

고속 전단 가공에서 페놀계와 인산계 산화방지제에 의한 PC/ABS 블렌드의 물성 변화 연구

이한기 · 김선홍* · 이형일* · 유재정** · 용다경** · 최석진*** · 이승구** · 이기윤*,†

HYUNDAI MOTOR GROUP 자동차부품 연구개발본부 고분자재료연구팀

445-706 경기도 화성시 장덕동 772-1

*충남대학교 고분자공학과

305-764 대전광역시 유성구 대학로 99

**충남대학교 유기소재 · 섬유시스템공학과

305-764 대전광역시 유성구 대학로 99

*** (주)현대엔지니어링 기술개발팀

151-742 서울특별시 관악구 관악로 599 서울대학교 314동

(2013년 10월 28일 접수, 2013년 12월 22일 수정본 접수, 2013년 12월 29일 채택)

Effects of Phenolic and Phosphite Antioxidants on the properties for PC/ABS Blends during High-Shear-Rate Processing

Han Ki Lee, Seon Hong Kim*, Hyung Il Lee*, Jae Jung Yoo**, Da Kyoung Yong**, Seok Jin Choi***,
Seung Goo Lee** and Kee Yoon Lee*,†

Department of Polymer Materials Research Team, Automotive Research&Development, Hyundai Motor Group,
772-1 Jangduk-dong, Hwanseong-si, Gyeonggi-do 445-706, Korea

*Department of Advanced Polymer Engineering, Chungnam National University, 99 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 305-764, Korea

**Department of Advanced Organic Materials & Textile System Engineering, Chungnam National University,
99 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 305-764, Korea

***New Technology Development Team, Research & Development Division, Hyundai-ngv,
314 dong, Seoul National University, 599 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 151-742, Korea

(Received 28 October 2013; Received in revised form 22 December 2013; accepted 29 December 2013)

요 약

Polycarbonate/Acrylonitrile-Butadiene-Styrene(PC/ABS) 블렌드의 분해효과를 조사하기 위해 고전단 압출 성형기의 스크류 회전속도와 전단시간의 함수로 PC/ABS의 물성변화에 영향을 미치는 산화방지제의 효과를 연구하였다. 인산계 산화방지제로 Tris-(2,4-di-tert-butyl-phenyl phosphate) (이후 A1로 명명) and Bis(2,4-dicumylphenyl) pentaerythritol diphosphite(이후 A3로 명명)가 사용되었고, 페놀계 산화방지제는 Octadecyl 3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl) propionate(이후 A2로 명명)가 사용되었다. 열적 물성은 TGA를 통해 측정되었고 고속 전단 가공 후 크게 감소하였다. 산화방지제 A3가 포함된 PC/ABS 블렌드는 다른 산화방지제에 비해 스트레스로 유발된 degradation과, 열적 degradation이 지연되었다. 고속 전단 가공 후 UTM을 사용한 기계적 물성 또한 산화방지제 종류에 따라 각각 감소하였고, 특히, 신율의 경우 크게 감소하는 거동이 나타난 것에 비해 인장강도의 변화는 매우 적었다. 스크류 회전속도 1000 rpm, 전단 부하 시간 20초 조건에서의 신율로 예를 들면, 고속 전단 가공하기 전 신율인 148%에서 A1은 91.6%, A2는 63%, A3은 131%로 감소하였다. 형태학적 물성을 알기 위해 SEM을 사용하여 PC/ABS의 분산상을 조사하였고, 스크류 회전속도와 하중이 작용한 기간이 증가함에 따라 그 크기 분포가 감소하였다. 따라서, 세 종류 산화방지제 모두 고속 전단 가공에서 스트레스로 유발되는 PC/ABS 블렌드의 degradation을 억제하고, 그 효과는 A3가 가장 뛰어난 것을 확인하였다.

Abstract – The effects of antioxidants on the properties of Polycarbonate/Acrylonitrile-Butadiene-Styrene(PC/ABS) blends were studied for the functions of the screw speed and loaded duration of high shear rate processing in order to investigate the degradation for PC/ABS blends. Tris-(2,4-di-tert-butyl-phenyl phosphate) (A1) and Bis(2,4-dicumylphe-

†To whom correspondence should be addressed.

E-mail: kylee@cnu.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

nyl) pentaerythritol diphosphite (A3) as phosphite antioxidants and Octadecyl 3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl) propionate (A2) as a phenolic antioxidant are used. The thermal properties were detected by TGA and severely decreased, after the processing. The stress-induced and thermal degradation for PC/ABS blends with the antioxidant A3 was retarded better than the others. By using UTM, the mechanical properties also showed individually decreased according to the antioxidants, after the processing, especially, the elongations showed considerable decline behaviors, while the tensile strengths of PC/ABS blends changed very little. For example, in the operating conditions of 1000rpm of screw speed and 20 seconds of loaded period, the elongations decreased from 148% before the processing, to 91.6% with the A1, to 63% with the A2 and to 131% with the A3 after the processing, respectively. In order to get the morphological properties, the size distributions of the dispersed phases for PC/ABS were investigated by SEM analysis and tended to decrease, as the screw speed and loaded period of the processing increased. Therefore, we confirmed that the antioxidant A3 was the best of all of three to inhibit the stress-induced degradation of PC/ABS blends during the high shear rate processing.

Key words: PC/ABS Blend, Antioxidant, Degradation, High Shear Processing, Thermogravimetric Analysis

1. 서 론

Polycarbonate/Acrylonitrile-Butadiene-Styrene(PC/ABS) 블렌드는 PC의 우수한 기계적, 열적 물성과 ABS의 가공용이성과 우수한 탄성 등의 장점을 유지하며 서로의 단점을 상호 보완하는 고 기능성 고 분자 소재로서 현재 많은 연구가 이루어지고 있다[1-4]. PC/ABS 블렌드는 자동차 내장 부품 또는 전자제품 등에 널리 사용되고 있으며 현재까지도 많은 양이 생산되고 있지만[5], 비상용성 블렌드계에 속하는 PC/ABS 블렌드의 상 분리 현상에 의한 물성저하를 해결하기 어렵다는 문제점이 있어 그 용도가 제한되고 있다. 따라서 PC와 ABS를 블렌드 할 경우 사용목적에 부합하는 특성을 얻기 위해 상용화제 사용 및 개질된 ABS 등을 사용하는 제조공정이 필요하다[6-8].

최근 개발된 고속 전단 가공법[9]은 높은 전단력을 가하여 용융 블렌딩 하는 방법으로 비상용성 블렌드계의 고분자들을 블렌드 함에 있어 상용화제를 첨가하지 않고도 상용성을 개선할 수 있고 나노 수준의 분산상 형성이 가능하므로 물성의 향상을 기대할 수 있다.

그러나 PC/ABS 블렌드는 열에 취약하여 일반적인 용융 블렌딩 공정에서도 가공 후 변색 및 물성의 저하가 발생하는 문제점이 나타나기 때문에 가공 과정에서 산화방지제를 첨가해야 한다. 따라서 고속 전단 가공에서도 산화방지제의 사용은 필수적인 요소이다. 단, 고속 전단 가공의 경우 스크류 회전속도가 3000 rpm까지 상승하므로 기존 압출기보다 높은 전단력이 가해지게 된다. 그러므로 기존의 산화방지제로는 충분한 효과를 얻기에 어려움이 있을 수 있다.

따라서 본 연구는 고속 전단 가공 시 PC/ABS 블렌드에 발생하는 degradation을 방지할 수 있는 산화방지제를 찾아내는데 그 목적이 있다. 3종류의 산화방지제를 PC/ABS 블렌드에 첨가하였고 고전단 압출 성형기를 이용하여 스크류 회전속도와 전단 부하 시간에 따라 가공하였다. TGA(Thermo gravimetric Analysis)를 이용하여 열분해 과정을 분석하였고, SEM(scanning electron microscope)과 UTM(universal testing machine)을 이용하여 각각 분산상의 변화와 인장강도 그리고 신율을 측정하였다.

2. 실험

2-1. 원료 및 시편 제작

본 연구에서는 전단효과에 대한 오차를 감소시키기 위해서 PC, ABS를 80/20의 비율로 LG(주)에서 사전에 컴파운드된 재료를 사용하였다. 사용된 PC의 분자량은 37000 g/mol이며 ABS의 butyl rubber 함량은 15%이다. 본 연구에서는 고속 전단 부하 실험을 하기 전의

시료를 컴파운드라고 명명했다. 페놀계 산화방지제는 Adeka Korea의 Octadecyl 3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl)propionate을 사용하였다. 인산계 산화방지제로는 Ciba-Geigy사의 Tris-(2,4-di-tert-butyl-phenyl phosphite)와 Dover Chemical Corporation의 Bis(2,4-dicumyl-phenyl)pentaerythritol diphosphite를 사용하였다. 페놀계와 인산계 산화방지제의 화학적 구조를 Table 1에 나타내었다.

2-2. 고속 전단 부하 실험

고전단 압출 성형기는 Nigata Machine Techno의 NHSS2-28을 사용하였다. 장비의 구조는 Fig. 1에 간략히 나타내었다. 장비는 크게 가소화부와 고전단부로 나누어져 있다. 가소화부의 스크류 직경은 25 mm이다. 고전단부는 4부분의 가열부위로 구분되어 각 부분의 온도 제어가 가능하며 스크류 직경은 28 mm이었고, 양 끝단에 수지가 이동할 수 있는 통로가 존재하여 수지의 내부 순환이 가능한 구조의 순환식 스크류가 적용되어 있다. 순환식 스크류의 구조는 Fig. 2에 자세히 나타내었다. 최초 가소화부에서 사전용융, 혼합된 수지는 고전단부로 사출되어 순환식 스크류에 의해 회전속도를 일정하게 유지시키면서, 원하는 작업시간까지 전단 부하를 가할 수 있는 장점이 있다.

고속 전단 가공 실험하기 전 컴파운드는 100 °C의 진공 오븐에서 24시간 동안 사전 건조하였다. 이후 약 1 phr의 산화방지제와 혼합하였다. 산화방지제가 첨가된 PC/ABS 블렌드는 NHSS2-28를 통해

Table 1. Chemical structures of antioxidants

Material	Structure
Tris-(2,4-di-tert-butyl-phenyl phosphite) [A1]	
Octadecyl 3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl) propionate [A2]	
Bis(2,4-dicumylphenyl) pentaerythritol diphosphite [A3]	

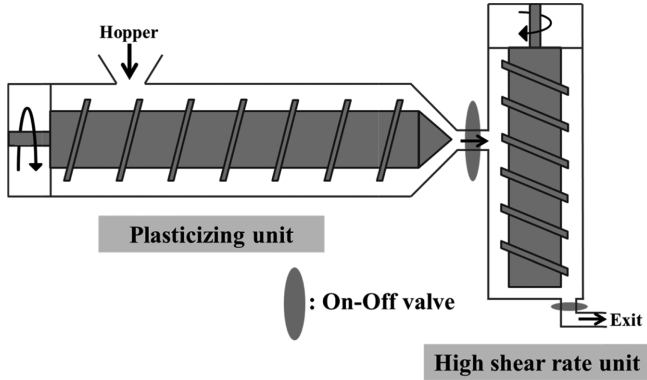


Fig. 1. Schematic view of the experimental machine for high shear rate process (NHSS2-28).

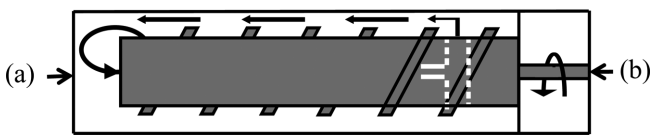


Fig. 2. Schematic view of feedback type single screw extruder for the high shear rate processing which has sensors for the resin temperature at the position (a), and the torque at the position (b).

Table 2. Operating conditions of high shear rate process

Temp.	Plasticizing unit	180~220 °C					
	High shear rate unit	220 °C					
Screw speed (rpm)		1000		2000		3000	
Processing time (sec)		10	20	30	40	20	20

220 °C에서 고속 전단 가공하였으며 이때의 가공조건은 Table 2에 나타내었다.

2-3. TGA Measurement

열 분해거동을 확인하기 위한 열 중량 분석(thermogravimetric analysis, TGA)은 Mettler-Toledo 社의 열 분석기(Thermal Analyzer)를 사용하였다. 질소분위기에서 20~600 °C 온도 범위에서 10 °C/min의 속도로 승온하였으며 약 5 mg의 시료를 사용하였다.

2-4. Mechanical Properties Measurement

기계적 물성 측정기로 Instron Inc.의 만능시험기(universal testing machine, UTM, Instron® 4467)를 사용하여 인장강도와 신율을 측정하였다. 인장시편은 프레스를 사용하여 JIS K6251-8 규격으로 제작하였다. 로드셀은 30 kN이고, cross head speed는 20 mm/min이었으며, gage length는 10 mm로 실험을 수행하였다.

2-5. SEM Measurement

주사전자현미경(scanning electron microscope, SEM)은 HITACHI 社의 S-4800를 사용하였다. 고속 전단 가공한 시편을 전처리 하기 위해 액체질소 하에서 절단하였고, 시편의 파단면을 자세히 관찰하기 위해 ABS 분산상을 에칭하였다. 에칭은 H₂SO₄ 120 ml, H₂O 30 ml 그리고 Cr₂O₃ 5 g의 혼합용액에서 80 °C로 유지하여 5분간 실시하였다. 에칭한 시편은 30~50Å의 두께로 백금 코팅한 후 SEM을 통해 블렌드의 미세구조를 관찰하였다.

3. 결과 및 토론

3-1. 고속 전단 성형가공

Fig. 3과 4는 실험 시 고전단 압출 성형기에 작용하는 토크값과 수지 온도 변화를 나타낸다. Fig. 3의 측정된 토크값은 각 스크류 회전 속도에서 모두 최대치를 기록한 후 지속적으로 감소함을 보이는데, 스크류 회전속도가 1000 rpm에서 3000 rpm으로 증가할수록 오히려 감소하는 경향을 보였다. 이와 연계되어 측정된 수지 온도는 Fig. 4에서 스크류 회전속도가 증가함에 따라 고분자의 내부마찰에 의한 온도 상승으로 1000 rpm에서는 최대 약 215 °C로, 3000 rpm에서는 최대 약 235 °C까지 상승하였다. 고전단에 의한 온도 상승으로 인하여 1000 rpm에서의 고분자 점도 보다 3000 rpm에서의 점도가 더 감소한다. 따라서 1000 rpm에서 3000 rpm으로 증가할수록 토크값이 감소하는 경향을 Fig. 3에서 볼 수 있다.

3-2. Thermogravimetric Analysis

Fig. 5는 고속 전단 가공을 통해 얻어진 시료의 TGA 분석 결과로부터 열분해에 의한 중량 손실 추이를 나타낸다. Fig. 5(a)에 사전 컴

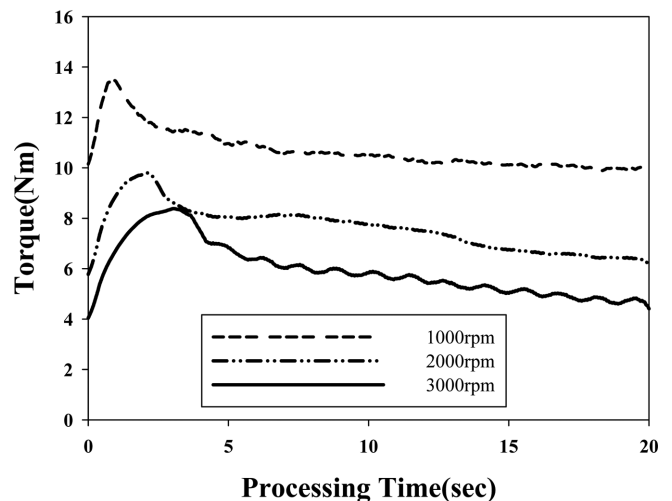


Fig. 3. Torque distributions at the section (b) of high shear rate process from 0 to 20 sec.

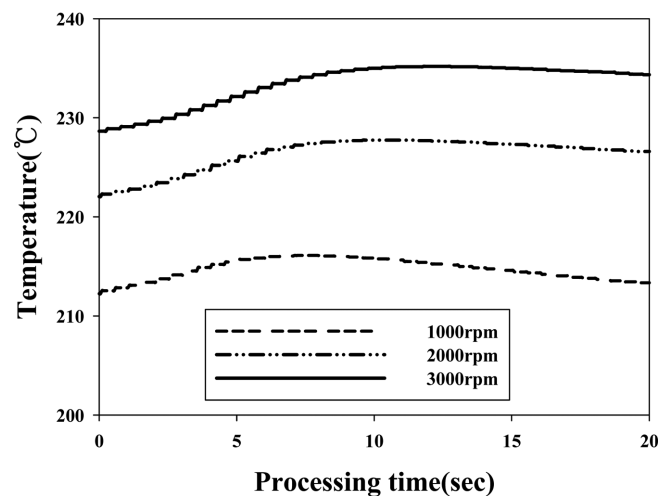


Fig. 4. Resin temperature distributions at the section (a) of high shear rate process from 0 to 20 sec.

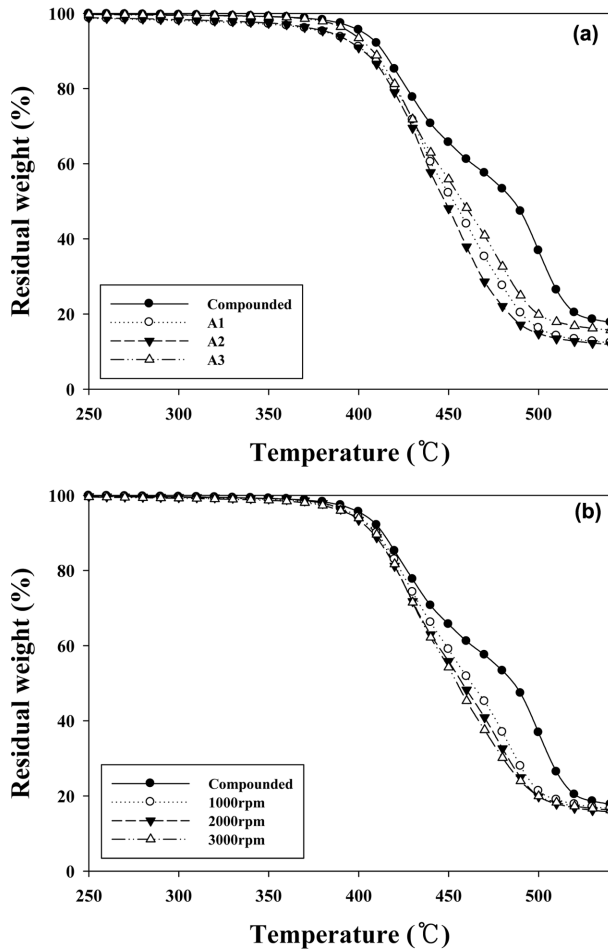


Fig. 5. Thermal properties of PC/ABS blends compounded and treated of high shear rate process with antioxidants A1, A2 and A3 at the processing time 20 sec and the screw speed 1000, 2000 and 3000 rpm.

파운드된 시료인 컴파운드(Compounded)와 이에 3종류의 산화방지제를 첨가하여 고전단 압출 성형기의 2000 rpm의 스크류 회전 속도로 20초간 전단을 부하하여 압출한 경우의 열분해 경향을 비교하였다. 인산계 산화방지제는 Bis(2,4-dicumylphenyl)pentaerythritol diphosphite와 Tris(2,4-di-tert-butyl-phenyl phosphate)를 사용하였으며 각각 A1, A3으로 명명하였다. 페놀계 산화방지제는 Octadecyl 3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl)propionate를 사용하였고 A2로 명명하였다. H. Zhong[10]에 의하면 PC/ABS의 열 중량 분석에서 두 번의 중량감소 단계가 관찰된다. Fig. 5에 컴파운드 시료는 420 °C 전후에서 1차적인 중량감소, 500 °C 전후로 2차적인 중량감소가 단계적으로 나타났으나, 고속 전단 가공을 거친 시료들은 비교적 선형적으로 감소하고 있다. 이를 블렌드의 상용성의 향상으로 판단하는 보고도 있었다 [10]. 또한 고속 전단 가공을 거친 시료들은 컴파운드만 된 시료보다 더 빨리 열화됨을 보였다.

Fig. 5에서 산화방지제 A3을 사용한 경우에 390 °C에서 컴파운드 시료(2.6% 분해)와 비교하였을 때, 약 3.6% 분해되었고, 산화방지제 A1의 경우는 6.3%, A2의 경우 6.2% 분해되었다. 중량감소 경향은 유사하지만 산화방지제 A3을 사용한 경우에 A1과 A2의 경우 보다 열 중량 손실이 동일 온도에서 비교할 때에 훨씬 작았다. 따라서 고속 전단에 의한 degradation의 영향으로 더 낮은 온도에서 열분해가

시작되며 산화방지제 A3가 A1과 A2의 경우보다 열화 방지 효과가 탁월함을 나타냈다.

Fig. 5(b)에 산화방지제 A3을 사용하여 1000~3000 rpm까지의 스크류 회전속도로 20초간 고전단을 가한 시료의 열 분해 질량 변화를 측정하였다. 고전단 압출 성형기의 스크류 회전속도를 1000, 2000, 3000 rpm으로 증가하면 390 °C에서 잔류질량은 96.5%, 96.4%, 그리고 96.0%로 나타나서, 스크류 회전속도가 증가할수록 열분해가 더 많이 진행됨을 보여주었다.

3-3. Mechanical Properties

고속 전단 가공한 PC/ABS 블렌드의 기계적 물성을 알아보기 위하여 인장강도와 신율을 측정된 결과를 Fig. 6과 7에 나타내었다. Fig. 6은 고전단 압출 성형기에서 전단 부하 시간을 20초로 고정하고 스크류 회전 속도를 500~3000 rpm까지 변화시켜 가공한 샘플을 JIS K6251-8 규격으로 인장강도와 신율을 측정된 것이다. 여기에서 스크류 회전속도 0은 전단을 가하지 않은 컴파운드 시료를 의미한다. Fig. 6(a)에서 인장강도는 약 50 MPa에서 큰 변화가 나타나지 않았으나 Fig. 6(b)에서의 신율은 전체적으로 감소하는 경향이 나타났다. 컴파운드 시료의 신율은 148%이고, 1000 rpm을 기준으로 하여 산화방지제 A3, A1 그리고 A2가 각각 131%, 91.6% 그리고

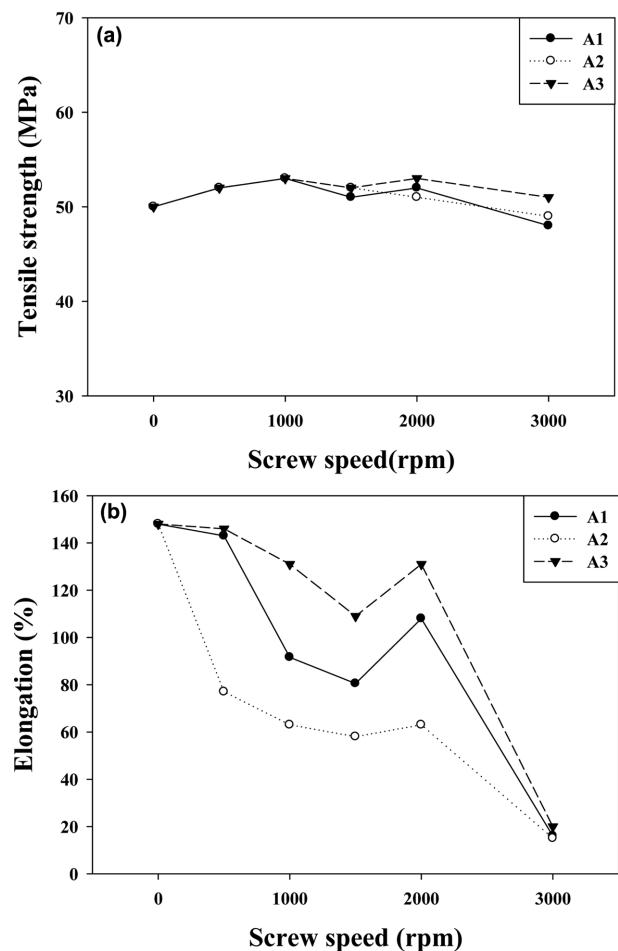


Fig. 6. Mechanical properties of PC/ABS blends compounded and treated of high shear rate process with antioxidants A1, A2 and A3 at the screw speed 0 to 3000 rpm, and the processing time 20 sec the tensile strength (b) the elongation.

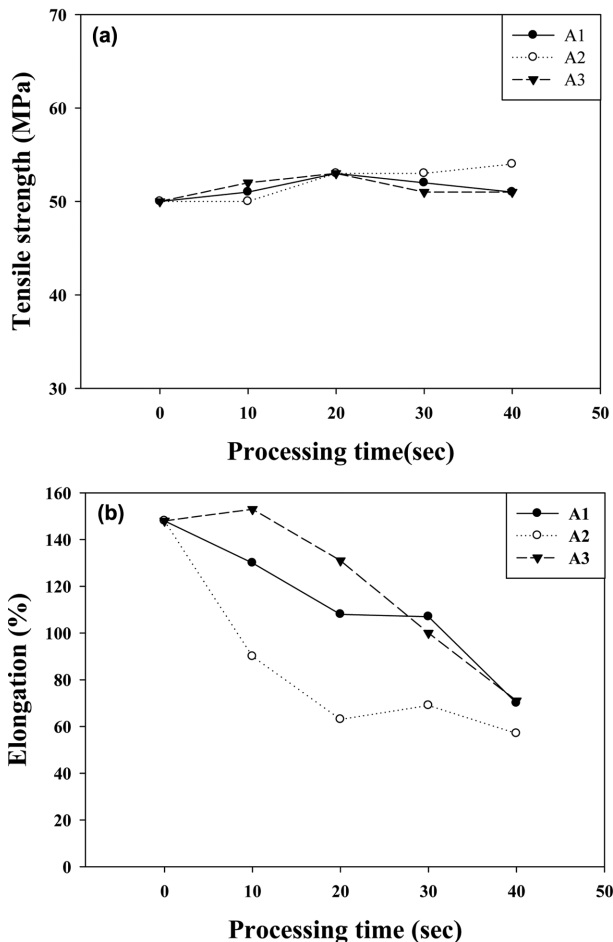


Fig. 7. Mechanical properties of PC/ABS blends compounded and treated of high shear rate process with antioxidants A1, A2 and A3 at the screw speed 2000 rpm, and the processing time 10 to 40 sec the tensile strength (b) the elongation.

63%의 신율을 보였다. 따라서 기계적 물성에서 볼 때 산화방지제의 효과는 A3이 가장 우수하게 나타났으며, PC/ABS 블렌드의 degradation이 발생하지 않는 가정하에서 전단 효과를 보기 위한 스크류 회전 속도는 1000 rpm이 바람직했다. 반면에, 2000 rpm에서는 재료가 경직현상이 나타나기 시작하여 분해가 의심이 되며 3000 rpm에서는 재료의 경직화가 많이 진척되어 신율이 3가지 산화방지제 모두 약 20% 정도까지 감소하여 확실히 분해가 되었다고 판단할 수 있었다.

Fig. 7은 고전단 압출 성형기의 스크류 회전속도를 2000 rpm으로 고정하고 전단 부하 시간을 10~40초까지 변화시킨 후 인장강도와 신율을 측정하는 것이다. Fig. 6(a)와 마찬가지로 인장강도는 초기값 50 MPa에서 큰 변화가 없지만 Fig. 7(b)의 신율은 감소하였다. Fig. 7(b)에서 전단 부하 시간에 따른 신율을 확인해 보면 20초일 때 A3, A1 그리고 A2는 각각 131%, 108% 그리고 63%로 나타나며 전단 부하 시간이 길어지면 스크류 회전속도가 증가할 때와 마찬가지로 신율이 감소했다. 산화방지제 A3와 A1의 경우 비교적 높은 신율을 유지하지만 A2의 경우 10초에서 약 90%까지 감소하여 20초 이후로는 약 60%를 유지하고 있어 분해되는 전단 부하시간(processing time)이 상대적으로 낮은 값을 나타내었다.

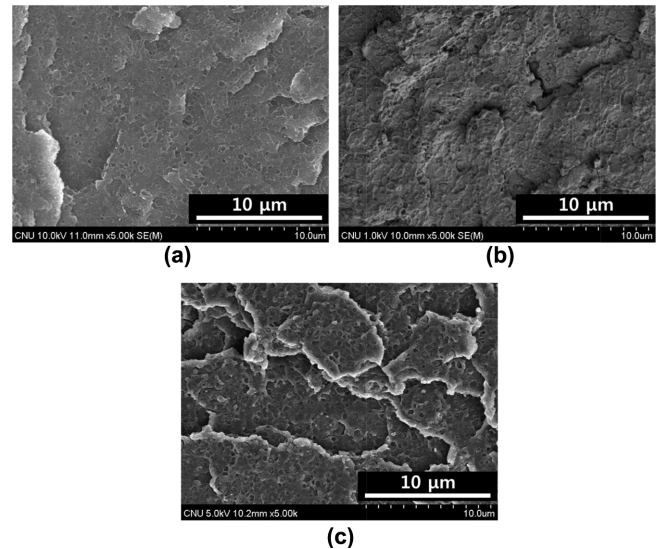


Fig. 8. SEM images of the PC/ABS blend by high shear processing at screw speeds of 1000 rpm and processing time 20 sec with the antioxidants (a) A1, (b) A2 and (c) A3.

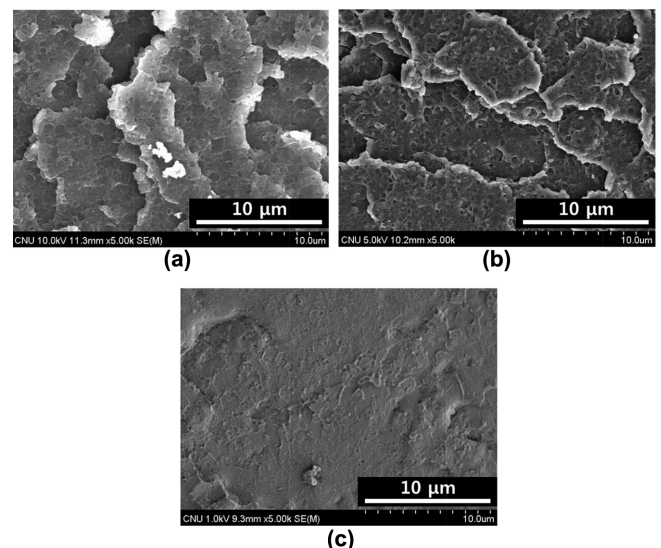


Fig. 9. SEM images of the PC/ABS blend with the antioxidant A3 by high shear processing at the processing time 20 sec and the screw speeds of (a) 1000 rpm, (b) 2000 rpm, (c) 3000 rpm.

3-4. Morphology

각각의 산화방지제를 사용하여 2000 rpm, 20초간 고속 전단 가공한 시편의 파단면을 SEM으로 관찰한 결과를 Fig. 8에 나타내었다. (a)는 산화방지제 A1, (b)는 산화방지제 A2 그리고 (c)는 산화방지제 A3를 사용하였으며 모두 SEM의 5000배율로 측정하였다.

Fig. 8의 (a) A1와 (c) A3의 파단면은 확실히 구분되어 ABS 분산상의 경계가 비교적 명확하게 나타나지만 Fig. 8의 (b) A2의 경우는 분산상의 경계가 불분명하며 표면이 마치 진흙과 같이 나타나 상의 구분이 어렵다. 이는 고속 전단에 의한 degradation의 영향이 나타난 것으로 사료된다.

Fig. 9는 산화방지제 A3를 사용하고 스크류 회전속도가 (a) 1000 rpm, (b) 2000 rpm 그리고 (c) 3000 rpm일 때 고속 전단을 20초간 가하여 가공한 시편을 SEM으로 관찰한 결과이다. SEM 관찰에서 스크류 회

전속도가 증가할수록 분산상의 크기가 작아지는 경향이 나타났다. 따라서 고속 전단 압출 성형을 통한 상용성의 향상을 기대할 수 있겠다.

또한, 이러한 상용성의 향상에 대한 현상은 Fig. 5에서 질량 감소 경향이 선형으로 나타났고, Fig. 6(a)와 7(a)의 20초 전단 부하 시간에서, 인장강도가 스크류 회전속도 1000 rpm까지 약간 상승하였으며, Fig. 9에서는 분산상의 크기가 작아짐을 볼 수 있었다. 다만, 이같은 PC/ABS 블렌드의 상용성 향상 경향은 Fig. 6(b)에서 스크류 회전속도가 3000 rpm에 근접하면서 신율의 급격한 감소로 degradation의 발생이 의심되었고, Fig. 7(b)에서는 전단 부하 시간이 30초를 초과하면서 신율의 급격한 감소가 발생되었다. 이는 고속 전단 가공의 경우 PC/ABS 블렌드에서는 일정 가공조건을 초과하면, 상용성향상을 넘어 degradation까지 진행됨을 알 수 있었다.

4. 결 론

고속 전단 가공법을 이용한 PC/ABS 블렌드의 물성을 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

고속 전단 가공한 PC/ABS 블렌드의 상용성 향상에 대한 현상은 TGA 분석에서 질량 감소 경향이 선형으로 나타난 결과와 인장강도가 스크류 회전속도 1000 rpm까지 약간 상승한 점, SEM 관찰에서 분산상의 크기가 작아지는 사실을 통해 간접적으로 확인할 수 있었다. 다만, 이와 같은 PC/ABS 블렌드의 상용성 향상 경향은 스크류 회전속도가 3000 rpm에 근접하는 경우와 2000 rpm에서 전단 부하 시간이 30초를 초과하며 나타나는 신율의 급격한 감소로 degradation의 발생이 의심되었다.

따라서 고속 전단 가공의 경우 PC/ABS 블렌드에서는 일정 가공조건을 초과하면, 상용성향상을 넘어 degradation까지 진행됨을 알 수 있었다. 이는 고속 전단 가공에 있어 적절한 가공조건과 산화방지제의 선택이 매우 중요함을 의미한다.

가공 시 산화방지제를 사용할 경우 고속 전단에 의한 degradation으로 나타나는 물성의 감소를 줄일 수 있으며 A3>A1>A2의 순서로 산화방지제의 효과가 크게 나타났다.

감 사

이 논문은 2012년도 (주)현대 NGV의 재원으로 지원되어 수행된 연구입니다(2012-0488).

References

1. Lee, I. T., Kim, B. S., Park, L. S., Kwon, Y. H. and Chang, J. G., "Thermal, Mechanical and Rheological Properties of Ternary PC/ABS Blends," *Polymer(Korea)*, **15**(2), 141-146(1991).
2. Lee, Y. K., Kim, J. M. and Kim, W. N., "Mechanical and Morphological Properties of Poly(acrylonitrile-butadiene-styrene) and Poly(lactic acid) Blends," *Korean Chem. Eng. Res.(HWAHAK KONG-HAK)*, **49**(4), 438-442(2011).
3. Lee, S. C. and Kim, H. S., "Effect of Injection Molding Conditions on the Morphology and Mechanical Properties of PC/ABS Blends," *The Korean J. Rheology*, **8**(3-4), 177-186(1996).
4. Krache, R. and Debbah, I., "Some Mechanical and Thermal Properties of PC/ABS Blends," *Materials Sciences and Applications*, **2**, 404-410(2011).
5. Kim, C. K., "Polycarbonate Blends and Their Applications," *Polymer Science and Technology*, **4**(6), 439-443(1993).
6. Cho, C. G., "Study on the Development of Highly Efficient Compatibilizer for Polymer Alloys," *J. Korean Ind. & Eng. Chemistry*, **7**(4), 757-767(1996).
7. Song, K. H., Hong, J. H., Sung, Y. T., Kim, Y. H., Han, M. S., Yoon, H. G. and Kim, W. N., "Rheological, Mechanical and Morphological Properties of Poly(acrylonitrile-butadiene-styrene)/Polycarbonate Blends with ABS-g-MAH," *Polymer(Korea)*, **31**(4), 283-288(2007).
8. Balakrishnan, S., Neelakantan, N. R., Saheb, D. N. and Jog, J. P., "Rheological and Morphological Behaviour of Blends of Polycarbonate with Unmodified and Maleic Anhydride Grafted ABS," *Polymer*, **39**(23) 5765-5771(1998).
9. S. Hiroshi, L. Yongjin, K. Akira, and S. Hironari, "Formation of Nanostructured PVDF/PA11 Blends Using High-Shear Processing," *Macromolecules*, **38**(19), 7880-7883(2010).
10. Zhong, H., Wei, P., Jiang, P. and Wang, G., "Thermal Degradation Behaviors and Flame Retardancy of PC/ABS with Novel Silicon-Containing Flame Retardant," *Fire Mater.* **31**, 411-423(2007).