

페플라스틱/폐섬유소 복합체의 기계적 물성

홍 영 근

수원대학교 공과대학 신소재공학과

(2002년 9월 3일 접수, 2003년 1월 22일 수정, 2003년 2월 18일 채택)

Mechanical Properties of Plastic Waste/Cellulose Waste Composites

Young-Keun Hong

Department of Polymer Engineering, The University of Suwon

Suwon 445-743, Korea

(Received September 3, 2002, Revised January 22, 2003, Accepted February 18, 2003)

요 약 : 혼합페플라스틱과 섬유소로서 폐신문지를 혼합하여 복합체를 구성하고 그 기계적인 물성을 조사하였다. 수지-수지 및 수지-섬유소 사이의 계면접착력을 증대시키고자 섬유소와 친화성을 가진 아비틱산을 소량 첨가하였다. 섬유소의 투입량이 많아질수록 인장강도는 플라스틱 자체보다 저하되었으며 아비틱산은 강도에 좋은 영향을 주지 못하였다. 파단신장률 및 충격강도는 섬유소만의 투입량에 따라서는 감소하였으나, 섬유소가 적은 양이고 아비틱산이 적게 포함되어 있을 경우에 놀라운 상승을 나타내었다. 물성의 향상은 아비틱산의 화학적인 양면성에 기인한다고 여겨진다.

ABSTRACT : Mechanical properties of the commingled waste plastics filled with waste newspaper were studied. To improve adhesion at the interface, abietic acid was used. Tensile strength increased with fiber concentration. However the abietic acid did not have any influence on the strength. Tensile strain and impact strength as well decreased with increasing fiber level in the composite, but the abietic acid at low level of concentration with low level of fiber dramatically improved both properties. The reason seemed to be attributed to double-chemical nature of abietic acid.

Keywords : composite, waste plastic, waste newspaper

I. 서 론

플라스틱은 그 특성인 경량성, 우수한 성형성, 내부식성, 단열성 등으로 인하여 일반용 및 산업용으로 다양하게 사용되고 있다. 따라서, 그 생산량 및 소비량은 기하급수적으로 증가하고 있으며 이에 따른 폐기물의 발생량 역시 급증하는 추세이다. 우리나라의 플라스틱 관련산업의 규모는 총량에서

미국, 독일, 일본에 이어 세계 4위(2000년 생산량: 약 913만톤)로서 1인당 사용량 역시 선진국 수준이며, 이에 따른 폐기물량 역시 막대한 실정으로 그 발생량도 약 297만톤 (2000년 기준)에 이르고 있다.¹

본래, 환경오염이 문제시되지 않았을 때에는 “꿈의 물질”로 일컬어지던 플라스틱이 근래에 와서 환경면에서 많은 논쟁거리를 낳게 된 데에는 여기저기 쌓이고 있는 플라스틱 폐기물의 처리가 문제화된 데 기인한다. 일반적으로 플라스틱은 무게에

[†] 대표저자(e-mail : ykhong@suwon.ac.kr)

비하여 부피가 커서 처리에 마땅한 방법을 갖고 있지 못하다. 결국, 이 폐플라스틱 처리를 위해서는 현재 수준보다 재활용을 높이고 또한 재활용 방안을 찾는 것이 시급한 당면과제라 하겠다.

따라서, 최근 폐플라스틱의 재활용 방안이 점차 크게 대두되고 있다. 기존의 처리 방법으로는 매립, 소각이 주된 것이었으나 매립에 의한 방법은 매립지의 부족, 환경오염 및 지역주민의 기피(NIMBY) 등의 문제점이 있을 뿐만 아니라 토양의 균열과 침하의 원인이 되고 있으며, 소각처리에 의한 방법도 마찬가지로 대기오염, 시설비부담 등과 같은 여러 가지 문제를 안고 있다. 고로 가장 이상적인 방법으로 폐플라스틱을 재활용하여 제품을 생산하는 것이 환경오염을 방지함과 동시에 결국 신재(virgin) 플라스틱 사용량을 줄이는 방법이 되는 것이다.

대개, 플라스틱 쓰레기는 여러 종류의 수지들이 혼합된 상태로 폐기되거나 수거되고 있다. 이러한 혼합폐플라스틱(commingled plastic waste)의 재생 또는 재활용 방법으로는 일반적으로 3가지로 대별된다.²

첫 번째는 고분자재활용(polymer recycling)이라고도 불리우는데 폐플라스틱을 재가공하여 다시 플라스틱 수지로 활용하는 기술이다. 혼합폐플라스틱의 재활용 방법에 있어 가장 바람직한 방법으로 알려져 있으며, 재활용 기술 중 소비에너지 측면에서 가장 환경친화적이며, 상업성이 있고, 또한 기술적으로도 가장 접근하기 쉬운 방법이다.

두 번째는 열분해 방법으로서 첫 번째 방법이 어려울 때 사용되는 방법이다. 이 방법은 혼합폐플라스틱에 열을 가하여 산화반응이나 가수분해반응에 의하여 플라스틱을 분해시켜 단량체(monomer)를 회수하는 방법이다. 이와 같이 얻어진 단량체는 다시 고분자(예를 들어, 플라스틱)를 합성하는 데에 이용된다.

세 번째는 소각이다. 이 방법은 위의 두 가지 방법이 어려울 때 사용되는, 재활용 방법 중 최후의 선택이다. 폐플라스틱의 발열량(6,000-7,000 kcal/kg)을 이용하여 열(heat 또는 energy)을 얻고자 할 때 사용된다.

최근에 플라스틱 폐기물 유출을 원천적으로 없애기 위한 대안의 하나로 플라스틱에 생분해성을 부여하는 방안이 거론되고 있다.³ 그 중 가장 접근하기 쉬운 방법이 플라스틱에 생분해성 물질을 혼합시키는 것이며 그 중 대표적인 것이 톱밥, 신문지 등의 형태로 나타나는 셀룰로오스이다. 톱밥이나 신문을 활용하면 이들도 폐기물인 고로 이중 재활용 효과를 얻을 수 있다. 따라서 이에 대한 몇몇의 연구,^{4-9,11-18}가 있었으나 셀룰로오스에 의한 현저한 보강효과는 아직 못 얻고 있다. 이는 대부분의 플라스틱은 비극성 물질이고 셀룰로오스는 극성 화합물이어서 두 물질간의 계면이 불안정하기 때문일 것이다.

본 연구는 궁극적으로 도시생활 폐플라스틱을 자원화한다는 목적으로 이 혼합폐플라스틱을 기계적으로 재가공하여 건설토목용 재료로 사용하고자 하였다. 이에, 혼합폐플라스틱에 가볍고, 구하기 쉽고, 저렴하고, 또한 생분해성을 갖는 섬유소 폐기물인 폐신문지를 보강섬유 또는 충전제로서 사용하고, 종이의 주성분인 셀룰로오스와 친화성이 있고 열가소성을 갖는 산 화합물을 상용화제로 사용하여 복합체를 제조하여 그 물성을 조사하였다.

II. 실험

1. 복합체 제조

폐플라스틱은 한국자원재생공사 시화공장에서 선별되고 파쇄된 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 폴리스티렌 및 장난감 등에 많이 쓰이는 ABS류를 구입하고 이들을 좀 더 작은 크기로 분쇄(직경 1-2 mm)하였다. 이들을 재생공사에서 제시하는 혼합폐플라스틱의 원래 비율(수거될 때의 예상 혼합 비율)대로 무게비 6:2:1:1 되게 섞었다.

폐신문지는 가택에서 수거한 것을 분쇄(직경 1-2 mm)하여 사용하였으며, 상용화제로서 abietic acid는 Aldrich에서 구입하여 사용하였다.

폐플라스틱의 첨가제에 따른 기계적 물성을 변화를 알아보기 위하여 사용된 혼합물의 조성비는 Table 1과 같다.

Table 1. Composition of Blends

Code	Component	Plastics (g)	Cellulose (g)	Acid (g)
A		100	0	0
B		100	10	0
C		100	10	0.5
D		100	10	1.0
E		100	20	0
F		100	20	0.5
G		100	20	1.0
H		100	30	0
I		100	30	0.5
J		100	30	1.0
K		100	40	0
L		100	40	0.5
M		100	40	1.0
N		100	50	0
O		100	50	0.5
P		100	50	1.0

여러 요소로 구성되어 있는 혼합페플라стик에서의 플라스틱끼리, 또는 플라스틱과 섬유소끼리의 친화력 또는 접착력은 일차적으로 물리적인 결합(interlocking)에 의할 것이다. 따라서 용융압출과정에서의 섞임(mixing) 효과는 필수적이다. 이를 위하여 이축스크류(twin screw, counter-rotating) 압출기(스크류 폭 50 mm, 길이 955 mm)를 제작하였다.

압출기 내에서의 압출과정은, Table 1과 같이 무게비로 조성된 혼합페플라стик/ 페섬유소/아비틱산 혼합물을 압출기 주입구에 넣고(one batch: 약 1000-1500 g), 이 혼합물을 185℃로 가열하고 혼합물이 구성 요소의 미세조직에까지 고루 혼합(mixing)되게 이축스크류로 혼입하고 250 kg/cm²의 압력으로 이송하는 1차 혼합이송과정, 혼합이송과정에서 발생할 수 있는 가스로 인한 압출물의 결합저하 또는 미세균(hair crack)의 생성방지를 위하여 750 mbar의 진공압력으로 용융된 혼합물 중의 가스(수증기 포함)를 강제배출시키는 가스배출과정, 가스가 배출된 용융혼합물이 연속하여 이송되도록 170℃로 가열되고 이축스크류로 혼합되고 이

송되는 2차혼합이송과정, 이송되어 die(1 x 10 mm)를 통과한 용융혼합물을 80℃로 냉각시켜 이루어진 판상의 압출물을 일정한 길이로 절단하는 절단과정으로 이루어진다.

2. 물성 측정

얻어진 판상의 압출물은 목재의 모양을 갖추었다. 이를 톱으로 썰어 박편(flakes)을 만들고 다시 이를 mini-max molder(BAUTECH)에 넣고 열(175℃)을 주어 ASTM D638 방법에 따라 인장시편과 충격시편을 제조하였다.

제조된 인장시편은 만능시험기(LLOYD)를 사용하여 인장속도 50 mm/min으로 인장하여 각 시편에 대하여 인장강도와 파단신장률을 일곱 번 측정하여 평균값을 구하여 물성값으로 취하였다.

제조된 충격시편은 충격강도시험기(Tinus Olsen Willow)를 사용하여 시편의 중간에 새김눈(notch)을 준 Izod 충격시험법으로 53 kg·cm의 힘으로 충격하여 각 시편에 대하여 충격강도를 일곱 번 측정하여 평균값을 구하여 물성값으로 취하였다.

복합체 내부조직을 관찰하기 위하여, 인장실험이 끝난 시편의 파단면을 SEM(JEOL)을 사용하여 조사하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

혼합페플라стик과 페섬유소 및 아비틱산으로 구성된 복합체를 압출하고, 다시 이에서 시험시편을 제조하여 인장강도, 파단신장률 및 압축강도를 측정하고 그 결과를 고찰하였다. 실험 결과를 Table 2에 나타내었다. 위의 표에서 인장 결과 수치를 Figure 1과 2에 나타내었다.

Figure 1에서 볼 수 있듯이 복합체의 인장강도는 페플라стик 자체만으로는 261.98 kg/cm²이었던 것이 페섬유소의 함량이 증가할수록 점증적으로 증가하였다. 이는 페섬유소가 복합체에서 보강섬유의 역할을 한 것으로 보인다. 시험범위 내에서 페섬유소를 50 phr(part per hundred ratio of resin) 첨가하였을 경우 최고 327.21 kg/cm² 수치를 나타내었는데 이는 목재의 수치(약 300 kg/cm²)를 상회하는

Table 2. Properties of Composites

property code	tensile strength (kg/cm ²)	tensile strain (%)	impact strength (J/m)
A	261.98	8.1	52.3
B	296.64	7.5	50.5
C	263.00	9.4	109.1
D	271.15	10.8	73.0
E	306.83	7.1	49.9
F	272.17	8.7	85.1
G	278.19	9.8	70.8
H	302.75	6.9	45.0
I	255.86	6.2	59.4
J	245.67	5.1	37.4
K	311.00	6.5	43.0
L	260.03	6.1	33.6
M	252.80	5.3	24.1
N	327.21	6.3	39.8
O	262.88	5.9	37.4
P	258.92	5.1	27.4

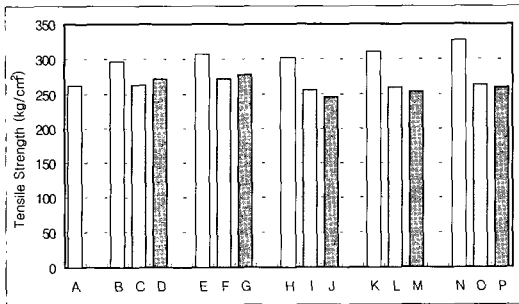


Figure 1. Tensile strength of the composites(sample codes according to Table 2).

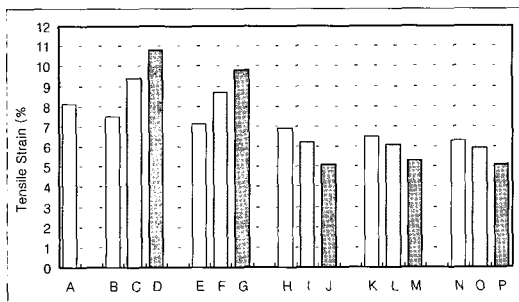


Figure 2. Tensile strain of the composites(sample codes according to Table 2).

값이다. 폐섬유소를 50 phr이상으로 포함시키면 더 낮은 인장강도를 나타낼 것으로 보인다. 그러나 60 phr을 첨가하여 제조된 시료는 시편제조기(mini-max molder)의 얇은 판을 통과하지 못하여(낮은 흐름성에 기인) 시편을 얻을 수 없었다. 다만 최초 제조된 판상의 표면은 대패질한 나무처럼 매우 부드러웠다.

가교제를 사용하지 않고 폴리프로필렌/톱밥(wood flour) 복합체 연구⁴에서 연구자는 톱밥을 첨가하였을 경우의 인장강도가 폴리프로필렌 단일의 경우(335 kg/cm²)보다 저하되었다고 발표하였다. 이는 single screw를 사용하여 구성요소들의 혼합이 원활히 이루어지지 않았던지, 또는 톱밥의 크기가 40 mesh(약 0.4 mm)이어서 톱밥이 복합체에서 보강재라기보다는 단지 충전재로 작용했을 가능성이 높다. 왜냐하면 톱밥은 길이 대 폭 비율(aspect ratio)이 낮아 섬유형태가 아니며, 또한 수치상에 있어서도 복합체 100/55(무게비)의 인장강도가(215 kg/cm²)가 100/45의 강도(262 kg/cm²)보다 낮은 것을 이를 뒷받침한다. 일반적으로 보강섬유로는 2 mm 정도의 길이가 유효하다고 알려지고 있다. co-rotating twin-screw 압출기를 이용한 톱밥(0.15 mm)/폴리에틸렌 복합체 연구(상용화제: acrylic acid-grafted polyethylene copolymer)에서도 인장강도가 저하되었다.⁵

아비틱산의 첨가는 인장강도에 유효하지 않는 것으로 보인다. 이는 매우 의외이다. 왜냐하면 페플라스틱(또는 플라스틱)은 주로 비극성 화합물이고 섬유소는 극성화합물로서 수산기를 가지고 있고, 아비틱산 또한 극성화합물로서 카르복실기를 가지고 있어 섬유소와 아비틱산 간에 상호작용(수소결합)이 크게 작용할 것으로 예상되고, 따라서 보강효과는 클 것으로 기대되었기 때문이다. 그러나, 다시 시료 C, D 및 F, G의 수치를 다른 시료의 수치와 비교해 보면, 폐섬유소가 적게 포함되어 있을 때의 인장강도는 아비틱산이 첨가되지 않은 경우보다 포함된 경우의 인장강도의 하락폭이 적은 것으로 보아 상호작용을 일으킬 수 있는 폐섬유소의 양에 대해 아비틱산이 과잉 포함되어 섬유소 곁에서 섬유소와 상호작용을 일으키고 남은 그

위 표층의 아비틱산은 3성분 복합체내에서 유연제(plastisizer)로 작용한 것으로 보인다.

Joseph는 플라스틱이 비극성이고 섬유소는 극성 화합물인 점을 감안하고, 섬유소(용설란 셀룰로오스 섬유)를 이소시아네이트로 처리한 다음, 이를 폴리에틸렌에 첨가(30 wt%)하여 415 kg/cm²의 인장강도를 달성하였다고 발표하였다.⁶ 폴리에틸렌 자체의 그 수치가 311 kg/cm²인 점을 감안하면 상당히 향상된 것이다. 이는 섬유소 표면의 수산기가 이소시아네이트와 반응하여 폴리에틸렌과 같은 소수성화 되었기 때문이다. 같은 이유로, 폴리스티렌에 이소시아네이트로 처리된 톱밥을 첨가하여 인장강도가 30% 향상되었으며,⁷ zircoaluminate 결합제를 사용하여 톱밥/폴리에틸렌 복합체의 인장강도를 25% 향상시켰다는 보고가 있고,⁸ 단지 2.5%의 maleic anhydride-grafted polypropylene을 사용하여 펄프/폴리프로필렌 복합체의 인장강도를 크게 향상시켰다는 보고도 있다.⁹

파단신장률의 변화(Figure 2)에서 보면 모든 시료에서 나무의 신장률(15%)에는 못미친 것 같다. 섬유소가 많이 포함될수록 신장률은 플라스틱 자체의 수치보다 더욱 저하되었다. 역시 플라스틱과 섬유소 간의 계면접착력은 미진함을 알 수 있다. 다만, 앞에서도 지적하였듯이 C, D 및 F, G의 시료의 경우에서 폐섬유소가 소량(20 phr) 포함되어 있을 경우에 아비틱산은 플라스틱의 가소성과 유연성을 재할시키는 것으로 보인다. 즉, 폐섬유소가 소량 첨가되었을 경우에 아비틱산은 자신의 작지 않은 크기의 알킬기로 인해 플라스틱과 함께 어울려 유연제 역할을 하는 것으로 보인다.

충격강도는 그 물질의 탄성 또는 유연성의 크기를 나타낸다. Figure 3에서 보면 페플라스틱과 폐섬유소간의 상용성(계면접착성)은 좋아 보이지 않는다. 그러나 C, D, F, G 및 I의 경우에서, 즉 폐섬유소가 소량이고 아비틱산이 소량인 경우에서, 특히 폐섬유소가 10 phr, 20 phr의 소량이고 아비틱산이 0.5 phr인 경우(C와 F) 충격강도는 큰 폭으로 증가되었다.

혼합페플라스틱에서 화학구조상의 차이에 근거를 둔 성분간의 비상용성으로 인하여 계면접착력

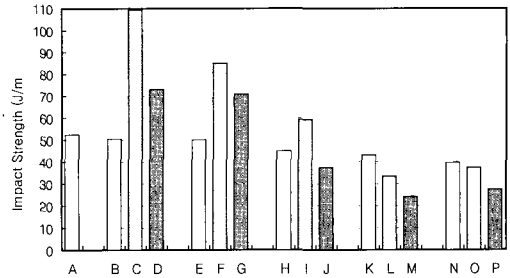


Figure 3. Impact strength of the composites(sample codes according to Table 2).

이 약할 경우 기계적 물성 중 내충격성이 가장 큰 영향을 받는다. 즉, 혼합페플라스틱에 외부의 충격이 가해지면 성분간의 약한 계면을 따라 재료가 파괴되어 나가기 때문에 내충격성이 낮아지게 된다. 따라서 충격강도의 크기는 혼합페플라스틱 응용에서 주요한 지표(barometer)가 되며, 충격강도가 향상되었다는 것은 성분간의 계면이 강화되었음을 뜻하게 되므로 바로 물성의 향상을 뜻한다.

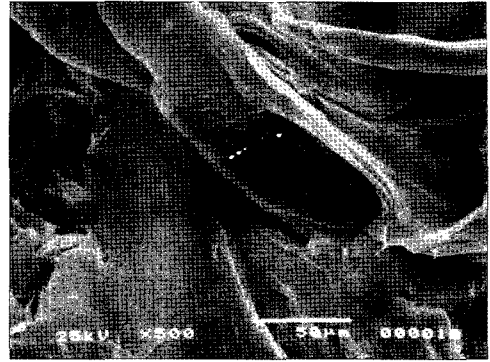
혼합고분자 물질에 있어서 혼합된 2종 이상의 수치 성분들이 서로 약간의 혼합이 일어나는 정도의 친화성을 갖고 있어 여러 상(相)이 존재하며 상의 계면에서 상호결합이 있을 때에 단일 수치에 비해서 충격강도가 크게 향상된다고 알려져 있다.¹⁰ 폐섬유소와 아비틱산이 소량 첨가되었을 때 큰 충격강도를 나타내었다는 것은 아비틱산의 한쪽인 알킬기는 비극성의 여러 수치성분들을 반데르발스 힘으로 붙잡고, 다른 한쪽인 카르복실기는 극성인 섬유소를 수소결합으로 붙잡아 섬유소의 분산성을 높이고 복합체에 유연성을 부여한 것으로 여겨진다. 그러나, 그 이상의 많은 아비틱산이 첨가된 경우에는 매트릭스 내의 계면결합, 즉 분자상호작용에 참여하지 못한 여분의 아비틱산은 그 자체의 약한 물성 때문에 아비틱산이 먼저 파괴되어 충격강도를 크게 떨어 뜨리는 것으로 보인다.

결과적으로, 폐섬유소가 소량 (<20phr)이고 아비틱산이 소량 (<1phr)이 첨가되었을 때 인장강도에는 효과가 없었고 그 대신 신장률과 충격강도는 크게 상승하였다. 일반적으로, 플라스틱의 경우 인장강도가 높으면 충격강도가 낮고, 반대로 인장강

도가 낮으면 충격강도가 높아지는 특성을 갖는다.¹¹ 폴리스티렌에 톱밥(sawdust)을 첨가하고 phthalic anhydride를 상용화제로 사용한 연구¹²에서, 모든 조성에서 폴리스티렌 자체보다 인장강도와 충격강도 함께 감소하였으며, 재생폴리에틸렌에 상용화제 없이 aspen 셀룰로오스 섬유를 혼입하였을 때 인장강도와 충격강도 모두 감소하였다.¹³ 연구자는 사용된 co-rotating twin-screw extruder의 스크류 모양(configuration)이 강도 변화에 영향을 주고, 스크류 각도가 큰 경우에 이송량은 줄어드나 강도의 저하는 가장 적다고 언급하였다. 폴리프로필렌에 쌀겨(rice husk)를 혼입하고 실란을 가교제로 첨가한 연구¹⁴에서는 인장강도는 증가하고 충격강도는 감소하였으며, 폴리프로필렌에 실란으로 처리한 톱밥을 첨가한 연구에서도 인장강도는 증가하였으나 충격강도는 감소하였다.¹⁵ 연구자는 그 이유가 실란에 의한 계면결합의 감소에 기인한다고 주장하고 있다. Maleic anhydride와 peroxide가 첨가된 땅콩껍질/폴리에틸렌 복합체에서 인장강도는 증가하였으나 충격강도는 감소하였으며,¹⁶ maleic anhydride-grafted styrene-ethylene-butylene-styrene triblock copolymer가 상용화제로 사용된 톱밥/폴리프로필렌 복합체에서 이 상용화제는 인장강도에는 별 영향을 주지 못했으나 충격강도는 크게 향상시켰다.¹⁷ 따라서, 혼합폐플라스틱에서 인장강도와 충격강도를 동시에 끌어 올릴 수 있는 그러한 구조체계 또는 그러한 상용화제를 찾는 것이 필요하다. 그런 의미에서 폴리프로필렌에 황마섬유(10cm)를 60 wt% 첨가하고 상용화제(maleic anhydride-grafted polypropylene)을 1 wt%을 사용하여 인장강도를 120%, 충격강도(unnotched)를 175% 향상시켰다는 보고¹⁸는 매우 고무적이다.

Figure 4는 시료 B, C, D의 인장파괴 단면을 보여주고 있다. 아비틱산이 전혀 첨가되어 있지 않은 경우(시료 B)보다 0.5 phr 첨가되었을 경우(시료 C)에서 섬유소는 점점 보이지 않다가 1 phr 포함되었을 경우(시료 D)에는 섬유소는 완전히 보이지 않는다. 아비틱산이 섬유소를 둘러싸고 또한 접점에서 플라스틱과도 결합하여 하나의 유연한 균일상을 이루고 있다. 이는 2축스크류 혼합(compoun-

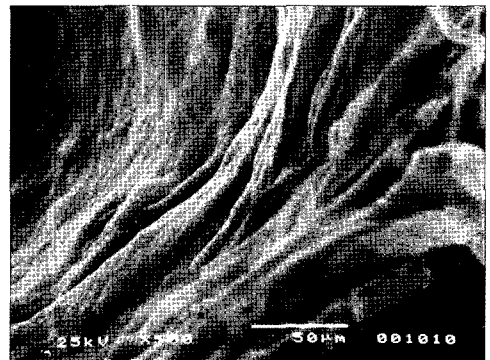
ding)에 의해 섬유소 분산이 잘 되어있으며, 파단시에 균일상이 함께 밀려나간 것으로 보아 아비틱산이 상용화제로서 좋은 효과를 보여주고 있는 것



(1) sample B



(2) sample C



(3) sample D

Figure 4. SEM micrographs of fractured surfaces(sample codes according to Table 2).

을 알 수 있고, 이로 인해 아비틱산의 유연성이 복합체의 신장률과 충격강도의 증가에 크게 기여했음을 나타내고 있다.

IV. 결 론

점차 증대되고 있는 플라스틱 폐기물을 자원화하기 위하여 기계적인 방법을 동원하여 가정한 혼합폐플라스틱에 폐신문지를 혼입하고 아비틱산을 상용화제로 첨가하여 복합체를 형성하고 이의 기계적 성질을 알아보았다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

1) 혼합폐플라스틱에 폐섬유소만을 첨가하였을 경우, 섬유소는 복합체의 인장강도는 증가시켰으나 신장률 및 충격강도는 저하하였다.

2) 혼합폐플라스틱/폐섬유소에 아비틱산을 첨가하였을 경우, 아비틱산은 인장강도에는 별 영향을 주지 못했지만, 섬유소가 소량 첨가되었을 때 인장강도와 충격강도를 크게 향상시켰다. 신장률은 섬유소가 10 phr, 아비틱산이 1.0 phr 첨가되었을 때 가장 높은 수치(10.8%)를 나타냈고, 충격강도는 섬유소가 10 phr, 아비틱산이 0.5 phr 포함되었을 때 가장 높은 수치(109.1 J/m)를 나타내었다. 이는 폐플라스틱 활용에서 가장 중요한 물성인자인 내충격성이 폐플라스틱 자체만으로 비교해 보았을 때 108.6% 향상되었음을 의미한다.

3) 아비틱산에 의한 강도증가는 아비틱산의 한쪽 구조는 친수성이고, 다른 한쪽은 소수성인 데에 기인하여 섬유소의 분산성을 높이고 복합체에 유연성을 부여한 것으로 여겨진다.

감사의 글

본 연구는 수원대학교 환경청정기술연구센터의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 전국 폐기물 발생 및 처리 현황, 환경부, 2000.
 2. B. Hegberg, G. Brenniman, and W. Hallenbeck,

"Mixed Plastic Recycling Technology", Noyes Publications, New Jersey, 1991.
 3. S. H. Hamid, "Handbook of Polymer Degradation", Marcel Dekker, New York, 2000.
 4. J. X. Rietveld and M. J. Simon, "Processability and Properties of a Wood Flour Filled Polypropylene", *Intern. J. Polymeric Mater.*, **18**, 213 (1992).
 5. Y. Wang, H. C. Chan, S. M. Lai, and H. F. Shen, "Twin Screw Compounding of PE-Wood Flour Composites", *Intern. Polymer Processing*, **16**, 2, (2001).
 6. K. Joseph, S. Thomas, and C. Pavithran, "Effect of Chemical Treatment on the Tensile Properties of Short Sisal Fibre-Reinforced Polyethylene Composites", *Polymer*, **37**, 5139 (1996).
 7. D. Maldas, B. V. Kokta, R. G. Raj, and C. Daneault, "Improvement of the Mechanical Properties of Sawdust Wood Fibre-Polystyrene Composites by Chemical Treatment" *Polymer*, **29**, 1256 (1988).
 8. G. Freischmidt and A. J. Michell, "Performance of Zircoaluminate Coupling Agents in Wood Flour/Polyolefin Composites", *Polymer International*, **24**, 241 (1991).
 9. S. Takase and N. Shiraishi, "Studies on Composites from Wood and Polypropylenes", *J. Appl. Polym. Sci.*, **37**, 645 (1989).
 10. A. V. Tobolsky, "Properties and Structure of Polymers", John Wiley and Sons, New York, 1962.
 11. D. W. Van Krevelen, "Properties of Polymer", pp. 423-435, Elsevier, New York, 1990.
 12. D. Maldas and B. V. Kokta, "Influence of Phthalic Anhydride as a Coupling Agent on the Mechanical Behavior of Wood Fiber-Polystyrene Composites", *J. Appl. Polym. Sci.*, **41**, 185 (1990).
 13. K. L. Yam, B. K. Gogoi, C. C. Lai, and S. E. Selke, "Composites from Compounding Wood Fibers with Recycled High Density Polyethylene", *Polymer Engineering and Science*, **30**, 693 (1990).
 14. M.Y.A, Fuad, R. Shukor, Z.A.M. Ishak, and A.K.M. Omar, "Rice Husk Ash as Filler in Polypropylene", *Plastics, Rubber and Composites Processing and Applications*, **21**, 225 (1994).

15. B. V. Korta, R. G. Raj, and C. Daneault, "Use of Wood Flour as Filler in Polypropylene", *Polym.-Plast. Technol. Eng.*, **28**, 247 (1989).
16. D. Maldas, B. V. Kokta, and J. Nizio, "Performance of Surface Modified Nutshell Flour in HDPE Composites", *Intern. J. Polymeric Mater.*, **17**, 1 (1992).
17. J. Wu, D. Yu, C. Chan, J. Kim, and Y. W. Mai, "Effect of Fiber Pretreatment Condition on the Interfacial Strength and Mechanical Properties of Wood Fiber/PP Composites", *J. Appl. Polym. Sci.*, **76**, 1000 (2000).
18. A. K. Rana, A. Mandal, B. C. Mitra, R. Jacobson, R. Lowel, and A. N. Banerjee, "Jute Fiber-Reinforced Polypropylene Composites", *J. Appl. Polym. Sci.*, **69**, 329 (1998).