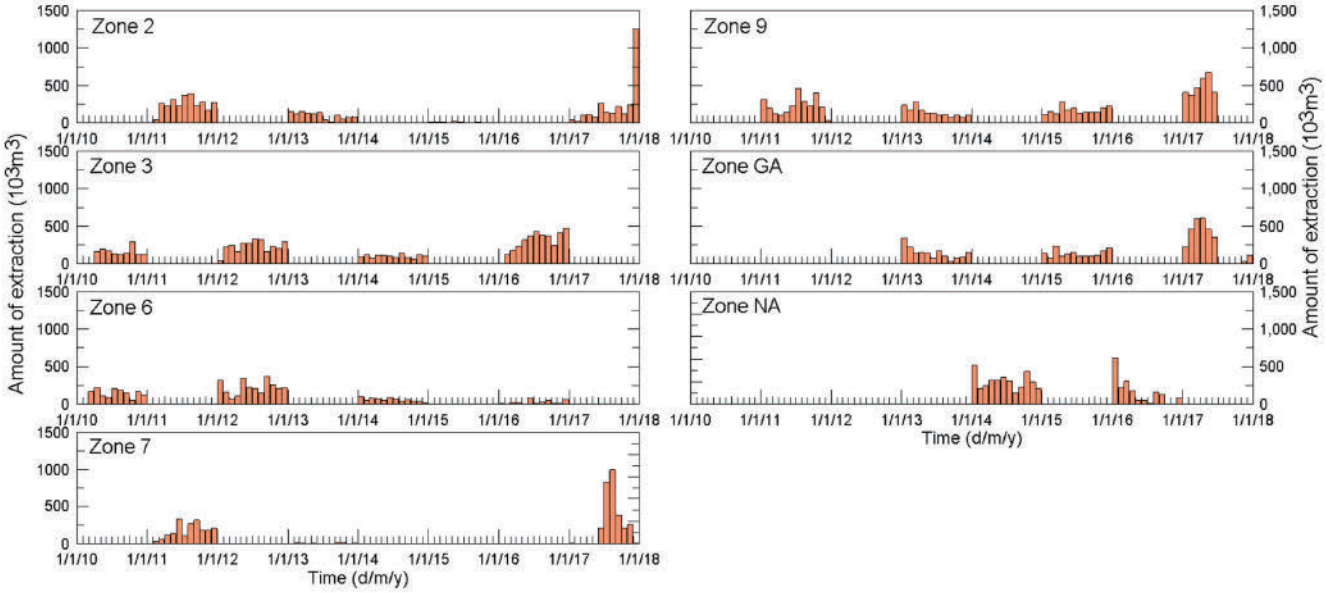

Fig. 4. Monthly amount of sand extraction within EEZ of West sea from 2011 to 2017.

Table 1. Selection of bathymetric analysis periods for morphological change of extraction zones within EEZ, South Sea

Extraction Zone	Time of survey		Extraction Zone	Time of survey	
3H, 3I	2011.01	2011.09	4E, 4G	2008.10	2010.05
	2013.01	2013.12		2012.04	2012.12
	2015.01	2015.10		2013.06	2014.10
				2014.11	2016.11

Table 2. Selection of bathymetric analysis periods for morphological change of extraction zones within EEZ, West Sea

Extraction Zone	Time of survey		Extraction Zone	Time of survey	
2, 7, 9, GA	2009.08	2012.04	3, 6, NA	2009.08	2011.05
	2012.10	2014.03		2011.10	2013.06
	2014.11	2016.12		2013.10	2015.03
	2016.11	2017.11		2015.10	2017.05

2.2 광구별 채취 이력 및 분석 기간 선정

정확한 수심자료를 취득하기 위해서는 일반적으로 수심측량장비의 검·교정 및 유지관리, 선박운동의 안정도, 조석보정, 음파속도 보정 등 다양한 오차발생 요인을 충분히 고려·검토하여야 한다(USACE[2002]). 분석 대상 광구의 수심측량자료에 대한 신뢰성을 검토하기 위해 남·서해 EEZ 골재단지 광구에서 보고된 실적 골재 채취량과 비교·분석하였고, Fig. 3과 Fig. 4는 월별 채취량을 도시한 것이다. Fig. 3과 4에서 2008년부터 2016년까지 남해 EEZ 4개 광구의 총 채취량은 61,126,869 m^3이고, 이 중 4G광구에서 20,851,109 m^3으로 가장 많은 채취가 이루어졌다. 2011년부터 2017년까지 서해 EEZ 7개 광구의 총 채취량은 23,303,148 m^3이고, 이 중 2광구에서 4,042,204 m^3으로 가장 많은 채취가 이루어졌다.

골재채취로 인한 해저지형 변화의 분석 기간을 선정하기 위해 실적보고 채취량과 수심자료 기반의 채취량을 비교하여 차이가 큰 기간은 제외하였고, 기간별 채취량 차이가 작거나 일부 측량시기를 병합하여 이용하였다. 이에 따라 Table 1에 제시된 바와 같이 남해 EEZ 골재단지의 광구 3H와 3I는 총 3개 기간(2011. 1 – 2011. 9, 2013. 1 – 2013. 12, 2015. 1 – 2015. 10), 광구 4E와 4G는 총 4개 기간(2008. 10 – 2010. 5, 2012. 4 – 2012. 12, 2013. 6 – 2014. 10, 2014. 11 – 2016. 11)의 수심자료를 선정하였다.

남해 EEZ 골재단지 광구와 마찬가지로 서해 EEZ 골재단지의 광구 2, 7, 9 및 가는 총 4개 기간(2009. 8 – 2012. 5, 2012. 10 – 2014. 3, 2014. 11 – 2016. 12, 2016. 11 – 2017. 11)에 대해, 광구 3, 6 및 나 역시 총 4개 기간(2009. 8 – 2012. 5, 2011. 10 – 2013. 6, 2013. 10 – 2015. 3, 2015. 10 – 2017. 5)의 수심자료를 선정하여 분석하였다(Table 2 참조).

3. 결 과

3.1 기간별 채취깊이 및 면적

3.1.1 남해 EEZ 골재채취단지

남해 EEZ 골재채취단지 내 광구 3H와 3I는 주로 홀수년도에 채취하였고 광구 4E와 4G는 짝수년도에 채취하였다(Fig. 3). 광구 3H, 3I의 기간별 채취깊이와 면적을 Fig. 5에, 광구 4E, 4G의 기간별 채취깊이와 면적은 Fig. 6에 도시하였고, 2017년 10월 수심도에서 골재채취로 인해 주변보다 수심이 깊어진 형태로 유지되고 있음을 알 수 있다.

3H와 3I 광구의 대부분은 1.25 m 이상으로 채취되었으며, 채취량이 비슷하면 채취깊이의 구배에 따른 면적도 비슷한 결과를 확인할 수 있다. 기간별 골재채취 결과에서 광구 3H의 경우, 채취기간의 차이는 있지만 2013년에 가장 많은 채취량으로 다른 연도에 비해 약 2배의 채취량이다. 각 기간별 최대 채취심도는 2011년 7.53 m, 2013년 9.29 m 및 2015년 8.09 m로 채취량의 차이에 비해 큰 차이가 없다. 구간별 채취깊이 결과에서 가장 큰 면적을 차지하고 있는 채취깊이는 2.5 – 5 m 구간이지만, 5 – 10 m 구간에서 채취량에 따른 면적 차이가 확연히 나타나고 2011년과 2015년에 비해 2013년에 이 구간의 채취깊이로 상당히 넓게 채취되었음을 알 수 있다. 광구 3I의 최대 채취량은 2015년에 5,209,000 m^3로 최대 채취깊이는 광구 3H보다 약간 깊은 10.25 m이다. 광구 3I 역시 광구 3H와 동일하게 채취심도 2.5 - 5 m 구간이 가장 넓은 면적으로 채취되었으며, 5 – 10 m 구간은 최대량을 채취한 2015년보다 2013년의 면적이 약간 더 넓게 분포하고 있다.

Fig. 6에 제시된 바와 같이 3H, 3I와 마찬가지로 광구 4E와 4G 대부분이 1.25 m 이상으로 채취되었으며, 2.5 – 5.0 m 구간으로 채취된 면적이 가장 넓게 분포하고 있다. 광구 4E의 경우, 각 기간별 최대 채취깊이는 9m 이상이며 이 중 최대 채취깊이는 11.43 m로 2014년 마지막 2개월과 2016년 채취로 인해 발생하였다. 채취깊이 5.0 m 이상 구간의 면적도 이 기간에 가장 넓게 분포하고 다음 순은 2008년 10월부터 2010년 5월까지의 채취이다. 이를 제외한 두 기간(2012년 9개월, 2014년 10개월)에서는 골재채취량이 400만 m^3 미만으로 2.5 – 5 m 구간과 5 – 10 m 구간 면적이 확연히 줄어든다.

광구 4G 역시 광구 4E와 마찬가지로 기간별 최대 채취깊이는 9 m 이상으로 나타났고, 최대는 11.04 m로 광구 4E와 동일 기간에 발생하였다. 이 기간의 채취량은 광구 4E보다 약 30만 m^3 정도 많지만 10 m 이상 채취구간의 면적은 적은 것으로 나타났다. 구간별 채취깊이에서 2.5 – 5 m의 구간이 가장 넓게 분포하고 5 – 10 m 구간

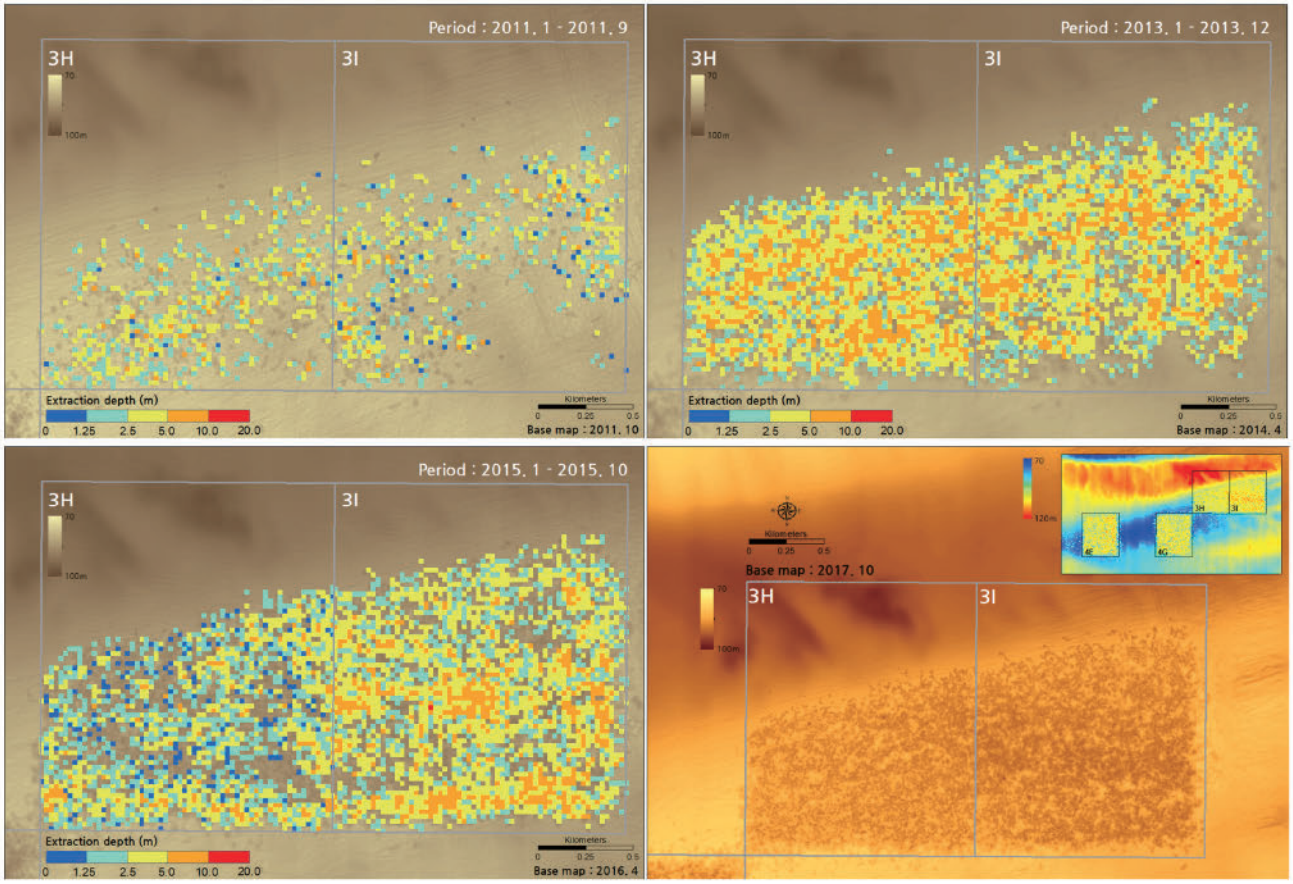

Fig. 5. Map showing extraction depth of marine aggregates at Zone 3H and 3I in years 2011, 2013, 2015 and bathymetry of 2017.

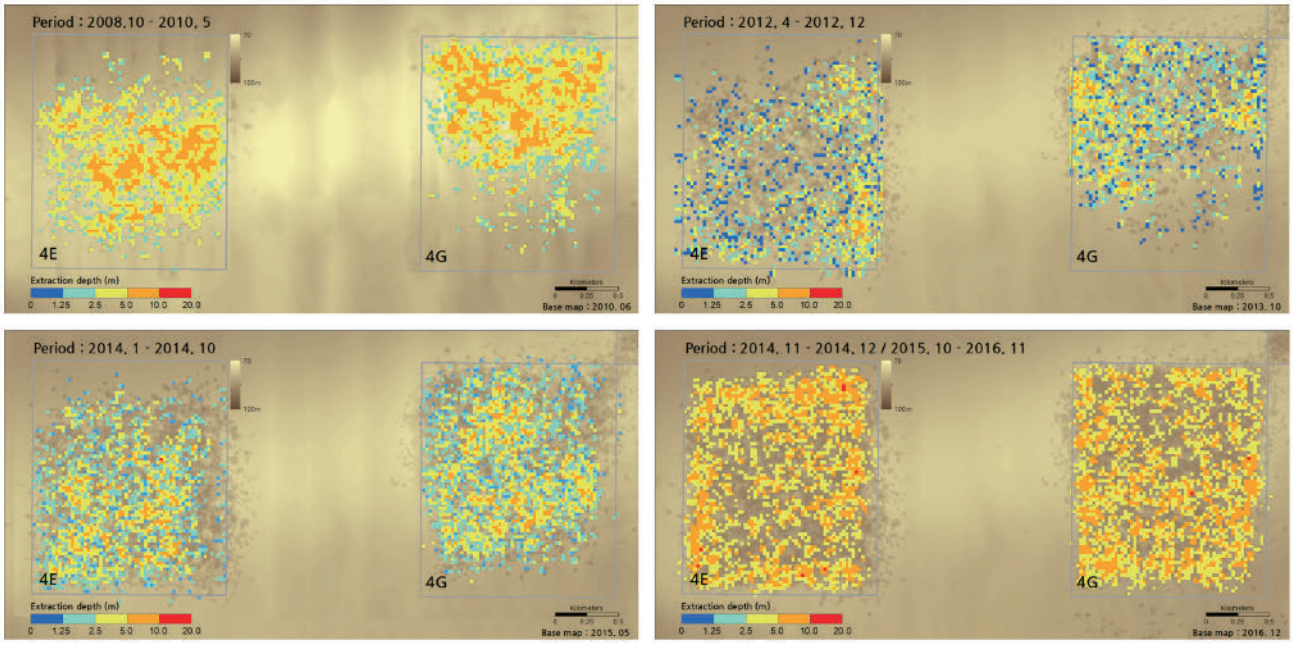

Fig. 6. Map showing extraction depth of marine aggregates at Zone 4E and 4G in years 2009, 2012, 2014 and 2016.

이 그 다음으로 분포하는 것으로 나타났다. 또한 채취량에 따라 채취깊이도 깊어지고 그에 준하는 면적도 넓어지는 것으로 분석되었으며, 광구 4E와 마찬가지로 골재채취량이 400만 m^3 미만인 2012년 9개월과 2014년 10개월의 채취기간에는 5 – 10 m 채취구간이 확연이 줄어든 것을 확인할 수 있다.

광구 4E는 2008년 10월부터 2010년 5월까지 광구 중앙부를 기

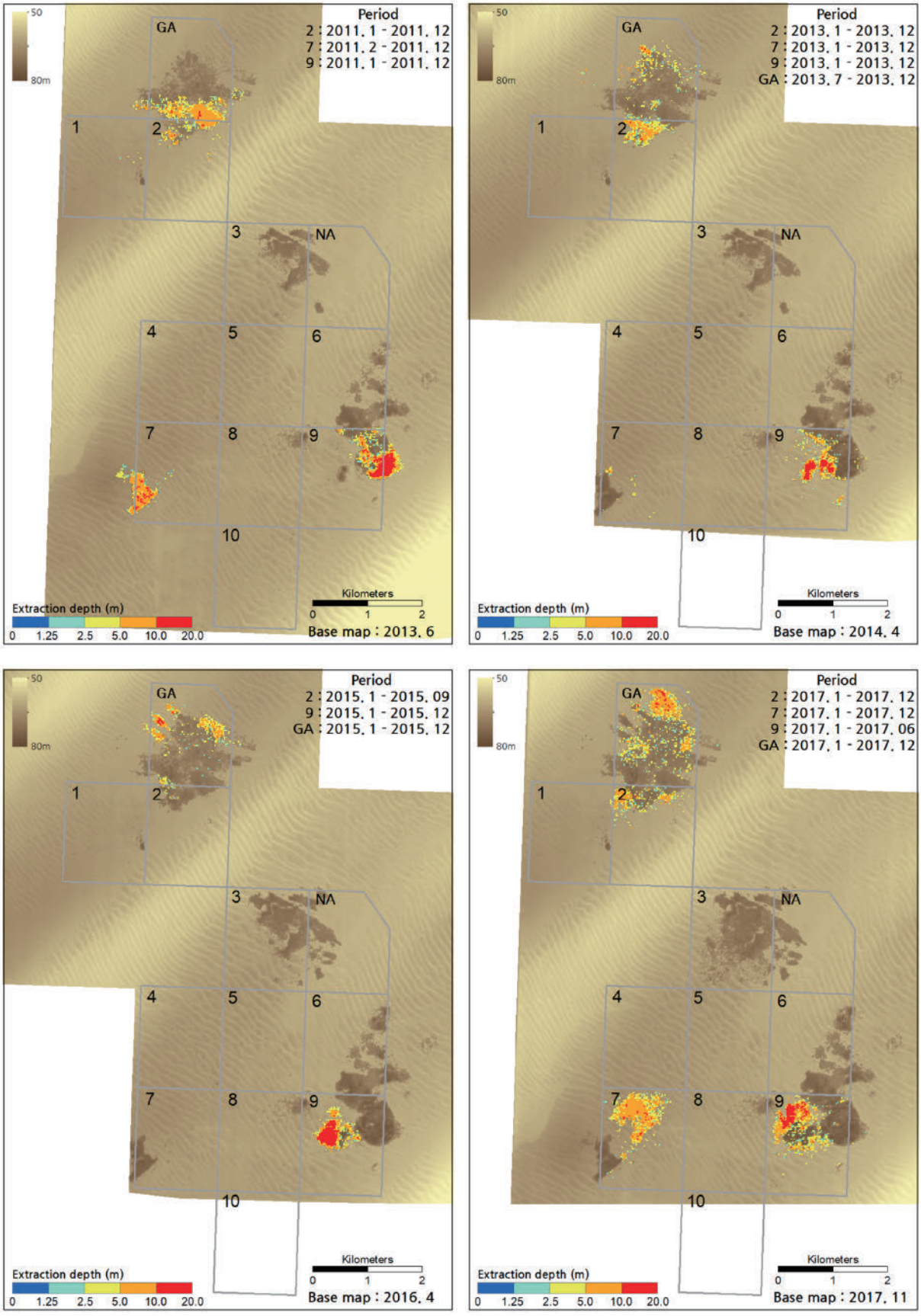

Fig. 7. Map showing extraction depth of marine aggregates at Zone 2, 7, 9 and GA in years 2011, 2013, 2015 and 2017.

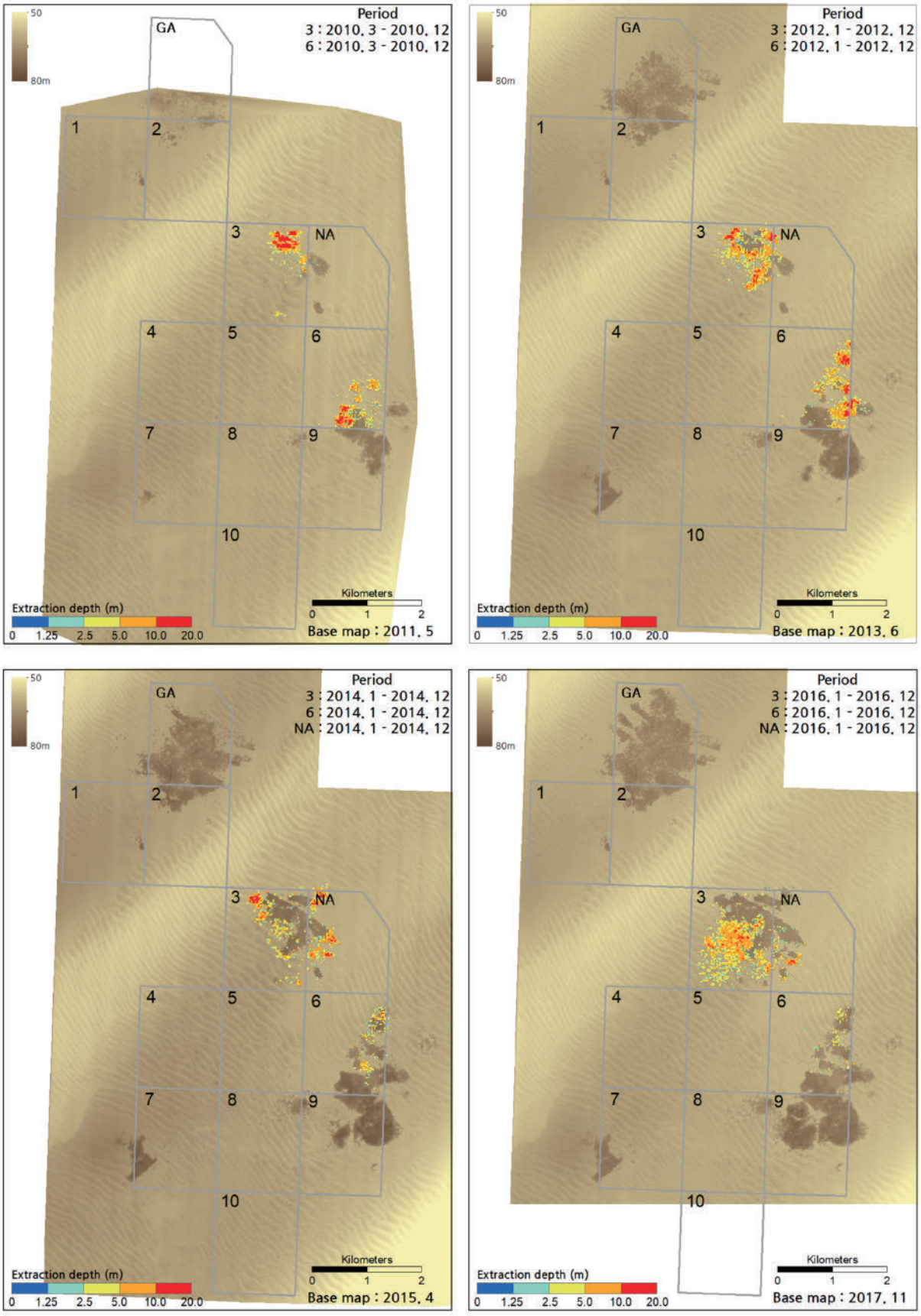

Fig. 8. Map showing extraction depth of marine aggregates at Zone 3, 6 and NA in years 2010, 2012, 2014 and 2016.

점으로 동측에서, 광구 4G는 북측에 집중되어 채취하였다. 2012년과 2014년에는 두 광구 모두 전체적으로 채취하였고, 최대 채취량인 2014년 마지막 2개월 및 2016년에는 채취 깊이도 증가하고 그 면적도 함께 증가하였다. 위의 분석결과, 4E와 4G는 채취량에서도 3H와 3I에 비해 더 많으며 이에 따른 채취깊이와 범위도 확장되어 채취로 인한 해저지형 변화는 더 큰 것으로 판단된다.

3.1.2 서해 EEZ 골재채취단지

서해 EEZ 골재채취단지 내 총 7개 광구(2, 3, 6, 7, 가, 나)의 기간별 채취깊이와 그에 따른 면적을 분석한 결과를 Fig. 7과 8에 도시하였다. 남해 EEZ 골재채취단지와 마찬가지로 광구 2, 7, 9, 가는 주로 홀수년도에 채취하였고, 광구 3, 6, 나는 짝수년도에 채취하였다. 또한 2010년부터 2017년까지의 모래 채취량은 광구 9에서 6,415,518 m^3으로 최대 채취량이며, 광구 3, 2에서 4백만 m^3 이상이고 나머지 광구는 그 이하 채취량이다(Fig. 4).

홀수년도에 채취한 광구 2, 7, 9, 가의 결과 Fig. 7에 따르면 분석기간 동안 전반적으로 깊이 5 m 이상인 국지적인 채취가 집중적으로 이루어졌다. 2011년은 광구 2, 7, 9에서 골재채취를 시행하였으며 골재채취는 광구 2의 경우 북측 경계를 넘어 광구 가까지 확장하였고 광구 9는 동측 경계를 넘어 채취가 이루어졌음을 알 수 있다. 2013년부터는 광구 가를 신설하여 4개 광구 모두 채취가 이루어졌지만 해당연도 대부분의 채취는 2 광구와 9 광구에서 시행되었으며, 광구 2의 경우 광구 가와 경계인 북측, 광구 9의 경우 중앙부에서 채취가 시행되었다. 2015년에는 광구 가의 경우 2013년보다 더 확장된 북측 일부와 9 광구는 서측에서 집중 채취가 이루어졌고, 2017년에는 광구 가, 2 및 7은 북측에서 집중 채취, 광구 9는 서북측에서 집중 채취가 이루어졌다. 홀수연도에 채취한 4개 광구 중에서 골재채취로 인한 해저지형 변화가 가장 큰 광구는 9 광구(최대 채취깊이: 17.46 m(2011년))이며, 채취 면적은 광구 가에서 가장 넓게 분포하고 있다.

짝수년도에 채취한 광구 3, 6 및 나의 결과 Fig. 8에 따르면 분석기간 동안 홀수연도와 비슷하게 전반적으로 깊이 5 m 이상인 국지적 집중 채취가 이루어졌다. 광구 3, 6, 나는 광구 나를 중심으로 서로 인접한 광구이지만 광구 3과 6은 2010년부터, 광구 나는 2014년부터 골재채취를 시행하였다. 3개 광구 모두 2016년 6 광구를 제외하면 분석 기간 동안의 최대 채취깊이가 10 m 이상으로 나타났다. 2010년과 2012년에 광구 3은 북동측, 광구 6은 동측에서부터 남동측까지 채취가 이루어졌음을 알 수 있다. 2014년부터는 광구 나를 신설하여 3개 광구 모두 채취가 이루어졌지만 채취량은 광구 3을 제외하곤 앞선 2년간의 채취에 비해 감소되어 채취면적도 감소된 결과를 보여주고 있다. 광구 3은 2016년에 남측으로 확장하여 광구 전체에 채취흔적이 남아 있다. 짝수연도에 채취한 3개 광구 중에서 골재채취로 인한 해저지형 변화가 가장 큰 광구는 3 광구(최대 채취깊이: 14.60 m(2012년))이며, 채취 면적 역시 가장 넓게 분포하고 있다.

3.2 누적 채취깊이 및 면적

3.2.1 남해 EEZ 골재채취단지

2008년부터 시행된 골재채취로 인한 남해 EEZ 광구의 최종 지형변화를 파악하기 위해 채취 전인 2006년 측량수심과 2017년 10월 측량수심을 비교?분석하여 Table 3과 Fig. 9에 제시하였다. 남해 EEZ에서 광구 4G의 채취량은 2008년부터 59개월간 19,989 ×

Table 3. Variation of amount, depth and area of marine aggregates extraction within EEZ of South sea

Zone	Start year	Duration [month]	Amount [10^3 m^3]	Extraction depth		Area	
				Average [m]	Max. [m]	Depth range [m]	Area [m^2]
3H	2010	38	9,410	5.8	14.7	0 – 1.25	17
						1.25 – 2.50	126
						2.50 – 5.00	394
						5.00 – 10.00	1,020
						10.00 <	10
3I	2010	38	12,096	6.1	15.9	0 – 1.25	13
						1.25 – 2.50	122
						2.50 – 5.00	453
						5.00 – 10.00	1,303
						10.00 <	24
4E	2008	59	18,770	8.7	18.6	0 – 1.25	0
						1.25 – 2.50	0
						2.50 – 5.00	153
						5.00 – 10.00	1,495
						10.00 <	739
4G	2008	59	19,989	9.2	19.5	0 – 1.25	0
						1.25 – 2.50	0
						2.50 – 5.00	165
						5.00 – 10.00	1,246
						10.00 <	981

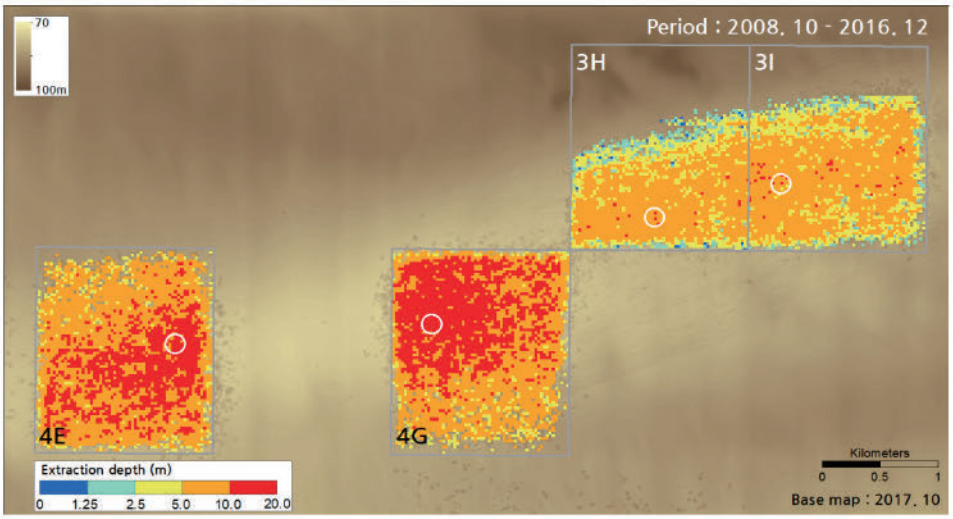

Fig. 9. Map showing extraction depth of marine aggregates at Zone 3H, 3I, 4E and 4G from 2008 to 2016.

10^3 m^3이며, 동일기간인 광구 4E의 18,770 × 10^3 m^3, 홀수년도에 38개월간 채취한 광구 3I의 12,096 × 10^3 m^3 및 광구 3H의 9,410 × 10^3 m^3 이다. 총 채취기간 동안 채취깊이별 면적은 전 광구에서 5 – 10 m 구간이 최대면적을 차지하고 있으며, 10 m 이상 채취깊이의 면적은 광구 3H와 3I보다 광구 4E와 4G에서 크게 분포하는 것으로 분석되었다. 최대 채취깊이 분석 결과 광구 3H는 14.7 m, 광구 3I는 15.9 m, 광구 4E는 18.6 m 및 광구 4G는 19.5 m로 나타났다. 또한 평균 채취깊이는 광구 3H 5.8 m, 광구 3I 6.1 m, 광구 4E 8.7 m 및 광구 4G 9.2 m이다.

골재채취로 인해 최종 지형변화에서 가장 많이 영향을 받은 광구는 최대채취량인 4G 광구이며, 채취량이 증가함에 따라 채취면적 및 채취깊이가 증가하고 이에 따른 해저지형 변화 역시 증가하는 것으로 분석되었다.

3.2.2 서해 EEZ 골재채취단지

2010년부터 시행된 골재채취로 인한 서해 EEZ 변경/연장광구의 최종 지형변화를 파악하기 위해 채취 전인 2009년 측량수심과 2017년 11월 말 측량수심을 비교·분석하여 Table 4와 Fig. 10에 제시하였다. 서해 EEZ 광구 중 전 기간 최대 채취량의 광구는 9 광구로 2011년부터 42개월간 9,339 × 10^3 m^3이며, 이 외에 5,000 × 10^3 m^3 이상의 채취량인 광구는 2(채취량 5,494 × 10^3 m^3), 3(채취량 8,871 × 10^3 m^3), 6(채취량 5,146 × $10^3$$m^3$) 광구이다. 또한 5,000 × $10^3$$m^3$ 이하의 채취량인 광구는 7, 가, 나 광구이다.

총 기간의 채취깊이별 최대면적은 광구 9를 제외한 전 광구에서 5 – 10 m 구간이 최대면적을 차지하였지만, 최대 채취량인 광구 9에서는 10 m 이상의 구간이 최대면적을 차지하고 있다. 최대 채취깊이 분석 결과 광구 9에서 19.0 m로 광구 중 가장 깊게 채취하였고, 비록 채취량이 5,146 × $10^3$$m^3$인 광구 6에서는 16.0 m로 두 번째로 깊게 채취한 것으로 나타났다. 이와 더불어 나머지 광구들도 10 m 이상의 최대 채취깊이를 나타내고 있다. 평균 채취깊이에서는

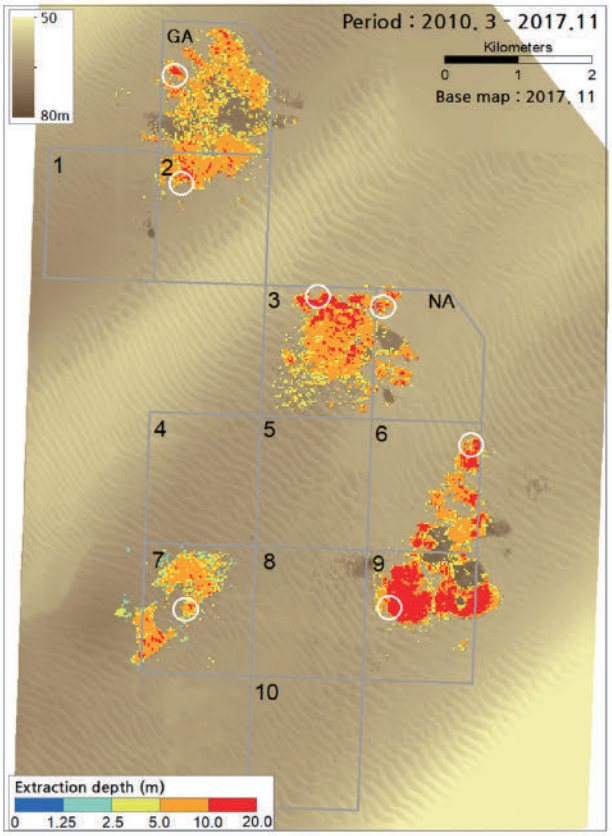

Fig. 10. Map showing extraction depth of marine aggregates at Zone 2, 3, 6, 7, 9, GA and NA from 2010 to 2017.

광구 9에서 10.1 m로 최대이며, 이외의 광구에서는 6.1 – 7.9 m로 채취된 것으로 분석되었다.

골재채취로 인해 최종 지형변화에서 가장 많이 영향을 받은 광구는 최대채취량인 9광구이고 남해 EEZ 광구와 마찬가지로 채취량의 증가와 함께 영향을 받은 면적이 증가했지만, 남해 EEZ 광구

Table 4. Variation of amount, depth and area of marine aggregates extraction within EEZ of West sea

Zone	Start year	Duration [month]	Amount [10^3 m^3]	Extraction depth		Area	
				Average [m]	Max. [m]	Depth range [m]	Area [m^2]
2	2011	42	5,494	7.3	13.8	0 – 1.25	0
						1.25 – 2.50	16
						2.50 – 5.00	67
						5.00 – 10.00	337
						10.00 <	41
3	2010	46	8,871	7.7	14.0	0 – 1.25	0
						1.25 – 2.50	0
						2.50 – 5.00	243
						5.00 – 10.00	741
						10.00 <	251
6	2010	45	5,146	7.9	16.0	0 – 1.25	0
						1.25 – 2.50	0
						2.50 – 5.00	113
						5.00 – 10.00	426
						10.00 <	150
7	2011	27	4,902	6.1	12.6	0 – 1.25	0
						1.25 – 2.50	69
						2.50 – 5.00	209
						5.00 – 10.00	478
						10.00 <	34
9	2011	42	9,339	10.1	19.0	0 – 1.25	0
						1.25 – 2.50	0
						2.50 – 5.00	142
						5.00 – 10.00	364
						10.00 <	581
GA	2013	31	4,972	6.1	12.9	0 – 1.25	0
						1.25 – 2.50	0
						2.50 – 5.00	336
						5.00 – 10.00	461
						10.00 <	50
NA	2014	22	1,797	7.2	14.0	0 – 1.25	0
						1.25 – 2.50	0
						2.50 – 5.00	63
						5.00 – 10.00	183
						10.00 <	31

별 채취량보다 적은 채취량에도 불구하고 평균 및 채취깊이가 비슷하게 분석된 것은 국지적 구역에 집중하여 채취하였기 때문으로 판단된다.

4. 고 찰

바다골재채취는 해저퇴적물을 제거함으로써 해저지형 및 퇴적물 입경을 변화시키고 이에 따른 저서생물 서식지 파괴 및 군집 조성에 지대한 영향을 미친다.

2017년의 수심자료 결과, 바다골재 채취로 인하여 남·서해 EEZ 모두 광구 크기에 비례하여 큰 함몰지형이 형성되었으며, 함몰지형 내에 다수의 웅덩이 형태가 존재하였다(Fig. 11).

앞서 밝힌 바와 같이, 이러한 함몰지형은 대부분 5 m 이상의 깊이로 분포하고 있으며 이는 고정식 채취방식에 의한 전형적인 지형변화임을 보여준다. Hitchcock과 Bell(2004)은 바다골재 채취방식에 대한 물리적 및 생물학적 영향의 중요성을 연구하였으며, 고정식 채취방식에서 10 m의 채취 깊이, 너비 300 m × 100 m의 채취 웅덩이가 발생하였고 이 유형의 채취로 인해 저인망 어업활동 중 견인장비가 채취웅덩이 내에서 걸리기 쉬워 어민들의 우려가 있다고 기술하였다. 또한 남해와 서해의 함몰지형의 형태와 채취 깊이는 유사하지만, 누적 채취면적에서 다소 차이를 보이는 것은 바다골재원인 사질층의 분포가 남해 EEZ는 광구 전체에 골고루 분포하는 반면 서해 EEZ는 광구의 부분적으로 형성되어 있기 때문으로 사료된다.

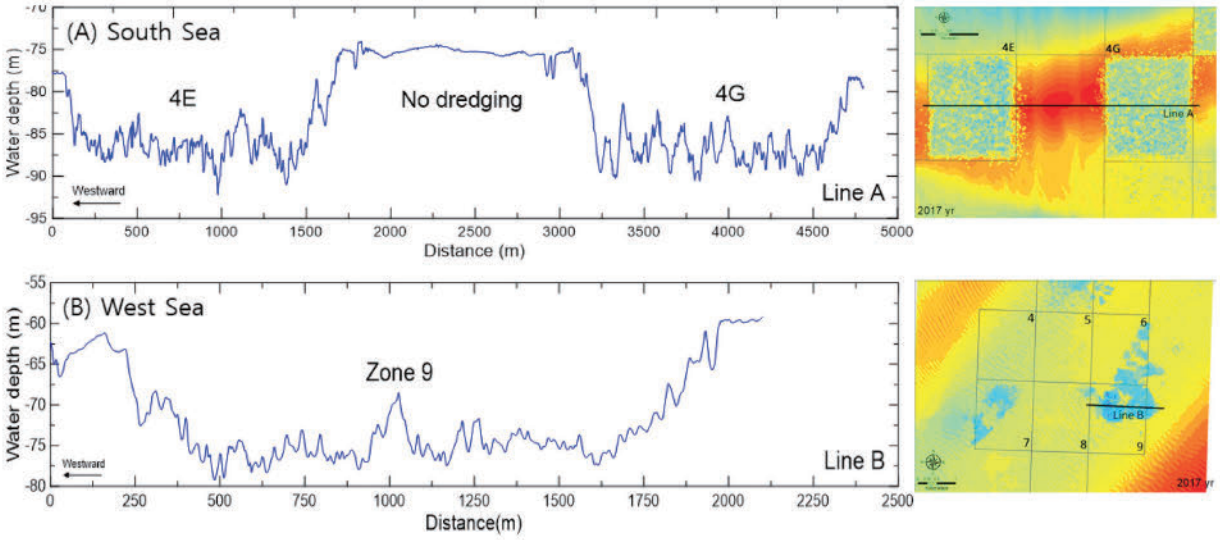

Fig. 11. The shape of seabed after cessation of marine aggregates extraction (A: South Sea EEZ, B: West Sea EEZ).

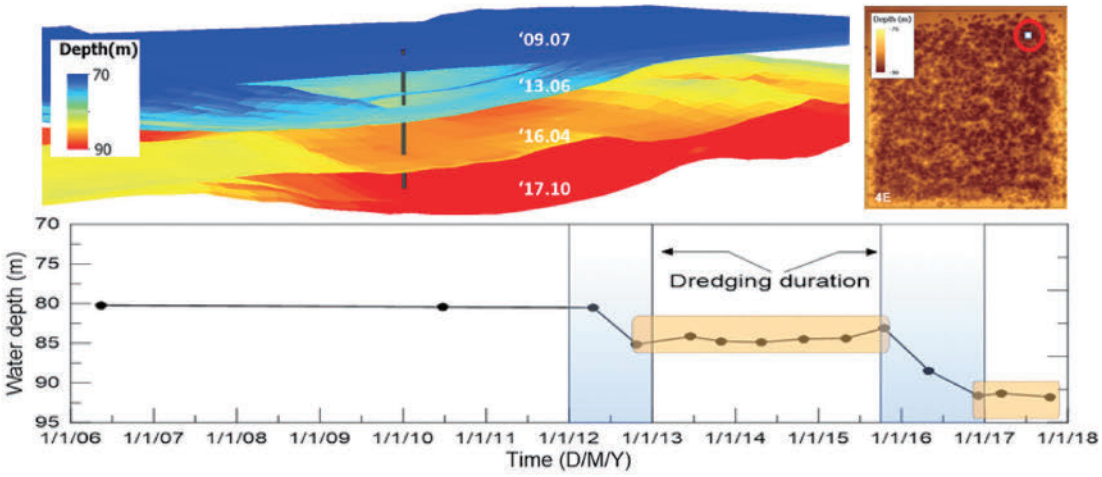

Fig. 12. Sea bed change before and after marine aggregates extraction at Zone 4E of EEZ in South sea.

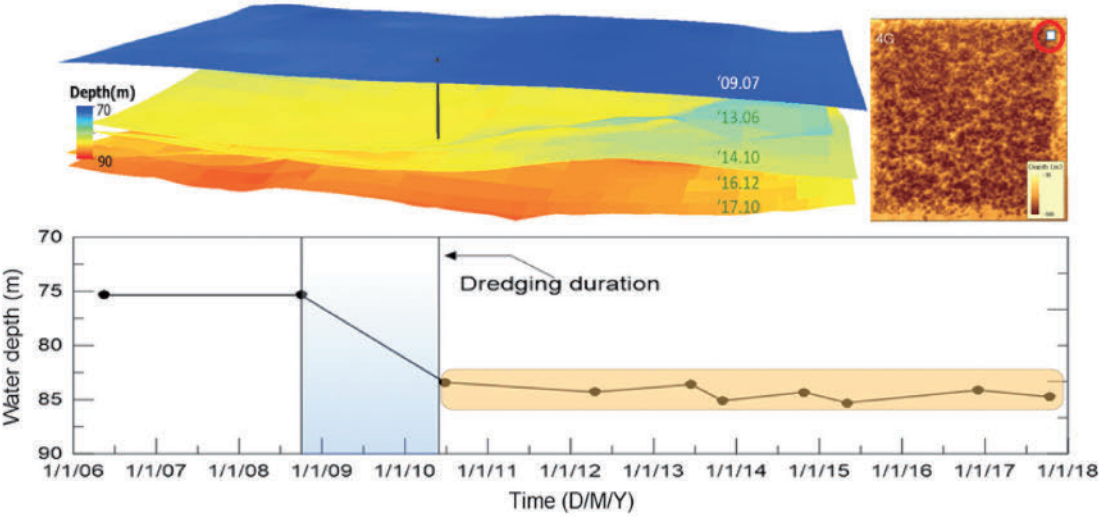

Fig. 13. Sea bed change before and after marine aggregates extraction at Zone 4G of EEZ in South sea.

채취 중단 후 남해 EEZ와 서해 EEZ의 해저지형의 단기 및 장기 자연 회복은 Fig. 12-Fig. 14에 도시하였다. 남해 EEZ의 광구 4E에서는 2012년과 2015년 10월부터 2016년 12월까지 채취하였으며, 2013년부터 2015년 9월까지 채취를 중단하였다(Fig. 12). 채취 전 수심 80 m에서 채취 중단 후 약 85 m의 수심이 회복되지 않고 유지되다가 2015년 10월 이후 채취로 인해 91.5 m로 급격히 깊어진다. 즉, 3년간의 휴지기 동안 채취로 인해 깊어진 수심이 회복되지 않는 것으로 분석되었다.

남해 EEZ 광구 4G는 2008년 10월부터 2010년 5월까지 5,973,000 m^3의 채취를 시행한 바 있으며, 이후부터는 골재채취가 시행되지 않았다. Fig. 13에 따르면 남해 EEZ에서 선정된 지점은 골재채취 전 수심 75.35 m, 골재 채취 직후인 2010년 6월 25일 측량 수심 83.4 m이며 그 후부터 2017년 10월 측량까지 84.3~85.3 m 범위로서 해저지형은 회복되지 않고 깊은 수심을 유지하고 있다. 분석 결과, 남해 EEZ 광구에서는 바다골재 채취 중단 6년이 경과된 후에도 채취 전의 해저지형으로 회복되지 않는 것으로 판단된다.

남해 EEZ 광구와 동일한 방법으로 채취 중단 후 서해 EEZ의 해저지형 회복을 판단하기 위해 광구 2와 5를 분석하였다. 광구 2에서는 2011년과 2013년에 채취활동이 이루어졌다(Fig. 14). 채취 전 수심 약 65 m에서 최초 채취활동으로 수심 약 68 m로 깊어지며, 휴지기 동안에 수심 변화 없이 유지되다가 이후 채취로 수심 약 72 m까지 깊어진다. 이 결과로부터 채취 후 해저지형의 단기 회복은 발생하지 않은 것으로 판단된다.

서해 EEZ 광구 5에서는 2011년 1월부터 2011년 4월까지만 채취활동이 이루어졌고 이후부터는 채취가 이루어지지 않았다. 채취 전 수심 약 62 m에서 채취 후 수심 약 68 m로 깊어진 후 2017년 11월 말까지 약 6년 반 동안 유지되는 것으로 분석되었다(Fig. 15).

위의 결과로부터 남해와 서해 EEZ 모두 채취로 인해 깊어진 수심, 즉 변화된 해저지형 변화는 채취 전의 해저지형으로 회복되지 않는 것으로 분석되었다.

따라서 수심이 깊고 퇴적물의 공급이 활발하지 않는 EEZ 해역의 특성을 고려할 때 해저면에 직접 영향을 미칠 수 있는 태풍 또는

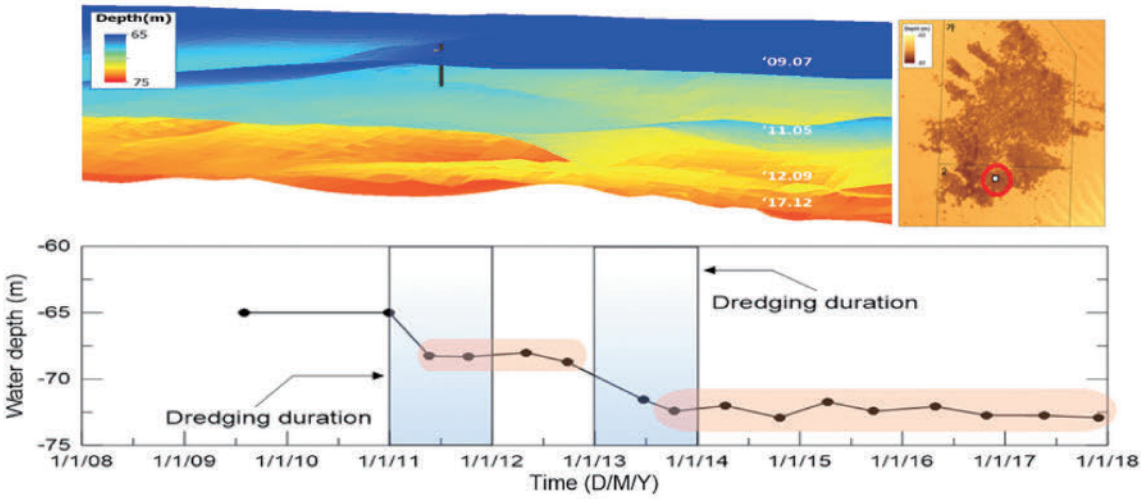

Fig. 14. Sea bed change before and after marine aggregates extraction at Zone 2 of EEZ in West sea.

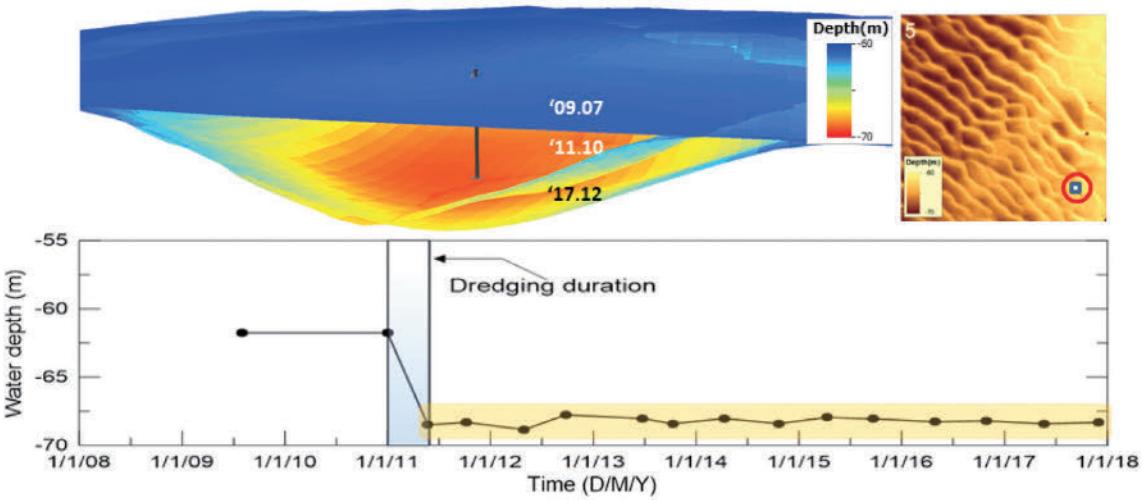

Fig. 15. Sea bed change before and after marine aggregates extraction at Zone 5 of EEZ in West sea.

폭풍에 의한 간헐적 물리적 유동 외에는 없을 것으로 판단되므로 현재 골재채취로 영향을 받은 해저지형은 매우 오랜 기간 동안 유지될 것으로 사료된다. 이러한 변화된 해저지형이 반영구적이고 채취 전의 퇴적물로 재구성되지 않는다면 저서생물 군집은 초기 발달 단계에 머물고(Boyd *et al.*[2004]), 생물학적 회복은 더 오래 걸릴 수 있다(Cooper *et al.*[2005]).

2017년 전까지 남·서해 EEZ 골재채취 허가조건으로 최대 허용 채취심도를 설정하지 않았기 때문에 남해 EEZ 최대 19.5 m와 서해 EEZ 최대 19.0 m까지 채취가 이루어진 것으로 파악되었다. 우리나라 EEZ와 달리 바다골재 선진국인 ICES 회원국들은 연안에서 골재 채취가 이루어지고 있지만 채취 종료 후 채취 전의 퇴적물 구성을 유지시키기 위해 최대 채취심도를 지정하고 있다(ICES[2016]). 사례로는 영국은 사질 또는 자갈 퇴적층 두께의 50 cm 이하 채취금지, 네덜란드 2 m 이상 채취금지 및 벨기에 5 m 이상 채취금지 등이다. 이 중 벨기에는 앞서 언급한 바와 같이 최대 채취심도를 5 m로 지정하였지만, 해저층의 특성과 구조를 고려하지 않은 결과로 채취 후 모래사퇴의 기본 형태와 기존 퇴적물 유형을 유지시키지 못하기 때문에 바다골재 이용의 지속가능성을 훼손할 수 있다는 것에 대한 과학적인 근거를 마련하였고, 이를 기반으로 새로운 최대 채취심도 산정을 위한 연구를 수행하였다(Van Lancker *et al.*[2019]).

따라서 우리나라도 골재채취 종료 후 해양생물 서식지에 대한 물리적 및 생물학적 회복을 위해 가장 신속하게 회복시킬 수 있는 최대 채취심도를 설정하여 골재채취에 대한 영향을 감소시킬 필요가 있다.

5. 결 론

남·서해 EEZ 골재채취단지에서 골재채취 전·후에 수행된 수심측량자료를 기반으로 장·단기 해저지형 변화를 분석한 결과, 2008년부터 지정된 남해 EEZ 광구의 총 채취량은 2010년 변경/연장된 서해 EEZ 광구의 총 채취량보다 약 3배에 달하는 골재채취가 시행되었다. 두 해역 모두 골재채취량이 증가할수록 채취깊이와 이에 따른 채취면적이 증가하였지만, 남해 EEZ 광구는 전체적으로 채취가 이루어진 반면 서해 EEZ 광구는 국지적으로 집중 채취가 이루진 것을 확인할 수 있다. 특히 남해 EEZ 광구는 채취량 4백만 m^3 기준으로 채취깊이 5 m 이상의 면적이 급격히 증가하였다. 분석기간 동안의 최대 채취깊이는 남·서해 EEZ 모든 광구에서 10 m 이상이었으며, 이 중 남해 EEZ의 4G 광구는 19.5 m, 서해 EEZ의 9 광구는 19.0 m에 달한다. 채취 중단 후 장·단기 해저지형 변화에서는 남·서해 EEZ 광구 모두 채취 전 해저지형으로 회복되지 않는 것으로 파악되었다.

연구해역은 해수면이 현재와 비슷한 정도까지 상승한 이후에는 깊은 수심으로 인하여 조류 및 해류의 영향이 미약하게 되어 해수면이 지금보다 얕았을 때에 형성된 해저지형이 그대로 유지되고 있는 것으로 판단된다. 따라서 골재채취로 인해 인위적으로 형성된 함몰 및 웅덩이 지형의 변화는 해저면에 직접 영향을 미칠 수 있는 태풍 또는 폭풍에 의한 간헐적 물리적 유동 외에는 없을 것으로 판단되므로 현재 골재채취로 영향을 받은 해저지형은 매우 오랜 기간 동안 유지될 것으로 사료된다.

이와 같이 회복되지 않는 해저지형 및 퇴적물의 구성 변화는 그 환경을 기반으로 서식하는 저서생태계 군집 변화와 밀접한 관계가 있는 것으로 파악되고 있다. 그러므로 깊은 수심에서의 골재채취를 수행할 경우 지형적으로 회복이 가능한 최대 채취심도의 설정 및 채취공법의 변화 등 우리나라 실정에 맞는 정책이 수립되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 2021년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원(과학기술기반 해역이용영향평가 기술개발, 20210427)의 지원을 받아 수행하였습니다.

References

[1] Bonne, W.M.I., 2010, European marine sand and gravel resources: evaluation and environmental impacts of extraction – an introduction. J. Coast. Res., 51, i–vi.

[2] Boyd, S.E., Cooper, K.M., Limpenny, D.S., Kilbride, R., Rees, H.L., Dearnaley, M.P., Stevenson, J., Meadows, W.J. and Morris, C.D., 2004, Assessment of the re-habilitation of the seabed following marine aggregate dredging. Science series technical report. CEFAS, Lowestoft 121, 1-154.

[3] Cho, D.O., 2006, Challenges to sustainable development of marine sand in Korea, Ocean & Coastal Management, 49, 1-21.

[4] Cooper, K.M., Eggleton, J.D., Vize, S.J. and Vanstaen, K., 2005, Assessment of the rehabilitation of the seabed following marine aggregate dredging. Part II. Science Series Technical Report 130. Cefas, Lowestoft.

[5] Degrendele, K., Roche, M., Schotte, P., van Lancker, V., Bellec, V. and Bonne, W., 2010, Morphological evolution of the Kwinte Bank central depression before and after cessation of aggregate extraction. J. Coast. Res., 51, 77-86.

[6] Hitchcock, D.R. and Bell, S., 2004, Physical Impacts of Marine Aggregate Dredging on Seabed Resources in Coastal Deposits, J. Coast. Res., 201, 101-114.

[7] ICES, 2016, Report of the Working Group on the Effects of Extraction of Marine Sediments on the Marine Ecosystem (WGEXT), 18–21 April 2016, Gdansk, Poland, ICES CM 2016/SSGEPI:06, 1-183.

[8] Jongbloed, R.H., van der Wal, J.T. and der Wal, J.T., and Linderboom, H.J., 2014, Identify space for offshore wind energy in the North Sea. Consequences of scenario calcurations for interactions with other marine uses, Energy Policy, 68, 320-333.

[9] Kim, T.G., 2009, Efficient management of marine resources in conflict: An empirical study of marine sand mining, Korea, J.

Environ. Manage., 91, 78-86.

[10] Kim, Y.T., Kim, G.Y., Jeon, K.A., Eom, K.H., Kim, I.C., Choi, B.R., Kim, H.J. and Kim, J.M., 2014, Improvements in the Marine Environmental Survey on Impact of Seawater Qualities and Ecosystems due to Marine Sand Mining, J. Korean Soc. Mar., 20(2), 143-156.

[11] Lee, D.I., Park, D.S., Eom, K.H. and Kim, G.Y., 2010b, Status of marine sand mining and assessment system in Korea, J. Environ. Impact Assess., Vol. 19(3), 357-365.

[12] Mielck. F., Hass, H.C., Michaelis, R., Sander, L., Papenmeier, S. and Wiltshre, K.H., 2019, Morphological changes due to marine aggregate extraction for beach nourishment in the German Bight (SE North Sea), Geo-Marine Letter, 39, 47-58.

[13] Marine Ecological Surveys (MES) Ltd., 2008, Marine Macrofauna Genus Trait Handbook, Marine Ecological Surveys Ltd, 24a Monmouth Place, Bath BA1 2AY, 1-184.

[14] Newell, R.C., Seiderer, L.J., Simpson, N.M. and Robinson, J.E., 2004, Impacts of marine aggregate dredging on benthic macrofauna off the south coast of the United Kingdom, J. Coast. Res., 20, 115-125.

[15] OSPAR Commission, 2009, Summary assessment of sand and gravel extraction in the OSPAR maritime area, 1-181.

[16] Phua, C., van den Akker, S., Baretta, M. and van Dalfsen, J., 2002, Ecological Effects of Sand Extraction in the North Sea, 1-22.

[17] POSFORD DUVIVER ENVIRONMENT and HILL, 2001, Guideline on the impact of aggregate extraction on European Marine Sites, Countryside Council for Wales (UK Marine SACs Project), 11-125.

[18] Schwarzer, K., 2010, Aggregate resources and extraction in the Baltic Sea: an introduction, J. Coast. Res., 51, 165-172.

[19] USACE, 2002, Engineering and design: Hydrographic surveying, U.S. Army Corps of Engeers Manual No. 1110-2-1003, Washington D.C., 570.

[20] Van Lancker, V.R.M., Bonne, W., Velegrakis, A.F. and Collins, M.B., 2010, Aggregate extraction from tidal sandbanks: is dredging with nature an option? Introduction. J. Coast. Res., 51, 53-62.

[21] Van Lancker, V., Francken, F., Kapel, M., Kint, L., Terseleer, N., Van den Eynde, D., Hademenos, V., Missiaen, T., De Mol, R., De Tre, G., Appleton, R., Van Heteren, S., Van Maanen, P.P., Stafleu, J., Stam, J., Degrendele, K. and Roche, M., 2019, Transnational and Integrated Long-term Marine Exploitation Strategies (TILES). Final Report. Brussels: Belgian Science Policy 2019 – 75 p. (BRAIN-be - Belgian Research Action through Interdisciplinary Networks)

[22] Van Rijn, L.C., Soulsby, R., Hoekstra, P. and Davies, A., 2004, Sand Transport and Morphology of Offshore Sand Mining Pits/Areas-(SANDPIT). In: European Conference on Marine Science & Ocean Technology, 249.

[23] Velegrakis, A.F., Ballay, A., Poulos S., Radzevicius, R., Bellec, V. and Faustino, M., 2010, European marine aggregates resource: Origins, usage, prospecting and dredging techniques, J. Coast. Res., 51, 1-14.

Received 5 October 2021
Revised 20 October 2021
Accepted 15 November 2021