

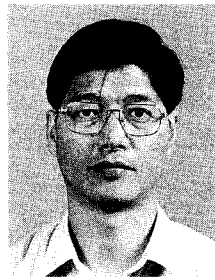
Thermoplastic Elastomer (TPE)의 특성 및 종류

김진국·박종윤·이국기·배창호·김석진

I. 서론

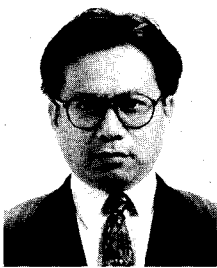
Thermoplastic Elastomer(TPE)는 가공시 열가소성 플라스틱과 동일하게 성형가공이 가능하고, 상온에서 열경화성 고무의 탄성을 지녔으며, 상분리 조직에 의한 다양한 물성을 얻을 수 있다. TPE 공업은 1960년대 초부터 발전하여 현재는 재활용이 쉽다는 점에서 환경문제가 대두됨에 따라 고분자재료로서 중요한 위치를 차지하고 있으며 수요도 점점 증가하여 세계의 수요량이 80만톤/년에 달하고 있다. 그림 1과 같이 종래의 고무에 비해 가황 공정이 필요 없고, 가공공정의 간소화가 가능하고 한 번 사용

한 scrap은 재생가공 이용이 가능한 경제적인 장점 때문에 앞으로도 수요가 점차 확대될 것으로 기대된다. 또한 미국을 위시한 유럽의 선진국들은 다가오는 2002년부터 자동차용 고분자 제품들의 recycling 여부를 따져 수입을 감



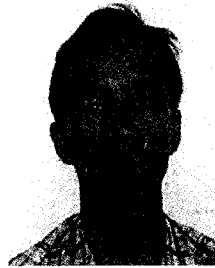
이국기

1984 동아화성 공업주식회사
1985~ 부산 동원공전 화학과
현재



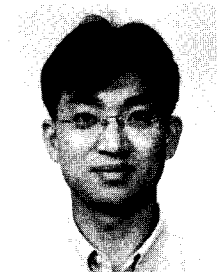
김진국

1978 연세대학교 화학공학과 (학사)
1981 연세대학교 화학공학과 (석사)
1989 University of Akron (박사)
1989 경상대학교 고분자공학과 부교수
현재 한국고무학회 부회장



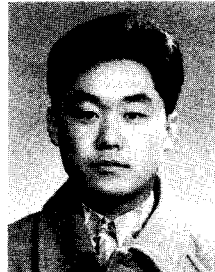
배창호

1983 경남 전문대
1985~ 동아화성 공업주식회사
현재



박종윤

1991~ 경상대학교 고분자공학과 (학사)
1999 경상대학교 고분자공학과 (석사과정)
현재 경상대학교 생산기술연구소



김석진

1995 경상대학교 화학공학과(학사)
1997 경상대학교 화학공학과(석사)
1997~ 동아화성 공업주식회사
현재

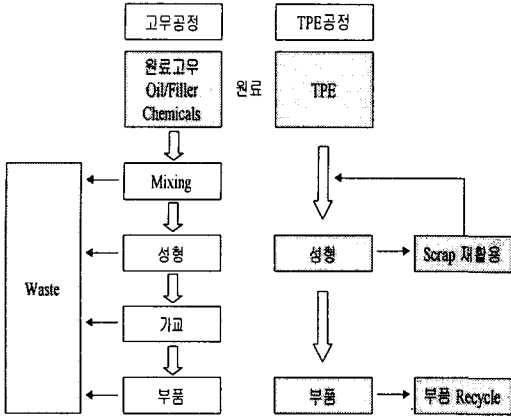


그림 1. 고무공정과 TPE공정의 비교

소시킬 전망이어서 더욱 주목받는 물질로 예상된다.

그림 2에는 기존 고무재료가 TPE로 대체할 수 있는 범위를 나타내었다.

기존 고무	치환 가능 TPE 재료					
	TPO	Styr.	TPV	TPU	ESTER	AMIDE
SBR			■			
NR			■			
IIR			■			
EPDM			■			
CR			■			
CSM			■			
NBR			■			
ECO			■			
ACM			■			
FKM			■			

그림 2. TPE 응용을 위한 선택의 POINT

본 고에서는 TPE의 성장발전 역사, TPE의 종류, TPE의 사용현황, TPE의 성형기술, TPE의 전망에 대하여 살펴보고자 한다.

II. TPE의 성장발전 역사

TPE의 성장발전은 1959년부터 시작되었는데 표 1에 그 내용을 나타내었다.

표 1. 대표적인 TPE와 개발시기

연도	구분	제조회사(상품명)
1959	Commercial PU elastic fiber	Dupont
1960	Commercial PU TPEs	Dupont
1961	Ionomeric TPE	Dupont(Surlyn)
1965	Commercial triblock TPEs	Shell(Kratons)
1967	Commercial TPVC	Mitsubishimonsanto(Sunprene)
1968	Radical styrenic block polymers	Phillips(Solprene)
1972	Polyolefin blends(EPDM/PP blend)	Uniroyal(TPR)
1972	Copolyester TPEs	Dupont(Hytrel)
1972	SEBS TPEs	Shell(Kraton G)
1974	Syndiotactic 1,2-polybutadiene	JSR(JSRRB)
1981	Commercial melt-mixed blends of EPDM and PP	Monsanto(Santoprene)
1982	Polyamide TPE	Atochem(Pabex)
1985	Commercial blends of NBR and PP	Monsanto(Geolast)
1985	Single phase melt-processable rubber	Dupont(Alcryn)
1987	Fluorocarbon TPE	Oaikin Indo(DAI-EL)
1988	Functionalized hydrogenated styrenic TPEs	Shell(Kraton FG)
1988~	Continued various research worldwide	

III. TPE의 종류

TPE는 고무 chain과 같이 유연하며 외부응력에 대해 entropy 변형을 나타내는 soft segment와 일반 경질성 플라스틱의 chain과 같이 결정성을 가지며 고무 chain중의 가교점과 같은 역할을 수행하는 hard segment로 된 block copolymer로 soft segment와 hard segment의 종류에 따라 여러 가지가 있다. 표 2와 같이 polyolefin계, polystyrene계, PVC계의 3대 범용 TPE와 polyester계, polyurethane계, polyamide계의 3대 EP계 TPE가 대표적이며 그 외 화학적 변성과 polymer alloy에 의해 제조되기도 한다. TPE의 물성은 hard segment의 용점(Tm)과 soft segment (Tg)에 크게 영향을 받아 TPE의 고무탄성이 Tm과 Tg 사이에서 발휘된다. Tm 이상의 온도에서는 TPE는 용융하여 유동하기 때문에 성형 가능한 상태가 되고, Tg 이하에서는 연화되어 고무탄성을 잃어버린다.

표 2. 대표적인 TPR의 종류

구분	hard segment	domain	soft segment
polyolefin계	polyethylene 또는 polypropylene	결정	EPR 또는 EPDM
	polystyrene	glass	polybutadiene
polystyrene계	polystyrene	glass	polyisoprene
	polystyrene	glass	수소첨가 polybutadiene
PVC계	PVC	결정	PVC
polyester계	polyester	결정	polyether 또는 polyester
polyurethane계	polyurethane	결정	polyether 또는 polyester
polyamide계	polyamide	결정	polyether 또는 polyester
기타	syndio 1.2 polybutadiene	결정	atic 1.2polybutadiene
	polyethylene	결정	isobutene-isoprene 공중합고무
	ion cluster	ioncluster	무정형 PE
	trans polystyrene	결정	무정형 polyisoprene
	불소수지	결정	불소고무
	polyethylene	결정	천연고무

이들 TPE는 각 제조업체들의 노력과 연구개발, 기술혁신에 의해 단점을 계속 보완시키고 있어 TPE의 기능성 향상 및 신제품의 개발이 계속 진행되고 있다. 각 제조업체들은 독자적 제품으로 시장개척 및 새로운 용도개발에 노력하고 있다.

1. Polyolefin계 TPE

Polyolefin계 TPE는 hard segment에는 PE, PP등의 polyolefin계 수지, soft segment에는 EPDM, EPR등의 olefin계 고무가 사용되고 있다. 일반적으로 Tm은 150~165℃, Tg는 -50~-60℃부근에 있다. 제조 방법에는 여러 가지가 있지만 단순 블렌드(blend type), 동적가황에 의해 고무성분을 부분가교 또는 완전가교하여 고무탄성을 부여한 가교 type, PP와 α-olefin 등과 공중합한 type의 3가지로 구분된다. Polyolefin과 EPR이 복합된 것이 주류이고 원료의 복합비율에 의해 대단히 유연한 type에서 PP와 비슷한 강성의 제품까지 상품화되어 있다.

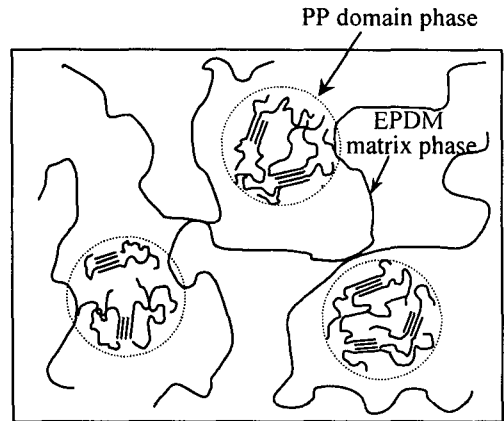


그림 3. Polyolefin계 TPE의 구조상 모델

Polyolefin계 TPE는 자동차, 가전제품을 중심으로 성장율이 년 두 자리수의 신장을 나타내고, 세계적으로 유럽을 중심으로 성장이 계속되고 있다. 자동차용으로는 내·외장용 양쪽으로 사용되고 있다. 자동차 분야에서는 경량화의 요구와 지구환경 문제로 인한 탈 할로겐성, recycle성 등의 강한 요구대응에 부합된다. Polyolefin계 TPE는 PVC나 가황고무에 비해 비중이 가볍고, recycle도 용이한 특성을 가지고 있으며, 자동차 요구흐름에 잘 맞아 장래 전망이 좋으며 신규업체 참여도 많다. 기술 동향으로는 PVC, 가황고무의 대체이기 때문에 장애가 높은 편이지만 각 제조업체의 노력으로 착실히 개발이 진행되고 있다.

1-1. 사출성형

TPE의 사출성형은 기본적으로 통상 플라스틱의 성형과 같이 종래의 사출 성형기를 이용하여 같은 방법으로 성형할 수 있다. 이것은 고무의 성형에 비하여 가황, 바리 다듬기 작업의 공정을 생략할 수 있고, 또한 cycle time의 단축이나 스푼, 런너의 recycle에 의해 대폭적인 원가절감을 가능하게 하고 있다.

용도로는 주로 TPE의 유연성, seal성을 요구하는 제품에 채용되고 있다. 또한 부분적으로 연결성, seal성을 요구받는 제품에 관해서는 인서트 성형, 2색 성형도 채용되고 있다. 이 경

우, 상용성이 좋은 수지끼리라면 접착제를 필요로 하지 않기 때문에 제품의 가격을 낮출 수 있다. 이와 같이 사출성형의 용도는 다종다양하고 그 가공 기술도 발전하고 있다. 동시에 재료에서는 polymer alloy의 기술에 따라 다양한 품질 요구, 복잡한 제품 설계에 대응할 수 있는 고기능 TPE의 개발도 이루어지고 있다.

Glass insert molding 기술은 최근 사출성형 기술의 발달로 인하여 자동차용 rear door fixed glass weather strip의 제조를 과거의 수작업에서 탈피하여 glass와 molding을 일체 성형함으로써 공정의 단순화뿐만 아니라 유리 and molding 사이의 gap이 없어 내수성, 내소음성이 향상되었으며 제품의 품질 안정성 및 가격 경쟁력이 우수한 것으로 평가되어진다.

제조방법으로는 유리와 molding이 접촉하는 부분에 프라이머(primer)처리를 하여 일정시간 동안 항온조(하절기 : 70 ℃, 동절기 : 90 ℃)에서 건조시킨 뒤 유리를 사출기 금형 내부에 장착하여 사출을 시행한다. 이 때 사출압, 사출속도, 금형의 온도 등의 적정가공조건을 확립 및 금형의 구조(곡률 등)의 조건이 유리의 파손을 방지하여 준다. 사출기의 개략적인 구조는 그림 4와 같다.

국내고무산업의 영세성과 폐쇄성을 감안하여 볼 때 침체국면의 고무산업계를 활성화시키기 위한 필수적인 방안이라 할 수 있다.

1-2. 압출성형

TPE의 시트, 튜브, 호스, 복잡한 이형 단면의 제품을 압출성형에 의해 용이하게 성형할 수 있다. 또한 상용하는 재료끼리의 2중, 3중 압출도 많이 이루어지고 있다. TPE의 압출성형은 통상 플라스틱의 성형 라인을 사용할 수 있지만, 사출성형보다도 전단속도가 낮은 범위에서 성형되기 때문에 사출성형 이상으로 스크류 내에서의 충분한 가소화가 필요하다.

1-3. 블로우 성형

블로우 성형은 수지의 독특한 성형 방법으로 일반 고무의 가황 성형에서는 보이지 않는다. TPE는 이 블로우 성형이 가능하며 inner ring을 필요로 하는 고무의 성형과 비교하여 금형비가 싸고 가황을 필요로 하지 않으며 경량이라는 점에서 가격의 대폭 삭감이 가능하기 때문에 고무의 대체로서 채용되고 있다. 예로는 공중(空中) 제품 및 신축을 필요로 하는 주름상자 형상 제품을 들 수 있다. 블로우 성형은 그 재료의 가소화라는 점에서 압출 성형과 같

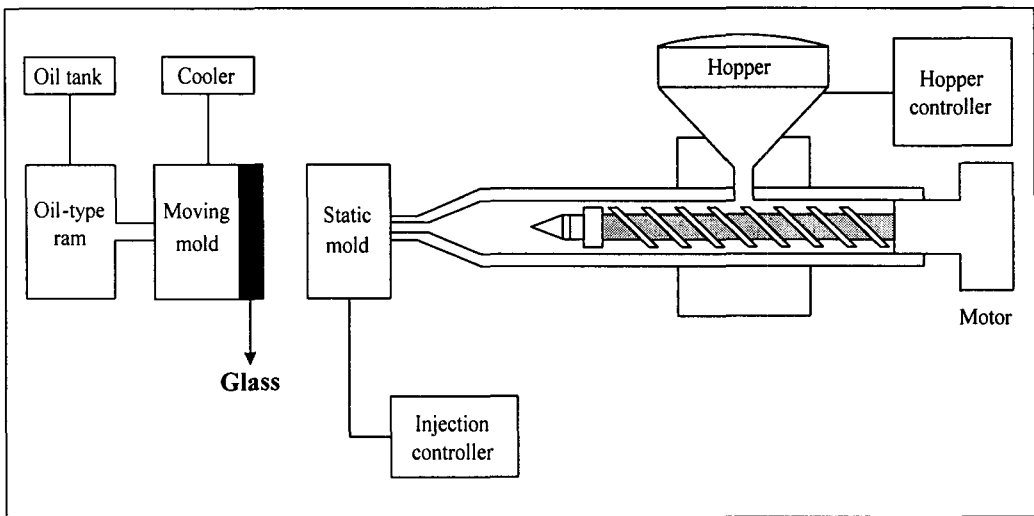


그림 4. Glass insert molding 사출기의 기본구조

으며 스크류 내에서의 가소화를 충분히 해야 한다. 또한 공기를 불어 넣을 때의 깨짐을 막기 위해서 압출되는 패리슨(parison)의 두께를 일정하게 유지하는 것도 중요하다.

1-4. 용도

Polyolefin계 TPE의 용도별 수요에 대해서 미국의 예를 보면 자동차 관련부품이 55~55%로 가장 많고 다음이 전선케이블에 10~15%가 사용되고 있다.

표 3. Polyolefin계 TPE의 주요용도

분 야	용 도
자동차부품	범퍼,코너범퍼, 사이드 실트, 오버라이더, 스포일러, 마드가드, 사이드몰, 천정재, 트렁크, 덕트호스, 웨더스트립, 램프패킹
약전부품	호스류(세탁기, 청소기), 각종 패킹
전선케이블	펄프케이블, 플렉시블코드
토목·건축	방수시트, 止水材
기 타	스키슈즈

2. Polystyrene계 TPE

Polystyrene계 TPE는 유연성, 탄력성이 우수하고 가황고무 성질에 가장 가깝다. 1965년 Shell사가 가황공정을 필요로 하지 않는 합성고무의 성질을 가진 플라스틱 재료를 출시한 이래 세계적으로 수요량이 최대로 되었다. Polystyrene계 TPE는 hard segment에 polystyrene, soft segment에 polybutadiene이나 polyisoprene, polyolefin을 가진 block공중합체로 고무 block에 의해 styrene-butadiene-styrene block copolymer (SBS), styrene-isoprene-styrene block copolymer (SIS), styrene-ethylene/butylene-styrene 블록공중합체인 SEBS의 3종류로 분류된다.

기술 동향은 polystyrene계 TPE의 단점을 보완하는 방향의 개발과 특성을 더욱 향상시키는 개발로 나뉘어져 있다. 전자는 고온크립(creep)

특성, 내유성의 개선이다. 고온 크립특성은 poly-styrene계 TPE의 hard segment가 polystyrene으로 되어 있고, 유리전이 온도가 약 100℃정도인 것에 기인하는 특성으로 각각도로 개선이 되고 있다. 내유성의 개선은 다른 TPE에 비해 제일 떨어지고 있는 특성으로 꼭 개선할 품질로 각 제조업체에서 개선을 시도하고 있으나 가능성도 있는 반면 눈에 띄는 개발이 아직 나타나지 않고 있다. 후자는 저경도화, 접착성의 개선이다.

3. PVC계 TPE

PVC계 TPE는 일본에서 독자적으로 발전된 TPE로 미국, 유럽에서는 수요가 적기 때문에 관심이 적다. PVC계 TPE를 분류하면 다음과 같다.

① 고중합도 PVC를 이용 : 연질 PVC는 polymer의 중합도를 높일수록 고무탄성이 발현되어 TPE특성이 우수하다.

② 부분가교 PVC를 이용 : 가교부가 hard block, 미가교부가 soft block으로 TPE특성을 발현

③ polymer alloy를 이용 : nitrile고무, polyurethane 또는 polyester등을 blend하여 TPE특성을 발현

현재 사용되고 있는 PVC계 TPE는 가격, 성능의 balance에서 ①,②의 형태가 양적으로 많지만 우수한 특성을 가진 ③도 시장 요구의 고급화에 대응하여 계속 증가하고 있다.

PVC계 TPE는 가격이 저렴하고 가공성이 양호하며 우수한 촉감, 내스크래치성 등으로 인하여 다방면에 사용되고 있다. 자동차용으로 70%이고, 나머지는 전선, 토목·건축용, 호스, 튜브류이다.

기술동향은 PVC계 TPE가 각종 물성의 온도 의존성이 크며, 내열 사용온도가 낮고, 압축영구변형률이 크며, 반발탄성이 약하고, 가소제의 이행, 고온하에서 형상보유성이 나쁜 문제들이 있지만 제조업체들의 노력에 의해 최적 중합도

의 선정, 타고분자와의 alloy화, 부분가교 기술의 도입, 특수한 가소제와 안정제를 첨가하는 방법 등에 의해 개선되고 있다.

3-1. 환경문제에의 대응

PVC를 주된 polymer로 하기 때문에 연소시에 염화수소 가스를 발생시킨다. 이 염화 수소 가스는 유독가스이며 더구나 부식성 가스이기 때문에 특히 화재시에 있어서 인체에 유해하기 때문에 문제가 되고 있다. 또한 도시의 쓰레기 소각 화로 등에서 처리되는 경우에는 염화 수소의 부식성이 화로벽을 손상시키는 등의 문제도 제기되었다.

이에 비해 염화 수소를 효율적으로 보충하는 첨가제를 첨가함에 따라 PVC를 연소시키더라도 염화수소를 발생시키지 않는 재료의 검토가 이루어지고 있다.

3-2. 압출성형과 용도

종래 가황고무를 쓰고 있는 분야의 교체가 주이며 자동차 부품의 weather strip은 대표적이다. 자동차의 weather strip은 종래 고무를 압출성형하여 가황한 뒤에 금속에 설치하여 제품화했었지만 가황고무에 가까운 고무탄성을 갖는 PVC계 TPE의 등장에 따라 로울 포밍된 금속에 접착제를 도포하여 크로스 헤드 다이로 압출성형하여 압출성형과 금속과의 접착이라는 복수공정의 연속화를 가능하게 했다. 자동차의 프론트·리어 유리의 가스켓 재료에는 3차원 이형 압출(가변 압출) 기술이 채용되기 시작했다. 3차원 이형 압출성형이란 일반적인 이형 압출성형과 같이 동일 단면 형상의 것을 연속적으로 압출하는 것이 아니라 예컨대 이형품 특정 부분의 형상을 주기적으로 변화시키는 것이다. 자동차의 프론트·리어 유리의 가스켓에서는 종래 단면 형상이 다른 상하부, 좌우의 부분을 각각 압출성형하여 코너 부분을 사출성형에 따라 성형하고 그것을 유리에 채우고 있었지만 이 기술은 단면 형상이 연속적으로 변화되는 가스켓재 전체를 한 공정에서 성형하여

유리에 채워 넣고 복수 이형품의 성형공정, 사출성형 공정을 줄일 수 있는 공정의 합리화를 이룰 수 있다. 그 용도는 표 4와 같다.

표 4. PVC계 TPE의 적용분야

Application	Items
Automobile	Weather strip, Door cushions, Head rests, Trim seals, Side molding, Hoses
Construction	Sash gaskets, Stairway handrails, Gutter coatings
Electric wiring	Appliance cord, Jacketing, Extension cord
Hose	Dishwasher hose, Food processing equipment hose, Shower hose, Increased pressure hose, Cold environmental hose
Other	Refrigeration gasket, Straps

4. Polyester계 TPE

Polyester계 TPE는 범용 TPE에 비해 가격이 비싸지만 성능적으로 기계적 강도, 내열성, 내한성, 내유성 등의 물성이 우수하고, EP계 TPE로서 자동차용, 가전제품용, 스포츠용, 공업용을 중심으로 순조롭게 발전하여 년 두 자리 수 성장이 계속되고 있다.

구조적으로는 hard segment가 방향족 polyester, soft segment가 지방족 polyether로 된 multi block 구조와 soft segment구조가 지방족 polyester로 된 multi block 구조인 두 종류가 있다. 두 종류 중 polyester- polyether의 구조를 가진 것이 대부분이다.

기술동향으로는 polyester계 TPE의 단점인 유연성 부족, 저경도 등의 개선이 진행되고 있다. 유연성을 부여하게 되면 내열성이 저하하지만 최근은 저경도로 융점을 30℃ 높인 grade가 개발되었고, 경도가 35D인 저경도 grade도 상품화되었다.

5. Polyurethane계 TPE

Polyester계 TPE는 최초로 개발된 TPE로 탄성회복성, 기계적 강도, 내마모성, 내한성, 내유성 등의 특성이 우수하다. 가소제와 filler없이 경도범위가 60A~74D의 넓은 분포를 가진다. 수요는 년성장율이 한자리대를 유지하고 있으며 한 grade를 대량 사용하는 용도가 없이 소량 다품종으로 되어 있다.

Polyester계 TPE는 hard segment가 polyurethane, soft segment가 polyether나 polyester로 된 공중합체이다. soft segment 성분에 따라 다음과 같이 4종류로 나뉘어 진다.

- ① polycarbonate계 polyol type
내열성, 내열수성, 내유성이 우수
- ② ether계 polyol type
내가수분해성, 가공성이 우수
- ③ caprolactone계 polyester type
내열성, 내수성, 가공성이 우수
- ④ adipate계 polyester type
내열성, 내수성이 우수

기술동향은 polyurethane계 TPE의 약점인 내열성, 성형성, 가수분해성 등을 개선한 grade가 계속 개발되고 있으며 선패창율과 탄성율의 개선을 위한 유리섬유 강화 grade가 있다.

Rigno cellulose를 첨가하여 가격절감과 열안정성을 향상시킬 수 있다. 다량 첨가시는 neo alkoxy titanate계의 coupling제를 첨가하면 물성 저하를 방지할 수 있다.

PVC와 alloy하면 내마모성이 향상되고 저온특성이 개선된다. PVC와 polyurethane계 TPE를 완전히 분산시켜 부분 graft한 alloy 제품이 상품화되어 있다. ABS와 alloy하면 내마모성, 내충격성이 향상되고 제품은 내열, 내유성이 좋으며 plasma처리 없이 도장이 가능하다. 저styrene량의 SIS와 SBS는 polyurethane계 TPU와 상용성이 좋고 일축 압출기로도 compound가 가능하며 상분리가 없고 투명하게 된다. 50%를 첨가하면 경도를 20%저하 시킬 수 있기 때문에 가소제 없이도 저경도를 얻을 수 있다.

Polyacetal과 blend하면 polyacetal의 내충격성이 향상된다. Polyamide와 urethane기를 함유한 graft고무를 blend하면 저온특성이 현저히 개선된다.

6. Polyamide계 TPE

Polyamide계 TPE는 중합체의 hard segment를 구성하는 polyamide와 soft segment를 구성하는 polyether, 또는 polyester가 규칙적으로 결합되어 있다.

Polyamide로는 polyamide 6, 66, 610, 612, 11, 12 등으로 polyether는 polyethyleneglycol, polypropyleneglycol, polytetramethylene glycol 등으로 구성된 multi block type의 TPE로 polyamide 및 polyether의 원료종류, 중합도, 함유비율에 의해 다양한 구조와 특성의 제어가 가능하다. 이런 구성인자가 물리적, 화학적 특성에 미치는 영향은 다음과 같다.

- ① polyether의 type : 흡수성, 제전성
- ② polyether의 분자량 : 용융점
- ③ polyamide의 type : 내약품성, 용융점, 비중
- ④ polyamide/polyether 비율 : 유연성, 내약품성, 탄성

Polyamide계 TPE는 비중이 가볍고 기계적 강도와 내열성, 내마찰 마모성, 탄성회복성, 소음특성 등이 우수하며 성형가공도 사출성형, 압출성형이 가능하고 성형가공성이 양호하며 screw형상, 금형구조 등에 특별한 변화없이 polyamide 수지와 동일한 type을 사용할 수 있어 여러 용도에 사용이 가능한 재료로 아직은 수요가 적은 편이나 순조로운 성장을 보이고 있다.

기술동향은 자동차 부품의 고무재료 대체를 목적으로 alloy화 기술을 도입하여 내유성, 내열성, 내마모성의 개량 및 특수 alloy에 의해서 유연성과 용융시 점성을 개량한 blow성형용 grade개발, 고기능화의 일환으로 polyamide계 TPE와 polyamide/polyurethane계 TPE를 개발

하여 polyamide와 polyurethane의 결점을 개선하여 고기능화를 도모하고 있다. 특히 polyamide측은 내마모성의 향상과 저경도성(40D이하)을 부여하고, polyurethane측은 가공성, 내약품성, 가수분해성의 개량을 도모하고 있다.

기존의 난연화 기술을 응용하여 난연화도 추진되고 있으며 현재 가격은 다소 비싸 용도개발의 저해 요인의 하나이므로 cost down도 중요한 과제라 할 수 있다.

IV. TPE의 전망

TPE의 성장은 1980년대에는 순탄했지만 1990년대에 와서는 점차 둔화되었다. 그 이유는 이미 TPE의 시장이 성숙기에 들어왔고, 가황고무의 대체로 시작되었지만 대체가능한 부품이 적은 편이다. 또한 내열성, 영구 압축변형과 내구성이 일반 가황고무보다 떨어지기 때문에 기술적 보완이 없으면 수요가 줄어들 것이다. 하지만 열가소성수지와 가황고무 양쪽의 특성을 가진 유일한 소재로 적용분야에 적합한 우수한 소재가 제조되고 있는 실정이다. 또한 저가격 지향 및 지구 환경문제에서 파생되는 recycle의 추진은 가황고무로서는 엄두를 낼 수 없는 TPE만의 고유한 특징이자 가장 큰 장점이 될 것이다. 최근 각종 성형기술의 진보가 보이고 우수한 성형가공기술(insert 사출성형, 발포성형, 공압출가공법 등)에 의해 기존 장치의 재사용 및 양산화, 신제품의 구체화가 기대된다.

참 고 문 헌

1. J. K. Kim, J. Y. Park, and S. H. Hwang, *Elastomer*, 35(2), 115, (2000).
2. *LUCKY Polymer Technology*, No. 25, June, (1993).
3. *Plastic Science*, July, (1999).
4. *Plastic Science*, September, (1999).
5. *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, Vol. 5, 416.
6. Y. Yang, T. Chiba, H. Saito and T. Inoue, *Polymer*, Vol. 39, 3365, (1998).
7. Hanser/Gardner Publication, *Thermoplastic Elastomer*, 2nd ed., 101, (1996).
8. M. D. Ellul, Jaymini Patel and A. J. Tinker, *Rubber Chemistry and Technology*, Vol. 68, 573, (1994).
9. N. P. Cheremisinoff and Paul N. Cheremisinoff, in *Handbook of Applied Polymer Processing Technology*, Marcel Dekker Inc., (1996).
10. A. E. Woodward, *Atlas of Polymer Technology Handbook*, 557; (1993).
11. N. P. Cheremisinoff, *Elastomer Technology Handbook*, 557, (1993).
12. T. A. Osswald and G. Menges, *Material Science of Polymers for Engineers*, Hanser, (1995).