

**유인잠수정 통합형 HVDC 해저케이블 점검시스템 개발**

안용호\*, 유희영, 이봉희, 정길조, 정창수, 임흥현  
 한전전력연구원, 한전전력연구원, 한국전력공사, 한전전력연구원, 한국전력공사 (주)서브씨테크놀로지

**Development of HVDC Submarine Cable Surveying System with Integrated Pathfinder**

Y.H.Ahn, H.Y.Yu, B.H.Lee, G.J.Jo, C.S.Jung, H.H.Kim  
 KEPRI, KEPRI, KEPRI, KEPRI, KEPRI, Subseatech.Ltd.

**Abstract** - HVDC(High Voltage Direct Current) is an underwater cable between Jeju Island and Haenam in main land and supplies approximately 50% of electrical usage in Jeju Island. If there is any power failure due to HVDC, it will cost approximately 50,000 US dollars per day including Thermal Electrical Generation. Therefore it is absolutely necessary to recover the problem in rapid timely basis.

Present survey method in Korea is done by scuba diver with air cylinder resulting very poor visual inspection. Other option is by only visual camera attached on miniature ROV for solely survey purpose. This method does not include burial depth of cable, cable position, cable condition & etc... In result, current method does not generate any scientific or sophisticated data which does not allow any intelligent management decision.

In conclusion, new method and new systems are needed urgently to upgrade current HVDC underwater cable survey technique in Korea to minimize the cost and time factors.

ROV 역시 사용에 따른 비용 및 섬세한 작업의 제한 등 기술적 제한으로 인해 이에 대안으로 과거 무인잠수정의 단점을 보완한 DOV(Directly Operated Vehicle : 유인잠수정)가 연구개발 되었고 현재 미국 Texas 및 Florida Gulf의 유전지대[1] 및 Canada Vancouver지역의 해저케이블 공사에 국내 보유중인 잠수정과 동일한 기종의 유인잠수정이 다른 종류의 초보적 해저케이블 점검시스템과 Interface 되어 동원, 사용된 실적이 있다.

**2.1.2 국내현황...**

한전은 고장점 탐지기술 확보를 위해 영국 Innovatum 사의 Underwater Cable Tracking System (Ultra System Model #02 : 수중 케이블 추적 장치)를 도입하여 운용중에 있으며, 해저케이블에 대한 점검실태는 잠수사에 의해 잠수가 가능한 수중 35m 이하의 수심인 경우, 잠수사에 의한 육안조사 및 수중 35m 이상의 경우 역시 소형 ROV에 부착된 단순 Camera에 의한 Visual Inspection (육안조사)만 시행되고 있는 실정이다.

**2.1.3 현 점검방법의 문제점**

잠수사가 직접 잠수하여야 하는 경우 잠수사의 수중체류 시간은 수심, 수온 및 잠수사의 역량에 따라 최대 30분 이내로 제한되며 이는 잠수 작업시간의 제한을 의미하고 이를 위반하였을 경우, 잠수병 및 기타 상해를 가져와 잠수사의 생명을 위태롭게 하는 치명적 결과를 초래하여 인명손실의 위험을 내포하고 있다. 수심 35m 이하의 천해지역인 경우, 잠수사의 목측(目測) 및 탐침봉(잠수사가 휴대하여 해저면 바닥을 간헐적으로 찌르며 케이블 매설 유무를 판단)에 의존하여 해저면에 매설된 케이블을 점검하는 방법들 사용하나, 이는 케이블 실제 매설깊이가 1m 이상인 점을 고려하였을 때 케이블을 연속적으로 추적하고 매설깊이를 측정하는 작업은 실제로 불가능하다. 수심 35m 이상의 심해지역인 경우, ROV를 이용하여 조사가 시행되고 있으나 ROV에 단순 Camera만이 장착되어 있으므로 단지 노출되어 있는 케이블에 대해서만 조사가 가능할 뿐이다.

**1. 서 론**

우리나라의 제주 해남간 설치 운전중인 HVDC 해저케이블은 제주지역 전력의 50%를 담당하고 있는 설비로서 고장시 신속한 복구가 요구된다(1일평균 발전 연료비 손실 6천만원). 외국 용역사의 경우, 1회 고장점 탐지 및 복구 등에 100억 정도의 경비를 요구하고 있고, 이를 해외 용역사에 100% 의존하는 실정이며 복구에 장기간 (7개월 : 대부분을 동원 철수일로 소요)이 소요된다.

현재 국내에서 시행되고 있는 케이블 점검방법은 잠수사의 목측에 의존한 단순한 Visual Inspection(육안조사)과 Camera만을 장착한 소형 ROV(Rometyly Operated Vehicle)의 Visual 촬영에만 의존하여 케이블 이상유무상태를 판단하고 있어 해저케이블 매설심도, 매설된 케이블의 직접적인 상태 등 케이블에 대한 객관적이고 과학적인 조사가 이루어지지 않고 있는 실정이다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결할 수 있을 뿐만 아니라 신뢰성 및 경제성이 있고, HVDC 해저케이블 점검기술을 한단계 Upgrade 시킬 수 있는 유인잠수정 통합형 HVDC 해저케이블 점검시스템 개발시 부분별 해결방안을 제시한다.

**2. 본 론**

**2.1 해저케이블 점검기술 현황 및 점검시스템 특징**

**2.1.1 국외현황**

과거 Offshore Oilfield(해양 유전지대) 등에서 잠수사의 위험 노출 및 증가, 비용 절감을 위하여 다국적 기업인 Oceanering사(社)나 COMEX사 등에서 ROV가 개발되어 현재 해저케이블 설치분야로 파급되어 사용 중이나

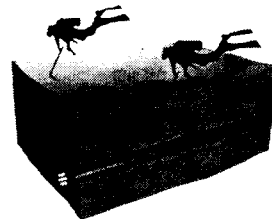


그림 1. 잠수사에 의한 점검

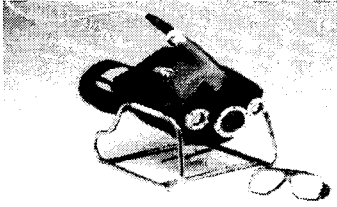


그림 2. ROV 점검

한편, 앞장에서 언급된 현재 사용 중인 2가지 국내 조 사방법은 케이블에 대한 객관적 수중 위치를 측정할 수 있는 System(Underwater Tracking System)이 설치되어 있지 않아 케이블의 위치추적 및 손상위치를 수중에서 감지하였다 하더라도 차후 동일 지점에 대한 복구 및 확인작업이 불가능한 상황이다. 또한 연속적으로 케이블의 위치추적 및 매설깊이 측정과 이에 따른 Data 취득이 불가능하여 케이블 유지보수를 위한 GIS 구축은 더욱 어려운 실정이다. 이와 같은 현 실정으로 비추어 볼 때 모든 정보 및 System이 총동원되어야 하는 고장점 탐지는 현실적으로 요원한 상황이다.

### 2.1.4 점검시스템의 특징

해양조사는 해양이라는 특수 환경으로 인해 조사시 반드시 선행될 일련의 과정이 있으며 본 논문에서도 마찬가지이다. 1차적으로 수면에서 움직이는 잠수정 모선에 대한 일정한 정확도를 유지할 수 있는 위치정보시스템이 갖추어져야 하며, 2차적으로는 실제 해저케이블이 위치한 곳은 수중 해저면이며 유인잠수정 역시 수중에서 활동하게 되므로 수중에서도 일정한 정확도를 유지할 수 있는 위치 정보시스템의 확보가 우선되어야 한다. 3차적으로 해저케이블에 대한 신뢰할 수 있는 탐지시스템이 구축되어야 하며 최종적으로 전송된 모든 시스템이 통합적으로 운용되어야 하는 것이 본 기술의 핵심이다.

본 논문에서 제안한 유인잠수정 통합형 해저케이블 점검시스템에 의한 점검방법은 실제 고장 현장에 과일듯이 접근하여 육안으로 현장 확인이 가능하며, 유인잠수정 운용에 필요한 지원선박 역시 대형 ROV 동원시 필요한 특수 대형선박이 아닌 소형선박으로도 임무수행이 가능하여 대형 ROV에 비하여 경제적이므로, HVDC 해저케이블 고장점 탐지 및 케이블 매설상태 점검시 효과적으로 사용할 수 있는 최적의 기술이다.

## 2.2 시스템 예측장애요소에 대한 해결방안

### 2.2.1 해상(Surface) 위치정보 취득

#### 2.2.1.1 개요

가장 우선적으로 선행되어야 하는 작업은 잠수정 모선(母船)의 위치정보를 확보하는 것이다. 해상에서의 위치 정보는 최근 각광받고 있는 GPS(Global Positioning System)를 기반으로 사용한다. 미 국방부에서 계획, 제작된 위성용 사용하여 정확한 3차원 위치를 결정하는 시스템으로 삼각측량의 원리를 이용하며 특정 인공위성으로부터 수신기까지의 거리를 각 위성에서 발생하는 부호신호(C/A코드)의 발생시점과 수신시점의 시간 차이를 측정하여 다음 여기에 빛의 속도(=전파)를 곱하여 계산하는 방식이다.

$$C \times T = S \quad (1)$$

C : 광속[m/s]

T : 지체시간[m]

S : 거리[m]

#### 2.2.1.2 예측장애요소

일반적으로 GPS는 위성시계오차, 위성궤도오차, 대기

권(이온층, 전리층, 대기)의 전파지연오차, 수신기 발생오차, Multipath 등으로 약 20m 이상의 오차를 가진다. GPS 위성신호를 받아 위치를 측정하게 되는 실제위치는 GPS Antenna의 위치이다. 해상에서의 선박은 바다의 계속적인 움직임 및 선박의 기동으로 인한 6자유운동(Pitch, Roll, Heave, Sway, Yaw, Surge)을 하게 되고 이로 인해 선박에 탑재된 GPS Antenna 역시 6자유운동을 하게 되어 위치오차를 발생시킨다.

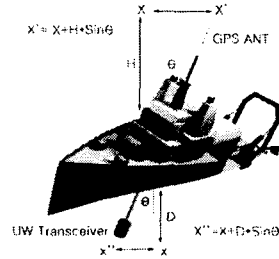


그림 3. 6자유운동 오차개념

#### 2.2.1.3 해결방안

일반적으로 GPS 오차를 보정하기 위해서 해상에서는 DGPS (Differential GPS : 차등위성측위장치)를 사용한다. 육상에 설치된 기지국에서 위성오차정보를 선박의 이동국에 전송하여 이를 보정하는 방식을 취해 왔으나 이 역시 오차가 약 5m 정도 상회한다. 더욱이 선박의 6자유 운동시 오차는 파급적으로 증가된다. 이는 DGPS 오차를 수용하며 GIS를 구축하기는 어려우며 이에 대한 대안으로 RTK GPS를 사용하나 기지국과 10km반경 내에서 운용되어야 하는 제약 등으로 사용상의 어려움이 있다.

최근 일부 해외의 해양공사에서 육상과 거리가 멀고 위치정밀도를 요구하는 대규모 해양공사시 사용되는 Omni-star 방식을 적용하면 정밀도 1m 이내의 위치측정 성과를 얻을 수 있다. 이는 RTK 이용시 발생하는 L1/L2 반송파의 오차정보 및 UHF/VHF 등의 출력에 의한 거리제한을, 국지적 전송방식을 떠나 지구주위에 중계위성을 쏘아 올려 임의지점에 설치된 육상보정국에서 위성으로 신호를 전송, 이를 다시 선박에서 위성신호를 받아 사용하는 형태를 취하게 된다. 잠수정 모선(母船)에 Motion Sensor(자세 보정 장치)를 설치하여 실시간 선박의 자세정보를 파악하고 이에 대한 각각의 Parameter ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ )를 GPS로부터 취득되는 위치정보 Parameter와 병합하여 실시간 위치정보를 획득할 수 있게 되므로 해상 상태가 악화되어도 수면 모선의 정확도는 2m 이내를 확보할 수 있게 된다.

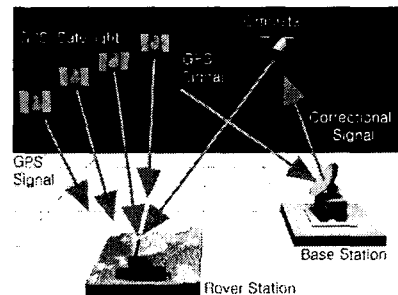


그림 4. Omnistar 위성통신 방법

### 2.2.2 수중 위치정보 취득

#### 2.2.2.1 개요

수중에서 활동하는 유인잠수정 위치정보의 취득은

잠수정의 안전을 위한 지속적인 Monitoring 및 차후 케이블에 대한 추적과 위치파악을 위해서는 필수불가결한 사안이다.

수중활동과 관련되는 거의 모든 통신매체는 음파(Acoustic)를 이용하며 잠수정의 위치파악 역시 음파(Acoustic)를 이용하여 측정하게 된다. 모선 선저에 부착된 Transceiver에서 발신된 음파가 잠수정에 부착된 Transponder에 전달되고, 전달된 음파신호를 Transponder는 다른 신호로 변환하여 이를 다시 모선의 Transceiver로 전파하고 신호를 받은 Transceiver는 각각의 신호를 연산부에서 시간차 계산 및 위치를 연산하여 잠수정의 위치를 파악하게 된다.



그림 5. 수중통신 개념도

### 2.2.2.2 예측장애요소

모선 선저에 부착된 Transceiver(송수파기)는 선박의 6자유운동으로 계속적으로 운동을 하게 되고 수신되는 음파의 시간차를 가져와 오차를 야기하게 된다. 수중 통신 시스템과 유사한 주파수(Frequency: Band of 30kHz) 대의 음파를 사용하게 되는 경우 잠수정 위치측정 및 통신에 혼선을 초래하게 된다.

### 2.2.2.3 해결방안

GPS 사용시 이용되는 Motion Sensor를 잠수정 위치 측정 시스템의 Transceiver와 동시에 Interface(연동)시켜 자세 변동량을 계산하고 이를 수중 위치 시스템과 병합하여 실시간 정밀위치를 획득한다. 수중 통신 시스템의 경우 Dual Band(2중 주파수)를 채택하여 해저면 작업시 저주파수(8kHz)를 이용한 통신을 하는 경우 수중 위치 측정시스템 가동시 발생하는 통신혼선 문제를 해결할 수 있다.

## 2.2.3 수중 통신

### 2.2.3.1 개요

유인잠수정 운용시, 잠수정 안전 및 기타 항해와 관련된 모든 사항이 유인잠수정 모선과 지속적으로 통화되어야 한다. 이는 잠수정의 Launching & Recovery (진수 및 회수)시 반드시 필요하며, 한편 케이블 추적 또는 유시 보수를 위한 케이블 인양시 없어서는 안 될 시스템이다.



그림 6. 수중통신장치

### 2.2.3.2 예측장애요소

유인잠수정이 수면에 부상하였을 때와 수중 체류시 공기와 액체라는 공간 매체의 차이로 1가지 통신 매체로는

양쪽의 공간을 동시에 사용하기는 불가능하다. 따라서 3.2항에서 언급한 바와 같이 수중 위치 시스템과 유사한 음파 주파수대를 사용하는 경우 주파수 충돌을 초래하여 수중통신 및 수중위치 추적 모두가 불가능하게 된다.

### 2.2.3.3 해결방안

유인잠수정이 수면에 부상하였을 때, VHF 전파통신 시스템을 이용하고, 수중으로 하잠시, 이를 음파통신으로 전환하여 사용하면 양공간에서 모든 통신을 자유롭게 할 수 있다. 수중 위치정보 획득시스템의 경우 일반적으로 Frequency(주파수)가 30kHz 내외의 Band를 사용하고 수중 통신시스템 역시  $\pm 3\text{kHz}$  내외의 거의 같은 주파수를 사용한다. 이는 두 시스템을 동시 가동하였을 경우, 간섭은 필연적이라고 할 수 있다. 이에 대한 대안으로 일반적으로 대심도에서 사용하는 8kHz Band의 Transducer(음파발생기)를 별도로 추가하여 인접 주파수 간의 상호간섭을 피할 수 있다.

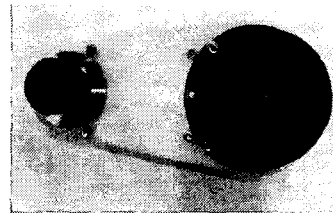


그림 7. Dual Band 음파발생기

## 2.2.4 케이블 추적 및 고정점탐지

### 2.2.4.1 개요

바다속 해저면에 평균 2m 정도의 매설깊이로 묻혀 있는 케이블을 탐지하기 위해서는 특수 고안된 감지장치가 요구된다. 응용원리는 지구는 위도별로 고유 지자기를 가지고 있으며 이러한 고유 지자기를 가지는 해저면에 전력케이블 또는 기타 인공물체가 위치하는 경우, 유도 자기장이 형성되고 위도별 자기장과 다른 이상(Anomaly)을 감지하는 원리이다. 약 6개의 고정밀 Sensor가 부착되며, 각 Sensor에서 측정된 자기장의 세기를 측정하고 이를 삼각측량법을 이용하여 케이블의 상대적 위치를 파악한다.

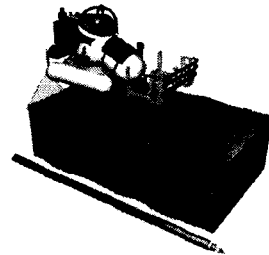


그림 8. 케이블 추적 개념도

고정점 탐지의 경우 케이블에 톤제너레이터(Tone Generator)를 연결하여 일정 주파수(50hz & 60hz)의 전류를 흘려보내고, 손상부에서 손실이 되는 것을 감지하여 고정점을 탐지한다.

### 2.2.4.2 예측장애요소

케이블 탐지 장비는 아주 미세한 자기장 변화를 감지하는 장치이므로 유인 잠수정 및 기타 주변기기로 발생되는 자기장으로 인해 많은 오류 Data를 생성하게 될 것이다. Sensor에서 감지한 매설 케이블의 거리는 유인

잠수정이 해지면과 이격되어 유평하는 경우, 실제 매설 깊이가 아니므로 오류 매설 Data를 생성하게 된다.

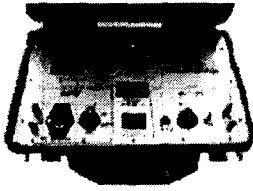


그림 9. Tone Generator

### 2.2.4.3 해결방안

유도자기장을 생성하는 모든 장비에 차폐장치를 설치하고, 모선 갑판에서가 아닌, 해저면에서 케이블과 최소 50m 이상의 유격을 둔 상태에서 영점조정(Calibration)을 매 잠수시 실시한다. 그림 10과 같이 유인잠수정에 고도계(Altimeter)를 설치하여 해저면 표면과 잠수정과 거리를 실시간 계산하여 이를 케이블 탐지 Sensor에서 생성되는 케이블 매설 data와 감산하여 실제 매설깊이를 도출해낸다.

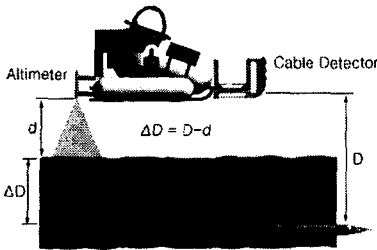


그림 10. 고도계 설치도

## 2.2.5 시스템 통합

### 2.2.5.1 개요

전술된 모든 관련 시스템들은 모선 시스템과 잠수정 시스템으로 구분되며, 이들은 다시 모선의 항해를 관장하는 Ship Navigation System, 모선의 자세정보를 관장하는 Attitude System, 수중의 유인잠수정을 계속적으로 추적하며 Monitoring 하는 Underwater Tracking System과 Communication System으로 분리된다. 한편 유인 잠수정은 잠수정의 항해정보를 담당하는 Underwater Navigation System, 해저케이블의 추적 및 고장점 탐지를 담당하는 Cable Tracking System, 잠수정의 자세정보를 담당하는 Attitude System과 모선과의 통신기능을 담당하는 Communication System 및 해저면을 촬영하는 Photographic system으로 분리된다. 이러한 모든 시스템은 서로 유기적으로 연결되어 실시간 서로간의 정보를 공유하고 재생성하여 안정적으로 저장되어 해저케이블 상태를 점검하며 차후 GIS구축에 필요한 Data를 확보할 수 있어야 한다.

### 2.2.5.2 예측장애요소

그림 11과 같이 서로 상이한 시스템과의 Interface, 특히, 시간적 차이를 가지며 생성되는 Raw data의 상호연결은 용이하지 않을 것으로 예측된다.

### 2.2.5.3 해결방안

영상촬영 Frame을 제외한 모든 System은 Rs-232, Rs-422 등의 방식으로 Interface 되며, 이는 Raw Data 생성시 서로 공유하는 Identity를 가지게 된다. 한편, 영상 영상의 경우 위치 또는 시간을 영상의 각 Frame에 삽입하여 이를 차후 ID로 활용하여 GIS 구축시 이용한다.

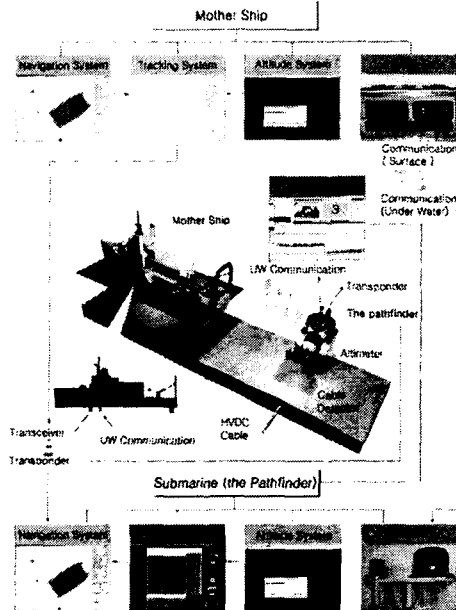


그림 11. 시스템 인터페이스 구성도

## 2.2.6 GIS 구축

### 2.2.6.1 개요

해저 매설 케이블에 대한 유지보수 차원의 요구정보는 여러 가지 다양하다. 해저케이블을 조사시 획득되는 원시자료(Raw data)는 유인잠수정 추적 작업과 더불어 약 초단위로 획득된다. 이러한 원시자료(Raw Data)를 사용자 입장(Client)에서 예측할 때, 위치별 케이블 매설심도, 위치별 케이블피복, 매설상태에 대한 실제 촬영영상 등이 된다. 획득된 모든 정보는 Post Processing(후처리) 과정을 거쳐 정제화 되며, 정제화된 자료는 GIS(Geo-spatial Information System: 지형공간정보체계) 기반 하에 체계적으로 구축된다.

### 2.2.6.2 예측장애요소

제주-해남간 HVDC 100km(1 Line) 구간을 모두 조사할 경우, 초당 획득되는 Raw Data는 위치별 매설심도 200,000개(1개/0.5m), 케이블 피복 및 매설상태에 대한 촬영영상 Frame은 25,000,000frame (25frame/sec)이 된다. 전술된 바와 같이 엄청난게 많은 양의 Data를 사용자 입장에서 체계적이며 능률적으로 관리하고 더 나아가 이를 차후 케이블 유지보수를 위하여 활용하기 위해서는 특별한 관리시스템이 구축되어야 한다.

### 2.2.6.3 해결방안

GIS(Geo-spatial Information System : 지형공간정보체계)는 컴퓨터를 이용하여 지형, 지리 및 기타 관련된 다양한 정보를 그 특성에 따른 공간적 위치에 맞추어 자료를 입력, 저장과 검색, 조작과 분석 및 출력하여 지역 개발, 자원개발 및 환경보존 등 여러 가지 목적에 맞게 활용할 수 있는 종합정보체계를 의미한다. GIS(지형공간정보체계)를 도입하여 해저면을 가상공간으로 구축하고 여기에 실제 조사된 케이블 매설깊이 및 시각자료를 Text로 저장과 동시에 이를 3D Graphic화하여 사용자 Desktop에서 GUI(Graphic User Interface)를 제공, 일련의 해저케이블 관련 정보를 조회하고 상태를 파악할 수 있도록 하여 케이블 유지보수시 100% 활용할 수 있도록 한다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 HVDC 해저케이블 점검기술을 한단계 Upgrade 시킬 수 있는 유인잠수정 통합형 HVDC 해저케이블 점검시스템 개발시 구성요소별 예측 장애요소에 대한 해결방안을 제시하였다. 특히 각종 정보를 육상에서 해상 및 해저까지 상호 신뢰성 있는 Data를 주고 받을 수 있도록 각 시스템간 인터페이스를 구축하는 것이 해결하여야 할 가장 중요한 과제라 할 수 있다. 본 논문에서 제시한 해결방법으로 이러한 문제점은 충분히 해결 될 것으로 판단된다.

향후 유인잠수정 통합형 해저케이블 점검시스템이 완료되면 HVDC 해저케이블 점검 및 고장점 탐지뿐만 아니라, 배전용 해저케이블 점검에도 활용될 전망이며, 이로 인한 국내기술 확보로 해저케이블 고장시 발생하는 복구비용에 대한 수입대체 효과와 안정적 전력공급 확보가 기대되며, 이 외에도 해저케이블 건설공사시 케이블 루트 정밀조사 및 감리업무 수행과 해저통신케이블 및 해저가스관 점검에도 순수 국내기술을 이용하여 활용될 것으로 기대된다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] Ocean News January/February, pp.16, 2003.
- [2] 한국전력공사, "송배전용 해저케이블 점검기술 개발," 계획서, pp.1-24, 2003.