

송전선로 직접활선공법의 위험요인과 안전대책에 관한 연구

- A Study on the Hazard Factor and Safety Management at Transmission Line During Live Line Works -

최 승 동 *

Choi Seung Dong

강 경 식 **

Kang Kyong Sik

Abstract

This study was attempted to analyze risk factors and suggest accident prevention in live line works for power transmission lines to be developed and applied in Korea. Safety problem cannot but occur at development of live line works and application to the field. With respect to this, problems likely to occur in the field among works adopting methods of works including live line works for power transmission lines were investigated and analyzed through documentary survey and risk assessment method. The results are summarized as follows. A risk assessment method model was suggested. This method enables scientific and systematic development of safety control. That is, the owner may autonomously induce safety control and build risk assessment database by work process to use them as best training data for workers. Also, in the field, it may induce all workers to participate in safety program and secure safety by making workers seek for safety working method under smooth flow from looking at risk factors to accident prevention activities. It is deemed that this humble study will prevent both accident and injury likely to occur in live line works for power transmission lines.

Keywords : safety control, accident prevention activities

† 본 연구는 명지대학교이 안전경영연구소지원에 의하여 연구되었음.

* 명지대학교 산업공학과 박사과정

** 명지대학교 산업공학과 교수

2006년 6월접수; 2006년 6월 수정본 접수; 2006년 6월 게재확정

1. 서론

우리나라 765kV 송전선로에 대한 활선작업은 필요불가결한 사항이다. 초고압 송전선로의 활선작업은 매우 위험한 작업이며, 특히 인명과 직접적인 관련이 있기 때문에 위험성이 매우 크다. 초고압 선로에서의 활선작업을 위해서는 송전선로 주변에서 작업자에게 미칠 수 있는 전기적인 영향, 활선장비의 안전성확보, 활선작업에 대한 기술적인 지침, 활선작업의 공법 등이 사전위험성평가가 이루어져 위험성을 충분히 파악하고 제거할 수 있도록 하여야 한다.

본 논문에서는 직접활선공법이 개발되어 상용화에 돌입함에 따라 안전한 작업을 수행하고 사고 없이 작업이 수행될 수 있도록 작업 단계에서 사전위험요소를 도출하고, 그 위험요소의 재해발생가능성과 재해피해심각도를 정량화하고 이를 통하여 안전대책의 우선순위를 결정하고 안전대책을 실시할 수 있도록 사전위험성평가를 효율적으로 수행하는데 필요한 직접활선공사의 위험성평가모델을 제시함과 동시에 안전관리지침을 제시하여 근로자가 작업 중에 발생되어지는 사고와 재해를 과학적이고 합리적으로 방지 및 예방하고자 한다.

2. 국내개발 직접활선공법의 분석

2.1 현수지지점의 활선접근 공법

가이드레일공법에 의한 현수지지점에서의 활선접근 방법의 순서를 보면 <표 2-1>과 같다.

<표 2-1> 현수지지점 활선접근공법 흐름도

순서	공정명	작업방법
①	활선작업준비	- 작업장내 장비, 공구류 준비 및 이상유무 점검한다. - 작업상황 토의 및 작업내용 지시한다.
②	철탐암작업대 및 작업사다리 설치	- 철탐 암주재의 앵글에 작업가대나 작업사다리를 설치한다. - 트롤리에 직접 활선작업대 설치한다.
③	접지축 아킹혼 해체	- 철탐암 작업대를 이용하여 해체하는 방법(철탐암작업대에 작업자가 었드려 누운 상태에서 아킹혼 탈착) - 철탐암 끝에 작업사다리를 설치하여 해체하는 방법(철탐암 끝단에 사다리를 설치한 후 작업자가 내려가서 해체하는 방법)
④	가이드레일세트인상 및 설치	- 가이드레일세트(브라키트, 레일, 트롤리 등)를 철탐암으로 올려준다. - 가이드레일을 철탐암에 설치한다.
⑤	폴리머애자와 활선작업대 인상 및 설치	- 폴리머애자, 활선작업대를 철탐암으로 올려준다. - 트롤리에 폴리머애자 및 활선작업대를 설치한다.

⑥	활선접근상태 이상 유무확인	- 절연로프를 당겨 작업자없이 활선작업대를 전선측으로 이동시킨다. - 전선과의 일정거리에서 작업자는 활선작업대를 전선과 등전위 시킨다.
⑦	활선작업자 활선접근	- 트롤리 절연로프를 당겨 활선작업자를 전선 측으로 이동시킨다. - 전선과의 일정거리에서 작업자는 활선작업대를 전선과 등전위 시킨다.

(1) 활선작업 준비

활선작업을 수행하기 위해 작업자는 필요한 장비를 작업하고자 하는 첩탑으로 운반하여야 한다. 운반은 차량을 이용하거나 차량 접근이 어려운 경우에는 작업자가 직접 운반할 수밖에 없다. 장비가 운반되면 작업자는 흙이나 먼지 등에 의해 장비나 공구에 이상이 없도록 하기 위해 바닥에 공구포를 깔고, 그 위에 장비나 공구류를 진열한다. 진열한 후에는 장비나 공구의 이상 유무를 점검하고 확인한다. 특히 활선작업자용 도전복 세트에 대해 저항값을 측정하고 이상 유무를 철저히 확인하여야 한다. 절연체의 경우에는 손상된 상태나 오염 상태를 확인하고, 이상이 있다고 여겨지면 교체한다. 또한 작업 전에 작업 상황을 충분히 작업자에게 인식시켜야 하며, 작업에 차질이 없도록 지시하여야 한다. 이 같이 활선작업을 준비하는 단계에서 많은 것들이 점검되고 확인되어야 한다.

(2) 첩탑암작업대 또는 작업사다리 설치

첩탑암 끝단부에서 해야 할 작업을 보다 편리하게 할 수 있도록 첩탑암작업대를 사용한다. 현수지지점에서 활선작업을 하기 위해서는 먼저 전기적 안전성 확보를 위해 접지측 아킹혼을 제거하여야 하므로 첩탑암작업대를 가장 먼저 첩탑으로 올려주어서 설치를 하여야 한다. 첩탑암작업대보다 작업사다리를 사용하는 것이 더 편리할 경우에는 작업사다리를 이용할 수 있다. 지상 작업자가 첩탑암으로 첩탑암작업대 또는 작업사다리를 올려주면, 첩탑암에 이를 설치한다.

또한 첩탑암작업대는 물론 모든 자재는 정전유도현상을 고려하여 첩탑내부에서 운반하는 것이 기본이다.

(3) 현수애자장치의 접지측 아킹혼 해체

첩탑암에 작업대나 사다리가 설치된 후에는 작업자가 이를 이용하여 접지 측 아킹혼을 떼어낸다. 이때 아킹혼의 중량으로 인해 아킹혼이 탈락될 수 있으므로 이를 방지하기 위해 먼저 아킹혼을 로프로 묶은 후 볼트를 해체하여야 한다. 작업자가 볼트를 해체한 후에는 첩탑암에 있는 작업자가 아킹혼을 들어 올린다.

(4) 가이드레일세트 인상 및 설치

아킹혼을 해체한 후에는 지상작업자가 가이드레일세트, 즉 브라키트, 가이드레일, 트롤리와 절연로프 등을 올려준다. 첩탑암에 있는 작업자가 이를 받아서 첩탑암 끝단부터 브라키트와 가이드레일을 설치한다. 가이드레일의 크기는 기본이 1.5m이다. 따라서 활선작업을 하고자 하는 첩탑암의 길이와 가이드레일의 수량을 산정하여 필요한 수만큼 가이드레일을 준비한다.

첩탑암 위에서 가이드레일을 설치할 때, 가이드레일의 길이가 길어서 정전유도현상으로 때론 작업자 손에 큰 느낌의 전기적 충격이 있을 수 있다. 따라서 가이드레일의 정

전유도 현상으로부터의 충격을 방지하기 위해서는 반드시 도전복을 착용하여야 한다.

(5) 폴리머애자와 활선작업대 인상 및 설치

가이드레일세트가 연결조립이 된 후, 지상 작업자가 폴리머애자와 활선작업대를 철탑으로 올려주면, 철탑 작업자는 트롤리의 끝단에 폴리머애자를 연결한다. 폴리머애자는 활선작업자에게 매우 중요한 장비 중의 하나로서 활선작업자를 전기적으로 절연시켜 주고, 지지하는 역할을 한다. 765kV 송전선로에서 애자련의 길이는 지역에 따라 다르기 때문에 먼저 활선작업 위치의 애자련 길이와 필요한 폴리머애자를 고려하여 작업준비를 하여야 한다. 또한 폴리머애자 소요길이를 계산할 때는 트롤리 길이, 활선작업대 높이 등도 충분히 감안해야 한다.

(6) 활선접근상태 이상 유무 확인

가이드레일세트, 폴리머애자 및 활선작업대가 설치된 후에는 전체적인 연결상태의 이상 유무를 확인하는 측면에서 작업자가 탑승하지 않은 활선작업대를 전선 측으로 이동시켜서 전선과 접촉시켜 등전위 상태를 만든 후, 약 1분정도 그대로 유지한다. 활선작업대가 전선과 등전위가 된 후에는 전기적으로 이상 유무를 확인한다. 전체적으로 이상이 없으면 활선작업대를 원 위치 시켜서 활선작업자가 탑승할 수 있도록 한다.

(7) 활선작업자 활선접근

활선접근 준비에 이상이 없음을 확인한 후 활선작업자는 철탑 주주재 위치에서 활선작업대에 탑승한다. 활선작업자가 탑승을 한 후에는 철탑 내 보조 작업자는 절연로프를 당겨 활선작업대를 전선 측으로 천천히 이동시킨다. 활선작업대가 전선과 가까워짐에 따라 활선작업자는 등전위봉으로 활선작업대와 자신을 전선과 같은 전압으로 등전위를 시킨다. 등전위가 되면 작업자는 활선작업대 내에 위치하면서 유지보수 작업을 하거나 또는 활선작업대에서 이탈하여 전선위로 이동하여, 유지보수를 할 수 있게 된다. 이 상과 같은 방법에 의해 765kV 송전선로의 현수지지점에서 활선에 접근하게 된다.

2.2 직접활선작업의 수행조건

- (1) 직접활선작업은 작업의 안전이 보장되는 일정한 기후조건, 즉 온도는 $-20^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$, 습도는 90% 이하, 풍속은 10m/s 이하에서만 작업을 하여야 한다.
- (2) 기타조건으로 철탑이나 전선에 결빙현상이 있거나, 작업도중 날씨가 갑자기 나빠지거나, 비가 오는 날은 작업을 중지한다.

2.3 작업 시 절연이격거리

- (1) 절연이격거리라 함은 활선상태에 있는 작업자와 대지와 의 거리를 말한다.
- (2) 765kV 송전선로에서는 직접활선작업시 절연이격거리 기준을 5.1m로 적용한다.

2.4 가이드레일 설치시 준수사항

- (1) 가이드레일을 철탑위로 운반하는 경우에는 가급적 철탑내부에서 운반한다.
- (2) 가이드레일의 정전유도 현상으로 인한 전기적 충격을 방지하기 위해 도전복을 착용한다.
- (3) 도전복을 착용하지 않은 경우에는 접지선을 이용하여 가이드레일을 철탑과 접지시킨 후 설치한다.
- (4) 공구나 자재, 부품은 작업실수에 의해 철탑에서 떨어지는 것을 방지하기 위해 작업 전에 절연로프를 이용하여 철탑에 묶는다.

2.5 활선작업대 설치 이상유무 확인 방법

- (1) 활선작업대 설치가 완료된 후, 보조 작업자가 트롤리에 연결된 절연로프를 당기기 전에 활선작업 책임자는 철탑아래의 지상 작업자에게 철탑으로부터 8m 이상 떨어지도록 지시한다.
- (2) 무인의 활선작업대를 이동시켜 활선과 등전위 상태를 1분간 유지하면서 폴리머에자나 절연로프 등에 전기적으로 이상이 있는지를 확인한다.
- (3) 이상이 있는 것으로 여겨지면 즉시 활선작업대를 철탑 주주재로 원 위치시키고, 장비를 재검증하고 이상이 없도록 한다.

2.6 활선작업자 활선 접근 및 등전위화 방법

- (1) 활선작업대 설치상태의 이상유무 확인 후, 활선작업대에 활선작업자가 탑승한다.
- (2) 활선작업대에 탑승한 작업자는 도전복에 있는 등전위 전선을 활선작업대에 연결 고정하여 자신과 활선작업대를 등전위로 만든다.
- (3) 활선작업대에 탑승한 작업자는 등전위봉을 양손에 쥐 후, 보조 작업자에게 절연로프를 당기도록 신호를 보낸다.
- (4) 철탑내 보조 작업자는 트롤리에 연결된 절연로프를 천천히 당겨 활선작업대를 활선에 접근시킨다.
- (5) 활선작업자는 전선과의 거리가 약 0.5m 정도 떨어진 위치에서 활선 접촉시 사용하는 봉을 전선에 순간적으로 접촉시켜, 등전위를 시킨후, 다시 활선 접촉상태 유지봉을 전선에 끼워 고정시켜 전선과의 등전위 상태가 확실하게 유지되도록 한다.
- (6) 활선작업대가 활선에 접근한 후, 철탑내 보조 작업자는 트롤리에 연결된 절연로프를 철탑주재에 단단히 묶어 트롤리가 움직이지 않도록 조치한다.
- (7) 활선작업 책임자는 활선작업자가 작업하는 동안 활선작업자의 모든 행동을 주시해야 하고, 이상이 있을 시에는 즉시 시정하도록 해야 한다.

2.7 활선작업시 준수사항

- (1) 활선작업장의 전기적인 안전성 확보를 위해 작업전에 아킹혼을 제거 한다. 해체하기 전에 먼저 절연로프로 양측 아킹혼을 단단히 묶어 작업자 실수에 의해 탈락하지 않도록 하며, 아킹혼 고정볼트를 풀어낸 후, 철탑위에서 아킹혼을 들어 올린다. 작업자가 애자런 위에서 빠져나오기 전에 아킹혼을 들어 올리지 말아야 한다.
- (2) 활선작업자가 공구나 자재를 전달할 때는 작업자가 실수가 있어도 탈락되지 않도록 안전성을 확보하여 전달한다.
- (3) 활선작업자가 공구나 자재를 전달 받을 때는 반드시 등전위봉을 이용하여 등전위 시킨 후 잡아야 한다.
- (4) 활선작업자는 불필요한 행동을 해서는 안 되며, 전선위에 서서 작업해서는 안된다. 가급적 작업대 내에서 작업하는 것이 필요하다. 전선보다 높은 위치에 있는 애자를 접촉해야 할 경우에는 반드시 등전위를 시킨후, 접촉하여야 한다.
- (5) 활선작업자에게 자재나 공구를 전달할 때, 자재나 공구를 직접 위에서 아래로 수직방향으로 전달하지 말고, 철탑 주주개 방향에서 전달되는 것과 같이 수평방향으로 전달함으로써 절연로프의 길이를 충분히 확보한다.
- (6) 아킹링이 있는 상태에서 작업자가 활선작업대에서 전선으로 이동하거나 작업할 경우, 작업자는 반드시 아킹링보다 낮게 위치하여야 하며, 몸을 가급적 숙여 이동하거나 작업하여야 한다.
- (7) 현수애자장치에 활선작업시 전선측 아킹링은 제거하지 않는다.
- (8) 전선 위의 활선작업자는 반드시 아킹링보다 낮은 위치에 있어야 한다.
- (9) 활선작업대에서 작업자가 전선으로 이동을 하여도, 활선작업대는 제거하지 않는 것으로 한다.

3. 직접활선공법의 안전성 고찰

고찰한 내용을 요약하면 다음 <표 3-1>과 같다.

<표3-1> 위험종류에 따른 안전대책의 요약

위험의 종류	영향	대책
전계의 영향	초고압 선로의 전선주위에는 매우 높은 전계강도가 나타나는데 그로 인하여 영향을 미칠 수 있다. 전계의 강도가 82~127kV/m 범위로 나타났는데, 현재 한국에서 일반인에 대한 규제치는 3.5kV/m 이며,	전계의 영향에 대한 근로자 보호대책으로 반드시 도전복 착용과 작업위치별 작업시간제한 등을 적용함으로 가능하다. 국내에서도 작업을 기준으로 한 규제치를 제정할 필요성이

	ICNIRP에서는 8.33kV/m를 적용하고 있다.	있다.
자계의 영향	송전선로에 흐르는 부하전류에 의한 자계의 영향으로 근로자에게 영향을 미칠 수 있다. 한국에서 적용하는 일반인의 자계강도 허용기준은 833mG인데, 선로주변의 자계강도는 일반인에 대한 규제치 보다 훨씬 큰 것으로 나타났다.	자계의 영향에 대한 근로자 보호대책으로 자계강도가 이격거리에 따라 급격히 저감되는 특성을 이용하여 도전복 · 도전장갑을 착용하는 것과 활선공법측면에서 검토하는 것이다.
충·방전 전류의 영향	충전전류에 의한 영향으로 강한 전계에 의해 도전복에 충전된 전류가 인체를 흘러 작업자에게 영향을 미칠 수 있는데 기준은 0.6mA로 규정(러시아)하고 있다. 또한 활선작업자가 다른 전위를 갖는 물체와 순간적으로 접촉 시 발생될 수 있는 방전전류로 방전시 근로자는 순간적으로 고통을 느낄 수 있는데 기준은 1A 이하로 규정하고 있다.	충전전류에 대한 영향을 줄이기 위하여 도전복 설계로 가능하며, 도전복과 인체와의 전위차를 20V 이하로 규정하여 설계하고 있고, 방전전류의 영향에 대한 대책으로는 적절한 도전복 재질로 해결가능하다.
섬락발생의 영향	섬락발생(개폐써어지)으로 인한 작업자 영향으로 근로자의 인명피해 및 섬락사고 발생가능성의 위험이 있다.	작업근로자에게 개폐과전압으로 인한 섬락현상이 발생되지 않도록 하는 방법으로 절연이격거리를 확보하고 작업하는 방법이지만, 직접활선공법에서는 러시아에서 공법 개발시 적용하고 있는 직접 활선공법 안전성평가(Etimation of safety level for live line works)를 적용하는 것이다.
추락·낙하 · 협착 위험	철탑 상에서 작업이 이루어지고 있으므로 추락에 대한 위험과 자재나 공구의 낙하 및 낙하물에 의한 위험, 그리고 작업 중 발생할 수 있는 협착위험이 있다.	추락사고 방지대책으로는 안전대착용·사용하여 작업하고, 안전대를 사용할 수 있도록 생명줄을 설치한다. 낙하물 위험은 낙하물이 발생하지 않도록 철저히 관리하며, 협착사고는 작업중 안전하게 작업하는 것이다.

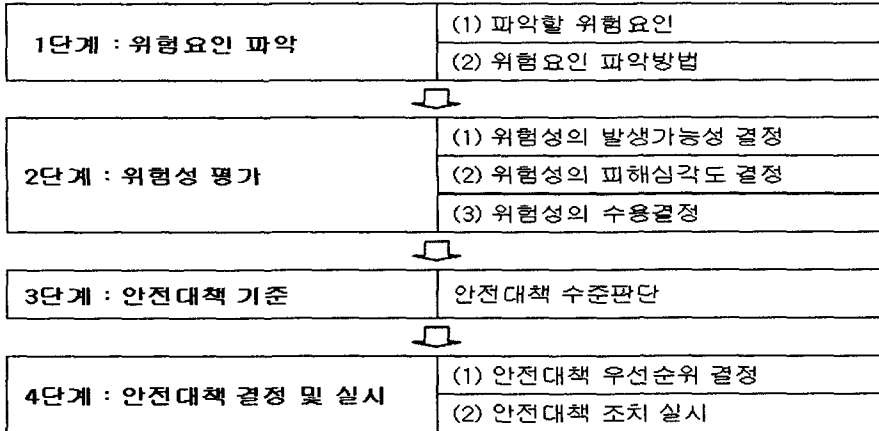
4. 직접활선작업의 위험성평가 적용

4.1 직접활선작업의 위험성평가모델

4.1.1 위험성 평가 절차

직접활선작업의 위험을 도출하기 위하여 시스템분석 기법을 적용하였으며, 안전성 확

보를 위한 위험성평가의 절차는 [그림 4-1]과 같다.



[그림 4-1] 위험성평가 절차

4.1.2 1단계 : 위험요인의 파악

직접활선작업의 위험성 평가의 1단계는 작업공정의 위험요인을 파악하는 것이다. 이는 현장에서 피해를 일으킬 가능성이 있는 것을 찾아냄을 뜻한다. 이 단계에서는 현장에서 존재하는 모든 위험요인이 파악되어야 한다. 현장의 위험요인이 항상 분명히 드러나는 것은 아니다. 몇몇 위험요인은 즉시 피해를 입히기 보다는 장기적으로 건강에 영향을 미칠 수 있다. 예를 든다면 전자계에 장기적으로 노출시 건강상에 문제가 야기될 수 있다.

1) 파악할 위험요인

위험요인은 <표 4-1>를 참조하여 정하였다.

<표 4-1> 피해를 야기할 수 있는 위험요인과 피해형태

구분	위험 요인	구분	피해 형태
물리적 인자	충격, 분쇄, 협착, 추락, 낙하 전기적 위험, 기계적 위험 소음, 진동, 화상 및 열상	누출	중독, 직업병, 화재·폭발
작업환경 인자	조명, 환기, 온도, 습도, 작업장 상태, 작업장 여건	상해	추락, 협착, 물림, 전도, 미끄러짐, 접촉, 절단 등
화학적 인자	저장, 취급, 누출, 유해·위험물질	상해	물체의 낙하, 끼임, 회전말림 등
인적 인자	스트레스, 과로, 근골격계 질환 뇌심혈관 질환	화재·폭발	화상, 파손 등
기타	운송 및 이송, 장비 및 취급구 분야	기타	근골격계 질환, 감전 등

2) 위험요인 파악 방법

직접활선공법의 작업공정별로 분류하여 각 분야별로 설계연구자, 송전활선원, 활선전문가, 안전전문가와 상담하여 정보를 입수 및 직접활선공법시연회 동영상을 분석하였으며, 직접활선작업은 국내처음으로 시행중에 있으므로 사고사례가 전무하여 노동부가 발간하는 재해통계의 과거 3년간('02~'04년) 산업재해 중 건설업을 중심으로 분석하는 등 종합적으로 파악하였다.

3) 파악된 위험요인

파악된 위험요인은 <표 4-2>과 같이 위험성 평가표에 기록한다.

<표 4-2> 위험성 평가표

대상 작업	위험성 평가표 (Risk Assessment)						평가 일자	년 월 일
	평가 자		피해 형태	현행 안전조치	위험성 평가			
순서	세부 공정	파악된 위험요인			F	S	R	안전 대책 등급
※ 위험성 평가 F: 위험요인으로 인해 피해가 발생할 가능성을 <표 4-3>을 기준으로 부여한다. S: 위험요인으로 인해 발생할 수 있는 피해심각도를 <표 4-4>를 기준으로 부여한다. R: F×S를 부여한다.								

4.1.3 2단계 : 위험성 평가

2단계에서는 1단계에서 파악된 위험요인과 관련된 위험성을 평가한다.

위험성은 위험요인으로 인해 사망, 상해, 질병이 발생할 수 있는 가능성을 의미한다. 위험성을 평가하기 위해서는 가능성과 심각성 모두를 고려해야 한다. 위험성평가 방법은 위험성의 순위를 결정하는 방법이며 안전대책을 결정하고 수행하기 위한 것이다.

1) 위험의 발생가능성 결정

일반적으로 노출빈도가 높을수록 재해가 발생할 가능성이 높은 것을 고려하여 노동부가 발간하는 재해통계의 과거 3년간('02~'04년) 산업재해 중 건설업의 재해발생형태별 분석에서 재해발생점유율로 결정하였다. 발생가능성 구분 및 평가는 <표 4-3>와 같이 사고 발생 가능성이 대단히 높고 재해의 30%이상 점유인 것은 4, 사고 발생 가능성이 비교적 높고 재해의 10%~30%미만 점유인 것은 3, 사고 발생가능성이 보통 수준이고 재해의 5%~10%미만 점유인 것은 2, 사고 발생 가능성이 낮고 재해의 5%미만 점유인 것은 1로 구분하였다.

<표 4-3> 위험 발생가능성 구분 및 평가

가능성 구분	내 용	가능성 수준
매우자주	사고발생 가능성이 대단히 높음 재해의 30%이상 점유	4
가끔	사고발생 가능성이 비교적 높음 재해의 10%~30%미만 점유	3
드물게	사고발생 가능성이 보통 수준 재해의 5%~10%미만 점유	2
거의 발생하지 않음	사고발생 가능성이 낮은 수준 재해의 5%미만 점유	1

2) 위험의 피해심각도 결정

피해결과를 산출하기 위해서는 가능한 결과의 정도를 판단해야 한다. 위험요인 파악 단계에서 수집된 정보를 검토하여 노동부가 발표한 과거 3년간 산업재해 중 건설업의 재해발생정도(치료예상기간)별 분석에서 위험의 피해심각도를 결정하였다. 피해심각도를 <표 4-4>와 같이 사망은 4, 재해발생 강도가 대단히 높고 요양기간이 90일 이상인 것은 3, 재해발생 강도가 보통수준이고 요양기간이 15일~90일 미만인 것은 2, 재해발생 강도가 낮고 요양기간이 14일 미만인 것은 1로 구분하였다.

<표 4-4> 위험 피해심각도 구분 및 평가

피해심각도 구분	내 용	심각도 수준
심각	사 망	4
중대	재해발생 강도가 대단히 높음 요양기간이 90일 이상	3
경미	재해발생 강도가 보통 수준 요양기간이 15일~90일 미만	2
무시	재해발생 강도가 낮음 요양기간이 14일 미만	1

3) 위험성의 수용여부 결정

산정된 각각의 위험발생가능성과 위험피해심각도를 <표 4-5>과 같은 Matrix의 형태를 설정하여 위험성 수준이 11~16은 수용할 수 있는 위험성, 위험성 수준이 6~10은 실질적 위험성, 위험성 수준이 3~5는 중간위험성, 위험성수준이 1~2는 수용할 수 있는 위험성으로 설정하여 직접활선공사시 위험성 수용여부를 결정하였다.

<표 4-5> 위험성 수용여부 결정 기준

발생가능성	피해심각도	무시	경미	중대	심각
	수준	1	2	3	4
거의 없음	1	1	2	3	4
드물게	2	2	4	6	8
가끔	3	3	6	9	
매우 자주	4	4	8		

4.1.4 3단계 : 안전대책기준

안전대책기준은 <표 4-6>과 같다. 위험성이 수용될 수 있는가에 대하여 판단 및 안전대책 판단기준은 기본적으로 산업안전보건법, 동법시행령, 산업안전기준에 관한규칙, 산업보건에 관한 규칙 및 관련 노동부 고시에 정하는 기준을 만족해야 한다.

<표 4-6> 안전대책의 기준

안전대책 기준	위험성 수용여부 수준	안전대책 내용
A	수용할 수 없는 위험성 (위험성 수준11~16)	즉시 작업중단
B	실질적 위험성 (위험성 수준6~10)	긴급안전대책을 세운 후 작업하되 계획된 기간에 안전대책 수립
C	중간 위험성 (위험성 수준3~5)	계획된 기간에 안전감소대책을 수립
D	수용할 수 있는 위험성 (위험성 수준1~2)	현재의 안전대책 유지 표준작업안전교육, 관리적 대책

4.2 직접활선작업의 위험성평가 적용사례

직접활선작업시 위에서 제시한 위험성평가모델로 직접활선작업에 대하여 위험성평가를 실시하였다. 위험성평가에 따른 내용을 정리하면 다음과 같고, 직접활선작업에 위

험성평가 적용이 타당한 것으로 사료된다.

4.2.1 위험요인

직접활선작업의 위험요인을 정리하면 일반 건설공사에서 볼 수 있는 위험요인과 동일하게 분석되었는데 첫째, 고소작업으로 작업자가 작업을 위하여 투입·이동 및 작업 중에 추락위험이 아주 높은 것으로 분석되었고 둘째, 자재인양 및 설치를 위한 작업 중 낙하우려가 있거나 낙하물로 인한 사고위험이 있는 것으로 분석되었고 셋째, 유지·보수작업 중에 협착사고 및 무리한 작업으로 인하여 근골격계에 부담이 생기는 것으로 분석되었고 넷째, 문제로 생각되었던 감전위험이나 화상위험이 거의 없는 것으로 분석되었다.

4.2.2 위험성 평가

세부작업별 위험성평가 내용을 살펴보면 안전한 작업을 위하여 작업발판을 설치하여야 하나 미설치하고 작업을 하고 있으며, 안전대를 착용하고 작업할 수 있도록 안전대 부착설비인 수평·수직생명줄을 설치하여야 하나 미설치 하고 작업하고 있어, 최우선의 안전대책 사항으로 결정되었으며, 그다음으로는 낙하물 사고이다.

4.2.3 안전대책

추락사고 방지를 위해서는 작업공간에 안전한 작업발판을 설치 하는것이고, 작업발판을 설치할 수 없는 곳은 안전대를 착용하며 안전대를 걸수 있도록 안전대 부착설비를 작업 전에 미리 설치하여 작업중에 작업자가 사용할 수 있도록 해야 하며, 낙하물사고 방지를 위해서는 낙하되지 않도록 로프체결을 확실히 하여야 하며, 낙하물에 의한 재해를 예방하기 위해서는 작업을 진행하는 철탑하부에 작업자가 들어가지 않도록 출입을 통제하여야 하며, 필요시는 관리감독자 통제를 받아야 한다.

4.2.4 위험성 평가표를 이용한 위험분석 및 안전대책 기대효과

<표 4-7>과 같이 위험성평가 기법을 적용함으로 위험요인을 정량적으로 수치화하여 작업 전·중에 위험예측이 가능하며, 발견된 위험에 대하여 위험발생가능성을 결정하고 위험성의 피해심각도를 결정하여 위험성의 판정과 수용으로 위험도가 높은 위험부터 우선적으로 관리하여 안전대책을 조치하는 과학적인 안전관리 전개가 가능하다. 위험성 평가는 사업주가 자율적으로 안전관리를 유도해 나갈 수 있도록 하는 것이며, 작업공정별 위험성 평가 DB 구축이 가능하여 근로자에 대한 최상의 교육 자료로 활용할 수 있고, 현장에서는 전 직원이 안전 활동에 참여를 유도하고 위험성평가에서 안전점검까지 자연스럽게 이루어져 현장안전관리활동의 모델이 가능하다. 근로자 스스로 안전한 작업방법을 찾아냄으로써 안전을 확보할 수 있다.

<표 4-7> 현수지지점 활선접근 위험성 평가표평가표

대상작업	현수지지점 활선접근		위험성 평가표 (Risk Assessment)				평가일자	2006년4월 29일	
	평가자	최 승 동					검토자		
순서	세부 공정	파악된 위험요인	피해형태	현행 안전조치	위험성 평가			안전대책 등급	안전대책
					F	S	R		
①	활선작업준비	자재인양시 정전유도현상 발생	감전	철탑내부에서 인양작업	1	2	2	D	현행유지
		도전복세트 저항값 기준치 이하	감전	도전복 저항값추정	2	2	4	C	도전복 성능유지
②	철탑암작업대 및 작업사다리설치	작업대 또는 사다리 설치 중 추락	추락	안전대미착용	3	4	12	A	안전대착용
		활선장비 낙하·비레	낙하	로프체결	2	3	6	B	현행유지
③	점지추 아킥흔 해체	아킥흔 제거중 추락	추락	안전대 미착용	3	4	12	A	안전대 착용
		아킥흔 낙하	낙하	로프체결	2	2	4	C	로프체결 철저
		아킥흔 미제거시 전격	전격	제거	1	3	3	C	안전
④	가이드레일세트 인상 및 설치	가이드레일 세트인양작업 중 낙하	낙하	로프체결	1	3	3	C	로프체결 철저
		브라키트의 고정볼트체결 상태 불량	낙하	고정볼트 체결불량	2	2	4	C	감독자 최종확인
		가이드레일 설치작업중 추락	추락	안전대 미착용	4	4	16	A	안전대착용
		자재인양시 정전유도현상 발생	전격	철탑내부에서 인양작업	1	2	2	C	현행유지
⑤	폴리머애자와 활선작업대 인상 및 설치	폴리머애자와 활선작업대 인양중 낙하	낙하	-	1	3	3	C	로프체결 철저
		폴리머애자와 활선작업대 설치중 추락	추락	안전대 미착용	3	4	12	A	안전대착용
⑥	활선접근상태이상유무확인				0	0	0	-	
⑦	활선작업자활선 접근	활선작업대로 이동중 추락	추락	안전대 미착용	3	4	12	A	안전대 착용
		활선작업대 탑승중 추락	추락	작업발판미설치	1	4	4	C	작업발판설치

※ 위험성 평가
 F: 위험요인으로 인해 피해가 발생할 가능성을 <표4-3>을 기준으로 부여한다.
 S: 위험요인으로 인해 발생될 수 있는 피해심각도를 <표 4-4>를 기준으로 부여한다.
 R: F×S를 부여한다.

5. 결 론

첫째, 전계의 영향으로 초고압 선로의 전선주위에는 매우 높은 전계강도가 나타나게 되는데 그로 인하여 근로자에게 영향을 미칠 수 있다. 이에 대한 안전대책으로는 반드시 도전복 착용과 작업위치별 작업시간 제한하는 것이며 이를 준수해야 작업근로자의 보호가 가능하다. 둘째, 송전선로에 흐르는 부하전류에 의한 자계의 영향으로 근로자에게 영향을 미칠 수 있다. 이에 대한 안전대책으로는 자계강도는 전선으로부터 이격거리에 따라 급격히 저감되는 특성을 이용하여 도전복·도전장갑을 착용하는 것으로 자계강도가 크게 저감할 수 있으며, 자계의 영향을 최소화하기 위해서는 활선공법측면에서 검토하는 것이 효과적이다. 셋째, 충전전류에 의한 영향으로 강한 전계에 의해 도전복에 충전된 전류가 인체를 통해 흘러서 작업자에게 영향을 미칠 수 있다. 충전전류의 영향에 대한 안전대책으로 도전복을 사용해야 하며 현재 국내에서는 IEC 60895(1987)의 기준에 따라 도전복의 성능을 규정하고 있다. 넷째, 방전전류의 영향으로 활선작업자가 다른 전위를 갖는 물체와 순간적으로 접촉 시 발생할 수 있는 전류는 방전 시 근로자에게 순간적으로 고통을 줄 수 있다. 이에 대한 근로자 안전대책은 충전전류에 대한 대책과 같이 적절한 재질의 도전복을 사용하는 것이다. 다섯째, 개폐써어지에 의한 섬락발생으로 인한 작업자 영향으로 근로자의 인명피해 및 섬락사고 발생 가능성의 위험이 있다. 이의 안전대책으로는 개폐과전압으로 인해 작업자에게 섬락현상이 발생되지 않도록 하기 위해 충분한 절연이격거리를 확보하고 작업하는 방법이다. 하지만 직접활선공법의 경우는 이 방법을 적용하기가 어렵다. 따라서 러시아에서 공법개발시 적용하는 직접활선공법안전성평가(Estimation of safety level for live line works) 방법을 국내 765kV 선로에도 적용하면 이 문제를 해결할 수 있다. 여섯째, 추락·낙하의 위험 중에서 작업 수행 중 발생가능성이 가장 높은 추락 사고방지대책으로 근로자는 반드시 안전대 착용 및 사용하여 작업에 임해야 하며, 사업주는 근로자가 안전대를 걸고 이동하거나 작업할 수 있도록 수평·수직생명줄을 설치하고, 작업이 주로 이루어지는 곳에는 작업 발판을 설치하여야 한다. 또한 낙하물사고 방지대책으로는 낙하물이 발생하지 않도록 철저히 관리하는 방법이다. 일곱째, 위험성평가를 위한 기법모델을 제시하였다. 본 기법을 적용하면 과학적이고 체계적인 안전관리 전개가 가능하다. 즉 사업주는 자율적으로 안전관리를 유도해 나갈 수 있고, 작업공정별 위험성 평가 DB 구축이 가능하며, 근로자에 대한 최상의 교육 자료로 활용할 수 있고, 현장에서는 근로자 모두 안전 활동에 참여를 유도하여, 위험요인 파악에서 안전대책까지 자연스럽게 이루어져 근로자 스스로 안전한 작업방법을 찾아냄으로써 안전을 확보할 수 있다.

6. 참고 문헌

- [1] 김효진(2005), 「765kV 송전선로 직접활선공법」, 산업자원부 기술표준원, 활선작업분야 기술세미나 (2005) : 29-129.
- [2] 노동부(2003), 산업재해분석 (2003)
- [3] 노동부(2004), 산업재해분석 (2004)
- [4] 노동부(2005), 산업재해분석 (2005)
- [5] 산업자원부, “초고압 송전선로 활선공법 및 관련장비 개발을 위한 조사연구” (2002)
- [6] 산업자원부, “초고압 송전선로 활선공법 및 관련장비 개발” (2003)
- [7] 산업자원부, “초고압 송전선로 활선공법 및 관련장비 개발”
- [8] 산업자원부, “초고압 송전선로 활선공법 및 관련장비 개발” (2005)
- [9] 산업자원부, “765kV 송전선로 활선작업시 전기적 섬락특성 연구” (2005)
- [10] 산업자원부(2005), 「기술표준원 기간산업기술표준부 전기기기표준화, 활선작업지침서」 : 1-2
- [11] 이영순, 최재욱, 김형수의, 「사업장 유해·위험성 평가기법 개발 및 국내 적용방안 연구」, 노동부.(2005)
- [12] 이형권, 「765kV 현수철탑작업자의 전기안전성 연구」, 산업자원부 기술표준원, 활선작업분야 기술세미나 (2005) : 131-142
- [13] 이형권, 김효진, 「초고압 송전선로 직접활선공법 안전성 확보방안 연구」, 대한전기학회 하계학술대회 논문지.(2004)
- [14] 전광우, 「PSM 교량공사의 예비위험분석에 관한 연구」, 석사학위논문, 서울산업대학교 산업대학원.(2003)
- [15] National Grid Company of United Power System in Russia, “Elaboration of Synthetic Flexible Insulators for Live-Line Work on Overhead Transmission Line of All Rated Voltages”.
- [16] National Safety Council, “Accident Prevention Manual for Industrial Operations: Administration and Programs”, Ninth Ed., national Safety Council.(1988)
- [17] US Department of Defense, 「MIL-STD-882C System Safety Program Requirements. Military Standard System of Department of Defense in US」.(1993)

저 자 소 개

최 승 동 : 서울산업대학교 안전공학 학사, 서울산업대학교 산업대학원 안전공학 석사, 명지대학교 일반대학원 산업공학과 박사수료, 현재 한국전기공사협회 재해예방기술원 수석지도원, 관심분야는 전기안전, 건설안전, 안전경영관리, 산업위생관리 분야이다.

강 경 식 : 현 명지대학교 산업공학과 교수. 경영학박사, 공학박사
대한안전경영과학회 회장

저 자 주 소

최 승 동 : 경기도 광명시 하안1동 702번지(17/6) 고층주공아파트 502동 1410호

강 경 식 : 성남시 분당구 정자1동 SK파크뷰 611동 3103호