

해양환경특성에 따른 해저케이블 설치 및 보호방안

안승환* · 김동선**

* 부경대학교 해양산업공학(협), ** 부경대학교 해양산업개발연구소

Submarine Cable Installation and Protection Methods according as Characteristics of Ocean Environment

Seung-Hwan Ahn* · Dong-Sun Kim**

* Interdisciplinary Program of Ocean Industrial Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

** Research Center for Ocean Industrial and Development(RCOID), Pukyong National University, Busan 608-737, Kore

요 약 : 일반적으로 해저케이블 보호공법에는 매설공법이 많이 사용되고 있으나 한국 연안역에서는 양식어장이라고 하는 특수한 여건과 조업 선박의 어구어법으로 인하여 다양한 형태의 보호공법이 사용되고 있다. 현재 한국의 해저케이블에 적용되어 있는 보호공법에는 해양의 저질 상태에 따라서 깊이를 달리하는 매설공법, 연속적인 Concrete mattress 공법, 주철관과 U-duct를 이용한 공법, Concrete bag을 쌓는 공법, 돌을 쌓는 Rock berm 공법, Mortar bag을 쌓는 공법 및 FCM (Flexible Concrete Mattress) 공법 등이 있다. 이와 같은 보호공법은 설치 해역의 해양환경특성과 친환경적인 공법보다는 해저케이블의 위해요소에 대한 안정성만을 고려하여 해저케이블 보호공법을 선정하여 시공하고 있다. 따라서 본 논문은 해저케이블 위해요소와 수심, 해저질 등의 해양환경특성과 보다 친환경적인 측면을 고려하여 해양환경특성별 적정 보호공법을 제시한다.

핵심용어 : 해저케이블, 어구어법, 매설공법, 해양환경특성, 친환경적인 보호공법, 해저질

Abstract : *The burial method has been generally used for the protection methods of submarine cable. Especially in Korea, various types of protection methods have been used according to fisheries and fishing implements. In these days, all the protection methods - burial, continuous concrete mattress, cast iron pipes, U-duct, concrete bags, rock berm, mortar bags and FCM(Flexible Concrete Mattress) are applied to the submarine cable, but these methods just focus not on the characteristics of ocean environment and the protection of environment but on the safety of submarine cable against the external damages. This research presents the protection methods of submarine cable according as the characteristics of ocean environment - external damages, depth of water, seabed condition and the protection of environment.*

Key Words : *Submarine cable, Fisheries and fishing implements, Burial method, Characteristics of ocean environment, Protection of environment, Seabed condition*

1. 서 론

해저케이블의 종류에는 직류송전의 HVDC (High-Voltage, Direct Current) 해저케이블과 배전케이블 및 광통신케이블이 있다. 국내에서는 제주와 해남을 연결하는 2회선의 HVDC 해저케이블과 도서지역의 전력 공급을 위한 19개소의 배전케이블, 그리고 일본, 홍콩, 중국, 유럽, 미국 등을 연결하는 8개소의 광통신케이블이 있다(한국전력공사, 1998; 2005). 일반적으로 광통신케이블은 특별한 보호설비 없이 포설되어 있다. 그러나 HVDC 해저케이블과 배전케이블은 포설 및 매설하기 위해서는 주변 환경을 적용한 적절한 보호 설비가 필요하다.

현재 한국의 제주와 해남을 연결하는 HVDC 해저케이블은 총 101 km 길이의 2회선으로 구성되어 있으며 HVDC 케이블과 광통신케이블이 함께 포설, 매설되어 있다. 제주와 해남간의 HVDC 해저케이블은 육지와 분리되어 독립적으로 운전되고 있던 제주도 전력계통의 주요 전원이 소규모 화력 및 내연력 발전소로 이루어 지고 있다. 제주도는 전국 발전원가의 2.5배를 상회하고 전력수요의 증가율이 육지의 증가율보다 10% 이상 높다. 따라서 제주도의 안정적 전력공급과 전력사업 수지개선 및 직류송전의 기술 축적을 전제로 검토되어 추진되어 1998년 3월 2회선을 준공하여 상업운전을 시작했다(한국전력공사, 1998). 한편 제주지역 전력수요의 지속적인 증가로 인하여 제2의 제주~육지 HVDC 해저케이블 사업이 현재 추진 중이다. 제주~해남 HVDC 해저케이블의 보호공법은 해저 저질의 상태와

* 대표저자 : 정희원 kocecoahn@hanmail.net , 031) 254-8190

** 교신저자 : 종신회원 kimds@pknu.ac.kr , 051) 629-7374

양식어장 등의 주변 여건으로 인한 위해요소의 종류에 따라 매설, 포설, Concrete mattress 설치, Rock berm 설치, FCM 설치 및 주철관과 U-duct 설치 등으로 이루어져 있다(Alcatel, 1997; McDermott, 1998; 한국전력공사, 1998).

국내 해저케이블(배전선) 공사는 주로 도서지역간의 배전선로의 연계 계통으로 한국전력공사에서 시행한 공사가 대부분으로 22.9 kV급 배전선로인 CN-CV 케이블(동심중성선 차수형 전력케이블)이 주를 이루고 있으며, 연안 도서지역 일원에 고품질 전력 공급 및 지역주민의 소득 증대, 삶의 질 향상을 목적으로 한다. 1979년 전남 신안군에서부터 시작된 해저 전력케이블 설치공사는 2006년 현재 총 19개소 구간에 84,101m가 설치되어 있다. 배전선은 특별한 보호공법을 적용하지 않고 대부분 포설만 되어 있어 소형 앵커나 조류의 영향으로 인한 손상 발생 시 주철관, 모르타르백을 이용한 보강 공사를 시행하고 있다(한국전력공사 전남지사, 2005).

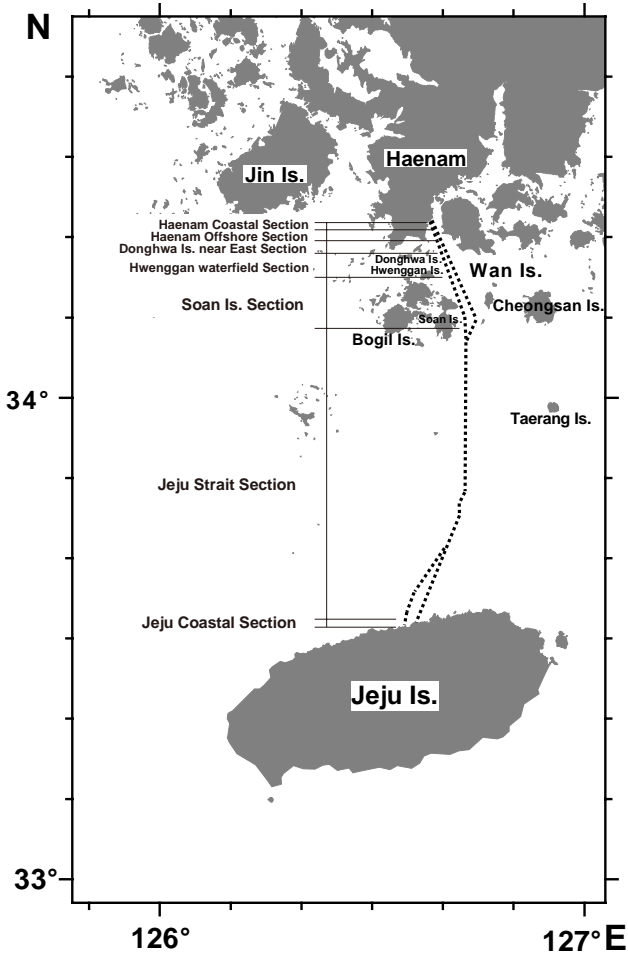


Fig. 1. Area of HVDC link between Haenam and Jeju Island of Korea. Dotted lines are submarine cable.

해저케이블의 위해요소의 종류에 따라서 보호공법을 적용하여 설치하고 있으나 새로운 위해요소의 출현 등으로 감안하지 못했던 내부응력에 의한 손상 및 강한 파력에 의한 파손 등의

현상이 계속적으로 발생했다(한국전력공사, 2001a; 한국전력공사, 2001b). 제주해협 구간에서의 안강망 어선에 의한 해저케이블 손상되어서 현재 충분한 깊이에 케이블 매설을 실시한 이후 이 구간에서의 추가적인 이상구간은 발생되지 않고 있다. 그러나 해남 양식어장 구간과 제주연안 구간에서는 매년 이상구간이 발생하여 보수 보강 공사를 시행하고 있다(한국전력공사, 2006a). 해남 양식어장 구간은 보호설비의 내부 온도 응력에 의해서 융기, 절단 현상이 발생하고 있으며, 쇠파이프를 사용하는 양식어장 구간이 존재하여 쇠파이프의 관통으로 인한 해저케이블 손상의 위험성을 내포하고 있다(한국전력공사, 2006b). 제주연안 구간은 암반 지역으로 충분한 깊이의 트렌치를 구성하지 못하여 파력에 의한 U-duct의 전도, 주철관 파손, 해저케이블 손상 현상이 발생했다(한국전력공사, 2006a)(Fig. 1). 이와 같이 연안역의 해저케이블 설치에 그 해역의 위해요소 및 해양환경특성에 많은 영향을 받고 있는 실정이다.

따라서 본 연구는 해저케이블 설치 지역의 해양환경특성에 따른 해저케이블 설치 및 보호방안에 대해서 논의하고자 한다.

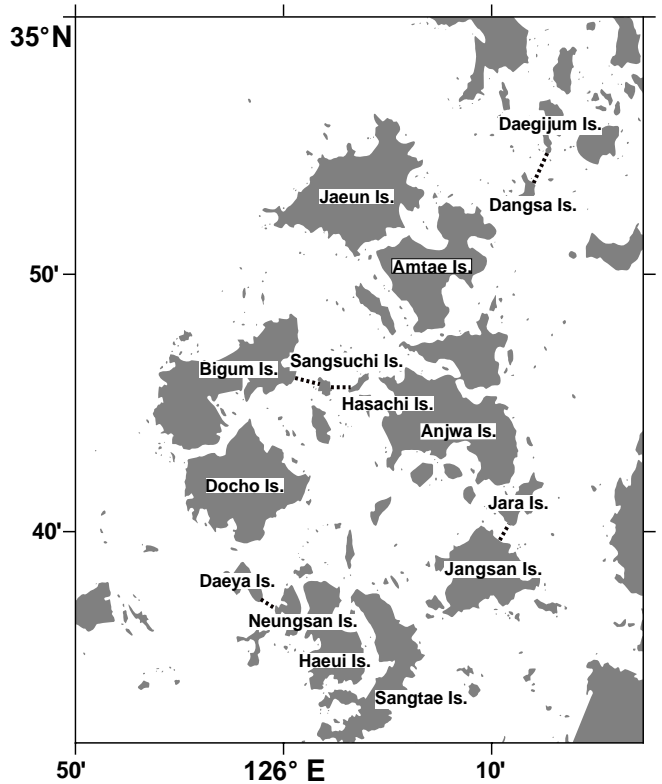


Fig. 2. Area of Shinan-Gun submarine cable. Dotted lines are submarine cable.

2. 자료 및 방법

해저케이블 설치 해역의 해양환경 특성에 따른 해저 케이블 설치 및 보호 방안을 제시하였다.

첫 번째로 국내·외의 해저 케이블 설치에 따른 보호공법을

형태별로 구분하여 최적의 보호공법을 분류한다. 또한 한국 남해안의 제주~해남 및 전라남도 신안지역의 해양의 지형 및 환경특성에 따른 해저케이블 설치현황을 조사 한다(Fig. 1 및 Fig. 2). 두 번째로는 해저케이블 설치지역에서 이상구간 발생 및 그 원인에 대한 적절한 보호공법에 대하여 설명한다. 마지막으로 현재 해저케이블 이상구간 발생 시 보수·보강 공법의 사용으로 인하여 발생하는 환경문제에 대해서 파악하고, 해양환경특성에 따른 구간별 해저케이블 보호공법을 제시한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 해저케이블 위해요소

일반적으로 해저케이블의 안전을 위협하는 위해요소는 트롤 어선의 전개판이나 안강망어선의 앵커와 같이 조업도구인 경우가 대부분이다. 그리고 연안구간의 양식어업으로 인하여 어장을 고정시키기 위한 나무말목, 쇠말목 설치, 대형선박의 통항에 따른 앵커의 낙하 충격 및 끌림, 쇠파대에 시설되어 태풍이나 계절풍으로 인한 파력 등이 해저케이블의 위해요소로 작용한다(한국전력공사, 2006a; 2006b)(Fig. 3).

현재 국내에 시설된 해저케이블의 보호공법은 설치 초기에 조사된 위해요소만을 고려하여 케이블의 안정성을 확보할 수 있는 형태로 선정되어 시설되고 있는 실정이다. 또한, 해저케이블 보호를 위해 주로 사용되었던 보호공법이 해양환경특성 및 친환경적인 요소에 대한 고려가 부족하여 문제점이 많이 발생하여 지속적인 보강공사가 이루어지고 있다.

위해요소의 변경에 대한 대처가 없었던 예를 보면 해남-제주 간 HVDC 해저케이블 횡간수도 구간은 대형선박의 정박지가 아님에 따라 대형 앵커에 대한 보호공법 적용하지 않았으나, 비상시 앵커의 투묘로 인하여 2006년 케이블 단전 사고가 발생하였다. 이 구간은 복구공사 이후 보강공법에 대한 용역을 수행하여 보호공법을 선정, 보강 공사를 완료하였다.

또한 해양환경특성에 대한 고려가 부족하여 문제점이 발생하고 있는 경우를 보면 해남-제주 간 HVDC 해저케이블 소안도 구간과 횡간수도 구간에 적용한 연속 Concrete mattress 공법을 들 수 있다. 이 공법은 해저의 온도 변화 정도를 감안하지 못하고 온도 응력에 대한 검토 없이 얇고 긴 구조로 보호공법을 설치하여 Concrete mattress에 지속적으로 융기, 절단 현상이 발생하여 계속 보강공사를 시행했다. 그러나 보강공사로 사용한 Mortar bag 공법이 시멘트 분말의 확산으로 인한 환경 문제가 제기되어 콘크리트를 유연하게 결합한 FCM방법을 이용하여 보강공사를 수행했다.

따라서 여러 가지 위해요소에 대한 정확한 진단, 분석 후 보호공법을 선정할 때 해양환경특성, 친환경적인 요소 고려가 필요하며, 이를 위해서 그 환경특성에 적합한 보호공법을 제시하여야 한다.

3.2 해저케이블 보호공법의 종류

국내·외의 해저케이블 보호공법의 종류는 크게 돌을 쌓는 형태, 유연한 매트리스 형태, 철근-콘크리트구조, 케이블을 감싸는 형태, 단단한 매트리스 형태, Bag 구조, 매설하는 형태 및 기타 형태로 분류할 수 있다.

먼저 돌을 쌓는 형태의 보호공법에는 Rock dumping, Side stone dumping, Precision rock building 이 있다. 유연한 매트리스 형태에는 ACM (Articulated Concrete Mattress), FCM (Flexible Concrete Mattress), Flexweight(우레탄과이프로 일종), S-FCM(Steel Forced FCM), As-FCM(Anchor resistant Steel Forced FCM), 전주-mattress, ASF(Artificial Seawood Fronds)가 있다. 철근콘크리트 구조에는 PCU(Pre-cast Concrete Unit), A-duct, U-duct가 있으며, 케이블을 감싸는 형태에는 주철관(Cast iron pipe), Uraduct(콘크리트 매트리스 일종)가 있다.

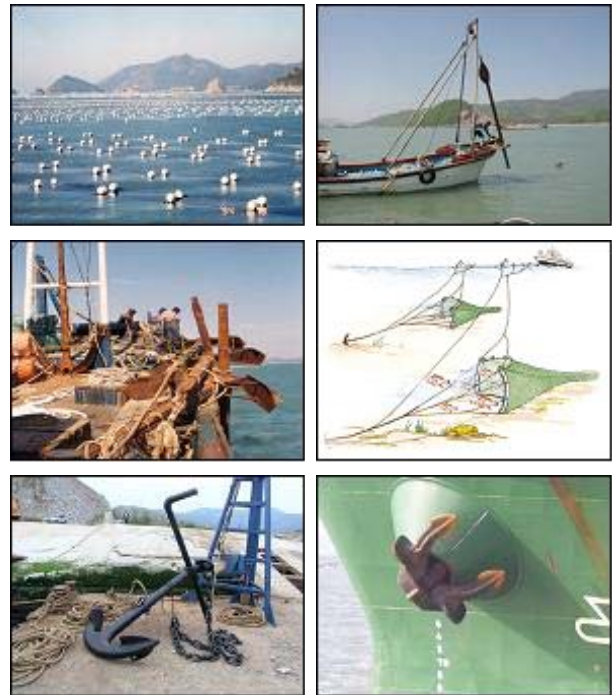


Fig. 3. External damages of submarine cable. (anchor pile of sea farm area, stow nets on anchors, various anchors)

또한 단단한 매트리스 형태에는 Concrete mattress, Seamat (콘크리트 매트리스 일종), W-mattress가 있으며, Bag 구조의 보호공법에는 Stone bag, Concrete bag, Mortar bag, Grouting bag이 있다. 그리고 매설하는 형태의 보호공법에는 매설기의 종류에 따라서 Burying (plough), Trenching (Water jetting), Trenching (Wheel cutter), Trenching (Chain cutter), Trenching (dredging)가 있으며, 기타 형태로는 underwater barriers와 전주-인공어초 구조물이 있다(한국전력공사, 2007a)(Table 1).

Table 1. Type of protection method of submarine cable

Type	Protection method	Type	Protection method
Piles up the pebble	Rock dumping	Hard mattress	Concrete mattress
	Side stone dumping		Seamat
	Precision rock building		W-mattress
Soft mattress	ACM	Bag structure	Stone bag
	FCM		Concrete bag
	Flexweight		Mortar bag
	S-FCM		Grouting bag
	As-FCM	Burial	Burying (Plough)
	Pole-mattress		Trenching (Water jetting)
	ASF		Trenching (Wheel cutter)
Steel frame - concrete structure	PCU		Trenching (Chain cutter)
	A-duct		Trenching (Dredging)
	U-duct		Underwater barriers
Protects the cable	Cast iron pipe	Other	Electronic pole-artificial reef structure
	Ureduct		

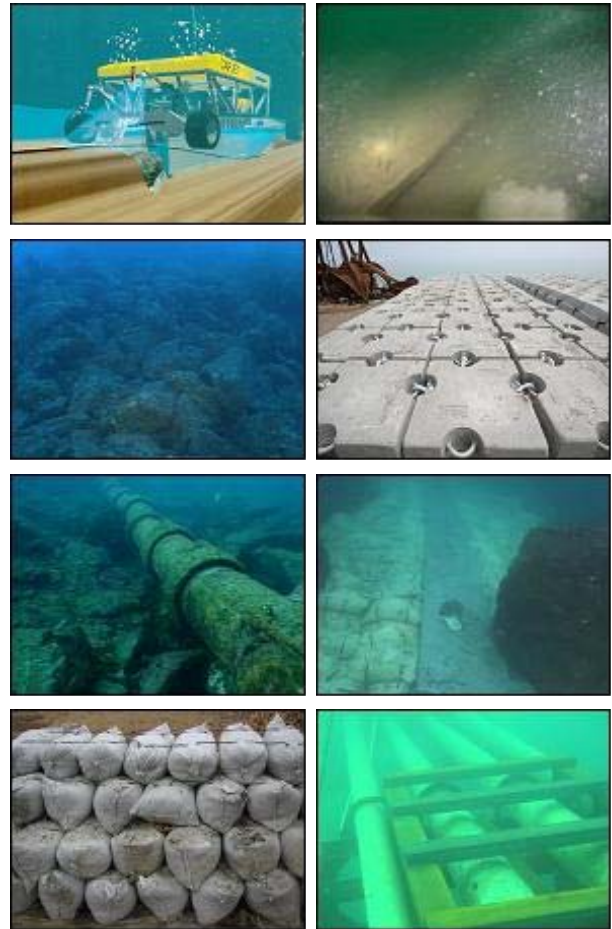


Fig. 4. Protection method of submarine cable. (The left-rightdirection from top : Trenching, concrete mattress, Rock berm, FCM, Cast iron pipe, U-duct, Concrete bag, Pole artificial reef structure)

3.3 HVDC 해저케이블 보호공법의 사례

해저케이블 보호공법에 대한 사례를 보면, 먼저 제주~육지 HVDC 해저케이블은 해저 지형의 특징 및 어장의 위치 등에 따라서 해남연안 구간, 해남 근해 양식어장 구간, 동화도 동쪽 구간, 횡간수도 구간, 소안도 양식어장 구간, 제주해협 구간 및 제주연안 구간 등 총 7구간으로 나뉘어진다. 해저케이블 보호 공법으로는 매설과 Concrete mattress, Rock berm, FCM 또는 S-FCM, Concrete bag, Ureduct, 재활용전주-인공어초 구조물, 주철관과 U-duct를 사용했다(한국전력공사, 1998; 한국전력공사, 2006a; 2006b ; 한국전력공사 2007a)(Fig. 4).

각 구간별 해저케이블에 적용된 보호공법은 해남연안 구간은 주철관으로 1차 보호한 후 2.0 m 이상 매설하였으며, 해남 근해 양식어장 구간은 해저케이블 0.5 m 이상 매설 후 Concrete mattress를 상단부에 설치하여 해저케이블을 보호했다. 또한 저질의 특성에 의해 해저케이블을 매설하지 못하고 포설만 한 구간인 동화도 동쪽 구간과 횡간수도 구간의 보호공법은 먼저 동화도 동쪽 구간은 1차로 주철관으로 보호한 후 Concrete bag 을 쌓아서 보호하였으며, 횡간수도 구간은 포설된 상태 위로 Concrete mattress를 설치하여 해저케이블을 보호했다.

소안도 양식어장 구간은 해남 근해 양식어장 구간과 동일하게 0.5 m 이상 매설 후 Concrete mattress를 해저케이블 상단부에 설치했으며, 케이블의 고장 발생으로 복구공사를 수행한 구간은 FCM과 S-FCM으로 보호했다. 안강망 어선의 닻에 의한 해저케이블 고장이 발생하였던 제주해협 구간은 해저면의 저질에 따라서 1.3~3.0 m 이상 매설하였으며 해저 지형의 상태에 따라서 목표로 했던 매설량보다 부족한 부분은 Rock berm을 설치하여 해저케이블을 보호했다. 또한 암반 구간인 제주연안 구간은 0.5 m 트렌치 작업 후 해저케이블을 주철관으로 1차 보호 후 U-duct를 덮어서 보호하는 형태로 되어 있다(한국전력공사, 2007a).

한편 전라남도 신안지역의 배전선 해저케이블은 총 5회선으로 장산도와 자라도, 대야도와 능산도, 상수치도와 비금도, 상수치도와 상사치도, 당사도와 소악도 구간에 시설되어 있다. 해저케이블의 총연장은 9,459 m이며, 5개 구간 모두 1979년에 준공하였다(한국전력공사 전남지사, 2005)(Fig. 2).

5개 구간의 해저케이블은 입상주 부근 지역을 제외하고 기본적으로 비매설 방식으로 포설되어 있으며 시공 후 많은 시

간이 흐름에 따라 매몰되는 부분이 발생하였다. 입상주 부근 지역은 주철관과 Concrete bag으로 보강하였다. 조류와 소형 앵커의 끌림으로 발생하는 케이블의 손상부에 대해서는 주철관으로, 그리고 해저케이블 시설 후 조류와 지형적인 영향으로 인하여 free span이 발생한 지역에 대해서는 Concrete bag을 채워 넣는 방식으로 보수·보강하였다 (한국전력공사 전남지사, 2005)(Fig. 5).



Fig. 5. Cast iron pipe and concrete bag.

3.4 해저케이블 이상구간

제주~해남 HVDC 해저케이블 구간에서는 시설 당시 제주해협의 안강망어선의 조업도구로 인한 위해요소를 고려하지 않고 매설 없이 포설로만 시공하여 해저케이블 고장이 발생했다. 따라서 안강망어선의 앵커에 대한 실증시험을 실시하고 그 결과를 적용하여 저질의 특성에 따라서 1.2~3.0 m 깊이로 케이블을 매설했다. 저질의 상태가 딱딱하여 계획되어 있는 충분한 매설깊이를 확보하지 못하는 경우에는 추가로 Rock berm을 설치하여 케이블을 보호한다. 횡간수도 구간의 경우에는 시설 초기 운행선박의 계류 가능성을 고려하지 않고 보호공법을 적용하여 2006년 대형앵커의 끌림에 의하여 해저케이블이 손상되는 사고가 발생 하였다. 따라서 이러한 문제 발생으로 앵커 끌림에 대한 여러 실증시험을 실시하여 보호공법을 선정, 추가로 보강공사를 시행 중에 있다. 해남 구간에 적용된 연속 Concrete mattress 구간에서는 내부의 온도차에 의한 응력발생을 고려하지 않고 시설하여 시설 당시부터 현재까지 계속적으로 융기와 절단 현상이 발생하였다. 이러한 이상구간에 대해서 보수·보강공법으로 Mortar bag을 사용하고 있으나 나무말목, 쇠말목에 대한 안정성 문제와 시공방법으로 인한 시멘트분말의 확산으로 환경적인 문제가 있다. 제주연안 구간은 주철관과 U-duct 구간으로 수심 10 m 이내 구간의 쇄파대에서 U-duct의 전도, 주철관 파손 등의 이상구간이 발생하였다(한국전력공사, 2005; 한국전력공사, 2006a; 2006b)(Fig. 6).

위와 같은 문제에 대해서는 U-duct의 측면부를 mortar bag을 사용하여 보강, U-duct의 전도를 방지하는 공법을 사용했다. 그러나 파력의 영향이 강하게 작용하는 수심 5 m 부근 해역에서는 계속적인 보강에도 불구하고 U-duct의 전도 현상은 계속되어서 재활용전주를 활용하여 인공어초의 역할도 함께 수행할 수 있는 구조물을 제작·설치하여 보수·보강을 하였으며 그 후 이상구간은 발생하지 않았다(한국전력공사, 2007b).



Fig. 6. Damage of HVDC cable.



Fig. 7. Damage of submarine cable.

신안지역에 시설되어 있는 배전케이블의 경우에는 기본적으로 강선으로 보강된 케이블을 사용하여 매설 없이 포설하여 주변의 소형선박에서 사용하는 앵커의 끌림에 의한 손상이 발생했다. 이러한 구간에 대해서는 주철관을 설치하여 더 이상의 추가 손상을 방지하고 있으며 일부 손상 정도가 약한 구간에 대해서는 고무 밴드를 묶어서 보강 했다. 또한 딱딱한 해저면과 조류 등의 영향으로 인하여 Free span이 발생한 지역은 해저면과 접촉하는 해저케이블의 손상 정도를 확인한 후 Concrete bag을 케이블 하단부에 채워 넣는 형식으로 보강했다(한국전력공사 전남지사, 2005)(Fig. 7). 이와 같은 경우에 Mortar bag 공법과 시공방법이 동일하여 환경적인 측면에서 문제점이 제기되고 있는 실정이며, 이에 대한 보완책이 마련되어야 한다.

3.5 환경특성을 고려한 보호공법 및 적용

현재 케이블 이상구간 발생 시 보수·보강 공법으로 주로 사용되고 있는 Concrete bag, Mortar bag은 시멘트를 분말상태로 자루에 넣어서 수중에 거치하는 방식의 공법이다. 따라서 수중 이동에 의한 시멘트 분말이 대량으로 확산되어 환경적인 문제가 제기되어 시공 시 많은 민원이 발생하고 있는 공법이다. 또한 나무말목이나 쇠말목에 대한 실증시험 결과 안정성에서도 문제가 있는 것으로 확인되었다. 그리고 해남 구간에 시설되어 있는 Concrete mattress도 쇠말목 투하와 앵커의 투하 및 끌림에 대해서 안정성을 확보하고 있지 않은 것으로 확인되었으며, 제주연안 구간의 U-duct에서도 파력에 의한 문제점들이 확인되었다(한국전력공사, 2005; 한국전력공사, 2006a; 2006b; 한국전력공사, 2007a).

인천 지역의 세어도-원창동 해저케이블에서는 강한 조류로 인하여 포설된 해저케이블 상단에 설치한 Concrete bag이 유실되고, 2.0 m 매설한 해저케이블이 토사의 이동으로 인하여 노출되는 문제점이 확인되었다(한국전력공사, 2008).

현재 재활용전주를 활용하여 인공어초의 역할과 해저케이블 보호역할을 동시에 수행하는 구조물이 제주연안 구간에 시설되어 모니터링을 실시하고 있다. 또한 해저케이블 보호용 철근콘크리트 구조도 인공어초의 역할 수행을 할 수 있는 형태로 일부 개발되고 있다(한국전력공사, 2007b).

따라서 이와 같은 현상을 고려하여 해저케이블 설치 지역의 해양 저질 상태, 조류의 세기, 어장 현황, 운행 선박 현황 및 파력 등을 고려하여 해양환경특성에 의한 해저케이블 구간의 보호공법을 제시 한다(Table 2).

첫째로 저질은 silt, mud로 매설이 가능하고 어장이 없거나 지주식 양식어장이 존재하는 경우에는 주철관을 2.0 m 이상 매설하는 방법으로 한다. 그러나 이와 같은 경우에도 해저면의 형태와 강한 조류로 인하여 토사의 이동이 쉽게 발생하여 매설된 해저케이블의 노출 가능성이 있는 경우에는 해저케이블 매설 후 토사 이동 방지 목적으로 매설케이블 상단부에 Stone bag, S-FCM, 전주-mattress 등을 설치하여 해저케이블 노출을 방지한다. 두 번째는 저질이 딱딱하여 케이블을 매설할 수 없으며, 양식어장은 설치되어 있지 않으나 대형선박이 운행하여 앵커의 투하 및 끌림이 해저케이블의 위해요소로 작용하는 경우에는 A-duct, As-FCM, Stone bag, Rock berm, Precision rock building 등의 공법을 적용할 수 있다. 이와 같은 경우 구조물 설치 후 강한 조류로 인하여 구조물 하단의 세굴 발생이 우려되는 경우에는 조류로 인한 세굴에 유리한 형태인 Stone bag, Rock berm, Precision rock building 공법을 우선 적용할 수 있다. 세 번째로 해양저질이 silt, sand, mud 등의 입자로 형성된 해역에서는 매설이 가능하고 부유식 어장이 시설되어 있어 나무말목이나 쇠말목이 케이블에 위해요소로 작용하는 구간에서는 0.5 m 이상 매설과 함께 전주-mattress, W-mattress, S-FCM, 등의 보호공법을 적용할 수 있다. 이 경우의 보호공법은 모두 조류의 세기에 대하여 안정성을 확보하고 있으므로 조류에 관계없이 모두 적용 가능하다. 네 번째는 매설이 가능한 저질, 어장은 없으나 안강망이나 트롤어선의 조업구간인 경우 대부분 수심이 40 m 이상되는 구간으로 조류에 의한 영향이 적으며, 저질에 따라 1.2~3.0 m 이상 매설과 더불어 매설량 부족 구간에는 Rock berm 시공 공법을 적용할 수 있다. 다섯 번째 공법으로는 수심은 15~40 m의 암반 구간으로 양식어장은 없으나 소형선박의 앵커 및 파력이 위해요소로 작용하는 구간인 경우 이 지역에서는 0.5 m 이상 트랜치 후 주철관과 U-duct를 사용한 보호공법과 트랜치 없이 전주-인공어초 구조물을 주철관과 함께 적용하여 케이블을 보호할 수 있다. 여섯 번째로 수심 15 m 이내의 암반으로 구성된 지역에서는 소형선박의 앵커와 강한 파력이 위해요소로 작용하는 구간으로 0.5 m 이상 트랜치와 주철관, U-duct를 이용한 보호공법을 트랜치 깊이를 변경하여 1.0 m 이상 트랜치 후 주철관, U-duct를 이용하여 케이블을 보호하고 사석 되매우기를 실시하는 공법을 적용할 수 있다.

Table 2. Protection method of submarine cable according as characteristics of ocean environment

	Seabed	Burial	Fishing ground (Hazardous element)	Protection method of application possibility
1	Silt, mud	Possibility	Nil (Culture ground of prop type)	Burial above 2.0m depth by cast iron pipe
2	Hard	Impossibility	Nil (Sea route region)	A-duct, As-FCM, Stone bag, Rock berm, Precision rock building
3	Silt, sand, mud	Possibility	Fishing ground of floating (Post of iron)	Electronic-mattress, W-mattress, S-FCM
4	Silt, sand, mud	Possibility	Nil (Region of fishing vessel operation)	Burial at 1.2~3.0m depth (and Rock berm)
5	Rock	Possibility (Trench)	Nil (Above 15m depth)	Cast iron tube + Recycle electronic pole-artificial reef structure
6	Rock	Possibility (Trench)	Nil (Below 15m depth)	1.0 m trench + Cast iron pipe + U-duct + Filling up again of sand and pebbles

Table 3은 이와 같은 해양학적 특성을 고려한 보호공법을 해남~제주간(Fig. 1) 해저케이블 경과지에 적용하여 구역별 최적의 보호공법을 나타 낸 것이다.

해저케이블 경과지를 해남 연안 구간, 해남 근해 구간, 동화도 동쪽 구간, 향로 구간, 소안도 구간, 제주 해협 구간 및 제주 연안 구간은 수심에 따라 제주 연안1 구간(수심>15 m), 제주 연안2 구간(수심≤15 m)으로 총 7구간 나눌 수 있다. 또한 각 구간별 저질, 수심, 조류 및 위해요소를 고려한 최적 보호공법을 선정하면, 첫 번째로 해남 연안 구간의 주 위해요소는 소형선박의 앵커 투하 및 끌림이며, 이 구간의 수심은 0~5 m이나 완만한 경사의 해저 구배로 인하여 파력은 크게 미치지 못하는 지형이다. 이 지역의 조류는 0.9~1.1 knot로 약해 보호공법 선정 시 고려하지 않아도 되는 요소이다. 소형 선박 앵커의 투하 및 끌림이라는 위해요소와 silt, mud의 매설이 가능한 저질, 0~5 m의 수심을 고려할 때 해남 연안 구간의 최적 보호공법은 주철관으로 보강된 해저케이블을 2.0 m 이상 매설하는 방법이다. 두 번째인 해남 근해 구간의 주 위해요소는 양식장용 쇠말목이며, 이 구간의 수심은 5~30 m, 저질은 silt, mud, sand로 구성되어 있다. 이 구간의 조류는 1.2~1.4 knot이며 매설이 가능한 구간이다. 해남 근해 구간의 최적 보호공법은 해저케이블을 0.5 m 이상 매설한 후 W-mattress 설치하는 것이다. 세 번째인 동화도 동쪽 구간의 주 위해요소는 양식장용 쇠말목이며, 이 구간의 수심은 22~27 m, 저질은 딱딱한 형태의 노출 기반암

으로 이루어져 있어 매설이 불가능한 구간이다. 이 구간의 조류는 1.8~2.4 knot 정도이며, 지형적인 영향으로 퇴적층이 거의 없어 일반 나무말목으로는 어장 시설이 불가능하여 대부분 쇠말목을 사용하고 있는 구간이다. 동화도 동쪽 구간의 최적 보호공법은 주철관을 설치한 포설 케이블 상단에 전주-mattress를 거치하는 것이다. 네 번째인 항로 구간의 주 위해요소는 대형선박 앵커의 투하 및 끌림이며, 수심은 25~40 m, 저질은 silt, mud, sand로 구성되어 있으며, 해저면의 표면은 단단하나 매설이 가능하다. 조류는 해수면에서 2.8~4.2 knot 정도로 비교적 강하나 단단하고 요철이 거의 없는 해저면을 고려할 때 덮개 형태의 보호공법 적용이 가능하다. 따라서 항로 구간의 최적 보호공법은 해저케이블을 0.5 m 이상 매설 후 대형 앵커의 투하 및 끌림에 대해서 큰 안정성을 가지는 A-duct의 설치이다. 다섯 번째로 소안도 구간의 위해요소는 양식어장용 쇠말목이다. 비록 소안도 구간의 어장에서는 대부분 나무말목을 사용하고 있으나, 특수 상황에서 쇠말목을 사용하고 있으므로 여기에 대한 대비가 필요한 구간이다. 저질은 silt, sand, mud로 이루어져 있어 매설이 가능하고, 수심은 16~40 m, 조류는 2.0~2.4 knot 정도로 약한 구간이다. 소안도 구간의 최적 보호공법은 해저케이블을 0.5 m 이상 매설한 후 W-mattress 설치하는 것이다. 여섯 번째로 제주 해협 구간의 주 위해요소는 안강망 어선 앵커의 끌림이며, 수심은 40~135 m, 저질은 silt, mud, sand 및 rock 등으로 목표 깊이까지 매설이 가능한 silt, mud 및 sand 지역과 매설량이 부족한 rock 지역으로 나눌 수 있다. 이 구간은 깊은 수심대로 조류는 큰 영향을 미치지 못하며, 저질의 특성별 안강망 어선 앵커의 관입 깊이를 고려하여 1.2~3.0 m 매설하는 것을 주 보호공법으로 적용한다. 또한 저질의 특성에 따라 목표 깊이만큼 매설이 불가능한 지역에서는 매설 케이블 상단에 Rock berm을 설치하는 것이 제주 해협 구간의 최적 보호공법이다. 마지막으로 제주연안구간은 먼저 수심이 15 m 이상 되는 제주 연안1 구간으로 주 위해요소는 소형선박 앵커의 투하 및 끌림이다. 저질은 암반으로 이루어져 있고, 수심은 15~40 m이다. 이 구간의 최적 보호공법은 암반을 0.5 m 이상 굴착한 후 주철관으로 보강한 해저케이블을 포설한 후 사석을 이용하여 되매우기를 실시하고, 이후 해저케이블 상단부에 전주-인공어초 구조물을 설치하는 것이다. 그리고 수심이 15 m 이내인 제주 연안2 구간이며, 이 구간의 주 위해요소는 강한 파력으로 가장 많은 보강이 이루어지고 있는 취약 지점이다. 이 구간의 수심은 0~15 m이며, 저질은 암반으로 구성되어 있다. 따라서 제주 연안2 구간의 최적 보호공법은 1.0 m 이상 굴착한 후 주철관, U-duct 설치하고, 최종적으로 파력에 강한 Stone bag을 이용한 되매우기를 하여 환경에 효과적으로 대처한다.

이와 같이 해저케이블 보호공법의 선정에는 케이블 설치 구간에 존재하는 위해요소에 대한 정확한 분석 및 구간별 저질, 수심, 조류세기 등의 해양환경특성 분석이나 친환경적인 요소 등이 고려되어야 한다.

Table 3. Optimum protection method for the HVDC link between Haenam and Jeju Island

Section	Seabed	Burial	Depth (m)	Current (knot)	Hazardous element	Optimum protection method
Heanam coastal	Silt, mud	Possibility	0~5	0.9~1.1	Shock and dragging by small anchor	Burial above 2.0m depth by cast iron pipe
Heanam offshore	Silt, sand, mud	Possibility	5~30	1.2~1.4	Shock by wooden and iron pile	Burial at 0.5m depth +W-mattress
Donghwa Is near East	Hard	Impossibility	22~27	1.8~2.4	Shock by wooden and iron pile	Cast iron pipe +Electronic-mattress
Hwenggan waterfield	Silt, sand, gravel	Possibility	25~40	2.8~4.2	Shock and dragging by large anchor	Burial at 0.5m depth +A-duct
Soan Is.	Silt, sand, mud	Possibility	16~40	2.0~2.4	Shock by wooden and iron pile	Burial at 0.5m depth +W-mattress
Jeju strait	Ssilt, sand	Possibility (trench)	40~135	1.6~2.2	Stow net anchor penetration and dragging	Burial at 0.5m depth (and Rock berm)
Jeju coastal-1	Rock	Possibility (trench)	15~40	1.4~1.6	Shock and dragging by small anchor	0.5m trench + Cast iron pipe +Filling up again of pebbles +Recycle electronic pole-artificial reef structure
Jeju coastal-2	Rock	possibility (trench)	0~15	1.4~1.6	Wave energy induced by large wave	1.0m trench +Cast iron pipe +U-duct +Filling up again of Stone bag

4. 결론

본 논문에서는 우리나라 연안해역에 해저케이블을 설치하기 위해서 어장 환경, 운행 선박 현황 등과 같은 위해요소 뿐 만 아니라 수심, 저질 상태 등의 해양환경특성을 고려한 해저케이블 보호공법을 제시하였다.

국내의 배전케이블은 특별한 보호공법 없이 케이블 자체의 방

호력으로 포설되어 있으며, HVDC 해저케이블에 적용된 보호 공법은 일반적인 매설방법과 더불어 위해요소에 따라서 Concrete mattress, Concrete bag, Rock berm, 주철관(Cast iron pipe), U-duct 등을 적용하여 해저케이블을 보호하고 있다. 그러나 횡간수도 구간에서 시공 당시에 예상하지 못했던 대형 선박의 묘박으로 인한 해저케이블 고장이 발생하여 현재 새로운 보호공법을 적용했다. 또한 제주연안 구간에서는 강한 파력으로 인하여 U-duct의 전도 및 주철관 손상과 해저케이블 손상이 지속적으로 발생하여 재활용전주를 활용한 인공어초 구조물을 설치하여 그 성능에 대한 장기적인 모니터링을 실시했다. 또한 일부 Concrete mattress 설치구간에서 발생하는 문제점에 대해서는 Concrete bag, Mortar bag와 같은 보수·보강 공법이 사용했다. 한편 이러한 공법은 시멘트를 분말상태로 수중에 거치하는 시공 방법상의 문제로 인하여 환경문제를 야기하였으며, 나무말목과 쇠말목 등의 위해요소에 대해서 해저케이블을 완벽하게 보호하지 못하는 것으로 확인되었다. 이에 대한 환경문제를 최소화 시킬 수 있는 케이블의 보호공법에 대한 연구의 필성이 제기된다.

따라서 해저케이블의 위해요소에 대한 정확한 판단과 자원 재활용 측면, 친환경적인 측면 및 해양환경특성 등을 고려한 재활용전주-인공어초 구조물, 재활용전주-mattress, 인공어초 형태의 duct 구조물 등과 같은 새로운 해저케이블 보호설비 개발이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] 한국전력공사(1998), 제주-육지간 전력계통 연계공사 건설지 p. 3-5, pp. 340-388.
- [2] 한국전력공사(2001a), HVDC #2 해저케이블 긴급복구공사 종합보고서, pp. 1-5.
- [3] 한국전력공사(2001b), HVDC 해저케이블 #2 POLE 고장 원인 분석 용역(종합보고서), pp.57-82.
- [4] 한국전력공사(2005), HVDC 송전선로 위탁정비공사 해저케이블 SSS & ROV 점검보고서, pp. 4-10, pp. 49-83.
- [5] 한국전력공사 전남지사(2005), 신안지역 해저케이블 수중 탐사용역 결과보고서, pp. 1-53.
- [6] 한국전력공사(2006a), HVDC 송전선로 해양분야 정비공사 제주 구간 잠수점검 보고서, pp. 16-23.
- [7] 한국전력공사(2006b), HVDC 송전선로 해양분야 정비공사 해남 구간 잠수점검 보고서, pp. 19-58.
- [8] 한국전력공사(2007a), HVDC 송전선로 보호설비 적정성 검토 및 보강용역 최종보고서, pp. 479-481.
- [9] 한국전력공사(2007b), 인공어초를 활용한 해저케이블 보호 공법 개발연구용역 최종보고서, pp. 104-122.
- [10] 한국전력공사(2008), 2008년 인천 해저케이블 잠수 점검

용역 결과 보고서, pp. 20-25.

- [11] Alcatel(1997), CABLE PROTECTION IN THE SEA FARMS AREA AND HAING KAN STRAIT "AS-BUILT" DOCUMENTATION Volume 1 REPORT, pp. 7-15.
- [12] McDermott(1998), Cable Protection in Cheju Strait for the 300 MW HVDC link between Haenam - Gun and Cheju Do - Korea AS BUILT REPORT Volume 1, pp. 6-11.

원고접수일 : 2008년 12월 10일

원고수정일 : 2009년 02월 17일(1차)

2009년 03월 23일(2차)

게재확정일 : 2009년 03월 24일