

고압개폐기용 일체형 복합붓싱 개발

최경선, 주종민, 이용순, 유근양
(주)평일 기술연구소

Development of Single-piece Composite Bushing for High Voltage Switch

K.S. CHOI, J.M. JOO, Y.S. LEE, K.Y. YU
R&D PYUNGIL Co., Ltd.

Abstract - The bushing currently applied to pole-mounted type loadbreak switch has porcelain bushing which is connected with the mold cone. This type has potential problems of uncertainty of sealing of the interface part and gas leakage on the connected part between bushing and switch tank due to the weight of the porcelain. The Composite Bushing can solve these problems and also the secondary problem of the potential accident owing to the fragment of the porcelain bushing in breakage due to the outer impact.

1. 서 론

산업이 고도화되고 국민의 생활수준이 높아짐에 따라 전력수요는 증가하고 전력계통은 점점 대용량화 되어가고 있으며 이에 따라 전기기기는 고성능, 소형 및 경량화에 대한 요구가 한층 증가하고 있다.

가공용 가스개폐기는 가공 배전선로(22.9 kV-y)를 구간 개폐하는 전력기기로써 특히 가공용 가스개폐기에 장착되는 절연붓싱은 가공선과 가스개폐기 본체를 연결해주는 중요한 절연 부품으로 완벽한 sealing과 절연특성이 특히 요구된다.

현재에는 자기애관에 몰드콘을 접착하는 방식을 많이 사용하고 있으나 자기애관과 몰드콘의 계면에 sealing의 불확실성과 장시간 사용 시 자기애관의 무게에 의한 하중으로 인한 가공개폐기 탱크이음 부분의 가스누설의 문제점을 안고 있다. 또한 사고시 붓싱의 파손에 의해 비산되는 제 2차 사고의 문제점을 안고 있었다.

이러한 문제점을 해결하고자 본 연구에서는 내구성이 강하고 절연성 등이 우수한 에폭시 볓싱에 절연(EPDM) 하우징을 조립하여 내후성 및 오손특성을 향상시킨 러버복싱을 개발한 바 있으며, 조립공정과 전기적 특성을 향상시킨 에폭시 볓싱과 폴리머 하우징을 일체형으로 설계하였다.

2. 본 론

2.1 설계목표

붓싱 interface의 국제규격인 IEEE 386 [1]과 국내 한국전력공사의 한전감정표준구매시방서인 25.8kV 가스절연부하개폐기(가공용)(PS 151-146,147,170~180) [2]를 기본으로 하여 다음 표 1과 같이 설계목표 특성치를 정하였으며 [3], 이를 기준으로 폴리머 볓싱을 설계하였다.

표 1. 설계기준

시험항목	설계기준	시험방법
AC(건조) 내전압	60 kV / 1분	KSC 4511 8.12
AC(주수) 내전압	50 kV / 10초	PS 151-170-180
충격 내전압	150 kV, 1.2 x 50 μ s	KSC 4511 8.12
부분방전 전압	19 kV / 3 pC	IEEE 386
수분침투	42시간 가열후 절연강도 확인	ANSI C29.11
내한성	-25°C, 12시간	KSC 4511 8.12
기계적 강도	300 N / 30회 (10 rpm)	KSC 4511 8.12
굽힘시험	1000 N 하중을 1분간	IEC 137 7항
내오손	0.5 mg/cm ²	PS 151-170-180
가스누설	1.0x10 ⁻⁶ cc/sec	PS 151-170-180
내트래킹 시험	4.5 kV, 6시간	IEC 60587
X-RAY 시험	기포 - 최대크기: 0.07 mm 허용수량: 0.05 mm 30개 / 16 π 이물질 - 최대크기: 0.25 mm 허용수량: 0.05 mm 15 개 / 16 π	PS 117-810-868 4.4항

2.2 기존제품 구조 해석

2.2.1 자기 볓싱 구조

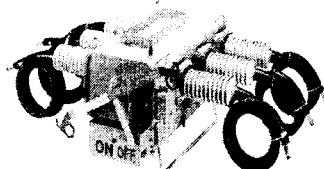


그림 1. 자기복싱 가공개폐기

> 사용상 문제점

- 1) 장시간 사용시 하중으로 인한 가스개폐기 탱크 이음부분의 가스 누설 발생 우려
- 2) 자기애관과 몰드콘 접합 시 계면 sealing 불확실
- 3) 외부 영향으로 깨짐 발생
- 4) 작업자의 조립 공정이 많음으로써 인건비 상승

2.2.2 러버붓싱 구조

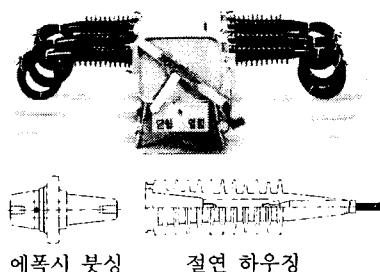


그림 2. 러버붓싱 가공개폐기

> 사용상 문제점

- 1) 에폭시 붓싱과 폴리머 하우징 조립 시 볼트 미조립에 의한 사고발생 우려
- 2) 고가의 제품으로 경제성이 없음

2.3 구조설계

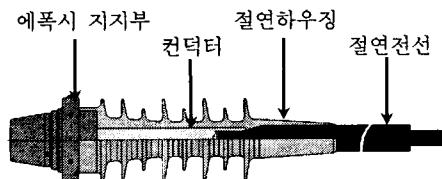


그림 3. 일체형 복합 붓싱 형상

2.3.1 에폭시 지지부

가공용 가스개폐기에 조립되는 밀봉 면의 신뢰성을 확보하기 위해 지지부의 재질을 기계적 강도 및 내한성이 우수하고 절연성능도 뛰어나며 옥외용으로 사용 가능한 에폭시를 사용하였고 SF₆ 가스가 새거나 공기가 스며들지 않도록 붓싱과 개폐기 외함 접합면에 o-ring의 조립구조와 전압 검출부(Voltage Sensor)를 내장하여 정전용량 값을 측정이 가능하도록 하였으며 전계완화 효과를 증대시키기 위해 스트레스 완화장치인 차폐링을 내장하는 구조로 설계하였다.

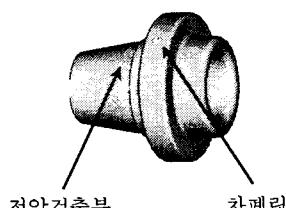


그림 4. 에폭시 지지부 형상

2.3.2 절연 하우징

내후성 및 내트래킹성, 발수성 등이 우수하고 절연성이 뛰어난 폴리머 절연재료를 사용하였으며 충분한 절

연두께와 절연거리를 확보하였다. 또한 신개념의 일체형 (solid core) 방식으로 설계하여 기존 러버 붓싱에서의 에폭시 붓싱과 절연하우징의 조립 실수로 인해 발생하는 사고의 요인을 완전히 해소하고 작업자의 조립공정을 줄이는 구조로 설계하였다.

2.3.3 슬리브

도전율과 기계적 강도가 우수한 동봉을 사용하여 굽힘 시험 등 설계기준에 적합하게 설계하였다.

2.3.4 절연전선

내트래킹성이 우수한 EPDM 절연전선을 사용하였다.

2.4 전계해석

일체형 복합 붓싱의 전계해석에는 축대칭좌표를 이용하고 유한요소법을 근거로 하는 프로그램인 Flux2d를 사용하였으며, 실사용 상태를 고려한 최적의 설계 여부를 검증하기 위해 가공용 개폐기 탱크에 조립되어진 실 사용상태에서 전계해석을 시행하였다. 또한 차폐링 사용 유무에 따라 전계해석을 비교하였다.

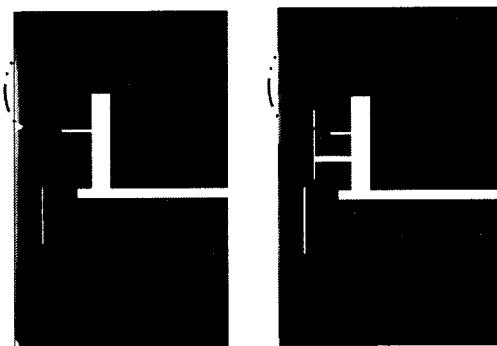


그림 5. 전계 분포도

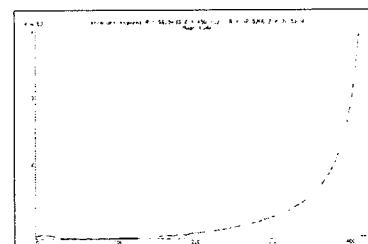


그림 6. 절연물 연면상 전계분포

경계조건은 일체형 복합 붓싱의 도전부(컨덕터)를 고전압측 전극으로 하고, 이 값을 상대적으로 100%의 전위 값을 설정하였다. 그리고 각각의 유전율을 갖도록 수치를 대입하였으며, 또한 절연(EPMR Rubber) 하우징의 종단은 자연경계(Open Boundary Condition, dΦ/dn=0)로 설정하여 해석하였다.

그림 5는 일체형 복합 붓싱에 대한 전계분포도를 나타내고 있으며 그림 6은 가공개폐기 탱크에 조립되는 일체형 복합 붓싱을 고압측에서 접지측까지 연면상의 전계분포를 나타낸 것이다.

전계해석 결과 접지부분에 전계가 밀집된 것을 볼 수 있으며 이를 보완하기 위해 전계밀집 부분을 절연두께 보강과 차폐링을 내장하였다.

2.5 특성평가

절연 EPDM 컴파운드 시험결과 및 시작품을 대상으로 전기적, 기계적 특성을 평가한 결과를 나타내었다.

2.5.1 절연 EPDM 컴파운드 설계기준 및 시험결과는 표 2와 같다.

표 2. 절연 EPDM 컴파운드 설계기준 및 시험결과

시험 항 목	설계기준	시험결과	적용규격	
인장강도($\text{kg}/\text{㎟}$)	40 이상	90	KS M6518	
신장율 (%)	200 이상	230		
경도 (Shore A)	75 ± 5	75		
비중	1.50 ± 0.1	1.50	ASTM D792	
비유전율	4.5 이하	3.7		
유전정점(%)	1.5 이하	0.70	ASTM D150	
절연과괴강도 ($\text{kV}/\text{㎟}$)	25 이상 (두께 : 1㎟)	29		
가열노화 (120℃ 120 h)	인장 강도	처음값의 80% 이상	94 %	KSC 3004
	신장율	처음값의 80% 이상	95 %	
체적저항율	1X10 ¹⁴ 이상	7.7 x 10 ¹⁵	ASTM D257	

2.5.2 일체형 복합 봇싱을 표 1. 설계기준에 준하여 성능평가 결과는 표 1에 적합하였다.

2.5.3 무전압 개폐 참고시험

가공용 가스개폐기의 ON/OFF 스위칭 성능확인을 하는 시험으로 가스개폐기에 실 조립한 후 무전압 상태에서 5,000회 스위칭 시험을 시행하였으며 시험결과 외관상으로 크랙이 발생하거나 손상 등이 없었고, 일체형 복합 봇싱을 분리한 후 부분방전, 가스누설 및 내전압 등 확인시험을 시행하여 내부 구조적으로도 문제가 없음을 확인하였다.

3. 결 론

현재 가공용 가스개폐기에 사용되는 봇싱은 자기애관에 몰드콘을 조립하여 접착제로 밀봉하는 봇싱 또는 애폭시 봇싱에 절연 하우징을 조립하는 러버 봇싱 등을 사용하고 있다.

러버 봇싱은 자기 봇싱에 비해 절연성능 및 발수성 등이 우수하나 원가 측면에서 다소 가격 경쟁력이 불리하여 확대 사용이 지연되고 있다. 그러므로 본 연구는 기존의 러버 봇싱의 단점을 보완하여 일체형 폴리머 복합 봇싱을 개발하고자 하였다.

일체형 폴리머 복합 봇싱은 애폭시 봇싱과 절연 하우징의 조립형 구조를 solid core 봇싱 구조로 변경하여 각종 절연사고가 발생할 수 있는 공간을 제거하였으며 조립 실수에 의한 사고발생의 원인을 원천적으로 해소하고 EPDM 절연전선을 절연하우징과 일체형으로 사출하여 생산성 향상시킴으로 원가를 절감하여 자기제 봇싱에 비해 열악한 가격 경쟁력을 향상시키고 신뢰성 있는 제품을 개발함으로써 배전선로의 전력기기 고품질화에 크게 기여할 것으로 기대한다.

[참 고 문 헌]

- [1] IEEE Standard for Separable Insulated Connector Systems for Power Distribution Systems Above 600V (IEEE Std 386-1995)
- [2] 한전남정표준구매시방서 25.8kV 가스절연부하개폐기(가공용) / PS 151-146-147, 170-180
- [3] Requirements for overhead, pad mounted, dry vault, and submersible automatic circuit reclosers and fault interrupters for ac systems (ANSI C 37.60)
- [4] Bushing for alternating voltages above 1000 V (IEC 137)
- [5] Design for High-Voltage Fuses, Distribution Enclosed Single-Pole Single-Pole Air Switches, Fuse Disconnecting Switches, and Accessories (IEEE Std C 37.41)