

소용돌이형 점퍼선방호관의 안전성에 관한 연구

지용현*, 최명호*, 이재영*, 김동식*, kwaksang*, 김영찬*, 김남현**
 한국전력공사*, 유신기업사**

STUDY ON SAFETY OF SPIRAL INSULATING & FLEXIBLE JUMPER PROTECTOR COVER

Ji Yong-heon*, Choi Myeong-ho*, Lee Jae-young*, Kim Dong-sik*, Kwak Sang-young*, Kim Young-Chan*, Kim Nam-hyun**
 KEPCO*, Yushin enterprise**

Abstract - 배전선로는 항상 각종 공작물과 아주 가까운 상태에서 존재하고 있어 배전선로 근접 작업 시 전력선에 근접으로 인한 섬락 또는 접촉으로 작업원이 감전 재해를 입을 수 있으며 또는 비, 바람, 조류 등에 의한 이물 접촉으로 설비 고장을 유발 시킬 수 있다.

이러한 감전재해 및 설비고장을 예방하기 위하여 22.9kV-y 전력선의 직선부분에 사용할 수 있는 직선형 방호관을 개발하여 건설현장 주변의 전력선에 방호조치 함으로서 전력선 근접 작업 시 작업종사자의 안전 확보에 이바지함은 물론 정전사고방지도 크게 기여하여 왔다.

그러나 22.9kV-y 배전선로의 점퍼선부분과 변압기의 인상선 등 곡선으로 되었거나 구불구불한 형상으로 된 부위는 직선형 방호관으로는 방호조치가 불가능하여 산업안전보건법에 정한 산업안전기준에 관한 규칙 제327조 제2호에 의한 방호조치를 취하지 않고 근접작업이 진행되어 감전재해와 정전사고가 발생되어 왔었다.

한전에서 협력업체와 공동으로 연구개발한 소용돌이형 점퍼선 방호관을 그동안 방호조치를 취하지 못한 점퍼선이나 구불구불한 전력선부위에 방호조치를 함으로서 감전재해의 예방과 정전 사고 발생을 획기적으로 감소시킬 것으로 기대된다.

1. 서 론

우리나라에서는 최초로 한국전력공사의 협력업체인 유신기업사에서 직선형 23kV 건축용 방호관을 개발하여 한국전력공사의 개발시험을 거친 후 1986년부터 신, 증축 건설현장 주변에 있는 22.9kV-y 전력선에서의 근접 작업 시 전력선에 직선형 방호관으로 방호조치를 하여 작업종사자의 감전재해 방지와 정전고장을 예방하여 재해발생으로 인한 직, 간접비용 절감과 전력공급 신뢰도를 크게 향상시켜 왔다.

신, 증축 건설현장 또는 각종 작업현장의 근접된 직선전로의 전력선 방호조치는 직선형 23kV 건축용 방호관으로 방호조치를 하여 근접으로 인한 섬락 또는 접촉되었을 경우 위험을 사전에 방지할 수 있었으나, 배전선로의 점퍼선이나 변압기 인상선, 개폐기 인출선, 피뢰기 리드선 등과 같은 곡선 부위의 전력선에는 이에 적합한 방호관이 없어 방호조치를 할 수가 없었다. 직선형 23kV 방호관을 점퍼선과 같은 곡선 전력선 부위에 사용할 수 없는 사유는 직선형 방호관은 유연성이 없어 잘 구부러지지 않을 뿐만 아니라 제품형상이 직선 형태로 유지하려는 성질이 있어 점퍼선 등 곡선개소에 직선형 방호관을 설치 사용이 불가능하다.

그 동안 곡선부분에 적합한 방호관 개발을 시도 하였으나 기술적인 난제로 개발이 어려웠던 것은

첫째, 점퍼선과 같은 곡선부위의 방호조치를 하려면 전력선에 설치 또는 분리가 용이한 구조로서 전력선의 고전압에 의한 연면섬락 전압에 안전성이 있어야 하며 전력선에 설치 시 풍압하중에 영향을 안는 형상을 만드는 압출성공법을 적용하는 금형 제작기술이 국내는 없었기 때문이다.

둘째, 점퍼선부위에 사용하는 방호관의 재질은 유연성이 있어야 하고 120°C에서 견디는 내열 특성을 가진 개발된 폴리에틸렌

재질이 없었기 때문이다. 그러나 이러한 기술적인 난제에도 불구하고 최근에 이르러 점퍼선과 같은 곡선형 또는 구불구불한 형상의 전력선에 적합한 전기적인 특성이나 기계적인 특성에 안전성이 확보된 소용돌이형 점퍼선방호관의 연구개발에 성공하였다.

2. 본 론

2.1 소용돌이형의 특성

유체(流体; 기체 또는 액체)의 일부가 팽이처럼 회전하고 있는 부분인데 이때 그 부분은 소용돌이운동을 한다고 한다. 소용돌이는 점성 때문에 유체 각 부분에 운동차가 생겨서 형성되는 것으로, 유체 속에서 물체를 움직이거나 반대로 물체를 유체 속에 집어넣었을 때, 또는 유체가 세차게 흘러나가거나 흘러들어가는 경우 등에서 나타나는 형상으로 이러한 형상을 이용하면 점퍼선이나 구불구불한 전력선에서 방호관이 용이하게 탈락하지 않는 특징이 있다는 것을 확인 하였다. 다시 말하면 소용돌이형상 내에 있는 전력선은 쉽게 이탈하지 않는 원리를 적용 본 형상을 점퍼선 방호관 형상으로 채택 하였다.

2.2 소용돌이형상의 이용

22.9kV-y 가공배전선의 곡선 또는 구불구불한 형상의 전선에 활선작업으로 점퍼선방호관을 삽입 또는 분리할 수 있어야 하므로 점퍼선방호관에 개구부를 두어야 한다. 이 개구부로부터 전력선이 쉽게 이탈할 수 있고 전력선에 인가된 고전압에 의한 연면섬락의 감전재해 위험성을 있다.

전력선의 고전압에 의한 연면섬락전압으로 감전위험 때문에 섬락방지거리가 길어지므로 점퍼선방호관의 부피가 크게 제작되어 지므로 이러한 점퍼선방호관을 전력선에 삽입 되었을 경우 풍압하중에 악영향을 줄뿐만 아니라 전력선에서 탈락이 쉽게 이루어 질수 있고 점퍼선방호관을 애자에 지지하고자 하는 데 기술적인 장애가 있어 이를 해결하고자 전력선으로부터 용이하게 탈락하는 것을 방지하기위하여 점퍼선방호관의 개구부에 내측날개와 외측날개를 만들어 고전압에 의한 섬락을 방지할 수 있는 거리확보로 연면섬락에 의한 감전해해를 방지할 수 있으며 내측길이 만큼 점퍼선방호관 내부로 들어가는 소용돌이형 이므로 점퍼선방호관 부피가 감소되어 전력선 곡선부위에 설치가 용이 하도록 하였다.

점퍼선이 애자에 지지되어 있는 경우에는 지지하고 있는 바인드선을 먼저 제거하고 점퍼선을 점퍼선방호관에 삽입 후 점퍼선방호관이 소용돌이형상이므로 이 형상의 홈에 따라 가공배전장주의 애자에 활선작업 또는 사선작업으로 활선 바인드(Bind) 시공을 하면 전력선으로부터 점퍼선방호관의 탈락요인을 완전히 제거할 수 있다.

소용돌이형 점퍼선방호관을 곡선이나 변압기 1차인상선과 같은 타원형 전력선 부위에 활용 시 심한 곡률반경으로 점퍼선 방호관의 개구부 가 열리는 경우가 있다하더라도 점퍼선방호관의 내측날개가 전력선을 밖으로 나오지 못하도록 지지하는 역학적 역할을 하므로 전력선에서 점퍼선방호관은 탈락되지 않는다.

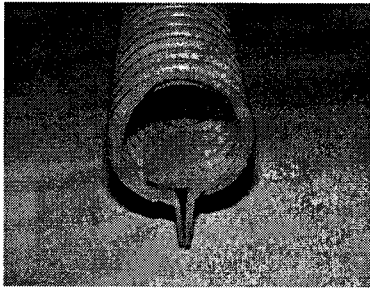


그림 2.1 소용돌이형 점퍼선보호관의 외형

2.3 점퍼선보호관 구조의 구비조건

점퍼선보호관은 전력선의 곡선으로 된 부위에 설치하여야 하므로 설치 중 또는 설치 후 전력선에서 자연적이거나 기후의 영향으로 탈락 위험과 전력선의 고전압에 의한 개구부의 연면섭락 등 위험방지를 위해 아래와 같은 구조의 조건이 필요하다.

1. 22.9kV-y 배전선로 장주의 점퍼선, 개폐기의 인입·인출선, 피뢰기 리드선 또는 변압기 인상선 등과 같이 곡선부분의 전력선에 설치와 철거가 용이한 형상이어야 하며 설치와 철거 시 장시간 소요 되거나 위험발생 요인이 있는 구조가 되어서는 안 된다.
2. 점퍼선보호관을 점퍼선이나 인하선등에 사용 중 비, 바람, 폭설 등에 의한 자연현상에서도 탈락되지 않아야 하며 또한 진동에 의해서도 이탈되지 않는 구조로 하여야 한다.
3. 배전선로의 최대사용전선의 단면적은 160mm²(직경23.4mm)이므로 전선에 원활히 사용할 수 있는 구조와 규격을 유지하여야 한다.
4. 설치, 철거가 용이한 구조를 갖는 개구부를 두었을 때에는 연면섭락의 위험을 방지할 수 있도록 안전거리를 유지시키는 턱(날개)이 있는 형상을 갖춘 구조이어야 한다.
5. 점퍼선보호관의 개구부는 사용 중 벌어짐이 없도록 상시 붙어있어야 함으로 수축력(스프링)이 있는 형상이어야 한다.
6. 점퍼선보호관은 유연성이 있어야 하고 전선에 밀착할 수 있는 주름모형으로 구조가 되어야 한다.
7. 점퍼선보호관의 길이는 점퍼선, 인하선, 개폐기의 인출선 등을 방호가 가능하여야 하므로 2m이상 생산가능 하여야 한다.
8. 점퍼선보호관은 연결부를 갖는 구조는 사용 중 탈락할 가능성이 있으므로 연결부가 없는 구조로 하여야 한다.

2.4 점퍼선보호관의 재질의 조건

점퍼선보호관의 재질은 전기적인 절연특성이 우수하여야 하고 특히 구조를 형성할 수 있어야 하므로 아래와 같은 조건에 적합하여야 한다.

1. 점퍼선보호관은 연결부가 없어야 하므로 길이가 최하 2m이상 이어야 하므로 사출식 금형으로는 생산이 불가능하다.
2. 점퍼선보호관은 개구부를 만들고 개구부에 내측날개와 외측날개를 만드는 소용돌이 형상을 압출식 금형으로 생산이 가능한 재료이어야 한다.
3. 점퍼선, 피뢰기 리드선, 개폐기 인출선 등은 전선로가 대부분 곡선으로 되어있기 때문에 점퍼선보호관을 설치 시 전선로의 완벽한 방호조치가 가능하도록 유연성 및 구부러짐이 풍부한 재질 특성을 가져야 한다.
4. 점퍼선보호관을 설치하는 전선로[점퍼선의 상향식, 하향식, 변압기의 인상선, COS 인하선, 피뢰기 리드선, 개폐기 인출, 인입선등]는 다양한 형태의 곡선전선으로 시공되어 있어 점퍼선보호관을 규격화, 통일된 길이로 하기에는 현실적으로 불가능하므로 점퍼선보호관 설치장소에서 칼, 톱 등의 간단한 도구로서 가공이 용이한 재질이어야 한다.
5. 전기적인 특성 및 물리적인 특성은 노동부 산업안전보건법에서 규정한 절연용 방호구의 성능검정 규격의 재질에 적합하여야 한다.

2.5 점퍼선 보호관 금형의 설계

점퍼선보호관은 고분자재료를 용융시켜 그것을 금형에 넣은 후 내부에 기체로 압력을 가하여 내부가 빈 성형품을 만들어 내는 공정을 가진 것이기 때문에 압출중공(Direct Blow) 성형으로 제조되는 제품이다. 성형의 원리는 수지를 호퍼에 투입하여 스크류 회전에 의해 수지를 압착, 용융시켜 다이쪽으로 밀어내어 일정 형태의 성형품을 만든 후, 이것을 냉각, 고화시켜 연속적으로 성형하는 것을 말하고 구조는 그림과 같다.

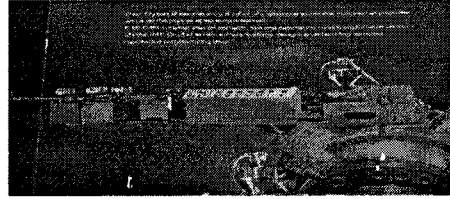


그림 2.2 압출성형의 구조

금형재료의 조건은 금형의 수명과 가공성에 영향을 주므로 다음과 같은 조건을 구비한 재료 즉 가공성이 양호하고 내마모성이 클 것, 연마하기 쉽고 핀 홀 등과 같은 내부 결점이 없는 재질이며 열에 의한 변형이 적고 열처리가 용이 할 것 등을 갖춘 열간용 합금 공구강(Hot Work Tool Steels) SKD-61을 선택하였다. 점퍼선 보호관 구조와 재료 조건에 충족할 수 있는 모형과 재질에 따른 설계도면을 작성하였다.

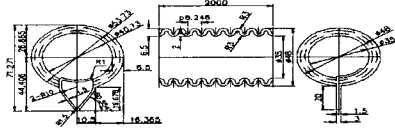


그림 2.3 점퍼선 1개의 설계도면

2.6 점퍼선 보호관 금형 설계

점퍼선보호관의 구조와 모형으로 작성된 세부 설계도면에 따라 보호관의 두께 2mm, 날개부분두께 1.5mm가 되도록 하고 날개부분이 항상 벌어지지 않도록 V자 모양 설계를 최초로 시도하여 금형설계를 하였다. 금형은 본체의 금형과 개별금형 53set(2개 1set)로 하여 생산설비에 조립이 이루어지도록 하였다. 금형재료의 구비조건에 적합한 열간용 합금 공구강(Hot Work Tool Steels) SKD-61을 사용하여 개별 금형을 53set 인 106개를 제작하였다.

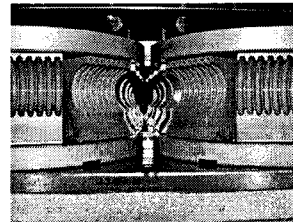


그림 2.4 제작된 개별금형

점퍼선보호관의 구조와 형상은 파형관 형상 한쪽은 개구부를, 이 개 구부에는 내, 외면에 날개를 만들어야 하는 구조로 되어있어 이러한 복 잡한 금형으로서는 기존 제작기술로는 제품의 형상 유지가 되지 않고 당초 구상된 설계 형상이 나타나지 않았다.

국내에서는 처음시도하기 때문에 이러한 유사제품 전문 기술자가 전혀 없어 어려움이 많았다. 플라스틱 전문 제작자의 기술진과 수차례의 검토결과 생산설비의 용량과 형상유지 관계가 있다는 기술적인 경험을 토대로 일부설비를 변경하고 형상유지 시험을 계속한 결과 상당한 진전된 결과를 얻었다.

2.7 점퍼선방호관의 성능평가

점퍼선방호관의 안전성을 확보하기 위한 구조와 재료로 제작한 제품에 대하여 산업안전보건법에서 정한 노동부 고시 제 2003-18호(2003. 7. 11)의 성능검정규격에 의거 국가가 인정한 공인시험기관인 한국산업안전공단의 아래와 같은 성능시험 항목에 따라 합격 판정되어 사용이 가능하게 되었다.

1) 건조 내전압시험

① 상온에서 상용 교류전압(60Hz)을 매초 당 1,000V의 비율로 35,000V까지 상승시킨 후 그 상태를 1분간 유지 하였을 때 섬락, 발열 등의 현상이 없어야 한다. 이때 적당한 방법으로 연면방전이 생기지 않도록 하여야 한다.

② 제1항과 같은 방법으로 30,000V까지 상승시킨 후 그 상태를 1분간 유지 하였을 때 섬락, 발열 등 현상이 없어야 한다.

☞ 시험결과 : ①과 ②의 시험결과는 섬락, 발열 등 현상이 없었다.

2) 주수 내전압 시험

KS C-0904의 4.3.1의 방법에 의하고 물을 뿌린 직후의 상태에서 상용교류전압(60Hz)을 “가”항의 내전압시험과 같은 방법으로 20,000V까지 상승시킨 후 그 상태로 1분간 유지하였을 때 섬락, 발열 등의 현상이 없어야 한다. 로 되어 있으나 이 규격(KSC 0904)은 이미 폐지되었기 때문에 이 규격과 유사한 KS C IEC 60529(2006) 외곽의 방진 보호 및 방수등급 규격을 적용하여 시험을 시행하였다.

인용규격내용은 KS C IEC 60529(외곽의 방진보호 및 방수등급)의 시험방법 14.1, 시험조건 14.2.2[또는 14.2.3b]에 물을 뿌린 직후의 상태에서 상용 교류전압(60Hz)을 “가”항의 내전압시험과 같은 방법으로 20,000V까지 상승시킨 후 그 상태로 1분간 유지 하였을 때 섬락, 발열 등의 현상이 없어야 한다.

☞ 시험결과 : 섬락 발열 등 현상이 없었다.

3) 섬락전압 시험

상온에서 “그림1”과 같은 방법으로 상용 교류전압(60Hz)을 22,000V 까지 상승시킨 후 그 상태로 3분간 유지하였을 때 섬락, 발열 등의 현상이 없어야 한다.

☞ 시험결과 : 섬락, 발열 현상이 없었다.

4) 인장강도시험

절연관등 중 방향에서 KS M-6518(가황고무 물리시험방법)의 4.2.1에서 규정한 시험편을 취한 후 KS M-6518 4항에 따라 시험을 행한다. 이 규격은 2001년에 개정되었기 때문에 새로 개정된 내용에 따라 시험을 시행하였다. 새로 개정된 내용을 따라

방호관 에서 KS M-6518(가황고무 물리시험방법)의 5.2에서 규정한 시험편을 취한 후 KS M-6518. 5항에 따라 시험을 행한다.

5) 가열노화 시험

절연관에서 KS M-6518. 5, 3항의 규정에 의해 채취한 시험편을 90±2°C의 가열공기로 96시간 유지한 다음 실온에서 12시간 내지 48시간 방치한 다음 KS M-6518. 5, 3항에 따라 측정한다. 새로 개정된 내용에 따라 시험하고 측정하였다.

절연관에서 KS M-6518의 5.2항에 따라 시험편을 취한 후 90±2°C의 가열공기로 96시간 유지한 다음 실온에서 12시간 내지 48시간 방치한 다음 KS M-6518 에 따라 시험하고 측정한다.

6) 내한성 시험

절연관 본체에서 길이 1,000mm의 시료를 취해 -10C의 온도에서 1시간 유지 후 적당한 고정 장치에 한쪽 끝을 고정하고 180°로 구부렸을 때 잔금 깨어짐 등 사용상 결점이 없어야 한다.

7) 내열성 시험

60mm²의 나동선에 절연관을 사용 상태로 설치하고 전선의 표면온도가 110±10°C가 되도록 하여 1 시간 동안 통전하여 절연관 내외 표면의 연화, 융착 또는 변형이 없어야 한다.

8) 흡수성 시험

상온에서 맑은 물에 24시간 담근 후 마른걸레로 절연관 표면의 물기를 닦아내고 무게를 달아 흡수율을 측정한다.

3. 결 론

우리의 일상생활 주변에서 배전선로에 근접하여 건축 작업이나 크레인, 간판작업등 종종 목격할 때면 전선로의 직선부분은 노란색으로 된 방호관 설치를 하여 안전작업에 도움을 주고 있으나 전선로의 곡선부분인 점퍼선, 변압기 인상선, 개폐기 인출선등은 방호조치가 없는 위험스러운 상태에서 근접작업이 진행되는 것을 많이 보아 왔다.

이러한 위험한 곳에는 방호조치를 하도록 산업안전보건법에서도 요구가 있었지만 이러한 곡선부분에 적당한 방호조치를 할 장구 또는 도구가 없어 그동안 방호조치를 시행하지 못했다.

점퍼선방호관은 위에서 언급한바와 같이 전기적인 특성과 기계적인 특성이 모두 만족하여야 하므로 구조와 형상이 복잡하고 재질에 맞는 재료 개발이 꽤 어려웠다.

그러나 수십 번의 토의와 연구검토 끝에 본 제품을 제작하여 방호관 검정을 국가 공인시험기관인 한국산업안전공단의 성능평가를 실시하여 성능 인정평가를 받았다.

이번 안전성 평가가 된 점퍼선방호관은 지금까지 배전선로의 내장개소 등 곡선 부분에 시행하지 못했던 방호조치를 하여 감전재해 뿐만 아니라 정전사고 감소에도 크게 기여할 것으로 기대되며 한국전력공사의 배전선로와 자가용 전기설비에도 많이 활용하여 재해를 예방하여야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

1. 노동부고시 2003-18호
2. 한진자재규격 23KV 건축용방호관
3. KSC-IEC 60529-2006(외곽의 방진보호 및 보호등급)
4. KSC 3004-2001(고무 플라스틱 절연전선 시험방법)
5. KSM 6518-2001(가황고무 물리시험 방법)
6. ASTM F712-88(Standard Test Methods for Electrically Insulating Plastic Guard for Protection of Works)
7. ASTM F968-93(Standard Specification for Electrically Insulating Plastic Guard Equipment for Protection of Works)
8. ASTM D1050-90(Standard Specification for Rubber Insulating Line Hose)
9. CHANCE : COVER UP EQUIPMENT
10. 고전압 공학