

새로운 박판샌드위치 판재의 삼점굽힘거동

이 정 인* · 강 기 주*†

* 전남대학교 기계공학부

Mechanical Behavior of New Thin Sandwich Panel Subjected to Bending

Jung-In Lee* and Ki-Ju Kang*†

* School of Mechanical Engineering, Chonnam Nat'l Univ.

(Received September 28, 2012 ; Revised December 9, 2012 ; Accepted December 10, 2012)

Key Words: Sandwich Panel(샌드위치 판재), Expanded Metal(확장금속망), Press Forming(프레스성형), 삼점굽힘(Three-Point Bending)

초록: 알루미늄 확장 금속망 심재와 스테인리스강 면재를 에폭시 수지로 접합하여 제조되는 새로운 박판샌드위치 판재의 제조방법을 제시하고 이의 굽힘 거동을 조사하였다. 강도 및 강성도에 대한 이론해를 제시하고 실험을 통하여 프레스 성형성과 굽힘강도 증대효과 등을 평가하였다. 제시된 제조방법과 재료조합에서 삼점굽힘 하중 작용 시 면재-심재 접착부 분리 현상보다 면재의 항복이 훨씬 조기에 발생하여 본 샌드위치 판재의 우수성을 확인하였다. 샌드위치 판재의 강성도 및 면재 항복이 발생하는 하중과 접착부 분리 하중 등에 대하여 유도된 이론식이 실험 결과와 비교적 잘 일치하였다. 동일한 무게를 갖는 균질 판재와 비교하여 강도와 강성도면에서 월등하고 프레스 성형성도 우수할 것으로 평가되었다.

Abstract: A new thin sandwich panel composed of an aluminum expanded metal core adhesively jointed with stainless steel face sheets is introduced, and its mechanical behavior under three-point bending is investigated. The strength and stiffness are analyzed theoretically, and the press-formability and strength enhancement are evaluated experimentally. The specimens with the specific configurations exhibit face yielding well before face-core separation, which means that the sandwich panel can be formed by a press without failure. The measured load levels corresponding to the face yielding and the face-core separation agree fairly well with the theoretical estimations. For a given weight, the sandwich panel is superior to a solid panel in terms of strength, stiffness, and press-formability.

1. 서 론

최근 자동차 경량화를 위하여 경금속, 복합재료 및 초고강도 강재의 사용이 증가하고 있다. 그러나 이 신소재들은 강성도 측면에서 현저한 약점을 가진다. 즉, 무게대비 강도는 기존 압연강판 보다 우수한 반면에 강성도는 오히려 낮아져서 자동차의 전체적인 동적, 정적 안정성(stability)에 악영향을 끼치게 된다. 이에 대한 대안으로서 샌드위치 판재의 사용이 고려될 수 있다. 자동차 구조체로

서 샌드위치 판재가 가져야 할 조건은 충분한 강도 및 강성 뿐만 아니라 기존의 제조공정 즉 프레스 성형 및 점용접(spot welding)을 적용할 수 있어야 한다는 것이다.

약 10 년전 Cambridge 대학연구진과 Volvo 자동차는 두 장의 100 μ m 두께의 스테인리스강 박판 사이에 직경 25 μ m, 길이 1mm 의 수많은 스테인리스강 필라멘트가 자기장과 정전기의 작용하에 수직에 가깝게 배열된 상태에서 에폭시 수지로 고정된 형태의 박판샌드위치 판재, HSSA (hybrid stainless steel assembly)를 제시한바 있다.⁽¹⁾ 총 두께는 1mm 정도로서 가볍고도 강도가 높으며 프레스 성형과 점용접이 가능한 것으로 보고 되었으며⁽²⁾ 굽힘강성과 계면분리현상에 대해서도 연구된 바

† Corresponding Author, kjkang@chonnam.ac.kr
© 2013 The Korean Society of Mechanical Engineers

있다.^(3,4) 그러나 심재를 구성하는 스테인리스강 필라멘트가 불규칙적으로 분포하기 때문에 무게대비 강도와 강성도가 충분히 높지 않다는 문제가 있어 아직까지 실제적으로 활용되는 실적이 없다.

이보다 먼저 독일의 Aachen 공대에서는 단순철망의 양면에 박판을 전기저항용접으로 부착한 연강재 박판샌드위치 Grid Sheet 를 개발한 바 있다.⁽⁵⁾ 저렴한 생산비와 높은 성능에도 불구하고, 프레스 성형성이 다소 미흡하고, 제조과정에서 심재의 철망이 표면에 요철자국을 남기기 때문에 미관이 중요시되는 자동차용 소재로서 널리 활용되지 못하고 있다. Benz 사에서 일부 고급승용차의 후면판과 고온용 터빈의 덮개(housing)로서 사용이 보고되고 있다.^(6,7)

본 연구에서는 자동차 차체용의 새로운 박판샌드위치 판재의 제조방법을 제시하고 이의 굽힘 거동을 조사하였다. 또한 강도 및 강성도에 대한 이론 해를 제시하고 이것을 이용하여 프레스 성형성과 굽힘강도 증대효과 등을 평가하였다.

2. 본 론

2.1 필요조건 및 분석

새로운 박판 샌드위치 판재가 충족해야 할 조건들은 아래와 같다.

- ① 기존 프레스 성형공정을 그대로 사용할 수 있도록 두께가 1~2mm 정도 여야 한다.
- ② 대량생산성이 우수하여야 한다.
- ③ 무게대비 강도가 높아야 한다.
- ④ 제조 비용이 저렴해야 한다.

이와 같은 조건을 만족하는 아이디어로서 스테인리스강 박판 ($t = 0.3\text{mm}$)과 알루미늄 확장금속망(expanded metal) ($t = 0.7\text{mm}$)을 에폭시 수지로 접착하여 샌드위치 판재를 제작하는 방법을 채택하였다

Fig. 1 은 이 샌드위치 판재의 구성을 나타낸 것이다. 심재 역할을 하는 확장금속망은 면재와의 밀착을 위하여 압연되어 평탄화 된 것이다. 이 방법은 위 조건을 만족함과 동시에 아래와 같은 장점을 지닌다.

- 제조공정이 간단하여 대량생산에 유리하다.
- 기 확립된 공정을 이용하므로 투자비용이 최소화되며 스테인리스 강판은 연강판으로 대체 가능하므로 재료비용도 저렴하다.
- 재료선정에 따라 판재두께 조절이 쉽다.

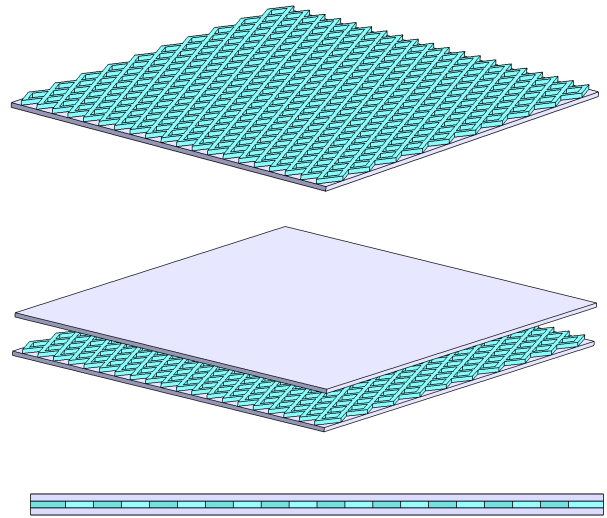


Fig. 1 Design of a new sandwich panel



Fig. 2 Applying epoxy resin on the expanded metal core by using a roller

- 알루미늄 소재의 확장금속망은 소재 자체도 경금속이면서 내부에 빈 공간이 많아 강도의 희생을 최소화 하면서 경량화에 유리하다.
- 심재가 작고 일정한 사각형 또는 마름모꼴이 사방으로 반복된 형상을 가지므로 위치 또는 방향에 따른 물성 차이가 적어 차체의 복잡한 굴곡 성형에도 유리하다.

2.2 시편 제작

0.3mm 두께의 스테인리스강판(SUS304) 두 장과 0.7mm 두께의 압연된 알루미늄(AL1100) 확장금속망을 각각 80mm x 300mm 크기로 채단하였다.

먼저 아세톤으로 표면의 미세 먼지나 불순물을 제거한다. **Fig. 2** 와 같이 고무롤러를 이용하여 에폭시 수지 (Konish E206S)를 확장금속망 표면에만 바른 다음 상하부에 면재를 맞대고 고정한다. 확장금속망의 빈 공간이 채워지지 않도록 에폭시의 사용량을 최소화 한다.

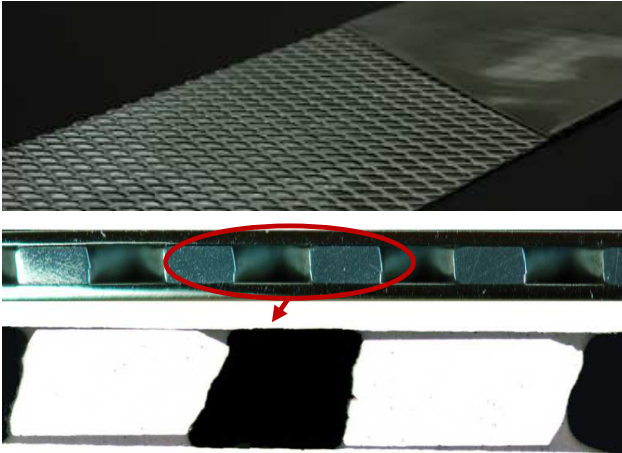


Fig. 3 Photos of a demonstration sample of fabricated sandwich panel and its cross sectional views (optical and SEM)

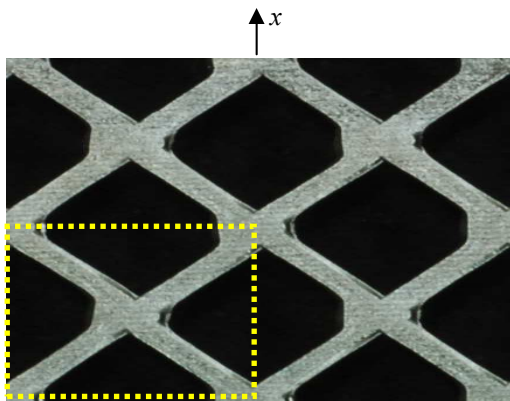


Fig. 4 Top view of the expended metal

시편을 밀폐된 챔버에 넣어 진공(-0.1Mpa)을 가하여 에폭시 내의 기포를 제거한다. 이 과정에서 심재 내의 공기도 빠지면서 면재와 심재가 밀착된다. 진공 시 양 옆으로 흘러나온 에폭시를 제거한 후 전기오븐(JEIOTECH(OV-12))에서 120℃에서 2시간 동안 가열하여 에폭시를 경화한다.

Fig. 3 은 위와 같이 제작된 데모용 샘플과 그 단면을 나타내고 있다. 맨 하부의 단면 SEM 사진에서 회색으로 표시된 에폭시 수지가 면재와의 접촉부에만 존재하고 검은색으로 표현된 내부 빈 공간에는 존재하지 않음을 알 수 있다.

Fig. 4 는 확장금속망을 직 상방에서 찍은 확대 사진으로 상하 면재와 접촉하는 부분은 충분히 평탄화 되어 있음을 보인다. 노란 점선으로 표시된 사각형 단위셀을 대상으로 면적계산을 한 결과 확장금속망 심재에서 약 60%의 빈 공간(porosity) 이 존재함을 알 수 있었다. 길이 방향이 x-축이다.

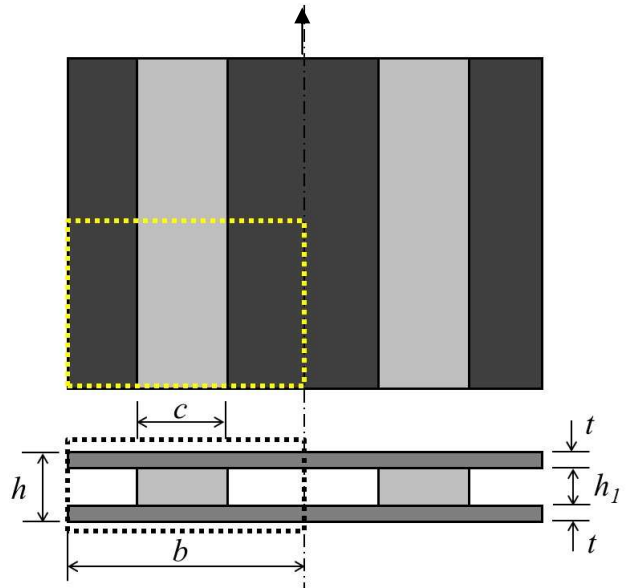


Fig. 5 Configurations of a model core equivalent to that in Fig. 4 and the cross section of a sandwich with the core

2.3 이론

굽힘하중을 받는 샌드위치 판재는 면재 항복(face sheet yielding), 면재좌굴(face sheet buckling), 심재전단(core shear), 압입(indentation) 등의 여러 가지 파괴모드를 가진다.⁽⁸⁾ 본 연구 시편의 경우 심재의 공극률(porosity)이 하니컴이나 발포재보다 훨씬 낮아 압축강도나 전단강도가 아주 높을 것이 명백하므로 심재전단과 압입의 가능성은 무시할 수 있다. 또한 확장금속판 심재가 유한한 폭을 가진 선의 형태로 면재에 부착되므로 면재가 심재 구멍위치에서 오목과 볼록이 반복되는 형태로 좌굴(buckling or wrinkling)⁽⁹⁾이 발생하기도 어렵다. 반면에 면재와 심재 사이가 에폭시로 접합되어 접착부 분리(face sheet debonding)이 발생할 우려가 있다. 따라서 본 연구에서는 면재 항복 및 접착부 분리 등 두 가지 파괴모드에 대하여만 강도를 예측하였다.

먼저 계산의 편의를 위하여 Fig. 4 의 복잡한 심재 형상을 Fig. 5 의 상부와 같이 단순한 띠 형태의 모델로 이상화 하였다. 같은 그림의 하부에는 이상화된 심재를 갖는 샌드위치 판재의 단면형상을 나타내었다. c 는 이상화된 심재의 폭으로 위에서 언급한대로 $c=(1-0.6)b=0.4b$ 이다.

Fig. 6 은 Fig. 5 하부의 점선으로 표시된 이상화된 심재를 갖는 샌드위치 판재가 굽힘 모멘트의 작용으로 변형된 형상을 나타내고 있다. 심재와

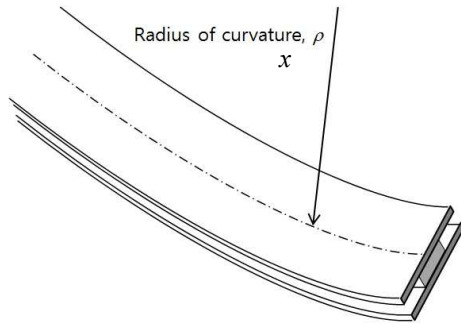


Fig. 6 A deformed shape of a portion of the sandwich indicated by dotted line in the lower part of Fig.5 under bending moment

면재가 다른 재료이므로 굽힘 하중 작용 시 곡률 반경(ρ)과 모멘트 (M)의 관계는 다음과 같다.

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{2E_1I_1 + E_2I_2} \quad (1)$$

여기서 E 은 재료의 Young 계수, I 는 단면 2 차 모멘트 이며 하첨자 1 과 2 는 각각 한쪽 면재 및 심재를 나타낸다. 따라서 I_1, I_2 는 다음과 같다.

$$I_1 = \frac{b}{24}(h^3 - h_1^3), I_2 = \frac{ch_1^3}{12}$$

강성도(stiffness), P/δ 는 다음 식과 같이 표현된다.

$$\frac{P}{\delta} = N \frac{48(2E_1I_1 + E_2I_2)}{s^3} \quad (2)$$

여기서 s 는 양단 지지점 사이 거리(span), δ 는 하중 작용지점에서의 변위이며 N 은 심재 폭 방향에 존재하는 단위셀의 개수이다. 면재에 작용하는 x -방향 최대 수직응력과 면재와 심재 사이 접합부에 걸리는 전단응력은 아래와 같다.

$$\sigma_{\max} = -\frac{E_1}{2E_1I_1 + E_2I_2} M \frac{h}{2} \quad (3)$$

$$\tau_{\text{int}} = \frac{E_1}{2E_1I_1 + E_2I_2} V \frac{Q}{c} \quad (4)$$

여기서 V 는 단면에 작용하는 전단력(shear force)이며 Q 는 한쪽 면재 단면의 단면 1 차 모멘트로서 다음과 같다.

$$Q = \frac{bt}{2}(h_1 + t)$$

식 (3)과 (4)에서 외력에 의하여 좌우되는 것은 각각 M 과 V 로서 삼점굽힘의 경우 중심에 작용하는 하중 P 와 아래와 같은 관계를 가진다.

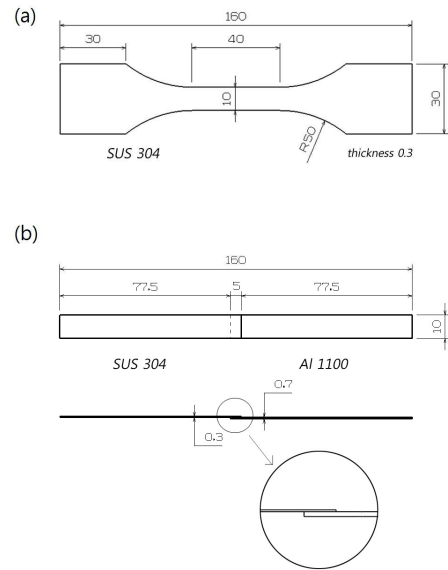


Fig. 7 Configurations of (a) a dog-bone specimen of SUS 304 foil and (b) a single-lap joint specimen of adhesively bonded SUS304 and aluminum plates

$$M = M_{\max} = \frac{Ps}{4N}, V = \frac{P}{2N} \quad (5)$$

식 (3) 또는 (4)의 응력이 각각 면재의 항복강도 또는 면재-심재 접합부의 전단 강도와 같으면 샌드위치판재가 파괴된다. 이 때 더 낮은 하중 P 값을 갖는 것이 실제 파괴모드로 간주된다.

식 (1) 내지 (5)에 변수 값 $b=9, c=3.6, h=1.3, h_1=0.7, t=0.3$ (이상 단위 mm), $N=80/9$ 를 대입하면 다음과 같다.

$$\frac{1}{\rho} = \frac{Ps}{(1.014 \times 10^4 \text{ kN} \cdot \text{mm}^2)} \quad (1)'$$

$$\frac{P}{\delta} = \frac{(1.217 \times 10^5 \text{ kN} \cdot \text{mm}^2)}{s^3} \quad (2)'$$

$$\sigma_{\max} = (0.0128 \text{ mm}^{-3}) \times P \times s \quad (3)'$$

$$\tau_{\text{int}} = (0.0148 \text{ mm}^{-2}) \times P \quad (4)'$$

식 (3)' 과 (4)'에 각각 인장실험에서 구한 면재의 항복강도와 면재-심재 접합강도를 대입하면 두 파괴모드에 대응하는 하중을 구할 수 있다.

2.4 실험

먼저 면재의 항복강도를 측정하기 위한 인장실험을 실시하였다. 면재로 사용된 0.3mm 두께의 SUS304 스테인리스강 판재를 개뼈형(dog bone type)으로 레이저커팅 한 후 커팅부위 열영향부를 줄(file)로 제거하였다. 다음 면재-심재 접합강도를 측정하기 위한 인장실험을 실시하였다. 심재로 사

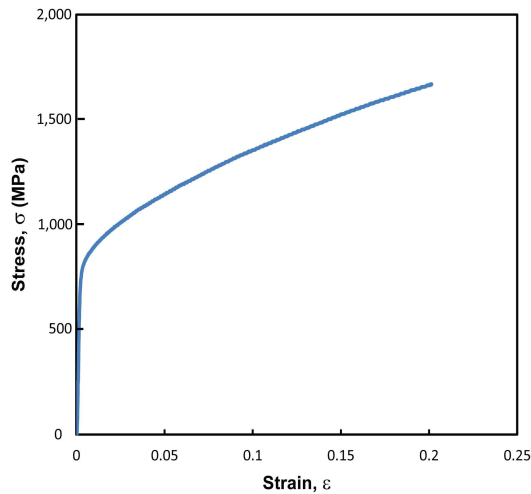


Fig. 8 Stress-strain curve measured from the tension test for SUS 304 face sheet.

용된 확장금속망 소재인 0.7mm 두께의 알루미늄 박판 면재로 사용된 0.3mm 두께의 SUS304 스테인리스강 박판을 각각 10mm 폭의 띠 형태로 재단한 다음 알루미늄 띠와 스테인리스강 띠의 한쪽 끝을 5mm 정도 서로 중첩 (single lap-joint) 하여 샌드위치 판재 시편 제작 시와 동일한 에폭시와 방법으로 접착하였다. Fig. 7은 위의 두 가지 실험에 사용된 시편의 형상을 나타내고 있다.

샌드위치 판재에 대한 삼점굽힘(3-point bending) 실험을 실시하였다. 하부의 양 지지점 사이의 거리를 조절하면서 하중-변위 곡선을 기록하여 강도, 강성도 및 변형 한계를 평가하고자 하였다.

3. 결과 및 토론

3.1 면재 인장 실험 결과

Fig. 8은 전술한 두 가지 인장실험에서 얻어진 스테인리스강 면재의 응력-변형률 곡선을 나타내고 있다. 이 결과에 따르면 스테인리스강 면재의 0.2% 오프셋 항복강도는 763 ± 20 MPa이다. 스테인리스강의 항복강도가 매우 높은 편으로 박판으로 냉간압연되면서 스테인리스강 특유의 가공경화가 심하게 발생한 데 그 원인이 있는 것으로 보인다.

3.2 면재-심재 접합강도 실험 결과

세 차례 실험에서 측정된 접합부의 전단강도는 15 ± 4 MPa이다. 이것은 제조사(Konish)에서 제공하는 스펙 상의 에폭시 자체 전단강도(6~7MPa)의 배 이상으로 이 접착제가 스테인리스강 및 알루미늄과 화학적 친화력이 높음을 나타내고 있다.

3.3 삼점굽힘 실험 결과

샌드위치 판재 하부의 양 지지점 사이의 거리 s

를 $s=200, 100$ mm로 다르게 하여 실험한 결과 얻어진 하중-변위 곡선이 Fig. 9에 도시되었다. 여기에 식(2)'에 따른 이론 기울기도 함께 도시되었다. 실험에서 최대 변위를 $\delta=17$ mm 정도까지 하중을 가하였는데 $s=200$ mm인 경우에는 거의 완벽한 선형거동을 나타내었다. 반면에 $s=100$ mm인 경우에는 $P=0.55$ kN에서 면재항복에 따른 비선형 거동이 최초로 관찰되었으며, $P=1.04$ kN에서 면재-심재 간 접합부 분리가 일어나면서 일시적으로 하중이 급락하는 것이 관찰되었다. 초기항복 하중과 접합부 분리 하중은 Fig. 9의 하중-변위 곡선에 수평 점선으로 표시하였다. Fig. 10은 변형 전후의 시편의 형상을 나타낸 것으로 하부 사진에서 변형된 시편의 오른쪽 부위에서 면재-심재 간 분리가 발생한 것을 나타내고 있다.

3.4 이론 강성도 및 강도 예측

식 (2)'에 따르면 각각 $s=200, 100$ mm인 경우 강성도는 $P/\delta=0.0152, 0.1217$ kN/mm로서 Fig. 9의 실험에서 얻어진 하중-변위곡선의 초기 기울기보다 약 5%정도 큰 예측값을 준다.

Fig. 8에 도시된 스테인리스강 면재의 항복강도 763 MPa과 $s=200$ 또는 $s=100$ mm를 식(3)'의 σ_{max} 에 대입하면 면재항복이 발생하는 하중 예측값은 $P=0.58$ 또는 $P=0.29$ kN이다. $s=200$ mm의 경우에는 실제로 가해진 하중의 최대값이 0.25 kN 미만으로 이론 항복점보다 훨씬 낮아 전혀 소성변형이 발생할 수 없었음을 알 수 있다. 이는 측정된 하중-변위 곡선이 완벽한 선형이었다는 사실에서도 증명된다. $s=100$ mm의 경우에는 측정된 항복하중 $P=0.57$ kN과 이론 예측치가 잘 일치한다.

Fig. 8에 도시된 면재-심재 접합부의 전단강도는 15 MPa을 식(4)'의 τ_{int} 에 대입하면 면재-심재 접합부 분리가 발생하는 하중의 예측값은 지지점 사이 거리 s 에 무관하게 $P=1.01$ kN이다. 측정된 접합부 분리 하중 $P=1.04$ kN과 이론 예측치가 잘 일치한다.

3.5 토론

이상의 결과에서 삼점굽힘 실험에서 관찰된 샌드위치 판재의 강성도, 강도가 단순한 재료역학에 기반한 이론 예측치와 잘 일치함을 나타내었다. 이는 굽힘하중이 작용할 때 샌드위치를 구성하는 세 요소인 스테인리스강 면재, 알루미늄 확장금속망 심재 및 에폭시 접착제가 예상한대로 거동을 하였다는 것을 의미한다. 특히 에폭시 수지의 완벽한 접착과 점탄성 거동의 절대 부재를 주목할 만하다.

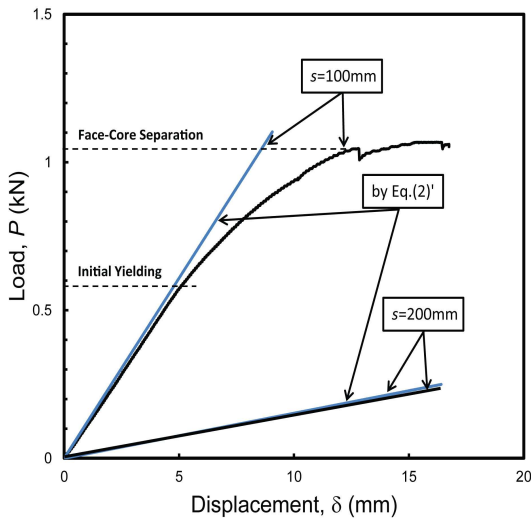


Fig. 9 Measured and estimated load-displacement curves of the sandwich specimen under 3-point bending

사용된 에폭시 수지(Konishi E206S)은 초저점도 (704 mPa·s) 를 갖는 것으로 원래 콘크리트에 발생하는 균열보수용으로 개발된 것이다. 본 연구에서 면재와 심재 사이에 최소량으로 밀착시키려는 의도에서 사용되었는데 성공적인 결과를 나타내었다.

본 연구에서는 Fig. 4 의 복잡한 형상의 심재를 Fig. 5 와 같이 단순하게 이상화하여 이론해를 구하였으나, 실험결과와 상당히 잘 일치하였다. 이와 같이 해석대상을 과도하게 이상화하였음에도 비교적 정밀한 예측결과를 주는 원인은 다음과 같은 두 가지 이유를 들 수 있다. 첫째, 심재의 형상이 식 (1)~(4)의 굽힘강성에 영향을 미칠 수 있다. 그런데 본 연구에서 취한 심재 형상의 이상화는 면재와의 접촉면적은 증가하되 굽힘에 따른 길이방향으로의 변형에 대한 저항을 극대화한 것임에도 불구하고 심재의 굽힘강성이 $E_2 I_2 = 7.2 \text{ kN} \cdot \text{mm}^2$ 으로 면재의 굽힘강성 $2E_1 I_1 = 278 \text{ kN} \cdot \text{mm}^2$ 에 비하면 거의 1/40 에 불과하여 심재의 형상변화가 전체의 강성에 미치는 영향이 미미하다. 둘째, 심재의 형상이 식 (4)의 전단응력에 영향을 미칠 수 있으나 전단응력에 의한 접합부 분리가 심재의 형상 중 접착부 면적에만 의존한다고 가정한다면 접합부 면적이 같게 유지되는 위의 심재 형상 이상화가 타당한 것으로 간주될 수 있다.

샌드위치 판재의 굽힘과정에 일정시간 간격을 두고 시편의 형상을 디지털 카메라로 촬영하였는데 상부시그와의 접착부 부근의 시편 곡률로부터 변형률을 측정할 수 있었다. 항복하중과 접착부분리하중에서 곡률반경은 각각 $\rho=119\text{mm}$ 와 64mm 로서 식 (1)

에 의한 예측치 $\rho=156\text{mm}$ 와 97.5mm 와 비교하면 항복하중에서는 상당한 오차가 있다. 이는 식 (1)'이 순수 굽힘 하의 탄성변형을 전제로 유도되었기 때문이다. 즉, 순수 굽힘 하중 하에서는 위치에 무관하게 동일한 곡률반경을 갖게 변형되지만 삼점 굽힘 하중 하에서는 위치에 따라 다르게 되어 하중 작용점에 변형이 집중되기 때문에 곡률반경이 이론보다 작아지게 된다. 특히 항복이 발생한 후에는 소성경첩 (plastic hinge)⁽¹¹⁾이 생성되어 다른 부분은 거의 변형되지 않은 채 하중 작용점에만 변형이 집중된다. 아래의 식 (6)을 이용하여 실험에서 얻은 곡률반경으로부터 최대 변형률을 계산하면 이 샌드위치 판재는 항복하중에서 최대변형률은 $\epsilon_{x,\max}=0.54\%$ 이고 접착부분리 하중에서 $\epsilon_{x,\max}=1\%$ 로서 면재에서 항복에 도달한 후 면재분리까지 $\epsilon_x=0.46\%$ 까지의 상당한 추가 변형이 가능함을 뜻한다.

$$\epsilon_{x,\max} = \frac{h}{2\rho} \quad (6)$$

본 연구에서 제시한 샌드위치 판재는 프레스 성형성을 목적으로 개발된 것이므로 강도와 강성도뿐만 아니라 소성변형의 용이성에도 주의를 기울여야 한다. 본 연구를 위하여 사용한 면재는 냉간압연 과정에서 고도로 가공경화가 되어 항복강도가 763MPa 에 이른다. 만일 항복강도가 200~400MPa 의 연강을 면재로 사용한다면 접합부분리가 일어나기 전에 훨씬 높은 수준의 소성변형이 가능할 것으로 기대된다. 즉, 복잡하고 정교한 3 차원 프레스 성형이 가능해진다는 의미이다. 반면에 강도는 면재의 항복강도에 비례하여 감소하게 되므로 설계 시 요구조건에 맞게 최적 항복강도를 취할 필요가 있다.

본 연구에서 제시한 새로운 박판 샌드위치 판재의 공학적 타당성을 검토하기 위한 별도의 방법으로서, 면재와 동일한 재료로 만들어진 균질판재와 비교하는 방법이 있다. 두 판재의 무게가 같도록 균질판재의 두께가 선택되었다면 위의 이론식에 의하여 굽힘 하중 하에서 강도 및 강성도 비는 Table 1 과 같다. 샌드위치 판재의 두께가 1.88 배인 반면에 항복하중은 3 배, 강성도는 5 배 이상으로 훨씬 높은 것을 알 수 있다. 이것은 굳이 초고강도 강판을 쓰지 않더라도 샌드위치 판재로 만들면 강도가 충분하며 이 경우 위에서 언급한 논리로 정교한 프레스 성형성도 동시에 확보할 수 있다는 의미이다. 보다 구체적인 프레스 성형성 평가는 정교한 3 차원 성형실험이 필요하다.

Table 1 Comparisons of performance under bending load between solid panel and the sandwich panel with a constant weight

	Solid Panel	Sandwich Panel
Thickness	1	1.88
Yield Load	1	3.07
Stiffness	1	5.79

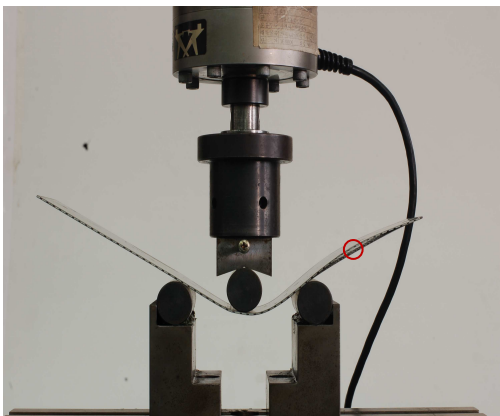
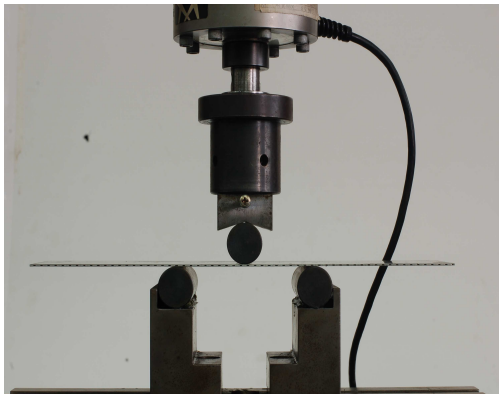


Fig. 10 Sandwich specimen installed on a 3-point bending jig before and after loading

4. 결론

자동차 차체용의 새로운 박판 샌드위치 판재의 제조방법을 제시하고 이의 굽힘 거동을 조사하였다. 그 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

(i) 제시된 제조방법과 재료조합에서 면재-심재 접착부 분리 현상보다 면재의 항복이 훨씬 조기에 발생하여 확장급속망 심재와 에폭시 수지의 우수성을 확인하였다.

(ii) 굽힘 하중하에서 샌드위치 판재의 강성도 및 면재 항복이 발생하는 하중과 접착부 분리 하

중 등의 강도 등에 대하여 유도된 이론식이 실험 결과와 비교적 잘 일치하였다.

(iii) 제시된 샌드위치 판재는 무게가 같을 때 면재와 동일 재료로 구성된 균질판재에 비하여 강도와 강성도면에서 월등하고 프레스 성형의 가능성도 있을 것으로 평가되었다.

후 기

이 논문은 2011 년도 전남대학교 연구년교수연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- (1) Clyne, T.W. and Markaki, A.E., 2004, "Ultra Light Stainless Steel Sheet Material," *US Patent* 6764772, 20 July.
- (2) Markaki, A.E., Westgate, S.A. and Clyne, T.W., 2002, in: Ghosh, T.S., Sanders, T.D., Clark, A.K. (Eds.), *Proceedings of 3rd Global Symposium on Materials Processing and Manufacturing*, TMS Meeting, Seattle, WA, p. 15.
- (3) Markaki, A.E. and Clyne, T.W., 2003, "Mechanics of Thin Ultra-Light Stainless Steel Sandwich Sheet Material: Part I. Stiffness," *Acta Materialia*, Vol. 51, pp.1341~1350.
- (4) Markaki, A.E. and Clyne, T.W., 2003, "Mechanics of Thin Ultra-Light Stainless Steel Sandwich Sheet Material: Part II. Resistance to Delamination," *Acta Materialia*, Vol. 51, pp.1341~1357.
- (5) Lesourd, H., 1988, "Sandwich-Type Stampable, Metallic Structure," *US Patent* 4759994, 26 July.
- (6) <http://www.isf.rwth-aachen.de/index.php?id=39&L=1>
- (7) El-Magd, E., Gebhard, J. and Stuhmann, J., 2007, "Simulation of the Creep Behaviour of P92 Sandwich structures at 650°C with Loading Transverse to the Intermediate Layer," *Computational Materials Science*, Vol. 39, pp.446~452.
- (8) Ashby, M.F., Evans, A.G., Fleck, N.A., Gibson, L.J., Hutchinson, J.W. and Wadley, H.N.G., 2000, *Metal Foams: a Design Guide*. Butterworth Heinemann, Boston.
- (9) Wicks, N. and Hutchinson, J.W., 2001, "Optimal Truss Plates," *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 38, pp.5165~5183.
- (10) Lardner, T.J. and Archer, R.R., 1994, *Mechanics of Solids: An Introduction*, McGraw-Hill, New York, p. 334.
- (11) Crandal, S.H., Dahl, N.C. and Lardner, T.J., 1972, *An Introduction to the Mechanics of Solids, 2nd Ed.*, McGraw-Hill, Tokyo, p. 452.