

HDPE/PA 알로이의 모포로지와 충격강도

이 용 무 · 강 두 환*

국립공업기술원 종합물성과, *단국대학교 고분자공학과

Morphology and Impact Strength of High Density Polyethylene/Polyamide Alloy

Yong Moo Lee and Doo Whan Kang*

National Industrial Technology Institute Physical Testing Division 2 Jungwangdong Kwachun city, Korea

*Dankook University Department of Polymer Science and Engineering 8 Hannamdong Yongsanku,

Seoul Korea

ABSTRACT

The morphology and impact strength of alloys of high density polyethylene(HDPE) and nylon-6(PA) with modified ethylene- α -olefin copolymer(OCP) as compatibilizer and impact modifier were measured by the scanning electron microscope(SEM) and the notched Izod impact test(and the high rate impact test), respectively. HDPE is incompatible with PA and specimens obtained from simple mechanical mixing show the inferior properties. However, it was indicated that OCP played roles of not only impact modifier but also compatibilizer. High rate impact test results were different from those of the notched Izod impact test, but in both tests OCP was effective for HDPE/PA blends. From SEM observation, the size of the dispersed phase in alloys prepared with OCP is much smaller than that of alloys without OCP and the interfacial adhesion of alloys prepared with OCP is also better. Toughening mechanism of polymer blends was discussed by combining the morphology analysis with mechanical and thermal properties.

I. 서 론

최근 자동차 산업이나 우주항공 산업분야에 이용되기 위한 고기능성 고분자 재료의 개발이 활발히 진행되고 있다. 특히 내충격성이나 내열성과 같은 기계적 및 화학적 특성을 향상시키기 위하여 각종 섬유강화 복합재료와 고분자 합금(polymer alloy) 재료들이 개발되고 있다. 현재 그 용도가 급격히 증가되고 있는 엔지니어링 플라스틱을 이용하여 고분자

합금을 제조하는 경우 엔지니어링 플라스틱 그 자체의 용융점도가 높고 응집 에너지가 크므로 수시간의 완전한 상용성을 기대하기가 어렵다. 엔지니어링 플라스틱의 일종인 폴리아미드의 내충격 특성을 향상시키기 위하여 각종 수지를 혼합한 알로이의 제조에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다.^{1~5)}

폴리아미드는 부분결정성을 가진 열가소성 고분자인데 결정영역에서는 분자사슬의 유동성이 감소하여 분자응력 완화시간이 증가하는 것으로 알려져 있다.⁶⁾

7) 또한 분자사슬의 비틀림을 이용하여 전단전 분산 에너지를 감소시키기 위해 고분자 매트릭스중에 탄성체를 혼합하여 줌으로써 충격강도가 향상된다.⁸⁾

폴리아미드(PA)에 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)을 블렌드함으로써 내충격성을 향상시킬 수 있으나 이들 고분자 합금계에서는 구성 수지간에 상용성이 없으므로 물성이 저하된다. 따라서 알로이의 물성은 알로이계의 각 원료수지의 domain의 크기로 나타내어지는 모폴로지에 크게 의존하게 된다.^{9,10)} 대부분의 고분자는 열역학적으로 고려하였을 때 분자수준의 혼화성은 기대할 수가 없다. 그러나 수지간의 상용성이 좋으면 고분자 매트릭스내에서 적은상의 미세한 domain이 균일하게 분포된다. 따라서 상용화제로서 블럭공중합체나 그래프트 공중합체를 첨가하면 분산상 계면과 매트릭스 고분자 사이의 계면에서 상호작용력이 증가되고 이로 인하여 상용성이 증가된다. 폴리아미드/폴리올레핀 블렌드에 있어서 상용화제로서 폴리올레핀에 말레산 무수물이 그래프트된 공중합체를 사용함으로써 상용성이 향상되고 내충격성도 향상된다고 보고^{11,12)}된 바 있으나 계면의 접착성을 향상시키고 미세하고 균일한 입자 분포를 갖기 위해서는 격렬한 가공조건이 필요한 것으로 보고되어 있다.¹³⁾

본 연구에서는 계면의 접착성과 반응가공성이 우수하며 충격흡수메카니즘을 가지고 있는 고무상을 함유한 에틸렌-알파-올레핀공중합체를 상용화제 및 충격개량제로 사용하여 HDPE/PA 알로이에 미치는 영향과 이 알로이의 모폴로지를 규명하였다.

II. 실험

1. 시 료

Polyamide(PA)는 옥화성사제 1030 BRF, 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)은 UNITIKA사제 J 240, ethylene- α -olefin copolymer(OCP)는 삼정 석유화학사제 MP0610를 사용하였다.

Table 1. Blend compositions for HDPE/PA alloy
(Parts by weight)

Specimen No.	Polyamide (PA)	Polyethylene (HDPE)	Compatibilizer (OCP)
1	100	0	-
2	75	25	-
3	50	50	-
4	25	75	-
5	0	100	-
6	100	0	10
7	75	25	10
8	50	50	10
9	25	75	10
10	0	100	10
11	100	0	20
12	75	25	20
13	50	50	20
14	25	25	20
15	0	100	20

2. HDPE/PA Alloy 제조

HDPE, PA 및 OCP을 Table 1에 주어진 중량비로 Henschel mixer에 취하고 10분간 혼합한 다음 독일 Brabender사제 압출기(Model PL 2000; L/D=25:1)를 사용하여 250°C에서 용융 압출시켜 얻은 pellet을 110°C에서 4시간 이상 진공건조시켰다. 이 시료를 사용하여 일본국의 Fanuc사제 사출기(Model B, 용량 6 Oz)로 각종 시험편을 제조하였다.

3. 기기분석

3.1 열분석

열분석은 Du pont사제 DSC Model R910을 사용하여 T_g 와 T_m 을 측정하였다.

3.2 Rheology 측정

시료의 rheology은 rheometric dynamic spectrometer(RDS 7700, Rheometric사제)를 사용하여 측정하였으며, 측정에 사용된 plate는 parallel plate로 주파수변화에 따른 storage modulus(G'), loss modulus(G''), complex viscosity(η^*) 등을 측정하였다.

측정은 질소 분위기하 240°C에서 그리고 gap point는 2.0 mm, shear rate는 5%로하여 측정하였다.

3.3 기계적 특성 측정

충격강도 시험은 Yasuda Seiki사제 universal impact tester(with refrigerator model 195-LFR)을 사용하여 KS M 3055의 방법(Izod 충격강도시험)에 따라 측정하였으며 측정시 온도는 -20, 0, 20°C이다. 고속충격시험은 충격속도를 넓은 범위에서 조절할 수 있는 Rheometrics사제 high rate impact tester RIT-8000을 사용하여 측정하였다. 즉 시험편을 시편 홀더에 고정시킨 후 12.7mm 직경의 반구형 probe로 고속충격을 주어 시험편속에 완전히 관입시켜 시험편이 파괴될 때의 하중과 변형에너지를 측정하였으며, 시험온도 20°C에서 충격속도 5m/sec로 시험하였다.

3.4 Morphology 측정

시료의 구조는 Akashi사제 scanning electron microscope(Model DS-130)을 사용하여 시험편의 모폴로지를 관찰하였다. 이때 배율은 1.5KX이상이고 가속전압은 19KV이었다.

III. 결과 및 고찰

1. 레올로지

Newtonian flow에서 분산된 droplet의 분산상태와 유동성과의 관계에 있어서는 분산입자모양, 입자크기, 계면장력 및 점도의 영향이 매우 중요하다. 두 종류의 수지를 혼합하는 동안 droplet의 분산과 변형은 계면장력, 전단속도 및 용융점도의 크기에 의해서 결정된다. 동일한 가공조건과 각구성에 대한 점도비가 유사하게 될 때 분산입자가 최소크기에 도달한다.

용융유동지수(MI)로 측정된 HDPE의 MI값은 4.3이었고, PA의 MI값은 5.0이었다. 각 진동에 대한 HDPE/PA 시료의 복소점도(complex viscosity : η^*)를 측정하여 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다. PA

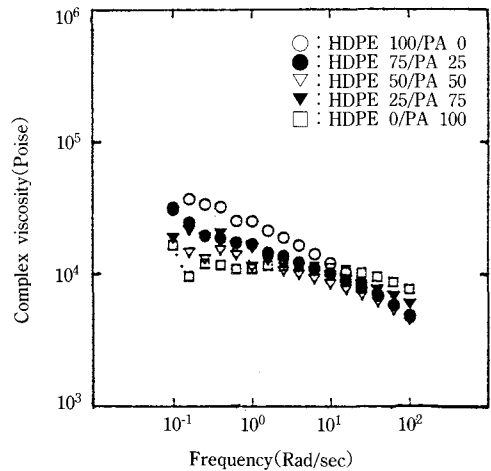


Fig. 1. Complex viscosity of HDPE/PA alloys as a function of frequency.

단독의 경우는 낮은 각 진동수에서 η^* 값이 거의 일정한 값을 유지하고 10 rad/sec 이상의 높은 각 진동수에서는 약간 떨어지지만, HDPE의 경우는 선형적으로 감소한다. HDPE와 PA의 각 η^* 값은 25 rad/sec에서 교차하고, 이 교차점을 기준으로 하여 낮은 각 진동수에서는 PA보다 HDPE의 점도가 높지만 큰 각 진동수에서는 HDPE가 오히려 낮게 된다. 따라서 본 시료에 대한 가공조건은 점도값이 교차되는 25 rad/sec에서 최적이 됨을 알 수 있다. 상용화제인 OCP를 10 parts 첨가한 시료에서 각 진동수에 대한 복소점도를 측정된 결과를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에서 보면 HDPE 함량이 25 parts인 경우 교점보다 낮은 각 진동수, 즉 0.1 rad/sec에서의 η^* 을 Fig. 1의 결과와 비교하였을 때 거의 10배 이상 증가하고 있으며 또한 OCP를 20 parts 첨가하여 얻은 결과를 나타낸 Fig. 3에서의 η^* 를 같은 조건에서의 값을 비교할 경우 거의 80배 이상 증가하고 있다. 이는 상용화제인 OCP를 10 parts와 20 parts를 혼합하고 HDPE를 25, 50 및 75 parts를 사용하여 제조한 시료에 대해 측정된 각 진동수에 대한 η^* 값들이 순수한 HDPE나 PA보다 높은 값을 가지게 되는 것은 상용

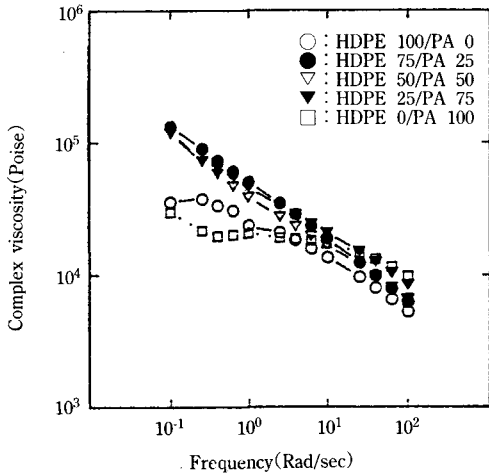


Fig. 2. Effect of OCP(10 parts) addition on the complex viscosity of HDPE/PA alloys as a function of frequency.

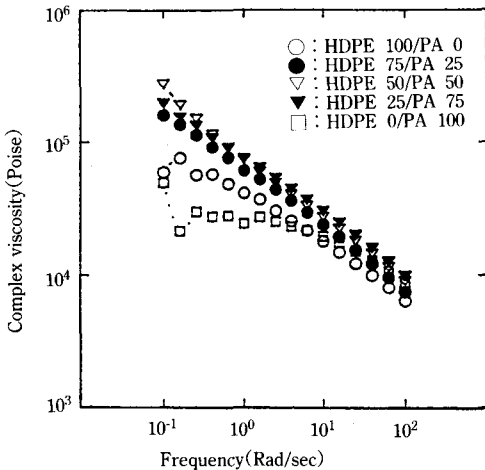


Fig. 3. Effect of OCP(20 parts) addition on the complex viscosity of HDPE/PA alloys as a function of frequency.

화제인 OCP와 HDPE 및 PA 혼합물에서 HDPE와 PE가 균일하게 혼합되고 또한 α -olefin과 PA가 화학적결합을 하므로써 semi-network을 형성하기 때문인 것으로 생각된다. 특히 HDPE가 50 parts인 경우 1 rad/sec영역 이상에서는 HDPE 복소점도가 거의

같은 비율로 감소되므로써 Lamellar 구조형태의 상분리 현상을 볼 수 있다. 또한 각 진동수가 1 rad/sec보다 낮은 범위에서 HDPE 함량이 75 parts에서의 복소점도가 HDPE 함량이 50 parts인 경우보다 높게 나타나는 것으로 보아 HDPE 함량이 75 parts에서 HDPE와 PA가 혼화성이 양호함을 알 수 있다.

일반적으로 고분자 알로이에서 분산입자의 크기 및 입자분포 등과의 상관관계는 저장탄성률(stroage modulus : G')와 손실탄성률(loss modulus : G'')과 관계가 있으며 높은 각 진동수에서 G' 와 G'' 간격이 작아질수록 상분리현상이 없는 것으로 알려져 있다. 또한 G' 와 G'' 가 높게 나타나는 것은 매트릭스내에서 HDPE와 PA계면이 접촉되어 있기 때문이며 상용화제인 OCP의 고무입자상에 의해 낮은 각 진동수에서 탄성률값이 증가하는 것으로 생각된다. HDPE 75 parts와 PA 25 parts 그리고 상용화제인 OCP를 0, 10, 20 parts를 각각 혼합하여 얻은 시료에서 각 진동수에 대한 G' 와 G'' 을 측정하고 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 그림에서 보면 시료에 OCP가 첨가되지 않은 경우 저장탄성률은 HDPE의 전형적인 특성곡선을 보이고 있으나, OCP를 첨가하면 첨가하지 않은 경우보다 저장탄성률값이 높게 나타나며 각 진동수가 높아짐에 따라 G' 이 직선적으로 증가함을 알 수 있다. 따라서 OCP의 첨가에 의하여 저장탄성률과 손실탄성률의 간격차가 작아지고 또한 직선적으로 증가하는 것은 매트릭스내에서 미세하고 균일한 분산상이 형성되어 있음을 나타내는 것이라고 하겠다.

2. 열적특성

일반적으로 상용성은 각각의 고분자가 가지고 있는 용융온도의 차이가 적게 되는 현상을 확인하여 예측할 수 있다. 그러나 상용성이 우수하더라도 냉각시 결정화 온도(T_{cc})가 높으면 기핵속도에 비하여 핵성장속도가 빨라져 상과 상의 경계면에서 섬모모양의 분리가 일어나게 됨으로써 많은 상에서 큰 핵이 형성되어 결국 상분리로 전이된다. 이와같은 현상은 냉

각중이거나 등온상태일 때의 핵형성 및 핵성장 효과 때문이라 할 수 있다.

핵이 형성되지 않은 PA는 핵이 형성된 것보다 낮은 Tcc를 나타내고, 저온에서 일정속도로 냉각시켜 생성된 PA 결정은 급냉하여 생성된 결정보다 낮은 Tcc를 가진다. 순수한 PA원료의 Tcc는 179°C를 나타내나 이를 알로이 시험편 제조와 동일하게 이 시료를 Twin screw로 압출한 다음 측정된 순수 PA의 Tcc는 185°C로서 높게 나타나게 되는데 이는 용융온도 이상으로 압출하므로서 시료자체에 결정화가 생성되어 Tcc가 증가되는 것으로 생각된다. HDPE/PA 알로이에 있어서 HDPE의 첨가량에 따라 제조한 시료에 대한 Tcc를 Fig. 5에 나타내었는데 그림에서 A는 제조한 알로이의 PA의 Tm값을 측정하여 나타낸 것이고 B는 HDPE의 Tm값을 측정하여 나타낸 것이다. 그림에서 보면 OCP가 첨가되지 않은 경우 HDPE의 함량이 증가함에 따라 PA의 Tcc가 2~4°C가 상승하게 되는데 이는 기핵작용에 의하여 성장속도가 빨라지게 되기 때문이며 이로 인하여 상분리 현상이 일어나게 된다. 반면에 OCP를 첨가할 경우 PA단독에 비하여 Tcc가 2~8°C 감소하는 것은 상용화에 의한 것이라고 생각된다. PA의 Tcc보다 낮아지게 되는 현상은 반

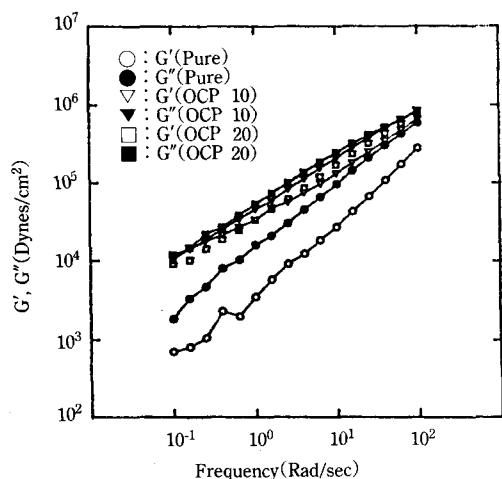


Fig. 4. Storage modulus and loss modulus of HDPE 75/PA 25 alloy as a function of frequency.

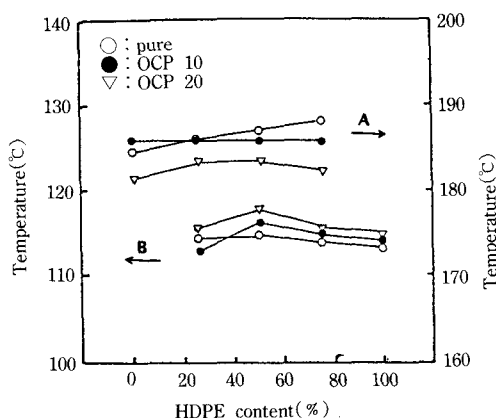


Fig. 5. Cooling crystalline temperature of HDPE/PA alloys as a function of HDPE content. A : Tcc for PA, B : Tcc for HDPE.

결정성 고분자가 존재함으로써 분자쇄의 이동도가 감소한 것으로 추측되며 이동도의 감소로 인하여 탄성을 크게 하며 분산된 입자의 크기가 작고 균일하게 된다.

알로이의 용융온도를 측정된 결과를 Fig. 6에 나타내었다. HDPE의 용융온도(T_{mPE})는 137°C, PA의 용융온도(T_{mPA})는 223°C이며, OCP를 첨가하지 않은 경우 HDPE 25/PA 75의 경우 HDPE의 T_{mPE} 는 135

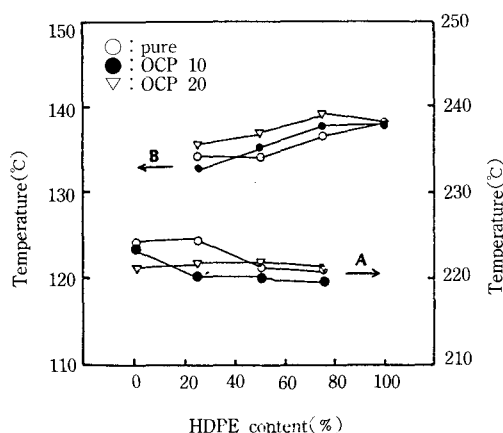


Fig. 6. Melting temperature of HDPE/PA alloys as a function of HDPE content. A : Tm for PA, B : Tm for HDPE.

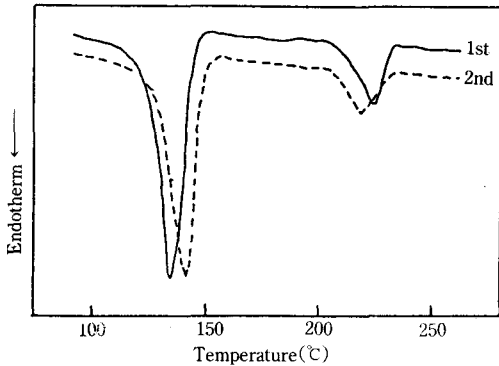


Fig. 7. DSC thermogram of HDPE 50/PA 50 with 20 phrs of OCP(1st. heating run : solid line, 2nd. heating run : dotted line).

°C, PA의 T_{mPA} 는 223°C이며, HDPE 75/PA 25인 경우 용융온도가 각각 138°C, 221°C로서 안쪽으로 이동되는 현상을 나타내고 있는 것으로 부터 혼화성이 있음을 알 수 있다.

HDPE 50/PA 50/OCP 20의 배합비율로 제조한 알로이의 제2차 가열에 대한 T_m 의 변화를 측정하고 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 그림에서 보면 1차 가열시 T_{mPA} 는 순수한 PA와 유사하며 T_{mPE} 는 약간 증가한다. 1차 가열후 급냉한 후 2차 가열시에는 1차 가열시보다 T_{mPE} 가 7~8°C정도 증가하고 T_{mPA} 는 7~8°C정도 낮게 나타난다. 이와같이 1차 가열시 T_{mPE} 가 감소하는 것은 OCP가 HDPE와 상용화된 때문으로 생각된다. 그러나 1차 가열후 2차 가열시에는 PA상으로 이동된 OCP가 PA와 반응하여 T_{mPA} 가 감소하는 것으로 생각된다. 이는 OCP를 사용하여 HDPE/PA 알로이를 제조할 때 기계적으로 용융혼합시 PA domain 내부에 OCP가 침입하여 다리구조로 서로 됨으로써 용융온도가 떨어지는 현상으로 판단된다.

3. 충격시험

폴리머 알로이에서 내충격 특성을 갖기 위해서는 폴리머간에 상호 작용력과 용해도 파라미터가 유사하여 폴리머간의 점착성 및 물리적 가교화가 이루어

져야 한다. 이와 같은 특성을 고속충격 시험기와 아이즈드 충격시험기로 충격특성을 측정하였으며 HDPE의 첨가량에 따른 전체 충격에너지변화를 Fig. 8에 나타내었다. 그림에서 HDPE와 PA알로이에 OCP를 가하지 않은 경우 알로이내에서 폴리머간에 상호 점착작용이 없어 고속충격시 충격강도와 충격에너지가 낮은 반면, OCP를 첨가하였을 경우 HDPE 및 PA단독에서는 큰 변화가 없으나 HDPE가 25 및 75 parts로 하여 제조한 시료에 대해서는 충격에너지가 크게 증가됨을 볼 수 있는데 이와 같이 증가하는 것은 HDPE와 PA간의 수소결합 또는 가교화로 점착성이 증가되기 때문이라고 생각되며 또한 용융상에서 폴리머 매트릭스상에 OCP가 화학적으로 가교화반응을 하고 용해도 파라미터가 유사한 OCP가 폴리머 매트릭스상에 침투하여 물리적 가교화가 일어나서 충격에너지 및 변형특성이 우수하게 된다고 생각된다. 반면에 HDPE 50 parts 및 OCP 10 parts를 배합할 경우 상용화제를 사용하지 않은 경우에 비해 보다 크게 증가되지 않고 있는데 이는 파단면의 SEM 측정에 의한 모포로지에서도 알 수 있는 바와 같이 상이 약간 분리된 상태 때문인 것으로 판단된다. 폴

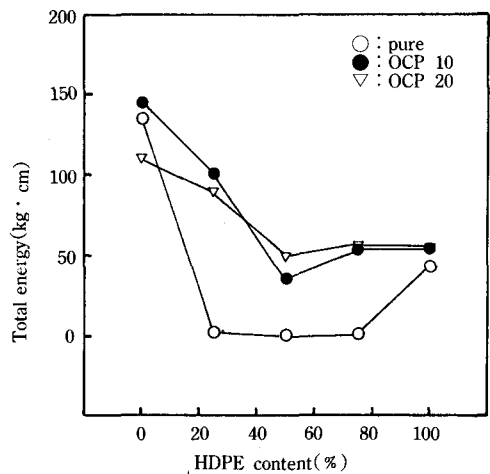


Fig. 8. Total energy of HDPE/PE alloys as a function of HDPE content investigated by high rate impact tester.

리머알로이가 내충격 특성을 가지기 위해서는 충격 개량제인 OCP를 첨가하므로써 폴리머 알로이에 연성 (Ductility)이 부여되는 것으로 연성의 정도는 충격 강도의 최대점까지 적분한 에너지(Ei)와 충격강도의 최대점 이후의 적분한 에너지(Ep)의 비를 연성지수 (Ductility Index : DI)로 나타내는데 연성지수는 다음과 같이 정의된다.

$$DI(\text{Ductility Index}) = \frac{E_p}{E_i}$$

여기서 Ep : 충격강도의 최대점이후의 적분한 에너지

Ei : 충격강도의 최대점까지 적분한 에너지

고분자 알로이에서 첨가된 HDPE의 함량비와 상용제인 OCP의 배합량에 따른 연성지수값을 Fig. 9에 나타내었다. 그림에서 보면 HDPE단독의 경우 DI값은 0.7이며, PA단독의 DI값은 1.2로서 PA가 HDPE보다 약 2배정도 Ductile하다. OCP가 10 parts 첨가된 HDPE/PA Alloy에서 HDPE/PA가 25/75, 75/25일 때 DI값이 0.7정도로 낮게 나오며 OCP함량이 20 parts일 경우 HDPE함량이 증가할수록 DI값이 직선적으로 낮아지다가 HDPE 50 parts 이상에서는 거의 일정한 값을 나타내고 있다. 이와같은 결과는 OCP를 첨가하면 Ei값의 증가로 DI값이 작아지기 때문이다. 따라서 DI값이 작아질수록 내충격성이 우수하므로 OCP를 20 parts 배합하여 제조한 알로이에서는 HDPE의 모든 배합비에서 우수하나 OCP를 10 parts 배합한 경우 HDPE를 50 parts 배합한 알로이의 DI값이 거의 1.0이상으로 내충격성이 다소 떨어지는 경향을 나타내었다. 또한 20°C, 0°C 및 -20°C에서 시험한 아이조드 충격강도의 시험결과를 Fig. 10에 나타내었다. 그림에서 보면 OCP가 첨가되지 않을 경우 충격강도가 5kg·cm/cm²이하로 낮게 나타나는 반면, OCP가 10parts 첨가될 경우 전반적으로 높은 충격강도를 보여주고 있으며 PA가 적은 HDPE

75/PA 25는 대체적으로 25kg·cm/cm²로 나타나고 있다. 그러나 HDPE가 50 parts로 배합된 경우 상이 약간 분리된 상태로 충격강도 역시 9kg·cm/cm²정도로 낮게 나타났다. OCP를 20 parts 첨가할 경우 전 영역에서 30kg·cm/cm²이상 나타내고 있으며, PA

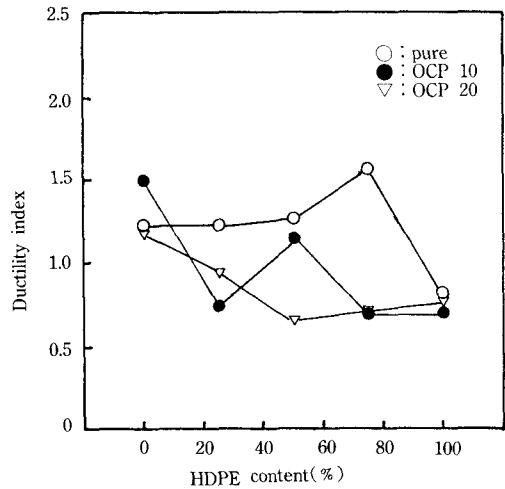


Fig. 9. Ductility index of HDPE/PA alloys contained additives as a function of HDPE content.

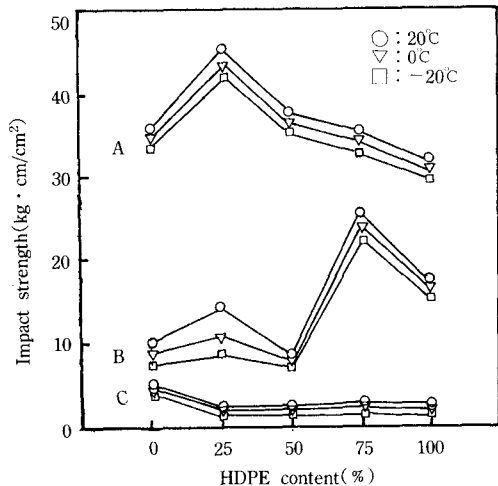


Fig. 10. Izod impact strength of HDPE/PA alloys as a function of temperature. A : Alloys added OCP 20 parts, B : Alloy added OCP 10 parts, C : Pure HDPE/PA alloy.

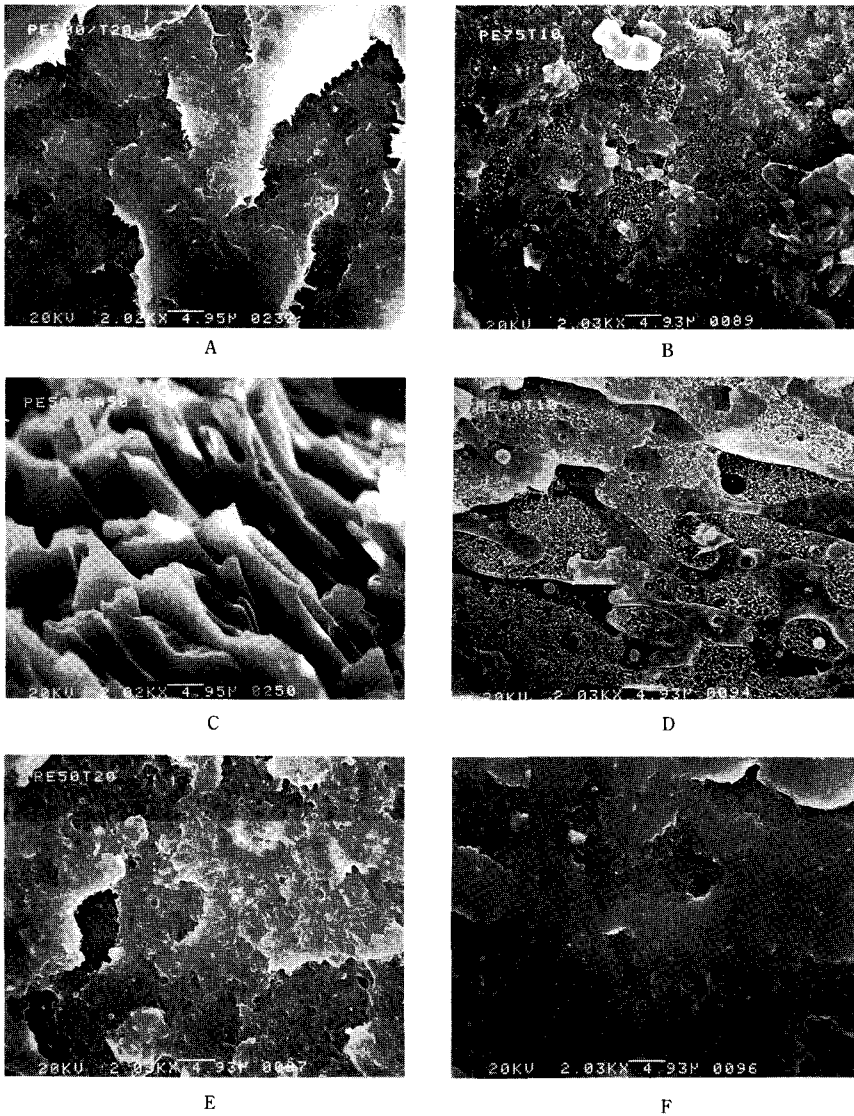


Fig. 11. Scanning electron micrographs of HDPE/PA alloys.(A : HDPE 100/PA 0/OCP 20, B : HDPE 75/PA 25/OCP 10, C : HDPE 50/PA 50, D : HDPE 50/PA 50/OCP 10, E : HDPE 50/PA 50/OCP 20, F : HDPE 25/PA 75/OCP 10).

75 parts가 최고값인 $48\text{kg} \cdot \text{cm}^2$ 을 나타내고 있다.

4. 모포로지

HDPE와 PA를 용융하여 혼합하면 보통 PA가

HDPE보다 용융점도가 낮기 때문에 HDPE중에 분산상을 형성하기가 쉽다. 만약 HDPE와 PA의 용융 점도차가 크게 되면 상분리형태의 분산구조를 얻게 된다. HDPE와 PA의 배합비를 75/25로 하고 OCP를 첨가하지 않고 제조한 알로이에 대한 SEM사진(Fig.

11-C)에서 보면 HDPE와 PA의 상분리가 현저하게 나타나고 있음을 관측할 수 있다. 또한 동일한 배합비에 OCP를 10 parts 첨가하여 제조한 알로이의 경우 소량 성분으로 배합된 PA도 연속상을 형성하며(Fig. 11-B) HDPE 매트릭스중의 OCP의 고무입자가 최대지름 $1\mu\text{m}$ 정도로 미세하고 균일하게 분산되어 있어 내충격강도가 10배이상 증대될 것으로 기대할 수 있다. 또한 HDPE/PA가 50/50인 경우(Fig. 11-D)는 두 조성 성분이 고르게 분산되어 있으나 상이 명확하게 구분되어 나타나고 있다. 혼합제인 OCP를 10 parts 첨가하여 제조한 알로이에서 HDPE/PA가 25/75(Fig. 11-F)가 PA의 배합량이 적은 HDPE/PA가 75/25(Fig. 11-B)의 경우보다 OCP입자가 $1\mu\text{m}$ 이하로 미세하게 분포되어 있는 것으로 보아 PA의 양이 많은 경우 OCP의 분산 및 혼화성이 형성됨을 알 수 있고 또한 고온하에서 혼합하는 과정에서 전단작용, 열이력 등에 따라 PA상에 OCP가 내부침입하여 부분적으로 가교되기 때문에 유동성이 저하되지만 강도는 증가하는 것을 추측할 수 있다. HDPE/PA에서는 OCP가 20 parts 첨가된 폴리머 알로이의 SEM사진(Fig. 11-A, E)에서 알 수 있는 바와 같이 그림 A의 경우는 두 성분이 매우 균일하게 배합된 것의 특성이라고 할 수 있는 모래톱모양의 표면요철이 형성된 토폴로지를 보여주고 있고 또한 그림 E의 경우도 유사한 형태를 나타내고 있다. 이는 앞에서 각 진동수에 대한 복소점도 측정 결과에서 이 시료에 대한 복소점도가 80배나 증가되는 현상을 나타내게 되는 원인으로 상용화제인 OCP가 고분자 매트릭스내에 침입이 잘 이루어지는 현상이라고 설명할 수 있다.

IV. 결 론

HDPE/PA 알로이에 대해서 레올로지 특성 및 내충격 특성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. HDPE/PA Alloy에서 레올로지 특성은 OCP가 첨가되지 않을 경우 HDPE의 함량이 많은 영역인

특히 HDPE 75 parts에서 분산성이 우수하며, OCP를 첨가할 경우 저장탄성율(G'), 손실탄성율(G'')의 차가 작은 것으로 보아 HDPE 매트릭스내에 PA가 고른 분산상을 형성하여 매트릭스에 대한 우수한 접착특성을 가지고 있음을 확인할 수 있었다.

2. HDPE 및 PA혼합물에 OCP를 첨가할 경우 T_{mPE} , T_{mPA} 가 안쪽으로 이동하는 것으로부터 상용성이 우수함을 알 수 있었다.

3. 고속충격시험에서 OCP의 첨가에 의하여 HDPE함량이 많은 영역에서 연성지수(DI)값이 작아지고 우수한 내충격특성을 나타내며, 아이즈드 충격강도는 OCP를 첨가할 경우 $30\text{kg} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2$ 이상의 높은 충격강도를 나타내었다.

4. HDPE의 함량 50 parts에서는 상분리 현상이 일어남을 확인하였으나, 여기에 OCP를 첨가할 경우 상분리현상을 볼 수 없었고, HDPE의 함량 75 parts에서는 입자의 분산상이 고르게 분포되어 있으며 분산입자의 크기가 $1\mu\text{m}$ 로 미세함을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. J. Noolandi, *Polym. Eng. & Sci.*, **24**, 70 (1984).
2. K. Matsushige, S. V. Radcliffe, and E. Baer, *J. Appl. Polym. Sci.*, **20**, 1853 (1976).
3. J. Karger-Kocsis, A. Kalio, V. N. Kulenznev, *Polym.*, **25**, 279 (1984).
4. A. K. Gupta, B. K. Ratnam, and K. R. Srinivasan, *J. Appl. Polym. Sci.*, **25**, 1303 (1992).
5. L. A. Utracki, M. M. Dumoulin, and P. Toma, *Polym. Eng. & Sci.*, **26**, 34 (1986).
6. H. K. Chuany and C. D. Han, *J. Appl. Polym. Sci.*, **30**, 2457 (1990).
7. G. Serpe, J. Jarrin, F. Dawans, *Polym. Eng. & Sci.*, **30**, 553 (1990).
8. K. Min, J. L. White, and J. F. Fellers, *Polym.*

- Eng. & Sci.*, **24**, 1327 (1984).
9. R. Fayt, R. Jerome, and Ph Teyssie, *Polym. Eng. & Sci.*, **27**, 328 (1987).
10. S. Wu, *Polym. Eng. & Sci.*, **27**, 335 (1987).
11. J. M. Willis and B. D. Favis, *Polym. Eng. & Sci.*, **28**, 1416 (1988).
12. Y. P. Khanna, A. C. Reimschuessel, A. Banerjin, *Polym. Eng. & Sci.*, **28**, 1600 (1988).
13. S. Cimmino, F. Coppola, L. D'Orzio, R. Grego and G. Maglio, *Polymer*, **27**, 1874 (1986).