

탄소섬유의 용단전류 및 차폐 케이블의 과전류 특성

The Characteristics of the Over-current of Shielded Cable and the Fusing Current of Carbon Fiber

김 영 석[†] · 김 택 희* · 김 종 민* · 송 길 목*

(Young-Seok Kim · Taek-Hee Kim · Chong-Min Kim · Kil-Mok Shong)

Abstract - In this paper, we investigated the fusing current of carbon fiber and thermal properties of carbon fiber and metal shielded cable due to over-current. The fusing current value for the metal-coated carbon fiber was 5.3A in 3K, 7.4K and 13.05A in 12K. And if it exceeds 50% of the fusing current was broken with a rapid voltage rise. In the case of carbon fiber shielded cable, the temperature of the PVC sheath increased somewhat in the allowable current range. However, the temperature of PVC sheath rapidly increased to 128.1℃ in the 2 time allowable current range. This value is 10℃ higher than the temperature of PVC sheath on the metal screen cable, because the resistance of the carbon fiber is high and heat transfer rate is slow.

Key Words : Carbon fiber, Metal-coated carbon fiber, Fusing current, Shielding cable

1. 서 론

현대사회는 전기/전자를 이용한 정보화 시대, 디지털 기술과 반도체를 이용한 전기/전자 장비의 경량화, 소형화 등의 개발로 인해, 제 4의 공해라고 부를 만큼 광범위한 전자기파에 노출되어 있다. 전기/전자 장비의 고장 혹은 오동작은 장비 자체의 성능을 저하시키며, 우리 사회의 혼란과 손실을 초래하게 된다. 특히, 자동차, 선박 등의 제한된 공간에서 사용되는 케이블의 일부는 경량화, 고유연성 및 전자파 간섭을 해결하기 위해 차폐율 40dB 이상의 전자파 차폐케이블 사용을 요구하고 있으며, 기존 전자파 차폐케이블은 차폐층에 금속 편조(Braid)를 사용하고 있다[1-3]. 하지만, 정부에서는 2020년 이후 자동차의 연비를 20km/L 목표로 하고 있으며, 자동차의 연비개선 방법 중 하나로 와이어링 하네스의 중량 중 60~70%를 차지하는 전선의 경량화를 요구하고 있다. 자동차에 사용되는 케이블의 경량화를 위한 여러 가지 연구가 진행되고 있지만, 도체, 절연체, 피복 등의 기존 재료를 대체하는 것은 쉽지 않다. 경량화, 고 유연성의 차폐케이블 연구 중의 하나의 방법으로 차폐재인 금속을 탄소섬유로 대체하는 것을 연구 중에 있고, 또한 ISO 14572[4] 표준인 도로 차량에 사용되는 케이블에서 차폐 재질은 도전성 물질로 규정하고 있다. 하지만, 탄소섬유 차폐케이블의 개발 시, 차폐재인 탄소섬유에 대한 용단전류, 발열 등의 특성과 케이블 제작 시의 전기적 문제에 대한 연구는 미미한 수준이다.

탄소섬유를 이용한 케이블 연구는 미국의 CTC사, 머큐리케이블, 중국 Heilongjiang J & X Co, Ltd에서 송전선의 중심인장선으로 개발되어 판매되고 있으며, 탄소섬유를 활용한 전기 분야의 응용이 지속적으로 연구되고 있다[5-7].

탄소섬유는 기본적으로 탄소가 95%이상으로 이루어져있기 때문에 높은 전기전도도와 인장강도를 보유하고 있지만, 목적에 따라 더 높은 전기전도도를 필요로 하여 전해 및 무전해 도금법을 이용하여 특성을 향상시키고 있다. 전해도금은 전자의 공급원으로 외부전력을 사용하여 용액 중의 금속 이온이 외부 전원으로 부터 운반되는 이온가에 상당하는 전자를 받아서 음극표면에 금속 피막을 형성하는 방법이며 무전해도금법은 금속염과 가용성 환원제 (R)가 공존하는 용액에 피도금체를 접촉시켰을 때 얻어지는 도금으로 환원제의 산화에 의해 방출되는 전자가 금속 이온에 전이하여 금속 피막이 형성되며 전기력에 의하지 않는 도금이라는 의미로 무전해도금이라 한다[8][9]. 따라서 탄소섬유에 고전도성(구리 및 니켈) 금속 표면처리를 통해 도전성을 증대시키면 차폐 성능 향상에 더욱 효과적이다.

본 논문에서는 전자파 차폐 케이블의 차폐재로 활용이 가능한 탄소섬유에 대한 용단전류값과 발열 특성에 대해 연구하고, 이를 이용하여 전자파 차폐케이블을 제작하였다. 또한 탄소섬유를 이용한 차폐케이블의 과전류 실험을 통해, 기존 금속 차폐케이블의 특성과 비교함으로써 자동차 및 기타 분야의 활용가능성에 대해 연구하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 탄소섬유 시료 및 탄소섬유 차폐케이블 제작

표 1은 탄소섬유 차폐케이블 차폐재로 사용될 금속도금 탄소

[†] Corresponding Author : Electrical Safety Research Institute, Korea Electrical Safety Corporation, Korea.

E-mail: athens9@kesco.or.kr

* Electrical Safety Research Institute, Korea Electrical Safety Corporation, Korea.

Received : August 26, 2012; Accepted : September 27, 2016

섬유(MCF)와 이와 비교를 위해 탄소섬유(CF) 및 일본 Toho사의 니켈도금 탄소섬유(NiCF) 12,000가닥을 나타낸다. 생산되는 탄소 섬유는 유연성이 적고 잘 부러지는(Brittle)한 성질 때문에 정전기 방지 및 마찰에 의한 섬유의 손상을 방지하기 위해 탄소섬유 표면에 사이징(Sizing)처리를 하며, 사이징제로는 에폭시를 사용하였으며, 3000가닥을 대상으로 하였다. 금속도금 탄소섬유는 사이징제를 제거한 후(Desizing), 순차적으로 구리도금, 니켈 도금을 진행하고, 표면에 다시 사이징처리를 한 시료로서, 전기전도도는 약 1.48×10^4 S/cm이며, 3,000, 6,000가닥인 시료를 사용하였다. 각 섬유의 용단전류 특성 비교는 시료를 동일한 가닥수인 12,000가닥에서 수행하였다.

표 1 탄소섬유의 사양

Table 1 Parameters of carbon fiber

Material	사진	가닥 수
금속도금 탄소섬유(MCF)		3,000(3K)
		6,000(6K)
탄소섬유 (CF)		3,000(3K)
니켈도금 탄소섬유(NiCF)		12,000(12K)

표 2는 탄소섬유 차폐 케이블의 사양을 나타낸다. 케이블은 도체 단면적 3mm²으로 설정하고, 절연체는 고전압용 XLPE 재질(120℃)을 사용하였으며, 피복은 PVC 재질(95℃)를 사용하였다. 케이블의 제작은 동의 크기를 원하는 사이즈로 가늘게 늘려주는 신선공정과 집합공정을 거쳐 가닥수(119/φ0.18mm)로 연선을 진행하였다. 제작된 전선 위에 3,000가닥, 6000가닥 각각 금속도금 탄소섬유를 편조(Braid) 형태로 제작하였으며, 이때 사용된 편조기는 16타 편조기를 사용하였다.

표 2 탄소섬유 차폐케이블 사양

Table 2 Parameters of CF shielding cable

공칭 단면적 mm ²	도체		절연체 두께 mm	절연 외경 mm	도체 저항 (20℃) Ω/km	허용 전류 A
	소선수/ 소선경 No./mm	바깥 지름 mm				
3.0	119/0.18	2.4	0.75	약 3.9	6.4	41.3

제조된 탄소섬유 차폐케이블의 접속은 크게 도체의 접속과 차폐부분의 접속으로 구분되며, 도체의 접속은 일반적인 커넥터를 이용하면 된다. 하지만, 탄소섬유 차폐케이블의 접속은 탄소섬유가 사용되기 때문에 일반적인 납땜 등의 전기적인 접속이 쉽지 않다. 또한 현장에서 케이블 접속 시, 작업공정을 최소화하기 위해 기계적 접속을 선호하게 된다.

전자와 차폐 케이블의 기계적 접속을 위한 재료와 형태를 그림 1에 나타낸다. 안쪽에 사용될 재료는 기계적 압력에 의해 조

여집을 받게 됨으로, 재질을 스테인리스로 사용하였으며, 바깥쪽의 재료는 안쪽 재료와의 접촉을 위해 주석 도금 된 재질을 사용하였다. 먼저, 케이블의 외피를 제거한 후, 탄소섬유 차폐선을 내부 접속재료의 길이만큼만 남겨놓고 제거한다. 내부의 접속재료를 내부 구리도체 피복과 탄소섬유 차폐선 사이에 삽입하고 바깥쪽은 접속재료를 탄소섬유 차폐선과 외부 피복에 삽입한다. 이후, 압착기를 이용하여 내부접속재료와 외부접속재료를 압착하며, 심선인 구리 도체와 커넥터를 연결하였다.

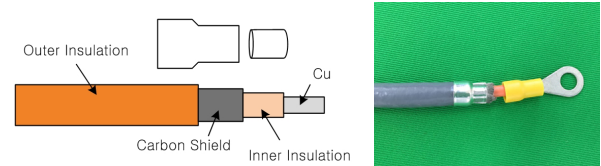


그림 1 탄소섬유 차폐케이블의 접속

Fig. 1 Connection of CF shielding cable

2.2 실험방법

탄소차폐 케이블 접속부의 기계적 접속에 따른 접속부위의 전기적 저항 측정은 KS C IEC 60227-2 표준을 인용하여 측정하였다. 케이블은 1m 이상 되는 시료를 이용하였으며, 4단자법으로 측정하였다. 탄소섬유 및 탄소섬유 차폐 케이블의 과전류 영향을 조사하기 위하여, 그림 2와 같은 실험 장치를 구성하였다. 케이블을 고정할 수 있는 지그(Jig)의 구성은 길이 1m로 선정하고, 양 끝단의 접속부분에 전류 인가를 위해 구리도체를 사용하였다. 먼저, 탄소섬유 및 탄소섬유 차폐 케이블을 지그의 양끝단에 고정하고, DC 전원원(220V/210A, USA)을 이용하여 전류를 인가하였다. 탄소섬유의 용단전류값은 전압을 50V로 설정하고, 탄소섬유가 단선될 때까지 전류를 인가하여 취득하였다. 취득한 탄소섬유의 용단전류값을 참고로 하여 탄소섬유에 인가할 전류값을 설정하고, 탄소섬유의 온도변화를 살펴보았다. 탄소섬유 차폐 케이블의 과전류 실험은 도체 허용전류의 2배를 전류(과전류)를 인가하여, 열화상 카메라(Flir사)로 온도를 측정하였으며, 기존 금속차폐 케이블과 비교하였다.

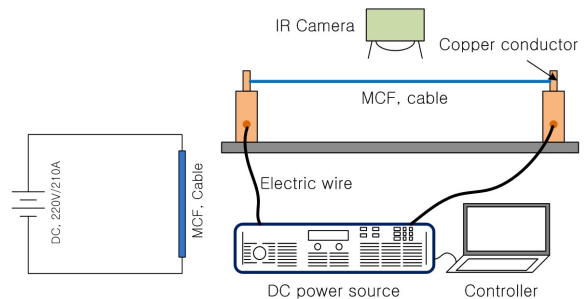


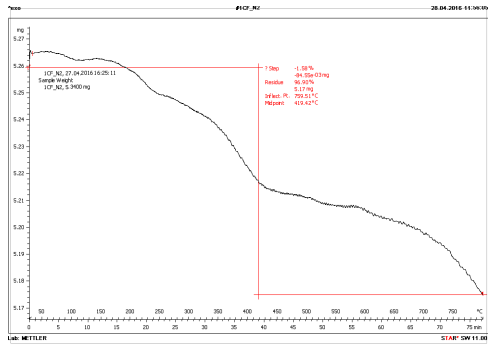
그림 2 탄소섬유의 용단전류 및 케이블 과전류 실험개략도

Fig. 2 Schematic of experimental of over-current on cable and fusing current of carbon fiber

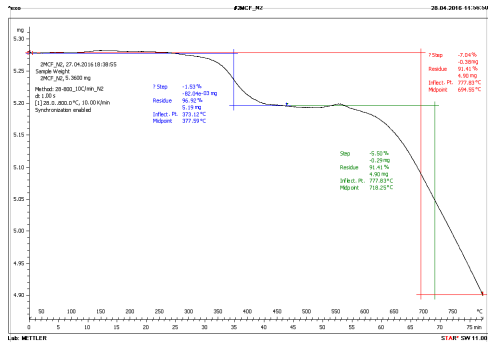
3. 실험결과 및 검토

3.1 탄소섬유의 과전류 특성

그림 3은 탄소섬유 및 금속도금 탄소섬유에 대해 질소분위기에 서의 온도변화에 따른 열중량분석(Thermogravimetric Analyzer, TGA) 결과를 나타낸다. 그림 a)의 탄소섬유의 경우에는 약 200°C 부근에서 유연성과 섬유의 손상을 방지하기 위해 사용한 사이징(Sizing)제인 에폭시 성분이 제거되고, 약 420°C 부분에서 탄소섬유의 성질이 변화하는 것으로 나타났다. 그림 b)의 금속도금



(a) 탄소섬유의 열중량분석



(b) 금속도금 탄소섬유의 열중량분석

그림 3 탄소섬유 및 금속도금 탄소섬유의 열중량분석(질소분위기)
Fig. 3 TGA analysis of CF and MCF(in the N₂)

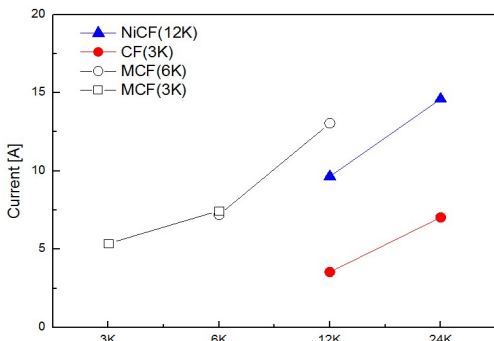
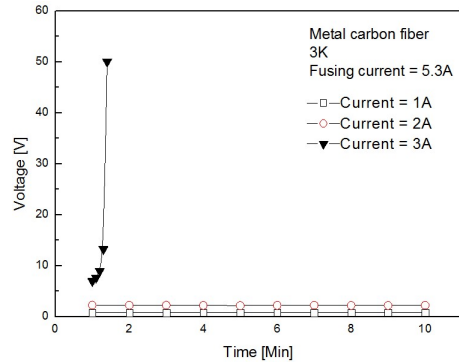


그림 4 탄소섬유 및 금속도금 탄소섬유의 용단전류 특성
Fig. 4 The fusing current properties of CF and MCF

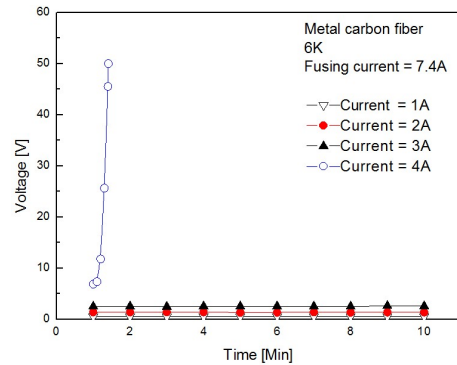
탄소섬유의 경우에는 약 300°C 부근에서 1차 변곡점이 발생하고, 약 550°C 부분에서 도금성분이 제거되는 것을 알 수 있었다.

그림 4는 탄소섬유 및 금속도금 탄소섬유의 가닥수에 따른 용단전류값을 나타낸다. 용단전류값은 금속도금 탄소섬유에 1A/sec로 전류를 흘려 측정하였으며, 3,000가닥에서 5.3A의 용단전류, 6,000가닥에서 7.4A, 12,000가닥에서 13.05A의 용단전류값을 가졌다. 니켈도금 탄소섬유의 경우는 12,000가닥에서 9.65A, 탄소섬유의 경우는 3,000가닥을 4회 꼬인 상태로 12,000가닥으로 만들었으며, 3.54A의 용단전류값을 가졌다. 동일한 12,000가닥에서 금속도금 탄소섬유가 가장 높은 용단전류값을 가졌다. 금속탄소섬유의 경우, 전기저항이 낮은 도금된 구리와 니켈 부분에 전류가 분류되어 용단전류값이 상승한 것으로 판단된다.

그림 5는 금속도금 탄소섬유 3,000가닥과 6,000가닥의 시간에 따른 전압변화를 나타낸다. 실험은 시료에 각각의 전류를 10분간 인가하여, 전압의 변화를 관찰하였다. 실험결과, 두 가지 섬유 시료 모두 용단전류의 50% 이하에서는 전압변화가 발생하지 않지만, 50%이상의 전류가 인가되는 순간적으로 전압이 상승하였다. 전압의 급격한 변화는 온도의 상승으로 이어져 금속도금 탄소섬유가 발열되고 단선되는 현상을 그림 6을 통해 알 수 있었다. 그림 6은 금속도금 탄소섬유 6,000가닥의 전류인가에 따른 열화상 이미지를 나타낸다. 실험은 각각의 전류를 10분간 인가하여, 열화상 카메라로 온도를 측정하는 것이다. 6,000가닥의 용단전류인

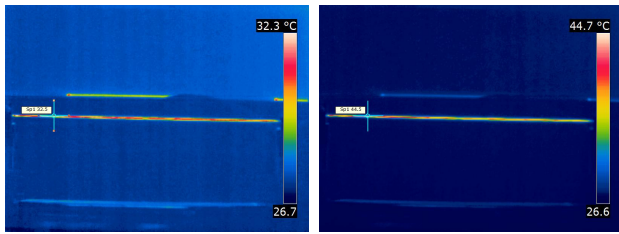


(a) 3,000가닥

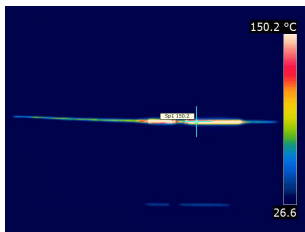


(b) 6,000가닥

그림 5 금속도금 탄소섬유의 시간에 따른 전압변화
Fig. 5 Voltage variation of MCF due to time



(a) $I = 2A(I_{max}$ 대비 27%) (b) $I = 3A(I_{max}$ 대비 40%)



(c) $I = 4A(I_{max}$ 대비 54%)

그림 6 금속도금 탄소섬유의 시간에 따른 열화상 이미지

Fig. 6 IR image of MCF due to time

7.4A(I_{max})에 대하여, 인가전류 2A의 경우 표면온도는 최고 32.5°C까지 상승하였고, 인가전류 3A일 경우에는 최고 44.7°C까지 상승하였으며, 인가전류 4A일 경우에는 150°C 이상으로 상승함과 동시에 금속도금 탄소섬유의 표면은 섬광과 함께 단선되었다. 금속도금 탄소섬유의 경우에는 저항이 낮은 금속성분에 전류가 흐르고, 도금된 성분이 열에 의해 제거됨에 따라, 탄소섬유의 저항값 증가와 함께 전압값은 상승되고, 많은 열을 수반하게 되어 단선되는 현상이 발생하는 것으로 판단된다.

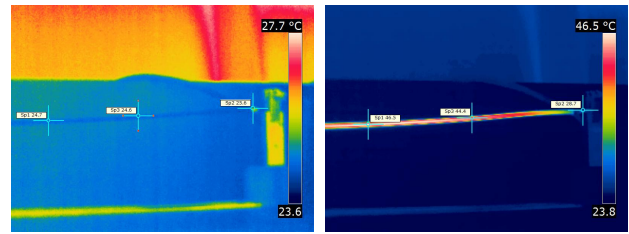
3.2 탄소섬유 차폐케이블의 발열특성

탄소섬유 차폐케이블은 금속도금 탄소섬유 3,000가닥을 사용한 케이블에 대하여 발열특성을 조사하였으며, 과전류에 의한 영향을 조사하기 전에 탄소섬유 차폐 케이블 접속부의 전기적 저항을 측정하였다. 표 3은 탄소섬유 차폐 케이블 접속에 따른 전기적 저항값을 나타낸다. 편조 형태의 탄소섬유 차폐 케이블의 접속에 따른 전기 저항을 측정하기 전에 탄소 섬유 차폐만을 측정할 결과 전기적 저항은 약 $1.239 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 이며, 탄소섬유 차폐 케이블의 기계적 접속에 의한 전기 저항값은 약 $1.351 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 을 나타내었다. 접속 전 후의 전기적 저항값의 차이는 크게 발생하지 않았지만, 기존 주석도금 차폐케이블 접속의 저항 값보다는

표 3 탄소섬유 차폐 케이블의 접속에 따른 전기적 저항

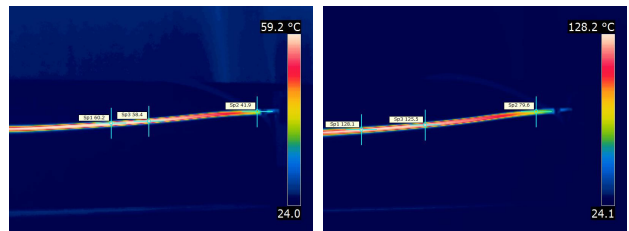
Table 3 Electrical resistance of CF shielding cable due to connection

시료	전기적 저항값
금속도금 탄소섬유 차폐 케이블 접속 전	$1.239 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$
금속도금 탄소섬유 차폐 케이블 접속 후	$1.351 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$
기존 주석도금 차폐케이블 접속	$5.5 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$



(a) After 1min (b) After 10min

그림 7 허용전류에 따른 탄소섬유 차폐 케이블의 열화상 이미지
Fig. 7 IR image of CF shielding cable due to allowable current



(a) After 1min (b) After 10min

그림 8 2배의 허용전류에 따른 탄소섬유 차폐 케이블의 열화상 이미지

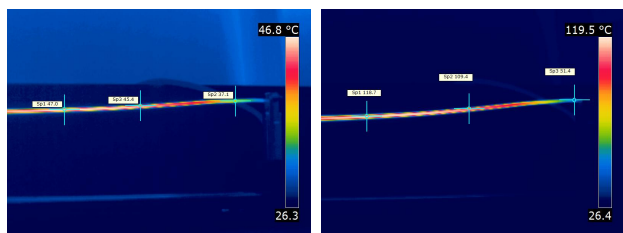
Fig. 8 IR image of CF shielding cable due to double allowable current

높은 값을 가졌다.

그림 7은 탄소섬유 차폐 케이블에 도체 단면적인 3mm²의 허용 전류(41.3A) 범위에서 전류를 10분간 인가 후, 열적 변화를 나타낸 열화상 이미지 사진이다. 10분간 전류를 인가 한 후, PVC 피복의 온도는 24.7°C에서 46.5°C로 상승하였지만, 표면의 변화는 크게 관측되지 않았다.

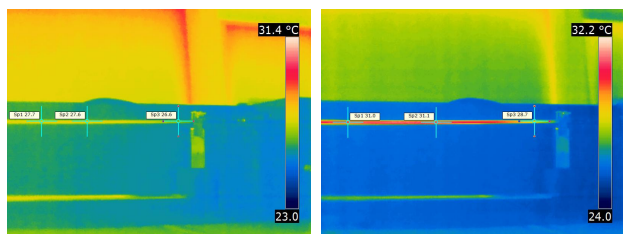
그림 8은 탄소섬유 차폐 케이블에 도체 단면적인 3mm²의 허용 전류 2배의 전류를 10분 인가 후, 열적 변화를 나타낸 열화상 이미지 사진이다. 10분간 전류를 인가한 후, PVC 피복의 온도는 60.2°C에서 128.1°C로 크게 증가하였으며, PVC의 녹는점인 153.8°C까지 근접한 것을 알 수 있다. 특히, PVC 피복은 심한 열 변화에 의해 표면이 부풀어 오르는 현상이 관측되었지만, 차폐층의 금속탄소 섬유는 변화는 관측되지 않았다. 이는 그림 3의 TGA 분석 결과에서 금속도금 탄소섬유의 열적 특성이 PVC 피복의 녹는점보다 높기 때문인 것으로 판단된다.

그림 9는 동일한 금속차폐 케이블에 허용전류 1배와 2배의 전류를 10분 인가 후, 열적 변화를 나타낸 열화상 이미지 사진이다. 그림 a)에서 허용 전류 1배의 전류를 10분간 흘린 경우, PVC 피복 표면 온도는 약 46.8°C로 증가하였으며, 이는 그림 7의 b)의 이미지와 유사한 온도값을 가졌다. 그림 b)의 허용 전류 2배의 전류를 10분간 흘린 경우에는 PVC 표면 온도는 약 118°C로서 a)에 비해 10°C 정도 낮은 것을 알 수 있다. 탄소섬유 차폐 케이블의 경우, 탄소섬유의 저항값이 금속보다 높고, 열 전달율이 금속의 열 전달율 보다 낮기 때문에 상대적으로 케이블



(a) I = 41.3A (b) I = 82.6A

그림 9 전류에 따른 금속 차폐 케이블의 열화상 이미지
Fig. 9 IR image of metal shielding cable due to current



(a) After 1min (b) After 10min

그림 10 탄소섬유 차폐 케이블의 열화상 이미지(차폐층 전류 = 4A)
Fig. 10 IR image of CF shielding cable(I=4A at screen)

블 내부에 열 축적이 많은 것으로 생각된다. 하지만, 기존 금속차폐 케이블과 비교해서, 허용전류에 의한 탄소 섬유 차폐케이블의 영향은 크지 않은 것으로 판단된다. 또한 그림 10에서 나타낸 것과 같이 탄소섬유 차폐층에 허용전류의 1/10의 전류를 흘릴 경우, 탄소섬유 차폐 케이블 PVC 피복에서의 온도 상승은 미미한 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 논문에서는 전자과 차폐 케이블의 차폐재로 활용이 가능한 탄소섬유에 대한 용단전류 특성과 전류 변화에 따른 발열 특성을 살펴 보았고, 이를 이용하여 탄소섬유 전자과 차폐케이블 제작하여, 기존 금속 차폐케이블의 과전류를 특성을 비교하였다. 금속도금 탄소섬유의 용단전류는 3,000가닥에서 5.3A, 6,000가닥에서 7.4A, 12,000가닥에서 13.05A를 값을 가졌다. 금속도금 탄소섬유 6,000가닥의 전류인가에 따른 온도 상승을 측정된 결과, 인가전류 2A의 경우 표면온도는 최고 32.5°C까지 상승하였고, 인가전류 3A일 경우에는 최고 44.7°C까지 상승하였으며, 인가전류 4A일 경우에는 150°C이상으로 상승함과 동시에 금속도금 탄소섬유의 표면은 섬광과 함께 단선되었다. 금속도금 탄소섬유의 경우에는 저항이 낮은 금속성분에 전류가 흐르고, 도금된 성분이 열에 의해 제거됨에 따라, 탄소섬유의 저항값 증가와 함께 전압값이 상승되고, 많은 열을 수반하게 되어 단선되는 현상이 발생하는 것으로 판단된다.

편조 형태의 탄소섬유 차폐 케이블의 기계적 접속 전 후의 전기 저항은 약 $1.239 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 에서 약 $1.351 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 으로 변화를 나타내어, 접속 전 후의 전기적 저항값의 차이는 크게 발생하지 않았다. 탄소섬유 차폐 케이블에 도체 단면적인 3mm의 허용전류 2배의 전류를 10분인가 후, PVC 피복의 온도는 60.2°C에서 128.1°C으로 크게 증가하였으며, PVC의 녹는점인 153.8°C까지 근접한 것을 알 수 있었다. 하지만, 동일한 금속차폐 케이블에 허용전류 2배의 전류를 10분인가 후의 PVC 피복의 온도는 약 118°C였으며, 금속도금 탄소섬유의 PVC 피복온도가 10°C 정도 높은 것을 알 수 있었다. 탄소섬유 차폐 케이블의 경우, 탄소섬유의 저항값이 금속보다 높고, 열 전달율이 금속의 열 전달율 보다 느리기 때문에 상대적으로 케이블 내부에 열 축적이 많은 것으로 생각되지만, 기존 금속차폐 케이블과 비교해서, 허용전류에 의한 탄소 섬유 차폐케이블의 영향은 큰 차이는 발생하지 않았다.

감사의 글

This work was supported by Civil-Military Technology Cooperation Program(15-CM-MA-14)

References

- [1] IEEE Power and Energy Society, "IEEE Guide on Shielding Practice for Low Voltage Cables", IEEE Std 1143, pp. 1-79, 2012.
- [2] Kim, Jae shin, Song, Gui Sub, Na, Seung Hyun, Lee, Dong Hui, "Review on the Shielding Effectiveness of Cable Harness", Korea Association of Defense Industry Studies Vol. 15, No. 1, pp. 246-276, 2008.
- [3] Zi Ping Wu et al, "Electromagnetic interference shielding effectiveness of composite carbon nanotube macro-film at a high frequency range of 40 GHz to 60 GHz", AIP ADVANCES 5, pp. 067130-1-8, 2015.
- [4] ISO 14572(2006), "Road vehicles—Round, screened and unscreened 60V and 600V multi-core sheathed cables—Test methodes and requirements for basic and high-performance cables.
- [5] Yue Liu, Bernd Zwingmann and Mike Schlaich, "Carbon Fiber Reinforced Polymer for Cable Structures-A Review", Polymers, 7, pp. 2078-2099, 2015.
- [6] CTC global first edition, "Engineering transmission lines with high capacity low sag ACCC conductors", 2011.
- [7] Francesca Mirri et al, "Lightweight, flexible, high-performance carbon nanotube cables made by scalable flow coating", ACS Applied Materials & Interfaces, pp. 1-18, 2016.

- [8] Soo-Jin Park, Yu-Sin Jang, Jae-Rock Lee, and Jin-Seuk Kim, "Fiber Surfaces and Interlaminar Shear strengths of Electrolytic Ni-plated Carbon fiber/Epoxy Resin Composites", Polymer, Vol. 24, No. 5, pp. 721-727, 2000.
- [9] Ki-Yeon Park, Sang-Bok Lee, Jin-Bong Kim, Jin-Woo Yi, Sang-Kwan Lee, Jae-Hung Han, "Fabrication and Microstructure of Metal-Coated Carbon Nanofibers using Electroless Plating", Journal of Advanced Composite Materials, Vol. 20, No. 5, pp. 43-48, 2007.



송길목 (Kil-Mok Shong)

1967년 3월 31일생. 1994년 2월 숭실대 공대 전기공학과 졸업. 2003년 8월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 8월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1996년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 책임연구원.
E-mail : natasder@kesco.or.kr

저 자 소 개



김영석 (Young-Seok Kim)

1974년 4월 27일생. 1996년 2월 경상대학교 공대 전기공학과 졸업. 1999년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2001~2002년 야마구치대학 전기전자공학과 객원연구원. 2003년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 선임연구원
E-mail : athens9@kesco.or.kr



김택희 (Taek-Hee Kim)

2003년 2월 원광대학교 전기공학과 졸업. 2016년 2월 전북대학교 IT응용시스템공학과 졸업(석사).
2007년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 주임연구원
E-mail : taki@kesco.or.kr



김종민 (Chong-Min Kim)

1972년 7월 18일생, 1998년 전북대학교 전기공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 주임연구원
E-mail : cmkim@kesco.or.kr