

# MV Cable Failure Statistics Analysis and Failure Rate Utilization Method of Prioritization of Diagnosis Targets

## 지중 배전용케이블 고장통계 분석 및 고장률 활용 진단대상 우선순위 선정방법

Chong-Eun Cho, On-You Lee, Sang-Bong Kim, Kang-Sik Kim

조종은, 이온유, 김상봉, 김강식,

### Abstract

This paper statistically analyzes the time required for each failure cause and describes a diagnostic method for 159 reports of failure analysis of MV cables that occurred in the distribution system of KEPCO over the past 18 years. In addition, the manufacturer's failure rate compared to 100C-km was calculated using 381 cases of MV cable deterioration failure between 2008 and 2020. It is hoped that this paper will help those in charge of maintaining underground facilities at the business office to use the failure rate to prioritize facility diagnosis.

*Keywords: Asset Management System, Data Cleaning, MV Cable, Failure Cause, Cable Defect, Diagnosis Method, Failure Rate, VLF, XLPE, TR-XLPE*

### I. Introduction

우리나라를 포함한 세계 주요 선진국의 전력설비는 대부분 포화상태에 이르러 앞으로 양적 성장은 한계에 있을 것으로 예상된다. 향후 전력설비 운영정책의 중심은 과거 개발 경제시대의 대규모 설비를 신속히 확충하여 전력을 공급하던 정책에서 벗어나 이미 구축된 전력설비의 효율을 극대화하기 위한 유지보수 기법, 즉 수명의 종점까지 운영하여 설비투자 가치를 최대화할 수 있는 경제성 기반의 운영정책에 초점이 맞추어 질 것으로 예상된다 [1]. 이에 KEPCO는 2019년에 자산관리 기본계획을 수립하고 핵심기술을 확보하기 위해 세계적 수준의 자산관리 기술을 도입하여 우리의 실정에 맞게 최적화할 예정이다.

KEPCO에 적용할 자산관리 대상기자재는 송변전 5종, 배전 5종으로 투자비중이 높은 자재 위주로 10종이 우선 선정되었다. 송전 3종은 XLPE/OF케이블, ACSR 전선, 변전 2종은 전력용 변압기, 개폐장치, 배전 5종은 가공/지상변압기, 가공/지상개폐기, 케이블이며 향후 대상을 확대할 예정이다.

본 논문은 배전 5종 중에서 배전용 케이블의 수명평가와 관련하여 최근 18년간(2003~2020년)의 전력연구원 및 설비진단처에서 작성한 고장분석보고서 159건을 활용하여 원인별 고장소요기간(년)을 분석하였다. 또한 최근 13년간(2008~2020년)의 고장데이터 1,483건 중에서 마모기 열화고장 381건을 추출하여 제작사별 운영설비 공장(100C-km)당 고장건수를 산출하여 고장률이 높

은 케이블을 진단할 수 있도록 우선순위를 산출하였다. 본 논문의 제작사별 고장률은 VLF진단 우선순위를 결정하는데 유용한 의미를 가질 수 있다.

고장 및 운영데이터를 활용하여 케이블 절연체 종류, 제작사, 제작년도별 등 다양한 조건에서 고장률을 산출하여 자산관리시스템에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

### II. History of MV Cable Type Change and Trend of Failure

#### A. 지중 배전용 케이블 일반현황

우리나라 전국에 전력을 공급하기 위하여 KEPCO에서 관리하는 지중 배전설비는 2020년 12월말을 기준으로 특고압 케이블은 약 47,411 C-km, 저압 케이블은 약 11,513 C-km에 이른다. 2008년 전국의 지중화율은 12.8% 였으나, 2020년 말 현재 지중화율은 19.5%로 매년 약 0.6% 정도 늘어나고 있다 [2].

#### B. 지중 배전용 케이블의 구조

국내에서 사용되고 있는 22.9kV급 지중 배전용 케이블의 대표 규격은 Fig. 1 과 같이 CNCV로, 도체(Conductor), 도체 차폐층

### Article Information

Manuscript Received Apr 15, 2020, Accepted September 27, 2021, Published online December 30, 2021

The Authors are with KEPCO Research Institute, Korea Electric Power Corporation, 105 Munji-ro Yuseong-gu, Daejeon 34056, Republic of Korea.

Correspondence Author: Chong-Eun Cho (chochongeun@kepcoco.kr)



This paper is an open access article licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>  
This paper, color print of one or more figures in this paper, and/or supplementary information are available at <http://journal.kepcoco.kr>.



Fig. 1. CNCV 케이블의 구조

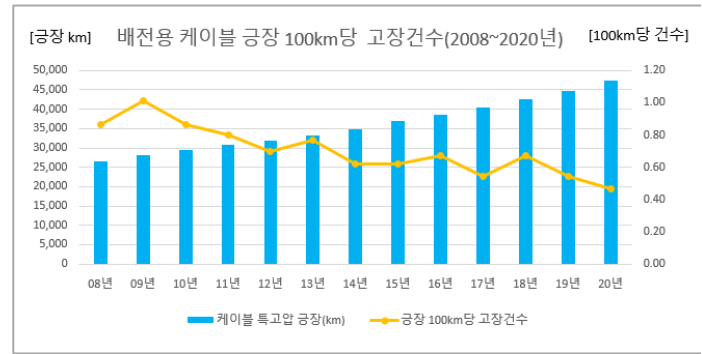


Fig. 3. 지중선로 100km당 고장건수 추이

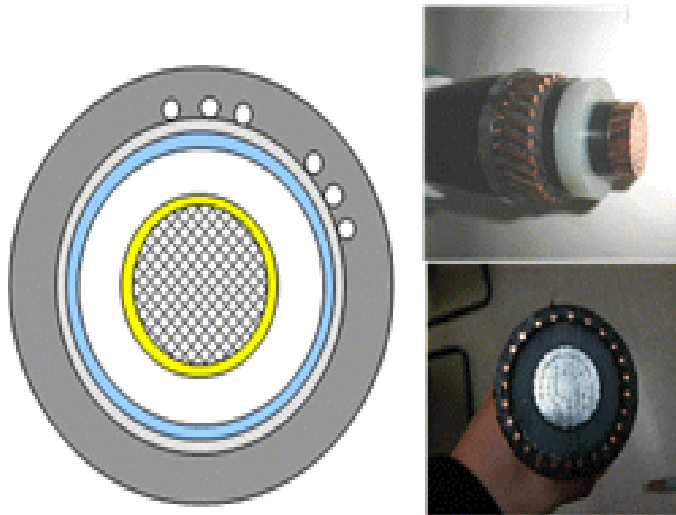


Fig. 2. TR-CNCV-W 케이블의 구조

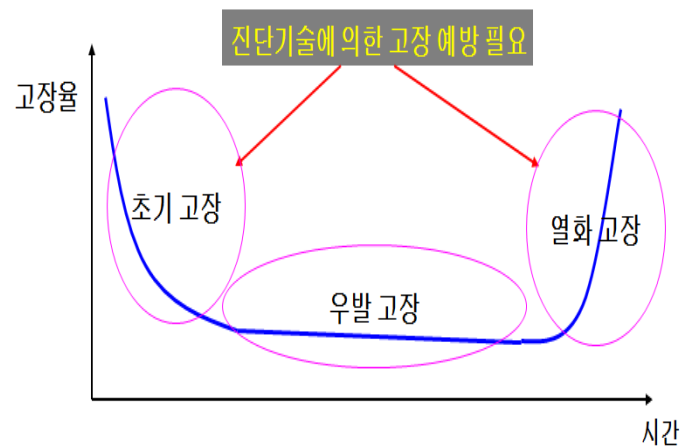


Fig. 4. 배전용 케이블 사용기간과 고장빈도

TABLE 1

배전용 케이블의 종류 및 특성

케이블 종류	도체	절연체	외 피	현장 적용기간	주요 특성
CNCV				'83.9~'99.12	부풀음테이프 보강(92년)
CNCV-W		XLPE	PVC	'95.6~'08.07	도체 수밀 강화
TR CNCV-W	CU	TR-XLPE		'01.11~'11.3	절연체 트리 억제 강화
FR CNCO-W		XLPE	할로젠프리 폴리올레핀	'98.4~'21년 현재	외피 난연성 강화
FR CNCO-W/AL	AL			'13.4~'21년 현재	
TR CNCE-W	CU	TR-XLPE		09.10~'21년 현재	외피 난연 및 수밀성 강화
TR CNCE-W/AL	AL		난연성 PE	'11.2~'21년 현재	

(Conductor Shield : 내부반도전층), 절연체(Insulator : XLPE), 절연차폐층(Insulation Shield : 외부반도전층), 중성선(Neutral Wire), 외피(Jacket)으로 구성되어 있다 [3].

TABLE 2

배전용 케이블 사용기간별 고장빈도 및 원인

사용기간	초기 고장 (약 10년 이내)	우발 고장 (전 기간)	열화 고장 (약 15년 이후)
고장원인	제조결함, 시공불량	외부손상	열화 고장
실제사례	Void, 돌기, 이물질, 외상, 시공불량 등	굴착 공사 등	Water tree Electrical tree
진단방법	준공시험 (PD 측정)	On-line PD Monitoring	IRC/RVM, VLF tanδ, On-line PD Monitoring

### C. 지중 배전용 케이블 최근 추세

최근에는 도체 내부로 물이 들어가지 않도록 수밀성을 강화하고, 수트리에 의한 고장을 줄이기 위해 절연체를 트리 억제형 (Tree Retardant)으로 보강하고, 수밀 특성이 뛰어난 난연성 PE를 외피로 사용한 Fig.2와 같은 구조의 TR-CNCE-W(구리 도체)와 가격이 상대적으로 싼 TR-CNCE-W/AL(알루미늄 도체) 케이블을 주로 사용하고 있는 추세이다 [4]. 과거부터 현재 사용중인 배전용 케이블의 종류별 도체, 외피의 재질, 주요 특성은 아래의 Table 1과 같다.

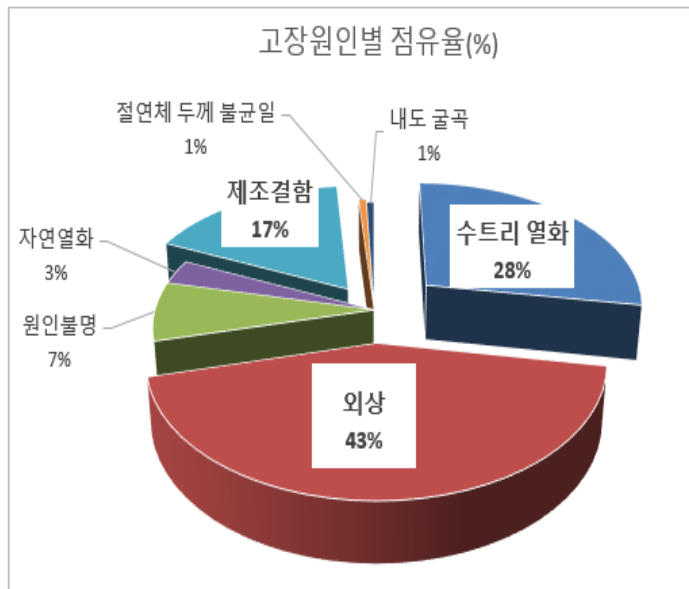


Fig. 5. 최근 18년간 배전용 케이블 고장원인 분류

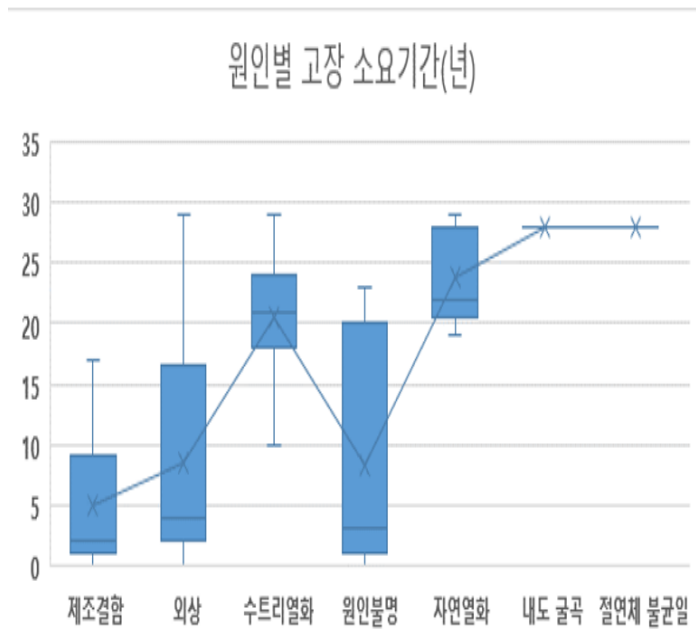


Fig. 6. 원인별 고장 소요기간

TABLE 3  
배전용 케이블 고장원인 세부분류

고장원인	건수(점유율)	평균소요(년)	전체소요(년)	세부원인
외상	69(43.4%)	8.4	0.3~29	외상(칼날, 못), 굴착, 시공불량 등
수트리 열화	44(27.7%)	20.6	10~29	수트리 열화 → 전기 트리(부분방전)
제조결함	27(17.0%)	4.9	0.4~17	보이드, 돌기, 이물질 등
원인불명	12(7.5%)	8.3	0.8~23	국부손상 의심(외상 또는 제조결함)
자연열화	5(3.1%)	23.8	19~27	수트리 의심되나 수트리 미발견
절연 불균일	1(0.6%)	28.0	28.0	절연체 두께 불균일
내도 굴곡	1(0.6%)	28.0	28.0	스트레스 집중(돌기결함 유사)
총 합계	159(100%)	11.9	0.3~29	

### III. Failure Analysis of MV Cable

#### A. 배전용 케이블 공장 100km당 고장건수

최근 13년간(2008~2020년)간 배전 지중선로에서 발생한 고장건수(일시, 순간, 순시, RA재페로 성공 포함)는 아래의 Fig.3 과 같다. [5] 지중선로의 공장 100km당 고장건수는 2009년 1.01건에서 2020년 0.47건으로 약 46% 수준으로 감소하였음을 알 수 있다. 이는 2010년부터 본격적으로 시행한 VLF 케이블 진단이 고장 감소에 기여한 것으로 판단된다.

#### B. 지중 배전용 케이블 사용기간과 고장빈도

22.9kV급 지중 배전용 케이블의 고장원인을 사용기간에 따라 분류하면 Fig 4 및 Table 2와 같이 초기고장, 우발고장, 열화고장으로 나눌 수 있다 [6]. 주로 10년 이내의 초기고장은 케이블 제조결함, 시공 및 운반과정에서 발생하는 외상이 대부분을 차지한다. 우발고장은 굴착 공사 등 작업자 부주의로 케이블에 물리적인 손상을 일으켜 발생하는 고장이다. 통상적으로 XLPE 케이블의 설계수

명은 30년을 기준으로 절연설계를 하고 있지만 [7], 제조결함과 외상을 제외하면 통상 15년 정도부터 고장이 발생하기 시작한다. 배전용 케이블의 경년열화고장은 대부분 수트리(Water Tree) 열화이며, 주로 15년 내외에서 고장이 발생하는 특성을 가진다.

#### C. 최근 18년간 고장원인 분류

아래 지중 배전용 케이블 고장분석 데이터는 지난 18년간(2003년~2020년) 발생한 고장 중에서 전력연구원 및 설비진단처에서 상세하게 고장원인을 분석한 결과이다. 상세 분석한 배전용 케이블 고장 159건에 대하여 케이블의 종류, 제작사, 원인별로 제작(또는 설치)후 고장 소요기간(년)을 분석하였다. 아래 Fig.5와 Table 3은 159건의 고장원인을 분석한 결과로 외상이 69건(43%), 수트리 열화 44건(28%), 제조결함 27건(17%), 원인불명 12건(7.5%) 등의 순이며, 상위 3가지 원인이 전체의 88%를 점유하고 있다.

사용기간 중 고장으로 진전되는 평균 소요기간을 살펴보면 제조결함은 4.9년, 외상은 8.4년, 원인불명 8.3년, 수트리 열화는 20.6년, 자연열화는 23.8년, 절연체 불균일은 28년, 내부반도전층 굴곡은 28년으로 아래의 Fig.6과 같다.

제조결함 고장은 대부분 하자기간 5년 이내에 발생하였으며, 매우 특이한 경우는 돌기 결함이 있었음에도 불구하고도 최장 17년만에 고장이 발생한 경우도 있었다. 외상은 굴삭기나, H-beam 파일 작업 등 현장에서 즉시 원인이 명확하게 드러나는 경우는 제외되었기 때문에 외부반도전층 또는 절연층 일부가 손상된 상태에서 수년간 운전 중에 부분방전으로 고장이 발생한 경우에 해당한다. 자연열화는 과부하로 추정되는 절연체 변색 흔적도 없었고, 수트리도 미관찰되어 자연열화로 분류하였다. 전체 소요기간을 살펴보면 제조결함은 0.4~17년, 수트리 열화고장은 10~29년으로 서로 겹치는 중복기간(10~17년)이 존재한다. 소요기간을 평균적으로 계산하면 제조결함은 4.9년, 시공과 관련된 외상은 8.4년으로 초기고장을 10년으로 보는 것이 적정한 것으로 보인다.



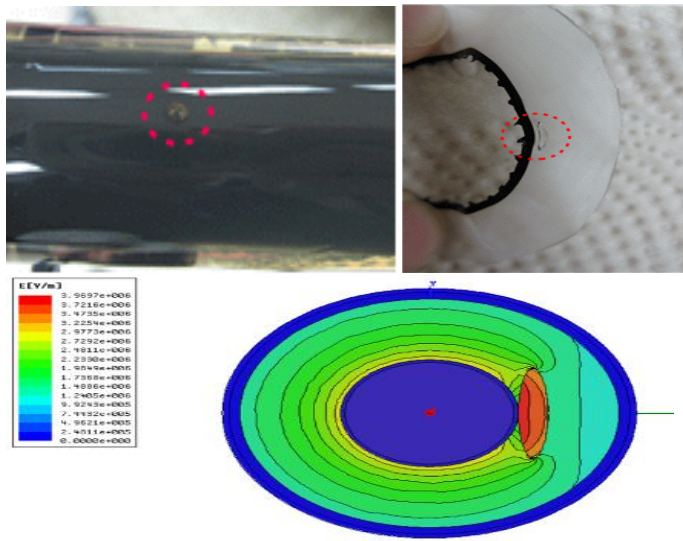


Fig. 7. 보이드 결함사례 및 전계해석

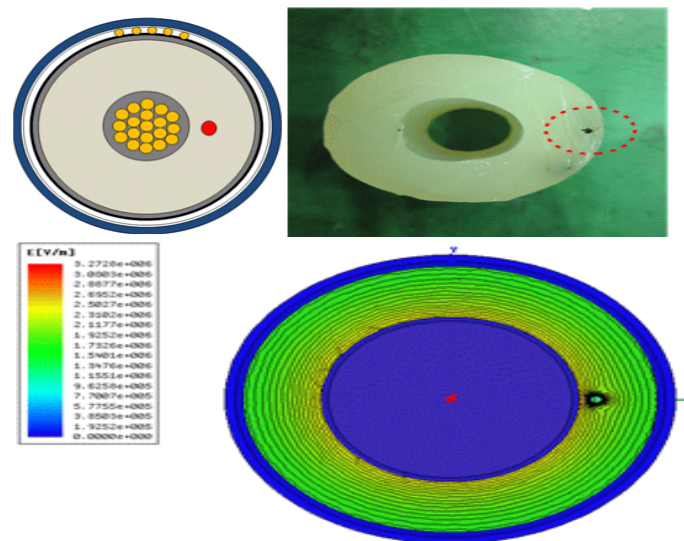


Fig. 9. 이물질 결함사례 및 전계해석

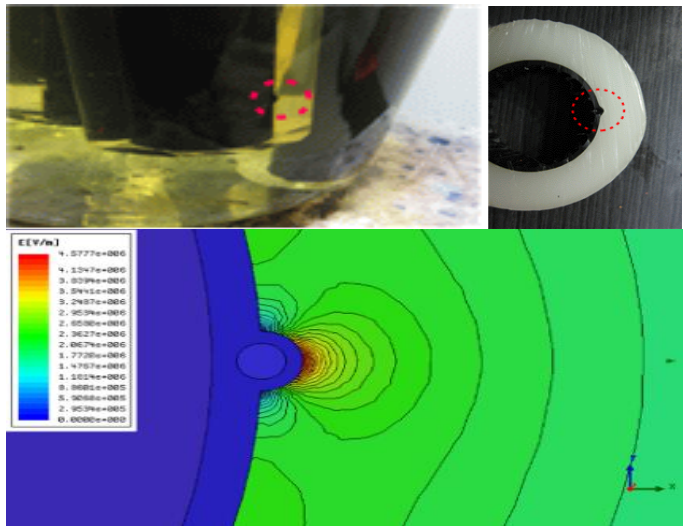


Fig. 8. 돌기 결함사례 및 전계해석

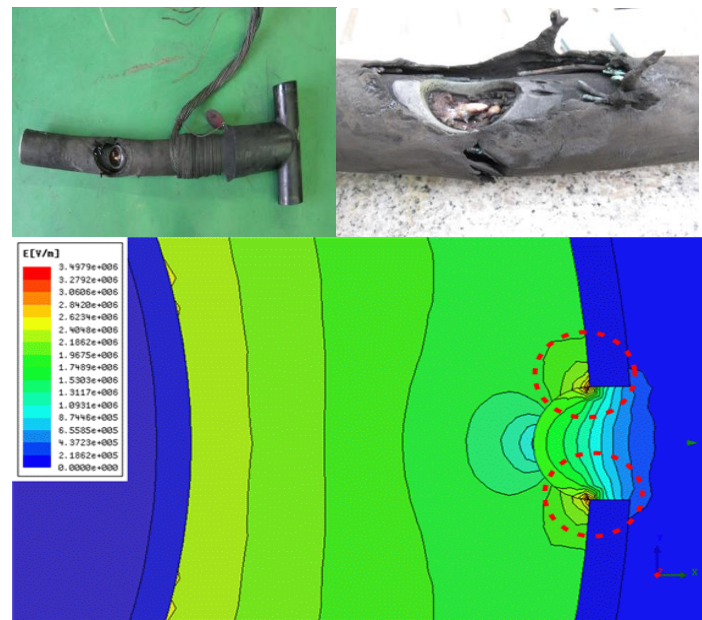


Fig. 10. 외상 고장사례 및 전계해석

○ 제조결함 고장

제조결함 유형은 크게 3가지로 보이드(Void), 돌기, 이물질로 구분하며 경우에 따라서는 2가지 이상의 결함이 복합적으로 나타나는 경우가 많다. 절연체 내의 보이드를 흔히 공극(空隙)이라고 부르기도 하는데, 순수하게 보이드만 생성되는 경우는 거의 없고 보이드와 돌기가 동시에 생성되는 경우가 대부분이다. 보이드 내부에는 공기(Air) 또는 가스(Gas)로 차 있어 전기적인 스트레스 집중으로 부분방전(Partial Discharge)이 지속되어 고장으로 이어진다. 보이드 결함은 수개월~최장 13년, 돌기 결함은 5년~17년 정도 소요되었다. 돌기의 끝부분은 절연물로 채워져 가압 초기에는 부분방전이 발생하기 어렵고, 고장이 임박해야 부분방전이 발생하여 고장에 이르게 된다. 이물질 고장은 1~14년 정도 소요되었으며 이물질 주변에 보이드가 생성되는 경우가 많았다. 위의 3가지 결함에 대한 고장사례와 전계해석 결과는 Fig. 7~9와 같다 [8].

○ 외상 고장

아래 Fig. 10의 좌측은 개폐기에 연결되는 엘보 접속재를 포함하는 케이블에서 고장이 발생한 사례로 외피와 절연체에 외상의 흔적이 관찰되었으며 준공 후 수년이 경과하여 고장이 발생하였다. 통상 절연체가 기계적 손상을 많이 받으면 현장에서 즉시 절연 파괴 고장으로 이어지나, 절연체의 일부만 손상된 경우에는 수년이 경과한 후에 고장으로 이어지는 경우도 있다. 외상에 대한 전계해석 결과는 Fig. 10의 우측과 같이 절연체와 외부반도전층이 접하는 경계면에서 부분방전이 지속되어 고장으로 진전된다 [9].

아래의 Fig. 11은 VLF 진단결과 결과 약 2,830pC (기준 5pC)의 부분방전이 발생하였고, 케이블의 외부반도전층과 절연체 일부가 손상된 것으로 추정된다 [9].

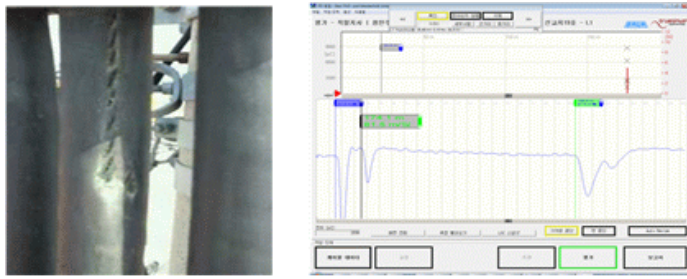


Fig. 11. 외상 발생사례 및 VLF 진단결과

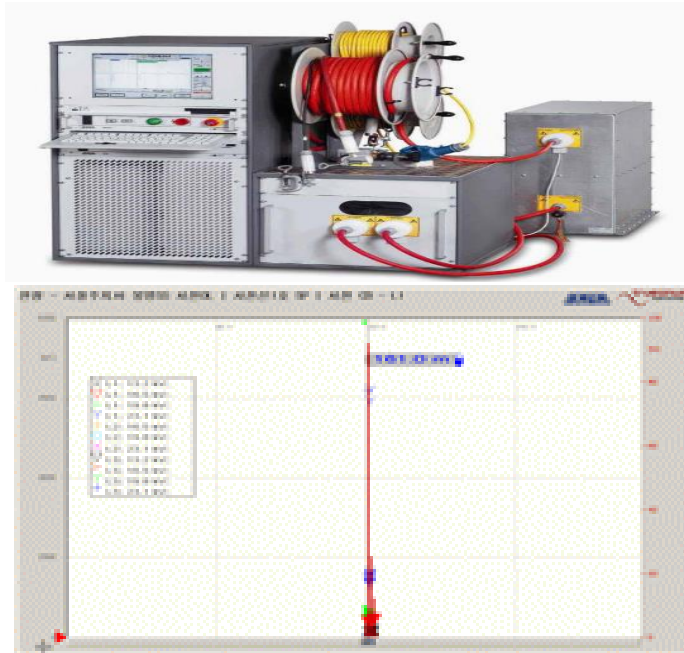


Fig. 12. VLF 진단장비(상) 부분방전 발생 케이블 적출(하)

○ 수트리 열화 고장

고장분석결과 수트리가 열화 고장은 44건이며 외도 벤티드 트리가 42건(95%), 내도 벤티드 트리는 1건(2.5%), 보우 타이는 1건(2.5%)로 대부분 외피 또는 외상으로 외피가 찢어진 부분으로 수분이 침투하는 것으로 보인다. 현재까지 수트리가 발생한 케이블은 CNCV, CVCV-W 2가지로 노후된 선종에서만 발생하였다. 수트리 열화를 예방하기 위하여 트리 억제형 절연체를 전 세계 다른 나라에서도 널리 적용하고 있다.[10] 현재까지 트리 억제형(TR-XLPE)인 TR CNCV-W와 화재 예방을 위해 전력구에 주로 사용하는 FR-CNCO-W에서는 수트리 열화 고장이 발생하지 않았다.

아래의 Fig. 12은 2013년 6월 VLF 진단장비를 사용하여 tan δ를 측정한 결과 불량으로 판정되었고, 부분방전(PD)도 발생하였다. 케이블의 선종은 22.9kV급 CNCV 325mm로 1996년 제품으로 현장에서 약 18년 정도 운전한 것으로 추정된다.[4]

케이블을 철거 및 해체하여 절연체를 관찰하니 Fig. 13의 좌측과 같이 수트리가 관찰되며, 염색 시험결과 수트리가 거의 100%정도 성장했으며 내부반도전층 끝부분에서 전기트리(우)가 진행되고 있었다.[11] VLF 진단을 적기에 시행하여 고장을 예방한 사례이다.



Fig. 13. 절연체 수트리(좌) 보라색 수트리 및 검은색 전기트리(우)

VI. Probality of MV Cable Failure

A. 지중 배전용 케이블의 고장률 산출

케이블은 1개의 “선(line)”으로 연결되어 있기 때문에 고장률 산출방법으로 수식(1)과 같이 단순하게 공장(100C-km) 대비 고장건수로 나타낼 수 있다. 공장 산출시 고장으로 철거한 설비의 공장을 분모에 포함하는 것이 좀 더 정확하며 케이블의 종류, 규격, 제작사, 제작년도별로 상세 구분하는 것이 계층화에 유리하다.

KEPCO는 15년 경과한 배전용 케이블에 대해서 상시 진단을 시행하고 불량한 경우 교체하므로 VLF 진단실적을 고장에 준하여 고장률 평가에 반영하는 것이 바람직하다고 보여진다. VLF 진단실적을 반영한 것은 수식(2)와 같으며 분모에는 운영설비의 공장에 고장, VLF 진단으로 철거한 설비의 공장을 누적하고, 분자에는 고장 및 VLF 진단으로 불량판정하고 교체한 건수를 적용하면 좀 더 정확한 고장률을 산출할 수 있을 것으로 보인다. 수식(1)과 (2)에서 고장 및 진단으로 철거한 케이블의 정확한 공장(C-m) 데이터 취득에 어려움이 있다. 철거설비의 공장 데이터를 취득하기 어려운 경우에는 사업소 전문가들의 경험 데이터를 활용하는 방안이 있다. 예를 들면 고장 또는 진단 1건당 철거되는 설비의 평균 공장으로 대략 250m를 적용하는 방안이다. 공장 대신 연장으로 고장률을 산출할 수 있으나 케이블 포설의 특성상 1상만 불량하여도 3상을 동시에 교체해야 하므로 공장으로 산출하는 것이 적절한 것으로 보인다.

$$\text{고장률(1안)} = \frac{\Sigma \text{고장건수}}{[\text{운영설비공장} + \Sigma \text{고장철거 공장}](100\text{km})} \quad (1)$$

$$\text{고장률(2안)} = \frac{\Sigma(\text{고장건수} + \text{VLF진단불량건수})}{[\text{운영설비 공장} + \Sigma \text{고장철거공장} + \Sigma \text{진단철거공장}](100\text{km})} \quad (2)$$

B. 운영설비 공장 대비 열화고장 건수(건/100 C-km)

아래 Fig. 14는 지난 13년간(2008~2020년) 지중 배전선로에서 발생한 케이블 고장 1,483건 중에서 제작사와 제작년월이 입력된 고장을 추출하고, 초기고장 10년을 적용하여 제조 또는 설치 후 10년이 경과한 381건의 열화고장을 대상으로 고장률을 산출하였다. 고장률은 열화고장(보수불량 포함) 건수를 제작사별 운영설비 공장(100C-km)으로 나눈 것으로 수식(1)을 적용하였다. 고장건수는 정전통계시스템에서 추출하였으며 선로의 공장은 e-배전정보 지중설비통계에서 추출하였다. 고장으로 철거되는 설비의 공장은 고장건당 평균 250m를 적용하였고, 진단으로 철거되는 설비의 공장은 반영하지 않은 상태이다.



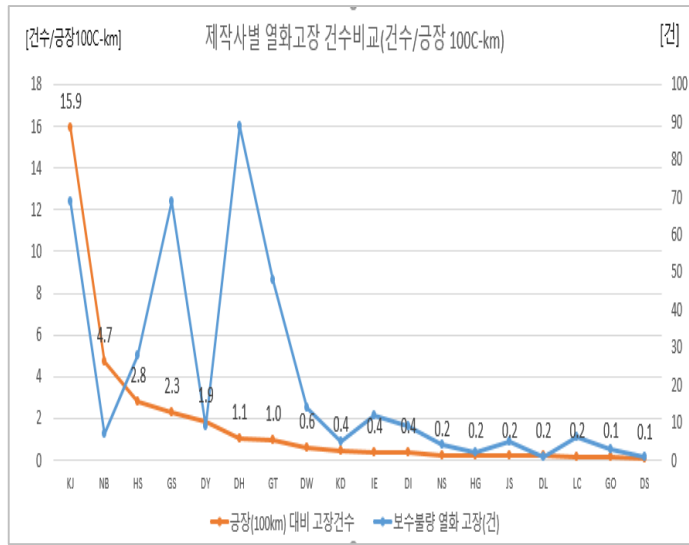


Fig. 14. 공장 대비 제작사별 열화고장 건수비교

**TABLE 4**  
공장(100C-km) 대비 제작사별 열화고장 건수 및 산출조건

제작사	KJ	NB	HS	GS	DY	DH	GT	DW	KD
건/100km	15.9	4.7	2.8	2.3	1.9	1.1	1.0	0.6	0.4
제작사	IE	DI	NS	HG	JS	DL	LC	GO	DS
건/100km	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1

고장종류 : 일시, 순간, 순시, RA 재폐로 성공  
 분석대상 : 381건 [고장종류 : 자연열화(보수불량 포함)]  
 초기고장 : 10년 미만 제외(Cut - Off 10년)  
 고장률(위험률) : VLF 열화 진단대상 선정 시, 공장 100C-km당 고장건수  
 우선순위 : KJ전선(16.6) > NB전선(4.8) > HS전선(2.8) > GS전선(2.3) > DY전선(1.9)

위의 18개 제작사의 경우 고장으로 철거한 설비의 공장에 비하여 운영설비의 공장이 너무 커서 고장으로 철거한 설비의 공장을 반영했을 때와 미반영 했을 때의 고장률은 거의 차이가 없었다.

**C. 고장률 반영 VLF 진단 우선순위 선정**

배전용 케이블 진단대상을 선정할 때 단순히 선종별, 제작사별 고장발생건수를 기준으로 선정하는 것보다는 운영설비 공장 대비 고장건수를 반영한 고장률로 우선순위를 정하는 것이 보다 합리적이라고 할 수 있다. 위의 Table 4와 같이 VLF 진단대상 상위 5개 제작사를 추출하면 KJ전선(16.6) > NB전선(4.8) > HS전선(2.8) > GS전선(2.3) > DY전선(1.9) 순서이다. 공교롭게도 상위 5개 제작사는 과거에는 케이블을 KEPCO에 납품을 했지만 경영여건으로 인하여 폐업, 흡수합병, 상호변경 등으로 현재에는 케이블을 납품하고 있지 않다. 공장 대비 제작사별 고장건수는 지중케이블의 고장률을 평가할 수 있는 많은 요소 중 하나로 향후 자산관리시스템에 반영할 예정이다.

**V. Conclusion**

지금까지 최근 18년간(2003~2020년) 지중 배전용 케이블 고장분석보고서 159건에 대하여 상세하게 고장유형을 분석하고, 마모기 열화고장을 산출하기 위해서 고장 소요기간(년)을 분석하였다. 지난 13년간(2008~2020년) 지중 배전용 케이블 고장 1,483건 중에서 초기고장을 제외한 10년 경과한 381건의 열화고장에 대하여 공장 100km에 대한 제작사별 고장률을 산출하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 최근 18년간(2003~2020년)간 고장분석보고서 159건에 대한 고장원인별 전체 소요기간은 보이드 결합은 수개월~13년, 돌기 결합은 5~17년, 이물질은 1~14년, 수트리 열화 고장은 10~29년으로 분석되었다. 순수한 돌기 결합은 끝부분이 절연물로 채워져 있기 때문에 가압 초기에는 부분방전이 발생하기 어렵고, 고장이 임박해야 부분방전이 발생하므로 진단이 매우 어렵다.

둘째, 고장분석보고서 159건에 대한 고장원인별 평균 소요기간은 제조결합(보이드, 돌기, 이물질 등)은 4.9년, 외상은 8.4년으로 마모기 열화고장 선정을 위한 초기고장(Cut-off)은 10년으로 정하는 것이 적절하다고 판단된다.

셋째, 케이블 같이 1개의 선으로 된 설비의 고장률을 산출하는 방법으로 간단하게 공장 100km 대비 고장건수로 나타낼 수 있다. 또 다른 방법은 고장 또는 진단으로 철거되는 설비의 공장(실거리 또는 평균)을 분모에 더하고, 분자에도 반영하여 고장률을 산출할 수 있다. 다만 후자의 경우 철거 설비에 대한 데이터 획득 방법이 다소 어렵다.

넷째, 최근 13년간(2008~2020년) 지중 배전용 케이블에서 발생한 고장 중에서 열화고장(보수불량 포함)건수를 운영설비 공장(100C-km)으로 나눈 결과는 단순 평균 고장률이며, VLF 진단 우선순위 5개 제작사는 KJ전선 > NB전선 > HS전선 > GS전선 > DY전선 순이다.

**REFERENCES**

- [1] 홍성규 “배전설비 진단기술 적용현황 및 고도화 방향, 전기의 세계”, P42, 2014년
- [2] 한전 e-배전정보> 설비통계> 지중설비통계(2008, 2020년)
- [3] 김동명, “배전용 케이블의 열화와 고장”, TM, 1권, P1, 2009년
- [4] 조종은 외1, “배전용 지중케이블 고장유형분석 및 진단적출사례”, P212~217, 한국신뢰성학회, 2014.5월
- [5] 한전 e-배전정보> 정휴전실무용> 년도별 정전통계(2008~2020년)
- [6] 이재봉, “지중 배전케이블 최적 열화진단 기술선정”, TR, P9, 2009년
- [7] 배전계획처 배전기기부, “배전기자재 50년사”, P197, 2019.12월
- [8] 조종은, “제조결함에 의한 배전용케이블 절연파괴 사례 및 전계해석”, P43~48, 2013년
- [9] 조종은 외2, “배전용 지중케이블 고장분석 및 진단사례 고찰”, P101~102 대한전기학회, 2015년
- [10] Nigel HAMPTON, “Long-life XLPE Insulated Power Cable”, JIcable, 2007.
- [11] 조종은 외2, “배전용 지중케이블의 수트리 및 전기트리 고찰”, P101~102 대한전기학회, 2015년