

# 플라즈마 표면 코팅된 목분 복합재료의 영향 연구

하종학\*·김병선\*·황병선\*·강병윤\*\*

## Study of the Plasma Coating Effect on Wood Powder Composites

Jong-Hak Ha, Byung-Sun Kim, Byung-Sun Hwang and Byong-Yun Kang

### Abstract

Plasma surface coating is applied to the wood powder to improve its bonding and dispersion with the polypropylene(PP). Some mechanical test results and visual inspection indicates the good compatibility between the wood powder and the PP, and relatively good interfacial adhesion between wood powder and PP matrix was seen. Also, this method is considered as a non-toxic process as compared to other direct chemical method.

**Key Words:** wood powder, atmospheric glow discharger, plasma polymerization, extruder, pellet, wood powder composite.

### 1. 서 론

최근 목분 및 자연 섬유의 낮은 비용, 재활용성, 생분해성 및 높은 강도와 강성 때문에 이를 사용한 복합재료를 개발하는데 많은 연구가 행해져 오고 있다[1-5]. 그러나 열가소성 수지인 폴리프로필렌과 혼합한 목분 복합재료는 낮은 강도를 보이고 있는데, 이는 목분과 폴리프로필렌 사이의 약한 계면 에너지와 분산성이 좋지 않고, 친수성인 목분과 무극성이며 소수성인 폴리프로필렌 사이에 약한 결합성 때문이다[1]. 이러한 현상을 개선하기 위해서 새로운 친환경적인 방법을 연구하고자 한다. 이 방법은 유기화합물을 사용하는 기존 방법과는 달리 플라즈마 표면 코팅을 하는 방법으로, 진공 상태에서 목분을 건조한 후 hexamethyl-disioxane, 메탄 또는 벤젠과 같은

다양한 monomer로 코팅하는 방식이다. 플라즈마 표면 코팅을 한 목분은 압출기에 의해 폴리프로필렌(Hanwha. Co.)과 혼합되고, pellet으로 만들어진다. 다양한 monomer 액체들 중 적합한 monomer를 찾기 위해 접촉각을 측정하였고 이것으로 표면에너지를 계산하였다.

본 연구에서는 플라즈마 표면 처리된 목분과 열가소성 수지와 결합성 향상을 연구를 하였으며, 목분과 수지의 중량비로 1:1까지 섞었으며, 기존의 유기 용매를 사용한 방법보다 우수함을 확인하였다.

### 2. 실험

#### 2.1 실험 재료 및 기구

목분 복합재료를 성형하기 위해서 사용한 수지는 폴리프로필렌이며, 이는 목분과 균일한 혼합을 하기 위해서 분쇄를 통해 분말형태로 제작되었다. 그림1은 목분의 입도분포를 나타내고 있으며 중위경은 138.22 $\mu$ m이다. 입도는 레이저 산란법

\* 한국기계연구원 소재성형센터 복합재료그룹

\*\* 도하인더스트리(주)

을 적용한 측정기인 MALVERN의 Mastersizer를 사용하였다. 목분의 함수율은 7.82%이었다.

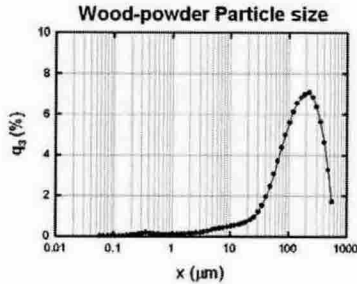


Fig. 1 Wood powder particle size

목분 복합재료의 제작에 2개의 공정을 행하였으며, 첫 번째는 압출성형, 두 번째로 압축성형을 하였다. 장비는 PRISM사의 Twin Screw Extruder와 압축성형용 Hot Press 사용 하였다.

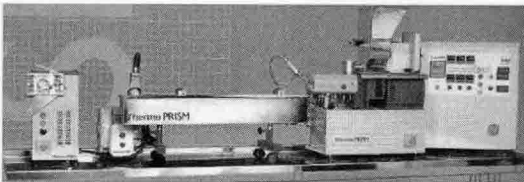


Fig. 2 PRISM Twin Screw Extruder

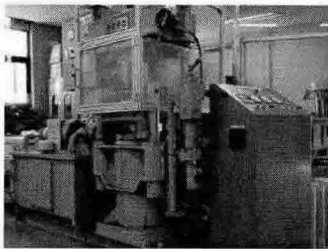


Fig. 3 Hot Press

## 2.2 플라즈마 표면 코팅 공정

대기압 글로우 방전(Atmospheric glow discharge, AGD)은 산업화화 함께 발전되어 왔으며, KHz 범위 내에서 고전압 RF(radio frequency) 과동을 사용한다[6].

일반적으로 목분과 폴리프로필렌의 혼합이 잘 안 되는 이유는 목분의 분산이 잘 되지 않았기 때문이다. 이러한 상태로 성형하면 목분끼리 편석된 부분이 나오게 됨으로써 시편의 강도를 크게 낮추는 결과를 가져오고, 만드는 시편마다 제

각기 다른 특성을 갖게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 목분의 분산성 향상에 필요한 여러 방법 중 친환경적인 플라즈마 표면 코팅 처리를 하였다. 플라즈마 표면 코팅은 목분의 분산성을 향상시켜 수지와 균일한 혼합을 하게 함과 동시에 결합력이 강화되어 더욱 높은 강도를 가지게 할 수 있다.

플라즈마 표면 코팅을 하기 위해서는 100% 건조된 상태가 되어야 하며, 이를 위해 목분을 진공오븐으로 상온 70℃로 100% 건조하였다.

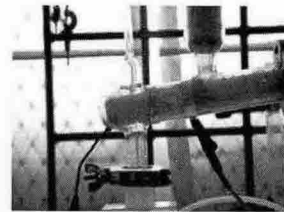


Fig. 4 Plasma during powder feeding (daytime)

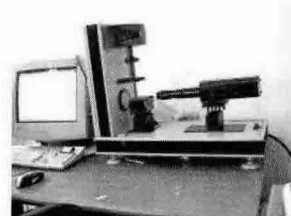


Fig. 5 Goniometer : Contact Angle measurement

Table 1 Contact Angle and Calculated surface energy

Monomer Liquids	Contact angle (°)		Surface Energy (dyne/cm)		
	Water	Glycerol	Total	Dispersion	Polar
Oxygen-PET	8	9	73.73	12.78	60.96
Benzene-PET	58.8	65	49.17	1.08	47.37
CH <sub>4</sub> -PET	55.7	47.6	59.56	2.14	57.42
Acrylicacid-PET	35.7	47.7	71.94	1.72	70.22
Hexafluoroethane-PET	93	103	28.75	0.54	28.21
Trifluorotoluene-PET	49	53.1	53.81	4.90	48.91
HMDSO*	105	76	74.77	71.68	3.09

\* HMDSO : Hexamethyl-disiloxane

목분에 대한 플라즈마 표면 코팅에 가장 적합한 monomer liquid를 선택하기 위해 각각의 monomer liquid를 사용한 플라즈마 표면 코팅된

PP 평판의 접촉각을 측정하였고, 이 값을 이용하여 표면에너지를 구하였다. 총 표면에너지 값이 가장 높은 경우에 가장 lipophilic(친유성)하기 때문에 실험된 값 중 가장 높은 값을 가지는 HMDSO(hexamethyl-disiloxane)을 사용하였다. 또, 가장 높은 접촉각 값을 가질 경우 소수성이 되므로 흡습이 잘 되지 않게 된다. 표 1은 7 종류의 monomer liquid를 사용하였을 경우 접촉각 값과 표면에너지 값을 나타내었다. 표면에너지는 접촉각 데이터를 통해서 아래의 식에 의해서 계산하였다[7].

$$\gamma_{SL} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} - 2(\gamma_S^d \cdot \gamma_{LV}^d)^{1/2} - 2(\gamma_S^p \cdot \gamma_{LV}^p)^{1/2}$$

### 2.3 시편 제작 공정

#### 2.3.1 압출성형

목분 복합재료는 PRISM사의 Twin Screw Extruder로 압출성형 하였다. 이 장비는 플라즈마 표면 코팅된 목분과 열가소성 수지 폴리프로필렌 (Polypropylene, PP) 분말이 균일하게 섞이게 한 후 수지를 녹여서 섬유와 함께 반죽, 밀어내기 과정을 3차례 반복 후 pellet으로 만들어 진다. 사용한 압출기는 2 개의 twin screw와 균일하게 제어 주는 교반 날개 1개가 갖추어져 있으며, 호퍼부의 twin screw와 교반 날개는 목분과 수지와의 균일한 혼합과 일정량을 hot twin screw 부분으로 공급하게 한다. 목분이 타는 온도는 약 180℃이고, 수지의 녹는점은 178℃로서 수지가 완전히 녹은 상태와 목분의 타는 것을 막기 위해서 공정 온도를 190℃로 하였다. Twin screw의 속도는 수지의 점도와 장치에 걸리는 토크 및 압력, pellet의 기포 여부에 의해서 정해졌다. Pellet은 냉각수를 거쳐서 완전히 굳어진 후 pellet cutting기로 일정하게 3mm로 자른 후 진공오븐으로 65℃로 건조하였다.

#### 2.3.2 압축성형

압출성형으로 나온 pellet을 성형용 금형에 넣은 후 190℃의 온도로 압축성형 하였다. 금형의 상·하판의 두께를 최소한으로 얇게 하여 빠른 열전달을 이루어지도록 예열 시간을 단축하였다. 목분과 수지가 혼합된 pellet은 열전도도가 매우 낮기 때문에 열전달이 잘 일어나지 않고, 흡열량

이 많아 타기 쉽기 때문에 빠른 열전달로서 예열 과정을 짧게 하였다. 예열 시간을 5분 정도로 한 후 190℃로 3분유지 한 후 급냉 하였다. 이 때 압력은 120kg/cm<sup>2</sup> 으로 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 표면 계질 효과

플라즈마 표면 코팅한 목분의 표면 특성 변화를 보기 위해서 일반 목분과 비교 실험하였다.

중류수에 소량의 목분을 넣은 후 목분의 침강 정도를 관찰하였는데, 플라즈마 표면 코팅한 목분은 소수성인 특성을 지니게 됨으로써 전혀 가라앉지 않았고, 일반 목분은 물을 많이 흡수함에 따라서 아주 미분인 목분을 제외하고는 모두 가라앉았다. 미분의 목분의 경우는 목분 자체가 지니고 있는 밀도 특성 때문에 가라앉지 않은 것이고, 약간 입도가 큰 목분은 물을 흡수함에 따라서 점점 무거워지면서 가라앉은 것으로 사료된다.

아래 그림은 중류수에 일반 목분과 플라즈마 표면 코팅한 목분의 표면 특성을 보기위한 실험을 한 것이다.

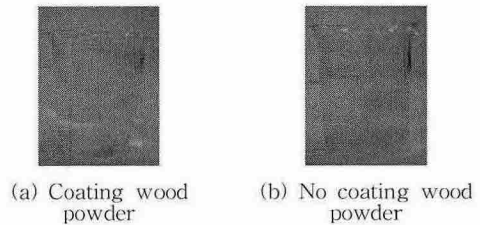
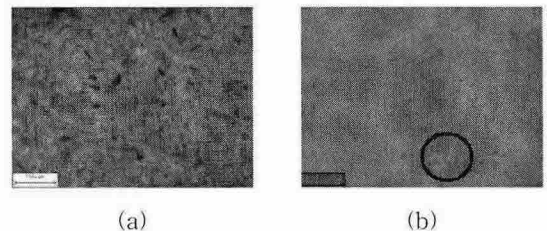


Fig. 6 plasma surface coating effect

### 3.1.1 현미경 사진



(a) Plasma treated Wood Powder  
(b) No treatment on Wood Powder

Fig. 7 10wt% of wood powder within PP

목분과 폴리프로필렌을 무게비율 1:9로 하였을 때 시편의 현미경 사진은 그림 6에서 볼 수 있다. 플라즈마 표면 코팅한 목분의 경우 목분이 분산이 잘 되어서 서로 뭉쳐있는 곳이 없음을 볼 수 있었다. 하지만, 일반 목분을 사용할 경우 분산이 제대로 이루어지지 않아서 목분끼리 뭉쳐있음을 볼 수 있었고, 수지사이에 기포가 있음이 확인 되었다. 아래 그림의 (b)의 동그라미 속이 기포이다.

### 3.1.2 평판 시편 제조 결과 비교

인장강도 실험은 ASTM D638에 따랐다.

일반적인 방법으로 성형된 목분 복합재료와 플라즈마 표면 처리법으로 성형한 목분 복합재료의 기계적 특성을 비교해 보았다.

목분 복합재료 성형 시 목분과 수지와의 혼합과, 접착력이 향상되도록 여러 가지 유기 용매를 섞어서 하는 방법이 있지만, 이는 공정시 많은 유해가스를 배출함으로써 환경오염을 초래할 수 있다. 그러나 목분에 플라즈마 표면 코팅을 할 경우 유기 가스를 전혀 배출하지 않으므로 환경오염이 거의 없다.

아래의 두 그래프는 플라즈마 표면 코팅한 목분을 사용하였을 경우와 일반적인 성형법을 사용하였을 경우의 인장강도가 더 높았음을 알 수 있다.

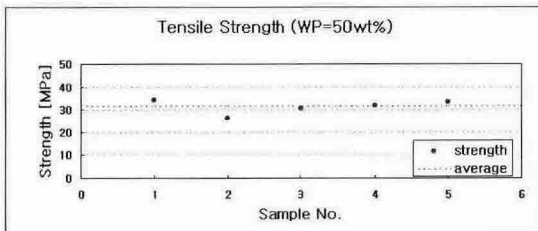


Fig. 8 Tensile test result for wood composite containing 50 wt% wood powder(Plasma Surface coating)

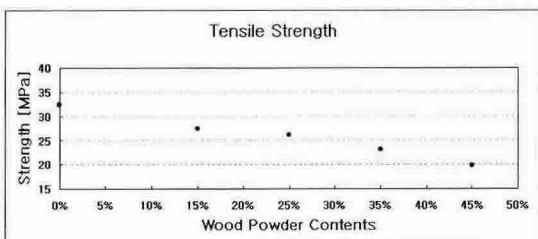


Fig. 9 Tensile test result wood composite containing 15, 25, 35, 45% wood powder [8]

그림 9는 한국 화학공학회 논문집의 내용이고, 목분의 함유량이 많아질수록 인장강도가 떨어지고, 목분 함유량이 45% 정도에는 인장강도가 20MPa에 못 미치지만 플라즈마 표면 코팅한 목분을 사용한 복합재료의 경우는 평균 30MPa 이상을 유지하고 있다[그림 8]. 이로써 유기화합물을 섞은 목분 복합재료보다 플라즈마 표면 코팅된 목분이 수지와 결합력에서 더욱 우수한 것을 알 수 있다.

## 4. 결 론

본 연구에 사용된 목분의 중위경은 138.22 $\mu$ m이며, 수지와의 균일한 혼합 및 강도를 강하시키기 위해서 목분에 HMDS로 플라즈마 표면 코팅을 하였다. 이것으로 수지와의 혼합이 잘 이루어졌으며, 그 결과 일반 유기화학 처리한 목분 복합재료보다 58.8% 정도 상승한 인장강도를 얻을 수 있었다. 목분 복합재료 성형에 압출공정과 압축공정을 사용하였다.

## 참고문헌

- (1) M. Defosse, "Wood Composites are Expanding Among Sectors", *MODERN PLASTICS*, Jan. 2003, p30-33
- (2) L. Czarnecki and J. L. White, *J of Appl. Polym. Sci* 25 (1980) 1217.
- (3) H. Dalvag, C. Klason and H. E. Stromvall, *Int. J. Polym Mater.* 11(1985) 9
- (4) A. J. Michell, *Appita* 39 (1986) 223
- (5) B. S. Sanschagrin, T. Sean and B. V. Kotta, *J. of Thermoplast. Comps. Mater.* 1(1988) 184
- (6) J. Reece Roth, "Industrial Plasma Engineering," vol.1:Principles, Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia (1995)
- (7) B. H. Chun, Ph. D. Thesis, U. of Missouri-Columbia, 1994
- (8) Chemical Eng. Dept. Chungnam U., *J. of Korea Ind. & Eng. Chemistry*, Vol. 10, No. 1, February 1999, PP. 46-50