

저압용 전열수구에서 방전 신호의 발생과 검출에 관한 연구

論 文

54C-11-5

Studies on Generation and Detection of Discharge Signals in a Low-voltage Outlet

吉 曠 碩[†] · 宋 在 鏞^{*} · 徐 煌 東^{**} · 文 勝 寶^{**} · 趙 泳 晉^{***} · 黃 敦 夏[§]

(Gyung-Suk Kil · Jae-Yong Song · Hwang-Dong Seo · Seung-Bo Moon · Young-Jin Cho · Don-Ha Hwang)

Abstract - The objectives of this paper are to provide information on the characteristics of the discharge signals in a low-voltage indoor outlet. Most of electrical fires are caused by short circuits, overheating of wires, deterioration and incomplete connection of wiring devices. The last two cases are predictable before the occurrence of fire because of its slow progress. We have simulated the discharge signals caused by the deterioration and incomplete connection of wiring devices using aged outlets. From the experimental data, we could characterize the frequency spectrums of the discharge signals depending on the cases. The higher frequency components of the signal are attenuated by the capacitance and inductance of power lines as the measuring point is getting away from the discharges. Main frequency components of the discharge signal are existent at 600 kHz - 1.5 MHz in incomplete connections and at 210 kHz - 8 MHz in deteriorations of the outlet.

Key Words: Discharge Signal, Indoor Outlet, Electrical Fire, Wiring Devices, Deterioration, Incomplete Connection, Frequency Spectrum

1. 서 론

새로운 절연재료의 개발로 절연내력이 향상되었음에도 불구하고 전기이용도가 증가함에 따라 저압 옥내배선에서 전기가 원인이 되는 화재가 빈번히 발생하고 있으며, 원인별로는 과부하에 의한 열 발생, 배선기구의 불완전한 접속과 경년열화, 단락에 의한 아크 발생이 주류를 이루고 있다[1-3]. 이와 관련하여 고압 전력설비에서 방전신호 검출에 의한 수명진단에 관한 연구와 항공기와 같은 특수 환경에서 전기화재를 예방할 목적으로 전기배선의 열화나 단락시 발생하는 직병렬 아크 전류 검출과 고속도 차단 등에 의한 기술이 중심적으로 연구되어 왔다[4-8]. 최근에는 이들 연구결과를 주택의 옥내배선에 적용하고자 AFCI(Arc Fault Circuit Interrupter)와 같은 새로운 차단기 개발에 대한 이론적 해석과 상용화 연구가 진행되고 있다[9]. 그러나 저압의 옥내배선에서 배선기구나 선로의 열화와 접속 불량으로 발생하는 미소한 방전이나 간헐 아크를 검출하여 온라인 절연 진단이나 화재 원인의 조기 진단에 대한 연구는 수행되고 않

는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 저압 옥내배선에서 전기에 의한 화재발생의 징후를 조기 검출할 목적으로, 전기화재의 주요 원인이 되는 전열수구의 불완전한 접속과 열화에 의해 발생하는 방전 현상에 대해 실험적 연구를 수행하였으며, 방전 파형의 검출과 분석으로부터 이들 2가지 상태에서 구분되는 방전신호의 특징을 알 수 있었다. 최종적으로 주택의 옥내배선에서 전기화재의 징후로써 방전신호 검출에 적용할 수 있도록 최적의 결합회로망을 설계하였다.

2. 실험 및 방법

2.1 시료

저압 옥내배선계통에서 전열수구는 부하시 열 발생과 분진 또는 습기와 같은 환경적 요인으로 비교적 빠르게 열화가 나타나는 부분이며, 이때 발생하는 불꽃방전이 전기 화재의 주요 원인이 되고 있다. 따라서 본 실험에서는 그림 1과 같이 주택 옥내배선계통에서 7년 이상 장기간 사용되면서 발열과 분진에 의해 열화가 진행된 AC 250 V 15 A의 전열수구를 이용하였다. 전열수구의 불완전한 접속 현상은 전열수구에 1kW 전열기를 연결하고, 불완전한 접속 현상으로 터미널과 전선사이에서 발생하는 불꽃현상은 KS C 0903(소형전기기기의 진동시험방법)에 규정된 진동시험기에 의해 기계적 진동으로 발생시켰다[10]. 또한 전열수구의 열화에 의해 발생하는 방전 현상은 금속성 분진과 수(水) 분무에 의해 모의하였다.

[†] 교신저자, 正會員 : 韓國海洋大學校 電氣電子工學部 副教授 · 工博
E-mail : kilgs@hhu.ac.kr

^{*} 正會員 : 韓國海洋大學校 電氣電子工學部 博士課程 修了

^{**} 準會員 : 韓國海洋大學校 電氣電子工學部 碩士課程

^{***} 正會員 : 國立科學搜查研究所 研究士

[§] 正會員 : 韓國電氣研究員 電力設備診斷研究그룹 · 工博

接受日字 : 2005年 7月 1日

最終完了 : 2005年 9月 29日



그림 1 열화된 전열수구의 사진 예
Fig. 1 Example photograph of the aged outlet

2.2 실험계의 구성

상용주파수 교류 220 V 전압을 전열수구에 인가하고 부하시의 접속불량과 열화에 대한 실험을 수행하였다. 실험계는 그림 2와 같이 1φ 220 V 3 kVA 절연변압기, 전압측정용 차동프로브(P5200A, DC - 25 MHz, Tek.), 전류측정용 클램프형 변류기(A622, DC - 100 kHz, Tek.), 결합회로망과 디지털 오실로스코프로 구성하였다.

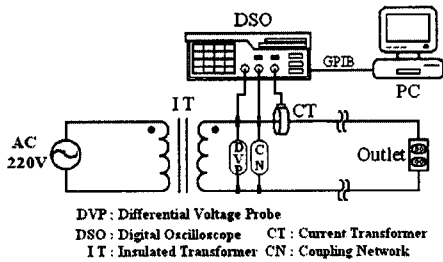
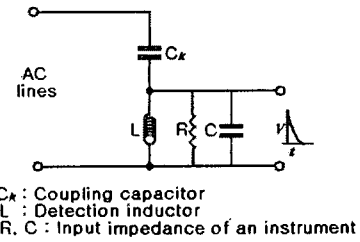


그림 2 실험장치의 구성
Fig. 2 Configuration of the experimental apparatus

결합회로망은 전열수구의 접속불량과 열화시 발생하는 방전 신호만을 검출하여 주파수 성분을 분석하기 위하여 사용한 것으로, 그림 3(a)와 같이 내부방전이 발생하지 않는 콘덴서(discharge free capacitor)와 인덕터, 측정장치의 입력 임피던스로 구성된다. 본 결합회로망의 정현파 입력에 대한 주파수 응답특성은 그림 3(b)와 같이 -3 dB의 저역 차단주파수가 125 kHz이며, 500 kHz부터는 -0.1 dB 이하로 평탄한 특성을 나타낸다. 본 연구에서 결합회로망의 저역차단주파수를 125 kHz(- 3 dB)와 500 kHz(- 0.1 dB)로 설계한 이유는 ① 60 Hz의 상용주파수 교류전압은 125 dB 이상으로 최대한 감쇄시켜 측정 회로로 전달되지 않도록 해야 하며, ② 방전 신호에 포함되어 있는 모든 주파수 성분은 감쇄없이 통과시켜 파형의 왜곡없이 측정이 가능해야 하며, ③ 옥내배선에서 방전 전하량을 산출할 필요가 있을 때, 옥내 배선과 부하 상태에 따라 방전 신호의 전파특성이 달라져 이론적 산출이 불가능하여 표준 교정기에 의한 비교 산출이 가능한데, 교정에 사용되는 펄스가 500 kHz - 2 MHz이므로 결합회로망의 저역차단 주파수가 최소 500 kHz(- 0.1 dB) 이하여야 정확히 방전 전하량을 산출할 수 있기 때문이다.

이와 같이 제작한 결합회로망은 광대역으로 방전신호의 관측에 적합하고 실제의 주택 옥내배선에 적용이 가능한 특성이다. 또한 방전 신호의 관측에 있어서는 옥내배선에서 선로의 표류정전용량과 인덕턴스에 의한 전파특성을 고려하

여 방전의 발생지점과 발생지점으로부터 30 m 떨어진 지점에서 측정하여 비교하였다.



C_k : Coupling capacitor
L : Detection inductor
R, C : Input impedance of an instrument

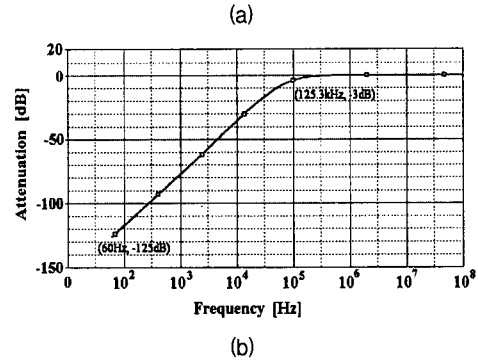


그림 3 결합회로망의 구성(a)과 주파수 응답(b)
Fig. 3 Configuration(a) and frequency response(b) of the Coupling network

3. 결과 및 분석

3.1 접속불량에 의한 방전

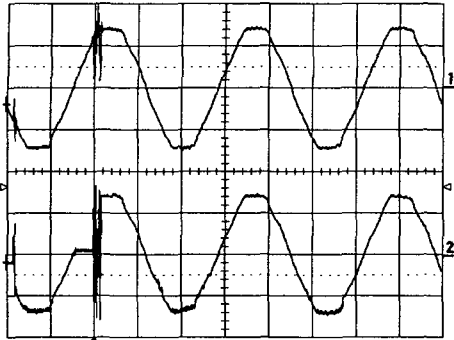
전열수구와 전선의 불완전한 접속에 의해 나타나는 방전 현상은 부하시 순간적인 전류 변화에 의한 것으로, ms 영역에서 측정된 전압·전류 파형은 그림 4와 같다.

전열수구와 전선의 접속불량으로 전류 차단현상이 전류파형에 뚜렷이 나타나지만, 전압파형에는 방전에 의한 고주파 성분만이 나타나며, 방전지점으로부터 멀어짐에 따라 선로의 인덕턴스와 정전용량으로 인해 고주파 성분이 감소함을 알 수 있다. 그러므로 옥내 배선계통에서 전기화재의 징후를 예지하기 위해서는 전원에 고역통과필터의 특성을 가지는 결합회로망을 구성하고 방전신호의 특징적인 주파수를 추출할 필요가 있다.

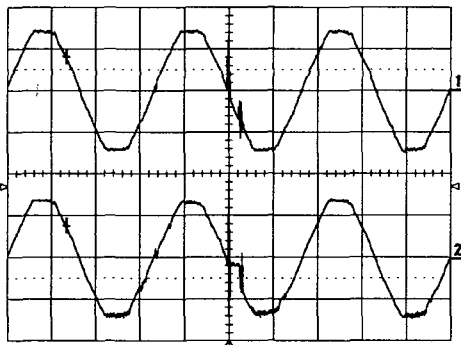
그림 5와 그림 6에는 결합회로망을 통하여 방전 발생시 전원주파수 성분을 제거하고 측정된 방전신호의 파형과 주파수 분석 결과를 나타내었다. 측정위치에 따른 방전신호의 주파수 특성으로 방전의 발생지점에서는 1.5 MHz, 30 m 위치에서는 600 kHz, 750 kHz가 주요하게 나타났다. 그림 5에서와 같이 방전지점에서 측정된 파형에는 여러 번의 측정에도 파형과 주파수 성분은 거의 동일하게 나타났다.

그러나 방전지점에서 30 m 떨어진 곳에서 측정된 그림 6의 파형을 그림 5의 파형과 비교해볼 때, 파형이 다소 변화하고 주요 주파수 성분도 600 kHz - 750 kHz 변화했음을 알 수 있다. 이는 방전 발생지점에서 멀어질수록 선로의 직렬 인덕턴스와 병렬 캐패시턴스가 L-C 저역통과필터로 작용함으로써 전파특성이 달라져 고주파 성분이 다소 감소한 것이

다. 선로 정수는 옥내 배선의 상태에 따라 달라지므로 방전 파형과 포함된 주파수 성분도 측정시마다 다소 변화될 수 있으나, 일정 주파수 영역내에 존재하므로 반복 측정과 분석에 의해 방전의 특성을 파악할 수 있을 것으로 생각한다.



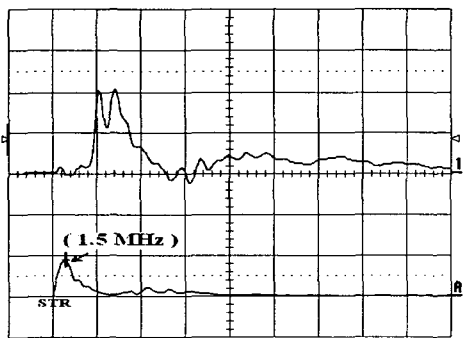
Ch.1 : voltage [200 V/div, 5 ms/div]
Ch.2 : current [5 A/div, 5 ms/div]
(a)



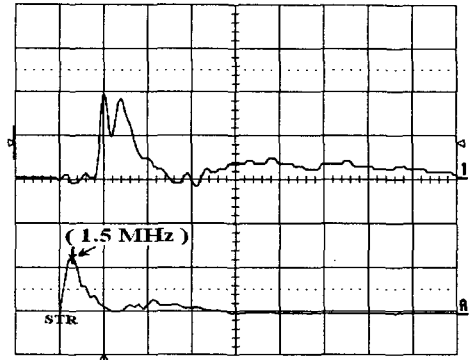
Ch.1 : voltage [200 V/div, 5 ms/div]
Ch.2 : current [5 A/div, 5 ms/div]
(b)

그림 4 불완전한 접속시 (a)방전지점 (b)방전지점에서부터 30 m 거리에서 측정된 전압·전류 파형

Fig. 4 Voltage and current waveforms caused by an incomplete connection. (a) is measured at near the discharge point, and (b) is measured at 30 m away from the discharge point



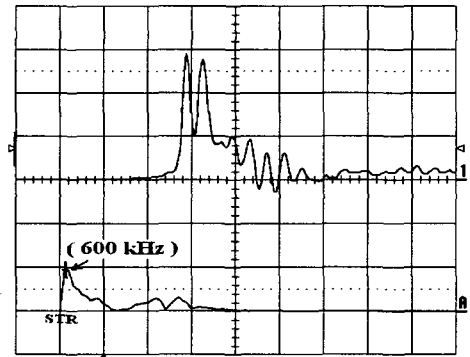
Ch.1 : discharge signal [1 V/div, 200 ns/div]
Ch.A : FFT result [340 mV/div, 5 MHz/div]
(a)



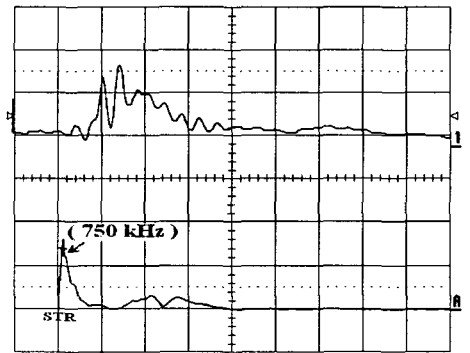
Ch.1 : discharge signal [1 V/div, 200 ns/div]
Ch.A : FFT result [205 mV/div, 5 MHz/div]
(b)

그림 5 접속불량시 방전지점에서의 측정된 파형과 주파수 분석 결과의 예

Fig. 5 Typical waveforms measured at near the discharge point in case of the incomplete connection and its FFT results



Ch.1 : discharge signal [1 V/div, 200 ns/div]
Ch.A : FFT result [400 mV/div, 5 MHz/div]
(a)



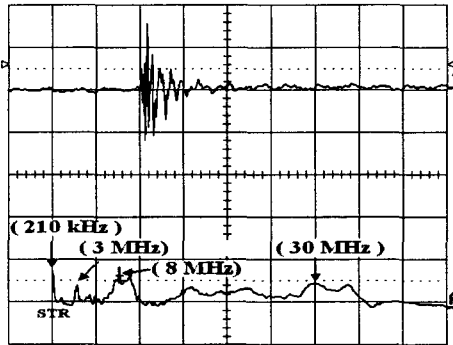
Ch.1 : discharge signal [1 V/div, 200 ns/div]
Ch.A : FFT result [196 mV/div, 5 MHz/div]
(b)

그림 6 접속불량시 방전지점에서부터 30 m 거리에서 측정된 파형과 주파수 분석 결과의 예

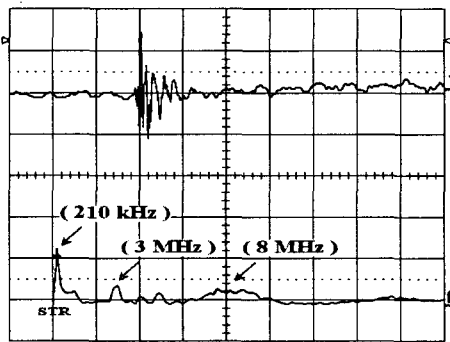
Fig. 6 Typical waveforms measured at 30 m away from the discharge point in case of the incomplete connection and its FFT results

3.2 전열수구의 열화에 의한 방전

열화된 전열수구에 AC 220 V를 인가하고 부하전류가 흐르지 않는 상태에서 금속성 분진과 수분부에 의해 발생한 방전으로부터 측정된 방전파형의 예를 그림 7에 나타내었다. 결합회로망에 의해 전원주파수 60 Hz 및 수 kHz까지의 고조파 성분은 감쇄되어 나타나지 않았고 고주파 성분만이 관측됨을 알 수 있다.



Ch.1 : discharge signal [20 mV/div, 200 ns/div]
Ch.A: FFT result [0.91 mV/div, 5 MHz/div]
(a)



Ch.1 : discharge signal [10 mV/div, 500 ns/div]
Ch.A: FFT result [0.91 mV/div, 5 MHz/div]
(b)

그림 7 열화된 전열수구에서 방전 발생시 (a) 방전지점과 (b) 방전지점으로부터 30m 거리에서 측정된 신호
Fig. 7 Typical discharge signals caused by the aged outlet and its FFT results. (a) is measured at near the discharge point, and (b) is measured at 30m away from the discharge point

방전 파형의 주파수 성분은 210 kHz - 35 MHz에 넓게 분포하며, 8 MHz이하에서 비교적 큰 첨두값의 주파수 성분이 존재하였다. 방전 신호의 측정지점에 따른 파형의 주파수 성분은 접속불량의 경우와 마찬가지로, 선로의 인덕턴스와 정전용량으로 인해 방전지점으로부터 30m 떨어진 위치에서 측정된 파형은 고주파 성분이 감소하여 나타났으며, 8 MHz 이상에서는 거의 나타나지 않았다.

4. 결 론

본 논문에서는 저압 옥내배선에서 전기화재의 주요 원인이 되는 전열수구의 접속불량과 열화시 발생하는 방전신호의 특성에 대한 실험적 연구를 수행하였다. 상용주파수 교류전원이 인가된 옥내배선에서 방전신호의 검출에 핵심이 되는 결합회로망의 -3 dB의 저역차단주파수를 125 kHz로 설계하여 60 Hz 교류전압 성분을 125 dB 이상 감쇄시킴으로서 전원전압 성분과 구분하여 방전신호를 검출하였다. 본 결합회로망으로 전열수구의 접속불량과 열화시 발생하는 방전신호를 임의의 위치에서 측정하였으며, 이들 방전파형의 주파수 분석으로부터 상기 2가지 상태에서 주파수 성분이 다르게 나타남을 확인할 수 있었다.

이와 같이 전원이 인가된 옥내배선에서 배선기구의 접속 불량이나 열화로 발생하는 방전신호의 검출이 가능하므로, 이들 현상에 의해 방전 발생시는 방전 신호의 검출과 분석에 의해 전기화재의 징후를 예측할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] 화재통계연보, 행정자치부, pp. 87-90, 2003.
- [2] 전기화재 통계분석, 한국전기안전공사, pp. 3-20, 2003.
- [3] 월간전기 편집부, 전기사고별 원인분석과 방지대책, 전우문화사, pp. 231-280, 1995.
- [4] Chunlin Li, Francis Dawson, Hassan Kojori, Chris Meyers and Edwin Yue, "Arc Fault Detection and Protection-Opportunities and Challenges", SAE Technical Papers, 2003-01-3037, 2003.
- [5] Neiger et al., "Arc Fault Detector With Circuit Interrupter and Early Arc Fault Detection", US Patent no. 6, 407, 893, 2002.
- [6] James M. McCormick, Pete Theisen, "Arc Fault Circuit Interrupter Development Overviews", SAE Technical Papers, 2003-01-3233, 2003.
- [7] 김희동, "운전중 대형 터빈발전기에서 절연상태 평가", 대한전기학회 논문지, 제53권, 6호, pp. 324-329, 2004.
- [8] 김정래, 이호근, 임윤석, 김지홍, 구자윤, "SOM 알고리즘을 이용한 부분방전 패턴인식에 대한 연구", 대한전기학회 논문지, 제53권, 10호, pp. 515-522, 2004.
- [9] 안상필, "전기적 아크특성을 고려한 아크사고차단기 성능평가 및 국내도입방안", pp. 84-89, 월간 전기기술, 2004. 4
- [10] KS C 0903, 소형전기기기의 기계적 충격시험방법, 한국표준협회, 2002. 11

저 자 소 개

길 경 석 (吉 暉 碩)

대한전기학회논문지, 54C권 8호 2005년 8월호 참조

송 재 용 (宋 在 鑞)

대한전기학회논문지, 54C권 8호 2005년 8월호 참조



서 황 동 (徐 煌 東)

1976년 1월 8일생. 2002년 한국해양대학교 전기공학과 졸업. 2004년~현재 동 대학원 전기전자공학과 석사과정

Tel : 051-410-4893, Fax : 051-403-1127

E-mail : hwangdong95@bada.hhu.ac.kr



문 승 보 (文 勝 寶)

1978년 4월 21일생. 2005년 한국해양대학교 전기전자공학부 졸업. 2005년~현재 동 대학원 전기전자공학과 석사과정

Tel : 051-410-4893, Fax : 051-403-1127

E-mail : hvparan@bada.hhu.ac.kr



조 영 진 (趙 泳 晉)

1972년 4월 20일생. 1998년 충남대학교 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년 한국해양대학교 전기전자공학과 박사과정 수료. 2000년~현재 국립과학수사연구소 연구사

Tel : 051-403-6651, Fax : 051-403-6616

E-mail : yjchoo@nisi.go.kr



황 돈 하 (黃 敦 夏)

1991년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1993년~현재 한국전기연구원 산업전기연구단 전력설비진단연구그룹 선임연구원

Tel : 055-280-1544, Fax : 055-280-1547

E-mail : dhhwang@keri.re.kr