

Laser 誘起 壓力 Pulse법에 의한 電力 케이블중의 공간전하 분포에 관한 연구

A Study on the Space Charge in Power Cable by Laser-Induced Pressure Pulse Method

한 상 옥*, 김 중 석**, 이 덕 출***, 水谷 照吉****
Sang-ok Han, Jong-seck Kim, Duck-chool Lee, M.Mizutani

요 약

레이저 誘起 壓力펄스(LIPP)법을 이용하여 가교폴리에틸렌(XLPE)필름과 전력 케이블의 공간전하의 성질을 정량적으로 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

잔류가교제를 갖는 XLPE에서는 음극으로부터 현저한 전자주입이 나타나고 시료전체에 걸쳐 負의 공간 전하가 형성되었으며, 음극으로부터의 전자 주입은 전계상승에 따라 증가 하였다. XLPE 전력 케이블에서는 잔류가교제가 이온화하여 생긴 正 및 負의 헤테로 공간 전하가 음극 및 양극 부근에 형성되었다.

Abstract

By utilizing the Laser - Induced - Pressure - Pulse (LIPP) Method, we quantitatively studied the behavior of space charge effect in crosslinked Polyethylene(XLPE) films and power cables.

The results were

XLPE with residual crosslinking catalyst showed electron injection from cathode, and negative space charge was formed in the bulk, and Electron injection from cathode increased with applied field.

Positive and negative hetero space charge was formed near the cathode and anode by residual crosslinking catalyst ionization in XLPE power cable.

1. 서 론

고분자 절연재료의 전기전도 및 절연 파괴는 고분자 특유의 복잡한 고체구조와 제조공정에서 混入되는 불순물 또는 공간전하 등에 의하여 크게 영향을 받고 있기 때문에 아직까지도 그 원인이 명확하게 밝혀지고 있지않다.

특히 고분자 재료중의 空間電荷는 내부전 계를 變態시켜 帶電,放電,絶緣破壞 및 열화 현상에 현저하게 영향을 주고 있다. 고분자 절연재료 중에서 가장 대표적인 절연재료는 Polyethylene(PE)이고 이는 電力 Cable등 실용적으로 널리 사용되고 있다. 이 PE의 전기전도 특성, 절연과파 특성에 대한 연구는 많이 진행되고 있으며 특히 공간전하의 움직임이 큰 영향을 미치고 있다고 보고하고 있다.^{1),2),3)}

예를들면 Bradwell은 PE의 絶緣破壞에 대하여 공간전하 蓄積에 의하여 절연과파 강도가 수십 % 변화 한다고 보고하고 있다.⁴⁾ 또 M.Nawata는 공간전하가 트리 신장

*:충남대학교 전기공학과

**:대전산업대학교 전기공학과

***:인하대학교 전기공학과

****:나고야대학교 공학부

接受日字:1993年 5月 12日

을 결정하는 요인이라고 보고하고 있다.⁵⁾

이와 같이 PE의 전기전도나 절연과괴는 酸化나 添加劑의 添加, 固體構造의 變化에 의하여 크게 변화하는 공간전하에 크게 영향을 받는다. 그러나 공간전하의 직접적인 측정은 어렵기 때문에 지금까지 열자극 전류(TSC), Kerr효과를 이용한 방법, 熱펄스법 등의 간접적인 방법에 의하여 연구되어져 왔으나^{6,7)} 최근에는 Laser-Induced Pressure Pulse(LIPP)법을 개발하여 공간전하를 직접적이고 定量的으로 측정하려는 연구를 시도하고 있다.⁸⁻¹⁵⁾ 따라서 이러한 LIPP법에 의한 새로운 공간전하의 측정기술은 電力케이블의 초고압화, 대용량화를 요구하고 있는 현시점에서 靚실히 요구되고 있다고 하겠다.

또한 LIPP법에 의한 공간전하 측정기술 응용은 기존 케이블의 절연열화 진단을 예측할 수 있는 방법으로 제시되기 때문에 전력계통 사고 예측수단으로도 사용될 수 있으리라고 본다.

본 연구에서는 단시간 비파괴측정으로 전하전계분포의 시간변화를 연속적으로 추적 가능한 특징을 갖는 LIPP법을 채용하여 전력 케이블용 XLPE중의 공간전하의 분포를 밝히고자 한다.

2. 실험방법 및 시료

2-1. 시험장치

그림 1은 측정장치의 구성을 나타낸 것이다. 시료표면의 타겟트에 펄스상태의 레이저광을 照射하면 壓力波의 원리로 부터 전하의 분포를 나타내는 전류과형을 얻는다.

이 전류를 Coupling condenser를 통과한 후 고속 Amp로 증폭하여 오실로스코프에 나타나게 한다. 사용한 레이저는 Nd:YAG Laser(파장 1.06 μm)이고 Pulse폭 100ps, 출력 150mJ과 Pulse폭 12 ns, 출력 1.1J의 2종류 계통을 갖고있다.

그림 1.(a)는 필름상태 시료의 측정에 사용하였고 그림 1.(b)는 케이블 시료의 측정에 사용하였다.

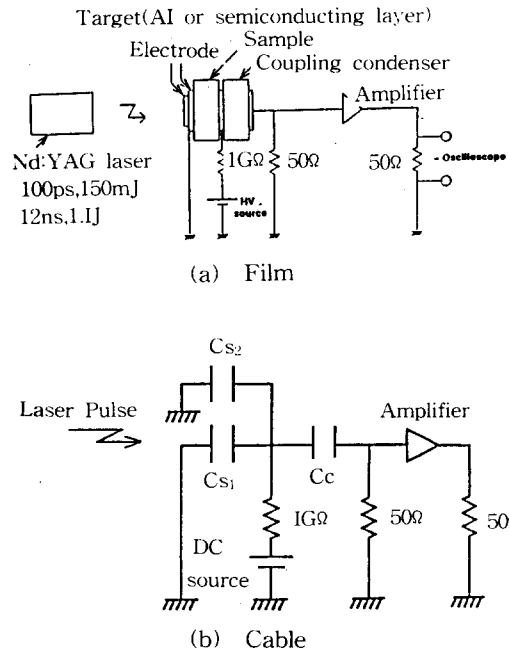


그림 1 LIPP法の 測定裝置

Fig. 1 Measurement Apparatus of LIPP Method.

2-2. 시료

架橋의 효과를 검토하기 위한 시료로서 2종류 XLPE 필름을 사용하고 1종류는 架橋 반응 후의 분해 생성물인 架橋劑를 함유하는 XPLE이고, 또 한가지는 架橋劑를 완전히 건조시킨 XPLE이다.

표 1 필름상태의 試料

Table 1 Sample of film type

시 료	두께(μm)
가교제가 잔존하는 XLPE	150
가교제가 잔존하지 않는 XLPE	150
산화방지제를 넣은 LDPE	100

또한 산화방지제를 넣은 LDPE의 온도특성을 조사하기 위해서 두께 100 μm 의 필름을 사용하였다. 사용한 시료를 표 1에 나타내었다.

또한 실험에 사용한 XLPE케이블의 구조는 그림 2와 같다.

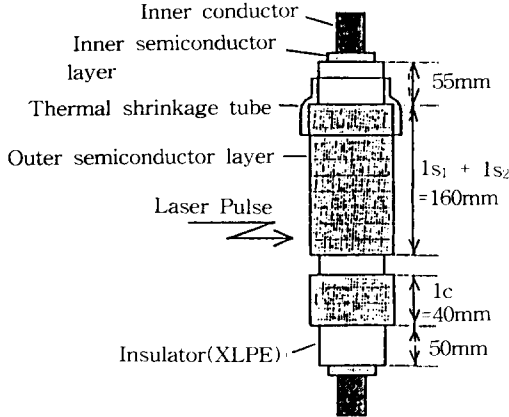


그림 2 Cable 試料(6kV,150mm²,두께:2.7mm)
Fig. 2 Cable Sample(6kV,150mm²,Thickness :2.7mm)

3. 실험결과 및 검토

架橋劑가 잔존하는 XLPE시료를 실온에서 1.2MV/cm의 전계를 인가했을 때의 출력은 그림 3과 같다.

전압인가 직후에는 공간전하가 형성되지 않았으나 10분후 負電荷가 시료 중앙부근에서 성장하고 있는것을 알 수있다.

그림 4는 60°C에서 1.2MV/cm의 電界를 인가했을 때의 LIPP의 출력을 나타낸 것이다. 그림에서 보면 10분후 부터는 시료내에 거의 같은 모양의 負의 空間電荷가 형성되고 변화가 거의 없음을 알 수 있었다.

이와같이 架橋劑가 들어있는 XLPE시료 중에는 負의 공간전하가 축적된다. 이들 負전하는 처음에 음극부근에서 축적되기 시작하여 시간이 지남에 따라 양극방향으로 성장하며 결국에는 음극으로 부터 시료내에 거의 같은 모양으로 존재하게 된다.

이와같이 최종적으로 負의 호모 공간전하가 형성되는 것은 전극으로 부터 전자주입이 되고 있음을 알 수 있다.

短絡 後에도 시료내의 負의 공간전하가 축적되고 있는것을 알 수 있다. 그러나 단락 직후와 단락 직전의 파형을 비교하면 단락 직후의 음극 부근의 負전하가 소멸되고 있는 것을 알 수 있다. 이로 부터 시료 내에는 2종류의 負전하가 존재하는 것으로 생각할

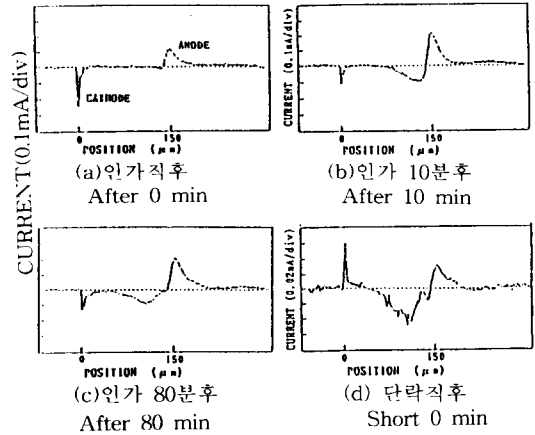


그림 3 XLPE(150μm)의 LIPP出力(실온 1.2 MV/cm)
Fig. 3 LIPP output of XLPE(150μm)(R.T 1.2MV/cm)

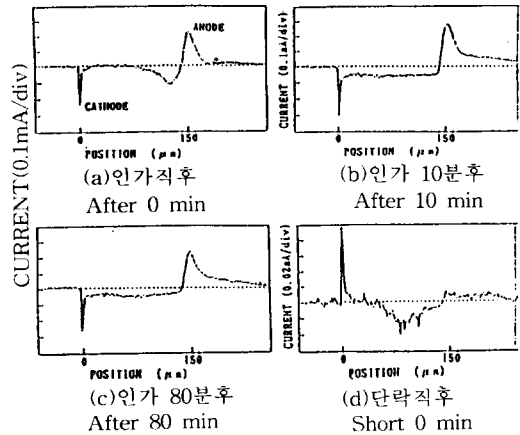


그림 4 XLPE(150μm)의 LIPP출력(60°C 1.2 MV/cm)
Fig. 4 LIPP output of XLPE(150μm)(60 °C 1.2MV/cm)

수 있다.

즉, 인가 초기 음극 부근에 축적하는 형태로 공간전하는 XLPE중의 잔류 가교제가 이온화 하여 생긴 이온성 전하이고 장시간 후에 음극부근에 축적하는 호모공간전하는 주입에 의한 전하를 나타내지만 확실한 것은 아직도 확인되고 있지 않다. 이 점에 있어서는 잔류가교제의 잔류량을 변화시켜 검토하는 것이 필요하다. 또한 온도 및 전계가 높은 쪽에 負의 공간전하의 축적이 빠르고 전하주입 및 전자의 移動度는 전계에 의

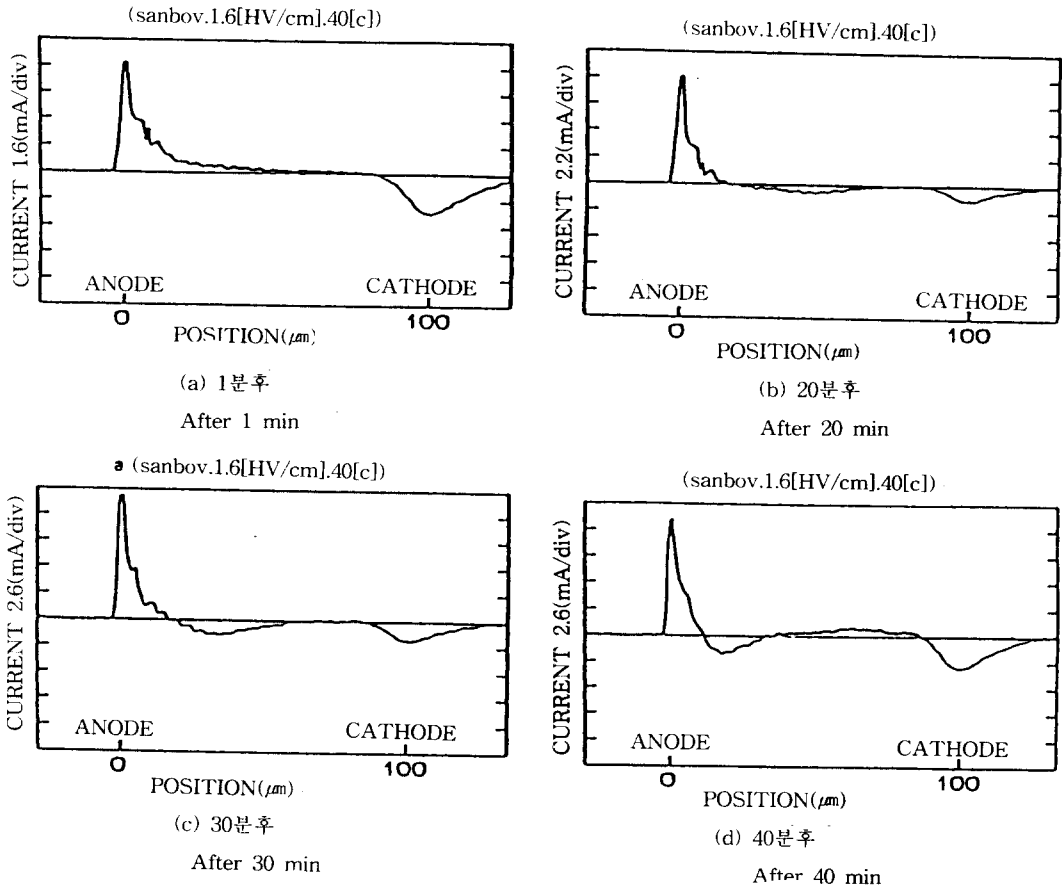


그림 5 산화방지제를 넣은 LDPE(100 μ m)의 LIPP출력(40 $^{\circ}$ C, 1.6MV/cm)
Fig. 5 LIPP output of LDPE(100 μ m) with Antioxidant(40 $^{\circ}$ C, 1.6MV/cm)

하여 증가함을 알 수 있다.

이에 반하여 가교제가 들어있지 않는 XLPE시료는 전압인가 초기에 시료내의 약간의 正의 공간전하가 형성될뿐 시간의 경과와 더불어 공간전하는 형성되지 않는 것을 알 수 있었다.

이것에 관여하는 음극부근의 호모 공간전하가 관측되거나 시료내에 負의 공간전하가 검출되는 경우가 있는 것으로 부터 인가초기에 생긴 正전하가 그후에 생긴 負전하에 의하여 상쇄되는 것으로 생각된다. 따라서 XLPE에서는 가교제의 존재가 전자주입을 촉진하고 있는 것으로 생각된다.

그림 5는 산화방지제를 넣은 LDPE에 1.6 MV/cm를 인가한 경우 40 $^{\circ}$ C에서의 공간전하의 특성을 나타낸 것이다. 실온에서는 전계인가 초기에는 正의 호모공간전하가 형성

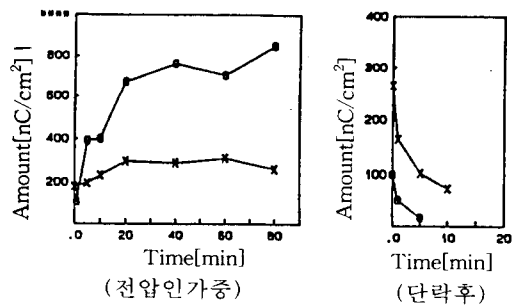


그림 6 負의 공간전하의 경시변화
(실온, X:0.8MV/cm, O:1.2MV/cm)
Fig. 6 Time characteristics of negative space charge(R.T, X:0.8MV/cm, O:1.2MV/cm)

되고 正전하 주입이 지배적인 것을 알 수 있다. 이 正의 공간전하는 음극방향으로 성장하고 최종적으로는 음극부근에 축적하여 正

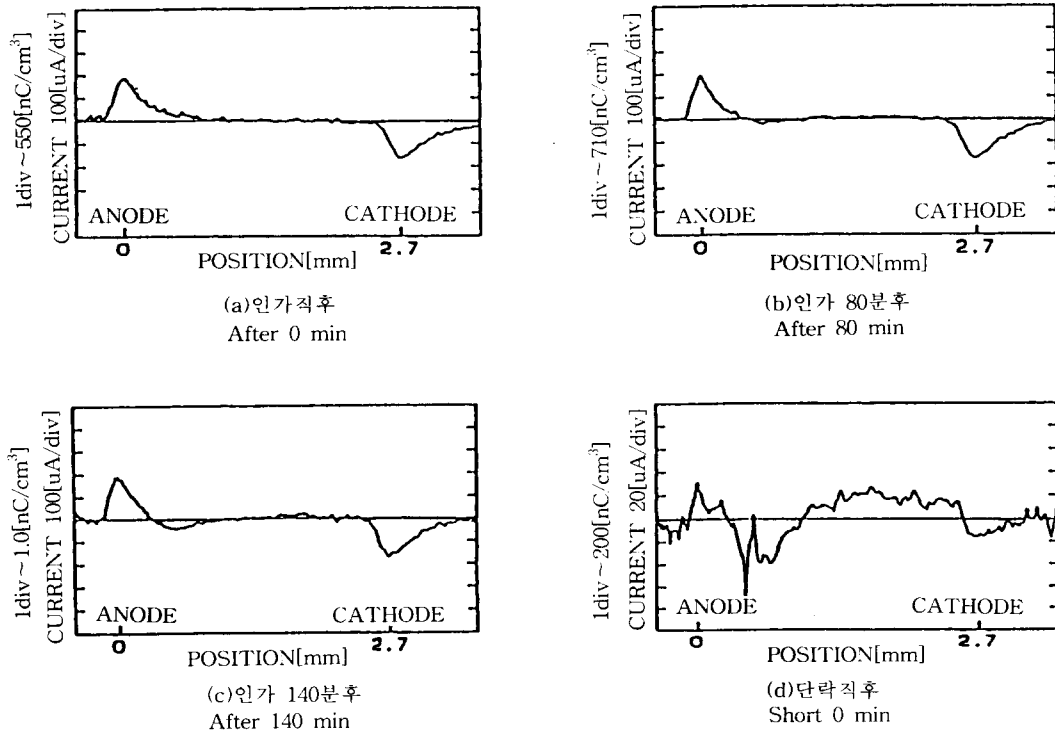


그림 7 XLPE케이블의 LIPP출력(실온,절연 두께:2.7mm,60kV)
Fig. 7 LIPP output of XLPE Cable(R.T, Thickness:2.7mm,60kV)

의 헤테로 공간전하를 형성한다.

40°C에서는 인가전계 초기에는 正의 전하가 형성되지만 이 正의 공간전하는 음극방향으로 성장하고 반대로 음극으로 부터의 負의 공간전하는 양극부근에서 負의 공간전하를 형성한다.

그림 6은 산화방지제를 넣은 LDPE중의 공간전하량의 경시변화를 나타낸 것으로 0.8 MV/cm의 경우에 있어서 단락 직전과 단락 직후의 전하량은 대략 260nC/cm²로 변화가 없지만 단락 1분후에는 160nC/cm² 정도로 되고 있다. 이것은 단락 직후의 공간전하 전계가 약 0.9MV/cm로 대단히 큰 값을 나타내는 것으로 부터 짧은 시간에 電荷交換이 이루어 진다고 생각된다.

그림 7은 실온에서 60kV의 직류고전압을 인가했을때 전압인가 및 단락후의 LIPP출력을 나타낸 것이다. 시간의 경과와 더불어 서서히 양극부근에 負의 헤테로 공간전하 그리고 음극부근에 正의 헤테로 공간전하가 형성되는 것을 알 수 있다. 또 단락후의 파

형으로부터 모든 전극의 부근에 헤테로 공간전하가 존재하고 있는것을 알 수있다.

이러한 공간전하의 기원으로서는 인가전계가 비교적 낮기 때문에 XLPE의 가교제가 이온화하여 생긴 것으로 생각된다.

4. 결론

전력 케이블등의 고체 절연재료의 절연과 피 현상이나 전기전도 현상은 공간 전하에 의한 전계의 變遷가 밀접하게 관여하고 있다. 따라서 이 공간 전하를 직접적이고 정량적으로 측정하여 절연과피기구, 전기 전도기구에 주는 영향을 해명하는 것은 대단히 중요하다.

본 연구에서는 XLPE 필름과 XLLPE케이블에 분포되는 공간전하를 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을수 있었다.

- 1) 잔류 가교제를 갖는 XLPE필름에서는 음극으로부터 현저한 전자주입이 생기고 시료전체에 걸쳐 負의 공간 전하가 형성

되었다.

- 2) 음극으로부터의 전자 주입은 전계 상승에 따라 증가하였다.
- 3) 산화방지제를 첨가한 LDPE중의 공간 전하분포는 온도에 따라 복잡하게 변화하지만 벌크내에서 캐리어가 생성되고 고온에서 負의 캐리어의 주입이 잘 일어나는 것을 알수 있었다.
- 4) 전력 케이블에서는 殘留架橋劑가 이온화하여 생긴 正 및 負의 헤테로 공간전하가 음극 및 양극 부근에 형성된다. 이공간 전하는 단락후 XLPE중에 안정하게 존재한다

끝으로 본 연구 수행을 위하여 적극적으로 협조하여 주신 名古屋大學 水谷照吉 교수님께 감사드립니다.

이 논문은 1991년도 교육부 지원 한국 학술진흥재단의 자유공모(지방대 육성)과제 학술 연구 조성비에 의하여 연구 되었음.

참 고 문 헌

1. 韓相玉, 水谷照吉 等 "Study of Space-charge Effect on Dielectric Breakdown of Polymers by Direct Probing" ,IEEE, Vol.27,No.4,pp.754-762,1992.
2. 韓相玉, 水谷照吉 等 "Study of Space-charge Characteristics in Polyethylene for Power Cable Insulation by Laser-Induced-Pressure-Pulse Technique" Trans.IEEE of Japan. Vol.111.No.12,pp 1091-1098,1991.
3. P.Laurenceau,G.Dreyfus,and J.Lewiner, "New Principle for the Determination of Potential Distributions in Dielectrics",Phys.Rev.Lett.,Vol.38,pp.46-49 1977.
4. A.Bradwell, R.Cooper and B.Varlow, "Conduction in Polyethylene with Strong Electric Fields and the Effects of Prestressing on the Electric Strength ".Proc.IEEE,Vol.118,pp.247-254,1971.
5. M.Ieda,and M.Nawata, "DC Treeing Bre-akdown Associated with Space Charge Formation in Polyethylene",IE EE Trans Electr.Insu.,Vol.EI-12,pp.19-25,1977.
6. M.Haardt,and W.Eisenmenger, "High Resolution Technique for Measuring Charge and Polarization Distributions in Dielectrics by Piezoelectrically Induced Pressure Step Waves(PPS)", Ann.Rept.Conf.Electr.Insul.Dielectr.Ph-enom.,pp.46-51,1982.
7. R.Gerhard-Multhaupt, "Analysis of Pressure-wave Methods for the Nondestructive Determination of Spatial Charge of Field Distributions in Dielectrics" , Phys. Rev.B, Vol.127,pp. 2494-2503,1983.
8. Y.Suzuoki,T.Furuta,T.Mizutani,M.Idea, and N.Yoshifuji, "Study of Effects of Space Charge in Polyethylene by Its Direct Probing" Conf.Rec., 1990, IEEE Int.Symp. Electr. Insul.,pp.401-404, 1990.
9. 韓相玉, 水谷照吉 等 "Study of Space-Charge in Polyethylene by Direct Probing",IEEE,Vol.26,No.6, pp.1073-1079, 1991.
10. T.Mizutani,Y.Suzuok,T.Furuta, "Direct Observation of Space Charge Distribution in Polyethylene", Ann.Rept.Conf. Electr.Insul.Dielectr. Phhenom.,pp.309-314,1989.
11. G.M.Sessler, J.E.West and R.Gerhard-Multhaupt, "Measurement of Charge Distribution in Polymer Electrets by a New Pressure-Pulse Method " ,Polm., Bull., Vol.6, pp.109-111, 1981.
12. 韓相玉,水谷照吉 等 "第 23回 電氣絶緣材料 Symposium",pp.109,1990.
13. G.M.Sessler,J.E.West,R.Genhard-Multha

-upt, "Nondestructive Laser Method for Mesureing Charge Profiles in Irradiated Polymer Films",IEEE,Vol.NS-29, No.6,pp.1644-1649,1982.

14. 韓相玉 等 "電氣學會 東海支部 聯合大會論文集" 日本電氣學會,pp.215,1990.

15. C.Alquie, J.Lewiner and G.Dreyfus "Analysis of Laser Induced Acoustic Pulse Probing of Charge Distributions in Dielectrics", J.Phys.letters, Vol.44,pp. L171-L178,1983.

著者紹介



한상옥

1946년 5월 12일생. 1974년 2월 충남대학교 공과대학 공업교육과 졸업. 1986년 8월 인하대학교 대학원 전기공학과(공박). 1989년 12월~1990년12월 나고야 대학 방문연구교수. 1991년, 1992년, 1993년 각 1개월간씩 단기 방문공동연구. 1993년 현재 충남대학교 공과대학 전기공학과 교수.



이덕출

1939년 1월 22일생. 1963년 2월 인하대학 전기공학과 졸업. 1966년 2월 인하대학 전기공학과 석사. 1976년 9월 일본 나고야대학 전기공학과(공박). 1981년 8월 일본 나고야대학 전기공학과 방문교수. 1993년 현재 인하대학 전기공학과 교수.



김종석

1947년 4월 14일생. 1970년 8월 한양대 전기공학과 졸업. 1990년 3월 일본 미에대학 석사. 1993년 현재 대전산업대학교 전기공학과 교수.



水谷照吉

1941년 5월 6일생. 1965년 Nagoya대학 졸업. 1967년 Nagoya대학원 석사. 1970년 동 대학원 박사. 1973년~74년 캐나다 Laval대학 초빙연구원. 1973년~현재 Nagoya대학 교수.