

〈 논문 〉

왕겨분말 복합재료의 기계적 특성에 미치는 제조인자의 영향

최준용* · Renliang Wang* · 윤호철* · 임재규†
(2005년 11월 24일 접수, 2006년 4월 20일 심사완료)

Effect of Manufacturing Factors on Mechanical Properties of the Rice-husk Powder Composites

J.Y. Choi, R.L. Wang, H.C. Yoon and J.K. Lim

Key Words : Rice-Husk(왕겨), Natural Fiber Reinforced Composite(자연섬유강화복합재료), Manufacturing Process(제조공정), Mechanical Property(기계적 특성)

Abstract

In recent years, the use of natural fiber as reinforcement in polymer composites to replace synthetic fiber such as glass fiber is receiving increasing attention. Because of increasing usage according to the high demand, the cost of thermoplastic has increased rapidly over the past decades. We used a thermoplastic polymer(polypropylene) as the matrix and a lignocellulosic material(rice-husk flour) as the reinforcement filler to prepare a particle-reinforced composite to examine the possibility of using lignocellulosic material as reinforcement filler and to determine data of test results for physical, mechanical and morphological properties of the composite according to the reinforcement filler content in respect to thermoplastic polymer. In this study, PLA/PP rice-husk fiber-reinforced thermoplastic composites that made by the hot press molding method according to appropriate manufacturing process was evaluated as mechanical properties.

1. 서 론

자연섬유를 이용한 제품의 상당수는 대부분 합성섬유보다 상대적으로 기계적인 강도 면에서는 열등하지만, 가격이 저렴하고 제작이 용이하며 재생성이 뛰어난 장점 때문에 현재까지도 사용되고 있으며, 근래에 와서는 환경 친화적이라는 측면에서 오히려 환영 받고 있다. 또한 모재와의 계면 점착을 향상시키기 위한 섬유의 화학적 처리가 가능하다.⁽¹⁾ 최근 제품의 원가절감과 환경보

호에 맞물려 제품 재활용의 측면이 부각되었으며, 이러한 추세는 앞으로도 계속될 것이다. 이러한 상황은 자동차 산업에 대해서도 마찬가지이고 자동차 부품의 설계나 제조단계에서 재활용의 요소를 고려하여야 한다.

재활용 측면에서 살펴보면, 자동차 부품의 상당수를 차지하는 플라스틱 판재나 품을 보강하는 재료로서 상대적으로 저렴하고 환경 친화적인 자연섬유를 사용하여 제조하는 것은 하나의 방법이 될 수 있다. 현재 사용되는 플라스틱 재료의 보강재로서 유리섬유가 대부분을 차지하고 있으며, 승용 차량의 경우 1대당 대략 5 kg 정도를 차지하고 있다. 이러한 유리섬유 강화플라스틱(Glass-Fiber Reinforced Polymer) 등의 제품은 자연섬유로 보강된 제품보다 우수한 기계적 특성을 가지고 있다. 그러나 자연섬유로 보강한 복합재료도 경우에 따라서 유리섬유 강화 플라스틱에

* 책임저자, 회원, 전북대학교 기계항공시스템공학부,
공학연구원 공업기술연구센터

E-mail : jklim@chonbuk.ac.kr

TEL : (063)70-2321 FAX : (063)270-2460

* 전북대학교 대학원 기계설계학과

못지않은 강도를 유지할 수 있으며, 보강재가 되는 섬유의 무게가 가볍고 제품의 가격 면에서도 자연섬유가 훨씬 유리하다는 것을 알 수 있다 (Table 1).

환경적 특성 측면에서 살펴보면, 급속도로 발전하는 산업화로 인해 산업 폐기물은 매년 급증하고 있으며, 특히 자동차 산업의 경우 국내 자동차 생산업체에서는 해마다 새로운 모델의 차량을 생산하고 있어 이로 인한 재활용이 문제로 되고 있다. 이러한 환경적인 문제는 전 세계적인 관심거리이며, 각 나라마다 규제를 강화하고 있는 추세이다. 아직 국내의 경우 환경적인 문제보다는 매출, 효율, 이윤, 품질 등과 같은 생산 자체에 더 비중을 두고 있는 실정이다. 하지만 향후 몇 년 이내에 국내에서도 환경규제가 강화될 것이며, 기업의 전 세계적 경쟁력을 감안한다면 자연 친화적인 제품의 개발이 필요한 시기이다.

따라서 본 연구에서는 플라스틱 판재나 폼을 보강하는 재료로서 자연섬유 중에서도 경제적인 왕겨를,^(2,3) 환경오염을 고려하여 재활용이 가능한 열가소성 수지 중에서도 현재 개발의 주류를 이루고 있는 생분해성 필름인 PLA(Poly lactic acid)⁽⁴⁾와 PP(Polypropylene)를 수지로 선택하여 제조공정 인자들이 기계적 특성에 미치는 영향을 평가하고 환경인자가 미치는 영향을 평가하여 자동차 부품의 개발에 적용시키고자 한다.

2. 실험 방법

본 연구는 왕겨분말 복합재료의 기계적 속성에 미치는 제조공정 인자의 영향을 보는 것이 목적이이다. 따라서 크게 4가지 인자가 기계적 특성에 미치는 영향을 평가하였다. 첫째, 충진재인 왕겨입자의 크기는 Testing Sieve의 체눈 크기에 따라 250-500 μm 이하, 500-1000 μm , 1700 μm 이상 (Original)의 세 종류로 분류하였고 둘째, 수지는 PP와 콩에서 추출한 생분해성 수지인 PLA 두 종류로 하였다. 셋째, 왕겨 입자들에 대하여 0.5 wt% NaOH 용액에 30분 침지 후 60°C로 24시간 건조 시킨 것(untreated(U)), 동일 처리 후 0.5 wt% Silane 용액에 20분간 침지 후 동일 건조 처리 한 것(silane(S)), 동일 처리 후 0.2 wt% KMnO₄ 용액에 실란 처리와 동일 조건 처리한 것(permanganate(P)) 등을 사용하여 왕겨입자의 표면

처리 영향을 평가하였다. 넷째, 수지와 충진재(왕겨)의 비율이 기계적 특성에 미치는 영향을 보기 위하여 수지로 사용된 필름들의 장수를 5 mm 두께 복합재 기준, 4(28%), 5(35%), 6(42%)장을 사용하였다. 복합재 제조방법으로는 Fig. 1에서 보이는 압축모드방법(Compression Molding method)으로서 hot plate press(CARVER, INC.)를 사용하였다. 예비실험을 통하여 mold를 프레스 상에서 충분히 예비가열 후 hot plate press의 상판과 몰드 온도를 200 °C, 압력은 8 ton으로 설정하여 약 10분간 유지한 후 압력이 1 ton까지 떨어지면 다시 6 ton 압력을 가하여 10분간 유지하는 방식으로 총 20분간 압력을 가하여 복합재를 제조하였다(Fig. 1). 위와 같은 제조인자들이 기계적 속성에 미치는 영향을 파악하고자 4점 굽힘 시험이 굽힘모멘트, 전단력 등에 대한 영향이 적지만 본 시험편들은 3점 굽힘을 하여도 무방하다고 판단하여 ASTM D 790-90, KSM 3305, 3008에 따라 3 점 굽힘 시험을 실시하였고 시험편은 120×13×5 mm 크기로 가공하였고 스팬길이는 80 mm, Cross-Head speed는 예비실험을 통해 1 mm/min로

Table 1 Price for natural fibers [DM/kg], 1993

Materials	Unit Prices (DM/kg)
technical glass fibers	3.0 ~ 4.0
reprocessed cotton	0.7
flax tow	0.3 ~ 0.8
nail flax (combed flax)	1.0 ~ 1.5
sisal	1.5 ~ 2.0
jute	1.0 ~ 1.3
banana fibers	1.4 ~ 1.8
coconut fibers	0.7 ~ 0.9

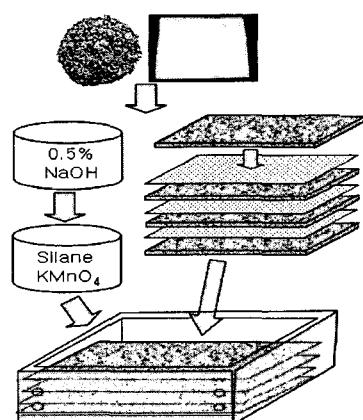


Fig. 1 Compression Molding Method

부하시켰다. 인장시험은 ASTM D 638-99에 따라 실시하였고 시험편의 크기와 Crosshead speed는 각각 $150 \times 35 \times 5$ mm와 1 mm/min였다. 또한 제조 인자들에 따라 제조된 복합재의 환경강도 특성을 파악하고자 흡습률과 흡습시간, 온도조건에 따른 굽힘강도 특성을 평가 하였고, 현재 트럭 적재함에 쓰이고 있는 아피통 목재와의 비교를 통해 본 복합재의 실제 실기부재의 적용 가능성을 평가하고자하였다.

3. 실험결과

3.1 아피통 목재의 강도

실제 트럭 적재함 재료로 사용되는 아피통 목재에서 5mm 두께로 가공하여 인장시험을 실시한

결과 인장강도 값은 섬유방향인 경우 35 MPa, 직각방향인 경우 13 MPa, 45° 방향인 경우 16 MPa 값을 얻었고, 섬유방향 경우 연신율은 10 %였다.

3.2 기계적 특성 평가

3.2.1 입자크기가 기계적 특성에 미치는 영향

Fig. 2는 입자크기($250\sim500$, $500\sim1000$, $1700\text{ }\mu\text{m}$ 이상(Original))에 따른 인장강도를 나타낸 그래프이다. PP 강도가 PLA 강도보다 더 우수하므로 PP가 수지로 쓰인 경우 PLA가 수지로 쓰인 경우 보다 약 30~45% 인장강도 값이 높았고, 충진재로 쓰인 왕겨입자 크기가 작을수록 인장강도 값은 높게 나타났다. 이는 왕겨입자 크기가 작을수록 왕겨입자와 수지가 공극 없이 치밀한 조직을 형성한다고 판단된다.

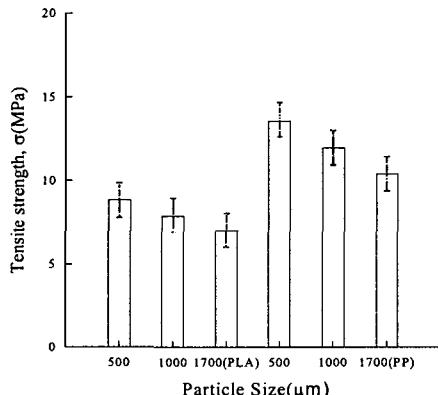


Fig. 2 Relationship between the tensile strength and powder size of the rice-husk

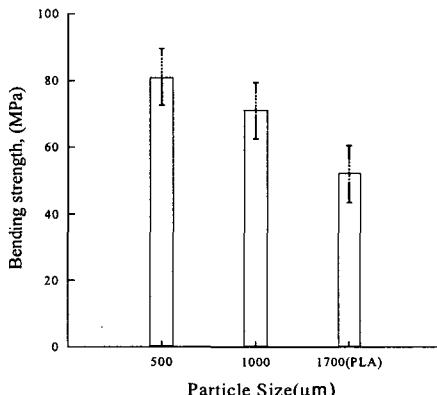


Fig. 3 Relationship between the bending strength and powder size of the rice-husk powder

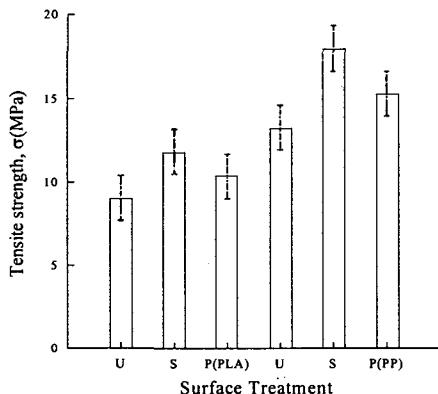


Fig. 4 Relationship between the tensile strength and powder treatment of the rice-husk

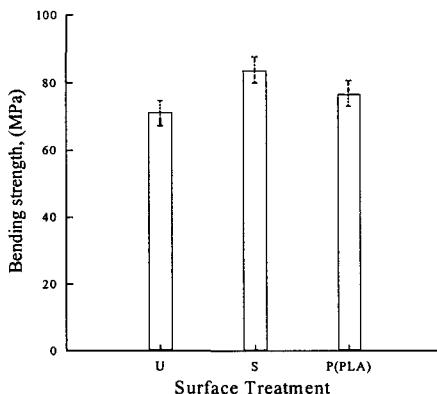


Fig. 5 Relationship between the bending strength and powder treatment of the rice-husk

Fig. 3은 입자크기(250~500, 500~1000, 1700 μm 이상(Original))에 따른 굽힘강도를 나타낸 그래프이다. 그래프에서 보이는 바와 같이 인장강도 값 변화 경향과 유사함을 볼 수 있다.

3.2.2 표면처리가 기계적 특성에 미치는 영향

Fig. 4는 표면처리 상태에 따른 인장강도 값을 나타낸 그래프이다. 먼저 왕겨 입자를 표면처리했을 경우 총진체와 수지간의 계면 결합을 향상시켜 표면 처리를 하지 않았을 때 보다 인장강도 값이 실란 처리한 왕겨 입자는 약 18~32 %, 과망간산염 처리한 왕겨 입자는 11~20 % 높게 나타났다. 이는 처리재가 왕겨 입자 표면을 거칠게 하는 등의 작용을 하여 총진체와 수지간의 기계적 결합을 유발함으로써 계면성질이 향상됨에 기

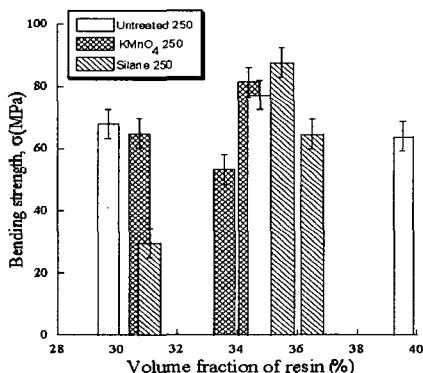


Fig. 6 Relationship between the bending strength and the volume fraction of resin (250~500 μm)

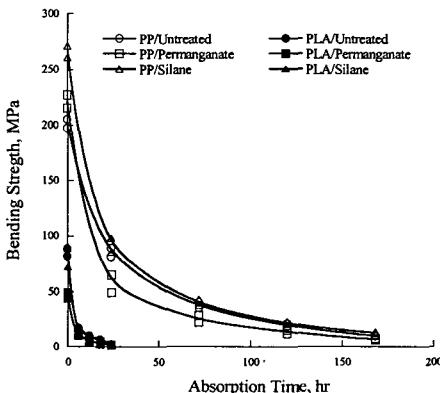


Fig. 8 Distribution of bending strength as a function of absorption time

한 것으로 판단된다.

Fig. 5에서는 PLA 수지를 사용 했을 때 굽힘강도에 미치는 표면처리의 영향을 볼 수 있다. Fig. 4의 인장강도에서의 경향과 유사하였으나 굽힘강도 값이 실란 처리한 왕겨 입자는 약 20 %, 과망간산칼륨 처리한 왕겨 입자는 11 % 높게 나타남으로써 앞선 인장강도의 변화 폭보다는 좀 더 완만함을 알 수 있다. 또한 여기서는 나타내지 않았지만 표면처리를 하였을 경우 표면처리를 하지 않았을 때보다 연신율은 낮게 나타났다.

3.2.3 수지 충진률이 굽힘강도에 미치는 영향

Fig. 6은 왕겨입자의 크기가 250~500 μm 인 경우 수지함량(wt.%)에 따른 굽힘강도의 변화를 나타낸 것이다. 수지함량이 34~37 wt.%일 경우가 굽

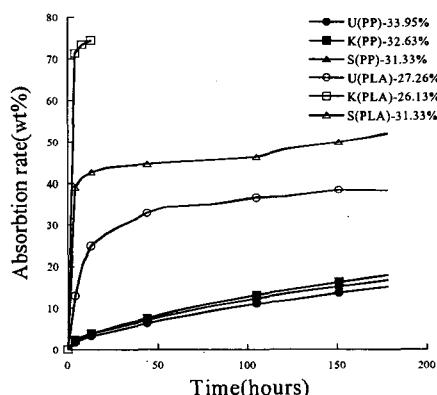


Fig. 7 Water absorption curves for rice-husk composites at 20 °C (aging curve)

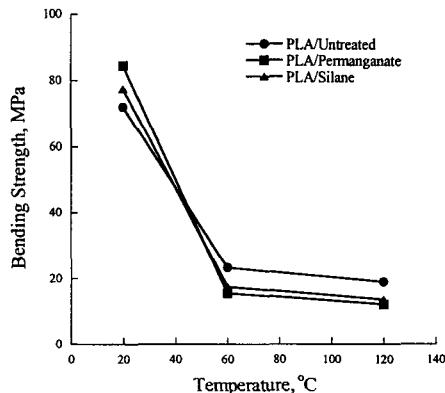


Fig. 9 Distribution of bending strength as a function of temperature

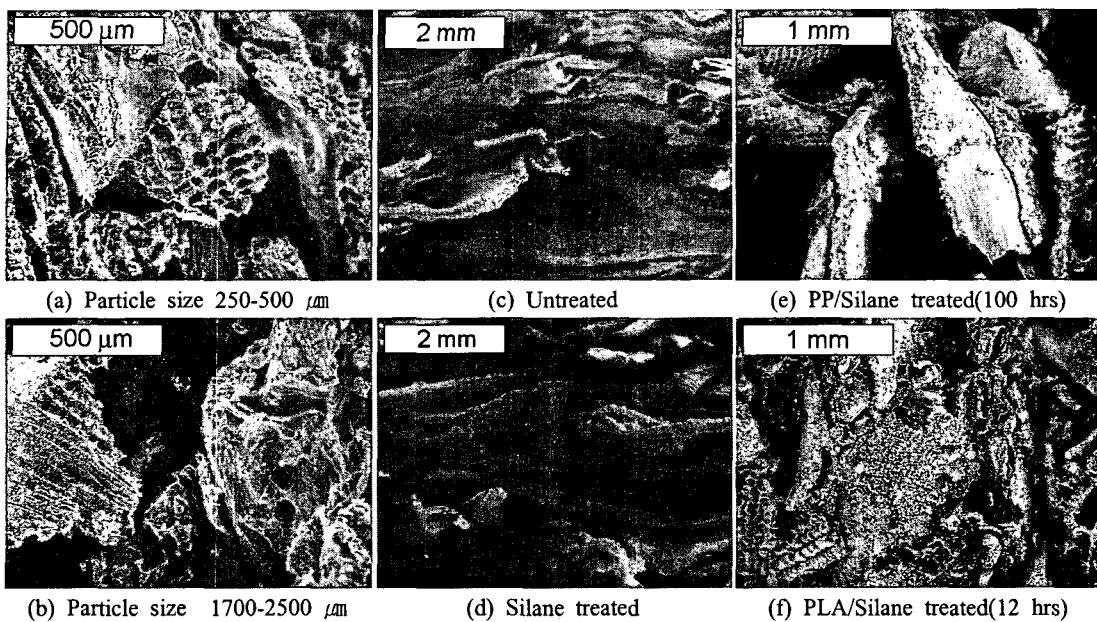


Fig. 10 fracture surface of rice-husk composites

힘 응력 값이 가장 높음을 알 수 있다. 또한 대략적으로 수지 충진량이 높았을 때가 낮았을 때보다 굽힘응력 값이 미약하나마 높은 경향을 보이고 있다. 이는 왕겨 입자들 강도보다 PLA 수지 강도가 높음에서 기인한 것으로 판단된다.

3.3 환경인자에 따른 기계적특성 평가

재료의 환경 파손은 넓은 의미에서 순수한 화학적 작용에 의해서만 진행되는 파손과 화학적 작용, 기계적 작용의 상호작용에 의해 진행되는 파손으로 크게 나눌 수 있다. 이런 파손 현상은 사용상 불가피하게 접촉하는 다양한 환경의 영향을 받음과 동시에 여러 가지 형태의 하중 및 외력 등을 받게 됨에 따라 발생하게 된다.

본 연구에서는 흡습시간, 온도변화에 따른 굽힘응력 값의 변화를 측정하였다.

3.3.1 표면처리에 따른 흡습 경향

제조 인자들에 따른 왕겨분말 복합재의 흡습경향을 알아보기 위해 ASTM D570-98에 의거하여 $76.2 \times 25.4 \times 5$ mm의 흡습 시험편을 가공하여 침지 시간에 따른 흡습률을 wt%로 계산하고 그 값을 Fig. 7에 나타내었다. PP를 수지로 제작 하였을 때에 비해 PLA를 수지로 제작 하였을 때 흡습률은 훨씬 더 높았으며 PLA를 수지로 제작 하였을

때 무처리된 시험편이 흡습률이 가장 낮았고 과망간산칼륨 처리된 시험편이 흡습률이 가장 높았다. 특히 과망간산칼륨 처리된 시험편은 침지 24시간 만에 파단되어 흡습률을 측정하기 불가능하였다. PP를 수지로 제작하였을 때는 Untreated, 과망간산칼륨, 실란 처리된 3조건의 경향이 모두 비슷하였으며 PLA를 수지로 제작 하였을 때와 유사하게 무처리된 시험편의 흡습률이 가장 낮았고 과망간산칼륨 처리된 시험편이 흡습률이 미약하나마 가장 높았다.

3.3.2 흡습시간에 따른 굽힘강도 평가

제조 인자들에 따른 왕겨분말 복합재의 흡습시간에 따른 기계적 특성 변화를 알아보기 위해 무처리, 과망간산칼륨, 실란 처리된 PLA/왕겨복합재 굽힘 시험편을 0, 6, 12, 18, 24 시간 침지 후 굽힘 응력을 측정하여 Fig. 8에 나타냈다. 6시간 침지 후 세 조건 모두 급격히 굽힘 응력 값이 감소함을 볼 수 있다. 6시간 이후로는 굽힘 응력 감소 폭이 매우 완만하였으며 24시간 침지 했을 때의 굽힘 응력 값은 0에 가까움을 확인 할 수 있다. 이는 PLA 수지가 물에 매우 약하다는 반증이다. 또한 무처리 시험편의 굽힘 응력이 가장 높았고 실란, 과망간산칼륨 처리된 시험편 순이었다. 이는 Fig. 7의 흡습률 경향 그래프에서 보이

는 바와 같이 무처리 시험편이 실란, 과망간산칼륨 처리된 시험편들에 비해 적은 흡습률을 보이는 것에서 기인한 것이라 판단된다.

3.3.3 온도변화에 따른 굽힘강도 평가

왕겨분말 복합재의 온도변화에 따른 기계적 특성 변화를 알아보기 위해 PLA 수지를 사용, 무처리, 과망간산칼륨, 실란 표면처리 한 복합재 시험편들을 상온, 60, 120 °C에서 12시간 유지한 후 굽힘 응력을 측정한 결과를 Fig. 9에 나타냈다. 60 °C 보관 후부터 굽힘 응력 값이 급격히 감소함을 볼 수 있다. 또한 120 °C에서의 굽힘 응력 값은 거의 유사하였다. 이는 PLA 수지를 사용한 복합재는 60 °C를 넘는 환경에선 사용하기 부적합하다고 판단된다. 상온에서는 KMnO₄, Silane, 무처리 순서로 굽힘 응력이 증가되었지만 60, 120 °C에서 12시간 유지 후 굽힘 응력 값은 무처리, 실란, 과망간산칼륨 표면처리 된 순서로 큰 값을 나타내었다. 이는 온도가 높은 환경에서 과망간산칼륨 처리된 경우가 가장 부적합함을 알 수 있다.

3.4 표면사진 관찰

Fig. 10의 (a)와 (b)는 입자크기, (c)와 (d)는 표면처리에 따라, (e)와 (f)는 흡습 후 시험편들의 파단면을 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope)으로 찍은 사진들이다. 보이는 바와 같이 (a)경우가 (b) 경우에 비해 공극이 적음을 알 수 있고 (d) 경우가 (c) 경우에 비해 보다 치밀한 조직을 형성하고 있음을 알 수 있다. (e) 경우 (f) 경우에 비해 적은 공극, 치밀한 조직을 형성함을 볼 수 있고 이러한 공극, 조직형태 등이 강도 값에 직접적인 영향을 주었다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 플라스틱 판재나 품을 보강하는 재료로서 자연섬유 중에서도 경제적인 왕겨를 열가소성 수지인 PP와 생분해성 수지인 PLA에 보강하여 각종 인자들이 기계적인 특성에 미치는 영향을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 왕겨분말 입자의 크기가 가장 작은 250~500 μm 일 때 가장 강도 값이 높았다.

(2) 무처리 경우보다 실란 처리한 경우는 약 20 %, 과망간산칼륨 처리한 경우는 약 11 % 굽힘 응력 값이 높게 측정 되었다.

(3) 흡습시간에 따른 흡습율을 측정한 결과 PP가 수지로 쓰였을 때에 비해 PLA가 수지로 쓰였을 때 약 4배 흡습률이 높았다.

(4) 환경강도 평가 결과 PLA가 수지로 쓰였을 경우 흡습은 6시간, 온도는 60 °C (24시간 유지)부터 굽힘 응력 값이 급격히 감소함을 볼 수 있고 따라서 이러한 환경에서 사용하기는 부적합하다고 판단된다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

참고문헌

- (1) Joseph Kurucilla, Thomas Sabu, Pavithran C., 1996, "Effect of Chemical Treatment on the Tensile Properties of Short Sisal Fibre-Reinforced Polyethylene," *Polymer*, Vol. 37, No. 23, pp. 5139~5149.
- (2) Yang Han-Seung, Kim Hyun-Joong, Son Jun-gil, Park Hee-Jun, Lee Bum-Jae, Hwang Taek-Sung, 2004, "Rice-husk Flour Filled Polypropylene Composites; Mechanical and Morphological Study," *Composite Structures*, Vol. 63, pp. 305~312.
- (3) Hattotuwa G.B. Premalal, H. Ismail, A. Baharin, 2002, "Comparison of the Mechanical Properties of Rice Husk Powder Filled Polypropylene Composite Composites with Talc Filled Polypropylene Composites," *Polymer Testing*, Vol. 21, pp. 833~839.
- (4) Levit. M. R. Farrel, R. E. Gross, R. A. McCarthy, S. P., 1998, "Composites Based on Poly(lactic Acid) and Cellulosic Fibrous Materials: Mechanical Properties and Biodegradability," *Society of Plastics Engineers INC.*, Vol. 54 No. 2, pp. 1387~1391.