ISSN 1975-8359(Print) / ISSN 2287-4364(Online)
The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 65, No. 10, pp. 1780~1785, 2016
http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2016.65.10.1780

22.9kV급 케이블 결함 검출을 위한 초저주파 실험 및 현장 진단 분석

Analysis of Diagnosis and Very Low Frequency Experiment to Detect of Fault on 22.9kV Class Cable

김 영 석† · 김 택 희* · 김 종 민* · 송 길 목*
(Young-Seok Kim · Taek-Hee Kim · Chong-Min Kim · Kil-Mok Shong)

Abstract - This paper presents few case studies of state diagnosis of XLPE cables using very low frequency techniques. The power cables of 22.9kV which have installation fault were assessed using VLF technique in addition to other techniques like insulation resistance and DC voltage withstand test. From the experimental results, The dielectric loss(tanδ) values of degradation of the cable(joint, knife, needle) at U_0 were 5.839, 5.526 and 6.251, respectively and all values were "further study advised". VLF PD measurement was also found defective portion. These method was effective in defect to fault in the degradation of the cable. However, the breakdown did not occur in the degradation of the cable because of properties of XLPE insulation. Few case studies of using VLF tanδ diagnosis for fault are measured and analyzed. The tanδ values at U_0 were "further study advised" or "action required".

Key Words : XLPE cable, Very low frequency, Diagnosis, Dielectric loss

1. 서 론

전력케이블은 발전된 전기를 고객의 전기설비에 전달해 주는 설비로서, 전력케이블에서 발생하는 사고는 직접적으로 고객의 정전을 발생시켜 불편을 초래하게 된다. 통계자료에 의하면, 고객의 전기설비 중 전력케이블 사고는 1년 평균 약 180건 정도 발생하고 초기 시공한 후, 5년 이내에 전력케이블 자체의 제조결함과 시공불량에 의하여 발생하는 고장이 대부분을 차지한다[1]. 전력케이블의 제조결함은 제조공정 중에 유입된 불순물, 내부 공극이 원인이며, 시공불량의 경우 전력케이블 시공 중에 케이블 절연체에 상처를 입히거나 접속재 등의 시공절차 중 일부를 누락하거나 치수 불량이 발생하여 고장 나는 사례가 많다.

이런 전력케이블 사고를 예방하기 위하여 여러 가지 케이블 진단 방법이 사용되고 있으며, 그 중에서 VLF 장비를 이용한 케이블 진단 방법이 몇 년 전부터 국내에서 주목받고 있다[2-5]. VLF라 함은 시험전압의 0.01㎐~1㎐ 사이의 주파수 범위를 지칭하며, DC시험전압의 결점인 절연체 내 공간전하 축적의 문제가 없는 장점을 가지고 있다. 또한 VLF 진단 방법으로는 유전정접(이하 탄델타)을 비롯한 부분방전(PD), VLF 내전압시험 등의 시험에 적용이 가능한 호환성을 가지고 있다. VLF 탄델타의 경우, 수트리와 같은 열화가 진전된 전력케이블의 경우 R성분이 존재에 따라 부하 전류 IC와 IR의 백터합에 따른 위상차만큼 변하게 되며, 이를 이용하여 케이블 열화를 판단하게 된다. 또한 IEEE 400.2에 전력케이블의 이상여부를 판단하는 가이드도 제시되고 있다[6]. VLF 내전압 시험의 경우는 전기설비기술기준의 판단기준에 수록된 것과 같이 상전압의 3배의 VLF 내전압 시험을 60분간 인가하여 이상여부를 확인한다고 되어 있으며, 사용전과 사용 중인 전력케이블을 구분하고 있지는 않다. 이 경우, 사용 전 검사 대상의 전력케이블에서는 전원 투입 전에 시험을 실시하여, 정전시간의 제약이 없지만, 사용 중 전력케이블의 경우에는 선간전압 이상의 내전압 시험에 따른 절연파괴, 장시간의 정전시간 등의 현실적인 문제와 고객의 불편을 초래하게 된다. 따라서 사용 중 전력케이블의 결함검출 진단을 위해서는 적절한 진단 기준이 필요하다.

본 논문에서는 고객의 전력케이블 열화 검출을 위해 사고 확률이 높은 케이블 접속재에서의 열화를 모의하고 VLF 장비를 이용하여 내전압, PD 및 탄델타 시험을 실시하여, 결함 검출여부를 살펴보았다. 또한, 현장에 유사하게 설치된 케이블 샘플을 대상으로 VLF 진단을 수행하여, 탄델타 측정 결과를 분석하였다.

2. 전력케이블의 시험 관련 국내외 기준 분석

22.9kV급 전력케이블을 대상으로 시공 전후의 케이블 시험 관련 국내외 기준을 분석하였다. 전력케이블 시험은 전기설비기술기준 및 판단기준 제 13조와 6~30kV 케이블 표준에서 DC 내전압 시험과 VLF 시험을 하도록 규정하고 있다. 표 1은 전력케이블의 내전압 시험에 대한 국내외 기준을 나타낸다. 내전압 시험

+ Corresponding Author : Electrical Safety Research Institute, Korea Electrical Safety Corporation, Korea.
E-mail: athens9@kesco.or.kr
* Electrical Safety Research Institute, Korea Electrical Safety Corporation, Korea.
Received : August 19, 2016; Accepted : September 6, 2016

Copyright ⓒ The Korean Institute of Electrical Engineers
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/)which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

은 전력케이블 사용 전 검사(준공 시험) 및 정기검사 시에 DC 내전압 시험 혹은 0.1Hz VLF 시험을 수행하고 있으며, 2014년까지는 표준에서 DC 내전압 시험만을 규정하고 있었으나, 2014년 개정판에서 VLF 시험이 추가되었다.

표 1 전력케이블 내전압 시험 국내외 기준
Table 1 Standard of domestic and IEC for withstand voltage on cable

전압 종류	대상 케이블	시험전압	분	판정 근거
DC	22.9kV	최대사용전압*0.92*2배	10	판단기준
	6~30kV	상전압*4배	15	IEC60502-2 (2014)
0.1HzAC	22.9kV	상전압*3배	60	판단기준
	6~30kV	상전압*3배, 요청 시	15	IEC60502-2 (2014)

표 2는 전력케이블의 진단과 관련된 것으로 케이블의 열화 상태를 확인하기 위해 IEEE, IEC 표준 및 Doble사에서 탄델타에 대한 참고기준을 나타낸다. 특히 IEEE에서는 탄델타에 대한 상태판정을 신설케이블과 사용 중 케이블로 구분하여 제시하고 있으며, VLF 탄델타에서의 상태판정은 U0에서의 탄델타, 차동탄델타(DTD), 표준편차(TDTS) 3가지를 제시하여 정상, 요주의 불량으로 제시하고 있다.

표 2 전력케이블 탄델타 국외 참고기준
Table 2 Guide of IEEE and IEC for tandelta on cable

주파수	시험전압	적합기준	판정 근거
0.1Hz	상전압*1배	$<1.0*10^{-3}$(신설) $<4.0*10^{-3}$(노후)	IEEE 400.2
60Hz	2kV 이상	$<4.0*10^{-3}$(신설)	IEC 60502-2
	2kV	<1%(신설) <5%(노후)	Doble
	10kV	변동율<0.1(신설) 변동율≤0.1(노후)	

표 2.1 PE 계열 케이블에 대한 VLF 탄델타 기준 (신설 케이블)
Table 2.1 Standard of VLF tandelta for PE-based insulation cable(New)

상태판정	TDTS at U_0		DTD $2.0U_0$-$1.0U_0$		TD at U_0
정상	< 0.1	and	< 0.8	and	< 1.0
요주의	> 0.1	or	> 0.8	or	> 1.0

표 2.2 PE 계열 케이블에 대한 VLF 탄델타 기준(사용중 케이블)
Table 2.2 Standard of VLF tandelta for PE-based insulation cable(Service-aged)

상태판정	TDTS at U_0		DTD $1.5U_0$-$0.5U_0$		TD at U_0
정상	< 0.1	and	< 5.0	and	< 4.0
요주의	0.1~0.5	or	5.0~80	or	4.0~50
불량	> 0.5	or	> 80	or	> 50

3. 실험방법

3.1 전력케이블 결함 모의

VLF 내전압 및 탄델타 실험을 위해 100m 전력케이블 1조(3개)를 포설하였다. 그림 1은 옥외 실험장에 포설한 전력케이블 개략도와 사진을 나타낸다. 실험에 사용한 전력케이블은 22.9kV급 전력케이블로서, 60 ㎟의 단면적을 가진다. 전력케이블 실험을 위해서는 북미 진단 데이터 기반 기준으로는 전력케이블 길이가 30m~3km까지 설정하고 있으며, VLF 장비를 이용하여 진단 시, 전력케이블의 정전용량을 10nF 이상을 요구하고 있다. 일반적으로 지중전선로 정전용량은 아래의 식으로 구할 수 있으며, 보통 0.3~1.7 ㎌/㎞의 값을 가진다. 따라서 전력케이블 실험을 위해서는 최소 30m 이상의 전력케이블에서 VLF 진단의 유효성을 가지는 것을 알 수 있다.

$$C(\mu F/km) = \frac{0.02413 \cdot \epsilon}{\log 10 \frac{D}{r}}$$

여기서, r: 전선의 반지름, D: 선간거리, ε: 유전율(2.3~4.0)

전력케이블 포설은 약 98m의 전력케이블 트레이를 바닥에 설치한 후, 그 위에 전력케이블을 올려놓았으며, 전력케이블 끝단은 종단접속재로 처리하였다. 또한 신설된 전력케이블과 전력케이블 열화에 따른 탄델타의 변화를 조사하기 위해 전력케이블 중간(50m 지점)에 중간접속재로 연결하였다. 그림 2의 열화 모의 시

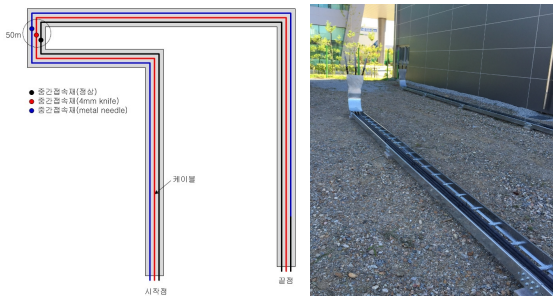
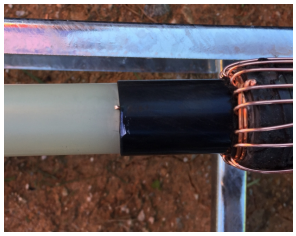


그림 1 전력케이블 옥외 포설 개략도 및 사진
Fig. 1 Photograph and schematic of installed cable

a) Connection of Joint



b) Metal Neddle

c) 4mm knife

그림 2 전력케이블 열화 모의 사진
Fig. 2 Photograph of Deteriorated cable

료는 중간접속재만 연결 한 경우(Joint), XLPE 절연물의 칼집에 의한 영향을 고려하여 심선방향으로 4mm 깊이로 칼집을 낸 경우(4mm knife), 금속 침을 이용하여 심선방향으로 4mm 깊이 방향으로 삽입한 경우(Metal)로 모의하였다. 또한 100m 케이블과 비교를 위해 3m의 짧은 케이블을 제작하였으며, 짧은 케이블은 종단접속재 부분에 동일한 열화를 모의하였다.

3.2 VLF 장비를 통한 전력케이블 실험방법

그림 3은 VLF 시험을 개략도로서, VLF 실험은 장비의 고전압측 전력케이블을 실험대상 전력케이블의 도체부에 연결하고, 장비 및 전력케이블 접지선을 연결하였다. VLF 장비를 이용하여 전력케이블의 열화 상태를 측정하기 위해서는 VLF 내전압, VLF PD 및 탄델타, 차등 탄델타, 탄델타안정도 시험을 수행하였다. 실험은 순서는 탄델타, PD, 내전압 순서로 진행하였고, VLF 탄델타는 $0.5U_0$, U_0, $1.5U_0$으로 총 8회의 탄델타를 측정하였으며, 차동 탄델타(DTD)는 $1.5U_0$-$0.5U_0$로 계산하였다. VLF PD는 $1.0U_0$~$2.0U_0$,의 전압으로, VLF 내전압 시험은 기술기준에 수록된 내용대로 상전압의 3배 전압을 1시간 인가하였다. 또한 전력케이블은 상용주파수 전압이 인가되지 않은 상태이며, 실험 때마다 VLF 전압만을 인가하였다.

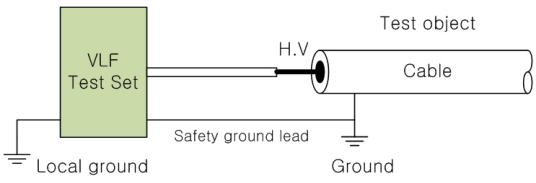


그림 3 전력케이블의 VLF 시험 개략도
Fig. 3 Schematic of VLF experiment for cable

4. 실험결과 및 검토

열화 모의를 통한 전력케이블의 VLF 실험결과를 내전압 특성, 탄델타 특성, PD 특성으로 구분하였으며, 상태에 대한 판정 근거는 전기설비기술기준의 판단기준과 IEEE 가이드를 참고하였다.

4.1 전력케이블 VLF 탄델타 실험 결과

표 3은 신설 22.9kV 전력케이블의 VLF 전압에 따른 탄델타의 변화를 나타낸다. 케이블 길이는 100m이며, 중간접속재 없이 본체에서만 측정한 탄델값을 나타낸다. 전압은 13.2kV($1.0U_0$)와 26.4kV($2.0U_0$)를 인가하였으며, 신설 전력케이블에 대한 탄델타 값은 표 2.1의 양호한 범위 이내의 값을 가졌다.

표 3 신설 전력케이블의 탄델타 실험결과
Table 3 Experimental results of VLF tandelta on new cable

구분	TD	DTD	TDTS	판정
	$1.0U_0$	$2.0U_0$-$1.0U_0$	$1.0U_0$	
Normal	0.229	0.147	0.003	정상

표 4 열화 모의 전력케이블의 탄델타 실험결과
Table 4 Experimental results of VLF tandelta on deteriorated cable

구분	TD	DTD	TDTS	판정
	$1.0U_0$	$1.5U_0$-$0.5U_0$	$1.0U_0$	
Joint	5.839	3.38	0.125	요주의
4mm knife	5.526	3.406	0.417	요주의
metal	6.251	3.525	0.098	요주의

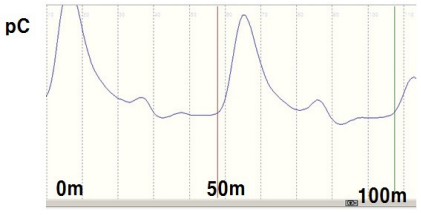
표 4는 열화 모의 전력케이블에서 측정한 탄델타 실험결과를 나타낸다. 표 2.2에 나타낸 IEEE 400.2의 PE 계열 절연체의 사용중 케이블의 탄델타 판정기준에 의해 3가지 경우 모두 요주의의 값을 가졌다. 본 시료의 경우, 열화된 전력케이블에서의 탄델타를 통한 결함의 검출 유무를 판단하는 자료로 활용하는 측면에서 효과적인 것을 알 수 있다.

하지만, 운전되지 않은 상태에서 옥외 실험장에 노출된 상태에서 절연물의 열화 모의에 의한 탄델타 값의 변화의 폭이 크지 않고 초기 전력케이블의 열화로 판정하기까지 많은 데이터 수집이 필요할 것으로 생각된다.

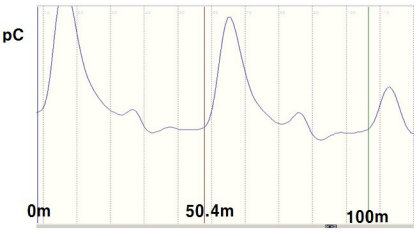
표 5는 길이 3m의 짧은 시료를 이용하여 전력케이블의 VLF 전압에 따른 탄델타의 변화를 나타낸다. 케이블의 정전용량값은 약 0.5nF 정도를 가졌으며, 접속 시 문제가 되는 gap, 칼집, 수분의 영향을 모의하였다. 표에서 탄델타값은 대부분 불량의 판정을 받았지만, 측정 시마다 탄델타의 값의 차이가 발생하였다. 탄델타는 케이블과 접속재 등의 부속품을 포함한 케이블 회로의 절연손실값을 제시하기 때문에 손실에서 케이블 길이에 대한 영향은 뚜렷하지 않다. 다만, IEEE 400.2에서는 탄델타 측정 시, 30m에서 3km 사이의 케이블에서 측정하도록 권장하고 있으며, 작은 정전

표 5 짧은 길이 3m 전력케이블의 탄델타 실험결과
Table 5 Experimental results of VLF tandelta on 3m cable

구분	TD	DTD	TDTS	판정
	$1.0U_0$	$1.5U_0$-$0.5U_0$	$1.0U_0$	
1mm gap	8.29	38.389	0.588	불량
2mm gap	14.762	15.676	1.4	불량
2mm knife	10.94	24.767	0.741	불량
4mm knife	10.586	16.323	0.171	요주의
water	44.766	63.695	2.899	불량



(a) Connection of Joint



(b) Neddle

그림 4 전력케이블의 VLF PD 실험 결과
Fig. 4 Experimental results of VLF PD on deteriorated cable

용량값이 탄델타 값을 높일 수 있을 것으로 추정된다.

4.2 전력케이블 VLF PD 실험 결과

그림 4는 전력케이블의 VLF PD 측정 결과를 나타낸다. 실험은 13.2kV($1.0U_0$)에서 서서히 전압을 상승시켜, 26.4kV($2.0U_0$)까지 인가하였으며, $1.75U_0$에서 그림과 같은 파형이 검출되었다. 또한 PD 신호는 중간접속재 및 칼집에 의한 열화 모의 시료에서 검출되었으며, 검출지점은 열화를 모의한 약 50m에서 발생하였다. 이때 발생한 PD 방전량은 각각 150pC, 113pC이었다. VLF PD의 경우, 전력케이블의 열화 지점을 찾는데 효과적인 것을 알 수 있으며, 전력 케이블 시공 후, 진단 방법으로 유효한 것을 알 수 있다.

4.3 전력케이블 VLF 내전압 실험 결과

표 6은 100m 케이블의 중간지점인 50m 지점에 열화를 모의하고, VLF 내전압 시험을 수행한 결과를 나타낸다. 시험은 전기

표 6 열화 모의 전력케이블의 VLF 내전압 실험 결과
Table 6 Experimental results of VLF withstand voltage on deteriorated cable

구분	Test Level [kV]	Frequency [Hz]	Capacitance [nF]	Time [min]	Result
Joint	39.6	0.1	16	60	OK
4mm knife	39.6	0.1	16	60	OK
metal	39.6	0.1	16	60	OK

설비기술기준의 판단기준에 의거하여, 상전압의 3배 전압을 60분간 인가하였다. 이때 케이블의 정전용량은 16nF 이었으며, VLF 내전압 시험결과 절연파괴는 발생하지 않았다. 또한 비교를 위해 DC 내전압(46kV) 시험도 10분간 인가하였지만, 절연파괴는 발생하지 않았다. 여기서 열화를 모의한 샘플 수가 작고, 열화 조건에 따라 케이블의 절연파괴 발생 여부가 결정되는 것이므로, 내전압 시험의 유효성에 대한 실험을 나타내는 것은 아니다.

전력케이블의 열화 모의를 통해 VLF 장비를 이용하여 실험을 수행한 결과, VLF 탄델타, PD 실험에서는 열화를 모의한 케이블에서 탄델타값의 변화 및 PD 신호, 검출 위치를 확인할 수 있었으며, 내전압 실험에서는 절연파괴 현상을 관측할 수 없었다. 비록 칼집, 침 전극 등의 열화를 모의하였지만, 22.9kV 전력케이블의 경우, 정상상태에서의 절연파괴 전압이 VLF 내전압 시험보다 훨씬 높고, 절연물의 특성이 우수하여 절연파괴가 발생하지 않은 것으로 판단된다. 그러나 전력케이블 시공 후, 준공시험 시에 VLF 내전압 시험 혹은 DC 내전압 시험은 반드시 수행해야 할 최소한의 시험이며, 케이블 상태에 따라 달라 질 수 있다. 따라서 VLF 탄델타 및 PD의 경우, 전력케이블 진단 방법으로 유효하게 활용되고 있고, 실험결과로도 사고예방을 위해 결함을 검출할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 신설케이블과 사용 중인 케이블에서의 VLF 적용방법에 대한 고찰도 중요할 것으로 판단된다.

5. 전력케이블 현장 진단 및 분석

전력케이블의 현장 진단은 분석을 위해 동일한 기능을 수행하는 배수장 고객을 대상으로 VLF 진단을 수행하였다. 배수펌프장은 여름철 혹은 기습적인 폭우 때, 한시적으로 수요에 따라 운전하는 시설이며, DC 고전압 절연진단의 누설전류, 성극비, 상간불평형율을 진단한 후, 고객의 요청에 의해 VLF 탄델타 진단만을 수행한 결과 값만을 분석하였다. DC 고전압 절연진단 결과에서는 누설전류는 10㎂/km를 초과하여, 부적합 상태, 성극비와 상간불평형율은 적합인 상태였으며, 종합적으로 적합인 고객들을 대상으로 하였다. 진단은 인입케이블을 분리하지 않은 상태에서 케이블 헤드 부분에 VLF 전압을 인가하였으며, $0.5U_0$, U_0, $1.5U_0$으로 총 8회의 탄델타를 측정하였다. 표 7~9는 고객(A, B, C)의 인입케이블에 대한 VLF 탄델타 진단 결과를 나타내며, 사용된 케이블 제조사는 각각 다르다.

표 7 A 고객의 VLF 탄델타 실험결과
Table 7 Experimental results of VLF tandelta on A customer

구분	TD	DTD	TDTS	판정
	$1.0U_0$	$1.5U_0$-$0.5U_0$	$1.0U_0$	
A상	21.174	2.555	0.264	요주의
B상	21.097	1.906	0.254	요주의
C상	24.448	0.267	0.434	요주의

표 8 B 고객의 VLF 탄델타 실험결과
Table 8 Experimental results of VLF tandelta on B customer

구분	TD	DTD	TDTS	판정
	$1.0U_0$	$1.5U_0$-$0.5U_0$	$1.0U_0$	
A상	35.79	68.447	2.093	불량
B상	82.39	88.29	2.09	불량
C상	39.46	72.62	0.732	불량

표 9 C 고객의 VLF 탄델타 실험결과
Table 9 Experimental results of VLF tandelta on C customer

구분	TD	DTD	TDTS	판정
	$1.0U_0$	$1.5U_0$-$0.5U_0$	$1.0U_0$	
A상	108.38	43.69	1.32	불량
B상	76.06	36.3	1.044	불량
C상	77.2	48.65	0.474	불량

고객 A, B는 2000년도에 시공한 배수펌프장이며, 약 100m 케이블 길이와 2000년에 제조된 케이블을 사용하였다. 고객 C는 2000년도에 시공하였으며, 1998년에 제조된 케이블로서 선로길이는 50m이다. 3곳의 고객 전기설비 모두 케이블 상태가 요주의 이상의 값을 나타내었다. 고객 A의 케이블 설비의 경우에는 3상 모두 U_0에서의 탄델타값 및 TDTS 값이 제시된 기준값 이상의 값을 나타내었으며, DTD값은 정상범위 안에 있었다. 고객 B의 케이블 설비의 경우에는 TDTS 값이 제시된 기준값 이상의 값을 나타내어 불량에 해당되었으며, 특히 B상의 케이블에서의 U_0값과 DTD값이 높았다. 고객 C의 케이블 설비의 경우에는 탄델타 값과 TDTS값이 제시된 기준값 이상의 값을 나타내어 불량에 해당되었으며, 특히 A, B상의 케이블에서의 U_0값과 TDTS값이 높았다.

현장진단을 통해 VLF 탄델타 측정이 전력케이블의 열화검출에 효과적인 것으로 파악되며, 해당 고객들에게는 지속적인 체크와 교체 계획을 권고하였다. 다만, 현장 진단에서 고객의 요청에 의해 VLF 내전압 시험을 수행하지 못했다. 즉, 전기설비기술기준의 판단기준에 따른 상전압의 3배전압과 각 상마다 1시간을 인가하는 것에 대해 고객들은 부담을 느끼고 있었다. 따라서 VLF 내전압 시험전압의 감소 및 인가시간에 대한 연구 및 제도적 개선이 필요할 것으로 판단된다.

6. 결 론

본 논문에서는 고객의 전력케이블 열화 검출을 위해 사고 확률이 높은 케이블 접속재에서의 열화를 모의하고 VLF 장비를 이용하여 내전압, PD 및 탄델타 시험을 실시하여, 결함 검출여부를 살펴보았다. 또한, 현장에 유사하게 설치된 케이블 샘플을 대상으로 VLF 진단을 수행하여, 탄델타 측정 결과를 분석하였다. VLF 탄델타, PD 실험에서는 열화를 모의한 케이블에서 탄델타 값의 변화 및 PD 신호, 검출 위치를 확인할 수 있었으며, 내전압 실험에서는 절연파괴 현상을 관측할 수 없었다. 22.9kV 전력케이블의 경우, 제품 시험에서 VLF 내전압 시험보다 훨씬 높은 전압에서 견디며, 열화 모의를 하였지만 절연물의 절연내력이 우수하여 절연파괴는 발생하지 않은 것으로 판단된다. 현장진단을 통해 VLF 탄델타 측정이 전력케이블의 열화검출에 효과적인 것으로 파악되며, 해당 고객들에게는 지속적인 체크와 교체 계획을 권고하였다. 또한 전력케이블의 열화 검출의 신뢰성을 높이기 위하여, 현장에서의 PD 측정 및 VLF 내전압 시험전압의 감소 및 인가시간에 대한 연구 및 제도적 개선이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2016년 산업통상자원부 한국에너지기술평가원의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.(No. 20162220200030)

References

[1] Korea Electrical Safety Corporation, "A Statistical Analysis on the Electrical Accident", 23th edition, 2014.

[2] G.S. Eager et al, "HIGH VOLTAGE VLF TESTING OF POWER CABLES", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 12, No. 2, pp. 565-570, 1997.

[3] Jae-Bong Lee et al, "The International Standard Trends of MV Power Cable Installation Test and its Application on Korean Standard", KIEE Summer conference, pp. 318-319, 2008.

[4] Tobias NEIER, "Combined Application of Diagnostics Tools for MV Underground cables", 9th International conference on Insulated Power Cables, C4.4, 2015.

[5] Burjupati Nageshwar RAO, Mallikarjunappa K, "Dielectric diagnosis of extruded cable insulation by very low frequency and spectroscopic techniques - A few case studies", 9th International Conference on Insulated Power Cables, C6.64, 2015.

[6] IEEE Std. 400.2-2013, IEEE Guide for Field Testing Shielded Power Cables Systems Using Very Low Frequency (VLF)
[7] IEC Std. 60502-2(2014), Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV (Um = 1,2 kV) up to 30 kV (Um = 36 kV) - Part 2: Cables for rated voltages from 6 kV (Um = 7,2 kV) up to 30 kV (Um = 36 kV), pp. 43~44, 2014.

저 자 소 개

김 영 석 (Young-Seok Kim)

1974년 4월 27일생. 1996년 2월 경상대학교 공대 전기공학과 졸업. 1999년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2001~2002년 야마구치대학 전기전자공학과 객원연구원. 2003년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 선임연구원
E-mail : athens9@kesco.or.kr

김 택 희(Taek-Hee Kim)

2003년 2월 원광대학교 전기공학과 졸업. 2016년 2월 전북대학교 IT응용시스템공학과 졸업(석사).
2007년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 주임연구원
E-mail : taki@kesco.or.kr

김 종 민 (Chong-Min Kim)

1972년 7월 18일생, 1998년 전북대학교 전기공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 주임연구원
E-mail : cmkim@kesco.or.kr

송 길 목 (Kil-Mok Shong)

1967년 3월 31일생. 1994년 2월 숭실대 공대 전기공학과 졸업. 2003년 8월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 8월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1996년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 책임연구원.
E-mail : natasder@kesco.or.kr