

자동차용 기능성 폴리올레핀

이 영 근 · 이 효 성 · 남 병 옥

1. 서 론

자동차 부품으로 사용되는 플라스틱 소재에 대한 수요는 소재의 경량화 및 고성능화가 지속적으로 이루어짐에 따라 계속적인 증가 추세에 있다. 특히 이들 플라스틱 소재 중에서 폴리올레핀은 저비중으로 인한 경량화 및 재활용의 용이성 등으로 인해 다른 플라스틱 소재에 비해 수요가 급격히 늘어나고 있다. 승용차의 경우 전체 차량무게의 약 6~8% 정도가 플라스틱 소재를 사용하고 있는데 비하여 폴리올레핀 컴파운드의 경우 이들 자동차 부품용 플라스틱 소재 중에서 약 40%의 비중을 차지하고 있다.

그 중에서도 특히 범퍼용 소재의 경우 1972년 미국에서 처음으로 플라스틱 소재를 사용한 이래 폴리우레탄, PC/PBT 등이 주요 소재로 사용되어 왔으나, 최근에는 폴리올레핀 컴파운드가 대부분 사용되고 있다.¹ 그 밖에도 instrument panel, console, glove box 및 각종 trim 류 등 내장재를 중심으로 많은 수요를 확보하고 있다.

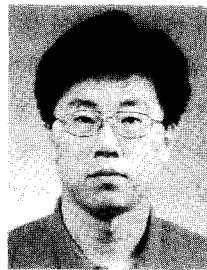
최근의 폴리올레핀 컴파운드에 대한 연구는 과거의 단순히 소재에 대한 요구물성을 만족시키는 수준에서 탈피하여 재활용, 경량화, 제조원가 절감 및 공정단순화 등 자동차업체의 전반적인 추세와 맞물려 폭넓게 이루어지고

있으며, 사출압축성형, 가스사출, in-mold lamination 등 가공공정에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다.

본고에서는 그 중에서 최근의 신규소재인 SOP(super olefin polymer), MIC(mold-in colored) TPO(thermo-plastic polyolefin), DPT(directly paintable TPO)에 대해서 간단히 소개하고자 한다.

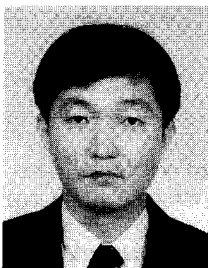
2. Super Olefin Polymer(SOP)

폴리프로필렌(PP)은 대표적인 범용 수지이지만 그 우수한 특성 때문에 일용품이나 생활자재 뿐만 아니라 공업



이효성

1988 서강대학교 화학공학과(학사)
1990 한국과학기술원 화학공학과
(석사)
1990~ SK 주식회사 대덕기술원 선임
현재 연구원



이영근

1980 서울대학교 공업화학과(학사)
1982 한국과학기술원 화학공학과
(석사)
1982~ 효성 T&C 중앙연구소
1986
1989 한국과학기술원 화학공학과
(공학박사)
1989~ SK 주식회사 대덕기술원 수석
현재 연구원



남병옥

1987 서울대학교 공업화학과(학사)
1989 서울대학교 공업화학과(석사)
1993 서울대학교 공업화학학과
(공학박사)
1993~ SK 주식회사 대덕기술원 선임
현재 연구원

Advanced Polyolefin Materials for Automotive Applications

SK(주) 대덕기술원(Young Keun Lee, Hyo Sung Lee, and Byeong Uk Nam, Taedok Institute of Technology, SK Corporation, 140-1, Wonchon-dong, Yuseung-gu, Taejeon 305-370, Korea)

용 부품재료로서 널리 사용되고 있다. 더구나 폴리프로필렌에 EPR(ethylene propylene rubber)과 같은 고무성분을 첨가하여 저온성능을 향상시키고 탈크 등의 무기충전제로 강성 및 내열성을 높인 소위 복합강화 폴리프로필렌은 자동차 부품 소재로서 급성장하고 있다.

최근의 자동차용 플라스틱 소재는 '환경적합성'이란 말로 표현되듯이 재활용성을 높이기 위한 동일한 재료로의 통합화가 커다란 관심사로 대두되고 있다. 이러한 관점에서 기존의 엔지니어링 플라스틱을 폴리프로필렌으로 대체함으로써 상위재료로의 통합을 이루기 위한 기술혁신이 꾸준히 전개되고 있다. 90년대 들어 이러한 요구에 부응하기 위하여 탄생한 대표적인 폴리올레핀 소재가 도요다 자동차의 'super olefin polymer(SOP)'이다.

2.1 개발배경

종래의 대표적인 고무 변성 폴리프로필렌(elastomer modified polypropylene, EMPP)은 대략 폴리프로필렌 60%, 고무 30%, 탈크 10%의 조성을 갖는 3원계 블렌드 재료이다. 이러한 조성의 복합 폴리프로필렌에서는 PP를 매트릭스로, 고무를 분산상으로 하는 분자설계 개념이 일반적이다. 그러나 이러한 분자설계 개념으로는 고유동성과 고물성을 동시에 만족시키기는 극히 어렵다. 예로서 유동성 향상을 위하여 폴리프로필렌의 분자량을 낮추면 저온 충격강도가 감소하게 된다.

따라서, 도요다 자동차에서는 외장재로서 우수한 평가를 받고 있던 PA/PPO(polyamide/polyphenylene oxide)계 폴리머를 모델로 하여 폴리프로필렌을 매트릭스로, 엔지니어링 플라스틱(PA, PPO)을 분산상으로 한 소재를 검토하였다. 그 결과 목표로 하는 가격과 성능을 거의 만족시키는 재료를 개발하게 되었다. 그러나, 이 소재의 매트릭스가 폴리프로필렌이므로 선팅창계수가 큰 값($10 \sim 15 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$)을 보여 범퍼와 같은 대형 사출물에는 적용이 불가능하다는 결론을 내리게 되었다.

이것을 계기로 도요다 자동차에서는 기존의 EMPP소재에서 저선팅창계수, 저온내충격성, 도장성 등이 나타나는 이유를 재고하게 되었다. 그 결과 EMPP의 주 원료가 폴리프로필렌이므로 당연히 폴리프로필렌이 매트릭스를 이루는 것으로 여겨지지만, 오히려 고무상이 매트릭스를 이룬다고 생각하는 쪽이 그 특성을 합리적으로 설명할 수 있지 않을까 생각하게 되었다. 이러한 생각의 전환이 매트릭스와 분산상을 역전시키는 형태학의 발상을 낳게 되었다. 수지를 매트릭스로 하여 풀지 못했던 문제들을 고무를 매트릭스로 하여 해결할 수 있다는 생각에 완전히 새로운 분자설계 기법을 구축하였다.

그 첫번째로 고무를 매트릭스로 하면 선팅창계수, 저온내충격성 등의 기본성능은 고무상으로 조절할 수 있다. 두번째로 고무상에 hard segment를 IPN(interpenetrating polymer network) 구조로 도입하여 매트릭스의 물

성을 보강함으로써 소재의 고강성, 고경도화를 확보한다. 즉, 분산상으로서의 수지는 소재의 기본성능에 기여할 필요가 없으므로 고유동성을 위한 충전제로서 작용할 수 있다. 세번째로 수지상은 용융시의 초저점도, 고화시의 초고경도를 위한 충전제의 역할을 담당한다. 이 역할분담을 철저히 함으로써 기본성능을 유지하면서 대폭적인 고강성화, 고유동화를 함께 이룰 수 있다고 생각하였다.

위와 같은 새로운 설계개념에 도요다 자동차와 미쓰비시유화, 미쓰이석유화학, 스미토모화학 등의 일본 내 폴리프로필렌 업체가 공동연구를 시작하였고, 약 1년 반만의 개발 끝에 최초의 SOP 소재가 '91년 10월 도요다의 신형 크라운 시리즈에 채용되었다.

2.2 기술의 개요

대략적인 SOP의 조성은 PP가 60%, EPR이 30%, 탈크가 10%, 그리고 소량의 폴리에틸렌(PE)계 공중합체로 구성되어 있다. 앞서 기술한 바와 같이 SOP는 일반적인 EMPP와는 다른 형태학을 갖는다.

그림 1에서 보듯이 일반적인 EMPP가 PP 매트릭스에 EPR 분산상 구조의 형태학을 가지며 분산상과 매트릭스간의 경계가 뚜렷한 반면에 SOP는 무정형 고무상 중에 PP 결정이 분산상으로 존재하는 형태학을 가지며 분산상과 매트릭스간의 경계가 뚜렷하지 않다.²

PP/EPR/PE 블렌드의 형태학이 기존의 EMPP와는 다른 SOP의 형태학을 갖기 위해서는 사용하는 원재료에 대한 몇가지 요구사항이 있는데 이를 간단히 설명하면 다음과 같다.

1) PE 성분은 에틸렌 함량이 높은 에틸렌 공중합체를 사용하여 PP 결정 분산상의 미세한 분산을 가능하게 하며 EPR과 탄성합금을 형성하여 EPR 매트릭스 상을 강화시키는 역할을 한다.

2) PP는 고결정성, 저분자량의 PP를 사용함으로써 유기 충전제의 역할을 하여 고유동성, 고강성을 부여한

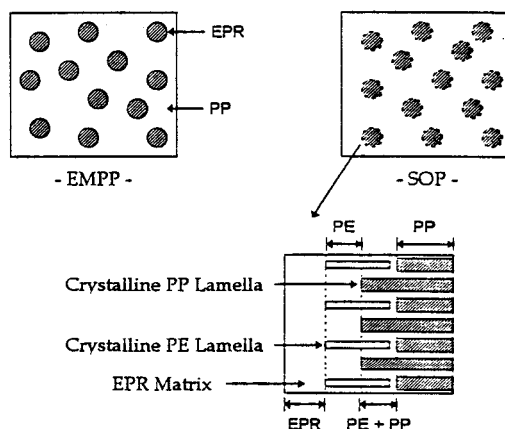


그림 1. SOP morphology의 개념도.

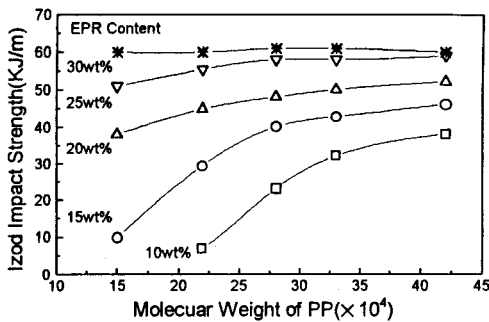


그림 2. Impact strength vs. M_w of PP.

다. 일반적으로 저분자량의 PP를 사용할 경우 유동성이 증가하는데 반하여 충격강도 등의 다른 물성들은 감소하지만 SOP 형태학 하에서는 PP의 분자량이 적어짐에 따라 충격강도 등의 물성이 감소하는 현상이 관찰되지 않는다.

3) EPR은 고결정성 PP와의 상용성이 있는 propylene-rich EPR을 사용하여 무정형의 PP 부분과 상호용해가 가능하도록 한다.

4) 탈크는 일반적인 용도 그대로 강성을 개선시키기 위해 첨가되는데 이경우 함량이 증가함에 따라 충격강도가 감소하기 때문에 내충격성과 고강성의 균형이 유지되는 범위내로 함량의 제한을 받는다.

SOP의 제조에 사용된 기술상의 특징은 다음과 같다.

2.2.1 저분자량 PP

그림 2와 3은 상온에서 PP의 분자량 변화에 따른 PP/EPR/탈크 컴파운드(탈크 함량은 10%로 균일)의 상온에서의 충격강도와 인장신율의 변화를 보여준다.

그림에서 보듯이 EPR의 함량이 낮을 경우에는 PP의 분자량이 감소함에 따라 이들 물성도 함께 감소하지만 EPR 함량이 30% 정도가 되면 PP의 분자량에 크게 영향을 받지 않고 높은 물성치를 그대로 유지하는 것을 알 수 있다.

그림 4는 EPR함량이 30 wt%인 경우 220 °C에서의 spiral flow length를 나타내고 있다.

PP 분자량의 감소에 따라 spiral flow length가 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. 기존의 기술로는 다른 물성들은 그대로 유지하면서 어느 특정 물성만을 원하는데로 조절하는 것은 불가능하다. 그러나 SOP 형태학에서는 앞서 언급한 바와 같이 충격강도나 인장신율의 감소 없이 흐름성을 증가시키는 것이 가능하다.³

2.2.2 고결정성 PP

고결정성의 PP를 얻는 방법은 많이 개발되어 있다. PP의 중합시 분자량분포를 넓힘으로써 저분자량의 고결정성 PP를 얻는 방법과 고결정성 마그네슘 화합물 담지 촉매를 사용하여 높은 입체규칙도를 갖는 PP를 중합하는 방법이 있는데 SOP제조에 있어서는 후자의 방법을

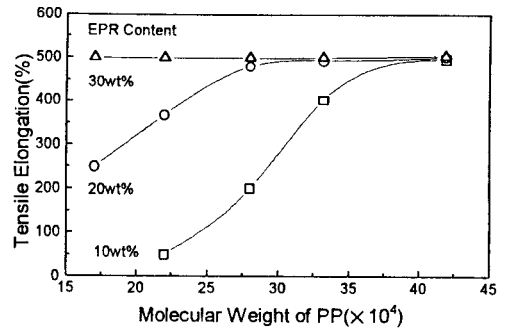


그림 3. Tensile elongation vs. M_w of PP.

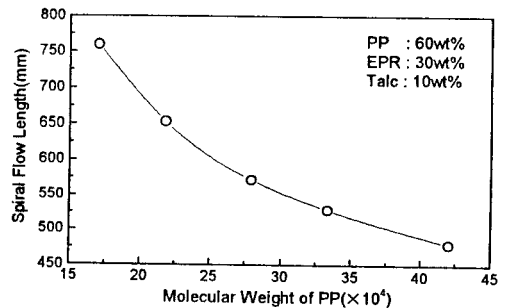


그림 4. Spiral flow length of SOP vs. M_w of PP.

이용한다.

PP의 isotactic pentad ratio에 따른 충격강도와 인장신율의 변화를 그림 5와 6에 나타내었다.

EPR의 함량이 적을 경우 충격강도와 인장신율은 모두 감소하며 PP의 결정화도에 크게 영향을 받는다. 반면에 EPR의 함량이 30 wt% 정도가 되면 위의 물성들은 원래의 높은 값을 그대로 유지하며 PP의 결정화도에 영향을 받지 않는다.

PP의 isotactic pentad ratio에 따른 굴곡탄성률과 복크웰 경도의 변화를 살펴보면, PP의 결정화도가 증가함에 따라 이들 물성은 급격히 증가함을 알 수 있다 (그림 7 참조).

따라서 PP의 유동성 증가와 함께 PP의 입체규칙도 증가는 충격강도의 손상 없이 강성과 표면경도의 증가를 가능하게 하는데 이는 기존의 기술로서는 불가능했던 부분이다.³

2.2.3 PP 결정의 미세분산

EPR함량이 30 wt%인 SOP의 형태학을 관찰해보면 EPR과 PP의 무정형 부분이 상호용해되어 연속적인 고무상을 이룸을 관찰할 수 있는데 이런 현상은 EPR 함량이 적을 경우에는 관찰할 수 없는 현상이다.

또한 PP의 결정부분은 위에서 언급한 구조의 매트릭스 상 내에 분산되어 있는데 분산된 PP 결정의 크기는 PP의 분자량이 적을수록 작다. 만약 PP가 연속상을 형

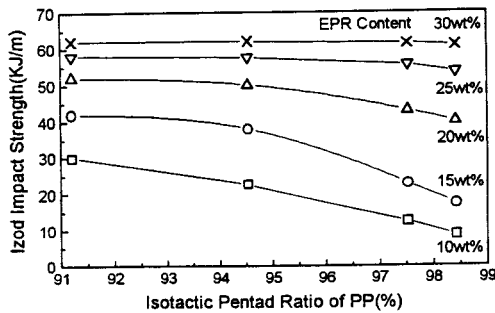


그림 5. Impact strength vs. isotactic pentad of PP.

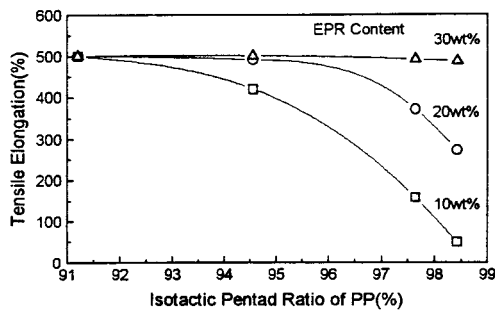


그림 6. Tensile elongation vs. isotactic pentad of PP.

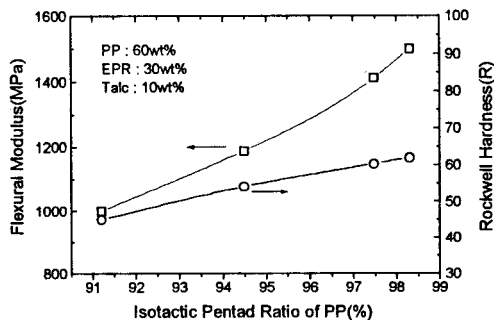


그림 7. The flexural modulus and the hardness vs. isotactic pentad of PP.

성한다면 PP의 분자량이 감소함에 따라 기계적 물성이 감소하게 될 것이나 앞서 언급한 것처럼 PP의 결정이 마치 유기 충전체처럼 존재하는 형태구조 하에서는 PP의 분자량감소가 PP 결정의 보다 미세한 분산을 가능하게 하고 따라서 충격강도나 인장신율과 같은 물성의 변화가 관찰되지 않는다.

한편, isotactic pentad ratio가 95% 정도인 상용 PP를 사용했을 경우 PP결정의 라멜라 두께가 6 nm인데 비하여 isotactic pentad ratio가 98.5% 정도인 고결정 PP를 사용했을 경우 라멜라 두께는 8 nm이다. 그럼에도 불구하고 결정과 무정형 부분의 전체 두께는 변화가

표 1. Characteristics of PP and EPR

Sample	C ₂ Content (wt%)	MFR (g/10min)	Density (g/cm ³)	X _C (%)
PP	-	20	0.909	67
EPR-1	31	0.4	0.858	1
EPR-2	61	0.4	0.852	0
EPR-3	73	0.4	0.876	8

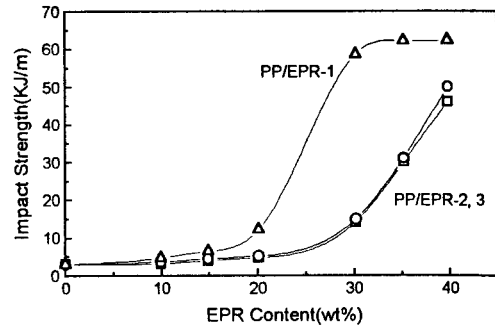


그림 8. Impact strength vs. EPR content.

없는데 이는 결국 고결정 PP를 사용할 경우 무정형 부분의 두께가 줄어들게 된다는 것이다. 따라서 고결정성 PP의 사용은 충격강도나 인장신율 등의 물성감소 없이 강도 및 표면경도의 개선을 가능하게 한다.³

2.2.4 Propylene-Rich EPR의 이용

앞 부분에서 언급한 것처럼 고결정성 PP를 사용하여 소재의 충격강도를 희생하지 않고서도 강성을 증가시킬 수 있으나 그러기 위해서는 고무상 내에 PP 결정이 미세하게 분산될 수 있어야 하며 이를 위해서는 사용하는 EPR 역시 고려 대상이 된다.

Propylene-rich EPR은 PP와의 상용성이 좋아 PP 결정의 미세 분산을 가능하게 한다. Propylene-rich EPR을 사용할 경우 PP 라멜라 사이의 간격을 propylene-rich EPR이 채워 마치 PP 결정의 강직구조의 충 사이에 완충재(damper)와 같은 역할을 하게 되며 결과적으로 충격강도를 증가시키게 된다.

표 1과 그림 8에 PP와 EPR의 특성과 함께 EPR의 에틸렌 함량에 따른 충격강도를 나타내었다.

프로필렌 함량이 높은 EPR을 사용한 PP/EPR-1의 경우 상대적으로 낮은 EPR 함량에서도 다른 EPR을 사용한 경우에 비하여 매우 높은 충격강도를 보임을 알 수 있다.⁴

2.2.5 탄성체(Elastomer)의 강인화

보다 우수한 물성을 구현하기 위해서는 매트릭스 상을 형성하는 EPR에 대한 개선이 필요하다. 이를 위해서 탈크와 같은 충전체를 첨가하거나 다른 고분자를 첨가하여 EPR내에 탄성합금을 형성시키는 방법이 있는데 SOP 제조에서는 이 두 가지 방법을 모두 이용한다.

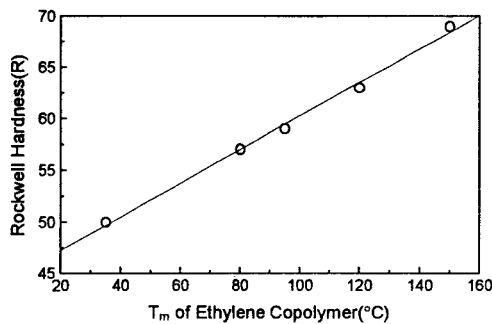


그림 9. Effect of ethylene copolymer addition on hardness.

표 2. SOP와 EMPP의 물성비교

물 성	단 위	SOP-1	EMPP
파단신율	%	500	500
용융지수	g/10 min	18	9
굴곡탄성률	MPa	1500	1000
록크웰경도		65	35
Brittle temp.	°C	-40	-40
Izod충격강도 (-30 °C)	J/m	70	70
열팽창계수	10 ⁻⁵ /°C	6.5	6.5

그림 9에는 에틸렌 공중합체의 녹는점(T_m)에 따른 록크웰 경도변화를 나타내었는데 고무상에 결정 라멜라를 도입함으로써 매트릭스의 경화를 일으켜 표면경도를 크게 증가시킬 수 있음을 알 수 있다.

이러한 현상은 EPR과 에틸렌 공중합체가 IPN 구조를 이루어 PE 결정 라멜라가 고무상 중에서 물리적 가교점으로 작용하기 때문인 것으로 설명된다.⁵

2.3 SOP의 성능

SOP는 범퍼용 소재로 사용될 때 일반적인 EMPP와 비교하여 다음과 같은 특징을 가지며² 이들의 물성 비교를 표 2에 나타내었다.⁶

1) 굴곡탄성률이 50% 정도 높고 유동성이 우수해 두께감소가 가능하여 결과적으로 약 15% 정도의 무게감소를 이룰 수 있다.

2) 2배 정도 높은 유동성으로 인해 약 30% 정도의 생산성이 증가한다.

3) 고무상 내에 결정 라멜라가 존재하므로 성형중의 elastic flow가 감소하며 이로 인해 표면 평활도가 증가한다.

4) 10여 차례의 재활용을 해도 물성 및 형태학이 그대로 유지되어 재활용이 용이하다.

SOP는 현재까지 적용부품에 따라 SOP-1, SOP-2, SOP-3, SOP-5가 개발되었으며, SOP-4, SOP-6, SOP-7은 아직 개발중에 있다. 재료 통합을 위하여 도요다 자동차가 계획하고 있는 SOP 시리즈의 개발 계통도를 그림 10에 나타내었으며 현재까지 개발된 SOP 제품군의 물성을 표 3에 정리하였다.⁷

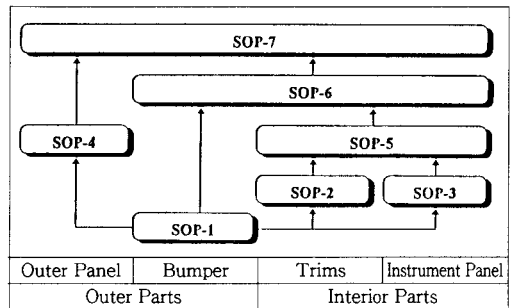


그림 10. 도요다 자동차의 SOP 개발 계통도.

표 3. SOP 제품군의 물성

물 성	단위	SOP-1	SOP-2	SOP-3	SOP-5
파단신율	%	500	300	500	500
용융지수	g/10 min	18	28	10	30
굴곡탄성률	MPa	1500	2500	2500	2500
록크웰경도		65	95	85	85
Brittle tmep.	°C	-40	6	-5	-15
Izod충격강도 (23 °C)	J/m	450	70	185	250
(-30 °C)		70	30	50	-
열팽창계수	10 ⁻⁵ /°C	6.5	8.0	8.0	8.0
비중	g/cm ³	0.97	0.975	1.02	-

3. Directly Paintable TPO(DPT)

자동차의 범퍼 페이서는 외관이나 장식의 목적뿐 아니라 내마모성, 내스크래치성, 내약품성, 내오염성, 내후성 등의 기능 개선을 위하여 도장공정을 거치게 된다. 그러나, 폴리올레핀계 범퍼 소재인 TPO 컴파운드는 주 원료인 폴리프로필렌의 비극성 및 고결정성 때문에 그 자체로는 도장이 거의 불가능하다. TPO의 충격보강재로서 사용되는 EPR과 같은 고무 성분이 도장성 향상에 어느정도 기여하기는 하지만 이것 역시 극성이 전혀 없어 만족할만한 페인트 부착력을 나타낼 수 없다.

따라서 TPO 표면에 도장이 가능하도록 하기 위하여 도장 전에 코로나, 불꽃, 플라즈마 처리와 같은 표면 전처리 과정을 거치거나 프라이머와 같은 접착촉진제를 코팅하게 된다. 이 중 프라이머를 코팅하는 방법이 현재 범퍼 도장시 가장 일반적인 방법이다. 프라이머로 사용되는 대표적인 물질은 주성분이 염소화 폴리올레핀 수지로서 유기용매를 용제로 하여 10 wt% 이하의 낮은 농도의 용액상태로 사용된다. Clear coat와 base coat에 사용되는 페인트 성분은 기계적 강도, 내마모성, 유연성 등을 고려하여 2액형 우레탄계 페인트가 일반적이다. 그림 11에 프라이머를 사용한 표준 도장공정을 나타내었다.

3.1 기존 도장 시스템의 문제점

앞서 언급한 프라이머 코팅 방식은 불꽃이나 플라즈마

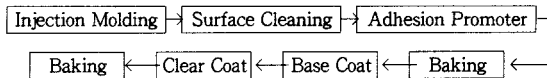


그림 11. 범퍼 표준도장 공정.

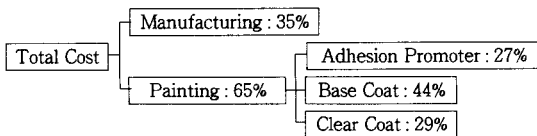


그림 12. 도장된 범퍼 페이스의 제조원가 구성.

처리와 같은 전처리 방법에 비해 우수한 페인트 부착성, 저렴한 설비투자비 등의 장점이 많아 현재 가장 널리 사용되고 있지만 다음과 같은 문제점을 갖고 있다.

그림 12에 도장된 범퍼의 대략적인 제조원가 구성을 나타내었다.⁸ 도장 비용은 최종제품의 제조원가 중 60% 이상을 차지하며 도장 비용 중에서 프라이머 코팅에 해당되는 비율이 약 25% 정도를 차지한다. 여기서 프라이머 코팅 비용은 프라이머 자체의 비용뿐만 아니라 프라이머 코팅을 위한 공간 확보, 인건비 상승, 생산성 저하 등을 포함한 것이다. 따라서 프라이머 전처리 비용이 최종제품의 제조원가에 상당한 비중을 차지하고 있음을 알 수 있다. 또한 환경 문제와 관련하여 최근의 전 세계적인 VOC(volatile organic compound)규제 움직임에 따라 프라이머에 사용되는 용제가 선진국을 시작으로 사회적 문제가 되고 있다. 따라서 프라이머 코팅과 같은 전처리 과정 없이 직접 도장이 가능한 TPO 개발의 요구가 생겨나게 되었으며 이러한 TPO를 통상 DPT(directly paintable TPO)라 부른다.

3.2 개발동향

80년대 말부터 세계적인 TPO 제조업체들의 본격적인 개발이 시작되었으나 아직까지는 자동차에 장착하여 상업화에 성공한 예는 없다. 최근에도 많은 특허나 보고 등을 통해 새로운 기술들이 발표되고 있는데 이들 기술을 크게 분류하면 다음과 같이 나눌 수 있다.

1) EVA, 폴리아미드와 같은 극성 고분자를 상용화제와 함께 블렌딩하는 방법

2) 카르복실산기, 히드록실기와 같은 극성기로 개질된 폴리올레핀(PP, PE, EPR 등)을 첨가하는 방법

3) TPO 컴파운딩 중 무수말레인산과 같은 극성 모노머와 과산화물을 첨가하여 반응압출(reactive extrusion)시켜 전체 TPO 컴파운드를 극성으로 개질하는 방법

표 4에 각 회사별 특허기술을 정리하였는데 대부분의 경우가 앞서 언급한 세가지 방법 중의 하나를 채택하거나 두개 이상의 기술을 복합화하여 사용하고 있다.

3.3 해결과제

그 동안의 많은 연구개발에도 불구하고 아직까지 상업화가 성공하지 못한 이유는 다음과 같은 미해결과제들이

표 4. DPT 기술개발 동향

회 사	기 술	Ref.
Sumitomo Chemical	Hydroxyl Group-Modified Polypropylene 을 첨가	9, 10, 11
Idemitsu Petrochemical	Carboxyl 또는 Hydroxyl Group Modified Polyolefin 및 다가 Alcohol을 첨가	12
Toa Nenryo Kogyo	폴리프로필렌을 Carboxylic Acid 또는 Anhydride로 개질 후 다가 Alcohol이나 다가 Amine으로 반응시킴	13
Showa Denko	HEMA Grafted Polypropylene, Hydroxyl 또는 Carboxyl Terminated Liquid Rubber 등을 첨가	14, 15
Exxon Chemical	Ethylene-co-Acrylic Acid 등 폴리에틸렌계 극성 공중합체를 블렌딩	16
Dow Chemical	Maleated Polypropylene과 Maleated Polyolefin Elastomer를 첨가	17
Mitsubishi Petrochemical	Amine Group-Modified Polyethylene과 Hydroxyl Group Modified Rubber를 첨가	18, 19
Huntsman	Maleated Polypropylene과 Poly-etheramine을 첨가	20, 21

남아 있기 때문이다.

3.3.1 제조원가

DPT 제조에 따른 가장 큰 문제점은 제조원가 상승으로, 이는 충분한 도장성 확보를 위해서 범용 TPO 컴파운드에 비해 훨씬 고가인 첨가제들이 다량 첨가되기 때문이다. 이를 위해 값 싼 첨가제 개발 및 반응압출 등의 제조 공정의 개선이 시도되고 있다.

3.3.2 물성

도장성 부여를 위해 첨가되는 첨가제 자체의 물성뿐만 아니라 이들 첨가제와 폴리프로필렌과의 비상용성 문제 때문에 충격강도 등의 기계적 물성이 저하되므로 극성 첨가제의 상용성 개선 및 함량 최소화가 해결해야 될 과제로 남아있다.

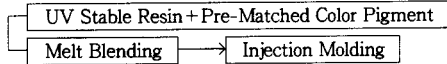
3.3.3 균일한 도장성

DPT의 도장성은 주성분인 폴리프로필렌, 고무, 극성 화합물의 성형품 표면에서의 형태학에 크게 의존하므로 범퍼와 같은 대형 사출물인 경우는 사출성형시의 유체 흐름 특성에 따라 성형품 부위별로 형태학 차이가 나타날 수 있으며 이러한 현상이 불균일한 도장성을 야기하게 된다. 따라서 사출조건에 따른 형태학 및 도장성의 변화가 충분히 파악되어야 한다.

4. Mold In Colored(MIC) TPO

MIC란 제품의 외관 및 내후성 향상을 위해 원재료를 안료화하여 성형하는 방법을 통칭하는 것으로 가전제품의 하우징용으로는 일반화되어 있는 기술이다. 자동차 범퍼에 있어서도 MIC는 기존의 페인팅형에 비하여 제품의 재활용성이 월등히 우수하다는 점과 제조비용이 약 35%

(1) Melt Blending



(2) Dry Blending

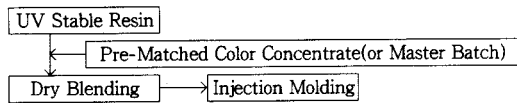


그림 13. MIC용 안료 혼합방법에 대한 도식도.

표 5. 용융 블렌드 MIC와 건식 블렌드 MIC의 특성비교

특 성	용융 블렌드	건식 블렌드
비용	-	8~10% 절감
안료분산성	균일	거침
색상강도	높다	낮다
내후성	향상	-
기계적 물성	유지	저하
색상 안정성	우수	나쁨
성형품외관	줄무늬 없음	줄무늬

절감되는 이유로 성능상의 여러가지 단점이 있음에도 불구하고 이의 적용이 전세계적으로 확대되는 상황이다. 특히 제품생산시 도장 공정과 재활용시 페인트 제거 공정에서 야기되는 환경오염 요소가 전혀 없기 때문에 향후 환경규제가 강화될수록 그 사용규모는 점차 확대될 것으로 예상된다.

4.1 기술의 개요

MIC TPO 제조를 위한 안료의 혼합방법은 두가지로 분류되고 이를 그림 13에 나타내었다.

그림 13에서 나타낸 바와 같이 두가지 블렌딩 방법은 각각 장단점을 가지고 있고 이를 표 5에 나타내었다.

표 5에서 보는 바와 같이 용융 블렌드 MIC가 성능면에서 더 우수함을 알 수 있지만 건식(dry) 블렌드 MIC의 약점 요소가 큰 영향이 없는 경우는 건식 블렌드 MIC를 선호하는 경향이 있다.

범퍼로서 MIC TPO가 기존의 페인팅형의 TPO와 비교하여 기술적으로 보완되어야 할 사항으로 다음의 4가지가 고려된다.

첫째는 내후성을 향상시키는 것이다. 페인팅형의 경우 페인트 도막이 수지보다 UV 안정성이 뛰어나기 때문에 변색이 없고 수지의 물성이 유지되는 반면 MIC의 경우는 변색 및 첨가제 블루밍(blooming) 문제가 생기기 쉽다. 따라서 UV 안정제 선정이 매우 중요하고 장기 옥외 폭로 시험을 통해 이를 검증하는 것이 선행되어야 한다. 실제로 2년여에 걸친 옥외 폭로시험과 병행하여 실험실에서 weather-O-meter를 사용하여 내후성을 비교적 빨리 평가할 수 있는 국제적 표준방법(SAE J1960)으로 이를 평가할 수 있는데, 변색을 평가하는 요소인 ΔE 가 2,500 kJ의 빛에너지를 받았을 때 3.0미만이어야 하고 시험 후 표

면을 50배 확대해서 관찰시 균열이 발견되지 않아야 한다.

둘째는 제품의 외관이 수려해야 한다는 것이다. 페인팅형의 경우 페인트에 의해 표면의 흐름자국이나 용접부위를 감출 수 있지만 MIC의 경우는 이러한 현상이 그대로 드러나기 때문에 금형설계 변경 및 수지의 흐름 특성을 해석함으로써 이런 문제를 해결해야 한다.

셋째는 표면의 광택도를 향상시키는 것이다. 페인팅형의 경우 clear coat층이 표면의 광택도를 향상시켜 차체와 동등한 광택도를 유지할 수 있으나 MIC 범퍼의 경우는 광택도 면에서 상대적으로 열세에 있어 고급스럽지 않게 보이는 경향이 있다. 이 문제를 해결하기 위하여 페인팅형에 준하는 광택도로 향상시키는 것은 거의 불가능하지만 안료 선정과 이를 미세하게 분산시켜 제품표면의 평활성을 최대로 확보하여 빛의 난반사를 최소화함으로써 광택도를 최대화시키는 방법으로 접근하고 있다.

넷째는 내스크래치성을 향상시키는 것이다. 페인팅형의 경우는 소재의 내스크래치성과 상관없이 페인트 도막이 이 특성을 나타내게 된다. 경화된 우레탄 페인트는 표면의 내스크래치성이 상대적으로 매우 우수한 반면 MIC의 경우는 TPO 소재의 특성상 그렇지 못하다. 이러한 내스크래치성 향상을 위해 핵제 등을 첨가하여 소재의 표면경도를 높이는 방법, 슬립제 등을 사용하여 마찰계수를 낮추는 방법, 표면을 엠보싱 형태로 성형하는 방법 등이 시도되고 있다.

4.2 현황 및 전망

MIC형 범퍼를 가장 활발하게 적용하고 있는 지역은 유럽으로 차체 색깔과 무관하게 검은 색을 많이 적용해 왔다. 북미의 경우는 그동안 지프나 소형 트럭 등에 제한적으로 적용되다가 최근들어 소형 승용차를 중심으로 적용이 확대되고 있다. 특히 차체와 범퍼를 2색화하는 것이 추세에 있어 범퍼와 side cladding을 잇는 색을 단색화하여 범퍼를 MIC화하는 경향이 늘어나고 있다. 한국과 일본은 자동차의 외관을 중요시하는 국민 성향 때문에 MIC형이 상대적으로 호평을 받지 못하고 있으나 제조원이 절감을 위하여 자동차업체의 MIC화 노력이 확대되고 있다.

특히 우리나라의 경우 프라이드, 엑센트, 티코 등에 제한적으로 적용이 되오다가 최근에 코란도 II에서 MIC 범퍼를 전면 적용하기에 이르렀다. 또한 현대, 대우, 기아 자동차는 1998년부터의 신차 출시에 선택 사양으로 이를 포함시켜 소비자의 선호도를 조사한 후 이의 확대여부를 결정할 예정으로 있으므로 향후 범퍼 소재로서의 MIC TPO 수요는 크게 늘어날 전망이다.

5. 결 론

90년대 초부터 진행된 자동차용 플라스틱의 폴리올레

핀화는 현재까지 계속되고 있으며, 이 중 특히 폴리프로필렌의 사용량은 2000년대 이후에는 전체 자동차용 플라스틱의 50% 수준에 육박할 것으로 전망된다. 이러한 이유는 폴리올레핀이 갖고 있는 소재가격, 경량성, 생산성, 기계적 물성, 외관, 재활용성 등의 많은 장점 때문이다. 물론 이러한 자동차용 플라스틱으로의 비약적인 발전에는 새로운 중합기술, 첨가제 기술, 컴파운딩 기술을 통한 폴리올레핀의 고성능화가 기반이 되었다.

SOP는 90년대에 개발된 대표적인 폴리올레핀계 신소재로 손꼽을 만하다. 고유동성, 고강성으로 대변되는 이 소재는 혁신적인 형태학 개념 뿐만 아니라, 원료 수지의 새로운 중합기술, 컴파운딩 기술의 최적화 등이 종합적으로 기여한 결과로 생각된다.

도장 비용 절감을 위한 MIC 소재는 본격적인 범퍼 소재로의 적용을 위해서 건식 블렌드/사출시스템에서의 물성 개선, 도장된 범퍼와 동일한 내구성 확보를 위한 첨가제 및 안료 배합기술 등이 해결과제로 남아있다. 도장과 관련된 또 하나의 신기능 소재인 DPT는 반응압출과 형태학 조절기술이 최근 가장 많이 연구되고 있다. 아직까지는 가격 및 성능 면에서 기존의 프라이머 코팅방식을 대체하기는 미흡한 수준이지만 미국의 포드사 등에서 이미 자동차에 장착하여 테스트가 진행되고 있으므로 멀지 않은 장래에 본격 상업화될 것으로 전망된다.

환경보호를 고려하여 기존의 PVC, 엔지니어링 플라스틱, 열경화성 수지 등을 폴리올레핀 수지로 대체하려는 시도도 향후 자동차용 폴리올레핀의 커다란 연구분야가 될 전망이다. 일례로 자동차 내장재의 연질 표피층으로 사용되는 PVC 시트를 TPO로 대체하여 통합된 폴리올레핀 다층 제품으로 만드는 것 등을 들 수 있다.

사회적, 환경적인 요구와 조화를 이룬 자동차의 개발

및 생산은 현재 자동차 제조업체의 가장 중요한 관심사이다. 따라서 자동차 설계 및 소재 선정시 안전성, 재활용성, 환경보호, 경량화 등이 최우선적인 고려사항이 되고 있으며, 이러한 관점에서 폴리올레핀 수지는 자동차용 플라스틱 소재 중 가장 적합한 소재로 평가된다.

참 고 문 헌

1. Kansai Research Institute Multiclient Report, "Advanced Materials-Phase VIII", No. 11, p. 207 (1997).
2. H. Sato, H. Sano, and H. Tanaka, *Japan Plastics*, 46, 37 (1996).
3. T. Nomura, T. Nishio, H. Sato, and H. Sano, *Kobunshi Ronbunshu*, 50(2), 81 (1993).
4. T. Nomura, T. Nishio, H. Taniguchi, K. Hirai, and N. Hisamura, *Kobunshi Ronbunshu*, 51(8), 505 (1994).
5. T. Nomura, T. Nishio, H. Sato, and H. Sano, *Kobunshi Ronbunshu*, 50(1), 27 (1993).
6. A. Uchikawa, *Kogyo Zairyo*, 42(1), 26 (1994).
7. H. Iwai, *J. Soc. Automotive Eng. Japan*, 50(5), 6 (1996).
8. "Automotive Bumpers 1994", Phillip Townsend Associates Inc., 1994.
9. Sumitomo Chemical Co., US 5462987 (1995).
10. Sumitomo Chemical Co., US 5573856 (1996).
11. Sumitomo Chemical Co., US 5602203 (1997).
12. Idemitsu Petrochemical Co., 5486561 (1996).
13. Toa Nenryo Kogyo, US 4146590 (1979).
14. Showa Denko K. K., US 5354618 (1994).
15. Showa Denko K. K., JP 60-55012 (1985).
16. Exxon Chemical Co., US 4888391 (1989).
17. The Dow Chemical Co., US 5424362 (1995).
18. Mitsubishi Petrochemical, JP 4-272938 (1992).
19. Mitsubishi Petrochemical, JP 4-272948 (1992).
20. R. J. Clark, ANTEC '94, 2572 (1994).
21. R. J. Clark, ANTEC '95, 3306 (1995).