

온도구배열자격측정에 의한 하전입자의 구별 및 극성 판정

Determination of Charged Particles and their Polarity by Temperature Gradient Thermally Stimulated Measurement

權 寧 守* · 姜 道 烈** · 鞠 相 勳***
 (Young-Soo Kwon · Dou-Yol Kang · Sang-Hoon Kook)

요 약

온도구배열자격 측정법에 의해서 하전입자의 구별 및 극성을 판정하였다. 가교폴리에틸렌(XLPE) film을 시료로 하여 실험한 결과, 열자격전류로서 관측된 Trap성의 C peak는 전자성의 캐리어가 이온성의 D peak는 부(-)극성의 이온캐리어가 그 원인으로 밝혀졌다.

Abstract- A thermally stimulated measurement using a temperature gradient has been applied to the study of charged particles and their polarity in polymers. From the experimental results on a cross-linked polyethylene(XLPE) film it is found that the TSC peaks of the trapped carriers in C peak are due to the negative polarity which is electron and the ionic carriers having negative polarity show D peak.

1. 서 론

절연체내(內)에는 여러종류의 荷電粒子가 존재하여 재료의 절연성능 및 전기전도 특성에 커다란 영향을 미치고 있다. 이러한 전하를 크게 나누면, 절연체내(內)에서 공간전하전계를 형성하는 것과 형성하지 않는 것으로 나눌 수가 있다. 공간전하전계를 형성하는 것으로서 대표적인 것으로는 고전

계 인가와 함께 전극으로부터 주입 Trap되는 전자 혹은 정공이 있다. 또한, 전계에 의해서 試料內를 이동하는 이온 carrier도 좋은 예이다. 한편 공간전하전계를 형성하지 않는 것으로서는 쌍극자(dipole)이 있지만 X선 및 γ 선 등에 의해서 Trap여기된 carrier도 注入電荷가 아니므로 일반적으로 공간전하전계를 형성하지 않는 것으로 구분하고 있다. 이와 같이 절연체내(內)에 존재하는 하전입자를 識別, 判別하기도 하며 Trap의 성질에 대한 情報를 얻어내는 것은 재료의 성능향상 등에 매우 중요하므로 여러방향의 측정수단에 의해 연구되고 있다.

*正 會 員 : 東亞大 工大 電氣工學科 助教授 · 工博
 **正 會 員 : 弘益大 工大 電氣制御工學科 教授 · 工博
 ***正 會 員 : 朝鮮大 工大 電氣工學科 教授 · 工博
 接受日 字 : 1989年 4月 19日
 1次修正 : 1989年 7月 14日

최근 유전체 재료물성 연구 및 절연체내의 하전 입자의 연구에 열자격측정이 이용되고 있으며 많은 연구성과가 보고되고 있다. [1] 열자격측정에서는 시료내의 온도를 균일하게 유지하여 승온 하지만 승온속도 및 시료의 두께 등에 의해서 균일한 온도를 유지하는 것이 곤란하여 정확한 측정결과를 얻을 수 없게 될 수도 있다. 종래의 열자격측정의 경우에는 시료내의 온도를 균일하게 유지 하기때문에 해석은 간단하며 측정결과 또한 단순하게 되지만, 시료내의 온도를 균일하게 하지않고 임의의 온도분포(예를들면 온도구배)를 설정할수 있다면 지금까지의 열자격 측정법에서는 얻을 수 없었던 여러가지의 정보 즉 공간전하분포 및 carrier의 극성이 명확하게 밝혀질 가능성이 있다. 반도체 및 유기반도체의 분야에서는 이미 이와같이 시료내에 온도구배를 주는 방법에 의해서 다수 carrier의 극성을 판별(제백효과)하고 있다. [2]

온도구배열자격 측정은 시료내에 국부적으로 서로 다른 조건을 제공하기 때문에 공간적인 정보를 얻는데 유리한 것으로 생각된다. 이와같이 空間的情報를 얻을 수 있으며 전기기기절연(예를들면 케이ابل절연)등 두꺼운 시료의 측정을 가능하게 하는 목적으로서 온도구배열자격 측정을 계획하여 실험을 하였다.

본 논문에서는 가교폴리에틸렌(XLPE) film을 이용하여 하전입자의 극성판정에 이 방법을 적용하여 얻어진 결과를 보고한다.

2. 온도구배열자격 측정법

2.1 온도구배열자격 측정법의 특징 [3, 4]

현재 널리 이용되고 있는 열자격 측정에서는 polymer film등을 시료로 사용하는 경우 두께가 수百 μm ~수십 μm 정도가 주로, 사용되며, 승온속도는 1분당 수십도에서 수도 까지의 범위에서 측정되어 지고 있다. 이와같은 경우에는 시료내의 온도는 1 $^{\circ}\text{C}$ 이내의 균일성이 유지되지만, 현실적으로 전기기기의 절연의 진단 경우에는 수 mm 이상의 두꺼운 시료를 취급하지 않으면 안된다. 이 경우 재료로서 사용되어 지고 있는 polymer등의 열전도율은 대단히 작기 때문에 시료내의 온도를 균일하게 유지하여 승온 시키는 것이 매우 곤란하게 된다. 따라서 지금까지 이와같은 두꺼운 시료의 열자격 측정은 거의 보고되지 않고 있는 실정이다. 시료내의 온도의 불균일성을 일부러 피할 필요없이 온도구배를 제공하는 온도구배열자격 측정의 방법은 두꺼운 시료의 열자격 측정에서는 무

리가 없는 유효한 측정법이 될 것으로 생각된다. 또한 시료에 온도구배를 제공하는 것은 공간적인 정보를 얻는데 대단히 유용하다. 예를들면, 이온공간전하 분극의 경우에 carrier의 집중이 正負의 어느 전극면에서 발생하고 있는가? 하는것이 본 방법에 의해서 간단히 판정 될 수 있다. 이와같은 것은 특히 carrier의 극성 판정이 가능한 것을 나타내는 것으로서 동일한 현상이 界面分極에 대해서도 설명 될 수 있다. 일례로서, 2층 유전체의 계면에서 분극이 발생 한다면 분극의 공간적인 정보로서 본 실험에서 이용한 온도구배열자격 측정법에 의하면 검출이 가능한 것이다. 그러나 더욱 微視的으로 시료들중 結晶과 非結晶의 界面에서 발생하는 界面分極의 경우에는 온도구배를 주어도 분극의 부분적인 공간정보는 얻기가 곤란할 것이다.

한편 Trap carrier가 전자성인가 정공성인가 하는 문제는 여러방향으로 논의 되고 있지만 유전체의 경우에는 반도체에서와 같이 Hall효과가 관측되지 않기 때문에 전자성·정공성을 구별 한다는 것이 간단하지는 않다. 그러나 본 온도구배 열자격 측정법을 이용하면 공간적인 정보로서 전자 혹은 정공의 구별이 가능할것으로 생각된다.

유전체내의 공간전하전계의 측정도 매우 중요한 것으로 音壓 pulse를 이용한 압축파법[5] 전자 Beam법, [6] 열 pluse법[7]등이 보고 되어 있다. 이와같이 절연기술크면에서의 주입 Trap된 전하의 공간전하분포의 측정도 온도구배열자격 측정법에 의해 응용되어 지고 있다. [8]

2.2 측정장치

그림 1은 측정장치의 개략도로서 시료의 온도제어 부분을 제외하면 다른부분은 종래의 열자격 측정법과 같은 원리이다. V_0 와 V_c 는 Bias전압과 collecting전압으로 이 장치는 전류계 A로서 열자격전류(TSC)를 측정하며 표면전위계로서 開回路일때의 시료 상부전극에 발생하는 열자격 표면전위(TSSP)를 측정 한다. 시료에 온도구배를 주기 위해서는 시료양면으로 부터 온도제어를 할 필요가 있다. 종래의 열자격 측정에서는 시료의 밑부분에 Heater와 액체질소로서 온도제어를 하였지만 본 장치에서는 온도구배를 만들기 위하여 상부전극측을 赤外線集光lamp(lamp 용량 250W)을 사용하여 가열하였으며 하부전극측은 종래와 같이 Heater와 액체질소로서 온도를 제어 하였다.

그림 2에 본 실험장치를 이용하여 두께 0.3mm의 XLPE에 대한 온도특성을 나타내었다. T_1 이 시료

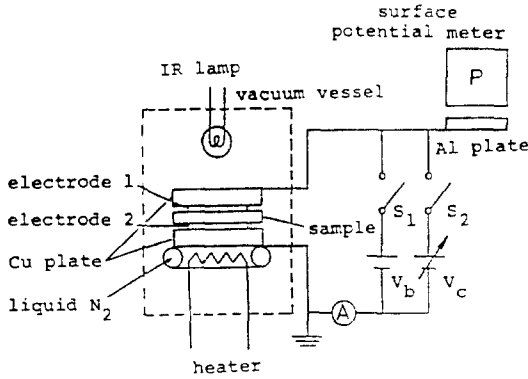


그림 1 온도구배 열자격법의 측정장치
Fig. 1 A schematic diagram of the temperature gradient thermally Stimulated measure-ment.

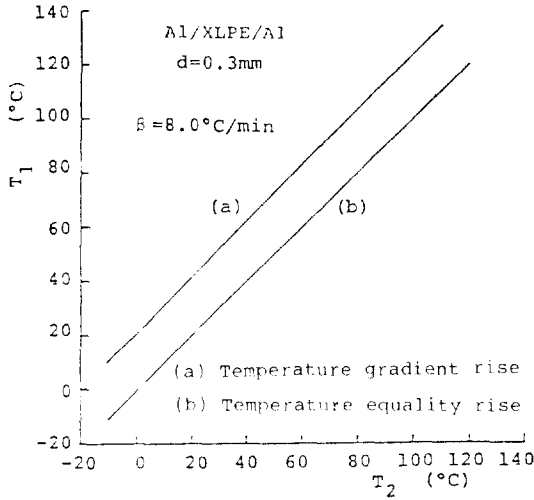


그림 2 온도구배열자격측정에 의한 XLPE의 특성
Fig. 2 Characteristics of XLPE for the temperature gradient thermally stimulated measurement.

의 윗부분의 온도이며 T_2 가 시료의 밑부분의 온도이다. 하부전극측의 온도제어만을 사용하던 종래의 균등승온의 경우에는 온도가 $T_1 = T_2$ 로 유지되었지만 상부전극측의 온도제어도 사용하여야 하는 온도구배 승온의 경우에는 시료의 두께 방향으로 약 25°C의 온도구배가 만들어져 있는 것을 알 수 있다. T_1 및 T_2 의 온도측정은 시료 양면의 Al 증착전극에 접속된 Cu판에 열전대를 붙여 측정

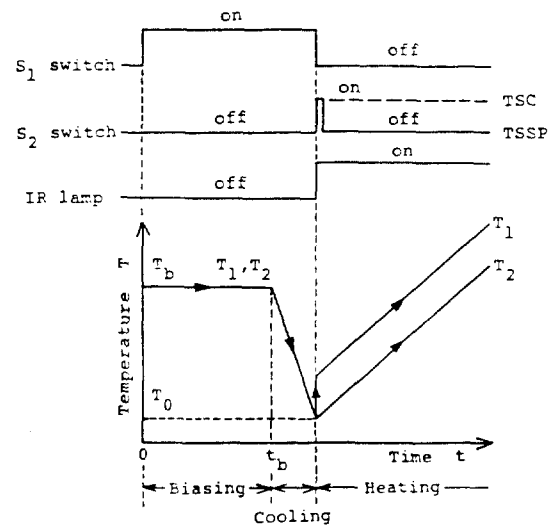


그림 3 온도제어와 측정순서
Fig. 3 Procedure of temperature control.

하였다. 또한 온도제어는 그림 3에 나타낸 것처럼 처음에는 $T_1 = T_2$ 로 하여 시료를 Bias처리 하였으며 그 후 급냉하여 $T_1 > T_2$ 로 시료에 온도구배를 만들어 일정한 속도로 온도를 상승시키면서 실험을 하였다.

3. 실험결과

실험에 사용한 시료는 두께 0.3mm의 가교폴리에틸렌(XLPE) film으로서 film의 표면을 에칠알콜로서 깨끗이 청소한 후 10⁻⁶Torr의 진공중에서 Al전극을 시료의 양면에 8cm²의 원형으로 증착하였다.

실험은 먼저 XLPE중에 포함되어 있는 하전입자를 식별 하기 위해 종래의 TSC 및 전기적 방법으로 특성을 측정 하였다. 그후 온도구배가 있는 경우와 없는 경우의 TSSP를 측정 하여 시료중에 포함되어 있는 하전입자의 극성을 판별 하였다.

3.1 가교폴리에틸렌의 열자격전류 및 특성

온도 -160°C에서 100°C까지의 범위에서 측정할 시료의 TSC의 spectrum을 그림 4에 나타내었다. 그림에서처럼 A(-115°C 부근), B(-35°C 부근), C(60°C 부근), D(70°C 부근)의 4개의 TSC peak가 관측 되었다. 본 논문에서는 4개의 peak가운데

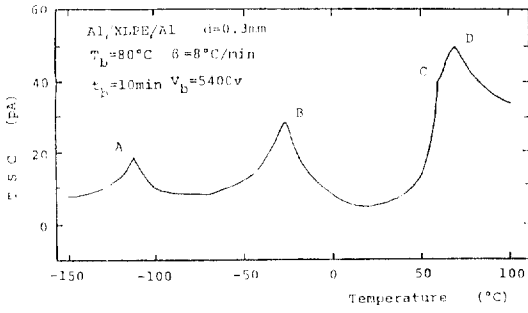


그림 4 시료의 열자격전류
Fig. 4 TSC peaks of the sample.

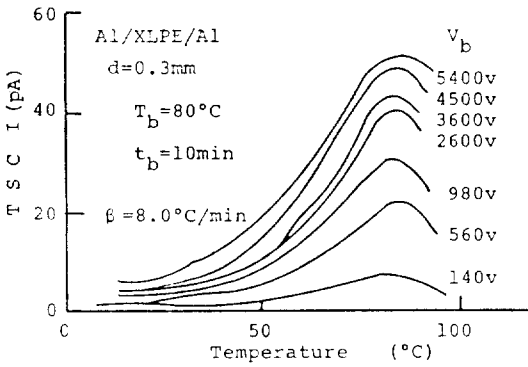


그림 5 TSC의 Bias전압의존성
Fig. 5 Biasing voltage dependence of TSC.

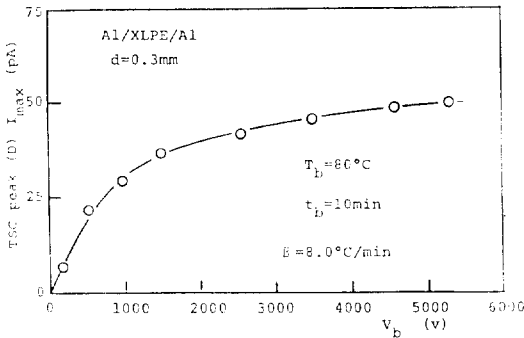


그림 6 I_{max}의 전압 의존성
Fig. 6 Biasing voltage dependence of I_{max}

C와 D peak에 대해 측정 및 검토를 하였으며 A, B의 peak에 대해서는 다음 기회에 보고 하고자 한다.

그림 5에 TSC의 Bias전압 특성을 나타내었다.

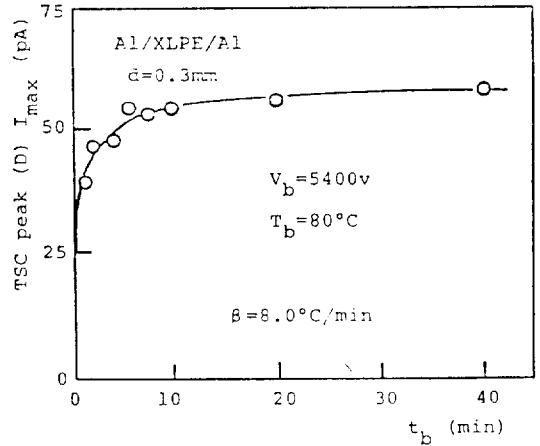


그림 7 TSC의 Bias시간 의존성
Fig. 7 Biasing time dependence of TSC.

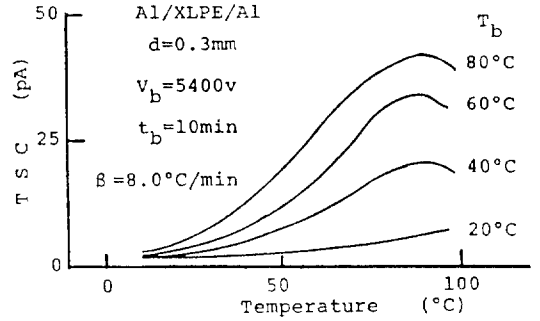


그림 8 TSC의 Bias온도 의존성
Fig. 8 Biasing temperature dependence of TSC.

저전계에서는 D peak만이 관측 되었지만 고전계의 경우에는 70°C 부근에 peak 2개가 중복되어 나타나는 것을 알 수 있다.

그림 6은 D peak에 대한 TSC의 최대 값 I_{max}의 Bias전압 V_b 의존성이다. 저전계에서도 peak가 관측되었으며 고전계에서는 포화에 가까운 특성을 나타내고 있다. 따라서 그림 6의 특성은 D peak의 원인이 쌍극자에 의한 것이 아닌 것을 알 수 있다. 쌍극자의 경우에는 Bias전압에 대해 TSC의 I_{max}가 직선적인 증가를 나타내기 때문이다. [1, 9]

그림 7은 TSC의 Bias시간 특성이다. 즉 D peak의 TSC최대값 I_{max}의 Bias시간 t_b 의존성을 나타내었다. 그림 7에서 알 수 있듯이 약 10분 정도에서 포화 하고 있다. 같은 방법으로 C peak에 대한 실험결과는 약 12분 정도에서 포화되는

것을 확인 하였다. 이와같은 것은 C 및 D peak의 원인이 쌍극자에 의한것이 아닌것을 나타내고 있는 것이다. 따라서 그림 5~7에서 알 수 있듯이 TSC가 10분 정도에서 포화 하고 있기 때문에 이후의 측정에서는 Bias시간을 10분으로 통일 하여 측정 실험 하였다.

그림 8은 TSC의 Bias온도 특성이다. 20°C에서는 TSC의 peak가 전혀 관측 되지 않지만 온도가 증가 하면 고온영역의 C, D peak가 증가 하는 것을 알 수 있다.

이상 그림 5~8의 측정 결과는 약 2500V이상의 높은 Bias전압에서 TSC가 포화에 가까우며 Bias 온도가 높을수록 TSC가 증가하며, 10분 정도의 Bias시간에서 TSC가 포화 하는것으로 보아 C 및 D peak의 원인은 쌍극자 이외의 다른 하전입자에를들면 이온이나 Trap에 의한 것이 그 원인일 것이라고 추정 된다. 따라서 C 및 D peak의 원인이 쌍극자 이외에 어떤 carrier에 의한 것인가를 조사하기 위해 collecting전압을 인가하여 TSC를 측정 하였다. (그림 9)

그림 9에 의하면 T_b 를 80°C로 하였을 때는 TSC가 反轉되지 않고 비직선적으로 변화하고 있다. 그러나 T_b 가 40°C의 경우와 20°C의 경우는 TSC의 극성이 반전하여 변화하고 있음을 알 수 있다. 이와같은 collecting특성의 반전은 Trap전하에 의한 peak가 가지는 특징적 현상이다. [1, 9]

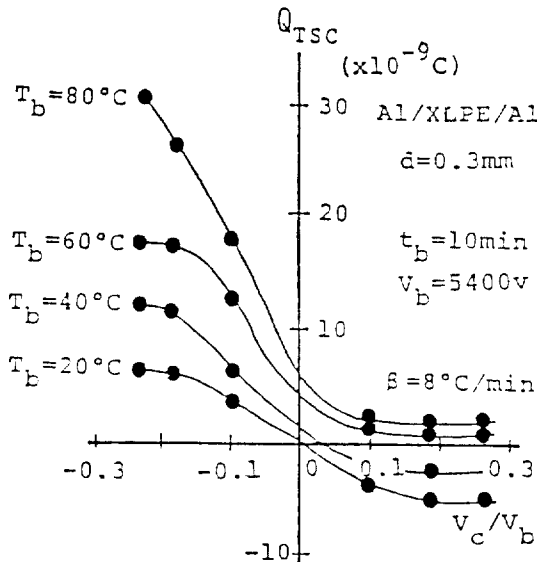


그림 9 TSC의 Collecting전압 의존성
Fig. 9 Collecting voltae dependence of TSC.

따라서 T_b 가 40°C, 20°C의 경우에 관측된 TSC의 peak는 Trap전하에 의한것으로 생각 되었다. 한편 그림 8의 D peak의 온도 의존성으로 부터 온도가 증가 하면 TSC의 peak값이 점점 증가하였지만 그림 9에서의 collecting특성 측정결과의 Trap전하는 T_b 가 낮은 온도(20°C~40°C)에서만이 나타나는 현상이기 때문에 그림 4의 TSC의 D peak는 Trap성 전하가 아닌것이 확인된다. 따라서 D peak보다 낮은 온도영역에서 Trap성 peak (C peak)가 존재하고 있다고 생각할 수 있다. 이와같이 C peak의 고온측에 C peak와 중복되어 D peak가 존재하여 고온의 경우에는 D peak가 증가 하여 TSC가 관측 되었을 것으로 생각된다.

D peak의 경우에는 그림 9의 $T_b=80°C$ 의 곡선으로 부터 반전하지 않으므로 분극현상에 의한것으로 생각된다. 만약, 쌍극자가 그 원인이라면 $Q_{TSC} \sim V_C/V_b$ 는 직선의 관계를 나타내지만 그림 9는 비직선성 이므로 D peak의 원인은 공간전하 분극을 형성하는 이온성 carrier에 의한 것으로 생각된다. 이와 같은 사실은 열차격표면전위(TSSP) 측정의 collecting특성에서도 확인할 수 있었다.

이상의 결과를 종합하면 TSC의 spectrum가운데 Trap성의 C Peak와 고온영역에서 C peak와 중복되어 이온성의 D peak가 나타나는 것으로 생각할 수 있다.

3.2 carrier의 극성판정

앞에서 설명한 것과 같이 TSC의 60°C 부근의 C peak는 Trap carrier에 의한 것이며 70°C 부근의 D peak는 이온성 carrier가 그 원인 이라는 사실이 밝혀졌으므로 여기서는 시료에 온도구배를 만들어서 TSSP를 측정하여 이들 carrier의 극성을 판정 하기로 한다.

1) C peak의 극성판정

먼저 C peak 및 D peak가 중복되어 구별이 곤란 함으로 D peak의 영향을 받지 않는 조건에서 측정하기 위해 Bias조건을 다음과 같이 설정 하였다. Bias전압 V_b 는 시료의 I~V특성 및 그림 5~6의 Bias전압 특성의 결과로 부터 시료에 carrier의 주입이 2000V 이상의 고전계에서 발생 하기 때문에 3500V와 5400V를 인가하여 실험 하였다. Bias온도는 낮을 수록 D peak가 작아 지지만, C peak역시 작아져 버리기 때문에 TSC의 collecting특성(그림 9)에서 반전이 되는 Bias온도를 고려하여 $T_b=40°C$ 로 하였다. Bias시간은 carrier의 주입이 충분 하다고 생각되는 시간(10분)으로 하였다. 또한 급냉후 시료를 단락하여 승

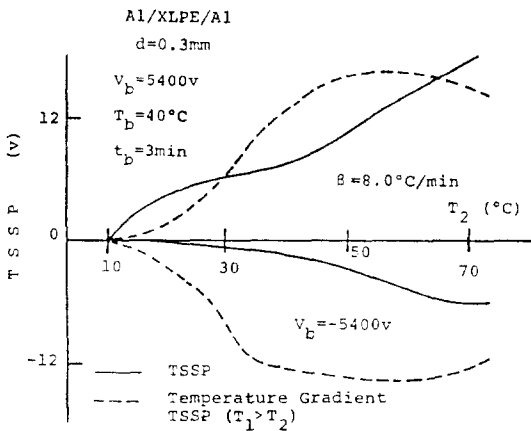


그림 10 온도구배가 있는 경우와 없는 경우의 C peak의 TSSP

Fig. 10 TSSP curves for C peak with or without temperature gradient in the specimen.

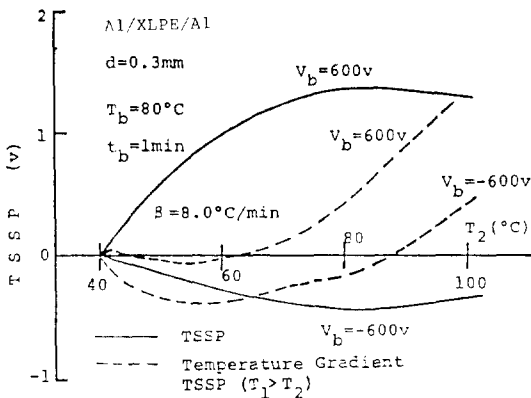


그림 11 온도구배가 있는 경우와 없는 경우의 C peak의 TSSP

Fig. 11 TSSP curves for C peak with or without temperature gradient in the specimen.

온을 개시하는 온도는 C peak가 시작되는 온도 즉 10°C~20°C로 측정 하였다.

그림 10은 C peak에 대한 온도구배 TSSP의 측정 결과이다. 이 경우는 10°C에서 단락하여 그후의 표면전위의 변화를 측정 한 것이다. 파선으로 표시한 것이 온도구배 TSSP의 결과 이지만 Bias 전압의 극성에 관계없이 전위변화는 온도구배 TSSP가 보통의 TSSP에 대하여 10°C의 단락 직후에서는 負(-)의 전위 방향으로 변화하고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같은 특성은 Trap carrier의 극성이 負, 즉 전자성 이라는 것을 나타낸 것

이다. 이것에 대해서는 관련이론 해석에서 검토하기로 한다.

그림 11은 저전계의 Bias전압과 높은 Bias온도, Bias시간을 짧게 하여 측정 한 온도구배 TSSP의 측정 결과이다. 그림 10에 비하여 TSSP의 모양이 다소 변화한 결과이다. 이것은 이온성에 의한 D peak의 특성이 충분히 제거되지 않기때문에 나타난 결과로 생각된다. 즉 Trap에 의한 carrier와 이온에 의한 carrier가 중복되기 때문에 나타나는 현상이다. 그러나 그림 11에서 40°C에서 단락한 직후의 변화를 주목하면 Vb의 극성에 관계없이 온도구배 TSSP가 균등승온의 TSSP에 비하여 負의 방향으로 변화하고 있다. 즉 전자성의 Trap을 나타내는 것이다.

2) D peak의 극성판정

TSC의 spectrum에서 70°C부근에 나타나는 D peak는 이온성 공간전하에 의한것이라는 사실이 확인 되었으므로 이온성 carrier의 극성판정에 대해 설명 하기로 한다.

이번에는 C peak의 영향을 받지 않도록 Bias전압 Vb는 시료내에 carrier가 주입되지 않는 저전계로 하였다. Bias시간 tb는 짧게 하였으며 tb종료

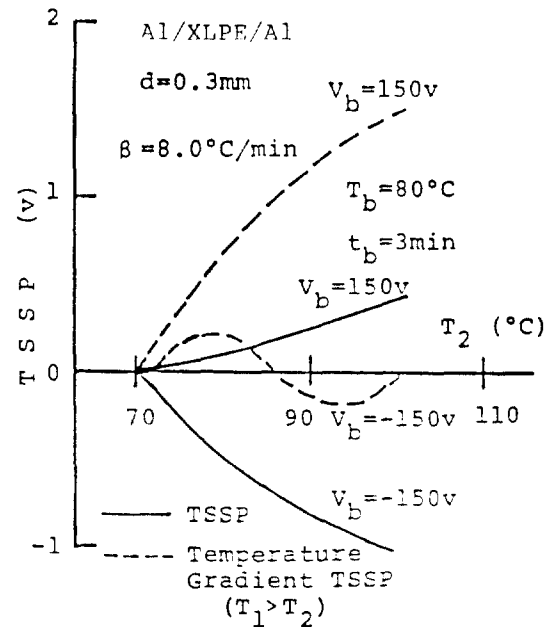


그림 12 온도구배가 있는 경우와 없는 경우의 D peak의 TSSP

Fig. 12 TSSP curves for D peak with or without temperature gradient in the specimen.

후에는 단락한 상태로 급냉 하는 Thermal sampling[1, 9]의 수법을 이용하였다. 또한 Bias온도 T_b 는 D peak를 크게 하기 위하여 80°C 로 하여 측정 하였다. 그림 12에 D peak의 온도구배 TSSP의 측정결과를 나타내었다.

그림 12에서 알 수 있듯이 Bias전압의 극성에 관계없이 전위변화는 온도구배 TSSP가 보통의 TSSP에 대하여 70°C 에서 단락직후에 正(+)의 전위방향으로 변화하고 있다. 이것은 D peak의 원인인 공간전하분극을 형성하고 있는 이온 carrier의 극성이 負(-)인것을 나타내는 것으로 관련된 해석 부분에서 검토 하기로 한다.

4. 관련이론 해석

4.1 C peak의 극성

상기에서 실험결과 C peak의 원인은 주입 Trap 전하에 의한것이 밝혀졌으므로 주입 Trap전하의 극성판정에 대하여 정성적으로 검토를 하였다.

외부로 부터 시료에 전계를 인가하여 절연체에 전하를 주입한 후 저온에서 전하를 동결하여 양전

극을 단락하면, Trap된 전자 혹은 정공에 의한 공간전위가 그림 13과 같이 시료내에 형성되게 된다. 이와같은 Trap전하를 열로서 해방 시키면 해방된 carrier의 이동은 Trap전하를 형성한 전계에 의해서 이루어 진다고 보며, Zero field plane x^* 를 경계로 하여 반대방향으로 이동하게 된다. 즉 그림 13에서 온도구배를 만들어서 승온하는 경우에 carrier는 고온에서 빨리 여기됨으로 전극 1에서 x^* 사이의 Trap carrier가 빨리 이기되어 전극 1의 방향으로 이동되어 버린다. 따라서 시료내에 온도구배가 있는 경우와 온도구배가 없는 경우의 전하의 여기상태는 서로 다르게 되므로 폐회로에서 전류측정 혹은 개회로에서의 전위측정을 하면 carrier의 극성이 구별될 수 있게 되는 것이다. 여기서의 간단화 하기 위하여 측정중에 Zero field plane이 움직이지 않는 전위측정을 생각하였으며 Trap carrier가 正(+)이면 전위발생 초기에 균등 승온의 경우보다 온도구배승온의 전위가¹ 높게 될 것이며 반대로 負(-)이면 전위가 낮게 될 것이다. 즉 (1) Trap carrier은 열여기로서 이동되며 여기된 carrier는 빨리 전극에 도달하게 된다.

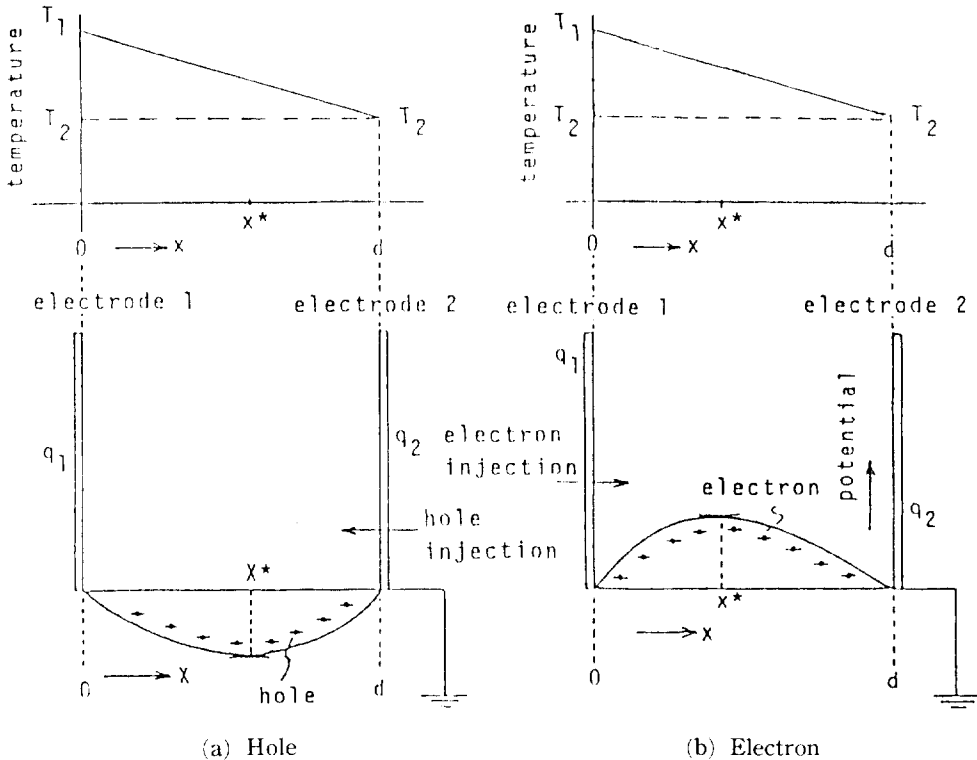


그림 13 rap carrier의 model과 시료내의 온도구배

Fig. 13 A model of trapped carriers and temperature gradient in the specimen.

(2) 열자적표면 전위의 발생초기만을 생각하기 때문에 Trap전하의 초기분포는 변화 하지 않는다는 조건 아래에서는 열자적표면전위 V_s 의 초기변화 속도는 다음과 같이 표시된다.

$$\frac{dV_s}{dt} \approx \frac{1}{\epsilon} \left\{ \int_0^{x^*} x \rho_0(x) e_n(x \cdot T) dx - \int_{x^*}^d (d-x) \rho_0(x) e_n(x \cdot T) dx \right\} \quad (1)$$

여기서 x^* 는 Zero field plane의 위치, d 는 시료의 두께, $\rho_0(x)$ 는 초기 전하분포, ϵ 은 유전율, $e_n(x \cdot T)$ 는 전하의 Trap시 이기속도를 나타내며 단일 Trap이일 다음과 같이 된다.

$$e_n(x \cdot T) = \gamma \exp(-H_i/kT(x)) \quad (2)$$

여기서 γ 는 frequency factor, K 는 Boltzmann정수, H_i 는 Trap의 깊이 이다.

(2)식에서 알 수 있듯이 시료내의 온도가 균일하면 $e_n(x \cdot T) = e_n(T)$ 가 되어 위치에는 관계없게 되지만, 시료에 온도구배를 만든 경우에는 온도가 높은 부분의 $e_n(x \cdot T)$ 는 큰값을 갖게 된다. 따라서 그림 13의 온도구배가 있는 경우의 dV_s/dt 와 없는 경우의 dV_s'/dt 는 다음의 관계가 TSSP발생 초기에 성립하게 된다.

$$\begin{aligned} \rho_0(x) > 0 \text{ 즉 정공 Trap이면} \\ dV_s'/dt - dV_s/dt > 0 \\ \rho_0(x) < 0 \text{ 즉 전자 Trap이면} \\ dV_s'/dt - dV_s/dt < 0 \end{aligned} \quad (3)$$

그림 10 및 11의 온도구배 TSSP의 측정 결과는 온도구배가 있는 전위의 변화가 負(-)방향이므로 (3)식의 결과를 고려하면 전자성 Trap이라는 것이 확인된다.

이상의 측정법은 TSC의 경우에도 동일하게 적용되지만, TSC의 경우에는 Zero field plane x^* 가 측정중에 이동하기 때문에 그 해석이 복잡하게 된다. 그러나 TSC의 초기상승부분만을 고려 한다면 전하분포는 보존되어 Zero field fplane은 이동하지 않기 때문에 TSC역시 TSSP와 동일하게 해석 할 수 있다. 온도구배 TSC에 대해서는 다음에 보고 하겠다.

4.2 D peak의 극성

그림 5~9에서 D peak의 원인은 이온성 carrier

(-)이라는 것 또한 밝혀졌다. 따라서 다음과 같이 이온 carrier의 극성을 검토 하였다.

그림 14에 전극 2에 대하여 전극 1에 Bias전압 V_b 를 인가하여 이온 공간전하분극을 형성시켜 그 후 냉각하여 분극을 동결 한 후 단락($V_b=0$)한 직후의 전하분포 및 전위분포를 나타내었다. 단락 직후에는 이온 공간전하분극으로 인하여 양전극면에는 $\pm Q$ 가 유기되어 있다. 따라서 TSSP를 측정 하면 시료내의 이온공간 전하분극이 탈분극 할때의 전위 변화 및 전극면의 전하가 시료내에 주입 되어 감소 할때의 전위변화를 관측 할 수 있게 된다. 그러나 단락직후에는 그림 (b)와 같이 Zero field plane이 x_1^*, x_2^* 2곳에 존재하기 때문에 예를 들면 전극면 전하가 시료내에 주입되었다 할지라도 확산을 생각하지 않으면, 전하는 x_1^*, x_2^* 의 위치를 넘어서 $x_1^* \sim x_2^*$ 사이로 이동하지는 않을것으로 생각된다. 즉 주입전하는 전극부근에 모여 있게 된다. 또한 표면전위 V_s 의 발생초기에는 온도가 낮으므로 전극면 전하의 감소에 의한 변화는 작으며 시료내에 형성된 이온 공간전하분극에 의한 탈분극에 의해 전위가 변화 하고 있다고 생각 되어 전위변화는 다음식으로 표시된다.

$$\frac{dV_s}{dt} = \frac{1}{c} \frac{dP}{dt} \quad (4)$$

여기서 P 는 이온공간전하분극량, c 는 절연체의 용량이다. 이온의 거동은 보통 확산과 drift를 포함하고 있으므로 복잡하지만, Hopping model[10]에 의해 해석을 하였다(그림 15 참조). 이때 V_s 의 시간변화는 다음식으로 주어진다. [3, 10]

$$\begin{aligned} \frac{dV_s}{dT} = \frac{rl}{\beta cd} \sum_{j=1}^{n-1} \left\{ \exp\left(-\frac{\bar{\phi}_{j+1}}{KT^{j+1}}\right) \right. \\ \left. qN_{j+1} - \exp\left(\frac{\phi_j^+}{KT^j}\right) qN_j \right\} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서

$$\begin{aligned} \phi_j^+ &= W + q(\phi_{j+\frac{1}{2}} - \phi_j) \\ \phi_{j+1}^- &= W + q(\phi_{j+\frac{1}{2}} - \phi_{j-1}) \text{ 이다.} \end{aligned}$$

또한 r 은 이온의 진동수 l 은 Hopping거리, q 는 이온전하, N_j 은 전극 1부터 j 번째의 potential well에서의 전하수, ϕ_j 는 j 번째 potential well의 전위, W 은 Barrier height이다. 한편 온도구배가

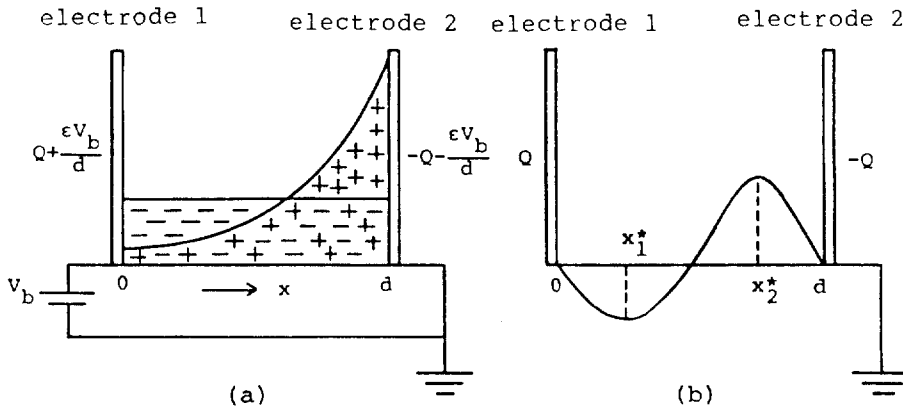


그림 14 이온 캐리어의 공간전하 분포(a) 및 전위 분포(b)
 Fig. 14 Ionic space charge distribution(a) and potential distribution(b)

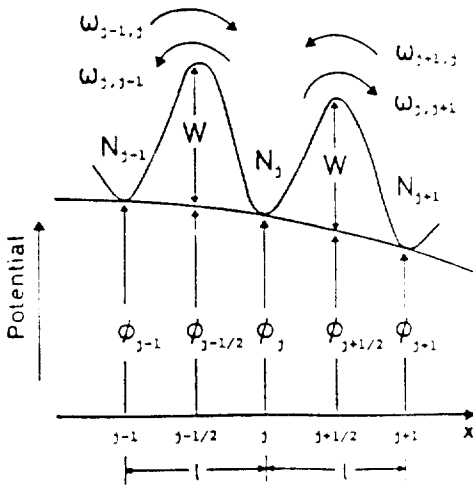


그림 15 Hopping 모델
 Fig. 15 Hopping model.

전위 V_s' 와 온도구배가 없는 경우의 표면전위 V_s 의 발생초기의 변화는 다음과 같이 표시된다.

$$\frac{dV_s'}{dT_2} - \frac{dV_s}{dT_2} < 0 \text{ 이면 } \text{正(+)} \text{의 이온}$$

$$\frac{dV_s'}{dT_2} - \frac{dV_s}{dT_2} > 0 \text{ 이면 } \text{負(-)} \text{의 이온} \quad (6)$$

단, (6)식의 관계는 전하의 집중이 작을 때, 즉 Bias시간 t_b , Bias 전압 V_b 가 작을 경우이다. 한편 전하의 집중현상이 클 경우에는 다소 복잡하지만 (6)식의 관계가 성립되는 것이 확인 되었다. [3, 10] 결국, 가동이온이 正(+)극성이면 전위발생 초기에는 균등승온 보다 구배승온이 전극1에서

전위가 낮게 될 것이며 반대로 가동이온이 負(-)극성이면 높게 될 것이다.

이상의 결과와 그림12를 고려하면, 그림12의 측정조건에서 전하의 집중현상은 작으며 미포화상태이므로 식(6)의 관계가 충분히 만족된다. 즉 D peak의 이온 carrier의 극성은 부(-)인 것이 확인된다. 또한 (6)식의 관계는 정성적인 model로서도 설명이 가능하다. 즉 carrier는 고온측으로 부터 저온측으로 이동 하려고 하기 때문에 만약 고온측에 가동이온이 있는 경우에는 탈분극은 촉진될 것이며, 저온측에 있는 경우에는 탈분극이 억제될 것이다. 따라서 가동이온의 극성에 의한 변위는 서로 다르므로 이온 carrier의 극성판정이 가능한 것이다.

5. 검 토

본연구에 사용한 XLPE의 TSC 측정에서 C.D peak가 중복되어 나타나기도 함으로 TSC의 원인이 어떤 하전입자에 의한 것인가를 밝혀 두는 것이 전력케이블의 설연향상 및 직류송전의 실용화에 도움이 될 것으로 생각하였다. 따라서 몇가지 흥미있는 현상에 대해 검토를 하였다.

그림16은 저전계 Bias때의 TSC측정 결과이다. 그림에서 파선은 Bias전압을 인가하지 않았을 때의 승온전류이지만, 약25°C에서 50°C사이에 역방향의 peak가 관측되고 있다. 시료에 Bias전압을 인가하지 않는 경우에 일반적으로 TSC는 거의 0인 상태로서 100°C 부근에서 TSC의 正의 방향(탈분극방향)으로 조금 증가하는 것이 보통이다. 그러나 그림16의 결과는 負의 방향(주입방향)에

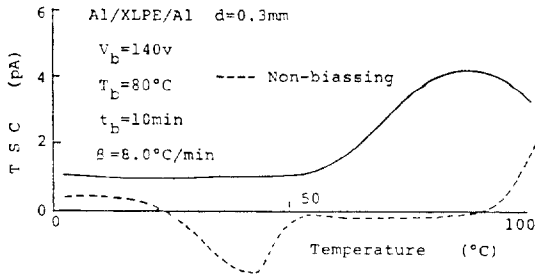


그림 16 저전계 Bias때의 TSC
Fig. 16 TSC peaks of low electric field.

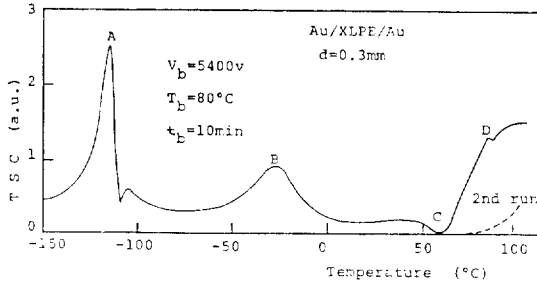


그림 17 Au 전극의 TSC
Fig. 17 TSC peaks of Au electrode.

peak가 나타나고 있다. 이와같은 현상은 Trap성의 peak에 대하여 collecting전압을 인가한 경우에만 나타나는 현상으로서 그림16의 과전 peak가 Trap성에 관계가 있음을 나타내는 것이다. 즉 C peak가 Trap성에 의한 공간전하가 그원인 이라는 사실을 증명하고 있다고 생각된다.

그림17은 시료의 전극금속을 Al 대신에 Au로 바꾸어 증착하여 측정된 TSC의 결과이다. 60°C 부근에서 TSC가 작게 되는 것이 확실하게 나타나고 있다. 이것은 Al에 비하여 Au가 정공의 주입이 쉽게 되기 때문에 Trap성 carrier의 영향이 Al를 전극으로 하였을 경우 보다 명확하게 C peak에 나타나고 있는 것으로 생각된다. 이와 같은 것을 고려하여 앞장에서 C.D. peak의 분리측정을 하기 위하여 Thermal Sampling의 수법에 의하여 TSC의 원인을 조사한 것이었다. 또한 Bias온도를 변화하는 TSC의 collecting 특성이란 새로운 방법에 의해 Trap성 carrier를 확인할 수 있었던 것이다. 결국, TSC의 spectrum가운데 C peak는 전자성 Trap에 의한 것이며 D peak는 負극성의 이온에 의한 공간전하가 그 원인인 것이 밝혀지게 되었다.

6. 결 론

본 논문에서는 종래의 열자격측정법을 개량 발

견 시켜서 시료내에 온도분포를 설정함으로써 새로운 열자격측정법 즉 온도구배 열자격 측정법을 이용하여 그의 원리 및 효과를 기술 하였다. 또한 실제 전력케이블로서 널리 사용되고 있는 가교폴리에틸렌(XLPE) film의 시료를 이용하여 하전입자의 극성을 판별한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

열자격전류로서 나타나는 Trap성의 C peak는 전자성의 carrier가, 이온성의 D peak는 부(-)극성의 이온 carrier가 관여 하고 있다는 사실이 확인 되었다. 본 측정법은 Trap전하의 공간전하 분포 측정 및 절연체내의 하전입자의 구별이 가능한 장점이 있으므로 전력케이블의 공간전하 전계의 측정 연구에 널리 이용될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 日野外: “電氣絶縁材料の熱刺激電流” 日本電氣學會 技術報告(Ⅱ部) 第194號, 1985.
- [2] Hans. Meier: “organic Semiconductors” verlag chemie. 1974.
- [3] T.Hino et al: “Temperature Gradient Thermally Stimulated Measurement and Polarity of Trapped Carriers” Trans, Inst, Elect, Eng, Jpn 104-A p. 193, 1984. “Determination of charged particles and their polarity in XLPE by Temperature Gradient Thermally stimulated surface potential Measurement” ibid 105-A p. 255, 1985.
- [4] T. Hino et al: “Thermally stimulated surface potential Measurement Using Temperature Gradient” IEEE Trans. vol EI-22 p. 269, 1987.
- [5] R. G. Mulhaupt: phys. Rev. 1327 p. 2494, 1983.
- [6] G. M. sessler et al: J. Appl. phys 53 p. 4320, 1982.
- [7] R. E. collins: Appl. phys, Lett 26 p. 675, 1975.
- [8] T. Hino et al: “Determination of Zero-Field position in An Insulating Film by Thermally Stimulated surface potential Measurement in the presence of a Temperature Gradient” IEEE, Trans, vol EI-22 p. 413, 1987.
- [9] 日野: “電氣材料物性工學” 朝倉書店, 1985.
- [10] 加藤: “溫度勾配 熱刺激法 による 誘電体中の電荷現象に關する 研究” 東京工業大學 大學院 博士學位論文, 1986.