

On-line Test Equipment for Cable Joint by RF Sensing

李 汪 夏* · 李 成 熙** · 整 熙 敦*** · 金 德 奎§ · 李 東 映§§
 (Wang-Ha Lee · Seung-Hee Lee · Hee-Don Jeong · Duk-Gyoo Kim · Dong-Young Yi)

Abstract - It has little possibility that a cable causes any problem in electric power facilities. But when a trouble occurs in cable or cable joint, the damage is very severe. The main causes of the cable defections are bad cable making procedure, poor cable operation and deterioration according to the years. There are some cases to have potential problems due to many cable connection points, because of short length of cable, especially in 154kV system. In this study, novel method to measure partial discharge in cable joints is proposed and the effectiveness and the reliability of the proposed method is shown through experiment results of field.

Key Words : cable, radio frequency, partial discharge, diagnosis

1. 서 론

산업 사회가 고도화됨에 따라 에너지 공급의 안정성이 더욱 중요시되고 있다[1]. 전기에너지의 전송에 사용되는 송배전 설비에서 케이블은, 문제가 발생할 확률이 아주 낮은 반면에 문제가 발생하는 경우 송전이 끊어지게 됨으로서 수용가에 심각한 피해를 가져온다. 케이블의 결함 원인은 크게 제작 불량과 시공불량 및 경년 열화가 주된 것으로 알려져 있다. 154kV 송전 케이블의 경우, 제작 시 최대 길이가 500m 이내로 제한되어 시공 시 접속부위가 많이 발생되고, 시공 불량에 의한 초기 결함을 가지는 경우 많다[2][3].

전력 케이블에서 발생하는 부분방전(PD: partial discharge)은 케이블의 열화 상태 및 사고에 대한 많은 정보를 제공하기에 오래 전부터 지속적인 연구 대상이 되어왔다[4]. 케이블 내부 결함에 의한 부분방전을 측정하는데 있어서, IEC-270에서 지정한 커플링 유닛 사용 방식이 표준으로 사용되는데, 활선 상태에서의 부분방전의 직접 측정은 어렵기 때문에 동반되는 음파를 측정하는 초음파 센서 사용 방법[3]-[5]과 전자기장을 측정하는 전자파 방식[6]-[8]이 있고, 사선 상태에서 고전압 공진감쇄 파형을 인가하여 부분방전 발생 상황을 분석하는 방법[9] 등도 연구되었다. 사선 상태 진단 방법은 전기설비는 항상 동작 중이므로 사선 상태를 확보하기 힘든 문제가 있고, 기존의 커플링 유닛 사용 방법을 제외한 활선 상태 진단 장치들은 노이즈에 대한 대책과 S/N 비가 낮다는 문제 및 측정 데이터로부터의 상태 판단 기준이 모호한 문제점을 가진다.

본 논문에서는 154kV 케이블 접속부에 존재하는 결함을 탐상하는 방법으로, 접속재 내부에 공극 또는 이물질이 존재하는 경우 발생하는 부분방전을 감지하는 방법에 있어서, 활선상태 온-라인 상시 감시시스템을 구축하는 방법과 적용 결과 분석에 관한 내용인데, VHF 대역 감지 RF 센서를 이용하는 새로운 방법을 제시하고, 기존 탐상 방법과의 차이점을 보이고, 실험 결과를 통해 제안된 결함 탐상 방법의 타당성 및 동작 성능을 입증한다.

2. 케이블 결함과 부분방전

전력용 케이블은 여러 종류가 있는데 근래에 들어 시공의 편의성, 유지보수의 용이성 및 환경 친화성 등의 이유로 저중선로의 대부분은 XLPE(cross linked polyethylene: 가교 폴리에틸렌) 케이블의 한 종류인 CV 케이블(XLPE Insulated and PVC Sheathed Cable: 가교 폴리에틸렌 절연 비닐 시스 케이블)이 주종을 이루고 있다.

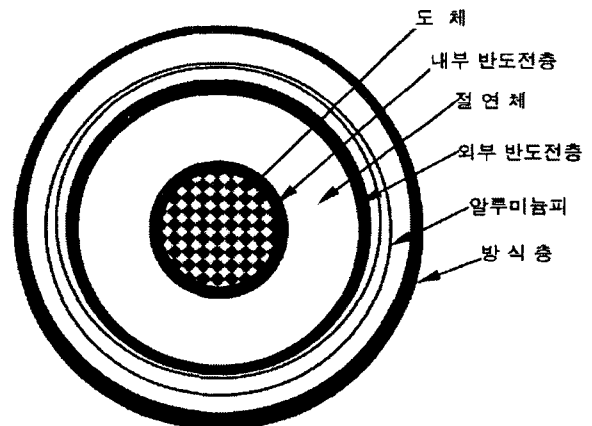
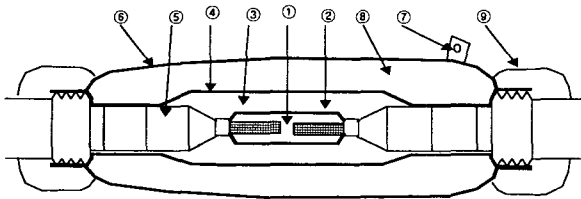


그림 1 CV 케이블의 구조
 Fig. 1 Structure of CV cable.

* 正 會 員 : 포항산업과학연구원 기전자동화연구팀
 ** 正 會 員 : 포항산업과학연구원 기전자동화연구팀
 *** 正 會 員 : 포항산업과학연구원 기전자동화연구팀
 § 正 會 員 : 경북대학교 전자전기공학부 교수
 §§ 正 會 員 : 위덕대학교 정보통신공학부 교수
 接受日字 : 2003년 4월 16일
 最終完了 : 2003년 9월 16일

그림 1은 단심 CV 케이블의 구조를 보여주는 그림인데, 내부 중앙에 도체부가 있고, 그 바깥에는 도체 차폐층(반도전층), 그 다음에 주 절연층, 절연 차폐층(반도전층), 도전성 스웰링 테이프층, 외부 도체인 중성선, 스웰링 테이프층이 있고, 제일 바깥 부분에 PVC 재질의 자켓(jacket)이 싸여 있다. 케이블의 결함이란 주 절연층에 이물질이 있거나 공극을 말한다.

그림 2는 케이블의 연결을 위한 접속부의 구조를 나타낸다. 케이블 접속부의 시공은 두 케이블의 절연층을 제거한 후, 도체부 연결 후 절연층, 차폐층 등의 재시공이 이루어져야 하는데, 구조가 복잡하다. 접속부의 시공은 현장에서 이루어지므로 내부에 이물질이 투입되거나 절연층 구성에 있어서 공극 발생 가능성이 높다.



번호	품명	번호	품명
1	슬리브 커넥터	6	외부 케이스
2	내부 차폐층	7	접지 단자
3	절연물	8	방수재
4	외부 차폐층	9	방수층
5	금속 차폐층	10	절연물

그림 2 비절연 접속함의 구조
Fig. 2 Structure of non-insulated cable joint.

그림 3은 주 절연층에 공극이 존재하는 경우에 부분방전의 발생과 케이블 단면에서 본 전계분포를 보여준다. 활성 상태에서 공극 부분에 전계가 집중되는 상황이 전개되고, 이 전압이 과도한 경우 부분방전이 발생된다. 일반적으로 공극 1mm당 부분방전 발생 임계 전압은 3kV인 것으로 알려져 있는데, 대체적인 공극의 길이는 수 백 um 이내이다.

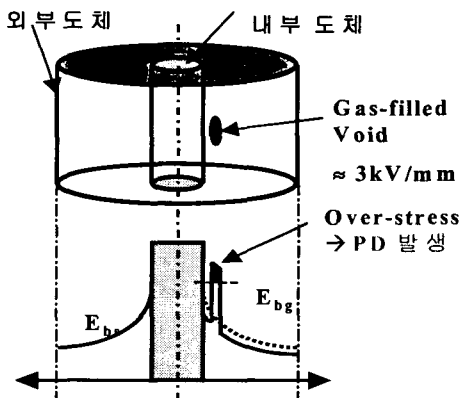


그림 3 케이블 내부 공극과 전계 집중
Fig. 3 Void in cable and concentrated potential.

그림 4는 부분방전의 발생과 소멸을 설명한다. 도체에 전압이 인가되면 공극 내부에 채워진 물질이 유전체로 동작하여 공극의 양쪽 장벽은 각각 음과 양으로 대전되는데, 공극의 크기에 따라 정해지는 임계 전압 E_b 보다 높은 전계가 집중되는 경우, 공극 양쪽 장벽에 대전된 전하들이 내부를 통과하는 현상인 부분방전이 발생된다. 부분방전이 발생되기 전에는 공극 부분의 전계가 높으나, 부분방전 발생 후에는 공극 부분의 전계는 아주 낮게 변화한다.

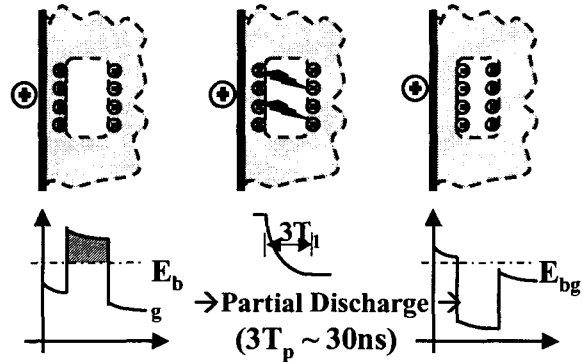


그림 4 부분방전의 발생과 소멸
Fig. 4 Generation and extinction of PD

그림 5는 케이블 절연층에 존재하는 공극의 전기적 등가회로를 나타내는데, 전계의 변화와 부분방전의 발생을 설명한다. 절연층과 공극은 커패시터로 모델 되는데, XLPE 재질의 긴 절연층과 가스로 채워진 짧은 공극은 길이 차이로 인해 각각의 정전용량은 $C_1 \gg C_2$ 의 관계를 가진다. 이로 인해 각각에 분담되는 전압 관계는 $U_1(t) \ll U_2(t)$ 가 되고, 짧은 간격을 지닌 공극이 3kV/mm의 내압 특성으로 부분방전이 발생된다.[10]

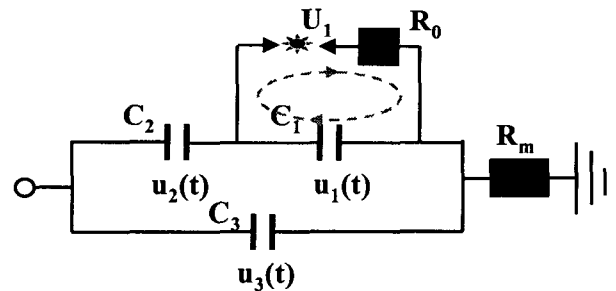


그림 5 공극 존재 케이블 절연층의 등가회로
Fig. 5 Equivalent circuit of insulator in cable with void.

CV 케이블 및 접속재의 주 절연층을 이루는 에폭시 계열 고체 절연은, 내부 부분방전이 치명적인 절연 파괴로 연결되는 경우가 많기 때문에, 부분방전의 검출과 부분방전특성으로부터 열화 상태나 방전 발생 위치를 탐지하는 기술에 관한 연구가 꾸준히 수행되고 있다. 부분방전이 발생되면 동반되는 물리적 현상이 빛, 열, 진동, 음파, 전자파 등이다. 빛은

케이블 절연재 및 접속재의 불투명성으로 감지가 불가능하며, 열은 발생량이 작아 감지가 어렵다. 일반적으로 사용하는 방식이 진동 또는 음향 감지 및 전자파 감지 방식이다. 그런데, 진동이나 음향은 여러 종류의 매질을 통과하면서 감쇄가 심하여 감도가 낮고, 센서의 접촉 방법에 따라 출력을 달리하는 문제점이 있으며, 전자파 측정 방식은 감도가 우수하고 센서 장착 구조에 영향을 적게 받는 장점을 가지는 반면 주위 잡음 발생원에 의한 영향을 많이 받는다.

3. 온-라인 케이블 접속재 진단 장치의 설계

케이블 및 케이블 접속재 진단장치는 다음의 조건들을 고려하여 설계되어야 한다. 활선 상태에서 진단이 가능해야 하고, 감도가 높아야 하며, 기 설비 케이블 및 접속재에 적용이 가능해야 하고, 측정 시스템 및 측정자의 안전이 고려되어야 하고, 산업 현장에서 가능한 외부 잡음에 의한 영향이 적어야 하며, 측정 결과에 대한 신뢰성이 높아야 한다. 본 연구에서 채택한 부분방전 탐상 방법은 위의 사항들을 고려하여 전자파 감지 방식을 채택하였는데, 활선상태 진단이 가능하며 감도가 우수하고, 기 케이블 설비의 개조 없이 적용이 가능하며, 비접촉 또는 절연 접촉으로 측정 시스템 및 측정자의 안전이 보장된다. 문제점으로 외부 잡음의 영향 제거 및 신뢰성 확보 방안인데, 그림 6과 같은 전자파(RF: radio frequency) 신호의 적분 결과를 이용하고, 무전기 전파와 같은 연속적인 고주파 노이즈 신호는 적분 결과가 DC 레벨로 나타남으로 적분 과정에서 제거시키는 방법을 채용하였고, 최종 획득 데이터의 주파수 스펙트럼 분석을 통해 외부 잡음의 영향을 최소화하면서 측정 결과의 신뢰도를 높였다. 그림 6은 예측되는 RF 신호 파형과 RF 신호의 적분 결과 파형 및 이를 획득하기 위한 설계 회로이다. 부분방전에 의한 RF 신호는 그림에 나타난 바와 같은 형태를 가지며 지속 시간은 최대 수십 μsec 로 매우 짧다. 하지만 이를 증폭하여 적분하면 안정된 값을 얻을 수 있고, 만약 연속적인 고주파 노이즈가 삽입된다면 적분 결과에 일정 레벨의 직류 성분이 더해지는 결과를 가지며, 디지털 데이터로 변환하는 과정에서 분석하여 제거시킨다. 적분 결과 파형에서 감쇄 부분은 저항 R2를 통한 방전에 의해 이루어지며, 지속적인 고주파 신호가 DC 레벨로 나타나는 이유도 저항 R2가 있기 때문이다.

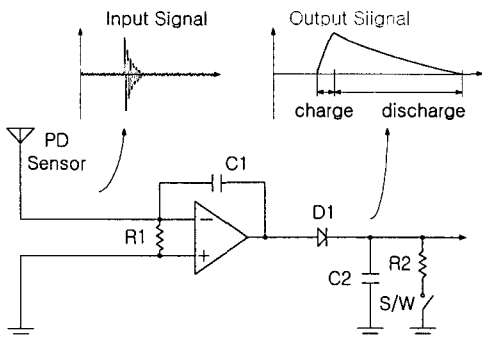


그림 6 예측되는 RF 신호 파형과 RF 신호의 적분 결과 파형 및 설계 회로
 Fig. 6 Expected RF signal waveform and its integrated result and designed circuit.

그림 7은 RF 감지 방식 케이블 접속부 비파괴 탐상 장치의 내부 블록도이다. 시험 케이블 접속부는 22kV급의 경우 0.5m 정도의 길이이고, 154kV급의 경우 2m 정도로 길다. RF 신호는 거리의 2승에 비례하여 감쇄하는 특성을 가지므로 취약부위인 양 끝 부분에 개별 센서를 장착한다. 센서는 광대역 RF 수신안테나로 구성되는데, 부분방전에 의한 RF 신호 대역인 1MHz - 30MHz 대역만 통과하도록 증폭 후 필터를 통과한다. 필터링 된 신호는 그림 6과 같은 적분 회로를 통과하여 디지털 데이터로 변환되며, FFT에 의한 스펙트럼 분석을 통해 전원 주파수의 2배 주파수 성분을 추출할 수 있다.

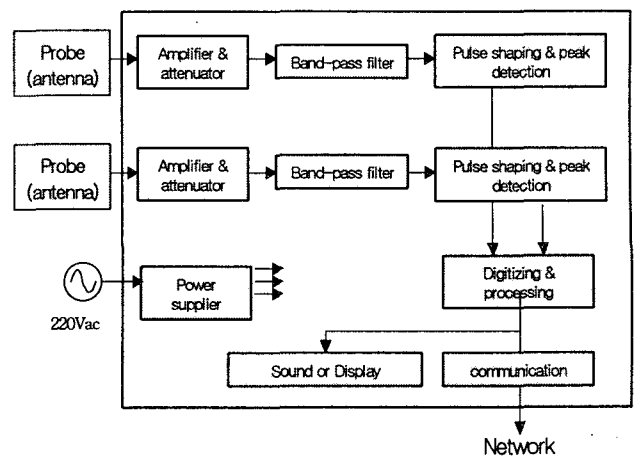


그림 7 RF 감지 방식 케이블 접속부 비파괴 탐상 장치의 내부 블록도
 Fig. 7 Block diagram of test equipment of cable joint by RF detection

제안된 RF 감지 방식 케이블 접속부 비파괴 탐상 장치는 신호 적분 회로 채용 및 변동 성분만 확보하는 디지털이징 기법을 채용함으로써, 고주파 스위칭 부하의 영향이나 무전기 전파와 같은 연속적인 고주파 노이즈의 영향을 적게 받으며, 전원 주파수의 2 배 주파수 성분만 취함으로써 대상 케이블에서 발생할 수 있는 산발적 잡음을 제거할 수 있다.

4. 실험 및 결과

실험을 위한 RF 감지 센서는 12cm x 7cm 면적을 가지는 5 턴 코일로 구성되어 케이블 접속부에 장착되고, 센서 신호를 입력받는 PD 탐상 장치는 그림 8과 같이 제작되었다. 제작된 센서는 VHF 대역 전자파 수신을 위한 loop-안테나를 변형시킨 형태이며, 부분방전에 의한 전자파의 신호 크기 및 거리에 의한 감쇄를 고려하여 대상 부위에 최대 밀착시키는 형태이다. 센서의 면적 및 턴 수는 부분방전에 의한 전자파 에너지가 밀집된 주파수 대역을 고려하여 설계되었고, 계측기 및 실증 실험을 통하여 적절하게 제작되었다. 그리고 제작된 탐상 장치는 전력 케이블이 3상 선로임을 감안하여 6개의 센서를 연결하여 측정하도록 제작되었다.

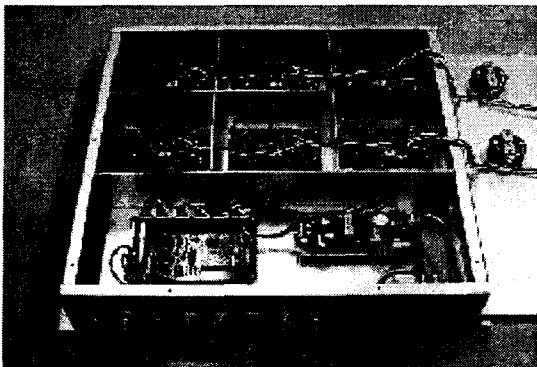


그림 8 제작된 탐상 장치의 사진
Fig. 8 Picture of evaluated test equipment.

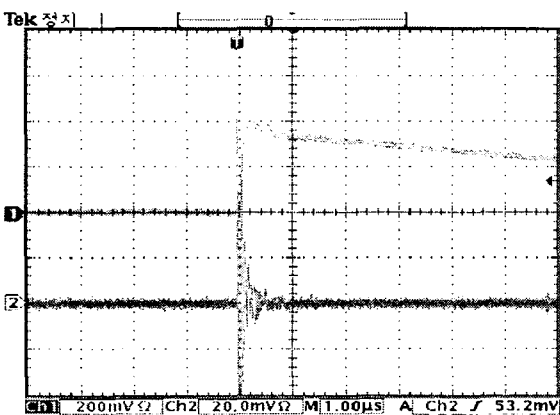


그림 9 측정된 RF 신호 파형과 RF 신호의 적분 결과 파형(아래: RF 신호, 위: 적분신호)
Fig. 9 Measured RF signal waveform and its integrated result.(lower: RF signal, 20mV/div, upper: integrated result, 200mV/div, horizontal: 1usec/div)

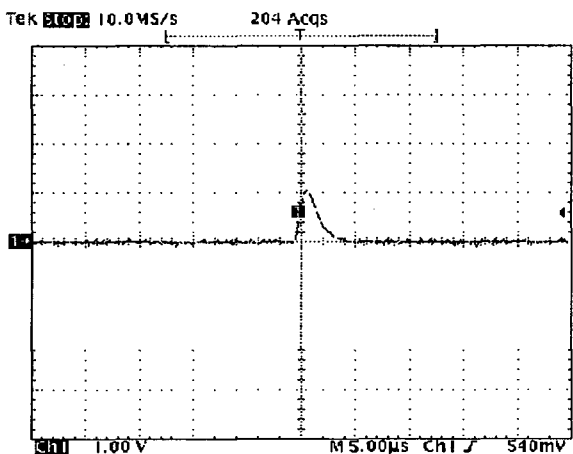


그림 10 10pC 부분방전에 대한 탐상 장치의 측정 파형
Fig. 10 Measured waveform from test equipment for 10pC PD. (vertical: 1[V/div], horizontal, 5[us/div])

그림 9는 약 100pC의 부분방전에 대하여, 입력 증폭단 출력 파형과 적분 결과 파형을 측정된 결과이다. 증폭된 RF 신호는 100usec 정도인데, 적분 결과 파형은 정형화된 결과

를 보여준다. RF 신호를 직접 디지털 프로세서에서 측정하여 신호를 놓치거나 일정 시간 동안의 방전량의 연산이 어려운 반면, 적분 결과 파형은 적절한 디지털이징 기법을 통해 연속적인 외부 잡음이 제거되고 동시에 방전량의 크기를 쉽게 분별할 수 있다. 그림 10은 10pC의 부분방전에 대해서 증폭 이득을 높인 상황에서 측정된 탐상 장치의 출력 파형이다. 주변 공중과 잡음의 영향이 제거되고, 디지털 프로세서에서 판단이 가능한 정형화된 파형이 획득되었다. 그림 12는 평균 300pC의 부분방전에 대해서 여러 주기 동안 측정된 탐상 장치의 출력 파형이다.

제안된 측정 장치는 10pC의 부분방전에 대해서 주변 공중과 잡음의 영향이 제거되고, 재현성이 뚜렷하여 판단이 가능한 정형화된 파형이 획득되었다. 그런데 RF 신호의 세기는 거리에 민감하게 반응하였고, 부분방전 크기에 따른 진단 장치의 출력 값 변동이 심하여 증폭 이득을 조정하여 실험하였다. 표 1은 센서 장착 거리 및 진단장치 내부 증폭 이득을 일정하게 고정시킨 후 부분방전의 크기에 따른 진단 장치의 출력 전압의 최대 값을 측정한 결과이다. 대체적으로 부분방전의 크기에 비례하는 출력을 얻었는데, 500pC 근처의 값들은 정량화에 최적인데, 2500pC 이상의 값은 포화되어 구분이 되지 않으며, 10pC 이하의 부분 방전에 대한 출력을 아주 낮게 나타나거나 감지되지 않았다. 표 2는 6개의 센서를 케이블 접속부 부근에 20cm 간격으로 설치한 후 아날로그 메타의 출력 레벨을 측정한 결과이다. 이 때 장치 내부 증폭 이득은 동일하게 설정하였다. 이로서 센서의 거리에 따른 민감성을 확인하였고, 2개 이상의 전자파 센서가 부착되어 동작 되던 원격지에서 결함부의 방향 또는 위치 판정이 가능함을 확인하였다. 표 2에서 메타의 ±값은 아날로그 메타의 흔들림 범위이고, 왼쪽과 오른쪽의 값 차이는 각 센서 자체 특성 및 취부 형상의 차이에 기인한 것으로 판단된다.

표 1 부분방전 크기에 따른 진단 장치의 출력 값
Table 1 Output result of system by varying PD

부분 방전 크기 [pC]	5	20	100	200	500	2000	5000
출력 전압 [V]	0.0 ~ 0.02	0.04 ±5%	0.2 ±5%	0.4 ±5%	1.0 ±5%	4.0 ±5%	5.0 (포화)

*부분 방전 발생은 LDIC사의 모듈 사용

표 2 부분방전 발생원과 센서 거리에 따른 출력 레벨
Table 2 Output level of PD by distance from source

발생원과의 거리 [cm]	left 40	left 20	center 0	right 20	right 40	right 60
출력 레벨	0	7 ±4	20 (max)	3 ±3	0	0

*출력 레벨은 최대 값 20을 가지는 아날로그 메타의 출력 값임.

그림 11은 평균 300pC의 부분방전을 가지는 실제 케이블에서 여러 주기 동안 측정된 진단 장치의 출력 파형이다. 판측된 파형의 주파수는 인가 전원 주파수의 2배인 120Hz이고, 각각의 파형 크기가 다르게 나타났다. 여기서 120Hz 주파수를 가지는 것은 양의 최대 전압 및 음의 최대 전압 부근에서

각각 발생되기 때문이며, 케이블 또는 케이블 접속재 내부의 공극이, 부분방전 발생이 지속됨에 따라 특성을 달리하기 때문이다. 또한 부분방전 크기는 케이블 자체의 결함 특성으로 결정되고, 케이블에 인가된 전압의 크기에는 무관하며, 결함부 공극 자체의 임계 전압을 기준으로 공극의 임계전압 이상에서 부분방전이 발생됨을 확인하였다.

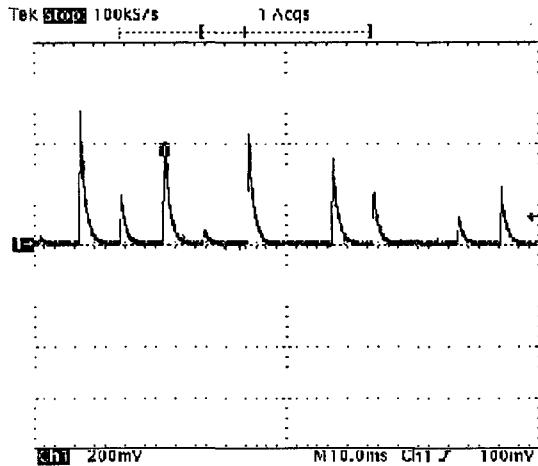


그림 11 평균 300pC 부분방전에 대한 탐상 장치의 반응 파형(부분방전 값은 Hubbel사의 DDXTM-7000 이용 측정)

Fig. 11 Measured waveform from test equipment for 300pC PD. (vertical: 200[mV/div], horizontal: 10[ms/div])

본 연구를 통해 개발된 케이블 접속부 부분방전 측정 장치의 운용 시험을 위해 현장에 적용된 결과로, 2002년 7월말부터 2002년 9월말까지의 측정 데이터를 확보하였다. 2개의 부분방전 측정 장치로 총 12채널의 센서가 장착되었고, 모든 채널의 신호 증폭 이득은 동일하게 설정되었다. 1호기는 154kV 정격 단심 CV 케이블의 접속부를 대상으로 하였고, 2호기는 154kV 정격 3심 OF 케이블의 접속부를 대상으로 하였다. 그림 12에서 그림 14의 그래프는 획득된 데이터의 예를 보이는데, 12채널 중 10개의 채널에서는 그림 12와 같이 부분방전 레벨에 거의 감지되지 않았다. 그런데, 2호기의 2번 채널의 측정값은 꾸준히 아날로그 메타의 변위량이 많았고, 그림 13과 같이 거의 일정한 레벨의 부분방전 발생 결과를 나타내었다. 2호기의 2번 채널의 부분방전 측정 결과는 운용 초기 시점부터 확인되었고, PD 발생량이 많지 않으며 계속하여 거의 일정한 레벨의 값을 유지함을 보여, 접속부에서 부분방전 발생은 있으나 위험한 상황은 아닌 것으로 판단되었다. 2호기의 4번 채널의 데이터는 8월 27일까지는 그림 13과 같이 부분방전 레벨의 감지가 없었으나, 8월 28일부터 비정상적으로 과도한 부분방전 레벨이 감지되었다. 그림 15는 8월 28일의 2호기 4번 채널에서 획득된 부분방전 측정 데이터의 그래프이다. 8월 28일 14시에서 15시에 걸쳐 레벨 25정도의 부분방전이 관측되고 23시부터는 레벨 150 정도의 부분방전이 관측되었다. 정밀 분석 결과, 관측된 부분방전 신호는 500m 정도 거리에 연결된 전기 설비의 코로나 방전 신호임이 밝혀졌고, 문제점 보완 후 부분방전 신호는 사라졌다. 이로서 개발 실험 장치의 측정의 민감도 및 신뢰성이 입증되었다.

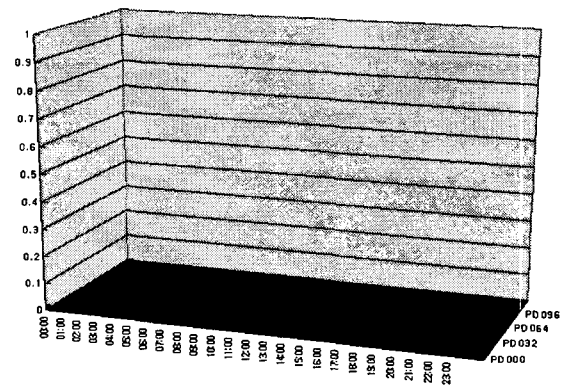


그림 12 2002년 8월 28일 1호기 채널1에서 획득된 부분방전 측정 그래프

Fig. 13 PD graph of channel 1 on module 1, at Aug-28-2002.

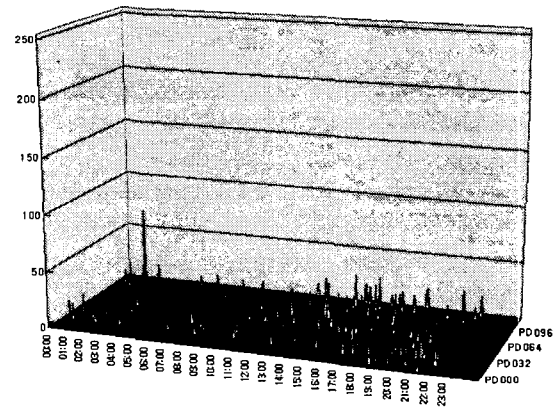


그림 13 2002년 8월 28일 2호기 채널2에서 획득된 부분방전 측정 그래프

Fig. 14 PD graph of channel 2 on module 2, at Aug-28-2002.

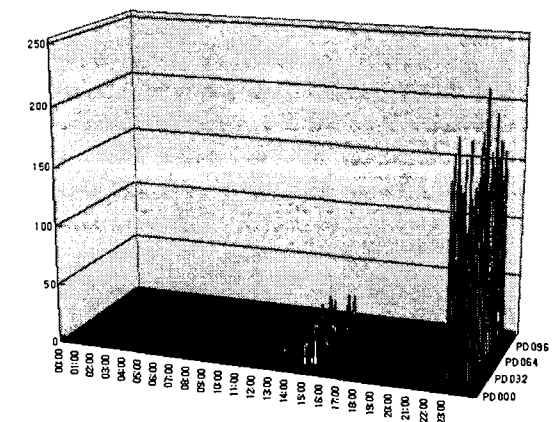


그림 14 2002년 8월 28일 2호기 채널4에서 획득된 부분방전 측정 그래프

Fig. 15 PD graph of channel 4 on module 2, at Aug-28-2002.

5. 결 론

본 논문에서는 전자파 측정에 의한 활선 상태 온-라인 상시 감시 방식의 케이블 접속부 비파괴 탐상 장치를 제안하고, 제안된 장치의 동작 실험을 통하여 타당성을 입증하였다. 실제 케이블에서 발생하는 부분방전 신호를 제안된 탐상 장치로 분석한 결과 10pC 이상의 부분방전에 대해서 반응하였고, 2개 이상의 센서가 장착되는 경우에 전자파 발생 위치 즉, 결함 위치 탐상이 가능하였다. 또한 온-라인 연속 측정을 통한 케이블의 노화 진행 모니터 및 교체 시점 판단이 가능함을 확인 하였다. 사선 진단 기법의 경우, 진단 기회 확보가 어려운 문제가 있고, 기존 활선 상태 진단 기법중 초음파 측정 방법은 S/N비가 낮고, 센서의 취부간격 및 미소 방향 차등 측정 상황의 재현성 확보가 어려운 문제가 있다. 전자파 측정 방법은 측정된 데이터의 판정 기준이 모호한 문제가 있는 반면, 제안된 진단 기법은 부분방전으로 인한 전자파를 온-라인 상시 감시하는 방법으로 측정 상황의 재현성이 뚜렷하고, 센서 구조에 있어서 S/N 비를 극대화 시켰으며, 부분방전 발생 레벨의 절대량 판정을 통한 상태 판정은 물론, 조업 상황 등 주변 조업 데이터와 연계된 장기적인 경향 분석을 통한 노이즈 제거 및 진단 대상 케이블의 상태 변화 분석이 가능한 장점을 가진다.

제안된 탐상 장치의 문제점으로는, 발생된 부분방전의 정확한 절대량 측정이 어렵고, 무전기나 고주파 전류 부하 전 기기와 같은 강한 전자파 발생원이 근접한 경우 영향을 받는다는 것이다, 향후, 제안된 진단 장치의 측정 결과 분석 기술을 개발하고, 측정 결과에 영향을 미치는 전자파 잡음에 대한 대책마련 연구가 수행될 예정이다.

참 고 문 헌

[1] 남궁도, 한상욱, "초전도 케이블용 고분자 절연재료의 부분방전 열화특성에 관한 연구," 전기학회논문지 45권 7호, pp. 1020~1025, 1996.
 [2] 이성희, 이진희, 한무호, 이왕하, 정희돈, "PD 검출을 통한 케이블 접속부 결함 비파괴 탐" 한국비파괴검사학회 2002춘계학술대회 논문집, pp. 158~163, 2002
 [3] 이성희, 이진희, 이왕하, "PD 검출을 통한 케이블 접속부 진단," 대한전기학회 2002하계학술대회 논문집, pp. 554~556, 2002
 [4] 김정태, 김남준, 이전선, 구자윤, "전력케이블에서 교류전압과 진동파 전압을 이용한 부분방전 측정," 전기학회논문지 48C권 5호, pp. 247~252, 1999.
 [5] 이우영, 김광화, 송일근, 김주용, 김상준, "23kV급 전력케이블 조립형 직선접속재의 활선진단 부분방전 검출 기기 개발," 전기학회 논문지, 47권 3호, pp. 358~363, 1998.
 [6] Dirk Russwurm, "On-site partial discharge monitoring using the differential Lemke Probe LDP-5 and its accessories", Proceeding of HV testing, monitoring and Diagnostics wrokshop, pp. 8-1~8-11, 2000.
 [7] E. Lemke, T. Strehl, and D. Russwurm, "New developments in the field of PD detection and location in power cables under on-site condition," Proceedings of the 1999 11th international symposium on 'High voltage engineering', pp. 106.s14-111.s14, 1999.

[8] E. Lemke, T. Strehl, and W. Mosch, "Advanced partial discharge diagnostic of MV power cable system using oscillating wave test system," IEEE Trans. on Electrical Insulation, vol.26, no.3, 1991.
 [9] E. Gulski, F. Wester, J. Smit, P. Seitz and M Turner, "PD Detection in Power Cables Using Oscillating Wave Test System," IEEE international. Symposium on Electrical Insulation, pp. 444~447, 2000
 [10] F.H. Kreuger, "Industrial High Voltage", pp. 84~86, Delft University Press, Netherlands

저 자 소 개



이 왕 하(李 汪 夏)

1964년 3월 24일생. 1987년 경북대 전자공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 수료(박사). 1991년~현재 동 포항산업과학연구원 책임연구원.

E-mail : wangha@rist.re.kr



이 성 희(李 成 熙)

1967년 9월 7일생. 1993년 경북대학교 전자공학과 졸업. 2002년 동 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1994년~현재 포항산업과학연구원 선임연구원. 1999년~현재 위덕대학교정보통신공학부 겸임교수

E-mail : shlee@rist.re.kr



정 희 돈(整 熙 敦)

1956년 2월 29일생. 1980년 전북대 기계공학과 졸업. 1987년 일본 동북대학 기계2공학과(박사). 1987~1989 일본 동북대학공학부 조수. 1989~현재 RIST 책임연구원.

E-mail: hdjeong@rist.re.kr



김 덕 규(金 德 奎)

1973년 경북대학교 전자공학 졸업(학사). 1977년 동 대학원 졸업(석사). 1989년 東京大學 전기공학과 (공학박사). 1977~1980 경북공업전문대학, 전임강사. 1980~1994 경북대학교 전자공학과 전임강사, 조교수, 부교수. 1994~현재 경북대학교 전자공학과 교수

E-mail : dgkim@ee.knu.ac.kr



이 동 영(李 東 映)

1962년 7월 19일생. 1985년 서울대학교 전기공학과 졸업, 1985~1986년 삼성반도체(주), 1995년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박), 1995년~1996년 기초전력공학공동연구소 선임연구원, 1996년~1997년 한전 전력연구원 선임연구원, 1997년~현재 위덕대학교 전기공학과 조교수.

E-mail : dyyi@mail.uiduk.ac.kr