

감전재해 분석을 통한 배전선로의 위험성 저감에 관한 연구

변정환 · 최상원[†]

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원
(2017. 4. 5. 접수 / 2018. 1. 15. 수정 / 2018. 2. 22. 채택)

A Study on the Risk Reduction of Distribution Line through Analysis of Electric Shock Accident

Junghwan Byeon · Sang-won Choi[†]

Occupational Safety and Health Research Institute, Korea Occupational Safety and Health Agency

(Received April 5, 2017 / Revised January 15, 2018 / Accepted February 22, 2018)

Abstract : In this study, we analyze the current status of major disasters in distribution works and propose safety measures through the distribution live-line work method and electric shock risk assessment. The result of analyzing the ratio of electric shocks to the occurrence of industrial accidents in the recent 13 years shows that the death rate is higher than other industries, especially the construction industry occupying most of the disaster, and it is higher than the collapse disaster. We analyze statistic data of 101 victims selected as core words of live work, distribution line, pole and 22.9 kV in the investigation report of major accident of electric shock fatal from 2001 to 2014. The safety measure was established through the risk assessment of the distribution method using the standard model of the risk assessment based on the results of electric shock analysis on the distribution line. In order to prevent the electric shock accident which is recently being discussed, the risk assessment procedure were carried out in the above-mentioned 22.9kV special high voltage live-line operation method. We derived the risk reduction plan for the distribution line from the results of the major accidents statistic and demonstration of the line works.

Key Words : electric shock, distribution line, risk assessment, statistic

1. 서론

2016년 6월 10일 한국전력공사는 “배전작업 현장에서 작업자의 안전보건을 강화하기 위하여 직접 활선공법인 ‘전선이선공법’을 안전한 방법으로 개선할 계획”이라고 발표했다. 전선이선공법은 한국전력공사가 2001년 국내 한 업체가 개발한 공법(전선이선기구를 이용하여 전선을 이격한 후 작업공간을 확보하여 전선을 1선씩 교체하는 공법)을 전력신기술 10호로 인정하고 2004년부터 적용하였다. 지난 2014년 국정감사 자료에 따르면 2009년부터 2013년까지 이 공법으로 작업하던 중 13명이 감전사고로 사망했고, 140명이 화상 등의 재해를 당했다. 또한, ‘전선이선공법’은 작업시간이 짧고, 정전구간이 없으며, 18~20 %의 공사비용이 절감되며 인건비가 31 % 절감되는 장점이 있는 반면 활선전공에게는 작업 시 항상 감전 및 전자파에 노출되는

위험성을 가지고 있기에 한국전력공사는 ‘직접활선공법’인 ‘전선이선공법’의 사용을 중단하겠다고 선언했으나, 당장 모든 배전작업에서 직접 활선공법을 중단하는 것이 어려운 실정이다^{1,2)}. 따라서, 한국전력공사는 활선에 직접 접촉하지 않는 바이패스 케이블 공법을 가능한 최대한 활용한다고 하였으나 작업구간의 전기를 우회시키는 전선을 설치하고 작업구간의 전선을 잘라내는 공법으로 작업구간에만 전기가 흐르지 않아서 상대적으로 안전하다는 것으로, 배전선로 작업에서의 감전방지를 위한 근원적인 조치는 정전공법으로만 작업하여야 한다.

더불어 배전선로의 활선작업 근로자가 안전하고 건강하게 작업할 수 있는 환경을 만들어야 한다는 시대적 요구에 부응하기 위해서는 근로자의 안전수칙 준수나 사고 발생 단가업체 및 작업 근로자에게 불이익을 주는 것만으로는 감전재해를 예방할 수 없음을 인식하

[†] Corresponding Author : Sang-won Choi, Tel : +82-52-703-0852, E-mail : swchoi@kosha.net
(Former)Occupational Safety and Health Research Institute, Korea Occupational Safety and Health Agency, 400 Jongga-ro, Jung-gu, Ulsan 44429, Korea

고 간접활선작업이 보편화되어 있는 선진국을 벤치마킹하여 절연버킷 탑승 근로자가 배전선로의 전력선에 직접 접촉하지 않고도 작업이 가능한 스마트 공법의 현장 적용·활용성에 대한 검토도 필요하다³⁾.

다만, 산업안전보건기준에 관한 규칙 제321조(충전 전로에서의 전기작업)에서도 활선작업이 허용되는 조치가 있으므로 본 연구에서는 배전작업의 중대재해 발생현황을 분석하여 배전 활선작업에서의 재해특성 및 감전 위험성 평가를 통하여 안전대책을 제시하고자 한다. 또한 안전대책을 바탕으로 향후 산업안전보건기준에 관한 규칙의 개정 및 보완을 유도하고, 관련 기술지침 등의 개정에 요구되는 기초자료를 제공하는 것을 목적으로 하였다.

2. 배전선로의 감전재해 분석

2.1 활선작업 중대재해 분석

Fig. 1은 최근 17년간 발생한 산업재해 중 감전재해와 사망자수를 나타낸 것이다. 감전 재해자는 다소 부침현상을 보이고 있으나 꾸준한 감소 추세로 이어짐은 다른 선진국에서와 유사한 경향을 보이고 있다⁴⁾.

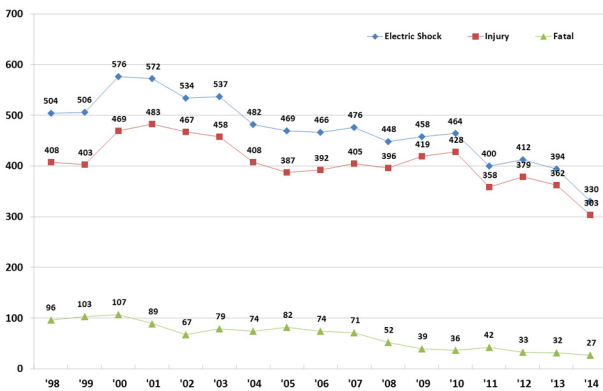


Fig. 1. The toll of fatal and injury in electric shock.

Fig. 2는 최근 13년간 발생한 산업재해중에서 재해 발생 형태 대비 감전 사망자 비율을 나타낸 것으로 사망자 비율은 타 산업, 특히 가장 많은 재해자를 점유하는 건설업에 비해서도 수배 높게 나타나고 무너짐 재해 보다는 더 높게 나타나 전기의 위험성을 여실히 보여주고 있다^{4,6)}.

Fig. 3부터 Fig. 17까지는 2001년부터 2014년까지의 감전 사망자의 중대재해원인조사보고서(797건) 중에서 활선작업, 배전선로, 전주, 22.9 kV의 중심어로 선택한 재해자 101명에 대한 자료를 분석한 것이다. 주요 특징으로는 다음과 같다.

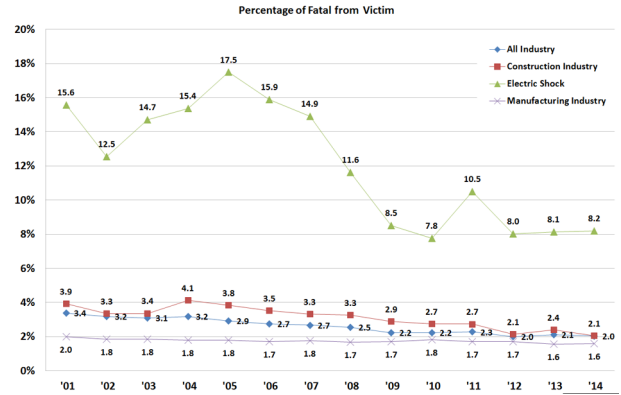


Fig. 2. The ratio of electric shock fatal by industry.

Fig. 3은 연도별 감전 사망자수로 2011년, 2012년을 제외하면 감소추세로 연간 2명 정도 발생하는 것으로 분석되었다.

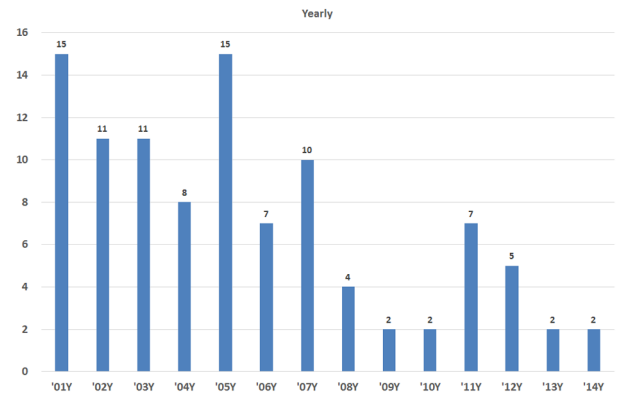


Fig. 3. The number of fatal yearly.

Fig. 4는 지역별 감전 사망자수로 경기도에서 23%로 가장 높게 분석되었다.

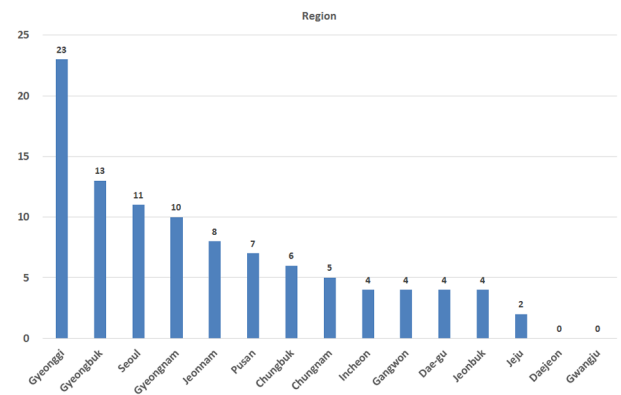


Fig. 4. The number of fatal by region.

Fig. 5은 공사종류별 감전 사망자수로 건물공사, 전기공사, 전주공사 순으로 분석되었다.

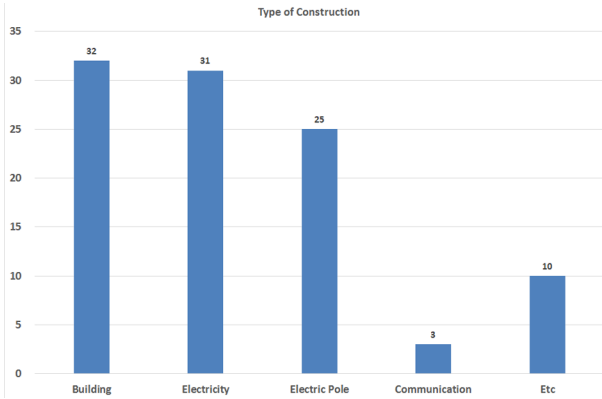


Fig. 5. The number of fatal by construction.

Fig. 6은 직업별 감전 사망자수로 전공에서 절반 이상이 발생하였다.

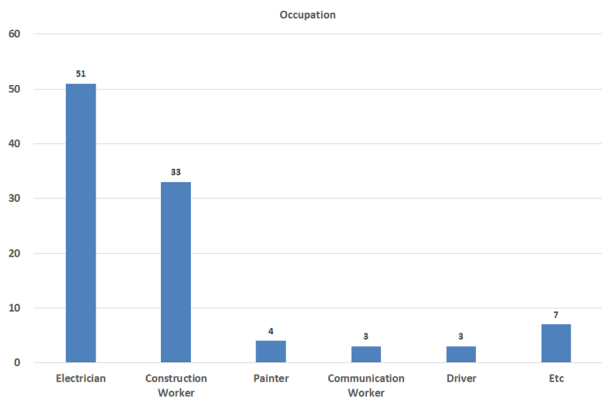


Fig. 6. The number of fatal by job.

Fig. 7은 작업별 감전 사망자수로 설치, 이동, 교체작업 순으로 분석되었다.

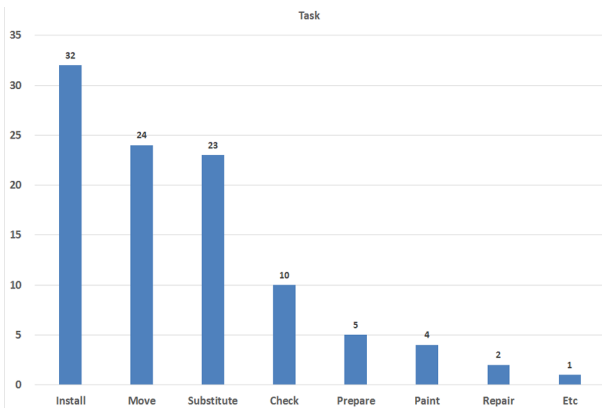


Fig. 7. The number of fatal by work.

Fig. 8은 연령대별 감전 사망자수로 30, 40대가 60%를 상회하였다.

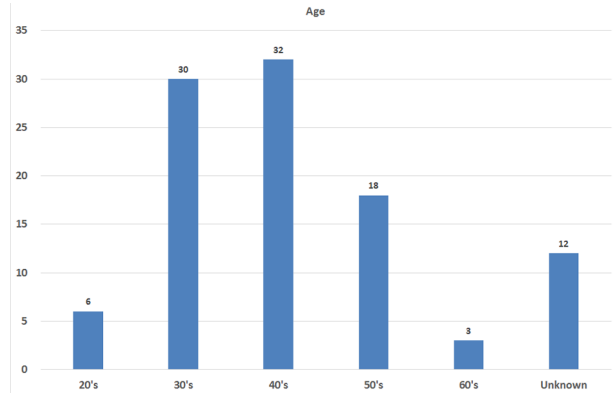


Fig. 8. The number of fatal by age.

Fig. 9는 접촉상별 감전 사망자수로 C상, B상, A상 순으로 분석되었다.

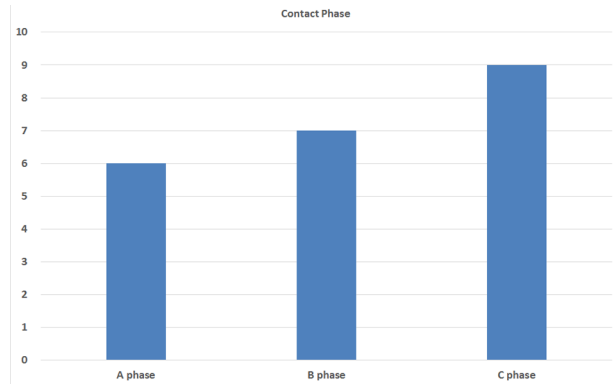


Fig. 9. The number of fatal by phase.

Fig. 10은 기인물별 감전 사망자수로 크레인 로프, 전선, COS(Cut-off Switch), 점퍼선, 강관 파이프 순으로 분석되었다.

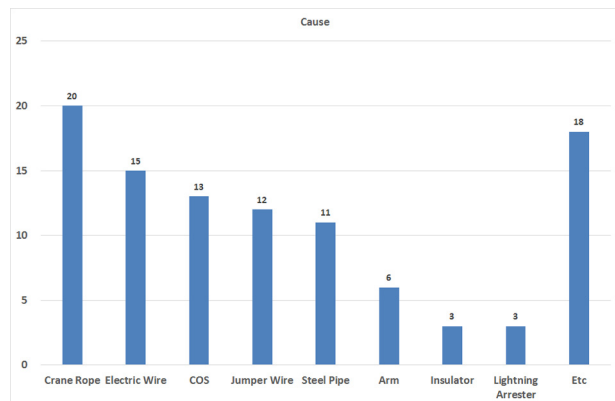


Fig. 10. The number of fatal by original cause material.

Fig. 11은 사망원인별 감전 사망자수로 감전, 추락, 화상 순으로 분석되었다.

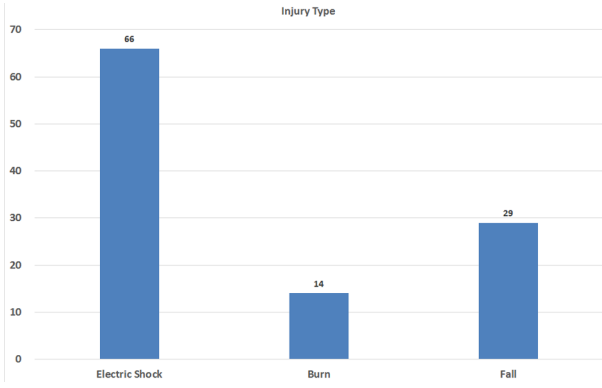


Fig. 11. The type of fatal cause.

Fig. 12는 사용 장비별 감전 사망자수로 버킷, 이동식 크레인이 높게 나타났으며 비계, 펌프가, 사다리 순으로 분석되었다. 또한, 원인불명도 약 35%를 차지하고 있어 배전선로에서 사용하는 작업 장비 및 인근 작업에서 사용장비의 연관성을 고려하여 위험성 평가 및 대책 수립이 필요한 것으로 분석되었다.

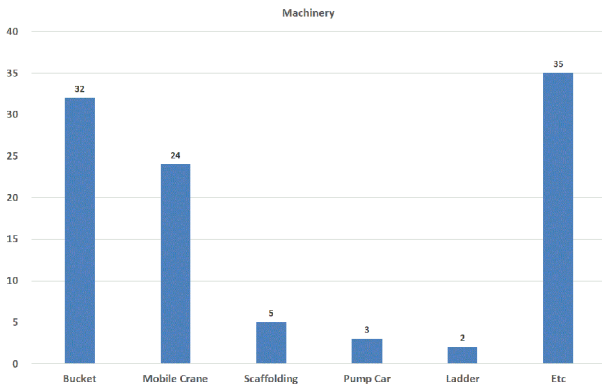


Fig. 12. The number of fatal by equipment.

Fig. 13은 감시인 배치 여부별 감전 사망자수로 감시인을 배치하였음에도 21% 정도에서 감전재해가 발생

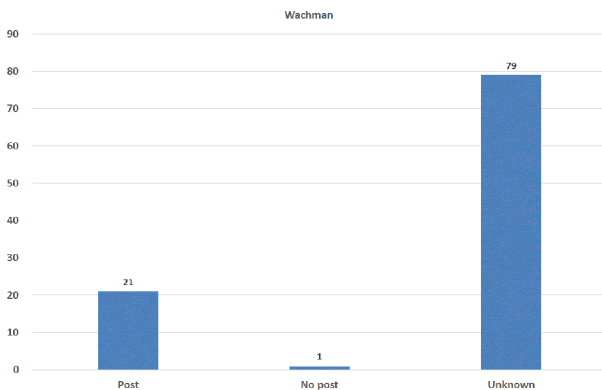


Fig. 13. The number of fatal by watchman.

한 것으로 분석되었으며, 감시인 배치여부가 확인되지 않은 경우도 79%로 분석되었다. 따라서, 배전선로에서의 감시인 배치가 감전재해를 적극적으로 예방하는데 한계가 있는 것으로 분석되었다.

Fig. 14는 불안전 상태별 감전 사망자수로 방호장치의 부적절이 80%를 상회하였다.

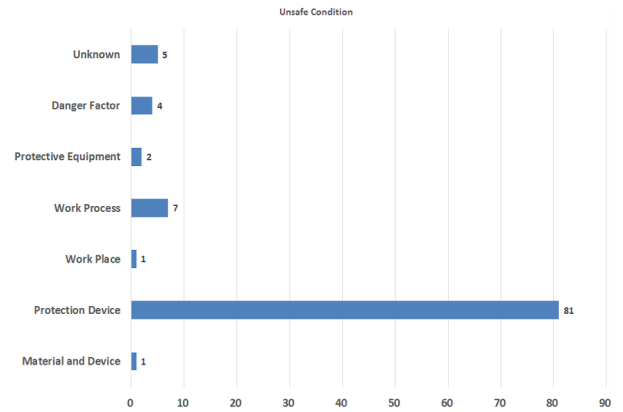


Fig. 14. The number of fatal by unsafe condition.

Fig. 15는 불안전 행동별 감전 사망자수로 작업수행 소홀 및 절차 미준수에서 약 76%로 가장 높게 나타났다.

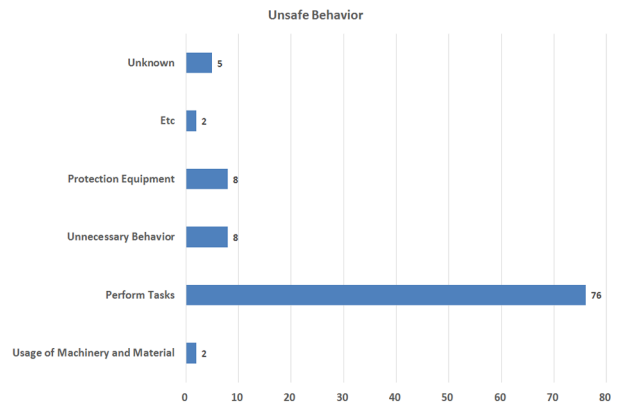


Fig. 15. The number of fatal by unsafe behavior

2.2 주요 발생형태 및 특징 분석

감전 사망자는 2011년, 2012년을 제외한다면 감소 추세로 년 간 2명 정도 발생하는 것으로 나타났으며, 지역별 감전 사망자는 경기도에서 23%로 가장 높게 나타났다.

공사별 감전 사망자는 건물공사, 전기공사, 전주공사 순으로 나타났으며, 작업별 감전 사망자는 설치, 이동, 교체작업 순으로 나타났다.

연령대별 감전 사망자는 30, 40대가 60%를 상회하였으며, 특히 전공의 연령대별 감전 사망자는 30대가 21%로 가장 높게 나타났다.

기인물별 감전 사망자는 크레인 와이어로프, 전선, COS, 점퍼선, 강관파이프 순으로 나타났으며, 사망원인별 감전 사망자는 감전, 추락, 화상 순으로 나타났다.

사용 장비별 감전 사망자는 버킷, 이동식 크레인이 높게 나타났으나 원인 불명도 약 35%를 차지하였으며, 감시인을 배치하였는데도 21% 정도에서 감전사고가 발생하였으며, 감시인 배치여부가 확인되지 않은 경우도 79% 정도에서 발생하였다.

불안전 상태별 감전 사망자는 방호장치의 부적절이 80%를 상회하여 가장 높게 나타났으며, 불안전 행동별 감전 사망자는 작업수행 소홀 및 절차 미준수에서 약 76%로 가장 높게 나타났다.

기타의 특징으로는 22.9 kV 배전선과 페인트 롤러와의 접촉에 의한 감전 사망자도 10명이나 발생되었으며, 절연 버킷이 아닌 일반 버킷에서의 사고도 1건이 있었다. 버킷의 불안전 작동(요동, 움직임, 고정 불량 등) 등 작업 방법 불량에 따른 재해도 발생한 것으로 분석되었다.

3. 배전선로의 위험성 평가와 대책

2장에서 분석한 배전선로에서의 감전재해 분석 결과를 바탕으로 감전 사망자가 해마다 발생하고 있어 최근 이슈화^{1,2)}되고 있는 22.9 kV 이상 특고압 전선 활선공법에서 감전 재해예방을 위하여 「위험성 평가 절차 표준모델」을 활용한 배전 활선공법의 위험성 평가 통하여 안전대책을 수립하고자 하였다.

3.1 위험성 평가 개요

Fig. 16은 위험성 평가를 실시한 현장에서의 배전선로 활선작업에서의 전주 교체, 애자 교체 및 장주 변경 등 작업 시연사진을 나타낸 것이다.



Fig. 16. The demonstration of live-line works.

Fig. 17은 여러 가지 배전 활선공법 종류 중의 하나인 전선이선공법의 작업 절차를 나타낸 것이다.

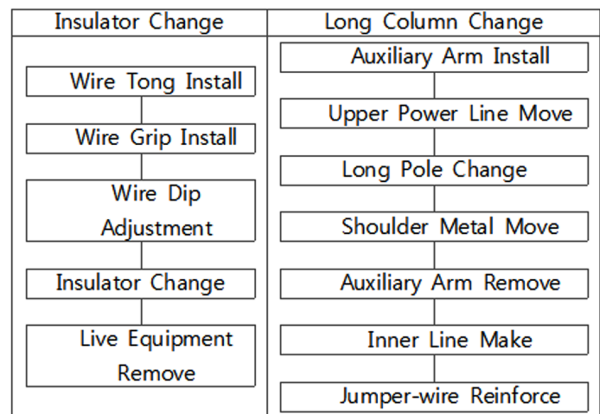


Fig. 17. The procedure diagram of distribution live-line work.

3.1.1 위험성 평가 절차 시범 모델

Fig. 18은 활선작업의 위험성 평가를 위하여 4M 방식으로 개발한 평가 절차의 시범 모델로서 전체작업에서의 단위작업 분류, 세부작업 절차 분류, 위험요인 도출과 평가, 대책수립 및 책임자 지정순으로 평가를 수행하였다³⁾.

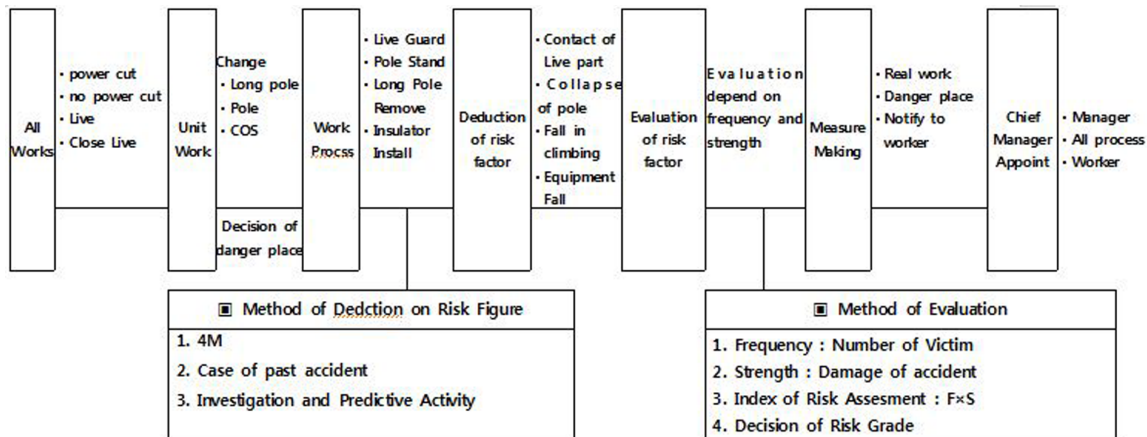


Fig. 18. The risk assessment model of live-line works.

3.1.2 위험성 평가 결과

위험성 평가 절차 시범 모델을 적용하여 배전 활선 작업에서의 위험성 평가 결과, 장비사용 전주 및 현수 애자 교체작업의 직접 활선공법의 위험도는 **8(빈도 2, 강도 4)**으로 낮게 평가되었다. 그러나, 장비사용 장주 변경의 직접 활선공법의 전선피박, 점퍼 케이블 연결, 점퍼선 절단/압축 공정에서의 위험도는 **16(빈도 4, 강도 4)**으로 높게 평가되었다. 여기서, 빈도는 하나의 공종 및 전주작업에서만 대상으로 하였기 때문에, 작업량이 증가하면 그만큼 빈도수는 증가할 것이며, 전주 주변에 건축물, 수목, 저압선 및 통신선 등이 존재하는 상황이라면 위험도는 증가할 것이다.

부가적으로, 장주 변경의 직접 활선공법의 전선 피박, 점퍼선 연결 및 점퍼선 절단·압축공정은 활선에 노출되어 감전 위험이 존재하여 원칙적으로 정전작업이 요구되며, 작업자에게 보호구를 착용하게 하고 활선 작업용구를 사용하여 작업하는 방법에 대한 인적 오류의 가능성 등에 대한 검토는 별도 고려해 보아야 한다.

한편, 활선작업용 보호구 및 안전용구에 대한 국산화 비율이 낮으며, 특히 작업자 보호용 보호구는 국산품이 전무하며, 개발 사례는 있으나 한국형에 부적합하여 현재는 사용치 않고 있는 실정이다. 활선 작업용 안전용구 및 보호구의 국산화 필요성에 대하여는 시장 원리의 개념을 배제하고 한국인의 신체 특성을 고려한 개인용 보호구의 개발이 절대적으로 필요하다.

3.2 배전선로의 위험성 저감 방안

배전선로 작업에서의 감전방지를 위한 근원적인 조치는 정전공법만 실시하여야 한다는 것이다. 다만, 산업안전보건기준에 관한 규칙 제321조(충전선로에서의 전기작업)에서도 활선작업이 허용되므로 정전작업만을 따르도록 하는 것은 다소 무리가 있다. 본 연구에서는 재해분석 및 현장에서의 위험성 평가를 통하여 다음과 같은 대책을 제안하고자 한다.

3.2.1 주요 재해통계 분석결과로부터의 대책

Fig. 8에 따르면 전공의 경우 30대에서 감전 사망자 비율이 가장 높게 나타났으며, 이는 고령화에 따른 신규 인력의 경험 및 기술 부족 또는 고도의 집중력이 요구되는 작업 특성상 젊은 연령대 선호에서 기인된 것으로 사료된다. 따라서, 위험성 평가에 따라 위험공종별 대표 위험작업에 대한 현장 적용을 활성화 할 수 있는 교육 시스템의 보완과 함께 교육 자료의 지속적인 개발도 필요하다.

Fig. 9에 따르면 배전선로 구조상 C상과 B상에서 73% 이상 발생하고 있어, 배전 활선작업 시 근로자의 안전성을 높이기 위해서는 C상과 B상의 이격거리를 증가시켜 충분한 작업공간을 확보하는 배전선로의 공학적인 구조 개선도 필요하다.

Fig. 13에 따르면 작업 시 감시인의 배치에도 불구하고 사고가 발생한 사례가 다수 있기 때문에 2차로 안전작업 계획서 작성, 2차로 작업자 안전교육 및 3차로 유도자 배치의 다중적인 안전시스템이 필요하다.

또한, Fig. 15에 따르면 작업자의 불안전 행동 중 ‘작업수행 소홀 및 절차 미준수’가 약 76%를 차지하므로 배치된 감시인의 책무 및 역할을 강화할 필요가 있어, 본 연구에서는 Fig. 18에서 제안한 위험성 평가 결과 및 대책에 관하여 배전 활선작업 각 공정에서의 기술 지침이 필요하다.

3.2.2 작업시연으로부터의 대책

부득이 활선공법을 사용할 수밖에 없는 경우에는 작업자의 활선 노출을 금지하거나 최소화하여야 하며, 방호구는 작업구간내의 모든 활선부위 설치하여 근로자를 감전사고로부터 보호하여야 한다.

또한, 활선작업으로 인한 재해에 대하여 인적에러를 근로자 책임으로 전가하기 보다는 근로자의 신체적 부담을 줄일 수 있는 개인용 보호구의 개발을 적극적으로 추진하여야 한다. 이는 활선 공법상의 문제가 아닌 작업자가 활선에 노출된다는 것이 우선 시 되어야 하므로 정전공법이 원칙이며 전선 및 접속부분의 모든 나선부는 절연조치를 전제로 하여야 한다는 것이다.

그 외에도 사전적·예방적 기능으로 안전보건경영 시스템 구축·운영하므로 공사업체가 자율안전관리체계 구축을 위해서는 안전보건경영시스템의 사전 구축이 필요하다.

안전작업 절차서는 근로자의 의견을 반영하여 구체적이고 이해하기 쉽게 작성하고, 공사 업체가 항상 보유하고 근로자에게 교육하는 것을 관리·감독하는 시스템이 필요할 것으로 판단된다. 또한, 위험성 평가에 근거한 작업 종류별 대표 위험요인에 대한 One Page Sheet 등 안전보건 교육 자료의 지속적인 개발 및 교육도 필요하다.

3.3 기타⁷⁾

「감전재해 예방을 위한 전기공사업의 특성에 관한 연구」에 따르면, 전기공사업의 발주 형태와 감전 재해율의 인과관계에 대한 유의점은 발견되지 않았지만, 전기공사 작업은 주로 원청에서 이루어지고 감전 재해

자도 원청에서 발생되고, 공공기관 발주 및 시공 현장에서 발생하는 감전 재해자가 민간 사업장보다 높은 것으로 분석되었다. 따라서, 배전선로에서의 감전재해를 예방하기 위해서는 발주자(특히, 공공기관)의 안전관리 책무에 대한 제도 및 규정도 필요하다.

4. 결론

본 논문에서는 감전재해 분석을 통한 배전선로에서의 위험성 저감 방안 수립을 위하여 2001년부터 2014년까지의 감전 사망자의 중대재해 원인조사 보고서(797건) 중 활선작업 중대재해(101명)를 정밀 분석을 실시하였으며, 배전선로에서의 감전재해 분석을 통한 주요 발생형태 및 특징을 도출하여 위험성평가 실시 및 안전대책 수립을 위한 기초자료를 제공하였다.

배전선로 활선작업에서 새롭게 제안한 위험성 평가 절차 시범 모델 적용 및 4 M 방식의 위험성 평가 실시 결과를 통하여 활선공법 및 감전 위험성의 실태분석을 실시하여 주요 문제점 및 개선방안을 수립하였다.

최종적으로, 배전선로에서의 위험성 저감 방안 수립을 위하여 위험성평가 결과를 기반으로 하여 주요 재해통계 분석결과로부터의 안전대책 및 작업시연으로부터의 안전대책을 각각 제안하였다.

또한, 배전선로에서 잠재 위험요인을 개선대책을 통하여 허용 가능한 위험수준으로 제어하는데 필요한 표준 모델의 기술적 사항을 정하기 위하여 KOSHA Guide 「배전활선작업의 위험성평가 및 대책에 관한 기술지침」의 개정도 제안하였다.

References

- 1) “Actual Condition of Electric Workers”, Laborplus, Vol 144, pp. 32-37, 2016.
- 2) Kyunghyang, Newspaper Article, 2016.05.19, Available online at http://news.khan.co.kr/kh_news/khan_art_view.html?artid=201605192310015.
- 3) Electimes, Newspaper article, 2017.03.20, Available online at <http://m.electimes.com/article.php?aid=1489615076142722002>.
- 4) The Occupational Injury Status(2000~2013), KOSHA.
- 5) A Study on the Development of Risk Assessment Model for Live-Line Works, 2010-OSHRI-1054, Occupational Safety and Health Research Institute, 2010.
- 6) S. W. Choi, “A Study on the In-depth Analysis of Cause and Characteristic for Recent Electric Shock Accident”, J. Korean Soc. Saf., Vol. 29, No. 2, pp. 7-11, 2014.
- 7) S. W. Choi, “A Study on the Characteristic of Electrical Construction Work for Prevention Electric Shock Accident”, J. Korean Soc. Saf., Vol. 29, No. 5, pp. 29-34, 2014.