

저압용 전기전자부품에 대한 부분방전 시험

길경석* · 송재용* · 서황동* · 문승보* · 차명수*

* 한국해양대학교 전기전자공학부

Partial Discharge Test on Low-voltage Electrical and Electronic Components

Gyung-suk Kil*, Jae-yong Song*, Hwang-dong Seo*, Seung-bo Moon*, Myung-soo Cha*

*Division of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요약 : 본 논문은 저압용 전기전자부품의 비파괴 절연성능 시험법으로 효과적인 부분방전시험의 적용에 관하여 기술하였다. 저압용 절연 변압기를 대상으로 IEC 규격에 정의된 시험전압으로 내전압 시험과 부분방전 시험의 비교 실험을 수행하였다. 실험 결과로부터 내전압 시험에 있어서는 시험 중 피시험체의 절연성능 저하가 발생하는 것을 확인하였다. 그러나 부분방전 시험은 내전압 시험에 규정된 전압의 30~50%에서 1 pC 이하의 방전 전하량을 측정하고, 피시험체의 절연 저하를 발생시키지 않으면서도 효과적인 절연성능 평가가 가능하므로 현재의 내전압 시험법을 대체할 수 있다.

핵심용어 : 부분방전, 절연성능, 내전압시험, 절연열화, 방전전하량, 저압용 전기전자부품

ABSTRACT : This paper dealt with an application of partial discharge (PD) test on low-voltage electrical and electronic devices, which is recently being accepted as a non-destructive and an effective dielectric test method.

A comparative experiment combined with the Withstand Voltage Test (WVT) specified in IEC standards was carried out on insulation transformers. The results demonstrated that insulation degradation of the device under test progress during the WVT. However, the PD test is performed in ranges from 30% to 50% of the test voltage specified in the WVT by the measurement of apparent charges below 1 pC. Therefore, the PD test can be successfully applicable for a non-destructive test on low-voltage electrical and electronic devices as a replacement of the WVT.

KEY WORDS : Partial discharge, dielectric test, Withstand Voltage Test (WVT), insulation degradation, apparent charges

1. 서 론

기체 절연에서와는 달리 고체 절연체의 절연과피 전장의 세기는 대단히 높기 때문에 저압용 전기전자부품과 같이 저전압 영역에서 사용되는 고체절연체의 절연과피는 문제가 되지 않았다. 이러한 이유로 부분방전시험은 주로 고전압 사용기기를 대상으로 수행되어 왔다[1][2][3][4]. 그러나 고체 절연체가 급속도로 박막화되고 고체 절연시스템에서는 절연체 층간 또는 공극이 존재하므로 절연체가 허용하는 내전압보다도 훨씬 낮

은 전압에서 부분방전이 발생할 수 있으며, 부분방전은 절연 열화를 촉진시킨다[5][6][7][8][9]. 또한 저압용 전기전자부품의 절연 평가법으로 사용하는 내전압 시험은 사용 전압의 5배 정도의 높은 전압을 인가하기 때문에 시험중 절연열화를 촉진시킬 수 있어 정확한 평가가 어렵기 때문에 새로운 절연평가기술의 개발이 요구된다[10][11][12][13]. 이에 대해 부분방전 시험은 내전압 시험에 규정된 전압의 30~50%에서 절연평가가 가능하므로 시험중 절연열화가 발생하지 않으며, 부분방전에 관한 파라미터의 분석으로 절연체의 적용이나 제조상의 균일

* kilgs@hhu.ac.kr, hvlab@bada.hhu.ac.kr, hwangdong95@bada.hhu.ac.kr, hvparan@bada.hhu.ac.kr, chacha1025@bada.hhu.ac.kr (051)410-4414

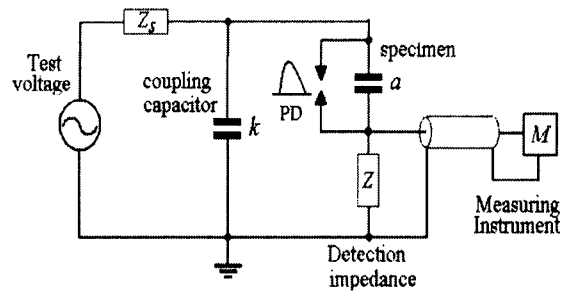
도 등 절연에 관한 많은 정보를 얻을 수 있는 장점이 있다. 그러나 현재까지 저전압 전기전자부품에 대한 실질적인 절연 평가 기준이나 특성이 명확하지 않은 실정이므로 이 분야에 연구가 필요하다.

본 연구에서는 저압용 전기전자부품에 대한 절연평가 기술로 부분방전 시험을 적용하기 위하여 저압용 절연변압기에 대해 내전압시험과 같은 방법으로 에이징 후 방전 파라미터를 분석하였다. 실험 결과로부터 절연변압기는 내전압 시험과정에서 절연저하가 발생함을 확인하였으며, 저압용 부품에 대한 부분방전의 특성과 절연평가에 적합한 부분방전시험법에 대하여도 검토하였다. 본 논문의 결과는 저압용 절연변압기에 한정된 것이지만, 동일한 방법으로 각종의 저압용 전기전자부품의 절연평가에 적용할 수 있을 것이다.

2. 부분방전 발생과 측정

고체 절연체는 열적, 기계적, 전기적 스트레스에 의해 절연 성능 저하나 손상이 발생할 수 있다. 열적 스트레스는 온도상승에 의한 단기간시험으로 고체절연체의 온도상승에 대한 영향을 평가할 수 있지만 이러한 가속시험으로 열화기구가 바뀌지는 않는다[8]. 매우 짧은 기간의 기계적 스트레스는 보이드나 크랙을 만들어 낼 수 있으며, 이 보이드나 크랙과 같은 결합과 절연층간에 가해지는 전기적 스트레스는 부분방전을 발생시키고 절연열화를 촉진시험에는 의심할 여지가 없다. 결국, 부분방전과 관련된 파라미터의 관측은 절연평가에 중요하게 이용될 수 있다.

부분방전 펄스는 Fig. 1과 같은 회로로 접지기기 또는 비접지 기기에 따라 Fig. 1(a) 또는 1(b)를 선택할 수 있으며, 비접지 기기라 할지라도 Fig. 1(a)의 회로를 사용하면 시험시 절연 파괴나 누설전류에 의해 증폭기의 손상을 방지할 수 있다. 또한 측정 장치의 감도는 피시험체의 정전용량에 따라 달라지므로 Fig. 2와 같이 기지의 표준펄스를 주입하여 교정을 수행하여야 한다.



(b) unearthed test device

Fig. 1 PD detection circuit

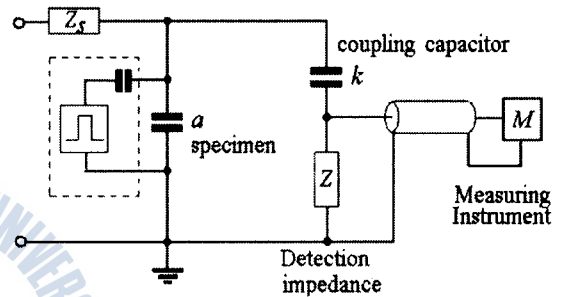
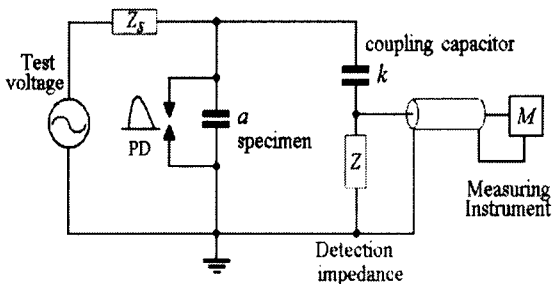


Fig. 2 Calibration circuit

본 논문에서는 주파수 대역 1 ~ 30 MHz, 시료의 정전용량 2 nF이하에서 최소 0.2 pC의 방전전하 검출이 가능한 부분방전 측정시스템을 이용하였다[14]. 저압용 절연변압기를 시료로 한 교정실험에서 검출감도는 38.4 mV/pC이었다. 교정실험 후 교류전압 750 V에 검출된 방전펄스 파형의 예를 Fig. 3에 나타내었다. 측정된 방전펄스의 크기는 1.11 pC, 상승시간은 약 30 ns이며, 잡음레벨은 3 mV_{p-p}로 0.08 pC에 해당하므로 이론적으로 실제 검출 가능한 방전펄스는 잡음레벨의 2배 이상인 약 0.16 pC이다[2].



(a) earthed test device

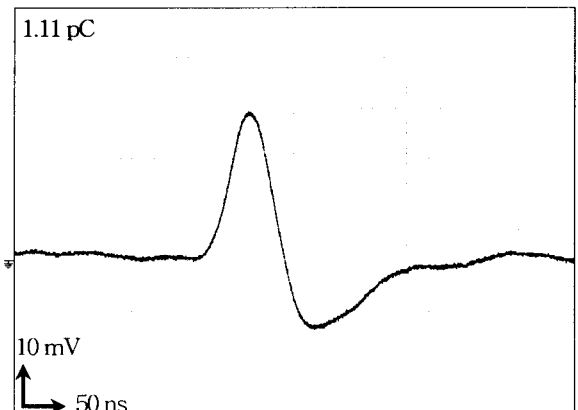


Fig. 3 Typical PD pulse detected

3. 내전압 시험과 절연체의 열화

내전압 시험에 의해 절연체의 절연 저하가 발생하는 가를 알아보기 위하여 내전압 시험전압에서 일정시간 에이징 후에 방전전하의 크기와 방전개시 및 소멸전압을 측정·비교하였다. 시험 전압의 파형은 직류, 교류 및 과도전압 등 여러 가지 전압이 적용되고 있으며, 교류 전압에 대한 절연 시험이 일반적이므로 IEC 60664-1에 따른 내전압 시험의 전압 계산 식 (1)을 기준하였다.

$$U_t = 2 \times U_n + 1000 \text{ [V]} \quad (1)$$

여기서 U_t 는 시험전압, U_n 은 시료(피시험체)의 사용전압으로 실효값을 나타낸다.

본 논문에서는 시료로서 정격전압 AC 220 V의 절연 변압기를 사용하므로 에이징 전압은 1,500 V이며, 1분간 (aging #1) 그리고 10분간 (aging #2) 에이징 후 방전 파라미터의 변화를 분석하였다.

Fig. 4는 절연변압기의 철심과 권선사이에 에이징 #1 과정으로 부분방전 펄스의 변화를 나타낸 것이다. 에이징 전에 최

초로 방전 펄스가 관측되는 전압에서 비교한 것으로 내전압 시험 후에 방전 펄스의 크기와 빈도는 약간 증가했으나, 30분 이상 경과하여도 절연열화가 진행되지 않고 일정한 상태를 유지하였다.

Fig. 5는 절연변압기의 철심과 권선사이에 에이징 #2 과정으로 부분방전 펄스의 변화를 나타낸 것이다. 에이징 #1에 의한 에이징 결과와는 달리 초기 방전펄스는 에이징 전 750 V 보다 훨씬 낮은 495 V에서 검출되었으며, 방전펄스의 크기와 빈도도 증가하였다. 특히, 측정시간의 경과와 더불어 방전펄스가 지속적으로 증가하는 현상과 정극성 펄스의 발생이 두드러지게 나타났다.

부분방전실험에 있어 절연 성능 평가의 중요한 지표인 1 pC에서의 방전 개시와 소멸전압은 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 에이징 #1과 에이징 #2 후에 감소하였으며, 절연저하가 발생하였음을 나타내는 것이다. 에이징 전 신품 시료의 DIV는 750 V 전후이었으나, 에이징 #1 후 다소 감소한 707 V 이하였으며, 에이징 #2 후에는 495 V 정도로 낮아졌다.

또한 에이징 후 방전 전하량의 변화는 Fig. 7에 나타낸 바와 같이 인가전압에 따라 시험전과 비교하여 크게 증가되는 것을 알 수 있다.

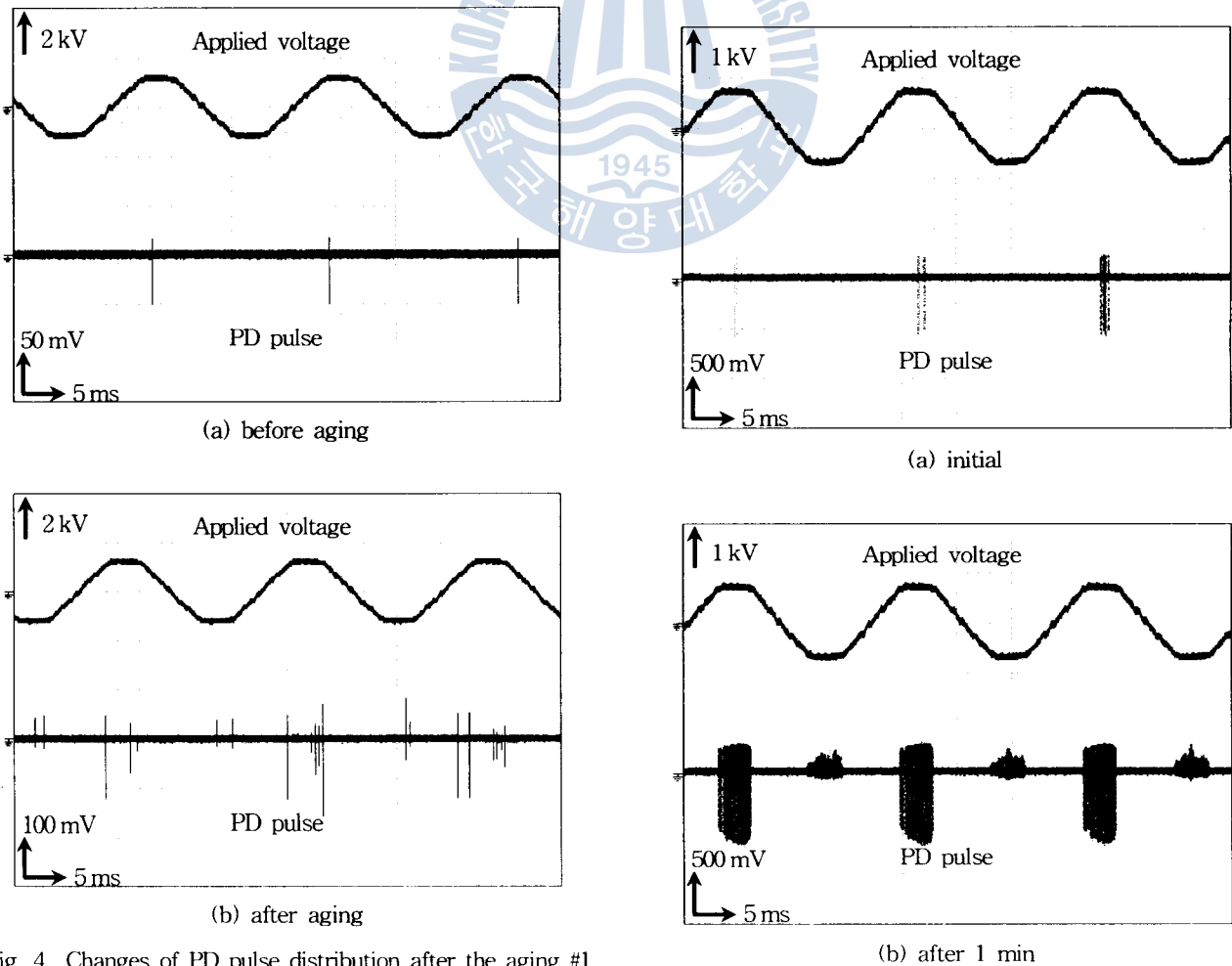
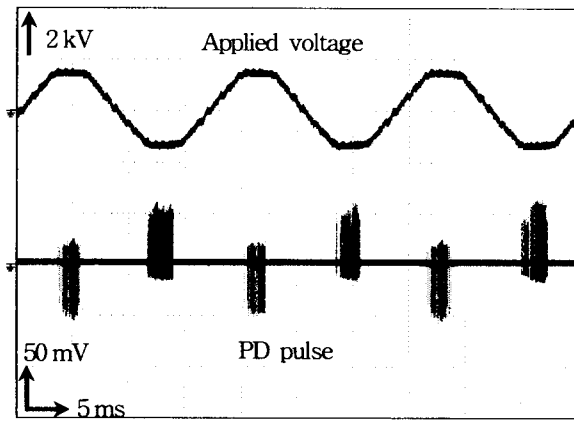


Fig. 4 Changes of PD pulse distribution after the aging #1

(b) after 1 min



(c) after 5 min

Fig. 5 Changes of PD pulse distribution after the aging #2

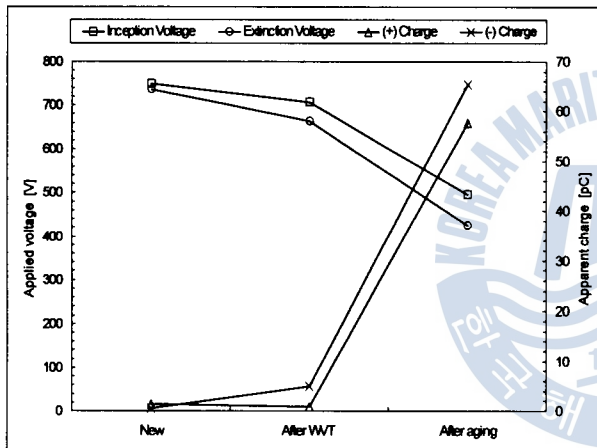


Fig. 6 Changes of DIV, DEV, and apparent charge

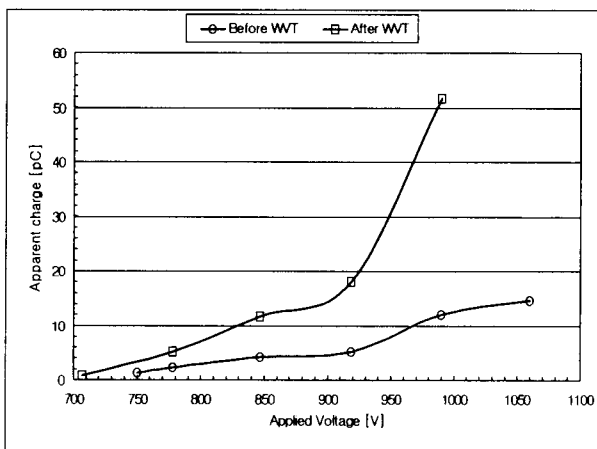


Fig. 7 Changes of apparent charges after the aging #1

4. PD 시험의 적용

실험 결과로부터 저압용 전기전자부품의 절연 평가법의 하나인 내전압 시험에서는 피시험체의 절연저하가 발생시키는 것을 확인할 수 있었다. 그러므로 저압용 전기전자부품에 대한 절연평가기술로 부분방전시험의 적용은 내전압 시험에서 나타나는 절연저하를 피하기 위해 어느 정도의 시험전압이 적합한가에 대한 분석이 필요하다.

본 논문에서는 저압용 절연변압기를 6개 군으로 나누어 규정전압의 50% ~ 100% 까지 10% 단계마다 전압을 10분씩 인가하여 에이징 후 방전전하의 변화를 분석하였다.

Fig. 8에 나타난 바와 같이 식 (1)로 산출된 전압, 1,500 V의 70%까지는 방전전하량의 변화가 거의 없으나, 80% 이상에서는 시험 전압에 따라 급격히 증가하는 경향을 나타내었다. 이것은 규정 전압의 70%까지는 절연 성능에 변화가 없음을 의미하는 것이므로, 부분방전시험에서 적정 전압은 본 실험의 경우, 70% 이하인 1,050 V이하가 되어야 한다.

또한 시험전압의 80%인 1,200 V에서 에이징 한 경우, 870 V까지는 방전전하에 있어 변화가 없이 초기상태와 동일하게 나타나므로 80% 이하의 전압을 인가하는 부분방전 시험에서는 피시험체에 절연 저하를 발생시키지 않을 것으로 생각한다.

Fig. 9는 그림 8의 결과에서 최초 검출된 방전전하의 크기를 에이징 대상별로 나타낸 것으로 모두 760 V ~ 780 V에서 측정된 것이다. 80%까지는 에이징 전후 차이가 없으며, 이때의 방전전하는 1 pC 이하로 나타났다. 90% 이상에서 시험 후 방전전하의 크기가 현저히 증가하였으며, 1.7 pC ~ 5 pC이었다. 결국, 내전압 시험에서 발생하는 피시험체의 절연저하를 피하기 위해서는 내전압 시험전압의 80% 이하로 가능한 낮은 전압에서 방전에 관련한 파라미터의 분석이 필요하다.

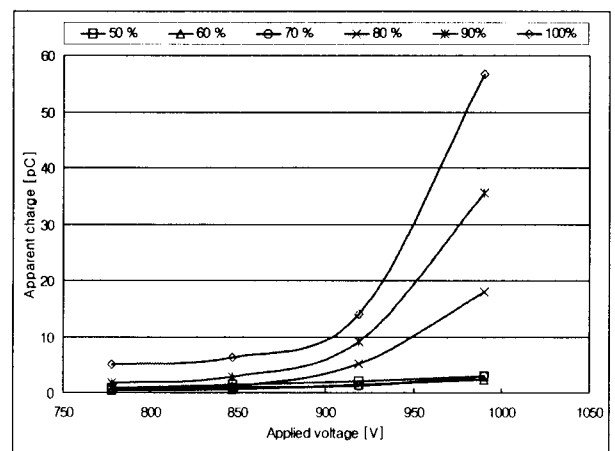


Fig. 8 Changes of apparent charges as a function of applied voltages after the ageing

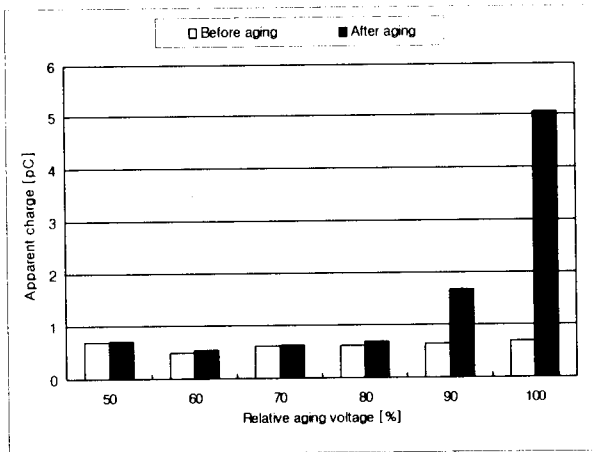


Fig. 9 Comparative analysis of apparent charges before and after the aging

5. 결 론

본 논문에서는 저압용 전기전자부품에 대한 새로운 절연평가기술로 부분방전시험을 적용하기 위하여, 저압용 절연변압기에 대해 내전압 시험조건으로 에이징 후 부분방전에 관한 파라미터를 분석하였다. 실험 결과로부터 저압용 전기전자기기 및 부품에 대해 절연 평가법으로 시행하는 내전압 시험은 시험 중 피시험체의 절연성능을 저하시키는 것을 확인하였다. 저압용 전기전자기기에 대한 부분방전 시험전압의 적정레벨은 시험 중 피시험체의 절연성능을 저하시키지 않는 범위로서, 이는 피시험체에 대한 에이징 실험과 방전전하량의 측정으로부터 산출할 수 있다.

본 논문에서 적용한 절연변압기의 경우에는 내전압시험에 규정된 시험전압의 70%인 1,050 V 이하에서 에이징과 시험전압에 의해 절연성능의 저하가 발생하지 않으므로 부분방전 시험전압의 최대값은 1,050 V 이하가 된다. 또한 내전압 시험전압의 30 ~ 50% 범위에서 1 pC 이하의 방전전하의 측정이 가능하므로 피시험체의 절연성능을 충분히 평가할 수 있다.

결론적으로 저압용 전기전자기기에 대한 부분방전시험은 피시험체의 절연성능을 저하시키지 않고 절연재료의 선정과 절연 구조, 제조상 결함 등 절연에 관한 다양한 정보를 얻을 수 있으므로, 반도체 소자나 PCB와 같이 절연거리가 극히 짧은 전자부품에 대한 절연 평가에도 광범위한 활용이 가능하다.

참 고 문 헌

[1] IEC Publication 60270, High-voltage test techniques- Partial discharge measurement, 2000.
 [2] F. H. Kreuger, Partial Discharge Detection in High-Voltage Equipment, Butterworth, pp.15-104, 1989.

[3] L. A. Dissado, S. J. Dodd, J. V. Champion, P. I. Willians and J. M. Alison, "Propagation of Electrical Tree Structures in Solid Polymeric Insulation", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 4, No. 3, pp.259-279, 1997.
 [4] A. Lapp and H. G. Kranz, "The Use of CIGRE Data Form at for PD Diagnosis Application", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 7, No. 1, pp. 102-112, 2000.
 [5] A. Kelen and M. G. Danikas, "Evidence and Presumption in PD Diagnostics", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 2, No. 5, pp.780-795, 1994.
 [6] A. Cavallini, M. Conti, A. Contin, and G. C. Montanari, "Advanced PD Inference in On-Field Measurements. Part2: Identification of Defects in Solid Insulation Systems", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 10, No. 3, pp.527-538, 2003.
 [7] S. A. Boggs, "Partial Discharge - Part III : Cavity-Induced PD in Solid Dielectric", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 6, No. 6, pp.11-20, 1990.
 [8] Wolfgang Pfeiffer, "Partial-discharge Testing of Components for Low-voltage Equipment", IEEE Transactions on Electrical Insulation Vol.31 No.4, pp.247-257, 1991.
 [9] A. Mbaye, F. Grigorescu, T. Lebey, and Bui Ai, "Existence of Partial Discharges in Low-voltage Induction Machines Supplied by PWM Drives", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 3 No. 4, pp.554-560, 1996.
 [10] IEC Publication 60664-1, Insulation coordination for equipment within low-voltage systems - Part 1 : Principles, requirements and tests, 2002.
 [11] IEC Publication 61558-1, Safety of power transformers, power supplies, reactors, and similar products, 2005
 [12] IEC Publication 60-1, Medical electrical equipment-Part 1 : General requirements for safety, 1995.
 [13] KS C 0903, 소형전기기기의 기계적 충격시험방법, 한국표준협회, 2002.
 [14] 길경석, 송재용, 서황동, 황돈하, 강동식, 김용주, "저압 유도전동기에서 미소 부분방전 측정에 관한 연구", 전기전자재료학회 논문지 제18권 제10호, pp.960-964, 2005.

원고접수일 : 2005년 12월 28일

원고채택일 : 2006년 1월 7일

