

프라스틱 계기관(IP)의 효율적인 개발을 위한 재질선정 및 설계과정에 대한 고찰

A Study on Material Specification and Design Procedure for Efficient Development of Instrument Panel

조 한 형, 정 우 식
H. H. Cho, W. S. Joung



조 한 형
• 1949년 8월생
• 자동차용 플라스틱 응용
• 한국 GE 플라스틱



정 우 식
• 1961년 4월생
• 자동차용 플라스틱 Dumper
설계 및 해석
• 한국 GE 플라스틱

1. 서 론

자동차 경량화 추세 및 부품수 감소를 통한 원가절감을 위하여 IP 및 연관부품을 플라스틱으로 대체하고자 하는 노력은 그동안 지속적으로 진행되었으나 최근 자동차 디자인이 Aerodynamic화 함으로써 IP가 대형화되고 승객 안전을 위한 Air Bag 장착을 의무화하는 추세와 환경보존을 위한 재활용을 제도화하는등 IP 개발과정에서 고려해야 할 점이 과증하며 체계적이고 합리적인 판단이 그 어느 때보다 중요하다고 하겠다.

여기서는 IP의 요구조건을 기능적인 면과 성능적인 면으로 나누어 설명하고 기능면에서는

소재의 물성을 평가하여 Guideline을 제시하고자 하며 성능적인 면에서는 설계과정에서 사전에 성능을 평가하는 작업을 거침으로써 가능한 저렴한 재질로서 주어진 성능을 만족하고 또한 개발과정에서의 시행착오를 줄이는 방안을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 IP의 요구조건

IP는 자동차의 실내의 품질을 가장 크게 좌우하는 중요한 부품으로 기능 또한 다양하다. 우선 거주성 및 시계성을 고려하여야 하므로 위치 및 크기가 매우 제한되며 각종계기와 공조채널의 장착으로 인하여 매우 복잡하고 취약한 형상이 일반적이다.

미시적으로는 엔진과 히터 그리고 일광에 의한 고온에 충분히 견딜 수 있는 내열성이 있어야 하며 주행중에 가해지는 하중 및 진동에 충분히 견딜수 있는 견고한 재질이여야 한다. 또한 사고시에도 승객의 안전을 확보하기 위해서는 적절한 수준의 내충격성과 굴곡 탄성계수를 동시에 가져야 한다.

그외에도 크고 복잡한 형상을 성형하기 위해서는 흐름성이 우수해야 하며 Soft IP일 경우는 발포층과의 접착성도 좋아야 한다.

거시적으로는 규제 항목으로서 FMVSS 302, 201, 208항의 승객 안전에 관한 규정을 만족해야 하며 상품성 향상 측면에서는 주행중 소음 진동을 최소화하기 위한 재질선정, 제품보강, 구속점선정 등을 설계에 반영하여야 할 것이다.

각 항목별로 세부적인 내용은 뒤에서 다루기로 한다.

2.2 합리적 재질선정 과정

2.2.1 내열성

프라스틱 재질의 내열성을 비교하는 수치로는 HDT(열변형온도)를 주로 쓰는데 IP에 일반적으로 쓰이는 재질의 HDT 값은 PP-G(150도), MPPO(120도), HH-ABS(110도), ASG(110도), PC-ABS(107도), PP-F(86도) 순서이며 재질선정의 기준은 IP의 상부에 쓰이는 재질은 HDT가 105도 이상, IP의 하부에 쓰이는 재질은 HDT가 85도 이상으로 PP-F는 IP 상부의 재질로는 부적합 함을 알수 있다. 특히 최근의 Aerodynamic한 자동차의 IP에 있어서는 일광 조사면적이 넓고 IP가 커짐으로써 보다 높은 HDT 기준(120도 내외)을 적용하고 있다.

2.2.2 굴곡 탄성계수

IP 재질의 굴곡 탄성계수는 IP의 자중을 지지하는 것 뿐만 아니라 주행중 발생하는 진동에 대해 소음을 유발하지 않게 하며 충돌시 승객의 머리 또는 무릎에 적절한 크기의 저항력이 생기게 함으로써 승객의 안전을 도모할 수 있다. Aerodynamic한 디자인 추세로 인한 IP의 대형화는 IP 재질의 경량화 및 고 굴곡 탄성계수를 동시에 요구하게 된다.

주로 쓰이는 재질의 굴곡 탄성계수는 ASG(66,000kg/cm²), 고강성 MPPO(42,000), PP-G(35,000), PC-ABS(24,000), PP-F(24,000), HH-ABS(22,000), MPPO(20,000)의 순서이며 Steel 보강재를 일부 사용할 경우 재질선정 기준으로는 약 20,000에서 28,000정도의 굴곡 탄성계수의 재질이 많이 이용되고 있다. 굴곡 탄성계수에 관한한 확실적인 수치로 IP의 재질을 선정하는 데는 무리한 점이 있는데 그 이유로는 IP 재질의 굴

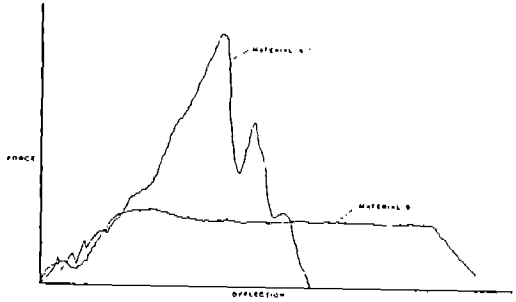


그림 1 프라스틱 재료의 하중-변위 곡선

곡탄성계수가 IP의 성능에 미치는 효과들이 IP의 크기, 보강정도, 조립방식등에 따라 달라지며 이러한 성능이 확인되는 시점에 재질도 함께 결정하는 것이 바람직하기 때문이다.

그러나 그림 1의 B같은 변위-하중 특성을 갖는 재질이 있을 때 A는 지나치게 높은 반력을 생성하는 반면에 B는 적절한 반력을 꾸준히 생성함으로써 IP의 재질로서 적절한 기계적물성을 가지고 있다. 적어도 A와 같은 재질을 IP재질의 대상에서 제외하는 것이 효율적으로 재질을 선정하는 방법일 것이다.

2.2.3 내 충격성

내 충격성을 비교하는 수치로는 Notched Izod Impact의 값을 이용하며 IP가 각진 모서리가 많은 것을 감안하면 적절한 방법이라고 생각된다. 주로 쓰이는 재질의 IZOD 값은 PC-ABS(65kg·cm/cm), MPPO(30), HH-ABS(16), PP-G(14), PP-F(10), ASG(10)의 순서이며 일반적인 선정 기준으로는 IZOD 값이 20kg·cm/cm 이상인 재질이 적당하다. 특히 승객측 에어 백이 장착될 경우는 그 값을 최소한 30kg·cm/cm 이상을 유지하는 것이 바람직하다. 최근에 IP의 재질로 PC-ABS가 각광을 받는 것도 탁월한 내 충격성 때문이다. 이 경우에도 모서리부의 형상을 완만하게 설계한다면 IZOD 값이 조금 낮은 재질의 사용도 가능할 것이다.

내열성과 내충격성을 기준으로 일반적으로 IP에 많이 쓰이는 재질을 그림 2의 도표에 나타내면 아래와 같으며 우측상단으로 멀리 위치할

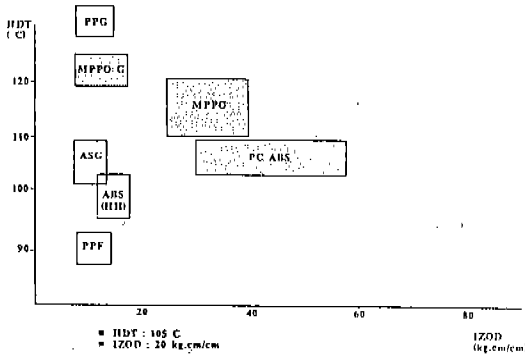


그림 2 재질 선정용 도표(내열성과 내충격성)

수록 대각선에서 가까울수록 좋은 재질이다.

2.2.4 Weld Line 강도

IP Core의 크기가 대부분 플라스틱 재질의 최대 흐름길이 보다 크므로 Multi-Gate System이 필수적이며 Weld Line은 필연적으로 생길 수밖에 없다. 승객측의 Air Bag이 장착될 경우 Air Bag 장착 Hold 주변에 Weld Line이 생성된다. 이 경우 IP Core의 성능은 Weld Line의 강도에 의해 좌우되며 Weld Line의 강도가 상대적으로 우수한 재질로는 PC-ABS를 꼽을 수 있다.

2.2.5 흐름성

IP가 크고 형상이 복잡함으로 인해 성형에 어려운 점이 많으며 따라서 가능하면 흐름성이 좋은 재질을 선정하는 것이 바람직하다. 그러나 어떤 재질의 최대 흐름길이보다 큰 제품을 성형하는 데는 Multi-Gate System을 이용함으로써 해결이 가능하므로 흐름성이 IP의 재질선정에 절대적인 영향을 끼친다고 보기는 어렵다.

2.2.6 후가공성

IP와 관련된 후가공성으로는 Soft IP Type에서는 Skin 발포층과의 접착성, Hard IP Type에서는 Paint 친화성 등을 들 수 있으며 대부분 첨가제에 의해 조절이 가능하므로 소재 업체에서 대응이 가능한 항목이다.

2.2.7 난연성

FMVSS 302항의 화염 전파속도가 분당 100mm 이하이어야 한다는 규제를 만족하기 위해서는

난연제가 함유된 재질이어야 한다.

2.2.8 재활용성

최근에 대두된 플라스틱 재료의 재활용 및 재활용의 경제성측면에서 다각적인 검토가 이루어지고 있으며 예로서 Soft Type의 IP에서 발포층의 재질을 PU Foam에서 PP Foam으로 대체시키고 또 Skin, 발포층, Core의 재질을 가능하면 동일하게 선정하는 것이 좋은 예이다.

2.3 IP의 설계 및 개발과정

2.3.1 디자인 단계

차량 기본 Layout에 의해 설정된 IP가 위치할 수 있는 공간내에 자동차 디자이너가 미적 감각을 고려하여 IP의 Skin을 설정하게 된다. 이 단계에서 Soft 또는 Hard Type 그리고 Painted 또는 Non-Painted가 결정된다.

2.3.2 초기 설계 단계

초기설계 단계에서 중요한 내용으로는 IP를 어떤 방식으로 구성할 것인가를 결정하는 것일 것이다. 표 1은 일반적으로 많이 도입되는 IP의 구성방식 및 그때의 재질선정의 주요항목이다.

표 1에서 기본적인 방향이 설정되면 IP가 포함하는 여러가지 부품들을 고려하고 성형상의 취출각을 고려하여 주요부의 단면형상, 단면두께를 설정하고 또한 IP의 Mounting 위치를 가 설정한다. Parting과 부품통합에 대해서도 사전에 고려하는 것이 바람직하다.

IP의 성능면에서 중요하게 고려해야 하는 승객 거동해석을 50%, 95%, 5%의 마네킹이 동시에 유효한 접촉면을 가질수 있도록 확보해 주는 것이 초기설계 단계에서 해주어야 할 일이다. FMVSS 201의 Head Impact의 경우 Steel Ball의 Impact 부위를 확보해 주는 것으로 충분하나, FMVSS 208의 Knee Impact의 경우 무릎을 통해 전달되는 하중을 2250Lb 이하로 유지해야 하는 동시에 많은 양의 에너지를 주어진 Package Space 내에서 흡수하여야 하므로 Knee Bolster의 Type과 재질 선정이 매우 중요하다. 이상에서 제기된 항목들을 적절히 조화시키는 범위에서 초기설계는 마무리한다.

2.3.3 설계 검정(FEA 해석) 단계

IP와 관련된 제반규제 항목의 내용과 그 검정을 위한 해석기법을 표 2로 작성하였다. IP와 관련된 그외의 중요한 설계 검토항목 및 해석 기법은 표 3으로 나타내었다.

2.3.4 상세 설계

기초설계 단계 및 설계검정 단계에서 충분히 검토하고 검정한 결과를 토대로 각 단부품의 설계에 들어간다. 설계시에는 동일한 기능을 얻을 수 있는 경우에는 가능한 간단한 형상의 설계를 하여 Tooling Cost를 줄이도록 노력한다. 또한 성능상 중요하지 않는 부분이라도 성형상 지나친 저항을 받지 않도록 두께는 최소한 2.7~3 mm 이상은 유지하도록 한다.

재질별로 성형 가능여부를 설계중에도 사출 성형해석을 통하여 확인하는 것이 바람직하나 일반적으로 설계 마무리 단계부터 시작하여 Proto Tooling 초기 단계까지 진행하여 Gate System 설정시 반영하는 것이 상례이다.

Corner부는 R을 완만하게 주는 것이 IZOD 값이 낮은 재질로 요구되는 성능을 만족시킬 수 있는 방안이다.

2.3.5 Proto Tooling 단계

Tooling 초기 단계까지는 재질을 확정하여야 각 재질마다 다른 성형수축률을 고려하여 Model 및 금형형상을 각는 작업을 진행할 수 있다. 앞에서 언급한 사출성형해석 결과에 따라 Gate System을 결정하고 성형을 원활히 하기 위해 형상변경이 필요한 경우에도 반영하는 것이 바람직하다. 사출성형해석 결과에서 Tooling 또는 설계에 반영하여야 할 주된 내용으로는 Flow Front에서 흐름이 Balance를 이루는 Gate System을 선택하고, 최종 사출압이 120MPa 이하가 되도록 관리하며(그 이상일 경우는 파다한 사출압으로 사출기에 무리가 가며 성형후 변형이 올 가능성이 커져 생산성 저하의 요인이 된다.), 온도 분포를 참조하여 냉각수 Line을 적절히 배치하며, 전단응력 분포가 취약부나 하중을 크게 받는 부분에 집중되지 않도록 Gate System을 조정한다. 시간이 허용한다면 IP에 관한한 Mold-filling, Packing, Cooling 그리고 취출후 Warp-age까지의 일련의 해석 과정을 거치는 것이 바람직하다.

Tooling이 끝나면 Molding Trial을 하여 적절한

표 1 IP의 구성방식 및 재질선정 기준

<Hard IP>

IP Part	Painting 여부	Air Bag 장착	재질상 고려 항목	설계상 고려항목
IP Core	×	×	내열성, 무광택	일반적으로 좌측의 재질상 고려항목을 만족하는 재질은 굴곡탄성 계수가 부족하므로 Knee Bolster 주변부에 상당한 보강이 필요함.
〃	×	○	내열성, 무광택 Weld Line 강도	
〃	○	×	내열성, Painting성	
〃	○	○	내열성, Painting성 Weld Line 강도	

<Soft IP>

IP Part	Padding 여부	Air Bag 장착	재질상 고려 항목	설계상 고려항목
IP Upper	○	×	내열성, Foam접착성	IP Lower가 구족적으로 안정되어 있으므로 과다보강 피할 것
〃	○	○	내열성, Foam접착성 Weld Line 강도	
IP Lower	형상이 복잡하지 않고 내열성도 과히 높지 않으므로 TPS(Glass fiber Reinforced PP) 재질을 이용하는 것이 중량과 부품수를 줄일 수 있다.			

표 2 제반규제항목 및 해석기법

안전 규제 항목	실험 방법 설명	FEA 해석 방법 설명
FMVSS 201	<p>직경 6.5IN 무게 15Lb인 Head Form을 15Mph로 IP에 충돌 <규제내용> 3Mili-Second이상 80G 이상의 감가속도가 지속되지 않을 것</p>	<p>IP Core를 Finite Element Mesh로 Modeling한 다음 Head Form형상의 Solid Surface를 주어진 속도로 IP Core에 충돌 (Dynamic Analysis) <평가 방법> 실험방법에서 설명한 Head Form이 가지는 운동에너지가 IP Core에 의해 소진되는 순간까지의 감가속도 확인 및 그때의 응력분포가 IP Core 재질이 허용할 수 있는 범위인가를 확인할 것 <불만족시 대안> - 두께 또는 형상 변경후 재해석 - 재질 변경후 재해석</p>
FMVSS 208	<p>30Mph로 고정벽면에 충돌시 <규제내용> 무릎에 전달되는 최고 하중이 2,250Lb 이하이고 가슴에 60G 이상의 가속도가 3Mili Second 이상 지속되지 않을 것</p>	<p>IP의 Knee Bolster 부분을 Finite Element Mesh로 Modeling한 다음 50%, 95%, 5%의 마네킹의 무릎모양의 Solid Surface로 Knee Bolster를 Quasi-Static으로 변형 일반적으로 무릎부의 중량은 100Lb 무릎부의 속도는 17Mph로 해석 <평가 방법> Knee Bolster의 변위와 반력을 이용하여 흡수에너지를 계산하고 이 값이 무릎이 가지는 운동에너지와 평형을 이루는 상태를 찾아낸다. 그때까지의 최대하중이 좌측의 규제하는 값을 만족하는지, 변위는 상관부품에 영향을 주지 않는 범위인지, 응력은 초기 설정한 재질이 만족하는 범위인지를 판단한다. <불만족시 대안> 변위량이 과다하다면 보다 강인한 재질로 대체한 후 다시 해석하고 반력이 과다하다면 보다 부드러운 재질로 대체한후 재해석한다.</p>

표 3 설계검토 항목 및 해석기법

설계검토항목	해석기법
승객거동해석	<p>승객 거동해석을 위한 전용 프로그램을 주로 이용하며 사전에 준비하여야 할 내용은 다음과 같다.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 승객의 거주성과 관련된 정보 - Seat Belt의 Type 및 고정점의 좌표 - 30Mph 충돌시 차량에 감지되는 감가속 추이 해석 결과 얻는 결과는 다음과 같다. - H.I.C 값 - 무릎 하중 - 승객 거동 궤적 - 충돌중 각 부위의 감가속도, 특정시간 <p>상기 해석결과 추출되는 결과 Data는 IP와 Glove Box Door의 설계에 기초 자료가 되며 결과가 만족스럽지 않을때는 상기 Input Data 또는 IP Skin을 수정한 후 다시 해석하여야 한다.</p>
진동소음해석	<p>IP와 주변의 연관 부품, Steering Column, 각종 보강부품과 장착부품들을 단순화하여 Modeling한 다음 여러가지 재질과 두께의 IP Core에 대해서 0에서 500Hz까지의 고유진동수를 추출하는 Eigenvalue Analysis를 행하고 고유진동수가 주행중의 차량진동수보다 큰영역에 분포하도록 재질과 두께를 선정하는 것이 필요하다.</p>

표 4 Knee Bolster 충돌시험방법 및 기준

FMVSS 208	USA OEM의 시험기준	Proto 시험 방법
<p>30Mph로 고정벽면에 충돌시 <규제내용> 무릎에 전달되는 최고 하중이 2, 250Lb이하이고 가슴에 60G 이상의 가속도가 3Mili Second이상 지속되지 않을 것</p>	<p>무릎의 하중은 1200~1600Lb이하 Knee Bolster이 변형량은 3~5 Inch이내로 관리</p>	<p>무릎모양의 Ram(중량 100 Lb) 시험속도 17Mph로 Knee Bolster에 충돌→하중-변위 곡선으로 평가</p>

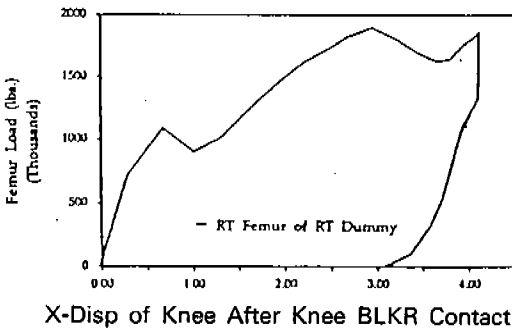


그림 3 Knee Bolster 시험의 하중-변위 곡선

사출조건을 찾아내고 Proto 시험에 사용할 제품을 성형한다.

2.3.6 Proto 시험 단계

미시적인 재질특성관 관련된 내열, 내화확성, FMVSS 302의 난연 시험등과 거시적인 IP 성능과 관련된 FMVSS 201 Head Form 충돌시험등은 시험기준 설정 및 실행에 큰 어려움이 없겠으나 FMVSS 208의 Knee 충돌시험은 시험장비 준비 및 시험기준 설정이 일반화되어 있지 않은 관

계로 표 4에 열거하였다.

그림 3은 FMVSS 208을 만족시키기 위한 시험의 하중-변위 곡선이며 승객 안전을 위하여 IP에 설치하는 보강 구조물의 중량이 대략 20 Lb에 달하는 것으로 보고되어 있다.

2.3.7 후가공성

설계에서 Proto 시험과정까지 성능상 만족되지 못한 부분이 있었다면 보완할 내용을 재검토하여 설계에 반영하고 변경량이 많을 경우에는 설계검정(FEA 해석) 단계를 다시 거치는 것이 바람직하다. 이 경우는 앞에서의 설계검정 결과와 Proto 시험결과와의 상관 관계를 주도 면밀하게 분석하여야만 양산제품에서의 실패를

피할 수 있다. 양산설계 이후 양산 Tooling 양산 시험과정은 Proto Tooling, Proto 시험과 동일하게 추진하면 된다.

3. 결 론

Aerodynamic한 디자인이 일반화되는 추세와 승객안전 측면에서 Air Bag 장착의 의무화, 그리고 환경보전 차원에서 경량화, 재활용 의무화 등이 현재 자동차의 IP 설계에서 새롭게 고려하여야 할 항목으로 기존의 IP 설계 개발과정보다 기술적으로 한단계 높은 접근이 필요한 시점이다. 미시적인 재질선정 방안으로서 앞에서 제시된 내열성-내충격성 도표에서 차종별로

부 록

〈IP를 위한 고기능 Engineering Plastic의 물성표〉

REMARK PROPERTY	UNIT	TEST METHOD	MPPO NORYL STN15	MPPO NORYL PX2627	MPPO NORYL PX1222	MPPOG NORYL EM7301	MPPOG NORYL EM7304	PC/ABS CYCOLOY MC8002	PC/ABS CYCOLOY MC9000 (LG9000)
SPECIFIC GRAVITY	-	ASTM D792	1.06	1.06	1.04	1.12	1.18	1.14	1.14
ELONGATION BREAK	%	ASTM D638	100	70	70	7	10	160	75
TENSILE STRENGTH	kg/cm ²	ASTM D638	440	450	467	668	830	562	605
FLEXUAL STRENGTH	kg/cm ²	ASTM D790	660	650	703	914	950	844	885
FLEXUAL MODULUS	kg/cm ²	ASTM D790	19,000	20,000	20,000	34,100	42,000	23,900	24,300
IZOD IMPACT NOTCHED	kg · cm/cm	ASTM D256	50 30	35 25	44 19	10 5	8 6	65 55	65 27
HDT 264psl MOLD	C	ASTM D648	115	120	113	118	125	107	110
SHRINKAGE	E-3m/m	ASTM D955	5-7	5-7	5-7	2-4	2-3	5-7	5-7

요구되는 특성을 고려하여 적절한 재질을 일차적으로 선정하고 거시적으로는 설계과정에서 설계검정과정을 활성화하여 개발과정에서의 시행착오를 줄이는 것이 바람직한 방법일 것이다.

참 고 문 헌

1. Response of Instrument Panel Retainer Material to Impact Loadings SAE Technical Paper Series 860258
2. Energy Management of Thermoplastic Composites in Automotive Instrument Panels/Components : An Option for FMVSS 208 SAE Technical Paper Series 880503
3. Development of Thermoplastic Composite KneeBolster SAE Technical Paper Series 910405