

부싱 형상에 따른 전계 분포에 관한 연구

(A Study on Electric Field Distribution with Bushing Geometry)

조국희*

(Kook-Hee Cho)

요 약

부싱의 형상에 따라 전계 분포를 비교하여 가장 효율적인 형상을 설계하고자 하였다. 본 연구에서 형상 변화는 12 조건이며 전극 길이의 변화로 벡터 분포도는 0.7[%], 전계 분포도는 약 21~26[%]의 절연 성능을 향상시킬 수 있었다. 그리고 고압부 절연물 두께의 변화는 벡터 분포도는 2[%], 전계 분포도는 약 23~43[%]의 절연 성능을 향상시킬 수 있었다. 따라서 조건변화에 따라 절연능력이 향상되는 것을 알 수 있으므로 부분방전 개시전압 소멸전압을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

Abstract

This paper described results for designing the best effective bushing geometry by comparing the distribution of the electric field according to bushing geometry. Twelve cases of the geometrical change are tried to analysis. Improvement of the insulation strength related with the vector and the electric field distribution are reached to about 0.7[%] and 21~26[%] by changing the electrode length, respectively. Moreover, in cases of the change of insulator thickness at high-voltage parts, the insulation strength relevant to the same parameters as mentioned above are 2[%] and 23~43[%], respectively. Consequently, the quenching voltage for interrupting the partial discharge might be improved due to increasing the insulation strength by the geometrical change.

Key Words : Bushing geometry, Electric field, Insulation, Partial discharge

1. 서 론

부싱은 현재 전력기기 제품에 단일품 또는 부품으로 많이 사용되고 있다. 지금까지는 주로 부싱의 재질을 예폭시 절연물로 사용하고 있으나 가격이 높다

는 것이 단점이다. 따라서 본 연구에서 비교적 값싼 재질인 EP(Engineering Plastic)을 이용하여, 제작되어진 부싱을 형상 또는 치수 조건을 바꾸어서 전계 해석과 부분방전 시험을 수행하였다. 부싱과 같은 고전압기기에서 가장 중요한 문제는 고전압을 안전하게 유지하기 위한 절연설계이며, 전계해석은 절연설계에 있어서 대단히 중요한 역할을 한다. 전계해석에 있어서 특수한 경우를 제외하고는 주로 상용 프로그램이 이용되고 있고 정확도도 매우 높다. 기

* 주저자 : 한국전기연구원 산업전기연구단 책임연구원
Tel : 055-280-1577, Fax : 055-280-1490
E-mail : khcho@keri.re.kr
접수일자 : 2007년 9월 20일
1차심사 : 2007년 9월 27일
심사완료 : 2007년 11월 21일

부싱 영상에 따른 전계 분포에 관한 연구

존 부싱의 성능과 동작 특성을 파악하고, FLUX-2D를 통한 부싱 형상에 따른 전계분포를 해석하고 부분방전 시험을 통하여 가장 효율적일 수 있는 형상을 설계하고자 하였다[1-2].

2. Engineering Plastic의 전계 해석

2.1. Engineering Plastic의 내부 형상

Flux-2D 프로그램을 사용하여 EP(Engineering Plastic) 부싱의 구조적인 치수를 달리하였을 때의 전계 해석 결과를 비교 분석하여, 구조적인 변경에 따른 여러 가지 결과들을 토대로 이상적인 EP 부싱의 절연성능을 향상시키고자 하였다.

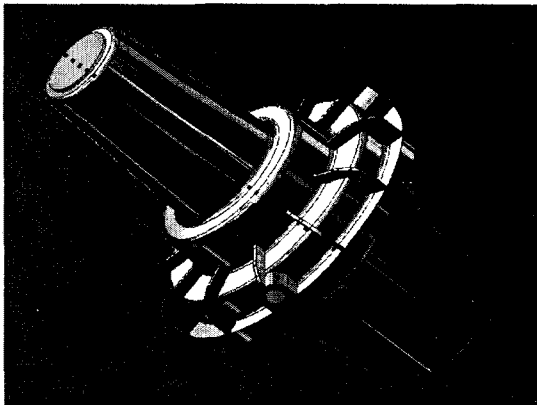
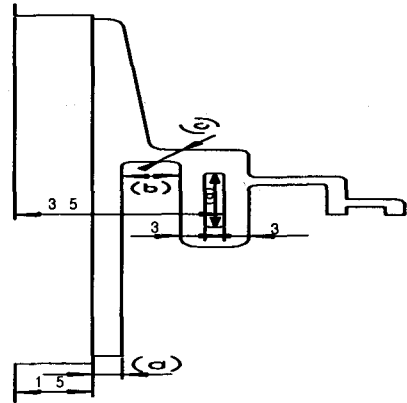


그림 1. EP 부싱의 형상
Fig. 1. Geometry of EP bushing

그림 1은 EP 부싱의 실제적인 형상으로 점선과 같이 y축으로 경계조건을 형성하여 전계 해석을 하였다.

그림 2와 같이 중심축에서 접지축 전극까지의 거리를 35[mm]로 고정으로 두고 구조적인 치수 즉, (a) 고압부 절연물 두께, (b) 갭 간격, (c) 전극간 연결부위 절연물 두께, (d) 전극 길이의 치수를 달리하여 전계해석을 12조건으로 수행하였다. 각 (a), (b), (c), (d) 조건별로 등전위선도, 벡터 분포도 및 전계 분포도를 비교하였으며, 본 논문에서도 도면번호 A를 대표적으로 나타내었다.



도면 번호	조건 치수[mm]			
	(a)	(b)	(c)	(d)
A	5	9	3.52	50
B	5	9	3.52	40
C	7	7	3.52	40
D	7	7	5.32	40
E	7	7	8.20	40
F	7	0	∞	40
G	5	9	5.32	40
H	5	9	4.40	40
I	3	11	3.52	40
J	5	9	3.52	30
K	5	9	3.52	20
L	3	11	3.52	30

그림 2. 도면 및 치수
Fig. 2. Drawing and dimension

2.2 Engineering Plastic의 전계 해석

그림 2의 도면번호 A와 같은 조건으로 전계 해석 모델과 Meshing, 등전위선도, 벡터분포도 및 전계 분포도 결과를 그림 3에서 그림 7까지 나타내었다.

그림 3은 그림 1과 같은 것으로 EP부싱의 모델이며 대기, 절연물인 polycarbonate(비유전율 : 3) 및 전극으로 구분하여 나타내었다. 그림 4는 메쉬 분포도이며, 그림 5는 EP 부싱 해석 모델의 등전위선을 보여주고 있다.

그림 6은 EP 부싱 해석 모델의 벡터 분포를 나타낸 것으로 최고 전계강도는 1,000[V]를 인가했을 경

우 EP 부싱의 최고 전계 강도는 99.70[V/m]로 나타났다.

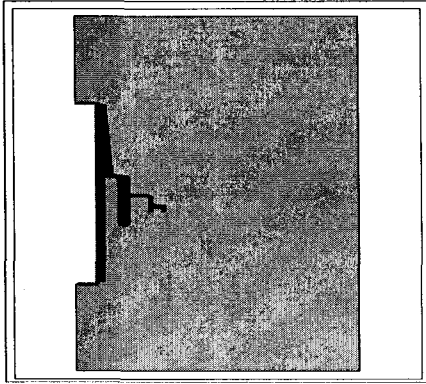


그림 3. EP 부싱의 해석 모델
Fig. 3. Model of EP bushing

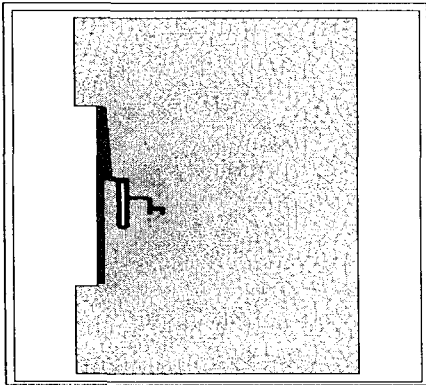


그림 4. EP 부싱의 메쉬 분포도
Fig. 4. Mesh distribution of EP bushing

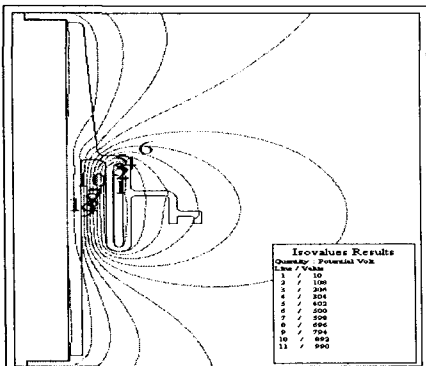


그림 5. EP 부싱의 등전위선도
Fig. 5. Equipotential lines of EP bushing

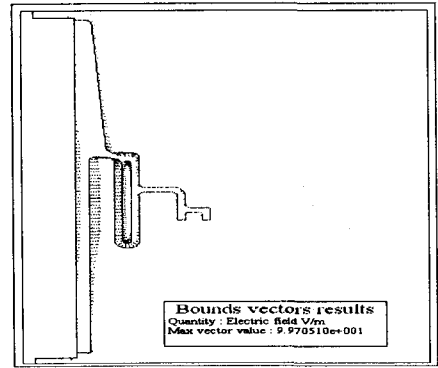


그림 6. EP 부싱의 벡터 분포도
Fig. 6. Vectors distribution of EP bushing

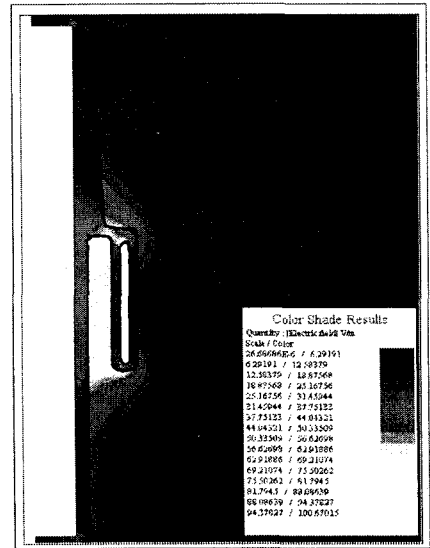


그림 7. EP 부싱의 전계 분포도
Fig. 7. Electric field distribution of EP bushing

그림 7은 EP 부싱 해석 모델의 전계분포도로서 최대 전계분포도는 94.38~100.67[V/m]를 나타냈다.

2.3 Engineering Plastic의 전계해석의 결과

표 1은 (d) 전극 길이의 변화에 따른 최대 전계를 나타낸다. 고압측 전극과 접지측 전극 사이의 전계 분포도 및 벡터분포도를 나타내었다. 벡터 분포도를 보게 되면 전극 길이가 20[mm]일 때 최대 전계가

부상 영상에 따른 전계 분포에 관한 연구

96.89[V/m]로 가장 낮으나 평균 전계 분포도를 같이 비교하면 전극 길이가 30[mm]일 때 절연 성능이 우수한 것으로 사료된다.

표 1. 전극 길이의 변화에 따른 결과
Table 1. Results from the change of the electrode length

도면 번호	조 건[mm]				백터 분포도 [V/m]	전계 분포도 [V/m]
	(a)	(b)	(c)	(d)		
A	5	9	3.52	50	99.70	94.38-100.67 (평균값:88~100)
B	5	9	3.52	40	99.55	113.69-121.27 (평균값:83~90)
J	5	9	3.52	30	98.98	95.84-102.23 (평균값:70~83)
K	5	9	3.52	20	96.89	164.59-175.57 (평균값:70~98)

표 2. 전극간 연결부위 절연물 두께의 변화에 따른 결과
Table 2. Results from the change of the insulation thickness

도면 번호	조 건[mm]				백터 분포도 [V/m]	전계 분포도 [V/m]
	(a)	(b)	(c)	(d)		
C	7	7	3.52	40	103.94	111.18-118.59 (평균값:81~88)
D	7	7	5.32	40	103.94	106.15-113.23 (평균값:77~92)
E	7	7	8.20	40	108.54	114.75-122.40 (평균값:76~91)

표 2는 (c) 전극간 연결 부위 절연물의 두께가 5.32[mm]일 때 백터 및 전계 분포도의 평균 최대전계가 낮아 절연 성능이 우수한 것으로 사료된다.

표 3. 갭 간격이 없는 경우의 결과
Table 3. Results from no gap distance

도면 번호	조 건[mm]				백터 분포도 [V/m]	전계 분포도 [V/m]
	(a)	(b)	(c)	(d)		
F	7	0	∞	40	111.14	129.91-138.57

표 3은 (b) 전극 사이의 갭 간격에 절연물로 채워져 갭 간격이 없는 경우로서 절연 성능이 가장 나쁘게 나타났다.

표 4. 전극간 연결부위 절연물 두께의 변화에 따른 결과
Table 4. Results from the change of the insulation thickness

도면 번호	조 건[mm]				백터 분포도 [V/m]	전계 분포도 [V/m]
	(a)	(b)	(c)	(d)		
B	5	9	3.52	40	99.55	113.69-121.27 (평균값:83~90)
H	5	9	4.40	40	99.56	117.85-125.71 (평균값:78~94)
G	5	9	5.32	40	99.57	129.64-138.28 (평균값:69~86)

표 4는 표 2와 달리 고압 절연물의 두께가 5[mm]일 때 (c) 전극간 연결 부위 절연물의 두께 변화에 따른 최대 전계 결과를 나타낸 것이다. 백터 분포도만 보면 전극간 연결 부위 절연물 두께가 3.52[mm]일 때 최대 전계가 99.55[V/m]로 가장 낮으나, 백터 및 전계 분포도의 평균 최대 전계를 종합해 살펴보면 전극간 연결 부위 절연물 두께가 5.32[mm]일 때 평균 최대 전계가 낮아 절연 성능이 우수한 것으로 사료된다.

표 5. 고압부 절연물 두께의 변화에 대한 결과
Table 5. Results from the change of the insulation thickness at High-voltage parts

도면 번호	조 건[mm]				백터 분포도 [V/m]	전계 분포도 [V/m]
	(a)	(b)	(c)	(d)		
I	3	11	3.52	40	96.88	109.54-116.84 (평균값:58~73)
B	5	9	3.52	40	99.55	113.69-121.27 (평균값:83~90)
C	7	7	3.52	40	103.94	111.18-118.59 (평균값:81~88)

표 5의 (a) 고압부 절연물 두께와 (b) 갭 간격의 거리의 합은 EP 부상의 중심축에서 전극까지의 거리가 35[mm]로 일정하므로 항상 14[mm]를 유지한다.

그러므로 (a) 고압부 절연물 두께의 변화에 따라 (b) 갭 간격의 거리도 변화하게 된다. 결과를 살펴보면 고압부 절연물의 두께가 3[mm]이고 갭 간격이 11[mm]일 때 벡터 및 전계 분포도의 평균 최대 전계가 낮아 절연 성능이 우수한 것으로 사료된다.

표 6. 전극 길이의 변화에 대한 결과
Table 6. Results from the change of the electrode length

도면 번호	조건[mm]				벡터 분포도 [V/m]	전계 분포도 [V/m]
	(a)	(b)	(c)	(d)		
I	3	11	3.52	40	96.88	109.54-116.84 (평균값:58~73)
L	3	11	3.52	30	96.07	112.17-119.65 (평균값:59~74)

표 6은 표 1과 달리 고압부 절연물의 두께가 3[mm]일 때 (d)전극 길이의 변화에 따른 최대 전계를 나타낸다. 벡터 분포도를 보게 되면 전극 길이가 30[mm]일 때 최대 전계가 96.07[V/m]로 가장 낮으나 벡터 및 전계 분포도를 같이 비교하면 전극 길이가 40[mm]일 때 절연 성능이 우수한 것으로 사료된다.

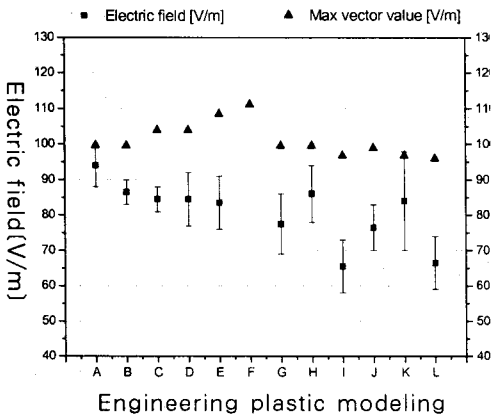


그림 8. 모델에 따른 전계분포
Fig. 8. The electric field distribution for tested models

그림 8은 각 도면의 조건에 따른 벡터 분포도(삼각형)와 고압측 전극과 접지측 전극 사이의 평균 전

계 분포도(사각형)를 나타낸다. 조건 중에서 I 조건 일 때 절연 성능이 30[%]정도 우수한 것으로 나타났다.

3. 부분방전 시험결과 고찰

아래에 나타낸 시료는 내부 설계 구조 및 형상이 다른 것으로 A Type, B Type으로 구분하였다. 전계 해석을 수행한 A Type보다 최종적으로 설계된 B Type이 부분방전 시험을 한 결과 성능이 우수한 것으로 나타났다.

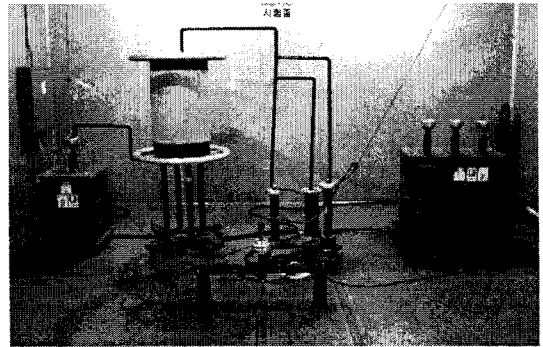


그림 9. 실드룸에서 PD 시험전경
Fig. 9. PD test in shield room

EP 부싱을 PD 시험을 하기 위한 시험대에 올려놓고, 그림 9와 같이 실드룸에서 부싱의 양단에 실드링을 해주고 중심축에 고압을 외부로 접지로 하여 PD 시험을 하였다[3-5].

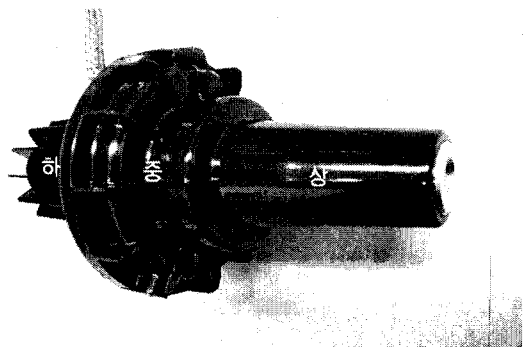


그림 10. A Type 시료
Fig. 10. A type specimen

부상 영상에 따른 전계 분포에 관한 연구

그림 10은 EP 부상의 A Type 시료이다. PD 시험 결과를 표 7에 나타내었다.

표 7. A type 시료의 PD 결과
Table 7. PD results of A type specimen

A Type	1차	2차	3차
개시 전압	16.1[kV]	13[kV]	13.3[kV]
소멸 전압	14[kV]	11.8[kV]	12[kV]

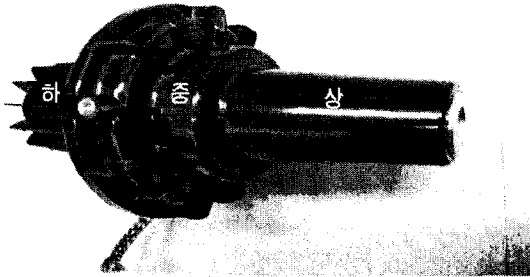


그림 11. B Type 시료
Fig. 11. B type specimen

그림 11은 EP 부상의 B Type 시료이다. PD 시험 결과를 표 8에 나타내었다. PD 시험 결과 소멸전압이 조금 낮게 나타났으나(약 90%) 전계 해석에 따라 형상을 변형하면 (130% 향상) 충분히 규격치에 도달 할 것으로 사료된다.

표 8. B type 시료의 PD 결과
Table 8. PD results of B type specimen

B Type	1차	2차	3차
개시 전압	17.05[kV]	17.97[kV]	17.48[kV]
소멸 전압	16.48[kV]	16.23[kV]	17.04[kV]

4. 결 론

전극 길이의 변화에 따른 결과를 보면, 고압부 절연물 두께 5[mm], 갭 간격 9[mm], 전극간 연결부위 절연물 두께 3.52[mm]일 때, 전극 길이의 변화에 따른 최대 평균 전계는, (A) 도면 전극 길이가 50[mm]일 때 벡터 분포도 99.70[V/m], 전계 분포도 약 88~100[V/m]로 나타났다. (J) 도면 전극 길이가 30[mm]

일 때의 벡터 분포도는 98.98[V/m], 전계 분포도는 약 70~83[V/m]로 나타났다. 전극 길이의 변화로 벡터 분포도는 0.7[%], 전계 분포도는 약 21~26[%]의 절연 성능을 향상시킬 수 있었다.

고압부 절연물 두께의 변화에 대한 결과를 보면, (B) 도면 고압부 절연물 두께가 5[mm]일 때의 벡터 분포도는 99.55[V/m], 전계 분포도는 약 83~90[V/m]로 나타났다. (I) 도면 고압부 절연물 두께가 3[mm]일 때의 벡터 분포도는 96.88[V/m], 전계 분포도는 약 58~73[V/m]로 나타났다. 고압부 절연물 두께의 변화로 벡터 분포도는 2[%], 전계 분포도는 약 23~43[%]의 절연 성능을 향상시킬 수 있었다.

EP 부상 (A) 도면과 (I) 도면을 비교하면 벡터 분포도는 99.70[V/m]에서 96.88[V/m]로 2[%], 전계 분포도는 약 88~100[V/m]에서 약 58~73[V/m]로 36~52[%]의 절연 성능을 향상시킬 수 있었다.

부분 방전 시험을 한 결과 현재는 소멸전압이 17[kV]이나 전계 해석 결과에 따라 제품의 형상을 수정하면 소멸전압이 19[kV] 이상이 될 것으로 사료된다.

References

- [1] "FLUX2D/3D Ver.8.1 사용자 지침서" 2007.
- [2] "FLUX 8.10 2D Application Tutorial of electrostatics" CEDRAT 2007.
- [3] IEC 60265-1 "High-Voltage Switches - Part 1: Switches for Rated Voltages Above 1[kV] and Less Than 52 kV-Third Edition", 2000,05.
- [4] IEC 270 "Partial discharge measurements" 1984.01.
- [5] ES 151-143~145 "배전급 부상" 2003.

◇ 저자소개 ◇

조국희 (趙國熙)

1960년 1월 13일생. 1987년 숭실대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국전기연구원 산업전기연구단 책임연구원.