

## 소선절연도체를 적용한 400KV 지중송전선로의 설치공사

김현주, 김도영, 안강석, 서상훈, **박근룡**  
 대한전선(주)

### Installation of 400kV Underground cable with insulated wires conductor

Hyun-Joo Kim, Do-Young Kim, Kang-Seok Ahn, Sang-Hoon S[대, Keun-Ryong Park  
 Taihan Electrical Wire Co., Ltd.

**Abstract** - 전 세계적으로 매년 증가하고 있는 전력수요는 높은 부하 밀도와 함께 송전계통의 대용량화를 필요로 하고 있다. 단순히 송전회선의 증가를 통한 송전계통의 대용량화는 비용의 증가를 초래하며, 과밀화된 도심에서의 경과지 확보와 환경적인 악영향에 대한 우려 등으로 어려움에 직면하고 있다.

따라서, 높은 부하밀도의 수용가가 집중된 송전계통의 대용량화는 보다 적은 비용과 환경적 영향을 고려하여 지중송전 케이블의 적용이 필요하며, 이러한 특수목적의 송전을 위하여 고효율, 대용량화의 여러 기술이 연구 개발되어 적용 중이며, 일부 기술은 상용화 단계에 있다.

본 논문은 지중송전 케이블의 대용량화 기술 중에 도체의 교류저항을 저감하여 저손실과 대용량 송전이 가능한 소선절연도체(Conductor with insulated wires 또는 Enamelled wires)의 개발과 설치공사에 대하여 기술하고자 한다.

도체의 접속시에는 각각의 소선에서 절연층을 제거한 후, 압축슬리브 형태의 접속이 이루어지며, 소선에서 절연층(enamel coating)을 제거하기 위한 특수공구가 사용된다.



〈그림 1〉 400kV 소선절연도체 케이블 샘플

## 1. 서 론

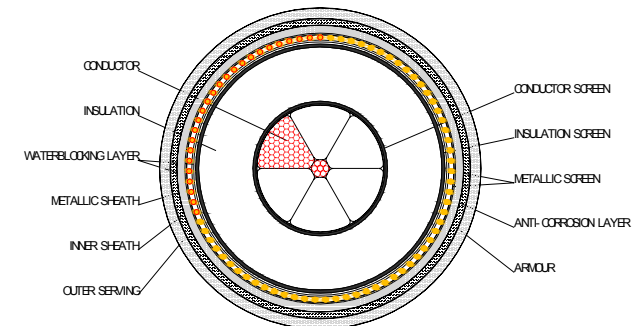
대용량 지중송전계통의 요구가 증가하고 있는 상황에서 현재 상용화되었거나 연구 개발이 진행 중인 케이블 관련 기술은 도체의 발열에 의한 절연체의 전기적, 기계적인 열화를 방지하기 위한 기술인 고온내열 절연체의 개발, 케이블의 발열을 냉각하는 기술과 도체의 교류도체저항을 저감하는 기술로 크게 구분 가능하다.

지중송전 케이블의 절연체로 널리 사용되는 가교폴리에틸렌(XLPE, Cross-linked Polyethylene)은 연속운전조건에서의 제한온도가 90도이며, 제한온도까지의 상승의 대부분은 도체의 교류저항과 운전전류에 의한 것이다. 따라서 교류저항이 작을수록 제한온도범위 내에서 더 많은 전류의 송전이 가능하여 대용량의 송전이 가능하다.

도체의 단면적의 증가에 따른 도체저항의 저감으로 더 많은 전류를 송전할 수 있으나, 도체 단면적의 증가에 따라서 증가하는 표피효과(Skin Effect)의 영향으로 단면적의 증가에 반비례하는 교류저항을 얻을 수 없기 때문에 1200sqmm 이상의 대도체는 표피효과에 따른 교류저항의 증가를 저감할 목적으로 분할도체 구조와 분할도체 간에 절연층을 구성하는 구조를 적용한다.

대도체의 중심부에 증가되는 인덕턴스에 의하여 전류가 도체의 표면으로 집중되는 현상인 표피효과를 저감하기 위해서는 도체의 단면적 전체에 전류를 분포시키는 방법이 필요하며, 대도체를 구성하는 수백여 가닥의 작은 구리 소선을 상호 절연되도록 구성하면, 수 백여개의 분할도체를 구성하는 것과 같이 도체 전체에 전류밀도가 균일하게 분포되어 결과적으로 교류저항이 저감되는 것이다.

이러한 교류저항의 감소분은 그대로 송전전류의 증가로 이어져 증용량의 송전이 가능해지는 것이다.



〈그림 2〉 400kV 소선절연도체 케이블 단면

## 2. 본 론

### 2.1 소선절연도체

소선절연도체는 분할된 각각의 도체가 절연된 소선(wires)으로 구성되는 것으로, 일본을 중심으로 상용화된 산화피막을 형성하는 방식과 유럽을 중심으로 상용화된 에나멜 코팅(enamel coating or varnish)방식으로 구분된다. 산화피막을 형성하는 경우에는 완성된 도체를 산화액체에 침유하는 공정이 필요하여 수밀도체에 적용이 불가능하다는 단점이 있으며, 에나멜 코팅된 소선의 구조는 도체의 집합공정에서 발생하는 마찰과 발열에 의한 에나멜 피복의 기계적, 열적 손상을 방지하기 위한 특수한 공정이 필요하다는 어려움이 있다.

본 프로젝트에 사용된 도체의 구조는 수밀구조임을 감안하여, 에나멜 코팅방식을 적용한 2500sqmm로, Milliken 구조의 6분할도체이다. 각각의 분할도체는 일반소선과 에나멜 코팅된 소선을 조합하여 구성되었으며, 내부 반도전층에서의 전계분포와 경제성 등을 고려하여 절연소선과 일반소선의 비율은 7:3 정도로 설계하였다.

### 2.2 교류저항

도체의 직류저항은 국내외의 여러 규격에 명시된 값을 기준으로 관리되어왔으나, 지중송전 케이블의 실제 운전조건인 교류 전원에서의 교류저항은 제안된 수식을 이용하여 계산된 값을 적용하는 것이 관례이다. 다만, cigre의 권고사항에 포함된 표피효과계수는 IEC 60287의 제시 값과 상이하며, 상이한 표피효과계수를 적용하여 계산하는 경우에 산출되는 교류저항 값은 큰 차이를 보인다. 아래의 <표 1>은 cigre TB 272의 권고사항과 4단자법으로 실측된 교류저항을 요약하였다.

〈표 1〉 cigre 추천값과 교류저항 실측값 비교

Type of cable		ks	AC Resistance [Ω/km@90°C]	AC/DC ratio
2500mm <sup>2</sup> Bi-directional stranding	Cigre TB-272	0.8	0.01300	1.416
	Measured data	-	0.01306	1.423
2500mm <sup>2</sup> Inter Layer Insulated	Cigre TB-272	0.5	0.01105	1.204
	Measured data	-	0.01100	1.198
2500mm <sup>2</sup> Insulated wires	Cigre TB-272	0.25	0.00971	1.06
	Measured data	-	0.00971	1.06



〈그림 3〉 교류저항실측

### 2.3 케이블 구조

높은 신뢰성과 품질이 요구되는 400kV 케이블임을 고려하여 절연체인 XLPE에는 Super Clean compound가 적용되었으며, IEC 62067의 요구조건을 만족하도록 절연두께는 27mm로 설계하였다.

고장전류의 분담을 위하여 copper wire shield가 적용되었으며, 차수와 케이블의 기계적 보호를 위하여 연시스(Lead sheath)가 적용되었다.

흰개미에 의한 케이블 방식층의 손상을 방지하기 위한 동 테이프 층을 내부 방식층과 외부 방식층 사이에 적용하였으며, 외부 방식층에는 흰개미 방제(Anti-termite)를 위한 화학 첨가물(chemical additive)이 사용되었다.

### 2.4 개발시험 및 장기과동전시험

2009년 10월, KEMA의 입회하에 IEC 62067의 요구조건에 만족하는 개발시험을 성공적으로 완료하였다. 장기과동전시험(Pre-qualification test)은 2009년 12월부터 2011년 2월까지, 9,118시간 동안의 열사이클 시험을 포함한 전기시험과 구조시험이 진행되었으며, 시험결과는 IEC 62067의 요구조건을 모두 만족하였다.



〈그림 4〉 400kV 장기과동전 시험선로

### 2.5 현장설치 개요

소선절연도체가 적용된 400kV 2500sqmm 지중케이블은 총 20회선, 85.2km의 대형 프로젝트에 사용되었으며, 중간접속은 144set, 종단접속함은 120set가 적용되었다. 케이블의 주요루트는 쿠웨이트의 Subiya West 발전소에서 수용가 근처의 변전소로 연계되는 package와 인구밀집 지역인 Jabriya와 Sulabiya 지역의 가공선로를 지중화하는 package로 구성되었다.

2011년 5월 현재, 모든 케이블 포설 및 접속공사가 마무리되어 AC 내전압시험 등으로 구성된 준공시험을 준비 중으로 2011년 하반기 상용운전을 목전에 두고 있다.



〈그림 5〉 소선절연도체 에나멜 제거작업



〈그림 6〉 Jabriya 지중화공사 루트개요도(공장 5.5km\*4회선)



〈그림 7〉 콘크리트 Trough내 케이블 설치

## 3. 결 론

소선절연도체는 동일 단면적의 일반도체로 구성된 케이블에 비하여 약 15%의 송전용량의 증가하여 최근의 대용량화된 송전계통의 적용에 효과적이며, 보다 작은 단면적의 도체로 동등이상의 송전이 가능하여 케이블의 외경, 중량, 설치 공간 등의 저감으로 발생비용이 저감되어 경제성이 확보된다.

본 쿠웨이트의 프로젝트와 같이 가공송전선로의 지중화와 같이 대용량의 송전이 필요한 루트에 최적화된 신기술이라 할 수 있다. 대용량 & 저손실로 대표되는 소선절연도체를 이용한 초고압케이블의 사용은 교류저항에 의한 송전손실의 저감에 따른 발전비용절감의 효과가 크며, 일반도체에 비하여 약 80% 정도의 연동선만으로 동등이상의 송전이 가능하여 사용되는 자재의 양이 획기적으로 감소하여 원자재비용의 감소를 가져올 수 있다. 이러한 원자재 사용의 절감은 경제적인 효과 이외에도 제조과정에서 생성되는 온실가스의 저감효과와 더불어, 송전과정에서의 손실을 저감하여 전기에너지 생산시에 발생하는 온실가스의 발생을 감소시키는 순기능을 포함하고 있다.

현재의 실현가능한

### [참 고 문 헌]

- [1] IEC 62067, Power cable with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 150kV(Um=170kV) up to 500kV(Um=550kV)
- [2] IEC 60228, Conductors of insulated cables
- [3] IEC 60287, Calculation of the continuous current rating of cables(100% load factor)
- [4] Cigre TB 272, Large cross-sections and composite screens design
- [5] 400kV 소선절연 도체구조의 증용량 지중송전케이블의 개발 (2010년 KIEE 하계학술대회)