

전계시뮬레이션을 이용한 에폭시 복합체의 교류전압특성 연구

(A study on AC Voltage Properties of Epoxy Composites Using Electric Field Simulation)

이덕진*

(Deok Jin Lee*)

요약

본 논문에서는 교류 전압 환경에서 사용되고 있는 옥내 및 옥외용 전기기구의 절연재료로서 널리 사용되고 있는 에폭시 복합체의 교류 절연특성에 대해 연구하였다. 일반적으로 사용되고 있는 에폭시 수지는 가격 및 기계적 강도 측면을 보강하기 위해 충전재를 첨가하여 사용되고 있으며, 이에 따라 충전재 첨가에 따른 변화를 파악하기 위해 절연파괴 시험과 전계해석 시뮬레이션을 수행하였고 그 결과를 분석하였다. 순수한 에폭시 수지 시편과 충전재(SiO_2)를 100[phr] 첨가한 충전시편을 제작하여 교류전압 인가 시 주변온도 변화 및 충전재 분포에 따른 절연파괴 강도를 측정하였으며, 온도 증가에 따른 절연파괴 강도의 저하를 확인하고 이에 대한 전계시뮬레이션 결과와 비교 고찰하였다. 또한, 각 시편에 대한 수명예측을 평가하기 위해 와이بل 분포를 이용하여 분석하였고 그 결과 충전재 첨가에 따른 수명의 저하를 확인하였다.

■ 중심어 : 에폭시복합체 ; 절연파괴시험 ; 전계분포 시뮬레이션 ; 수명예측

Abstract

In this paper, we studied the AC insulation characteristics of epoxy composites, which are widely used as insulating materials for indoor and outdoor electrical appliances used in AC voltage environments. Epoxy resins, which are generally used, are used by adding fillers to reinforce the price and mechanical strength. Accordingly, we performed an Dielectric breakdown test and an electric field simulation to identify the changes according to the addition of fillers, and analyzed the results. Pure epoxy resin specimens and filled specimens with 100 [phr] fillers (SiO_2) were produced, and the insulation breakdown strength according to the change in ambient temperature and the distribution of fillers when AC voltage was applied was measured. We confirmed the decrease in the insulation breakdown strength according to the increase in temperature, and compared it with the results of the electric field simulation. In addition, we analyzed the lifetime prediction for each specimen using the Weibull distribution function, and the result confirmed the decrease in the lifetime according to the addition of fillers.

■ keywords : Epoxy composites ; Dielectric breakdown test ; Electric field Simulation ; Lifetime prediction

1. 서론

산업이 고도화됨에 따라 전기의 사용이 급증하면서 전기의 안정적 공급이 요구되고 전력 설비의 용량 또한 대형화 및 초고압화 되고 있다. 이에 따라

현재까지도 전력설비용 절연재료로서 에폭시 수지, 폴리에틸렌 및 실리콘리버 등과 같은 고분자 복합재료가 널리 개발 사용되어 오고 있으며, 이 중 에폭시 복합체는 우수한 전기적, 기계적 특성으로 인해 옥내·외용 전기기구의 선간 절연, 함침절연 및 케이블의 접속부 절연재료로서 각광받고 있다.[1-5] 또

* 정회원, 극동대학교 AI컴퓨터공학과

이 연구는 2024년도 극동대학교 교내연구비 지원에 의하여 수행된 것임(FEU2024R16)

접수일자 : 2025년 03월 14일

재제확정일 : 2025년 04월 07일

교신저자 : 이덕진 e-mail : djlee@kdu.ac.kr

한, 공간적 제한으로 전기기기의 소형화 및 경량화 요구에 따라 절연재료의 유효 절연두께가 박막화되고 기기의 운전 온도 상승에 따른 절연재료의 온도 변화에 따른 특성, 특히 고온 영역에서의 절연 특성 개선은 모든 전기기기의 설계에 있어서 필수적인 요소가 되었다[6-11].

일반적으로 사용되고 있는 에폭시 수지는 제조 비용의 절감과 부서짐(brittleness)과 같은 물리적 약점을 개선하기 위하여 교반과정에서 필수적으로 제품특성에 맞는 충전재를 첨가하여 제조되고 있다[12-13].

본 연구에서는 교류전압을 인가한 상태에서 에폭시 복합체에 첨가된 충전재 분포가 구전극과 평판전극 사이에 형성된 전계에 어떠한 영향을 미치는지 파악하기 위해 충전재(SiO_2)와 에폭시수지의 물성을 조사하여 시편의 형상설계를 위한 시뮬레이션 파라메타를 도출하였고 전계해석 시뮬레이션을 수행하여 교류 환경에서의 충전재의 적절한 분포를 예측하고자 하였다. 이와 더불어, 실제 교류전압 환경에서의 온도 및 충전재 변화에 따른 절연파괴 시험을 통해[14-15] 전계해석 결과와의 상관성을 고찰하였고 각 시편에 대한 잔여수명을 평가하기 위해 와이블분포를 이용하여 분석하였다[16-17].

II. 본 론

1. 전계분포 시뮬레이션

가. 시편 형상설계

충전재 분포에 따른 전계 변화를 분석하기 위해 전계해석 프로그램(FLUX)를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다[18-19]. 시뮬레이션 시편의 형상은 그림 1과 같이 절연파괴시험용 시편과 동일한 구대평판 형태이며 구전극의 지름은 $4,000[\mu\text{m}]$ 로 하였다. 에폭시 절연부의 크기는 $8,000[\mu\text{m}] \times 8000[\mu\text{m}] \times 2100[\mu\text{m}]$ (가로×세로×두께)이며 하부 평판전극은 직경 $4,000[\mu\text{m}]$ 의 원형으로 설계하였으며 전극간 절연층의 두께는 $100[\mu\text{m}]$ 이다. 충전하지 않은 시편의 경우 전극 간 물질은 에폭시수지만 존재하는 것으로 하였

고 100[phr] 충전된 시편의 경우 그림 2와 같이 전극 사이에 4개의 충전재 입자가 존재한다고 가정하였다.

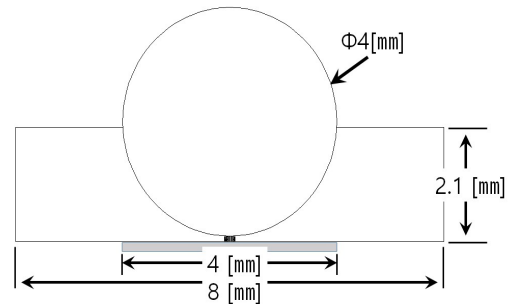


그림 1. 시편의 형상

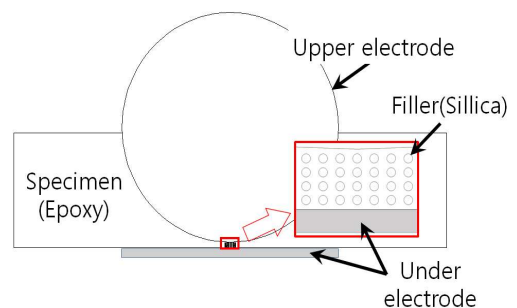


그림 2. 절연층 형상

나. 전계분포 시뮬레이션 파라메타

전계 시뮬레이션 및 절연파괴시험 시편 제작에 사용된 에폭시수지와 충전재 SiO_2 의 물리적 특성값인 비중, 비유전율 및 입자의 크기를 표 1에 나타내었다.

표 1. 에폭시와 SiO_2 의 특성값

성분	비중	비유전율(ϵ_r)	직경 $[\mu\text{m}]$
Resin(EPOXY)	1.2	3	-
Filler(SiO_2)	2.65	4.5	10

이 값들로부터 충전재가 100[phr]로 균일하게 분포된 가로, 세로 및 두께가 $8,000[\mu\text{m}] \times 8000[\mu\text{m}] \times 2100[\mu\text{m}]$ 인 시편의 경우를 가정하면 충전재 1 라인에 약 336개의 입자가 $13.8[\mu\text{m}]$ 간격으로 배치하

는 것으로 계산된다. 이 경우 상부전극과 하부전극 사이에는 약 4개의 충전입자가 삽입될 것으로 추정되며 이에 맞춰 형상을 결정하였다[20]. 전계 시뮬레이션에서는 수평축으로 상부전극부분(H-1)과 하부전극부분(H-2)을 형상화하였고, 수직축으로는 전극간 거리가 가장 짧은 위치(V)의 전계 분포를 측정하여 그림 3과 같이 표현하였다.

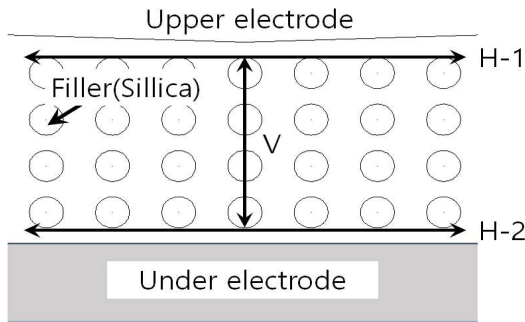


그림 3. 전계 측정 위치

2. 절연파괴 시험

가. 절연파괴시험용 시편 제작

본 연구에 사용된 절연파괴 시험용 시편은 비스페놀 A형 에폭시수지에 경화제, 중합개시제 및 충전제를 혼합하여 진공 가열 교반장치에 넣고 80[°C]에서 1시간 30분 동안 교반한 후 미리 제작해 놓은 금형에 주입, 90[°C]에서 2시간 동안 1차 경화시킨 후 다시 150[°C]에서 8시간 동안 2차 경화를 시켜 제작하였다. 제작된 시편은 표 2와 같이 각각 S-0, S-100으로 표기하였다.

표 2. 시편의 분류

분 류	충진재 (SiO ₂)	
	0 [phr]	100 [phr]
시편 코드	S-0	S-100

나. 절연파괴시험 방법

실제 시편의 절연파괴강도를 측정하기 위하여 고전압 발생기(Pulse Engineering Co. Ltd)를 사용하였고 단시간 절연파괴시험의 경우 0.5[kV/s]의 승

압속도로 절연 파괴가 일어날 때 까지 교류전압을 인가하여 파괴시점의 전압값을 측정하였다. 온도에 따른 절연파괴강도의 변화를 확인하기 위해 시료가 들어있는 실리콘유 온도 50[°C], 70[°C], 90[°C], 110[°C], 130 [°C], 160[°C] 및 190 [°C]로 변화시키고, 각 온도에서 시료를 5분간 예열한 후 시료의 절연파괴강도를 측정하였다. 측정회수는 동일 조건하에서 같은 코드를 가진 10개의 시료를 취하여 그 평균값을 절연파괴전압으로 하였다. 잔여 수명 예측을 위한 절연파괴시험의 경우 전극간 거리 100[μm]의 구대 평판 전극계 시편에 AC 6[kV]를 일정하게 인가하여 절연파괴에 이르는 시간을 측정하였다. 절연파괴 실험장치의 구조는 그림 4와 같다.

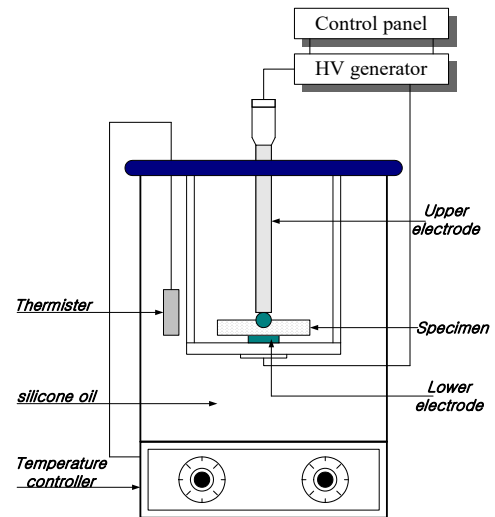


그림 4. 절연파괴시험 장치의 구조

3. 시험 결과 및 고찰

가. 전계 분포 시뮬레이션

그림 5와 그림 6은 S-0 시편의 전계분포 및 전계 방향을 나타낸다. 전극간 거리가 가장 짧아지는 중심 부분으로 접근할 수록 전계의 세기가 점점 커지는 것을 확인할 수 있으며, 중심에서 전계의 세기는 약 3.29×10^5 [V/m]의 값을 가진다. 특히 그림 6에서 보는 바와 같이 전계 분포의 집중현상이 나타나지만 전체적으로 고르게 고전계에서 저전계로 확산되는 현상을 보여주며 절연층이 넓은 영역에서는 전계가 중심으로 쏠리는 현상을 나타내고 있다.

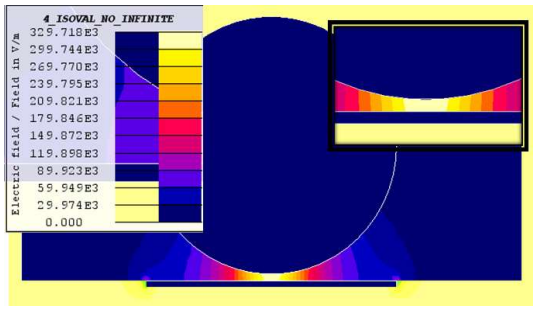


그림 5. S-0 시편의 전계 분포

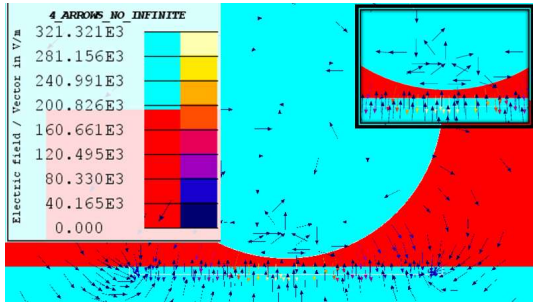


그림 6. S-0 시편의 전계 벡터

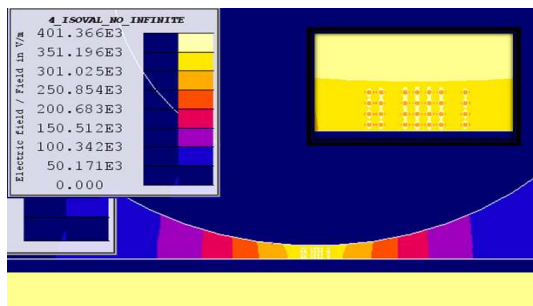


그림 7. S-100 시편의 전계 분포

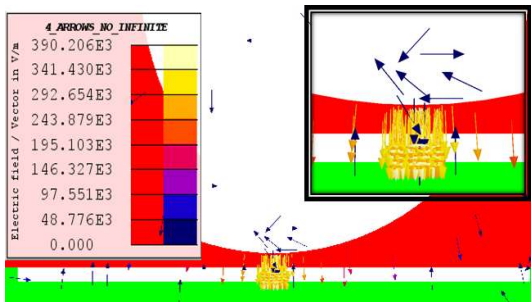


그림 8. S-100 시편의 전계 벡터

무충진상태에서의 특징에 반해 그림 7과 그림 8은 충전상태에서의 전계분포 및 전계의 방향을 나타낸 것으로 충전재 주변에 전계의 집중현상이 발생하여 충전재 주변에서 4.01×10^5 [V/m]의 크기로 무충진 시편보다 높은 전계가 집중됨을 확인할 수 있다. 특히 전계의 집중도는 그림 8에서 보는 바와 같이 충

진재 위치에서 집중됨을 볼 수 있으며, 전극 주변에서 중심으로 쏠리는 전계분포가 사라짐을 확인할 수 있다.

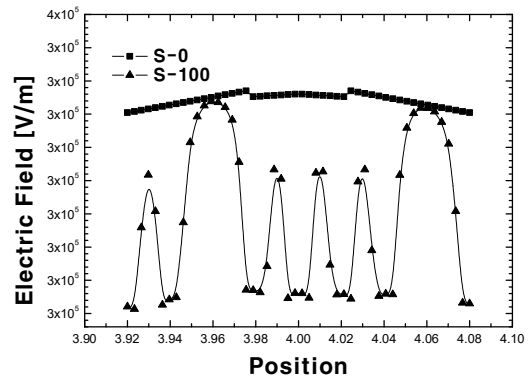
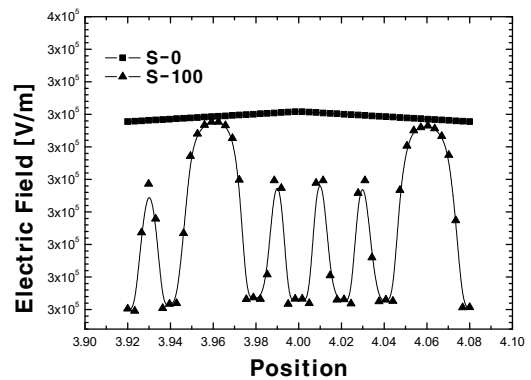
그림 9. S-0, S-100 시편의 전계분포
(수평축 H-1 상에서 측정)그림 10. S-0, S-100 시편의 전계분포
(수평축 H-2 상에서 측정)

그림 9과 그림 10은 충전재의 유무에 따른 수평위치(H-1, H-2)에서의 전계 분포도를 나타낸 것이다. 무충진 시편에서는 위치에 따라 평행한 전계의 분포를 나타내는 반면 충전재가 첨가된 시료에서는 충전재 위치에서 전계가 집중되는 현상을 볼 수 있다.

무충진 상태에서는 상부전극의 형상에 따라 중심부분(4.00 위치)보다는 구전극의 옆으로 전계가 집중되며, 점차적으로 감소하는 특성이 나타났다. 이에 반해 하부전극(H-2)에서는 평판전극으로 전극 표면에 균일하게 전계가 분포됨을 확인할 수 있다. 충전재가 첨가된 시편에서는 충전재 표면 위치에서 전계의 집중현상이 일어나고 있으며, 충전재 내부에

서는 전계의 세기가 감소함을 확인할 수 있다[4].

그림 11은 중심부분에서의 전계분포를 나타낸 것이다. 무충진 시편의 경우 수평전계에서처럼 3.3×10^5 [V/m]의 낮은 전계가 집중된 반면 충진시편에서는 충진재 주변에서 3.9×10^5 [V/m]으로 무충진 시편에 비해 약 1.2배의 높은 전계가 나타났지만 충진재 내부에서는 2.6×10^5 [V/m]의 낮은 전계로 20% 이상 감소하는 것으로 나타났다.

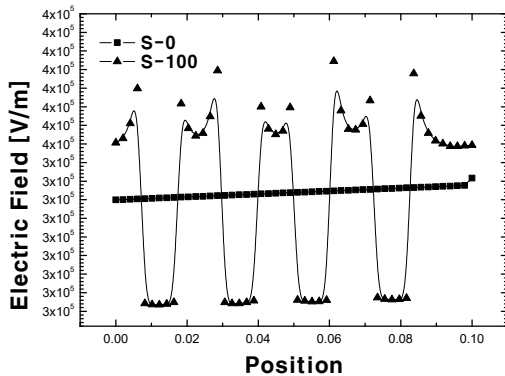


그림 11. S-0, S-100 시편의 전계분포
(수직축 V 상에서 측정)

나. 교류 절연파괴 시험

(1) 교류절연파괴강도의 온도의존성

그림 12는 각 시편의 교류절연파괴강도의 온도의존성을 보여준다. 저온영역에서의 지배적인 절연파괴기구는 전자사태파괴라 볼 수 있다. 부극성 반파의 피크치로 도달하는 부분까지 반구 전극으로 부터 주입된 전자는 반구 전극 부근의 에폭시 수지 중에 축적되면서 동극성의 전하(homo charge)를 형성하게 되어 파괴 전계를 완화시킨다. 그 후 정극성 반파의 피크치로 도달하면서, 이 동극성의 공간 전하는 역극성으로 전환되고 반구 전극 부근의 전계는 공간 전하가 존재하지 않는 경우보다 높아져서 파괴 전계를 강화시킨다. 이때 에폭시 수지 중에 트랩되어 있던 역극성의 전자는 이 전계에 의해 쉽게 탈출·가속되어 전자 사태 파괴가 일어나게 된다[21].

절연파괴강도가 급격히 저하되는 시점이 유리전이 온도 근처이며 이러한 급격한 감소는 자유 체적의 증가와 관련이 있다는 보고를 토대로 하여, 중온 영

역에서는 자유 체적 파괴가 지배적이라고 생각된다[22]. 한편, 약 170[°C] 이상은 고온 영역인점을 감안할 때 자유 체적 파괴가 억제되고 순열 파괴의 정상 열파괴가 지배적으로 일어날 것이라 생각되며, 절연파괴전압이 온도에 따라 완만하게 감소하는 경향을 나타내었다.

또한, 교류 전압 인가의 경우에는 전계가 연속으로 극성 반전을 하기 때문에 충진재 입자의 계면에 이온이 트랩되지 않고 계면을 따라서 이동한다고 생각되며 열전도가 우수한 SiO₂ 충진제가 열방산을 돕기 때문에 고온영역에서는 충진시료와 무충진 시료의 파괴강도의 격차가 점점 줄어드는 경향을 나타낸다.

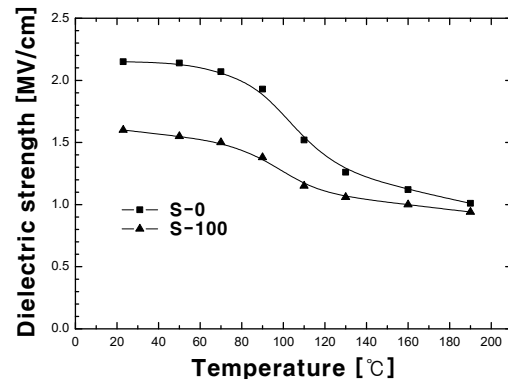


그림 12. 교류 절연파괴 강도의 온도의존성

(2) 시료의 평균 파괴 수명

상온에서 각 시편 당 10개씩 교류 전압 6[kV]를 일정하게 인가하여 절연파괴에 이르는 시간을 측정 한 결과는 표 3과 같으며 이 결과를 통계적으로 검토하기 위해서 2-파라메타 와이블 함수를 이용하였다.

표 3. 시편의 파괴시간

단위 : 분

시편 번호 시편 코드	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	평균	σ
S-0	217	228	235	243	255	259	264	281	288	293	256	25.83
S-100	127	132	138	143	148	154	159	168	176	181	153	18.38

표 3의 데이터를 이용하여 파괴 시간이 작은 순서대로 늘어놓은 다음 누적파괴확률과 시험데이터를

이용하여 X축은 절연파괴 시간[분], Y축은 누적파괴확률로 놓고 플로팅하여 척도 파라메타(t_s)를 구하였다. 그림 13과 그림 14는 각 시편들의 절연파괴시간에 대한 누적파괴확률의 플롯 결과이다. 이때 누적파괴확률 63.2[%]에 해당하는 시간이 척도 파라메터(t_s)의 값이 되며 S-0 시편과 S-100 시편의 척도파라메타는 각각 268.82, 161.66으로 구해졌다.

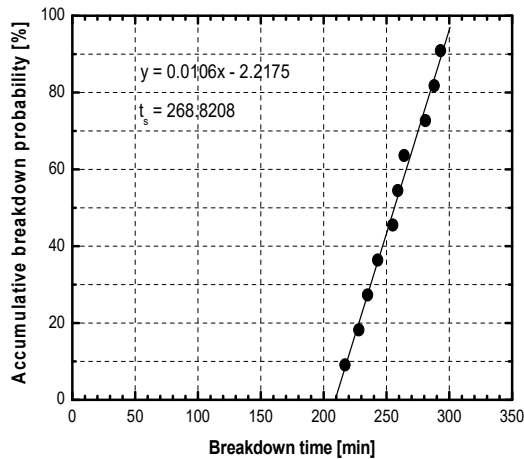


그림 13. 절연파괴시간에 대한 누적파괴확률의 플롯(S-0)

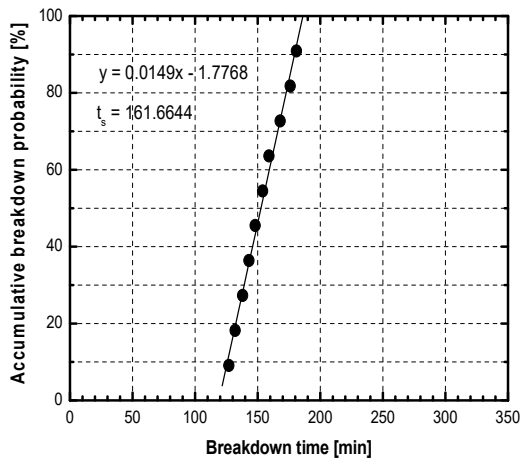


그림 14. 절연파괴시간에 대한 누적파괴확률의 플롯(S-100)

얻어진 척도 파라메타를 이용하여 형상 파라메타를 구하는데 필요한 X, Y좌표를 산출하고 와이블 플롯을 한 결과를 그림 15와 그림 16에 나타내었으며 플롯에 대한 최적화 방정식의 기울기가 형상 파

라메타를 나타낸다.

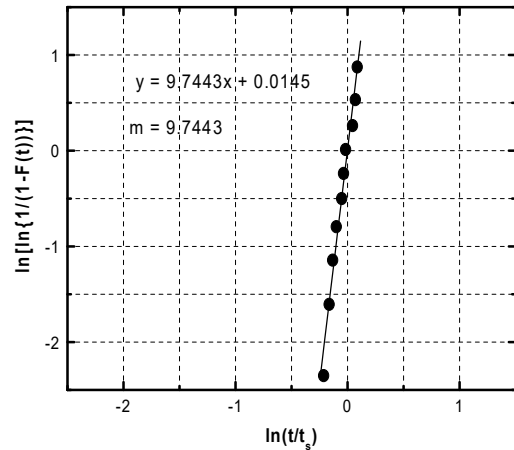


그림 15. X-Y의 와이블 플롯(S-0)

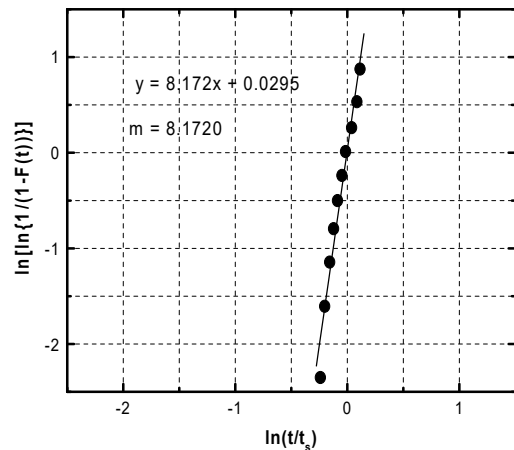


그림 16. X-Y의 와이블 플롯(S-100)

척도파라메타와 형상파라메타를 이용하여 다음의 와이블 분포식을 통해 허용파괴확률 0.1[%]~99.99[%] 일 때의 파괴수명을 예측할 수 있다.

$$t = t_s \cdot \exp \left[\frac{\ln \left(\ln \frac{1}{1-F(t)} \right)}{m} \right] \quad (1)$$

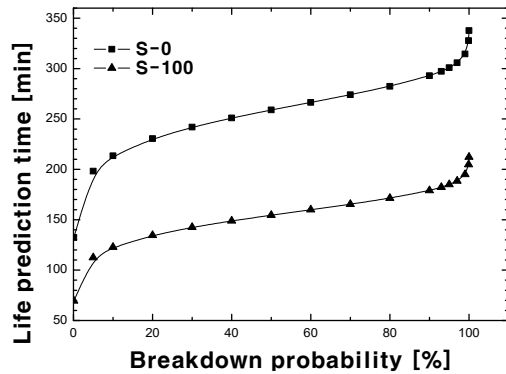


그림 17. 시편의 예측수명

그림 17은 식 (1)을 이용하여 시편이 파괴확률 0.1~99.99[%]를 가질 때의 전압 인가시간을 예측한 결과이며 S-0과 S-100시편의 수명은 각각 337.61분, 212.13분으로 충전재를 첨가함에 따라 약 37.2[%]의 수명 저하가 나타났다. 이것은 전계분포 시뮬레이션 결과에서도 서술하였듯이 상온영역에서의 절연파괴현상은 열이 개입되지 않는 전자사태 파괴이기 때문에 SiO₂ 충전에 의해 발생하는 계면의 존재가 전계의 집중을 유도하여 전로 형성이 용이하게 되므로 절연파괴 강도 뿐만 아니라 절연수명 저하를 일으키는 것이라고 판단할 수 있다.

III. 결 론

본 연구에서는 전계해석 시뮬레이터를 이용하여 교류전압이 인가된 환경에서 충전재의 분포에 따른 에폭시복합재료의 전계 변화를 분석하였고 교류 전압 인가 시 절연파괴강도의 온도의존성 및 와이블 분포를 이용한 수명예측을 수행하였다.

1) 충전재가 첨가되지 않은 S-0 시편의 전계분포에서 전극간 거리가 가장 짧아지는 중심쪽에서 전계의 집중도는 낮으며, 구전극의 측면에 집중되는 현상을 확인할 수 있었으며, 평판전극으로 인해 하부에서는 전계의 확산으로 고르게 분포되었다.

2) 충전재를 여러 줄로 배치한 경우 충전재의 주변에 전계의 집중현상이 발생하였으며, 수평전계에서는 무충진 시료에 비해 낮은 전계 집중값을 나타내

었다.

3) 전극 간 전계의 수직상의 전계 분포에서 무충진 시편에 비해 충전시편의 경우 충전재 표면에서 1.2배의 전계 집중현상이 발생하였으나, 충전재 내부에서는 20%이상 감소하는 현상을 확인할 수 있었다.

4) 교류 절연파괴강도의 온도의존성을 고찰한 결과 고온영역에서는 충전시료와 무충진 시료의 파괴강도의 격차가 점점 줄어드는 경향을 나타낸다. 전력 설비 및 전기기구의 주된 사용환경이 고온영역임을 고려할 때 충전재의 첨가는 기계적 성능 뿐만 아니라 전기적 성능면에서도 효과적인 것으로 확인되었다.

5) S-100시편의 수명은 SiO₂ 충전에 의해 발생하는 계면의 존재가 전계의 집중을 유도하여 S-0 시편에 비해 약 37.2[%]의 수명 저하가 나타났다.

6) 전계 분포 시뮬레이션 결과에서 충전재와 에폭시수지 사이의 계면으로 전계가 집중됨이 확인되었고 단시간 및 장시간 교류 절연파괴시험 결과에서도 충전재의 첨가로 인한 전기적 성능의 저하가 발생하는 것으로 파악됨에 따라 전기기구의 절연 설계 시 사전에 전계 분포 시뮬레이션을 적용하여 제품개발에 소요되는 시간 및 비용에 대한 절감효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] Povilas Bertasius, "Dielectric Properties of Epoxy-Matrix Composites with Tungsten Disulfide Nanotubes", *Journal of Nanomaterials*, vol. 2019, 2019.
- [2] T. Candra, "Advanced Composites", A publication of the minerals, & metals society, pp. 771-941, 1993.
- [3] Dongxian Zhuo, "Flame retardancy effects of graphene nanoplatelet/carbon nanotube hybrid membranes on carbon fiber reinforced epoxy composites," *Journal of Nanomaterials*, vol. 2013, 2013.
- [4] B. Ellis, "Chemistry and Technology of Epoxy resins", Blackie Academic & Professional, pp. 29-35, 1993.
- [5] Kim Sung Tae, "Development Trend for Thermoplastic Polymer Composite", *Polymer Science and Technology*, vol. 24, pp. 25-29, 2013.

- [6] Gyu-bin Lee, Seung-yeon Kim, Donghyeok An, "Development of Prediction of Electric Arc Risk using Object Detection Model," *Smart Media Journal*, Vol. 9, No. 1, pp. 38-44, 2020.
- [7] Sakshi Singh, "Breakdown Strength Estimation of Non-Cellulosic Insulating Materials Used in Electrical Power Equipment", *TEEM*, vol. 18, no. 6, pp. 338-340, 2017.
- [8] Jung-Jun Kim, Beom-Seok Chae, Young-Kwan Lee, Ki-Hwan Cho, "An Active Battery Charge Management Scheme with Predicting Power Generation in ESS," *Smart Media Journal*, Vol. 9, No. 1, pp. 84-91, 2020.
- [9] M. Schwartz, "Encyclopedia of Materials, Parts and Finishes", CRC Press, p. 190. 2002.
- [10] R. Arora and W. Mosch, "High Voltage Insulation Engineering: Behavior of Dielectrics; Their Properties and Applications", New Age International Ltd., p. 236. 2008.
- [11] Woo Young Cheon, Young Chul Kim, "Study on Signal Processing Method for Extracting Hand-Gesture Signals Using Sensors Measuring Surrounding Electric Field Disturbance," *Smart Media Journal*, Vol. 6, No. 2, pp.26-32, 2017.
- [12] D. J. Lee, "A Study on the Variations of Mechanical and Electrical Property of Epoxy Composites due to Boiling Absorption", *Journal of KIIIE*, vol.14, no.1, pp. 53-58, 1997.
- [13] Richard A. Pethrick, "Dielectric, Mechanical and Structural and Water Absorption Properties of a Thermo-plastic Modified Epoxy Resin", *Macromolecules*, 29, pp. 5208-5214, 1996.
- [14] Jaejun Park, "Long-term and Short-term AC Treeing Breakdown of Epoxy/Micro-Silica/Nano-Silicate Composite in Needle-Plate Electrodes", *TEEM*, vol. 13, no. 5, pp. 252-255, 2012.
- [15] J. H. Kim, "A Study on the AC Dielectric Breakdown Characteristics and Mechanical Characteristics of Interpenetrating Polymer Network Epoxy Composites", *Trans. of KIEEME*, vol. 9, no. 7, pp. 702-707, 1996.
- [16] S. J. Kim, "A Study on Statistical Nature of CREF Strength Data", *Trans. of KSME*, vol. 20, no. 2, pp. 511-519, 1996.
- [17] H. B. Soh, "An Analysis of the Reliability Test Data with Weibull", *Trans. of KSME*, vol. 9, no. 3, pp. 23-35, 1987.
- [18] J. K. Sung, "Optimum Insulation Design of 500 kV HVDC Polymer Insulator Based on DC Electric Field Simulation Techniques", *Hanyang University*, pp. 6-9, 2015.
- [19] H. S. Jung, "Analysis of Electric Field for Mold Transformer using Finite Element Method", *Hoseo University*, pp. 11-12, 2009.
- [20] D. J. Lee, "A Study on the Insulation Characteristics of Epoxy Composites Using Electric Field Simulation", *Journal of KSCI*, vol. 26, no. 2, pp. 53-60, 2021.
- [21] M. Ieda et al., "Dielectric Breakdown of High Temperature Polymers" *The 3rd International Symposium on High Voltage Engineering*, vol. 2, pp. 1-5, 1979.
- [22] J. W. Hong, "A Study on the Electrical Breakdown Characteristics of Thermal Treated Low Density Polyethylene Film", *Trans. of KIEEME*, vol. 6, no. 4, pp. 366-373, 1993.

 저 자 소 개



이덕진(정회원)

1993년 광운대학교 전기공학과 학사 졸업.

1995년 광운대학교 전기공학과 석사 졸업.

2000년 광운대학교 전기공학과 박사 졸업.

2002년 ~ 극동대학교 AI컴퓨터공학과 교수.

<주관심분야 : 절연설계, 센서 시스템 설계>