
해저광케이블 수리를 위한 효율적인 탐지 및 측정 기법

이영선* · 정재진* · 신현식*

Efficient Test Techniques for Submarine Cable Repair

Young-sun Lee* · Jae-jin Jung* · Hyun-sik Shin*

요 약

해저광케이블은 국제통신의 98% 이상을 처리하고 있는 국가의 중요한 정보통신 인프라이다. 하지만 선박의 닻, 어선의 어구, 해저 지진 등 다양한 요인으로 인해 고장이 발생하며, 고장 발생시 대용량 해저통신 트래픽의 영향을 최소화하고, 케이블 수리 선박의 운영비용 절감을 위해서 수리 시간을 최대한 단축해야 한다. 해저광케이블 고장 유형은 Shunt Fault, Cable Cut, Open Fault, Fiber Break 등 여러 유형이 있으며, 고장이 발생하면 육상 터미널 국사(육양국)에서 정확하고 신속하게 고장 유형 및 고장 지점을 파악하고, 케이블 수리 선박은 수리 현장으로 출동하여 수리 작업을 수행하게 된다. 수리작업 기간 중 육양국에서는 케이블 수리 선박에서 요청하는 각종 Test를 수행하게 되며, 이때 육양국 Test 기법은 매우 중요하다. 본 논문에서는 해저광케이블 고장 유형 및 고장 지점 탐지 기법을 제시하고, 해저광케이블 수리시간 단축을 위한 육양국 Test 기법을 고찰하고자 한다.

ABSTRACT

Submarine cable is the most important IT infrastructure for international communication across oceans. However, a cable fault rarely happens by ship's anchor, fishing gears, submarine earthquake, and so on, and we need to improve on repair time for the reducing expenses of cable repair ship as well as the stability of high-capacity submarine optical network. There are several kinds of cable faults such as Shunt fault, Cable cut, Open fault and Fiber break. When a fault is occurred, cable landing stations(CLS) have to analysis failure quickly and accurately to find the type and the location of a cable fault. During the repair period, CLS should swiftly perform the tests requested by cable repair ship. In order to make rapid progress on cable repair, CLS test technique is very important. So, in order to reduce the repair time, this paper is studying the CLS test techniques of locating a submarine cable fault and of checking the splicing point performed by cable repair ship.

키워드

Shunt Fault, Cable Cut, Open Fault, Fiber Break, C-OTDR, LME, PFE

1. 서 론

국제통신의 핵심 인프라인 해저광케이블은 다음과 같은 여러 가지 요인으로 고장이 발생한다. 첫째, 수심

200m 이내에서는 선박의 닻 또는 어선의 어구 등에 의해 해저광케이블이 손상된다.

해저광케이블을 보통 1.5m~3m로 매설하지만 대형 닻에 의하여 손상되는 경우가 많으며, 특히 해저면의

* 전남대학교 전자통신공학과
심사완료일자 : 2008. 02. 27

접수일자 : 2008. 01. 14

지형 특성상 얇게 매설된 지점에서 주로 피해가 발생한다. 둘째, 해저 화산이나 지진 등 자연현상에 의한 해저 광케이블 피해가 발생한다. 이러한 자연현상은 수심이 1,500m 이상의 깊은 해저에서 많이 발생한다. 셋째, 해저면의 불균일한 지형이나 암반 지형에서 케이블 외피의 마모 또는 케이블 꼬임 등으로 인한 광코어 단선현상이 발생한다. 넷째, 제조상 결함으로 인한 해저중계기 장애 및 광코어 단선 등이 있다.

해저광케이블 고장 발생시 최대한 신속하게 수리를 시작하고, 가급적 수리 기간을 단축하여야 한다. 국제 해저광케이블 망은 대부분 환형(Ring) 망으로 구성되어 있기 때문에 한쪽 케이블 고장 발생시 다른 쪽 케이블로 자동으로 우회되는 보호절체가 이루어지지만, 수리 지연으로 인한 Double faults 발생시 대용량 트래픽의 손실을 유발하므로, 해저광케이블 고장은 신속하게 수리해야 한다. 이를 위해서 육상 터미널 국사(육양국)에서는 가장 먼저 고장 유형 및 고장 지점을 정확하게 조사하여 망운영센터(NOC, Network Operation Center), 케이블 수리 선박 등 유관 부서에 제공하여 수리작업이 원활하게 진행될 수 있도록 해야 한다[1][2].

만약 육양국사에서 고장지점을 부정확하게 산출할 경우, 실제 고장지점에서 멀리 떨어진 곳부터 케이블을 회수하여 수리를 시작하게 되며, 이로 인해 많은 양의 케이블을 낭비할 수 있으며, 수리기간도 길어질 수 있다.

그 다음으로는 케이블 수리 선박이 수리 현장에 도착하여 수리작업을 진행하는 동안 육양국에서는 각종 Test를 수행하게 되는데, 효율적이고 신속하게 Test를 수행해야 수리기간을 단축할 수 있다.

본 논문에서는 해저광케이블의 고장 유형, 고장 지점 탐지 기법을 알아보고, 해저광케이블 수리 작업 기간 중 육양국에서 수행하는 Test 기법을 제시하여 해저광케이블 수리작업을 신속하고 효율적으로 수행하는데 목적을 두었다.

II. 해저광케이블 고장 유형

해저광케이블 고장은 해저광케이블의 외피 손상 상태, 광섬유의 손상 상태 등에 따라 다음과 같은 고장 유형으로 구분할 수 있다.

2.1 Shunt Fault

Shunt fault는 해저케이블 절연층이나 해저중계기 합체 일부가 손상되었을 때 발생되며, 손상지점에서 전원공급선(동 튜브)이 해수에 노출/접지되어 전원공급회로가 해수를 통해 구성된다.

한쪽 육양국에서만 전원을 공급하는 경우(Single Power Feeding) 이러한 고장이 발생한다면, 손상 지점 뒤쪽 해저중계기에는 전원 공급이 불가능하여 서비스에 영향을 주지만, 양쪽 육양국에서 전원을 공급하는 경우(Double Power Feeding) 한 해저중계기 구간에 Shunt fault가 발생하여도 모든 해저중계기는 양측의 육양국에서 정상적으로 전원을 공급받게 되므로 서비스는 영향을 받지 않는다. 그러나 다른 해저중계기 구간에 또 다른 Shunt fault가 발생할 경우 두 고장지점 사이의 해저중계기에는 전원이 공급되지 않으므로 서비스는 영향을 받게 된다.

2.2 Cable Cut

해저광케이블을 구성하는 광섬유, 전원 공급선, 그리고 절연층이 절단된 것이며 Short fault라고도 한다. 절단된 전원 공급선은 해수에 노출되고, 중계기는 양쪽 육양국으로부터 전원을 공급받게 된다. 그러나 광섬유 절단으로 서비스는 영향을 받게 된다[3][4].

고장위치는 일반적으로 육양국에서 V-I 측정이나 회선감시시스템(LMS, Line Monitoring System)을 이용하여 어느 중계기 구간에 고장이 났는지 확인할 수 있으며, C-OTDR(Coherent-Optical Time Domain Reflectometer) 측정 장비를 이용하여 육양국으로부터 고장 지점까지 거리를 알 수 있다. C-OTDR은 정확한 고장 지점 탐색을 위해 많이 사용된다. 육양국과 첫번째 중계기 사이에서 Cable cut이 발생한 경우에는 재생중폭 중계시스템이나 광증폭 중계시스템에 상관없이 Conventional OTDR을 이용하여 고장지점을 탐색한다.

2.3 Open Fault

Open fault는 케이블 내부의 전원 공급선이 절단된 상태에서 해수에 노출되지 않았을 경우를 의미하며, 이 경우에는 해저중계기에 전원을 공급할 수 없다. 이러한

고장은 드물며, 선박의 닻이 해저케이블을 매우 강한 장력으로 끌었을 때, 절연층이 케이블 전원 공급선의 절단된 끝부분을 덮어버렸을 때 또는 해저 지진으로 케이블이 해저면 깊숙이 파묻혀서 해수에 노출되지 않았을 때 발생한다. 고장위치를 찾아내기 위해서는 해저 중계기에 전원이 공급되지 않기 때문에 정전 용량을 측정하는 방법 이외에는 없다.

Open fault의 경우, 전원 공급선과 바닷물은 폴리에틸렌 층에 의하여 분리, 전기적으로 개방되며, 육양국에서 고장지점까지의 정전용량은 그 부분의 케이블 길이에 비례한다. 다시 말해, 측정된 정전용량은 각 해저케이블 구간의 전하 용량들의 합이 된다. 일반적으로 각 해저케이블 구간의 정전용량은 제조 공장에서 출하하기 전에 측정하여 유지보수 부서에 제공된다. Open fault가 육양국과 첫번째 중계기 사이에서 발생되었을 경우, OTDR을 이용하여 고장 지점을 찾는다.

2.4 Fiber Break

해저케이블 Fiber Break는 절연층이나 전원 공급선의 손상 없이 일부 광섬유가 끊어졌을 경우이다[5][6].

해저케이블 시스템에 전원이 정상적으로 공급되며, 회선감시시스템(LMS)에 의해 어느 중계기 구간에서 발생되었는지 탐색이 가능하며 광증폭 중계시스템에서는 C-OTDR을 이용하여 고장 위치를 찾아낸다. 만약 육양국과 첫번째 중계기 사이에 Fiber break 고장이 발생되었을 경우에는 OTDR을 이용하여 고장지점을 찾는다.

표 1. 해저케이블 고장 유형별 트래픽 영향
Table 1. Traffic effect by cable fault type

고장 유형	광섬유 손상 여부	동 튜브 손상 여부	트래픽 영향
Single Shunt	없음	있음	없음
Double Shunt	없음	있음	있음
Cable Cut	있음	있음	있음
Open Fault	있음	있음	있음
Fiber Break	일부 있음	없음	있음

III. 고장 탐지 및 측정 기법

3.1 회선감시시스템(LMS) 측정 기법

LMS는 광중계기 내부에 있는 광증폭 여기용 LD 상태 및 해저중계기 구간 손실의 증가 값을 확인하여 케이블의 고장 위치 구간을 알아낸다.

육양국에서는 특정주소를 가지는 해저 광중계기의 상태를 알기 위해 측정 명령어를 PWM(Pulse Width Modulation) 형태의 요청신호를 저속도 부반송파 ASK(Amplitude Shift Keying)신호로 변조하여 WDM 신호와 함께 라만증폭기를 거쳐 해저 광중계기로 보내면 요청을 받은 광중계기는 상태값을 응답신호로 육양국 터미널로 보낸다. 여기서 라만증폭기는 WDM 신호보다 더 긴 파장에만 높은 이득을 주므로 WDM 신호에는 영향을 주지 않아 In-Service 상태에서 감시신호(SV, Supervisory)를 사용할 수 있다.

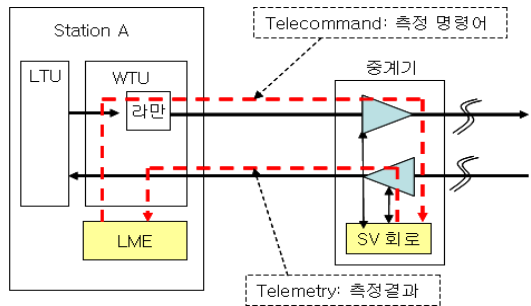


그림 1. 해저 광증폭 중계기 감시방법
Fig. 1 Monitoring method of repeaters

해저광케이블 수리 작업시 육양국은 LMS를 이용하여 케이블 수리 선박이 수행한 접속점의 이상 유무를 확인한다. 이때 수리 시간을 단축하기 위해서는 육양국에서 고장 발생 이전에 측정된 LMS 데이터를 미리 준비하여 수리 작업 기간 중 측정된 LMS 데이터와 비교하면 신속하게 접속점의 이상 유무를 판단할 수 있다. 표 2는 육양국에서 쉽게 준비할 수 있는 비교표의 예이다[7].

표 2. 해저중계기 구간 Span loss 비교표(예)
Table 2. The comparison of the span loss before cable fault and after cable repair

System Tx, Rx	Color	span loss before cable fault	span loss after cable repair	Increased loss
		A [dB]	B [dB]	B-A [dB]
SDR-HKG1 Shinduri Tx	Gray	11.82	12.03	0.21
SDR-HKG1 Shinduri Rx	Brown	12.55	12.72	0.17
SDR-HKG2 Shinduri Tx	Violet	10.74	11.04	0.3
SDR-HKG2 Shinduri Rx	Green	11.61	11.99	0.38

또한 해저케이블 수리 기간을 단축하기 위하여 수리 중인 Segment의 모든 중계기를 측정하지 않고, 고장 수리 위치를 중심으로 양쪽 중계기만 측정하는 것이 효율적이다.

3.2 OTDR 측정 기법

OTDR은 광섬유에 광 펄스를 입사시켜 섬유 길이 방향의 각 점에서 반사되어 되돌아오는 광량의 거리 분포를 해석하여 광섬유의 거리와 접속 손실 및 접속점으로부터의 반사량, 섬유가 파손된 경우 파손 지점까지의 거리 등을 측정하는 장비로써 광선로의 건설 보수용 측정기로 널리 사용된다.

3.3 C-OTDR(Coherent OTDR) 측정 기법

기존 OTDR은 육양국 터미널에서 첫번째 중계

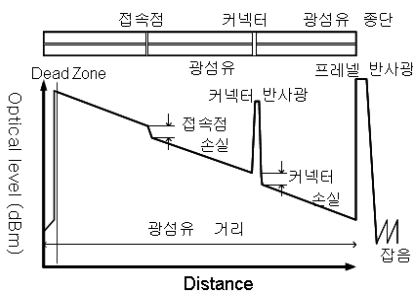


그림 2. OTDR을 이용한 손실 및 거리 측정
Fig. 2 OTDR measurement

기까지만 측정이 가능하지만, C-OTDR은 OTDR의 한계를 극복하기 위해 광중계기 내에 있는 OTDR 경로를 이용하여 중계기 후단까지 광섬유의 상태를 측정할 수 있는 장비이다.

해저케이블에 Shunt Fault가 발생하면 전원이 공급되는 중계기 이웃 구간까지 측정한다.

C-OTDR은 일정한 펄스폭의 신호를 보냈을 때 광코어의 단선지점에서 후방으로 산란되는 빛으로 거리와 손실을 측정한다. 광섬유의 반사광 검출방식은 직접 검출과 Coherent 검출방식으로 분류된다. 직접 검출방식의 OTDR은 일반적으로 육상의 광케이블 시스템에 널리 사용되고 있으며, Coherent 검출방식은 자연증폭방출(ASE, Amplified Spontaneous Emission)이 존재하는 상태에서 약한 후방산란 신호를 높은 감도로 검출할 수 있어 해저광케이블 중계시스템에 사용된다. C-OTDR은 파장을 조절할 수 있는 광원과 C-대역과 L-대역의 광과장 범위를 가진 광대역 수신기로 구성되어 있다.

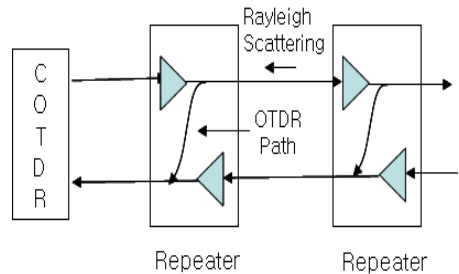


그림 3. C-OTDR 측정 원리
Fig. 3 the principle of C-OTDR

C-OTDR 측정시 유의하여야 할 사항은 육양국부터 측정구간 마지막 중계기까지는 송신 코어 및 수신 코어를 모두 측정할 수 있지만, 측정구간 마지막 중계기 이후는 송신 코어만을 측정하게 되므로 수신 코어의 상태를 확인할 수 없다는 점이다. 따라서 정확한 고장 지점을 파악하기 위해서는 상대 육양국에서도 C-OTDR 측정이 필요하다.

또한 C-OTDR 측정시 Pulse Width(PW), 굴절률, 중심 파장 등의 설정값에 따라서 측정파형의 모양이 달라지므로 적당한 값을 설정하여야 한다.

예를 들어, 고장 위치를 산출할 경우에 PW 설정값에 따라서 거리 측정 기준점이 달라진다. 일반적으로 해저

광케이블 유지보수의 경우에는 30μs로 설정하여 측정을 하지만, 경우에 따라서 3μs 또는 100μs로 설정하기도 한다.



그림 4. PW 3μs 설정, C-OTDR 측정결과
Fig. 4 C-OTDR result @ PW=3μs

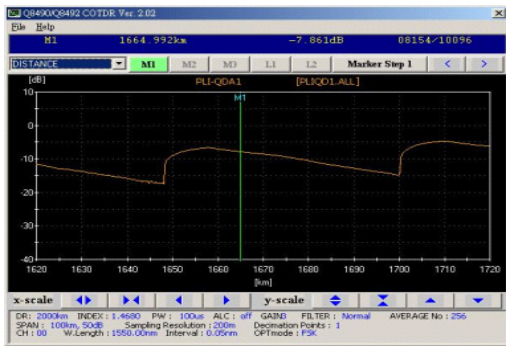


그림 5. PW 100μs 설정, C-OTDR 측정결과
Fig. 5 C-OTDR result @ PW=100μs

표 3. OTDR과 C-OTDR의 비교
Table 3. The comparison of OTDR and C-OTDR

	OTDR	C-OTDR
측정 거리	수백 Km	수천 Km
측정 원리	후방산란광 검출, 증계기 후단 측정불가	후방산란광 검출, 증계기 OTDR 경로 이용
측정 광섬유 수	한개 광섬유 사용	두개 광섬유 사용 (송신, 수신)
장비 가격	저가	고가

3.4 정전용량(Capacitance) 측정 기법

해저케이블 동튜브의 정전용량을 측정하여 고장지점

까지의 거리를 구하는 방법으로서 원리는 다음과 같다. 첫 번째로 해저케이블의 커패시턴스 C1에 V1전압으로 충전한 후 C1은 적분기 OA의 입력으로 절체한다. OA의 커패시턴스 C2는 충전전압 C1에 의해 충전된다. OA가 이상적일 경우 V1과 V2는 다음과 같이 표현된다.

$$Q=C1*V1=C2*V2 \text{ (V1, C2, V2값은 알고 있음)}$$

$$C1 = (V2*C2)/V1 \text{ 으로 표현되며,}$$

케이블의 길이는 $L(Km) = C1/Co$ 이며, Co는 해저케이블의 단위길이(Km)당 정전용량이다. 해저케이블의 저항과 리액티스는 영향을 주지 않으나 해저증계기의 릴레이를 고려한 보상이 필요하다. 단락상태 및 절연이 좋지 않을 경우 수행될 수 없다. 그러므로 테스트 전 절연저항을 측정하여 절연상태가 100MΩ 이상인지 확인한다.

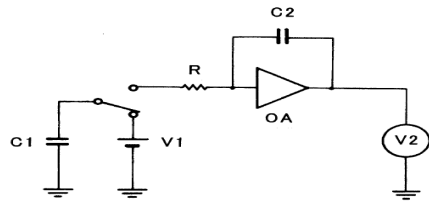


그림 6. Capacitance Meter 기본회로
Fig. 6 Basic circuit of capacitance meter

3.5 전원공급장비(PFE) 전압/전류값 이용

동튜브가 해수면에 노출, 접지 되었을 때 육양국 PFE(Power Feeding Equipment)의 공급 전압값을 읽어 계산하게 되며, 수식은 다음과 같다.

$$L(Km)=(\text{Measured PFE Voltage}-Vc)/(\text{Resistance*Current})$$

L : 인접한 광증계기에서 고장지점까지 거리

Vc : 국사에서 고장지점에서 인접한 광증계기까지의 모든 광증계기의 전압강하값

Resistance : 케이블의 단위저항값(Ω/Km)

Current : 정상전류 공급값(0.8A, 1.1A 등)

해저케이블의 전원 공급선(동튜브) 저항값은 보통 해저면 온도 30C에서 약 0.7Ω/km이며, 일반적으로 케이블 및 증계기 제조사에서 제공한다. 해수면 온도변화

에 따른 단위저항 변화상수를 적용하면 더 정확한 고장 지점을 탐지할 수 있다.

고장지점은 일반적으로 육양국 PFE의 전압과 전류 (V-I) 값을 측정하여 찾아낸다. 만약 고장 발생 지점이 국사에서 가까운 곳이라면 정확한 지점을 찾기 위해 전기적 펄스 에코를 측정한다. 왜냐하면 Shunt 발생시 해저케이블의 광섬유 특성은 정상으로 측정되기 때문이다.

해저중계기로 인한 전압 강하는 중계기 회로 설계에 따라 다르지만 수십 볼트에 이른다. 일반적으로 해저케이블과 해저중계기로 인한 전압 강하는 제조 공장에서 측정되며 측정된 값은 유지보수에 활용된다. 정확한 고장 위치를 얻기 위해 온도 계수를 사용하여 해저면의 온도에 공장에서 만들어진 자료로 변환하는 것은 매우 중요하다. 한쪽 육양국에서만 V-I 측정으로 고장지점을 찾는 것은 접지 저항 때문에 정확하지 못하다. 만약 고장지점의 접지 저항이 10Ω이라면 10km 이상 오차가 발생된다. 따라서 Shunt 발생 지점에서 전위차가 0V를 유지하도록 양측 육양국에서 전원 공급 전압을 조절한 후에 산출해야 정확한 고장 지점을 산출할 수 있다.

3.6 일렉트로딩(Electroding)

수리선박이 케이블 고장 지점을 찾기 위해 육양국 PFE에서 Electroding 신호를 보내면 고장지점까지 케이블 주위로 전자기장이 방사형으로 퍼져간다. 수리선박의 무인잠수정(ROV, Remotely Operated Vehicle)에 장착된 감지기로 신호가 급격히 떨어지는 고장지점을 찾을 수 있다. PFE는 In-service 전류공급 상태에서 저주파 Electroding 신호(25Hz 등)를 부과하여 보내며, Electroding 신호의 최대전류가 80mA일때 300Km떨어진 곳에서 10mA를 측정할 수 있다. 그리고 Out-of-service 상태에서는 최대 200mA까지 보낼 수 있으며, 육양국에서 500~700Km 떨어진 곳에서도 감지가 가능하다.

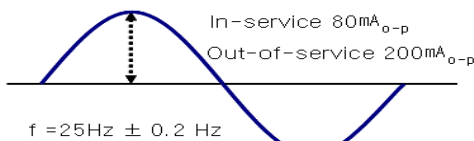


그림 7. 일렉트로딩 신호
Fig. 7 Electroding signal

3.7 고장 유형별 고장 탐지 기법

해저광케이블 고장이 발생하였을 경우, 제일 먼저 고장 유형을 파악해야 하며, 고장 유형에 따라서 적절한 고장 탐지 기법을 사용하여야 한다. 고장 유형별 고장 탐지 기법은 표 3과 같다.

표 4. 고장 유형별 고장 탐지 기법
Table 4. Monitoring techniques

고장 유형		탐지 기법	측정 장비
Shunt Fault		DC V-I 특성 LMS	PFE LME
Cable Cut		C-OTDR LMS DC V-I 특성	C-OTDR LME PFE
Open fault	1st 중계기 이내	OTDR	OTDR
	1st 중계기 이후	정전용량	Capacitance Meter
Fiber Break	1st 중계기 이내	OTDR	OTDR
	1st 중계기 이후	C-OTDR LMS	C-OTDR LME

IV. 결 론

한국에 육양된 국제 해저광케이블은 최고 7.68 Tbps까지 전송할 수 있는 대용량 시스템이기 때문에 고장 발생시 신속하고 효율적으로 수리작업이 수행되어야 한다. 육양국에서는 고장 발생 즉시 상대 육양국과 긴밀한 협조 하에 고장 유형 및 고장 지점을 탐지한 후에 제반 정보를 NOC 및 케이블 수리 선박 등 유지보수 관련부서에 제공하여 예비품 선적 등 수리작업이 원활하게 진행되도록 해야 한다. 또한 수리기간 중 케이블 수리 선박이 수행한 접속점 등을 신속하게 Test 해야 한다.

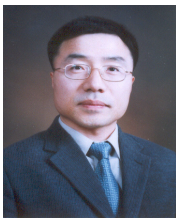
수리기간은 고장 유형, 수리선박 출동시간, 수리현장의 해상 날씨, 해저 수심 등에 따라서 다르지만, 본 논문에서는 육양국에서 해저광케이블 고장 탐지, 수리 점

속점 확인 등 Test를 할 경우에 상황별로 적절한 육양국 Test 기법을 연구하여, 해저케이블 수리기간을 단축시킬 수 있는 육양국 Test 기법을 제시하였다.

참고 문헌

- [1] <http://www.iscpc.org/>
- [2] Shigeyuki Akiba and Shigendo Nishi, "Submarine Cable Network Systems", May 2001.
- [3] 한국통신 시설사업단, "해저광케이블 통신기술", June 1993.
- [4] Henry Zanger and Cynthia Zanger, "Fiber Optics Communication and Other Applications", Macmillan Publishing Company, 1991.
- [5] 일본 KDDI 해저광통신 교육자료
- [6] 일본 NEC 해저광통신 교육자료
- [7] 일본 Mitsubishi 해저광통신 교육 자료

저자 소개



이영선(Young-sun Lee)

1987년 숭실대학교 전자공학과 졸업 (공학사)

2007년 전남대학교 전자통신공학과 석사과정 중

※관심분야 : 해저광통신 시스템



정재진(Jae-jin Jung)

2002년 정보통신공학사

2007년 전남대학교 전자통신공학과 석사과정 중

※관심분야 : 해저광통신 시스템,

DWDM 시스템, u-City



신현식(Hyun-sik Shin)

1969년 2월 광운대학교 무선 통신공학과 졸업(공학사)

1980년 8월 건국대학교 행정대학원 (통신행정전공)졸업(행정학석사)

1995년 8월 경남대학교 대학원 (통신정책전공) 졸업 (행정학박사)

1978년 8월~현재 여수대학교 전자통신 공학과 교수

1997년 7월 한국해양정보통신학회 부회장

2000년 3월 교육인적자원부 위촉 여수대학교 국정도서 편찬위원장

2001년 1월 한국해양정보통신학회 회장 현 명예회장

2002년 10월 한국대학교육협의회 대학종합 평가위원

2003년 3월 한국과학기술총연합회 대의원

2003년 5월 제 13회 과학기술 우수 논문 수상

※관심분야 : 통신정책, 정보통신, 데이터통신