

## 샌드위치 판재의 차량적용 기술개발

이명호\* · 유용문\*\* · 윤의박\*\* · 이경남\*\*\* · 이종윤\*\*\* · 금영탁\*\*\*\*

(1998년 7월 1일 접수)

# Development of Application Technique for a Car Body with Aluminium Sandwich Panels

Meung-Ho Rhee, Yong-Mun Ryu, Eui-Park Yoon, Kyung-Nam Lee,  
Joong-Yoon Lee, Young-Tag Keum

### Abstract

An aluminium sandwich sheet is the material fabricated by adhering two aluminum panels to one plastic core. When it has the same bending stiffness as an steel panel, it is 65% lighter than steel panel and 30% lighter than aluminum panel. Therefore, it is notified exclusively as good substitutive materials for steel body to improve fuel efficiency. An aluminium sandwich sheet, however, has a problem of the lower formability than steel in automotive application. In this paper we intend to develop application technologies of an aluminum sandwich sheet for auto body panels from selecting composed materials of aluminium sandwich sheets to fabricating prototype. We selected aluminium sandwich panels fabricated by Hoogovens company. Through formability tests we have designed the hood part on auto body panels and fabricated a mould and a prototype.

**Key Words** : Aluminum Sandwich Panel, Polypropylene Core, Aluminum Sheet, Formability tests, Mould, prototype

## 1. 서론

자동차의 환경규제의 대응과 안정성 향상 및 소음 등의 자동차 기능성 향상이 요구되고 있는데, 특히 현재 자동차 차체중 무게비가 큰 강 차체판재의 경우 위에 언급된 요구에 의한 대체 기술개발이 시급한 실정이다. 특히 전기 자동차의 개발과 더불어 가볍고, 가공성형성, 제진성 및 가격경쟁이 우수한 알루미늄 판재의 개발이 추진되고 있는데, 이러한 점에서 샌드위치 판재는 비강도가 크고 내충격

성이 뛰어나며 흡음성, 평활성 및 제진성 등이 우수하여 자동차의 차체 경량화 및 안정성 향상이 기대되는 차체 대체 재료로써 주목받고 있다.<sup>(1,2,3)</sup> Fig.1에서 보통 많이 사용하는 0.74 mm강판과 굽힘 강도가 같게 설계하여 사용할 경우 각종 자동차 차체용 재료들의 경량화율을 보여주고 있으며, 알루미늄 샌드위치 판재는 다른 경량화 재료와 비교하여 차체 제조시 강판에 비하여 65%, 알루미늄에 비하여 30%의 경량화 효과를 가져올 수 있다.<sup>(4)</sup>

본 논문에서는 위와 같은 뛰어난 성능을 가진 알루미늄

\* 자동차부품연구원 경량소재실  
\*\* 한양대학교 금속공학과 & RASOM  
\*\*\* 대우자동차 재료시험실  
\*\*\*\* 한양대학교 정밀기계과

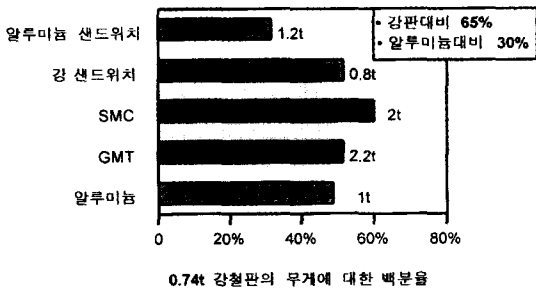


Fig. 1 Weight per square meter of some light weight materials at equivalent flexural rigidity

샌드위치 판재의 차량 적용을 위한 설계에서 시작품 제작 까지 일괄적인 시작품 제조공정을 확립하기 위한 연구로서, 강철 대체재료로서 개발된 Hoogovens사의 알루미늄 샌드위치 판재를 선정하였으며, 성형성 평가를 통한 차체 재료로서의 샌드위치 판재 적용가능성을 검증하고 그 결과를 금형설계 반영하여 최적의 금형개발 및 시작품 제조공정 개발을 연구하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 알루미늄 샌드위치 판재 제작

#### 2.1.1 알루미늄 판재 및 심재 선정

알루미늄 샌드위치 판재를 자동차 차체 재료로 개발하기 위하여 차량적용시 요구되는 특성에 만족하는 알루미늄 판재 및 플라스틱 심재의 선정이 필수 불가결하다. 알

루미늄 판재의 선정기준은 성형성과 내흠집성(Dent resistance)이 있어야 하며, 내흠집성은 외국의 경우 130 MPa 이상의 항복강도를 요구하고 있다.<sup>(4)</sup> Table 1은 현재 자동차 판재 재료로 많이 사용하는 알루미늄 재료의 물성치를 보여주고 있으며, 위와 같은 기계적 특성만을 고려하여 만족하는 재료로서는 5xxx나 6xxx계열의 재료가 선택될 수 있으나, 알루미늄 샌드위치 판재의 차체판재 제조시의 성형성 및 접합성 등을 고려하여 4.5% Mg 함유 알루미늄 합금인 AA 5182합금이 샌드위치 판재의 외판재로 주로 선택되고 있다. Table 2는 5182 알루미늄 합금의 화학적 조성을 나타내고 있다. 플라스틱 심재의 선정 기준은 성형후 도장라인시의 온도 저항력(Temperature resistance)이 주로 고려되고 있으며, 재료 재활용성도 중요한 문제로 고려되고 있다. Table 3에 각종 플라스틱 재료의 물성치를 나타내었으며 가격과 온도 저항력 면에서 PP가 많이 선정되고 있으며, 도장라인 등의 개선점을 고려하여 일반적으로 알루미늄 판재로서 AA 5182, 플라스틱 심재로서 열가소성 수지인 폴리프로필렌이 선정된다.

#### 2.1.2 알루미늄 샌드위치 판재 선정

이미 언급한 것과 같이 알루미늄 샌드위치 판재의 제조에 있어서 알루미늄 판재와 플라스틱 심재의 두께는 샌드위치 판재의 차량 적용에 의한 경량화 효과, 성형성 및 내흠집성 등을 고려하여 결정되어야 한다.<sup>(4)</sup> 일반적으로, 샌드위치 판재의 외장재와 코어구성에 따른 굽힘강성은 식1로 표시되며, 무게는 식2로 표시될 수 있다.<sup>(4)</sup> 두께 1.2

Table 1 Properties of some aluminium

	AA5754	AA5154	AA5182		AA6009	AA6010	AA6010
			Soft skin	Hard skin			
항복강도 (MPa)	90	100	140	350	140	190	145
인장강도 (MPa)	215	235	280	370	240	310	240
변형률 (%)	18	20	18	4	-	23	-

Table 2 Chemical composition of AA 5182 aluminium alloy

구 분	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Al
JIS Spec.	0.20	0.35	0.15	0.20~0.50	4.0~5.0	0.25	0.10	0.10	Rem.
TEC	0.083	0.183	0.051	0.3404	4.509	0.0	0.019	0.018	94.75

Table 3 Properties of some plastic

	PE	PP	ABS	PA	PC	PET
밀도(kg/m <sup>3</sup> )	900	900	1040	1150	1200	1370
녹는점(°C)	120	170	-	220	-	260
유리전이온도(°C)	-	-	100	50	150	180
상대적 가격/kg	1	1	2	3	4	5

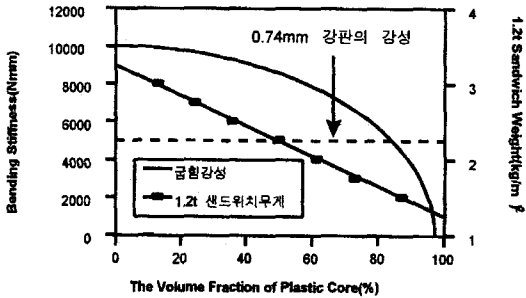


Fig. 2 Bending stiffness & weight with volume fraction of plastic core

mm의 단위 기준으로 샌드위치 판재의 외판재와 플라스틱 판재의 구성 비례에 따른 굽힘강성과 무게의 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 따라서, 단순히 경량화 효과만을 고려한 최적의 샌드위치 구조는 플라스틱 심재의 부피분율이 80%이어야 함을 알 수 있으나, 두께 결정의 다른 요소들인 내흡집성과 성형성은 알루미늄 판재 두께가 두꺼울수록 내흡집성이 뛰어나고 두께가 얇을수록 성형성이 우수하다고 사료되므로 위의 세 가지 결정 요인에 의하여 알루미늄 샌드위치 판재의 구성재료들간의 두께는 알루미늄 판재두께 0.2 mm, 플라스틱 심재의 두께 0.8 mm로 설

정하였다.<sup>(4)</sup>

샌드위치판재의 굽힘강성

$$: EI/b = 1/12 \times \{E_a \times (t^3 - h^3) + E_p \times h^3\} \quad (1)$$

샌드위치 무게

$$: G = \{ \rho_a (t-h) + \rho_p \times h \} / 1000 \quad (2)$$

$E$  : 탄성계수(N/mm<sup>2</sup>)

$E_p$  : 플라스틱의 탄성계수(1,000 N/mm<sup>2</sup>)

$E_a$  : 알루미늄 판재의 탄성계수(70,000 N/mm<sup>2</sup>)

$I$  : Moment of inertia(mm<sup>4</sup>)

$b$  : 너비(mm)

$h$  : 플라스틱 심재의 두께(mm)

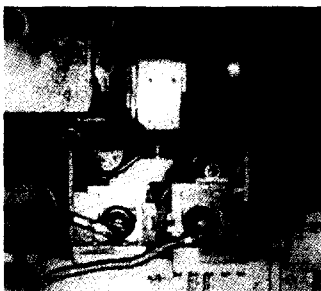
$t$  : 샌드위치 판재의 두께(mm)

$\rho$  : 밀도

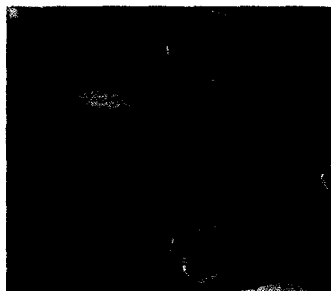
$\rho_a$  : 알루미늄 판재의 밀도(2,700 kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_p$  : 플라스틱 심재의 밀도(1,000 kg/m<sup>3</sup>)

일반적인 알루미늄 샌드위치의 제조 공정은 Fig.3과 같이 심재를 요구하는 두께로 제조한 후 심재 양면에 접착 슈트를 접착시킨다. 일차적으로, 오븐에서 접착 슈트가 접착된 심재에 알루미늄 판재를 접착시킨 후, 최종적으로 롤러를 통해 알루미늄을 접착시킨다. 제조된 알루미늄은



(a) Bonding of adhesive on PP



(b) Bonding of aluminum sheet



(c) Fabricated Sandwich Panel

Fig. 3 The fabrication Process of aluminum sandwich panel

취급을 용이하게 하기 위하여 냉각공정을 거쳐 차량판재로 부품적용을 위한 적당한 크기로 절단하여 제조된다.

2.2. 성형성 평가

알루미늄 샌드위치 판재의 성형성 평가는 샌드위치 판

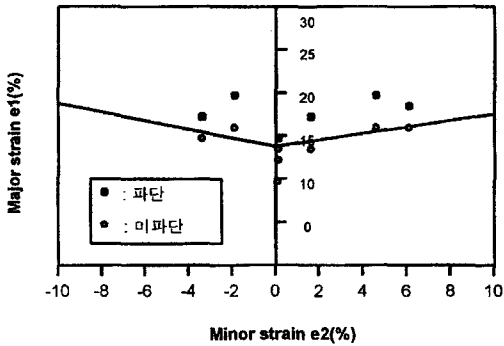


Fig. 4 FLC of aluminum panels

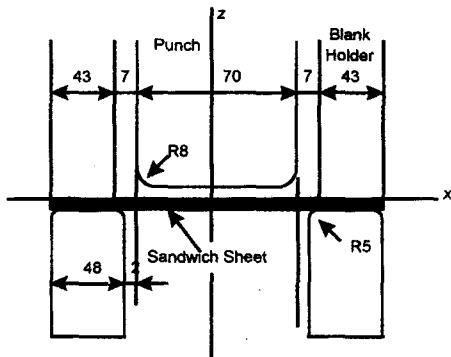


Fig. 5 Geometric cross section for two dimension stretch/draw analysis

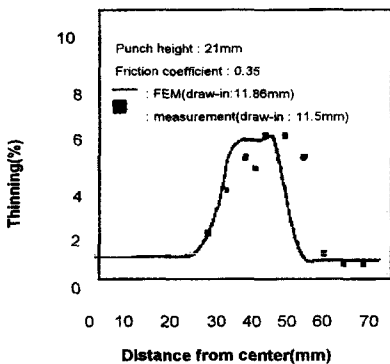


Fig. 6 The analytical and measuremental result of two dimension stretch/draw

재의 차량적용 가능성 및 금형설계에 있어서 매우 중요한 자료이나 알루미늄 샌드위치 판재의 성형성 평가에 대한 자료가 전무한 상태이다. 따라서 차체로서의 샌드위치 판재 적용가능성을 검증하고 그 결과를 금형설계에 반영하여 최적의 금형개발 및 시작품 제조공정개발을 꾀하고자 하였다. 본 연구에 사용된 샌드위치 판재는 압연 공정에 의하여 생산되기 때문에 이방성을 갖게 되며, 이러한 이방성은 샌드위치 판재 성형시 제품의 형상과 변형을 본포, 성형 하중, 재료의 성형성 등에 큰 영향을 미치게 되므로 샌드위치 판재의 성형 공정을 정확히 해석하기 위해서는 이방성을 고려한 성형성 평가가 필요하다. 본 연구에서는 차체로서의 샌드위치 판재 적용가능성을 검증하고 그 결

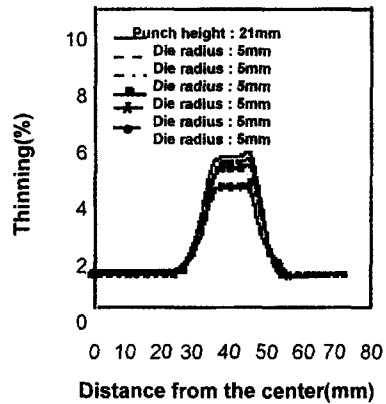


Fig. 7 The analytical result of two dimension stretch/draw with radius of die

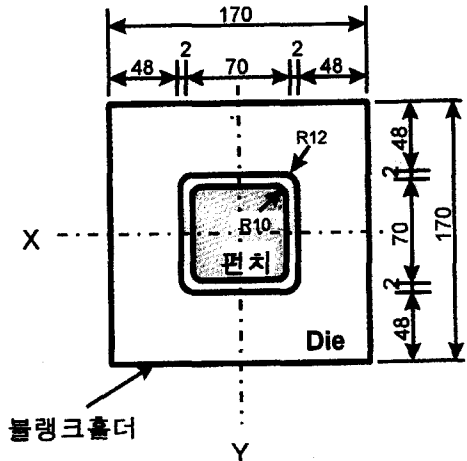


Fig. 8 The Shape and dimension of mold for three dimension square cup drawing analysis

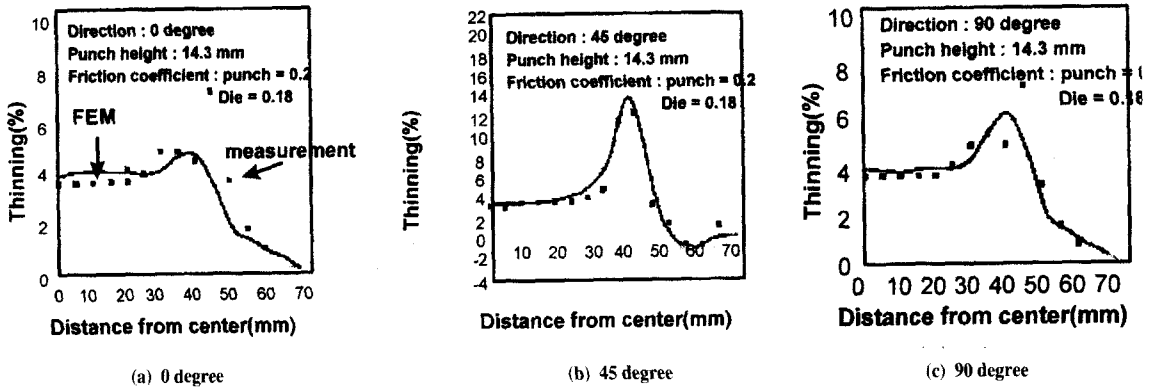


Fig. 9 The analytical and measurement result of three dimension square cup drawing

과를 금형설계에 반영하여 최적의 금형개발 및 시작품 제조공정개발을 위한 기초자료로서 샌드위치 판재의 FLC(Flowing limit Curve) 작성, 이방성 해석 및 성형 공정 해석을 행하였다.

시작품 설계 및 금형설계를 위한 기초자료로서 샌드위치 판재의 FLC를 작성하였다. 시편은 길이를 170 mm로 하고 폭을 100 mm~170 mm까지 10 mm씩 증가시켜 시편의 총 개수 8개의 시편을 제작하여 실험을 수행하였다. Fig.4는 샌드위치 판재의 FLC로서  $FLC_0$ 가 13%이며, 이러한 점이 샌드위치 판재를 성형할 때 상당한 제한적 요소로 작용하고 있다.

또다른 박판의 성형성 평가 방법인 샌드위치 판재(soft 1.2t)의 2차원 및 3차원 강·점소성 유한요소해석 및 실험을 행하였다. 평면변형상태의 2차원 스트레치/드로우 해석의 기하학적 단면은 Fig.5와 같으며, Fig.6은 펀치 높이가 21 mm에서의 해석 결과와 측정치를 비교한 그림이다. 그림에서 보면 다이의 곡률부에서 해석치보다 측정치가 높게 나타났는데 이것은 다이의 반지름이 5 mm이고 샌드위치 판재의 두께가 1.2 mm이므로  $r/t$ 가 약 4정도 되어 굽힘의 효과가 지배적으로 작용하였기 때문이라고 사료된다. 파단은 펀치행정이 22 mm 근처에서 발생하였고, 이때 드로우양은 12 mm로서 이러한 낮은 드로우 성형성은 굽힘에 의한 국부적인 변형에 기인하는 것으로 생각된다. 샌드위치 판재의 굽힘에 대한 민감도를 비교하기 위해서 스트레치/드로우 해석시 다이의 곡률을 1 mm 간격으로 변화시켜 해석하였다. 해석결과는 Fig.7과 같으며, 다이 반지름이 커질수록 최대 변형률은 점차로 떨어지며 변형률 곡선도 전반적으로 완만해짐을 알 수 있다. 또

한, 판재의 사각통 드로잉성과 장출성을 보고, 접촉 및 마찰 알고리즘의 3차원 해석을 위하여 사각컵 드로잉 해석 및 실험을 행하였으며 금형의 형상 및 치수는 Fig.8과 같다. 파단이 일어나기 시작한 펀치 높이는 14.6 mm였고, 해석은 파단이 일어나기 직전이 14.3 mm에서 수행하여 측정치와 비교해 보았다(Fig.9). Fig.9(a)와 Fig.9(c)는 압연 방향과 직각 방향에 대해 비교한 것으로써 스트레치/드로우의 경우와 마찬가지로 다이의 곡률부에서 최대 변형률을 나타내었다. Fig.9(b)는 45도 방향에 대해 비교한 것으로 이 방향은 드로우인 양이 적고 인장이 지배적이므로 펀치의 곡률부에서 가장 높은 두께 감소율을 나타냈다. 이러한 샌드위치 판재의 성형성 평가결과로부터 샌드위치 판재의 차광적용시 낮은 성형성을 고려한 시작품 설계 및 금형설계를 행하여야 함을 알 수 있었다.

### 2.3. 시작품 제작

0.74 mm 강판 및 1.06 mm 알루미늄판과 동일한 굽



Fig. 10 The vehicle for application of sandwich panel

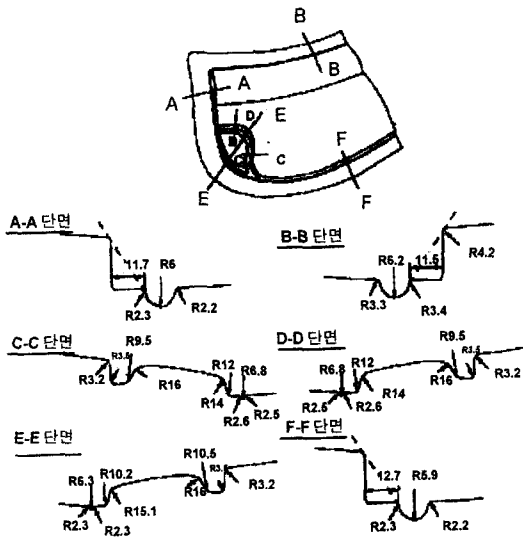


Fig. 11 The mold drawing for fabrication of outer hood



Fig. 12 The mold for sandwich outer hood

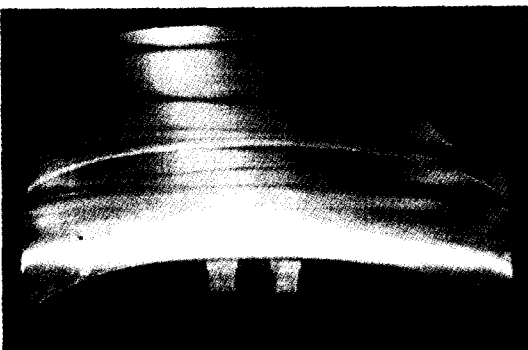


Fig. 13 The sandwich outer hood

힘강성을 갖는 soft skin 1.2t 알루미늄 샌드위치 판재는 굽힘강성이 주요한 설계기준인 수직하중을 받는 부품에 적용되어 강판대비 65% 경량화 및 알루미늄판 대비 30%의 경량화를 달성할 수 있다. 본 연구에서는 시작품으로서 Fig.10과 같이 수직하중을 받는 후드 차체를 선정하였다.

알루미늄 샌드위치 판재 적용 Hood 제작시 금형설계 및 제작기술의 개발이 필수적이며, 앞에서 언급한 성형성 평가결과에 나타난 것처럼 현재 사용되고 있는 강판 차체에 비하여 알루미늄 샌드위치 판재의 성형이 떨어지므로 금형설계 및 제작에 있어서 샌드위치 판재의 낮은 성형성을 고려하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 성형성 평가 결과(평면변형율 13%)를 근거로 하여 금형을 설계·제작하였다. Fig.11은 알루미늄 샌드위치 판재 적용 Hood 제작을 위한 금형의 세부도면이며, Fig.12는 설계도면을 근거로 제작한 금형이다.

Fig.13은 성형성 평가 결과를 바탕으로한 금형으로 제작한 자동차 후드의외관을 나타낸 것으로 표면크랙과 같은 결함이 없었다. 이는 알루미늄 샌드위치 판재의 낮은 성형성을 고려한 금형설계 및 제작에 기인한다고 사료된다.

### 3. 결 론

샌드위치 차체개발을 위한 설계에서부터 시작품 제작까지의 일괄적인 시작품 제조공정을 확립을 위한 연구 결과는 다음과 같다.

(1) 일반적으로 알루미늄 샌드위치 판재의 구성재료는 표면재로서 차체판재 제조시의 성형성 및 접합성 등을 고려한 AA5182합금과 심재로서 가격 및 온도저항성 등을 고려하여 폴리프로필렌이 선정된다(Hoogovens사).

(2) 알루미늄 샌드위치 판재의 구성재료들의 두께비는 굽힘강성 및 무게 등을 고려하여 알루미늄 판재 두께 0.2 mm, 폴리프로필렌 두께를 0.8 mm로 선정된다(Hoogovens사).

(3) 알루미늄 샌드위치 판재의 성형성 평가 결과는 평면변형율 13%로 강판 등 타재료에 비하여 취약하여 이러한 낮은 성형성으로 인하여 시작품 설계 및 금형설계시 평면변형율이 13% 이하가 되도록 시작품 및 금형의 곡률부를 설계하는 것이 바람직하다.

(4) 알루미늄 샌드위치 판재의 성형성 평가 결과(평면변형율 13%)를 근거로 하여 금형 곡률부의 평면변형율이 13%를 초과하지 않도록 금형을 설계·제작하여 시작품

을 제작한 결과 결함없는 시작품을 제작하였다.

### 참고문헌

- (1) William K. Miller, 1980, "Metal-plastic laminates for vehicle weight reduction", SAE, 800077.
- (2) J. A. DiCello, 1980, "Steel-polypropylene-steel laminate - a new weight reduction material", SAE, 800078.
- (3) Endoh Hiroshi, Ejima Mizuo and Zama Yoshimasa, 1989, "The development of vibration damping steel sheet for Automotive use", SAE, 890708.
- (4) E.W.Veenstra, 1993, "Aluminium-plastic-aluminium sandwich sheet for maximum weight reduction in body panel", SAE, 930706.