

碩士學位論文

海底 光 通信 시스템의 自然 災害
對應 方案에 관한 研究

(제주 동부지역의 태풍, 낙뢰 피해를 중심으로)



濟州大學校 産業大學院

電子電氣工學科

通信工學專攻

金 聖 鎬

2003

碩士學位論文

海底 光 通信 시스템의 自然 災害
對應 方案에 관한 研究

(제주 동부지역의 태풍, 낙뢰 피해를 중심으로)

指導教授 李 鎔 鶴



濟州大學校 産業大學院

電子電氣工學科

通信工學專攻

金 聖 鎬

2003

海底光通信 시스템의 自然 災害 對應 方案에 관한 研究

(제주 동부지역의 태풍, 낙뢰 피해를 중심으로)

指導教授 李 鎔 鶴

이 論文을 工學碩士學位 論文으로 提出함

2003年 6月

濟州大學校 産業大學院



金 聖 鎬

金聖鎬의 工學碩士 學位論文을 認准함

2003年 6月 日

委員長 金 興 洙 (印)

委 員 梁 斗 榮 (印)

委 員 李 鎔 鶴 (印)

목 차

Summary	-----	i
List of Tables	-----	iii
List of Figures	-----	iv
I. 서 론	-----	1
II. 해저광통신시스템		
1. 광 통신 시스템	-----	4
2. 해저 광 통신 시스템의 구성 및 특성	-----	6
1) APCN - 2 SYSTEM	-----	6
2) 해저 광케이블	-----	9
III. 접지		
1. 통신용 접지 기준	-----	12
2. 접지 저항의 변화 요인	-----	14
1) 토질의 저항률 결정 요소	-----	14
2) 토양의 종류 및 접지 저항의 변화	-----	14
3) 습기의 변화에 따른 저항치 변화	-----	15
3. 대지 고유 저항과 접지 저항 측정법	-----	16
1) 대지 고유 저항 측정법	-----	16
2) 접지 저항의 측정	-----	19
3) 접지 체 시공 방법	-----	24
4. 제주 동부지역 지질 구조	-----	27

IV. 태풍 및 낙뢰가 해저광통신시스템에 미치는 피해 및 대응 방안	
1. 태풍에 의한 매설 케이블의 노출	28
1) 토사 이동량 측정	28
2) 토사 이동량 측정 결과	31
3) 토사 이동량 결과 분석	34
2. 낙뢰 인입	36
3. 태풍 및 낙뢰에 대한 대응 방안	39
1) 매설 케이블의 노출에 대한 대응 방안	39
2) 접지시설 최적화 방안	40
V. 결론	43
참고 문헌	v



A Study on Confrontation Method about Natural Disaster in Submarine Cable Network Systems

(Focusing on damage of the typhoon and the lightning strikes in
the eastern part of Jeju island)

Kim, Seong Ho

Department of Construction and Environmental Engineering
Graduate School of Industry
Cheju National University

 제주대학교 중앙도서관
Supervised by Professor Lee, Yong Hak

Summary

This thesis is about the confrontation for the damage of submarine cable network system caused by a typhoon and a lightning strike.

Outward flow of sand that happen by typhoon in the east of Jeju gets into maximum in monsoon. And the volume of

effluence is deeply more than 1.5m in the bottom of the sea. Therefore, the embedding depth of submarine cable should be at least 1.5m. The correlation with lightening strike and system alarm is represented. And in order to confront the lightening strike in the eastern part of Jeju optimized ground connection method is suggested.

Considering geological features of the eastern part of Jeju, the ground connection resistance of $1.5(\Omega)$ is realized by the method of "Boring ground connection". The new ground connection system decreased the error occurrence of HJK submarine cable network system and brought of performance improvement about 77%. In spite of a natural disaster, this ground connection system improve the transmission quality in submarine cable network system.

List of Tables

Table 1. Essential particular of APCN-2	9
Table 2. Standard of ground connection for communication	13
Table 3. Area earth resistivity	14
Table 4. Earth resistivity by soil and difference of ground connection resistance	15
Table 5. Earth resistivity by water inclusion	15
Table 6. Set coefficient k value	20
Table 7. Establishment particulars of measurement poll	31
Table 8. 1st sand transfer amount measurement	31
Table 9. 2nd sand transfer amount measurement	32
Table 10. 3th sand transfer amount measurement	33
Table 11. 4th sand transfer amount measurement	33
Table 12. 5th sand transfer amount measurement	33
Table 13. Lightning strike and Alarm occurrence particulars (1990~2002)	38
Table 14. Value of earth resistivity	41
Table 15. Value of ground connection resistance	41
Table 16. Ground connection resistance measured value and Error occurrence particulars	42

List of Figures

Fig. 1 Loss spectrum of fiber optic cable	4
Fig. 2 Composition of optical network system	5
Fig. 3 Network configuration of APCN-2	7
Fig. 4 System configuration of APCN-2	8
Fig. 5 Shape of submarine fiber optic cable	10
Fig. 6 Structure of fiber optic cable	11
Fig. 7 Wenner electrode arrangement	17
Fig. 8 Structural analysis of 3 stratum	19
Fig. 9 Rod ground connection	19
Fig. 10 Laying branch line	21
Fig. 11 Net ground connection	22
Fig. 12 Place ground connection	22
Fig. 13 Boring ground connection	23
Fig. 14 Vertical laying	25
Fig. 15 Ring shape laying	25
Fig. 16 Parallel laying	26
Fig. 17 Horizontal place laying	26
Fig. 18 Position of datum point	29
Fig. 19 Specification of scale poll	29
Fig. 20 Scale poll's establishment	30
Fig. 21 Length change graph of measurement poll	35
Fig. 22 Sand transfer amount analysis graph	35
Fig. 23 Ground connection resistivity of east Jeju	40

I. 서론

21세기에 접어들면서 영상의 실시간 전송, 방송과 통신의 통합화, 유무선의 통합화로 인해 정보통신산업이 급격히 발전하고 있다. 또한 인터넷을 기반으로 하는 멀티미디어 서비스 증가로 인해 초고속 인터넷 수요가 폭발적으로 증가하고 있다. 이러한 상황 속에서 각국은 IT산업의 급속한 발전을 예견하고 전 세계를 연결하는 Global Network를 건설하기 시작했다.

해저 케이블의 역사를 보면 1851년 영국 도버 해협에 해저전신케이블이 최초로 부설된 이후 해저 동축케이블은 1956년에 처음으로 출현하여 케이블 1조로 다수가 통화할 수 있게 되었다. 1970년대 이후에 광케이블이 개발되어 해저통신 방식에 적용되면서 해저케이블 통신에 있어서 최적의 전송매체로 각광 받기 시작했다. 또한 1988년부터 해저 광케이블 시대로 접어들어 태평양과 대서양 등 장거리 대용량 해저 광케이블로 비약적 발전을 거듭하여 오늘날에 이르게 되었다.(Maria, 2001) 1990년대에 들어 광 전송 기술은 하나의 광케이블에서 서로 다른 파장을 이용해 독립된 N개의 전송 채널을 확보하는 광 파장분할 다중화(DWDM : dense wavelength division multiplex) 기술의 발전과 다수의 파장을 일괄적으로 증폭 할 수 있는 광섬유 증폭기가 개발됨으로써 급속한 발전을 이루게 되었다. 이처럼 DWDM과 같은 대용량 광 전송 장비와 EDFA(erbium doped fiber amplifier), FRA(fiber raman amplifier)를 도입함으로써 과거 수 Gbit/s 정도였던 백분 용량이 단숨에 수 백 G bit/s 수준으로 확장 되었다.

국내 해저 광 통신 시스템에서도 1990년 5월 국내 최초로 홍콩-일본-한국 간 개통된 “HJK 해저 광 시스템”의 전송 용량이 280Mbps였으나 2002년 3월 한국 - 홍콩 - 일본간 개통된 제11 국제 해저 케이블인 “FNAL System”인 경우 시스템 총 용량 3.84Tbps이고, 초기 개통 용량 40Gbps에

이루고 있다.

해저광케이블은 육상케이블과는 달리 바다라는 특수한 조건을 가진 시스템이기 때문에 보통 25년이나 하는 장기간인 설계수명동안 한번의 고장도 허용되지 않는 신뢰도와 특성을 가진 기술적 규격이 요구되어 진다. 또한, 대부분의 설비가 해저부에 설치되고 일단 설치되어 운용이 되면 고장 등의 경우 그 고장 수리가 어렵고, 수리 시에도 그 경비가 막대히 소요되므로 초기 설치 시에서부터 엄격한 시스템 안정성이 요구되고 있다. KT의 2002년 4/4분기 국제통신 운용 성과분석 자료에 의하면 위성통신과 해저광케이블의 점유율 비교 시 해저광케이블이 시설 용량에서는 98.3%, 운용 용량에서는 98.6%의 점유율을 보이고 있어 국제통신에서의 해저 광케이블의 중요성을 쉽게 유추 해 낼 수 있다.(KT, 2003)

태풍은 한 여름에 발생하는 기후 요건 중 하나로써 우리나라의 실생활에 막대한 영향을 주고 있으며, 해저 광 통신시스템에도 심각한 위해요인이 되고 있다. 태풍이 우리나라에 내습하게 되면 해저 지면에서는 액상화 현상이 나타나 토사의 유출이 발생한다.(이 익효, 1992) 그로 인해 해저 지면에 매설 된 해저 광케이블이 노출하게 되며, 노출 된 해저 광케이블은 해저 구조물 및 어선의 앵커 등에 의한 케이블의 위해요인이 되며, 실제 해저 광케이블의 대형 사고는 노출 케이블의 선박 앵커에 의한 파손이 주원인이다.(KT, 2002) 또한, 년 중 내내 발생하는 낙뢰도 해저 광 통신 시스템의 서비스 품질을 저해하는 위해 요인이다. 낙뢰가 시스템에 인입 시 회선 순간단절에 해당하는 OOF(out of frame)이 발생함으로써 해저 광 전송 시스템의 품질에 심각한 피해를 끼치게 된다.

본 논문에서는 이러한 태풍으로 인해 발생하는 해저면의 토사 유출량을 측정하여 매설 케이블의 노출에 대한 정확한 실태를 파악함으로써 태풍의 내습으로 발생하는 해저 케이블의 노출을 방지할 수 있는 해저 케이블의

매설 깊이를 제시 하고자 한다. 또한, 낙뢰와 해저 광 통신 시스템에서 발생하는 경보 간의 상관관계를 입증하고, 낙뢰로 인해 발생하는 경보를 줄일 수 있는 방안으로써 제주 동부 지역에 적합한 접지 시스템을 제시하고자 한다. 이를 통해 급증하는 광 전송 용량에 대응하여 우리나라를 비롯한 전 세계에서 시설되고 있는 신규 해저 광케이블의 설치 시에 해저 케이블의 매설 깊이에 대한 중요한 설계 근거를 제시하고, 보다 안정되고 신뢰할 수 있는 해저 광 통신 시스템을 구축 할 수 있도록 하는 데에 본 논문의 목적이 있다.

이러한 목적을 이루기 위해 본 논문은 I장에서 본 논문의 연구 배경을 제시하였고, II장에서는 해저 광 통신시스템의 기술적인 특성에 대해 기술하였다. III장에서는 접지에 대한 이론적인 배경을 설명하였고, IV장에서는 태풍에 의한 해저 케이블 노출 실태를 파악하였다. 또한 낙뢰와 에러와의 상관관계를 분석하였으며 그에 대한 대응 방안을 제시하였고, 마지막 V장에서 본 논문의 결론을 맺었다.

II. 해저 광 통신 시스템

1. 광 통신 시스템

광 통신 시스템은 광 통신용 빛의 파장을 이용한 정보의 교환과 전송이라고 할 수 있다. 광 통신에 사용될 수 있는 빛의 파장 대는 광원(light source)에 의해 좌우되지만, 그림 1에서 알 수 있듯이 광섬유 손실 파장이 3dB/km의 저 손실이 구현되는 적외선 파장대인 0.7 μm 에서 1.7 μm 의 범위에서 OH기에 의한 흡수 손실을 배제하고 반도체 레이저, 포토다이오드 등의 광소자가 제조 가능한 파장인 0.8 μm , 1.3 μm , 1.55 μm 의 파장이 사용된다.(김한하, 1995) 이 중 가장 저 손실이 되는 파장은 광섬유에서의 기본적인 손실인 레일리 산란이 최소가 되는 1.55 μm 로써 석영계 광섬유에서의 이론적인 한계 값에 근사한 손실이 구현되므로 장거리 전송에서의 주류를 이루고 있다.

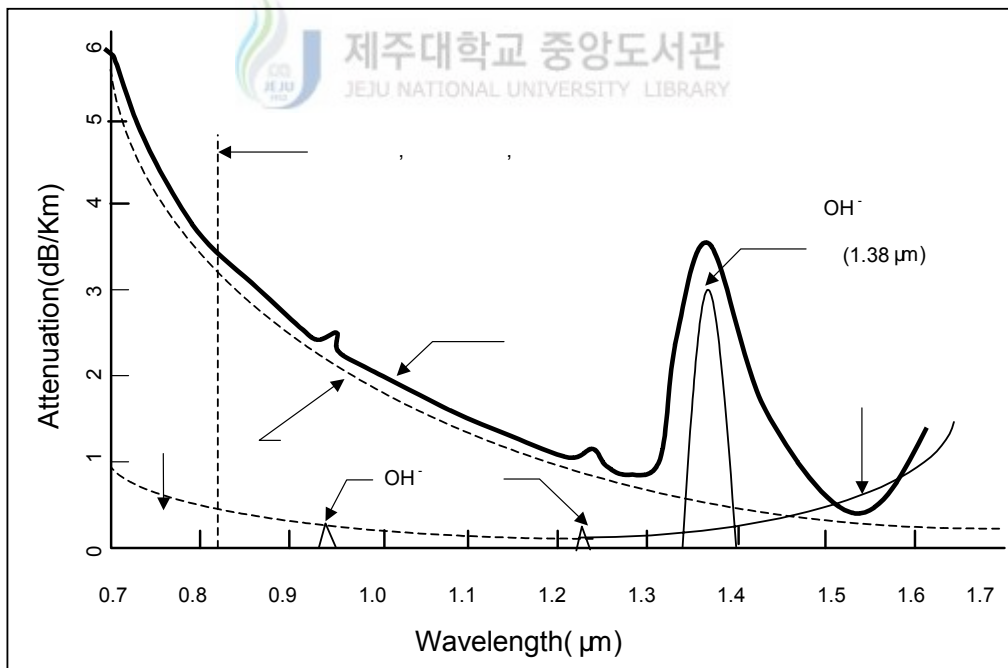


Fig. 1. Loss spectrum of fiber optic cable

일반적으로 광 통신 시스템은 그림 2와 같이 송신부(transmitter), 정보 채널 (information channel) 그리고 수신부(receiver)로 구성된다. 전송하고자 하는 정보는 우선 송신부에서 적절한 포맷으로 변조된 후에 정보 채널을 통하여 수신부로 전송된다.

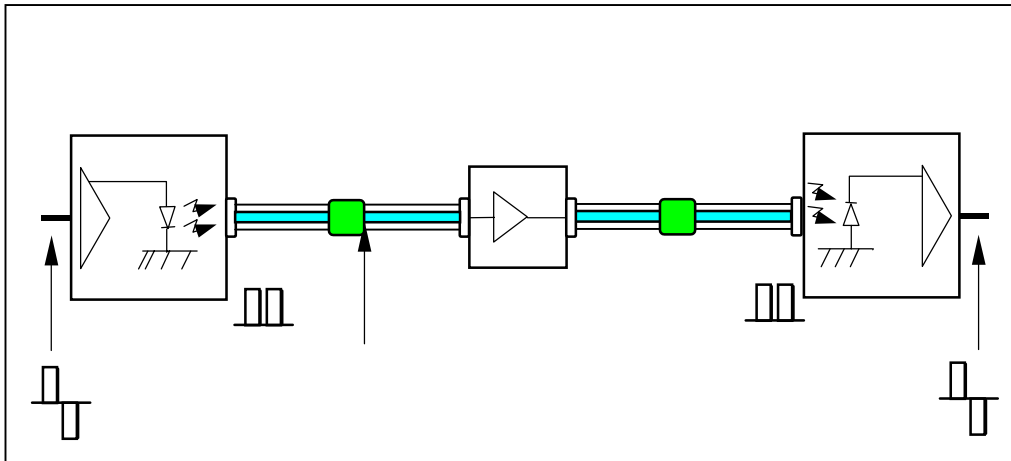


Fig.2. Composition of optical network system

메시지원은 문자, 음성, 화상과 같은 비 전기신호를 전기 신호로 변환하며, 일반적으로 전자 소자로 구성된다. 변조기는 메시지원에서 변환된 전기적 신호를 적절한 포맷으로 변조한다. 반송원(carrier source)은 신호를 전송하게 될 광선을 발생시키는 광원을 의미하며, 현재는 광원으로는 발광 다이오드와 레이저 다이오드가 주로 사용된다.

정보 채널은 송·수신부 간에 정보를 전송해주는 경로 혹은 물리적 매체를 의미하며, 광 통신 시스템에서 정보 채널은 광케이블과 광 중계기 등을 의미한다.

수신부의 채널 결합기는 정보 채널의 광 신호를 검파기에 직접적으로 전송하는 역할을 한다. 검파기는 전기통신의 복조기와 같이 전송된 신호에서 정보 신호를 검출하는 역할을 하며 광통신에서는 광 검파기가 이를 수행한다. 신호처리기는 신호의 증폭과 여파를 담당하게 된다. 메시지 출력부는 신호 처리기에서 증폭 및 여파 된 전기 신호를 음성이나 영상과 같은 비 전기 신호로 변환시킨다.

2. 해저 광 통신 시스템의 구성 및 특성

해저 광 통신 시스템은 크게 육양국 설비(submarine dry plant)와 해중 설비(submarine wet plant)로 나뉜다. 육양국 설비에는 광 단국장비(line terminal system), 급전장비(power feed equipment), 육양 케이블(land cable) 및 중계기 감시 장치, 케이블 감시 장치와 부대 장치 등으로 구성되고, 해중설비에는 해저 광케이블(sea cable), 해저 중계기(repeater) 및 해저 분기장치(branching unit) 등으로 구성된다.

해저 광 통신 시스템에서의 신뢰성과 안정성을 위하여 시스템 초기 설치 시에서부터 각각의 장비들은 일반적으로 엄격한 기술적인 규격이 요구 된다. 특히 해저에 설치되는 해저 케이블 및 분기장치에 대해서는 더욱더 엄격한 성능이 요구되고, 주요 전송특성은 ITU-T의 권고사항을 충족시켜야 한다.(박 수진, 1993)

현재 우리나라에서 운용중인 해저 광 통신 시스템의 기본이라 할 수 있는 “APCN-2 SYSTEM”의 기본적인 구성 및 전송특성은 다음과 같다.

1) APCN - 2 시스템

(1) 시스템 구성

- 육양국 설비

○ LTS : Line Terminal System (광 단국 장비)

- WME(wavelength muldex equipment, 광 파장 다중화 장치),
- TPE(transmission peripheral equipment, 광 파장의 분산 보상기능),
- SLTE(submarine line terminating equipment, 신호 인터페이스)등으로 구성

○ PFE : Power Feed Equipment (해저 중계기 및 분기장치에 전력 공급)

○ Land Cable (육양 케이블)

○ EMS : Element Management System(시스템 성능 감시 장치)

- RFTE : Remote Fiber Test Equipment(해저 케이블 감시 장치)
- 해중설비
- Repeater(해저 중계기)
- BU : Branching Unit(해저 분기 장치)
- Sea Cable (해저케이블)
- BEQ : Block Equalizer(중계기 블록 간 equalizer 삽입 후 분산 보상)
- 시스템 구성도 : APCN-2 해저 광 통신 시스템을 구성하는 육양국 간의 네트워크 구성은 그림 3과 같다. 각 육양국 간의 해저 구간은 Segment 1 ~ Segment 8로 구분되었으며 각 육양국의 구성은 그림 4와 같다.

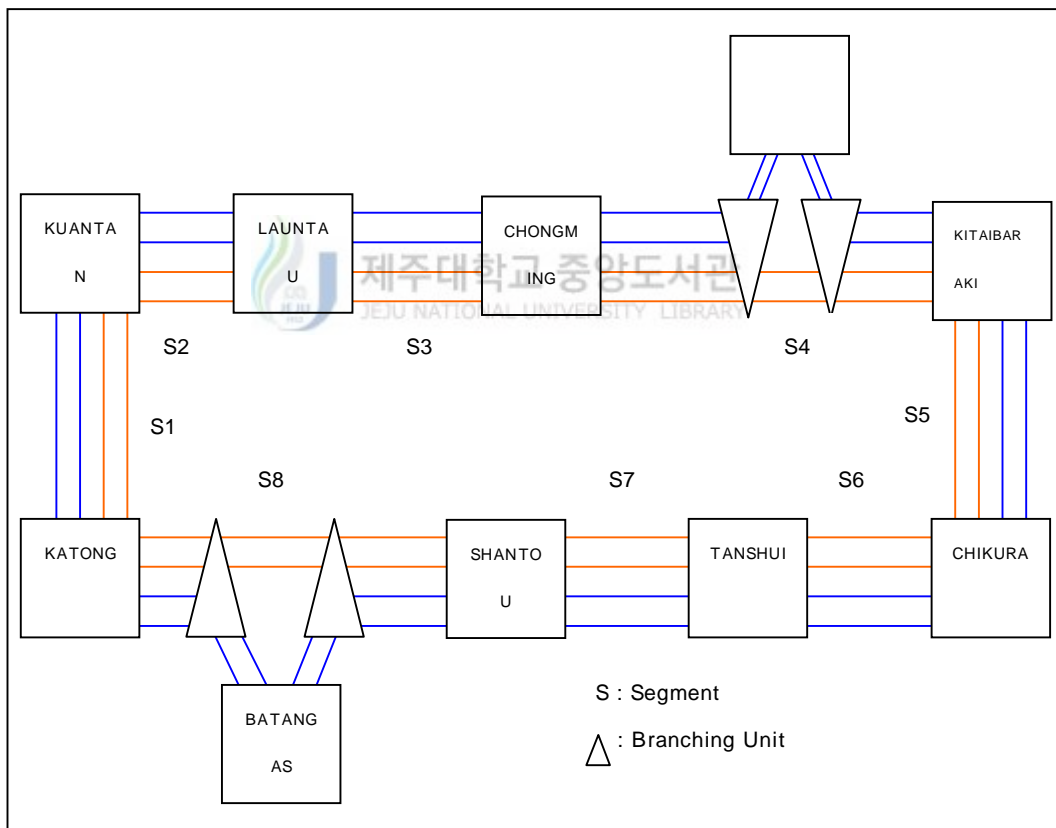


Fig. 3. Network configuration of APCN-2

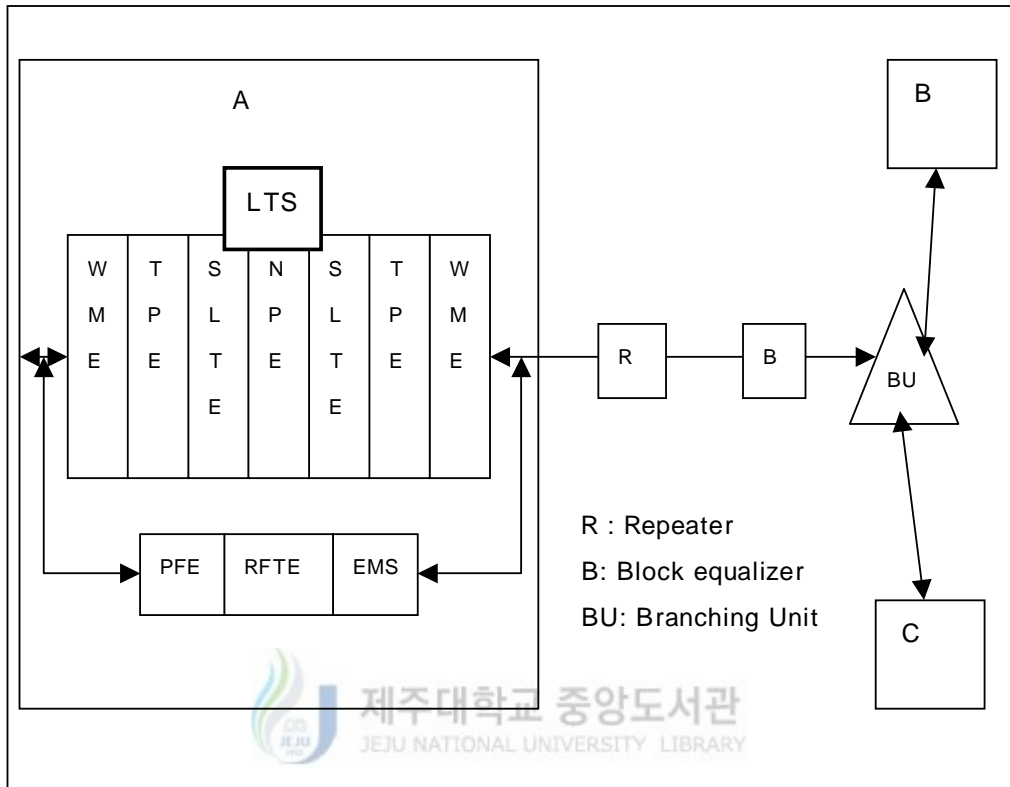


Fig. 4. System configuration of APCN-2

(2) 주요 전송 특성

APCN-2 해저 광 전송 시스템에 참여하고 있는 각 국가에서는 시스템의 전송 특성을 ITU-T의 권고 사항보다 그 이상의 규격을 요구하고 있으며, 각 해저 케이블의 제조자들 또한 이 규격을 충족하였다. 운용상태의 해저 광 전송 시스템의 전송 품질을 측정하는 지표로서 "BBER(background block error rate)"이 사용되는데 ITU-T에서 권고되는 End-to-End간의 BBER 품질은 2×10^{-4} 이지만 2002년 APCN-2 시스템의 실제 BBER 품질은 6×10^{-9} 으로써 국제 권고치 이상의 전송 품질이 충족되었다(ITU-T, 1999). APCN-2 시스템에 적용되는 주요 사항은 표 1과 같다.

Table 1. Essential particular of APCN-2

구 분	설 명
케이블 총 길이	25,063Km
시스템 용량	640Gbps(Phase 2, 2002년 기준)
	2.56Tbps(Phase 4, 최종단계 기준)
전송 방식	동기식 DWDM 전송
BU 수	4개
중계기 수	383개
중계 방식	광 증폭 중계(EDFA)
평균 중계기 간격	50Km
급전 형태	정전류 방식(1.1A)
급전 전압	부산(+) ~ Chongming(-) : 870V
(양단 급전)	부산(-) ~ Kitaibaraki(+) : - 1100V
건설 구간	한국 - 일본 - 중국 대만- 홍콩 - 필리핀 - 말레이시아 - 싱가포르

2) 해저 광 케이블

해저 광 통신 시스템에 사용되고 있는 케이블은 전송대역이 넓고 초고속 전송이 가능하며 장거리 대용량 통신에 적합한 싱글 모드 케이블이 사용되며, 설치되는 지형 및 사용 목적에 따라 다음과 같이 구분된다.

LW(light weight) : 심해용 케이블

LWS(light weight screen) : 보호 강화 심해용 케이블

SAL(single armored light) : 단일 외장 케이블

DAL(double armored light) : 이중 외장 케이블

FBP(fish bite protected) : 상어 피해 방지용 케이블

(1) 케이블 특성

- 광 파장 : 1.300nm, 1.550nm,
- 재료 특성 : 순수 실리카(fused silica)

- 광 감쇄 특성 : 0.2dB/Km 이하
- 색 분산 특성 : 20ps/nm/Km
- 차단 파장 : 1.350 ~ 1.600 nm
- 절연 저항 : 0.5 KV 5분간 인가 후 $2 * 10^{11}$ / Km
- DC 저항 : 0.8 / Km (해수 온도 20°C 기준)
- 모드 : 단일모드

(2) 케이블 구조

해저 광케이블의 구조는 종류에 따라 다르나 심해용 LW 케이블을 기본으로 하며 단일 외장 케이블이나 이중 외장 케이블은 철선 외장을 하고 있다. 광 코어의 수는 수용되는 시스템의 수 및 해저 중계기, 급전조건 등에 따라 다르다. 그림 5에는 해저 광케이블의 외형을 그림 6에는 단일 외장 및 이중 외장 케이블의 세부 구조를 나타내고 있다.

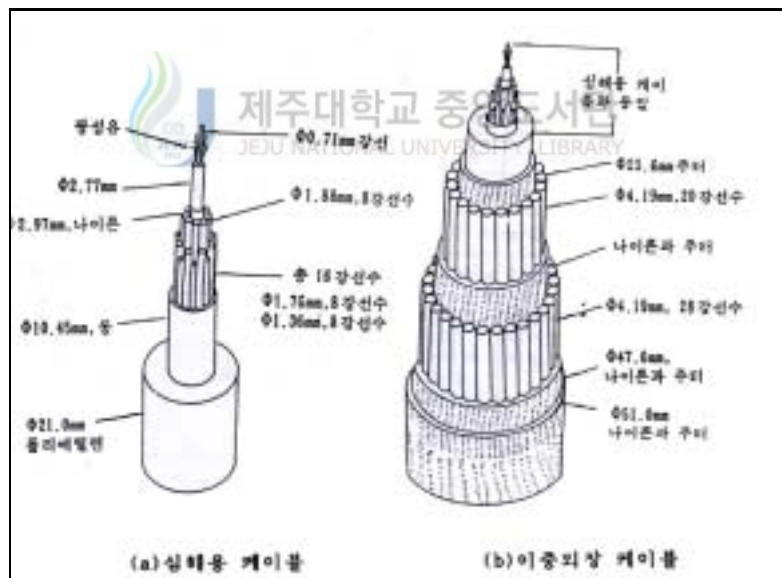
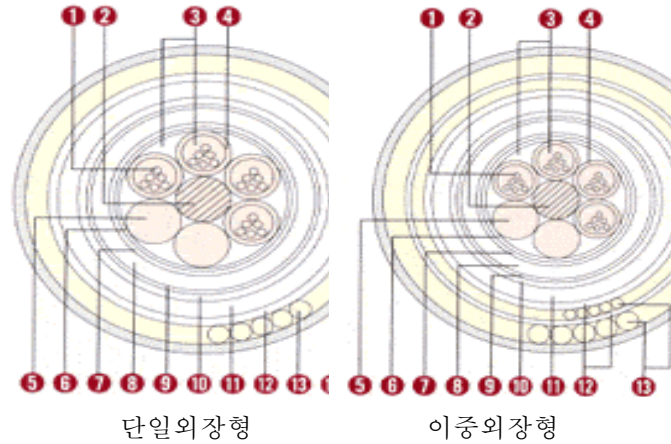


Fig. 5. Shape of Submarine fiber optic cable



- ① 광섬유 : 단일모드, 다중모드, 분산 천이, 비영분산 천이, 전 파장 저 손실 광섬유
- ② 중심인장선 : 아연도 강선 또는 FRP
- ③ 젤리 콤파운드 : 방수 젤리 콤파운드
- ④ 루즈 튜브 : 열가소성 플라스틱(PBT)
- ⑤ 개재심 : 폴리에틸렌
- ⑥ 테이프 : 플라스틱 테이프 또는 방수 부직포 테이프
- ⑦ 방습층 : 라미네이티드 알루미늄 테이프
- ⑧ 내부 시스 : 흑색 폴리에틸렌
- ⑨ 유침지 : 부직포 테이프
- ⑩ 연피 : 납
- ⑪ 외부 시스 : 흑색 폴리에틸렌
- ⑫ 좌상층 : 마사(쥬트) + 아스팔트
- ⑬ 철선외장 : 아연도 강선
- ⑭ 서빙층 : 마사(쥬트) + 아스팔트+ 탄산칼슘

Fig. 6. Structure of fiber optic cable

III. 접지

접지를 유럽에서는 Earthing, 미국에서는 Grounding이라 한다. 접지는 그 역할에 따라 강전용 접지(frame earth)와 약전용 접지(signal ground)로 대별되는데, 양자는 성격이 상당히 다르다. 강전용 접지는 보안용이고, 평상시에는 전류가 흐르지 않는 주로 안전(安全)을 목적으로 하고 있으며, 이에 반해 약전용 접지는 회로 기능용으로 평상시에도 전류가 흐르고 주로 안정(安定)을 목적으로 한다.

학문적인 정의에 의하면 접지는 전기 설비를 전기적으로 대지와 결합하는 것을 의미한다. 이러한 접지 시스템은 통신 시설을 낙뢰와 같은 외부적인 요인에 의해 발생하는 고장 전류 혹은 썩지를 효과적으로 대지로 분산시킴으로써 기기의 절연 파괴를 방지하는 기기 보호에 기여하고, 대지 전위의 상승을 억제함으로써 안전사고와 같은 인적 사고의 예방에 기여 한다.

전기설비 기술기준에 관한 규칙에서 일반전기설비에 대한 접지는 감전, 누전사고 방지, 대지전압 감소, 이상전압 제어 및 보호 장치의 확실한 동작 등의 목적으로 규정되어 있다. 현행 전기법 19조는 접지공사 종류를 분류하고, 각각의 접지 저항을 정하고 있다.

일반적인 통신 시스템의 접지는 대지를 운용회로의 일부로 이용하는 통신용 접지, 낙뢰로 인한 고 전류를 땅속으로 유도하기 위하여 건물이나 금속 시설물의 피뢰시설을 접지 시키는 낙뢰 방지용 피뢰접지, 고전압으로부터 장비와 인명을 보호하기 위한 수 배전 시설용 보안접지로 구분된다.

1. 통신용 접지 기준

각 통신 시설 별 허용 한계 접지 저항 기준이 정해져 있으며, 그 세부적인 사항은 다음 표 2와 같다.

Table 2. Standard of ground connection for communication

구 분		접 지 지 향	
전화 교환 시설 (중국 용량 고려)		500회선 이하 : 10Ω 이하 501 ~ 5,000회선 : 5Ω 이하 5,001 ~ 10,000회선 : 2Ω 이하 10,001회선 이상 : 1Ω 이하	
전송 시설	전송시스템 (중간중계소제외)	통신용 : 2Ω 이하	
	중간 중계소	10Ω 이하	
	PCM시설의 단국 및 중간급 전송국	10Ω 이하	
M/W 시설		공중선 철탑 : 10Ω 이하	
선로 시설		중계기 : 10Ω 이하 차폐 케이블(양단말 합성) : 2Ω/Km 차폐 케이블 보완(300~500m접속개소): 10Ω 이하 가공지선(양단말) : 10Ω 이하 가공지선 보완(500m마다) : 100Ω 이하 가입자 보안기 : 100Ω 이하 케이블 인상주 또는 단말주 : 100Ω 이하 통신구(200m마다) : 10Ω 이하	
		회선수용시설	주배선반
낙뢰 방지용 피뢰 접지		10Ω 이하	

2. 접지 저항의 변화 요인

접지저항의 변수로는 대지의 습도 함유량에 따른 대지 저항률, 재질에 따른 저항률, 물의 종류에 따른 저항률, 토양의 종류에 따른 저항률, 지역별 저항률, 대지의 계절별 저항률, 대지의 온도에 따른 저항, 접지봉의 길이, 접지봉의 수, 접지봉의 직경, 매설의 깊이 등이 있다.

1) 토질의 저항률 결정 요소

토질의 저항률 결정 요소는 지표면의 깊이, 용해되어 있는 이온의 농도와 종류, 수분 함유 정도와 온도 등이다. 지역별 대지 저항률은 표 3과 같이 분류 할 수 있다.

Table 3. Area earth resistivity

지역별 저항률	대지 저항률 ($\Omega \cdot m$)	지질 특성
낮은 저항률 지역	100 이하	강, 하천, 바다에 인접한 저지대로 물이 풍부한 지역
중간 저항률 지역	100 ~ 1,000	지하수가 풍부한 지역으로 준 평원 지역
높은 저항률 지역	1,000 이상	배수가 잘되는 지역으로 자갈이나 암반의 높은 지역

2) 토양의 종류 및 접지 저항의 변화

토양의 종류와 대지 저항률 및 저항의 차이는 표 4와 같이 분류 할 수 있다. 대지 저항률은 표 4에서 보는 바와 같이 토양층의 깊이, 하천의 유무, 그리고 측정

지역 등에 따라 많은 차이를 나타내고 있다.

Table 4. Earth resistivity by soil and difference of ground connection resistance

토양 종류	대지 저항률($\Omega.m$)			접지 저항(Ω)		
	평균	최 소	최 대	평균	최 소	최 대
매립토, 재, 소금 성분의 혼합 진흙	23.7	5.9	70.0	8	2	23
진흙, 비옥한 퇴적 점토	40.6	34.0	163.0	13	1.1	54
모래와 자갈이 섞인 혼합토	158.0	102.0	1350.0	52	4	447
약간의 진흙이 섞인 모래, 자갈의 암석토	940.0	590.0	4580.0	311	195	1516

3) 습기의 변화에 따른 저항치 변화

Table 5. Earth resistivity by water inclusion

유률(% by weight)	대지 저항률($\Omega.m$)	
	표면 토양	모래가 섞인 퇴적 토
0	$1000 * 10^6$	$1000 * 10^6$
0.25	2500.0	1500.0
5	1650.0	430.0
10	530.0	185.0
15	190.0	105.0
20	12.0	63.0
30	64.0	42.0

표 5와 같이 습기를 포함한 땅일수록 접지저항은 낮아짐을 볼 수 있다. 접지 봉 주위는 항상 습기가 있어야 하며 접지봉을 매설 할 경우 우선적으로 습기가 많은 지역을 선택해야한다

3. 대지 고유 저항과 접지 저항 측정법

1) 대지 고유 저항 측정법

토양의 특성이 다양하고 복잡하여 토양의 구조를 결정하는데 많은 측정 방법과 측정 기술이 검토되어 왔다. 측정 방법은 크게 직접 측정과 간접측정의 2가지로 분류 할 수 있다.

직접 측정 방법은 각종 깊이별로 토양의 견본을 추출하여 전문화된 실험실에서 측정하는 방법이다. 이 방법은 견본을 추출하는 과정에서 토양이 뒤섞이지 않는다면 정확하고 직접적인 측정 방법이지만 조사할 지역을 대표할 수 있는 충분한 수량의 값비싼 보링(boring) 작업이 필요하다. 이런 방법은 주로 간접 측정방법으로 예비 조사를 완료한 후 상세 설계단계에서 예비 조사 결과를 확인하는 수단으로 활용된다.

간접 측정 방법은 전압 V 를 인가하여 대지의 응답치인 R 을 측정하여 대지의 구조를 해석하는 것이다. 측정된 대지의 응답 R 은 대지 고유 저항과 다른 대지 파라미터와의 함수 관계로 나타나는 물리적 수량으로서, 이 대지 고유 저항 R 과 대지 파라미터와의 알려진 관계를 이용하여 가장 근접한 대지 구조를 결정하는 것이다. 일반적으로 널리 쓰이는 간접측정에는 여러 가지 방법들이 있으나 주로 전기 검증법과 Wenner 전극법이 사용된다.

(1) 전기 검증 법

전기 검증 법은 지질 조사에서는 반드시 행하는 항목으로, 이 결과를 접지 저항의 예측계산에 활용한다. 전기 검증 법에는 Normal log, Latel log 등의 방법이 있으며 Winner의 4 전극 법은 수평 방향인데 비하여 전기 검증 법은 수직 방향을 응용한 것으로, 예를 들어 1m마다 측정하면 그 측정 Data는 지층 1m 두께의 저항률로 간주 한다. 이런 작업절차를 거쳐서 최종적으로 대지 저항률을 직접적으로 얻을 수 있으며, 이 데이터를 다층 구조 접지저항 예측 계산에 활용한다. 어떤 특정 층의 파라미터가 높으면 암반, 낮으면 양호한 토질로 판정 할 수 있다.

(2) Wenner 전극 법

대개의 대지 고유저항 측정 기술은 Frank Wenner가 처음으로 제안한 등 간격 4 전극법을 변형시킨 기술이다. Wenner 4전극법 배열은 그림 7과 같다.

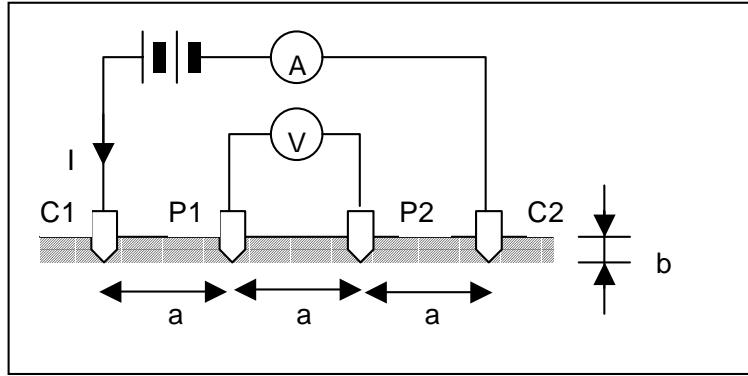


Fig. 7. Wenner electrode arrangement

조사 지역 내에 선정된 측정선의 일직선상에서 내부에 전위전극(P1, P2), 외부에 전류전극(C1, C2)를 설치하고 C1 P1, P1 P2, P2 C2의 거리 (a)를 등 간격이 되도록 한다. 외부 전류전극(C1, C2)에 전류 I를 주입시키고 내부의 전위전극(P1, P2)간의 전위차 V를 측정하여 대지 저항을 구한다. 여기서 극간격 a와 극깊이 b의 관계로부터 대지저항은 다음식과 같다.(高矯健彦,1995)

$$\rho_{\alpha} = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} = \alpha \cdot \frac{V}{I} = \alpha \cdot R(\Omega \cdot m) \quad (1)$$

(1)식에서 a는 전극배열의 기하학적 계수이다. 한편 접지극의 매설 깊이를 고려하지 않는 경우의 $\alpha = 2\pi a$ 이므로 대지 저항률은 다음과 같다.

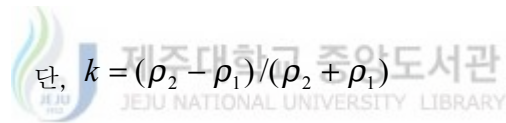
$$\begin{aligned} \rho_{\alpha} &= \alpha \cdot R \\ &= 2\pi a \cdot R (\Omega \cdot m) \end{aligned} \quad (2)$$

계산식(2)에서는 측정된 저항 값(R)과 극 간격 a를 이용하여 대지 저항률을 계산하게 된다. 이때 계산된 대지 저항률은 극 간격 a만큼의 깊이 에 대한 토양의 평균저항(average resistivity)라고 할 수 있다.

(3) 지층 구조 분석

대지구조의 해석에는 현재 다방면에서 널리 이용되고 있는 Sundberg의 2층 표준곡선이나 Hummel의 보조곡선을 이용하는 방법이 있다. 대지가 수평 2층 구조로 되어 있다고 할 때 Wenner의 4 전극법을 이용한 수평2층 구조의 종합대지저항률(겉보기 대지 저항율)은 다음 식과 같다.(高矯健彦,1995)

$$\rho_a = \rho_1 \left[1 + 4 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k^n}{\sqrt{1 + 4n^2 \left(\frac{d}{a}\right)^2}} - 2 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k^n}{\sqrt{1 + n^2 \left(\frac{d}{a}\right)^2}} \right] \quad (\Omega \cdot m) \quad (3)$$



ρ_1 : 제1층의 대지 저항률 ρ_2 : 제2층의 대지 저항률
 a : 전극간격(m) d : 1지층 깊이(m)

만일 지층분석으로 통해 얻어진 대지파라미터가 그림 8과 같이 2개 지층이 존재하는 경우 이를 등가대지저항률(ρ_e)로 표현하면 아래 식과 같으며 이로부터 3층 구조를 해석할 수 있다.

$$\rho_e = \frac{(d_1 + d_2)\rho_1\rho_2}{d_1\rho_2 + d_2\rho_1} \quad (\Omega \cdot m) \quad (4)$$

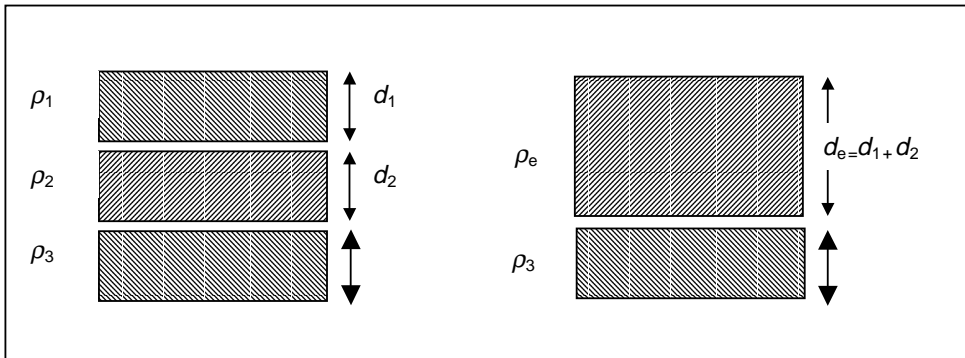


Fig. 8. Structural analysis of 3 stratum

2) 접지 저항의 측정

접지저항을 결정하는 어떤 공식도 미결정 요소가 많으므로 공식에 의해 계산된 결과를 크게 신뢰할 수는 없다. 예를 들어 주어진 토양의 저항률은 토양 온도에 역 비례하고 토양 습도와 매질 깊이에 비례하므로 접지 저항을 확정하는 유일한 방법은 접지 장치를 완전히 설치한 후에 직접 측정하는 것이다.

접지 극의 접지 저항은 흙의 저항률, 전극 저항, 전극과 대지와의 접촉 저항 및 접지선 저항의 합성으로 주어지며 흙의 저항률에 가장 큰 영향을 받는다.

(1) 봉 접지방식

그림 9와 같이 전극이 지표면에 있는 경우와 막대 모양의 전극을 지표면 아래까지 매설하는 방식으로 나누어지며 전극을 지표면 아래까지 매설하는 방식의 경우 전극에 따라 생기는 전위 경도를 완화 할 수 있는 효과가 있다.

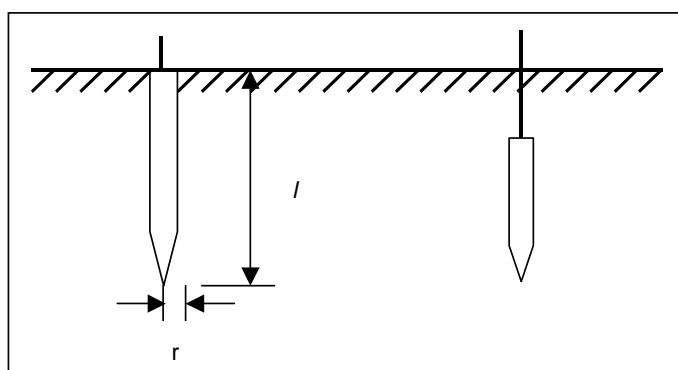


Fig. 9. Rod ground connection

봉 접지방식의 접지저항 계산식은 다음과 같다.(염 승태, 2000)

① 접지 봉 1개의 경우

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} (\log \frac{4l}{r} - 1)(\Omega) \quad (5)$$

R : 접지 봉 1개의 접지 저항(Ω) l : 접지 봉 매입 길이(m)

r : 접지 봉 반경(m) ρ : 대지 저항률($\Omega \cdot m$)

② 접지봉이 다수인 경우

$$R_n = k \frac{1}{\sum_{n=1}^n \frac{1}{R}} (\Omega) \quad (6)$$

R : 접지 봉 다수의 접지저항(Ω) k : 집합계수

n : 집합전극 매설 수

여기서 집합계수 k는 표 6과 같이 깊이와 전극 간격에 따라 달라진다.

Table 6. Set coefficient k value

깊이 \ 간격	0(m)	0.5(m)	1(m)	2(m)	3(m)	4(m)
0.61(m)	2.00	1.20	1.11	1.05	1.03	1.01
1.52(m)	2.06	1.35	1.20	1.15	1.10	1.05
3.05(m)	2.04	1.36	1.25	1.17	1.12	1.07

(2) 매설 지선 방식

매설 지선은 지평면에서 t(m) 깊이에 매설된다. 그림 10과 같이 선 모양의 전극의 접지 저항은 선의 치수와 매설 깊이에 따라 아래 식과 같다.(염 승태, 2000)

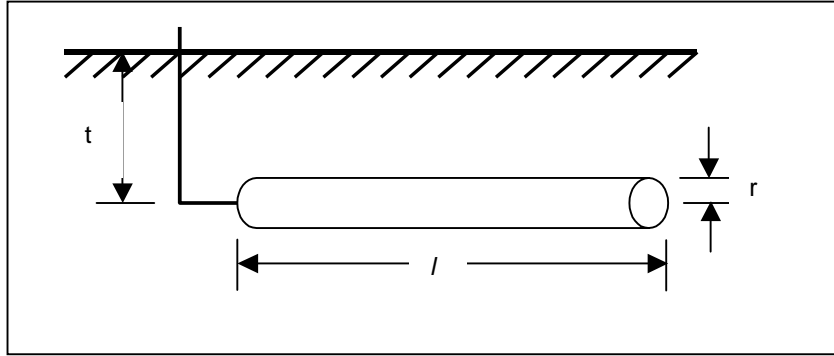


Fig. 10. Laying branch line

$$R = \frac{\rho}{2} \pi l \left(\log \frac{2l}{r} + \log \frac{l}{t} - 2 + \frac{2t}{l} - \frac{t^2}{l^2} + \frac{t^4}{8l^4} \right) (\Omega) \quad (7)$$

R : 매설지선의 고유 저항(Ω) l : 매설 지선의 길이(m)

ρ : 대지 저항률(Ω · m) t : 매설 깊이(m)

r : 매설지선 반경(m)

(3) 망상 접지방식

이 접지방식은 그림 11과 같이 그물 모양의 전극으로 접지하는 방식을 망상(Mesh) 접지방식이라 한다. 메쉬 수가 무한대로 되면, 그 전극은 환 모양으로 간주할 수 있다는 성질을 이용해서 저항을 계산하는 방식이다. (염 승태, 2000)

① Nieman의 식

$$R = \rho \left(\frac{1}{4r} + \frac{1}{L} \right) (\Omega) \quad (8)$$

R : 망상지선의 접지 저항(Ω) r : 등가반경(m)

L : 망상의 전장(cm) ρ : 대지 저항률(Ω · m)

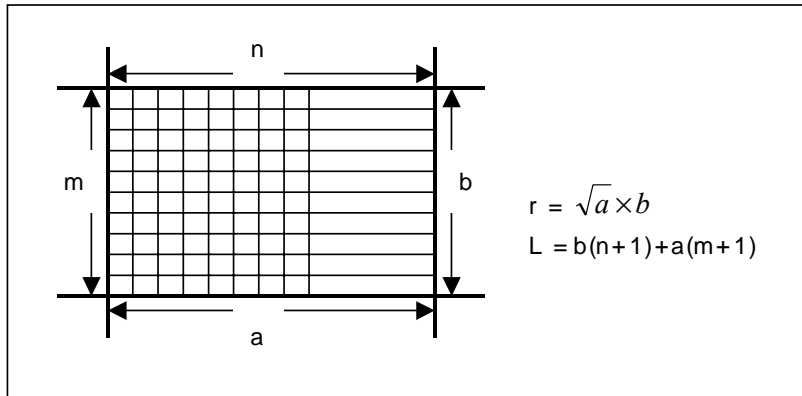


Fig. 11. Net ground connection

② Sunde의 식

$$R = \frac{\rho}{4r} \left(1 - \frac{4t}{\pi}\right) (\Omega) \quad (9)$$

r : 메쉬 부설 면적(A)의 등가 반경 $r : \sqrt{A}/\pi$ (Ω)

t : 매설 깊이(cm)

(4) 판 접지 방식

그림 12의 판 접지 방식에서 접지 저항은 다음 식으로 구할 수 있다.(염 승태, 2000)

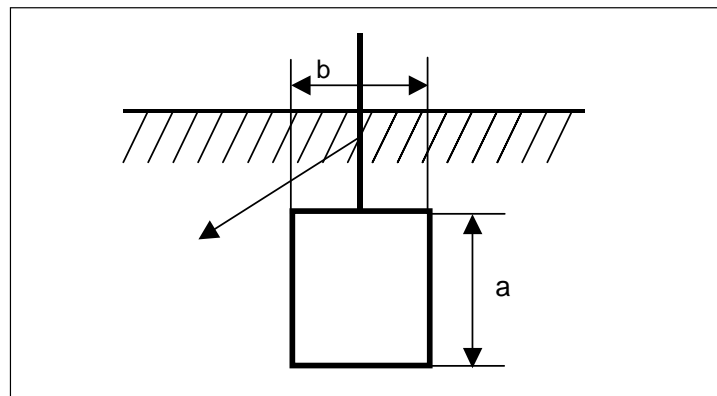


Fig. 12. Place ground connection

$$R = \frac{\rho}{2\pi t} \log \frac{r+t}{r} (\Omega) \quad (10)$$

$r : \sqrt{a} \times b/2\pi$

(5) 심 매설 전극 법(보링공법)

암반 층 등 대지 저항률이 높은 지역은 일반적인 접지봉이나 접지 관으로는 전기설비 기술 기준에 적합한 저 저항 접지를 구현하기가 불가능 하다. 이 경우에는 그림 13과 같이 보링 기계에 의해 직경 4~15cm의 구멍을 10 m 이상 천공 한 후 이 구멍 안에 전극을 넣고 전극과 구멍의 틈새에는 접지 저감제인 벤토나이트나 겔 화합물 또는 도전성 콘크리트 등을 충전하는 방식인 심 매설 전극법이 사용된다. 대지 저항률이 높고, 접지 면적에 제한이 있는 경우에 적절하다. 이 경우의 접지저항 계산은 다음과 같다.(高矯健彦,1995)

$$R = \frac{2 \times \rho}{2.73l^2} \times 13.62 \times M \times \text{Log}_{10} l (\Omega) \quad (11)$$

ρ : 대지 저항률($\Omega \cdot \text{m}$) l : 천공 깊이(m)

M : 저감계수(0.75~1 적용)

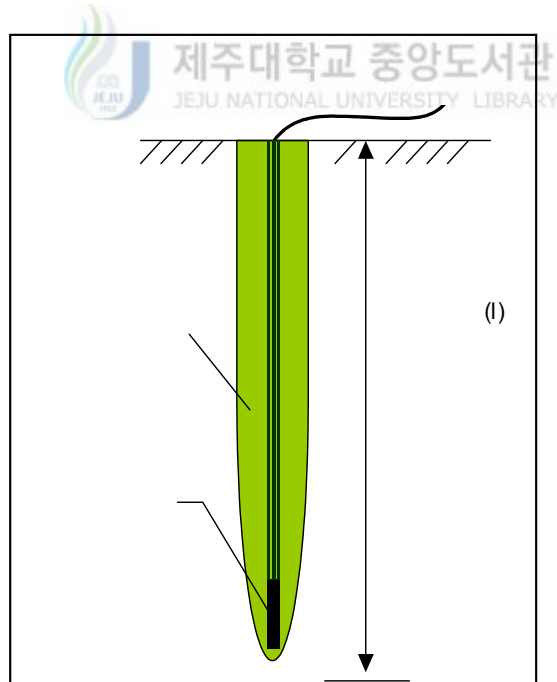


Fig. 13. Boring ground connection

3) 접지 체 시공 방법

접지 체의 시공에서는 요구되는 접지저항을 경제적이고 안전성, 시공성 등을 고려하여 현장에 적합한 공법을 선정하되 접지저항의 최소화를 위하여 토양의 질, 습도, 이온화 되는 물질의 함유량, 계절에 따른 온도 변화 등 토양의 조건을 분석하고 접지시설과 대지의 접촉 저항을 최소화 하며, 접지 시설 효율의 장기적인 측면을 고려해야 한다. 접지 자재 선정 시 영구적이고 과도 전류를 충분히 흘려보낼 수 있는 용량을 가지며 접지 자재 자체의 고유 저항이 낮은 것을 선정해야 한다. 접지 체 이격 거리는 가공 및 지중 송전선의 지락 사고 시 전기 통신 시설의 대지 전류 상승 제한치를 유도 전압 제한치 이하가 되도록 해야 하며, 송전선 접지체와 통신시설의 이격거리는 유도전압 제한치 이하가 되는 거리이어야 한다. 즉, 변전소 접지체로부터 수백m 이격하고 송전선 접지 체 또는 첩탑으로부터는 60m 이상 이격하며, 특 고압 배전선(22.9kV)으로부터는 10m 이상 이격해야 한다.

접지 봉 매설에 대한 기본적인 검토사항은 다음과 같다.

- 접지 봉 매설 간격을 접지 봉 길이의 2배를 기준으로 하여야 한다.
- 접지선과 지표와의 간격이 75cm 이상이 되도록 지하에 매설 하여야 한다.
- 분뇨 구덩이에 인접한 곳에는 접지봉을 매설해서는 안 된다.
- 통신용 접지 시설과 피뢰접지의 지중 매설 도체는 최소 5m이상 격리 되어야 한다.
- 통신용 접지 시설과 수 배전 시설용 지중 매설도체는 최소 10m 이상 격리 되어야 한다.

(1) 수직 접지 봉 매설 방법

접지 봉 1개를 지하에 매설할 때에는 그림 14와 같이 직경 30cm 이상, 깊이 60cm의 구덩이를 파고 접지봉을 땅에 타설 하되 접지봉의 머리가 구덩이의 밑바닥에서 15cm 더 들어가도록 한다. 그리고 접지 봉 용 리드 선으로 지상에 연결한다.

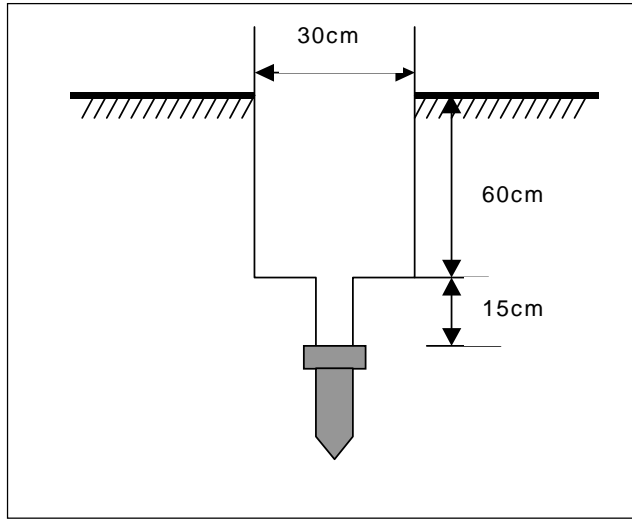


Fig. 14. Vertical laying

(2) 환형 매설 법

접지 봉 1개만으로 소요 저항을 얻을 수 없을 경우에는 그림 15와 같이 일정한 원주 상에 동일한 간격으로 접지봉을 매설하는 방법으로, 접지봉의 매설 방법은 폭30cm, 깊이 60cm의 둥근 도랑을 파고 동일한 간격으로 접지봉을 매설하되 접지봉의 머리가 도랑의 밑바닥에서 약15cm 더 들어가도록 해야 한다. 이때 이 연결선과 접지선은 동 압착 슬리브로 완전히 접속 되어야 한다. 리드 선은 이 연결선을 그대로 사용한다.

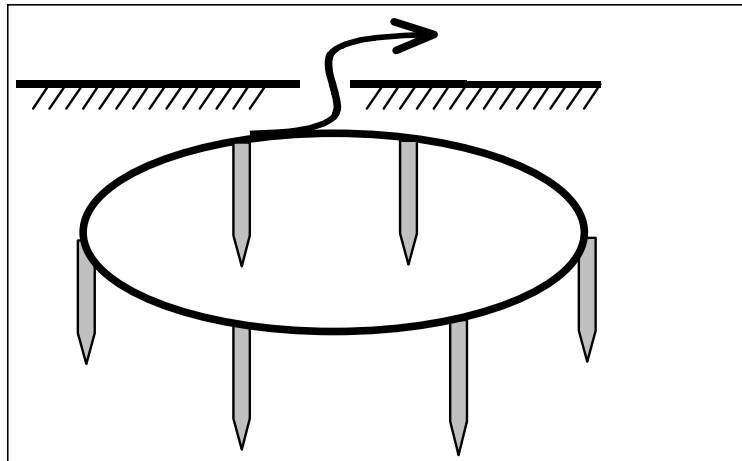


Fig. 15. Ring shape laying

(3) 병렬 매설 법

병렬 매설 법에는 그림 16과 같이 일직선형법, 외권형법, ㄷ자형법, ㄱ자형법, ㄴ자형법등 여러 가지가 있으며 접지 봉 간격은 접지 봉 길이의 2배로 하며 매설 법은 환형 매설법과 마찬가지로 연결선과 리드선으로 연결한다.

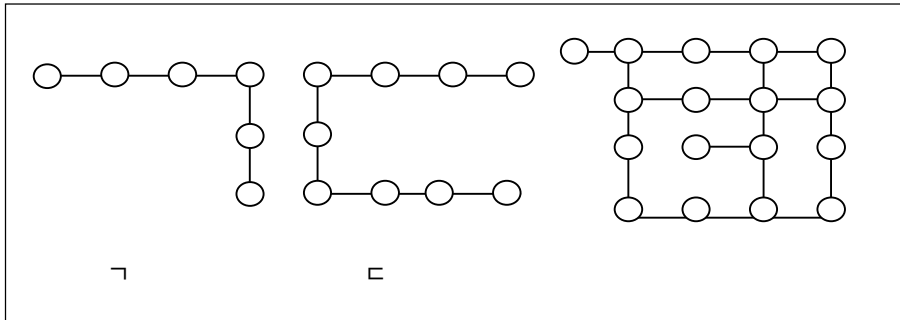


Fig. 16. Parallel laying

(4) 수평 접지 판 매설 방법

그림 17과 같이 수평 접지 판 매설 방법은 주로 고정시설 접지에 사용하며, 지하수가 나올 정도의 깊이 매설하여 그 주위에 수분을 잘 흡수하는 목탄을 넣어서 동판의 접촉 저항을 보다 적게 하고, 동판 수평 접지 저항은 10Ω 내외이며 산화나 부식으로 접지 효과가 감소 될 수 있으므로 동판의 산화나 부식 예방을 위해 정기적으로 점검하고 보수한다.

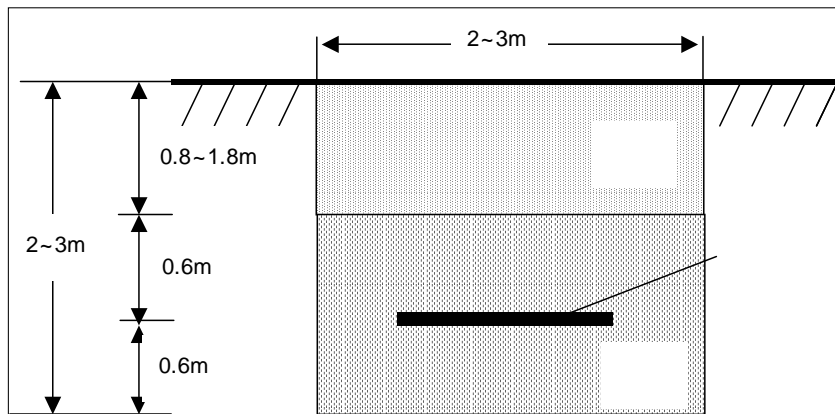


Fig .17. Horizontal place laying

4. 제주 동부지역 지질 구조

제주도는 화산도로서 주로 알카리성 용암류의 연속적인 분출에 의해서 만들어진 순상 화산체이다. 제주화산도의 지질구조는 신생대 제4기초의 서귀포층, 제4기 후기에 형성된 화산 쇄설성 퇴적층인 성산층과 신양리층 등의 퇴적암층과 현무암, 조면암 질 안산암, 조면암 등의 화산암류, 기생화산에서 분출된 화산 쇄설물 등으로 구성되어 있다. 제주도의 화산활동은 크게 보아 5단계의 화산 활동기 및 퇴적기로 구분되며 적어도 100회 이상에 달하는 용암분출이 노두에서 관찰된다. 분출 순서에 의하여 구분된 현무암류는 광물조성과 화학조성으로 보아 대체로 현무암질로서 침상장석감람석현무암, 반상휘석현무암, 비현정질현무암, 하와이아이트, 뮤지어라이트, 솔레아이트 등으로 이들은 제주도 전면적의 90% 이상을 차지한다.

화산활동의 각 분출기에 분출된 다량의 화산 쇄설물의 입자크기는 수 센티미터 정도로 조립질이고 다공질분석이 주를 이루며 층리의 발달이 빈약한 성층구조를 가지는 것이 일반적이다. 제주도에 있어서 지표면과 지하수면 사이의 깊이인 비포화대의 두께는 지역별로 차이를 나타낸다. 해발 100m 지점을 기준으로 할 때, 동부지역은 약95~98m 정도이고, 서부지역은 50~60m이며, 북부지역은 70~80m, 남부지역은 40 ~50m 정도가 된다. 현무암질 용암류의 단위 두께가 대체로 10m 미만임을 고려하면, 비 포화대 내에는 약 5~10매의 용암류가 분포하고 있다. 지하로 침투된 빗물이 지하수체에 도달하기까지는 5~10매의 암층을 수직 또는 수평적으로 통과해야 한다.(이 문원, 1994)

지표면은 침수성이 강한 현무암으로 구성되어 있어 비교적 많은 강우량에도 불구하고 지하로 빠져들어 하천은 거의 대부분 건천 상태가 되며, 지표면의 습기 함유량이 낮고 또한 계절적으로 습도 변화가 심하다. 따라서 지표면의 표면적을 이용하여 접지 시설을 구성한다면 계절적으로 접지 저항의 변화가 심하게 발생하므로 대지 저항률이 변화하여 대지와 시스템 간 전위차가 발생하게 된다. 또한 접지 시설의 경년 변화에 따라 접지 품질이 악화되어 낙뢰 발생시 발생하는 대용량의 서지 전류와 전압에 의해 통신 시스템이 소손 될 우려가 높다.

IV. 태풍 및 낙뢰가 해저 광 통신 시스템에 미치는 피해 및 대응방안

1. 태풍에 의한 해저 매설 케이블의 노출

태풍은 경도 180°선 이서의 북태평양 열대 지방에서 발생하여 필리핀, 중국, 대만, 일본 및 우리나라에 피해를 주는 열대성 저기압을 말한다. 적도 부근의 열대 해상에서 발생한 저기압 중에서 최대 풍속이 17m/s 이상일 때 태풍이라 한다. 태풍은 반지름이 약 500Km이고, 중심에 반지름 약 30Km의 눈이 존재한다. 우리나라에는 주로 7~9월에 내습하게 되며, 집중 호우와 폭풍을 동반하므로 많은 피해를 끼친다.

태풍의 내습으로 인해 해저 면에서도 토사 유출이 발생하게 되며, 그로 인해 해저면 지하에 매설된 해저케이블이 노출되어 해저 수중에 떠 있게 된다. 매설되었던 해저 케이블이 노출되어 수중에 떠 있으면 각종 어선의 어로 활동 시나 정박 및 운항 시에 선박 앵커, 어구 등에 의한 직접적인 피해 우려가 있다. 따라서 본 논문에서는 태풍에 의한 토사의 유출과 해저 케이블의 노출에 대한 자료를 수집하였고 정확한 실태를 조사하였으며 자료의 분석 및 실태 파악에 통해 대응 방안을 강구하였다.

1) 토사 이동량 측정

제주도 동부지역의 토사 유출 및 해저 매설 케이블의 노출에 대한 정확한 실태 조사를 위해 1999년 2월부터 동년 11월까지 잠수 작업에 의해 육안 점검을 하였고 스케일 폴(poll)을 설치하여 토사 이동량을 정기적으로 점검하였다. HJK 국제 해저 케이블이 매설된 인근 해저면 중 비 암반 지대에 그림 18에 나타낸 바와 같이

수심 7m, 8m, 11m의 4개소에 기준 스케일 폴을 설치하여 측정 하였으며, 월 1회 잠수에 의한 육안 점검 및 수치 측정으로 토사의 이동량 및 케이블의 노출 상태를 점검하였다.



Fig. 18. Position of datum point

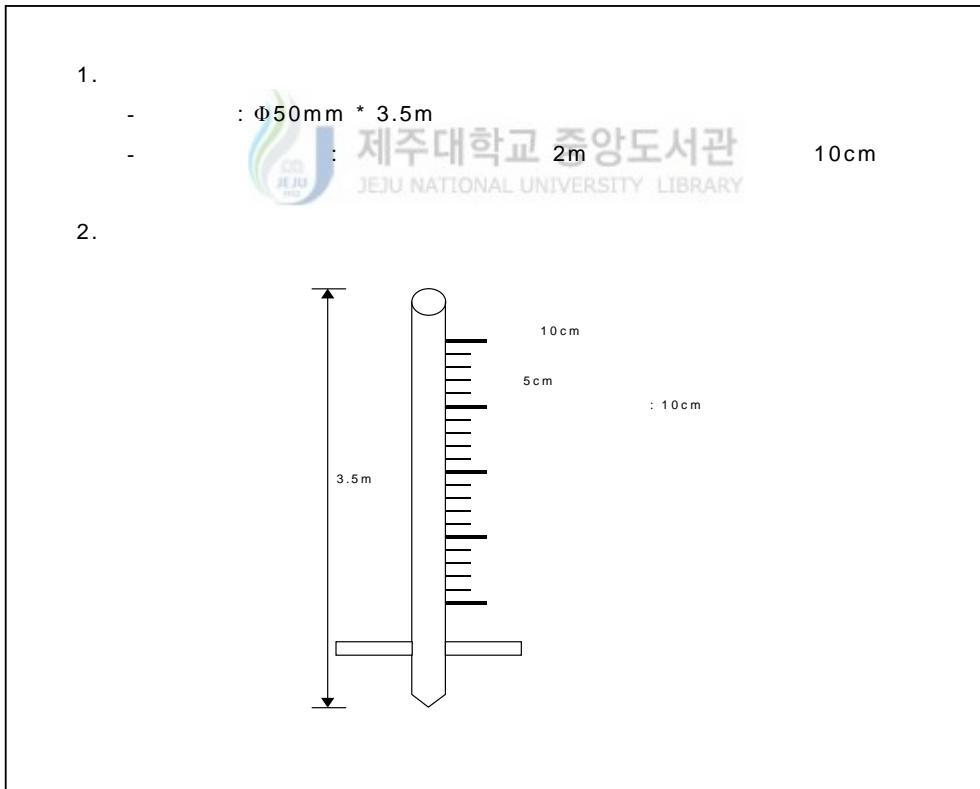


Fig. 19. Specification of scale poll

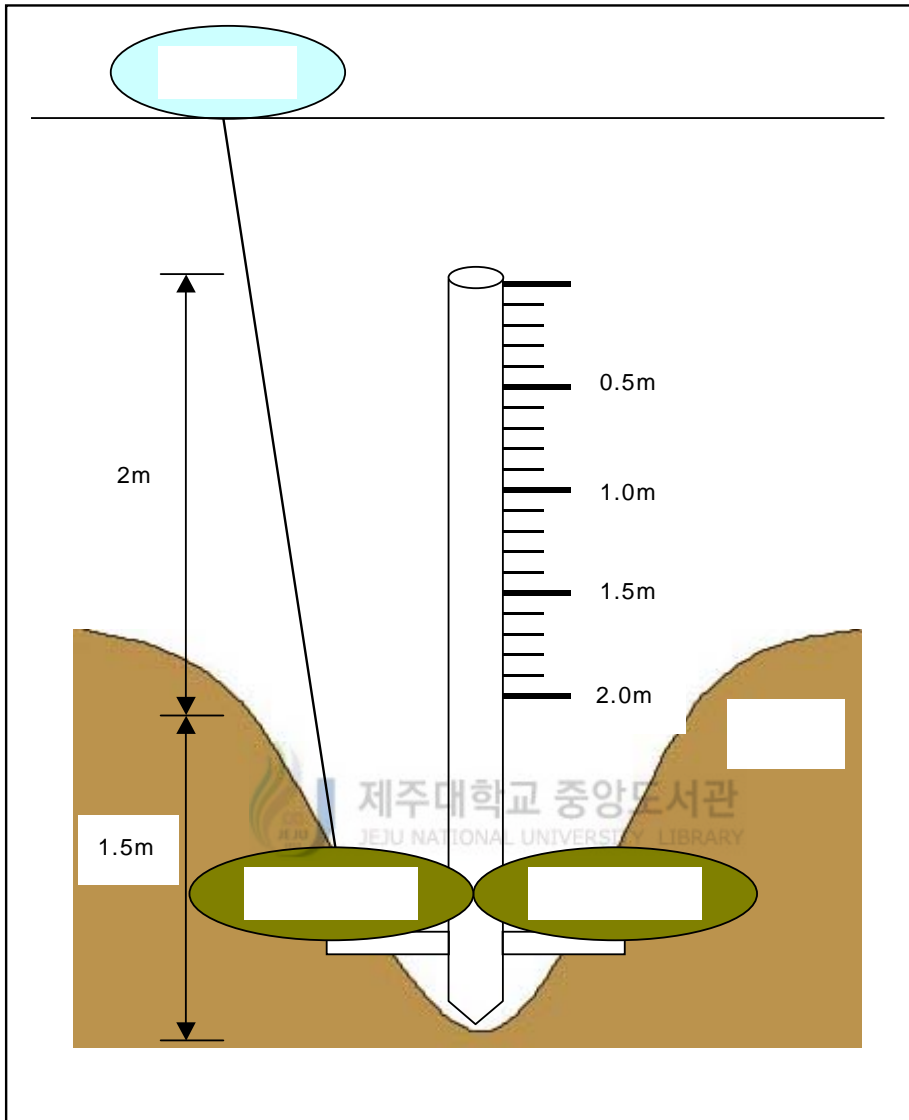


Fig. 20. Scale poll's establishment

그림 19에는 스케일 폴의 제작 사양 및 외형을 나타내었으며 그림 20에는 스케일 폴의 설치도를 나타내었다. 스케일 폴은 1999년 2월 18에서 25일 기간에 설치되었으며, 해저 면 비 암반 지대인 토사층에 1.5m 이상의 깊이로 구덩이를 판 후 폴을 설치하였다. 또한 스케일 폴은 마대 콘크리트를 이용하여 고정하였고 표시 부표를 달아 위치를 표시하였다.

표 7에 토사 이동량 조사용 측정 폴 설치 내역을 나타낸 것처럼 최초 설치 시 측정용 폴의 길이는 기준점에서 A호 220cm, B호 135cm, C호 140cm, D호 140cm 이었으며, 표시 부표의 분실에 대비하여 GPS 좌표를 측지하여 기준점으로 삼았다.

Table 7. Establishment particulars of measurement poll

폴 명칭	측정 시 수심	설치 후 측정 폴 길이	위치(GPS 좌표)	해저면 상태
A 호	11m	220cm	33° 26.458' 126° 55.546'	모래 층
B호	7m	135cm	33° 26.464' 126° 55.640'	모래 층 사이에 암반 분포
C호	7m	140cm	33° 26.532' 126° 55.703'	모래 층
D호	8m	140cm	33° 26.451' 126° 55.690'	모래 층

2) 토사 이동량 측정 결과

(1) 1회 측정

1999년 4월 29일에 측정하였으며 측정용 폴 설치 이후 성산 연안부의 해저면 토사는 설치 대비 10~20cm 축적되었고 인근 지역의 케이블 매설 상태는 케이블 노출이 없이 양호하였다. 그 내역은 표 8과 같다.

Table 8. 1st sand transfer amount measurement

폴 명칭	측정 시 수심	측정 폴 길이	토사 이동량		인근 케이블 매설상태	비고
			전회 대비	설치 대비		
A 호	10m	210cm	-	10cm 축적	양 호	
B호	6m	120cm	-	15cm 축적	양 호	
C호	6m	120cm	-	20cm 축적	양 호	
D호	7m	135cm	-	10cm 축적	양 호	

(2) 2회 측정

2회 토사 이동량 측정은 1999년 5월31일에 측정하였다. 전 회와 대비해 보면 기 후의 변동이 없었으므로 토사의 유동이 없었다. 그 내역은 표 9와 같다.

Table 9. 2nd sand transfer amount measurement

폴 명칭	측정 시 수심	측정 폴 길이	토사 이동량		인근 케이블 매설상태	비고
			전회 대비	설치 대비		
A 호	10m	210cm	변동 없음	10cm 축적	양 호	
B호	6m	120cm	"	15cm 축적	양 호	
C호	6m	120cm	"	20cm 축적	양 호	
D호	7m	135cm	"	10cm 축적	양 호	

(3) 3회 측정

3회 토사 이동량 측정은 제주도내에 이상 기상 현상이 발생하여 우기가 장기간 지속되고 기후가 불순함으로 2회 측정 이후 약 3개월 만인 8월27일에 측정하였다. 그 기간 중 제 7호 태풍 "올가(97. 7. 30 ~ 99. 8. 3)", "폴(99. 8. 4 ~ 99. 8.8)의 내습이 있었으며 그 영향으로 측정용 폴 B, C, D호가 매설 깊이 이상의 토사 유출 및 거센 파도에 의해 분실 되었다. 따라서 측정용 폴 A호만으로 측정을 하였으며 그 토사가 유출된 양은 전회 대비 140cm, 설치 대비 130cm로 나타나 토사 유출량의 급격한 변화가 나타났다. 또한 인근 지역의 매설 케이블 구간에서 케이블이 노출되어 해저 수중에 떠 있는 구간이 발생 하였으며 그 노출된 길이는 약 45m가 되었다. 그 내역을 표 10에 표시 하였다.

Table 10. 3th sand transfer amount measurement

폴 명칭	측정 시 수 심	측정 폴 길이	토사 이동량		인근 케이블 매설상태	비 고
			전회 대비	설치 대비		
A 호	11m	350cm	120cm 유출	130cm 유출	케이블 노출 (약 45m)	

(4) 4회 측정

4회 측정은 1999년 10월 12일에 이루어 졌다. 그 결과에 의하면 전 회 대비 약 120cm가 축적 되었고, 설치 대비 10cm의 토사가 유출됨이 나타나 토사의 유동량이 급격한 변화를 보였다. 또한 노출되었던 인근 지역의 매설 케이블이 토사의 축적에 따라 매설 상태가 양호함을 보였다. 그 내역은 표 11과 같다.

Table 11. 4th sand transfer amount measurement

폴 명칭	측정 시 수 심	측정 폴 길이	토사 이동량		인근케이블 매설상태	비 고
			전회 대비	설치 대비		
A 호	10m	230cm	120cm 축적	10cm 유출	양호	

(5) 5회 측정

5회 측정은 1999년 11월 11일에 이루어 졌다. 그 결과는 전 회 대비 약 60cm, 설치 대비 50cm의 토사가 축적되었으며 인근 케이블의 매설 상태는 양호하였으며 그 내역은 표 12와 같다

Table 12. 5th sand transfer amount measurement

폴 명칭	측정 시 수 심	측정 폴 길이	토사 이동량		인근케이블 매설상태	비 고
			전회 비	설치 대비		
A 호	11m	170cm	60cm 축적	50cm 축적	양호	

(6) 2002년 태풍 “루사”(2002. 8.26 ~ 9.2) 내습 이후 특별 측정

2002년 8월 말에 내습한 태풍 “루사”는 초대형 크기에 매우 강한 강도를 갖는 위력의 태풍으로써 한반도 전역에 많은 태풍 피해를 주었다. 태풍 통과 직후인 2002년 9월 8일에 해저면의 토사 유출 및 케이블의 매설 상태를 측정 한 결과 해저면의 토사 유출이 심하게 나타났으며, 이로 인해 측정용 폴 A호도 분실되었고, 해저면에 매설된 광케이블이 노출되어 약 70m 길이가 수중에 30cm ~ 1m 떠 있음이 확인 되었다.

3) 토사 이동량 결과 분석

HJK 국제 해저 광케이블 및 제2, 3 제주-육지 간 해저 광케이블이 매설된 제주 동부 지역인 성산 연안부의 해저면 토사의 유동 상태는 제주 지역의 태풍 통과 집중기인 하절기(6~8월)에 유출이 되었다가 동절기로 접어들면서 점차적으로 퇴적되며, 토사 이동량 조사 결과 연중 최대로 유출되었다가 원래 모습으로 복귀되는 기간이 최소 한달 정도 소요됨을 알 수 있다. 또한 2002년 9월 8일 태풍 “루사” 통과 후 매설상태 점검 시에는 케이블 노출이 약 70m 발생됨이 확인된 바와 같이 태풍의 강도에 따라 토사의 유출량이 비례하여 변동됨을 알 수 있다.

그림 21에는 각 측정 시의 측정 폴의 길이 변화를 나타내었고, 그림 22에는 토사 이동량의 분석 그래프를 나타내었다. 그림 21 측정용 폴의 길이 변화 그래프 및 그림 22 토사 이동량 분석 그래프에 나타난 것처럼 2회 이후 3, 4회의 측정 시기인 하절기에 토사의 유동량이 급격하게 나타나며, 토사의 유동은 태풍에 의해 발생됨이 확인 되었다. 또한 태풍의 강도에 따라 토사의 유출량이 비례하고, 최대치로 유출되었다가 원 상태로 복구되기까지의 기간은 최소 한달이 소요됨을 알 수 있다.

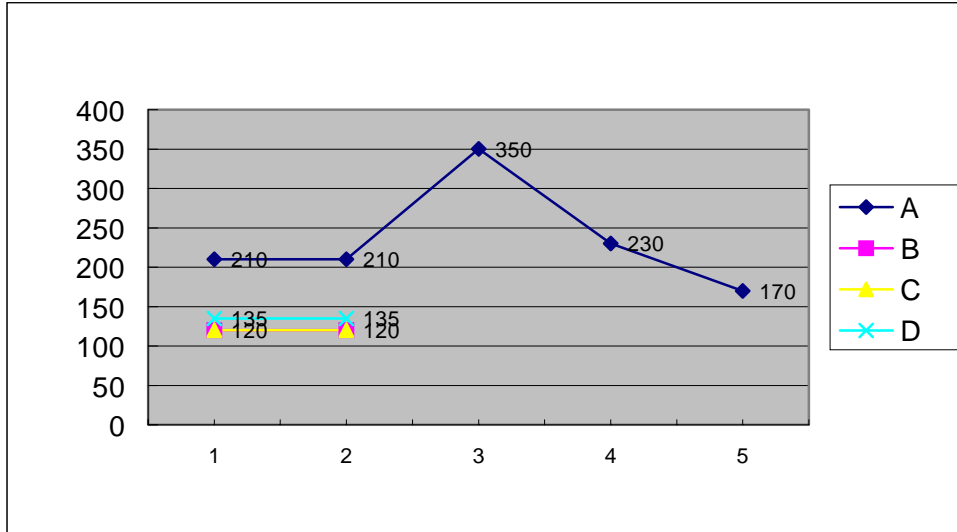


Fig. 21. Length change graph of measurement poll

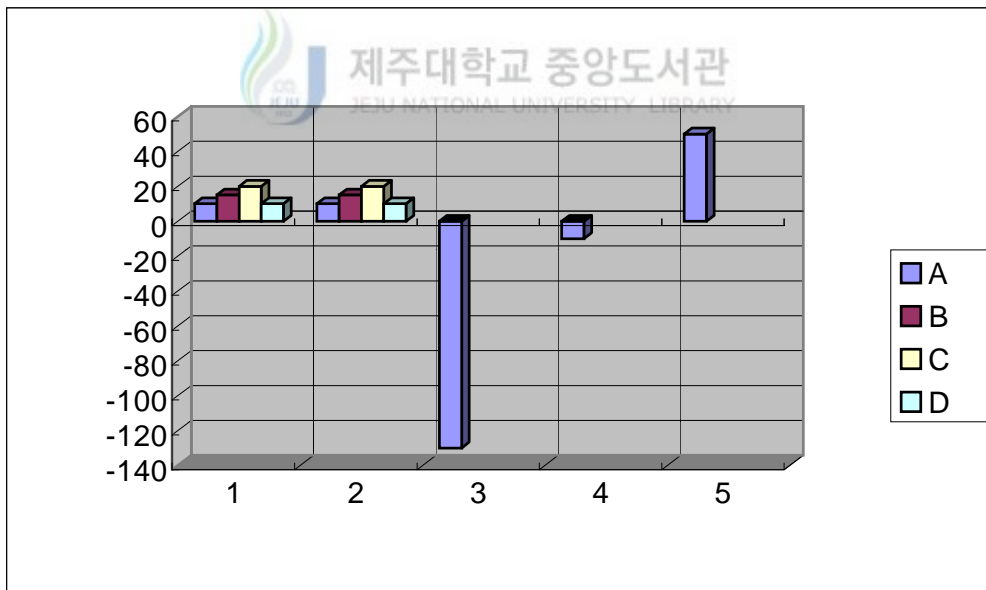


Fig. 22. Sand transfer amount analysis graph

2. 낙뢰 인입

낙뢰는 구름에 축전된 전기가 0.001초 이하라는 짧은 시간에 대지로 흘러 들어가는 현상을 말하며 번개의 일종으로 구름과 지면사이에서 발생하는 방전 즉, 대지방전을 말한다. 낙뢰는 주로 공기밀도가 큰 한기가 공기밀도가 작은 난기를 급격히 파고들 때, 또는 국지적으로 지면에 접한 대기가 가열되어 빠른 속도로 상승하면서 뇌우(thunderstorm)가 발달할 때 발생한다.

자연적인 대기현상에 의하여 발생하는 낙뢰는 침단장비와 인명에게까지 피해를 주는 발생원이다. 낙뢰는 낙뢰 방전 시 직격뢰와 간접뢰로 구분할 수 있으며 직격뢰가 통신장비 등에 유입될 경우에는 장비와 인명의 보호를 기약할 수 가 없다. 따라서 우선 직격뢰에 의한 피해의 대책 방안은 적절한 보호지역을 계산한 피뢰침을 시설하여 1차적인 보호를 하여야 한다. 그러나 시스템 및 설비에 피해를 주는 것이 낙뢰일 경우 90% 이상이 직격뢰가 아닌 간접뢰의 인입과 결합에 의해 발생한다. 실질적으로 낙뢰의 방사는 대지에 만 충전된 음 전하와 대기상의 구름 플러스 전하가 만 충전 되었을 경우 순간적으로 전기적 방전됨으로 이루어진다. 이때의 전기적인 등가회로는 대지와 대기가 하나의 폐회로인 전기회로를 구성하면서 방전하는 회로로 구성되어 대량의 전기적인 에너지를 순간적으로 방출하는 것이다. 따라서 이 방전 에너지는 회로 상 지상과 지하를 구분하지 않고 폐회로가 되기 때문에 지하의 전원선, 통신선 등이 한 회로의 역할을 하면서 지하의 전기적인 케이블, 시설물들에 인입되어 피해를 주게 된다. 낙뢰는 대용량의 썬지 전류와 전압을 발생 시킨다. 직격뢰는 피뢰침이 시설되어 있을 경우, 피뢰침이 일차적으로 보호 역할을 하여 썬지를 대지로 방출하기 때문에 직접적으로 시스템이나 장비에 피해를 주지는 아니한다. 그러나 방전된 낙뢰는 외부에 노출된 수, 배전 전원 선과 데이터통신 회로를 타고 대체적으로 20,000V 이상의 썬지가 발생되어 전자 장비들을 소손 시킨다. 특히 간접뢰는 외부에 노출된 장비만을 소손 시키는 것뿐만 아니

라 지하에 설비된 전선 및 통신 케이블을 타고 낙뢰가 침입하여 장비를 완전히 소손 시키고 있다.

해저 광 통신 시스템에 있어서도 낙뢰에 의한 피해가 발생하는바 그 원인을 보면 해저 광 통신 시스템의 구성상 해저 광 중계기에 전원을 공급하기 위한 전원케이블이 광케이블과 같이 구성 되어 있으며, 육양국의 장비에 접속하기 위한 육상 인입케이블이 낙뢰의 인입 경로가 되어 시스템에 영향을 미치게 되므로 간접뢰에 의한 피해가 주된 피해가 된다. 이러한 낙뢰로 인해 발생한 해저 광 통신 시스템의 전송 품질 악화는 전화사용이나 데이터 통신 시에 영향을 미치게 된다. 따라서 낙뢰에 의한 전송 품질 악화를 미연에 방지하기 위한 시스템의 설계 및 운용이 필요하게 된다. 이를 위해서 우선적으로 낙뢰에 의한 피해를 정확히 파악하는 게 중요하며, 그 결과에 의해 피해 최소화 방안을 강구 하여야 한다.

낙뢰에 의한 피해를 정확히 파악하기 위하여 1990년 6월부터 2002년 12월까지의 기간 중 HJK 해저 광 통신 시스템에 영향을 주어 국제통신 소통에 지장을 초래한 경보의 발생과 HJK 해저 광 통신 시스템이 위치한 지역인 제주 성산포 지역에서 낙뢰 발생 간의 상관관계를 조사하였다. 조사 방법으로는 제주도 성산포 측후소에서 관측된 낙뢰의 목측 자료와 HJK 해저 광 통신 시스템의 전송 품질 감시 시스템인 TML(test management logger)에 나타나는 경보 자료를 비교함으로써 낙뢰 발생과 동일 한 시간에 발생하여 낙뢰로 인해 발생한 경보를 파악 하였다. 표 13에는 제주 성산포 지역의 1990년부터 2002년까지의 년도 별 낙뢰 발생 내역과 TML에서 자동 출력되는 일일 레포트의 경보 발생 내역을 나타내었다.

Table 13. Lightning strike and Alarm occurrence particulars (1990 ~ 2002)

구분 년도	낙뢰 발생 일수	경보 발생 일수	경보 발생 횟수	측후소 자료 일치 횟수	비고
1990	10	3	3	3	
1991	15	4	4	3	
1992	10	4	30	30	7/12 1일 발생 16회
1993	15	6	16	16	
1994	6	4	12	12	
1995	18	11	20	19	
1996	12	3	4	4	
1997	14	3	4	3	
1998	16	3	3	3	
1999	15	4	4	4	
2000	11	2	2	2	
2001	24	3	3	3	
2002	29	4	4	2	
계	195	53	108	104	

● 경보 내역 : OOF(out of frame, 회선 순간 단절)

표 13에 의하면 제주 성산포 지역 1990년~2002년간 전체 낙뢰 발생 일수는 195일, 년 평균 낙뢰 발생일은 약 15일이며, 전체 낙뢰일 중 약 27%에 해당하는 53일 동안 OOF 경보가 발생하였다. 53일간의 경보 발생 일 동안 108회의 경보가 발생 하였으며 그 중 104회가 측후소 관측 자료와 일치하여 96.3%의 일치도를 보여준다. 이러한 결과, 성산포 지역의 낙뢰와 HJK 해저 광 전송 시스템에서의 경보 발생과는 밀접한 관계를 가지고 있음을 알 수 있다.

3. 태풍 및 낙뢰에 대한 대응 방안

1) 매설 케이블의 노출에 대한 대응 방안

제주 동부지역인 성산 연안부의 토사 이동 상태는 IV장 1.절 3)항의 결과에 나타난 바와 같이 제주 지역 태풍 통과 집중기인 하절기(6~8월)에 유출이 되었다가 동절기로 접어들면서 점차적으로 퇴적되며, 년 중 최대로 유출되었다가 원래 토사량으로 복귀되는 기간이 최소 한달 정도 소요됨을 알 수 있다. 따라서 매설케이블의 노출이 최소화 되려면 최초 매설 및 수중 공사의 적정 시기를 하절기 마지막 태풍이 통과한 직후인 9월말에서 10월초가 바람직하며, 또한 최대치로 유출 되는 토사량이 1.5m 이상이므로 케이블의 매설 깊이는 최소 1.5m 이상으로 하여야 태풍으로 인한 매설 케이블의 노출 가능성이 최소가 된다. 게다가 유출된 토사가 정상적으로 복귀되는 기간이 1달 정도 소요 되므로 수중 공사는 가급적 빠른 시일 내에 완료하여야 한다.

해저 광케이블에 사용되는 케이블 및 각 장비의 특성은 ITU-T 권고 안G. 971에서 G. 977까지 권고하고 있으며, 각 권고치의 주요 내용은 다음과 같다.

- G. 971: General Features of optical fibre submarine cable systems
- G. 972: Definition of terms relevant to optical fibre submarine cable systems
- G. 973: Characteristics of repeaterless optical fibre submarine cable systems
- G. 974: Characteristics of regenerative optical fibre submarine cable systems
- G. 975: Forward error correction for submarine systems
- G. 976: Test methods applicable to optical fibre submarine cable systems
- G. 977: Characteristics of optically amplified optical fibre submarine cable systems

아직까지 국내에는 국제 권고안에 대응되는 국내 시설 표준이 규정되어 있지 않으며, 해저 케이블 및 각 장비들을 생산하는 업체에서도 ITU-T의 권고안을 기준으로 생산하고 있는 실정이다. 그러나 ITU-T의 권고안은 세부적인 내용을 규

정하는 것이 아니며, 권고안의 내용 또한 급격한 기술의 발전에 대응하여 그 기준이 신속히 제시되는 것이 아닌 특정한 기술의 발전 이후에야 그 내용에 대해 권고되는 사례가 많으므로 ITU-T의 권고안 이외에 세부적인 내용을 나타내어 급격한 기술의 발전에 대응할 수 있는 국내 산업 표준이 제정되어 저야 할 것이다.

2) 접지 시설 최적화 방안

HJK 국제 해저 광 통신 시스템에 요구되어지는 접지 저항은 표 2 통신용 접지 기준치에 표시된 것처럼 2Ω 이하이다. HJK 국제 해저 광 통신 시스템이 설치되어 있는 제주 동부 지역의 표피층 대지 저항률은 Wenner 4전극 법으로 측정 한 결과 깊이 1.3m까지의 표피 층 저항률은 그림 23에 나타낸 바와 같이 $375(\Omega \cdot m)$ 로써 전체 지층 중 가장 양호한 성분으로 측정되었다. 그러나 이 표피 층 저항률을 이용하여 접지시설을 구축하면 제주 지역의 지질 구조 특성 상 접지 저항의 계절적 변동 폭이 크게 나타날 것으로 예상된다. 따라서 심층의 대지 저항률인 $416(\Omega \cdot m)$ 을 접지 설계에 반영하여 계산하고 그에 합당한 방식인 "심 매설 전극법"을 이용하여 접지 시설을 구축하여야 한다. 또한 제주 해저 중계소 건물 및 철조망 등 부대시설의 철 구조물에 의한 영향을 감안하여 20%의 대지 저항률을 보상하여 계산하여야 한다.

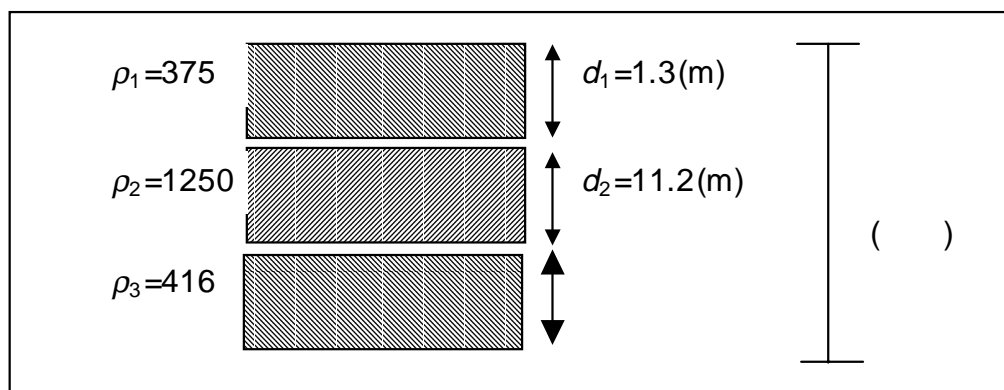


Fig. 23. Ground connection resistivity of east Jeju

대지 파라미터가 그림 23과 같이 2개 이상 존재하므로 이에 상응하는 계산식 (4)를 적용하여 대지 저항률을 계산하며 각 깊이 별 대지 저항률 값과 20%의 보상을 적용하여 계산한 대지 저항률의 값은 표14와 같다.

Table 14. Value of earth resistivity

단위 : ($\Omega \cdot m$)

깊이(m)	대지 저항률	20% 보상 시 대지 저항률
40	511	613
50	489	586
60	475	570
70	465	558
80	459	551

따라서 이를 심 매설 전극 법의 접지저항 계산 식 (11)에 적용시키고, 저감 계수 M의 값은 대지 저항률 계산에서 20%의 보상을 반영하여 계산하였으므로 따로 반영하지 않는 값인 "1"을 적용하여 접지 저항을 계산한 결과 그 값은 표 15와 같다.



Table 15. Value of ground connection resistance

깊이(m)	접지 저항(Ω)
40	6.12
50	3.97
60	2.81
70	2.09
80	1.63

이 결과에 의해 필요한 2 Ω 의 접지 저항을 구하기 위해서는 80m의 보링구가 필요하며 80m의 깊이는 제주 동부지역의 지질구조에 확인된 비포화대의 위치와 근접한 깊이이다. 그러나 80m의 깊이의 보링 구에 도전성 시멘트를 투입 시 유압

에 의한 그라우팅 방식에 의해 투입되므로 압력에 의한 보링 구 파손 및 이물질의 도전성 시멘트와 접촉하여 혼합 될 우려가 있으므로 40m 깊이로 3공을 설계하여 시공하는 것도 다른 대안이 될 수 있다. 또한 보링 시에는 보링 구의 훼손을 방지하기 위한 케이싱(casing)이 필요하다.

계산 된 결과에 의해 80m의 깊이의 보링 1구에 의한 접지 최적화 작업을 시행하였다. 접지 최적화 작업 시행 후 접지저항 측정기(HIOKI model 3150 earth tersetser)를 이용하여 접지 저항을 측정한 결과 그 값은 1.5Ω이었다. 이 값은 해저 광통신 시스템에 요구되어 지는 2Ω 이하의 양호한 접지저항 값이며, 또한 접지 시설 최적화 작업이후 분기별로 접지 저항을 측정한 결과 계절의 변화에 따른 접지 저항 값의 변화나 경년 변화에 따른 저항 값의 변화가 없이 1.5Ω의 양호한 값이 유지 되었다. 이러한 접지 시설 최적화 이후 연간 해저 광 통신 시스템의 에러 발생을 측정한 결과 년 14.2회의 에러 발생에서 3.4회 발생으로 나타나 에러가 감소됨을 알 수 있었다. 접지 최적화 작업 시행 전 과 후의 접지 저항 측정치 및 TML 일일 레포트의 연간 에러 발생 내역을 비교하여 표 16에 나타내었다.

Table 16. Ground connection resistance measured value and Error occurrence particulars

접지 저항 측정치		TML Error 발생 횟수	
작업 전	작업 후	작업 전	작업 후
8.1 Ω	1.5 Ω	14.2	3.4

이의 결과에 의하면 접지 최적화 작업 시행 후 TML에서 측정된 OOF의 발생 비율은 접지 시설 최적화 작업 전과 후를 비교하였을 때 약 77%의 성능 개선 효과가 나타났다. 따라서 접지시설 최적화 작업이 낙뢰에 의해 발생하는 에러를 감소시킴으로써 HJK 해저광 통신 시스템의 전송 품질을 향상시켰다.

V. 결론

최근 급격히 증가하는 통신 수요에 대처하기 위한 해저 광 통신 시스템의 개통이 늘고 있으며, 기 개통된 시스템의 성능 향상도 또한 빠르게 이루어지고 있다. 이러한 해저 광 통신 시스템은 T bps에 달하는 초고속도와 광대역성으로 인해 엄격한 품질 기준이 국제적으로 정해져 있다. 따라서 시스템 제조사에서는 국제적 품질 기준에 의해 각 시스템을 구성하고 시스템을 운용하는 사업자들 또한 국제적인 기준 이상의 엄격한 기준을 적용하여 운용하고 있다. 그러나 자연적으로 발생하는 태풍이나 낙뢰에 의해 발생하는 에러에 대해서는 만족할 만한 대처방안을 제시하지 못하고 자연재해로서 인식하여 왔다.

본 논문에서는 자연 발생적인 태풍 및 낙뢰에 의해 발생하는 해저 광 통신시스템의 피해 대응 방안에 대해 연구 하였다. 제주 동부 지역에서 태풍에 의해 발생하는 토사의 유출은 태풍 통과 집중기인 하절기에 최대가 되며 해저 지면에서 1.5m 이상의 깊이로 유출 되었다. 따라서 해저 케이블의 매설 심도는 최소 1.5m 이상이 되어야 하며, 토사 유출량이 최대치가 되는 하절기에 매설 공사를 시행함으로써 해저면 토사 유출에 대해 최대한의 효과를 기대할 수 있음을 확인 하였다. 또한 낙뢰와 에러와의 상관관계를 검증하고 이에 대한 대처 방안으로 제주 동부지역에 적합한 접지방식인 “심 매설 전극 법“을 제시 하였다. 제주 동부 지역의 지질구조를 고려하여 심층 대지 저항률을 이용한 심 매설 전극 법에 의해 접지를 구성함으로써 1.5Ω의 양호한 통신 접지를 구현하였다. 이러한 접지 최적화 작업 이후 낙뢰에 의한 에러의 발생률이 감소하여 약 77%의 성능 개선효과가 나타나 해저 광 통신 시스템에서의 전송 품질이 향상되었다.

참고 문헌

- ANSI/IEEE Std 81-1983, 1983, "IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System"
- 한국 정보통신 기술협회, 2001, "2001년도 정보통신표준화백서"
- http://www.jejuwater.go.kr/jejuwater/html/watergate/gate_sub03.jsp
- <http://www.jisungsys.com/Kor/technologies/tvssindex1.htm>
- ITU - T, 1999, "Series G Recommendation 821~826, 971~977"
- 岡村柚夫 저, 鄭慧善 역, 1991, "노이즈 방지와 대책", 정안당
- 김 한하, 오 성근, 이 영욱 공저, 1995, "광 통신 실무", 동서, pp. 41~59
- 기상청, 2000, "낙뢰 연보" pp.1~3, pp.7~16
- 高矯健彦 저, 김성모, 이형수 공역, 1995, "접지기술 입문", 동일출판사.
- KT, 1994, "통신망 시설의 통신용 접지시설 개선"
- KT, 2001, "국제 해저 광케이블 보호"
- KT, 2002, "해저시스템 운용 실무", pp. 42~51
- KT, 2002, "The Protection of Submarine Fiber Optic Cable"
- KT, 2003, "국제통신 운용 성과분석"
- KT, 2003.1, "연도별 낙뢰발생 기상관측자료 비교 (성산포 측후소와 TML Report 비교)"
- KT, 2003.1, "접지 측정 및 분석 자료"
- 이 문원, 1994, "제주도의 형성사와 지질구조", 제주도청
- 이 익효, 1992, "파랑에 의한 해저지반의 액상화에 관한 연구", 부산 수산대 대학원
- Maria Zeppetella, 2001.8, "Global SONET, SDH, and WDM Markets, 1999-2006", Probe Research

- 박 동훈, 1994. 5, "낙뢰서지에 대한 전자교환기 보호회로에 관한 연구", 대전 산업 대학교 산업대학원
- 박 수진, 1993, "한국중심 국제해저케이블 통신망 건설방안 연구", 연세대학교 산업대학원
- Shigeyuki Akiba and Shigendo Nishi, 2002, "Submarine Cable Network System", NTT, pp. 3~7, pp. 15~35
- 손 선영, 1994. 6, "낙뢰의 제반특성 및 보호 대책에 관한 연구", 한양대학교 환경과학대학원
- 염 승태, 2000. 6, "통신장비의 효율적인 접지방법 및 안전장치에 관한 연구", 한양대학교 산업대학원



감사의 글

본 논문이 결실을 맺기까지에는 주위의 많은 도움이 있었기에 지면으로나마 감사의 뜻을 표합니다. 학문의 참다운 뜻을 가르쳐 주시고 끊임없이 격려해 주신 이 용학 지도 교수님께 진심으로 감사드립니다. 심사 과정중에 보다 충실한 논문이 이루어지도록 세심한 검토와 지도를 아끼지 않으신 김 홍수 교수님과 양 두영 교수님을 비롯하여 대학원 생활 중에 많은 지도와 가르침을 주신 문 건 교수님, 임 재운 교수님, 좌 정우 교수님께 감사를 드립니다. 또한 보다 좋은 논문을 위해서 많은 말씀을 해 주신 정 동성 선배님께도 감사를 드립니다.

직장에서의 업무와 학위과정을 병행하기에 많은 어려움이 있었지만 물심양면으로 배려를 아끼지 않으신 설 용의 소장님, 김 희철 실장님을 비롯한 제주 해저중계소 동료 여러분께 진심으로 고마움을 표합니다. 특히, 저 때문에 많은 고충을 직접적으로 감수하면서도 싫은 기색 하나 없이 오히려 격려를 해준 강 민수, 오 성운님에게 특별한 감사를 표합니다.

오늘에 이루기까지 긴 세월 동안 자식의 앞날을 걱정하며 고생하신 어머니님과 사랑스런 아내를 낳아 곱게 길러주신 장인, 장모님께 감사의 마음을 전하며, 건강과 편안함을 기원합니다. 더불어 언제나 변치 않는 모습을 보여 주시는 큰 형님 내외분 및 , 작은 형님네, 그리고 동생네 가족 모두에게 고마움을 전하며 언제나 건강하시기를 기원합니다. 공부한다, 바쁘다...하는 핑계로 자주 어울려주지도 못했던 두 딸 리아, 지아에게 미안함을 전하고 건강하고 올바르게 자랄 수 있기를 기원합니다.

끝으로 논문이 결실을 맺을 수 있도록 큰 힘이 되어준 사랑하는 아내에게 고마움을 표하며, 이 기쁨을 같이 하고자 합니다.