

## 바이오매스 기반 종이 플라스틱의 제조 및 응용에 대한 고찰

윤광식<sup>1,2</sup> · 이동은<sup>1</sup> · 조대명<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>HDC현대EP

<sup>2</sup>한양대학교 기술경영전문대학원

## A Study on Manufacturing of Paper Plastics Based on Biomass and Their Applications

KwangSik Yoon<sup>1,2</sup>, Dong-Eun Lee<sup>1</sup>, and Daemyeong Cho<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>HDC Hyundai EP, Seongnam 13556, Korea

<sup>2</sup>Graduate School of Technology and Innovation Management, Hanyang University

**Abstract** Recently, applications of biomass-based plastics have increased according to the eco-friendly policy of the reduction of carbon dioxide emissions in domestic and foreign government. In this study, a paper plastic composite was produced by compounding polypropylene and micronized paper powder that was prepared using dry pulverization technology. Subsequently, the specimen of paper plastic was verified with mechanical properties, formability and product safety test to confirm the suitable packaging materials for food packaging. Paper plastics showed slightly lower mechanical properties than currently commercialized PP composites. However, paper plastics are valuable materials as environmentally friendly carbon-reducing material because of high biocarbon content, light weight features and applicability of existing manufacturing machines or system.

**Keywords** Paper plastic, Paper powder, Food packaging container, Bioplastic, Safety analysis

### 서 론

온실가스 효과에 따른 지구 온난화 방지 정책과 산업 및 가정용 플라스틱 쓰레기에 의한 환경오염 방지라는 시대적 요구에 따라 바이오매스 기반 바이오플라스틱에 대한 관심이 증가하고 있으며 다양한 연구 개발이 진행되고 있다.<sup>1)</sup> Progressive Markets의 최근 보고서에 따르면, 세계 바이오플라스틱 시장은 2017년에서 2025년까지 연평균 19.2%, 시장 규모는 2017년 기준 170억 달러, 2022년에는 438억 달러까지 연평균 20.8% 성장할 것으로 전망했다.<sup>2-3)</sup> 그러나 국내 바이오플라스틱 시장규모는 경제규모에 비교하면 도입기라고 볼 수 있으며 이는 소재의 대부분을 수입에 의존하고 있고 국내에서는 가공 및 제품화에 주력하고 있기

때문이다.<sup>4)</sup> 그러나 국민의식의 성숙과 환경규제의 강화에 따라 국내 바이오플라스틱 시장도 빠르게 성장할 것으로 예상된다.

국제적으로 독일, 이탈리아 등의 선진국에서는 쇼핑백 및 플라스틱 병의 분해성 수지 사용을 의무화하는 추세이며 이에 생분해 플라스틱 (Biodegradable Plastics), 산화생분해 플라스틱 (Oxo-biodegradable Plastics), 바이오베이스 플라스틱 (Bio-based Plastics) 등 바이오플라스틱 등의 실용화가 추진되고 있다.<sup>5-9)</sup> 또한 이산화탄소를 저감시키기 위해 자연계에서 분해되어 환경 부하가 적게 되는 대체품 개발이 지속적으로 이루어지고 있다. 이러한 노력의 결과로 상당수의 탄소 저감형 바이오베이스 플라스틱 등의 친환경 고분자 물질이 출시되었으며, 현재 식품 포장재, 산업용품, 농업용품, 생활용품, 자동차, 산업용품 등 매우 다양한 분야에서 해당 바이오 플라스틱 제품이 적용되고 있다.<sup>10)</sup>

주요 국가에서는 바이오매스를 중심으로 바이오산업을 정의하고 관련 정책을 추진하고 있으나 우리나라는 기존 방식과 같이 바이오기술을 토대로한 바이오경제를 규정함으

\*Corresponding Author : Daemyeong Cho  
Graduate School of Technology and Innovation Management,  
Hanyang University, 222 Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul  
04763, South Korea  
Tel : +82-2-2220-2259, Fax : +82-2-2220-2255  
E-mail : dmjo@hanyang.ac.kr

로써 바이오경제에 관한 국제 논의와 산업적, 환경적 대응에서 뒤쳐질 위험이 있다.<sup>11)</sup> 상대적으로 미온적인 국내 바이오플라스틱 시장 상황을 극복하기 위해서는 신규 바이오 플라스틱 발굴과 함께 국제사회의 일원으로서 국가 수준에 맞는 책임의식도 필요하다.<sup>4)</sup>

현재까지 연구되고 있는 PLA (Polylactic Acid), PHA (Polyhydroxyalkanoates), PES (Poly Ethylene Succinate), PBS (Poly Butylene Succinate) 등의 생분해 플라스틱은 짧은 분해기간, 약한 물성, 내열성 및 내한성, 가격경쟁력 등의 한계로 인해 유통기한이 짧거나 수분, 미생물 등에 접촉 시간이 길지 않은 분야에 국한되어 사용되고 있다.<sup>12)</sup> 해당 단점을 보완하기 위해 산화 생분해제, 상용화제, 산화제 등을 이용한 산화생분해 플라스틱과 바이오매스 20~40%, 플라스틱 60~80%를 혼합한 바이오베이스 플라스틱이 지속적으로 출시되고 있으며<sup>13)</sup> 국내외적으로 바이오 탄소 함량이 20~25% 이상인 제품에 한해 biobased 플라스틱 인증 라벨 제도가 시행되고 있다. 대표적으로 미국은 제품용기, 뚜껑 및 포장재까지 확대하여 바이오매스 함량 인증라벨을 표기하고 있다.<sup>11)</sup> 벨기에의 경우, Table 1과 같이 바이오 탄소 함량별로 20~40%, 40~60%, 60~80%, 80% 이상의 4등급으로 나눈 OK biobased 인증라벨을 운영하고 있어 향후 바이오매스의 함량이 높을수록 이산화탄소 저감에 따른 친환경 등급이 높은 바이오 베이스 플라스틱으로 분류될 것으로 예상된다.<sup>11)</sup>

국내에서 개발된 바이오 베이스 플라스틱은 바이오매스 25% 이상 함유라는 국내 기준에 따라 OK biobased 기준 “One star” 등급이 주류를 이루고 있다. 그러나 최근 이탈리아, 프랑스 등 주요 선진국에서는 바이오 탄소 함량이 높은 소재를 사용하도록 강제하는 정책을 시행하고 있으며, 이러한 트렌드는 확대될 것으로 예상된다. 이에 본 연구에서는 바이오탄소 함량이 40% 이상인 바이오 베이스 플라스틱 개발하기 위해 폴리프로필렌과 생물유래물질<sup>14)</sup>인 셀룰로오스로 이루어진 종이 파우더를 수지 복합화 하여 종이 함량이 55% 이상인 종이플라스틱을 제조하였고, 제조된 종이플라스틱의 식품 포장 분야 소재로의 적용 가능성을 검토하기 위해 제품 안전성, 기계적 물성 및 성형성을 평가하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 종이파우더 제조

종이플라스틱 복합체의 바이오매스 첨가제로써 글라신지

를 이용하였다. 글라신지는 화학펄프를 점상 고해하여 얻은 셀룰로오스 섬유를 슈퍼캘린더링 공정을 거쳐 제조된다. 이러한 글라신지는 조직 밀도가 높아 내유성이 우수하고, 매끄럽고 투명한 표면 특성을 가지고 있어 주로 식품 및 약품 보호포장지에 사용되고 있다. 본 연구에서는 이러한 특성을 가진 일본산 글라신지를 건식 종이 분말화 기술을 통해 분쇄하여 다양한 외관과 크기를 갖는 종이 입자를 첨가 파우더로써 활용하였다.

### 2. 종이플라스틱 복합체 제조

미분화된 글라신 파우더 (55%)와 두 종류의 Polypropylene [Polypropylene-1 (PP-1, Block PP), Polypropylene-2 (PP-2, Homo PP)]을 이축 압출기 (Twin Extruder, JinSan PRM, Siheung, Korea)를 이용해 수지 복합화하였다. 이 때, 흐름성과 분산성 개선 효과를 위해 소량의 내외부 활제 및 충격보강용 폴리올레핀 엘라스토머를 함께 첨가하였다. 종이플라스틱은 식물 기반 바이오매스인 셀룰로오스 섬유가 55% 함유된 바이오 베이스 플라스틱으로써 이산화탄소 저감에 목적을 두고 개발되었다.

### 3. 손가락 및 용기 제조

350 ton 용량을 갖는 사출 성형기 (SPE350, Injection Molder, Hyundai Injection Machinery, Gyeongsangbuk-do, Korea)를 이용하여 종이플라스틱 손가락을 제조하였다. 실린더온도 (190°C)를 제외한 압력, 속도, 보압, 보압시간, 금형온도, 냉각시간 등의 사출성형조건을 모두 동일하게 설정하였으며, 수지 변경 시 Neat PP를 사용하여 사출기 내부를 세정하고 설정된 성형조건을 정상상태 도달 확인 후 진행하였다.

용기의 경우 먼저 다중압출 시트성형기를 이용하여 0.5 mm 두께를 갖는 3-Layer 시트를 제조하였다. 상지 (Top Layer) 및 하지 (Bottom Layer)는 PP-1과 PP-2를 혼합하여 제조하였으며, 중지 (Middle Layer)는 종이 플라스틱을 이용하여 제조하였다. 최종 성형된 시트는 상지, 중지, 하지 구조로 구성하였으며, 셀룰로오스 함량이 전체 중량 기준 55%가 되도록 하였다. 이후, 제작된 0.5 mm 두께를 갖는 시트를 진공성형기를 이용하여 종이플라스틱 용기를 제조하였다.

### 4. 분석

종이파우더의 외관과 크기는 Scanning Electron Microscopy (SEM, S-5200, Hitachi, Tokyo, Japan)을 사용하여 1 cm씩

**Table 1.** The classification of bio-based carbon of OK biobased Certification

Grade	One star	Two stars	Three stars	Four stars
Mark	★	★★	★★★	★★★★
Range	20% ≤ BCC < 40%	40% ≤ BCC < 60%	60% ≤ BCC < 80%	80% ≤ BCC

시료 입자를 옮기면서 15 kV 가속 전압으로 측정하였다.

종이파우더의 수분함량은 수분 분석기 (HX204, Mettler Toledo, Zurich, Swiss)을 이용하였으며, 할로겐 램프로 120°C 온도에서 수분 증발에 따른 무게 변화량이 없을 때까지 시료를 가열하여 확인하였다.

종이플라스틱 복합체의 바이오 탄소함량은 압출 공정을 통해 제조된 시료를 한국의류시험연구원 [KATRI (Korea Apparel Testing & Research Institute), Gyeonggi-do, Korea]에서 ASTM D 6866 Method에 의거하여 측정하였다.

종이플라스틱 복합체의 제품 안전성은 한국에스지에스 (Gyeonggi-do, Korea)에서 식품 용기 포장 적합성 평가 (식품의약품안전처 고시 제 2019-2호 기구 및 용기포장의 기준 및 규격)에 의거하여 평가하였다.

종이플라스틱 복합체의 비중과 용융지수는 각각 전자비중계 (SD-200L, SAEHAN, Seoul, Korea)와 MI (Melt Index)

측정기 (MP1200, Tinius Olsen, Pennsylvania, USA)를 이용하였으며, 기계적 물성은 JIS 규격과 ASTM 규격에 의거하여 Universal Testing System (UTM, QC-546M2F, Comotech, Taichung, Taiwan)으로 확인하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 종이파우더

#### 1) 입자 외관 평가

Fig. 1에 수치 복합화에 사용되는 글라신지 종이 파우더들의 SEM Image들을 나타내었다. Milling 분말화 기술을 이용해 분쇄된 종이 파우더의 사이즈는 약 6~80  $\mu\text{m}$ 로 다양했으며 30  $\mu\text{m}$ 의 평균 직경 크기를 가지는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 습식이 아닌 건식 공정을 통해 제조되어 형태와 표면이 상대적으로 균일하지 않은 것을 알 수 있었다.

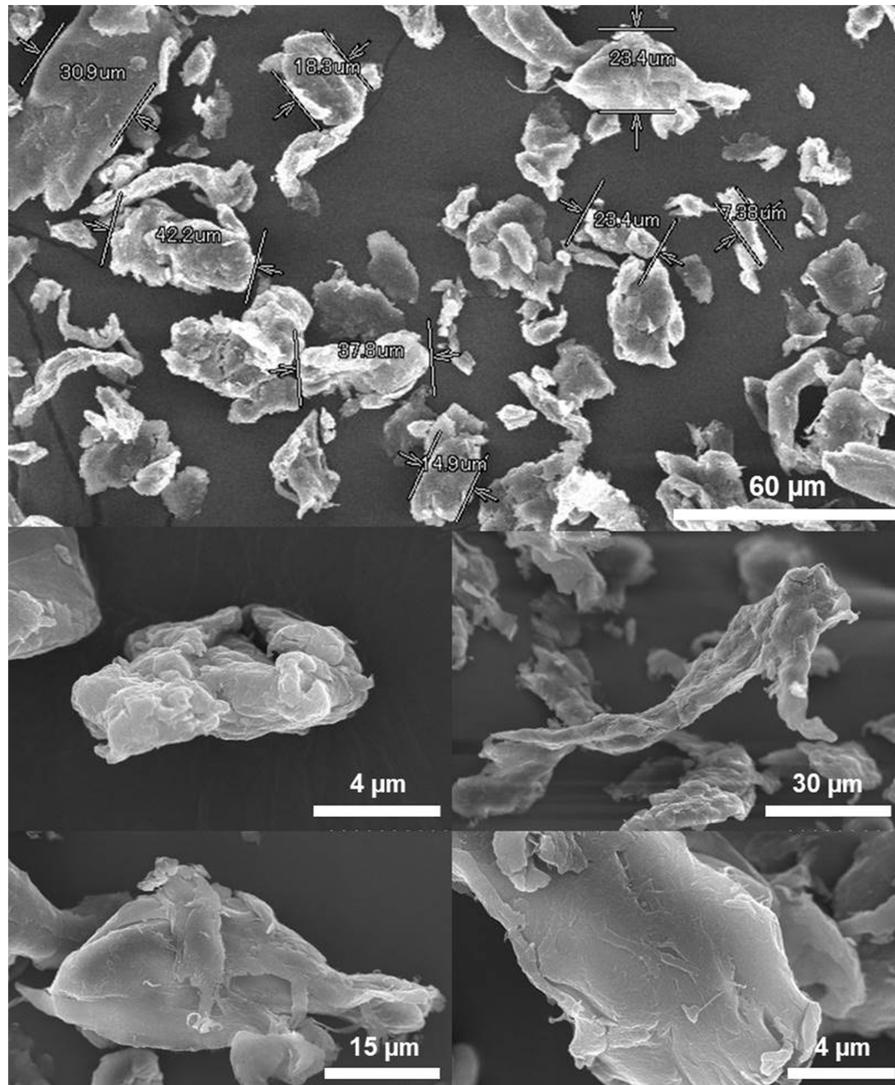


Fig. 1. SEM images of pulverized paper powder with varying particle sizes and shapes.

2) 수분 함량 평가

종이 파우더의 구성 성분인 셀룰로오스는 분자 구조 내 친수성이 높은 Hydroxyl 그룹에 인해 대기 중 장기 노출 시 상당량의 수분이 침투하게 되며 이는 보관 방법 및 대기 중 습도에 따라 셀룰로오스 소재의 수분 함량이 크게 달라질 수 있음을 의미한다<sup>15)</sup>. 인위적으로 온도, 습도를 제어하지 않은 상태로 보관된 종이 파우더 시료의 대기 노출 시간에 따른 수분 함량값을 Table 2에 나타내었다. 노출 직후부터 7일 후까지는 수분 함량치가 꾸준히 증가하다 14일 후에는 5.50%로 감소하고, 30일 후에는 6.43%로 다시 증가하는 것을 확인 할 수 있었다.

수분의 존재는 수지의 가스화 및 가수분해를 가속화하여 소재의 기계적 물성을 크게 떨어뜨릴 수 있다<sup>16)</sup>. PP의 경우 수분에 의해 가수분해는 되지 않으나 고분자 수지의 복합화 공정에서 수분 함량이 높은 종이 파우더의 첨가는 PP와의 계면 접착에 악영향 및 부분 결함 (Partial Defect)으로 작용하여 치수안정성, 인장, 탄성률 및 강도 등의 하락을 야기한다. 따라서 종이 플라스틱 가공 및 후공정에서 미분화 종이 파우더의 수분 제거가 필요하다.

2. 종이 플라스틱 복합체

1) 바이오탄소 함량 평가

바이오탄소 함량은 바이오유래탄소와 석유유래탄소를 합한 전체 탄소량에서 바이오기반 탄소량을 측정하여 계산하며 이론적인 계산식은 식 1과 같다.

$$\frac{ax}{ax + \beta(1-x)} \tag{1}$$

본 연구에서는 제조한 종이 플라스틱은 셀룰로오스로 이루어져 있는 종이 파우더와 석유 유래 PP를 복합화하였다. 따라서 x는 종이 파우더의 혼합비, α와 β는 셀룰로오스와 PP의 탄소비 이므로 αx와 β(1-x)는 셀룰로오스와 PP의 상대 탄소비와 같다. 식 1은 다시 식 2로 나타낼 수 있다.

$$\frac{(a1/b1)x}{(a1/b1)x + (b1/b2)(1-x)} \tag{2}$$

a1과 b1은 셀룰로오스의 탄소량 및 분자량, b1와 b2는 PP의 탄소량 및 분자량을 의미하며, Fig. 2a와 2b에 도시한 셀룰로오스 및 PP의 분자 구조에 따라 각각 72 g/mol, 162 g/mol, 36 g/mol, 42 g/mol이다. 총 투입량을 1로 가정하고 종이파우더 혼합비 x는 0.55이므로, 이론적으로 계산된 종이플라스틱의 바이오 탄소 함량은 38.8%이다. 이는 Fig. 2에 나타난 종이플라스틱의 바이오탄소 실측값<sup>17)</sup> (40.0%)과 거의 일치한다.

2) 제품 안전성 평가

식품의약품안전처는 식품, 의약품, 화장품 등 다양한 제품을 통해 섭취, 흡입, 흡수되는 유해물질이 인체에 미치는 영향을 종합적으로 평가하기 위해 ‘위해평가 방법 및 절차 등에 관한 규정’을 통해 식품 관련 제품의 유해물질 안전관리를 강화하고 있다. 이에 종이플라스틱의 제품 안정성을

Table 2. Changes in the moisture content of paper powder as a function of atmospheric exposure time

Exposure time	3 times later	1 day later	4 days later	7 days later	14 days later	30 days later
Moisture content rate (%)	3.25	4.49	6.97	7.28	5.50	6.43

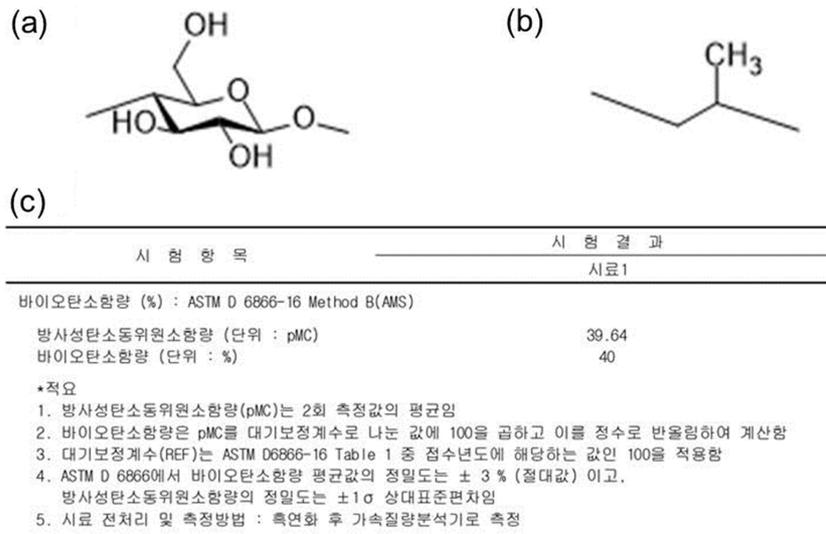


Fig. 2. Elementary molecular structure of (a) cellulose (glucose), (b) polypropylene and (c) bio-carbon content of paper plastic based on ASTM D 6866 Method.

검증하고자 하였다.

종이 플라스틱 시트의 중금속 함량 및 용출규격 평가 결과 Table 3에 나타내었다. 납 (Pb) 함량 (mg/kg), 카드뮴 (Cd) 함량 (mg/kg), 수은 (Hg) 함량 (mg/kg), 크롬 (Cr) 함량 (mg/kg), 과망간산칼륨 (KMnO<sub>4</sub>) 소비량 (mg/L), 증발잔류물 (mg/L) 등을 포함한 30개 검사 항목에서 기준치 이상 검출된 물질이 존재 하지 않았다. 이와 같은 결과로부터 종이 플라스틱은 제품 안전성이 높아 식품 포장 소재로 적합하다는 것을 확인 하였다.

3) 물성 평가

현재 식품 분야 적용 소재 시장에서는 요구 물성 기준치

가 설정되어 있지 않으나 일반적으로 플라스틱 손가락에서는 굴곡강도, 굴곡탄성율, 충격강도, 용기에서는 인장강도, 인장탄성율, 연신율이 고려되어야 하는 주요 물성이다. 손가락용 소재로 상용화 되어있는 PP 복합체와 본 연구에서 제조한 종이 플라스틱의 비중, 용융지수 및 기계적 물성을 Table 4에 나타내었다. 종이 플라스틱은 PP 복합체 대비 비중이 낮고 용융지수가 비슷해 기존 사출 조건을 크게 바꾸지 않으면서 보다 경량화된 성형품이 제조 가능할 것이라 예측되었다. 그러나 인장 탄성율을 제외한 인장강도, 굴곡강도, 굴곡탄성율, 충격강도 모두 종이 플라스틱이 PP 복합체보다 떨어짐을 알 수 있다. PP 복합체는 표면이 소수화 처리된 구형 SiO<sub>2</sub> 무기필러가 35 wt% 첨가되어 있기

Table 3. Safety analyses of paper plastics for food applications

Test Item	Test Method	Unit	MDL (Method Detection Limit)	Test Result	
Lead (Pb)	MFDS “Standards and specifications for Food Utensils, Containers and Packages”	mg/kg	2	Not detected	
Cadmium (Cd)		mg/kg	2	Not detected	
Mercury (Hg)		mg/kg	0.2	Not detected	
Hexavalent Chromium (Cr6 <sup>+</sup> )		mg/kg	0.4	Not detected	
Migration Lead (Pb)		mg/L	0.05	Not detected	
Consumption of KMnO <sub>4</sub>		mg/L	0.5	Not detected	
Overall migration (as water)		mg/L	5	6	
PCBs		mg/kg	-	Not detected	
Lead (Pb)		mg/L	0.05	Not detected	
As (as As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		mg/L	-	Not more than 0.1	
Formaldehyde		mg/L	0.09	Not detected	
Fluorescence whitening agent		-	-	Not detected	
Di-butyl phthalate (as water)		mg/L	0.2	Not detected	
Benzyl-n-butyl phthalate (as water)		mg/L	15	Not detected	
Di-(n-ethylhexyl) phthalate (as water)		mg/L	0.8	Not detected	
Di-butyl phthalate (as 4% acetic acid)		mg/L	0.2	Not detected	
Benzyl-n-butyl phthalate (as 4% acetic acid)		mg/L	15	Not detected	
Di-(n-ethylhexyl) phthalate (as 4% acetic acid)		mg/L	0.8	Not detected	
Di-butyl phthalate (as n-heptane)		mg/L	0.2	Not detected	
Benzyl-n-butyl phthalate (as n-heptane)		mg/L	15	Not detected	
Di-(n-ethylhexyl) phthalate (as n-heptane)		mg/L	0.8	Not detected	
Bisphenol-A (as water)		Phenol	mg/L	0.02	Not detected
		Bisphenol-A	mg/L	0.02	Not detected
		p-tert-buthylphenol	mg/L	0.02	Not detected
Bisphenol-A (as 4% acetic acid)		Phenol	mg/L	0.02	Not detected
		Bisphenol-A	mg/L	0.02	Not detected
		p-tert-buthylphenol	mg/L	0.02	Not detected
Bisphenol-A (as n-heptane)		Phenol	mg/L	0.02	Not detected
		Bisphenol-A	mg/L	0.02	Not detected
		p-tert-buthylphenol	mg/L	0.02	Not detected

**Table 4.** Comparison of material properties of PP compounds and paper plastics

Item	Gravity (g/cm <sup>3</sup> )	Melting index (g/10 min)	Tensile strength (Mpa)	Tensile modulus (Mpa)	Elongation (%)	Flexural strength (Mpa)	Flexural modulus (Mpa)	Impact strength (kJ/m <sup>2</sup> )
Test method			JIS K7113	JIS K7113	JIS K7113	JIS K7203	JIS K7203	ASTM D256
PP Composite	1.18	14.8	35.6	2600	11.1	63.7	4993	3.2
Paper plastic	1.138	12.5	15.3	2605	6.9	29.3	2998	1.5

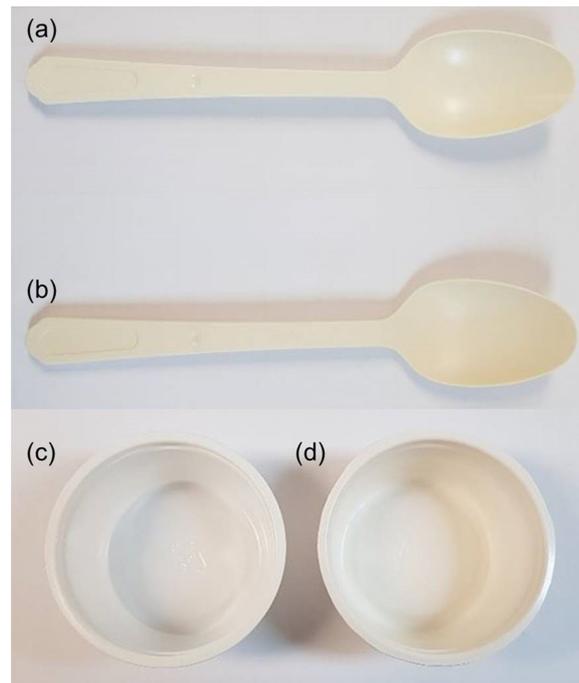
때문에 종이 파우더의 기계적 물성 (특히 강도 보강 측면) 이 상대적으로 떨어질 수 밖에 없다. 또한 이는 무엇보다도 친수성이 높은 종이 파우더와 소수성이 높은 PP의 낮은 상용성에 의해 계면 특성이 떨어지는데 기인한다.<sup>18-19)</sup> 그러나 종이 플라스틱은 낮은 비중에 따른 경량화 및 앞서 서술한 바이오탄소 함량이 높아 지속 가능한 제품 (Sustainable Product)에 적합한 친환경 소재라는 점에 의미가 있다 할 수 있다. 또한, PP 대비 상대적으로 소수성이 낮고 종이 파우더와 상용성이 높은 생분해 수지인 PLA (Polylactic Acid), PBS (Poly Butylene Succinate) 등을 Base Resin으로 적용할 경우, 종이 파우더에 의한 보강 효과가 증가될 것이라 기대한다.

#### 4) 성형성 평가

기존 가공 생산 설비를 이용하여 종이플라스틱 숟가락 (Fig. 3b) 및 용기(Fig. 3d)를 제조한 후 PP 복합체 (Fig. 3a, 3c)와의 성형성을 비교하였다. 일반적으로 PP 복합체는 가공 온도를 210~220°C로 설정하지만 종이 플라스틱은 열화 및 탄화 현상을 방지하기 위해 190°C에서 사출, 시트 및 프레스성형을 진행하였다. 가공 온도가 낮을 경우 수지의 용융 흐름저하에 따른 미성형, 반대의 경우 Gas, Burr 등의 제품 불량 현상이 발생할 수 있다. 종이 플라스틱의 용융지수와 가공온도가 PP 복합체 대비 각각 2.4 g/10 min, 30°C 낮음에도 불구하고 (Table 4), 외관 평가 시 성형성 및 완제품의 외관 품질이 PP 복합체와 유사한 수준을 보였다 (Fig 3). 종이플라스틱은 기존 사출 및 프레스 등의 후가공 성형 장비를 그대로 사용할 수 있는 장점이 있으며, 최종 성형품은 100°C 내외의 온도가 발생되는 전자레인지에 5분간 노출시켜도 변형이 없어 PP 제품이 상용화되어 있는 식품 적용 포장 분야에서 동일하게 사용 가능할 것으로 판단하였다.

## 결 론

최근 적극적으로 이산화탄소 배출량을 감소시키려는 국내외 친환경 정부 정책 상황에 따라 바이오매스로부터 제조되는 바이오매스 기반 분해성 플라스틱의 적용분야가 확대되고 있다. 본 연구에서는 건식 분말화 기술을 통해 미분화된 종이파우더와 PP를 복합화하여 바이오탄소 함량이



**Fig. 3.** Photographic images of spoons [fabricated from (a) PP compound, (b) paper plastic] and containers [fabricated from (c) PP compound, (d) paper plastic].

40%이상인 종이플라스틱을 제조하고 해당 시편의 기계적 물성, 성형성, 제품 안전성 및 식품 포장 분야 소재로의 적합성을 비교 검증하였다. 종이 플라스틱은 현재 상용화되어 있는 PP 복합체 대비 전반적인 물성이 다소 떨어지나 높은 바이오탄소 함량, 경량화 뿐만 아니라 기존 가공 장비를 그대로 적용 할 수 있어 난분해 플라스틱을 대체 할 수 있는 환경친화적인 탄소 저감형 재료로서의 가치가 높다 할 수 있다. 또한 이산화탄소 저감을 위해 바이오 유래 탄소 함량이 높은 바이오 베이스 플라스틱을 사용하도록 하는 주요 선진국들의 정책에 효율적으로 대처할 수 있다.

## 참고문헌

1. Lee, J.C. and Pai, C.M. 2016. Trends of environment-friendly bioplastics. *Appl. Chem. Eng.* 27: 245.
2. 2018. Technology roadmap for SME.
3. Progressive Markets. Size, Trend, Share, Opportunity Analysis, and Forecast. 2017-2025.

4. Lee, J.W. 2011. Bio-plastics. KISTI Market Report. 1(1): 24-27.
5. Garcia, C., Hernandez, T., and Costa, F. 1992. Comparison of Humic Acids Derived from City refuse with more Developed Humic Acids. *Soil Sci. Plant Nutr.* 38: 339-346.
6. Chung, M.S., Lee, W.H., You, T.S., Kim, H.Y., and Park, K.M. 2003. Manufacturing Multi-degradable Food Packaging Films and Their Degradability. *Korean J. Food Sci. Technol.* 35(5): 877-883.
7. Huag, J.H., Shetty, A.S., and Wang, M.S. 1990. Biodegradable Plastics. *A Rev. Adv. Polym. technol.* 10: 23-30.
8. Doane, W.M. 1992. USDA Research on Starch-based Biodegradable Plastics. *Starch.* 44: 292-295.
9. You, Y.S., Hong, S.H. and Choi, S.W. 2015. International Trends in Development, commercialization and Market of Bio-Plastics. *CLEAN TECHNOLOGY.* 21: 141-152.
10. You Y.S. Trends of Oxo Biodegradable plastics Certification Label and Products in Domestic and foreign Country.
11. Son, W.I. and Hong, J.H. 2018. A Study on Circular Economy and Sustainable Bioeconomy : focusing on Biochemical Industry. *The Korean Journal of Bioeconomy.* 175-206.
12. You, Y.S., Kim, M.K., Park, M.J. and Choi, S.W. 2014. Development of Oxo-biodegradable Bio-plastics Film Using Agricultural By-product Such as Corn Husk, Soybean Husk, Rice Husk and wheat Husk. *Clean Technol.* 20(3): 205-211.
13. You, Y.S., Oh, Y.S., Hong, S.H. and Choi S.W. 2015. International Trends in Development, commercialization and Market of Bio-Plastics. *Clean Technol.* 21(3): 141-152.
14. Ellen Macarthur Foundation. 2012. Toward the circular economy.
15. Jang, S.Y. and Kim, D.S. 2015. Preparation and Physical Properties of Polypropylene/Cellulose composites. *Polymer Korea.* 39(1): 130-135.
16. Gassan, J. and Bledzki, A.K. 1999. Effect of Cyclic Moisture Absorption Desorption on the mechanical Properties of Silanized Jute-epoxy Composites, *Polymer Composites.* 20(4): 604-611.
17. KUNIOKA M. 2013. Measurement Methods of Biobased Carbon Content for Biomass-Based chemicals and Plastics. *Radioisotopes.* 62: 901-925.
18. Shubhra, Q.T., Alam, A. and Quaiyyum, M. 2013. Mechanical properties of polypropylene composites: A review. *J. Thermoplast. Compos. Mater.* 26(3): 362-391.
19. Catherine, J., Robert, G. and Bernard, C. 1996. PHYSICAL CHEMISTRY OF THE INTERFACE IN POLYPROPYLENE/CELLULOSIC-FIBRE COMPOSITES. *Compos. Sci. Technol.* 56: 161-765.

투고: 2020.04.08 / 심사완료: 2020.04.24 / 게재확정: 2020.04.28