

주 영배* 류 경우 김 상현
한국전기연구소 전기재료연구부 극저온재료연구실

A Study on Pulse Dielectric Breakdown of Cryogenic Liquids

Choo Young-Bae* Ryu Kyung-Woo Kim Sang-Hyun
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract

An understanding of dielectric breakdown characteristics in cryogenic liquids is of importance in the development of various cryogenic and superconducting electrical equipments. This investigation describes measurements of pulse breakdown voltage, polarity effect, conditioning effect and time lag characteristics of cryogenic liquids.

1. 서 론

액체헬륨이나 액체질소등과 같은 극저온 액체의 절연 특성에 관한 연구는 극저온 및 초전도 현상을 응용하는 각종기기의 개발에 있어 그 기기의 신뢰성 안전성 그리고 경제성등에 관계되므로 최근 주요과제로서 부각되고 있다. 액체질소는 이미 경제성이 입증된 바 있는 극저온 저항 케이블과¹⁾ 고온 초전도체의 개발에 따른 고온 초전도체 응용기에 있어 냉매로서 열절연뿐 아니라 전기절연을 겸할 수 있다는 점에서 중요한 위치를 점할 것으로 생각된다. 본 중요한 위치를 점할 것으로 생각된다. 본 보고서에서는 이상의 관점에서 극저온 액체, 특히 액체 질소에 초점을 맞추어 그 절연파괴현상 및 특성등을 조사 하였기에 이를 보고한다.

2. 실험장치 및 방법

그림 1은 본 연구를 위한 실험장치의 개략도이다. 여기서 유력되던 cryostat는 2중 구조(내조와 외조)로서 외조에는 냉각용 액체가, 내조에는 시료액체가 전극부와 함께 각각 넣어진다. 전극은 구(5mm ϕ)-평판전극(균등전계), 그리고 침(tip 곡률반경 2 μ m)-평판전극(불균등전계)을 stainless steel(sus 304)로 제작하고, 전극 표면은 알루미늄나 분말(0.3 μ m)로 연마기에서

연마한후 아세톤에서 초음파 세척했다. 전원으로서는 단발 발생의 부극성 방형파 pulse 전압(펄스폭 0.2 - 1000 μ sec, 최대출력 pulse 전압 40kV)을 사용하고 파괴전압 및 파형은 storage oscilloscope(PM3266)로 측정하였다.

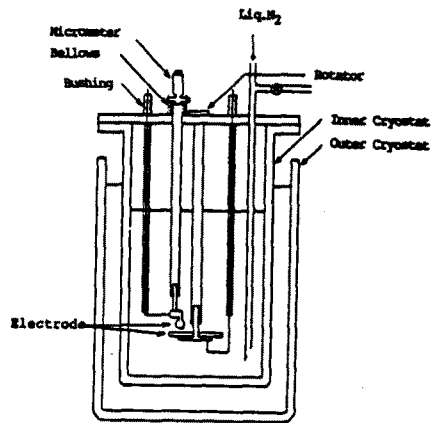


그림 1. 실험조 및 전극부의 구성

3. 실험결과 및 고찰

액체 N₂의 펄스절연파괴전압의 전극간 거리(이하 gap) 특성과 극성효과를 그림 2에 표시한다. gap이 증가함에 따라 전체적으로 파괴 전압이 증가하지만 특히 평등전계에서는 급격히 상승하고 크기는 평등전계에서 제일 높고 정침(침전극이 정극성), 부침(침전극이 부극성)의 순서로 일반 반파수소계와 유사한 특성을 보이고 있다.²⁾ 이러한 결과는 액체헬륨과는 달리 음극으로부터 전자주입³⁾이 그다지 큰 역할을 하지 않고 파괴기구에 streamer 이론이 도입될 수 있다는 사실을 의미하는 것으로 생각되는데 전극의 conditioning 효과에서도 이를 뒷받침

할 수 있는 결과가 얻어졌다. 즉, 방전횟수의 증가에 따른 파괴전압의 크기를 조사하여 그 경향을 최소화방법으로 계산해본 결과 부침에서는 거의 변화가 없었고 (그림 3) 정침과 평등전계에서 미소한 상승경향을 나타냈을 뿐이다. 또 파괴치의 결과를 순수한 액체계에서의

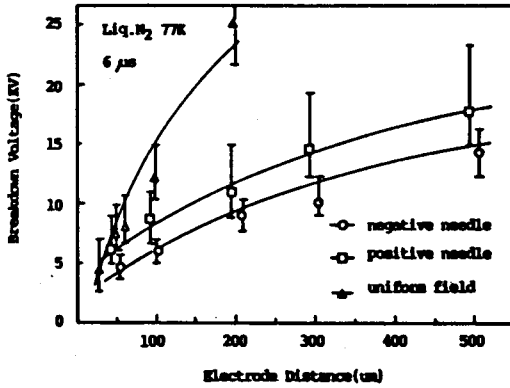


그림 2. 액체질소의 펄스 파괴전압의 gap특성 및 극성효과

4) 값으로 보고된 결과와 비교했을때 상당히 큰 값임을 알 수 있다.

한편, 일반적으로 절연체에 직류파괴 전압보다 큰 과전압을 인가했을때 파괴까지는 어떤 시간지연이 생기고 일정한 gap에서 n_0 회의 일정한 과전압을 인가했을 때 전압인가후 시간 t 까지 파괴되지 않는 횟수를 n_t 라고 하면 다음식이 성립한다.

$$\frac{n_t}{n_0} = \exp \frac{t - T_f}{T_s} \quad \text{--- (1)}$$

여기서 T_s 와 T_f 는 각각 통계적 및 형성시간 지연이다. 그림 4는 gap크기는 100 μ m, 펄스폭 6 μ sec로 측정했을 때의 정(a) 부침(b)에 대한 Laue Plot이다.

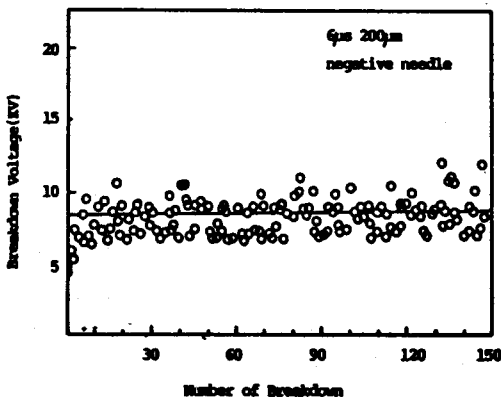


그림 3. 액체질소 절연파괴 conditioning효과 (부침조건)

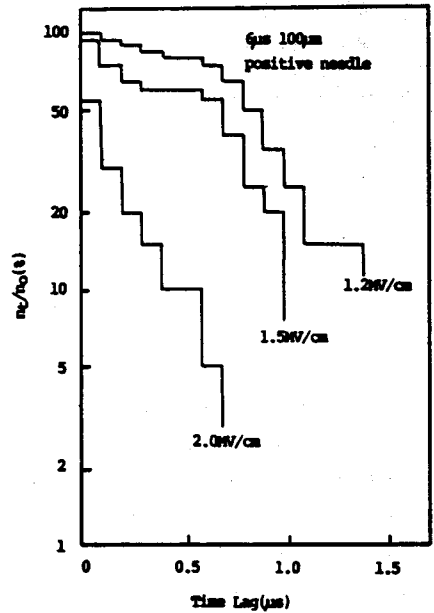


그림 4.(a) pulse폭 6 μ sec에 의한 파괴시간 지연의 Laue Plot(정침)

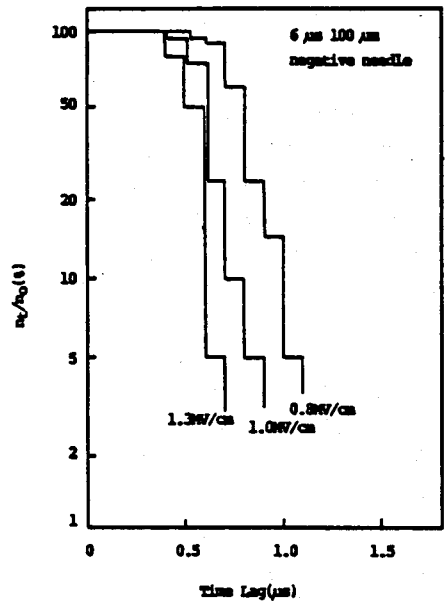


그림 4.(b) pulse폭 6 μ sec에 의한 파괴시간 지연의 Laue Plot(부침)

usec범위에서 정침의 경우는 $T_f \approx 0$ usec가 되어 구하기가 불가능했고 T_s 는 전계강도가 증가하면서 감소하였다. 그림 5는 gap크기가 각각 50 μ m, 100 μ m에서 인가전계에 대한 T_s 의 변화를 측정할 결과인데 부침에서보다 정침의

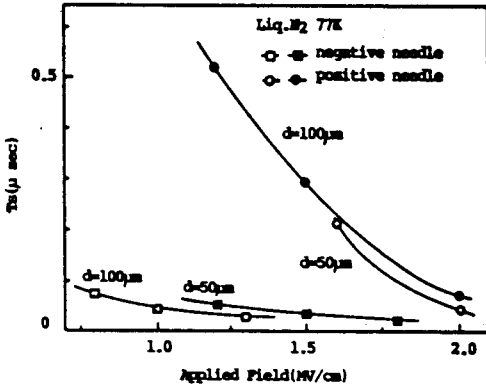


그림 5. T_d 의 전계의존성

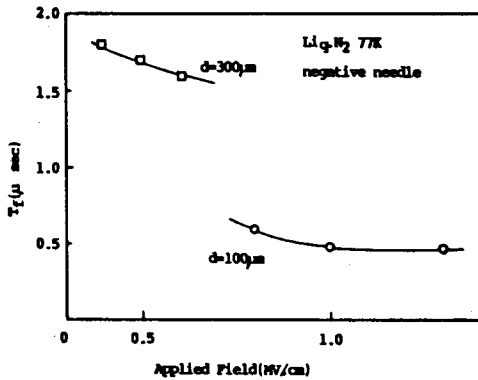


그림 6. T_f 의 전계의존성

경우가 전계에 따라 큰 감소를 보이고 있으며 gap의 변화에는 별 차이를 나타내지 않았다. 그림 6은 gap크기가 각각 100 μ m, 300 μ m에서 측정된 인가전계에 대한 T_f 의 변화인데 T_d 에 비해 거의 변하지 않으며, T_f 를 전자의 전극간 주행시간으로 가정하여 액체 질소속에서의 전하이동도를 식(2)로 구하면, 약 $2.0 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ ⁶⁾

$$T_f = \frac{d}{\mu E} \quad (2)$$

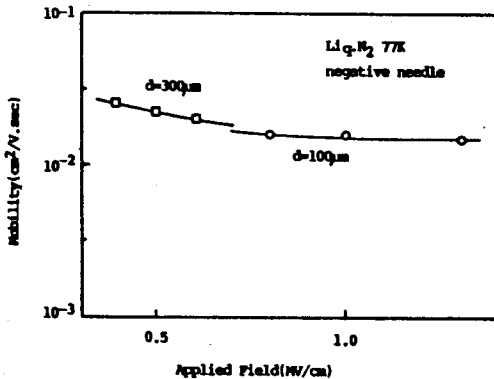


그림 7. carrier 이동도의 전계의존성

되어 Loveland가 전자선 펄스에 의한 Time of Flight 방법으로 구한 저전계에서의 $10^{-3} \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ ⁶⁾보다 1 order 정도 큰 결과를 얻었다.

4. 결 론

이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 액체질소에서는 균등전계의 파괴치가 가장 높고 정침, 부침의 순서가 되어 액체헬륨의 경우와 다르고 액체 Ar이나 액체 Kr에서와 유사한 특성을 나타내었는데 이는 음극으로부터의 전자 방출보다는 정침에서 streamer 이론이 파괴 기구로 주요한 역할을 하는 것으로 생각된다.
- 2) conditioning효과에서도 액체 헬륨과 같은 특별한 변화는 보이지 않고 일반적인 현상만 확인할 수 있었다.
- 3) 시간 지연특성의 측정결과 usec 영역에서 정침의 T_f 는 구할 수 없었으나 부침의 경우 인가전계에 대한 영향은 없었다.
- 4) T_d 는 전계강도가 증가하면서 정·부침이 모두 감소하지만 정침의 경우가 보다 큰 폭으로 감소를 나타내었고 gap 크기에는 별 영향을 받지 않았다.

(참 고 문 헌)

1. Simon Foner and Brian B Schwartz; Superconducting Machines and Devices(Plenum Press)(1973) P421
2. S.H.Kim et al; IEEE Trans. Elect. Insulation EI-20(1985) 327-335
3. T.J.Gallagher; Simple Dielectric Liquids (Clarendon Press Oxford)(1975)
4. Fuji; Cryogenics vol.20(1980)
5. Meck and Craggs; Electrical Breakdown of Gases(John Willey & Sons)(1978) P655
6. R.J.Loveland, P.G.Le Comber & W.E.Spear; "Charge Transport in the diatomic molecular solids and liquids; N_2 , O_2 and Co", ibia, 6-B, 3121(1972)