

바이오복합재료 제조 공정시 제조온도 및 시간에 의한 영향 평가*1

박 상 용*2 · 한 규 성*2 · 김 희 수*3 · 양 한 승*3 · 김 현 중*3†

Evaluation of the Impact on Manufacturing Temperature and Time in the Production Process of Bio-composites*1

Sang-Yong Park*2 · Gyu-Seong Han*2 · Hee-Soo Kim*3
· Han-Seung Yang*3 · Hyun-Joong Kim*3†

요 약

본 연구는 바이오복합재(bio-composites) 제조시 제조온도와 시간이 기질인 열가소성 고분자와 충전제인 왕겨분말에 미치는 영향을 평가하기 위하여 수행하였다. 제조온도가 왕겨분말에 미치는 영향에 대해 알아보기 위해 왕겨분말을 220°C에서 10분부터 2시간 동안 처리한 후 열가소성 고분자인 polypropylene (PP)과 low-density polyethylene (LDPE)에 충전제로 첨가하여 바이오복합재를 제조한 후 기계적 성질을 측정하였다. 220°C에서 왕겨분말의 처리시간이 증가할수록 왕겨분말의 주요 구성성분이 열분해로 인하여 인장강도와 충격강도값이 감소하였다. 실제적인 제조온도에 의한 중량감소를 측정하기 위하여 열중량분석기(thermogravimetric analysis, TGA)를 이용하여 220°C의 등온상태에서 2시간 동안 측정한 결과 열가소성고분자에서는 중량의 변화가 거의 발생하지 않았으며 충전제인 왕겨분말과 바이오복합재의 경우 시간이 증가할수록 열분해에 의한 중량감소량이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 그러므로 바이오복합재 제조시 높은 제조온도로 인한 물성의 저하를 방지하기 위해서는 적절한 온도와 제조시간을 결정하는 것이 중요하다고 볼 수 있다.

ABSTRACT

The main objective of this research was conducted to evaluate the impacts on the thermoplastic

* 1 접수 2004년 11월 11일, 채택 2004년 12월 1일

* 2 충북대학교 산림과학부 목재종이과학전공, Wood and Paper Science, School of Forest Resources, Chunbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

* 3 서울대학교 임산공학과, Lab. of Adhesion & Bio-composites, Dept. of Forest Products, College of Agriculture & Life Science, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

† 주저자(corresponding author) : 김현중(e-mail: hjokim@snu.ac.kr)

polymer which is a matrix polymer and the rice husk flour (RHF) which is a reinforcing filler relative to the manufacturing temperature and time when bio-composites were manufactured. In order to evaluate the impacts on the rice husk flour relative to the manufacturing temperature, the rice husk flour was persevered for 10 minutes to 2 hours period at 220°C temperature which was then added with the polypropylene (PP) and low-density polyethylene (LDPE) to complete the manufacturing process of the bio-composites and measure the corresponding mechanical properties. As preserving time increased at 220°C, the tensile and impact strength were decreased due to the thermal degradation of the main components within the rice husk flour. The thermogravimetric analysis (TGA) was used to measure weight loss caused by the actual manufacturing temperature and the result was that the thermoplastic polymer had not scarcely occurred weight change, but there had been increasing rate of weight loss relative to time for the rice husk flour and the bio-composites under the consistent temperature of 220°C for 2 hour time period. Therefore, the proper manufacturing temperature and time settings are significantly important features in order to prevent the reduction of mechanical properties which were induced throughout the manufacturing process under the high manufacturing temperature.

Keywords: Bio-Composites, rice husk flour, thermoplastic polymer, manufacturing temperature, thermal degradation, mechanical properties

1. 서 론

현재 전 세계적으로 환경문제에 대하여 각국의 정부에 대한 규제가 강화되고 이에 대한 인식이 점차적으로 증가함에 따라 환경친화성 소재에 대한 개발과 관심이 증가하고 있다(Mohanty *et al.*, 2000; 한 *et al.*, 2002). 그 중 현재 환경친화성 소재로서 가장 활발히 연구되고 있는 것이 바이오복합재료이다. 바이오복합재료는 기질로서 열가소성 고분자와 생분해성 고분자를 사용하고 있으며, 충전제로서는 기존의 무기질 충전제와는 달리 환경친화적이며 생분해성이 가능한 천연섬유와 목분, 왕겨분말, 전분을 사용하고 있다. 특히, 목분과 왕겨분말은 농산부산물과 폐자원의 재활용 측면에서 앞으로 적용이 증가할 것이라 기대된다. 이러한 셀룰로오스계 충전제의 장점을 보면 값이 저렴하고, 경량이며, 연소시 무독성이며 사용 후 자연환경에 매립했을 때 생분해성이므로 환경친화적이라는 것이다(Eom *et al.*, 2004; Kamdem *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2004). 바이오복합재료는 사용되는 고분자의 종류에 따라 크게 두 종류로 분류되는데 기존의 열가소성 고분자(polyolefin계)를 기질로 사용한 생분해성 바이오복합재와 자연에서 완전히 생분

해가 가능한 생분해성 고분자를 활용한 생분해성 바이오복합재로 구분된다(Park *et al.*, 2002). 앞으로는 생분해성 고분자를 활용한 바이오복합재에 대한 관심이 증가할 것이라 보며 기존의 고분자 물질에 비해 단점인 물성을 향상시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다(Nikolic *et al.*, 2002; Okada *et al.*, 2002). 현재 바이오복합재료는 환경친화적이라는 장점으로 인하여 미국, 유럽에서는 자동차 내외장재, 건축용재, 테크재에서 실제로 사용되고 있다(한 *et al.*, 2002; 황 *et al.*, 2002; Stark *et al.*, 2004).

현재 바이오복합재료의 제조는 주로 twin-screw extruder system에 의해서 제조되고 있는데 제조온도는 주로 기질로 사용되는 고분자의 용융온도(melting point)에 의해서 결정된다. 그러므로 바이오복합재료 제조는 기질로 사용되는 고분자의 종류에 따라 각각 다른 제조온도를 나타나게 된다. 바이오복합재료 제조시 제조온도가 너무 높으면 제조공정은 용이하지만 고온으로 인하여 친환경성 충전제로 사용되는 셀룰로오스계 충전제에 영향을 미치게 된다(Stokke *et al.*, 2001). Wielage 등(1999)은 열가소성 고분자인 Polypropylene (PP)에 천연섬유인 아마(flax)를 충전제로 첨가하여 바이오복합재를 제조하

였으며 기질인 PP와 충전제인 아마섬유의 제조온도에 의한 중량감소를 알아보기 위하여 열중량분석기를 이용하여 160~260°C의 온도범위에서 등온상태로 측정해 본 결과 온도와 시간이 증가할수록 충전제인 아마섬유의 중량감소가 증가한다고 보고하였다. 위의 결과에서도 알 수 있듯이 바이오복합재료의 제조온도의 설정이 바이오복합재료의 제조과정에 있어서 중요한 영향을 미친다고 할 수 있을 것이다.

본 연구의 목적은 바이오복합재료 제조시 제조온도 및 시간이 기질인 열가소성고분자와 충전제인 왕겨분말에 미치는 영향을 평가하였으며 제조온도 조건에서 처리된 왕겨분말을 사용하여 바이오복합재료를 제조한 후 물성에 미치는 영향을 평가하여 적당한 제조조건을 설정하는 것이다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

2.1.1. 열가소성고분자

본 연구에서 사용된 열가소성 고분자는 (주)LG화학에서 구입한 polypropylene (PP)를 사용하였다. PP의 용융지수는 12 g/10 min (230°C/2.160 g), 그리고 밀도는 0.91 g/cm³ 이었다. Low-density polyethylene (LDPE)는 (주)한화에서 구입하여 사용하였으며 용융지수는 15 g/10 min (230°C/2.160 g)이었고 밀도는 0.96 g/cm³이었다.

2.1.2. 강화충전제 및 셀룰로오스, 리그닌

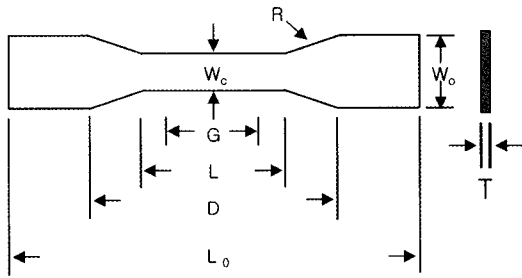
강화충전제는 (주)Saron Filler에서 제조한 80~100 mesh의 왕겨분말을 사용하였다. 셀룰로오스는 (주)Toyo Roshi Kaisha, Japan에서 구입한 필터페이퍼를 사용하였고 입자크기는 0.2~0.45 μm이었다. 리그닌은 (주)Aldrich Chemical에서 구입한 것을 사용하였다. 필터페이퍼와 리그닌은 수분에 의한 영향을 줄이기 위하여 105°C에서 약 24시간 동안 건조시켜 사용하였다.

2.2. 바이오복합재료 제조온도 및 시간에 따른 강화충전제 처리방법

바이오복합재료 제조시 제조온도는 열가소성 고분자의 용융온도에 의해 결정된다. 본 연구에서 사용된 PP의 용융온도(melting point)는 약 170°C이고 LDPE의 용융온도는 약 130°C이었다. 열가소성 고분자인 PP를 이용하여 바이오복합재료 제조시 제조온도는 고분자가 용융되어 충분한 흐름성을 나타내고 충전제와의 원활한 혼합을 위하여 170°C보다 높은 220°C에서 제조를 하게 된다. 그러므로 본 연구에서는 바이오복합재료 제조시 제조온도와 시간에 따른 강화충전제에 대한 영향을 알아보기 위해 220°C에서 왕겨분말을 처리하였다. 왕겨분말의 처리과정은 다음과 같다. 우선 105°C에서 약 24시간 동안 건조된 왕겨분말을 220°C로 조절된 오븐에 넣고 각각 10분, 30분, 40분, 1시간 그리고 2시간 동안 처리를 한다. 처리된 왕겨분말은 수분의 침투를 방지하기 위해 폴리에틸렌백에 넣어 보관하였다.

2.3. 바이오복합재료 원료 혼합 및 제조공정

왕겨분말로 강화 충전된 바이오복합재료의 제조공정은 다음과 같다. 열가소성 고분자(PP, LDPE)와 2.2에서 처리된 왕겨분말의 혼합비를 중량기준으로 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40으로 하여 혼합하였다. 혼합된 재료를 실험실용 twin-screw extruder의 호퍼(hopper) 내로 공급하였으며, 이때 배럴(barrel)의 온도는 열가소성고분자 용융온도보다 높은 220°C로 조절하였다. 그리고 진공펌프를 일정한 압력으로 조정하여 압출기의 내부를 진공 상태로 조정하였다. 다이의 노즐로부터 빠져나오는 긴 막대상의 물질(strand)을 냉각장치에 통과시켜 냉각한 다음 펠레타이저(pelletizer)에 의해 펠렛(pellet) 형태로 절단하였다. 이러한 펠렛 형태의 입자를 다시 오븐에서 60°C에서 24시간 건조하였다. 건조된 펠렛은 수분의 침투를 방지하기 위해 폴리에틸렌백에 보관하였다.



WC: 3 mm, G: 9 mm, L: 12 mm, D: 25 mm
 L₀: 63 mm, W₀: 10 mm, R: 6 mm, T: 3 mm

Fig. 1. Dimension of tensile strength specimen according to ASTM D 638-99.

2.4. 시편제조

건조된 펠렛은 사출성형기에서 시험용 시편을 사출 온도 140°C, 사출압력 1,200 psi, 장치압력 1,500 psi 에서 인장강도 시편과 충격강도 시편을 제작하였다. 제작된 시편은 온도 23±2°C, 상대습도 50±5% 조건에서 40시간 조습처리 하였다.

2.5. 실험방법

2.5.1. 기계적 성질 측정

왕겨분말을 220°C에서 각각의 시간에 따라 처리 후 바이오복합체의 인장강도 측정을 위해 ASTM D 638-99에 따라 Universal Testing Machine (Zwick Co.)을 사용하여 인장강도를 측정 하였으며, 이때 하중속도는 100 mm/min이며 상온에서 측정을 하였다. 이때 시편의 크기는 Fig. 1과 같다. 또한 바이오복합체의 충격강도를 실험하기 위해 ASTM D 256-97에 따라 Izod Impact Tester (Dae Yeong Co.)를 사용하여 notched impact strength 만 측정하였다.

2.5.2. 열중량 분석(Thermogravimetric analysis, TGA)

바이오복합체의 제조온도에 의한 열분해는 열중량 분석기(thermogravimetric analysis, TGA)에 의하여 측정될 수 있으며 승온 및 등온 두 가지 방법에 의

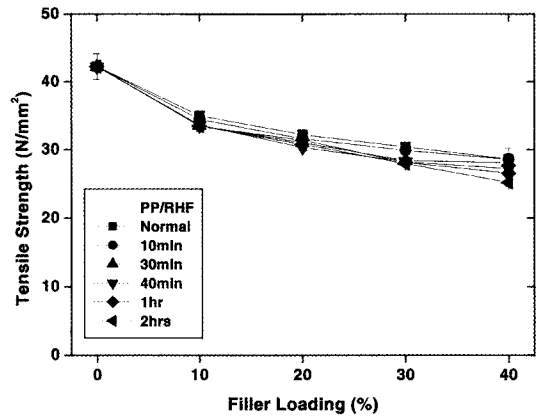


Fig. 2. Tensile strength of thermal treated rice husk flour filled PP bio-composites.

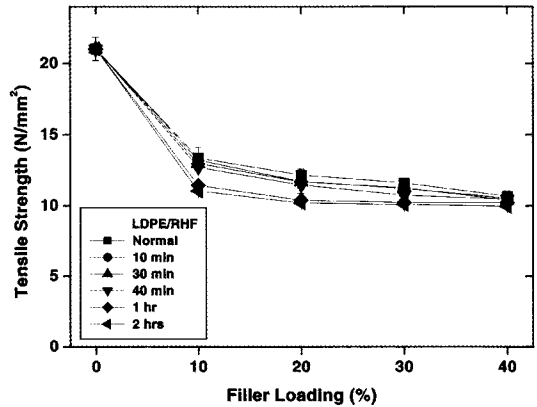


Fig. 3. Tensile strength of thermal treated rice husk flour filled LDPE bio-composites.

해 열분해율을 분석할 수 있다. 본 연구에서는 바이오복합체의 제조온도와 동일한 온도조건의 등온상태에서 측정하였다. 바이오복합체의 열중량 분석은 TA Instruments사의 TGA Q500을 사용하여 실시하였다. 실험시편은 바이오복합체와 셀룰로오스 그리고 리그닌 중 10~13 mg을 취하였고, 질소를 40 ml/min으로 공급하였으며, 승온속도는 20°C/min으로 25°C부터 220°C까지 온도를 승온시킨 후 220°C에서 2시간 동안 등온상태로 실험을 실시하였다. 실험 중 산화를 방지하기 위해 고 순도의 질소(99.5%의 질소, 0.5%의 산소) 상태에서 실험을 실시하였다.

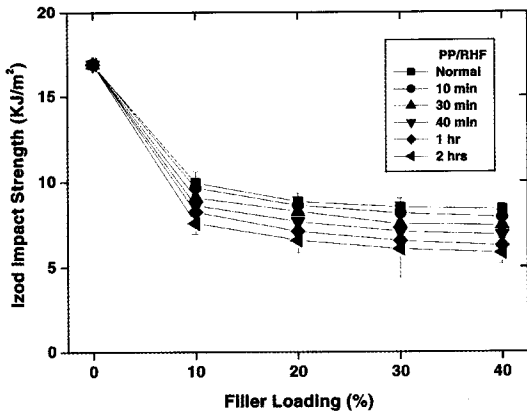


Fig. 4. Izod impact strength of thermal treated rice husk flour filled PP bio-composites.

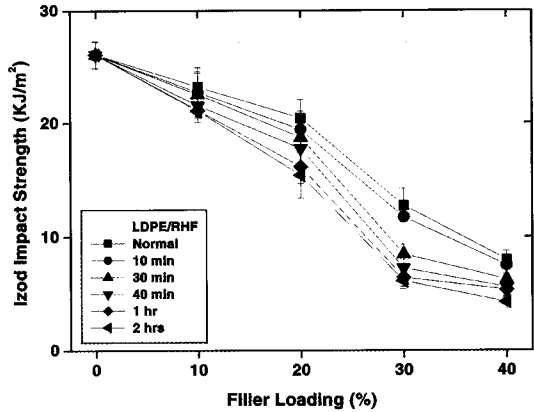


Fig. 5. Izod impact strength of thermal treated rice husk flour filled LDPE bio-composites.

3. 결과 및 고찰

3.1. 기계적성질 측정

Fig. 2와 3은 PP와 LDPE에 220°C에서 10분부터 2시간 동안 처리된 왕겨분말이 충전제로 첨가된 바이오복합재의 인장강도 값을 보여 주었다. 왕겨분말의 함량이 증가할수록 바이오복합재의 인장강도 값은 감소하였는데 이는 친수성인 왕겨분말과 소수성인 열가소성고분자 사이의 계면에서 낮은 결합력으로 인하여 충전제의 함량이 증가할수록 낮은 인장강도 값을 나타내었다(Yang *et al.*, 2003). 이와 같은 결과는 기존의 무기질 충전제와 비교하여 셀룰로오스계 충전제의 난점으로 나타날 수 있는데 기질인 고분자와 셀룰로오스 충전제의 전처리를 통해 계면에서 결합력을 향상시키기 위한 다양한 연구들이 진행되고 있다(Colom *et al.*, 2003). 바이오복합재의 제조온도에 따라 왕겨분말을 10분에서 2시간 동안 처리했을 때 바이오복합재의 물성에 미치는 영향을 알아보기 위해 인장강도를 측정하였다. Fig. 2와 3에서 보면 220°C에서 왕겨분말을 10분 정도 처리했을 때에는 큰 감소를 보이지 않다가 처리시간이 증가할수록 바이오복합재의 인장강도 값이 점차적으로 감소하는 현상이 나타났다. 위의 결과는 220°C에서 왕겨분말의 처리시간이 길수록 왕겨분말이 열에 의해 주성분인 셀룰로오스, 헤미셀

룰로오스 그리고 리그닌이 열분해 되는 양의 증가가 결국 바이오복합재의 인장강도 감소로 나타났다. 위의 현상을 알아보기 위해 셀룰로오스계 충전제의 주성분의 주된 열분해 온도를 보면 헤미셀룰로오스는 150~300°C, 셀룰로오스는 275~350°C 그리고 리그닌은 200~500°C의 넓은 영역에서 열분해가 발생하였다(Alvarez *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2004). 그러므로 본 연구에서 적용된 바이오복합재의 제조온도인 220°C는 셀룰로오스계 충전제인 왕겨분말이 열에 의한 분해가 발생할 수 있는 온도이며 처리시간이 증가할수록 왕겨분말이 열에 의한 분해가 증가하여 바이오복합재의 기계적물성이 저하되는 것을 알 수 있었다. 그러므로 바이오복합재료 제조시 높은 제조온도로 인한 물성의 저하를 방지하기 위해 제조온도는 셀룰로오스계 충전제가 온도에 의한 영향을 받지 않는 200°C 이하로 조절해 주어야 할 것이며 제조시간도 기계적물성 감소에 큰 영향을 받지 않는 10분 이하로 조절해 주는 것이 필요하다고 본다.

Fig. 4와 5에서는 PP와 LDPE에 220°C에서 10분에서 2시간 동안 처리된 왕겨분말이 충전제로 첨가된 바이오복합재의 충격강도 값을 나타내었다. 충격강도 측정에는 notched와 un-notched의 두 가지 방법으로 측정할 수 있는데 본 연구에서는 notched 방법을 사용하여 측정하였다. 일반적으로 충격강도는 바이오복합재에 충격이 가해졌을 때 충격의 진이에 의하여 측

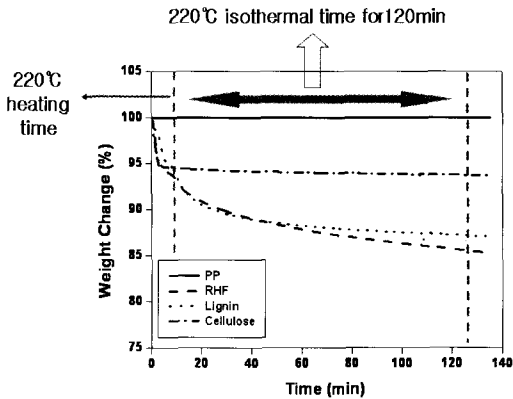


Fig. 6. Isothermal TGA curves of PP, RHF, lignin and cellulose.

정된다. 왕겨분말의 함량이 증가 할수록 두 물질간의 계면에서 낮은 결합력으로 인하여 충격이 발생했을 때 계면에서 충격이 쉽게 전이되어 낮은 충격강도 값을 나타내게 된다(Kim *et al.*, 2004; Yang *et al.*, 2003).

또한, Fig. 4와 5에서 바이오복합재의 제조 온도와 시간에 따라 왕겨분말을 처리했을 때 바이오복합재의 충격강도 값의 변화를 볼 수 있었다. 220°C에서 2시간 처리한 것이 무처리 한 것보다 충격강도 값의 감소 폭이 더 큰 것을 볼 수 있는데 이는 처리시간이 증가 할수록 왕겨분말의 열분해가 증가하여 바이오복합재의 충격강도 값이 감소했다고 볼 수 있다.

위의 결과를 종합해 보았을 때 바이오복합재 제조 시 제조온도와 시간이 바이오복합재의 기계적 성질에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있었으며 높은 제조온도로 인한 물성의 저하를 방지하기 위해서는 제조공정에 영향을 미치지 않는 적당한 온도와 제조시간을 결정하는 것이 중요하다고 볼 수 있다.

3.2. 열중량 분석

왕겨분말을 220°C에서 10분부터 2시간까지 각각 처리한 후 복합재를 제조했을 때 실제적인 중량감소를 알아보기 위해 열중량 분석기(TGA)를 이용하여 충전제인 왕겨분말과 왕겨분말의 주요구성성분인 셀룰로오스, 리그닌 그리고 바이오복합재에 대하여

220°C 등온상태에서 2시간 동안 측정하였다. Fig. 6에서는 PP, 왕겨분말, 셀룰로오스 그리고 리그닌의 등온상태에서의 열분해 곡선을 보여준다. 처음에 시작해서 약 15분 정도는 220°C까지의 승온상태에서 열분해 곡선을 나타내었고 그 이후로는 2시간 동안 등온상태에서 열분해 곡선을 나타내었다. 열가소성고분자인 PP의 경우를 보면 220°C까지 승온과정에서 열에 의한 중량의 감소를 보이지 않았고 등온상태에서도 열에 의한 중량감소가 나타나지 않았다. 또한 LDPE에서도 같은 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 충전제인 왕겨분말을 보면 220°C까지 승온과정에서 약 5% 정도의 중량감소를 나타내었으며 등온과정에서도 시간이 증가할수록 열분해에 의한 중량이 감소율이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 220°C까지 승온과정에서 왕겨분말의 열분해를 보면 0~100°C까지는 주로 왕겨분말에 존재하는 수분에 의한 감소이며 이후의 온도범위에서는 열안정성이 낮은 단당류인 헤미셀룰로오스에서 주로 열분해가 이루어졌고 등온상태에서는 시간이 증가할수록 왕겨분말의 주요 구성성분의 열분해로 중량감소가 발생했다고 볼 수 있을 것이다(Wielage *et al.*, 1999).

위의 결과에서 보면 충전제인 왕겨분말보다는 기질인 열가소성 고분자의 열안정성이 우수하여 바이오복합재로 제조시 제조온도에는 기질로 사용되는 고분자보다는 충전제가 더 영향을 받고 있다는 것을 알 수 있었다. 충전제로 사용되는 왕겨분말의 주요 구성성분인 셀룰로오스와 리그닌의 열분해에 의한 중량감소율을 측정해 본 결과 리그닌의 열중량 감소가 셀룰로오스보다 더 많이 발생하므로 바이오복합재 제조시 셀룰로오스보다는 리그닌과 셀룰로오스계 충전제 중 가장 낮은 열안정성을 나타내는 헤미셀룰로오스가 주로 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다(Alvarez *et al.*, 2004; Stokke *et al.*, 2001). Fig. 7과 8은 PP와 LDPE에 충전제로 왕겨분말을 사용하여 복합재를 제조한 후 220°C 등온상태에서 측정한 열분해 곡선을 보여 준다. 바이오복합재에서 왕겨분말의 함량이 증가하고 등온상태에서 시간이 증가할수록 열분해에 의한 중량감소가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 위의 결과를 통하여 220°C에서 각각의 시간별로 처리된 왕겨분말로 제조한 바이오복합재의 기계적 성질의 감

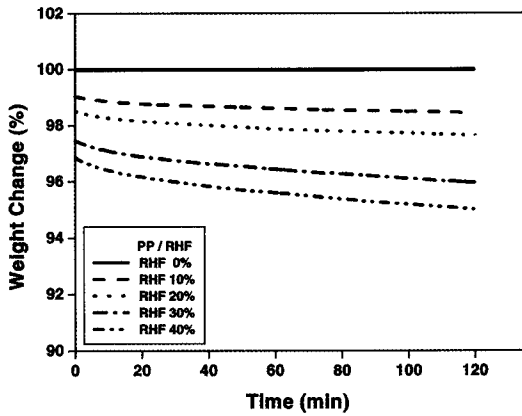


Fig. 7. Isothermal TGA curves of rice husk flour filled PP bio-composites.

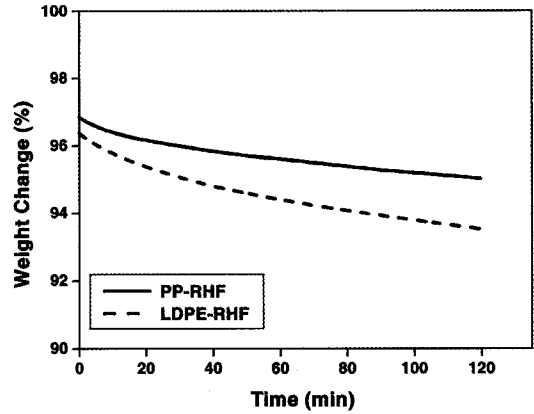


Fig. 9. Comparison of isothermal TGA curves of rice husk flour filled PP and LDPE bio-composites at 40 wt.% filler loading.

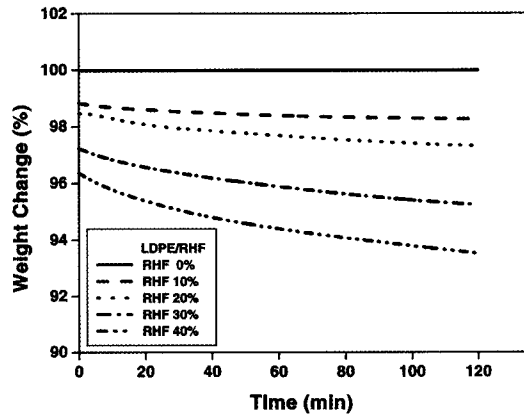


Fig. 8. Isothermal TGA curves of rice husk flour filled LDPE bio-composites.

소를 확인할 수 있었으며 기질인 고분자에 비해 상대적으로 열안정성이 낮은 왕겨분말의 열분해에 의한 중량감소로 인하여 이와 같은 결과가 발생했다고 볼 수 있었다. Fig. 9에서는 왕겨분말의 함량이 40 wt.%로 동일하였을 때 PP와 LDPE 복합재에서 열분해에 의한 중량감소를 나타내었다. 열분해에 의한 중량감소를 비교하여 보면 PP보다는 LDPE에서 조금 더 열분해에 의한 중량감소가 발생된 것을 볼 수 있다. 위의 결과는 바이오복합재 제조시 고분자 내에서의 분산력이 PP가 LDPE보다 더 우수했기 때문이라고 볼 수 있다(Kim *et al.*, 2004). Fig. 10에서는 바이오복합

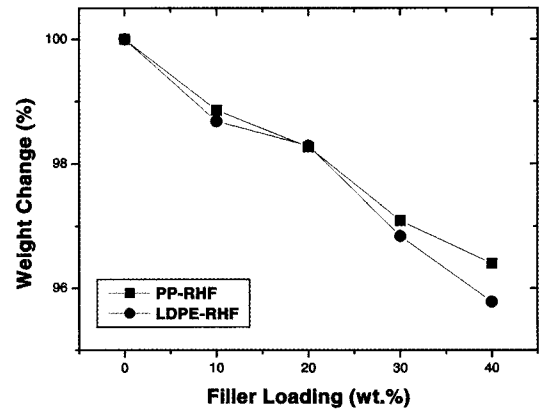


Fig. 10. Weight change (%) of rice husk flour filled PP and LDPE bio-composites at 10 min.

재 제조와 사출성형시 제조 공정상의 실제적인 중량감소를 알아보기 위해 열중량 분석기에서 220°C 등온 상태로 10분 동안 측정된 값을 나타내었다. 실험실용 twin-screw extruder에서 바이오복합재를 제조한 후 사출성형기에 의해 시편을 제조하는데 있어 소요된 시간을 측정해본 결과 약 10분 동안의 시간이 소요되는 것을 확인할 수 있어서 10분 동안 열분해에 의한 중량감소를 비교하였다. 왕겨분말이 40 wt.% 첨가된 경우를 보면 약 3~4% 정도의 중량감소를 나타내었는데 이 정도의 중량감소는 바이오복합재의 기계적

성질에 영향을 미칠 것이라 예상할 수 있었다. 본 연구에서 적용된 10분은 실험실에서의 제조과정이었지만 대규모의 공장에서는 제조공정시간이 길어질 것이라 예상되어 제조온도에 의한 셀룰로오스계 충전제의 열분해가 증가되어 바이오복합재의 기계적 성질의 감소가 발생할 것이라 본다. 그러므로 비교적 용융온도(melting temperature)가 높은 고분자를 기질로 사용하여 바이오복합재를 제조할 때는 제조온도의 설정이 매우 중요하다는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

바이오복합재료 제조 공정에서 제조온도와 시간이 미치는 영향을 평가하기 위해 왕겨분말을 220°C에서 처리한 후 바이오복합재를 제조하여 기계적 성질을 측정하였다. 왕겨분말의 처리시간이 증가할수록 왕겨분말의 주성분인 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스 그리고 리그닌의 열분해가 증가하여 인장강도와 충격강도 값이 감소하는 것을 확인하였다. 위의 결과는 열중량 분석기에 의해 220°C에서 등온상태로 측정한 결과 시간이 증가할수록 왕겨분말과 주요 구성성분인 셀룰로오스와 리그닌의 열분해에 의한 중량감소량이 증가하였으며 셀룰로오스보다는 리그닌의 중량감소가 더 크다는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 기질인 열가소성 고분자 PP와 LDPE에서는 제조온도인 220°C에서 열분해가 발생하지 않았으며 바이오복합재에서는 왕겨분말의 함량이 증가할수록 등온상태에서 열분해가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 그러므로 바이오복합재 제조시 제조온도가 바이오복합재의 기계적 성질 및 열분해에 중요한 영향을 미치므로 제조온도 설정 및 조절이 중요한 과제임을 알 수 있었다.

사 사

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2002-000-00104-0) 지원으로 수행되었음.

김희수 그리고 양한승은 Brain Korea 21과제를 통한 교육부의 연구비를 지원받아 수행되었음을 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Alvarez, V. A. and A. Vazquez. 2004. Thermal degradation of cellulose derivatives/starch blends and sisal fiber biocomposites. *Polymer Degradation and Stability*. 84: 13~21.
2. Colom, X., F. Carrasco, P. Pages, and J. Canavate. 2003. Effects of different treatments on interface of HDPE/lignocellulosic fiber composites. *Composites Science and Technology*. 63: 161~169.
3. Eom, Y.-G., H.-S. Kim, H.-S. Yang, and H.-J. Kim. 2004. Physical properties of agro-flour filled aliphatic thermoplastic polyester bio-composites. *Mokchae Konghak*. 32(3): 71~78.
4. 한성욱, 한문희. 2002. 천연섬유를 이용한 환경친화성 바이오복합재료 개발현황. *화학세계(한국화학회)*. 42(7): 28~33.
5. 황택성, 양한승, 김현중. 2002. 바이오복합재료제조, 리그노셀룰로오스 섬유/열가소성 고분자 복합재료. *화학세계(한국화학회)*. 42(7): 34~38.
6. Mohanty, A. K., M. A. Khan, and G. Hinrichsen. 2000. Surface modification of jute and its influence on performance of biodegradable jute-fabric/Biopol composites. *Composites Science Technology*. 60: 1115~1124.
7. Kamdem D. P., H. Jing, W. Cui, J. Freed, and L. M. Matuana. 2004. Properties of wood plastic composites made of recycled HDPE and wood flour from CCA-treated removed from service. *Composites: Part A*: 347~355.
8. Kim, H.-S., H.-S. Yang, H.-J. Park, and H.-J. Kim. 2004. Thermogravimetric analysis of rice husk flour filled thermoplastic polymer composites. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 76: 395~404.
9. Nikolic, M. S. and J. Djonlagic. 2001. Synthesis and characterization of biodegradable poly(butylene succinate-co-butylene adipate)s. *Polymer Degradation and Stability*. 74: 263~270.
10. Okada, M. 2002. Chemical syntheses of biodegradable polymers. *Progress in Polymer Science*. 27: 87~133.
11. Park, H.-M., S.-R. Lee, S. R. Chowdhury, T.-K. Kang, H.-K. Kim, S.-H. Park, and C.-S. Ha. 2002. Tensile

- properties, morphology, and biodegradability of blends of starch with various thermoplastics. *Journal of Applied Polymer Science*. 86: 2907~2915.
12. Stark, N. M. and L. M. Matuana. 2004. Surface chemistry changes of weathered HDPE/wood-flour composites studied by XPS and FTIR spectroscopy. *Polymer Degradation and Stability*. 86: 1~9.
 13. Stokke, D. D., M. Kuo, D. G. Curry, and H. H. Gieselman. 2001. Grassland flour polyethylene composites. *The Sixth International Conference on Woodfibre-Plastic Composites*. 43~53.
 14. Wielage, B., Th. Lampke, G. Marx, K. Nestler, and D. Starke. 1999. Thermogravimetric and differential Scanning calorimetric analysis of natural fibres and polypropylene. *Thermochemica Acta*. 337: 169~177.
 15. Yang, H.-S., H.-J. Kim, J. Son, H.-J. Park, B.-J. Lee, and T.-S. Hwang. 2003. Rice-husk flour filled polypropylene composites; mechanical and morphological study. *Composite Structures*. 63(3): 303~311.