

해저 통신케이블의 안전성 유지 방안

(On the Safe Maintainance of Subsea Transcommunications Cables)

1995.6.2

한국해양대학교 해양공학과
교수 박한일

해저 통신케이블의 안전성 유지 방안

(On the safe maintainance of subsea transcommunication cables)

박 한일 (한국해양대학교 해양공학과)

HAN-IL PARK (Dept. of Ocean Engineering, Korea Maritime University)

요약문

국제간 정보통신전달 수단으로 인공위성과 해저케이블이 상호보완적으로 사용되어 왔다. 특히 최근에 와서는 해저 광케이블의 등장으로 국가간 정보통신전달 수단으로 케이블의 역할이 급격히 증대되고 있다. 해저케이블은 열악한 해양환경에 노출되어 있으므로 건설시나 운용중에 손상 받을 가능성이 아주 크며 그로 인한 파급효과가 엄청나다. 또한 해저케이블 사고시 복구에 많은 시간과 어려움이 뒤따르며 비용도 막대하다. 따라서 해저케이블의 안전성을 확보하는 것은 매우 중요하며 이에 대한 보호대책이 절실하다. 본 논문에서는 해저케이블의 건설 및 운용상에 발생할 수 있는 여러 불안전 요인들을 찾아보고 그에 대한 대책방안을 고찰해 보고자 한다.

1 서론

산업의 지속적인 발달과 함께 신속한 정보획득 및 대용량의 통신에 대한 수요가 날로 증가되고 있다. 이와 같은 국제간 정보통신수단으로 해저케이블은 인공위성과 함께 상호보완적으로 사용되어 왔으며 현재 전세계의 해저를 거미줄처럼 연결하고 있다. 세계 최초의 해저케이블은 1851년 도버해협에 설치된 전신케이블이며 그 이후 동축케이블 시대를 거쳐 눈부시게 발전해 왔다. 특히 1970년대 광케이블의 개발로 해저케이블에도 실용화되었으며 1989년 태평양 횡단 광케이블망인 TPC - 3 / HWP - 4 의 개통으로 새로운 해저케이블 시대가 시작되었다. 또한, 국내에서는 1980년의 부산 - 하마다간 한·일 국제 해저 동축케이블 시스템의 건설 이후로, 현재 울릉 - 육지간 무중계 해저 광케이블 시스템을 건설하기에 이르렀다.

해저 광케이블은 인공위성통신에 비해 정보통신전송의 고품질화, 전송자연의 해소, 정보누설의 최소화, 설치공간 풍부함, 비용 절감 등의 장점이 있어 상당히 선호되고 있는 실정이다. 이에 따라 전 세계적으로 수많은 해저 광케이블망이 새로 계획되거나 건설되고 있다. 한 예가 최근에 발표된 '지구 광섬유케이블 연결망 (FLAG)'으로 불리는 해저 광케이블 계획이며, 모두 14억 달러 규모의 사업비를 들여 2만6천1백89km에 이르는 세계 최장의 해저 광케이블망이 건설될 예정이다. 이것은 모두 25개국을 거쳐 영국과 일본간에 건설될 예정이며 오는 97년10월경에 완공될 예정이다. 또한 우리 나라가 참여하는 국제 해저 광케이블 통신망 건설도 활발히 진행되고 있으며 다수가 계획되어 있다. 그림 1은 한국주변에 설치된 해저 광케이블망과 건설 계획도를 나타낸다.

이와 같은 해저케이블 시스템은 크게 해중설비 (Submersible Plant), 육상부 설비 (Land Section), 육양국 설비 (Terminal Station)로 나눌 수 있다. 해중설비에는 신호를 전달하는 해저

광 케이블과 감쇠 왜곡된 신호를 재생하여 전송하는 해저 중계기 등이 있고, 육상부 설비로는 육상 케이블과 해안 접속시설 (Beach Joint), 접지시설이 있으며, 육양국에 설치되는 설비로는 전송 단국장치 (Terminal Transmission Equipment), 해중설비 (중계기)에 전원을 공급하는 급전장치 (Power Feeding Equipment) 와 전송상태를 감시·조정하는 감시 및 유지 보수장치등을 들 수 있다. 그림 2는 해저 광케이블 시스템의 구성도를 나타낸다.

해저 광케이블 시스템 건설은 육상에서와는 달리 험한 해양조건, 즉 해풍, 파도, 조류 및 해류 등과 어업활동 등에 의한 위협과 어려움이 따르게 된다. 또한, 해저 광케이블의 경우 해저면에 포설된 해중설비는 약 25 년 동안 안전하고 안정된 상태를 유지하여야 하기 때문에 정밀한 해양조사 및 충분한 장비를 갖춘 포설선박에 의해 포설되어야 하고, 어업활동등 외부의 위협요인들로부터 케이블이 보호되어야 한다.

초기의 해저케이블 시스템의 사고사례를 살펴보면, 최초의 사고는 1850년 도버해협에 세계 최초로 건설된 해저 전신케이블에서 사고가 발생하였는데, 운용 하루만에 어구 (魚具)에 걸려 절단되어 중단되었다. 그후 1851년 외장케이블 제조 기술의 개발로 같은 해협에 케이블을 다시 포설하여 약 10 년 동안 운용하였다. 또한 1853년 대서양 횡단 해저 전신케이블이 성공적으로 건설되었으나 케이블 절연층이 부식되어 운용 77 일 만에 고장이 났다. 그 후에도 수많은 사고가 발생되어 왔으며 해저케이블 보호대책에 대한 방안이 다각도로 강구되어 왔다.

해저케이블 안전에 관한 연구는 통신관련 회사들에 의해 주로 수행되어 왔으며 미국 AT&T사의 BELL 연구소, 영국의 BT Marine, 일본의 KDD 등에 의해 주도적으로 많은 연구가 진행되었다 [1, 2].

국내의 해저케이블 관련기술은 상당히 낙후되어 있어 사고시 주로 선진국에 의존하고 있는 실정이다. 또한 국내의 해저케이블 설치 및 유지보수에 관한 연구는 상당히 부족한 상황이며 시작단계에 머물고 있다 [3]. 국내에서 유지보수해야 할 기존의 해저케이블뿐만 아니라 새로 건설될 해저케이블의 수요가 증가됨에 따라 케이블의 안정성 유지기술을 시급히 자립화할 필요가 있다. 본 연구에서는 해저케이블의 안정성을 위협하는 여러 요인들을 찾아보고 그에 대한 대책방안을 기존의 연구사례들을 근거로 고찰해 보고자 한다.

2 해저케이블 불안전 요인

해저케이블을 손상시키는 요인에는 환경적 요인과 인위적인 요인으로 나눌 수 있다. 각각의 상호작용에 의해서 손상을 유발하기도 하나 독립적으로도 손상을 유발한다. 각각의 손상요인들을 간략히 살펴본다.

2.1 환경적 손상요인

- 암반지역에 노출된 해저케이블인 경우 해류나 파도의 영향에 의해 해저케이블은 움직임이 발생할 수 있으며 이로 인해 암반과 케이블의 마찰에 의해 케이블이 손상 받을 수 있다.
- 과격한 해조류나 태풍이 내습하는 해역에 케이블이 설치될 경우 매설되지 않은 케이블은 말 할 것도 없고 매설된 케이블 마저 휨쓸려 갈 가능성이 크다.
- 해저면 경사가 급한 지역에 등심선과 수평 하게 설치된 케이블의 경우 저탁류의 흐름에 의해 케이블이 쉽게 손상 받는다.
- 화산활동이 활발한 해역에 설치될 경우 케이블의 손상은 불가피하다.

- 상어와 같은 어류에 의해서도 케이블이 자주 손상 받게 된다.

2.2 인위적 손상요인

- 해저케이블 설치시 선박속도 및 케이블 사출속도가 잘 조절되지 않아 케이블에 루핑(looping) 및 킨킹(kinking) 현상이 발생하여 크게 손상 받는다. 그림 3은 케이블의 루핑과 킨킹 현상에 의해 케이블이 실제로 파손된 경우를 보여주고 있다.
- 저인망 등의 어로활동에 의해 손상 받을 가능성이 높다. 그림 4는 해저케이블을 횡단하는 저인망 나타낸다.
- 대형선박의 투묘에 의해서도 자주 손상 받는다.
- 해양자원개발 및 해양공사가 실시될 경우 케이블이 손상 받는다.

위에서 언급된 여러 요인 중에서 어로활동, 선박의 투묘, 마찰 등의 순서로 손상 발생 가능성이 높으나 복합적으로 발생한다 (그림 5 참조).

3 해저케이블의 보호대책

3.1 정밀한 해양조사와 선로선정

해저케이블의 안정성을 도모키 위해 사전에 충분하고 정밀한 해양조사를 실시해야 한다. 통상 해양조사는 천해부 (수심 200 m 까지) 조사, 심해부 (수심 200 m 이상) 조사로 구분되며 해저지형 및 지질조사, 해양 물리특성 (해류, 조석, 수온, 염분도) 조사, 현장에서의 매설조사에 의해 구체적인 자료수집이 이루어진다. 해양조사의 실시방법은 여러 가지가 있으나 어느 방법으로 조사할 것인가는 조사비용과 사용설비에 의해 결정된다. 해양조사에 사용하는 기기는 측심기, 해저면 상황 조사기기, 해저면하 상황 조사기기, 해저 토질 조사기기, 매설 조사기기, 수심 조사기기, 유속유향 측정기 등이 있다.

해양조사에 근거하여 해저케이블의 선로를 선정하는데 경제성과 향후 케이블의 안전성을 동시에 고려하여 결정한다. 선로선정시 고려할 점은 자연조건과 인위조건으로 나뉜다.

먼저 자연조건은

- 육양점 간의 루트거리가 가급적 짧을 것.
- 케이블을 매설하는 구간과 고가의 케이블을 적용하는 구간을 될 수 있으면 짧게 하여 가능한 경제적인 루트를 선정함
- 20 도 이상의 해저면 경사지역은 피해야 하며 경사지역에 케이블을 포설할 경우에는 해저면 경사와 수직하게 루트를 설정해야 함.
- 해저지질이 가급적 사질 또는 니질이어야 하며 암반지역을 피해야 함.
- 해저케이블 수리작업을 위해 극심해 지역을 피해야 함.
- 해조류가 과격하지 않는 곳을 선택해야 함.
- 포설공사 중에는 표층류가 영향이 되지만 포설후의 케이블은 저층류의 영향을 받으므로 협, 해곡, 해구부 등에 대해서는 상세히 조사하여 해류가 없는 곳을 선택함.
- 화산활동이 활발한 화산해역은 피할 것.

다음으로 인위적인 조건은

- 케이블에 손상을 주는 저인망 등의 어업활동이 없는 곳.

- 선박의 항로는 될 수 있으면 피하고 대형선의 투묘의 위험이 있는 해역은 반드시 피할 것.
- 기타 케이블 또는 해저 파이프 선 등의 교차, 접근은 될 수 있는 한 피할 것.
- 해양 투기 장소는 피할 것.
- 케이블에 지장을 미치는 항공, 선박 연습역, 강하구 등은 피할 것.
- 해저유전, 망간단괴 등의 해저개발이 실시될 가능성이 있는 해역은 피할 것.

3.2 안전한 포설공사

포설이란 케이블 선박이 미리 예정된 루트를 따라 항해하면서 선박에 정착되어 있는 여러 장비들을 이용하여 케이블이나 중계기등 해저 설비물들을 해저면에 가라앉히는 작업을 일컫는다. 포설공사로는 육양공사, 천해부 포설공사(Shore-End Cable Laying), 심해부 포설공사(Deep-Sea Cable Laying) 등이 있다. 케이블 포설시 가장 중요한 점은 지나치게 케이블을 풀어서 야기되는 루핑 및 킨킹 현상이나 케이블 과다손실을 방지하여야 하며, 반대로 덜 풀어서 생기는 과도한 장력이나 해저면에서의 케이블 매달림 현상이 발생하지 않도록 사출속도나 선박속도를 해저 지형상태에 따라 적절하게 맞춰야 한다. 따라서 해저케이블의 설치기법을 고도화해야 하며 이를 위한 해저케이블 설치전용 프로그램 시스템이 필요하다.

3.3 케이블 자체의 외장

해저케이블을 여러 손상요인으로부터 보호하기 위해서는 기본적으로 케이블 자체를 외장한다. 표 1은 적용지역에 따른 여러 외장을 구분하고 있다.

표 1 해저 광케이블의 외장별 구분

외장 종류	약어 (영문표기)	적용지역	비 고
이중 외장	D A (Double Armored)	수심 0 - 50 미터	극천해부용
단일 외장	S A (Single Armored)	수심 50 - 100 미터	천해부용
경 외 장	LWA (Light Weight Armored)	SA 케이블 매설지역	천해부용
어치방지용	FBP (Fish Bite Protection)	수심 1000 - 3000 미터	상어 피해 방지용
무 외 장	L W (Light Weight)	수심 3000 미터 이상	심해용

그림 6은 외장케이블 (Armored cable)의 외형과 4종류의 횡단면을 나타낸다.

3.4 케이블 매설

해저케이블의 매설공사에 있어서는 어업활동이나 선박의 투묘, 선박의 정박등 외부의 인위적 요인에 의한 고장이 발생하지 않도록 해저케이블을 예정된 루트에 따라 소정의 깊이로 안전하게 확실하게 매설하지 않으면 안된다. 해저케이블의 매설 심도는 해저면 저질과 어로활동 상황 선박 앵커 및 투묘의 관입심도가 고려되어야 하며 과광의 영향으로 인한 모래층의 퇴적심도가 계절적으로 변하는 해역에 대해서는 최적 퇴적층을 기준으로 한 매설심도가 결정되어야 한다. 표 2

는 일반적인 해저케이블 매설공사시 적용되는 대략적인 매설심도를 보여주고 있으나 보다 정밀한 기준을 수립하는 것이 필요하다.

표 2 케이블 매설심도 및 적용조건

적 용 구 분	매 설 심 도
해안가 부근에서 매설기 사용이 곤란한 곳	0.5m ~ 1.0m
저인망 조업 지역	1.0m ~ 2.0m
소형 선박의 투묘지 및 어항	
항만, 하천 등의 중형선박 투묘지	2.0m ~ 3.0m
준설계획 등의 특수해역	3.0m 이상
항만 등에서 대형선박의 투묘지역	

해저케이블 매설은 해양조사 결과를 바탕으로 매설조사를 통하여 매설 가능지역과 심도를 구체화한 뒤 Water Jet식 매설공법, 쟁기식 매설공법, ROV (Remotely Operated Vehicle) 등의 매설공법중 최적공법을 선택하여 실시한다.

3.5 해저케이블 외부방호

해저케이블 보호공법은 케이블 자체를 외장하거나 매설하는 것을 원칙으로 하나 위험요인이 많은 지역에서는 상황에 따라 적절한 보호공법을 적용한다.

1) 콘크리트 직접고정 공법

파랑이 심한 지역 및 비교적 굴착이 쉬운 지역에 대해서 콘크리트에 의한 보호공법이 이용된다. 암반지일 경우 케이블을 굴착 밑면에 간 다음 25 cm 정도를 압괴로 덮고 그 위에 콘크리트를 쳐서 덮는다. 암반지에서 짧은 시간내에 완료할 수 있는 간단한 공법이라 하겠다.

2) 콘크리트 포대 공법

해저면 지질이 암반 또는 암초로 되어 있으며 표면에 균열, 홈, 요철부분이 있어 케이블을 삽입할 수 있는 경우와, 암초의 균열간격이 트랜치로써 굴착할 수 있는 장소이지만 배수가 곤란한 지역에서는 케이블을 먼저 포설하고 그 위에 콘크리트 포대 공법을 적용한다. 이 공법은 선박의 투묘, 저인망 어업이 활발한 곳에서는 안전하게 케이블을 보호할 수 있으나, 콘크리트 포대를 썩여야 하기 때문에 많은 노력과 시간이 소요된다. 요철부분의 깊이가 작아 케이블을 수용할 수 없는 지역에서는 일정한 깊이까지 굴착하여 콘크리트 포대를 썩우는 공법을 사용하거나, 그것이 여의치 않을 경우에는 소형의 U 자강을 사용하여 케이블을 덮어씌우고 그 위에 콘크리트 포대를 썩우는 공법도 있다. 한 구역에 1 조의 케이블을 매설하는 경우와 2 조를 매설하는 경우가 있다.

3) 밴드 고정공법

해저면의 지질이 암반이거나 암초지역으로 선박의 투묘나 저인망 어업이 활발하지 않은 암반이 대체로 평탄한 지역에서는 파랑, 조류 등에 의하여 케이블이 이동하여 손상될 가능성이 많을 경우 밴드 고정 공법을 적용한다. 이 공법은 암반에 드릴로 구멍을 뚫고 난 후, 암반용 볼트를 슬리브 (Sleeve) 와 함께 타입봉을 사용하여 해머로 쳐서 암반용 볼트를 암반에 고정시킨다.

4) 주철관 보호 공법

해저케이블의 매설이 불가능한 암반, 전석지역등에서 파랑이나 조류가 심하여 전석의 이동이 예상되어 케이블이 손상을 입을 가능성이 있는 경우에는 주철관을 씌워 보호하는 공법을 적용한다. 주철관에 의한 케이블 보호공법은 주철관 재료비 외에 해중작업을 위해 다이버가 필요하기 때문에 많은 경비가 소요된다. 주철관 보호공법을 적용함에 있어서 굴착을 원칙으로 하지만 쉽게 굴착할 수 없는 경우에는 제한을 받는다.

그림 7은 위 4가지의 공법들을 비교하고 있다.

4 결언 및 추후과제

국제간 정보통신 수요의 증폭과 함께 전 세계적인 해저케이블 건설이 계속 증가되고 있으며 한국도 계속적인 국제간 해저케이블 건설이 계획되어 있다.

본 논문에서는 해저케이블의 안정성을 위협하는 여러 환경적 및 인위적 손상요인들을 찾아보고 그에 대한 보호대책 방안을 논하였다.

해저케이블의 기술자립화 및 안정성 확보를 위해 추진해야 할 추후과제는 다음과 같이 요약될 수 있다.

- 사고시 신속하게 대처할 수 있는 포설선 운항체계 확립
- 선박 운영요원 및 포설기술 인력의 양성 및 재교육
- 해저케이블 포설 및 보수 전용 소프트웨어 개발
- 안전한 케이블 포설선로 선정을 위한 정밀한 해양조사 기술
- 해저케이블 고장수리 및 유지보수 기술 개발
- 포설케이블 고장에 대한 적절한 예방 및 보전기술
- 보다 정밀한 케이블 보호공법 기준 마련
- 선로주변의 저인망 같은 어업활동의 효과적인 통제기법 개발

5 참고문헌

- [1] E.E. Zajac, "Dynamics and Kinematics of Laying and Recovery of Submarine Cable", Bell System Technical Journal, September, 1957.
- [2] S. Shimura, "International Submarine Cable Systems", KDD Engineering and Consulting, INC, Japan, 1985.
- [3] 한국통신 통신시설 사업단, "해저 광케이블 통신기술", 1993.

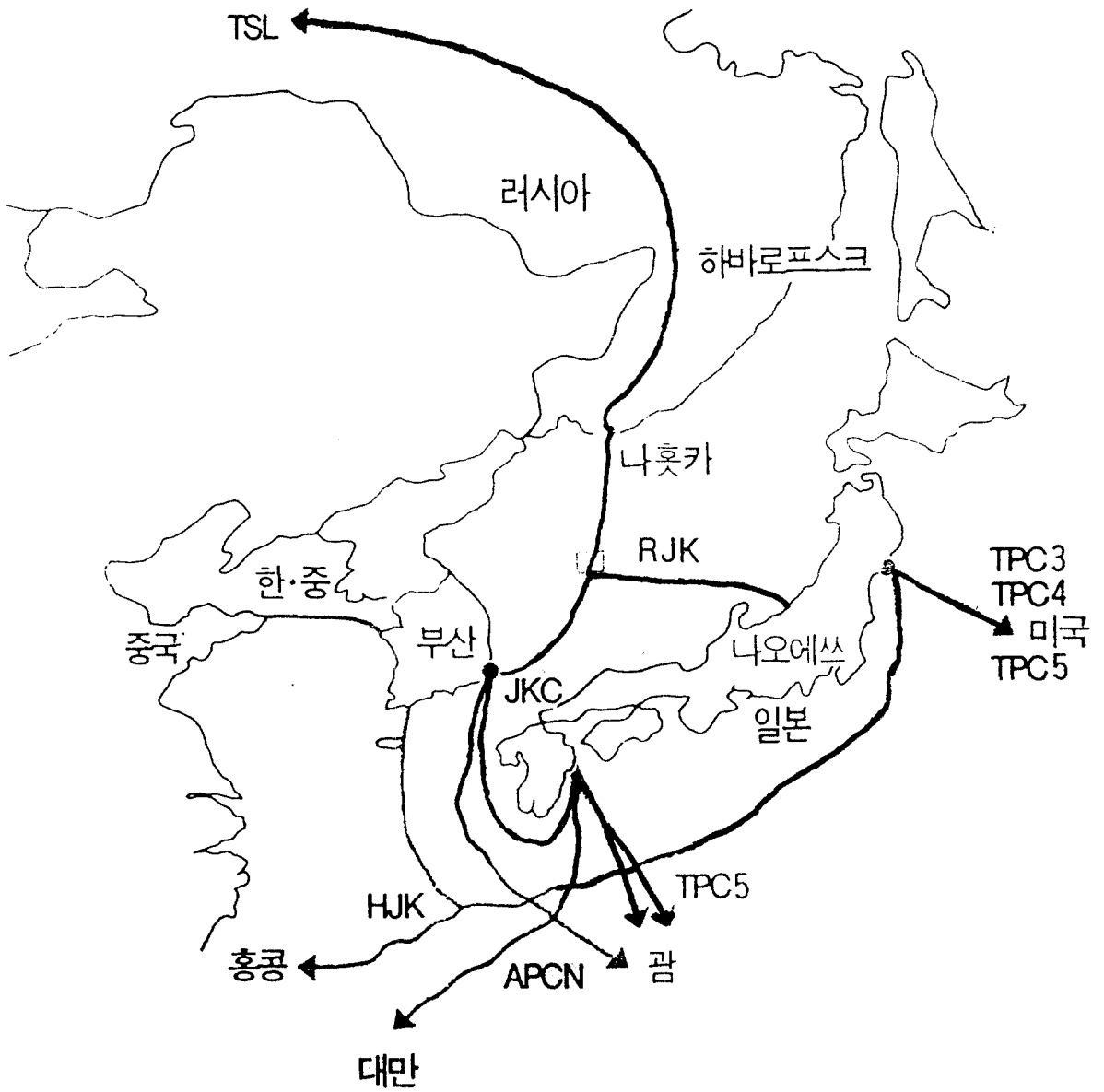


그림1 한국주변 해저케이블망 건설도

- CTE : 케이블중단장치
- DDE : 신호분배기
- FLTS : 케이블 장애위치 측정장치
- O/W : 타합회선장치
- PFE : 급전장치
- SV : 중계기감시제어장치
- TTE : 전송단국장치

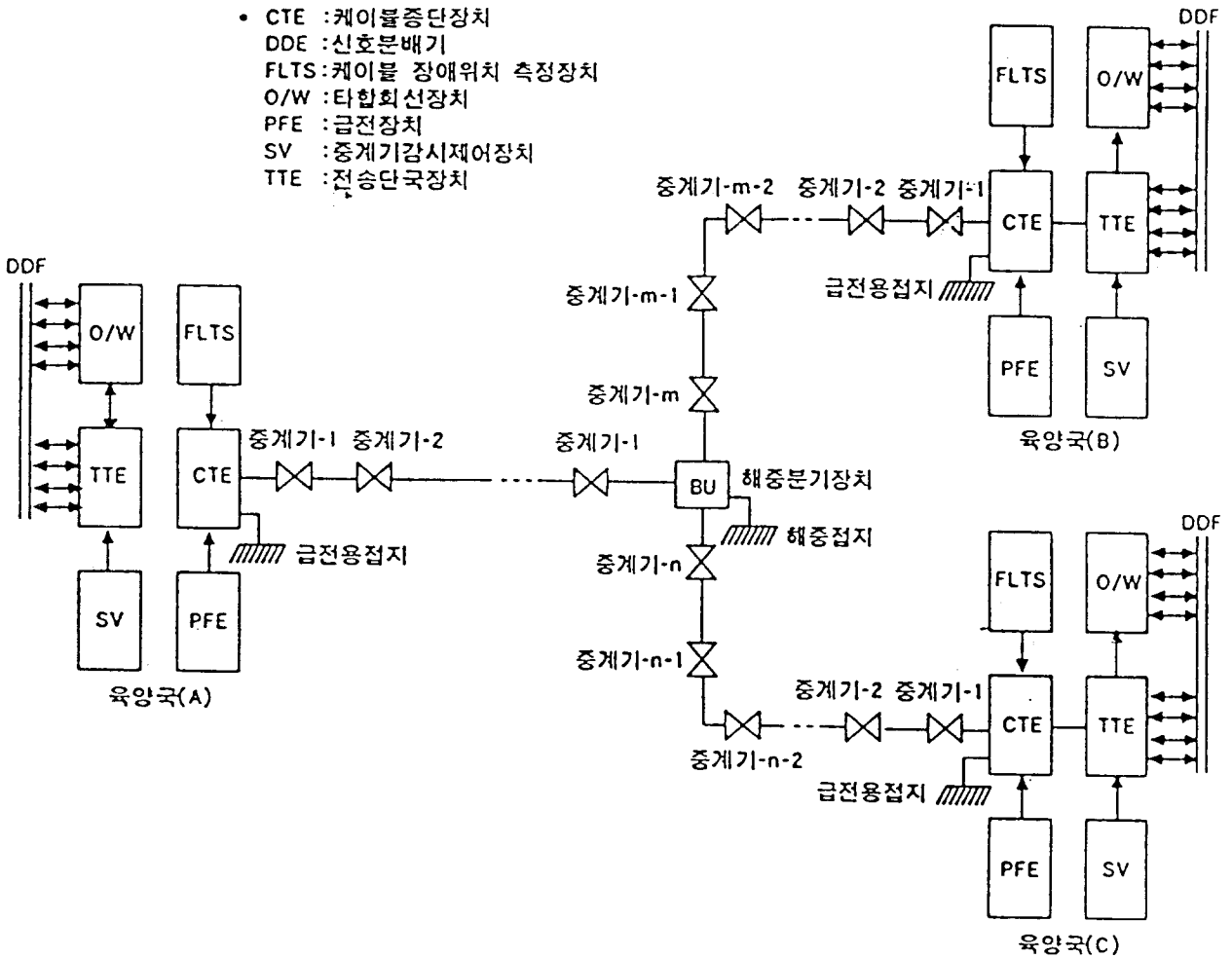
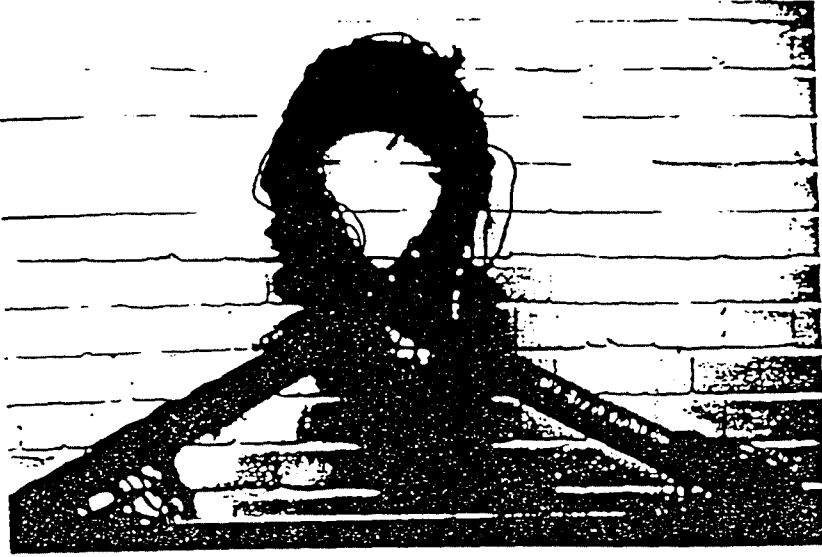
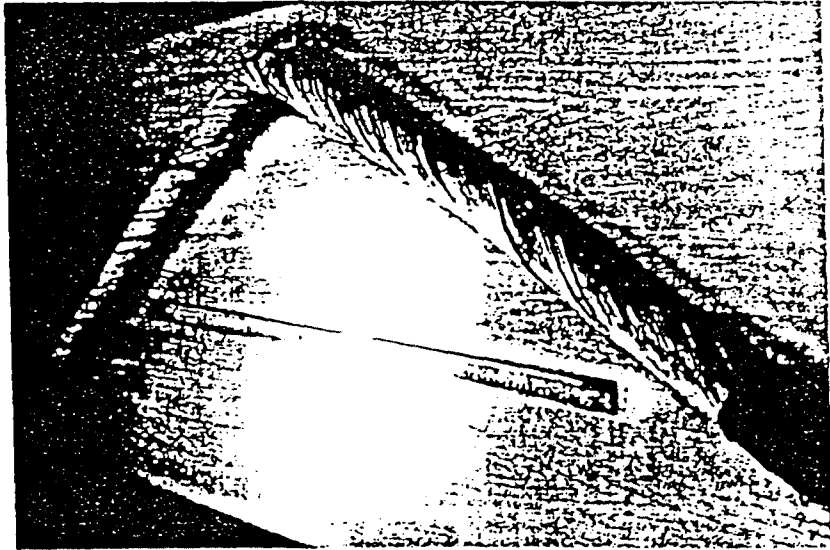


그림2 해저 광 케이블 시스템의 구성도



(a) 루핑 (looping) 현상



(b) 킨킹 (kinking) 현상

그림3 케이블의 루핑 (looping) 및 킨킹 (kinking) 현상

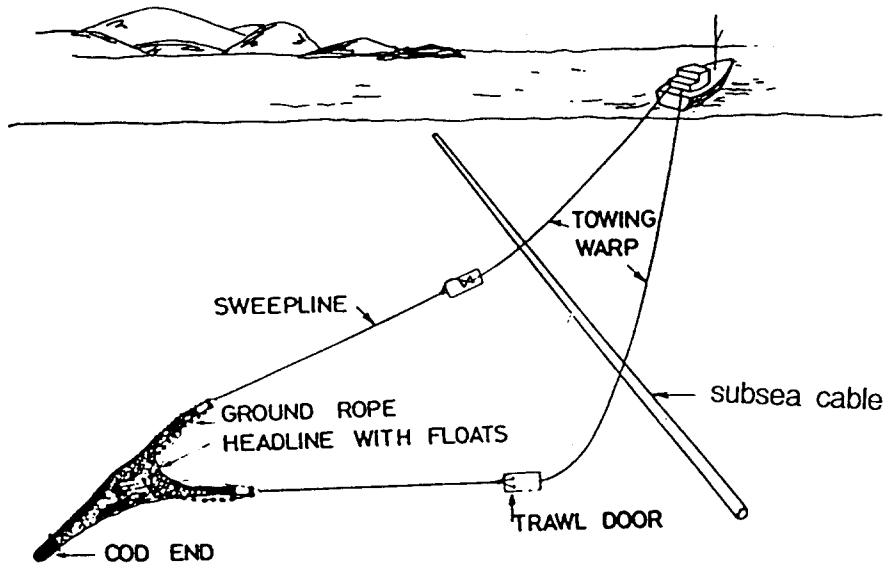


그림4 해저 케이블을 횡단하는 저인망 trawl board

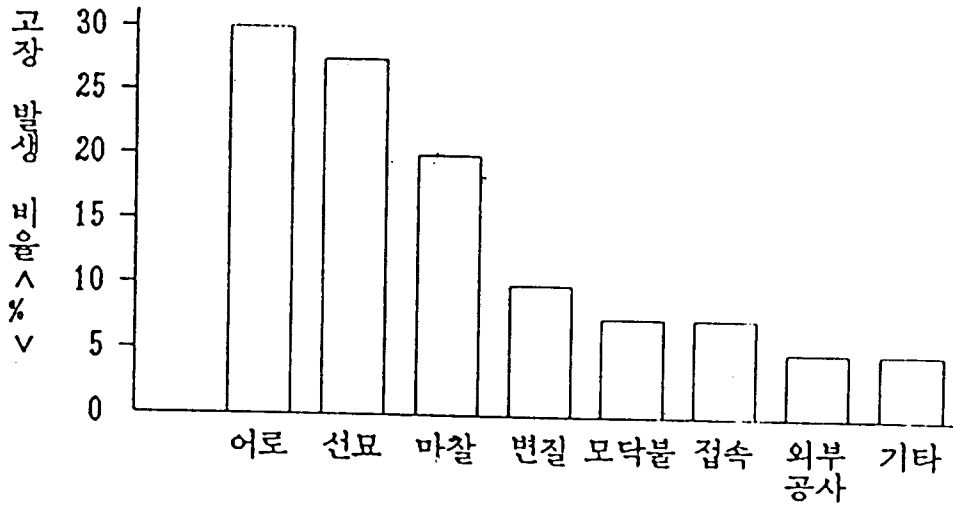
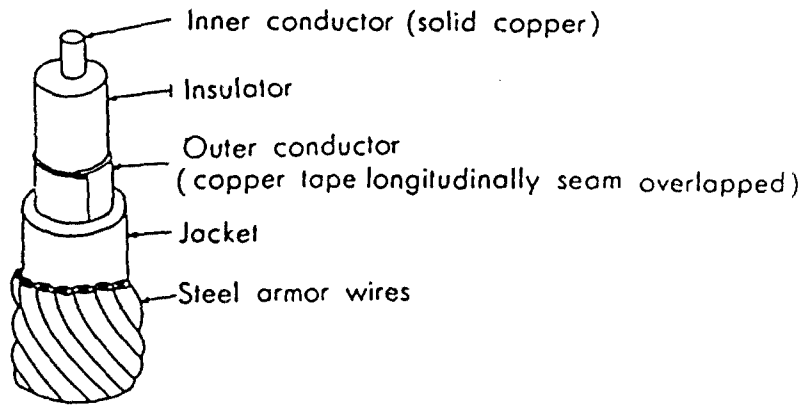
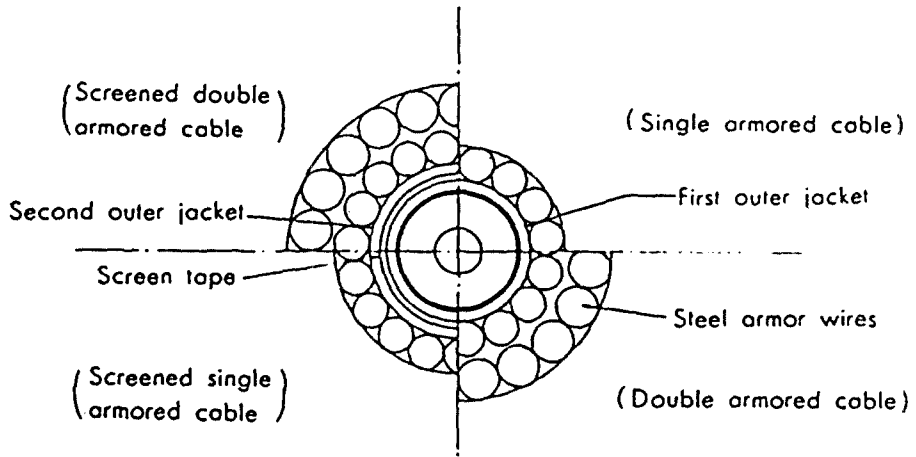


그림5 케이블에 발생하는 고장 원인별 고장발생 비율 [3]

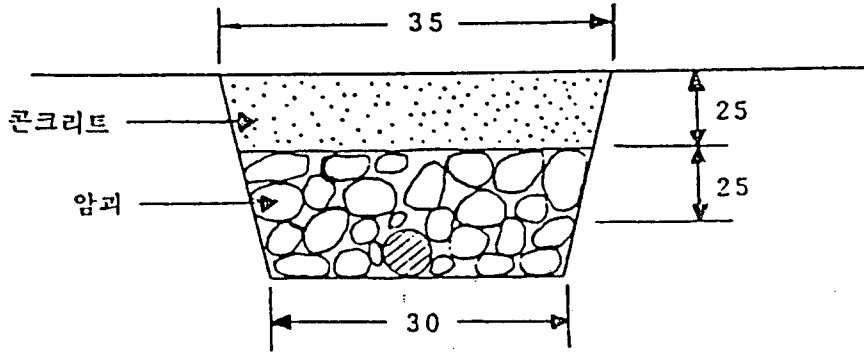


Single armored cable

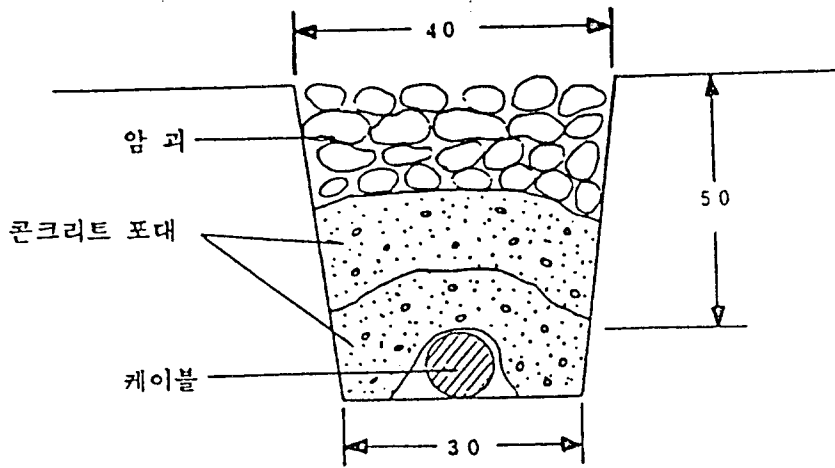


Cross sections of four kinds of armored cables

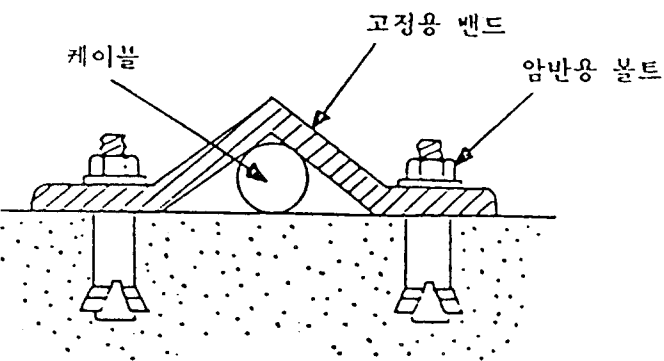
그림6 외장 케이블의 외형과 4종류의 횡단면



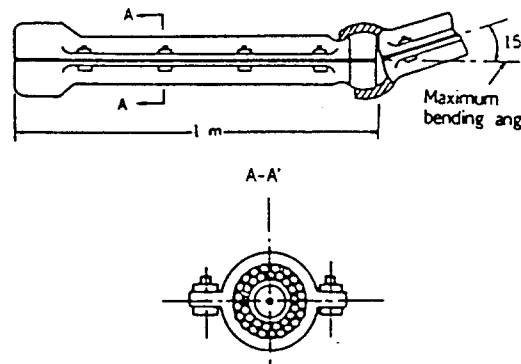
(a) 암반지 콘크리트 직접고정 공법



(b) 콘크리트 포대 공법 (1조, 단위 cm)



(c) 밴드고정 공법



(d) 주철관 보호공법

그림7 케이블 방호공법의 종류