

# Mechanical Properties of Thermoplastic Composite Reinforced Porous Carbon

Taek Sung Hwang\*<sup>◆</sup>, Jin Won Park, Hae Young Song and Eui Hwan Hwang\*\*

\*School of Chemical Engineering, College of Engineering, Chungnam National University, Yuseong, Taejeon 305-764, Korea

\*\*Department of Industrial Chemistry, Cheon-an National Technical College, Cheon-an 330-240, Korea

◆e-mail: tshwang@cuvic.cnu.ac.kr

(Received April 18, 2000; accepted June 2, 2000)

## Abstract

Porous carbon from charcoal filled polypropylene composites were prepared and their mechanical properties were evaluated. In preparing the composites, crosslinking agent (sodium benzonate) were used in order to improve the bonding force between matrix and fillers. In this study, the effects of charcoal powder and sodium benzonate concentration on the mechanical properties and interface phenomena on the composites were evaluated. The mechanical properties of composites increased progressively with the decrease of filler loading. In the case of addition of the crosslinking agent into the composite, the mechanical properties were increased and showed maximum value at the 3 wt% concentration of sodium benzonate. According to the result of the TGA, the weight loss of composite according to crosslinking agent was not observed and initial thermal degradation temperature of composite reinforced charcoal was located at 390°C.

## Keywords :

## 1. 서 론

최근 산업의 발달과 인구의 증가로 인한 공장폐수, 생활하수 및 자동차 매연 등에 대한 대기오염, 수질오염, 소음·진동 등의 환경오염이 날로 심각해지고 있어 인류의 건강과 생태계의 보존을 위해 이의 처리가 매우 시급한 실정이다. 게다가 최근에 급증하는 전자제품의 사용으로 인하여 전자파의 유해함이 사회적으로 부각되고 있다.

전자파는 전기와 자기의 주기적인 변화에 의한 진동이 진공 혹은 물질 속을 전파해 나가는 파동 현상 또는 공간을 이동하는 일종의 에너지로서 전자파는 휴대폰, 가전제품, 컴퓨터 모니터 등에서 방출되어 인체에 나쁜 영향을 준다는 것이 자주 보고되고 있으며, 최근에는 빌딩병 증후군, 전자파 과민증, 정신적 스트레스를 야기하여 새로운 문화병으로 취급되고 있다.

일반적으로 전기 전도성이 높은 물질은 전자파를 차폐하는 능력을 지니고 있는 것으로 알려져 있으며 [1] 탄소 재료인 숯은 경량, 단열, 내화, 내산화, 내열충격, 저발열성 외에도 열이나 전기의 전도성이 높아 전자파 차단효과를 나타내는 것으로 알려져 있어 최근 건축 복합재료의 이용에 대한 관심이 고조되고 있다.

한편 건축 복합재를 제조에 많이 이용되어지는 열가소성수지의 경우 낮은 열적 안정성 및 충전제 첨가에 따른 건축 복합재 무게 증가가 문제점으로 지적되고 있다.

따라서 본 연구에서는 바닥재, 벽재 등에 사용이 가능한 기성 경량 건축 복합재를 제조하기 위하여 폴리프로필렌 (Polypropylene) 수지를 결합재로 하고 충전제로는 경량인 숯 (Charcoal)을 사용하고 결합재와 충전제간의 계면 결합력을 증

진시키기 위해 가교제인 sodium benzonate를 사용하여 복합재를 제조하고 기계적 물성을 측정하여 이들 결과를 토대로 최적 물성을 갖는 결합재와 충전제의 배합조건 및 가교제 첨가량의 최적량을 고찰하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 시료 및 시약

결합재로 사용한 폴리프로필렌은 (주)호남석유화학에서 생산되는 제품으로 평균분자량이 10만이었으며 밀도는 0.959이며 인장강도가 300 kg/m<sup>2</sup>인 것을 사용하였다.

충진제 사용한 숯은 경남 진주시 임업연구소에서 생산한 것으로 1,000°C 이상에서 탄화한 대나무 숯(bamboo charcoal)을 사용하였다. 그리고 charcoal의 수분함량을 8% 이하로 유지하기 위해 110°C에서 2시간 이상 건조한 후 실험에 사용하였다.

또한 결합재와 충전제 사이의 계면 결합력을 증가시켜 복합재의 기계적 물성을 증가시키기 위해서 사용한 가교제는 Aldrich사의 순도 99.9%의 sodium benzonate를 사용하였다.

### 2.2. 시편제조

결합재와 충전제는 첨가제를 혼합 후 Table 1에 나타낸 것과 같이 각각의 무게비에 따라 혼합한 후 시료를 자체 제작한 급형(190×90×40 mm)에 넣고 hot-press를 이용하여 압축성형시켜 시편을 제조하였다.

이 때 성형온도는 250~260°C의 범위에서 일정하게 유지시켰고, 압력은 먼저 1.72 Mpa로 가압하여 12분 동안 가열한 후,

Table 1. Mixing condition of matrix in composite reinforced carbon

PES (wt%)	Charcoal (wt%)	Sodium Benzoate (wt%)			
70	30	0	1	3	5
65	35	0	1	3	5
60	40	0	1	3	5
55	45	0	1	3	5
50	50	0	1	3	5

다시 2.87 MPa로 15분간 가압하여 충분히 성형을 시켰으며, 성형이 끝난 후 압력을 2.87 MPa로 유지한 채 1시간 동안 냉각시켰다[2].

2.3. 입도 및 성분분석

시료로 사용하는 charcoal의 입도를 분석하기 위해 Malvern Instruments 의 Particle size analysis를 이용하여 평균입도 및 입도분포를 확인하였으며 CE Instrument의 Elemental Analyzer를 이용하여 성분을 확인하였다.

2.4. 열분석

제조한 시편의 내열성과 중량감소를 확인하기 위하여 충전제의 혼합비에 따라 Dupont 2100 열중량 분석기를 이용하였다. 이때 분석조건은 아르곤 기류하에서 가열속도 5°C/min로, 30~600°C의 범위에서 측정하였다.

2.5. 기계적 물성 분석

ASTM D790시험법에 따라 복합재의 굴곡 탄성률, 굴곡강도를 측정하기 위한 시편을 제조하고 support span과 시편의 두께비(L/D)를 16, cross head speed를 2 mm/min이 되도록 고정하여 three point bending test 법에 의해 측정하였다.

또한 ASTM D638방법에 따라 시편을 제조한 후 Instron Co.의 만능시험기(Universal Test Mashine)을 이용하여 cross head speed는 20 mm/min으로 하여 제조한 복합재의 인장강도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 입도분석 및 성분분석

복합재료 제조시 충전되는 입자의 크기와 모양은 복합재의 기계적 물성에 직접적인 영향을 미친다.

따라서 본 연구에서는 이들의 크기와 모양에 따른 영향을 조사하기 위해서 입도 분석을 하였는데 그 결과가 Table 2에 나타나 있다.

Table 2에 나타난 바와 같이 충전제인 charcoal의 평균 입자 크기는 3.39 μm로 측정되었다.

한편 Table 3은 charcoal의 성분을 분석한 결과로서 charcoal의 대부분은 고정탄소로 이루어져 있음을 확인하였다.

3.2. 열분석

Table 2. Result of particle size of charcoal

Size microns	% in band	Size microns	% in band
7.30	0.00	3.49	40.60
6.30	0.00	3.01	16.60
5.43	0.22	2.60	1.60
4.69	8.04	2.24	0.00
4.05	32.80		

D(v, 0.5)=3.39 μm  
D(v, 0.9)=4.00 μm  
D(v, 0.1)=2.87 μm  
D(4,3)=3.39 μm  
D(3,2)=3.39 μm  
span=0.33  
spec.surf.area=1.7717 sq.m./cc.

Table 3. Composition in the charcoal

Component	Conetnt (%)
Moisture	4.4
Ash	6.3
Volatile	10.2
Fixed carbon	79.1
Total	100.0

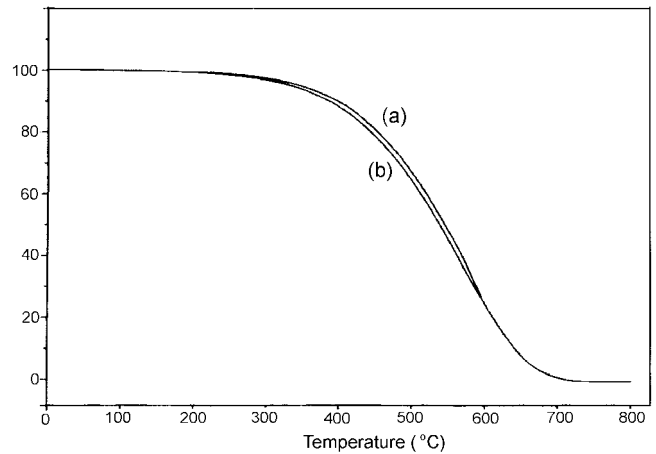


Fig. 1. TGA thermograms of composite reinforced porous carbon. (a) Sodium benzoate 0 wt%, (b) Sodium benzoate 3 wt%.

Fig. 1은 제조한 복합재의 초기 열분해 온도 및 열안정성을 조사하기 위한 charcoal을 50 wt% 첨가한 폐 복합재의 대표적 TGA분석 결과이다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이 sodium benzoate를 첨가하지 않은 순수한 복합재의 초기 열분해 온도와 (b)의 sodium benzoate 농도에 따른 중량감소율의 변화는 1% 미만으로 첨가제에 따른 복합재의 열적 안정성에는 큰 변화가 나타나지 않았다.

또한 5 wt% 중량 감소 온도는 약 390°C로 고온에서 사용이 가능한 내열성 복합재임을 확인할 수 있었으며, charcoal의 첨가량에 따른 복합재의 열적 안정성의 경우에는 충전제 첨가량이 증가할수록 충전제의 열안정성이 높기 때문에 초기 열분해 온도가 높아질 뿐만 아니라, 열분해 반응에 의한 중량감소율도 감소하는 것으로 사료되었다.

3.3. 기계적 물성 분석

Fig. 2는 charcoal 충전제의 양을 PP를 기준으로 50~70 wt%

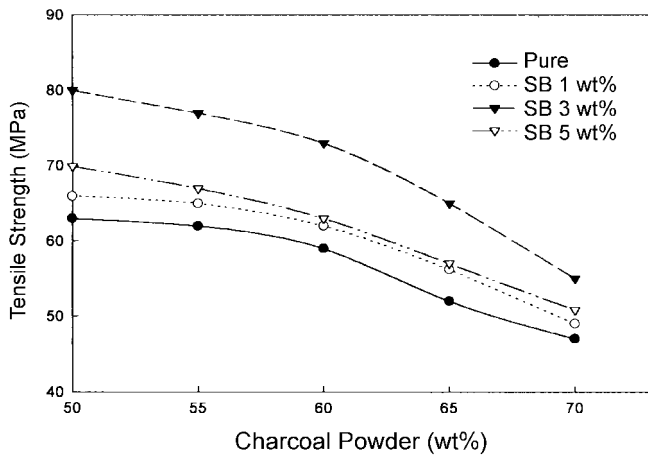


Fig. 2. Tensile strength of composite as a function of sodium benzonate contents.

까지 변화시키고 가교제의 농도에 따른 복합재의 인장강도를 나타낸 것이다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 가교제 첨가량에 따른 복합재의 인장강도는 충전제의 양이 50 wt%일 때 최대 인장강도 값을 나타내게 된다. 또한 가교제의 첨가량이 증가할수록 인장강도가 증가하여 가교제인 sodium benzonate에 의해 기지와 충전제 간의 접착력이 증가된 것을 확인 할 수 있었으며 3 wt%에서 정점을 이루고 5 wt% 이상에서는 감소하는 경향을 나타내었는데 이는 일반적으로 충전제와 결합재의 표면을 화학적으로 결합시키는 가교제를 첨가할 경우 기계적 물성이 최대를 나타내는 최적 농도가 일반적으로 존재하게 되며 이는 충전제의 형태, 표면조도, 조성 및 개질재의 관능기의 종류 등에 영향을 받게 된다는 연구결과[3-6]와도 일치하며 본 연구의 경우 가교제 함량이 3 wt%이고 charcoal의 함량이 50 wt%일 때 복합재 최대 물성을 나타냄을 알 수 있었다.

Fig. 3은 제조한 복합재의 인장탄성률을 나타낸 것이다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 충전제의 첨가량이 증가할수록 복합재의 인장탄성률은 감소되어지는데 이는 50 wt% 이상의 충전제를 첨가할 경우에 결합재내에 충전제가 고르게 분산되

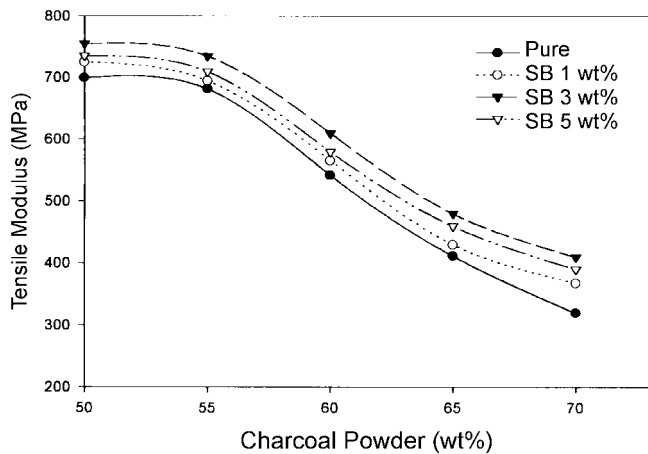


Fig. 3. Tensile modulus of composite as a function of sodium benzonate contents.

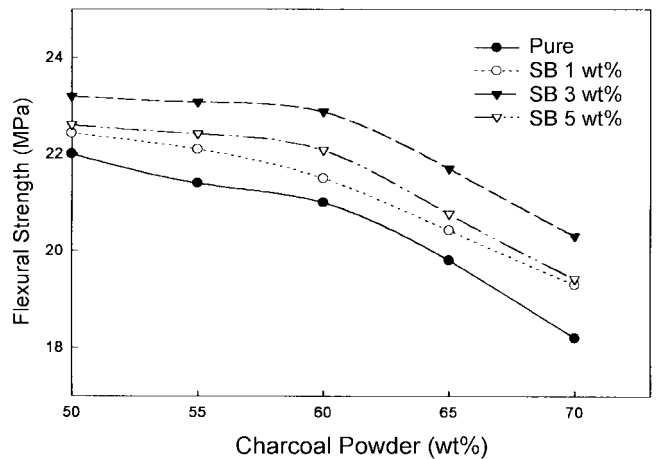


Fig. 4. Flexural strength of composite as a function of sodium benzonate contents.

지 못해 시편에 응력이 가해질 때 충전재가 응력집중원으로 작용하지 못하고 입자주위에 작은 craze가 생겨 인장에너지 분산시키는 역할을 하는 것이 아니라, 오히려 충전재 입자는 craze가 균열로 성장하는 역할을 하기 때문에 낮은 인장탄성률을 나타내는 것으로 사료되어진다[7, 8].

인장탄성률의 경우에도 인장강도와 마찬가지로 가교제의 농도가 증가할수록 증가하는 경향을 보였으며 3 wt% 이상에서 감소하는 경향을 나타냈다.

Fig. 4는 복합재의 굴곡강도를 나타낸 것으로서 충전제의 함량이 50 wt%일 때 굴곡강도 값이 가장 우수한 값을 나타냈으며, 가교제의 함량에 따른 효과를 살펴보면 가교제의 첨가량이 3 wt%이고 충전제의 함량이 50 wt%일 때 23.3 Mpa으로 가교제를 첨가하지 않은 경우에 비해 약 7%의 물성향상을 확인할 수 있었다.

Fig. 5는 복합재의 굴곡탄성률을 나타낸 것이다.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 굴곡탄성률 역시 가교제의 첨가량이 증가함에 따라 다른 기계적 물성과 마찬가지로 현저히 증가하는 경향을 나타내었으며 결합재의 함량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타냈으나, 결합재의 함량이 50 wt%에

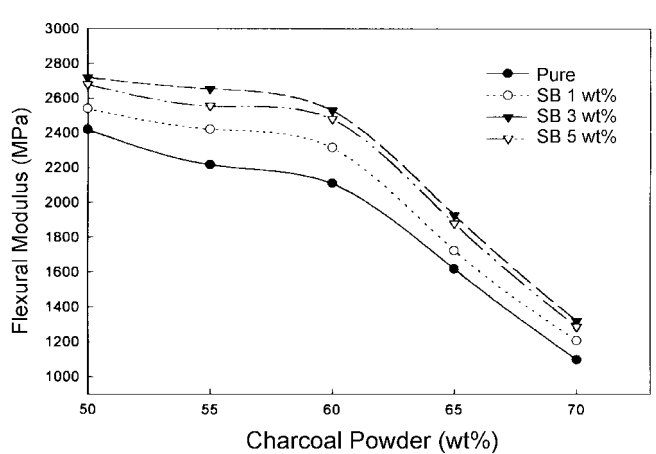


Fig. 5. Flexural modulus of composite as a function of sodium benzonate contents.

서는 결합제와 충전제간의 혼합이 어려워 오히려 기계적 물성의 증가폭이 다소 감소하는 경향을 나타내었는데 이는 결합제의 함량이 과다하게 도입될 경우 전체적인 복합재 제조가 다소 용이하지 못하여 효과적인 혼합이 어려워져서 복합재 내부에 미세한 기공이 생길 우려가 있어 기계적 물성의 증가폭이 다소 둔화되어지는 원인이 되는 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

폴리프로필렌 수지를 결합제로 하고 충전제로는 경량인 숯을 사용하여 바닥재 및 벽재 등으로 사용이 가능한 기능성 경량 건축 복합재를 제조하고 이들의 열적 안정성 및 기계적 물성을 측정하였다. 또한 결합제와 충전제간의 결합을 증진시키기 위해 가교제인 sodium benzoate를 사용하여 복합재를 제조하여 이들을 비교 분석함으로써 가교제의 농도가 복합재의 기계적 강도에 미치는 영향을 고찰하였다. 또한 이들 결과를 토대로 경량 건축 복합재 제조의 최적 조건을 결정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Charcoal의 첨가량에 따른 복합재의 열적 안정성의 경우에 5 wt% 중량 감소 온도는 약 330°C로 고온에서 사용이 가능한 내열성 복합재임을 확인할 수 있었다.

2. 충전제의 함량이 증가함에 따라 기계적 물성은 감소하였으나 결합제의 함량이 50 wt%에서는 결합제와 충전제간의 혼합이 어려워 오히려 기계적 물성의 증가폭이 다소 감소하는 경향이 나타났다.

3. 가교제를 첨가하여 제조한 복합재의 경우 기계적 물성은 증가하였으며, 충전제의 함량에 관계없이 가교제 첨가량 3 wt%에서 기계적 물성이 최대값을 나타내었다.

#### 감사의 글

본 연구는 공주대학교 자원재활용 신소재연구센터(RRC/NMR)의 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- [1] Jayson, G. G.; Sangster, J. A.; Thompson, G.; Wilkinson, M. C. *Carbon* **1987**, 25, 523.
- [2] Hwang, T. S.; Shin, K. S.; Lee, J. T.; Yoon, T. H. *Polymer (Korea)* **1999**, 23, 450.
- [3] Plueddemann, E. P. *Natl. SAMPE Tech. Conf.* **1969**, 453.
- [4] Plueddemann, E. P. *Mod. Plastic.* **1970**, 47, 92.
- [5] Jang, J.; Ishida, H.; Plueddemann, E. P. *41<sup>st</sup> Ann., Conf. Reinforced Plas. Div.* **1987**, SPI, 13-D.
- [6] Hwang, T. S.; Choi, D. M.; Choi, J. R.; Lim, J. H.; Park, J. K. *Kor. Jou. of Mat. Res.* **1998**, 8, 13.
- [7] Ana, T. P.; Juan, G. C. F.; Cesar, O. B. *Int'l J. Adhesion and Adhesives* **1997**, 17, 111.
- [8] Kang, C. K.; Kim, B. K. *Polymer (Korea)* **1991**, 15, 459.