

## 廢木材 活用을 위한 플라즈마 處理 效果에 대한 研究

金美美 · \*林重延\*

東國大學校 機械工學科

\*東國大學校 機械로봇에너지工學科

### A Study on Effect of Plasma Treatment for Waste Wood Application

MiMi Kim and \*Joong Yeon Lim\*

Department of Mechanical Engineering, Dongguk University

\*Department of Mechanical, Robotics and Energy Engineering, Dongguk University

#### 요 약

본 실험에서는 상압플라즈마에 의한 목분의 표면개질에 대해 조사하였다. 복합체는 목분과 폴리프로필렌을 이용하여 제작되었다 (목분 : 폴리프로필렌 = 55 wt% : 45 wt%). 상압플라즈마는 carrier gas로 헬륨과 HMDSO를 모노머로 사용하였고 3 KV, 17 ± 1 KHz, 2 g/min의 조건에서 처리하였다. 폐목분의 인장강도는 상압플라즈마 처리를 통해 18.5 MPa에서 21.2 MPa로 14.6% 증가하였고 단일 수종목분의 경우에도 21.5 MPa에서 23.4 MPa로 8.8% 증가하였다. 이것으로 상압플라즈마 처리는 목분의 표면을 개질하여 폴리프로필렌과의 계면결합력을 증가시켜주는 것을 확인하였다.

**주제어** : 폐목분, 표면개질, 상압 플라즈마, 목분 복합재료

#### Abstract

In this study, surface modification of wood powder by atmospheric pressure plasma treatment was investigated. The composites were manufactured using wood powder and polypropylene(wood powder : PP = 55 wt% : 45 wt%). Atmospheric pressure plasma was treated as condition of 3KV, 17 ± 1KHz, 2 g/min. Helium was used as carrier gas and monomer such as hexamethyl-disiloxane(HMDSO) was used to modify surface property by plasma polymerization. The tensile strength of untreated waste wood powder(W3) and homogeneous wood powder(H3) were about 18.5 MPa, 21.5 MPa while the tensile strength of plasma treated waste wood powder(PW3) and homogeneous wood powder(PH3) were about 21.2 MPa, 23.4 MPa, respectively. And tensile strength of W3 and H3 were improved by 14.6% and 8.8%, respectively. From the results for mechanical property, morphological analysis, we obtained improved interfacial bonding of polypropylene and wood powder modified by plasma treatment.

**Key words** : Waste wood powder, Surface modification, Atmospheric pressure plasma, WPCs

\* Received : August 20, 2012 · 1st Revised : October 15, 2012 · 2nd Revised : February 15, 2013 · Accepted : March 4, 2013

\*Corresponding Author : Joong Yeon Lim (E-mail: Jylim@dongguk.edu)

Department of Mechanical, Robotics and Energy Engineering, 26 Pil-dong 3-ga, Jung-gu, Seoul, 100-715, Korea

Tel : +82-2-2260-3810 / Fax : +82-2-2263-9379

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서 론

전 세계적으로 환경문제에 대하여 각국의 정부에 대한 규제가 강화되고 이에 대한 인식이 점차적으로 증가함에 따라 환경친화성 소재에 대한 개발과 관심이 증가하고 있다.<sup>1)</sup> 그중 현재 환경친화성 소재로서 가장 활발히 연구되고 있는 것이 바이오복합재료이다.<sup>2)</sup> 바이오복합재료는 일반적으로 바이오섬유 혹은 천연섬유를 강화재로 사용하고 매트릭스로서 생분해성 고분자 또는 비생분해성 고분자로 구성되는 재료로서 기존의 석유자원 대신 자연에서 얻을 수 있는 천연자원을 이용하여 만들 수 있다.<sup>3)</sup> 그중 목재를 기반으로 하는 복합재를 wood plastics composites, WPCs로 명명하고 있다. composite는 두 종류 이상의 소재를 복합화한 후에 물리·화학적으로 각각의 소재가 원래의 상을 유지하면서 원래의 소재보다 우수한 성능을 갖도록 한 재료를 말한다.<sup>4)</sup> 그러나 WPCs 제작에는 친수성인 목분과 소수성인 플라스틱간의 고유의 비친화성으로 인하여 두 물질의 결합을 이루기 위한 커플링제의 처리가 필수적이다. 섬유와 매트릭스 사이의 강한 계면결합은 복합재료의 높은 기계적 특성을 얻는데 매우 중요하다. 또한 biomass 자원에서부터 친환경적인 물질들을 유도하기 위한 새로운 기술들이 개발되어지고 있다. 이에 본 연구에서는 상압 플라즈마 장치를 통해 친수성인 목분의 표면을 개질하여 소수성인 열가소성 폴리올레핀계고분자의 폴리프로필렌과의 계면결합력을 증가시켜 바이오복합재를 만들고자 한다. 이때 목분의 종류에 따라 플라즈마 처리가 미치는 효과를 알아보기 위하여 폐목분과 단일수종목분으로 구분하여 실험을 진행하였고, 폐목분을 표면개질하여 폴리프로필렌과의 계면결합력이 향상되어 강도가 증가한다면 단일수종목분과의 비교를 통해 자원재활용이라는 이점을 확보할수 있을것으로 예상된다. 또한, 상압 플라즈마를 이용한 고분자 가공법은 건식공정으로 환경오염이 적고 에너지 절약형 공정이며 고분자의 기본 물성은 보호하면서 표면에만 물리·화학적 특성화 반응을 일으켜 표면 접착력 향상 및 불순물 제거 등의 효과를 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있다.<sup>5)</sup> 그리고 진공에서 상용화되었던 플라즈마 처리 공정을 대기압에서도 가능하게 하여 제조 원가를 절감하고 공정처리속도를 향상시키는 각광받는 기술로 최근에 응용성 확대를 위한 노력들이 활발히 이루어지고 있는 실정이다.

## 2. 실 험

본 실험에 폴리프로필렌은 5 mm 이내의 직경, 0.9 g/cm<sup>3</sup>의 밀도, 17 g/10min의 용융지수(melt index)를 갖는 L사의 제품을 분양받아 사용했으며, 목분은 스프러스 단일수종과 폐목재칩 생산 업체인 A사의 폐목재칩을 분쇄기로 파쇄 후 60~80 mesh로 분류하여 사용하였다. 분리된 목분은 플라즈마 처리 시에는 수분함유량을 1% 이하로 진공 건조 후 실험에 사용하였다. 플라즈마 장치를 통한 표면개질은 플라즈마 내에서 일어나는 전자와 기체 분자의 충돌로부터 설명되어진다. 분자 XY에 전자 e가 충돌하는 경우, 충돌하는 전자의 에너지가 전자의 구속 에너지보다 높게 되면 분자내의 전자 e가 밖으로 빠져나오게 되어 이온화가 일어난다. 또한 분자 XY의 결합이 끊어져, X와 Y로 분리되는 경우도 있다. 이와 같이 X와 Y는 결합되지 않은 전자를 갖고 있기 때문에 화학 반응을 일으키기 쉽다. 이를 화학 활성종 또는 라디칼(Radical)이라 부른다. 이러한 플라즈마 내 충돌과정에서 이온화된 전자의 화학반응에 의해 목분이 코팅되어 표면의 분산성분이 증가하여 소수성으로 개질된다. 상압 플라즈마 장치에서 헬륨은 플라즈마 발생 분위기 조성 및 carrier gas로 이용되었으며, Hexamethyldisiloxane(HMDSO)은 플라즈마 중합에 의해 목분의 표면특성을 소수성으로 개질시키는데 사용되었다. 호퍼를 통해 투입된 목분은 챔버의 주변을 일정 간격으로 둘러싼 전극에 3 KV의 전압과 17 ± 1 KHz frequency의 조건으로 플라즈마 처리 되었다.

복합재 시편을 위한 펠렛은 목분과 폴리프로필렌의 기계적 혼합을 위해 twin screw extruder를 통해 190 ± 10°C에서 112 rpm의 속도로 압출하여 제작하였다. 이때 목분의 함량은 55 wt%로 목분의 일정한 분산을 위해 3회 압출과정을 거쳐 폴리프로필렌내에서의 분산도를 증가

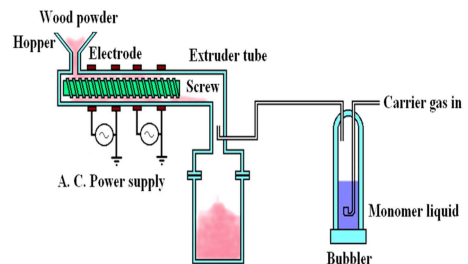


Fig. 1. Schematic of plasma treatment.

시켰다. 또한 펠렛은 60°C에서 24시간 동안 건조 후 injection molding machine을 이용하여 인장, 굴곡시편을 제작하였다. 인장시험은 ASTM D638에 의해 100 kN으로 실온에서 5 mm/min의 속도로 진행하였고 굴곡시험은 ASTM D790으로 100 kN으로 실온에서 3.4 mm/min의 속도로 시험하였다. 각 실험의 시편은 5개를 사용하여 평균값을 구하여 분석에 이용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

Fig 2와 3은 복합재에서 목분의 종류에 따라 인장강도 및 인장탄성률에 미치는 영향에 대해 보여주고 있다. 인장강도는 단일수종목분을 이용한 복합재(H3)의 경우 21.5 MPa로 폐목분을 이용한 복합재(W3)의 18.5 MPa보다 16.2% 높은 값을 보였다. 폐목분으로 제작한 복합재의 인장강도가 단일수종목분으로 제작한 복합재의 인장강도보다 낮은 이유는 폐목분에 있는 이물질 때문이다. 이러한 이물질은 폐목분의 원료가 되는 생활폐목재 및 건설폐목재의 표면오버레이, 코팅, 접착제 등이며 폐목재의 재활용에 문제점으로 대두되고 있다. 또한 폐

목분 활용범위를 넓히기 위해서는 강도 향상이 필수조건이며, 이러한 강도 향상을 위해 폐목분의 표면개질이 필요한 것으로 판단된다. 그리고 상압 플라즈마 장치를 이용하여 표면개질된 폐목분(PW3) 인장강도 역시 21.2 MPa로 무처리 폐목분(W3)의 인장강도와 비교하여 14.6% 증가되는 것이 관찰되었다. 그리고 플라즈마 처리된 단일수종목분 역시 인장강도가 향상됨을 알수있었으며 이로써 상압 플라즈마 장치는 목분의 표면개질에 효과적임을 확인할 수 있었다. 인장탄성률은 인장강도와 마찬가지로 폐목분 보다 단일수종목분이 높았으며, 플라즈마 처리를 통해 증가함을 보였다.

복합재에서 목분의 종류에 따라 굴곡강도 및 굴곡탄성률의 결과를 Table 1에서 정리하였다. 굴곡강도는 단일수종목분을 이용한 복합재(H3)의 경우 41.1 MPa로 폐목분을 이용한 복합재(W3)의 36.0 MPa보다 14.2% 높은 값을 보였다. 그리고 상압 플라즈마 장치를 이용하여 표면개질된 폐목분(PW3)의 굴곡강도는 39.5 MPa로 무처리 폐목분의 굴곡강도와 비교하여 9.7% 증가되는 것이 관찰 되었다. 또한 단일수종목분의 굴곡강도 및 굴곡탄성률도 증가함을 보였다.

소수성을 갖는 폴리프로필렌과 친수성의 특성을 갖는 목분, 즉 이종의 물질을 사용한 복합재에서 각 물질의 계면결합력은 기계적물성에 영향을 미친다. Fig 4는 복합재 단면을 SEM으로 관찰한 그림으로 플라즈마 처리를 하지 않은 목분 입자로 제작된 복합재의 경우 목분 입자와 폴리프로필렌의 계면에 공극이 관찰되었으나 플라즈마 처리를 한 목분 입자로 제작된 복합재의 경우 폴리프로필렌과의 계면에서 공극을 관찰할 수 없었다.

### 4. 결 론

본 연구에서는 자원 재활용의 측면에서 폐목분과 단일수종목분을 이용하여 각각 복합재를 제작하였다. 이때 상압 플라즈마 장치를 통해 목분의 표면을 개질하여 폴리프로필렌과의 계면결합력을 향상시키는 한편, 제작된 복합재의 기계적 물성 실험을 통해 다음의 결론을

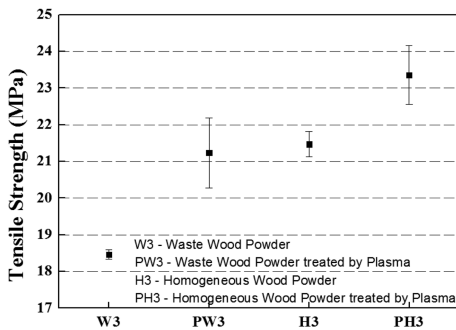


Fig. 2. Tensile strength of WPCs.

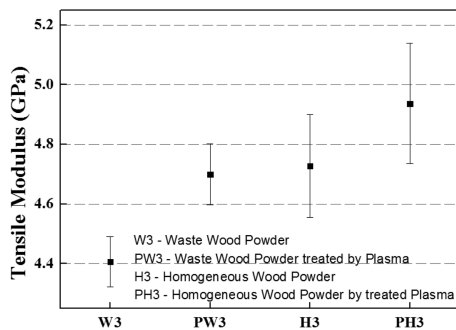


Fig. 3. Tensile modulus of WPCs.

Table 1. Flexural strength and flexural modulus of WPCs

	W3	PW3	H3	PH3
Flexural Strength (MPa)	36.0	39.5	41.1	42.6
Flexural Modulus (MPa)	3808.8	4036.8	4348.9	4458.9

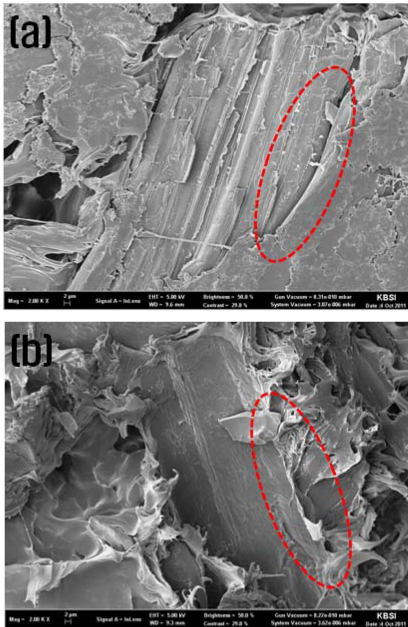


Fig. 4. SEM of WPCs section (a) non-plasma treatment (b) plasma treatment.

얻을 수 있었다.

(1) 폐목분과 단일수종목분을 이용하여 제작한 복합재의 인장강도는 각각 18.5 MPa, 21.5 MPa로 단일수종목분이 폐목분과 비교시 16.2% 높았다. 폐목분의 인장강도가 낮은 이유는 폐목분에 있는 이물질에 대한 영향으로 생각되며, 폐목분 활용을 위한 처리 방법이 필요하다는 것을 보여준다.

(2) 상압 플라즈마 처리에 의해 표면개질된 폐목분의 경우 무처리와 비교시 인장강도는 18.5 MPa에서 21.2 MPa로 14.6% 증가하였고, 굴곡강도 역시 36.0 MPa에서 39.5 MPa로 9.7% 증가하였다. 또한 단일수종목분의 경우에도 인장강도는 8.8%증가 굴곡강도는 3.6% 증가함을 보였다.

이것으로 상압 플라즈마 처리에 의한 표면개질은 폐목분과 단일수종목분에 모두 효과적임을 알수 있었다.

(3) 폐목분은 플라즈마에 의한 표면개질로 무처리 단일수종목분의 기계적 물성과 비슷한 값을 얻을 수 있었으며, 이것으로 폐목분의 다양한 처리공정을 통해 다양한 분야의 소재로 재활용을 기대할 수 있을것으로 예상된다.

## 후 기

본 연구는 국토해양부의 건설기술혁신사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Chul-Hyun Kim, Kang-Jae Kim, Tae-Jin Eom, 2008: Properties of WPC Prepared with Various Size and Amount of Wood Particle, Journal of Korea TAPPI, **40**(3), pp.59-64.
2. Seung-Ho Seo, Sunghwan Chang, Yeong-Eun Yoo, Jae Dong Chung, 2010: Surface Characteristics of Polymer Material Treated by Atmospheric Pressure Plasma, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, **22**(5), pp.282-288.
3. Mohanty, A. K, M. A. Khan, Hinrichsen, 2000: "Surface modification of jute and its influence on performance of biodegradable jute-fabric/Biopol composites", Composites Science Technology, **60**, pp.1115-1124.
4. Sang-Yong Park, Gyu-Seong Han, Hee Soo Kim, Han Seung Yang, Hyun Joong Kim, 2005: "Evaluation of the Impact on Manufacturing Temperature and Time in the Production Process of Bio-composites", Mokchae Konghak, **33**(1), pp.29-37.
5. Terufumi Takayama, Kentaro Komabayasi, Masafumi Itou, Yuichi Miyake, 2009: "Development of Bio-Based Plastics for Injection Molding", SAE World Congress & Exhibition, 2009-01-0019.



金美美

- 동국대학교 산림자원학과 학사
- 동국대학교 산림자원학과 석사
- 현재 동국대학교 기계공학과 박사과정



林重延

- 서울대학교 금속공학과 학사
- U.C. Berkeley 기계공학과 석사
- U.C. Berkeley 기계공학과 박사
- 현재 동국대학교 기계로봇에너지공학과 교수