

## 용융방사에 의한 생분해성 PBS/PBAT 블랜드 모노필라멘트 제조 및 물리적 특성

박성욱\* · 김성훈 · 최혜선 · 조현욱<sup>1</sup>

국립수산과학원 시스템공학과, <sup>1</sup>부산대학교 유기소재시스템공학과

### **Preparation and physical properties of biodegradable polybutylene succinate/polybutylene adipate-co-terephthalate blend monofilament by melt spinning**

**Seong-Wook PARK\*, Seong-Hun KIM, Hea-Sun CHOI and Hyun-Hok CHO<sup>1</sup>**

*Fisheries System Engineering Division, National Fisheries Research &  
Development Institute, Busan 619-902, Korea*

*<sup>1</sup>Division of Organic Material Science and Engineering, Pusan National University,  
Busan 609-735, Korea*

In order to improve the breaking strength and elongation of Polybutylene succinate (PBS) monofilament, the monofilament was produced by blending PBS and Polybutylene adipate-co-terephthalate (PBAT). The PBS/PBAT blend monofilament was prepared by the melt spinning system, and the weight ratios of the compositions of PBS/PBAT was 100/0, 95/5, 90/10 and 85/15, respectively. The breaking strength, elongation, softness and crystallization of PBS/PBAT blend monofilament were analyzed by using a tensionmeter, softness measurement, X-ray diffractometer in the both dry and wet conditions. The PBS/PBAT blend monofilaments were spun in the take-up velocity of 1.19m/sec under the drawing ratio of 6.8:1 condition. The production volumes of PBS/PBAT blend monofilaments showed 20% less than that of Nylon. The breaking strength of PBS/PBAT blend monofilaments were decreased as PBAT contents increased, while elongation and softness were increased. In case of PBAT content were over 5%, the breaking strength, elongation and softness of PBS/PBAT blend monofilaments were not shown to increase in spite of increasing in PBAT contents. Based on these results, it was possible to make the monofilaments with the maximized physical properties when the PBAT contents at 5%.

Keywords: Biodegradation, Polybutylene succinate, Monofilament, Physical properties

\*Corresponding author: swp4283@nfrdi.go.kr, Tel: 82-51-720-2560, Fax: 82-51-720-2586

## 서 론

한국에서의 자망용 그물살의 재질은 1970년대를 기점으로 거의 대부분 면사에서 Polyamide (PA) 계의 Nylon (Ny) 멀티필라멘트 (multifilament) 로 대체되었으며, 1980년대부터 Ny 모노필라멘트 (monofilament) 로 전환되어 현재에 이르고 있다. 자망어구는 조업방법의 특성 때문에 대상종에 따라 2-3회 또는 6개월 조업한 후 신규 어망으로 교체함으로써 그 사용 주기가 짧은 특징을 갖고 있으며, 그 사용량은 연간 2만 5천여 톤이 소비되고 있는 것으로 추정되고 있다. 그러나 이 물질로 제작된 자망은 연소시 다이옥신 등과 같은 환경호르몬 물질이 배출되며, 매립하여도 장기간 분해되지 않아 토양오염을 일으키는 것으로 알려져 있다 (Ryu and Kim, 1998). 또한 자망어구는 바다에 장시간 침지시켰다가 양망하는 수동적 어구이기 때문에 자연적 또는 인위적 요인에 의해 어구가 바다에 유실되어 장기간 유령어업을 발생시키고 있다 (Tschernij and Larsson, 2003; Ayaz et al., 2006; Brown and Macfadyen, 2007).

유령어업의 문제는 1970년대 중반부터 과학자들 사이에서 그 피해를 인식하기 시작하였으며 (Sheldon, 1975), 1995년 국제식량기구에서는 유령어업이 수산자원에 심각한 영향을 주는 요인으로 인식하고 있다. 이는 유실 또는 폐기된 자망이 해수 중에서 생물체 및 효소작용에 의해 분해되지 않는다는 것이 그 근본 원인이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 근래에 들어 미생물에 의해 분해되는 생분해성 지방족 폴리에스테르인 Polybutylene succinate (PBS) 물질을 이용한 모노필라멘트의 개발 및 평가에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 (Park et al., 2007a, 2007b; Park and Bae, 2008; Park et al., 2009; Baek et al., 2009). 그러나 지금까지 개발된 PBS 모노필라멘트의 강도와 유연성은 Ny 모노필라멘트에 비해 낮은 결점을 갖고 있다 (Park et al., 2007a).

일반적으로 고분자의 물성을 향상시키는 방법은 우수한 성질을 가지고 있는 기존의 두개 또는 그 이상의 물질을 중합하여 새로운 고분자를 제조하는 방법과 제조과정에서 연신공정을 개선하는 방법이 이용되고 있다. 강도는 연신비가 커짐에 따라 증가하지만 신장률이 감소하게 된다 (Yoon et al., 2002). 강도와 신장률은 역함수 관계를 갖고 있으며, 신장률과 유연성은 정함수 관계를 갖고 있다.

이 연구에서는 PBS 모노필라멘트의 강도와 신장률을 향상시키기 위하여 강도는 우수하지만 신장률이 낮은 PBS 수지와 구조적인 강도는 낮지만 신장률이 우수한 Polybutylene adipate-co-terephthalate (PBAT) 를 중합하고, 나일론 3호의 굵기에 해당하는 모노필라멘트를 제조하여 강도, 신장률, 유연도 및 결정화도 등 물리적 특성의 변화를 고찰하였다.

## 재료 및 방법

### 시료 및 중합

실험에 사용된 PBS (G4560) 와 PBAT (G8060) 는 (주)이레화학에서 제조된 수지를 사용하였다. PBS는 지방족 글리콜로서의 1, 4 - butanediol 과 지방족 디카르복실산으로서의 succinic acid 을 원료로 하여 에스테르반응과 축중합반응을 거쳐 얻어진 중합물로서 비중 1.26, 용점 115 °C, 수평균 분자량 46,530, 중량평균 분자량 113,650 이다. PBAT는 지방족 글리콜로서의 1, 4 - butanediol 과 방향족 성분인 dimethyl terephthalate 을 원료로 하여 에스테르반응과 축중합반응을 거쳐 얻어진 중합물로서 비중 1.25, 용점 125 °C, 수평균 분자량 45,480, 중량평균 분자량 129,720 이다.

PBS/PBAT 의 중합체는 100/0, 95/5, 90/10, 85/15 (중량비, %) 4종이다. 중합된 각각의 수지는 130 - 150 °C 로 가열하여 펠렛 형태로 제작한 후 80 - 90 °C 조건하에서 수분함량이 200ppm 이하가 되도록 하였다.

모노필라멘트 방사 및 시료

모노필라멘트는 Fig. 1과 같이 용융방사로 방사하였다. 건조된 칩은 방사기에서 용융되어 압력에 의해 spinneret 노즐을 통하여 냉각조로 압출된다. 압출된 모노필라멘트는 냉각수에 의해 즉시 냉각되면서 1차 godet roller를 거쳐 습식조로 들어가게 된다. 습식조에서 나온 모노필라멘트는 2차 godet roller에서 1차 연신과정을 거친 후 열 연신조를 통해 3차 godet roller에서 2차 연신이 이루어진다. 2차 연신과정을 거친 모노필라멘트는 4차 godet roller에서 이완단계 (relax zone)를 거쳐 최종적으로 보빈에 감겨진다. 방사기의 노즐 직경은 1.6mm이며, 노즐수는 40개이며, godet roller의 원둘레 길이는 1m이다.

방사조건은 Table 1과 같으며, 방사된 PBS/PBAT 모노필라멘트는 각각 10개의 보빈에 감겨진 실을 임의 채취하였다.

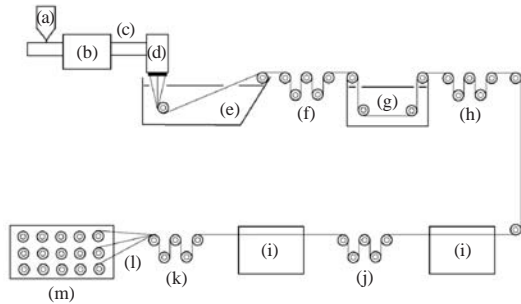


Fig. 1. Schematic representation of PBS monofilament as melt spinning system.

- (a) Polymer injector (b) Cylinder (c) Head (d) Dies
- (e) Cooling water tank (f) 1st godet roller (g) Wet heater
- (h) 2nd godet roller (i) Electric heater (j) 3rd godet roller
- (k) 4th godet roller (l) Monofilament (m) Take-up unit

모노필라멘트 물리적 특성 실험 및 분석방법

각 시료별 모노필라멘트의 직경 (mm)은 1m의 길이로 10가닥을 절단한 후 이를 합하여 소수점 4자리까지 무게를 측정하여 식 (1)로 구하였으며, 테니어 (Td)값은 식 (1)에서 900을 곱하여 계산하였다.

$$\text{diameter (mm)} = \sqrt{\frac{4W}{\pi hc}} \quad (1)$$

W : 모노필라멘트 10m 길이의 무게 (g)

$\pi$  : 3.14159, h : 10, c : 1.26 (비중)

시료의 강도, 신장률 실험은 만능시험기 (Instron 4204, USA)를 사용하였다. 건식 및 습식의 파단강도 및 신장률은 KS K 0409 (2006), 매듭강도 및 신장률은 KS K 0412 (2005) 시험법을 이용하였다. 실험시의 실내온도는  $20 \pm 2$  °C, 상대습도는  $65 \pm 2\%$ 였으며, 습시의 실험은 시료를 실온에서 24시간 동안 증류수에 침지한 후 측정하였다. 시료의 인장시험은 클램프 간격 400mm, 인장속도 400mm/min로 하였다. 시료의 직선과 매듭강도는 상, 하 클램프 부근과 매듭이 없는 곳에서 절단된 실험의 결과는 제외하고 시료의 중앙과 매듭에서 절단되는 시료마다 20회씩 측정하여 평균하였다. 강도와 신장률은 파단점에서의 값으로 하였다.

유연도 측정은 Park et al. (2007b)에 의해 보고된 유연도계를 사용하였다. 유연도 실험은 지름 4cm의 원통에 시료를 20회 감아서 테이프를 양 끝단을 고정시킨 다음 원통에서 벗긴 후 유연도계에 고정시켜 시료를 1.5cm로 압축시켰을 때의 최대값을 측정하였다. 실험은 시료마다 건·습시 상태에서 20개씩 측정하여 평균하였으며, 압축 속도는 2mm/sec였다.

Table 1. Spinning conditions of samples

Cylinder temp. (°C)			Head (°C)	Dies (°C)		Godet roller (rpm)				Heat treatment temp. (°C)			
C1	C2	C3		1st	2nd	1st	2nd	3th	4th	1st	2nd	3th	4th
192	195	198	200	201	203	12	41	81.6	76	2	78	79	85

결정화도 측정은 X - 선 회절분석기 (D/max - III - A, Japan)로 광원 CuK $\alpha$  선을 이용하여 2 $\theta$  = 5 - 40° 에서 0.03°/sec로 측정하였으며, 이때의 측정조건은 전압 40kV, 전류 20mA 였다.

### 결과 및 고찰

#### 모노필라멘트의 직경 및 방사속도

Table 2는 생분해성 폴리에스테르계인 PBS/PBAT 중합체로 압출된 후 연신과정을 거쳐 최종적으로 보빈에 권취된 4종의 모노필라멘트 직경 및 데니어 값을 나타낸 것이다. 4종의 중합체에 의한 모노필라멘트는 40개의 방사노즐을 통해 압출된 후 6.8:1로 연신되었다. 연신된 모노필라멘트는 4차 godet roller에서 3차 godet roller의 회전수보다 6.9% 적은 76rpm으로 이완단계 거친 후 최종적으로 1.19m/sec (71.5rpm)의 속력으로 보빈에 권취되었다. 이러한 방사조건으로 4종의 모노필라멘트를 4시간동안 지속적으로 연신하는 과정에서 모노필라멘트가 절단되는 사례는 거의 없었다. 권취된 4종의 모노필라멘트 직경은 0.284 - 0.287mm였으며, 그 오차는 0.002 - 0.005mm였다. PBS 100%의 수지로 방사된 모노필라멘트 직경은 PBAT 5 - 15%의 중합체로 방사된 것보다 0.002 - 0.003mm 더 가늘게 방사되었는데, 이는 PBS의 중량평균 분자량이 PBAT보다 약 16,000정도 적기 때문인 것으로 사료된다. PBS 100% 수지로 방사된 모노필라멘트 직경은 0.284mm였으며, 이를 데니어로 환산하면 720Td이다. 이것은 동일한 굵기의 나일론 모노필라멘트 (660Td)와 비교할 때 약 9% 정도 증가하는 것으로 나타났으며, 이러한 원인은 두 물질의 비중차에 기인한 것으로 사료된다.

Table 2. Diameter and denier of specimens

Specimen code	Blends (%)	Diameter (mm)	Denier (Td)
T0	PBS/PBAT (100/0)	0.284±0.002	720
T5	PBS/PBAT (95/5)	0.286±0.003	729
T10	PBS/PBAT (90/10)	0.286±0.003	729
T15	PBS/PBAT (85/15)	0.287±0.005	734

한편, 기존 나일론 자망을 제작하기 위해 방사 업계에서는 Ny 모노필라멘트를 4.6:1로 연신한 후 1.67 - 1.75m/sec의 속력으로 생산하고, 무게 단위로 판매하고 있다. 따라서 권취속력과 비중을 감안해 보면, PBS/PBAT 모노필라멘트의 생산능력은 기존 나일론 보다 약 20% 정도 떨어지는 것으로 나타났다.

#### 모노필라멘트의 물리적 특성

Fig. 2는 PBS/PBAT 중합체로 방사된 모노필라멘트 원사에 대한 건시 및 습시의 파단강도를 나타낸 것으로 건·습시의 파단강도는 PBAT가 중합되지 않은 T0에서 가장 높았으며, PBAT 중합비율이 증가함에 따라 파단강도는 감소하는 경향을 나타내었다. 건시의 T0 파단강도를 기준으로 하면, T5는 0.8kg/mm<sup>2</sup>, T10은 2.5kg/mm<sup>2</sup>, T15는 8.5kg/mm<sup>2</sup> 감소하여 T0와 T5의 강도는 유사하게 나타난 반면 T15의 강도는 T0에 비해 현저하게 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향성은 인장강도가 상대적으로 낮은 PBAT의 양이 증가함에 따라 PBAT의 의존적인 물성을 나타내기 때문이라고 사료되며, 이러한 강도의 변화경향은 Kang et al (2008)의 PLA/PBAT 중합체의 필름강도의 변화경향과 유사하게 나타났다. 건시에 대한 습시의 모노필라멘트 파단강도는 T0는 0.5kg/mm<sup>2</sup>, T5는 0.9kg/mm<sup>2</sup>, T10은

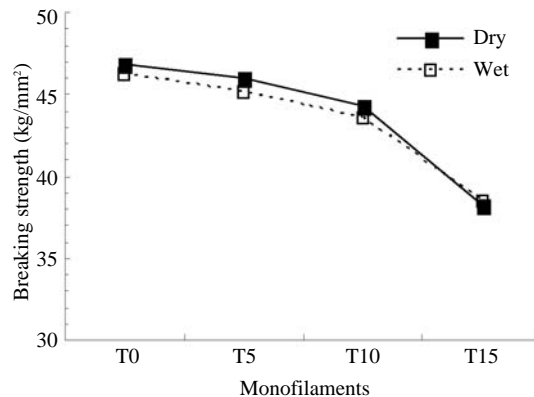


Fig. 2. Line breaking strength of specimens in the dry and wet condition.

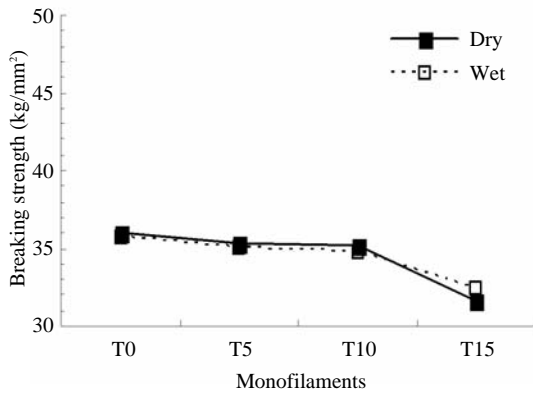


Fig. 3. Knot breaking strength of specimens in the dry and wet condition.

0.7kg/mm<sup>2</sup> 감소하였으나 그 차이는 작았다. 이러한 결과는 PBS의 수분 흡수율이 1% 미만이고 (Kim et al., 2000), PBAT 역시 수분 흡수율이 매우 적기 때문으로 사료되며, Park et al. (2007b)와 동일한 결과를 나타내었다.

Fig. 3은 PBS/PBAT 중합체로 방사된 모노필라멘트를 overhead knot로 매듭하였을 때의 건·습시의 매듭강도를 나타낸 것으로 건시의 T0, T5 및 T10 모노필라멘트 매듭강도는 35.4 - 36kg/mm<sup>2</sup>으로 거의 유사하였으나 T15의 매듭강도는 전자에 비해 약 12% 감소한 31.7kg/mm<sup>2</sup>으로 나타났다. 건시에 대한 습시의 매듭강도는 Fig. 2의 결과와 마찬가지로 약간 감소하였으나 그 차이는 미미하게 나타났다. 이러한 결과는 PBAT의 중량비를 10%까지 중합하여도 매듭강도의 변화에는 차이가 없으나 그 이상 중합하게 되면 매듭강도는 오히려 감소하게 된다. 습시의 매듭강도는 자방어구를 기계 또는 인력으로 양망하는 과정에서 파망되지 않고 반복하여 사용할 수 있는 힘을 가져야 한다. 지금까지 보고된 직경 0.29mm 내외의 나일론 모노필라멘트의 습시 매듭강도는 Park et al. (2007b)이 50.3kg/mm<sup>2</sup>, Prado (1990)가 38kg/mm<sup>2</sup>으로 보고하고 있으며, 이 연구에서 PBS/PBAT 100/0, 95/5, 90/10 및 85/15 중합체로 방사된 모노필라멘트의 습시 매듭강도는 각각 35.8kg/mm<sup>2</sup>, 35.1kg/mm<sup>2</sup>, 34.8kg/

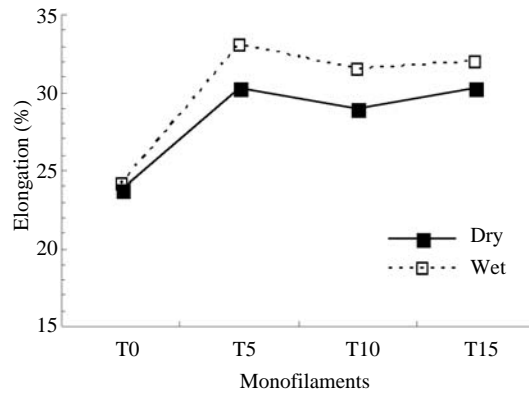


Fig. 4. Elongation of unknotted specimens in the dry and wet condition.

mm<sup>2</sup>, 32.5kg/mm<sup>2</sup>으로 나타난 바, 강도만을 고려하여 생분해성 모노필라멘트를 방사한다면 PBAT의 양을 10% 이하로 중합하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

Fig. 4는 PBS/PBAT 중합체로 방사된 모노필라멘트 원사에 대한 건·습시의 신장률을 나타낸 것으로 모노필라멘트 원사의 건시 신장률은 T0 23.8%로 가장 작았으며, T5 30.3%, T10 29%, T15 30.3%으로 비교적 높게 나타났으며, PBAT의 중합비율 증가에 따른 신장률의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 건시에 대한 습시의 모노필라멘트 원사의 신장률은 모두 증가하였으며, 이 중 T5가 33.1%로 가장 높게 나타났다.

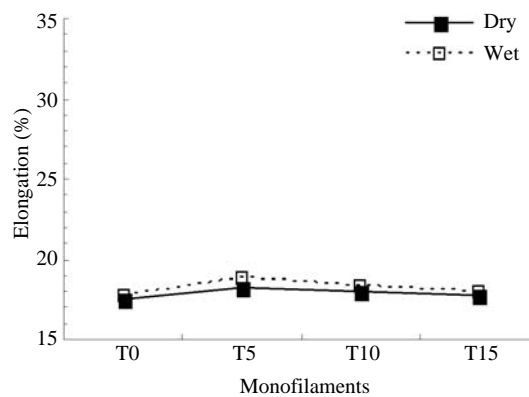


Fig. 5. Elongation of knotted specimens in the dry and wet condition.

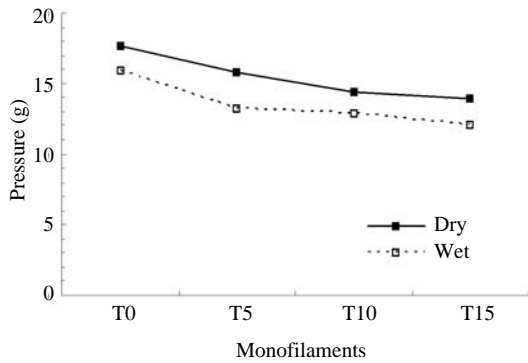


Fig. 6. Softness of specimens in the dry and wet condition.

Fig. 5는 PBS/PBAT 중합체로 방사된 모노필라멘트를 overhead knot로 매듭하였을 때의 건·습시의 매듭 신장률을 나타낸 것으로 건시의 매듭 신장률은 T0에 비해 T5가 약 0.7% 증가한 반면 PBAT 중합비율이 증가함에 따라 신장률의 차이는 나타나지 않았다. 습시의 매듭신장률은 T0가 17.8%, T5가 18.8%, T10이 18.4%, T15가 18%로 신장률의 차이는 크지 않았지만 중합비율 5%에서 다소 높게 나타났다.

Fig. 6은 지름 4cm의 원통에 시료를 20회 감아서 1.5cm로 압축시키는데 걸리는 힘을 나타낸 것으로 PBAT 중합비율이 증가함에 따라 건시의 압축력은 감소하는 것으로 나타났다. 습시의 T0 압축력은 15.9g였으며, 이를 기준으로 볼 때 T5, T10, T15의 압축력은 각각 2.7g, 3g, 3.8g 감소하여 PBAT의 중합비율이 높을수록 함수적으로 유연도가 개선되지 않은 것으로 보아 PBAT를 5%로 중합하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

Fig. 7은 시료별 회절각 (diffraction angle)에 대한 광각 X-선 Diffractogram의 강도를 나타낸 것으로 모든 시료에서  $2\theta = 19.6^\circ, 22.6^\circ$ 에서 정점이 날카롭게 나타나는 것으로 보아 결정화도의 차이는 없는 것으로 사료된다.

따라서 생분해성 PBS/PBAT 모노필라멘트에 대한 방사공정 및 물리적 특성을 정리해 보면, 방사기의 spinneret 노즐을 통해 압출된 40가닥의 모노필라멘트는 연신과정을 통해 최종적으

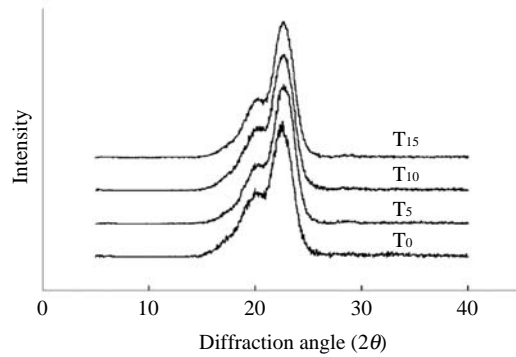


Fig. 7. X - ray diffraction patterns of specimens.

로 보빈에 권취된 직경은 수치적으로 다소 차이가 발생하였으나 그 오차가  $\pm 0.005\text{mm}$  이하로 매우 적었으며, 1.19m/sec의 속력으로 지속적으로 방사하더라도 절단되는 사례가 없는 것으로 보아, 상업적으로 방사할 수 있음을 확인 할 수 있었다. 그러나 PBS/PBAT 모노필라멘트의 생산능력은 나일론보다 약 20% 정도 떨어지는 점을 감안할 때, 생분해성 PBS/PBAT 모노필라멘트의 방사비는 나일론 방사비 보다 약 20% 정도 높아질 것으로 사료된다.

PBS/PBAT 모노필라멘트 원사의 파단강도와 신장률은 건시보다 습시에서 다소 감소하였으나 overhead knot로 매듭을 한 경우에는 이와 반대로 건시보다 습시에서 다소 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 매듭에 수분이 다소 존재하기 때문이라고 사료된다. 특히 자망용 그물감은 double knot로 매듭을 하기 때문에 습시의 강도와 신장률은 이 보다 더 클 것으로 사료된다. PBS 모노필라멘트의 강도 및 신장률을 개선하기 위해 PBS/PBAT의 중합비율에 따른 습시의 파단강도 및 매듭강도, 신장률, 유연도 등을 종합해 볼 때, PBAT 함량이 5% 이상으로 증가하여도 파단강도 신장률, 유연도의 증가가 나타나지 않는 것으로 확인되었으며 PBAT의 양을 5% 내외로 중합하는 것이 좋을 것으로 사료되었다.

앞으로 친환경어업 구축을 위해 PBS 모노필라멘트의 강도, 신장률 및 유연도 등을 지속적으로

로 향상시키기 위해서는 서로 다른 두가지의 물성을 중합하는 것보다 PBS 물질의 분자량 분포 범위를 좁히면서 고분자량이 되도록 하는 중합 공정과 방사속력을 향상시킬 수 있는 기술개발이 이루어져야 하겠다.

## 결 론

PBS 모노필라멘트의 파단강도 및 매듭강도 와 신장률을 향상시키기 위해 PBS/PBAT 중합하여 모노필라멘트를 제조하였다. PBS/PBAT 모노필라멘트는 용융방사공정으로 제조되었으며, PBS/PBAT 중합체의 중량비 100/0, 95/5, 90/10, 85/15였다. PBS/PBAT 모노필라멘트의 건·습시의 파단강도 및 매듭강도, 신장률, 유연도, 결정화도는 장력계, 유연도계, X - 선 회절분석기를 이용하여 분석하였다. PBS/PBAT 블렌드 모노필라멘트는 연신비 6.8:1 조건하에서 1.19m/sec의 속도로 권취되었다. PBS/PBAT 블렌드 모노필라멘트의 생산능력은 기존 나일론 보다 약 20% 정도 떨어지는 것으로 나타났다. PBS/PBAT 블렌드 모노필라멘트의 파단강도는 PBAT 함량이 증가함에 따라 감소하였으며, 신장률과 유연성은 증가하였다. PBAT 함량이 5% 이상일 때 PBAT 함량이 증가하여도 파단강도 신장률, 유연도의 증가는 나타나지 않았다. PBAT 함량이 5% 일 때 물성이 우수한 모노필라멘트를 제조할 수 있음을 확인할 수 있었다.

## 사 사

이 연구는 국립수산과학원 (생분해성 수산소재의 응용 기술 개발, RP - 2010 - FE - 008)의 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- Ayaz, A., D. Acarli, U. Altinagac, U. Ozekinci, A. Kara and A. Ozen, 2006. Ghost fishing by monofilament and multifilament gillnets in izmir bay, Turkey. Fisheries Research, 79, 267 - 271.
- Baek, J.M., S.W. Park and E.K. Hwang, 2009. Afforestation of brown alga, ecklonia cava kjellman using a biodegradable polybutylene succinate. J. Kor. Fish. Aqual. Sci., 42 (5), 523 - 526.
- Brown, J. and G. Macfadyen, 2007. Ghost fishing in European waters : Impacts and management responses. Marine Policy, 31, 488 - 504.
- Kang, K.S., B.S. Kim, W.Y. Jang and B.Y. Shin, 2008. Morphology, thermal and mechanical properties of Poly (lactic acid)/Poly (Butylene adipate-co-terephthalate)/CMPS Blends. Polymer, 33 (20), 164 - 168.
- Kim, Y.J., S.I. Lee and B.Y. Shin, 2000. Mechanical properties, biodegradable and weatherability of poly (butylene succinate)/calcium carbonate composite. Applied chemistry, 4 (1), 77 - 80.
- Park, S.K., S.W. Park and H. J. Kwon, 2009. Economic analysis of biodegradable snow crab gill net model project. J. Kor. Soc. Fish. Tech., 45 (4), 276 - 286.
- Park, S.W. and J.H. Bae, 2008. Weatherability of biodegradable polybutylene succinate (PBS) monofilaments. J. Kor. Soc. Fish. Tech., 44 (4), 265 - 272.
- Park, S.W., C.D. Park, J.H. Bae and J.H. Lim, 2007a. Catching efficiency and development of the biodegradable monofilament gill net for snow crab, Chionoecetes opilio. J. Kor. Soc. Fish. Tech., 43 (1), 28 - 43.
- Park, S.W., J.H. Bae, J. H. Lim, B.J. Cha, C.D. Park, Y.S. Yang and H.C. Ahn, 2007b. Development and physical properties on the monofilament for gill nets and traps using biodegradable aliphatic polybutylene succinate resin. J. Kor. Soc. Fish. Tech., 43 (4), 281 - 290.
- Prado, J., 1990. Fisherman's workbook. Fishing news books, Oxford, pp. 13.
- Ryu, K.E. and Y.B. Kim, 1998. Biodegradation of polymers. Polym. Sci. Tech., 9 (6), 464 - 472.
- Sheldon, W.W, 1975. Trap contribution of losses in the American lobster fishery. Fish Bull., 73, 449 - 451.
- Tschernij, V. and P.O. Larsson, 2003. Ghost fishing by

- lost gill nets in the baltic sea. Fisheries Research, 64, 151 - 162.
- Yoon, S.H., T.K. Kim, Y.J. Lim and Y.A. Son, 2002. The physical properties and the dyeability of nylon fibers prepared by high speed spinning at different godet roller draw ratio. J. Kor. Soc. Fish. Tech., 14 (6), 335 - 341.
- 
- 2010년 6월 9일 접수  
2010년 7월 30일 1차 수정  
2010년 8월 9일 수리