

# 해저 케이블 건설을 위한 해양조사 방법에 대하여

## Techniques for Submarine Cable Route Survey



金 承 友\*

Kim, Sung Woo

\* 해양기술사, 한국자원연구소  
석유해저연구부 책임연구원

### 1. 서언

해저 케이블 건설의 역사는 1851년 도버해협에 해저 전신 케이블을 포설한 것으로 시작된다. 우리 나라의 경우는 1980년 한~일간 해저 동축 케이블이 최초로 포설 되었으며 그 후 1988년 - 1990년에 서해에서 도서(島嶼) - 육지간 해저 케이블 건설이 있었고, 그후 제주도 - 육지간, 울릉도 - 육지간 해저 광케이블 건설이 계속되었다. 또한 국제적인 통신망 확충의 필요성이 대두됨에 따라 한국 - 일본 - 홍콩간, 한국 - 러시아 - 일본간, 한국 - 중국간, 아시아 - 태평양간(APCN), 중국 - 미국간, FLAG(Fiber Link Around the Globe) 통신망 등 수많은 해저 케이블 망이 건설되어 현재 개통되어 있는 상태이다. 이외에도 몇 개의 국제간 통신망 건설 사업들이 계획되는 중에 있는 것으로 알려지고 있다.

이러한 건설 작업들의 일환으로 해저 케이블 설치를 위한 최적 루트를 선정, 케이블의 종류별 물량 예측과 케이블 보호공법 개발, 전체 시스템 설계에 필수적인 기초자료를 획득하여야 하는데 이를 위하여 다음과 같은 정밀한 해양조사의 실행이 필수적이다.

### 2. 육양점 및 예정루트 선정

먼저 해저 케이블 건설계획을 수립함에 있어 육양점의 선정은 매우 중요하다. 육양점은 해저 케이블 시스템의 설치, 유지 및 운용에 필요한 제반 문제들을 만족시켜야 한다. 즉, 가능한 한 육양 작업에 적합한 모래로 구성된 확 트인 해안인지, 케이블 매설선(cable ship)의 해안 접근을 어렵게 하는 암반 돌출지역이 존재하는지 등 자연환경 조건을 검토해야 한다.

그리고 어업활동이나 배의 투묘(投錨, anchoring) 현황, 채광행위 등 해저케이블에 피해를 줄 요인 등의 유무를 확인하고, 양질의 전기통신 시스템과의 연결, 안정된 동력 공급, 설비자재 운반, 인근 공공시설물 이용의 용이성 등과 같은 인문환경적인 여건도 충분히 고려하여야 한다.

해양조사 수행에 앞서 육양점 선정과 아울러 중요한 것은 예정 루트 계획의 수립인데, 충분한 기존 자료나 정보를 토대로 다음 요건들을 검토하여 루트를 계획하여야 한다.

- 1) 육양점 간의 거리(가능한 한 짧게 잡을 것)
- 2) 해저면 상태(암반지역을 피하여 사질성 혹은 이질성 해저면을 선택할 것)
- 3) 해저면 경사(가급적 평탄한 곳이나 경사가

20도 이상인 해저산맥이나 골짜기가 없는 곳을 선택할 것. 또 경사를 수평으로 가로 지르는 곳은 피할 것)

- 4) 루트의 코스 변경(30도 이하)
- 5) 관계 법규 검토(해양조사와 케이블 건설작업에 관계되는 법률, 규정, 해양경계 및 소유권에 의해 요구되는 허가 및 통행권)
- 6) 예정루트 근처의 어업활동상태 파악
- 7) 군의 사격장 또는 제한 지역 존재 여부
- 8) 지진활동 및 저탁류(底濁流)의 정보
- 9) 해저의 자원과 채광작업
- 10) 폐기물 처리장의 존재 유무
- 11) 선박의 항로 여부
- 12) 기존 케이블과의 적당한 이격(離隔) 유지 (혹은 교차하는 경우 두 개의 케이블의 각기 가능한 한 직각이 되게 할 것)
- 13) 기타 장애물의 존재유무의 파악
- 14) 케이블 설치 후 예측되는 다른 케이블 추가 건설계획

### 3. 선박위치 측정

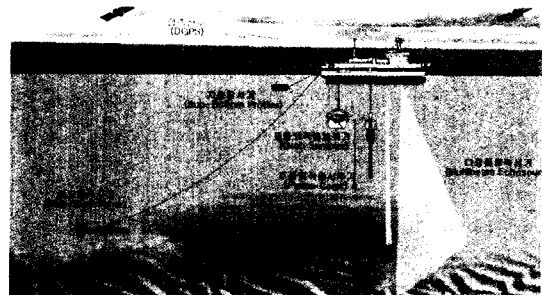
원활한 해양조사를 위해서는 각종 탐사장비를 갖춘 적당한 크기의 전용 조사선박이 필요하다. 때로는 수심이 매우 낮은 해역에서의 작업을 위하여 소형선박(예: 어선)에 필요한 장비를 임시로 적재하여 조사작업을 실시할 수도 있다. 그러나 어떤 경우라도 조사선박의 정확한 위치 결정은 모든 해양조사 작업에 있어서 매우 중요하다.

선박의 위치 측정에는 거리에 따라 여러 가지 방법이 있다. 단거리(short range)용은 극초단파를 사용하는데 육상에 최소한 2개의 전파기지국(reference station)을 설치 운영한다. 물론 육상의 기지국은 측량에 의하여 위치를 미리 결정해 두어야 한다. 원리는 조사선박에 장치한 선박이

동국(receiver/transmitter)에서 레이더 펄스 방법으로 전파를 발사하면 육상의 전파기지국에서 수신한 후 반송한 신호를 수신하여 삼각도법으로 거리를 측정한다. 일반적으로 오차 수 m 이내의 정확도를 가진다.

최근에는 주로 위성을 이용한 GPS에 의해 선박의 위치측정을 하는데 원리는 다음과 같다. 즉 지구상공 약 20,200 km 고도에서 6개의 서로 다른 궤도면으로 지구를 선회하는 위성 중 조사선박 부근을 통과하는 4개 이상의 위성으로부터 송출되는 신호를 수신하여 연속적으로 선박의 위치를 측정하는 것이다. 그러나 일반적인 GPS를 사용하는 방법은 신호가 갖고 있는 오차 때문에 항해용이나 개략조사에만 이용하며, 케이블의 루트 조사와 같이 정밀을 요구하는 조사에서는 실시간 DGPS(real-time differential GPS) 방식을 선택하여야 한다.

실시간 DGPS 방식은 이미 알고 있는 고정 위치 점에 GPS 수신기와 보정신호 송신장치가 부착된 시스템을 설치하여 시간에 따라 변화하는 GPS 위치 값을 측정한 후, 라디오 비콘(beacon) 안테나 혹은 INMARSAT(International Maritime Satellite Organization)와 같은 위성통신용 안테나를 이용하여 실시간으로 육상 기지국으로부터 보정 값을 조사선에서 송신 받아 측정된 위치 값을 보정 하는 방법이다. 이때 위치의 정확도는 오차범위 수 m 이내가 된다.

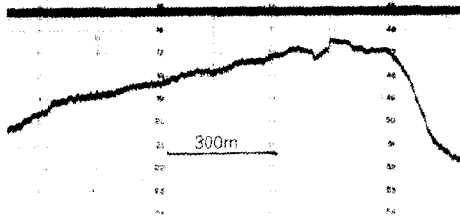


〈그림 1〉 해양조사 모식도

#### 4. 해저지형 조사

해저면의 굴곡을 조사하기 위하여 연속 음향 측정을 실시하게 되는데, 그 원리는 조사선에 부착되어 있는 음향 측심기의 발진기를 통하여 음파를 해저면에 쏘아낸 후 해저면으로부터 반사되어 나온 음파를 수신하여 수중에서의 음속과 음파의 왕복시간의 곱으로 거리, 즉 수심을 자동 계산하고 기록하여 해저면의 기복 변화를 상세하게 파악하는 것이다.

이 때 음향 측심기의 수신기(transducer)는 조사선의 요동에 의한 영향을 최소한으로 줄이기 위해 조사선의 현측 중앙부에 부착 하든가 선저(船底)에 장착한다. 음속은 해역의 수온, 염분, 수압에 따라 달라지므로 정확한 자료에 의해 음속을 결정해야 한다. 또한 우리 나라의 서, 남해안과 같이 조석간만의 차가 심한 해역에서는 조석실측치(潮汐實測值)에 의한 수심 보정(補正)을 반드시 실시하여야 한다.



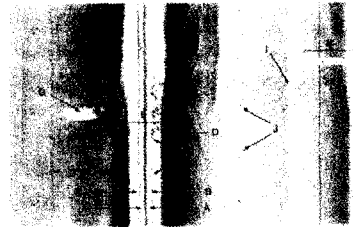
〈그림 2〉 천해용 음향 측심기의 기록지  
수직으로 나타나는 숫자는 m 단위임

최근에는 다중 빔 음향 측심기(multi-beam echo-sounder)가 개발되어 사용되고 있는데, 기존의 음향 측심기가 단선적(單線的)인 수심자료 밖에 얻을 수 없는 단점을 보완하여 음파의 빔(beam)을 넓은 각도로 마차 해저면의 일정 폭을 스캔(swath)과 같이 주사(走射)하고 그것을 수신(受信)하여 해저면의 지형 정보를 보 상세히 얻을 수 있는 장비이다.

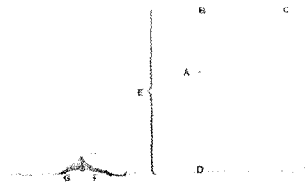
#### 5. 해저면 측사 탐사(side scanning survey)

이 탐사법은 해저 침몰선을 수색하기 위하여 1963년 Harold E. Edgerton에 의하여 최초로 고안되었다. 그 후 사용 주파수를 변환시킬 수 있는 송수신기와 열감지식(熱感知式) 고해상도(高解像度) 기록장치, 디지털 처리 및 분석 장치, 주변의 항법(航法)장비 또는 저장장치를 연결하여 사용할 수 있는 인터페이스 등이 개발되어 보다 정밀하고 간단히 운용할 수 있는 현대식 기술로 발전되었다.

최초 목적에 따라 초기에는 해양 군사과학 분야, 해양조난 및 구조분야 등에서 해저 난파선, 항공기, 전함 등을 찾는데 많이 활용되었다. 그러나 많은 해양 연구 장비들이 군사과학 분야에서 개발된 후 일반적인 용도로 개발, 변형되어 온 것처럼 이



〈그림 3〉 Side Scan Sonar의 기록지  
A. 트리거 펄스(trigger pulse) B. 초기 해수면 반사 C. 수면 혼란 상태 D. 초기 해저면 반사 E. 수주(water column) F. 침몰 어선 G. 그림자 H. 데이터 채널 I. 시스템조정 J. 축척 눈금(25m)

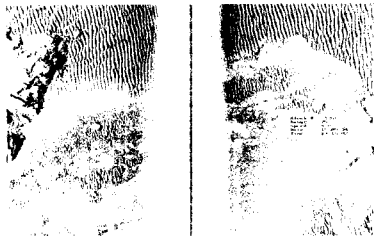


〈그림 4〉 (그림 3)의 기록자료가 취득될 때의 상황  
A. 트리거 펄스(trigger pulse) B. 초기 해수면 반사 C. 수면 혼란 상태 D. 초기 해저면 반사 E. 수주 F. 침몰 어선 G. 그림자

측면주사(側面走射) 해저면 탐사 기법 역시 현재는 해양학, 해양공학, 구조지질학 분야 등에서 매우 중요한 탐사 기법 중의 하나가 되었다.

예를 들면 해저퇴적물의 양상과 모래파 등과 같은 층면 구조(bedform) 분포 연구, 이와 관련된 해류 또는 조류의 특성 추정, 해저 표면의 지질 및 지반에 대한 전반적인 조사, 해저 면에 노출된 단층선의 정밀 추적, 해저 단계(submarine steps)와 같은 지형특성 파악, 해저면 훼손 또는 준설 상태 점검, 해상구조물의 해저 지지(支持) 상태 확인 등에 널리 이용된다.

해저면 측면주사 탐사장비(Side Scan Sonar)는 토우 피시(tow fish), 예인용 케이블(tow cable)과 기록장치(recorder)로 구성된다. 토우 피시는 선박에 의하여 예인이 가능한 탄성과 송수신 장치로서 100 kHz, 500 kHz의 송수신 주파수를 탐사자가 기록장치에서 선택적으로 사용할 수 있다. 또한, 기록장치에서는 송수신 장치에서 사용하는 주파수를 선택할 수 있을 뿐만 아니라 탐사선박의 좌, 우측의 탐사범위 설정, 자료처리용 탐사선박 속도 설정, 토우 피시와 해저면 사이의 거리 모니터링, 수신 이득(gain) 설정 등 다양한 장치운용변수들(operating parameters)을 설정하여 입력할 수 있고, 필요에 따라 항법장치, 기록장치, 첨기(添記: annotation) 장치 등을 선택적으로 부착시켜 사용할 수 있다. 예인용 케이블(tow cable)은 송수신기와 기록장치를 연결시켜



〈그림 5〉 Side Scan Sonar의 기록. 사진 퇴적물에서의 구조와 음반의 분포가 잘 나타남.

전원을 공급하고, 송 수신된 탄성과 신호를 전달함과 동시에 토우 피시를 예인하는 역할을 한다.

## 6. 해저지층 조사

해저면 하의 지층에 대한 정보 즉, 퇴적층은 무엇으로 구성되어 있으며 그 두께는 어떻게 변하는가를 알기 위해 지층조사를 실시하여야 한다. 해저지층조사는 인위적으로 발생시킨 탄성파가 지하 지층에서 반사되거나 굴절되어 되돌아오는 도달시간을 수진기로 기록하는 것으로 시추자료 분석과 함께 퇴적층들의 물리적 특성을 이용하여 층서(層序)를 구분하고 퇴적환경을 규명하는 중요한 해저지질조사 방법 중의 하나이다. 일반적으로 시추(試錐) 조사는 한 지점에 대한 수직적인 퇴적층의 변화를 구명(究明)하기 위해서는 좋은 방법이나 수평적으로 연속적인 변화를 파악하는 데에는 많은 시추조사를 수행하지 않을 수 없는 단점을 가지고 있다.

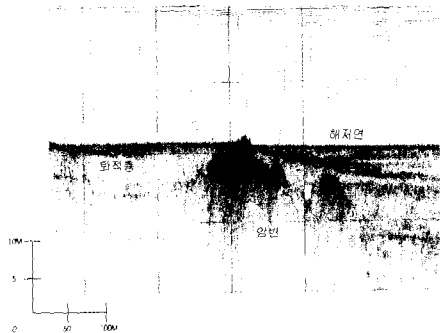
그러나 해저지층조사는 퇴적층의 물성을 이용한 간접적인 지질정보인 단점을 가지고 있음에도 불구하고, 이차원 또는 삼차원적인 퇴적층에 대한 광범위한 지질정보를 매우 경제적으로 제공하기 때문에 시추조사 방법과 상호보완적인 관계를 유지하면서 해저지질조사 과정에서 필수적으로 수행된다.

해저지층조사 장비는 해저면 또는 해저퇴적층의 퇴적구조로부터 단층, 붕락 구조(崩落構造) 등 지질재해요소에 대한 다양한 규모의 지질정보를 확보하기 위하여 여러 가지 주파대역을 갖는 장비를 동시에 사용한다. 이 것은 서로 다른 주파수대역을 갖는 장비를 동시에 사용함으로써 분해능(分解能)은 좋으나 얇은 투과심도(透過深度)를 가지는 높은 주파수대역과, 분해능은 나쁘나 깊이 투과하는 낮은 주파수대역의 장단점을



고루 이용하기 위함이다. 이것은 양호한 분해능과 깊은 투과력을 겸비한 조사장비가 아직도 개발이 미진한 실정에 기인하기도 하다.

해저통신 케이블의 매설은 해저표층에서 수 m 정도의 심도에서 이루어지고 이런 정도의 천부 퇴적층의 정보를 얻기 위 하여는 대체로 주파수가 3.5 kHz인 장비를 선택한 것이 적합하다. 3.5 kHz 조사장비는 분해능이 0.1 - 0.3 m 이며 세립질 퇴적층(細粒質堆積層)에서 투과 심도는 보통 20 - 30 m 이다.



〈그림 6〉 암반 노출을 보여주는 지층탐사 (sub-bottom profiling)의 기록지. 좌 하단의 숫자는 수평 및 수직의 축척.

## 7. 해저퇴적물 조사

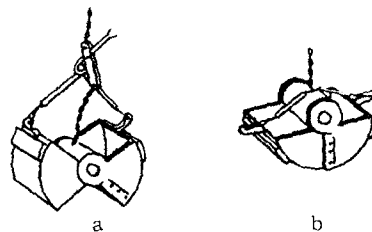
해저면 측사 탐사나 해저지층탐사는 결국 해저의 지질상태를 간접적으로 조사하는 방법이라 할 수 있다. 이를 직접 확인하기 위해서는 해저의 퇴적물이나 암석을 선상에서 채취하여 시료를 실험실로 옮겨 실내분석 및 실험을 행해야 한다.

해저의 시료를 채취하는 방법은 주로 조사선박이 미리 선정된 조사 지점에 정선하여 적합한 장비를 해저면에 내려서 시료를 채취하는 것이다. 해저면의 표층(表層) 시료를 채취하느냐 혹은 주상(柱狀)시료를 채취하느냐, 해저의 대체적인

상태가 이질(泥質)이나 사질(砂質) 퇴적물 혹은 암반인가에 따라 사용되는 장비가 달라지는데 경우에 따라서는 암석 채취용 시추기(rock drill)가 동원되기도 한다.

표층퇴적물 채취장비는 주로 그랩형 시료 채취기(grap sampler)가 사용되며, 이것은 조사선박이 정선한 상태에서 채취기를 와이어에 매어 서서히 해저면에 내려서 해저면에 닿는 순간 충격에 의해 고리가 풀리면서 채취기 자체의 무게나 스프링의 힘에 의해 뚜껑이 닫히도록 고안되어 있다. 이런 그랩형 시료 채취기는 Dietz Lafond, Birge Ekman, Smith McIntyre, Van Veen 등이 고안한 여러 가지 형태가 있다.

사질퇴적물, 자갈 혹은 암반 분포 해역에서는 S.K. Nakai sampler를 비롯한 각종 드렛지(dredge) 장비가 사용된다. 드렛지는 모양에 따라 원통형, 직사각형형 그리고 실린더형 등 세 가지로 구분 할 수 있다.



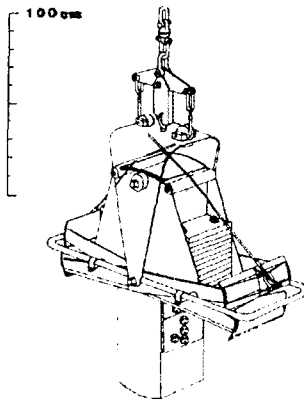
〈그림 7〉 그랩형 퇴적물 시료 채취기. a는 뚜껑이 열린 상태, b는 해저에 채취기가 닿아서 뚜껑이 닫힌 상태.



〈그림 8〉 직사각형형 드렛지. 자갈과 같은 조립질 퇴적물 혹은 암반 채취를 목적으로 사용됨. 조사선박이 저속으로 드렛지를 끌고 가면서 시료를 채취 함.

그랩형 시료 채취기가 해저의 표층이나 교란된 시료밖에 채취할 수 없는 단점을 보완하기 위해 퇴적 구조 등이 비교적 교란되지 않은 상태에서 퇴적층을 길게 관통할 수 있는 즉, 주상 퇴적물 시료를 채취할 수 있는 상자형 시추기(box corer), 중력식 주상퇴적물 시추기(gravity corer)나 피스톤식 주상퇴적물 시추기(piston corer) 등이 고안되어 널리 사용되고 있다.

상자형 시추기는 표층 퇴적물을 비교적 덜 교란되게 그리고 많은 량의 시료를 채취 할 수 있으며 코아의 길이는 보통 1.2m 이내 이다.



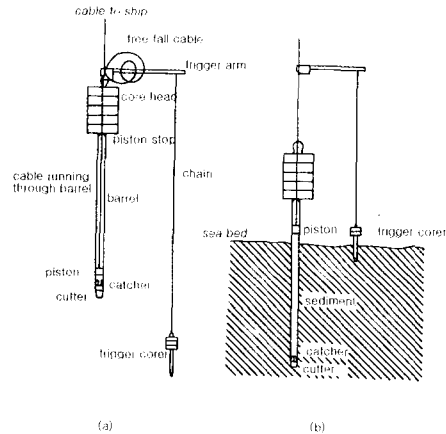
〈그림 9〉 상자형 시추기(box corer). 비교적 덜 교란된 퇴적물 시료를 다량 채취 할 수 있음.

중력식 주상퇴적물 시추기는 글자 그대로 선상에서 와이어에 매달은 시추기를 해저면으로 떨어뜨려 시추기가 퇴적층을 중력에 의하여 관통하면서 퇴적물 시료가 시추기의 내부로 들어가게 된다. 이때 시료가 다소 교란되고 또 장비의 구조상 해저면에서 수 m의 심도밖에 관통하지 못하는 단점이 있다.

이러한 단점을 보완한 것이 피스톤식 주상퇴적물 시추기이다. 이 시추기는 1947년 Kullenburg에 의해 처음 개발되었으며, 시추심도는 수 m에서 20여 m이다. 원리는 트리거(trigger) 역할을

하는 추가 먼저 해저면에 닿으면 지렛대 원리에 의해 고정되어 있던 시추기가 자유 낙하하고, 시추기 내부 맨 밑에 있던 피스톤은 작동과 동시에 시료를 진공상태로 흡입하게 된다. 이 때 안으로 들어오는 시료는 교란이 거의 없이 회수된다. 이때 트리거는 단순히 추나 소형의 중력식 주상퇴적물 시추기를 병용하기도 한다.

이 밖에도 해저 면이 사질퇴적물로 구성되어 있는 경우에는 진동식 주상퇴적물 시추기(vibro corer)를 사용하는 등 해저의 조건에 따라 장비를 선택해야 한다.



〈그림 10〉 피스톤식 주상퇴적물 채취기(piston corer)의 각 부분의 명칭(a)과 해저면을 투과했을 때의 모양 (b).

## 8. 해양물리특성 조사

조사 해역의 해양물리학적 특성을 파악하기 위하여 해류관측, 조석측정, 수온 및 염분 등을 측정한다.

해류는 정해진 지점에서 수층 별로 측정을 한다. 해류 측정 방법은 프로펠러의 회전속도로 해류의 속도를 계산하는 기계식 또는 해수의 흐름에 의해 유도되는 전자기적 현상을 이용하는 전자식 등이 있다. 또한 자료획득의 형태에 따라



직독식 해류 측정기(direct-reading current meter)와 기록식 해류 측정기(recording current meter)가 있다. 최근에는 조사선박이 정지하여 측정하는 기존의 방법들과는 달리 음파의 도플러 효과를 이용한 음향 도플러 해류계(ADCP: acoustic doppler current profiler)가 개발되어 조사 선박이 항해 중에도 수층 별 해류의 방향과 속도를 측정한다.

수온 및 염분의 측정은 과거에는 전도온도계, 난센 채수기, 염분측정기 혹은 BT (Bathy-Thermography) 등을 사용하였으나 최근에는 CTD(Conductivity, Temperature & Depth) 시스템을 이용한다.

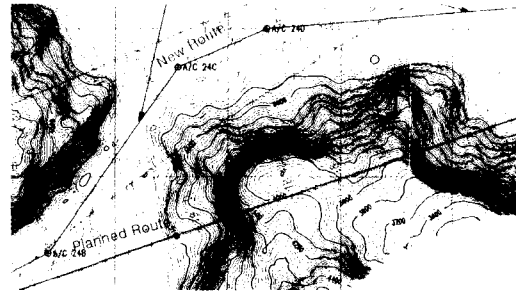
우리 나라의 서, 남해안과 같이 조차가 심한 곳에서는 반드시 수심 측정 후 조석 보정을 실시해야 한다. 보정에 사용되는 조석실측치는 기존 자료를 이용하거나 수압에 의해 수위를 측정하여 자동으로 기록되도록 설계되어 있는 검조기(tide gauge)를 활용하여 현장에서 직접 조위의 변화를 측정하여 구한다.

## 9. 기타 조사

수심이 너무 낮아 조사선의 접근이 어려운 곳이나, 해양조사 결과 암반의 노출이나 장애물이 분포된 지역으로 판단된 지점 또는 이상기록이 나타났으나 기록의 판독이 어려운 지점은 다이버에 의한 잠수조사도 필요하다. 잠수조사시에는 육안으로 해저면의 상태를 확인하고 비디오 촬영, 사진 촬영, 탐침(探針) 조사 및 시료채취를 실시한다.

케이블 루트 해양조사의 방법 중 또 다른 하나로 쟁기 매설조사(PAS: plough assessment survey)가 있는데 이는 예정 루트를 따라 갈고리나 쟁기같이 생긴 기구를 선박이 예인하면서 퇴

적층의 투과력이나 장력을 계속적으로 측정하는 방법이다.



(그림 11) 해저지형도상의 케이블 루트. 조사결과 계획 당시에는 몰랐던 해중산(sea mount)의 발견으로 예정 루트를 일부 변경한 예.

## 10. 결론

해저 케이블 건설 작업은 예비조사 단계에서 육양점과 잠정적인 루트를 선정 후, 해양조사에서 해저면의 지형 변화와 퇴적물의 특성을 파악하고 케이블의 매설심도가 해저 수 m인 점을 감안하여 천부퇴적층에 관한 정확한 정보들을 파악하여야 한다. 또한 해양조사에서 획득한 탐사 자료나 각종 시료들은 실내에서 해석작업 혹은 실험, 분석을 거쳐 그 결과에 의해 케이블 공사 설계에 필요한 사항 등이 수록된 각종 도면으로 종합된다.

일반적으로 사전에 철저한 예비조사와 검토를 거쳐도 건설 직전에 해양조사 결과에 의해 육양점이나 예정루트가 일부 변경되는 경우도 있다. 그러나 적절한 조사 방법의 선택과 정확한 해양조사에 의한 최적 루트의 선정은 보다 경제적이고 안전한 건설공사와 사후 사고발생을 최소화할 수 있다.

(원고 접수일 1999. 9. 8)

참고문헌

1. 한국통신 통신시설사업단, 1994. 울릉-육지 해저 광케이블 시설공사 실록. p.448.
2. 한국해저통신(주), 1995. 해저 광케이블 통신기술. p.339.
3. Fish, J. P. and Carr, H. A., 1990. Sound Underwater Images: A Guide to the Generation and Interpretation of Side Scan Sonar Data. American Underwater Search and Survey, Ltd., p.190.
4. Hailwood, E. A. and Kidd, R. B., 1990. Marine Geological Surveying and Sampling. Kluwer Academic Publishers, p.180.
5. Hussong, D. M., 1997. Seabed Characterization for Submarine Cable Installation. In: Conference Proceedings for Sub-Optic '97 A New Century for Undersea Systems, pp. 398-408.
6. Noad, J., 1993. Successful Cable Burial - Its Dependence on the Correct Use of Plough Assessment and Geophysical Surveys, Advances in Underwater Site Investigation and Foundation Behaviour. Kluwer Academic Publishers, pp.39-56.