

고분자 재료의 극저온 절연

류경우, 강동필, 김상현, 은문수  
한국전기연구소 전기재료연구부

Insulation of Polymer Materials at Cryogenic Temperature

K.W.Ryu, D.P.Kang, S.H.Kim, M.S.Youn  
Korea Electrotechnology Research Institute

1. 서론

최근 합성 화학 공업의 급속한 발전에 힘 입어 새로운 고분자 재료가 잇달아 개발되고 있다. 이들 합성 고분자는 우수한 물리, 화학적 성질과 다양성 때문에 그 사용 범위는 광범위 해지고 근대 산업의 큰 역할을 다하고 있다. 전기 분야에 있어서의 응용은 절연재료, 혹은 구조재료로서 사용되고 그의 반도체, 초전도체에의 응용도 연구되고 있다. 한편 초전도체를 응용한 초전도 기기가<sup>1)</sup> 에너지 및 경제성에 관련하여 연구 개발이 활발히 진행되고 있고 초전도 기술을 지지하는 극저온에서 물질<sup>2)</sup> 연구는 활발히 연구되고 있다.

극저온에서의 파괴특성은 오차가 크고 극한 상태의 실험이므로 실험적, 이론적 연구를 어렵게 하여 많은 자료의 집적이 요구되고 있는 실정이다. 이러한 점에 초점을 맞추어 분자구조가 간단한 LDPE를 비롯한 각종 절연성 고분자 및 도전성 고분자의 온도의존성, 매질효과, 방사선 조사효과 등을 극저온 중에서 조사 검토하였다.

2. 실험 장치 및 방법

본 실험에 사용된 시료는 매질 알콜 중에서 3분간 초음파 세척한후 고분자 시료 양면에 고순도 알루미늄을 증착하여 직경 6mm인 원판형 전극을 만들고 측정시에, 액체 헬륨중(4.2K), 액체질소중(77K), 드라이아이스-메칠알콜(193K), 실리콘유 및 가열한 실리콘유중에 넣어 실험을 행하였으며 특히 매질효과 실험은 3-Methylpentane, Epoxy, Paraffin 매질내에 시

료를 넣어 molding하여 그림 1과 같은 장치에 Set하여 최대 출력전압 40kV, 펄스폭 0.2-1000 $\mu$ s로 조정 가능한 펄스전원을 인가하여 실험을 행하였다. 절연 파괴 확인은 눈으로 보고, 실험이 끝난후 시료를 꺼내 파괴 흔적을 현미경으로 관찰하고, 파괴흔적이 없는 것은 고려하지 않았다.

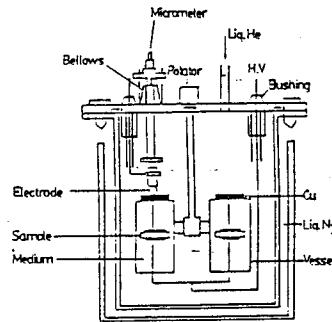


그림 1. 실험 장치

3. 실험 결과 및 검토

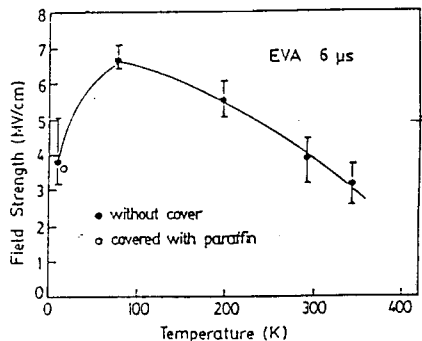


그림 2. EVA 절연파괴 강도의 온도의존성 및 매질효과

그림 2는 화학 구조가  $C_nH_{2n+2}$ 인 파라핀을 에칠렌 -

비닐알콜(EVA)에 cover하여 실험한 결과를  $\circ$  형으로 표시한다. 그림으로 부터 절연파괴 강도( $E_B$ )는 cover의 유, 무에 무관함을 알 수 있다.

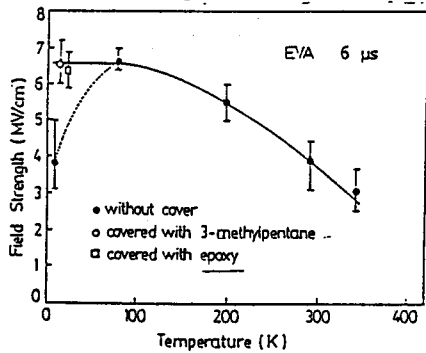


그림 3. EVA 절연파괴 강도의 온도의존성 및 매질 효과 한편 3-Methylpentane ( $C_6H_{14}$ )를 사용하여 molding한 경우 4.2k에서 각종 고분자의 절연파괴 강도의 실험 결과를 그림 3(EVA), 4(PE)에 각각  $\circ$  형 및  $\square$  형으로 표시한다. molding한 시료를 액체 헬륨에서 실험한 결과 절연파괴 강도( $E_B$ )는 molding하지 않았을 때 보다 상승하고 액체 질소 온도의  $E_B$ 와 거의 동일함을 알 수 있었다. 그러나

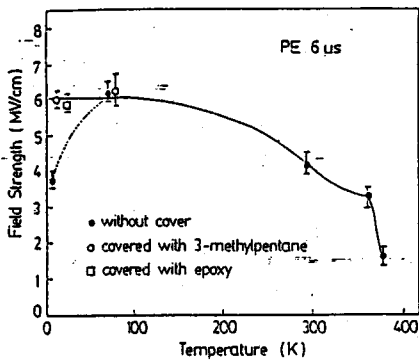


그림 4. PE 절연파괴강도의 온도의존성 및 매질 효과 PPS의 경우는 그다지 매질 효과가 현저 하지 않음을 알았다. 또한 3-Methylpentane 자체에 의한 매질 효과의 가능성이 남아 있기 때문에 Filler 충전 Epoxy를 사용해 실험을 행한 결과를 그림 3,4에서  $\square$  형으로 표시하였으며  $\circ$  형으로 표시한 결과와 비교 하면 거의 변화가 없음을 또한 알 수 있다. 이것은 액체 헬륨 자체의 절연파괴 강도( $E_B$ )가 다른 액

체에 비하여 낮고<sup>3)</sup> 더우기 고분자 재료 자체 보다 낮기 때문에 우선 액체 헬륨에서 절연파괴가 일어날 가능성이 있다고 생각된다. 즉 액체 헬륨의 유전율이 ( $\epsilon=1$ )<sup>4)</sup> 이 작기 때문에 필드전압을 인가한 경우 액체 헬륨에 높은 전계강도가 분담된다. 그러나 시료를 cover하면 파괴의 진전이 저지되어 절연파괴강도가 높게 된다고 생각된다. 그림 5는 LDPE의 1.8MEV의 전자선, 90Mrad 및 150Mrad의 조사율을 조사한 경우의 절연파괴 강도의 온도의존성을  $\bullet$  형,  $\triangle$  형으로 표시한다.

조사 LDPE의 경우 응점근처에 있어서의  $E_B$ 의 상승이는 미 조사 LDPE 결과와 거의 유사한 결과를 얻었다.

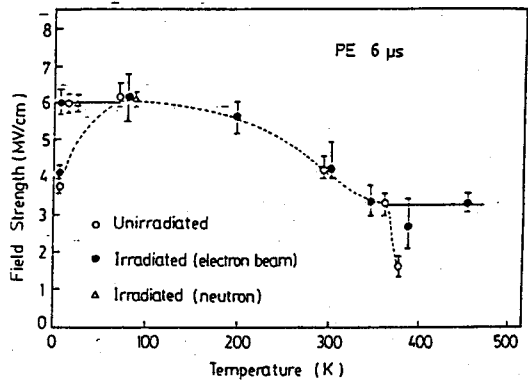


그림 5. LDPE 절연파괴 강도의 조사효과

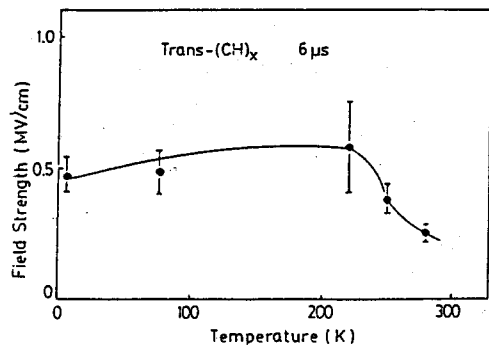


그림 6. Trans PA 절연파괴 강도의 온도의존성

그림 6. Trans PA 절연파괴 강도의 온도의존성 그림 6에  $6 \mu s$  펄스 전압을 인가한 경우의 Trans형 PA의  $E_B$ 의 온도의존성을  $\circ$  형으로 표시하였다. 절연파괴 강도는 도전율의 영향이 크고 절연파괴의 고온

특성과 저온 특성이 나타나는 영역을 구분하는 임계 온도가 상당히 낮음을 실험결과로부터 알 수 있다. 이상의 결과로부터 저온 영역에서의 절연파괴는 전자적 파괴, 고온 영역에서는 열적파괴가 지배적이라고 생각된다.

#### 4. 결 론

이상의 결과를 정리하면

- 1) 액체 헬륨 내에서 고분자 시료의 절연파괴 강도는 매질효과가 현저하며, 고분자시료를 3 - Methyl-pentane, Epoxy로 cover하면 절연파괴 강도는 상승한다.
- 2) 극저온에서 고분자의 절연파괴 강도는 전자선,  $\gamma$ 선 등의 조사에 거의 영향을 미치지 않는다.

- 3) 도전성 고분자의 절연파괴 강도는 임계온도 이하에서는 온도에 그다지 의존하지 않거나 약간 온도 증가와 더불어 증가하지만 고온 영역에서는 온도의 상승과 더불어 감소한다.

#### 참고문헌

- 1) Simon Foner and Brian B.Schwartz, "Superconancting Machines and Devices", Plenum Press, 1973
- 2) A.F.Clark and R.P.Reed, "Nonmetallic Materials and Composites at Low Temperature.", Plenum Press, 1978
- 3) K.M.Mathes, Electrotech., 72, 1963, 72
- 4) J.Gerhold, Cryogenics, 19, 1979, 571