페놀수지 표면의 탄화도전로 생성과 분석

노영수*·박상택·김전원·송길목**
*숭실대학교 전기공학부·**전기안전연구원

The Analysis and Formation of Conductivity Path at Surface of Phenolic Resin

Young-Su, Roh*·Sang-Taek, Park·Jun-Won, Kim·Kil-Mok, Shong**
*Soongsil Univ.·**KESCO-ESRI

Abstract - Recently, the dependence of the electric energy is increased in accordance with a growth of industry. Therefore, scientific investigation is needed for the security of electrical safety and the judgement of accident causes. Accordingly, this paper consist of the analysis for the carbonization patterns of phenolic resin and the mechanism. As the follows, spider-legs as a carbide are generated around the rods, when the electric current flows on the surface of phenolic resin. The IR absorption peak generated by the thermal effects is appeared at about 1720cm^{-1}.

As the case of Joule's heat, the crystal of a carbide is generated beca use of the rarefied oxygen. It's estimated that the formation of carboniza tion conductivity as the currents are easily flowed.

1. 서 론

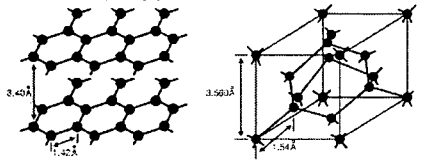
산업발달과 더불어 전기에너지의 의존도가 증가하고 있으며, 이에 따라 전기안전 확보와 사고원인에 대한 과학적 규명이 요구되고 있다. 따라서 전기안전은 국가의 경제적 수준과도 무관하지 않으며, 총발전량의 증가에 따른 전기안전서비스의 중요성이 커지고 있는 추세이다. 따라서 전기설비의 안전한 운용과 산업경제 발달에 저해되는 전기재해를 예방하기 위한 다각적인 노력이 요구된다[1],[2].

따라서 본 논문에서는 페놀수지의 탄화패턴을 분석하여 전기화재 연구자료로서 활용하도록 구성되었다. 연구의 범위는 국내외 자료수집 및 연구계획 수행, 페놀수지의 탄화 변이 분석, 재료의 기초특성 및 탄화특성 분석, 탄화도전로의 방향성에 대한 분석의 순서에 의해 기술하였다.

2. 본 론

2.1 유기절연재료의 탄화특성

탄화될 때 절연재료의 주 원소는 탄소(C; carbon)로서 주기율표 제4B족에 속하는 비금속원소로서 원자번호 6, 원자량 12.011인 것을 말한다. 일반적으로 녹는 점은 비결정형인 경우 3,550℃이고, 끓는 점은 4,827℃의 고온에서 나타난다. 흑연은 산소 속에서 600~700℃로 가열하면 이산화탄소(CO_2)가 된다. 다이아몬드는 공기를 차단하여 2000℃로 강하게 가열하면 흑연이 되는데, 공기 중에서는 700~900℃에서 연소한다. 탄소의 동소체로서는 비결정성 탄소, 흑연, 다이아몬드 이외에도 사슬(normal chain)모양의 탄소분자로 이루어진 것도 있다[3].



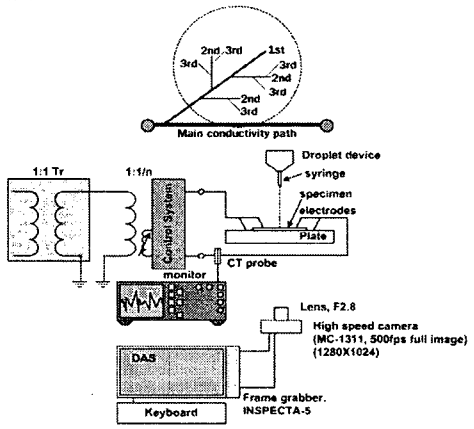
(a) 흑연 (b) 다이아몬드

<그림 1> 탄소의 결정구조

통상 실용적으로 제공되는 탄소질은 700~1,400℃, 흑연질은 2,500℃ 이상 3,000℃ 전후에서 열처리한 것이 많다. 유기질 절연재료의 경우 탄소질로서 결정구조는 비정질의 형태를 하고 있으며 절연성을 가지고 있다. 흑연질은 결정형으로 절연성이 낮아 전기가 흐르는 도전성을 가지고 있다. 다이아몬드는 흑연질과 같은 결정형이지만 절연성은 매우 높은 것을 알려져 있다[4],[5].

2.2 실험방법 및 구성

본 연구의 실험방법은 크게 3가지의 목적성을 가지고 구성되었다. 가장 우선적으로 페놀수지(bakelite)에 대한 재료에 대한 기초자료와 평가가 이루어질 수 있도록 하였다. 이를 위해서 실험을 통해 외부 열에 의한 탄화와 전기에너지에 의한 탄화 패턴을 비교하였다. 탄화된 재료는 광학현미경을 이용한 절연재료의 표면조직을 분석하고, 화학적 표면구조 특성을 분석하는데 이용되었다. 이를 통해 유기절연재료의 탄화 변이를 분석하고자 한다. 두 번째로는 실험 진행에 있어서 고속촬영을 이용한 탄화발생 패턴의 시차적 분석을 실시하고, 탄화 도전로의 분기(branches)에 대한 해석과 채널 결정과 전기사고 분석기술을 정립하고자 한다. 그림 2는 실험장치의 개략도를 나타낸 것으로 절연재료 표면에서 누설전류가 흘러 탄화될 수 있도록 실험을 구성하였다.



<그림 2> 실험구성 개략도

실험에 이용된 전류는 각각 0.55A, 1.10A, 2.20A로서 전류가 증가하면서 표면에 탄화되는 과정을 분석하고자 한다.

2.3 실험결과 및 토론

2.3.1 탄화도전로 형성과정 촬영

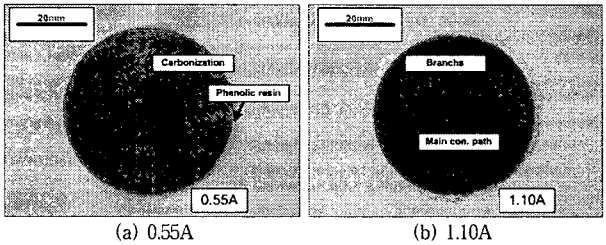
그림 3은 탄화도전로가 전극사이에서 형성되는 과정을 촬영한 것이다.

<그림 3> 전극간 탄화도전로 형성

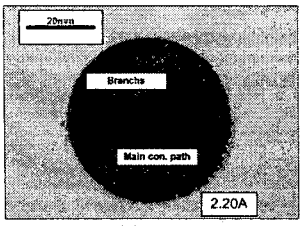
그림에서 알 수 있듯이 주 방전로를 중심으로 줄열에 의한 탄화가 진전되면서 아크가 발생하는 것을 나타낸 것이다. 또한 전극 주변에 주방전로 이외의 분기방전로가 형성되어 있는 것으로 주방전로가 형성되기 까지 왕성하게 진행된 흔적을 확인할 수 있다.

2.3.2 탄화시료의 외형분석

그림 4는 0.55A, 1.10A, 2.20A의 전류가 도달할 때 까지 생성된 탄화도전로의 외형 이미지를 비교한 것이다. 그림 4(a)는 0.55A의 전류가 공급될 때까지 탄화도전로의 형성을 지속시킨 것으로 주방전로가 분기 방전로보다 굵고 선명한 것으로 확인할 수 있다. 그림 4(b)는 주 방전로의 굵기가 (a)보다 줄어 든 형태이며, 분기탄화도전로의 형성이 왕성하게 생성된 것을 알 수 있다. 그림 4(c)는 주방전로의 굵기와 일부 분기 방전로의 굵기와 유사한 것으로 보여준다. 따라서 전류의 공급이 높을수록 분기방전로의 생성이 왕성해지는 것으로 판단된다.



(a) 0.55A (b) 1.10A

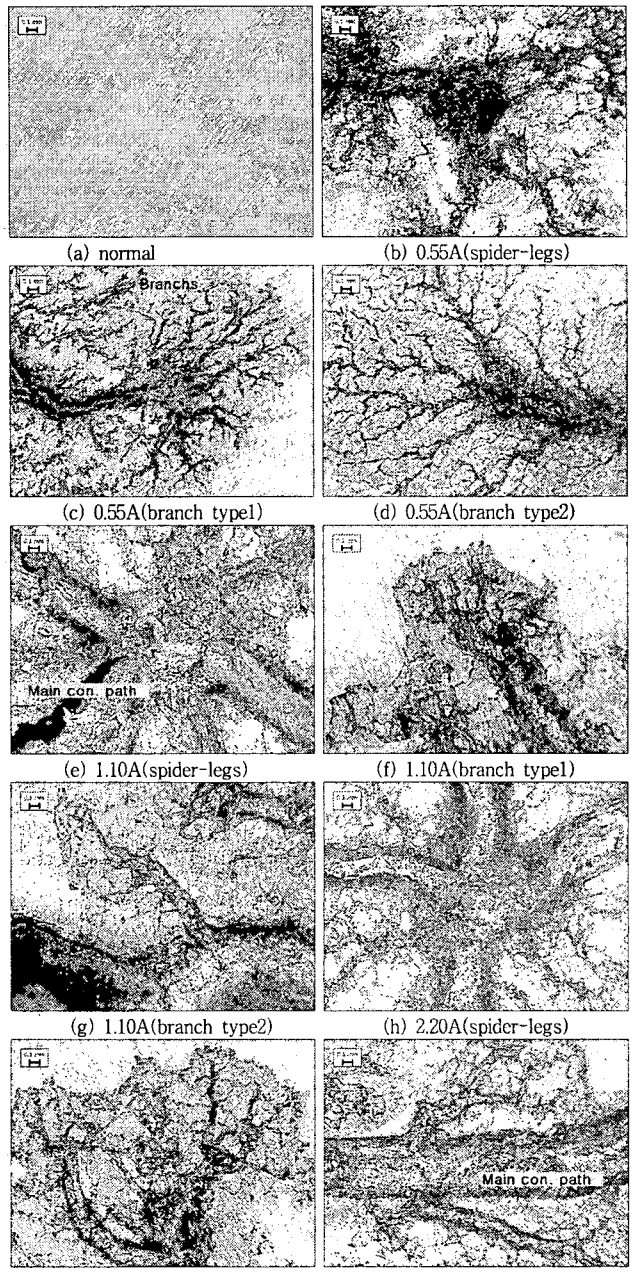


(c) 2.2A

<그림 4> 탄화시료의 외형

2.3.3 탄화거동 특성

그림 5는 탄화도전로 부분을 확대하여 탄화거동을 분석하기 위한 것으로 이미지를 확대한 것이다. (a)는 정상상태의 표면을 나타낸 것이며, (b)에서 (d)는 0.55A의 전류를 공급하여 생성된 탄화도전로 이미지이고, (e)에서 (g)는 1.10A의 전류를 공급하여 생성된 탄화도전로 이미지이다. 또한 (h)에서 (j)는 2.20A의 전류를 공급하여 생성된 탄화도전로 이미지를 나타낸 것이다.



(a) normal (b) 0.55A(spider-legs)

(c) 0.55A(branch type1) (d) 0.55A(branch type2)

(e) 1.10A(spider-legs) (f) 1.10A(branch type1)

(g) 1.10A(branch type2) (h) 2.20A(spider-legs)

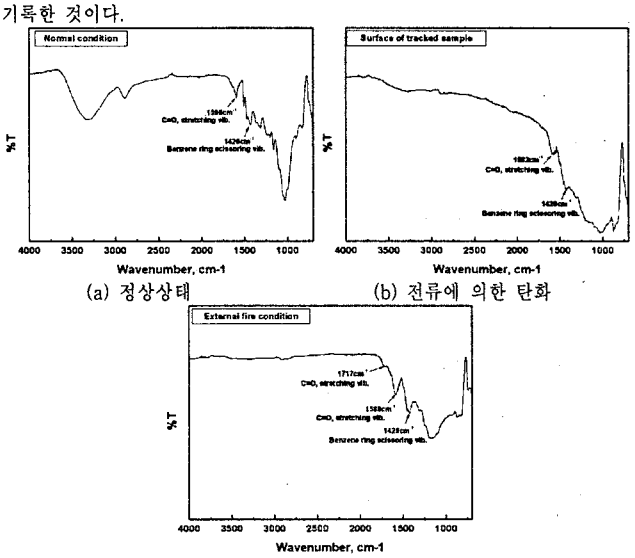
(i) 2.20A(branch type1) (j) 2.20A(branch type2)

<그림 5> 탄화도전로 확대 이미지

그림 5(a)는 제조당시 발생된 스크래치(scratch)가 있는 것을 나타낸다. (b)는 전극 주변으로 탄화도전로의 형성이 진행되는 초기를 보여주는 것으로 탄화도전로가 일명 'spider-leg'[6],[7]라고 하는 형태로 성장하는 것으로 나타낸다. (c)는 주방전로와는 별도로 형성되는 분기탄화방전로(branch type1)를 나타낸 것이다. (d)는 주방전로가 생성되는 초기의 탄화도전로(branch type)로서 분기방전로가 주방전로의 끝부분보다 상대적으로 미약한 것을 알 수 있다. (e)는 1.10A의 전류를 공급하여 얻은 탄화도전로로서 그 형태가 spider-legs와 같음을 보여준다. 주방전로의 경우 기타 분기방전로보다 그 폭이 넓고 열로 인한 균열이 진행되었음을 나타낸 것이다. (h)는 2.20A의 전류를 공급하여 얻은 탄화도전로로서 spider-leg를 나타낸 것이다. 그림에서 주방전로의 크기가 기타 분기방전로의 탄화도전로가 형성되는 상태로 진행된 것을 나타낸다. (i)는 주방전로와는 별개의 분기방전로가 형성된 것이며, (j)는 주방전로 주변으로 분기방전로가 나타난 형태를 나타낸 것이다.

2.3.4 화학적 표면구조 분석

그림 6은 적외선분광기(IR Spectroemter, Spectrum-GX, UK)를 이용하여 한 시료당 100회 이상 주사하여 나타낸 그래프이다. 주요특성구분은 정상상태와 전류와 의한 탄화도전로 생성 시료, 외부화염에 의한 탄화물의 특성을 기록한 것이다.



(a) 정상상태 (b) 전류에 의한 탄화

(c) 외부화염에 의한 탄화

<그림 6> 적외선 흡광피크의 비교

그림 6(a)는 정상상태의 적외선흡광피크를 나타낸 것으로 약 1595cm^{-1} 와 1426cm^{-1} 에서 각각의 적외선 흡광피크를 나타낸다. (b)는 외부화염에 의해 탄화된 경우를 나타낸 것으로 초기 정상상태의 적외선 흡광피크와 비교하여 화학적 결합구조가 열의 의해 분해된 것으로 보인다. 또한 (c)에서와 같이 외부화염에 의해 탄화되었을 때 외부의 산소와 재결합하여 생성되는 1717cm^{-1}에서의 적외선 흡광피크가 (b)에서는 나타나지 않는 것으로 보아 줄열에 의해 탄화물이 생성될 때 주변의 산소와 결합이 쉽지 않게 되어 결국 탄화물의 생성에서 도전성을 확보하는 것으로 판단된다.

3. 결 론

전기화재 연구 자료의 활용을 위해 페놀수지 표면에서의 전기적 안전성과 탄화패턴을 분석하였다. 전극을 중심으로 전극 사이에서 발생되는 누설전류에 의해 전류가 증가할수록 'spider-legs'의 생성이 활발하였으며, 누설전류의 크기에 따라 방전로 굵기가 결정되었다. 화학적 표면구조에서 열적 영향에 의해 생성되는 약 1720cm^{-1}에서의 적외선 흡광피크가 줄열과 희박산소에 의해 표면의 탄화물과 결합하기 어려워 탄화물의 결정이 생성되면서 전류가 쉽게 흐를 수 있는 탄화도전로가 만들어지는 것으로 판단된다.

[감사의 글]

위 논문은 전력산업기반조성사업의 하나로 전력선행기술기금에 의해 진행되었습니다. 이에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

[1] 정연하, 장태준, 송길목, 노영수, 곽희로, "연면 트래킹에 의한 탄화거동", Journal of the KIIEIE, Vol. 21, No. 2, pp.28~33, 2007
[2] 송길목, 노영수, 곽희로, "열처리된 페놀수지의 표면에서의 방전 특성과 구조분석", Journal of the KIIEIE, Vol. 20, No. 8, pp.71~79, 2006
[3] 송길목, 최충석, 노영수, 곽희로, "트래킹에 의해 열화된 페놀수지의 탄화특성", Trans. KIEE, Vol.53C, No.1, 2004
[4] H.Davy, "Elements of Chemical Philosophy", Vol.1, Smith and Elder, Lodon, pp.152, 1812
[5] B. X. Du, Y. Yamao, "Effects of Atmospheric Pressure on dc Resistance to Tracking of Polymer Insulating Materials", IEEE Trans. on DEI, Vol.12, No.6, pp.1162~1171, 2005
[6] P. Uhlig, J.C. Maan and P. Wyder, Phys. Rev. Lett. 63, 1968 (1989).
[7] Y.Ben-Ezra et al., arXiv:physics/0005002.