

철도신호 변압기용 에폭시 수지의 전기적 특성

Electrical Properties of Epoxy Resin for Rail Road Signal Transformer

홍성모*, 송정우*, 김탁용*, 신종열**, 김왕곤***, 홍진웅*

Sung-Mo Hong, Jung-Woo Song, Tak-Yong Kim, Jong-Yeol Shin, Wang-Gon Kim, Jin-Woong Hong

Abstract

In this paper, the electrical properties due to epoxy resin used in transformer of rail road signal are studied. The specimen of epoxy resin was hardened as each 3[h], 4[h], 5[h] in this experiment. In order to measure the conductivity properties, the highmegohm meter is used at temperature 25 to 140[°C] and applying voltage 100 to 1000[V]. As a result of this experiment, we confirmed that 3[h] specimen is better than the others.

Key Words(중요용어) : conductivity properties, epoxy resin, transformer of rail road signal

1. 서론

최근 경제발전과 산업발달로 물동량이 크게 증가한데 비해 교통기반시설이 크게 부족, 물류비가 매년 십수%씩 증가하여 국제경쟁력이 점점 약화되고 있다. 이에 부응하기 위하여 광역 전철망의 확충, 고속전철의 건설 등이 전개되고 있다. 그러나 증가되는 용량과 신설되는 설비로 인하여 배선선로가 복잡해지고, 송배전전압의 고압화에 따른 전력설비의 증가와 기계적 진동, 전자력, 열용력 및 고온에서 저온으로 변화되는 환경변화의 확대 등으로 전원설비의 절연성능이 악화되고 있다. 따라서 안정된 전원 확보와 외부 환경으로부터 영향을 최소화하기 위하여 선진국에서는 고전압 변성기기 절연을 액체에서 건식이나 몰드 수지를 사용 몰딩(Molding)하여 절연하는 방법이 널리 사용되고 있다. 그러나 국내실정은 epoxy 수지절연물에 대한 전문지식과 성형기술의 부족으로 변성기기내 전계분포의 일그러짐과 부분방전 등으로 전기적, 기계적 특성이 낮아져서 경년 변화

에 대해 제 특성을 발휘하지 못하고 고장이 자주 발생한다. 따라서 본 연구에서는 현재 철도 신호용 변압기는 절연등급 F종으로 몰드 절연 재료로 사용되는 에폭시를 시료로 선택하여 사용 온도와 인가 전압에 따른 전기적 특성을 조사하기 위하여 측정 온도범위 25 [°C]~140 [°C]와 전압 범위 100 [V]~1,000[V]에서 절연성을 나타내는 체적고유저항 특성에 대하여 시험한 결과를 보고한다.

2. 시료 및 실험

2.1 시료

철도 신호 변압기용 에폭시는 표1과 같이 혼합하고, 경화는 시료 제작시 내부의 기포를 최대한 없애기 위하여 표2와 같이 온도에 따른 경화시간을 준 후 체적고유저항 특성을 조사하였다.

표 1. 시료의 조성비

수 지	조성비
주제(LMW 882)	100 [Wt %]
경화제(HY 918)	90 [Wt %]
촉진제(DY 062)	2 [Wt %]

* 광운대학교 전기공학과
 Fax: 02-915-4630
 E-mail : ealab@daisy.gwu.ac.kr
 ** 삼육의명대학 자동차과
 *** 서울산업대학교 전기공학과

표 2. 시료의 구분

구분		시료 1	시료 2	시료 3
경화	온도			
예비	65[°C]	30 [min]	30 [min]	30 [min]
1차	80[°C]	30 [min]	30 [min]	30 [min]
2차	140[°C]	180 [min]	240 [min]	300 [min]

2-2. 실험

체적고유저항은 절연성을 파악하는 시험법으로, 광범위한 온도범위에서 측정하고, 인가전압은 직류 100[V]에서 1000[V]를 인가한 후, 누설전류가 흐르는 것을 조사하기 위하여 전압인가 1, 5, 10분 후 체적고유저항을 측정하였으며, 장치도는 그림 1과 같다.

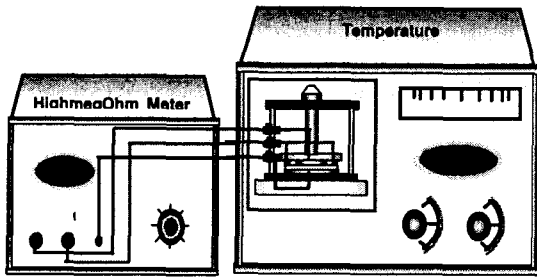


그림 1. 체적고유저항 측정장치

3. 실험결과 및 검토

3.1 체적고유저항의 온도의존특성

그림 2, 3, 4는 체적고유저항의 온도 의존특성을 나타낸 그림들이다.

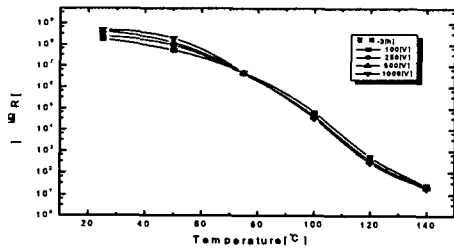


그림 2. 체적고유저항의 온도 의존성 (3 [h])

그림 2는 4시간 경화된 시료의 온도의존 특성으로, 온도 영역을 저온 영역과 고온 영역으로 나누어 보면 60[°C]이하의 저온 영역에서 체적고유저항은 매우 약하게 감소를 보이다가 측정온도가 상승되면 매우 급하게 저하됨을 알 수가 있는데, 이는 증가된 열에너지로 도전성 캐리어들을 활성화시키기 때문에 체적고유저항이 온도의 증가에 따라 크게 감소함을 알

수 있다. 특히 75[°C]를 경계로 저온 영역에서는 전압이 낮을수록 체적고유저항이 낮으나, 고온 영역에서는 전압이 높을수록 체적고유저항 값이 낮음을 알 수 있는데, 이것은 저온 영역의 경우는 시료내 이온이나 불순물들이 전기전도에 기여하는데 시료의 절연성이 우수하여 전계 에너지 보다 열에너지의 기여가 크기 때문으로 사료되며, 그러나 80[°C] 이상 고온영역에서는 인가전계에 따라 캐리어의 밀도가 증가하고 이동이 용이하기 때문에 낮은 전압인가시의 체적고유저항이 우수하며, 또한 고온에서 높은 전압을 인가하면 전극으로부터의 전자 주입이 용이해져 체적고유저항 값이 낮아지는데, 이때 전계 에너지 보다 높은 열에너지로 인하여 절연저항의 크기는 거의 같은 것으로 사료된다.

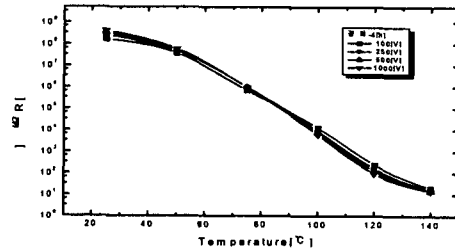


그림 3. 체적고유저항 온도 의존성 (4 [h])

그림 3은 Epoxy 수지를 4시간 경화한 시료의 체적고유저항의 온도 의존성을 나타낸 그림이다. 저온영역에서 특성은 3시간 경화한 시료보다 약간 급하게 선형적인 감소를 보이다가 측정온도가 상승되면 매우 급하게 저하됨을 알 수 있다. 특히 85[°C] 부근에서 인가전압에 따른 체적고유저항값의 변곡온도점이 나타난다. 이는 긴 경화시간으로 시료의 경화가 진행되어서 변곡점이 상승되는 것으로 사료된다.

그림 4는 저온영역에서 체적고유저항은 앞에서 언급한 시료보다 더욱 급하게 감소되는데, 이것은 긴 시간 경화로 인하여 시료내부에 이온이나 결함이 증가되어 캐리어 밀도의 상승으로 체적고유저항이 급하게 감소한다. 그리고 95[°C] 부근에서 온도 변곡점이 나타나는데, 이것은 경화시간이 길어짐에 따라 시료의 경화도가 증가되었고, 또한 고온영역에서 체적고유저항 값의 분산이 나타나는데, 이것은 경화시간이 길어짐에 따라 시료내부에 결함과 열 열화가 증가된 것으로 사료된다.

한편 경화 시간이 3시간에서 5시간으로 증가함에 따라 온도 변곡점이 온도가 75[°C], 85[°C], 95[°C]로 증가하는데 이는 물성의 변화로 사료된다.

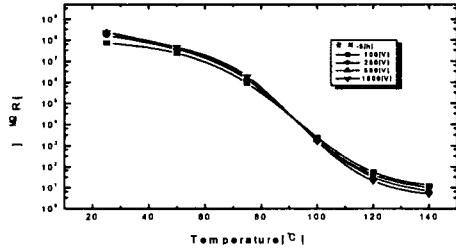


그림 4. 체적고유저항 온도 의존성 (5 [h])

3-2. 전압 전류특성

그림 5, 6, 7은 시료 전압-전류특성을 조사한 그림들이다.

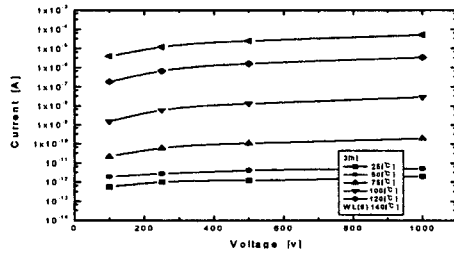


그림 5. 전압 전류특성 (3 [h])

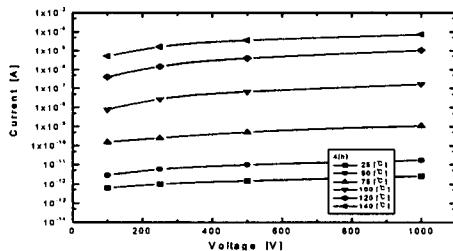


그림 6. 전압 전류특성 (4 [h])

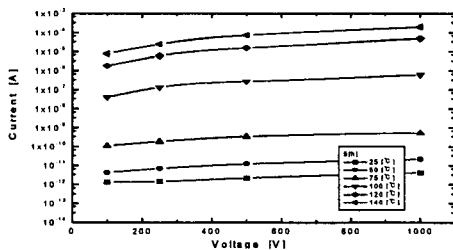


그림 7. 전압 전류특성 (5 [h])

그림 5는 3시간 경화된 시료의 전도특성을 나타낸 그림으로 60[°C]이하 저온 영역에서는 인가전압에 따라 크게 증가하지 않으나, 고온 영역에서는 인가전압에 따라 크게 증가됨을 확인 할 수 있다. 그림 6, 7은 4시간과 5시간 경화시킨 시료의 전압 전류특성으로 저온 영역에서는 인가 전압에 따라 매우 약하게 증가되지만, 고온 영역에서는 전압의 증가에 따라 매우 크게 증가됨을 확인 할 수 있다. 특히 측정 온도가 높아지면 인가된 열에너지의 기여로 매우 커지는 것을 알 수 있다. 한편 3시간 4시간 그리고 5시간 경화된 시료의 활성화 에너지는 표 3과 같다.

표 3. 시료의 활성화 에너지

구분	저온영역 [eV]	고온영역 [eV]
3 [h]	0.37	2.40
4 [h]	0.58	2.12
5 [h]	0.51	2.36

3-3. 전도특성

그림 8, 그림 9, 그림 10은 인가전계에 대한 전류 밀도를 시험한 그림들이다.

그림 8은 제작된 시료의 전도특성을 실온영역에서 나타낸 그림으로 경화 시간이 길어짐에 따라 전류 밀도가 약간 커지는 것을 확인할 수 있다. 이것은 경화시간이 길어지면 시료의 경화도는 증가되지만, 열 열화로 인하여 시료 내부에 결함과 이온들이 생성되어 도전성이 커짐을 확인할 수 있다.

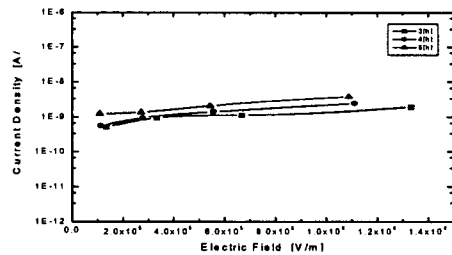


그림 8. 전도 특성(25 [°C])

철도 신호용 몰드변압기의 절연등급은 F종으로 철도용품 표준규격(몰드변압기)에 규정되어 있는데, 이 몰드변압기의 권선 온도상승은 IEC 규정에는 A종 60[°C], E종 75[°C], B종 80[°C], F종 100[°C], H종 125/150[°C]로 규정되고, JEC의 규정에는 A종 55[°C], E종 70[°C], B종 75[°C], F종 95[°C], H종 120[°C]로 약간 차이가 있는데, 우리나라 KS 규정은 IEC에 같으며, 철도용품 표준규격은 KS, IEC, JEM

규정을 적용한다.

따라서 그림 9에서 알 수 있듯이 측정온도 100[°C]에서 실험함으로써 절연물의 최고 허용온도범위에서 시료의 절연성을 평가 할 수 있다.

그림에서 2차 경화 시간이 길어짐에 따라 절연성이 낮아짐을 확인할 수 있는데, 이것은 경화시간이 3시간에서 5시간으로 길어짐에 따라 전도도가 같은 비율로 커지고, 인가전계에 따라 저전계에서는 고전계 영역보다 급하게 상승되는데, 이것은 이온들과 캐리어들이 저전계에서 활성화되어 전기 전도에 기여하기 때문으로 사료된다.

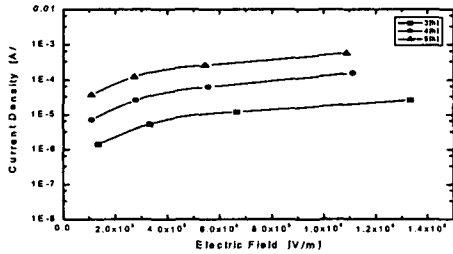


그림 9. 전도 특성(100 [°C])

그림 10은 측정온도 120[°C]에서 시료의 전도 특성을 나타낸 그림으로 변압기가 과부하나 순간적으로 온도가 상승시의 절연성을 조사하기 위한 그림으로 고전계 영역에서 전류밀도는 100[°C] 보다 수십배 커짐을 확인할 수 있는데, 이것은 캐리어의 밀도가 전극에서 Schottky effect에 의한 열 전자 방출에 의한 전자주입 및 벌크 내부에 캐리어가 증가되기 때문이다. 같은 전극의 일 함수에 대하여 온도가 110[%] 증가함으로 전자주입이 용이해져 캐리어의 밀도가 상승해졌기 때문이다.

결과로부터 2차경화 시간은 3시간이 가장 전기절연성이 우수하며 생산성도 높은 것으로 사료된다.

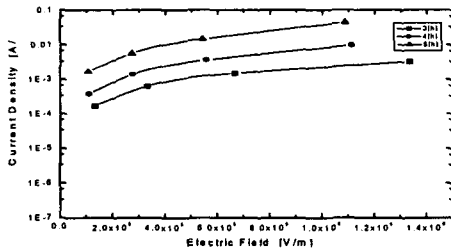


그림 10. 전도 특성(120 [°C])

4. 결론

철도신호 변압기용 에폭시 수지의 체적고유저항 특성을 측정온도범위 25 [°C]~ 140 [°C]와 전압 범위 100 [V]~1,000[V]에서 실험한 결과

1. 체적고유저항의 온도 변곡점은 경화시간의 증가에 따라 고온측으로 이동함을 확인하였다.
2. 전압 전류특성의 저온영역에서는 전계의 영향이 적으나, 고온영역에서는 캐리어의 주입이 용이해져 크게 의존한다.
3. 전도특성에서 경화 시간에 따른 활성화 에너지는 저온영역에서는 0.37 ~ 0.58 [eV], 고온영역에서는 2.21 ~ 2.40 [eV]를 각각 얻었다.
4. 2차 경화시간이 길어지면 열 열화와 결합의 증가로 절연성이 낮아진다.
5. 절연물의 최고 허용온도 이상에서 측정된 절연 성능은 3시간 경화시료가 우수함을 확인하였다.

참고 문헌

- [1]. X. M. Chen and B. Ellis, "Coatings and Other Applications of Epoxy Resins :Chemistry and Technology of Epoxy Resins", Blackie Academic & Professional, pp.771-941, 1993.
- [2]. Y. Tanaka, "Synthesis and Characteristics of Epoxides : Epoxy Resins, Chemistry and Technology, Clayton A. May Ed. ." Marcel Dekker, Inc., pp. 9-284, 1973.
- [3]. 철도청, 철도용품 표준규격(몰드변압기) 1999. 6. 14
- [4]. 한국표준협회, KS C 4311, 1997.
- [5]. R. Lovell, "The effect of Specimen Size on the Electric Breakdown of unfilled and filled Epoxy Polymer" IBID, EI-11, p.110, 1976.
- [6]. N. Shito, "Electrical and Mechanical Properties of Anhydride cured Epoxy Resin", J. Polym. Sci., Part C, No.16, pp.1069-1078, 1967.
- [7]. 金博允, "에폭시 樹脂", 大光 書林, pp.55-86. 1989.