



해저케이블사업에 따른 해양환경영향평가 개선방안

이용민 · 오현택* · 김성은
(국립수산과학원 해역이용영향평가센터)

Improvement of Marine Environmental Impact Assessment for Submarine Cable Project

Yong-Min YI · Hyun-Taik OH[†] · Seong Eun KIM
(Marine and Fisheries Environmental Impact Assessment Center, National Institute of Fisheries Science)

Abstract

Development activities in the marine are steadily increasing, and its usage and development has been enlarged and diversified. For the effective evaluation of the marine environmental impact of the submarine cable project, which is one of the sea development activities, it is necessary to make evaluation that fully reflects the characteristics of projects and carry out continuous studies related to it. In this study, we examined the current status of submarine cable projects and the marine environmental impact of cable projects. As a result of reviewing the statement of the sea area utilization consultation, the number of projects related to submarine cable were 20 from 2012 to 2017. And they were concentrated on the South and West coasts, with 60% in the South Sea, 35% in the West Sea, and 5% in the East Sea. By the type of cable, the number of cable projects for communication and power were 9 and 8, respectively. The effects of the submarine cable project include the disturbance of the submarine bed, the resuspension of pollutants due to diffusion of suspended matter, and the noise during the process of burial, operation, and removal of cables. Specially, in case of power cable, it was found that electromagnetic field and heat radiation occurred in the operation phase. For effective impact assessment of cable projects, at the time of the current survey, it is necessary to survey the marine usage, protect area and the pollution status of the sediments of project area. At the stage of prediction of impact, the influence on the electromagnetic field should be taken into consideration as well as suspended materials dispersion. In case of mitigation measures, it is possible to minimize the impact by selecting the route based on the status survey results. In the case of monitoring, it is needed to select the survey point focusing on the route and to include the comparison of the photograph or video data of before and after projects.

Key words : Submarine cable, Marine environmental impact assessment, Consultation on the coastal area utilization

I. 서론

현재, 우리나라는 경제발전이 수반하여 연안에 대한 이용도의 증가와 함께 공유수면의 매립, 항로 및 정박지의 준설, 공작물의 설치 등 해역에

서의 이용이 활발히 이루어지고 있다. 그러나 이러한 공유수면의 이용개발행위로 인하여 해양환경은 점차 악화되고 있기 때문에 개발에 따른 환경영향을 미리 예측하고 그에 대한 저감계획을 수립하여 해양환경에 미치는 부정적인 영향을 최

[†] Corresponding author : 051-720-2962, ohtek@korea.kr

* 본 논문은 2017년도 국립수산과학원 수산연구사업 어장환경모니터링(R2017053)의 지원으로 수행된 연구입니다.

소화하기 위한 노력이 필요하다(Shin and Kim, 2010). 이에 따라 연안개발의 수요변화에 능동적으로 대처하고 해양환경을 효율적으로 이용·관리하기 위해 해양환경관리법에 의거한 해역이용협의제도와 해역이용영향평가제도가 2008년 1월부터 시행되고 있다. 해역이용협의제도는 공유수면 점·사용과 매립, 어업과 바다골재채취의 면허허가 또는 지정 등을 하고자 하는 행정기관의 장이 면허 등을 하기 전에 대통령령이 정하는 바에 따라 미리 해양수산부장관과 해역이용의 적정성 및 해양환경에 미치는 영향에 관하여 협의하는 제도이다(Kim et al., 2009). 해역이용협의서 상의 영향평가는 주로 해수유동의 변화, 부유사발생영향에 측 및 이로 인한 생태계에 미치는 영향이 주를 이루고 있다. 최근, 해양에서의 개발이용행위가 꾸준히 증가하고 있으며, 개발이용 형태도 다양화, 대형화 되고 있는 추세에서 새로운 형태의 사업의 경우, 실효성 있는 해양환경영향평가를 위해 지속적인 연구가 필요하며 사업의 특수성을 적용하여 기존체제와는 다른 기준의 평가가 이루어져야 한다.

대표적인 예로 해저케이블 사업을 들 수 있다. 해저케이블은 작게는 도서 간에 통신 또는 전력을 공급하게 위해 설치되고 광역적으로는 국가간 통신을 위해서 설치된다. 특히, 신재생에너지 개발이 국가간의 의무사항으로 대두되며, 풍력발전이 주요 관심사업으로 부각되고 있음을 감안해볼 때(Kim et al., 2012), 앞으로 해저케이블 사업은 점차 증가할 것으로 예상된다.

해저케이블 공사의 경우 사업의 특수성으로 인해 해양환경영향평가지 다른 접근방법이 필요함에도 불구하고 일괄적인 평가가 대부분이며 케이블과 해양환경 및 생태계의 관계에 대한 연구는 해외에서는 활발히 이루어진 바 있으나, 국내에서는 관련연구가 전무한 실정이다(Andrulewicz et al., 2003; Dunham et al., 2015; Kavet et al., 2016; Kogan et al., 2006; Krylov et al., 2014; Lucca, 2013).

이에 따라 본 연구에서는 국내에 해저케이블 설치 사업의 현황을 파악하고 사업에 따른 해양환경에 미치는 영향을 고찰하였다. 이를 바탕으로 해양환경영향평가지에 중점적으로 고려해야 할 사항을 제시하고자 하였다.

II. 연구 방법

해저케이블 사업과 관련된 협의서 현황 분석을 위한 기초자료로서 해역이용영향검토기관에 의뢰된 협의서의 내용을 이용하였다. 2012년부터 2017년 사이에 검토 요청된 해역이용협의서와 검토의견을 종합적으로 분석하였다. 이러한 분석자료를 바탕으로 연도별, 지역·해역별, 케이블종류별, 협의대상(일반, 간이) 등으로 구분하여 현황을 파악하였다. 그리고 국내·외 연구자료 및 관련 사례 검토를 통해서 케이블사업에 따른 해양환경영향을 고찰하였으며 이를 바탕으로 해양환경영향평가지 고려해야 될 사항에 대해서 제시하였다.

III. 결과 및 고찰

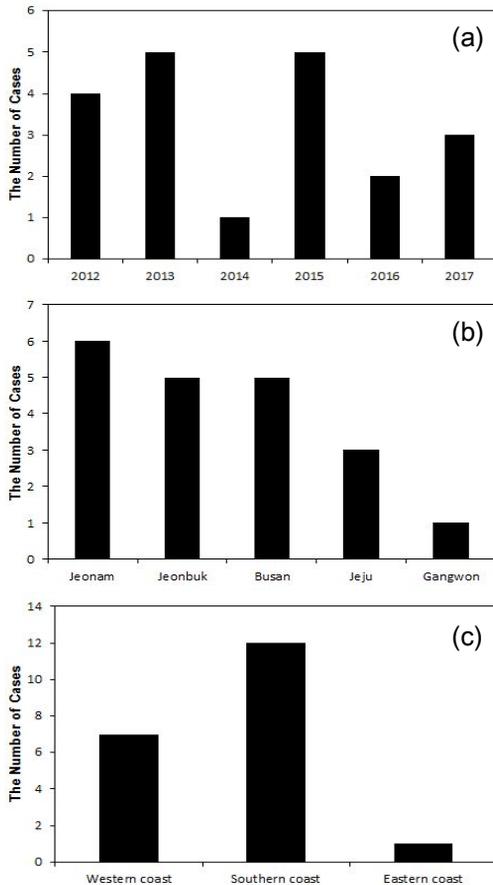
1. 해저케이블 건설사업의 현황

가. 연도 및 지역별 현황

국내 해저케이블건설사업의 해역이용협의의 연도별, 행정구역별, 해역별로 분석한 결과는 [Fig. 1]과 같다. 연도별 현황은 2012년부터 2017년까지 총 20건으로 각각 4건, 5건, 1건, 5건, 2건, 3건으로 나타났으며 2013년과 2015년에 5건으로 가장 많았고, 2014년에 1건으로 가장 적었다. 해저케이블과 관련하여 많은 사업이 이루어지고 있는 것은 아니었으나 연도별로 꾸준히 사업이 일어나고 있는 것으로 나타났으며 신재생에너지의 요구에 힘입어 향후 해저케이블 건설은 증가할 것으로 판단된다.

지역별로는 전남과 전북에서 각각 6건, 5건으

로 전라도 지역이 다른 지역에 비해 가장 많았으며, 부산(5건), 제주(3건), 강원(1건)으로 나타났다. 해역별 구분은 해남에서 울산을 기준으로 하여 해남 북쪽은 서해, 울산 북쪽은 동해, 해남에서 울산은 남해로 구분하였다.



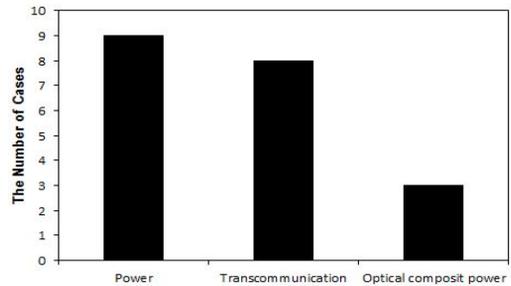
[Fig. 1] The number of review cases of statements in consultation by (a) year, (b) province and (c) coast.

사업지역은 남해가 60%, 서해가 35%, 동해가 5% 비율로 나타나 대부분 서남해에 집중된 것으로 나타났다. 대부분의 해저케이블 건설사업이 전라도의 서·남해에서 실시되는 이유는 이 지역이 동해안에 비해 크고 작은 유인도가 많기 때문에 도서간의 전력 또는 통신을 공급하기 위한 것

으로 판단된다. 동해의 경우 울릉도와 육지간의 통신케이블을 연결하는 사업이 유일하다.

나. 케이블 종류별 현황

해저케이블은 그 목적에 따라 전력케이블과 통신케이블 그리고 전력과 통신의 복합케이블로 나뉜다([Fig. 2]). 2012년~2017년의 검토건수를 검토한 결과, 전력케이블은 9건으로 가장 많았고, 통신케이블은 8건으로 나타났으며 전력과 통신을 함께 포함하는 복합케이블은 3건으로 나타났다. 전력케이블과 통신케이블은 매설되는 행위에서 발생하는 해양환경에 미치는 영향은 동일하게 나타날 수 있으나 전력케이블의 경우 운영시 전력의 공급에 따라 발생하는 전자기장에 의해 해양환경 및 생태계에 영향이 발생할 수 있으므로 이에 대한 중점검토가 요구된다.



[Fig. 2] The number of review cases of statements in consultation by classification of cable.

다. 해저케이블 공법 현황

해저케이블의 설치공사는 크게 매설형태와 비매설형태로 구분할 수 있다. 매설의 경우에는 Plough, Jetting system, Dredging system, Rock wheel cutter and chain excavators 등의 장비를 이용하여 해저의 퇴적층을 굴착하게 되고 케이블을 설치하게 된다. 이때 사용되는 매설장비에 따라 해양환경에 미치는 영향은 서로 다르게 나타난다. 가령, Jetting system에 비해 Plough를 이용하여 매설할 경우, 부유사 확산의 영향이 작다고

알려져 있다. 이러한 장비는 사업대상지의 수심 및 퇴적물의 형태 등을 고려하여 선택되어진다. ○○ 사업의 경우, 수심별로 구간을 구분하여 공법을 선정하였다([Fig. 3]). 수심 30 m 미만의 해역에서는 Jetting 장비 및 잠수부에 의해 매설작업을 시행하였고 수심 30m ~ 600 m 구간에서는 쟁기식(Plough) 매설기를 이용하여 매설심도 1.5 m 기준으로 케이블을 매설하였다. 암반구간의 경우에는 우라덕트(Uraduct)를 설치하여 케이블을 포설하였다. 이후 Stone bag 또는 Rock-Berm을 이용하여 케이블을 보호하였다. 또 다른 ○○ 사업의 경우에는 해저수평지향성압입공법을 이용하여 케이블을 설치하였다. 이 공법은 특수장비를 통해 지하를 착공하여 홀을 형성하는 공법으로 해저퇴적물의 교란을 일으키지 않아 이로 인한 부유물질 또는 오염물질의 확산에 따른 해양환경에 부정적인 영향은 거의 없는 공법이다.

비매설형태의 경우는 저질층이 단단한 암반 형태로 구성되어 충분한 매설깊이를 확보하지 못할 경우에 이용되며 케이블을 보호하기 위해 추가적인 보호공법이 이용된다. 이와 같이 하나의 케이블 사업에 있어 수심과 퇴적층의 형태가 다양하게 나타나기 때문에 대상지의 특성에 따라 다양하며 복합적인 공법이 이용된다. 따라서 해저케이블사업에 따른 환경영향을 평가할 경우에는 대상사업의 공정을 고려하여 그 공정에 맞는 평가가 이루어질 필요가 있다.



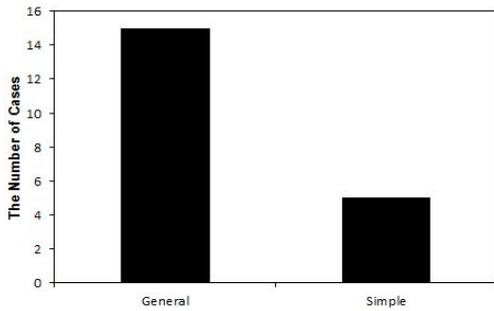
[Fig. 3] Case of installation of submarine cable(KT, 2015)

라. 사업규모에 따른 협의서 대상별 현황
해역이용협의서는 「해양환경관리법」 제84조 제1항에 따라 해역이용협의 대상사업이 구분되어지며 해양환경에 미치는 영향이 큰 사업으로서 신중한 검토 및 협의를 필요한 사업을 ‘일반해역이용협의사업’이라고 하고 해양환경에 미치는 영향이 경미한 소규모 사업을 ‘간이해역이용협의사업’이라고 한다. 2012년~2017년에 검토된 협의서를 협의대상별로 살펴보면, 해저케이블 건설 사업의 경우 대부분 일반해역이용협의의 대상이었고, 20건 중 5건만이 간이대상사업이었다([Fig. 4]).

해저케이블사업의 경우 해역이용협의대상사업 중 「해양환경관리법」 제84조 제1항에 따라 공유수면에 부두·방파제·교량·수문·건축물, 그 밖의 공작물을 설치하는 사업에 해당하며 길이와 면적에 따라 일반 또는 간이협의대상사업으로 구분된다. 그 대상의 기준은 길이가 150 m 이상 또는 면적 3,000 m² 이상일 경우에는 일반협의대상에 해당하며 미만일 경우에는 간이협의대상이 된다. 5건의 간이협의대상사업의 경우, 길이 기준으로 모두 일반해역이용협의에 해당하나 면적기준을 이용하여 간이협의의를 받은 것으로 나타났다. 간이와 일반을 구분하는 기준의 경우, 길이 또는 면적 중 어느 하나를 기준으로 정하고 있는 것이 아니라 두 기준 모두를 적용기준으로 보고 있어 규정에 따라 정확한 적용이 요구된다.

또한, 점·사용면적 산정에 있어서 주로 케이블의 직경 및 길이를 바탕으로 면적을 산정하고 있어 이에 대한 개선이 요구된다. 공유수면 점용·사용면적 산정기준은 공유수면 관리 및 매립에 관한 업무처리규정에 따라 직접 점용·사용면적과 간접 점용·사용면적으로 구분하여 그 면적을 산정하게 되나, 케이블 사업과 관련해서는 산정근거가 명확하게 없는 실정이다. 해저케이블사업의 경우 케이블 매설과 케이블 보호를 위한 다양한 공법으로 인해 사업면적은 케이블 설치구간 외에도 그 주변부까지 더 넓은 면적을 차지한다고 할 수 있어 이를 고려한 점·사용면적의 산정이 필요

할 것으로 판단된다.



[Fig. 4] The number of review cases by classification of statements in consultation.

2. 해양환경 및 생태계에 미치는 영향

사업으로 인하여 발생할 수 있는 영향에 대한 파악은 해양환경영향평가에 있어서 중요한 부분 중에 하나이다. 실효성이 높은 해양환경영향평가를 위해서는 사업의 특수성을 충분히 반영하여

그에 맞는 해양환경영향평가가 이루어질 필요가 있으며 그러기 위해서는 무엇보다도 사업에 의해 발생할 수 있는 해양환경 및 생태계의 영향을 파악할 필요가 있다. 그럼에도 불구하고 국내에서는 케이블사업과 관련하여 해양환경 및 생태계에 어떠한 영향이 있는지에 대한 연구가 거의 이루어지고 있지 않은 실정이다. 따라서 국외 논문 및 보고서를 바탕으로 케이블 사업으로 인한 해양환경 및 생태계에 미치는 영향을 고찰하였다.

케이블 사업과 관련하여 해양환경에 미칠 수 있는 영향은 단계별로 매설하는 단계, 케이블을 운영하는 단계, 그 외에 수리 및 복구, 해체를 하는 단계에서 발생할 수 있다. 매설하는 단계에서 발생할 수 있는 영향은 전력케이블, 통신케이블 구분없이 서로 동일하나 운영단계에서는 차이를 보인다. 전력케이블의 경우에는 전력 수송에 따른 전자기장 및 열이 발생하기 때문에 이에 대한 고려도 이루어져야 한다.

<Table 1> Overview of How the Effects of Subsea Cable Installation and Operation Interact with Environmental Receptors. DE = Direct Effects, IE = Indirect Effect

Type of cable	Subsea cable impact	Intertidal habitat	Offshore benthic habitat	Fish ecology	Marine mammals	Birds	Commercial fisheries	Navigation and shipping	
Telecommunication cable/ Power cable	Seabed disturbance	DE	DE	DE		IE	IE		
	Increased in suspended sediment concentrations and deposition	DE	DE	DE		IE	IE		
	Potential contaminant release from sediment	DE	DE	DE	DE		IE		
	Underwater noise and disturbance from vessel and installation activity				DE	DE	DE	IE	DE
	Exclusion of other industries from the area							DE	DE
Power cable	Electromagnetic field	DE	DE	DE	DE		IE		
	Thermal radiation	DE	DE						

Source: OSPAR, 2009 NIRAS, 2015.

케이블의 매설, 운영, 제거하는 과정에서는 해저층의 교란, 부유물질의 확산에 의한 오염물질의 재부유, 소음, 전자기장, 열복사가 발생하게 되며 이는 다양한 수용체에 영향을 미친다(NIRAS, 2015). 케이블사업에서 발생하는 환경의 변화와 그 변화가 각 수용체에 미치는 영향여부는 <Table 1>과 같다.

가. 해저층 교란

해저케이블을 설치하거나 수리 및 제거하는 단계에서 물리적인 교란과 그에 따른 해저층에 서식하고 있는 동식물에 부정적인 영향을 야기시킬 수 있다. 이러한 교란은 결과적으로 생물 다양성, 생물풍부도, 생체량의 감소를 일으킨다(Dernie et al., 2003; OSPAR, 2012). 트롤어업, 어선 및 상선의 정박, 대규모 준설 등과 같은 행위에 비하면 해저케이블 매설에 따른 교란의 정도는 일시적이고 다소 제한적이다(Carter et al., 2009; OSPAR, 2012). 해저케이블을 매설하는 과정에서 해저에 자국을 남기게 되며 그 영향범위는 매설장비와 퇴적층의 종류에 따라 다르게 나타난다.

이동성을 가지는 저서생물종은 퇴적층의 교란으로부터 회피할 수 있으나 고착성 생물 및 주변 환경에 민감한 종들은 영향을 더 크게 받는다(OSPAR, 2012). 케이블을 매설하는 과정에서 퇴적층의 교란이 발생하는 케이블 양쪽으로 2~3 m 범위에서는 저서생물은 직접적인 영향을 받게 된다(Bald et al., 2014). 또한 특정 퇴적층을 산란지로 이용하는 어류에게 있어 케이블에 의한 교란은 산란지의 공간적인 훼손과 함께 알 또는 자치어에 피해를 줄 수 있다(Forewind, 2014; Lancaster et al., 2014; Van der Kooij et al., 2008).

나. 부유물질의 확산

케이블을 설치하는 동안 해저층의 퇴적물은 재부유하여 해수의 부유물질 농도를 증가시키며 이는 해양생물에 영향을 미친다(Dernie et al., 2003). 이때 발생하는 부유사는 해저퇴적층의 성장 또는 매설하는 방법에 따라 다양하게 나타나나 일반적

으로 골재채취와 같은 행위에 비하면 그 발생량은 작다.

부유물질농도의 증가는 먹이생물상의 변화 및 질적 저하를 야기시켜 무척추동물의 섭식변화 및 성장을 저해시키는 요인으로 작용한다. 또한, 부유물이 저질층으로 퇴적하게 되면 저질층의 질적 저하 및 용존산소(DO)를 감소시키게 되고 이는 서식처의 환경변화가 발생하여 부유물질에 대한 무척추동물의 내성 저하로 이어지게 되며 이는 무척추동물 군집의 종밀도와 종다양성을 감소시켜 연안 수역의 무척추동물 군집변화를 일으키게 된다(Quinn et al., 1992; Ellis et al., 2002). 부유물질농도 증가에 따른 패류의 생리적 저해현상은 여과율 저하, 섭이율 감소, 산소소비율 증가, 대사율 저하 및 성장저하 등으로 나타났으며, 수체내의 미세토사입자는 패류의 아가미에 부착하여 호흡장애 및 섭식장애를 일으켜 폐사를 유발한다.

연어류와 같은 어류는 부유물질이 증가됨에 따라 수정란 발생 및 자치어류의 발달이 저해되고 생존에도 영향을 받게 된다. 또한 아가미 조직에 붙어 호흡을 저해시키고, 대사활동에도 영향을 미친다. 이로 인해서 면역력 및 삼투압 기능이 저하하게 되고 결국 폐사가 발생하기도 한다.

일반적으로 해수 내에서 부유물질이 증가하게 되면 수중의 광량이 감소하게 되고 이는 해조류의 광합성 작용에 직접적인 영향을 미치게 되고 저농도의 부유물질이라도 해조류 유주자의 착생을 저해하게 된다. 또한 부유물질의 발생이 장기간 지속되면 해조류의 성장을 둔화시키거나 폐사시키게 되며, 해조류의 분포를 제한하게 된다(Lee, 2015).

다. 퇴적물의 오염물질 확산

해저케이블의 설치작업은 해저층을 교란하여 퇴적층에 존재하는 오염물질을 재부유시키게 된다(BERR, 2008). 퇴적층의 종류는 재부유율 뿐만 아니라 결합하는 오염물질의 종류를 결정하게 되며, 해안선 인근을 따라 주로 나타나는 유류 및

중금속 같은 오염물질은 일반적으로 세밀한 퇴적물에 결합하여 나타난다(BERR, 2008).

수층에 방출된 오염물질은 일정 수준에 도달하면 특정 종에 영향을 줄 수 있으며 먹이 사슬을 통해 생물축적이 일어날 수 있다(BERR, 2008). 해양 생물은 저서생물의 섭취를 통해서 퇴적물 내의 오염물질 역시 섭취하게 된다(CEFAS, 2001). 해수에 남아있는 오염 물질은 확산, 활성 흡수 또는 장내 흡수를 통해 유기체에 의해 흡수될 수 있으며 (CEFAS, 2001), 오염 물질에는 유기 화합물과 무기 화합물이 모두 포함된다. 수은, 카드뮴, 납 등의 중금속은 저농도에서 독성을 띄며 생물의 성장에 필수요소인 구리, 철, 아연 등은 고농도에서 독성을 띄게 된다. 또한 탄화수소, polyaromatic hydrocarbons (PAHs), polychlorinated biphenyls (PCBs), 살충제, 금속 및 알킬 페놀등도 독성이 높은 것으로 알려져 있다(CEFAS, 2001).

오염된 연안지역에 서식하고 있는 어류는 성장 속도가 느리고 사망률이 높았다고 보고 된 바 있으며(McGourty et al., 2009), 어류는 PAHs 오염에 매우 민감하여 비특이적 면역 및 특이적 면역에 모두 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Reynaud and Deschaux, 2006).

퇴적물에는 유류 및 중금속과 같은 유해물질 외에도 총질소와 총인과 같은 영양물질을 포함하고 있어 연안지역의 경우, 케이블의 설치가 퇴적층 내의 영양물질을 수체 내로 부유시켜 결과적으로 부영양화를 일으킬 수 있다.(NIRAS, 2015)

라. 전자기장

해저케이블은 전기의 흐름으로 인하여 전자기장을 방출한다(Gill and Barlett, 2010). 전력케이블은 크게 AC(교류) 케이블과 DC(직류) 케이블로 구분되며, AC 전원 케이블은 근해 재생 에너지 시설의 산업 표준으로 이용되고, DC 케이블은 더 먼 전송 거리, 해외 프로젝트 또는 인터 커넥터 케이블용으로 사용된다. AC 및 DC 케이블 모두 전계 강도는 케이블의 전압과 직접 관련이 있다.

케이블의 자기장은 케이블에서 거리가 멀어질수록 급격하게 낮아지는 경향을 보인다(Normandeu et al., 2011). Andrulowicz et al.(2003)는 케이블의 수 미터 내에서 자기장의 변화가 나타나고 20m의 거리에서 자기장의 변화가 자연적 변화를 초과하지 않는다고 보고한 바 있다. 케이블 내의 전류가 높아지면 더 큰 전자기장이 발생한다(Gill and Bartlett, 2010). 자기 감도는 생물체의 위치파악 및 방향감각과 관련이 있는 것으로 알려져 있다(BERR, 2008). 전자기장은 해양생물의 먹이 탐지, 포식, 방향 및 번식에 영향을 줄 가능성이 있다(Normandeu et al., 2011). 특히, 수산생물 중 특정종은 방향 탐지를 위해 지자기장을 이용하기 때문에 HVDC 케이블을 설치할 경우, 어류의 이동에 영향을 줄 수 있다는 우려가 있다. Gill and Bartlett (2010)은 해저케이블에서 방출되는 전자기장에 의한 뱀장어 및 연어의 반응을 파악하기 위한 연구결과, 통계학적으로 유의한 결과를 보이지는 않았지만, 얇은 물에서 해저 케이블에서 방출되는 전자기장은 뱀장어 및 연어의 유영 방향의 일시적인 변화에서 회피 반응 또는 이주 지연까지 다양하게 나타났다고 보고하였다. 이와 같이 아직 명확한 상관관계를 제시한 연구는 없어 이에 대한 지속적인 연구가 이루어질 필요가 있다.

해양 포유류와 관련하여, 일부 고래류 종들은 지자기장을 이용한다고 알려져 있다(Fisher and Slater, 2010). 그러므로 인위적인 자기장은 해양 포유류의 유영에 영향을 줄 가능성이 있다. 이로 인해 에너지 사용량이 증가하고 이동이 지연되거나 움직임이 변경 될 수 있으며, 최악의 경우 육지로 올라와 돌아가지 못하는 현상이 발생하기도 한다(Fisher and Slater, 2010; Normandeu et al., 2011).

마. 소음 및 진동

대부분의 해양포유류는 청력에 의존하여 의사소통, 유영, 수렵 그리고 포식자 탐지에 필요한

활동을 하기 때문에 인위적인 수중소음은 해양포유류에게 악영향을 준다(Sun et al., 2012). 어류와 같은 해양생물은 수중에서의 인위적인 소음이 배경소음보다 크게 나타나면 도피반응을 보이게 되며 특히, 부리는 충격소음에 약한 것으로 알려져 있다(Yoon et al., 2006). 수중 소음은 트렌칭, 케이블 설치 및 케이블 보호시설의 도입 과정에서 사용되는 선박 및 기계로 인해 발생할 수 있다. 특히, HVAC 케이블을 사용하는 경우 케이블에서 발생하는 영구 진동·소음도 고려되어야 한다(Meißner et al., 2006). 하지만 케이블 설치 선박이 단기간에 존재하기 때문에 주변 환경에 장기적인 영향을 미칠 가능성은 높지 않다. 수중 소음의 측면에서, 지진 조사, 굴착, 파일 해머 또는 군사 활동과 비교할 때, 해저 케이블 사업과 관련된 소음 발생은 해양 동물을 미치는 영향은 크지 않은 것으로 여겨지나 수중 소음이 해양 생물에 미칠 수 있는 영향은 발생원에 대한 끌림, 회피, 일시적인 청력 손상 또는 영구적인 신체 상해 등이 있다(Nedwell and Howell, 2004; Meißner et al., 2006).

바. 종합적 영향고찰

케이블설치사업으로 인해 해양환경 및 생태계에 미치는 영향을 고찰한 결과, 케이블사업으로 인해서 발생하는 퇴적층의 교란, 부유물질 및 오염물질의 확산, 소음 및 진동 등은 매립 또는 준설과 같은 행위에 비해 상대적으로 크지 않은 것으로 나타났다. 다만, 다른 개발행위와 달리 해저케이블 사업에서 전력 케이블을 설치하는 경우 전류의 흐름에 따라 전자기장이 발생하게 되고 이는 해양생태계에 영향을 미칠 수 있으므로 이에 대한 평가를 포함할 필요가 있다. 또한 케이블사업으로 인한 영향범위가 넓지 않은 것을 고려해볼 때, 사업으로 인한 영향을 파악하기 위해서는 해양환경영향조사시 조사정점을 케이블설치 구간으로 중점으로 선정함으로써 사업에 영향 파악을 위한 평가의 질이 높아질 수 있으리라 판단된다.

IV. 해저케이블 건설사업의 해양환경영향평가지 개선방안

1. 현황조사 부문

가. 케이블설치구간에 대한 해석이용현황

케이블사업의 경우, 사업대상면적은 넓지 않지만 선적으로 긴 형태를 띄고 있어 해석을 이용하는 다른 사업 또는 행위와 상충될 가능성이 높다. 따라서 현황조사시에는 케이블설치계획노선을 중심으로 공유수면에 대한 이용현황을 충분히 파악하여야 한다. 골재채취지역, 앞으로 준설 또는 채취지역으로서의 가능성이 있는 지역, 항로, 어업권, 보호구역 등에 대상구역에 대한 이용실태를 파악을 통해서 노선을 확정하는데 기초자료로 활용하여야 할 것이다.

나. 지형 및 퇴적물 오염현황

케이블의 설치구간에 대한 지질조사를 철저히 시행하여야 한다. 해저지질조사는 케이블의 설치공법에 영향을 미침과 동시에 케이블의 안정성 확보를 위한 중요한 요소이기도 하다. 또한 구간에 대한 퇴적물 현황을 조사하여 유류 또는 중금속 오염이 나타나는 지역에 대한 조사가 필요하다. 이는 케이블 설치에 따른 해저층의 교란으로 인해서 오염물질이 수층으로 용출되어 해양생태계에 부정적인 영향을 줄 수 있기 때문이다.

케이블을 설치하기 전에 퇴적물의 오염도를 평가할 필요가 있으며 케이블노선 계획시 오염된 퇴적층을 피해서 노선을 확정하여야 한다(OSPAR, 2009; Meißner et al., 2006).

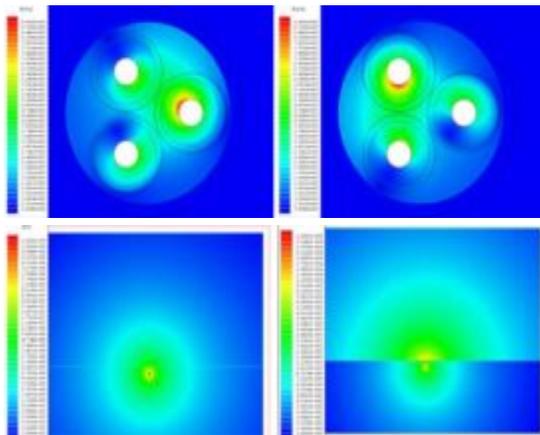
2. 영향예측 부문

해저케이블 설치사업으로 인한 영향으로는 앞서 고찰에서 언급하였듯이, 해저층교란, 부유물질의 확산, 퇴적물의 오염물질 확산, 전자기장 등이 있다.

해저케이블을 설치하는 경우, 케이블을 매설하

는 과정에서 퇴적층의 굴착이 발생하게 되고 이는 퇴적층의 교란 및 부유사확산이 일어나게 된다. 따라서 굴착공정이 포함되는 해저케이블 사업의 경우, 모델을 통한 부유사확산범위를 예측하고 주변 어업권 또는 주요 생물 서식지에 미치는 영향을 예측하여야 한다. 부유사확산예측은 EFDC 모형의 퇴적물모듈을 이용하여 부유물질의 침강, 퇴적, 이류 및 확산에 의한 부유물질 거동을 모의할 수 있으며 해수유동 모듈과 연계하여 운용된다.

특히, 전력선을 설치하는 사업은 운영시 전자기장이 발생하게 되므로 이에 대한 영향 검토가 필요하다. 전자기장 방출의 범위 및 강도는 Maxwell 2D 라는 프로그램을 사용하여 정량화할 수 있다. 모델은 유한 요소법을 사용하여 Maxwell의 방정식을 풀어내게 되며, 구조를 여러 작은 영역으로 나눈다. 이 영역은 유한 요소 메쉬라고 하는 여러 개의 삼각형으로 표현된다. 케이블의 구조 및 특정 관련 재료 특성, 현장을 설명하는 경계 조건, 전류 또는 전압 등을 입력데이터로 하여 케이블에서 발생하는 전자기장을 예측할 수 있다(Fig. 5)



[Fig. 5] Cases of modeled for magnitude of the magnetic flux density(Gill et al., 2012)

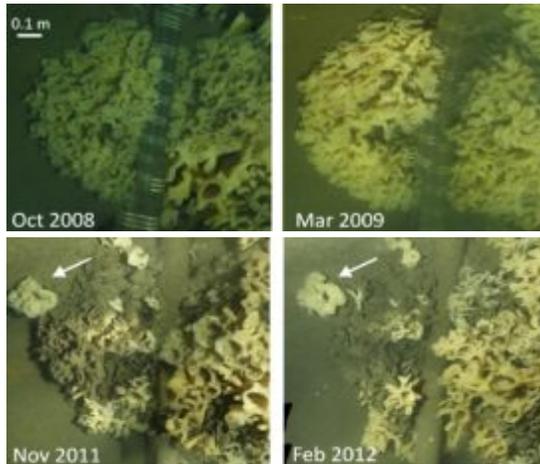
3. 저감방안 부문

케이블사업과 관련한 저감방안은 케이블 설치 구간에 대한 철저한 현황조사와 직결된다. 현황조사 의 결과를 바탕으로 민감한 서식처 또는 보호가치가 높은 지역, 퇴적물의 오염이 높은 지역 등을 고려하여 계획노선을 설정함으로써 케이블 사업으로 인한 해양환경에 미치는 영향을 최소화할 수 있다. 또한 주변에 어업권이 위치한 경우에는 어업어종의 산란기, 생장기, 출하시기 등을 고려하여 공사시기를 설정함으로써 어업권에 미치는 피해를 최소화 할 수 있다. 그 밖에 전력케이블을 설치할 경우 발생할 수 있는 전자기장의 영향은 매설깊이를 충분히 확보함으로써 상당부분 감쇄할 수 있으며 매설이 불가피할 경우 추가적인 저감방안이 모색되어야 한다.

4. 해양환경영향조사 부문

해저케이블사업은 면적 사업이 아니라 선적 사업이라는 특수성과 그 영향범위를 고려하여 해양환경영향조사계획을 수립할 필요가 있다. 케이블 사업에 의한 영향범위는 전자기장의 경우 2~3m, 퇴적층의 교란에 의한 영향은 10m 내외로 알려져 있으므로 계획노선을 중심으로 정점을 선정하고 조사가 이루어질 필요가 있다.

일반적으로 해양환경영향조사는 해양수질 및 해양퇴적물, 해양동식물상에 대해서 표본 조사를 통해서 이루어지나 이를 통해서 사업에 의한 영향을 파악하기 어렵다. Dunham et al.(2015)는 해저전력케이블에 따른 저서대형동물의 영향을 파악하기 위하여 ROV(Remotely Operated Vehicle)을 이용하여 영상 또는 사진자료의 비교를 통한 조사가 이루어진 바 있다(Fig. 6). 보다 실효성 있는 조사를 위해서는 이와 같이 해저케이블의 노선을 중심으로 한 사진 또는 영상 비교 조사가 요구된다. 또한 해저케이블의 경우 해류의 흐름에 따라 케이블의 이동이 발생할 수 있으므로 정기적인 조사를 통해서 이를 확인하고 계획노선을 이탈할 경우 즉각적인 복구 또는 보수가 이루어져야 한다.



[Fig. 6] Case of using a time series of image(Dunham et al., 2015)

References

- Andrulewicz, E. · Napierska, D. & Otremba, Z. (2003). The environmental effects of the installation and functioning of the submarine SwePol Link HVDC transmission line: A case study of the Polish Marine Area of the Baltic Sea. *Journal of Sea Research*, 49(4), 337~345.
- Bald J. · Hernández C. · Galparsoro I. · Germaán Rodrigues J. · Muxika I. · Enciso Y. T. and Marina D.(2014) Environmental impacts over the seabed and benthic communities of submarine cable installation in the Biscay marine energy platform. *Proceedings of the 2nd international conference on environmental interactions of marine renewable energy technologies (EIMR2014622)*, 28 April - 02 May 2014, Stornoway, Isle of Lewis, Outer Hebrides, Scotland.
- BERR(2008). *Review of Cabling Techniques and Environmental Effects Applicable to the Offshore Wind Farm Industry*, 1~164.
- Carter, L. · Burnett, D. · Drew, S. · Marle, G. · Hagadorn, L. · Bartlett-McNeil, D. & Irvine, N. (2009). *Submarine cables and the oceans: connecting the world*. UNEP-WCMC Biodiversity Series No. 31, 1~64.
- CEFAS(2001). *Contaminant status of the North Sea*. Technical report produced for Strategic Environmental Assessment - SEA2 (Technical Report TR_004), 1~101.
- Dernie, K. M. · Kaiser, M. J. & Warwick, R. M. (2003). Recovery rates of benthic communities following physical disturbance. *Journal of Animal Ecology*, 72(6), 1043~1056.
- Dunham, A. · Pegg, J. R. · Carolsfeld, W. · Davies, S. · Murfitt, I. & Boutillier, J.(2015). Effects of submarine power transmission cables on a glass sponge reef and associated megafaunal community. *Marine Environmental Research*, 107, 50~60.
- Ellis, J. · Cummings, V. · Hewitt, J. · Thrush, S. & Norkko, A.(2002). Determining effects of suspended sediment on condition of a suspension feeding bivalve (*Atrina zelandica*): Results of a survey, a laboratory experiment and a field transplant experiment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 267(2), 147~174.
- Fisher, C. & Slater, M.(2010). Effects of electromagnetic fields on marine species: A literature review. Report Prepared on Behalf of Oregon Wave Energy Trust, 1~26.
- Forewind(2014) Dogger Bank Creyke Beck A & B Offshore wind farm. Sandeel clarification note. Brown & May Marine, 1~49.
- Gill A, B. & Bartlett M.(2010). Literature review on the potential effects of electromagnetic fields and subsea noise from marine renewable energy developments on Atlantic salmon, sea trout and European eel. Scottish Natural Heritage Commissioned Report No.401, 1~43.
- Gill, A. B. · Huang, Y. · Spencer, J. & Gloyne-philips, I.(2012). Electromagnetic Fields emitted by High Voltage Alternating Current Offshore Wind Power Cables and interactions with marine organisms. In *Proceedings of the Electromagnetics in Current and Emerging Energy and Power System Seminar*, Institution of Engineering and Technology, London, 1~5.
- Kavet, R. · Wyman, M. T. & Klimley, A. P.(2016). Modeling Magnetic Fields from a DC Power Cable Buried Beneath San Francisco Bay Based on Empirical Measurements. *PLoS ONE*, 11(2), 1~21.
- Kim, G. Y. · Lee, D. I. · Jeon, K. A. · Eom, K. H. · & Woo, Y. S.(2009). Diagnosis for Review of

- Statement and System Improvement of Consultation on the Coastal Area Utilization in Korea. *Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety*, 15(4), 345~354.
- Kim, G. · Lee, D. · Jeon, K. · Eom, K. & Yu, J. (2012). Improvement for Marine Environmental Impact Assessment on the Development of Offshore Wind Power. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 21(1), 1~13.
- KT(2015). General Statement for Consultation on the Coastal Area Utilization: The 2nd Submarine Optical Cable Project through Ulleung and Land. 1~418.
- Kogan, I. · Paull, C. K. · Kuhn, L. A. · Burton, E. J. · Von Thun, S. · Gary Greene, H. & Barry, J. P.(2006). ATOC/Pioneer Seamount cable after 8 years on the seafloor: Observations, environmental impact. *Continental Shelf Research*, 26(6), 771~787.
- Krylov, V. V. · Iziumov, I. G. · Izvekov, E. I. & Nepomniashchikh, V. A.(2014). Magnetic fields and fish behavior. *Biology Bulletin Reviews*, 4(3), 222~231.
- Lancaster, J.(Ed.). · McCallum, S. · Lowe, A. C. · Taylor, E. · Chapman, A. & Pomfret, J.(2014). Development of detailed ecological guidance to support the application of the Scottish MPA selection guidelines in Scotland's seas., 1~32.
- Lee, K.(2015). Review on the Biological Effects of Suspended Solids on Shellfish, Fish and Seaweed. *Journal of the Korea Society of Marine Environment & Safety*, 21(1), 109~118.
- Lucca, G.(2013). Analytical Evaluation of Sub-Sea Elf Electromagnetic Field Generated by Submarine Power Cables. *Progress In Electromagnetics Research B*, 56, 309~326.
- McGourty, C. R. · Hobbs, J. A. · Bennett, W. A. · Green, P. G. · Hwang, H. M. · Ikemiyagi, N. ... Cope, J. M.(2009). Likely population-level effects of contaminants on a resident estuarine fish species: Comparing *Gillichthys mirabilis* population static measurements and vital rates in San Francisco and Tomales Bays. *Estuaries and Coasts*, 32(6), 1111~1120.
- Meißner, K. · Schabelon, H. · Bellebaum, J. & Sordyl, H.(2006). Impacts of submarine cables on the marine environment: A literature review, 1~88.
- Nedwell, J. & Howell, D.(2004). A review of offshore windfarm related underwater noise sources, 1~57.
- NIRAS.(2015). Subsea Cable Interactions with the Marine Environment. Expert review and Recommendations, 1~58.
- Normandeau Associates Inc., Exponent Inc., Tricas, T. & Gill, A.(2011). Effects of EMFs from Undersea Power Cables on Elasmobranchs and Other Marine Species, 1~426.
- OSPAR(2009). Assessment of the environmental impacts of cables. 1~19.
- OSPAR(2012). Guidelines on Best Environmental Practice (BEP) in Cable Laying and Operation. OSPAR 12/22/1, Annex 14, 1~18.
- Quinn, J. M. · Davies-Colley, R. J. · Hickey, C. W. · Vickers, M. L. & Ryan, P. A.(1992). Effects of clay discharge on streams: Benthic invertebrates. *Hydrobiologia*, 248, 235~247.
- Reynaud, S. & Deschaux, P.(2006). The effects of polycyclic aromatic hydrocarbons on the immune system of fish: A review. *Aquatic Toxicology*, 77(2), 229~238.
- Shin, B. S. & Kim, K. H.(2010). Prediction of Environmental Change and Mitigation plan for large scale reclamation. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 22(2), 95~100.
- Sun, X. · Huang, D. & Wu, G.(2012). The current state of offshore wind energy technology development, *Energy*, 41(1): 298~312.
- van der Kooij, J. · Scott, B. E. & Mackinson, S. (2008). The effects of environmental factors on daytime sandeel distribution and abundance on the Dogger Bank. *Journal of Sea Research*, 60(3), 201~209.
- Yoon, J. R. · Lee, S. w. · Ahn, S. Y. · Park, J. H. · Bae, J. W. and Ahn, Y. S.(2006). Effects of underwater noise on fishes. *Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Annual Autumn Conference*.

• Received : 25 April, 2017

• Revised : 19 May, 2017

• Accepted : 24 May, 2017