

가스 절연 개폐기 스페이서 내크랙성 향상을 위한 공정 최적화 연구

조진표*, 허혜민**, 현승균*, 김광희*
 *인하대학교 제조혁신전문대학원
 **(주)제일하이텍
 e-mail:realwind@inha.ac.kr

A Study on Process Optimization to Improve Crack Resistance of Spacer of Gas Insulated Switchgear

Jin-Pyo Cho*, Hye-min Heo**, Seung-Gyun Hyun*, Kwang-Hee Kim*
 *Manufacturing Innovation School, Inha University
 **Jeil Hi-Tech

요약

전력 수요의 급증과 도시 집중화에 따른 전력 설비의 대용량, 고전압 및 소형화 개발이 활발 짐에 따른 고전압의 전력을 안전하게 관리하고 운전 및 보수가 용이한 가스절연 개폐기의 에폭시 절연재료 개발을 위한 첨가제 변경 시험을 통하여 내크랙성 개선 공정 최적화 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 에폭시의 크랙 지수는 아크릴 코아셀 고무 첨가량이 클수록 증가하는 경향을 보였으며, 고무 첨가량 20% 경우 2.82(KIC)로 가장 큰 값을 나타내으며, 에폭시의 굴곡강도는 아크릴 코아셀 고무 첨가량이 클수록 증가하는 경향을 보이다가 10% 이상 부터는 증가세가 미미하였으며, 고무 첨가량 20% 경우 951.7(kg/cm²)로 가장 큰 값을 나타내었다. 점도는 아크릴 코아셀 고무 첨가량이 클수록 증가하는 경향을 보였으며, 고무 첨가량 20% 경우 29,200 cps로 가장 큰 값을 나타내고, 점도는 아크릴 코아셀 고무 첨가량에 따라서 각각 다른 결과를 보였으며 특별한 경향은 없었고, 고무 첨가량 5% 경우 143.3(°C)로 가장 높은 값을 나타내었다. 에폭시의 선펡창계수는 아크릴 코아셀 고무를 첨가량이 클수록 증가하는 경향을 보였으며, 고무 첨가량 20% 경우 33.4로 가장 큰 값을 나타내었다. 시험 결과 아크릴 코아셀 고무 함량이 증가할수록 크랙지수(KIC) 값은 향상되지만, 반대로 선펡창계수와 점도 값이 높아지는 문제가 발생하여 제반 물성을 고려해 볼 때 코아셀 고무를의 최적 첨가량은 10% 첨가 시 가장 적합하였다.

1. 서론

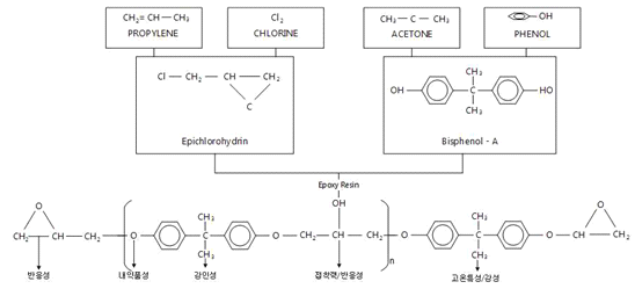
4차 산업혁명의 급속한 확대는 많은 유무선 정보 통신의 사용을 확대 시켰고 순간 전력 수요가 급증함에 따라 전송 전압이 상승하고, 인구의 도시 집중화에 따른 요구 전력 증가에 따른 도심 주변의 전력 설비의 대용량, 고전압화는 물론 옥내 설치를 위한 소형화 개발이 활발해 지고 있다. 따라서, 고전압의 전력을 안전하게 관리하고 운전 및 보수가 용이한 가스절연 개폐기의 사용이 증가하고 있으며 차단기의 절연을 유지하는 절연재료는 기계적, 전기적 차단 기능이 우수한 에폭시 수지가 사용되고 있다. 에폭시 수지 조성 주요 물질로는 나노 크기의 실리카, 알루미늄 등의 조성 배합량이 주요 전기적, 구조적 성능과 내열성, 내크랙성등의 품질에 주요 인자로 인식되고 있어 본 논문에서 주요 조성 인자의 조합비율 변경에 따른 공정 최적화 조건을 검토해 보고자 한다.

2. 시험재료 및 시험방법

2.1 실험재료

2.1.1 에폭시 수지 주요특성

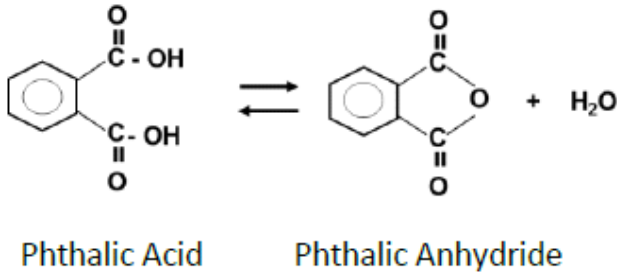
가스절연 개폐기의 절연체인 에폭시 수지는 두 개의 탄소 원자와 한 개의 산소원자로 된 산원환 고리 구조를 가지고 있으며, 산소 원자는 두 개의 치환기로 둘러싸여 있다. 에폭시 수지 제조 공정은 나노크기의 실리카 알루미늄을 혼합하여 경화 과정을 거쳐 주변에 결합된 다른 원소들과 화합함으로써 3차원 환형환을 형성하는 무정형 고분자로 재결합 형성된다. 에폭시 수지는 화학적, 전기적 안정성으로 다양한 용도로 사용되고 있으며, 접착제, 코팅제, 절연재등 산업 전분야에 사용되고 있어 고유한 품질유지를 위한 화학 조성 및 성질 확인이 필요하다.



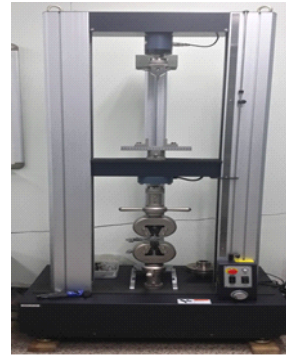
[그림 1] 비스페놀 A형 에폭시수지 삼원환 분자 구조

2.1.2 에폭시 수지 경화반응

에폭시 수지는 전기적, 기계적 안정성이 우수하고, 제품 성형후에 자체 수축이 크지 않아 형상 유지가 뛰어난 장점이 있는 반면에 무극성으로 고분자간의 접착성이 떨어져 경화시간이 길어져 빠른 경화를 위한 경화제 첨가 제조가 필요하다. 에폭시 수지는 경화 과정에서 열 및 화학적 개방 활성화를 통하여 강력한 내식성 및 고성능 고분자로 제조성된다.



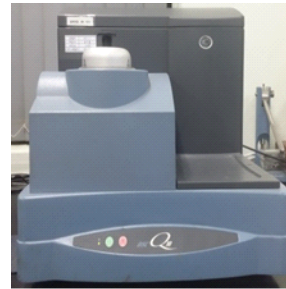
[그림 2] 무수물(anhydrides) 경화제 수분제거



(a) UTM(만능재료시험기)



(b) 디지털 점도계



(c) 시차주사 열량계



(d) 시험시편

[그림 3] 시험장치 및 시편

2.2 실험장치 및 실험방법

에폭시 수지의 조성 품질 확인을 위해서는 최종 개발 제품에 대한 성능시험을 수행해야 한다. 시험 항목으로는 크랙지수(K_{IC}), 굴곡강도(kg/cm²), 점도(25°C, cps), 유리전이온도(°C) 시험이 있으며 성능 시험을 통하여 공정별 최적 품질의 제품을 확인해야 한다. 본 연구에서는 아크릴(Acrylic) 코아셀 고무와 MBS(Methylmethacrylate butadiene styene) 코아셀 고무를 선정하여 에폭시 수지대비 10% 첨가량을 기준으로 4가지 항목의 시험을 수행 하였다.

크랙지수(K_{IC}), 굴곡강도(kg/cm²) 시험은 인스트롱사의 UTM(만능재료시험기)를 사용하여 측정하였다. 점도(25°C, cps)측정은 브룩필드 디지털 점도계를 사용하였고, 유리전이 온도(°C) 시험은 TA instruments(USA)사의 DSC 시차주사 열량계를 사용하였다.

3. 시험결과

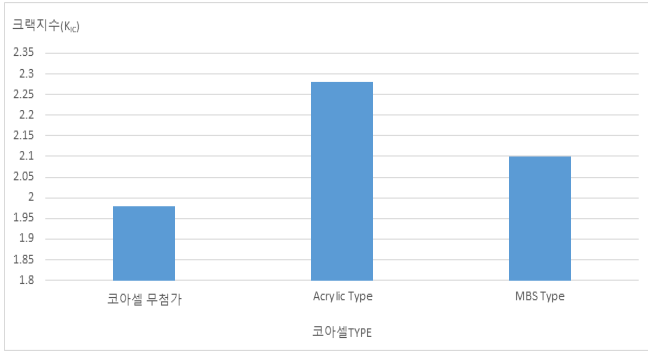
3.1 코아셀 고무 변경시험

본 연구에서는 아크릴(Acrylic) 코아셀 고무와 MBS (Methylmethacrylate butadiene styene) 코아셀 고무를 선정하여 첨가량을 변경시켜가며 4가지 항목의 시험을 수행 하였다. 시험 결과는 [표 1]에 나타내었다.

[표 1] 코아셀 고무별 시험결과

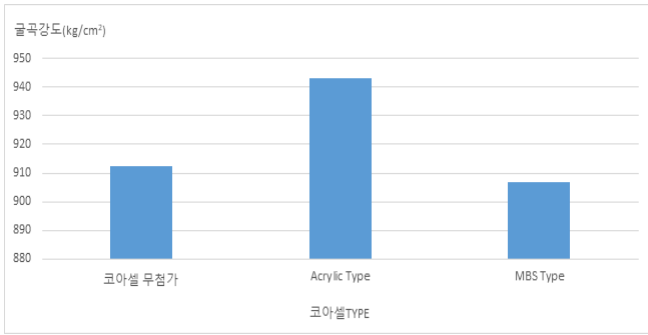
시험항목	코아셀TYPE		
	코아셀 무첨가	Acrylic Type	MBS Type
크랙지수(K _{IC})	1.98	2.28	2.10
굴곡강도(kg/cm ²)	912.3	943.2	906.8
점도(25°C, cps)	13,700	25,000	72,000
유리전이온도(°C)	142.1	139.9	139.5

고무의 크랙 지수는 코아셀 무첨가 1.98 K_{IC}, MBS Type 2.10 K_{IC}, Acrylic Type은 2.28 K_{IC} 순으로 나타 났으며, Acrylic Type의 경우가 가장 큰 값을 나타내었다.



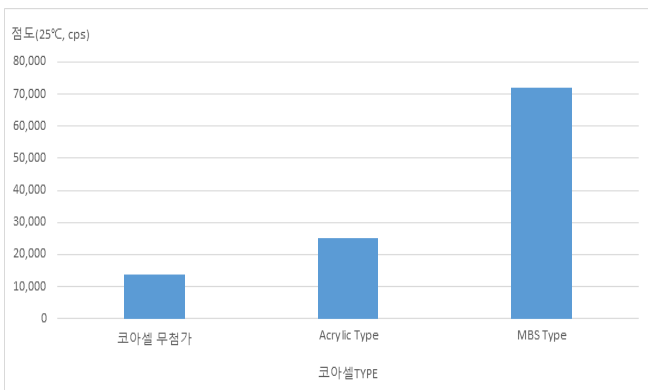
[그림 4] 코아셀 고무별 크랙지수

굴곡강도는 MBS Type은 906.8 kg/cm², 코아셀 무첨가는 912.3 kg/cm², Acrylic Type은 943.2 kg/cm² 순으로 나타났으며, Acrylic Type의 경우가 가장 큰 값을 나타내었다.



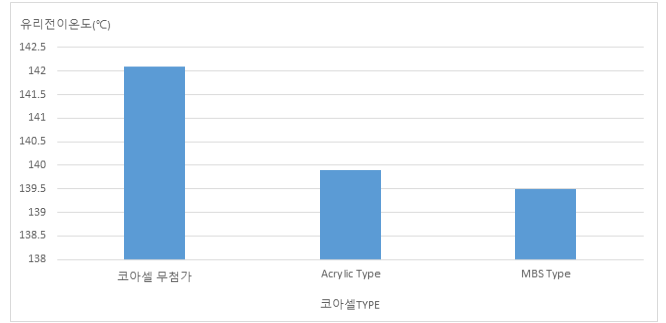
[그림 5] 코아셀 고무별 굴곡강도

25℃ 온도에서 점도는 코아셀 무첨가는 13,700 cps, Acrylic Type은 25,000 cps, MBS Type은 72,000 cps, 순으로 나타났으며, MBS Type의 경우 높은 점도가 형성되었다.



[그림 6] 코아셀 고무별 점도(25°C, cps)

유리전이온도(℃)는 코아셀 무첨가 142.1 ℃로 가장 높은 온도를 나타냈으며, MBS Type 139.9 ℃, Acrylic Type은 139.5 ℃ 유사한 결과를 보였다.



[그림 7] 코아셀 고무별 유리전이온도(℃)

시험 결과를 바탕으로 에폭시 수지에 코아셀 고무 첨가 시 점도 상승이 크지 않으면서 크랙지수(K_{IC}) 값 향상이 가장 좋은 아크릴 코아셀 고무를 적용키로 선정하였다.

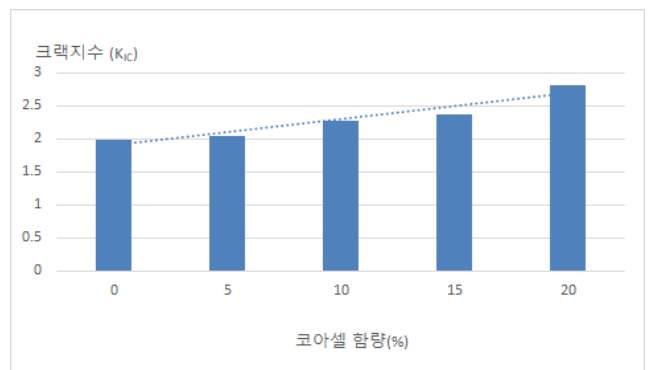
3.2 아크릴 코아셀 고무 첨가량 변경시험

아크릴 코아셀 고무의 최적 첨가량을 얻기 위해 고무 첨가량을 변화시켜가면서 성능시험을 수행하였다. 항목별 크랙지수(K_{IC}), 굴곡강도(kg/cm²), 점도(25℃, cps), 유리전이온도(℃), 선팽창계수시험을 수행 하였으며 시험 결과는 [표 2]와 같다.

[표 2] 아크릴 코아셀 고무 첨가량 변경 시험 결과

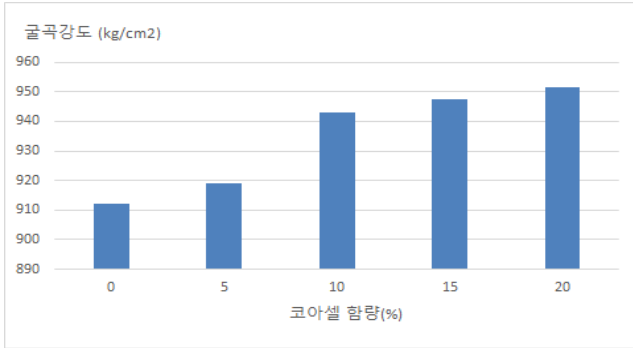
시험항목	코아셀 고무 첨가량(에폭시 수지 기준)				
	0%	5%	10%	15%	20%
크랙지수 (K _{IC})	1.98	2.05	2.28	2.37	2.82
굴곡강도 (kg/cm ²)	912.3	919.1	943.2	947.3	951.7
점도 (25°C, cps)	13,700	19,400	25,000	27,600	29,400
유리전이온도 (°C)	142.1	143.3	139.9	143.0	143.1
선팽창계수(-20~100°C)	30.7	30.7	31.6	31.9	33.4

에폭시의 크랙 지수는 코아셀 고무 첨가량이 클수록 증가하는 경향을 보였으며, 고무 첨가량 20% 경우 2.82(K_{IC})로 가장 큰 값을 나타내었다.



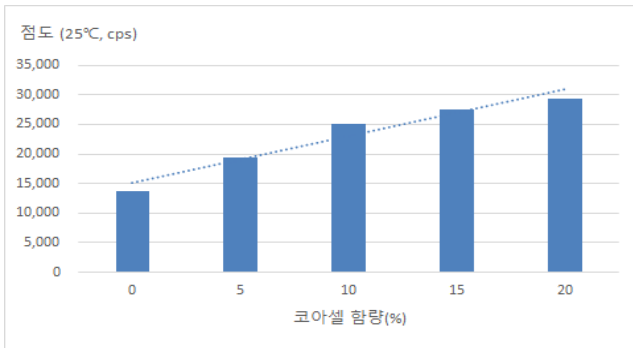
[그림 8] 아크릴 코아셀 고무 첨가량에 따른 크랙지수

에폭시의 굴곡강도는 코아셀 고무 첨가량이 클수록 증가하는 경향을 보이다가 10 % 이상 부터는 증가세가 미미하였으며, 고무 첨가량 20 % 경우 951.7(kg/cm²)로 가장 큰 값을 나타내었다.



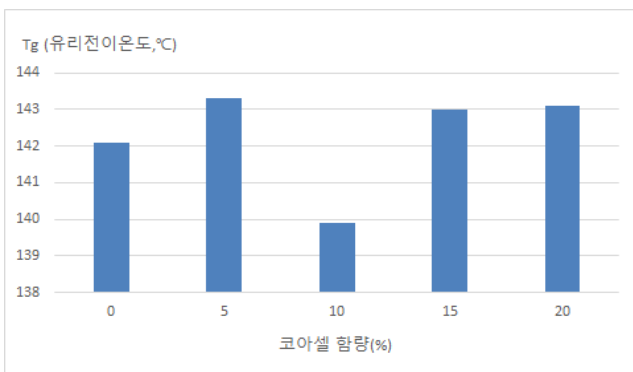
[그림 9] 아크릴 코아셀 고무 첨가량에 따른 굴곡강도

에폭시의 점도는 코아셀 고무 첨가량이 클수록 증가하는 경향을 보였으며, 고무 첨가량 20% 경우 29,200 cps로 가장 큰 값을 나타내었다.



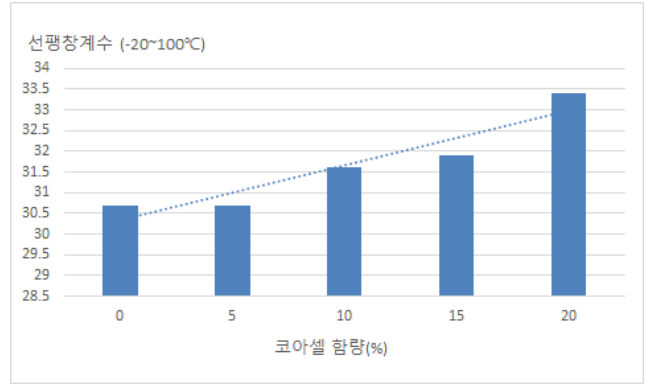
[그림 10] 아크릴 코아셀 고무 첨가량에 따른 점도

에폭시의 유리전이온도는 코아셀 고무 첨가량에 따라서 각각 다른 결과를 보였으며 특별한 경향은 없었다. 고무 첨가량 5% 경우 143.3(°C)로 가장 높은 값을 나타내었다.



[그림 11] 아크릴 코아셀 고무 첨가량에 따른 유리전이온도

에폭시의 선팅창계수는 코아셀 고무의 첨가량이 클수록 증가하는 경향을 보였으며, 고무 첨가량 20% 경우 33.4로 가장 큰 값을 나타내었다.



[그림 12] 아크릴 코아셀 고무 첨가량에 따른 선팅창계수

시험 결과 아크릴 코아셀 고무 함량이 증가할수록 크랙지수(K_{IC}) 값은 향상되지만, 반대로 선팅창계수와 점도 값이 높아지는 문제가 발생하여 제반 물성을 고려해 볼 때 코아셀 고무를 최적 첨가량은 10% 첨가 시 가장 적합하였다.

4. 결론

본 연구에서는 가스 절연 개폐기용 에폭시 성형재료의 내크랙성 향상을 위한 코아셀 고무 변경시험을 진행하였다. 아크릴(Acrylic) 코아셀 고무와 MBS(Methylmethacrylate butadiene styene) 코아셀 고무를 선정하여 에폭시 수지 대비 10% 첨가량을 기준으로 4가지 항목의 시험을 수행 하였다. 시험결과 물성 조건이 좋은 아크릴 코아셀 고무를 첨가량 변경에 따른 에폭시 수지의 물성평가를 수행하였다. 주된 결과는 다음과 같다.

에폭시의 크랙 지수는 아크릴 코아셀 고무 첨가량이 클수록 증가하는 경향을 보였으며, 고무 첨가량 20% 경우 2.82(K_{IC})로 가장 큰 값을 나타내었으며, 에폭시의 굴곡강도는 아크릴 코아셀 고무 첨가량이 클수록 증가하는 경향을 보이다가 10 % 이상 부터는 증가세가 미미하였으며, 고무 첨가량 20 % 경우 951.7(kg/cm²)로 가장 큰 값을 나타내었다.

점도는 아크릴 코아셀 고무 첨가량이 클수록 증가하는 경향을 보였으며, 고무 첨가량 20% 경우 29,200 cps로 가장 큰 값을 나타내고, 점도는 아크릴 코아셀 고무 첨가량에 따라서 각각 다른 결과를 보였으며 특별한 경향은 없었고, 고무 첨가량 5% 경우 143.3(°C)로 가장 높은 값을 나타내었다.

에폭시의 선팅창계수는 아크릴 코아셀 고무를의 첨가량이 클수록 증가하는 경향을 보였으며, 고무 첨가량 20% 경우 33.4로 가장 큰 값을 나타내었다.

시험 결과 아크릴 코아셀 고무 함량이 증가할수록 크랙지수(K_{IC}) 값은 향상되지만, 반대로 선팅창계수와 점도 값이 높아지는 문제가 발생하여 제반 물성을 고려해 볼 때 코아셀 고무를의 최적 첨가량은 10% 첨가 시 가장 적합하였다.

참고문헌

[1] 서왕벽. (2007). "170kV급 GIS용 절연스페이서의 수명평가 및 신뢰성향상". 2007; 산업자원부.