

절연전선 결함 위치 추정에 대한 시간-주파수 영역 반사파 계측법의 적용

論文

57-2-19

Estimation of Fault Location on a Power Line using the Time-Frequency Domain Reflectometry

杜承浩^{*} · 郭基錫^{*} · 朴珍培[†]
(Seung-Ho Doo · Ki-Seok Kwak · Jin-Bae Park)

Abstract - In this paper, we introduce a new method for detecting and estimating faults on a power line using the time-frequency domain reflectometry system. The system rests upon time-frequency signal analysis and uses a chirp signal which is multiplied by Gaussian envelope. The chirp signal is used as a reference signal, and we can get the reflected signal from a fault on a wire. To detect and estimate faults, we analyze the reflected signal by Wigner time-frequency distribution function and normalized time-frequency cross correlation function. In this paper we design an optimal reference signal for power line and implement a system for estimating fault distance on a power line with the TFDR implemented by PXI equipments. This approach is verified by some experiments with HIV 2.25mm power lines.

Key Words : Time-Frequency Domain Reflectometry, Power Line, Estimation of Fault Location, Normalized Time-Frequency Cross Correlation Function, Wigner Time-Frequency Distribution Function

1. 서 론

국내의 산업이 60년대부터 급격하게 발전함에 따라 건물내, 외부에 많은 절연 전선들이 설치되기 시작하였다. 이러한 절연 전선들은 고, 저전압을 수송하기 때문에 안전과 유지, 보수가 매우 중요한 문제가 되기 시작하였다. 실제 국내의 최근 10년간 전기화제 발생 현황을 보면 절연 전선과 관련된 화재가 약 70%를 차지하고 있음을 알 수 있다[1]. 특히 옥내의 배선들은 밀폐된 공간안에 있거나 매우 복잡하게 얹혀 있는 경우가 많아 그 유지, 보수에 많은 시간과 인력이 들어가는 실정이다. 또한 많은 노력을 하더라도 도선의 외피체로 인하여 그 결함정도를 알아내기 힘든 경우가 많다. 그로 인하여 도선의 결함위치를 추정하는 방법들이 많이 연구되어왔는데, 그 중에서 상용화되어 있고 많이 쓰이고 있는 방법이 반사파 계측법이다[2]-[7]. 반사파 계측법이란 일정한 신호를 도선에 인가하고 결함부위에서 생성되는 반사파 신호를 분석하여 도선의 결함 유무를 진단하고 결함의 위치를 추정하는 방법이다. 반사파 계측 방법은 분석 방법에 따라 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, 하나는 시간 영역 반사파 계측법(TDR : Time Domain Reflectometry)이고, 다른 하나는 주파수 영역 반사파 계측 방법(FDR : Frequency Domain Reflectometry)이다. 시간 영역 반사파 계측법[2]은 사각 펄스(pulse) 신호나 스텝(step) 모양의 전압 신호를 기준 신호로 사용한다. 이 기준 신호를 대상 도선에 인가하고

도선의 결함 부위나 말단 부분에서 반사되어 돌아오는 신호를 시간 영역에서 분석하여 결함의 유무나 위치를 추정한다. 시간 영역 반사파 계측법의 성능은 시간 영역에서의 분해능(resolution)에 의해 크게 영향을 받는 단점이 있다. 주파수 영역 반사파 계측법은[3] 기준 신호로 일정한 주파수 대역을 갖는 정현파를 사용한다. 시간 영역 반사파 계측법과 마찬가지로 기준 신호를 대상 도선에 인가하여 도선의 결함 부위나 말단 부분에서 반사되어 돌아오는 신호를 주파수 영역에서 분석하여 결함의 유무나 위치를 추정한다. 이 주파수 영역 반사파 계측법의 성능은 측정할 수 있는 주파수 대역폭의 크기에 의해 좌우된다. 기존의 반사파 계측 방법들은 시간 영역 또는 주파수 영역에서 각각 신호를 분석하는 반면에 본 논문에서 사용한 시간-주파수 영역 반사파 계측법(TFDR : Time-Frequency Domain Reflectometry)은 기준 신호 및 반사파 신호를 시간과 주파수 영역에서 모두 분석하여 결함 위치를 추정하기 때문에 기존의 방법에 비하여 더 나은 성능을 얻을 수 있다[5]. 시간-주파수 영역 반사파 계측법은 기준신호와 신호 분석 방법에서 기존의 방법들과 차별화된다. 시간-주파수 영역 반사파 계측법의 기준 신호는 시간 영역과 주파수 영역에서 모두 특성을 지녀야 하기 때문에 가우시안(Gaussian) 포락선 모양의 첨(chirp) 신호를 사용한다. 가우시안 포락선은 시간 영역에서 기준 신호를 지역화(localization) 하는 역할을 하고 첨 신호는 주파수 영역에서 분석될 수 있도록 기준 신호가 주파수를 갖도록 한다. 또한 기준 신호와 반사파 신호를 시간과 주파수 영역에서 모두 분석될 수 있도록 하기 위하여 위그너 시간-주파수 분포 함수(Wigner time-frequency distribution function)와 정규화 된 시간-주파수 상호 상관 함수(normalized time-frequency cross correlation function)를 사용한다. 본 논문에서는 시간-주파수 영역 반사파 계측법을 이용하여 절

* 學生會員 : 연세대학교 전기전자공학과

† 교신저자, 正會員 : 연세대학교 전기전자공학과 교수

E-mail : jbpark@yonsei.ac.kr

接受日字 : 2007年 9月 28日

最終完了 : 2007年 12月 25日

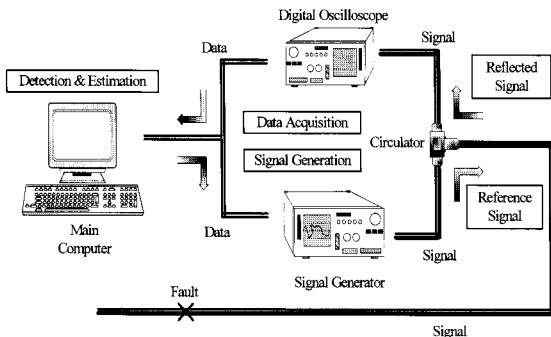


그림 1 시간-주파수 영역 반사파 계측 시스템의 구성도

Fig. 1 System configuration of the TFDR system

연 전선 결합 시스템을 구성하였고, 실제 옥내에서 많이 사용되는 절연전선을 대상으로 다양한 거리에 대해서 실험을 하였다. 또한 이를 기준의 계측 방법과 비교하기 위하여 시간 영역 반사파 계측법을 사용하여 대상 도선에 실험을 하였고 그 결과를 제시하였다.

2. 시간-주파수 영역 반사파 계측 시스템

2.1 시간-주파수 영역 반사파 계측 시스템 구성

본 절에서는 시간-주파수 영역 반사파 계측 시스템에 대해서 서술하기로 한다. 시간-주파수 영역 반사파 계측 시스템은 신호 발생기(signal generator), 순환기(circulator), 신호 습득부(digital oscilloscope), 대상 도선(target wire), 신호 처리부(detection & estimation)로 구성된다. 그림 1은 시간-주파수 영역 반사파 계측 시스템의 대략적인 구성도를 나타낸다. 신호 발생부는 대상 도선에 기준신호를 인가시키는 역할을 한다. 순환기는 신호 발생부, 대상 도선, 신호 습득부를 연결하여 주는 역할을 한다. 신호 습득부는 순환기로부터 기준신호와 반사파 신호를 획득하는 역할을 하며 획득된 신호는 신호 처리부로 보내지게 된다. 신호 처리부는 신호 습득부로부터 획득된 신호를 분석하고 대상 도선의 결합 위치를 추정하게 된다. 대상 도선은 결합의 위치를 측정하고자 하는 도선을 의미하며 본 논문에서는 옥내에서 주로 사용하는 절연 전선을 이용하였다.

2.2 기준 신호의 설계

시간-주파수 영역 반사파 계측 시스템 기준 신호의 결정은 매우 중요하다. 시간 영역의 특징을 갖고 있으면서 주파수 영역에서의 특징도 갖고 있어야 하기 때문이다. 따라서 본 시간-주파수 영역 반사파 계측 시스템에서는 시간 영역과 주파수 영역의 특징을 모두 갖도록 가우시안 포락선을 갖는 첨 신호를 기준 신호로 사용한다. 이와 같은 기준 신호는 식 1과 같이 나타낼 수 있다.

$$s(t) = \left(\frac{\alpha}{\pi} \right)^{1/4} e^{-\alpha(t-t_0)^2/2 + j\beta(t-t_0)^2/2 + jw_0(t-t_0)} \quad (1)$$

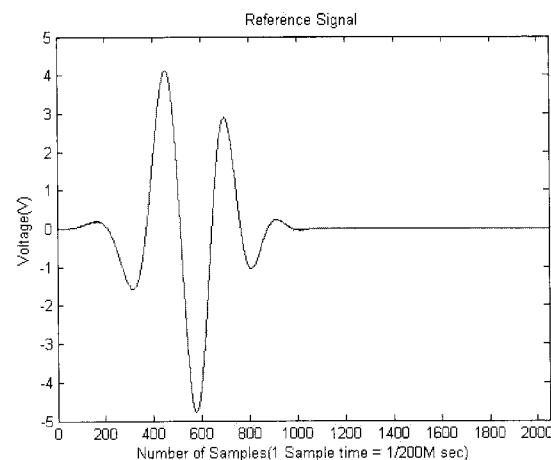


그림 2 절연 전선에 사용된 기준 신호

Fig. 2 Reference signal of the TFDR for power line

표 1 기준 신호의 수치

Table 1 Parameters of the reference signal

중심 주파수	750kHz
시간 간격	5.12μs
주파수 대역	500kHz ~ 1MHz
주파수 변화 형태	선형적

여기서 α 는 시간 간격, β 는 주파수 변화율(frequency sweep rate), t_0 는 시간 중심, w_0 는 주파수 중심을 나타낸다. 이러한 기준 신호에 대한 기본 개념은 대상 도선에 물리적으로 적합해야 한다는 것이다[8]. 기준의 시간-주파수 영역 반사파 계측 시스템은 주로 통신 케이블에 적용되어 왔기 때문에 절연 전선에 적용하기 위해서는 새로운 기준 신호를 설계해야 한다. 절연 전선의 특성상 통신 케이블에 비하여 고주파수에 대한 감쇄율이 높다. 따라서 본 논문에서는 기준의 통신 케이블용 기준신호의 주파수대역(400MHz ~ 500MHz)에 비하여 낮은 주파수의 기준신호를 사용하였다. 이는 절연 전선의 사양에는 주파수별 감쇄특성이 없기 때문에 많은 실험을 통하여 얻어진 수치이다. 표 1은 기준 신호에 대한 수치를 나타내고, 그림 2는 실제 절연 전선의 결함을 측정하기 위하여 사용된 기준 신호를 나타낸다.

2.3 위그너 시간-주파수 분포 함수

신호 습득부에서 획득한 신호를 시간 영역과 주파수 영역에서 분석하기 위하여 시간-주파수 영역 반사파 계측 시스템에서는 위그너 시간-주파수 분포 함수를 사용한다. 신호 습득부를 통하여 획득된 신호를 $r(t)$ 라 할 때, 이를 직접적으로 위그너 시간-주파수 분포 함수를 이용하여 분석하게 되면 주파수 영역에서 좌, 우 대칭인 형태로 나타나게 된다. 실제로 신호처리를 하는데 있어서는 한쪽 영역만 있으면 가능하고 효율적인 처리를 위하여 한 쪽 영역을 제거해 주는

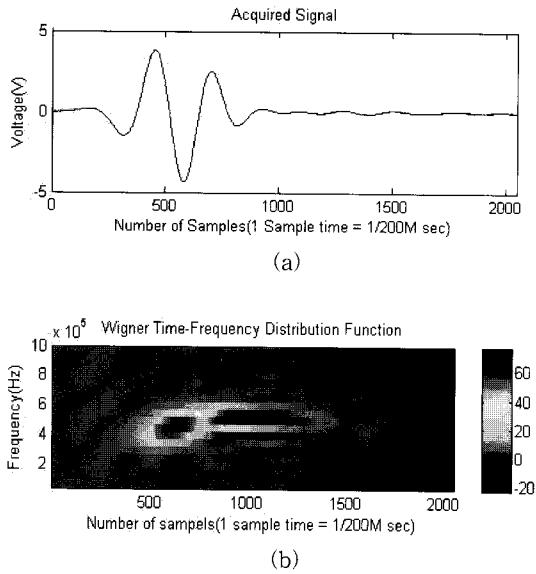


그림 3-(a) 획득된 기준 신호

Fig. 3-(a) The acquired reference signal

그림 3-(b) 획득된 기준 신호의 위그너 시간-주파수 분포 함수 결과

Fig. 3-(b) Result of Wigner time-frequency distribution function of the acquired reference signal

것이 바람직하다. 힐버트(Hilbert) 변환은 주파수 영역에서 좌, 우 대칭인 스펙트럼을 한쪽 면에만 나타나도록 적당한 허수값을 붙여 복소수화 시켜 준다[9]. 본 절에서는 $r(t)$ 를 힐버트 변환 시켜서 얻은 신호를 $h(t)$ 라 정의하며, $h(t)$ 를 이용한 위그너 시간-주파수 분포 함수의 수식은 식 2와 같다.

$$W_r(t, w) = \frac{1}{2\pi} \int h^*(t - \frac{1}{2}\tau) h(t + \frac{1}{2}\tau) e^{-j\tau w} d\tau \quad (2)$$

위그너 시간-주파수 분포 함수를 이용하여 기준 신호를 분석하면 그림 3과 같은 그래프를 얻게 된다. 그림 3-(a)는 신호 획득부에서 얻어진 신호를 나타내고 3-(b)는 획득된 신호의 위그너 시간-주파수 분포 함수 결과 그래프를 나타낸다.

2.4 정규화된 시간-주파수 상호 상관 함수

위그너 시간-주파수 함수를 이용하여 분석된 신호를 바탕으로 하여 직접적인 결합의 위치를 추정하기 위하여 정규화된 시간-주파수 상호 상관 함수가 사용된다. 정규화된 시간-주파수 상호 상관 함수는 기준 신호와 반사파 신호간의 상관관계를 이용하여 반사파 신호와 기준 신호간의 시간차를 결정하게 된다. 정규화 된 시간-주파수 상호 상관 함수의 수식은 식 (3)과 같다.

$$C_{sr}(t) = \frac{1}{E_s E_r(t)} \int_{t' = t - T_s}^{t' = t + T_s} \int W_r(t', w) W_s(t' - t, w) dw dt' \quad (3)$$

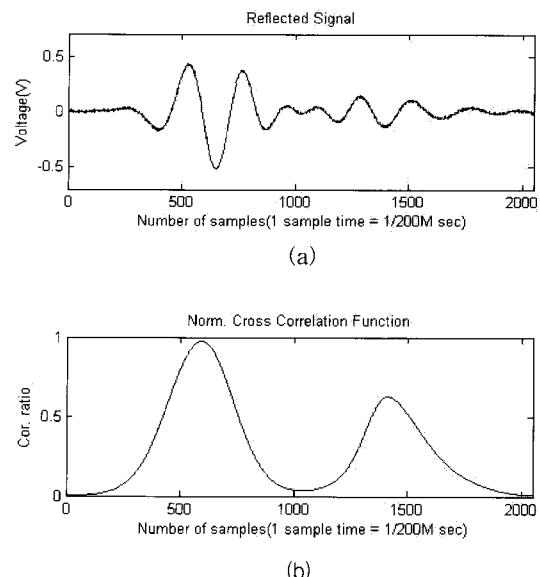


그림 4-(a) 획득된 반사파 신호

Fig. 4-(a) The acquired reflected signal

그림 4-(b) 획득된 반사파 신호의 시간-주파수 상호 상관 함수 결과

Fig. 4-(b) Result of normalized time-frequency cross correlation function for the acquired reflected signal

식 (3)에서 E_s 와 $E_r(t)$ 는 식 (4), (5)와 같다.

$$E_s = \iint W_s(t', w) dw dt' \quad (4)$$

$$E_r(t) = \int_{t' = t - T_s}^{t' = t + T_s} \int W_r(t', w) dw dt' \quad (5)$$

여기서 T_s 는 기준 신호 $s(t)$ 의 시간폭을 의미한다. E_s 는 기준 신호 $s(t)$ 의 에너지를 의미하고, $E_r(t)$ 는 시간 t 에서 기준 신호의 시간 폭만큼 추출된 반사파 신호의 에너지를 의미한다. 본 논문에서 획득된 반사파 신호를 정규화 된 시간-주파수 상호 상관 함수를 통하여 분석하면 그림 4와 같은 그래프를 얻을 수 있다. 그림 4-(a)는 획득된 신호로부터 추출된 순수한 반사파 신호를 나타내고, 4-(b)는 추출된 반사파 신호의 정규화 된 시간-주파수 상호 상관 함수 결과를 나타낸다. 획득된 그래프로부터 시간-주파수 상호 상관 함수의 중심점을 추출하여 기준 신호와 반사파 신호간의 시간지연(delay)을 계산할 수 있다.

2.5 결합 위치 추정

본 단계에서는 시간-주파수 상호 상관 함수로부터 얻은 시간 지연을 이용하여 대상 도선의 결합위치를 추정하는 방법에 대해서 살펴본다. 시간-주파수 상호 상관 함수의 그래프로부터 기준 신호와 반사파 신호간의 시간지연(t_{delay})을 획득하고, 대상 도선내의 전파 속도를 v_p 라 하면 대상 도선

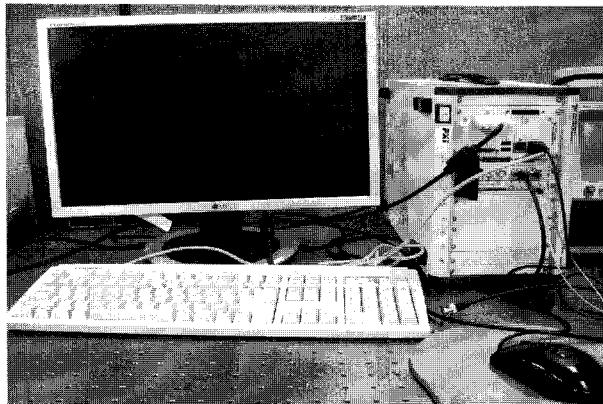


그림 5 구현된 시간-주파수 영역 반사파 계측법 시스템
Fig. 5 The TFDR system

표 2 시스템 구성요소 및 제품 모델명

Table 2 Model number of the parts in the TFDR system

구성요소	제품 모델명
신호 처리부	NI PXI - 8105
신호 발생부	NI PXI - 5422
신호 습득부	NI PXI - 5124
순환기	MFN TH101 - N
대상 절연전선	HIV 2.25mm

의 결합 거리 d 는 식 (6)으로부터 얻어질 수 있다.

$$d = \frac{v_p \cdot t_{delay}}{2} \quad (6)$$

식 (6)에서 기준 신호와 반사파 신호는 대상 도선을 왕복하였으므로 대상 도선의 결합거리를 구하기 위해서는 전파 속도와 시간지연을 곱한 값을 2로 나누어 주게 된다.

3. 실험 및 결과

본 실험은 National Instrument(NI)사의 상용 PXI(Pci eXtensions for Instrumentation) 장비를 이용하여 이루어졌고 그 장비를 그림 5와 표 2에 나타내었다. 신호 발생부와 습득부의 샘플링 레이트는 200MHz로 하였다. PXI상에서 사용자가 모든 장비들을 효율적으로 제어하기 위하여 그래픽 유저 인터페이스를 개발하였고 개발된 그래픽 유저 인터페이스는 그림 6과 같다.

3.1 시간 영역 반사파 계측법

본 연구에서는 시간-주파수 영역 반사파 계측법의 결과 비교를 위하여 시간-주파수 영역 반사파 계측 시스템과 동일한 장비를 이용하여 시간 영역 반사파 계측 시스템을 구

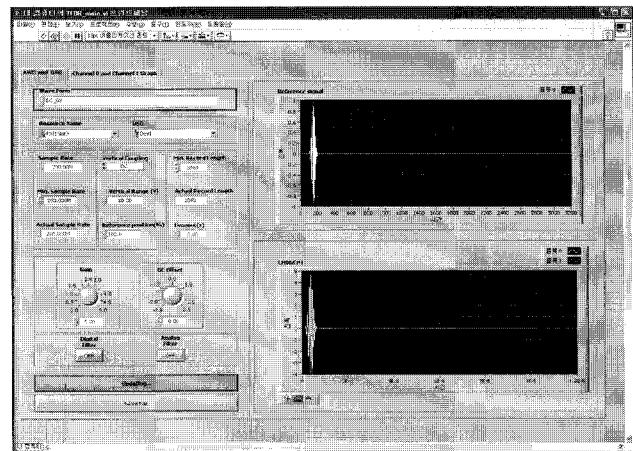


그림 6 시간-주파수 영역 반사파 계측 시스템의 그래픽 유저 인터페이스
Fig. 6 Graphical user interface of the TFDR system

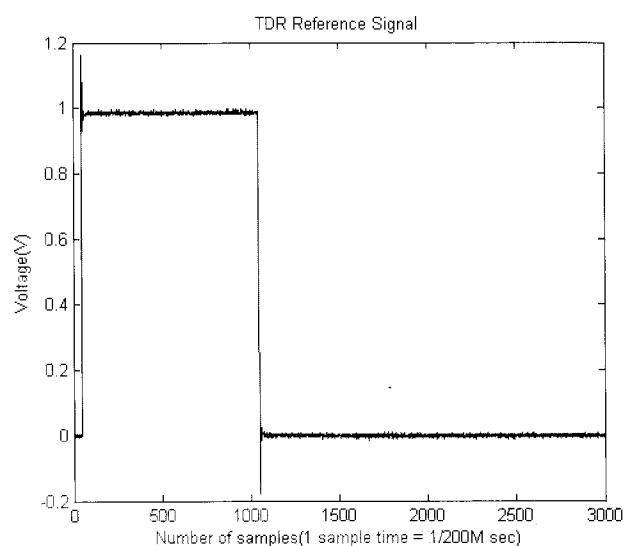


그림 7 시간 영역 반사파 계측법의 기준 신호

Fig. 7 Reference signal for TDR

현 하였다. 시간 영역 반사파 계측법은 스텝 신호를 기준 신호로 사용하고 기준 신호와 반사파 신호간의 시간 차이를 이용하여 대상 도선의 결합 위치를 추정하게 된다. 본 연구에서 사용한 시간 영역 반사파 계측법의 기준 신호는 그림 7과 같다.

시간 영역 반사파 계측법을 이용하여 주파수 감쇄 특성이 절연 전선에 비하여 양호한 길이 100m의 통신용 케이블(10C-FBT)에 적용하였을 경우 그림 8과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 통신용 케이블에서는 기준 신호와 반사파 신호의 구분이 비교적 양호함을 알 수 있다. 동일한 기준 신호를 이용하여 길이 50m, 150m, 250m의 HIV 2.25mm 절연 전선에 대하여 수차례 실험을 하였고 그 중 3회의 실험 결과를 표 3에 나타내었다. 그림 9 - 그림 11은 거리별 실험 결과 그라프를 나타낸다.

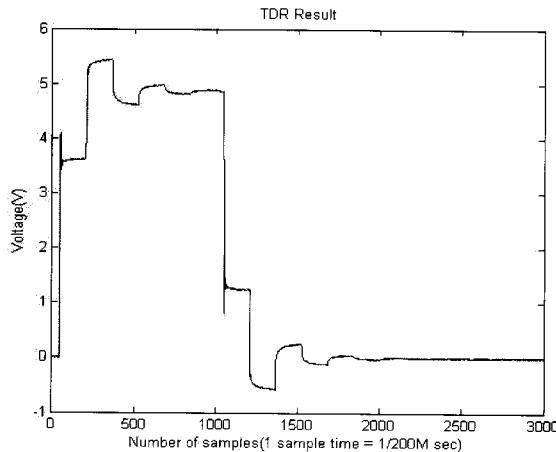


그림 8 길이 100m 통신 케이블에 적용한 시간 영역 반사파 계측법의 결과

Fig. 8 Acquired signal by TDR for coaxial cable (100m)

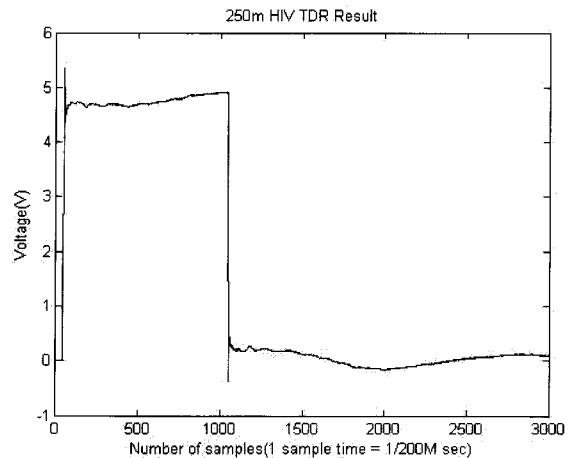


그림 11 길이 250m 절연전선의 시간 영역 반사파 계측법 결과

Fig. 11 Acquired signal by TDR for HIV power line (250m)

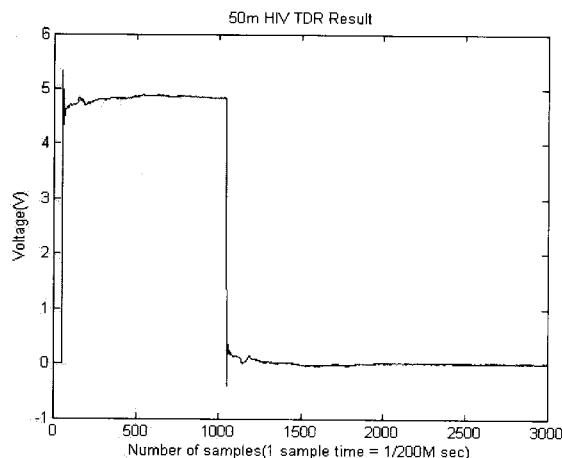


그림 9 길이 50m 절연전선의 시간 영역 반사파 계측법 결과

표 3 시간 영역 반사파 계측법을 이용한 절연 전선의 실험 결과

Table 3 Experimental results of TDR

도선 길이	실험 횟수	도선 내 전파속도 (km/s)	계측거리 (m)	오차 (m)
50m	1회	234000	55.575	0.575
	2회	234000	57.915	2.915
	3회	234000	58.500	3.5
150m	1회	234000	측정불가	측정불가
	2회	234000	측정불가	측정불가
	3회	234000	측정불가	측정불가
250m	1회	234000	측정불가	측정불가
	2회	234000	측정불가	측정불가
	3회	234000	측정불가	측정불가

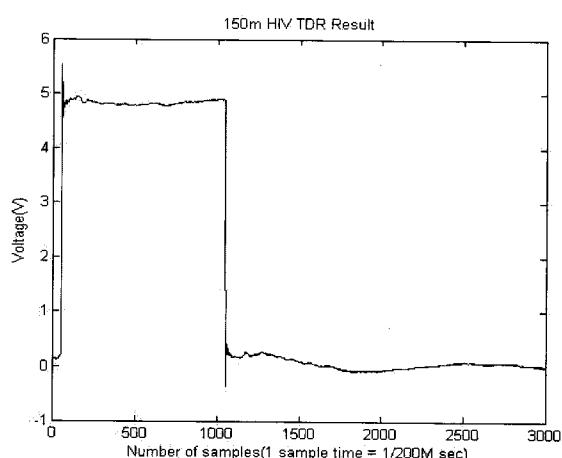


그림 10 길이 150m 절연전선의 시간 영역 반사파 계측 결과

표 3의 결과를 보면 절연 전선의 길이가 50m일 경우 약 4.6%의 오차를 보였으며 50m를 초과하는 거리에 대해서는 결과를 얻을 수 없었다. 이는 절연 전선의 주파수 감쇄 특성의 영향으로 판단되며, 기준 신호와 반사파 신호간의 시간 차이만을 이용하여 결합 거리를 측정하는 시간 영역 반사파 계측법은 절연 전선의 결합 거리 측정에는 부적합함을 알 수 있다.

3.2 시간-주파수 영역 반사파 계측법

본 연구에서는 시간-주파수 영역 반사파 계측법을 이용하여 도선 길이 50m, 150m, 250m의 HIV 2.25mm 절연 전선에 대하여 수차례 실험을 하였고, 그 중 거리별 3회의 실험 결과를 표 4에 나타내었다. 각각의 전선은 오픈 상태이고 거리별 실험 결과 그래프는 그림 12 ~ 그림 14와 같다. 그림 12-(a), 13-(a), 14-(a)는 기준신호를 나타내고, 12-(b), 13-(b), 14-(b)는 추출된 순수한 반사파 신호를 나타내고, 12-(c), 13-(c), 14-(c)는 추출된 반사파 신호의 정규화 된

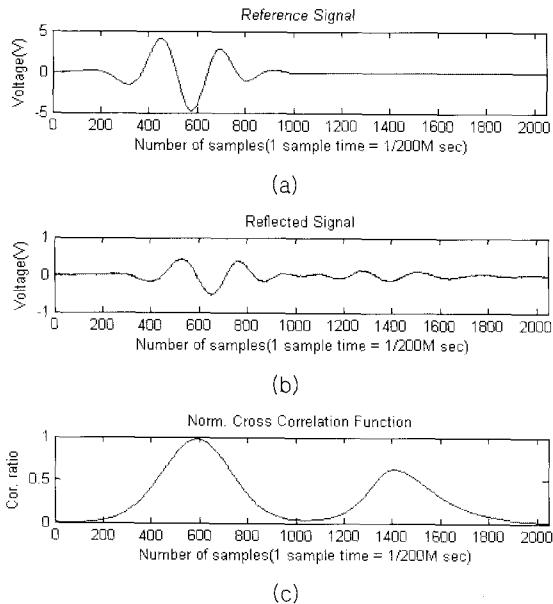


그림 12-(a) 길이 50m 절연전선에 사용된 기준신호
Fig. 12-(a) Reference signal for HIV power line (50m)
그림 12-(b) 길이 50m 절연전선의 반사파 신호
Fig. 12-(b) Reflected signal for HIV power line (50m)
그림 12-(c) 획득된 반사파 신호의 시간-주파수 상호 상관
함수 결과
Fig. 12-(c) Result of normalized time-frequency cross
correlation function of acquired reflected signal

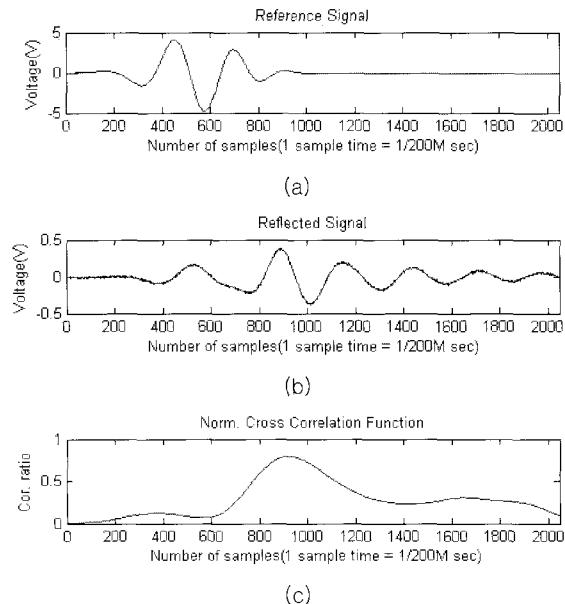


그림 14-(a) 길이 250m 절연전선에 사용된 기준신호
Fig. 14-(a) Reference signal for HIV power line (250m)
그림 14-(b) 길이 250m 절연전선의 반사파 신호
Fig. 14-(b) Reflected signal for HIV power line (250m)
그림 14-(c) 획득된 반사파 신호의 시간-주파수 상호 상관
함수 결과
Fig. 14-(c) Result of normalized time-frequency cross
correlation function of acquired reflected signal

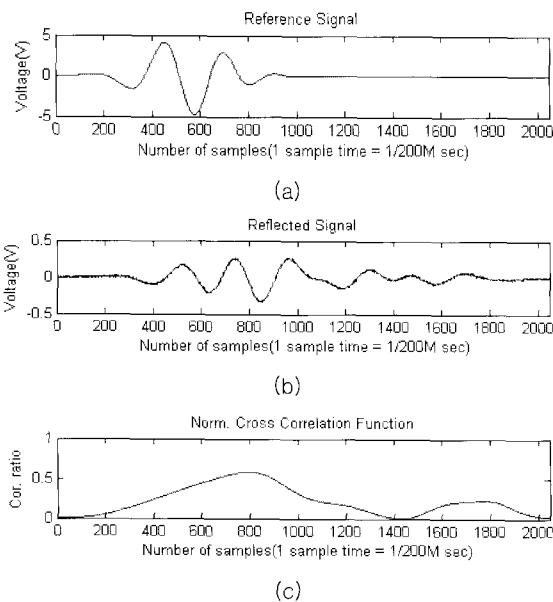


그림 13-(a) 길이 150m 절연전선에 사용된 기준신호
Fig. 13-(a) Reference signal for HIV power line (150m)
그림 13-(b) 길이 150m 절연전선의 반사파 신호
Fig. 13-(b) Reflected signal for HIV power line (150m)
그림 13-(c) 획득된 반사파 신호의 시간-주파수 상호 상관
함수 결과
Fig. 13-(c) Result of normalized time-frequency cross
correlation function of acquired reflected signal

표 4 절연 전선의 거리별 실험 결과

Table 4 Experimental results of TFDR

도선 길이	실험 회수	도선 내 전파속도 (km/s)	계측거리 (m)	오차 (m)
50m	1회	234000	252.940	2.940
	2회	234000	251.856	1.856
	3회	234000	252.063	2.063
150m	1회	234000	150.817	0.817
	2회	234000	156.162	6.162
	3회	234000	150.087	0.087
250m	1회	234000	45.266	4.734
	2회	234000	44.958	5.042
	3회	234000	44.757	5.243

시간-주파수 상호 상관 함수 결과를 나타낸다. 절연 전선의 거리별 오차율은 그림 15에 나타내었다.

50m의 거리에 대해서는 평균 10.190%, 150m의 거리에 대해서는 평균 1.5702%, 250m의 거리에 대해서는 평균 0.6394%의 오차율을 보였고 전체 오차율의 평균은 4.133%였다. 거리별 평균 오차율을 보면 배선 이상 거리가 멀어짐에 따라서 오차율이 줄어듬을 알 수 있다. 이는 도선의 주파수별 감쇄에 의한 보정계수를 적용시키지 못하여서 나타나는 바이어스(bias)적 오차로 판단되며 이는 향후 개선되어야 할 점으로 생각된다.

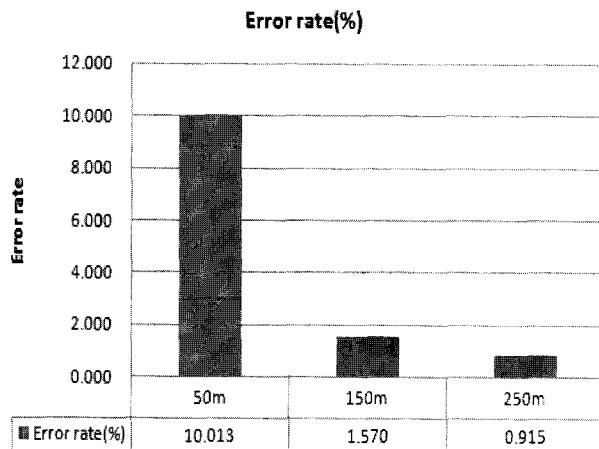


그림 15 절연 전선의 거리별 오차율

Fig. 15 Error rates of HIV power line at different lengths

4. 결 론

본 논문에서는 통신 케이블의 결함 위치를 추정하는데 있어서 사용되고 있는 최신기술인 시간-주파수 영역 반사파 계측법을 이용하여 절연 전선의 결함 위치를 추정하는 시스템을 구성하여 실험하였다. 시간-주파수 영역 반사파 계측 시스템은 시간영역과 주파수영역의 정보를 모두 활용하여 기존 시스템들에 비해 잡음에 강하고 정확한 추정결과를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 시간-주파수 영역 반사파 계측법은 시간영역과 주파수영역의 특징을 모두 갖는 가우시간포락선의 칩 신호를 기준신호로 이용한다. 신호 습득부에서 획득된 신호를 위그너 시간-주파수 분포 함수를 통하여 시간과 주파수 영역에서 분석이 가능하게 하고 정규화된 시간 주파수 상호 상관 함수로부터 시간지연을 구하여 최종적으로 대상 도선의 결함 위치를 추정하게 된다. 본 논문에서는 또한 시간-주파수 영역 반사파 계측법의 성능 검증을 위하여 시간 영역 반사파 계측법 시스템을 구성하였으며, 그 결과를 시간-주파수 영역 반사파 계측법을 이용하여 얻어진 결과와 비교하였다. 시간 영역 반사파 계측법은 절연 전선의 특성상 근거리에만 적용이 가능하여 절연 전선의 길이가 길어지거나 결합 거리가 멀어질 때에는 적용이 어려움을 알 수 있었다. 그에 반하여 시간-주파수 영역 반사파 계측법은 비교적 원거리에서도 적용이 가능하고 신뢰할 만한 결과를 얻을 수 있었다.

본 논문에서 제안한 절연 전선용 시간-주파수 영역 반사파 계측법은 향후 육내 활선 상태의 절연 전선에서의 결함 위치 추정 및 활선 상태의 지중 배선에서의 결함위치 추정과 같은 다양한 분야에 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 전기안전공사, “전기 재해 통계 보고서,” 2005.
- [2] Hewlett Packard, “Time Domain Reflectometry,” Hewlett Packard, 1998.
- [3] Van Hamme, H., “High-resolution frequency-domain reflectometry by estimation of modulated superimposed complex sinusoids,” IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Volume: 41, Issue: 6, Pages: 762-767, Dec. 1992.
- [4] Site Master, “Transmission Line and Antenna Analyzer : Datasheet,” Anritsu, April 2000.
- [5] Yamada, H., Ohmiya, M., Ogawa, Y. and Itoh, K., “Superresolution techniques for time-domain measurements with a network analyzer”, Antennas and IEEE Transactions on Propagation, Vol. 39, pp. 177-183, Feb. 1991.
- [6] Agrez, D., “Approximation of the skin effect to improve cable-fault location by TDR,” Instrumentation and Measurement Technology Conference 2003, Proceedings of the 20th IEEE, Vol. 1, pp. 50-53, May 20-22, 2003.
- [7] Stoica, P., Taniguchi, T., Ohska, T.K., Kurashige, H., “A high resolution TDC in TKO box system,” IEEE Transactions on Nuclear Science, Volume: 35, Issue: 1, Pages: 342-347, Feb. 1988.
- [8] Yong-June Shin et al., “Application of Time-Frequency Domain Reflectometry for Detection and Localization of a Fault on a Coaxial Cable,” IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Volume: 54, Number: 6, Pages: 2493-2500, Dec. 2005.
- [9] 최덕선, 곽기석, 윤태성, 박진배, “시간-주파수 반사파 계측 방법을 이용한 전송선로의 결함 위치 추정,” 대한전기학회논문지, 제54권 9호, pp. 521-530, 2005.

감사의 글

본 논문은 전력산업연구개발사업으로 수행되었습니다(과제번호: R-2006-1-229).

저 자 소 개



두 승 호 (杜 承 浩)

1981년 7월 15일 생. 2007년 연세대 공대 전기전자공학부 졸업. 2007년 - 현재 동 대학원 전기전자공학과 석사과정
Tel : +82-2-2123-2773
Fax : +82-2-362-0413
E-mail : soundist@yonsei.ac.kr



곽 기 석 (郭 基 錫)

1973년 1월 23일 생. 2000년 경기대학 전자공학과 졸업. 2002년 연세대학교 대학원 전기전자공학과 졸업(석사). 2002년 - 현재 동대학원 전기전자공학과 박사과정.
Tel : +82-2-2123-2773
Fax : +82-2-362-4539
E-mail : kwakks@yonsei.ac.kr



박 진 배 (朴 珍 培)

1954년 8월 7일 생. 1977년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1985년 - 1990년 Kansas State University 공대 전기 및 컴퓨터 공학과 졸업(박사). 1990 - 1991년 Kansas State University 공대 전기 및 컴퓨터 공학과 조교수. 현재 연세대 공대 전기전자공학과 교수
Tel : +82-2-2123-2773
Fax : +82-2-362-4539
E-mail : jbpark@yonsei.ac.kr