2002년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2002.7.10-12

지중배전선로의 고장사례 분석

이수묵*, 이재관**, 김동찬**, 이광진***,
*한전 중앙교육원, **한전 익산지점, ***한전 배전처

Analysis of Fault Examples in Underground Power Distribution System

S. M. Yi, J. K. Lee, D. C. Kim, K. J. Lee
KEPCO

Abstract - 우리나라의 지중배전선로는 가공선의 정비 차원에서 지중케이블로 공급함으로써 시작되었으며, 지금은 변전소 인출개소와 택지개발 지역에 신규공급용으로 주로 설치되고 있다. 지중배전선로는 매년 약 7%의 증가율을 보여주고 있으며 2001년말 기준으로 케이블긍장이 16,301(C-km)로 약9.4%의 지중화율을 나타내고 있다. 선로가 증가함에 따라 고장의 발생이 광역정전 등 점차 많은 문제점을 내포하고 있다. 지중배전선로의 고장은 주로 케이블에서의 외상과 열화가 주요인으로 이는 환경적인 영향과 제작, 시공 및 유지관리면에서의 미흡에 의한 것으로 효과적인 관리를 위해서는 지하매설물 종합관리기관 설립 등의 제도적 도입과 선로제작과 시공품질의 향상을 유도하기 위한 계약 제도의 보완 및 선로의 중요도와 경제성에 따른 차별화된 관리 방법과 선로 고장시 정확한 data 보고관리의 여건 마련과 아울러 정확한 선로 이력 database화 등의 체계적인 선진 예방보수 기법의 도입이 요구된다.

1. 서 론

우리나라의 지중배전선로는 1973년 가공선을 지중케이블로 공급함으로써 시작되었으며, 그 후 '86, '88 국제 경기를 대비하여 고장 예방을 위해 급격히 확장되었고, 지금은 공급용량의 증대를 위해 변전소 인출개소와 택지개발 지역에 신규공급용으로 주로 설치되고 있다.

선로가 증가되고 선로가 노후화 되면서 고장 발생의 가능성이 많아지고 있으며, 특히 지중배전선로로 주로 공급되는 곳이 도심지 번화가나 중요지역으로 고장발생시의 경제적 손실이나 사회적 파급이 크다는 문제점을 내포하고 있다.

지중배전선로가 지금까지는 주로 신설에 주안점을 두었다면 설치 후 20~30년된 현시점에서는 유지관리 측면도 적극적으로 검토해야 할 시점이라 할 수 있다.

이에 본 논문에서는 지중배전선로의 고장 사례를 분석해 보므로써 선로의 현실태를 파악해 보고, 향후 효과적인 관리 방향을 살펴보고자 한다.

2. 고장분석 개념

2.1 고장분석 특성

선로의 고장원인을 정확히 분석하는 것은 동일 종류의 유사고장 재현을 방지하기 위한 가장 기본적이며 필수적인 사항이다. 고장분석은 고장의 원인을 정확하게 파악하고, 추후 그 대책을 통해 설비의 성능을 향상시키며, 조기 고장을 방지하는데 그 목적이 있다. 특히 고장분석을 통해 수집된 고장의 주요 원인들을 이용하여 설비의 열화진단 기준결정 자료로 활용해야 한다. 지중계통에서 발생하는 설비고장의 진행과정을 정확히 해석하기 위해서는 기본적인 개념과 고장분석 방법에 대한 이해가 필요하다.

2.2 고장발생 원인

2.1.1 재료 문제

고장을 유발하는 원인으로 먼저 제품에 사용된 재료의 물리적 특성에 의한 것을 들 수 있다. 모든 재료는 특정한 화학적, 기계적, 전기적 및 열적 특성을 가지고 있지만, 이러한 특성들은 특수 환경에 노출된 시간과 사용년수에 따라 변화되므로써 고장를 유발한다.

제품 디자인시에 특정 규격을 충족시키는 재료가 선택되지만, 고장은 예상하지 못한 특성이나 부적절한 제품의 적용, 재료처리 과정에서 발생한다. 예를들면 지상변압기에서 Bay-O-Net 휴즈 제거시에 케이블 및 접속재 표면으로 기름이 흘러나와 케이블 악세사리류의 EPDM 고무류와 케이블 절연체와 같은 고분자 성분을 손상시키게 된다.

2.2.2 구조적 문제

구조적인 문제는 일반적으로 재료특성의 조화와 제품 디자인상의 문제를 포함하며, 크게 기계적 문제, 전기적 문제 및 열적 문제로 구분되어 진다.

제품의 기계적 문제는 물리적 강도 및 마모 문제로 표면처리와 인장강도, 신장특성, 재료 열화에 의한 부서짐, 전단강도에 의한 것이다.

제품의 전기적 문제는 재료 자체 성능 이상의 전기적 스트레스가 가해질 때 발생하는 것으로, 고전계영역에서 스트레스 콘에서의 전계집중 및 엘보와 직선 접속재에서 돌출된 부분이나 불균일한 부분에서의 전계집중 등이다.

열적 문제는 재료, 운전환경, 제품 설계 및 장치 내부에 흐르는 전류량에 의해 발생하며, 높은 주위온도와 함께 전류 경로상에서의 저항이 과다한 열을 방출할 때 설계한계를 초과하여 고장으로 이어진다. 많은 절연체 고장이 열에 의해 발생되고 있으며, 절연체의 온도상승은 절연체의 기계적강도와 절연강도를 저하시키게 된다.

2.3 고장분석 방법

고장분석은 설비가 제 기능을 상실했을 때 그 원인을 결정하고 사건의 진행상황을 재구성하여 검토해야 하며, 물리적 법칙과 과거 경험에 근거를 두고 있다. 또 관찰과 고장 증거품에 나타난 흔적으로부터 그 원인을 찾아내는 것으로 매우 세심한 연구와 많은 분석경험을 통해 설비의 고장요인 분석이 이루워 져야 한다.

2.3.1 고장분석 단계

고장분석의 첫 단계는 현장을 세밀히 관찰하여 실마리를 찾는 것으로, 보통 고장 후에 즉각적인 보수가 뒤 따라 현장이 보존되기 어려우므로 현장에서의 세밀한 관찰과 전체적인 고장 현장을 비롯해 세부적인 사진 촬영이 꼭 필요하다.

두 번째 단계는 기록과 증거수집 단계로 현장 실무자로부터의 고장 전후 상황기록 및 녹음이 필요하며, 고장선로의 주위계통 현황을 파악하고, 고장위치에 대한 정보 수집과 향후 시험 할 수 있는 충분한 시료가 확보되어야 한다.

마지막 단계는 고장해석 단계로 현장실무자의 육안과

소음 발생 등의 감각적인 분석과 고장품에 대한 규격, 단면도 및 제품의 구성에 대한 정보 검토와 서비스 및 유지보수 자료를 참고하고, 더 세밀한 분석이 필요한 경우는 실험실 시험이 수행되어야 하며, 파괴시험과 비파괴시험이 있다. 비파괴시험은 X-ray 시험, 염색, 초음파, 손실측정 등이 있으며, 파괴 시험으로는 재료의 화학적 분석, 전기, 기계적 시험, 열적시험을 통한 부분방전 측정, 절연파괴강도 측정, 인장력 측정 등이 있다.

2.3.2 고장발생 형태

일반적으로 많이 발생되는 케이블 고장의 근본적 원인은 수분 침입이라 할 수 있고, 그 때문에 절연체가 열화되고 고장를 유발한다. 따라서 먼저 수분 침투 여부를 육안이나 육안확인 곤란시는 시료 분석을 통해 파악하고, 수분의 존재없이 전기적인 파괴에 의한 관통고장였다면, 도체의 결함, 절연체 속에 존재하는 불순물, 고분자화된 혼합물(compound) 및 탄화된 혼합물이나 돌기 등이 원인이며, 열은 수분의 도움없이 전기적으로 파괴되는 특별한 요인으로 혼합물에서의 열화나 불순물은 절연손실을 증가시키고, 결국에는 과열에 의해 절연파괴에 이르게 된다. 또 다른 경우에 열은 과부하, 주위 토양의 열발산 불량 및 외부요인에 의해 발생된다.

3. 고장사례 분석

3.1 지중배전선로의 설치 현황

지중배전선로는 2001년말 기준으로 약16,301C-Km로 전체 배전선로 174,015C-Km의 약 9.4%를 점유하고 있으며, 가공배전선로에 비해서 전체 점유율은 적지만 5년간 증가추이를 보면 년평균 5.5%로 가공선에 비해 2배 이상의 증가율을 보이고 있다. 이는 신도시나 택지개발 활성화에 따른 설비 공급용량 증대 필요와 지방자치제로 인한 정치적인 배경과 환경적 관심에 의해 지중선로가 증가하고 있기 때문이다.

표1. 배전선로 긍장 (단위:C-km)

구분 \ 연도	'97	'98	'99	2000	2001
전체	159,170	163,625	167,138	170,691	174,015
지중	13,382	14,600	14,084	14,925	16,301
점유율 (%)	8.4	8.9	8.4	8.7	9.4

3.2 지중배전선로의 고장현황

배전선로의 고장 추이를 보면 설비가 증가함에 따라 '99년까지는 증가하다가 2000년 이후에는 감소추세에 있으며, 지중고장은 '99년까지는 전체고장 중 지중고장 점유율이 감소하는 추세이었으나, 2000년 이후 지중고장 점유율이 증가하고 있다. 이는 2000년이후 급격한 전체고장의 감소로 배전선로 자동화에 의한 가공선로의 일시고장의 대폭적인 감소 영향이다.

표2 배전선로 고장건수

구분 \ 연도		'97	'98	'99	2000	2001
고장 건수	전 체	2,233	2,256	2,769	2,191	2,022
	지 중	188	172	190	227	242
	점유 (%)	8.7	7.6	6.9	10.4	12
100C-km 당 고장건수	전 체	1.4	1.4	1.7	1.28	1.16
	가 공	1.4	1.4	1.7	1.26	1.13
	지 중	1.4	1.2	1.3	1.52	1.48

3.3 고장 사례 분석

지중배전선로 고장사례를 살펴보면 케이블이 주원인이며 케이블을 외부에서 공사시 손상시키는 외상고장과 자연적으로 노후되거나, 관리 소홀 등으로 인해 절연이 나빠지므로써 발생되는 열화고장이 주를 이루고 있다.

3.3.1 고장 발생 주요 원인

고장발생 실적을 원인별로 보면 외상에 의한 고장과 열화 고장 증가가 연간 지중고장 증가에 큰 영향을 끼침을 알 수 있다. 외상 증가는 2000년이후 건설경기 활성화에 따른 도로 굴착 공사 증가로 인한 케이블 손상 때문이며, 열화 고장은 '86년과 '88년 경기 대비 집중 설치된 저품질 케이블이 주를 이루고 있다.

표3 원인별 고장사례건수

원인 \ 연도	외 상	열 화	제작불량	시공불량	기 타	계
2001	101	113	15	4	9	242
2000	82	112	16	2	15	227
'99	67	104	8	1	10	190
'98	61	56	13	9	33	172
'97	85	67	5	6	25	188
평균 점유율 (%)	39	44	5.6	2.4	9	100

설비별 고장발생 실적은 케이블 및 접속재가 약82%로 지중고장의 주를 이루고 있다. 따라서 지중배전선로의 고장감소를 위해서는 케이블과 접속재에 대한 효과적인 관리방안이 이루워 져야 한다.

표4 설비별 고장사례건수

원인 \ 연도	케이블	접속재	개폐기	변압기	기타	계
2001	153	45	20	22	2	242
2000	139	39	25	20	4	227
'99	117	43	12	15	3	190
'98	97	45	16	11	3	172
'97	118	42	8	18	2	188
평균 점유율(%)	61	21	8	8.4	1.6	100

3.3.2 주요 고장 발생의 문제점

외상고장은 도로 굴착 작업자가 굴착개소의 지중선로 설치 유무와 매설위치를 정확히 파악할 수 없다는 데 문제점이 있다. 매설물 관리가 각 기관별로 분리되어 있어 매설물 유관기관과의 정보공유가 어렵고, 도로 지하매설물의 체계적인 관리가 미흡하여 작업자가 매설정보를 파악하기 곤란하며, 지하시설물 관리자도 굴착작업 정보를 실시간으로 정확히 파악 할 수 없는데 기인하고 있다.

열화고장은 제작, 시공 및 관리측면의 품질 불량에 의해 발생되며, 이런 열화설비를 판단하는 정확한 기준과 효과적이고 합리적인 진단설비가 현재 적용되지 못하고 있는 실정이다. 제작면에서는 업체별 과다 경쟁에 따른 제품 가격 단가 저하로 저품질이 발생하며, 발주 물량의 동시 과다 발생으로 제조공정 관리가 미흡하여 불량이 발생한다. 시공품질 불량은 케이블 포설시 외피 손상, 운전 중 외피 및 중성선내 수분 침투와 케이블 포설시 과다 장력으로 인한 케이블 손상과 접속시 불완전 시공에 기인한다. 유지 관리면에서는 케이블과 접속재 진단기준의 미비와 진단 장비 부족 및 외부 용역기술의 한계로 적절한 교체 및 보강이 이루워 지지 못하고 있다.

3.3.3 지중배전선로의 효과적인 관리 방안

지중배전선로의 품질 향상을 위해서는 제작 및 시공

품질향상과 더불어 효과적인 유지관리가 필수적으로 케이블 내부로의 수분 침투 차단과 고품질의 제작, 정확한 시공법, 설비상태의 정확한 파악 및 적절한 예방보수기술이 필요하다.

제작 및 시공기술의 향상을 위해서는 케이블의 수분 침투 방지 및 절연성능 보강을 위한 완전 방수 및 고품질 구조의 제작 기술개발과 더불어 수분 유입 우려개소는 수트리 억제형 케이블(TR CNCV-W), 기름이 있는 곳에 설치되는 접속재는 반드시 내유성의 튜브를 조립형 접속재에 추가로 적용하며, 전력구 등과 같이 화재가 우려되는 개소에는 케이블은 난연케이블(FR-CNCO-W) 및 접속재는 난연성이 없으므로 난연카바와 난연테이프를 보강하는 등의 설치환경에 적절한 시공기술이 적용되어야 한다. 아울러 시공기술 향상을 위해서는 지중선 교육의 활성화가 필수적으로 지중선로의 특수성을 고려하며 감리 감독자 및 시공자의 주기적이고 체계적인 교육과 교육자 보유업체의 우대 등 제도적인 유인책이 강구되어야 한다.

설비의 효과적인 관리를 위해서는 먼저 지하매설물의 체계적, 합리적, 제도적인 관리방안의 도입을 위해 한전을 주체로 한 지하매설물 종합관리기관을 설립하여, 지하매설물 종합관리 시스템 개발을 추진하고, 굴착시 굴착자의 종합관리기관 사전신고 의무화 및 지하매설물 관리기관의 사전 매설물 정보 제공 및 현장입회 등의 관리업무의 능동적 수행과 유관기관별 지하매설물 관리 GIS 연계를 추진하여 매설물 정보를 실시간 파악해야 한다. 설비의 장기적인 사용을 위해서는 예방 보수가 필수적으로, 판정 기법, 조건 및 주기 등의 합리적인 케이블 절연 진단 기준 제정과 소형, 경량, 측정시간 등 현장 적용성이 좋고 신뢰도가 우수한 진단기술개발이 시급하며 진단의 신뢰성을 높이기 위해서는 중앙교육원, 전력연구원 등 전문기관의 진단 기술 지원과 용역기관이 병행 진단하는 진단방법의 개선이 필요하며, 설비의 중요도, 신뢰성 및 경제성이 고려된 체계적인 유지관리 기법의 도입으로 정기적인 보수를 통해 사전에 취약부분을 보강해야 한다.

4. 결 론

지중선로의 고장을 살펴보면 지중화 초기에는 주로 케이블 외상과 접속재의 시공품질 불량이 많이 발생하였으나, 설비가 증가되고 설치기간이 오래되므로써 열화고장과 외상고장이 주를 이루고 있다. 설비의 외상고장은 좁은 도로에서의 많은 굴착공사가 발생되고 체계적인 도로관리가 이루워지지 못한 사회적, 지리적, 환경적영향이 크며, 열화고장의 주요원인은 케이블내의 수분침투에 의한 수트리 현상과 절연체의 전계집중에 의한 절연파괴로, 이는 설비 제품 자체의 구조적 결함, 제작 기술의 미흡, 부적절한 시공법 및 유지관리 기술의 미흡으로 구분 할 수 있다.

따라서 지중배전선로의 효과적인 관리를 위해서는

첫째, 외상 방지를 위한 시설관리자의 적극적이고 능동적인 관리자세와 아울러 지하매설물 종합관리기관 설립 등의 체계적인 관리 제도가 빨리 도입되어야 하고,

둘째, 케이블 내부로의 수분침투가 불가능한 구조로의 규격개선과 케이블 자체 품질의 향상을 위한 적정한 제품 가격보상과 제작 결함시의 제재조치 강화 등 구매제도의 개선이 수반되어야 하며,

세째, 케이블의 정확한 시공을 위해서는 관리 감독자 및 현장 작업자의 체계적인 교육과 시공품질향상을 유도하는 적정한 공사 대가 지급과 우수한 시공자의 공사계약시 우대조치 등 계약제도의 보완이 이루어져야 한다.

마지막으로는, 선로의 효과적인 최적 유지관리를 위해서 열화 진단기술의 개발과 현장성이 뛰어난 포터블타입의 제품 개발이 시급하며, 선로의 중요도와 경제성에 따른 차별화된 관리 방법과 케이블 고장시 정확한 data 보고 관리의 여건 마련과 정확한 선로이력 database화 등의 체계적인 선진 예방보수 기법의 도입이 요구된다. 끝.

[참 고 문 헌]

[1] 한전 배전처, "2001년 지중배전선로 고장분석 및 예방대책" 2002.3

[2] 이수묵, "지중배전선로의 품질향상방안", 전기설비, 2001.11

[3] Peter Birker, "Field Experience with a Condition Based Maintenance Program of 20kV XLPE Distribution System Using the IRC-Analysis, IEEE T&D/ICC Conference, 2001.

[4] 한전 전력연구원, "배전용 CNCV케이블과 접속재의 열화사고방지대책에 관한 연구", 1992.11

[5] 한전 전력연구원, "지중배전선로의 준공시험기술 및 접속재 진단기술 개발", 1996.4