육지-제주간 초고압직류연계선로 제어용 해저광통신케이블 도입사례

유승환, 유동희, 홍승택, 신현조, 주재성
한국전력공사

The cases of applying submarine optical fiber cable to control HVDC link between JEJU and main land

Sung-Hwan Yoo, Dong-Hee Yoo, Seung-Taek Hong, Hyun-Jo Shin, Jae-Seong Joo
KEPCO

Abstract - 제주도의 지속적인 전력수요 증가에 능동적으로 대처하고자 육지-제주간 초고압 직류연계(HVDC) 추가 건설사업이 추진 중에 있다. 초고압 직류 송전계통을 신뢰성 있게 운전하기 위해 양측 변환소에 설치될 제어 및 감시계통간 정보전송로의 확보는 매우 중요하다. 본 논문에서는 고품질, 대용량화 되어가는 전력데이터를 안정적으로 전송하고 해저케이블 고장감시 및 향후 정보통신 분야의 부가가치 창출을 위한 최적의 해저광통신케이블을 소개하고자 한다.

1. 서 론

21세기의 사회는 지식기반 경제사회로 발빠르게 변모하고 있다. 지식의 정보화, 멀티미디어화 추세에 따라 전형적인 음성이나 전신뿐만 아니라 수십 가지의 새로운 서비스가 창출되고 있으며, 대용량 광대역 멀티미디어 전송에 대한 필요성이 어느 때보다도 절실하게 요구되고 있다. 수백~수천km 떨어진 장거리 구간의 통신수단으로 위성통신이나 광섬유 통신이 활용되고 있는데 고품질 및 신뢰성 측면에서 위성보다 해저광케이블의 이용도 및 비중은 점점 높아지고 있는 추세이다. 한전에서는 전력IT 및 ERP시스템의 구현 등으로 점차 고속화, 대용량화 하는 정보량에 대응하기 위해 OPGW 등의 광통신망을 구축하고 있으며, 특히 제주지역의 전력IT 실현을 위해 해저광통신케이블을 건설하게 되었다. 본 논문에서는 해저광통신케이블의 도입사례를 분석·제시해 보고자 한다.

2. 본 론

2.1 해저통신케이블의 역사

해저통신케이블의 역사는 1851년에 브레트 형제가 포설한 도버해협(영국~프랑스간) 횡단케이블로부터 시작된다. 당시 영국에서는 본토와 해외영토간의 통신 확보를 위해 해저전신케이블 건설을 적극 추진하였다. 그 후 100년간 해저전신케이블을 이용한 통신과 장·단파 무선통신이 국제통신의 주축을 이루고 있었고 1950년대를 기점으로 통화품질이 우수한 해저동축케이블로 대체되었다. 해저광통신케이블은 1970년대 후반에 연구가 시작되어 최근까지 건설되고 있는데 우리나라에서는 KT가 1990년도에 건설한 제주~고흥간 해저광통신케이블이 국내 최초의 해저광통신망이다. 한전도 1997년에 해남~제주 간 초고압 직류연계 송전선과 병행하는 해저광통신케이블을 건설함으로써 해저광통신망 구축에 첫발을 내딛게 되었다.

2.2 광통신케이블의 특징

일반적으로 특정 전송기술을 통신망에 적용하기 위해서는 전송용량, 경제성, 신뢰성 그리고 성장 가능성 등을 검토해야한다. 광통신시스템은 기존의 동축케이블 혹은 무선 전송시스템에 비해 전송용량, 신뢰성 및 보안성이 매우 뛰어나며 무중계거리가 상대적으로 길고 시스템가격이 월등히 낮아 무한한 성장가능성을 지니고 있다.

2.2.1 광통신케이블의 장·단점

광통신은 유리섬유를 통해 신호를 전송하며 10^{14}㎐~10^{15}㎐대역의 높은 주파수를 이용하기 때문에 다음과 같은 특징을 지닌다. 첫째, 광섬유는 종류에 따라 전송대역이 다르지만 어떤 형태의 금속케이블보다 광대역성, 저손실성을 갖는데 이런 특성으로 고속의 디지털 데이터를 중계기없이 백km이상에 걸쳐 충분히 전송할 수 있다. 둘째, 유리는 절연체로 초고압 송전선로의 전자유도에 의한 영향을 받지 않기 때문에 신뢰성 있는 통신품질을 확보할 수 있다. 셋째, 광섬유는 다른 전송매체에 비하여 직경이 작고 경량이기 때문에 기존케이블과 같은 크기의 외경에 보다 많은 수의 심선을 수용할 수 있으며, 포설 상 유리하다는 장점을 지니고 있다. 그러나 급격한 휨에 약하고 고도의 접속기술을 필요로 하며 전력전송이 어렵다는 단점도 지니고 있다.

2.2.2 광섬유 종류에 따른 전송특성

일반적으로 광섬유의 전송특성은 표2-1과 같이 광섬유 내부의 코어굴절률 분포에 따라 달라진다.

ITU-T	G.651	G.652	G.653	G.654	G.655	G.656
광섬유명칭	MMF (다중모드)	SMF (단일모드)	DSF (분산천이)	CSF (저단파장천이)	NZ-DSF (비영분산천이)	NGF (차세대)
사용파장 (nm)	1300	1300&1550	1550	1550	1550	1550
영분산파장 (nm)	1300	1300	1550	1300	1530/1560	1420
손실 (㏈/㎞)	0.50	0.35/0.25	0.25	0.18/0.25	0.25	0.25
분산 (ps/nm㎞)	-	≤3.5 / ≤18	≤3.0	≤20	0.1~6.0	6.5~9.5
굴절률분포						

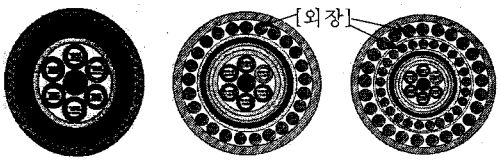
[표 2-1. ITU-T에 따른 광섬유의 분류]

다중모드 광섬유(MMF : Multi Mode Fiber)는 코어내로 여러 개의 모드가 전파 가능하지만 모드간 발생하는 분산으로 인해 주로 근거리 LAN케이블용으로 사용되어 왔다. 반면, 단일모드 광섬유(SMF : Single Mode Fiber)는 모드간 분산이 없고 가장 적은 손실과 분산을 갖는 광도파로 역할을 하나 OH 이온에 의해 특정대역(1340 nm~1460nm)에서 손실이 증가하는 현상으로 인해 전송대역을 한정해서 사용해야 하는 단점을 지니고 있다. 단일모드 광섬유 중 G.652D(LWPF : Low Water Peak Fiber)규격은 앞서 언급한 특정대역의 손실을 최소화함으로써 현재 추진 중인 2차(진도~제주간) 해저광통신케이블 규격으로 선정되었다. 분산천이 광섬유(DSF : Dispersion Shifted Fiber)는 파형왜곡의 원인이 되는 분산치를 1550nm에서 0이 되도록 하여 장거리 전송이 가능

하도록 한 규격으로 1991년부터 시작된 1차(해남~제주간) 해저광통신케이블 건설사업에 국내 최초 적용되었다. 또한 차단파장천이 광섬유(CSF : Cut-off Shifted Fiber)는 전송손실이 최소로 되는 1550nm대역에서 분산에 의한 문제가 발생하지 않도록 전송용량을 적게 하면서 중계거리를 길게 설계한 광섬유이다. 분산천이 광섬유의 단점을 보완하기 위해 설계된 비영분산천이 광섬유(NZDSF : Non Zero Dispersion Shifted Fiber)는 영분산기울기를 낮추고 빛이 분포하는 유효면적을 확대함으로써 1550nm영역에서 파장분할다중화 (WDM : Wave length Division Multiplexing)장비를 이용, 효과적으로 데이터를 전송할 수 있게 설계된다. G.656규격인 차세대 광섬유 (NGF : Next Generation Fiber)는 비영분산천이 광섬유의 규격에서 대용량, 장거리(수백km이상) 전송망 구축을 위하여 S-band(1460nm~1530nm)의 파장까지 사용 가능하도록 규정하고 있다.

2.2.3 해저광통신케이블의 특징

해저광통신케이블은 파도나 해류와 같은 직접적인 해양환경 요소에 의해서도 영향을 받지만, 어선의 어구나 닻과 같은 기계적 외력에 의해서도 쉽게 손상을 받는다. 또한 해저케이블이 손상되어 해수가 케이블내에 침입하면 광섬유의 강도 및 전송특성이 열화되기 때문에 절단점에서 해수의 침입을 방지하는 것도 요구된다. 따라서 이러한 해양환경의 불안정 요소들로부터 해저광통신케이블을 안전하게 보호하고 운전할 수 있도록 케이블 설계가 이루어져야 한다.



<육상> <해저 단일외장> <해저 이중외장>

[그림 2-1. 육상 및 해저광통신케이블의 단면]

그림 2-1은 육상구간에서 사용되는 직매용 광케이블과 해저광통신케이블의 단면을 나타낸 그림이다. 해저광통신케이블을 포설하거나 보수를 위하여 인양할 경우에 케이블은 큰 장력을 받는데 이 장력의 크기는 케이블자체의 수중중량과 수심에 비례하므로, 기준치 이상의 내항력, 내측압력, 내수압 기준이 요구된다. 따라서 해저광통신케이블은 인장력을 강화할 수 있도록 외장철선이 단일 또는 이중으로 감싸는 구조로 이루어져야 한다. ITU-T 및 IEC 등의 규격에도 해저광통신케이블의 시험항목을 일반 광케이블보다 엄격하게 적용하도록 제시하고 있다

2.3 1차(해남~제주간) 해저광통신케이블 건설

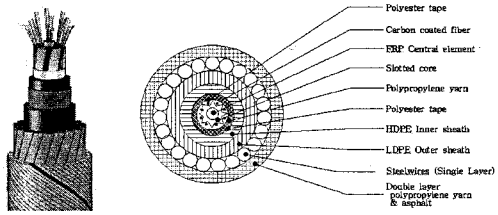
1998년 3월 상업운전을 시작한 해남~제주간 초고압 직류연계사업은 국내 최초의 초고압 직류 해저케이블 구축사업으로써 전력계통의 보호 및 제어, 업무연락 등 전력정보 소통을 위해 해저광통신케이블뿐만 아니라, Micro wave, PLC(Power Line Communication), 전력선 복합광통신케이블 등이 검토되었다. 그 결과 통신의 신뢰성 확보와 데이터 확장성, 공사비 절감효과 등을 고려하여 해저광통신케이블을 전력케이블과 병행 시공하는 방식이 선정되었다. 해남변환소와 제주변환소간 약 101km(해저 97km, 육상 4km)를 연결하는 광선로는 Alcatel KABEL (노르웨이)에서 제작, 시공하였고 광전송장치는 삼성전자에서 납품하여 '97년 11월에 설치 완료되었다. 세부사항은 표 2-2와 같다.

구분		규격	단위	수량	비고
선로설비	해저케이블	12Core, 단일/이중	㎞	97.336	
	육상케이블	12Core, 비금속	㎞	4.425	해남측
	육상케이블	12Core, 비금속	㎞	0.278	제주측
전송설비	광단국장치	SFDM-90	식	2	
	PCM단국장치	SDNS-32	식	2	
	광분배함	19인치	개	2	

[표 2-2. 해남~제주간 광통신시스템 설치현황]

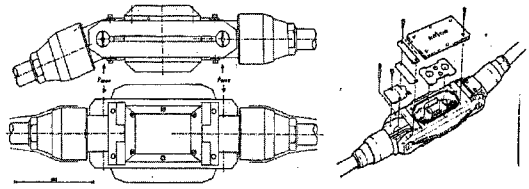
2.3.1 1차 해저광통신케이블 설계 및 고려사항

해남~제주간 해저 97㎞구간에 시설된 해저광통신케이블은 12 Core 2회선으로, ITU-T 권고 G.653 규격을 준수하도록 했으며 사용목적, 포설조건, 설치환경, 수리방법, 해수침투력, 수소가스에 의한 영향 억제력, 인장강도, 내구성 및 갱년변화 등을 고려하여 그림2-2와 같이 설계되었다. 해저광케이블에 적용된 주요 기술은 개방형(Open Type)구조, 광섬유의 분산천이방식(Dispersion Shifted) 및 카본코팅(Carbon Coating)방식으로, 국내 최초로 양 변환소간 101km 무중계 전송구간에 적용된 것이다. 또한 전력케이블과의 병행운영이라는 사용환경을 고려하여 중심인장선을 섬유보강 중합체(FRP : Fiber Reinforced Poly- mer)로 대체하였다. 또한 무중계 방식에서는 불필요한 중계기 급전용 동선을 제거하여 광케이블 중심부분을 비금속화 하였고, 외장철선을 보호하는 피복을 해수와 유·출입이 가능한 폴리프로필렌(Polypropylene Yarn)으로 대체하였다. 아울러 해저의 상태 및 케이블보호의 중요도에 따라 외장을 단일 또는 이중으로 설계하였는데, 이중 단일외장케이블은 직경이 39mm로써 해남측 수심 60m 이내의 천해구간(약 47km)과 제주연안(약 1km)에 시설되었다. 반면 이중외장케이블은 직경이 49mm로써 제주해협 구간 중에서 수심 60m이상의 심해구간(약 48km)에 시설하는 기준으로 설계·시공되었다.



[그림 2-2. 해저광통신케이블 구조]

그림2-3의 해저광통신케이블 접속함체는 최초 설계시 무접속, 무중계 원칙에 따라 반영되지 않았다가 '93년 6월 안강망 어선의 닻에 의해 손상된 부분을 보수 접속하기 위해 사용되었다. 이 접속함체는 성능시험을 통해 기계적 강도가 해저광통신케이블과 동일하거나 그 이상이 되도록 제작되었는데, 이는 케이블을 포설하거나 보수를 위하여 회수할 때 서로 당겨지거나 뒤틀리더라도 광섬유 접속손실에 영향을 미치지 않기 위해서이다. 또한, 해저에 매설되어 설치되는 만큼 방수, 방습, 전식 및 부식 등에 강한 재질이 사용되었다.

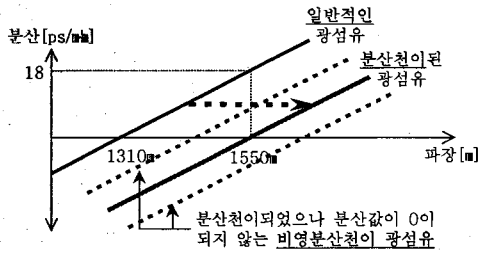


[그림 2-3. 해저광통신케이블 접속함체 구조]

2.3.2 DSF(Dispersion Shifted Fiber) 선정배경

양 변환소간 101km 무중계 전송구간에 적용되기 위해서는 광손실과 분산이 최소화되는 조건을 만족해야만 했

다. 이에 ITU-T에 제시된 여러 광섬유 규격을 검토한 결과, 굴절률에 변화를 주는 기술을 이용해 그림 2-4와 같이 분산이 0이 되는 지점을 그림 2-5에서처럼 단일모드 광섬유의 손실이 최소화되는 1550nm대역으로 강제 이동시킨 분산천이 광섬유(DSF)가 선정되었다. 이러한 분산천이 광섬유는 최저손실 파장인 1550nm대역에서 신호를 고속전송하며 10Gbps이상의 광대역 전송에도 이상적인 특성을 갖는다.



[그림 2-4. 분산천이 광섬유의 손실특성]

2.4 2차(진도~제주간) 해저광통신케이블 건설

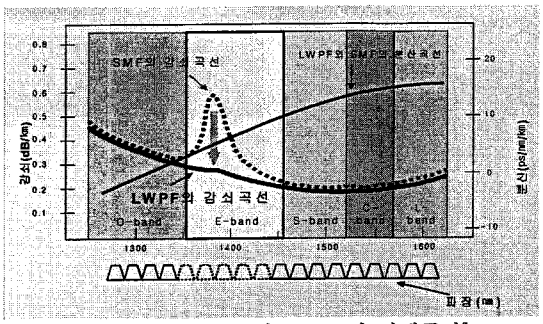
제주지역의 안정적 전력공급을 위해 2005년부터 추진되고 있는 2차(진도~제주간) 초고압 직류연계 시스템(HVDC System)은 운영의 신뢰성 확보를 위해 첨단 IT 기술을 적용하도록 설계되었다. 뿐만 아니라 해저케이블 고장감시 및 향후 정보통신 분야의 부가가치 창출을 위해 최적의 광섬유 규격과 코어수를 반영하게 되었다.

2.4.1 2차 해저광통신케이블 설계 및 고려사항

진도~제주간 122km(해저 105km, 육상 17km)구간에 건설될 해저광통신케이블은 48코어 2회선으로, ITU-T 권고 G.971~G.978(G.974제외)규격을 적용해 해저광통신케이블의 특성 및 시험조건 등에 만족하도록 하였다. 광섬유의 종류는 G.652D(LWPF)로써 광대역 전력IT망 구축을 위해 2.5Gbps급 이상의 광전송장비 및 고밀도 파장분할다중화(DWDM : Dense Wavelength Division Multiplexing)장비에 적용 가능하도록 제작할 것을 명시하고 있다. 또한 전송신호의 손실을 최소화하기 위해 광섬유 심선의 접속은 4회 이하로 제한하였고, OH^-이온의 침투방지를 위해 카본코팅처리 또는 동등규격이상의 성능을 발휘할 수 있도록 하였다. 케이블의 중심인장선은 해남~제주 간 건설공사와 동일하게 FRP계열의 수지를 이용해 인장강도를 보강하고, 광섬유보호를 위해 완충용 및 방습용 내피를 감싸도록 설계하였다. 또한 어업행위 및 앵커 등에 의한 피해를 줄이고, 케이블 포설 및 운영 중 발생하는 장력에 대비하기 위해 아연도 철선을 외장으로 사용하도록 제시했으며, 철선의 전식을 방지하기 위해 폴리프로필렌 얀을 이용 철선의 외장을 감싸도록 하였다. 공장접속과 공장보수 접속은 2회를 허용하고 있으나, 현장 및 현장보수 접속은 해저광통신케이블의 품질저하 우려로 허용하지 않았다.

2.4.2 LWPF(Low Water Peak Fiber) 선정배경

1차(진도~해남간) 해저광통신케이블로 사용된 분산천이 광섬유는 일반적으로 제작비용이 많이 들고 분산값이 0이 될 때 발생하는 비선형효과 등으로 인해 고속전송기술인 파장분할다중화(WDM: Wavelength Division Multiplexing) 전송에는 불리한 특성을 가지고 있어 2차(진도~제주간) 해저광통신케이블에는 새로운 규격을 검토하게 되었다. 비영분산천이 광섬유는 분산천이 광섬유의 비선형효과를 보완한 방식으로 그림 2-4에서처럼 분산값을 천이시키나 1550nm대역에서 분산값을 0으로 하지 않고 비선형효과를 줄임으로써 파장분할다중화방식 전송에도 이용할 수 있도록 설계한 광섬유이다. 그러나 이러한 비영분산천이 광섬유는 여전히 사용대역을 1550nm대역에 한정해야 하는 단점을 가지고 있다.



[그림 2-5. SMF 및 LWPF의 감쇄곡선]

반면에 2003년에 ITU-T에서 표준화된 LWPF는 파장분할다중화 방식에 의한 전송도 가능하면서 전송파장대역을 넓게 활용할 수 있는 장점을 함께 지니고 있다. 기존의 단일모드 광섬유는 OH^-에 의한 손실에 의해 그림 2-5에서처럼 특정대역(E-Band, 1340nm~1460nm)을 사용할 수 없는 단점이 있었으나 광섬유 제조 시 OH^-이온을 제거하는 기술이 발달함에 따라 기존의 단일모드 광섬유에서 사용할 수 없었던 대역을 포함한 전 파장(1280nm~1620nm)을 사용할 수 있게 된 것이다. 또한 LWPF는 기존의 단일모드 광섬유와 비교할 때 사용파장영역만 확대될 뿐 광학적 특성과 기하구조 등이 동등하여 파장분할다중화 전송을 이용한 멀티미디어 서비스를 지원할 수 있을 뿐만 아니라 기존의 단일모드 광섬유(SMF)용 전송시스템과도 완벽히 호환가능하다.

3. 결 론

2차(진도~제주간) 해저광통신케이블 건설에 사용될 광섬유 규격은 여러 표준규격 중 기존 광통신방식 뿐만아니라 향후 파장분할다중화(WDM) 방식을 모두 수용할 수 있는 G.652D(LWPF)으로 선정하였다. 또한 사내망 증설과 정보통신 분야의 부가가치 창출을 고려하여 코어수를 48Core로 결정하였고 선로고장을 대비해 2회선(주, 예비)으로 구성하였다. 아래 표3-1은 1차(해남~제주간) 사업에 사용된 G.653(DSF)와 현재 추진중인 2차(진도~서제주간) 사업에 사용될 G.652D(LWPF)를 기존 단일모드 광섬유와 비교한 것이다. 장거리 전송에 절대적인 광손실 면에서 LWPF가 다른 두 규격보다 약 0.03㏈/㎞ (1550nm대역) 유리한 것을 알 수 있다.

구분	SMF	DSF	LWPF	비고
사용파장(㎚)	1310/1550	1550	1280~1620	
손실(㏈/㎞)	0.36(1310㎚)/ 0.22(1550㎚)	0.22	0.33(1310㎚)/ 0.19(1550㎚)	-0.03㏈/㎞
WDM전송	가능	불가	가능	

[표 3-1. SMF, DSF 및 LWPF의 비교]

[참 고 문 헌]

[1] KEPCO, "濟州~陸地間 電力系統 連繫事業", 建設誌, pp.575-598, 1998

[2] 李泰喆, "海底 光케이블 作業을 위한 실시간 管理시스템의 設計 및 具現에 關한 硏究", 韓國海洋大學校, pp.50-51, 2003

[3] ITU-T, "Characteristics of a single-mode optical fiber and cable", G.652, pp.7-10, 2005

[4] IEC, "Basic optical cable test procedures", 60794-1-2, pp.32-149, 2003

[5] Alcatel Cable, "Fibre optic submarine cable articulated repair joint", 300MW HVDC Cable link between Haenam-gun and Cheju-do, pp.4-27, 1992

[6] 영원시이엔, "제주~육지간 #2HVDC 시스템 기본설계", pp.139-153, 2007

[7] 김동룡, "광섬유와 광통신시스템", 상학당, pp.47-58, 2004