

표면처리에 의한 왕겨분말-폴리프로필렌 바이오복합재의 계면 접착력 향상*1

이 병 호*2 · 김 희 수*2 · 최 성 우*2 · 김 현 중*2†

Improvement of Interfacial Adhesion for Surface treated Rice Husk Flour-Filled Polypropylene Bio-Composites*1

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

요 약

본 연구의 목적은 왕겨분말을 NaOH와 acetic acid 처리를 통하여 왕겨분말-폴리프로필렌(PP) 바이오복합재의 계면 결합을 증가시키는 것이다. 처리하지 않은 왕겨분말, NaOH와 acetic acid 처리된 왕겨분말을 충전제로 사용하여 바이오복합재를 제조한 후 왕겨분말의 처리에 대한 효과를 조사하였다. NaOH와 acetic acid 처리된 왕겨분말이 충전된 바이오복합재의 인장강도가 처리하지 않은 왕겨분말이 충전된 바이오복합재보다 증가하였다. NaOH와 acetic acid로 처리 전후의 왕겨분말 표면은 scanning electron microscopy (SEM)의 사진으로 명확하게 관찰할 수 있었다. SEM을 이용하여 측정된 결과 왕겨분말 표면의 이물질이 제거된 것을 발견할 수 있었다. NaOH와 acetic acid 처리된 왕겨분말의 화학적 구조는 fourier transform infrared (FTIR)을 이용하여 분석하였다. 처리하지 않은 왕겨분말, NaOH와 acetic acid로 처리된 왕겨분말의 결정화구조 및 결정화도는 wide-angle X-ray scattering (WAXS)을 이용하여 분석하였다.

ABSTRACT

The main objective of this study is the improvement of the interfacial adhesion of RHF-polypropylene (PP) bio-composites through NaOH and acetic acid treated RHF. After manufacturing of untreated and NaOH and acetic acid treated RHF filled PP bio-composites, the effect on interfacial adhesion of bio-composites was investigated. Tensile strength of the bio-composites made from treated RHF with NaOH and acetic acid was higher than that of the

* 1 접수 2006년 4월 10일, 채택 2006년 4월 29일

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

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

untreated bio-composites. The RHF surface before and after NaOH and acetic acid treatment was clearly confirmed by scanning electron microscopy (SEM) micrograph. It was found that both treatments result in a removal of impurity materials of RHF surface by SEM micrographs. The chemical structures of untreated and NaOH and acetic acid treated RHF were confirmed by fourier transform infrared (FTIR). The crystallization structure and crystallinity of non-treated, NaOH and acetic acid treated RHF were investigated by wide-angle X-ray scattering (WAXS).

Keywords: rice husk flour, polypropylene, bio-composites, interfacial adhesion, surface treatment, WAXS

1. 서 론

최근 환경 친화적인 장점으로 인하여 바이오복합재는 다양한 천연 섬유와 천연 분말을 이용한 제조에 관심이 증가하고 있다(Gauthier *et al.*, 1998; Tripathy *et al.*, 2000). 천연 섬유와 천연 분말을 이용한 바이오복합재는 저렴한 가격, 비 독성, 제조시 생산기계의 마모 감소, 재활용 가능, 가공비용의 절감 및 저밀도로 인한 최종제품의 중량이 감소하는 등 다양한 장점을 가지고 있다(Bledzki *et al.*, 1999). 그러나 바이오복합재는 소수성인 기질고분자와 친수성인 생분해성 충전제 사이의 약한 계면 결합력으로 인하여 최종제품의 물성이 저하되는 단점을 가지고 있다.

이와 같은 바이오복합재의 단점을 개선하기 위하여 지난 수년간 기질 고분자와 생분해성 충전제 사이의 계면 결합력 향상에 많은 연구가 이루어져 왔다(Vera *et al.*, 2005). 바이오복합재 계면에서의 결합력을 향상시키기 위해서는 기질고분자를 개질하는 방법과 생분해성 충전제의 표면을 처리하여 소수성을 증가시키는 방법이 있다. 생분해성 충전제의 표면을 처리하여 바이오복합재의 계면 결합력을 증가시키는 방법에는 코로나 처리(Belgacem *et al.*, 1994), 플라즈마 처리(Felix *et al.*, 1994), 열처리(Sapieha *et al.*, 1989) 등 다양한 방법이 있다. 그러나 이러한 처리방법은 그 처리 비용이 상당히 높은 문제점을 안고 있다. 이에 반해 왕겨분말, 목분 등과 같은 생분해성 충전제의 화학적 처리 방법 중 알칼리 처리와 acetic acid 처리는 처리비용이 적게 드는 장점으로 인하여 현재 생분해성 분말의 표면처리에 많이 이용되고 있다. Cao 등(2005)은 NaOH 수용액을 이용 bagasse

fiber에 처리하여 바이오복합재 제조 후 기계적 성질을 측정 한 결과 기계적 성질이 향상되었다고 보고하였다. 또한 Khalil 등(2000)은 coir fiber에 acetic acid를 처리하여 바이오복합재의 계면에서의 결합력을 향상시켰다고 보고하였다.

본 연구에 사용된 왕겨분말은 쌀을 생산하는 과정에서 부산물로 얻을 수 있다. 최근 우리나라의 쌀 생산량은 연간 약 445만t에 달해(농림부 2004) 여기서 부산물로 얻어지는 왕겨분말의 양은 매우 많을 것이라 예상할 수 있다. 그러므로 농산부산물로 얻어지는 왕겨분말을 이용한 바이오복합재는 고부가가치 산업으로서의 적용이 가능하다고 볼 수 있다.

본 연구의 목적은 바이오복합재의 계면에서 결합력을 향상시키기 위하여 왕겨분말을 NaOH 수용액과 acetic acid로 처리하여 기질고분자와의 계면에서의 영향에 대해 알아보는 것이다. 왕겨분말의 화학적 개질을 통한 영향을 알아보기 위하여 인장강도를 측정하였으며 SEM을 통하여 형태학적 성질에 대하여 분석하였다. FTIR을 이용하여 왕겨분말의 표면처리 전후의 화학적 구조에 대하여 분석하였으며, WAXS를 이용하여 결정화도에 대하여 측정하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료

본 연구에 기질고분자로 는 (주)GS칼텍스에서 구입한 폴리프로필렌(PP)을 사용하였다. PP는 밀도 0.91 g/cm³, MFI 12 g/10 min (230°C/2.160 g)이었다. 생분해성 충전제로 사용된 왕겨분말은 입자크기가 20~50 mesh 였으며, (주)새론 필러에서 제공받았다.

2.2. 생분해성 충전제 전처리

2.2.1. 알칼리 처리

왕겨분말을 각기 다른 수산화나트륨 수용액 1%, 3%, 5%에 액비 1:15의 비로 처리하였다. 왕겨분말을 알칼리 용액에서 2시간 동안 처리한 후 증류수를 이용하여 세척하였다. 아세트산을 이용하여 세척한 후 증류수로 세척한 물이 pH7에 도달할 때까지 세척하였다. 세척한 왕겨분말을 24시간 동안 100℃ 오븐에서 건조시킨 후 함수율을 측정된 결과 2~3%에 도달하였다. 건조된 왕겨분말은 수분의 침투를 방지하기 위해 polyethylene bag에 넣어 보관하였다.

2.2.2. Acetic acid 처리

왕겨분말을 수산화나트륨 수용액 18%를 이용하여 30분간 처리한 후 증류수를 이용하여 세척한 후 상온에서 건조시켰다. 건조된 왕겨분말에 acetic acid 50%를 첨가하고 교반기를 이용하여 2시간 동안 처리하였다. 왕겨분말을 증류수를 이용하여 수차례 세척한 후 100℃의 오븐에서 24시간 동안 전건도달까지 건조시켰다. 건조 후 왕겨분말의 함수율은 2~3%였다. 건조된 왕겨분말은 수분의 침투를 방지하기 위해 polyethylene bag에 넣어 보관하였다.

2.3. 바이오복합재 제조공정 및 시편제작

NaOH와 acetic acid로 처리된 왕겨분말과 미처리된 왕겨분말이 충전된 바이오복합재의 제조 공정은 다음과 같다. PP와 미처리된 왕겨분말과 NaOH와 acetic acid로 처리된 왕겨분말의 혼합비를 질량 대비 70:30으로 혼합하였다. 혼합된 재료를 실험실용 twin-screw extruder의 호퍼(hopper) 내로 공급하였으며, 이때 배럴(barrel)의 온도는 열가소성고분자 용융 온도보다 높은 190℃로 조절하였다. 그리고 진공펌프를 일정한 압력으로 조절하여 압출기의 내부를 진공상태로 조정하였다. 다이의 노즐로부터 빠져나오는 긴 막대상의 물질(strand)을 냉각장치에 통과시켜 냉각한 다음 펠렛타이저(pelletizer)에 의해 펠렛(pellet) 형태로 절단하였다. 이러한 펠렛 형태의 입자를 다시

60℃ 오븐에서 24시간 건조하였다. 건조된 펠렛은 수분의 침투를 방지하기 위해 폴리에틸렌백에 넣어 보관하였다.

건조된 펠렛은 사출성형기에서 시험용 시편을 사출 온도 190℃, 사출압력 1,200 psi, 장치압력 1500 psi에서 인장강도 시편을 제작하였다. 제작된 시편은 온도 23±2℃, 상대습도 50±5% 항온항습 조건에서 48시간 조습처리 하였다.

2.4. 실험방법

2.4.1. 인장강도 측정

NaOH 수용액과 acetic acid로 처리된 왕겨분말이 바이오복합재의 인장강도에 미치는 영향을 평가하고자 인장강도를 측정하였다. ASTM D 638-99에 의거하여 universal testing machine (Zwick Co.)을 사용하여 측정하였다. 이때 인장속도는 100 mm/min로 상온에서 측정하였으며 5개 샘플의 평균값으로 인장강도 값을 산출하였다.

2.4.2. 형태학적 분석

왕겨분말 표면처리의 효과를 관찰하기 위해서 SIRIOM의 scanning electron microscopy (FEI Co., USA)를 사용하였다. 왕겨분말의 표면을 측정하기에 앞서 전자가 튀는 현상을 방지하기 위하여 왕겨분말의 표면에 순도 99.99% 금으로 코팅하였다.

2.4.3. FTIR 분석

왕겨분말의 표면처리 전후의 화학적 변화를 관찰하기 위해서 FTIR 분석을 실시하였다. Nicolet Co.의 FTIR (서울대학교, NICEM)을 사용하여 KBr disk 방법으로 분석하였다. KBr과 중량 대비 1%의 미처리된 왕겨분말과 NaOH 수용액과 acetic acid로 처리된 왕겨분말을 각각 혼합하여 KBr disk를 제작한 후 FTIR로 4000~400 cm⁻¹ 파장 범위에서 측정하였다.

2.4.4. 왕겨분말의 WAXS 분석

NaOH 수용액과 acetic acid가 왕겨분말의 결정구

조에 미치는 영향을 측정하기 위하여 wide-angle X-ray scattering (WAXS)으로 분석하였다. 미처리 왕겨분말과 1% NaOH 수용액으로 처리한 왕겨분말 그리고 acetic acid로 처리한 왕겨분말을 Bruker General Area Detector Diffraction System (서울대학교, NICEEM)을 사용하여 측정하였다. 니켈 필터를 이용 1.54Å 파장의 CuK α radiation을 사용하였으며 0.02 ($^{\circ}2\theta$) step으로 300초간 노출하였다.

왕겨분말의 결정화도는 다음의 식(1)로 계산하였다(Gassan *et al.*, 1999).

$$Crystallinity(\%) = \frac{(I_{002} - I_{18.5^{\circ}})}{I_{002}} \times 100 \quad (1)$$

I_{002} 는 (002) 면에서의 회절을 나타내며, $I_{18.5^{\circ}}$ 에서의 회절을 의미한다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 인장강도 측정

Fig. 1에는 PP와 NaOH의 처리 농도가 다른 왕겨분말이 충전제로 첨가된 바이오복합체의 인장강도 값을 나타내었다. NaOH 처리 농도가 1%인 왕겨분말이 충전된 바이오복합체의 인장강도가 가장 높은 인장강도 값을 나타내었다. 그러나 NaOH 처리 농도가 증가할수록 인장강도 값은 감소하였다. 이는 1% NaOH로 처리하였을 경우 바이오복합체의 계면 결합을 방해하는 이물질이 제거되어 결합력이 향상되었지만 3%와 5% NaOH 처리는 처리농도가 높아 상대적으로 왕겨분말 말단에 다수의 fibrillation이 발생하여 인장응력이 가해질 때 crack을 유발하여 응력의 전달이 효과적이지 못하기 때문에 1% NaOH 처리보다 인장강도 값이 낮은 것으로 알려져 있다(Cao *et al.*, 2005).

Fig. 2에는 1% NaOH 처리된 왕겨분말과 acetic acid 처리된 왕겨분말이 각각 충전된 바이오복합체의 인장강도 값을 나타내었다. acetic acid 처리하였을 때 1% NaOH 처리보다 인장강도 값이 감소하였다. 이는 acetic acid 처리가 왕겨분말의 표면에서 다수의 crack을 유발하여 응력 전달을 방해하는 것으로 볼 수 있다(Vera *et al.*, 2005).

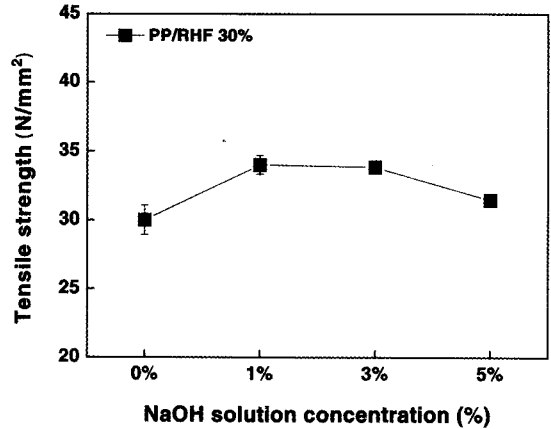


Fig. 1. Tensile strength of NaOH non-treated and treated RHF filled PP bio-composites as different NaOH concentration.

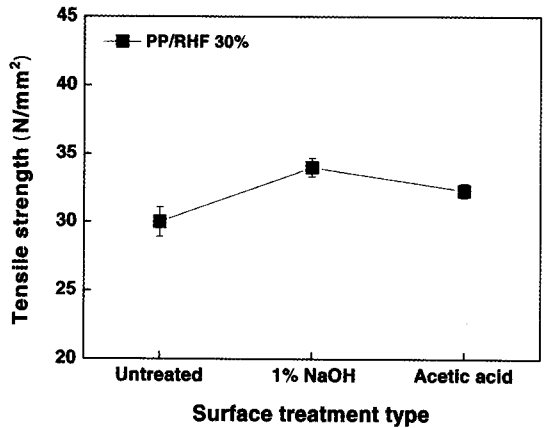


Fig. 2. Tensile strength of non-treated, NaOH and acetic acid treated RHF filled PP bio-composites.

3.2. 형태학적 분석

Fig. 3에는 화학적으로 처리하지 않은 왕겨분말과 1% NaOH 처리 그리고 acetic acid 처리한 왕겨분말의 주사전자 현미경 사진에 대하여 나타내었다. Fig. 3-(a)에서 처리하지 않은 왕겨분말은 표면에서 많은 이물질이 관찰되었다. 이러한 이물질들로 인하여 바이오복합체 제조시 기질고분자와의 계면에서 결합력이 낮아지게 되는 결과를 나타냈다(Rong *et al.*, 2001). Fig. 3-(b)에서는 1% NaOH 수용액으로 처리된 왕겨

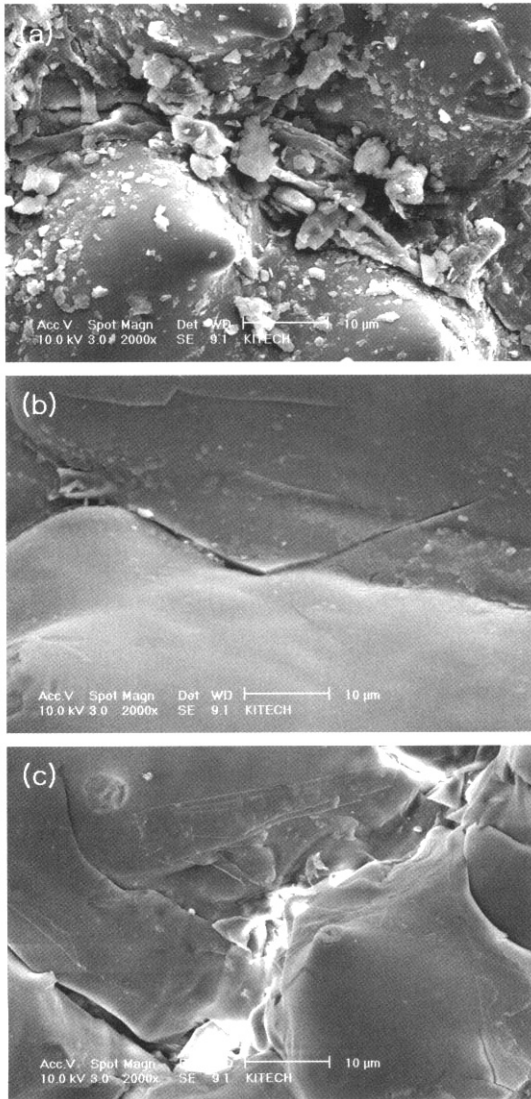


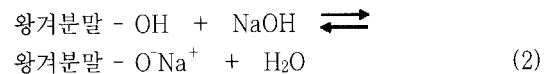
Fig. 3. SEM micrographs of RHF : (a) untreated, (b) 1% NaOH treated and (c) acetic acid treated.

분말의 표면을 나타냈다. Fig. 3-(a)와 비교하여 왕겨분말의 표면에 있던 다량의 이물질이 제거된 것을 볼 수 있다. 이와 같이 왕겨분말에 존재하는 이물질의 제거는 기질고분자와의 계면에서의 결합력을 향상시켜 바이오복합체의 기계적 성질을 향상시키는 작용을 하게 되는데 이는 인장강도 측정값에서 명확히 확인할

수 있었다. Fig. 3-(c)에서는 acetic acid 처리된 왕겨분말의 표면을 볼 수 있다. Acetic acid 처리된 왕겨분말의 표면에서는 다량의 이물질이 사라진 것 외에 표면에 다수의 crack이 관찰되었다. 이와 같은 crack의 형성은 인장강도 측정 시 응력을 효율적으로 전달하지 못하여 NaOH 처리한 것 보다 인장강도가 낮게 나타났다.

3.3. FTIR 분석

왕겨분말은 lignocellulose계 분말로서 holocellulose의 함량이 60.8 %, lignin 함량이 21.6 %, ash 함량이 12.6 % 그리고 기타 물질이 5.0 %로 이루어져 있다 (Kim and Eom, 2001). 알칼리 처리에 따른 왕겨분말과 NaOH와의 반응은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다(Cao *et al.*, 2006).



NaOH에 존재하는 OH 그룹이 왕겨분말의 OH 그룹과 반응하여 물이 형성되어 빠져나가는 결과를 나타낸다. 왕겨분말의 acetic acid 처리에 의한 반응 모식도는 Fig. 4에 나타내었다. 왕겨분말의 표면처리에 의한 화학적 변화는 FTIR을 통해 명확히 확인할 수 있다. Fig. 5에서는 표면 처리에 따른 왕겨분말의 FTIR 스펙트럼을 나타내었다. 알칼리 처리된 왕겨분말의 FTIR 스펙트럼은 Fig. 5-(a)에서 보는 바와 같이 1716 cm^{-1} 에서 헤미셀룰로오스 피크의 세기가 처리하지 않은 왕겨분말보다 강하게 나타났다. 이는 왕겨분말에 존재하는 이물질이 제거되어 헤미셀룰로오스가 보다 쉽게 표면으로 드러났기 때문이라고 여겨진다(Vera *et al.*, 2005). 또한, Fig. 5-(a)에서 보면 acetic acid 처리한 왕겨분말은 1730 cm^{-1} 에서 카르보닐기 피크가 새롭게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 acetic acid와 왕겨분말의 OH기에 의해 에스테르화 반응이 새롭게 형성되었기 때문이며 Fig. 4에서 확인할 수 있다.

Fig. 5-(b)에서는 미처리된 왕겨분말의 $3100 \sim 3600 \text{ cm}^{-1}$ 에서의 넓은 영역의 peak가 나타났다. 이는

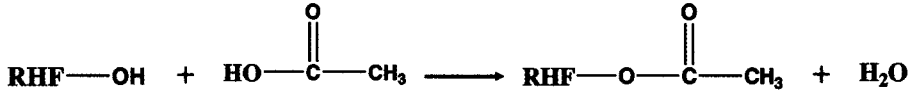
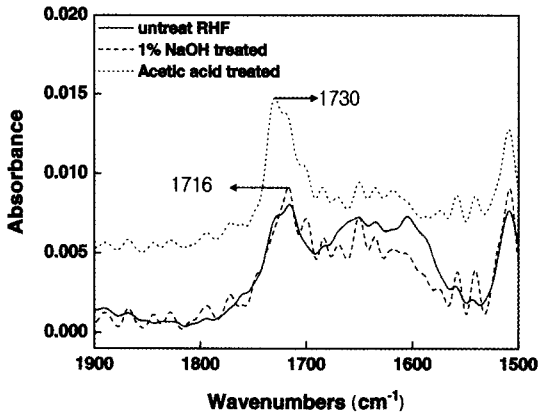
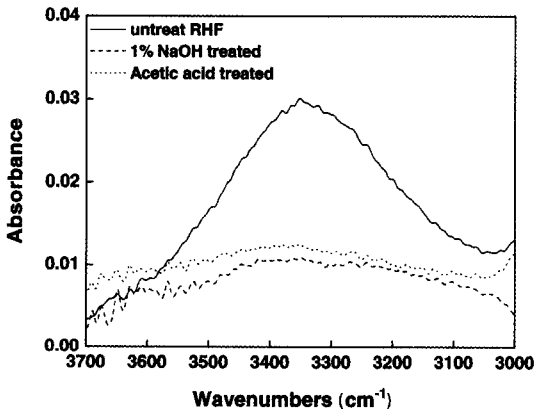


Fig. 4. Chemical structure of RHF reaction with acetic acid.



(a) Range from 1500~1900 cm^{-1}



(b) Range from 3000~3700 cm^{-1}

Fig. 5. FTIR spectra of untreated, 1% NaOH treated and acetic acid treated bio-composites: (a) range from 1500~1900 cm^{-1} , (b) range from 3000~700 cm^{-1} .

왕겨분말에 존재하는 OH 그룹 때문이다. 이와 달리 NaOH와 acetic acid 처리된 왕겨분말에서는 OH 피크가 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 앞에서도 설명한 바와 같이 왕겨분말에 존재하는 OH기가 NaOH와 acetic acid와의 반응에 참가하여 감소하였기 때문

이다.

3.4. XRD 분석

표면처리에 따른 왕겨분말의 결정구조를 조사하기 위하여 WAXS를 이용하여 조사하였다. XRD의 diffractogram 피크를 분석하여 왕겨분말의 결정구조를 확인할 수 있다. Fig. 6에서 모든 스펙트럼은 $22^\circ(2\theta)$ 에서 reflection을 보였으며 $13^\circ\sim 18^\circ$ 범위에서 완만한 그래프 곡선을 보였다. 이와 같은 결과는 각각 결정 셀룰로오스에서의 (002), (101) 그리고 $(10\bar{1})$ 에서의 결정면을 나타낸다(Gassan *et al.*, 1999). Fig. 6에서 미처리된 왕겨분말과 1% NaOH 수용액으로 처리한 왕겨분말의 X-ray diffraction 결과를 보면 거의 비슷한 (101)과 $(10\bar{1})$ plane에서의 결정을 보여주었다. 반면에 acetic acid로 처리한 왕겨분말의 결정영역은 상대적으로 높게 나타났다.

Table 1에서는 미처리된 왕겨분말에 비해 1% NaOH 처리한 왕겨분말의 결정화도가 다소 낮게 나타났다. 이는 셀룰로오스 체인의 배열을 다소 방해하는 왕겨분말내의 결합이 다소 제거되고 팽윤되었기 때문이다(Sreenivasan *et al.*, 1996). 이와 달리 acetic acid로 처리한 왕겨분말의 결정화도는 약간 증가하였다. Acetic acid로 처리한 왕겨분말의 결정화도가 증가한 원인은 크게 두 가지로 생각해 볼 수 있다. 첫째, 왕겨분말의 비결정 영역이 제거되었기 때문에 결정 cellulose가 상대적으로 증가하였기 때문이다. 둘째, 셀룰로오스의 결정 특징을 보이는 결정영역에서의 재배열이 결정화도를 높여 주었기 때문이다. 그러나 두 번째 원인은 아직까지 정확한 결과를 확인할 수 없었다. 그러므로 왕겨분말을 acetic acid 처리함으로써 결정화도가 증가한 원인은 상대적인 결정영역의 증가로 생각할 수 있다. 그러나 본 연구에서의 얻어진 결정화도는 상대적인 값으로는 유용하나 다른 문헌과 비교하여 보면 상대적으로 낮게 측정되어 절대적인

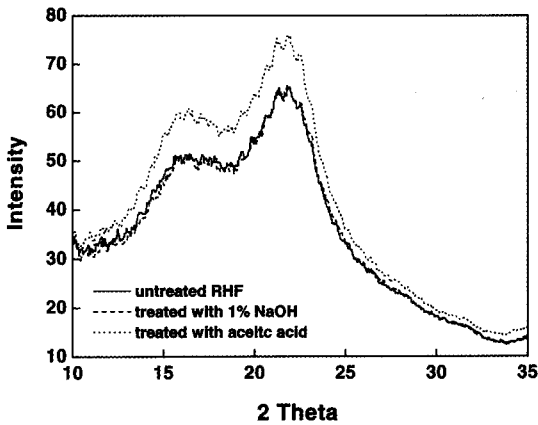


Fig. 6. WAXS diffraction curves of untreated RHF, NaOH treated RHF and acetic acid treated RHF.

Table 1. Crystallinity indices I_c of untreated and treated rice-husk flour

Fiber type	I_c
untreated rice-husk flour	24.96
rice-husk flour treated with 1% NaOH	23.75
rice-husk flour treated with acetic acid	26.13

결정화 양을 나타내기에는 무리가 있다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 바이오복합재의 계면에서의 결합력을 향상시키기 위하여 왕겨분말에 NaOH와 acetic acid 처리를 한 후 바이오복합재의 계면에 미치는 영향에 대하여 알아보았다. 표면처리 된 왕겨분말을 이용하여 제조된 바이오복합재의 인장강도는 1% NaOH를 처리한 것이 가장 높게 나타났다. 주사 전자현미경 사진을 통하여 NaOH와 acetic acid로 표면 처리된 왕겨분말은 표면 이물질과 wax 층이 감소했다는 것을 확인 할 수 있었다. 그러나 acetic acid는 왕겨분말의 표면에서 처리가 과도하여 다수의 crack을 발생하기도 하였다. FTIR 분석에서 NaOH 처리는 표면에서의 이물질이 제거되어 1716 cm^{-1} 에서 hemicellulose 피크의 세기가 증가 하였다. Acetic acid 처리한 왕겨분말은 1730 cm^{-1} 에서 acetic acid와 왕겨분말의 OH기에

의해 에스테르화 반응이 형성되어 카르보닐기 피크가 나타났다. 이는 NaOH와 acetic acid 처리한 왕겨분말의 OH가 반응에 참여하였기 때문이며 $3100\sim 3600\text{ cm}^{-1}$ 에서 피크의 세기가 감소하는 것에서 확인 하였다. WAXS를 이용하여 표면 처리된 왕겨분말의 결정화도를 측정해본 결과 acetic acid로 처리한 것이 좀 더 높은 결정화도를 얻을 수 있었다. 그러므로 NaOH와 acetic acid를 이용한 왕겨분말의 전처리하는 바이오복합재의 계면에서의 결합력을 증가시키고 표면의 이물질과 wax 층을 제거하는데 있어 어느 정도 효과적이라 할 수 있었다.

사 사

본 연구는 교육인적자원부 BK21 사업의 지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- 농림부. 2004. 농림통계연보.
- Belgacem M. N., P. Bataille, and S. Sapeiha. 1994. Effect of corona modification on the mechanical properties of polypropylene cellulose composites. *Journal of Applied Polymer Science*. 53: 379~385.
- Bledzki A. K. and J. Gassan. 1999. Composites reinforced with cellulose based fibres. *Progress in Polymer Science*. 24: 221~274.
- Cao Y., S. Shibata, and I. fukumoto. 2006. Mechanical properties of biodegradable composites reinforced with bagasse fibre before and after alkali treatments. *Composites Part A : Applied Science and Manufacturing*. 37(3): 423~429.
- Felix J. M. and P. Gatenholm. 1994. Effect of transcrystalline morphology on interfacial adhesion in cellulose polypropylene composites. *Journal of materials science* 29(11): 3043~3049.
- Gassan J. and AK. Bledzki. 1999. Alkali treatment of jute fibers: relationship between structure and mechanical properties. *Journal of Applied Polymer Science* 71: 623~629.
- Gauthier R., C. Joly, A. C. Coupas, H. Gauthier, and M. Escoubes. 1998. Interfaces in polyolefin/

- cellulosic fiber composites: Chemical coupling, morphology, correlation with adhesion and aging in moisture. *Polymer Composites* 19: 287~300.
8. Khalil H. P. S. A., H. Ismail, H. D. Rozman, and M. N. Ahmad. 2000. The effect of acetylation on interfacial shear strength plant fibres and various matrices. *European Polymer Journal* 37: 1037~1045.
 9. Kim Hyun-Joong and Young-Geun Eom. 2001. Thermogravimetric analysis of rice husk flour for a new raw material of lignocellulosic fiber-thermoplastic polymer composites. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 20(3): 59~67
 10. Rong M. Z., M. Q. Zhang, Y. Liu, G. C. Yang, and H. M. Zeng. 2001. The effect of fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforced epoxy composites. *Composites Science and Technology* 61: 1437~1447.
 11. Sapielha S., J. F. Pupo, and H. Schreiber. 1989. Thermal degradation of cellulose-containing composites during processing. *Journal of Applied Polymer Science* 37(1): 233~240.
 12. Sreenivasan S., P. B. Iyer, and K. R. K. Iyer. 1996. Influence of delignification and alkali treatment on the fine structure of coir fibers (cocos nucifera). *Journal of Materials Science* 31: 721~726.
 13. Tripathy S. S., L. D. Landro, D. Fontanelli, A. Marcelli, and G. Levita. 2000. mechanical properties of jute fibers and interface strength with an epoxy resin. *Journal of Applied Polymer Science* 75(13): 1585~1596.
 14. Vera A. A. and A. Vazquez. 2006. Influence of fiber chemical modification procedure on the mechanical properties and water absorption of MaterBi-Y/sisal fiber composites. *Composites Part A*. In Press.