

## 진도~제주간 HVDC연계사업 해저케이블 보호공법 소개

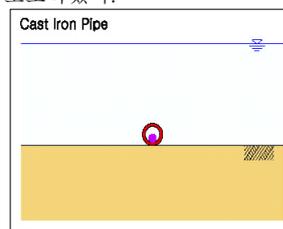
이종석\*, 문봉수\*\*, 송삼섭\*\*\*, 홍순명\*\*\*\*  
한국전력공사

### The Introduction of Submarine Cable Protection Method for HVDC Link Project Between Jindo and Jeju

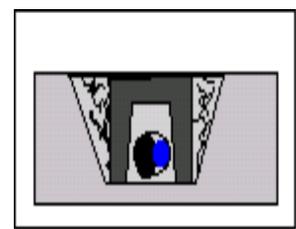
Jong-Seok Lee, Bong-Soo Moon, Sam-Seob Song, Soon-Myung Hong

**Abstract** - KEPCO signed up with LS CABLE as a contractor for HVDC submarine cable construction in February 2009. The desk research has been completed in may 2009. Also, Cable route and the protection method will be selected by November 2009. The tentative cable route between Jindo and Jeju which is consisted of sea farms and shipping route zone will reach almost 105km. The oceanographic survey for the selection of protection method will be carried out and the survey lists are consisted of MBES, SSS, CPT, ADSP. The protection methods such as burial, Concrete Mattress, UP Pipe, Rock Berm will be selected as per each condition of sea area after the oceanographic survey is completed. Kepeco has developed variable methods based on the maintenance experience for HVDC submarine cable between HAENAM and JEJU. Based on the such a accumulated know-how, it can be expected for the confidence and stability of the 2nd HVC project to be improved.

해남 근해 양식어장과 횡간수도 구간 약 23km는 Concrete Mattress를 설치하였고, 제주해협 69km는 해저지질에 따라 1.3~3.0m매설 또는 Rock Berm을 설치하였다. 제주연안 약 0.5km는 0.5m매설후 주철관을 씌우고 "U"형 콘크리트 덮개를 설치하여 보호하였다.



〈그림 1〉 주철관



〈그림 2〉 U-Duct

#### 1. 서 론

KEPCO는 2009년 2월 국내 전력케이블 생산업체인 LS전선을 진도~제주간 HVDC건설사업 케이블 부문 계약자로 최종 선정하였다. 2009년 5월 기초자료를 통한 탁상조사를 완료하였고, 2009년 11월까지 해양 경과지 정밀조사를 통해 해저케이블 경과지 및 보호공법을 선정할 계획이다. 해저케이블은 고장 발생 시 많은 복구비용이 소요되고 복구에 장기간이 소요되나 양식장의 쇄말목, 선박의 앵커 투어 등의 인위적인 위험요인과 계절풍, 태풍 등의 자연적인 위험요인에 상시 노출되게 된다. 이러한 위험요인을 사전에 완전 차단하기란 현실적으로 어려우며 HVDC 해저케이블의 신뢰도 향상을 위해서는 해양환경에 적합한 최적의 보호공법 적용이 필수적이라 할 수 있겠다.

#### 2. 본 론

진도~제주간 HVDC 해저케이블은 HVDC 케이블 4선, 광통신케이블 2선으로 총 6선의 케이블이 포설된다. HVDC 케이블 3선의 정격전압은 DC ±250kV로 전력케이블 또는 귀로케이블로 사용되고, 1선의 정격전압은 AC ±20kV로 귀로케이블 전용으로 사용된다. 예비 경과지는 '07년 [HVDC 제주연계 해저케이블 경과지 선정용역]을 통해 전남 진도군 임회면과 제주도 애월읍으로 잠정 선정되었으며 길이는 약 105km이다. 해저케이블 설치공사 해당 지역은 대륙붕 지역으로서 최대 수심은 약 160m이내 이며, 수심 30m~150m구간이 약 90%를 차지한다. 이 해역은 안강망 어업을 포함한 어로 활동과 장죽 수로에서의 항행 선박 등 포설케이블에 대한 위해 요소가 다수 상존한다. 진도 연안 지역의 경우 툇, 김 등의 면허 및 허가 양식어업이 발달되어 있고, 진도연안 인근의 장죽 수도에는 강한 해류 및 조류(최대 약 8노트)가 흐르고 있어 이로 인한 퇴적층의 두께가 불규칙적이어서 해저케이블의 안전에 위해가 될 수 있다. 따라서 해저케이블의 안정성 담보를 위해서는 선박, 조류, 어업활동 등 인위적 위험요소와 태풍, 계절풍 등 환경적 위험요소에 대비한 보호공법의 적용이 필요하다.

##### 2.1 해남~제주간 HVDC해저케이블 보호공법

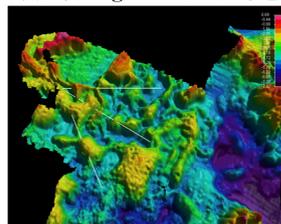
해남~제주간 HVDC 해저케이블 공사는 프랑스 Alcatel Cable사가 시공하여 1993년 6월 설치를 완료하였으나 준공시험 중 안강망 어선의 닻에 의한 케이블 손상 12개소가 확인되어 부득이 해저케이블 96km중 70km를 재시공해야 했다. 이에 대한 대책으로

#### 2.2 진도 ~ 제주간 HVDC해저케이블 보호공법

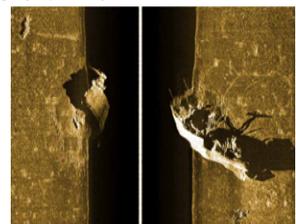
HVDC 해저케이블 보호공법은 해양환경과 해저 지반조건에 따라 결정된다. 동일한 지반조건에서 보호공법에 따른 상대적인 비용을 살펴보면 매설을 1로 했을 경우 Concrete Mattress 설치는 2, Rock Berm 설치는 3이 된다. 따라서 해저케이블 설치를 위한 경제적이고 합리적인 경과지 선정과 케이블에 작용할 수 있는 각종 위험요인을 파악하기 위해서 해양경과지 정밀조사를 사전에 시행 하게 된다. 해양경과지 정밀조사는 크게 지형조사, 해저면 영상조사, 해저 지층탐사, 퇴적물 시추조사, 조석관측으로 나누어진다.

##### 2.2.1 HVDC해저케이블 해양경과지 조사

지형조사는 수심과 해저지형을 조사하기 위해 시행한다. 측정장비로는 다중빔 음향측심기(MBES : Multi Beam Echo - sounder)와 단빔 음향측심기(SBES : Single Beam Echo - sounder)가 있으며 오차범위는 1%정도이다. 해저면 영상조사는 해저면의 영상, 해저 시설물 및 이상물체 등의 존재유무를 확인하기 위해 실시한다. 측정 장비로는 SSS(Side Scan Sonar)가 있으며 해저면을 평면적으로 조사하여 마치 항공사진을 촬영하듯이 해저면의 형태를 표현할 수 있다. 1m 또는 0.2m의 직경을 가진 물체를 탐지할 수 있다. 해저 지층탐사(SBP)는 경과지 해역의 지층특성 및 퇴적층 분포를 조사하기 위해 시행한다. 측정장비로는 Chirp SBP가 있으며 인위적인 음파를 발생시켜 해저면 하부의 지층에 반사되어 돌아오는 음파신호를 수신하여 분석한다. 확인 범위는 최대 5m정도까지 가능하며 매설심도로부터 최대 3.0m까지 확인할 수 있다. 퇴적물 시추조사는 해저면 아래 구성되어 있는 퇴적물 퇴적구조, 입도변화 등 퇴적상을 알기 위해 시행한다. 측정장비로는 CPT(Core Penetration Test), HPC(High Performance Corer)가 있다. 이외 조석관측(THO), 자력탐사(Magnetometer) 등을 시행하게 된다.



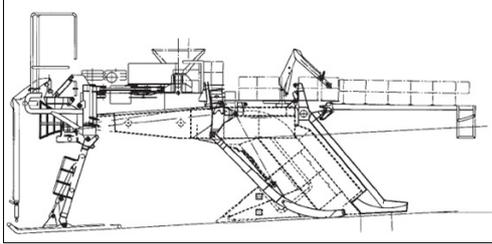
〈그림 3〉 MBES 영상자료



〈그림 4〉 SSS 영상자료

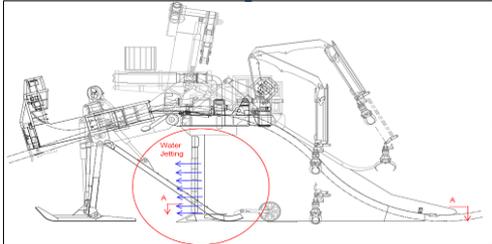
### 2.2.2 진도 ~ 제주간 HVDC해저케이블 보호공법

해양경과지 조사결과 해저지질의 퇴적층이 5m이상일 경우에는 매설기(Plough) 또는 ROV를 사용하여 해저케이블을 3m이상 매설하고, 퇴적층이 5m미만일 경우에는 별도의 보호공법을 적용하게 된다. 해남~제주간 HVDC 해저케이블은 포설선박(Giulio Verne)과 매설선박(Northern Explorer)을 별도로 동원하고, ACP(Advanced Cable Plough) 매설기를 이용하여 작업을 수행하였다. ACP매설기의 Full Tow Force는 250Ton이며 최대 매설속도는 시간당 1,000m이다.



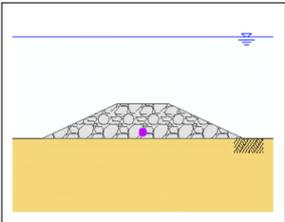
〈그림 5〉 ACP 매설기

진도~제주간 HVDC해저케이블은 1개 선박(M/V Maersk Responder)에서 포설과 매설이 동시 이루어지고, ACP 매설기보다 성능이 향상된 ISU매설기를 투입하게 된다. 진도~제주간 예비 경과지는 '07년 실시한 해양조사 결과 대부분의 지질이 두께 3m이상의 퇴적물 및 모래로 이루어진 것으로 파악되었다. 이와 같은 경우 매설기의 굴삭부가 모래를 통과 할 때 많은 양의 모래 입자가 파헤쳐진 트렌치에 매워지면서 매설기 전단면을 협착하게 되어 매설작업에 더 큰 견인력이 필요하게 된다. 이에 따라 분사기능이 없는 ACP매설기를 대신하여 600kW의 대용량 분사 기능을 장착하고 있는 ISU매설기가 적용될 예정이다. ISU매설기는 새로운 세대의 매설기로서 모래 저질로 구성된 루트에서 매설기 굴삭부에 Jetting 기능을 추가하여 굴삭부 전방부에서 물을 분사(Water Jetting)하고 대용량의 분사된 물에 의하여 모래가 유체화 되면 매설기 굴삭부로 매설하는 장비이다. 모래가 유체화 되면 매설기 굴삭부로 매설하는 장비이다. 모래가 유체화되면 매설기 굴삭부가 모래 저질을 뚫고 나가는데 필요한 견인력이 훨씬 줄어들게 되어 매설속도는 증가하게 된다.



〈그림 6〉 ISU 매설기

보호방안은 해저케이블 설치 후 위해 요소에 적극적으로 보호할 수 있는 1차 보호방안(Concrete mattress, A-Duct, W-mattress, 등)과 해저케이블에 보호제를 취부하여 케이블 표면 손상이나 1차 보호설비가 외력(앵커, 말뚝 등)에 의하여 관통되거나 긁혔을 경우에 케이블 손상을 최소화하는 2차 보호방안(주철관, 우레탄보호관 등)으로 구분된다. 진도~제주간 해저케이블에서 해저지질이 기반암일 경우 적용되는 Rock Berm이나, 제주연안에서 사용되는 U-Duct, Stone Bag 등은 해남~제주간 해저케이블과 크게 다르지 않다.



〈그림 7〉 Rock Berm



〈그림 8〉 Stone-Bag

그러나 이번 사업에서는 과거 양식어장 구간에서 사용되었던 Concrete mattress보다 시공성, 안정성이 더욱 향상된 S-FCM, W-mattress 등이 적용되고, 제주연안에서 파력에 취약했던 U-Duct를 보완하여 인공어초가 적용되게 된다. S-FCM은 철근

콘크리트 셀을 매트리스 형태로 연결한 공법으로 앵커(2톤 이상)충격 및 끌림에 우수하고 요철이 심한지역에서도 시공할 수 있다. 양식어장 구간에서 주로 사용되며 공사비가 비교적 고가이다. W-mattress는 매트리스 연결부가 겹치도록 고안된 공법으로 안정성이 높으며 앵커와 쇠파말목에 의한 낙하충격에 우수하다. 양식어장 구간이나, 보수/보강 지점에서 주로 사용되며 해저 지형이 30cm이상 변경되므로 별도의 인허가가 필요하다.



〈그림 9〉 W-mattress



〈그림 10〉 FCM

### 2.2.3 HVDC해저케이블 고장위치 검출 시스템

해저케이블 신뢰도 향상을 위해서는 보호공법을 통해 고장을 사전에 예방하는 것이 중요하지만, 고장발생 시 정확하고 신속히 고장위치를 파악하여 조기에 복구하는 것도 중요하다. 진도~제주간 HVDC해저케이블에는 “GPS를 이용한 고장점 표정 시스템”이 적용 된다. 이 시스템은 해저케이블 선로 양단에 Surge Detector를 설치하여 해저케이블 고장발생 시 고장지점에서 발생하는 Electrical surge를 검출한다. 그리고 GPS의 Clock pulse를 이용하여 케이블 양단에서 측정되는 Surge의 도달시간의 차이로 고장점을 검출하게 된다. 이 시스템은 지중 송전선로, 가공 송전선로, 배전선로에 널리 이용되고 있으며 신속성과 정밀성이 이미 입증되었다. 이번에 국내에서는 최초로 해저케이블에 적용되게 된다.

## 3. 결 론

2006년 4월에 해남~제주간 HVDC 해저케이블 고장파급으로 제주도 전 지역이 정전되는 사고가 발생하였다. 당시 고장으로 복구기간 동안 HVDC 송전용량 감발에 따른 발전 구입단가 상승과 직접 복구비용으로 수백억원의 금전적 손실을 입었으며, 해저케이블 손상으로 인한 HVDC시스템 신뢰도 저하와 제주지역 정전에 따른 KEPCO 브랜드의 이미지 훼손까지 감안하면 그 피해는 금액으로 환산할 수 없을 정도이다. 당시 해저케이블의 고장원인은 아직까지 명확히 밝혀지지 않았지만, 사고 지점이 대형선박이 항행하는 횡간수로 구간이고 케이블에 남아있는 외상으로 미루어 닛 등에 의한 외부손상으로 추정되어 지고 있다. 해저케이블은 경과지 내에서 수시로 발생하는 어로작업과 대형선박의 닛, 양식구간의 쇠파말목 등 외부 위험요인을 사전에 완전 차단할 수 없으며, 고장 발생 후에도 그 원인파 책임소재를 밝히는 데 많은 어려움이 있다. 따라서 HVDC해저케이블의 안정성, 신뢰도 향상을 위해서는 경과지 해역에 대한 정밀 해양조사를 통해 케이블에 작용할 수 있는 인위적, 자연적 위험요인을 사전에 파악하고 적합한 보호공법을 선정하는 것이 최선의 방안이라 할 수 있다.

KEPCO는 1996년 11월 프랑스 Alcatel Cable사를 시공자로 해남~제주간 HVDC해저케이블에 최초로 보호공법을 적용한 이후 13년간의 유지,보수 경험을 바탕으로 우리나라 서남해안의 해양환경에 적합한 여러 가지 보호공법을 자체 개발하였다. 초창기 단순 Concrete Mattress에서 시공성 및 안정성을 향상시킨 S-FCM, W-Mattress를 개발하였으며, 파력에 취약한 U-duct를 대체할 방법으로 폐전주를 이용한 인공어초 보호공법을 개발하였다. 2차 HVDC 해저케이블 건설사업은 경과지 조사 단계에서부터 1차 HVDC 해저케이블 건설사업에 비해 정밀도가 크게 향상된 측정장비가 투입되어 해양 정밀조사가 이루어지게 되며, 초창기 설비보다 개량된 보호설비가 설치되게 되어 HVDC 해저케이블의 신뢰도가 크게 향상될 것으로 기대된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 김지영, 이병국, 유승환 제주~해남간 전력계통 연계사업 건설지“ 한국전력공사, 1998.
- [2] 성하근, 조준성, 김대환 “HVDC제주연계 해저케이블 경과지 선정용역 종합보고서” 한국해양기술, 2007