

탄소나노튜브를 첨가한 나노 복합재료의 화학적 특성 변화 연구

양종석, 이경용, 신동훈, 박대희
원광대학교, 한국원자력연구소*

Chemical Properties Changes of Nanocomposites due to Addition of Carbon nanotubes

Jong-Seok Yang, Dong-Hoon Shin, Kyoung-Yong Lee, Baek-Ryong Sung* and Dae-Hee Park
Wonkwang University, Korea Atomic Energy Research Institute*

Abstract : To improve mean-life and reliability of power cable in this study, we have investigated chemical properties showing by changing the content of Carbon nanotube(CNT) that is semiconductive additives for underground power transmission. Specimens were made of sheet form with the three of existing resins and the five of specimens for measurement. Chemical properties of specimens was measured by FT-ATR (Fourier Transform Attenuated Total Reflectance). The condition of specimens was a solid sheet. We could observe functional group (C=O, carbonyl group) of specimens through FT-ATR. From these experimental result, the concentration of functional group (C=O) was high according to increasing the content of Carbon nanotube. We could know CNT/EEA was excellent more than other specimens from above experimental results.

Key Words : CNT, Semiconducting Materials, Carbonyl Group, FT-ATR

1. 서론

재료의 구조와 화학 조성을 나노 단위로 제어를 통해 재료 부품의 집적화, 고기능, 소형화 하려는 연구가 현재 활발히 진행되고 있다. 하지만 지중 송배전용 전력케이블을 비롯한 전기재료 분야에서는 이러한 연구가 전무한 상태이다. 전력케이블 반도체층 주변의 열이나 전기적인 스트레스로 인해 불순물들은 고분자의 가장 큰 화학구조 변화인 산화반응에 참여하여 열화를 가속시키며 열화과정을 통해 고분자 내에 극성을 부여함으로써 소수성기의 화학구조를 친수성으로 변화시켜 수분의 유입을 가져오게 한다. 이와 같은 산화반응은 아무 곳에서나 진행되는 것이 아니라 고분자 사슬내에서 약한 부분부터 산화되기 시작한다. 즉 고분자재료의 중합과정이나, 고분자 자체의 화학결합 중에서 이중결합 또는 삼중결합 등이 산화반응에 약한 부분들로서 이러한 결합 주위에 일정 온도가 유지되고 불순물과 산소만 있으면 대부분 산화반응을 일으킨다. 결국 불순물들은 산화과정을 통해 반도체층 내에서 절연층으로 확산되며 이러한 과정 중에 수트리나 전기적인 스트레스가 집중하여 절연파괴를 일으킨다 [1-2].

따라서, 본 논문에서는 전력케이블의 수명연장 및 신뢰성을 확보하기 위해 현재 사용중인 반도체층 재료와 CNT/EEA 반도체층 재료를 FT-ATR 실험을 통해 화학적 특성을 측정하여 신뢰성 확보를 검토하였다.

2. 시료 및 실험 방법

2.1 시편제작

본 논문에서 사용된 반도체층 재료는 EVA (Ethylene Vinyl Acetate, 삼성중합화학), EEA (Ethylene Ethyl Acrylate, ATOFINA) 및 EBA (Ethylene Butyl Acrylate, Mitsui Dupont)를 기본 재료로 사용하였다. 표 1에서 보는 바와같이 본 논문에서는 탄소나노튜브 (Hollow CNT75, (주)나노카본)의 함량을 변수로 하였으며 그 함량은 0[wt%]~10[wt%]이었다. 이들 재료의 조성비는 표 1과 같다. 표 1에서 보는 바와 같이 CNT/EEA 반도체층 재료 시편은 펠렛형태의 시료를 180℃로 예열된 Internal mixer

기를 사용하여 시편제작을 실시하였다. 또한 현재 사용중인 반도체층 재료의 시편도 위와 같은 공정으로 시편제작을 실시하였다.

표 1. 시편들의 조성 Unit: wt%

Content	EVA	EEA	EBA	CNT	CB	Additive	Agent	Total
# 1	-	98.9	-	0	-	0.6	0.5	100
# 2	-	97.9	-	1	-	0.6	0.5	100
# 3	-	95.9	-	3	-	0.6	0.5	100
# 4	-	93.9	-	5	-	0.6	0.5	100
# 5	-	88.9	-	10	-	0.6	0.5	100
A 1	53.8	-	-	-	38.7	6.9	0.6	100
A 2	-	-	53.8	-	38.7	6.9	0.6	100
A 3	-	-	57.8	-	37.2	4.5	0.5	100

2.2 실험 장비 및 방법

시편들의 카보닐기 작용기 검출은 FT-ATR을 이용하여 측정하였다. 본 실험에서 사용된 시편은 복합재료 형태의 고분자 시료 이므로 FT-ATR (Fourier Transform - Attenuated Total Reflectance, 표면반사 적외선분광기)인 SensIR Technologies사의 Travel IR을 이용하여 분석하였다.

3. 실험 결과

전력케이블 내 고분자는 절연열화 현상이 문제시 된다. 이러한 절연열화의 원인은 고분자 절연재료에서 산화반응이 진행됨에 따라 구조변화 등을 거치며 나타나게 된다. 이러한 산화반응은 고분자가 전력케이블의 재료로서 사용되는 동안에 높은 온도에서 운전되고 이때 주변의 산소 또는 고분자 내에 들어있는 molecular level의 산소에 의해 시작된다. 산화반응이 진행되면 고분자 사슬이 짧게 끊어지는 사슬절단 현상이 일어나 고분자의 분자량은 감소하게 된다. 따라서 고분자는 극심한 열화과정을 거치게 된다. 이와 같은 고분자의 산화는 아무 곳에서나 산소만 있으면 진행되는 것이 아니라 고분자 사슬 내에서 약한

부분부터 산화되기 시작한다. 예를 들어 XLPE 절연체의 경우, 탄소-수소가 단일 결합을 하고 공유 결합력이 매우 강하기 때문에 산화반응이 잘 일어나지 않는다.

그러나 반도체 재료의 경우, 작용기 (C=O, 카보닐기)를 갖는 폴리올레핀 수지로서 어느 정도의 온도가 유지되고 산소만 있으면 산화반응을 일으킨다. 또한 반도체 재료 내에는 이온성 불순물과 표면에 극성 작용기를 함유한 카본블랙 및 탄소나노튜브 등이 추가되어 있기 때문에 극성 작용기로 인한 산화반응은 더욱 가속화된다. 일단 산화반응이 일어나면 이 부분에서 계속적인 화학반응이 일어나 결국에는 사슬절단이 일어나고 이 지점은 다시 약한 부분이 된다. 이러한 과정을 반복하면서 전력케이블 내 고분자들은 계속적인 산화에 의한 극심한 열화를 일으킨다 [3]. 이와 같이 산화반응에 기여하는 극성 작용기 (functional group)를 검출하기 위한 FT-ATR 분석법은 다양한 극성 작용기의 존재를 제공한다. 우선 본 실험에서는 시편들의 카보닐기 (C=O)의 존재를 확인하고 탄소나노튜브 및 카본블랙의 함량에 따른 카보닐기의 존재량을 측정하였다. 일반적으로 카보닐기는 결합에너지가 강하고 견고하여, 결합이 신장 또는 압축될 때 더 많은 힘이 요구된다. 그래서 단일결합보다 더 높은 진동수에서 진동한다. 그림 1은 탄소나노튜브의 함량이 0[wt%]~10[wt%] 첨가된 CNT/EEA 시편의 FT-ATR 스펙트럼을 나타낸 것이다. 1720[cm⁻¹]부근에서 고유의 진동수를 갖는 카보닐기를 확인하였다.

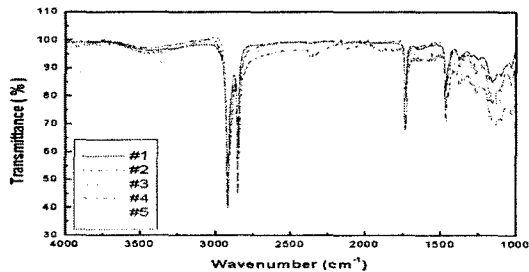
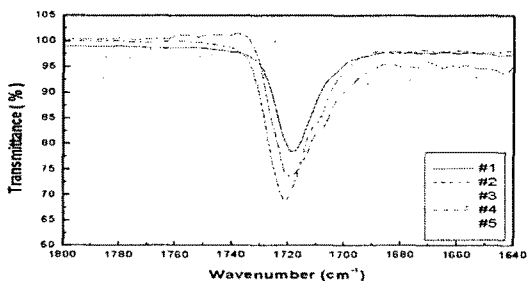
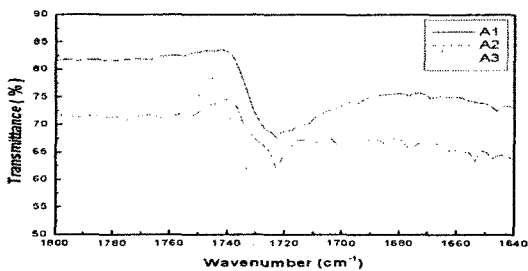


그림 1. CNT/EEA 시편의 FTATR 스펙트럼



(a) CNT/EEA



(b) 현재 사용 중인 반도체 재료

그림 2. 탄소나노튜브 함량에 따른 시편들의 FTATR 스펙트럼

물론 각 피크별로 살펴볼수 있겠지만 본 실험에서는 1720[cm⁻¹]부근에서 피크를 가지는 카보닐기가 산화반응의 확인 및 산화기구로 주로 사용되어 중점적으로 다루었다. 그림 2는 1720[cm⁻¹]부근에서 피크가 나타나는 카보닐기의 적외선 투과량을 나타내고 있다.

그리고 표 2에서 CNT/EEA 는 보는바와 같이 탄소나노튜브의 함량이 증가함에 따라 여러 시편들은 66[%]~78[%] 범위에서 투과량이 감소하고 있다. 이것은 또한 탄소나노튜브의 함량이 증가함에 따라 흡수량이 증가하는 것을 의미한다. 실제로 표 2에서 CNT/EEA 시편들은 탄소나노튜브의 함량이 증가함에 따라 10[%]~ 17[%] 범위에서 흡수량이 증가하고 있다. 따라서 탄소나노튜브의 함량에 따라 카보닐기는 증가하거나 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 표 2에서 현재 반도체 재료로 사용되고 있는 A1~A3 시편들의 투과량은 56[%]~68[%]로 CNT/EEA시편들에 비해 낮게 나타났고 흡수량은 16[%]~26[%]로 높게 나타났다.

표 2. 탄소나노튜브의 함량에 따른 시편들의 투과/흡수량

Contents	Wavenumber [cm ⁻¹]	Transmitted content [%]	Absorbed content [%]
#1	1720	78	10
#2	1720	73	13
#3	1721	68	15
#4	1721	67	16
#5	1721	66	17
A1	1720	68	16
A2	1721	65	18
A3	1720	56	26

4. 결론

본 논문에서는 전력케이블의 신뢰성을 향상시키기 위해 반도체층 재료 수지내의 탄소나노튜브 함량에 따른 화학적 특성을 알아보았다. 반도체층 재료 시편들 중에서 CNT/EEA는 가장 많은 투과량과 적은 흡수량을 보이고 있다. 이것은 CNT/EEA 내에 카보닐기가 다른 시편들 보다 적게 존재하는 것을 의미한다. 위 결과로부터 CNT/EEA가 대체적으로 화학적 특성이 우수함을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구는 2단계 BK21 사업의 지원에 의하여 수행된 과제임

참고 문헌

- [1] 한재홍, 김상준, 권오형, 강희태, 서광석, “반도체층내 불순물이 전력케이블의 신뢰도에 미치는 영향”, 대한전기학회 논문지, Vol. 46, No. 1, 1997.
- [2] 한재홍, 송일근, 임장섭, 이동영, “전력케이블용 반도체 재료의 설계기술”, 한국전기전자재료학회 논문지, Vol 13, No. 2, pp. 12-17, 2000. 2
- [3] 박수진, 조기숙, M. Zaborski, L. Slusarki, “충전재 - 탄성체 상호작용. 6. 산소 플라즈마 처리가 카본블랙 표면특성에 미치는 영향”, Elastomer, Vol. 37, No. 2, pp. 99-106, 2002.