
해저광케이블 고장지점 탐지기법

박흥태 · 유재덕 · 윤석민 · 조기량 · 신현식

Efficient Fault Location Detecting Mechanism for Optical Submarine Cable

Hong-tae Park, Jae-duck Yoo, Suk-Min Yoon, Gi-Rayng Jo, Hyun-Sik Shin
Chonnam National University
Department of Electronic Communication Engineering
E-mail : DWDM@korea.com

<요 약>

해저광케이블은 육상광케이블에 비해 장거리이며 광중계기 시스템으로 인해 흔히 사용하는 고장지점에서 후방으로 산란 빛으로 거리를 탐지하는 일반적인 OTDR(Optical Time Domain Reflectometer)의 사용은 매우 제한적이다. 그래서 해저광케이블 시스템에서 광코어의 단선인 경우는 광중계기의 OTDR Path를 이용한 Coherent OTDR를 사용 고장위치 탐지하고, 광신호의 증폭을 위해 광중계기에 필요한 전력을 공급하는 해저 광케이블 내의 동튜브(Copper Tube) 손상시에는 전류/전압특성, 단위정전용량등을 이용한 방법들이 사용된다. 이런 정보를 이용하여 해저광케이블의 고장 형태에 따른 적절한 탐지 기법을 제시하고자 한다.

ABSTRACT

The optical submarine cable has a long distance cable and the repeater for optical amplification compared to territorial optical cable so conventional OTDR utilization for the optical submarine cable is limited. in case the optical core in the optical submarine cable system cut, by using Coherent OTDR that utilize OTDR path in repeater the cable fault point can be detected and in case the faulty of the copper tube in the cable that provide power for the repeater to amplify optical signal, the ways using the current/voltage characteristic, the capacitance per Km and so on is required. this report suggest efficient fault location detecting mechanism by categorized cable fault type.

키워드

해저광중계기, 동튜브(Copper Tube), Shunt Fault, 전원공급장치

1. 서론

현재 국가간을 연결하는 해저광케이블의 대부분은 DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing)기술을 이용하여 대용량의 트래픽을 전송한다. 해저광케이블의 고장시 4/2 Fiber MS-SPRing(Multiplexer Section Shared Protection Ring) 또는 BLSR(Bidire-

ctional Line-Switched Ring)의 링 구조를 이용하여 보호절체가 되나 수리지연으로 인한 링 고립시 큰 손실을 유발하므로 정확한 고장지점 및 고장형태 정보를 케이블 수리선박에 제공하여 신속한 유지 보수의 중대성이 증대 되고 있다. 만일 고장지점에 대한 부정확한 정보로 인해 고장지점에서 먼 곳에서 케이블을 회수하여 수리 시작할 경우 많은 양의 케이블과 접속

* 전남대학교 전자통신공학과
접수일자 : 2006년 10월 13일

장비가 추가로 발생하며 아울러 수리기간도 길어져 링 고립의 부담이 있다. 해저광케이블시스템은 육상광케이블 시스템과 달리 장거리 전송이어서 광증폭기가 요구되며 광증폭기내의 EDFA(Erbium Doped Fiber Amplifier)광증폭을 위해 980nm여기과장용 LD(Laser Diode)에 필요한 전력공급을 위해 광섬유 외곽에 전력 공급용 동튜브(Copper Tube)가 존재한다. 따라서 케이블 고장시 광코어 단선뿐만 아니라 외피 손상으로 인한 동튜브의 해수면 노출(Shunt Fault)에 따른 접지현상도 고려하여야 한다. 양측 터미널에서 전원을 Double Feeding시 2군데 이상의 동튜브 노출 고장이 발생하면 광증폭기에 전원이 공급되지 않아 정상작동이 되지 않는다. 고장의 원인으로 크게 4가지로 분류할 수 있는데, 첫째 어선의 어구 및 닻에 피해를 받는 수심 200m 내에는 3m이하로 케이블을 매설하는데 해저지면의 여건상 알맞게 매설된 지역에서 피해가 발생하며, 둘째 해저면의 불 균일 및 바위지형에서 케이블 외피의 마모 또는 케이블 꼬임 및 Loop로 인한 광코어 단선현상, 셋째 해저면의 화산이나 지진 등 자연현상에 의한 피해, 넷째 제조상 문제로 인한 중계기회로 장애 및 광코어 단선이 있다. 본 논문에서는 광케이블 고장위치 탐지방법과 케이블 고장 유형에 따른 탐지기법을 제시하여 해저광케이블 유지보수를 효율적으로 수행하는데 목적을 두었다.

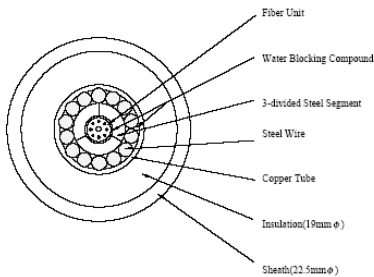


그림 1. 해저광케이블(Light Weight Cable) 구조
Fig 1. Light weight cable structure

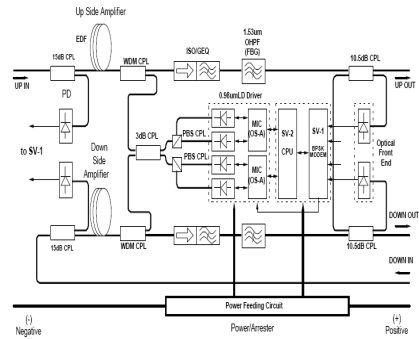


그림 2. 해저광증폭기 구조
Fig 2. Submarine optical repeater structure

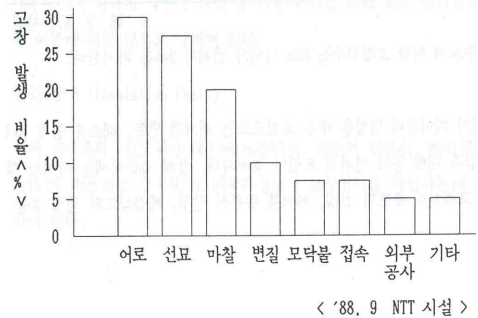


그림 3. 고장 원인별 고장발생 비율
Fig 3. Woninbyeol failure rate of failure occurs

II. 해저광케이블 고장 탐지법

해저광케이블 고장시 사용할 수 있는 고장 탐지 방법은 다음과 같다.

2.1 LMS (Line Monitor System)

LMS는 광증폭기의 LD 및 구간 Loss의 증가 상태를 확인하여 고장케이블의 중계기 구간을 탐지한다. 터미널에서는 특정주소를 가지는 해저광증폭기에 PWM (Pulse Width Modulation)형태의 요청신호를 저속도 부분반송과 ASK(Amplitude Shift Keying)신호로 변조하여 WDM신호와 함께 라만증폭기를 거쳐 해저광증폭기로 보내면 요청을 받은 광증폭기는 상태값을 응답신호로 터미널로 보내게 된다. 여기서 라만증폭기는 WDM신

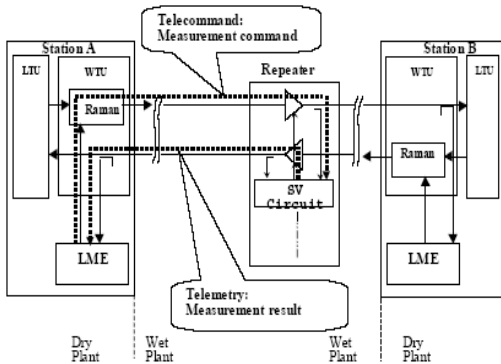


그림 4. LMS구성도
Fig 4. LMS Configuration

호보다 더 긴 파장에만 높은 이득을 주므로 WDM신호에는 영향을 주지 않아 In-Service상태에서 SV(Supervisor)신호를 사용할 수 있다. 응답신호는 해저케이블 시스템이 Out Of Service시 증계기에 의해 생산된 ASE(Amplified Spontaneous Emission) 노이즈에 부과된다. 응답신호의 복조과정은 파장복조기에서 수행되며 주신호의 부분 혹은 ASE노이즈는 광검출기에 의해 전기적신호로 변환된다. 주파수 카운터기는 신호의 주파수를 측정하고 주파수 값은 MARINE터미널로 보내진다. 터미널은 주파수 값으로부터 증계기상태를 계산한다.

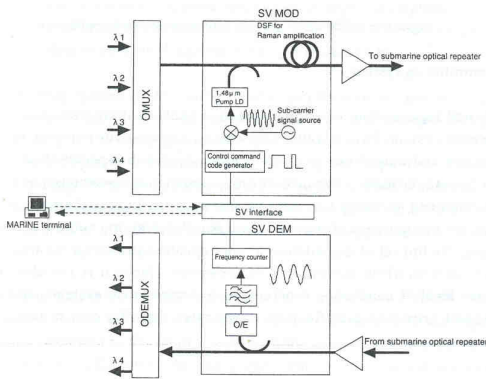


그림 5. 라만증폭을 사용한 SV신호전송 구조
Fig 5. SV signal transmission structure using amplified Raman

2.2 Coherent OTDR

C-OTDR은 일정한 펄스폭의 신호를 보냈을 때 광코어의 단선지점에서 후방으로 산란되는 빛으로 거리와 손실을 측정한다. Conventional OTDR의 한계를 극복하기 위해 광증계기내에는 OTDR Path를 이용하여 증계기 넘어서까지 광코어의 상태를 측정할 수 있다. 케이블에 Shunt Fault가 발생하면 전력이 공급되는 광증계기 다음지점까지만 측정할 수 있다. 그래서 동류브손상위치는 알 수 없다.

반사광의 기술은 직접 검출방식과 Coherent 검출방식으로 분류된다. 직접 검출방식의 OTDR은 일반적으로 육상의 광케이블시스템에 널리 사용되고 있으며 Coherent 검출방식은 ASE(Amplified Spontaneous Emission)가 존재하는 약한 후방산란 신호 상태에서 높고 훌륭한 검출 감도를 얻을 수 있어 다중계기 해저케이블 시스템에 사용된다. Conventional OTDR을 광증폭 시스템에 적용할 때 간헐적인 Probe Light 때문에 각 증폭기의 부하는 시간에 따라 일정치 않다. 이 문제를 해결하기 위해 연속적인 파형 운영기술을 가진 C-OTDR이 고안 되었다. Probe신호는 연속적인 전력을 가진 FSK(Frequency Shifted Keying) Light이며, 이는 광증폭기에서 전력의 파동을 피하고 Probe파형을 유지하는데 효율적이다.

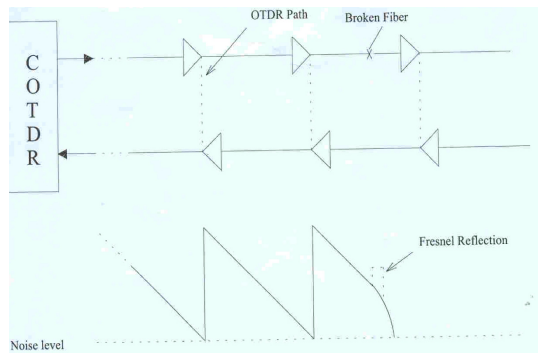


그림 6. C-OTDR 고장지점 파형
Fig 6. C-OTDR waveform failure point

C-OTDR은 파장을 조정할 수 있는 광원과 C-대역과 L-대역을 포함하는 광파장 범위를 가진 광대역 수신기로 구성되어 있다. Probe Light의 파장 정확도, 해상도, 안정성은 0.05nm이상이다. 증계기 구성요소들의 극성 차이를 줄이고 검출 감도를 증진하기위해 신호를 평균화하는 동안 Probe Light의 극성상태는 극성 스크램블기에 의해

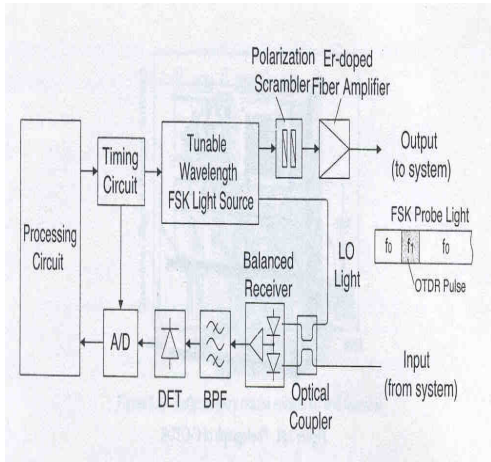


그림 7. C-OTDR 구조
Fig 7. C-OTDR structure

스크램블 된다. 되돌아오는 레일리 후방 산란광은 광결합기 및 분할기회로에서 LO(Local Oscillator Light)와 결합된다. 결합된 Light는 InGaAs pin-PD 수신부를 사용하는 자기 헤테로다인에 검출된다. 헤테로다인 검출에 의해 얻어진 비트 신호는 약 5MHz의 대역을 가진 대역 필터를 통과하여 검출기(DAT)로 보내진다. 복조된 신호는 SNR을 증진하기위해 평균화 된다. 어떠한 광필터도 C-OTDR수신부에는 사용되지 않는다.

2.3 케이블의 Capacitance용량

고장지점까지의 동튜브의 커패시턴스 용량을 측정하여 거리를 구하는 방법으로서 원리는 다음과 같다. 첫 번째로 케이블의 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.

$$Q=C1*V1=C2*V2$$

V1,C2,V2값은 알고 있으므로

$$C1=(V2*C2)/V1$$

으로 표현되며 케이블의 길이는

$$L(Km)=C1/Co$$

이며 Co는 케이블의 단위길이(Km)당 커패시턴스이다. 케이블의 저항과 리액턴스는 영향을 주지 않으나 광증계기의 릴레이를 고려한 보상이 필요하다. 단락상

태 및 절연이 좋지 않을 경우 수행될 수 없다. 그러므로 테스트 전 절연저항을 측정하여 절연상태가 100Mohms 이상인지 확인 한다.

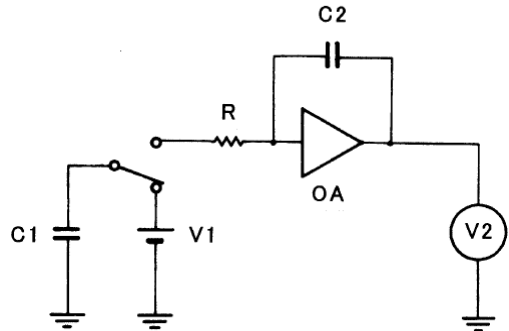


그림 8. 기본 회로
Fig 8. Basic Circuit

2.4 DC 전압/전류 특성

동튜브가 해수면에 노출 접지 되었을 때 광증계기 전원공급장치(Power Feeding Equipment)의 공급전압 값을 읽어 계산하게 된다. 수식은 다음과 같다.

$$L(Km)=(Measured\ PFE\ Voltage-Vc)/$$

$$(Resistance*Current)$$

L : 인접한 광증계기에서 고장지점까지 거리

Vc : 국사에서 고장지점에서 인접한 광증계기까지의 모든 광증계기의 전압강하값

Resistance : 케이블의 단위저항값(Ohm/Km)

Current : 정상전류공급값 1,100mA

케이블의 동튜브 저항값은 보통 해저면 온도 30C에서 약 0.7ohms/km이며, 일반적으로 케이블 및 광증계기 제조사에서 제공한다. 해수면 온도변화에 따른 단위 저항 변화상수를 적용하면 더 정확한 고장지점을 탐지할 수 있다.

2.5 Electroding

수리선박이 케이블고장 지점을 찾기 위해 터미널에 있는 전원공급장치에서 Electroding신호를 보내면 고장지점까지 케이블 주위로 전자기장이 방사형으로 퍼져간다. 수리선박의 ROV(Remotely Operated Vehicle)에 장착된 감지기로 신호가 급격히 떨어지는 고장지점을 찾을 수

있다. 전원공급장치는 In-service상태의 전류공급상태에서 저주파 Electroding신호(ex.25Hz)를 부과하여 보내게 된다. Electroding신호의 최대전류가 80mA일때 300Km 떨어진 곳에서 10mA를 측정할 수 있다 그래서 원거리의 탐지에는 불가능 하다.

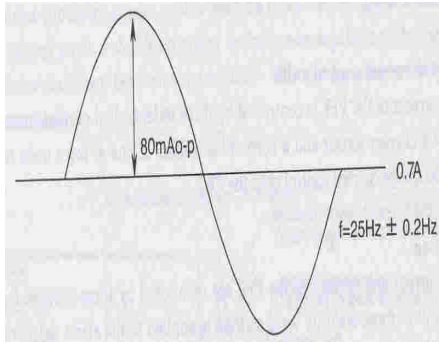


그림 9. 전극 신호
Fig 9. Electroding Signal

III. 해저광케이블 고장형태에 따른 고장지점 탐지 기법

3.1 Shunt Fault

shunt fault는 케이블의 절연층이나 중계기의 몰드부분의 손상으로 발생하는 고장으로 손상부분에서 공급전류가 바다로 누설된다. 단일 전원공급 시스템에서 shunt fault이후의 중계기에는 전원공급이 되지 않으므로 통신의 두절을 유발한다. 양방향 전원공급시스템에서는 상대터미널에서 손상지점까지의 모든 중계기에 전원공급을 하므로 정상상태가 유지된다. 그러나 이 경우에 케이블 시스템은 손상부분이 악화되어 광코어 단선으로 발전될 가능성이 있다. 이러한 진행은 양측의 터미널에서 전원공급을 조정하여 손상부분에 영전위가 되도록 하면 억제 될 수 있다. 두군데 이상 다른 케이블 섹션에서 shunt fault 발생시 불가능하다. 비록 한군데 발생으로 운영이 가능하나 빠른 수리가 요구된다.

shunt fault 경우의 고장위치 탐지방법은 오직 전압/전류 특성만 일반적으로 사용한다. C-OTDR에 의한 탐지 방법은 shunt fault시 광특성은 정상상태에 있으므로 불가능하다. 단일 터미널에서의 전압/전류 특성시험

은 shunt fault지점에서 접지저항으로 인해 부정확하다. 접지저항이 10ohms이면 고장지점 위치에서 10Km이상의 벗어나게 되며 접지저항은 fault지점마다 다르다. 양측의 터미널에서 전압을 고장지점에 영전위가 되도록 조정하여 전압/전류 특성시험을 하면 접지저항이 제거되어 더 정확한 고장지점을 알 수 있다.

3.2 Short Fault

케이블을 구성하는 광섬유, 동튜브, 절연층이 완전히 끊어져 버린 경우를 말한다. 케이블 양측의 동튜브는 해수에 노출되었으며 각 터미널에서는 모든 중계기에 전원을 공급할 수 있다. 이 경우에는 고장지점 탐지를 위해 전압/전류 특성시험 및 중계기 SV신호를 이용하는 LMS를 사용한다. 추가적으로 C-OTDR은 정확한 위치 탐지에 효과적이다. LMS는 중계기와 다음중계기의 케이블 섹션만 알 수 있다. 첫 번째 중계기이전에 고장이 발생한 경우는 중계기가 없으므로 Conventional OTDR을 사용한다.

3.3 Open Fault

케이블에서의 동튜브가 해수에 노출되지 않고 터미널의 전원공급장치와 개방이 되었을 때를 말한다. 이런 종류의 장애는 매우 드물게 일어난다. 닻이 강한 인장력으로 케이블을 끌 때 폴리에틸렌 절연층에 덮여진 상태에서 동튜브는 끊어져 발생한다. 이 경우에 케이블에 전원이 공급되지 않아 전원/전류 특성시험, LMS, C-OTDR같은 전기적 혹은 광을 이용한 시험 방법은 사용할 수 없어 유일하게 케이블의 커패시턴스 측정방법이 사용된다. open fault 발생시 내부 광코어는 당연히 끊어지며, 만약 이 고장지점이 첫 번째 중계기 이전이면 Conventional OTDR을 사용할 수 있다.

3.4 Fiber Break Fault

이 용어는 동튜브와 절연층의 손상 없이 단지 광코어만 끊어진 경우를 말한다. 케이블 시스템에 정상적인 전압공급이 가능하므로 LMS를 이용한 고장지점의 케이블 섹션 확인 및 C-OTDR을 이용한 터미널에서 광코어 단선지점까지의 거리 측정이 가능하다. 첫 번째

중계기이내일 경우 역시 Conventional OTDR을 사용할 수 있다.

표 1. 고장탐지 기법 요약
Table 1. Fault detection techniques summary

Fault Condition		Measurement	Applicable Test Set
Open	Shore-end	OTDR	OTDR
	Offshore	Electric Capacitance	Capacitance Meter
Short		C-OTDR LMS DC characteristics	C-OTDR LMS PFE
Shunt		DC characteristics LMS	PFE LMS
Fiber Break	Shore-end	OTDR	OTDR
	Offshore	If the cable can be powered C-OTDR LMS	C-OTDR LMS

표 2. 고장유형에 따른 정확도
Table 2. The accuracy on the type of failure

Fault Condition	Accuracy	Test Equipment
Cable Shunt Fault	less than 10% of the measured value	PFE Voltage/Current Measurement
Fiber Break in the First Repeater Span	within 5 m for land and within 0.1 km for shore end	Conventional OTDR
Fiber Break beyond Repeater (power feeding is possible)	within 1 repeater section within 300 m	Coherent OTDR
Repeater Failure	within 1 repeater section	Coherent OTDR

IV. 결론

해저광케이블 시스템은 현재 최고 5.12Tbps까지 전송할 수 있기 때문에 보다 신속히 보다 경제적인 방법으로 수리작업이 수행되어야 한다. 그래서 상대국과의 긴밀한 협조 하에 고장발생 직후 고장형태 및 거리를 본 논문에서 제시한 방법을 이용하여 정확하고 신속한 정보를 수리선박에 제공하여 수리진 필요한 케이블타입, Joint Kit, 광중계기를 보유하도록 한다. 일반적으로 수리기간은 수리선박 모항으로부터 고장지점까지의 거리, 날씨, 바다의 깊이, 수리방법 등에 따라 약 1~3주일 정도 소요가 된다.

참고 문헌

[1] Shigeyuki Akiba, Shigendo Nishi "Submarine

Cable Network Systems" NTT Quality Printing Service co. May 2001

- [2] 한국통신통신시설사업단 "해저광케이블 통신기술" June 1993
 [3] 이병기, 강민호 "광대역 네트워크" 교학사 October 2003
 [4] Henry Zanger, Cynthia Zanger "Fiber Optics Communication and Other Applications" Macmillan Publishing Company 1991
 [5] KDDI-SCS 해저광통신 교육자료
 [6] NEC 해저광통신 교육자료
 [7] Rodney F.W. Coates "Underwater Acoustic Systems" Macmillan Education LTD. 1990

저자 소개



신현식(Hyun-sik Shin)

1969년 2월 광운대학교 무선통신공학과 졸업(공학사)
 1980년 8월 건국대학교 행정대학원(통신행정전공)졸업(행정학 석사)

1995년 8월 경남대학교 대학원(통신정책 전공) 졸업(행정학 박사)

1978년 4월 여수대학교 전자통신공학과 교수

2006년 3월 전남대학교 전자통신공학과 교수

1989년 12월 전자계산소장

1991년 12월 취업보도실장

1995년 8월 교무처장

1999년 2월 중앙도서관장

1997년 7월 한국해양정보통신학회 부회장

2000년 3월 인천국제공항 TRS 기술평가위원

2000년 3월 교육인적자원부장관 위촉 여수대학교 국정도서관위원장

2001년 1월 한국해양정보통신학회장, 현 명예회장

2002년 10월 한국대학교육협의회 대학종합 평가위원

2003년 3월 한국과학기술총연합회 대의원

2003년 5월 제13회 과학기술 우수 논문상 수상

2004년 7월 여수대학교 산업대학원장

2005년 7월 교육인적자원부 교육과정 심의위원

2005년 10월 여수대학교 교육대학원장

2006년 3월 전남대학교 산학협력대학원장



조기량(Ki-Ryang Cho)

광운대학교 전자통신공학과 공학사
건국대학교 대학원 전자공학과 공학석사
일본 오카야마대학 자연과학연구

과 공학박사

현 전남대학교 전자통신공학과 교수

* 관심분야 : 초고주파 공학 및 안테나공학



유재덕(Jae-Duck Yoo)

1999년 한밭대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
현재 전남대학교 대학원 전자 통신공학과 석사과정 재학중

* 자격 : 정보통신기술사

* 관심분야 : BcN, DWDM, OXC, Optical Fiber, NG-SDH, GMPLS, FTTH



박홍태(Hong-Tae Park)

1995년 대구대학교 정보통신공학과 졸업(공학사)
현재 전남대학교 대학원 전자통신공학과 석사과정 재학중

* 관심분야 : 해저광통신 시스템, WDM 시스템, SDH 네트워크



윤석민(Suk-Min Yoon)

1995년 조선이공대 전자과
2005년 방송통신대 법학과
현재 한국공항공사 항행안전시설팀 재직

* 관심분야 : 위성항행