

3.3kV급 해저케이블의 설계와 포설공사

* 오재형, *홍찬진, *권신남, **박주호, ***성희진, 박대희
원광대학교, *희성전선(주), **남광산전(주), ***성지종합시스템

Construction and Design of 3.3kV Submarine Cable

* JaeHyung Oh, *ChanJin Hong, *ShinNam Kwon, **JooHo Park, ***HeeJin Sung, DaeHee Park
WonKwang Univ., *HeeSung Cable Co., **NamKwang Electric Co., ***SungJi Total System

Abstract - 본 보고는 육지로부터 1.1km 떨어진 하섬에 전력, 통신, 제어케이블을 각각 포설공사한 결과이다. 먼저 포설공사전에 Route의 유속과 수심, 해저면등의 조건을 각각 측정하였다. 하섬의 부하를 계산하고 케이블의 전압 및 허용전류등을 계산한후에 해저 직매에 적합한 구조 및 수밀특성을 향상시키는 설계를 하였다. 또한, 사이즈의 표면은 포설시에 손상을 줄이기 위하여 Smooth형으로 제조하였다. 포설은 전력, 제어, 통신케이블을 동시에 직매식으로 최단시간내에 수행하는 공사를 하였으며, 케이블의 진단은 직류전압법에 의한 전류특성으로 평가하였다.

시 되고 있다. 그러나, 일본, 인도네시아등에서는 해저케이블이 직류로서 송전되고 있으며, 캐나다, 중국등에서도 직류 초고압의 장거리 운전을 하고 있다.¹⁾²⁾ 해저 XLPE전력 케이블에 있어서 가장 문제시 되는 기술은 절연재료내에서의 공간전하 형성에 의해서 절연파괴강도가 낮아지는 것으로 많은 연구결과에 의해서 개선책이 보고되고 있다.³⁾ 이와같은 케이블 기술의 급속한 발전은 국내에 있어서도 해저케이블의 포설공사를 추진 할 수 있도록 여건이 마련되어지고 있다. 본 공사는 육지로부터 바다에 1.1km 떨어져 있는 하섬에 전기, 통신 및 전력의 제어를 위한 케이블을 포설하고자 한다. 본 공사를 추진하기 위한 주요기술은 시스템의 설계, 케이블의 설계 및 제조, 포설공사로 구분할 수있다. 특히 케이블 포설조건은 바다의 조류와 수심이며, 가능하다면 단시간내에 직매를 시키기 위한 포설공법을 사전에 충분히 검토하였다.

1. 서 론

전력케이블은 전력수요의 증가와 함께 대용량화, 초고압화가 요구되고 있으며, 또한 내환경성이 부가되는 설계기준이 가혹하게 높아지고 있다. 이와같은 케이블의 설계기준은 절연재료적인 측면과 케이블의 구조적인 측면에서 기술적인 검토가 되어지고 있다. 케이블의 기술 개선은 도서지방에 전력공급을 해저로 원활하게 할 수 있도록 되고 있다.

특히 삼면이 바다로 둘러쌓인 우리나라의 경우 대부분의 도서지역에서는 자가발전에 의한 전력수급에 의존하고 있는 실정이다. 전력수요의 증가와 자가발전에 의한 전력공급으로는 연료비상승과 유지보수등 제반 어려움이 많다. 따라서 늘어가는 전력수요를 충족과 경제성을 높이고, 유지보수 및 제반 어려움을 해결하기 위해 육지로부터 전력공급이 절실히 필요하게 되었다. 이와같은 전력공급을 위하여 가공선을 이용하여 육지로부터 섬으로 전력을 공급하는 방법있으나, 초기의 건설비용이 크고, 유지 관리보수비가 요구되므로 경제성이 문제시 되고 있다.

해저 전력케이블은 OF보다도 XLPE가 많이 사용되고 있으며, 장거리를 무접속으로서 이미 포설되어 사용되고 있다. 대부분의 해저케이블의 전압은 직류로서 송전하고 있으며, 장기 신뢰성이 문제

시 되고 있다. 본 보고는 하섬에 전력을 공급하기 위한 전력시스템의 설계, 케이블의 설계 및 제조, 포설결과이다. 특히 본 공사후에 케이블의 진단방법등에 대하여 소개한다.

2. 본 론

육지로부터 1.1km의 지점에 있는 하섬에 케이블을 포설하기 위한 포설Route를 측량하고, 각 지점의 수심과 유속을 각각 측정한 결과, 수심은 약 5m이며, 유속은 10km/hour로 나타났다. 또한 케이블을 직매시킬 바다의 수면아래는 모래 및 갯벌로서 형성되어 있으며, 계절에 따라서 높낮이와 형태가 변화 되어지며, 겨울철 매월 음력 초하루부터 일주일동안은 낮에 6시간정도 물이 빠져 갯벌이 완전하게 도출되는 시기를 공사시간으로 계획하였다. 이와같은 환경하에서 해저케이블을 공사 하기 위하여 그림 1과 같이 기술검토를 행하였다.

2.1 시스템 설계

해저케이블을 포설하기 전에 3만평의 현재 섬에서 사용하고 있는 부하의 계산과 신축건물과 계절

별로 상주하는 인원등을 조사하였다. 가장 큰 냉방용 부하 및 피크 부하등을 고려하여 계산하고, 대용량의 부하로서는 냉난방용이 가장 큰 부하로서 검토되었다. 이와같은 예측부하를 기초로 하여 부하용량을 예측하고 수전전압과 허용전류를 계산하였다.

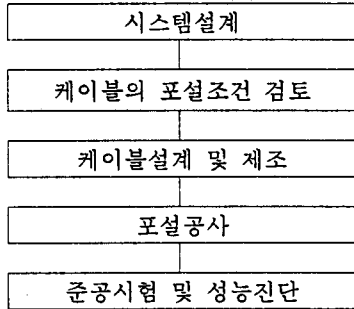


그림 1. 기술검토 Flow Chart

기존에 한전의 가공배전선이 해변에 가까이 설치되어 있는 22.9kV 배전선을 확인하고, 해변에 가장 가까운 곳으로 가공의 배전선을 설치하였다. 따라서 주상에 22.9kV/3.3kV의 변압기를 설치하고 3.3kV급으로 수전토록 결정하였다. 이때의 케이블의 사이즈는 100sq로 하였으며, 3상4선식으로 하였다. 하섬내에서는 3.3kV/380V로 다시 강하 변압기를 이용하여, 3상과 단상을 사용할 수 있도록 설계하였다. 그림 2는 시스템설계의 개략도를 나타냈다.

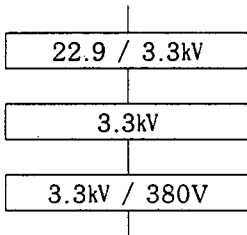


그림 2. 시스템설계의 개략도

2.2 케이블의 구조 및 설계

앞에서 검토되어진 전력케이블을 중심으로 포설조건, 기초와 수전전압과 허용전류등을 기초로 하여 다음과 같이 설계하였으며, 구조는 그림 3과 같으며, 설계도는 표 1과 같다. 그림 4는 제어케이블, 그림 5는 해저통신케이블의 각 구조이다.

(가) 도체 구조

케이블 도체는 압축 원형연선으로 하고, 도체 표면에 평활화와 함께 수밀형의 Compound를 충전 시켰다.

(나) 내외반도전층

절연체 내외부 반도전층은 3중 압출의 구조로서 절연체내에 습기가 흡수되지 않고 차단되는 구조로서 직접 물과 전기의 상호작용을 차단하는 구조로 설계하였다.

도 체			절연체 두께 (mm)	베딩두께 (mm)	
공칭 단면적 (mm ²)	구성 또는 모양	바깥 지름 (mm)			
100	원형압축	12.0	5.0	1.2	
취스 두께 (mm)	완성품 바깥지름 (mm)	도체저항 (20℃) (Ω/km)	시험 전압 (kV)	절연 저항 (MΩ/km)	정전 용량 (μF/km)
3.5	38	0.183	17	2000	0.37

표 1. 3.3kV CVLAPE 설계도

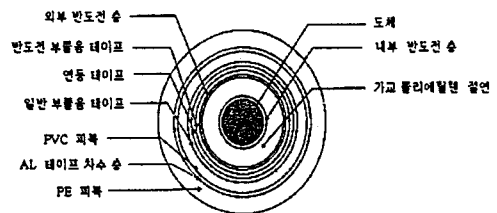


그림 3 전력용 케이블 구조도

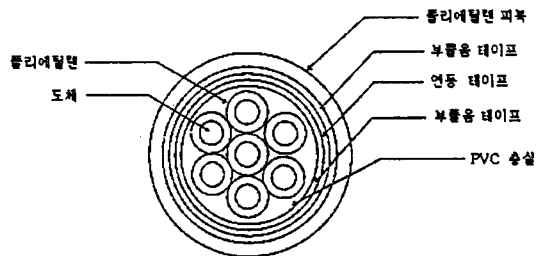


그림 4 제어용 케이블 구조도

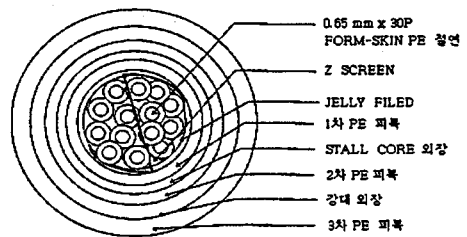


그림 5 통신용 케이블 구조도

(다) 절연체

CV케이블에서는 평균 stress에 의해서 절연 두께가 결정된다. 또한 CV케이블의 절연열화는 특이한 열화(수트리, 화학트리)를 제외하면 절연층 void와 이물질이 열화의 기점이 되므로, Voidless로 제조하고, 특이한 열화를 고려하여 일반케이블에 비하여 여러 가지 요소를 고려하여 절연두께를 1mm 가산하였다.

(라) 차폐 및 베딩

차폐층은 통신케이블과 제어케이블의 전자적인 차폐를 위한 목적으로 차폐층 밑에 반도체성 자기 부풀음테이프와 비도전성의 자기부풀음 테이프를 감아서 습기의 확산을 차단코져 하였다. 또한 베딩테이프는 차폐층위에 감아서 포설시에 차폐층과의 기계적인 힘을 저감시키기 위해서 감는다.

(마) 차수층

베딩층위에 폴리에스터가 양면 코팅된 0.3mmt의 알미늄테이프로서 서로 중첩되도록 감는다. 외부로부터 수분의 침투를 억제하는 역할을 한다.

(바) 쉬즈

폴리에틸렌으로서 Smooth형으로 압출하고 침수가 된후에 흡습이 되지 않는 구조로 하였다. 내용을 입력하세요.

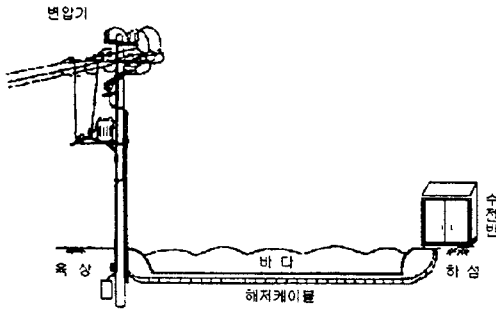


그림 6 해저케이블 포설도

2.3 케이블 포설공사

공사에 있어서 가장 큰 문제는 케이블의 운반으로서 매 드럼당 2t정도로써 바다에서 운반하는 점과 드럼에서 케이블을 Pulling하는 방법이었다. 또한 포설 직매 되어질 깊이의 결정과 장조장의 케이블로서 수축문제가 있었다. 직매의 깊이는 1m정도로 하였으며, 케이블의 수축 및 팽창을 감안하여 S형태로 포설하였다.

포설후에 시단과 종단 부분에서 조수에 의한 케이블의 손상을 막기위해 ELP관을 육상과 하섬쪽 약 180m를 매설하여 포설하고, 해저에서는 직매로 그림 6과같이 포설하였다.

2.4 준공시험 및 성능진단

전력케이블을 포설한 후 제작 및 포설시 생길 수 있는 절연체의 손상유무를 확인하기 위해서, 각 4상에 직류 20kV를 10분 동안 가하여 내압시험(BIDDLE Dielectric test set No.220132)을 하였으나, 이상이 없었다.

다시 충전된 케이블을 완전하게 방전시킨후 성능진단을 측정하였다. 절연열화판정시험기(DI-10X)로 절연저항, 성극지수 및 킁현상을 측정하였다. 각 상에 일정의 부극성의 직류전압을 인가한후에 직류전류 및 전하특성을 각각 측정한 결과 표 2와 같은 판정이 얻어졌다. 표2에 나타난 것과 같이 각상의 케이블 모두 제한값 이내로 양호하였나, 항상 해수

에 침수되어 있으므로 정기적인 시험측정이 요구된다.

측정결과에 대한 판정기준은 절연저항 3000MΩ/km이상일 때 양호, 3000MΩ/km미만 1000MΩ/km이상일 때 주의 그리고 1000MΩ/km미만일 때 불량이다. 성극지수의 판정기준은 1을 넘을 때 양호, 1일 때 주의, 1미만일 때 불량을 나타낸다. 킁현상은 0회 일 때 양호, 1회 이상일 때 불량을 나타낸다.

Route	조장 (m)	절연 저항 (MΩ/km)	성극 지수	킁 현상	내압시험 (kV/10분)	종합 판정
No.1	1,050	3,000 이상	∞	0	DC 20	양호
No.2	1,050	3,000 이상	∞	0	DC 20	양호
No.3	1,050	3,000 이상	∞	0	DC 20	양호
No.4	1,050	3,000 이상	∞	0	DC 20	양호

표 2 해저케이블 포설 후 측정 DATA

3. 결 론

해저로 전력, 제어, 통신케이블을 포설함으로써 얻어진 기술적인 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 직매형 해저전력케이블은 물의 침투와 전기에 의한 상호작용으로 발생하는 수트리를 방지하기 위한 수밀특성에 고려한 구조로 설계하였으며, 준공 및 성능평가시 양호한 결과를 얻었다.
- 도서지방에 경제성과 특수한 지형적 여건을 고려하여 직매로 포설할 수 있는 전력케이블을 설계하고, 제조하여, 공사하여 원활한 전력을 공급 할 수 있었다.
- 포설공사 완료후에 혹시 발생할 수 있는 케이블 이상 유무를 판정하기 위해 절연저항, 성극지수, 킁현상 및 내압시험을 하는 성능진단을 국내 최초로 도입하였다.
- 해저케이블의 계속적으로 정기적인 성능의 진단을 통하여 열화진단의 기준 및 기초data로서 활용이 가능 할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

[1] H. Fukagawa, et al., "Insulation property of 250kV DC XLPE cables", IEEE Trans. Power Apparatus Syst., PAS-10 3175, 1981
 [2] K. Ogawa, et al., "The world's first use of 500kV XLPE insulated aluminium sheathed power cable at the Simogo and Imaichi power station", IEEE Trans. Power Delivery, 5 26, 1990
 [3] H. Miyata et al., "Development of New Polymer Insulating Materials for HV DC Cable", T. IEE Japan, Vol. 112-B, No.10, pp914-920, 1992