

Mold-in-Color TPO Bumper Covers

서 론

지난 10여년 동안 열가소성 재료들은 철이나 RIM 폴리우레탄과 같은 열경화성 재료들을 제치고 자동차 범퍼 카바재료로 상당히 침투해 왔다. 이러한 시장변화를 가져온 재료가 바로 thermoplastic olefins (TPO)들이다. 북미지역에서만 이러한 TPO의 사용량은 매년 30% 정도로 증가될 것으로 예상된다. 이러한 증가의 원인은 간단하다. 즉 TPO는 SMC, RIM 폴리우레탄 또는 철 등에 비해서 향상된 내구성과 성능을 갖기 때문이다.

이러한 우수한 성능을 부각시키기 위해서 본 topic에서는 TPO 범퍼개발과 상업화시의 문제점에 대해서 알아 보기로 한다. 본 topic에서는 Chevrolet 1991 J car의 TPO fascia program에서 재료개발, 부품디자인 그리고 마지막으로 제조공정시의 고려점까지를 카바한다.

1991년 Chevrolet J 범퍼카바를 제조하는데는 몇 가지 기술적인 문제점들이 있었다. 이 문제점들에는 새로운 디자인 규격에 맞는 재료를 새로 개발하는 것과 부품을 재디자인 하는 것, 새로운 제조기술을 개발하는 것 등이 있다.

재료개발

단순히 열가소성재료를 선정해서 도색을 하기 보다 grained, molded-in-color TPO fascia를 개발하기 위해서는 새로운 생각이 필요하다. 즉 PP의 high-flow 성질과 soft TPO의 우수한 저온 충격강도를 결합시킬 필요가 있다.

이러한 목표를 달성하기 위해서 다음과 같은 4개의 중요한 성질에 초점을 맞추었다.

- i) 우수한 유변학적 성질
- ii) 적절한 충격/강성도의 균형

iii) regrind문제(합량 및 성능유지)

iv) UV안정성

여기에서는 목표는 상기 4개의 성능 균형을 유지하는 것이다.

유변학적 성질

Molded-in-color 응용시의 유변학적 성질은 다음과 같은 3가지 이유에서 중요하다.

첫째는 긴 flow length인데 이것은 큰 fascia part의 특성으로 일반적으로는 flow line(zebra striping)의 형태로 나타난다. 둘째는 표면광택이 불균일할 수가 있고 세번째로는 나쁜 flow property를 갖는 레진을 사용시는 pack-out 문제가 발생할 수 있다. 이러한 모든 요소가 불합격제품으로 귀결될 수 있다.

이 재료의 유변학적 성질을 충족시키기 위해서는 통상적인 melt flow rate(low shear rate) 시험보다는 intrinsic melt viscosity(high shear rate)를 기준으로 삼아야 한다. 그 이유는 상기 IMV가 실제 가공조건을 더 가깝게 재현해 주기 때문이다. 초기의 목표로는 IMV를 50 pa-sec(500 poise) 미만으로 잡았다. 그러나 현재 필요로 하는 molded-in-color 적용을 위해서는 IMV가 20~30 pa-sec(200~300 poise) 정도가 적정 flow-property이다.

충격/강성도 균형

미연방 자동차규격(FMV SS 215) 충족과 heat sag와 같은 열안정성을 유지시키기 위해서는 적절한 impact-to-stiffness 균형이 필요하다. 비록 410~550 MPa의 flexural modulus를 갖는 TPO는 필요충격강도를 보여주었지만 만족스러운 부품강도와 barrier/pendulum 충격으로부터 최소한의 sheet metal damage 필요조건을 충족시킬려면 725 MPa 정도의 flexural modulus가 목표가 된다. 이번의 주요 문제는 충격강도를 증진시킴과 동시에 필요강성도를 유지시키는 것이다.

이러한 과정은 Rheometric impact tester와 Dy-

natup tester를 사용한 충격강도실험을 거쳐야 한다. 여기에서의 기준충격강도는 다음과 같은 조건하에서 선정된 grain에서 $10 \times 15 \times 0.32$ cm의 plaque로 행한 실험시 ductile failure를 얻으면 된다. 이때의 실험조건은 온도 -30°C , 속도 2.2 m/sec, support 7.6 cm 그리고 dart 직경 2.54 cm이었다. 이 방법이 추후 생산된 레진에 대한 품질관리에 사용되었다.

이 충격강도를 optimization하는 과정에서 14가지 색상에 대한 test를 한 결과 여러가지 안료의 충격강도에 대한 영향을 확인할 수 있었다. 일반적으로 무기안료를 많이 넣은 색상은 충격강도에 나쁜 영향을 주었다. 즉 노랑, 파랑 등의 무기안료를 많이 넣은 것과 암적색의 유기안료를 많이 넣은 것은 larger particle size가 되어서 분산에 따른 문제와 그 결과 감소된 충격강도로 나타났다. 이러한 점을 개선하기 위해서는 레진을 개질시킬 필요가 있다.

Regrind 문제

충격강도에 대한 regrind 영향을 조사하였다. 25% 정도까지의 regrind를 사용한 결과 색상과 물리적 성질이 100% 유지되는 것을 입증하였다. 이러한 regrind는 7차례나 재생하여서 사용해도 물리적 성질이 유지되는 것을 Fig. 1에서 보여 준다.

UV 안정성

기본 제품 디자인을 규정 후는 적절한 UV 안정화 방법을 강구해야 한다. UV 안정제는 외관과 물리적 성능 유지에 필요한 조건을 만족해야 한다. General Motors(GM) Crop.이 정한 내후성 규격에 의하면 이 재료는 Florida와 Arizona주에서 2년동안 직접적

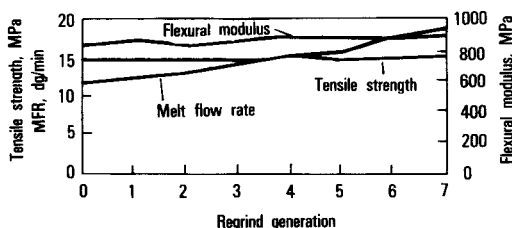


Fig. 1. Physical properties were retained through seven generations of 100% natural regrind. Generation zero is virgin material; specimens were die-cut from 4×6 inch injection molded plaques.

인 기후를 견뎌내야 한다고 되어 있다. 또한 weatherometer(SAE J-160)의 2500 kJ/m^2 의 Xenon arc 등 하에서 가속실험시 어떤 문제가 될만한 표면 결함이 없거나 Delta E 색상변화가 3.0을 넘어서는 안된다고 규정하고 있다.

특히 특정안료는 UV 안정도에 나쁜 영향을 끼치기 때문에 레진에 대한 UV 안정화 방법은 최악의 안료 조합에서도 견딜 수 있도록 optimize시킬 필요가 있다.

현재 Florida와 Arizona주에서 주색상인 검정, 흰색, 은색 그리고 회색 plaque에 대한 testing이 계속 진행중이고 24개월 경과된 현재도 이런 직접적인 기후가 색상이나 성능에 아무 영향도 끼치지 않는 것을 보여 준다. (Fig. 2) 또한 weatherometer를 이용한 가속실험결과도 Delta E 색상변화가 2 미만이다. Table 1은 TPO fascia 재료의 최종제품 성능을 보여 준다.

충격성능

범퍼카바성능의 가장 중요한 점은 barrier impact의 연방규격(ductile failure at 40 Joule impact at -29°C)을 만족시키는 점이다. Air opening에 있는 수직금속지지대를 제거한 결과 지금까지의 열가소성 재료 디자인에 비해서 상당량의 무게절감을 가져왔고 그 결과 725 MPa의 flexural modulus가 필요하게 되었다. 이러한 강성도를 갖고 두께가 3~4 mm가 되는 fascia design은 모든 연방 및 GM 규격을 통과하였다.

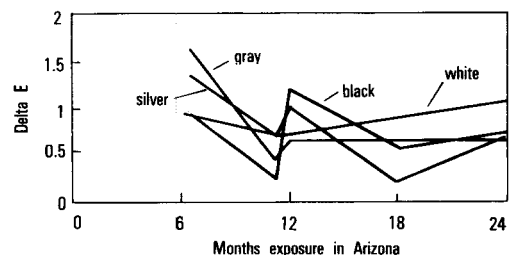


Fig. 2. Color shift results, after exposure to direct weathering in Arizona, for a $10 \times 15 \times 0.32$ cm plaque with reverse camera-case grain.

Table 1. Material Specification and Product Data for Molded-in-Color Fascia Material. Specification : GMP, E/P 025. Material Type : Polyolefin Alloy(Natural Resin)

Property	Specification	ASTM Test Method	Product Data
Specific gravity, g/cm ³	0.87–0.91	D792	0.89
Melt flow rate, dg/min	8.5–13.0	D1238 (230°C, 2160 g)	10.7
Intrinsic melt viscosity(IMV)	50 Pa-sec maximum	GM 930IP ; 230°C shear stress : 152.5 kPa ; dwell : 5,7,9,11	23
Flexural modulus at –30°C at +22°C	2380 Mpa maximum 580–800 Mpa	D790, Method I 13 mm/min, 50 mm span 25 mm wide, Tangent Method	— 690
at +70°C	175 MPa minimum		—
Tensile stress at yield	13.5 MPa minimum	D638, Type IV bar, 50 mm/min	16
Tear strength	88 kN/m minimum	D624	100
Hardness(Shore D)	55–65	D2240	61
Mold shrinkage 24 hr after molding	1.25 % ± 0.2 %	Measure on plaques 15 cm(minimum) long by 10 cm (minimum) wide. Averages of lengths and widths	—
after 60 min at 125°C	1.60 % ± 0.2 %		—
Brittleness temperature	–45°C maximum	D746, die-cut from injection molded specimens	Pass
Multiaxial impact strength, energy at maximum load	19.0 joules minimum Ductile failures	D3763, Dynatup, 2.2 m/sec, 7.6 cm backup, 1.3 cm dart at –30°C	22
Weather resistance : direct : Ariz./Fla. ; accel : xenon arc color change	Delta E=3.0 maximum	2 yrs exposure to direct weather in Ariz. & Fla. per ASTM G7 (open rack, south) ; Xenon(2500 kJ)/ SAE J1960	Pass
surface defects	No objectionable defects		

표면바탕

적절한 표면 grain pattern 개발이 범퍼개발에 있어서 중요한 점이다. 낮은 표면광택도를 갖는 이상적인 grain pattern은 knit와 flow line이 드러나는 것을 최소화시킬 수 있다. 또한 광범위한 연구에 의하면 거친 표면을 갖는 deep, low-density large grain이 mar resistance에 우수한 반면 shallow,

high-density sharpened narrow grain은 scratch resistance를 향상시킨다. 이런 점에서 가장 적당한 해결책은 camera-case의 내피와 같은 표면을 갖는 것이 mar resistance와 표면 defect를 감추는데 최적이다.

색상

개발초기에는 모두 14가지의 색상이 고려되었지만

자동차의 전체 style을 고려한 결과 검정, 회색, 흰색 그리고 은색의 4가지 색상으로 귀착되었다.

부품 수리

최종부품 고려시는 고객 서비스가 필요하게 된다. 이전의 data에 의하면 molded-in-color TPO 부품은 수리에 문제가 있었다. 예를들어 수리후의 부정확한 색상 및 grain match 그리고 교체된 범퍼의 가격이 painted fascia와 비슷하다는 점 등이다. 현 모델 자동차에 대한 조사결과 교체된 범퍼의 50% 이상이 큰 손상을 겪지는 않았고 수리 가능하였다. 그러므로 grained, molded-in-color TPO 부품을 위해서는 repair system 개발이 필요하다. 이러한 system으로 color match에는 큰 문제가 없었고 이때의 수리비는 교체비용의 10%에 불과했다.

제조시 고려사항

범퍼카바제조시 고려할 사항은 품질이 우수한 molded-in-color product part를 생산하기 위해서 TPO 레진과 color concentrate를 사용하는 점이다. 이러한 fascia를 생산하는 것은 쉬운 일이 아니다. 첫째로 여러색상과 레진은 대량 구매시의 장점이 있기 때문에 precolored 레진보다는 자연적인 UV-stable 레진을 사용해야 한다. 이 자연적인 레진은 injection press에서 color concentrate와 melt mixing되어야 한다. 이때 제조시 고려사항은 부품색상, 색상 변환, scrap rates, 그리고 부품처리 및 포장이다.

부품 색상

초기생산결과 은색 및 회색범퍼에 불량인 flow line이 나타났다. 이 문제를 해결하기 힘든 것은 레진에 여러 종류의 formulation 즉 안료분산을 향상시키는 것, 안료변화 등의 여러 변수가 있기 때문이다. 여기에 mold flow analysis를 이용해서 이 문제를 해결하였다. 즉 새로운 fascia design이 flow line의 원인이 되는 flow pattern과 high shear area를 야기시켰다. 그런데 이 부품디자인은 변경될 수 없기 때문에 fan gate는 열고 edge gate의 profile을 변경시킴으로써 gate 형태를 바꾸었다.

색상변환

생산이 시작됨에 따라 색상변환이 그 다음 해결할 문제가 되었다. 실사 추천된 진행방식인 흰색에서 은색, 회색, 검정으로의 변환방식이 사용된다 하더라도 과도하게 긴시간의 purging이 요구되었다. 또한 시간에 따른 배달시간을 지키기 위해서는 검정에서 흰색 또는 그 반대로의 색 변환이 필요하였고 이것이 더욱 문제를 복잡하게 하였다. 결국은 적당한 purge compound의 개발로 이 문제를 해결하게 되었다.

Scrap Rates

범퍼 카바 생산에는 약 9 lbs 정도가 1 shot에 해당되기 때문에 scrap rate가 중요하게 된다. 그래서 여러 종류의 regrind to virgin 레진비를 가지고 품질이 우수한 부품과 모든 외관 및 충격조건을 만족시키는 블렌드를 결정하기 위해서 실험을 하였다. Fascia의 착색에 대해서는 regrind에서의 흰색존재가 극복하기 어려운 문제가 되었다. 즉 흰색을 감추고 균일하고 우수한 외관을 갖는 부품을 성형하기 위해서는 아무리 많은 검정 concentrate를 넣어도 불가능하다. 그러므로 다른 mixed regrind에서 흰색을 분리해내서 팔기로 결정하였다. Mixed regrind를 사용해서 만족할만한 부품을 제조하는 문제는 25%의 mixed regrind와 75%의 virgin TPO 그리고 5%의 검정 concentrate를 사용해서 해결하였다. 3개월간의 실험결과 블렌드의 품질과 균일성은 우수하였다.

부품처리 및 포장

1991년도 Chevrolet J fascia와 같은 거대한 부품을 다루는 것은 제조시설에 여러가지 문제를 야기시킨다. 이 문제를 해결하기 위해서는 로봇트를 이용해서 특별히 디자인된 conveyor system에 옮겨 담는 것이 초기의 scratch를 줄이고 또한 초기의 60 sec간의 냉각시간을 유지시키는 것이 중요하다.

(Plastics Engineering, October 17~20 (1991))

〈수원대학교 전병철〉