

유기전선개발을 위한 아크릴-F의 전기저항특성에 관한 연구

(A Study on the Electrical Resistance Characteristics of ACRYLIC-F
for Development of the Organic Electric Wire)

박상택 · 노영수

(Sang-Taek Park · Young-Su Roh)

송실대학교

요 약

본 논문에서는 다양한 사용목적을 가지고 물성적 특징의 변화 및 발전이 지속적으로 이루어지고 있는 고분자 유기소재의 응용범위를 중량과 기계적 강도면에서 우수한 유기전선으로 활용하기 위한 기초 연구로서 유기도전성 섬유인 아크릴-F의 전기적 특성을 분석하였다. 아크릴-F의 저항값을 길이와 단면적에 대하여 각각 6단계 또는 5단계로 변화시켜 측정하였으며, 기존의 구리전선의 저항값에 대하여 지수함수 2차항에 의한 특성비교를 수행하였다. 실험결과 아크릴-F는 일반 구리전선과 비교하여 저항값은 매우 높게 나타났지만 전선과 매우 유사한 저항 특성을 가지는 것을 확인하였다.

1. 서 론

고분자 유기소재는 무기, 금속소재에 비하여 강도 및 탄성이 우수할 뿐만 아니라, 가볍다는 우수한 물성을 제공할 수 있기 때문에 타 재료에 비해 다양한 활용을 보여주고 있다. 또한 단열성이 우수하고 전기절연성을 가지고 있으며 가공이 용이하고 가격이 저렴하다는 장점으로 인해 전기·전자기기의 부품 등 많은 부분에서 금속을 대체하여 사용되고 있다[1]. 그러나 현대 사회가 고도로 발전하면서 각종 정밀 전자기기가 등장하게 되었고 사용이 빈번해짐에 따라 기존에 금속을 사용 시 발생치 않던 문제점이 노출되기 시작하였다. 즉, 반도체의 플라스틱은 서로 불필요한 전자파에너지를 흡수 또는 차폐시킬 수 없기 때문에 외부에서 침투하는 전자파에 의한 간섭 현상으로 인하여 기기가 오작동 및 소음을 일으키며 인체에도 해로운 영향을 주는 것으로 알려져 있으며 정전기 방전으로 인하여 고급 부품들이 먼지 등에 훼손당하는 경우가 발생하여 일반적인 플라스틱 소재에 전도성 첨가제를 사용하여 전도성을 부여하는 것으로 대전방지 수준에서

부터 정전기 방류, 전자파 차폐에 이르는 광범위한 영역의 전도성을 지닌 소재들이 개발되고 있다. 또한 플라스틱은 무기 및 금속소재에 비하여 내열성이라는 점에 있어서 근본적인 약점을 지니고 있어 오랫동안 생활용품을 비롯한 각종 구조재의 기본소재로서 그 용도가 저온 영역으로 제한되었지만 중화학 산업 현장, 우주 항공의 특수 상황, 산업장비의 가혹한 운전 조건, 각종 기계류의 신뢰도 유지, 반도체 산업의 고정밀성, 군사적 목적의 우수한 성능 확보라는 특수 상황에 접하게 되면 보다 적합하고 우수한 기능 소재에 대한 요구는 성능의 구체적 실현을 위해 필연적이며 현재는 내열성이 크게 향상된 고분자 재료가 다수 출현함에 따라 고온 영역에까지 그 이용이 확대되어 있다[2,3].

도전성 섬유의 정의는 명확하지 않지만, 일반적으로 금속 반도체, 카본 블랙 및 금속 산화물 등의 도체 재료를 사용하여 전기저항을 비교적 낮은 섬유를 일컫는다. 그러나 이들의 도전성은 아직 반도체 영역에 머물러 있어, 손실이 적은 전기 전도 기능으로서는 미흡하며 특정 저항을 가진 전도성 기능에만 부응하고 있는 실정이다. $10^{-2} \sim 10^{-3} [\Omega \cdot \text{cm}]$ 의 비교적 낮은 체적 저항률을 가지고 전자파차폐로 사용되는 탄소섬유의

경우가 대표적이다[4]. 따라서 도전성 섬유의 용도를 확대하고 성능을 향상시키기 위해서는 높은 도전율을 쉽게 실현할 수 있는 재료와 제법의 개발이 요구되어 왔으며, 최근에 일본에서는 고분자 재료의 화학 산화 중합 시에 사용하는 첨가제를 신규 개발함으로써 1,200[S/cm]의 도전율을 얻을 수 있는 제법을 마련해 도전성 고분자 재료의 응용범위를 전극 재료로 넓히는 연구를 진행 중에 있다.

본 연구는 앞서 언급된 최근 다양한 사용 목적을 가지고 물성적 특징의 변화 및 발전이 지속적으로 이루어지고 있는 고분자 유기소재의 도전성 및 내열성을 지중배선의 전기화재 사고예방시스템에 사용되는 금속 재료에 적용하는 다양한 실험을 통하여 궁극적으로는 플라스틱 감지센서를 활용한 지중배선의 전기화재 사고예방시스템을 개발하는데 그 목적을 가지고 있다. 이에 본 논문에서는 그 목적에 따른 기초 연구로서 유기도전성 섬유인 아크릴-F의 전기적 특성을 분석하고 활용 가능성에 대해 검토하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 아크릴-F의 사양 비교

실험에 사용되는 유기도전섬유는 국내에서 제조 및 시판되고 있는 도전성 특수사인 아크릴-F이며 아크릴섬유 등에 황산동(CuSO₄)을 반응시켜 동(Cu), 시안(CN), 유황(S) 등을 화학적으로 결합시킨 것으로 10⁻¹~10⁻²[Ω·cm]의 도전성을 가지는 것으로 알려져 있다. 이는 전자파차폐 용도의 도전성 수준으로 통전재료로 사용되기에는 어려움이 있다. 표 1에 체적저항률에 따른 도전성 수지의 용도를 나타내었다[5].

표 1. 체적저항률에 따른 도전성 수지의 용도

Table 1. Application of conducting polymers for volume resistivity

체적저항률 (ohm·cm)	10 ⁻⁸	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁰	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	
도전성 플라스틱 용도	전자파차폐											
	통전재료			정전기제거			대전방지					
비교 재료	은 망	일 도전성 플라스틱	흑연	탄소 섬유	케블라 라본	유스	유리					
도전성	도체						반도체					

도전성 플라스틱의 경우 체적저항률이 10⁻⁴[Ω·cm] 이하인 경우를 의미하며, 일반적인 도전재료로서는 흑연 등이 현재 쓰이고 있다.

2.2 실험구성 및 방법

아크릴-F의 저항값은 LCR Meter(Agilent 4263b)를 이용하여 측정하였으며, 길이와 단면적에 대하여 각각 6단계 또는 5단계로 변화시켜 5회 측정된 평균값을 구하였다. 또한 통전재료와의 직접적인 비교를 위하여 2.5[mm²]의 단면적을 갖는 경동선(연선)의 저항값을 측정하였다. 이때 경동선의 저항값은 30[cm]의 일정한 길이에서 단면적(가닥수)을 5단계로 변화시켰으며, 5회 측정하여 평균한 값으로 아크릴-F와의 저항 특성 비교 및 지수함수 2차 항에 의한 특성비교를 수행하였다.

전선의 공칭 단면적을 나타낼 때, 그림 2와 같은 연선의 경우 단면적(A)은 소선의 총수(N)와 소선의 단면적(a)의 곱으로 표현되는 식 (2)에 따라 계산한다.

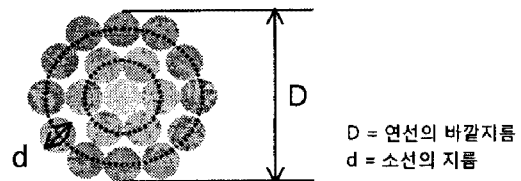


그림 1. 연선 모형
Fig. 1. A model of cable

$$N = 3n(n+1) + 1 \quad (1)$$

여기서 N은 소선의 총수를 나타내며 소선의 총수 n으로 구할 수 있다.

$$A = Na [mm^2] \quad (2)$$

여기서 A를 계산 단면적이라 하는데 실제에는 계산 값에 가까운 공칭 단면적으로 나타낸다.

따라서 아크릴-F의 길이가 일정할 때 단면적의 증가에 따른 저항값의 측정 시 단면적의 증가는 가닥수의 증가비율과 일치하므로 가닥수에 따른 저항값의 변화를 나타내었다.

2.3 아크릴-F의 전기저항 측정과 분석

유기도전성 수지가 동전선 등의 통전재료와 비교했을 때 매우 큰 체적저항률을 갖는 것을 인지하고 있음에도 불구하고 아크릴-F의 전기저항을 측정하는 이유는 이미 언급한 바와 같이 지중배선의 특정센서에 그 도전성을 적용함에 있어 길이(센서의 유효 범위) 및 단면적(센서선의 굵기)에 대해 얼마만큼의 가능성을 가지는지 알아보기 위함이며, 아래에 아크릴-F의 길이와 단면적에 따라 측정된 저항값을 나타내었다.

그림 2의 (a)-(c)는 아크릴-F의 일정한 가닥수 1p, 2p, 7p에 대하여 길이에 따른 저항의 측정값을 나타낸 것으로 길이에 비례하는 일반적인 특징을 보여준다. 그림 2의 (d)는 (a)-(c)의 결과를 바탕으로 각 가닥수에서 길이에 따른 저항의 증가율(%)을 도시한 것으로 각 가닥수에서 패턴의 일정함을 확인할 수 있다.

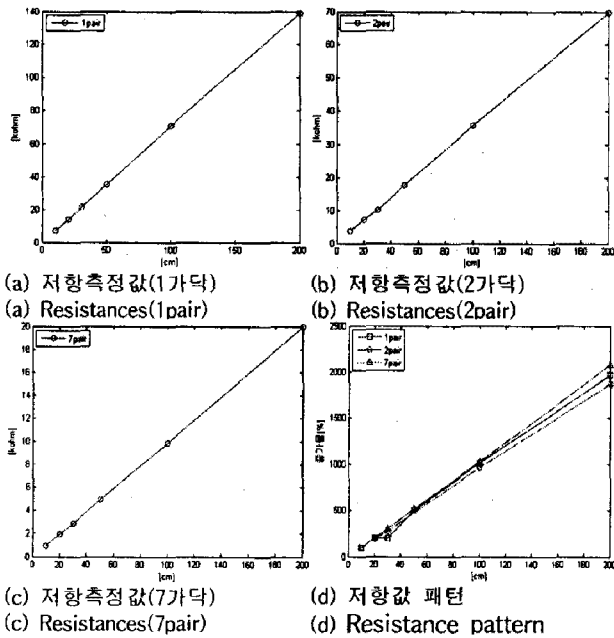


그림 2. 아크릴-F의 저항 패턴
Fig. 2. Resistance pattern of Acryl-F

그림 3은 전선의 저항측정치와 이를 이용하여 실험식을 구한 지수함수 2차 항의 식으로 나타낸 그래프와 비교하였다. 전선은 2.5[mm²]의 단면적을 갖는 경동선(연선)으로 30[cm]의 일정한 길이에서 단면적(가닥수)을 5단계로 변화시켰으며, 5회 측정하여 평균한

값으로 아크릴-F와의 지수함수 2차 항에 의한 특성비교를 수행하였다.

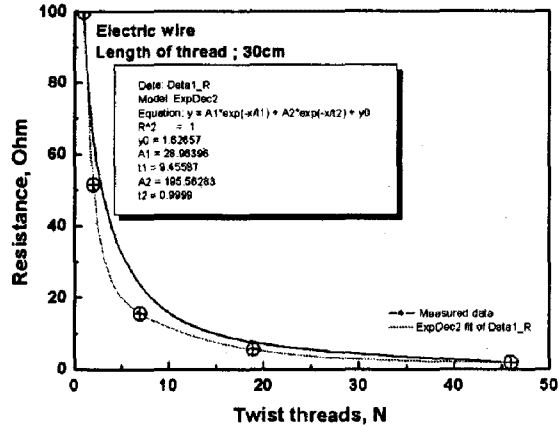


그림 3. 전선의 저항측정과 지수함수 2차항의 식
Fig. 3. Resistance measuring and formula of exponential function's second term of electric wire

$$y = A_1 \exp(-x/t_1) + A_2 \exp(-x/t_2) + y_0 \quad (3)$$

여기서 y는 저항값을 나타내며 전선의 경우 $y_0 = 1.62$, $A_1 = 28.96$, $A_2 = 195.56$, $t_1 = 9.46$, $t_2 = 1$ 의 값을 구하였다.

그림 4는 아크릴-F의 저항측정치와 이를 이용하여 실험식을 구한 지수함수 2차 항의 식으로 나타낸 그래프와 비교하였다.

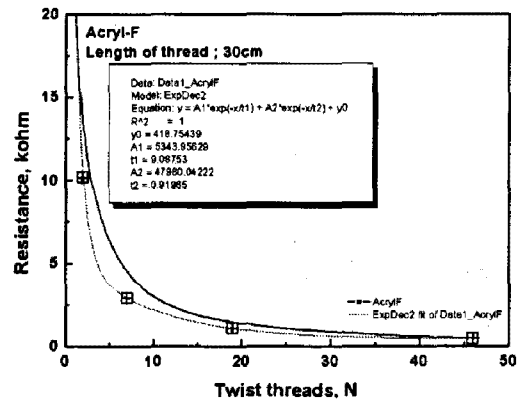


그림 4. 아크릴-F의 저항측정과 지수함수 2차항의 식
Fig. 4. Resistance measuring and formula of exponential function's second term of Acryl-F

아크릴-F의 경우는 전선과 같은 실험식에서 $y_0 = 418.75$, $A_1 = 5343.96$, $A_2 = 47980.04$, $t_1 = 9.08$, $t_2 = 0.92$ 의 값을 구하였다.

실험식의 비교에서 아크릴-F는 일반 구리전선과 비교하여 저항이 매우 높은 것을 알 수 있으며 또한 전선과 매우 유사한 저항 특성을 가지는 것을 확인할 수 있다. 이러한 특징을 그림 5에 나타내었다.

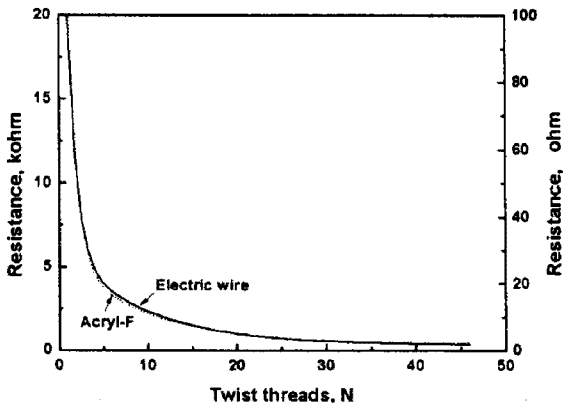


그림 5. 전선과 아크릴-F의 저항특성 비교
Fig. 5. Comparison of resistance characteristics for Acryl-F and electric wire

3. 결 론

유기전선의 개발을 위한 기초자료로서 본 연구를 수행하였으며, 유기도전섬유 아크릴-F의 전기저항을 길이와 단면적에 대하여 측정하고 기존의 구리전선과의 지수함수 2차 항에 의한 특성비교 결과를 나타내었다.

1. 아크릴-F의 일정한 가닥수(단면적)에 대하여 길이에 따른 저항의 변화는 길이에 비례하는 일반적인 특징을 보이며 각 가닥수(단면적)에서 길이에 따른 저항의 증가율(%)도 일정한 패턴을 가지는 것을 확인하였다.

2. 기존 구리전선의 저항측정치와 이를 이용하여 실험식을 구한 지수함수 2차 항의 식으로 나타낸 그래프와 비교에서 아크릴-F의 전기저항 특성은 전선과 매우 유사하였다.

3. 실험결과 아크릴-F의 전기저항값(체적저항률)은 기존의 구리전선에 미치지 않았으나 전선과 매우 유사한 전기저항 특성을 가지는 것을 확인하였다. 이는 손실이 적은 전기 전도 기능으로서는 미흡하지만 특

정 저항을 가진 전도성 기능에 부응할 수 있는 것으로 이러한 결과는 특정센서에 유기도전섬유의 도전성을 적용함에 있어 센서의 유효 범위(길이) 및 센서선의 굵기(단면적) 선정에서 기초자료로 활용이 가능하다.

4. 향후 중량과 기계적강도 면에서 우수한 유기전선의 활용을 위해 다양한 실험적 검토가 요구된다.

References

- [1] "최신섬유기술동향", 한국섬유산업연합회, 2007.11
- [2] "Conducting polymers", Karl F. Schoch, IEEE SPECTRUM June, 1992.
- [3] "Polymer Electronics", I.D.W. Samuel, The Royal Society, Vol. 358, No. 1765, pp.193-210, January, 2000.
- [4] "전자파차폐용 도전성 수지", 기술동향분석보고서 KISTI, pp.8-11, 2003.10.
- [5] <http://www.jst.go.jp/pr/report/report140/>