

탄소섬유를 이용한 전도성 종이의 제조 및 특성

김봉용[†]

(2009년 6월 8일 접수: 2009년 7월 24일 채택)

Characteristics of Electroconductive Paper Manufactured with Carbon Fiber

Bong Yong Kim[†]

(Received June 8, 2009; Accepted July 24, 2009)

ABSTRACT

Electroconductive papers were manufactured as handsheet by mixing carbon fiber in LBKP and BCTMP. The electrical conductivity of the paper was improved by increasing carbon fiber content and basis weight. The porosity was increased and tensile strength was decreased by the addition of carbon fiber. Electrical conductivity of carbon fiber and BCTMP-based sheet was much better than those of carbon fiber and LBKP-based one. This result indicated that the electrical conductivity of paper can be affected by the kinds of raw material of wood fibers used.

Keywords: electroconductive paper, electrical conductivity, carbon fiber, LBKP, BCTMP

1. 서론

제지산업에서 대량 생산되는 종이의 가격이 비교적 싸다는 점을 고려한다면 탈 종이 개념의 새로운 기능성 고부가가치 제품을 개발하여 상품화 하는 데는 한계가 있다. 그러므로 목재펄프로부터 대량으로 만들어지는 종이를 기본으로 하더라도 특수한 기능을 부여하여 종이의 용도를 확대시키고 부가가치를 높여서 이윤을 창출하는 시도가 가장 현실적인 제지업

계의 신제품 개발 패턴으로 자리 잡고 있다. 이러한 특수 기능지는 연구개발과 아울러 개발자에 의한 적극적인 새로운 시장의 수요창출도 대단히 중요하다. 금후의 종이 연구는 종이의 고유 용도인 인쇄, 필기 및 상품포장 등의 용도를 초월하여 산업용재, 의료 및 위생재료, 전기 및 전자산업의 특수 기능성 소재로까지 확대되어 가고 있는 실정이다. 그러므로 본 연구는 종이의 용도 확대 및 기능성 부여의 일환으로 최근 시도되고 있는 전기가 통하는 전도성 종이 개발을 위한 기초 자료로 활용하기 위하여 시도 되었다.

• 경북대학교 임산공학과(Department of Wood Science and Technology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea)

† 교신저자(Corresponding author): E-mail; bykim@knu.ac.kr

본 실험에서 사용한 탄소섬유는 우수한 전기전도성 외에 전자파 및 정전기 흡수성 같은 전기적 특성을 가지고 있어 종이와 복합체를 형성시켜 전기저항을 조절하면 사용이 간편한 다양한 등급과 기능을 갖는 시트상의 전도체가 만들어 질 수 있을 것으로 판단된다. 특히 발열체로 응용하기 위한 탄소섬유 시트는 다소 연구되어 있으나 목질섬유와 탄소섬유의 복합체 제조 및 복합체의 전기전도성 및 특성, 복합체의 시트 화시 기본 물성에 관한 기본 자료들은 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 목질섬유를 기본 펄프로 하고 도전성 특성을 가진 탄소섬유를 짧게 절단하여 일정 비율 목질펄프에 혼합하면서 전기 전도성 시트인 종이를 제조하여 전기전도성 및 시트의 기본물성과 섬유결합 양상을 관찰하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 실험에 사용된 탄소섬유는 등방성 피치계 탄소섬유 C-1000(Anshan EACF Co., China)와 충남대에서 제조한 활성탄소섬유 K-1500(CNU, Korea)를 각각 1~2 mm 길이로 짧게 절단하여 사용하였으며 목재펄프로는 국내산 시판용인 LBKP와 BCTMP를 사용하였다. 탄소섬유의 특성은 표 1에 나타내었다.

2.2 실험방법

2.2.1 수초지 제조 및 물성 평가

탄소섬유는 1~2 mm 길이로 짧게 절단하였고 LBKP는 나이아가라 비터로 여수도 410 ml CSF로 고해하였으며 BCTMP는 여수도 110 ml CSF 인 것을 고해하지 않고 사용하였다. 목재펄프에 탄소섬유를 5, 10, 20, 30% 혼합하면서 TAPPI 표준시험법 T205 om-81에 따라 탄소섬유가 일정 혼합된 수초지를 제

조하였다.

수초지의 인장강도(Hounsfield type) 및 투기도(PPS type)를 측정하였고 범용의 비디오 현미경을 사용하여 종이표면의 탄소섬유 분포상태를 관찰하였다.

2.2.2 전기전도도 측정

120 mm × 15 mm의 종이 시편을 만들어 사용하였으며 시편의 저항 측정 시에는 접지 위치에 따른 측정 오차를 최소화하기 위하여 전기가 비교적 잘 통하는 은박지를 시편 길이방향의 양 끝에 10 mm 폭으로 감아서 밀착시키고 정밀 저항측정기(Model 3244, Hioki Co. Japan)로 저항을 측정하였다. 또한 시편의 두께 측정은 마이크로미터를 사용하였으며, 전기전도도 σ (s/cm)는 다음 식을 이용하여 계산하였다.¹⁾

$$\sigma(s/cm) = \frac{S}{W} \times T \times \frac{1}{R}$$

여기서 S(cm) = 단자간의 거리,

T(cm) = 시편의 두께,

W(cm) = 시편의 폭,

R(Ω) = 전기 저항.

3. 결과 및 고찰

3.1 전기전도도 특성

탄소섬유 함량에 따른 종이의 전기전도도 변화특성을 알아보기 위하여 LBKP를 기본 펄프로 사용한 실험결과를 Fig. 1에 나타내었다. 2종류의 탄소섬유를 첨가한 종이의 전도도는 첨가량에 따라 모두 증가하는 경향을 나타냈다. 탄소섬유 자체의 전기전도도가 약 1.4배 높은 C-1000의 첨가가 K-1500 첨가보다 훨씬 높은 전기전도도의 증가를 나타냈다. 이론적으로 종이의 전도성은 첨가된 전도성 물질의 형태, 분포 상태 및 접촉면적, 접촉저항 등의 다양한 인자에 의해

Table 1. Characteristics of carbon fiber

Type	Diameter(μ m)	Specific density (g/cm ³)	Electrical conductivity(s/cm)
C-1000	12.5	1.44	47
K-1500	12.8	1.05	33

영향을 받지만 우선 접촉빈도가 많아야 전도성이 높아진다.²⁾

탄소섬유의 첨가량이 많아지면 탄소섬유 서로간의 접촉면적과 접촉빈도가 증가하므로 전기전도도가 증가한다고 볼 수 있다. 그러나 탄소섬유가 첨가되면 기본 펄프인 목재섬유 상호간의 접촉기회의 감소에 의해 목재섬유 간의 수소결합 면적과 양을 감소시켜 종이의 강도가 다소 약해지는 것은 피할 수 없을 것으로 판단된다. Fig. 1 에서 보는 바와 같이 탄소섬유 10% 첨가 시 까지는 전도성의 증가가 미미하나 20%, 30%까지 탄소섬유 함량을 높였을 경우 2종류의 시트 모두 전기전도도가 상당히 증가되는 것을 볼 수 있다. 일반적으로 전도성 물질의 첨가에는 임계함량이 있는 것으로 알려져 있으며 이 임계함량 이상의 전기전

도도를 갖는 물질을 전도성 복합체로 분류하고 있다.^{3,4)} C-1000 탄소섬유는 등방성계 이므로 이방성과 비교하면 섬유방향으로 전기전도도는 크게 떨어지고 K-1500은 등방성 섬유를 활성화하여 섬유에 우수한 미세공을 발달시켰으므로 전류의 흐름이 매우 불규칙하게 되고 공간이 많아 전도성이 감소하게 되는 특성이 있다.¹⁾

그러므로 등방성 피치계 탄소섬유인 C-1000의 첨가가 K-1500의 사용보다 동일 첨가량에서 전도도가 높음을 알 수 있다. 또한 탄소섬유의 첨가에 따른 두께 변화도 전도성에 영향을 미치는 종이의 구조적 인자라고 할 수 있다. 본 실험에서는 탄소섬유의 첨가에 따라 종이의 두께 증가를 관찰 할 수 있었으며, 이러한 종이의 두께 증가는 전도성 물질의 부피를 증가시켜 탄소섬유간의 접촉기회를 감소시키므로 결과적으로 종이의 전도성에 나쁜 영향을 미치게 된다. 따라서 전도성 물질의 첨가에도 불구하고 종이의 부피가 증가하지 않게 하는 초지기술도 전도성 종이의 개발에 중요한 관건이 될 수 있다. Fig. 2 에는 LBKP를 기본 펄프로 사용하여 탄소섬유의 첨가량을 10%로 고정하고 종이의 평량을 변화시켰을 때의 전기전도도 변화를 보여주고 있다. K-1500 탄소섬유 첨가는 종이의 평량에 따른 전도도는 거의 변화가 없으나 상대적으로 전도성이 우수한 C-1000을 배합했을 경우 평량에 따라 전도성이 어느 정도 증가하는 경향을 볼 수 있다. 이것은 평량에 따른 종이의 구조적인 특성과 연관 지어 생각할 수 있으며 탄소섬유의 양이 10%로 고정되

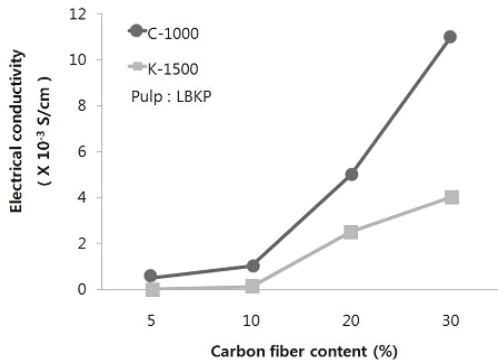


Fig. 1. Effect of carbon fiber content on the electrical conductivity(Basis weight : 60g/m²).

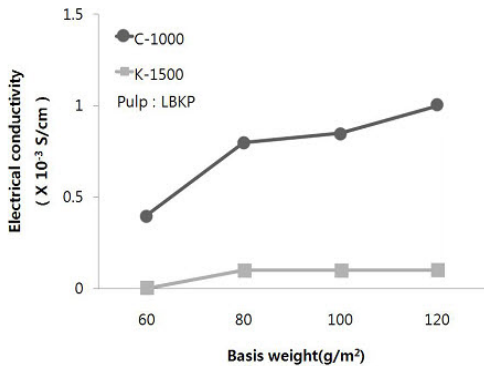


Fig. 2. Effect of basis weight on the electrical conductivity(carbon fiber : 10%).

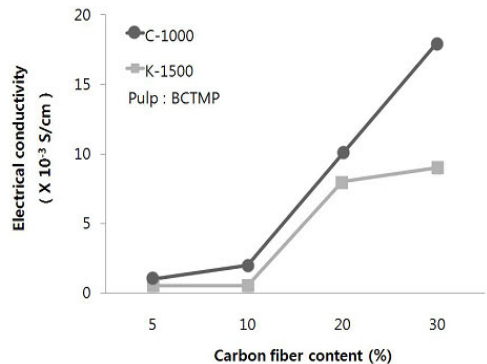


Fig. 3. Effect of carbon fiber content on the electrical conductivity.

어 있으므로 평량이 높아질수록 두께 및 밀도에 미치는 탄소섬유의 영향이 작아진 결과로 추정된다.

Fig. 3 에는 기본 펄프로 BCTMP를 사용하여 탄소섬유의 첨가에 따른 전기전도도 변화를 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 탄소섬유의 임계함량이라고 생각되는 10% 이후에는 첨가량에 따라 전도도가 급격히 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig. 4 와 Fig. 5 에서는 기본 펄프인 LBKP, BCTMP를 각각 사용했을 때 탄소섬유의 첨가에 따른 전기전도도의 세기를 비교하였다. 그림에서 보는 바와 같이 기본 펄프로 BCTMP를 사용하였을 경우가 LBKP 사용 시보다 같은 양의 탄소섬유를 첨가한 종이를 비교

하면 전기전도도가 2배 이상 높게 나타난다는 흥미 있는 사실을 알 수 있었다. 리그닌 함량이 높은 BCTMP와 리그닌이 거의 없고 셀룰로오스 함량이 대부분인 LBKP의 특성에서 기인하는 전도매체 및 섬유간 결합양식의 차이와 두께, 밀도 등에 연유되는 종이의 구조적 특성이 복합된 양상이 발현된 결과라고 생각된다. 이러한 결과는 향후 더 구체적이고 심도 있는 연구가 필요한 상당히 흥미 있는 부분이라고 생각된다.

3.2 종이물성 및 탄소섬유의 분포

Fig. 6은 탄소섬유 첨가에 의한 종이의 인장강도 특성 결과이다. 기본 펄프인 LBKP 및 BCTMP를 각각 사용하여 탄소섬유 C-1000을 첨가한 결과 2종류 기본 펄프 모두 탄소섬유의 첨가량 증가에 의해 인장강도가 서서히 감소하는 경향을 보여주었다. 이것은 탄소섬유의 첨가에 의해 목재섬유 상호간의 접촉빈도, 접촉면적의 감소에 의한 수소결합 총량의 감소에 기인하는 결과로 생각된다. 물론 탄소섬유의 표면에도 약간의 수산기, 카르복실기가 있어⁵⁾ 수소결합의 가능성은 있으나 목재섬유 보다 훨씬 적어 인장강도 감소의 주된 원인으로 볼 수 있다. 또한 유연한 목재섬유에 비해 딱딱한 표면 특성을 갖고 있는 탄소섬유의 첨가에 의해 종이의 두께가 증가하는 벌키(bulky)현상을 관찰할 수 있었는데 이런 현상도 섬유간 접촉 및 결합부위가 감소됨으로써 인장강도를 감소시키는 것으로 생각된다. Fig. 7 에 탄소섬유 첨가에 의한 투기도의 변화를 표시하였다. 탄소섬유 첨가량의 증가에 따라 투기도는 증가하였으며 이러한 현상은 탄소섬유의 첨가에 의해 종이의 두께 증가와 밀도 감소에 의해 기인하는 기공도 증가에 의한 결과로 설명할 수 있겠다. Fig.8 은 탄소섬유 첨가 종이의 표면구조를 비디오 현미경을 통하여 관찰한 그림이다. 검은색 섬유가 탄소섬유이며 종이 표면의 구조 관찰 결과 탄소섬유의 분산성이 비교적 양호하다고 판단할 수 있으나 부분적으로 불균일한 분포상태도 볼 수 있다.

기본펄프인 LBKP와 탄소섬유의 섬유장이 1~2 mm 정도로 비슷한 것도 양호한 분산 특성에 기여한 것으로 판단된다. 또한 탄소섬유와 목재섬유 간의 결합이 불완전해 미세하게 들떠 있는 현상도 볼 수 있다.

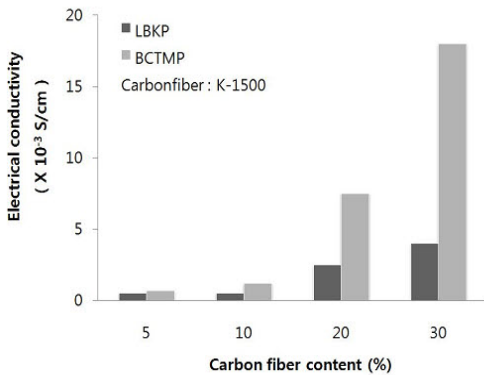


Fig. 5. Electrical conductivity of LBKP and BCTMP sheet depending on the amount of carbon fiber(K-1500).

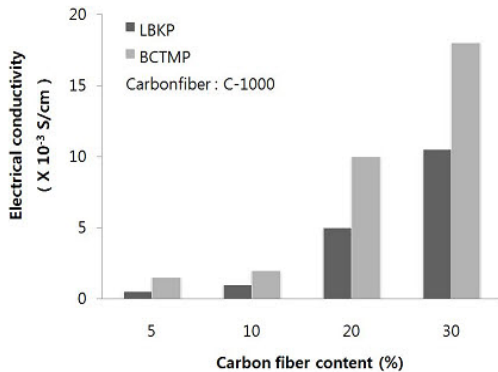


Fig. 4. Electrical conductivity of LBKP and BCTMP sheet depending on the amount of carbon fiber (C-1000).

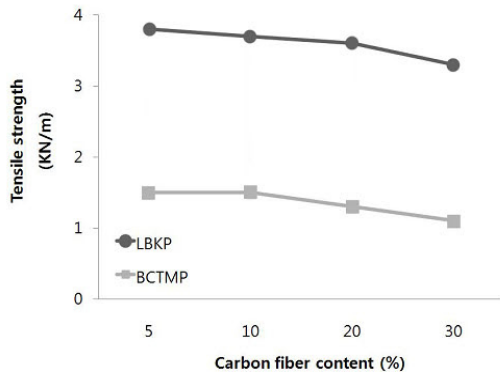


Fig. 6. Effect of carbon fiber(C-1000) content on the tensile strength.

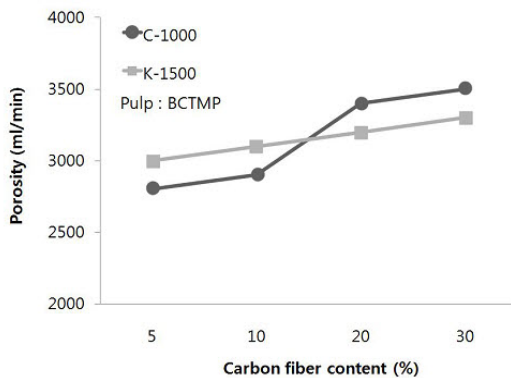


Fig. 7. Effect of carbon fiber content on the porosity.

탄소섬유의 양호한 분산성과 목재섬유, 탄소섬유 상호간의 결합능력 향상이 향후 연구의 중요한 관건이 될 수가 있겠다.

4. 결론

전도성 종이의 개발 가능성을 검토하기 위한 기초 자료로 활용하기 위하여 목재섬유인 LBKP, BCTMP를 기본 펄프로 하고 등방성 탄소섬유와 활성탄소섬유 2 종류를 첨가하여 제조한 전도성 종이의 전기전도도 특성과 기본 물성을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 탄소섬유 함량 및 시트의 평량이 높을수록 전기전도도는 증가하였으며, 탄소섬유를 첨가함으로써 전도성 종이의 제조가 가능함을 확인 할 수 있었다.
2. BCTMP를 기본 펄프로 하여 탄소섬유를 첨가한 경우가 LBKP를 기본 펄프로 한 경우보다 종이의 전기전도도가 훨씬 높게 나타나는 특이한 현상을 관찰 할 수 있었다. 이것은 기본 펄프의 물리화학적 특성과 종이의 구조적 특성이 전기전도도에 크게 영향을 미치는 것으로 생각되나 향후 이 부분의 심층 연구가 필요할 것으로 판단된다.
3. 탄소섬유의 첨가에 의해 인장강도는 감소하였고 투기도는 증가하였으며 탄소섬유의 존재가 목재섬유 상호간의 결합력을 약화시키는 것을 알 수 있었다.

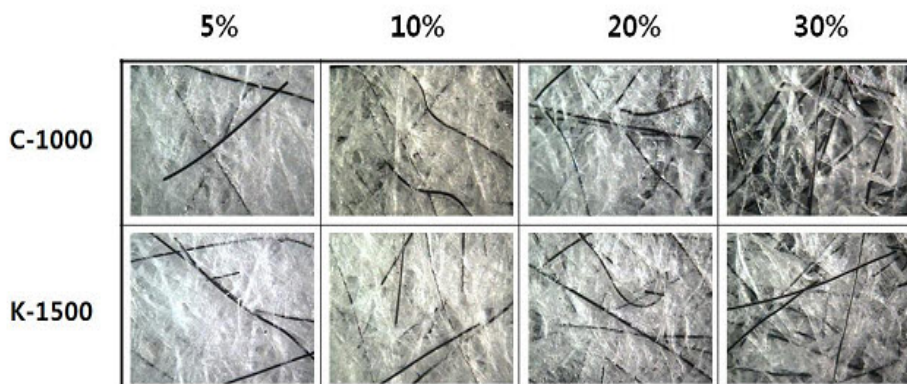


Fig. 8. Video image of carbon fiber on the surface of LBKP sheet.

사 사

본 실험을 위해 탄소섬유를 공여해 주신 충남대학교 화학공학과 유승곤 교수님께 감사드립니다.

인용문헌

1. 정준, 유승곤, 탄소섬유 강화종이의 전기전도도와 표면 온도, 화학공학 42(5):598-604(2004).
2. Cho, J. W and Choi, J. S., Relationship Between Electrical Resistance and Strain of Carbon Fibers upon Loading, J. Appl. Polym. Sci., 77(9) : 2082-2087 (2000).
3. Zhang, C., Yi, X. S., Yui, H., Asai, S. and Sumita, M., Morphology and Electrical Properties of Short Carbon Fiber-Filled Polymer Blends : High-Density Polyethylene Polymethyl Methacrylate, J. Appl. Polym. Sci., 69(9) : 1813-1819(1998).
4. Lozano, K., Bonilla-Rios, J. and Baera, E. V., A Study on Nonfiber-Reinforced Thermoplastic Composites(Ⅱ) : Investigation of the Mixing Rheology and Conduction Properties, J. Appl. Polym. Sci., 80(8) : 1162-1172(2001).
5. Krekel, G., Huttinger, K. J. and Hoffman, W. P., The Relevance of the Surface-Structure and Surface-Chemistry of Carbon-Fibers in Their Adhesion to High Temperature Thermoplastics, J. Mater. Sci., 29(13) : 3461-3468(1994).