

Polyolefin계 고분자에 섬유판 가공 부산물을 적용한 환경 친화형 바이오복합재의 가공성*1

최성우*2 · 김희수*2 · 이병호*2 · 김현중*2† · 안세희*3

Processability of Bio-composites Applied Polyolefin to Recycled Fiberboard Flour*1

Seung-Woo Choi*2 · Hee-Soo Kim*2 · Byoung-Ho Lee*2 · Hyun-Joong Kim*2† ·
Sye-Hee Ahn*3

요 약

본 연구는 섬유판 가공 부산물 분말을 충전제로 첨가한 바이오복합재를 제조하여 그 적용가능성을 평가하기 위하여 수행하였다. 섬유판 가공부산물인 고밀도섬유판(high density fiber board, HDF) 부산물 분말을 polyolefin계 고분자인 low-density polyethylene (LDPE)과 polypropylene (PP)에 첨가하여 바이오복합재를 제조하였다. 제조된 바이오복합재를 이용하여 기계적 성질과 가공성을 측정하였다. 이후 각각 목분(wood flour, WF)과 왕겨분말(rice-husk flour, RHF)을 LDPE와 PP에 충전제로 첨가한 바이오복합재와도 그 기계적 성질과 가공성을 비교하였다. HDF 분말-LDPE 바이오복합재와 HDF 분말-PP 바이오복합재의 인장강도 및 충격강도는 각각 목분이나 왕겨분말을 LDPE나 PP에 충전제로 첨가한 바이오복합재와 비슷한 기계적 강도값을 나타내었다. 바이오복합재의 가공성은 토크를 측정하였는데, HDF 분말-LDPE 바이오복합재와 HDF 분말-PP 바이오복합재는 동일한 기질고분자에 목분이나 왕겨분말을 첨가한 바이오복합재보다 낮은 값을 보였다. 또한, HDF 분말-LDPE 바이오복합재 및 HDF 분말-PP 바이오복합재는 HDF 분말의 입자분포와 상관없이 일정한 가공성을 보였다. 따라서 섬유판 가공 부산물이 첨가된 바이오복합재를 현재 바이오복합재 산업에서 이용되고 있는 바이오복합재를 대체하여 적용할 수 있다고 볼 수 있다.

*1 접수 2005년 6월 23일, 채택 2005년 8월 31일

본 연구는 교육인적자원부 Brain Korea 21 지원사업에 의해 수행되었음.

*2 서울대학교 산림과학부 환경재료과학전공 바이오복합재료 및 집착과학 연구실, Lab. of Adhesion & Bio-Composites, Major in Environmental Materials Science, College of Agriculture & Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

*3 대구대학교 생명환경대학 산림자원학과, Dept. of Forest Resources, College of Life & Environment, Daegu University, Kyungsan 712-714, Korea

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

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the application of a bio-composite made by the addition recycled fiber board flour as filler. Recycled fiber board (high density fiber board, HDF) flour was added to polyolefin polymer low density polyethylene (LDPE) and polypropylene (PP) for the preparation of bio-composite materials. The mechanical properties and processability of the recycled HDF flour filled LDPE and recycled HDF flour filled PP bio-composites were then measured and compared to those of wood flour (WF) and rice-husk flour (RHF) filled LDPE and PP bio-composites, respectively. The tensile and impact strengths of the recycled HDF flour filled LDPE and PP bio-composites had similar mechanical properties to those of the WF and RHF filled LDPE and PP bio-composites. To measure the processability, torques of the bio-composites were also measured. The torques of the HDF flour filled LDPE and PP bio-composites were lower than those of the WF and RHF filled polyolefin (PP and LDPE) bio-composites with a filler loading of 30 wt%. This result showed definite processability, which was not related with the distribution of the particle size of the material added. The recycled fiber board flour filled bio-composites showed applicability as substitutes for the bio-composites currently used in the bio-composites industry.

Keywords: bio-composites, polyolefin, recycled fiberboard flour, processability, mechanical properties, torque

1. 서 론

플라스틱은 내구성, 경량성, 범용성 등 많은 장점들로 인하여 본격적으로 생산 사용된 이래로 우리 생활 전반에 걸쳐 다방면으로 사용되어 왔으며, 계속 그 적용분야가 늘어나고 있다. 그러나 현재 환경오염문제가 증가함에 따라 그동안 사용되어 왔던 플라스틱을 비롯한 석유화학제품에 대한 규제가 점차적으로 강화되고 있으며, 그 대처방안이 논의되고 있다(Park, 1991, Shin, 1997). 이러한 환경문제에 대한 규제가 증가함에 따라 환경문제를 감소시킬 수 있는 바이오복합재에 대한 관심이 증가하고 있다. 바이오복합재의 구성은 polypropylene (PP), low density polyethylene (LDPE)와 같은 polyolefin계열의 열가소성 고분자에 목섬유(wood fiber)나 목분(wood flour), 왕겨분말(rice-husk flour) 그리고 옥수수 전분(corn starch)과 같은 생분해성 충전제(bio-flour)를 첨가하여 혼합한 후 이를 압출 또는 사출하여 제조한 복합재료를 말한다(Lee *et al.*, 2004, Yang *et al.*, 2004). 이와 같은 바이오복합재는 사용되는 생분해성 충전제가 자연환경에서 분해되어 환경 친화적이라는 점과

폐목질 부산물 내지 폐농산부산물과 같은 폐자원을 재활용 할 수 있다는 장점이 있다. 또한 일반 범용 고분자보다 상대적으로 가격이 저렴하며, 요구된 물성에 따라 범용고분자의 사용분야에 적용이 가능하다(Eom *et al.*, 2004, Yang *et al.*, 2004). 현재 국내의 경우 PP에 목분을 충전제로 첨가한 바이오복합재가 마루판 등의 바닥재로 사용되거나, PVC에 목분을 첨가한 바이오복합재가 건축용 내장재로 사용되고 있다. 국외에서는 국내보다 먼저 바이오복합재에 대한 연구가 시작되어 열가소성 플라스틱에 목분이나 아마 또는 대마와 같은 목질계 섬유를 첨가한 바이오복합재가 테크재, 건축용 내·외장재 그리고 자동차의 내장재로써 사용되고 있다(Yang *et al.*, 2004).

섬유판은 목재 및 목질재료에서 얻어진 목질 섬유를 판상형태로 성형한 후 압축, 건조하여 제조한다(Pereira *et al.*, 2004). 섬유판은 방향성이 적고, 합판보다 값이 저렴하며, 가공성 및 도장성이 좋은 장점이 있어 합판이나 파티클보드의 대체용으로써 각광을 받고 있다. 현재 우리나라에서 생산하는 섬유판은 국내 소비량의 증가와 국외제품의 수입량 감소로 인하여 지속적인 증가세를 보이고 있다. Fig. 1에 나타난

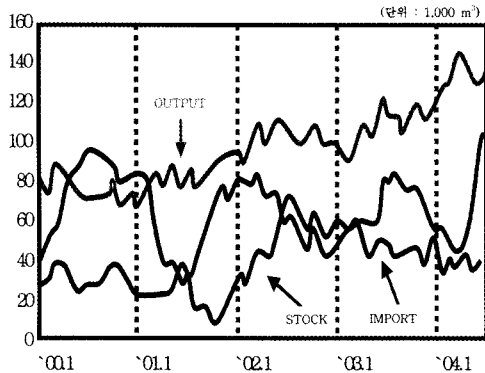


Fig. 1. 섬유판의 생산, 수입, 재고추이(Korea Forest Research Institute 2004 summer).

바와 같이 현재 우리나라에서 생산되는 섬유판은 국내 소비량의 증가와 국외제품의 수입량 감소로 인하여 2003년 1/4분기 292천 m³에서 2004년 2/4분기 408천 m³로(KOREA FOREST RESEARCH INSTITUTE, 2003; 2004) 지속적인 증가세를 보이고 있다.

섬유판은 가구나 건축용 내·외장재, 바닥재 등 다양한 용도로 사용되는데, 그 과정에서 연삭 및 절삭가공에 의해 다량의 가공부산물 분말이 생겨난다. 이 가공 부산물 분말은 대부분 섬유판의 가공공장에서 난방용 연료로 사용되거나 폐기 처리되고 있다. 이렇게 저가용으로 처리되고 있는 부산물 분말을 바이오복합재의 충전제로 활용할 경우 자원의 재활용과 환경보호라는 이점을 얻을 수 있다. 또한 섬유판 가공 부산물 분말은 원료의 공급이 용이하고 폐부산물이라 가격이 저렴하다는 장점이 있다.

본 연구에서는 열가소성 고분자의 일종인 PP와 LDPE에 섬유판 가공 부산물 분말을 충전제로 첨가한 바이오복합재의 기계적 성질 및 가공성에 대해 조사하였다. 제조된 바이오복합재의 적용가능성에 대해 알아보기 위하여 PP와 LDPE에 목분과 왕겨분말을 충전제로 첨가한 바이오복합재와의 기계적 성질 및 가공성을 비교 분석하여 본 연구에서 제조된 바이오복합재의 적용가능성에 대해 알아보았다.

Table 1. Properties of matrix polymers

	Melt index (g/10 min)	Density (g/cm ³)
LDPE	24 g/10 min	0.918
PP	12 g/10 min	0.91

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 연구에서 기질고분자로 사용된 low-density polyethylene (LDPE)와 polypropylene (PP)은 (주)GS칼텍스에서 제공받았다. 제공받은 고분자의 기본적인 성질은 Table 1에 나타난 바와 같다. 생분해성 충전제인 목분(wood flour, WF)과 왕겨분말(rice-husk flour, RHF)은 (주)새론 필러에서 제공받았으며, 입자크기는 80~100 mesh이었다. 섬유판 가공 부산물 분말은 고밀도 섬유판(high density fiber board : HDF)을 가공하여 마루판을 생산하는 과정에서 생겨난 폐분말로 (주)동화기업에서 제공받았다. 섬유판 가공부산물 분말의 평균입자크기는 선별하여 각 입자크기의 비율을 조사한 결과 140 mesh이었다. 또한, 가공성 측정시 입자분포에 따른 영향을 알아보기 위해 입자크기를 선별하지 않은 것과 입자크기를 80~100 mesh로 선별한 것으로 나누어 사용하였다. 위의 생분해성 충전제들은 오븐에 103°C로 24시간동안 건조하여 함수율을 2~3%로 유지된 것을 사용하였다.

2.2. 바이오복합재의 제조

LDPE와 PP에 HDF 분말을 첨가한 바이오복합재의 제조공정은 다음과 같다. 기질고분자인 PP와 LDPE에 HDF 분말의 혼합비는 중량기준으로 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40으로 하여 혼합하였다. 혼합된 재료를 실험실용 twin-screw extruder로 혼합하였으며, 이때 twin-screw extruder의 내부온도는 열가소성 고분자인 LDPE, PP의 용융온도보다 높은 160°C와 190°C로 조절하였으며 screw 속도는 250 rpm을 유지하였다. 진공펌프를 일정한 압력으로 조

정하여 압출기의 내부를 진공상태로 조절하였으며 사출부의 노즐로부터 사출되는 긴 막대상의 혼합물질을 수랭식 냉각장치에 통과시켜 냉각한 다음 펠렛타이저에 의해 펠렛 상태로 절단하였다. 펠렛 형태를 다시 오븐에서 60°C에서 24시간 동안 건조하였다. 제조된 펠렛은 수분의 침투를 방지하기 위해 폴리에틸렌 백에 보관하였다.

2.3. 바이오복합재 시편제조

인장강도와 충격강도의 측정에 사용할 시편은 위에서 제조된 펠렛을 injection molder에 주입하여 사출시켜 제조하였다. 제조시 LDPE의 사출온도는 160°C이고, PP의 사출온도는 190°C이었다. 제조시의 사출압력은 1,200 psi이고, 장치압력은 1,500 psi이었다.

2.4. 실험방법

2.4.1. 인장강도

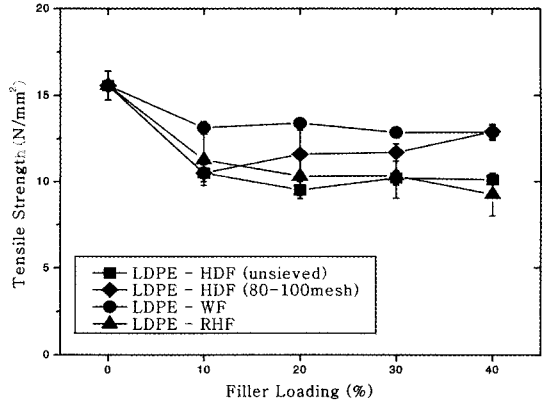
인장강도 측정은 ASTM D 638-29에 의거하여 만능강도 시험기(Universal Testing Machine: Zwick Co.)로 측정하였다. 인장속도는 100 mm/min이었으며, 상온에서 실험하였다. 인장강도 값은 다섯 개의 샘플의 측정값의 평균에서 산출하였다.

2.4.2. 충격강도

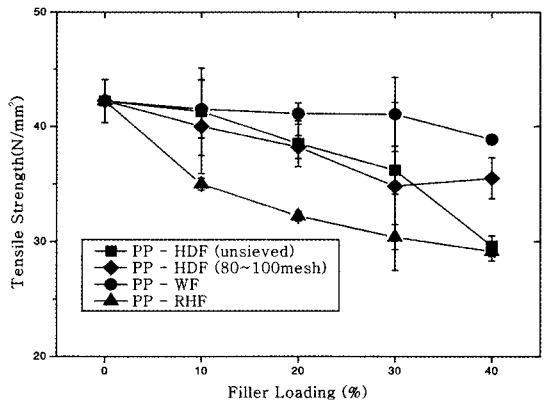
ASTM D 256-97에 의거하여 상온에서 notched izod impact strength (Dae Yeang, Co)를 측정하였다. 충격강도의 값은 다섯 개의 샘플의 측정값의 평균에서 산출하였다.

2.4.3. 가공성

LDPE와 PP에 HDF 분말, 왕겨분말 그리고 목분을 첨가한 바이오복합재의 가공성을 Rheocord 600P (Haake, Co)을 이용하여 측정하였다. HDF 분말-LDPE 바이오복합재는 165°C에서, HDF 분말-PP 바이오복합재는 180°C에서 각각 200 rpm의 속도로 회



a) LDPE bio-composites



b) PP bio-composites

Fig. 2. Comparison of tensile strength of HDF, WF and RHF filled a) LDPE bio-composites and b) PP bio-composites.

* WF and RHF filled LDPE and PP test from reference[12]

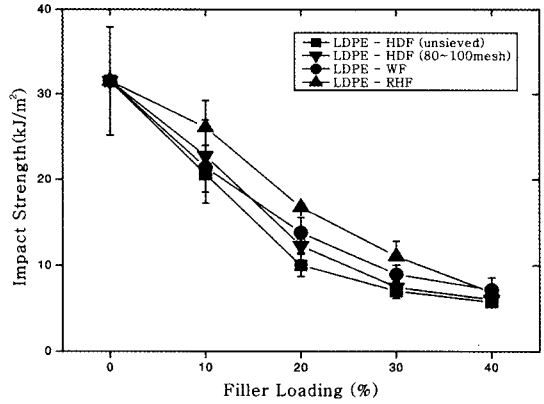
전시키면서 혼합한 펠렛을 내부혼합기의 총용량의 70%가 되도록 투입하여 토크를 측정하였다. 측정시간은 300초 동안 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

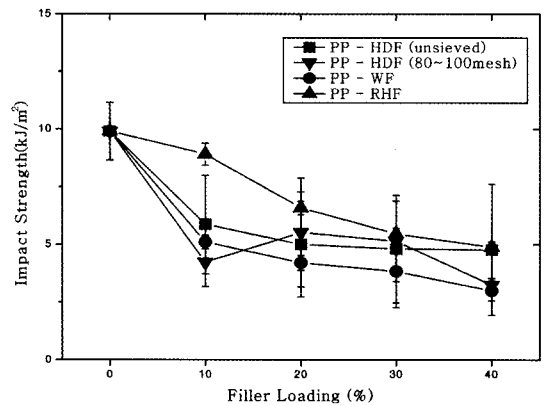
Fig. 2에 목분, 왕겨 그리고 HDF 분말을 충전제로 첨가한 바이오복합재의 인장강도 값을 나타내었다. 생분해성 충전제가 첨가된 바이오복합재의 인장강도

값이 순수한 PP와 LDPE의 인장강도 값보다 낮은 결과를 보였다. 이는 친수성인 생분해성 충전제와 소수성인 기질 고분자사이의 계면 간 결합이 약하기 때문이라고 볼 수 있다(Yang *et al.*, 2004). 또한, 충전제의 함량이 증가할수록 바이오복합재의 인장강도 값이 감소한 것은 충전제의 함량이 증가할수록 기질 고분자와 계면에서 접촉하는 면적이 늘어났기 때문이라고 생각된다. 이와 같은 인장강도의 감소는 생분해성 충전제를 이용하여 바이오복합재를 제조하였을 때 산업적인 적용에 있어서 단점으로 작용한다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 현재 국내·외에서 결합제(coupling agent)의 첨가, 플라즈마(Plasma) 처리 그리고 화학적 전처리를 통하여 계면간 결합력을 증가시키기 위한 다양한 연구들이 진행되고 있다(Ichazo *et al.*, 2001, Yuan *et al.*, 2004, Stark *et al.*, 2003). 충전제의 함량에 따른 바이오복합재의 인장강도 값을 비교할 경우 HDF 분말-LDPE 바이오복합재가 가장 낮은 인장강도를 보였다. 목분을 첨가한 바이오복합재와는 큰 차이가 났지만 왕겨분말을 충전제로 첨가한 복합재와는 약간의 차이를 보였다. 목분과 비교하였을 때 인장강도 값의 차이는 HDF 분말의 경우 제조과정에서 리그닌이 일부 제거되어 섬유자체의 강도가 낮아졌기 때문이라고 볼 수 있다. 일반적으로 셀룰로오스계 물질에 있어서 섬유자체의 강도는 리그닌이 큰 역할을 담당하기 때문에 리그닌 성분의 저하는 섬유자체의 강도를 감소시킬 수 있다. HDF 분말-PP 바이오복합재의 인장강도 값은 HDF 분말-LDPE 바이오복합재와 같이 PP-WF복합재의 인장강도 값보다 낮은 값을 보였다.

Fig. 3에서는 충전제의 종류에 따른 바이오복합재의 충격강도 값을 볼 수 있다. 충전제의 함량이 증가함에 따라 충격강도가 감소하는 경향을 볼 수 있다. 이는 충전제와 열가소성 고분자 사이에서 약한 계면간 결합력에 의해 충격이 가해졌을 때 바이오복합재 내에 생긴 미세 공극이 충격을 받을 때 충격의 전이를 더 용이하게 하기 때문이라 볼 수 있다(Yang *et al.*, 2004, Nuñez *et al.*, 2003). HDF 분말을 충전제로 한 바이오복합재의 충격강도 값은 목분을 충전제로 한 바이오복합재의 충격강도 값과 비슷하거나 약



a) LDPE bio-composites

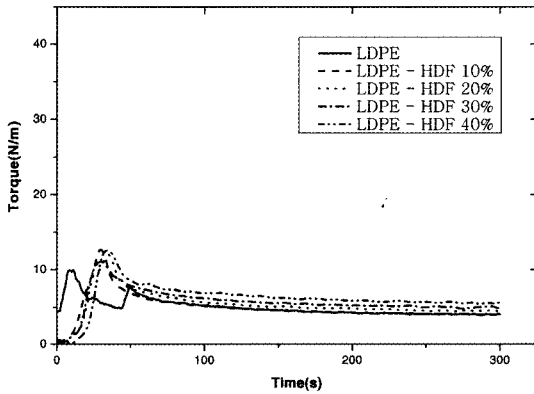


b) PP bio-composites

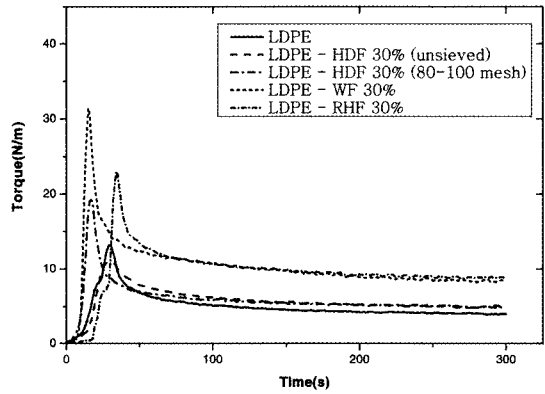
Fig. 3. Comparison of impact strength of HDF, WF and RHF filled a) LDPE bio-composites and b) PP bio-composites.

간 낮았다. 위의 결과들을 종합해 보면 바이오복합재 제조시 충전제로서 HDF 분말의 적용이 가능하며 재활용 시 환경적 측면에 있어 큰 장점을 가지고 있다고 볼 수 있다.

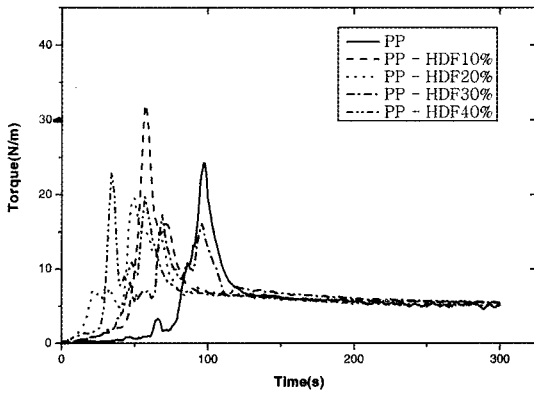
LDPE와 PP에 HDF 분말을 첨가한 바이오복합재의 가공성 측정은 Fig. 4에서 볼 수 있다. Fig. 4에서 보면 초기의 토크 peak값들은 대체로 크고 일정한 경향성을 보이지 않는다는 것을 알 수 있다. 이는 회전하는 rheomixer에 PP, LDPE 그리고 바이오복합재 펠렛을 첨가하였을 때 저온에서 용융되지 않은 상태에서 압력을 받아 높은 토크값을 나타내기 때문이라고



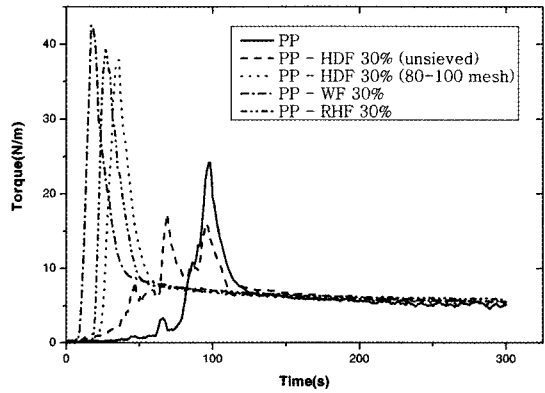
a) LDPE-HDF bio-composites



a) LDPE bio-composites



b) PP-HDF bio-composites



b) PP bio-composites

Fig. 4. Processability of a) LDPE-HDF bio-composite and b) PP-HDF bio-composite.

Fig. 5. Processability of HDF, WF and RHF filled a) LDPE bio-composites and b) PP bio-composites at 30% filler loading.

볼 수 있다(Premalal *et al.*, 2002). 이후 시간이 증가함에 따라 토크값이 감소하며 완만한 곡선을 이루며 안정화 된다. 이는 바이오복합재 펠렛이 열과 압력에 의해 용융되어 안정화되는 과정이라 볼 수 있고 최종적으로 평형에 가까워지는데 이는 바이오복합재 펠렛이 완전히 용융된 상태를 의미한다. Fig. 4에서 보면 HDF 분말-LDPE 바이오복합재의 토크값은 HDF 분말의 첨가비율이 높아질수록 점차적으로 증가하였다. 이는 LDPE 고분자 사슬의 운동성이 용융되지 않는 HDF 분말에 의해 제한되었다고 볼 수 있다. 또한, HDF 분말의 첨가량이 증가함에 따라 기질고분자의 비율이 감소하여 토크값이 증가하기 때문이라고 볼

수 있다. HDF 분말-PP 바이오복합재의 토크값은 충전제의 종류나 첨가량에 따라 큰 차이를 나타나지 않았다. 이는 생분해성 충전제의 입자가 PP 고분자의 체인의 운동성에 미치는 영향이 HDF 분말-LDPE 바이오복합재에 미치는 영향에 비해 작기 때문이라고 생각된다. HDF분말의 입자크기에 대한 영향을 알아보기 위해 입자크기를 선별한 것과 선별하지 않은 바이오복합재의 토크값을 비교한 결과 HDF 분말-LDPE 그리고 PP 바이오복합재 모두 입자크기에 대해 큰 영향을 받지 않았다. 따라서 실제로 바이오복합재 제조공정에서 적용시킬 경우 입자의 크기가 비교

적 균일하다고 판단되면 입자크기를 선별하기 위한 추가적인 공정이 필요하지 않다고 생각된다. Fig. 5에서는 HDF 분말-LDPE 바이오복합재를 목분과 왕겨분말을 각각 질량대비 30%를 첨가하여 제조한 LDPE-RHF 바이오복합재 그리고 LDPE-WF 바이오복합재의 토크값을 볼 수 있다. 토크값을 비교하여 보면 LDPE-RHF 바이오복합재와 LDPE-WF 바이오복합재의 토크값이 HDF 분말-LDPE 바이오복합재의 토크값보다 높게 나왔다. 이와같은 결과는 왕겨분말이나 목분에 비해 HDF 분말이 기질고분자의 운동성에 미치는 영향이 적기 때문이라고 볼 수 있다. 또한 이는 LDPE를 기질고분자로서 바이오복합재를 제조할 경우 LDPE-RHF 바이오복합재와 LDPE-WF 바이오복합재의 가공성보다 HDF 분말-LDPE 바이오복합재의 가공성이 더 좋음을 나타낸다. PP를 기질고분자로 사용한 바이오복합재의 토크값은 충전제 종류의 변화에 따른 토크값에 있어 큰 차이점을 나타내지 않았다. 이는 HDF 분말과 마찬가지로 목분과 왕겨분말 입자가 PP 고분자의 운동성에 큰 영향을 주지 않았기 때문이라고 볼 수 있다. 그러므로 위의 결과들을 종합해보면 HDF 분말을 이용하여 바이오복합재를 제조한 후 PP와 LDPE에 생분해성분말을 첨가한 바이오복합재와 기계적 성질과 가공성을 비교하여 보면 유사한 기계적 성질과 가공성을 나타냄으로 산업현장에 있어 충분히 적용이 가능하다고 볼 수 있을 것이다.

4. 결 론

인장강도는 HDF 분말-PP 바이오복합재와 HDF 분말-LDPE 바이오복합재의 경우 HDF이 제조과정에서 리그닌이 제거되어 섬유자체의 강도가 낮아져서 목분과 왕겨분말이 첨가된 바이오복합재와 비교하였을 때 약간 낮은 값을 나타내었다. 또한, 충격강도값을 비교하여 보면 목분, 왕겨분말이 첨가된 바이오복합재의 충격강도와 비슷한 결과를 나타내었다. 가공성을 측정된 결과 LDPE에 HDF 분말을 첨가하였을 경우 HDF 분말의 함량이 증가함에 따라 토크값이 증가하였으며 PP에 HDF 분말을 첨가하였을 때는 일정 값을 나타내었다. 그리고 충전제의 입자크기는 유

사한 입자크기로 분포되어있을 경우 바이오복합재의 토크값에 큰 영향을 주지 않았다. 이는 바이오복합재를 제조시 가공성에 있어 입자크기에 큰 영향을 받지 않는다는 것을 의미한다. 위와 같은 결과에 따라, HDF 분말을 충전제로 사용하여 바이오복합재의 제조 및 적용가능성은 충분하다고 생각되며 폐자원의 재활용에 있어서 환경적인 측면과 경제적인 측면에 있어 장점을 나타낼 수 있을 것이라 기대된다. 현재 국내에서 PP에 목분을 충전제로 첨가한 바이오복합재가 바닥재, 실내 내장재, 자동차내장재 그리고 건축용 내장재의 일부분으로 사용되고 있고 앞으로 수유가 점차적으로 증가 할 것이라 예상된다. 그러므로 HDF 분말을 충전제로 첨가한 바이오복합재 역시 이러한 용도로 적용이 가능 할 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

1. Eom, Y.-G., H.-S., Kim, H.-S. Yang, and H.-J. Kim. 2004. Physical properties of agro-flour filled aliphatic thermoplastic polymer bio-composites. *Mokchae Konghak* 32(3): 71~78.
2. Ichazo, M. N., C. Albano, J. Gonzalez, R. Perera, M. V. Candal. 2001. Polypropylene/wood flour composites: treatments and properties. *Composite Structure* 54: 207~214.
3. Korea Forest Research Institute. 2004. Quarterly Report on Forestry Economy 1st Quarter 2004.
4. Lee, S.-Y., H.-S. Yang, H.-J. Kim, C.-S. Jeong, B.-S. Lim, and J.-N. Lee. 2004. Creep behavior and manufacturing parameters of wood flour filled polypropylene composites. *Composite Structures* 65(3-4): 459~469.
5. Nuñez, A. J., P. C. Sturm, J. M. Kenny, M. I. Aranguren, N. E. Marcovich, and M. M. Reboredo. 2003. Mechanical Characterization of Polypropylene - Wood Flour Composites. *Journal of Applied Polymer Science* 88: 1420~1428.
6. Park, Y.-H. 1991. 기술해설 : 생분해성 고분자 - 생분해성에 대한 화학적 구조 및 형태학적 미세구조의 효과. *한국섬유공학회지* 28(1): 9~18.
7. Pereira, C. M. C., Calixte Blanchard, Luisa M. H. Carvalho, and Carlos A. V. Costa. 2004. High

- frequency heating of medium density fiberboard (MDF): theory and experiment. *Chemical Engineering Science* 59: 735~745.
8. Premalal, H. B., H. Ismail, and A. Baharin. 2002. Comparison of the mechanical properties of rice husk powder filled polypropylene composites with talc filled polypropylene composites. *Polymer Testing* 21: 833~839.
 9. Shin, P.-K. 2004. 특집 : 환경과 미생물 (4) ; 생분해성 고분자의 분해성 측정 및 평가 방법 표준화 동향. *생물산업* 10(4): 27~33.
 10. Son, J., H.-S., Yang, and H.-J. Kim. 2004. Physico-mechanical properties of paper sludge-thermoplastic polymer composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials* 17: 509~522.
 11. Stark, N. M., L. M. Matuana, and C. M. Clemons. 2003. Ultraviolet weathering of photostabilized wood-flour-filled high-density polyethylene composites. *Journal of Applied Polymer Science* 90: 2609~2617.
 12. Yang, H.-S., H.-J. Kim, J. Son, H.-J. Park, B.-J. Lee, and T.-S. Hwang. 2004. Rice-husk flour filled polypropylene composites; mechanical and morphological study. *Composite Structures* 63(3-4): 305~312.
 13. Yuan, X., K. Jayaraman, and D. Bhattacharyya. 2004. Effects of plasma treatment in enhancing the performance of woodfibre-polypropylene composites. *Composites Part A : Applied Science and Manufacturing* 35(12): 1363~1374.