

알루미늄 5182-폴리프로필렌 샌드위치 판재의 소성변형비 및 집합조직의 발달

김기주^{*1)} · 정호태²⁾

쌍용자동차 CAE팀¹⁾ · 강릉대학교 금속재료공학과²⁾

Pastic Strain Ratio and Texture Evolution of Aluminum/Polypropylene/Aluminum Sandwich Sheets

Kee Joo Kim^{*1)} · Hyo-Tae Jeong²⁾

¹⁾CAE Team, Ssangyong Motor Company, 150-3 Chilgoi-dong, Pyungtaek-si, Gyeonggi 459-711, Korea

²⁾Department of Metallurgical Engineering, Kangnung National University, Gangwon 210-702, Korea

(Received 7 July 2005 / Accepted 30 August 2005)

Abstract : AA5182-polypropylene sandwich sheet was manufactured, and the mechanical properties evaluation was executed in order to identify Lüders band that causes fabrication process problem and especially surface roughness. To identify formability, deformation behavior, plastic strain ratio (R-value) and pole figure were measured, and texture analysis was performed. In the case of sandwich sheet, the unstable deformation behavior has decreased. As well, for sandwich sheet, Al skin could manage the most of load, and the elongation has improved about 45% more than that of Al skin. The plastic strain ratio of Al skin and sandwich panel, which indicates serration behavior, was obtained from instantaneous plastic strain ratio evaluation. Also, the planar anisotropy of sandwich sheet has decreased more than that of Al skin. According to these results, the sandwich sheet produced lightening effect and could control unstable deformation characteristic, that is, surface roughness caused by Lüders band. Furthermore, it was proved that the texture control of the rolling attachment of Al skin is necessary to improve the formability of the sandwich panel.

Key words : Sandwich panel(샌드위치 판넬), Lüders band(리더스 밴드), Serration(톱니현상), Plastic strain ratio(소성변형비), Texture evolution(집합조직 발달)

1. 서론

샌드위치 판재란 이종의 단일 혹은 복합판재를 조합·적층하여 제조한 판재를 말한다. 저밀도의 폴리프로필렌을 중심재로 사용하고 상대적으로 강도가 높은 알루미늄 표면재를 접합시켜 제조한 샌드위치 판재는 경량성과 흡음성으로 인해 자동차 차체용 판재에의 적용에 상당한 잠재력을 가지고 있다. 중량 감소의 측면에서 알루미늄 판재를 사용하

는 경우, 현재 자동차의 차체 판재로 많이 사용되고 있는 0.74 mm 두께의 강판과 동일한 굽힘강성을 갖기 위해서는 1 mm 두께의 알루미늄 판재가 필요하며, 동일 면적에 대하여 약 50%의 중량 감소 효과를 얻을 수 있다.¹⁾ 0.2 mm 두께의 AA5182 합금을 표면재로, 0.8 mm 두께의 폴리프로필렌을 중심재로 하여 압연접합한 총 두께 1.2 mm의 샌드위치 판재의 경우는 동일한 굽힘강성을 지니는 강판에 비하여 65%의 중량감소 효과를 얻을 수 있다.²⁾ 또한 샌드위치 판재의 경우 중심재로 사용한 폴리프로필렌의

*Corresponding author. E-mail: kjkimfem@smotor.com

연신율이 500% 이상이므로 성형성 향상에 기여하리라 여겨지고 있다.

일반적으로 자동차용 경량화 재료로서 사용하기 위해서는 강도, 가공성형성, 생산성 등 여러 가지 제약조건이 따르게 되어 현재 자동차용 경량화 재료로 알루미늄 5000계 합금이 사용되고 있다. 그러나, 강도 및 성형성이 우수한 알루미늄 5000계 합금의 경우에는 주 합금원소가 Mg으로, Lüders band 또는 stretcher strain 등이 관찰된다.³⁾ 이러한 Lüders band는 판재성형시 표면거침을 유발하므로 자동차용 판재로의 적용에는 큰 문제점이 되고 있다.

그러므로, 이 연구에서는 알루미늄 합금보다는 경량화율이 높고 차체에 적용가능한 AA5182-폴리프로필렌 접합 샌드위치 판재를 제작하여 제조공정상의 문제점, 특히 표면거침을 유발하는 Lüders band 등을 파악하기 위한 기계적 특성평가를 행하였으며,^{4,7)} 샌드위치 경량화 압연판재를 실차에 적용하기 위하여 필수적인 성형특성을 파악하기 위해 변형거동, 소성변형비(R값)를 측정하였고 극점도 측정 및 집합조직 해석을 실시하였다.

2. 실험 방법

2.1 AA5182 - Polypropylene 샌드위치 압연판재의 제조

샌드위치 판재는 먼저 필렛(fillet) 상태의 폴리프로필렌을 압출하여 0.8 mm 두께로 압연한 후, 표면양쪽에 0.2 mm 두께의 AA5182 압연판재와 함께 EVA(ethylene vinyl acetone)수지를 접착제로 하여 140°C에서 압연접합하여 제조하였다(Fig. 1). 이 때 사용한 알루미늄합금 판재는 열간압연(487°C)하여 어닐링(annealing, 350°C, 2시간)후 냉간압연한 재료로서 Table 1에 AA5182 합금의 화학적 조성을 나타내었다.

2.2 인장시험과 파면관찰

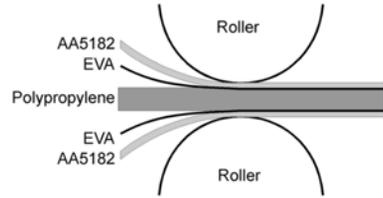


Fig. 1 Schematic drawing of the roll bonding process for the Al/PP/Al sandwich sheet

샌드위치 판재의 기계적 특성평가를 위하여 표면재인 알루미늄 판재, 중심재인 폴리프로필렌 판재 및 샌드위치 접합판재의 인장시험을 각각 행하였다. 인장시험은 ASTM E8에 따라 표점거리 25 mm 인 판상시편을 이용하였으며, 500kgf용량의 Instron 인장시험기를 사용하여 측정하였다. 인장시험시 초기 변형률속도는 $5 \times 10^{-4}/\text{sec}$ 이었고, 연신율은 신장계(extensometer)를 사용하여 측정하였다. 또한, 소성이방성을 확인하기 위하여 인장시편을 압연방향에 대해 0°, 45° 및 90° 방향으로 가공하여 인장시험하였다. 인장시험 후에 샌드위치 판재의 파괴단면은 알루미늄 판재 부분, 폴리프로필렌 판재 부분 및 접합부에서의 파괴 단면을 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 관찰하였다.

2.3 소성변형비와 집합조직의 측정

일반적으로 압연판재는 인장 방향에 따라서 변형특성이 변하는 평면이방성을 나타내며, 압연판재의 성형성과 평면이방성의 척도로 소성변형비를 사용한다. 소성변형비는 2개의 신장계를 사용하여 표면재인 알루미늄 판재와 샌드위치 접합판재의 인장방향과 폭방향의 변형률을 인장방향 변형률에 대해 연속적으로 측정하여 해석하였다.⁸⁾

압연된 샌드위치 판재의 변형 집합조직을 해석하기 위하여 시편의 표면을 연마한 후 X-선 회절을 사용하여 슈츠(Schulz)반사법으로 극점도를 측정하였다. 극점도는 구리타기를 사용하여 반사면 {111}, {200}, {220}에 대하여 반사각도 70°까지 측정하였

Table 1 Chemical composition of AA5182 aluminum alloy

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Others	Al
wt. (%)	0.08	0.18	0.05	0.34	4.51	0.02	0.00	0.02	0.00	bal.

* wt.: weight %

다. 측정된 극점도로부터 급수전개방법⁹⁾을 사용하여 방위분포함수(ODF)를 계산하였다.

3. 실험 결과

3.1 인장시험

Fig. 2에 폴리프로필렌, 알루미늄 판재 및 샌드위치 판재의 인장곡선을 나타내었다. 알루미늄 판재의 경우 불안정 변형거동의 양상인 톱니현상(serration)과 인장방향에 55° 방향으로 다수의 Lüders band를 관찰할 수 있었다. 변형률에 따른 톱니현상의 응력진폭을 조사해 본 결과 알루미늄 판재의 경우 약 2~10 MPa 정도의 진폭을 갖는 것을 알 수 있었으며, 샌드위치 판재의 경우는 0.1~2.3 MPa의 진폭을 갖는 것이 확인되었다.

Table 2에는 3회 이상의 인장시험을 행하여, 인장방향에 따른 폴리프로필렌, 알루미늄 판재 및 샌드위치 판재의 항복강도, 인장강도, 연신율, 강도계수

및 가공경화지수의 평균치를 나타내었다. 샌드위치 판재의 경우 대부분의 하중을 알루미늄 표면판재가 감당함을 알 수 있으며, 알루미늄 판재에 비하여 연신율이 약 45% 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 연신율의 증가는 폴리프로필렌 판재의 큰 연신율과 접합판재의 변형특성에 의한 것으로 판단된다. 인장강도의 경우 알루미늄 판재 및 샌드위치 판재 모두 압연방향에서 가장 높았으며, 연신율의 경우는 45° 방향에서 가장 우수하였다.

샌드위치 판재의 거시적인 파괴거동을 살펴보면 상온 인장시험의 경우, 알루미늄 표면판재에서 먼저 파괴가 일어난 후, 폴리프로필렌이 500% 이상 연신되다가 최종 파괴가 일어났다. 또한 상온에서는 인장축에 약 55° 방향으로 Lüders band가 형성되어 이 각도로 전단파괴 양상을 보였다. 본 인장시험은 너비와 두께의 비가 25:1로 Lüders band 형성 각도는 Hill^{8,9)}이 평면응력 상태(너비와 두께와의 비가 8:1

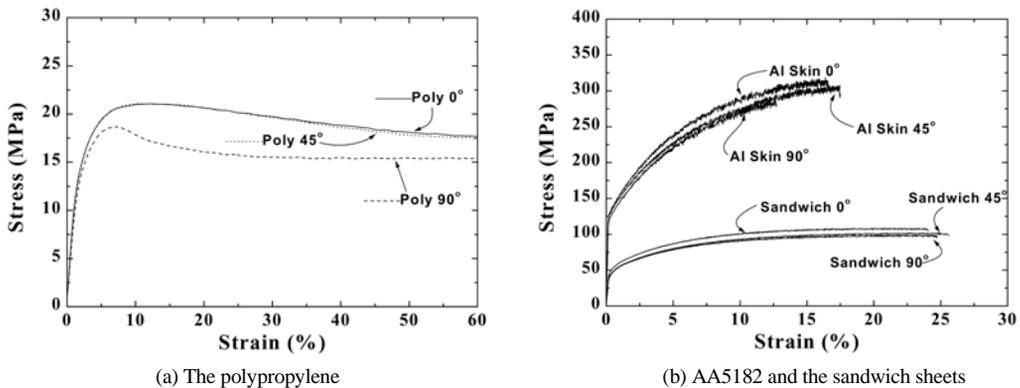


Fig. 2 Stress-strain curves of (a) polypropylene and (b) AA5182 and sandwich sheets at room temperature as a function of tensile orientations

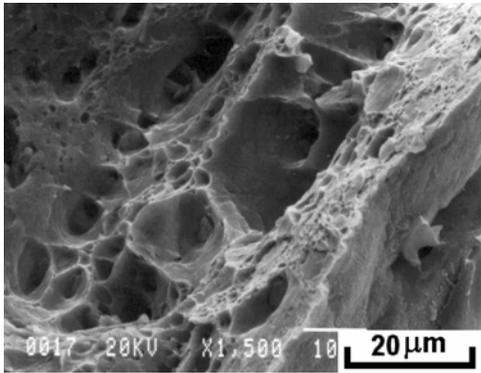
Table 2 Mechanical properties of sandwich panels, AA5182 skins and polypropylene cores at room temperature

Specimens	Angle to R.D.	Y.S (MPa)	U.T.S (MPa)	Elon.(%)	K (MPa)	n
Polypropylene Cores	0o	12.4	20.8	500 ↑	45.8	0.29
	45o	12.2	20.2	500 ↑	47.6	0.31
	90o	12.5	18.6	500 ↑	48.2	0.32
AA5182 Skins	0o	133.2	310.3	16.5	647.7	0.32
	45o	132.3	302.0	17.8	615.0	0.31
	90o	128.7	287.2	14.2	607.2	0.31
Sandwich Panels	0o	50.3	106.7	22.4	201.7	0.26
	45o	47.0	101.3	24.5	189.9	0.27
	90o	46.1	100.3	24.4	188.0	0.26

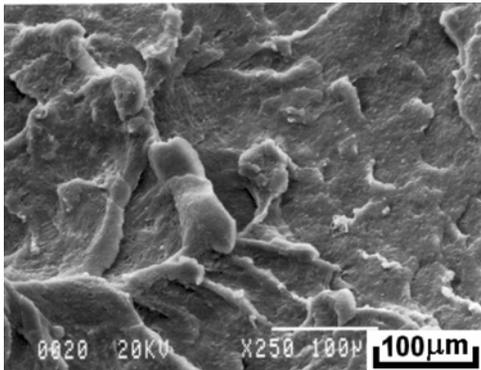
* Y. S.: Yield Strength, U. T. S.: UltimateTensile Strength, Elon.: Elongation

이상인 조건)에서 이론적으로 계산한 값인 55.4°의 값과 일치하는 경향을 보이고 있다.

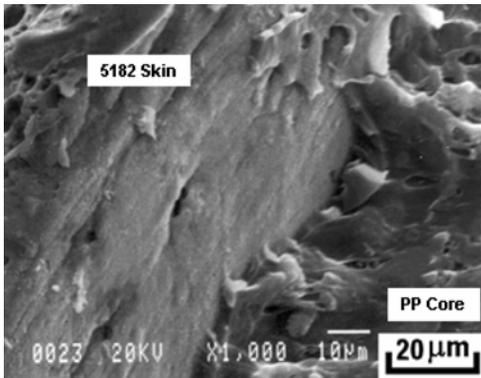
Fig. 3은 상온 인장시험후 파괴 단면의 SEM 사진이다. Fig. 3(a)에서 알루미늄 판재의 파단면은 딥플



(a) AA5182 skin



(b) Polypropylene core



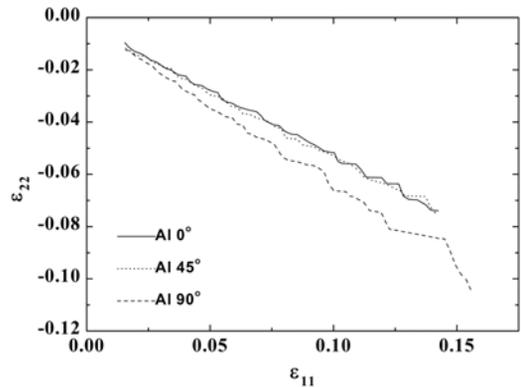
(c) Interface region

Fig. 3 SEM fractographs of the sandwich sheet after tensile test at room temperature, (a) AA5182 skin region, (b) polypropylene core region and (c) interface region

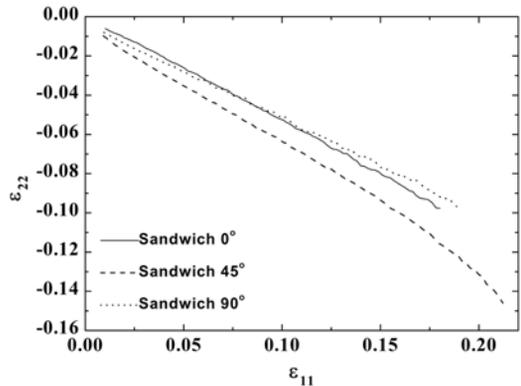
형상을 가진 연성파괴 양상을 보임을 관찰할 수 있으며, Fig. 3(b)의 폴리프로필렌의 파단면 사진에서는 폴리머 재료의 연성 파괴시에 발생하는 크레이징(crazing) 현상을 관찰할 수 있다. 또한 Fig. 3(c)에 나타낸 인장시험 후의 접합부의 파괴 단면을 관찰한 결과 파괴된 접합부의 끝단에서 인장파괴 직전 또는 순간에 접합이 끊어진 것을 확인할 수 있다.

3.2 소성변형비 측정

Fig. 4에 인장방향 변형률에 대한 폭방향의 변형률 변화를 나타내었다. 인장방향과 폭방향의 변형률은 인장시험동안 동시에 연속적으로 측정하며 탄성변형에 의한 변형률은 Fig. 2의 인장시험결과로부터 식 (1)을 계산하여 빼주었다.⁸⁾



(a) AA5182 skins



(b) Sandwich sheets

Fig. 4 Measured width strain (ϵ_{22}) as a function of tensile strain (ϵ_{11}) of (a) AA5182 skins and (b) sandwich sheets for different tensile orientations

$$\epsilon_{22}^E = -\nu \epsilon_{11}^E = \frac{\nu}{E} \sigma(\epsilon_{11}) \quad (1)$$

여기에서 위첨자 E는 탄성변형을 의미하며, ν 는 Poisson 비이다.

Fig. 4의 인장방향 변형률-폭방향 변형률 곡선에서 기울기는 소성변형비와 식 (2)의 관계가 있으며, 이와 같이 측정하는 소성변형비를 인장시험전후의 변형률을 측정하여 소성변형비를 측정하는 기존의 방법과 구분하여 순간소성변형비(instantaneous plastic strain ratio)라고 한다.

$$\frac{d\epsilon_{22}}{d\epsilon_{11}} = \frac{-R}{1+R}, \quad R = \frac{d\epsilon_{22}}{-(d\epsilon_{11} + d\epsilon_{22})} \quad (2)$$

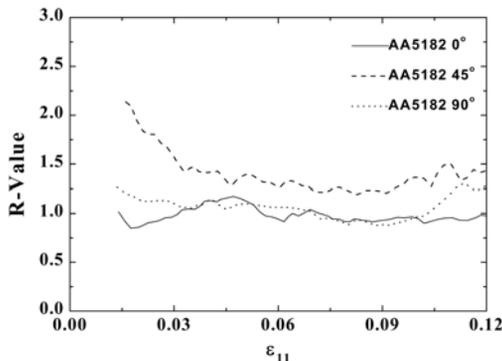
그러므로 인장방향 변형률-폭방향 변형률 곡선에서 기울기의 절대값이 클수록 소성변형비 값이 크다는 것을 의미한다. Fig. 5는 인장변형에 따른 순간소성변형비의 변화를 나타내었으며 Table 3에 순간소성변형비와 평면이방성값을 나타내었다. Table 3의 순간소성변형비 값은 Fig. 4에서 구한 각 압연방

향에 따른 알루미늄 판재 및 샌드위치 판재의 실험 결과를 인장변형률 5~10% 사이에서 평균한 것이다. 알루미늄 판재 및 샌드위치 판재 모두 45° 방향에서 소성변형비값이 가장 크고 0°와 90° 방향에서는 90° 방향의 소성변형비가 약간 작았으며, 평면이방성은 알루미늄 판재가 샌드위치 판재보다 더 심한 것을 알 수 있다.

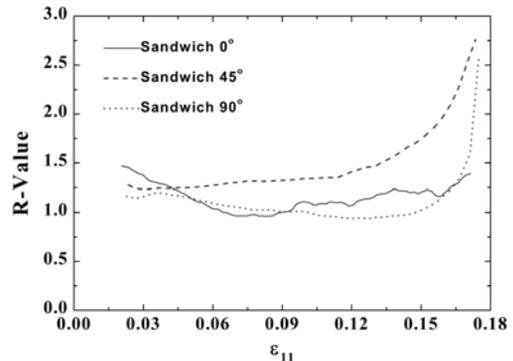
Fig. 4와 5의 인장방향 변형률-폭방향 변형률 곡선과 인장변형률에 따른 순간 소성변형비의 변화 곡선이 연속적이고 부드러운 곡선이 아닌 요동을 치는 형태를 나타내고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 Fig. 2의 변형률-응력 곡선과 마찬가지로 불안정한 변형거동을 나타내는 것으로서 변형률-응력 곡선에서 톱니현상이 심한 알루미늄 표면재의 경우가 더 심하게 변화하는 것을 알 수 있다. 이러한 불안정한 변형거동을 하는 재료의 소성변형비 측정에서는 기존의 소성변형비는 측정할 때마다 소성변형비 값이 크게 변화하므로 순간소성변형비를 측정하여 평균하는 방법을 사용하여야 한다.

Table 3 Instantaneous plastic strain ratios for different tensile orientations

Specimens	Rolling directions (°)	Instantaneous plastic strain ratios	Plane anisotropy (ΔR)
AA5182 Skin	0	1.11	-0.31
	45	1.38	
	90	1.03	
Sandwich Panel	0	1.01	-0.25
	45	1.33	
	90	1.16	



(a) AA5182 skins



(b) Sandwich sheets

Fig. 5 Measured instantaneous R-values as a function of tensile strain of (a) AA5182 skins and (b) sandwich sheets for different tensile orientations

3.3 집합조직 해석

Fig. 6과 7은 알루미늄 판재와 샌드위치 판재의 (111)극점도와 방위분포함수(ODF)를 나타내었다. 알루미늄 판재와 샌드위치 판재에서 모두 AA5182의 집합조직은 면심입방정 금속의 전형적인 압연집합조직인 Cu{112}<111>방위와 S{123}<634>방위, B{110}<112>방위의 β-섬유집합조직이 발달하였다. 이는 샌드위치 판재의 제조를 위해 알루미늄 표면재와 폴리프로필렌 그리고 접착제인 EVA수지를 이용한 재압연접합한 과정(온도는 최대 140°C)에서 표면재인 AA5182 판재의 집합조직은 변화하지 않는다는 것이다. 그러므로 알루미늄 표면재와 샌드위치 판재의 연신율과 소성변형비의 차이는 중심재인 폴리프로필렌과 접합특성에 의한 것임을 알 수 있다.

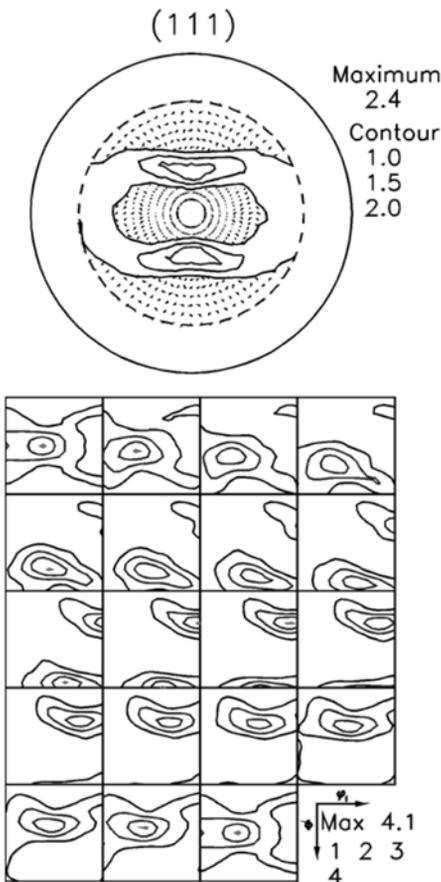


Fig. 6 (111) pole figure and ODF of the AA5182 sheet

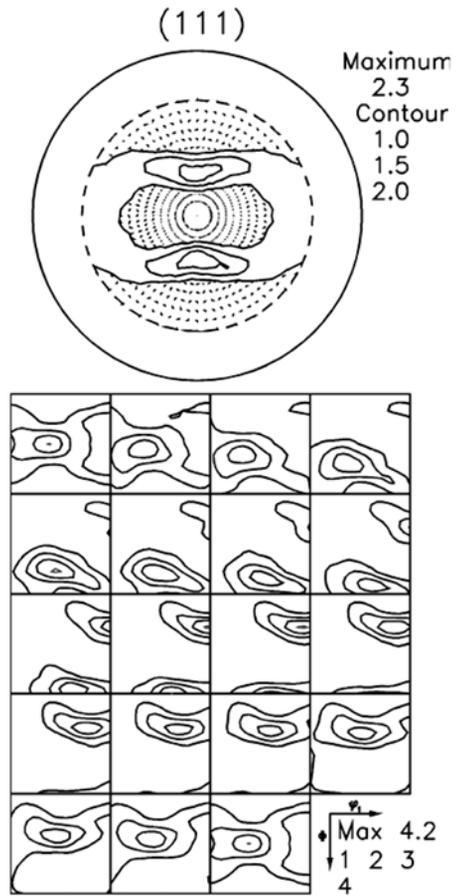


Fig. 7 (111) pole figure and ODF of AA5182-polypropylene the sandwich sheet

4. 고 찰

4.1 항복강도와 인장강도

AA5182-폴리프로필렌 샌드위치 판재의 항복강도와 인장강도는 알루미늄 판재와 폴리프로필렌 판재의 기계적 성질을 부피분율에 따라 가중평균함으로서 얻을 수 있다. 표 2의 항복강도와 인장강도 측정결과로부터 각각의 구성재료인 2개의 0.2 mm의 알루미늄 판재와 0.8 mm의 폴리프로필렌 판재의 기계적 성질을 부피분율에 따라 식 (3)과 같이 가중평균하여 계산한 응력과 측정결과를 비교하였다.

$$\sigma_{Sandwich} = \frac{V_{AA5182} \sigma_{AA5182} + V_{Polypropylene} \sigma_{Polypropylene}}{V_{AA5182} + V_{Polypropylene}} \quad (3)$$

여기에서 V는 부피분율이다.

Fig. 8과 9는 각각 항복강도와 인장강도에 대한 측정값과 계산결과를 나타낸 것이다. 계산한 샌드위치 판재의 기계적 성질은 항복강도의 경우 0°, 45° 및 90° 방향에 따라 각각, 52.7, 52.2 및 51.2 MPa이고, 인장강도의 경우는 117.3, 114.2 및 108.1 MPa이다. Fig. 8과 9에서 알 수 있듯이 계산 결과는 Table 2의 샌드위치 판재의 측정값을 잘 표현함을 알 수 있으며, 따라서 샌드위치 판재의 항복강도와 인장강도는 구성재료의 항복강도와 인장강도를 그 부피분율에 따라 가중 평균함으로써 구할 수 있음을 알 수 있다.

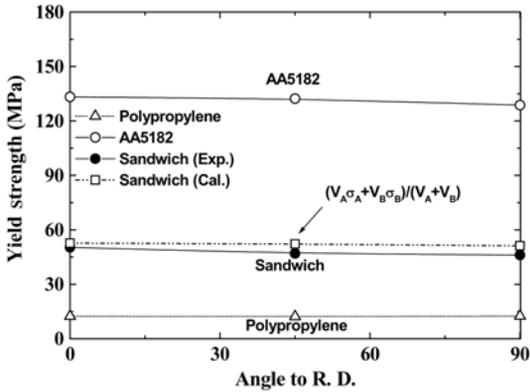


Fig. 8 Results and comparison between tested and calculated (by rule of mixture) yield stress following as tensile orientations

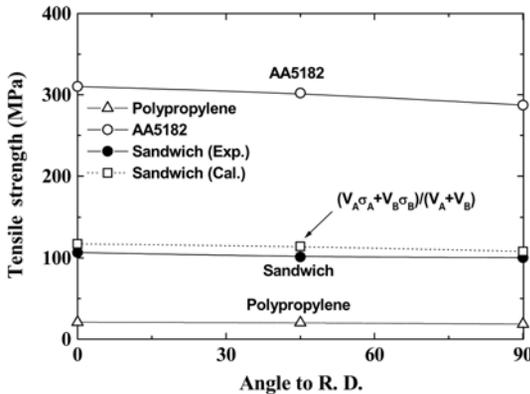


Fig. 9 Results and comparison between tested and calculated (by rule of mixture) tensile stress following as tensile orientations

4.2 집합조직과 소성변형비

Fig. 10은 알루미늄 판재와 샌드위치 판재의 소성 변형비 측정값과 집합조직으로부터 예측한 소성 변형비의 압연방향에 따른 변화를 나타내었다. 소성 변형비의 계산은 상계해법인 Taylor-Bishop-Hill의 이론에 바탕한 Bunge의 계산방법⁹⁾으로 측정된 집합조직의 방위분포함수를 사용하여 계산하였다. 집합조직에 따른 소성변형비의 변화는 45°방향의 소성변형비값이 가장 크게 나타나는 측정결과를 잘 반영하고 있으며, 측정값이 계산결과보다 약간 큰 소성변형비를 나타내고 있다. 중심재인 폴리프로필렌의 경우 소성변형비의 측정이 불가능하지만, 연신율이 500% 이상이며 항복응력이 Fig. 8에서 알 수 있듯이 알루미늄 판재에 비교하면 등방성임을 알 수 있다. 따라서 폴리프로필렌의 소성특성은 평면 등방성을 나타내고 있다고 판단할 수 있다.

집합조직과 소성변형비의 상관관계는 이미 많은 연구결과 잘 일치하는 것으로 알려져 있으며, 이 연구에서의 샌드위치 판재에 대한 소성변형비의 평면 이방성(ΔR)은 표면재인 알루미늄 판재의 집합조직에서 나타나는 소성변형비의 평면이방성 값보다 더 등방성에 가까운 경향을 나타내고 있으므로 샌드위치 판재의 등방성 경향은 중심재인 폴리프로필렌의 안정화작용에 의한 것임을 알 수 있다.

4.3 불안정 변형거동과 연신율

Fig. 2의 인장곡선은 알루미늄 판재와 샌드위치

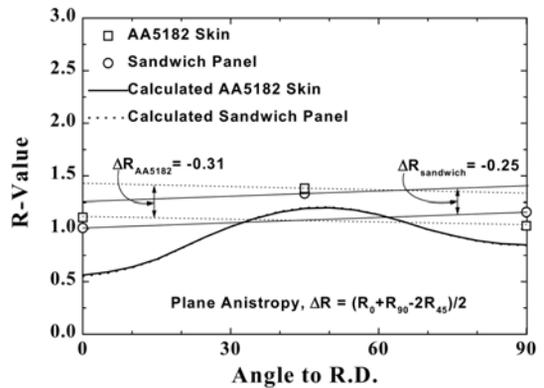


Fig. 10 Results of plastic strain ratio test and predictions (from textures) of the AA5182 skin and the sandwich sheet following as tensile orientations

판재 모두 불안정 변형거동을 나타내고 있다. 이와 같은 불안정 변형거동, 즉, 툽니현상은 온도가 증가함에 따라 없어지는 것으로 변형시효에 의한 Lüders band 형성에 의한 것이다. 이와 같은 Lüders band의 형성은 알루미늄 합금을 차체용 판재로 사용하는 경우 판재표면을 거칠게 하므로 알루미늄 판재의 외장용 재료로서의 적용을 어렵게 하는 요인 중의 하나이다.

Fig. 2의 인장곡선에서 알루미늄 판재와 샌드위치 판재의 툽니현상의 응력 진폭은 각각 약 2~10 MPa과 0.1~2.3 MPa으로서 폴리프로필렌과 접합한 샌드위치판재의 경우 불안정 변형거동이 줄어드는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 Fig. 4와 5의 인장방향 변형률-폭방향 변형률 곡선과 인장변형률에 따른 소성변형비의 변화 곡선에서도 샌드위치 판재의 경우 알루미늄 표면재에 비해 불안정한 변형거동이 줄어드는 것과 같은 맥락으로 이해할 수 있을 것이다. 또한 알루미늄 판재에 비하여 샌드위치 판재의 경우 연신율이 약 45% 증가하는데, 이러한 현상은 알루미늄 판재와 샌드위치 판재에서의 집합조직이 거의 동일하므로 표면재인 알루미늄의 변형특성이 변화한 것이 아니라 폴리프로필렌과의 집합에 의한 것으로 판단된다. 샌드위치 판재의 연신율 증가는 알루미늄 표면재의 불안정변형 거동의 억제에 의한 것으로 Lüders band의 형성이 억제되면 국부적인 변형대신 상대적으로 균질한 소성변형이 이루어지므로 연신율의 증가가 이루어진다.

Fig. 11에 인장변형후 알루미늄 샌드위치 판재의 시편 파단면을 두께방향으로 확대한 사진을 나타내었다. 샌드위치 판재의 경우 알루미늄 표면판재의 무수한 Lüders band 형태의 전파 과정에서 더 이상의 하중을 견디지 못한 한개의 Lüders band의 국부연화로 파괴가 일어난다. 또한, 파단 사진으로부터 한개의 Lüders band의 표면부가 폴리프로필렌과의 집합부보다 더 심한 연화가 일어남을 확인할 수 있다. 이것은 다음과 같이 해석할 수 있다. Fig. 12(a)는 Lüders band의 형성시 인장시편이 두께방향으로 국부적인 변형이 집중되어 연화가 일어나는 것을 나타내고 있다. 그러나 폴리프로필렌과 접합된 샌드위치 판재의 경우 폴리프로필렌과 알루미늄의 집합

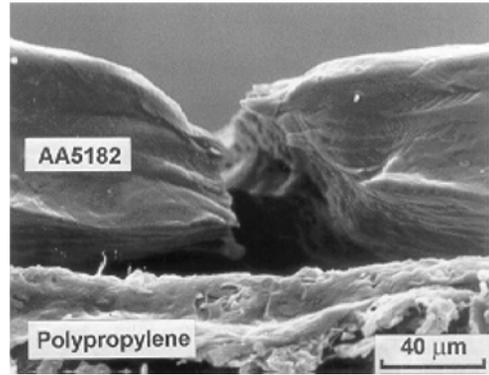


Fig. 11 SEM fractography of the thickness direction of the sandwich sheet after room temperature tensile test

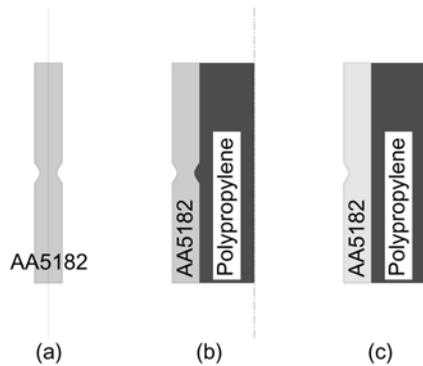


Fig. 12 Schematic diagram of initiation of Lüders band on the AA5182 skin and the half part of the sandwich sheet

부가 떨어지지 않는 한 Fig. 12(b)와 같이 폴리프로필렌이 반원형으로 변형되거나 Fig. 12(c)와 같이 집합판재의 표면부분만 변형되는 경우, 또한 Fig. 12(b)와 (c)가 복합되어 일어나야 하므로 샌드위치 판재에서는 Lüders band의 형성이 어렵게 된다. 그러므로 두께방향의 변형이 억제되어 보다 균질한 변형이 이루어지고 연신율 또한 증가하게 되는 것으로 해석할 수 있다.

4.4 샌드위치판재의 성형성 향상

이상의 고찰을 정리하면 다음과 같다. 샌드위치 판재의 항복응력은 표면재인 알루미늄 판재와 중심재인 폴리프로필렌의 항복응력을 그 부피분율에 따라 가중평균하여 구한 값보다 낮게 나타났으며, 성형성의 척도가 되는 소성변형비는 표면재인 알루미늄

늄 판재의 소성변형비에 의해 결정되지만 소성변형비의 평면이방성은 샌드위치 판재가 표면재보다 더 낮아 딥드로잉시 문제가 되는 귀현상(earing)이 억제될 수 있다. 폴리프로필렌과의 접합에 의해 알루미늄 판재의 Lüders band의 형성이 억제되고 연신율이 향상된다. 그러므로 샌드위치 판재의 성형성을 향상시키기 위해서는 소성변형비를 결정하는 알루미늄 판재의 성형성을 향상시켜야 하고, 폴리프로필렌과의 접합판재를 구성함으로써 경량화와 표면성질, 연신율 및 이방성억제 등으로 재료가 개선될 수 있다. 알루미늄의 성형성은 집합조직과 밀접한 상관관계를 갖고 있으므로 집합조직의 제어가 필요하다.

알루미늄의 집합조직은 일반적으로 변형집합조직으로 이 연구에 사용한 판재와 같은 Cu-S-B방위의 β -섬유집합조직과, 변형집합조직이 재결정되어 나타나는 입방정{001}<100> 집합조직, 그리고 전단변형에 의한 {111}//ND 섬유집합조직과, 회전된 입방체{001}<110> 집합조직이 잘 발달한다. 성형성의 측면에서는 전단변형에 의한 {111}//ND 섬유집합조직이 가장 우수하며 완전한 {111}//ND 섬유집합조직을 얻는 경우는 강(steel)의 소성변형비와 비슷한 성형성을 얻을 수 있다. 그러나, 이러한 {111}//ND 섬유집합조직이 면심입방정 금속에 발달하는 경우에는 압연방향에 45°방향으로만 큰 소성변형비를 갖게되어 비록 평균소성변형비는 크더라도 소성변형비의 평면이방성이 너무 크게되어 결과적으로 소성변형비가 낮은 방향(압연방향에 0° 혹은 90° 방향)은 상당히 취약한 성형성을 보이게 될 것이다. 따라서 샌드위치 판재의 성형성을 보다 향상시키기 위해서 압연접합전의 알루미늄 판재의 제조공정을 전단변형이 포함되어 {111}//ND 섬유집합조직이 발달하도록 개선하여야 할 것이며 이것을 표면재로하여 샌드위치 판재로 제조하면, 이러한 표면재의 이방성을 크게 감소시켜 높은 성형성과 낮은 평면이방성을 갖는 재료로 개발될 수 있을 것으로 기대된다.

5. 결론

1) AA5182 알루미늄 표면판재, 폴리프로필렌 및 샌

드위치 판재의 인장 방향에 따른 특성평가 결과 표면판재의 경우는 인장시험시 Lüders band, serration 등의 불안정 변형거동을 나타내었고 폴리프로필렌을 압연접합하여 제조한 샌드위치 판재의 경우는 불안정 변형거동이 감소하였다. 또한, 소성변형비 측정으로 얻어진 알루미늄 표면재와 샌드위치 판재의 인장 변형률과 폭 변형률 비교 결과 샌드위치 판재가 표면재보다 변형거동이 균일함을 확인할 수 있었다.

- 2) 샌드위치 판재의 연신율은 표면 판재보다 향상되었으며 이는 샌드위치 판재로의 접합으로 불안정 거동의 억제 즉, Lüders band의 형성이 억제되고 이것으로 국부적인 변형대신 상대적으로 균질한 소성변형이 이루어지기 때문이다.
- 3) 기존의 소성변형비의 측정방법은 톱니현상이 발생하는 재료에는 측정하는 변형률에 따라서 소성변형비값이 달라지며 이러한 변화는 재료의 소성특성의 변화를 반영하는 것이 아니므로 순간소성변형비를 도입하여 평가하여 정량화된 값을 얻을 수 있었다. 또한, 샌드위치 판재가 알루미늄 표면재보다 소성변형비의 평면이방성은 감소하였다.
- 4) 알루미늄 판재와 샌드위치 판재에서 모두 AA5182의 집합조직은 전형적인 압연집합조직인 Cu {112}<111>방위와 S {123}<634>방위, B {110}<112>방위의 β -섬유집합조직이 발달하여 샌드위치 판재의 제조를 위해 EVA 접합수지를 이용한 재압연 과정에서 집합조직의 변화는 없음을 확인하였으며, 알루미늄 표면재와 샌드위치 판재의 연신율과 소성변형비의 차이는 폴리프로필렌의 높은 연신율과 샌드위치의 접합특성에 의한 것임을 알 수 있었다.
- 5) 샌드위치 판재의 평면이방성은 표면재인 알루미늄 판재의 이방성보다 낮아지는 것을 인장시험 및 소성변형비 측정에서 확인하였으므로, 샌드위치 판재의 성형성을 보다 향상시키기 위해서는 압연접합 전의 알루미늄 표면재의 집합조직이 {111}//ND 섬유집합조직을 갖도록 제어하고 이것을 접합하여 샌드위치 판재로 제조할 경우 높은 성형성과 동시에 등방성의 재료로 개발될 것으로 기대된다.

References

- 1) A. K. Vasudevan and R. D. Doherty, "Aluminum Alloys-Contemporary Research and Applications," pp.539-550, 1989.
- 2) E. W. Veenstra, "Aluminum-Plastic-Aluminum Sandwich Sheet for Maximum Weight Reduction in Body Panels," SAE 930706, 1993.
- 3) J. M. Robinson and M. P. Shaw, *Mat. Sci & Eng.*, A159, pp.159-165, 1992.
- 4) D. S. Kim and K. S. Shin, "Mechanical Properties of Aluminum Sandwich Panels," Proc. of 4th Next Generation Vehicle Workshop, KATECH, pp. 459-465, 1996.
- 5) K. J. Kim and K. S. Shin, "Characterization of Aluminum Sandwich Panels," Proc. of 5th Next Generation Vehicle Workshop, KATECH, pp. 639-647, 1997.
- 6) K. J. Kim and K. S. Shin, "Serration Behavior of AA5182/Polypropylene/AA5182." Transactions of KSAE, Vol.12, No.3, pp.192-203, 2004.
- 7) K. J. Kim, "Plastic Strain Ratios and Planar Anisotropy of AA5182/Polypropylene /AA 5182 Sandwich Sheets," *Int. J. Automotive Technology*, Vol.6, No.3, pp.259-268, 2005.
- 8) H. T. Jeong and D. N. Lee, "Variation in the Plastic Strain Ratio with Tensile Strain," *J. of Korean Inst. of Met. & Mater.*, Vol.35, No.5, pp.550-557, 1997.
- 9) H. J. Bunge, *Texture Analysis in Materials Science*, Translated by P. R. Morris, Butterworths, London, 1982.