

송전선로 활선작업용 도전복 기술 및 적용현황

이형권\*, 한형주\*, 방향권\*\*  
 한국전기연구원\* KEPCO Academy\*

Conductive Clothing Techniques and Application Status To Live Line Works in T/L

H.K. Lee\*, H.J. Han\*, H.K. Bang\*\*  
 KERI\*, KEPCO Academy\*\*

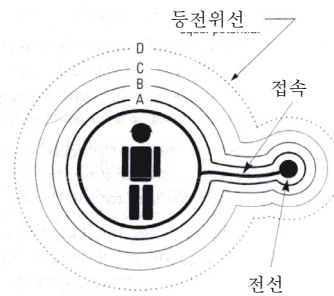
**Abstract** - Nowadays live-line work is a general maintenance method in most countries. After 765kV transmission lines constructed, necessity of the live line work is on the rise, due to maintenance problems. During live line working, a line man must wear the conductive clothing for protection from electrical fields and shocks. This paper suggests about design technology and application status of a conductive clothing to live works, before developing the clothing in detail.

되며, 150kV 이상의 높은 전압에서는 코로나현상도 발생하기 때문에 작업을 적절하게 차폐하는 것이 필요하다.

그림 1에서 보는 바와 같이 도전복을 착용하게 되면 작업자가 전기적으로 차폐되기 때문에 전계 내에 놓이지 않아 안전한 상태에서 작업할 수가 있게 된다.

1. 서 론

전력수요의 증가에 따라 송전선로의 규모가 커져왔고, 그에 따라 송전설비에 대한 유지보수 건수도 증가하여 왔다. 외국의 경우 송전선로의 유지보수는 활선작업에 의해 주로 수행되고 있는데, 주 이유는 송전선로의 휴전이 매우 어렵기 때문이다. 국내의 경우에도 비슷한 선로운영 상황으로서, 이러한 문제점을 해결하고자 765kV 송전선로에 대한 활선공법이 최근 개발된 바가 있다. 초고압 송전선로에 활선공법을 적용하기 위해 필요한 활선장비 중에서 가장 중요한 것이 도전복(conductive clothing)이다. 도전복은 작업자를 전기적으로부터 보호하기 위한 장비로서 일종의 작업복과 같은 옷이다. 국내에서는 아직까지 활선공법이 활용화 되지 않은 상태라 도전복이 국내에서 제작되거나 개발된 사례가 없다. 따라서 본 연구에서는 앞으로 도전복 개발의 필요성이 있다고 보고, 본격적인 개발연구에 앞서 도전복에 대한 세부적 개념과 현황을 파악함으로써, 이를 개발연구의 기초 자료로 활용하고자, 외국의 관련 자료를 조사 분석하여 도전복 현황과 관련 기술에 대해 정리하여 제시하였다.



[그림 1] 도체주변 전계강도 개념도

2. 활선작업용 도전복

2.1 live line works

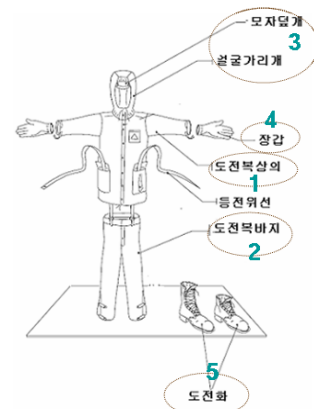
송전선로 활선공법(live lien works)이라 함은 전선에 전압이 인가된 상태에서 작업자가 직접 작업하는 것을 말하며, 직접활선과 간접활선으로 나누어진다. 직접활선작업은 작업자가 활선용 도전복을 착용하고 초고압·대전류가 흐르는 송전선로에 직접 접촉되어진 상태에서 경간이나 첩탑주변의 유지보수를 하는 것을 말하며, 간접활선작업은 첩탑에서 핫스틱을 이용하여 애자교체와 같은 간단한 작업만을 수행하는 것을 말한다. 현재 국내 송전선로 유지보수 작업의 경우 직접활선작업이 아닌 간접활선이나 휴전작업으로만 이루어지고 있다. 이는 우리나라의 송전선로 대부분이 2회선 첩탑으로 구성되어 있어서, 유지보수 회선은 정전을 해도 나머지 한 회선은 송전이 가능했기에 그동안 활선작업에 대한 필요성을 거의 느끼지 못했기 때문이다. 그러나 765kV급 초고압 송전선로를 자체 기술로 건설·운영 중에 있고, 이에 전력 수송량이 커지고 운영이 복잡화 되어감에 따라 초고압 송전선로를 보다 안정적이고 신뢰성 있게 운영하기 위해 활선작업이 불가피하게 되었다. 이러한 기술적 배경에서 최근 발전계약비용 절감, 송전선로 신뢰도 향상, 작업자 전기적 안전성 확보 등을 목적으로 초고압 송전선로에 대한 활선 공법이 개발되어 현재 실선로 적용을 목전에 두고 있는 상태이다.[3]

2.2 도전복의 기능

전선에 전압이 인가되면 전선과 대지 사이에는 전계가 존재하게 된다. 이때 작업자가 전선 위에 있는 지상에 있던 작업자는 전계 내에 놓이게 된다. 전계가 약한 경우에는 문제가 없으나 활선작업과 같이 전선에 직접 접근해서 작업하는 경우에는 매우 강한 전계 내에 작업자가 놓이게 되어 위험할 수 있다. 일반적으로 150kV 이하의 낮은 전압에서는 작업자 몸에 충전전류가 발생하여 정전기적 방전 또는 아크가 발생을 하게

2.3 Conductive clothing 구성품

도전복은 작업자를 강전계로부터 보호하기 위한 의류이기 때문에 작업자의 모든 신체 부위를 보호할 수 있어야 한다. 즉, 손, 얼굴, 발 등 모든 부위를 도전성 물질로 감싸주어야 한다. 따라서 도전복은 그림 2와 같이 크게 5가지 종류로 구성되어 있다.



[그림 2] 도전복 구성품 종류

3. 활선작업용 도전복 관련 기술

3.1 도전복용 직물소재

의류 자체가 도전성을 갖도록 하기 위한 직물소재 개발에 대한 연구는 섬유공학 분야에서 꾸준한 연구실적을 갖고 있다[1,2]. 이러한 소재개발은 주로 전자기파 차폐제 개발과 차폐성능 평가 및 기술개발을 위한 것으로서, 다양한 측면에서 기술개발을 못하고 있다. 전자기파 차폐를 위한 소재 개발 방법으로는 전도성 고분자 섬유에 흡착시켜 섬유가 전도성을 갖도록 하는 방법, 금속성 미분말 형태나 금속산화물을 이용하여 특수코팅 처리에 의해 전도성을 갖도록 하는 방법 등이 있다. 이러한 의류는 주로 반도체 산업분야, 가스취급분야 등과 전자기기의 전파흡수재 등으로 사용하기 위한 용도로 개발되는 것이 일반적이다. 따라서 강전계(high electrical strength)로부터 사람을 직접 보호하기 위한 활선작업용 도전복과는 의미에 다소 차이가 있을 수 있다.

송전선로 활선작업용 도전복이란 말 뜻 그대로 옷 자체가 금속과 같이 높은 전기적 도전성을 갖고 있는 것을 의미하며, 작업복으로서의 기능과 방염성능도 겸비하는 특수복이다. 도전복용 직물은 도전성 선재를 옷감을 짜듯이 일반 직물과 같이 혼합하여 직조함으로써 전기적인 도전성을 갖게 하는 것으로 도전성 선재의 종류와 선재의 혼합량, 직조방법 등에 따라 특성이 크게 달라질 수 있다.

도전복은 단지 도전성만을 요구하는 것이 아니고 불꽃이나 아크 등에 의해 작업자를 보호하기 위한 방염성능도 요구하기 때문에, 도전선 선재와 더불어 방염성 원사도 혼합하여 사용하는 것이 필요하다. 결국 도전복용 직물소재를 설계할 경우에는 도전복의 요구성능을 충분히 고려하여 정하는 것이 중요하다.

### 3.2 도전복 성능

도전복의 주 성능은 낮은 저항을 유지하는 것이지만, 이외에도 아크에 의한 작업자 보호를 위해 방염성능도 가져야 하며 작업의 편리성과 간편성도 가져야 하는 등 기술적 요구사항이 여러 가지 있다. 도전복에 대한 기술적 요구성능은 국제규격 IEC-60895에 제시되어 있는데, 요구되는 기술 성능항목을 나열하면 다음과 같다[3].

- Flame retardancy performance
- Low electrical resistance
- High current-carrying capability
- High shielding and screening efficiencies
- High cleaning performance
- Spark-discharge protection
- High wear resistance

상기와 같은 요구성능 항목은 작업자를 활선상태에서 보호하기 위해 반드시 필요한 내용으로서, 전기적 및 기계적인 성능을 동시에 요구하고 있다. 또한 IEC-60895에서는 상기 요구성능에 대한 구체적인 수치를 제시하고 있는데, 이는 표 1과 같다.

표 1은 교류 800kV 및 직류 600kV 이하에서 사용하는 도전복에 대해 요구하는 성능으로서, 현재 사용 중인 대부분의 도전복은 표 1의 성능을 기준으로 설계된 것으로 조사되었다.

[표 1] 도전복 구성품에 대해 각각 요구되는 성능

품목	성능항목	요구성능
도전장갑	전기저항	100 Ω 이하
	아크방전	50N에서 섬유조직간격 5mm이하
도전화	전기저항	500 Ω 이하
		0.5M Ω 이하(도전양말과 혼용시)
안면보호	전기저항	40 Ω 이하
	차폐효율	99% (40dB)이상
도전복	전기저항	60 Ω 이하
	차폐효율	99% (40dB)이상
	세탁성능	10회 이상 세탁시 이상없을 것
	방염성능	25초간 태운후 탄면적 10cm <sup>2</sup> 이하

### 3.3 도전복 성능평가 기술

도전복 성능평가 기술이란 3.2항의 도전복 성능에 대한 항목별 시험 및 분석방법을 의미한다. 도전복 성능 평가를 위한 시험방법은 IEC-60895에서 규정하고 있다. 시험방법은 크게 2가지로 구분하여 규정하고 있는데, 즉, 도전복용 직물에 대한 시험방법과 도전복 자체에 대한 성능평가 시험방법이다. 도전복 성능평가를 위한 주요 방법에는 다음과 같은 것들이 있다.

- Flame-retardancy test method
- Electrical resistance test method
- Current-carrying capability test method
- Shielding efficiency test method
- Resistance test method to cleaning

## 4. 도전복 적용현황

### 4.1 외국 현황

북미지역, 유럽 등 많은 선진외국에서는 대부분의 송전선로 유지보수를 활선공법에 의해 수행하고 있기 때문에, 도전복은 자체적으로 설계 제작하여 사용하고 있다. 외국에서 사용되고 있는 송전선로 활선작업용 도전복의 예를 보면 그림 3과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 국가별로

[표 2] 도전복 착용과 작업조건(러시아, 우크라이나)

전계강도[kV/m]	작업방법
5 미만	도전복 착용없이 작업가능
5 ~ 25	도전복 착용없이 작업가능하나 도전복 착용을 하지 않는 경우 작업시간에 제한을 둠 - 작업시간 T = 50/E - 2 - E : 작업자 위치에서의 전계강도 [kV/m]
25 이상	반드시 도전복 착용 후 작업



[그림 3] 외국의 활선작업용 도전복 예

디자인, 직물소재 등에 차이가 있으며, 성능에도 차이가 있으나 전기적 성능은 국제기준을 만족하는 것으로 조사되었다.

러시아, 우크라이나 등에서는 도전복 착용을 표 2와 같은 조건으로 적용하기도 한다. 또한 도전복의 성능에 구분을 두어 직접활선작업용과 철탑상의 작업용으로 나누기도 한다. 이 경우 도전복의 가격이 차이가 있게 된다. 도전복은 일반 작업복과 같이 일종이 소모품으로 취급하고 있어, 일정기간이 경과하여 도전복에 대한 요구성능이 저하하게 되면 교체하여 사용하고 있다.

### 4.2 국내 현황

국내에서는 송전선로 활선공법이 적용되지 않았기 때문에 활선작업용 도전복이 제작되지 않고 있다. 현재 상황에서는 송전선로 활선공법이 적용될 경우 외국으로부터 수입에 의존할 수밖에 없는 상황이다.

국내에서 송전선로의 활선작업은 간접활선으로 이루어지고 있다. 즉, 작업자가 전선에 접근하여 작업하는 것이 아니고, 철탑에서 핫스틱(hot stick)에 의해 간단한 작업만을 수행하는 방식이다. 따라서 도전복을 착용하지 않고 방염복만을 착용하고 작업하는 것이 일반적이었다. 그러나 최근에는 전기적 유도현상으로 작업의 불편함을 느껴 일본에서 사선작업용 도전복을 수입하여 착용하는 경우도 있다. 따라서 국내에서도 활선공법의 활용화를 목전에 두고 있고, 사선작업에서도 유도문제로 인해 작업의 불편함을 호소하는 작업자가 늘고 있는 상황에서 도전복의 개발 필요성이 커지고 있는 실정이다.

## 5. 결 론

최근 765kV 송전선로에 활선공법을 적용하기 위한 기술개발이 완료되었고, 현재에는 초고압 송전선로에 활선공법을 적용하고자 추진 중에 있다. 그러나 활선공법 적용에 있어 가장 중요한 작업자 보호용 도전복 개발이 국내에서 이루어지지 않아 수입에 의존해야 할 형편에 놓여 있기에, 본 연구에서는 도전복 개발의 필요성이 크다고 보고, 향후 도전복 개발을 위한 기초자료 활용목적으로 도전복에 대한 외국의 현황과 관련 기술의 항목과 내용에 대해 제시하여 보았다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 한은경, 오경화, “전자과 차단 의류소재 및 방호복 개발(I)”, 한국섬유공학학회지, 제35권, 제8호, 1998
- [2] 홍경화, 오경화, “전기전도성 의류소재의 제조 및 물성에 관한 연구”, 한국섬유공학학회지, 제23권, 제4호, 1999
- [3] IEC 60895 Live working - Conductive clothing for use at normal voltage up to 800kV a.c and ±600kV d.c
- [4] P.W.Hotte, G.Gela atc. " Electrical performance of conductive suits" IEEE. 1995