

고주파 성형 재료용 폴리에틸렌의 절연 신뢰도 분석

An Analysis of Insulating Reliability in Polyethylene for High Frequency Molding Materials

박건호*, 김기준**, 왕종배***, 신철기****, 김진사****, 이준웅****
(Ki-Joon Kim*, Jong-Bae Wang**, Chul-Ki Shin****, Jin-Sa Kim****, Geon-Ho Park****, Joon-Ung Lee****)

Abstract

In this study, the DC dielectric breakdown of polyethylene used for clothing material of cable was experimented and then its data were simulated by Weibull distribution probability. The dielectric breakdown characteristics in polyethylene were examined and various effects of the DC dielectric breakdown on polyethylene were also discussed.

Key Words(중요 용어) : DC dielectric breakdown, Polyethylene, Weibull distribution

1. 서 론

현재 송·배전 및 변전 계통의 전력 설비의 절연 신뢰성을 높이기 위하여 절연 재료에 관한 연구 및 개발이 지속되고 있으며, 전력 설비 신뢰도를 확보하기 위하여 각종 절연 열화 현상의 해석 및 진단에 필수적으로 인용되는 물성론에 근거한 기초적 이론의 해석이 이루어지고 있다.^{1),2)}

한편, 고분자 재료는 우수한 절연성을 가지고 있어서 전력 계통을 비롯한 여러 분야에서 절연 재료로서 널리 사용되고 있으나, 일반적으로 시간의 경과에 따라 절연성이 저하되어 사고를 유발하는 원인이 되므로 시스템의 신뢰성을 확보하기 위해서는 열화 현상에 대한 규명과 열화 진단에 관한 연구가 필수적으로 이루어져야 한다.

또한 고전압 또는 고전계 기술에 있어서 절연 파괴 전압이나 임의의 일정 전압이 인가될 때의 수명 시간에 관한 데이터는 매우 중요하고, 특히 절연 진

단시에 비절연 파괴와 절연 파괴 사이에 관계를 나타내는 데이터 또한 중요한데, 이들 수명 시간 및 절연 파괴에 관한 데이터는 정돈되어 있지 않기 때문에 일정한 통계 처리를 통하여 정량적으로 해석해야만 한다.³⁾

따라서, 본 연구에서는 고주파의 성형 절연물이나 전선과 케이블 등의 절연 피복 재료로 널리 사용되고 있는 두께 250(μm)인 저밀도 폴리에틸렌(Low Density Polyethylene: 이하 LDPE라 함) 필름 및 고밀도 폴리에틸렌(High Density Polyethylene: 이하 HDPE라 함) 필름을 시편으로 하여 각각 절연 파괴 실험을 통해 얻어지는 데이터를 가지고, 여러 가지 확률 분포식 중에서 수명 평가나 절연 파괴 통계에서 널리 도입되는 와이블 분포식을 이용하여 임의의 허용 파괴 확률에서의 허용 인가 전계의 값을 추정하여 절연 안전성을 진단할 수 있는 경년 열화(經年劣化) 데이터의 통계 처리 방법을 제안하였다.

2. 실험

2-1. 사용 시편

본 연구에서 사용된 시편으로 고주파의 성형 절연물이나 전선과 케이블 등의 절연 피복 재료로 널리 사용되고 있는 두께 250(μm)인 LDPE 필름 및 HDPE 필름을 이용하였으며, 다음의 표 1에 폴리에틸렌의

* : 청강 문화산업 대학 이동통신과
** : 시립 인천전문대학 제어계측과
***: 한국철도기술연구원
****: 광운대학교 전기공학과
*****: 한국전기전자재료학회장

물리 정수를 나타내었다.

표 1. 폴리에틸렌의 물리 정수
Table 1. Physical constants of Polyethylene

Properties	Unit	Value	
		LDPE	HDPE
융 점	[°C]	106~115	125~132
인장 강도	[MPa]	8~31	21~45
열변형 온도	[°C]	40~44	65~80
열 전도율	[W/(m·K)]	0.33	0.42
비 중	-	0.917~0.932	0.939~0.960
유 전 율 (1[kHz]에서)	-	2.2	2.2
유전 정접 (1[kHz]에서)	-	0.0003	0.0003
체적 저항율	[Ω·m]	10 ¹⁵	10 ²⁰

2-2. 실험 방법

2-2-1. DC 절연 파괴 실험

절연 파괴 실험 장치는 그림 1과 같이 구성하여 두께 250(μm)인 LDPE 및 HDPE 필름을 연면 방전을 방지하기 위하여 탈기 처리한 실리콘 오일 중에서 온도 범위 0[°C]~120[°C]에서 변화시키면서 직류 전압의 승압 속도를 1[kV/sec]로 하여 절연 파괴가 일어날 때까지 승압하면서 측정하였으며, 측정 회수는 동일 조건하에서 10회씩 하여 그 평균값을 파괴 전압으로 하였다. 한편, 전극으로는 순도 99.9[%]인 Cu를 직경 25(mm∅)로 하여 전극계를 구성하였다.

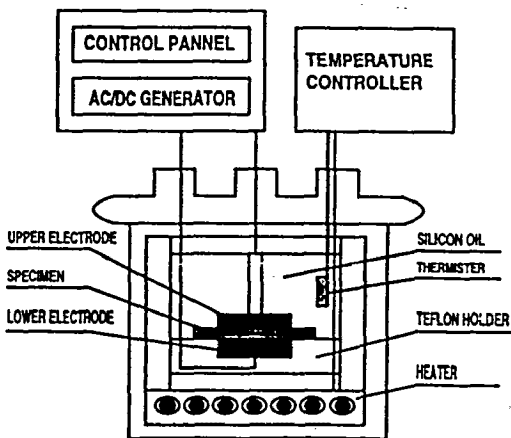


그림 1. 실험 장치
Fig. 1. Experimental device

2-2-2. 와이블 분포 시뮬레이션

다음의 그림 2는 절연 파괴 데이터를 이용하여 인가 전계에 대해 파괴 확률을 추정하기 위하여 수행된 절차를 나타낸 알고리즘이다.

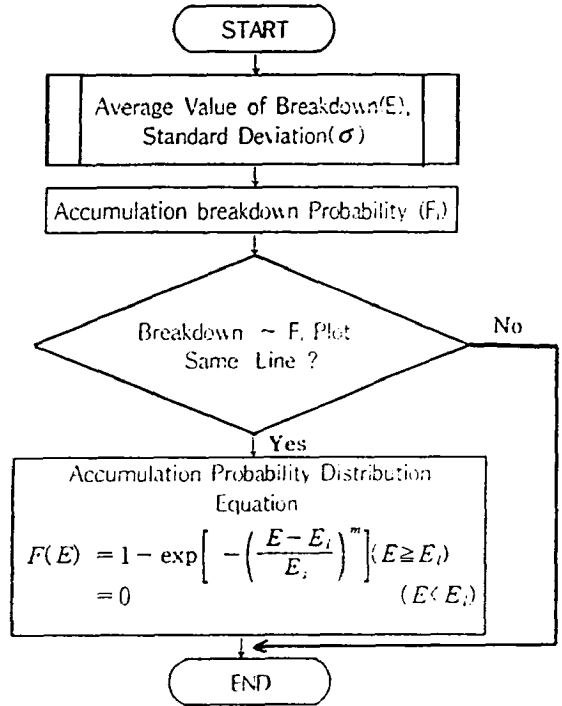


그림 2. 와이블 분포 시뮬레이션의 알고리즘
Fig. 2. The algorithm of Weibull distribution simulation

3. 실험 결과 및 검토

3-1. DC 절연 파괴 특성

3-1-1. 시편별 절연 파괴 특성

그림 3에 LDPE 및 HDPE 필름의 DC 절연 파괴 강도를 나타내었으며, 다음의 표 2에 LDPE 및 HDPE 필름의 DC 절연 파괴 데이터 값을 요약하였다.

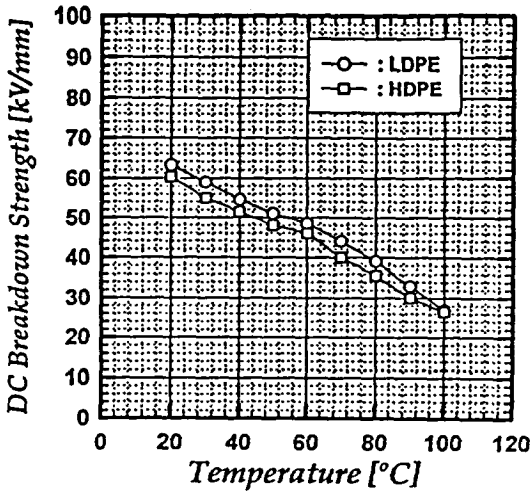


그림 3. 시편별 직류 절연 파괴 강도
Fig. 3. DC breakdown strength according to specimen

표 2. 시편별 직류 절연 파괴 데이터
Table 2. DC breakdown data according to specimen

(a) Low Density Polyethylene(LDPE)

온도 횟수	20[°C]	40[°C]	60[°C]	80[°C]	100[°C]
1	30	30	28	24	21
2	50	47	40	28	25
3	51	48	41	36	26
4	57	53	45	37	27
5	61	55	51	40	27
6	62	57	52	43	28
7	67	59	53	43	28
8	75	60	55	43	29
9	86	67	56	47	29
10	93	70	65	50	30
평균	63.2	54.6	48.6	39.1	27

(b) High Density Polyethylene(HDPE)

온도 횟수	20[°C]	40[°C]	60[°C]	80[°C]	100[°C]
1	28	27	24	22	21
2	46	44	39	24	24
3	48	45	40	32	25
4	54	50	43	33	26
5	56	52	47	36	27
6	61	54	50	38	27
7	64	56	50	39	28
8	71	57	52	40	29
9	84	64	55	43	29
10	88	66	60	46	29
평균	60	51.5	46	35.6	26.5

전체적으로 LDPE 필름의 DC절연 파괴 강도는 HDPE 필름보다 더 크게 나타났는데, 이는 절연 파괴 특성에서 중요한 요소인 온도에 따른 각 시편의 전도 특성에 기인하는 것으로 여겨진다.^{8)~10)} 즉, HDPE의 열전도율이 LDPE보다 더 크기 때문에 동일 온도에서의 절연 파괴 값은 HDPE의 경우가 더 낮아진다는 이론에 잘 부합하고 있음을 확인할 수 있었다.

3-2. 와이בל 확률 분포

DC 절연 파괴 실험을 통해 얻은 각 파라미터 및 이들을 이용하여 시뮬레이션을 한 결과 다음의 표 3에서와 같은 허용 인가 전계값을 구하였다.

표 3. 직류 절연 파괴 데이터로부터 구한 각 요소값
Table 3. The value of each parameter obtained from DC breakdown data

시료	형상 파라미터 (m)	척도 파라미터 (E _s)	허용 인가 전계
LDPE	4.53	26.76	12.74 [kV/mm]
HDPE	4.74	23.19	11.41 [kV/mm]

여기서 허용 인가 전계값은 허용 파괴 확률을 0.1(%)로 하였을 때 구한 값인데, 이들로부터 LDPE 필름의 경우가 HDPE 필름의 경우보다 허

용 인가 전계값이 높았음을 알 수 있었는데, 이는 전 절에서 살펴보았던 DC 절연 파괴 특성시험에서도 출한 결과와 잘 일치함을 알 수 있었으며, 이 때의 LDPE 필름 및 HDPE 필름의 허용 인가 전계값은 각각 12.74 [kV/mm], 11.41 [kV/mm] 이하가 되어야 한다.

4. 결 론

고주파의 성형 절연물이나 전선과 케이블 등의 절연 피복 재료로 널리 사용되고 있는 두께 250(μ m)인 LDPE 필름 및 HDPE 필름을 실리콘 오일 중에서도 온도 범위 20($^{\circ}$ C)~100($^{\circ}$ C)에서 변화시키면서 직류 전압의 승압 속도를 1(kV/sec)로 하여 절연 파괴가 일어날 때까지 승압하면서 절연 파괴 실험을 통하여 얻은 데이터를 이용하여 절연 진단 분석을 한 결과, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 와이블 분포식에 필요한 요소인 형상 파라미터(m)와 척도 파라미터(E_s)는 절연 파괴 데이터로부터 LDPE 필름의 경우 4.53(m) 및 26.76(E_s)을, HDPE 필름의 경우 4.74(m) 및 23.19(E_s)를 각각 얻었다.
2. 와이블 분포의 시뮬레이션을 통하여 기기 절연의 허용 파괴 확률을 0.1[%] 이하로 낮추기 위해서는 허용 인가 전계값이 LDPE 필름의 경우에는 12.74(kV/mm) 이하가 되어야 하며, HDPE 필름의 경우에는 11.41(kV/mm) 이하가 되어야 한다.
3. 절연 진단 연구에 관한 장래의 방향은 본 연구에서 제시한 허용 파괴 확률을 기준으로 하여 분석한 허용 인가 전계의 계산과 더불어 임의의 전계값에서의 절연 파괴 확률 추정, 기기의 사용 시간에 따른 절연 파괴 확률 추정, 수명 시간 예측 등에 관한 연구 방향으로 지속되어야 한다.

참 고 문 헌

[1] K. Kitagawa, G. Sawa and M. Ieda, "Self-Heating Breakdown at Spherulite Boundaries of Polyethylene Thin Films", Japan J. Appl. Phy., Vol. 20, pp.87-96, 1981

[2] K. Kitagawa, G. Sawa and M. Ieda, "Observation of Dielectric Breakdown Sites in Polyethylene Thin Films", Japan J. Appl. Phy., Vol. 19, pp.389-394, 1980

[3] L. Simoni, "A General Approach to the Endurance of Electrical Insulation under Temperature and Voltages", Colloid & Polymer Sci., 260, pp.297-302, 1982

[4] J. J. O'Dwyer, "The Theory of Electrical Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics", Clarendon Press, Oxford, 1973

[5] "高分子絶縁材料の絶縁破壊現象", 日本電気學會技術報告(正部), 第304號

[6] 鳳誠三郎 外, "高電壓工學", 共立出版株式會社, pp. 41-60, 1972

[7] N. G. McCrum, B. E. Read, G. Williams, "Anealastic and Dielectric Effects in Polymer Solids", John Wiley, New York, pp.7-15, 1967

[8] "誘電體現象論", 日本電気學會, pp.71-152, 1975

[9] "電氣設備の診斷技術", 日本電気學會編者, pp.39-59, 1985

[10] K. Kitagawa and M. Ieda, "Electric Break-down of Solute-Grown Polyethylene Thin Films without Spherulite", IBID, Vol. 21, pp.1117-1123, 1982