

Pultrusion 복합 샌드위치 패널의 신뢰성 평가

이학성^a, 김은성^b, 오제하^a, 김동기^a, 이주영^c, 강신재^{a,d*}

Reliability Evaluation on Pultrusion Composite Sandwich Panel

Haksung Lee^a, Eunsung Kim^b, Jeha Oh^a, Dongki Kim^a, Juyoung Lee^c, Shinjae Kang^{a,d*}^a Convergence Technology Research Division, Korea Institute of Carbon Convergence Technology, Republic of Korea^b Dept. of Automatic Mechanical Engineering, Vision University College of Jeonju, Republic of Korea^c Research Division Center, HankookBody Ind.Co.,Ltd, Republic of Korea^d Division of Mechanical Design Engineering, Chonbuk National University, 567, Baekje-daero, deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, 561-756, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received 11 April 2013

Revised 14 May 2013

Accepted 16 May 2013

Keywords:

Composite panel

Sandwich panel

Fatigue test

S-N curve

ABSTRACT

Research on decreasing the weight of composite sandwich panels is in progress. This paper reports the experimental results for the mechanical behavior of a composite sandwich panel. The skins of sandwich panels were made of glass fiber sheets and plywood matrix composites. Their interior layers consisted of glass fiber pultrusion pipes and gold foam. Experimental tests were performed to obtain the mechanical properties and complex mechanical behavior. Before fatigue tests, tensile tests and 3-point bending tests were carried out to obtain the optimal design and determine their strength and failure mechanisms in the flat-wise position. After the static test, a fatigue test were conducted at a load frequency of 5 Hz, stress ratio (R) of 0.1, and endurance limit for the S-N curve. It showed that the failure modes were related to both the core design and skin failure.

1. 서론

최근 전 세계 자동차 업체들의 개발 경향은 모듈화, 경량화, 지능화를 말할 수 있다. 이 중에서도 현재 개발되고 있는 많은 자동차 부품들이 대형화 되면서 경량화 및 모듈화로 가고 있다. 대체 연료를 사용하는 차량의 개발이 이루어지고 있고, 고유가 시대에 차량의 연비향상에 박차를 가하고 있는 시점에서 차량의 경량화는 가장 큰 이슈가 되고 있다^[5].

이러한 이유로 복합소재 개발 및 신뢰성 있는 평가를 위한 구조적 검증에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있는 상황이다. 복합재

료는 비강도, 비강성이 크고 일반적으로 피로특성이 우수하여 경량화가 요구되는 구조물 제작 시에 설계자로 하여금 설계에 유연성을 가지도록 한다. 차량 개발기간이 짧아짐에 따라 제품의 구조검증 및 내구해석을 통한 내구수명을 예측하기 위한 소재의 피로 물성 데이터를 확보하는 것이 필수적이나 현재 복합소재에 대한 데이터가 축적되지 못한 실정이다^[4].

상용차 샌드위치 복합소재 패널의 경량화를 위하여 기존에 알루미늄과 스틸소재를 혼용한 상용차 패널 구조를 복합소재를 이용한 복합경량소재 외장 패널로 대체 연구 개발이 요구되는 바이다. 구조적 안전성 확보를 위하여 하이브리드 복합소재 패널 구조 내부에

* Corresponding author. Tel.: +82-63-219-3640

Fax: +82-63-219-3649

E-mail address: kangsj@jbnu.ac.kr (Shinjae Kang).

인발소재 심재를 삽입하여, 체결력과 구조적 강도를 향상시키고자 하였으며, 구조 안전성 이외에도 경량화, 단열성능, 내 부식성이 우수한 복합소재 패널 개발을 목적으로 하였다. 그 밖에 중량 절감 효과뿐만 아니라 내구성 향상 및 충격흡수 측면에서 우수하여 내구한도 평가를 위한 굽힘 및 피로특성 검증이 요구되는 바이다.

본 논문은 우선적으로 샌드위치 복합소재 패널의 각 단품별 물성 평가를 통하여 인장강도, 전단강도 및 탄성계수를 확보하고, 이를 바탕으로 설계된 3가지 구조에 관하여 3점 굽힘 시험을 진행하였다. 굽힘 시험과 동일한 간극(Span) 기준으로 피로시험을 수행하고, 피로시험을 통해 얻은 결과 값을 바탕으로 S-N선도를 도출하였다. 이를 통하여 최종적으로 샌드위치 복합소재 패널의 내구성을 검증하고, 패널 심재의 구조가 굽힘 하중 및 피로내구에 미치는 영향을 평가 하였다.

2. 샌드위치 복합소재 패널 시험

2.1 샌드위치 복합소재 패널 구조

기존 복합소재 패널의 경우 골드폼에 나무합판을 대고 알루미늄과 스틸소재를 외부에 부착한 형태를 보이고 있다. 검증하고자 하는 복합소재 패널은 체결이 요구되는 부위에 인발 성형된 유리섬유 심재를 삽입하고 외부에 나무합판과 유리섬유(Glass Fiber : 이하

G/F) 직물 판재(Fabric Sheet)를 접합하여 제작하였다. 인발 성형된 복합소재 심재의 경우 약 50%의 G/F 함유량을 갖으며, 구조적 안전성 및 경제성을 고려하기 위하여 단면계수 변화를 주어 Fig. 1(c)의 형태로 총 3가지 구조의 시험편을 평가하였다.

2.2 인장, 전단 시험

강도나 강성, 내충격성, 밀도 등의 기계적 물성들은 차체 외판으로 쓰일 재료의 선택이나 설계 과정에 중요한 설계 인자이므로, 이러한 기본물성의 평가는 중요한 의미를 가지며 신뢰성 있는 물성 평가가 되어야 한다.

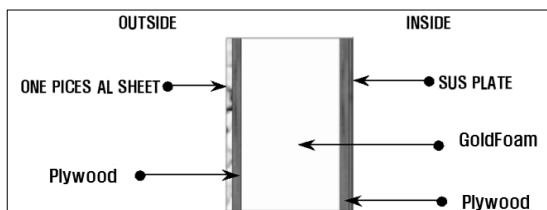
인장시험의 경우 시험편은 ASTM D 3039 규격에 의하여 복합소재 심재(인발)의 경우는, 사각파이프 형태의 인발 성형품에서 가장 자리를 제외하고 0°, 90° 방향의 시편을 8개 이상 채취하였다. 인발 방향을 0°, 인발방향의 수직방향을 90°로하고 시편은 unidirectional 유형으로 제작하였다. 샌드위치 복합소재 패널의 외곽을 감싸고 있는, 복합소재 직물 판재(Fabric Sheet)의 시편 유형은 balanced and symmetric로 제작하였으며, 시험 속도는 2.0 mm/min 기준으로 탄성계수와 인장강도를 측정하였다.

전단시험의 경우 시험편은 ASTM D 5379 규격에 의하여 0°, 90° 방향의 시편을 8개 이상 채취하였다. 시험 속도는 2.0 mm/min 기준으로 각 시험기준에 맞게 탄성계수 및 강도를 측정하였다.

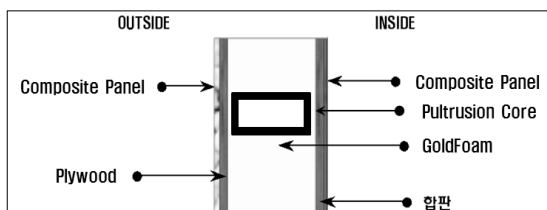
탄성계수는 등방성 재료 시험에서 일반적으로 사용되는 Extension meter를 사용하지 않고 2축 스트레인게이지(Strain Gauge, FCA-5-11-1L, Tokyo)사용하여 확보하고자 하였으며, 시험을 통해 확보된 Raw Data의 $0.002\epsilon \sim 0.005\epsilon$ (Strain) 사이의 응력-변형률(Stress-Strain)기울기를 통하여 계산하였다.

2.3 굴곡 시험

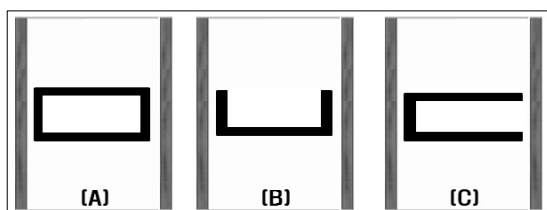
굴곡 강도 시험의 경우 ASTM D 790 시험편 제작 규격 및 장비 사양을 고려하여 제작하였다. 지점(Span) 거리 200 mm, 시험 종료는 파단이후의 하중 표면 관찰을 위하여 최대하중의 40% 도달 시 시험을 종료하고, 시험 속도는 1.3 mm/min로 진행하였다. 굽힘 시험 장비로는 MTS-64.305 Test Machine, Capacity 300 kN 장비를 사용하였다.



(a) Original design of the panel



(b) Specimen concept of the panel



(c) Section view of Sandwich Panel (Section A, B, C)

Fig. 1 Specimen design of fatigue test



Fig. 2 Experimental setup of bending test



Fig. 3 Experimental setup of Fatigue test

2.4 피로시험

굴곡시험에서 평가된 구조의 패널에 적용되는 피로특성을 확인하기 위하여 피로시험 조건은 다음과 같다. ASTM E 466 규격에 준하여 굽힘시험과 동일하게 지점거리를 200 mm로 설정하고 3점 굽힘 반복하중을 가하는 방식을 따른다. 3점 굽힘에 의한 피로 시험 시 부재의 굽힘 파손은 표면 및 내부 파손이 있을시 시험 종료 (Fail)로 정의하고 피로시험을 실시하였다. 굽힘 하중이 반복되는 형태로서, 하중 비($\sigma_{\min}/\sigma_{\max}$:R)는 0.1로 설정하였다.

피로시험 장비로는 MTS-810 Testing Machine, Capacity 100 kN 장비를 사용하였다. 시험 주파수는 반복하중에 의한 시험편 내부의 온도상승을 무시할 수 있는 5 Hz로 선정하였다^[4]. 하중조건은 ASTM D 790 규격에 의하여 수행한 굴곡강도 결과 값을 기준으로 약 40~70% 범위 내에서 피로시험을 진행하였다. 샌드위치 복합소재 외장 패널 피로한도는 10^5 사이클(cycle) 기준으로 설정하였다.

2.5 피로수명 특성 평가

시험에서의 내구 강도를 실제 부품의 내구 강도로 적용하고, 사용하기 위한 대안이 요구되고 있다. 식 (1)과 같이 여러 개의 보정 계수를 도입함으로써 가능하며, 각 보정계수는 1보다 작거나 같다.

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S'_e \quad (1)$$

여기서 S_e 는 피로 한도에서의 응력, S'_e 는 실험을 통해 찾아낸 내구한도, k_a 는 표면계수, k_b 는 크기계수, k_c 는 하중계수, k_d 는 온도 계수, k_e 는 기타 영향들을 모두 포함한 혼합 계수이다. 이들 매개 변수들에 대한 적절한 값의 선정은 피로 해석의 성공 여부를 결정짓는다. 많은 계수들이 끼치는 민감한 영향 때문에, 실제 환경에서 피로 시험을 수행하는 것만이 반복 주기 하중을 받는 부품에 대한 신뢰성 있는 설계를 보장한다.

구조물의 특성상 k_b 크기계수 효과에 중점을 두어 크기계수에 관한 많은 실험적인 예로 인하여, k_b 는 다음과 같이 정의된다^[18].

$$k_b = 1.0 (d \leq 8mm) \quad (2)$$

$$k_b = 1.189d^{-0.097} (8mm \leq d \leq 250mm) \quad (3)$$

$$0.0766d_{eq}^2 = 0.05bh \quad (4)$$

여기서 d 는 부재의 직경이며, 시험에 가장 큰 영향을 줄 수 있는 복합소재 인발제품 사각단면에 대한 등가 직경 d_{eq} 를 구할 수 있다.

교번(alternating) 또는 양진 응력을 받는 부품의 N번째 사이클에서 피로 강도 S_f 를 구하기 위해, 다음 식을 이용하여 S-N선도 곡선 맞춤(curve-fit)을 할 수 있다.

$$S_f = aN^b \quad (5)$$

$$\text{여기서, } a = \frac{(0.9S_{ut})^2}{S_e} \quad (6)$$

$$b = -\frac{1}{3} \log \frac{0.9S_{ut}}{S_e} \quad (7)$$

위 식에서 피로응력 S_e 대신에 시험의 내구한도인 S'_e 는 예측할 수 있으며, 진폭 σ_a 를 가진 양진 응력에 상응하는 수명 주기 수는 다음 식으로 계산된다.

$$N = \left(\frac{\sigma_a}{a} \right)^{1/b} \quad (8)$$

평균응력 σ_m 이 0이 아닐 때, 사이클 하중은 변동응력(functioning stress)으로 분류되며 이러한 경우 가장 많이 사용되는 식은 Goodman 수정 관계식이다.

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad (9)$$

$$\sigma_m = \frac{(\sigma_{\max} + \sigma_{\min})}{2} \quad (10)$$

$$\sigma_a = \frac{(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})}{2} \quad (11)$$

여기서, σ_{\max} 와 σ_{\min} 는 최대 및 최소응력, S_{ut} 는 재료의 극한 인장 강도이고 n 은 설계를 위한 안전 계수이다. 이 관계식은 파괴 수명을 예측하는데 유용하다. 만약 파괴 기준으로 항복에 더 관심이 있으면 Soderberg 관계식을 사용해야 하고, 이를 위해 극한 인장강도 S_{ut} 대신 항복강도 S_{yt} 로 대체하면 된다^[19].

3. 샌드위치 복합소재 패널 시험평가

3.1 인발, 직물(Fabric) 인장 및 전단 시험 평가

Table 1은 샌드위치 복합소재 패널 심재(인발)의 인장 및 전단시험을 통해 확보된 기계적 물성이며, Fig. 4~5는 인발소재 인장시험을 통해 얻은 S-S Curve임을 확인 할 수 있다. 0도 방향의 인장시험의 경우, 420~540 MPa의 인장강도를 나타내며 평균 값을 기준으로 약 12.5%의 오차 범위를 보였다. 일반적인 복합소재의 경우 약 30% 가까운 편차를 보이는 경우와 비교하여 신뢰도가 높은 결과임을 확인할 수 있었다. 90도 방향의 인장시험의 경우 0도 방향에 비하여 스트레인게이지(Strain Gauge) 부착 시, 표면조도의 확보의 어려움으로 물성치가 되는 현상이 주목되었다. 인장강도가 28~32 MPa로 약 6%의 오차범위를 보이며 0도 방향의 인장시험 대비 상대적으로 낮은 오차범위를 나타냄을 확인할 수 있었다. 이는 0도 방향의 경우 인발 성형의 특성상 섬유 방향의 직진도 확보가 어려워 섬유방향의 기계적 물성차이를 수반함을 알 수 있지만, 90도 방향의 경우 섬유보다 수지 강도에 대한 영향이 지배적이어 결과 값의 편차를 낮추는 역할을 했을 것으로 판단된다.

Fig. 6~7는 인발소재의 전단강도 시험평가 결과로 ASTM D 5379 시험기준에 준하여 V-Notched 시험편에 관하여 S-S Curve 시험결과를 보여주고 있다. 0도 방향에서 68~78 MPa의 전단강도 평균 값 기준으로 약 7%의 편차를 보인다. 90도 방향의 경우는 52~62 MPa로 약 9%의 편차를 나타내고 있다. 전단 시험 파단모드(Failure Mode)는 0도 방향의 경우 Fig. 9에서 A의 형태의 Mode를 관찰할 수 있으며, 90도 방향의 경우 Fig. 9 B의 형태로 나타남을 확인하였다. 이는 V-Notched 시험편에서 나타나는 일반적인 현상으로 시험의 신뢰도를 반증하는 결과이다.

Table 2 및 Fig. 8은 샌드위치 복합소재 패널 심재 및 나무합판의 표면을 감싸고 있는 직물 판재(Fabric Sheet)의 시험을 통하여 얻은 기계적 물성을 나타내고 있다. 인장강도의 경우 280~300 MPa, 허용응력은 200~240 MPa를 형성하는 물성을 보이며, 연신율은 약 2.5%로 일반적인 탄소섬유 대비 1% 정도 높은 경향을 보이고 있다. 오차범위 10% 내외의 균일한 물성 특성을 보이고 있다. 굽힘 하중을 받는 구조에 1.0~1.5 t의 얇은 두께의 필름형태로 사용되는 것으로 보아, 구조적 특징 및 기능적(단열재, 마감재, 경량화 소재) 측면에서 복합적으로 적용되는 실정이다.

이 논문에서 다루지는 않지만, 샌드위치 복합소재 패널의 기계적 특성에서 가장 큰 영향을 미칠 수 있는 인발 성형품의 물성 평가를 통하여 직교이방성 재료의 단품해석을 진행하고 외곽 치수(Size) 기준으로 30 mm*50 mm*5 t (폭*높이*두께)의 총 3가지 단면 형상을 결정 할 수 있었다.

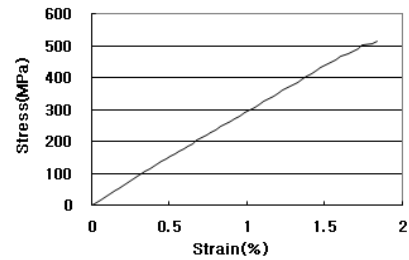


Fig. 4 S-S Curve of Tensile test (Pultrusion, 0 degree)

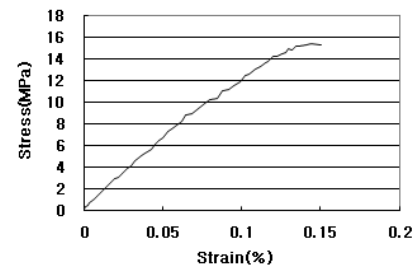


Fig. 5 S-S Curve of Tensile test (Pultrusion, 90 degree)

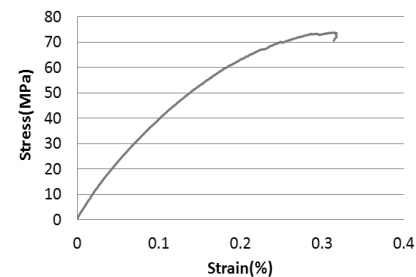


Fig. 6 S-S Curve of Shear test (Pultrusion, 0 degree)

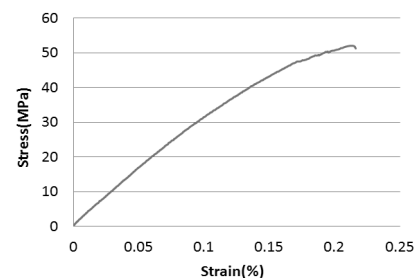


Fig. 7 S-S Curve of Shear test (Pultrusion, 90 degree)

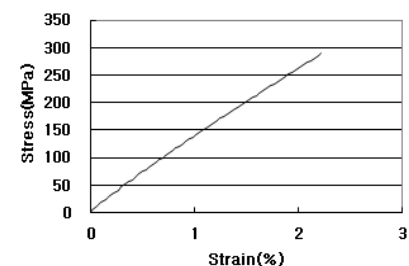


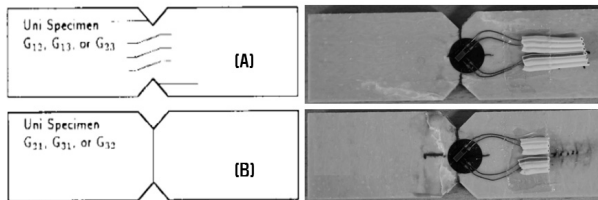
Fig. 8 S-S Curve of Tensile Test (Fabric)

Table 1 Results of Tensile Test (Pultrusion)

Specific Gravity	1.7~1.9
Tensile Modulus (E_1 , GPa)	27~35
Tensile Modulus (E_2 , GPa)	9~11
Shear Modulus (G_1 , GPa)	3.9~4.1
Shear Modulus (G_2 , GPa)	3.2~3.5
Poisson's ratio (ν_{12})	0.28~0.30
Poisson's ratio (ν_{23})	0.10~0.12

Table 2 Results of Tensile Test (Fabric Sheet)

Specific Gravity	1.4~1.6
Tensile Modulus (E_1/E_2 , GPa)	12.5~14.5
Poisson's ratio (ν_{12})	0.10~0.12

**Fig. 9 Shear Test Failure Mode (Pultrusion, 0/90 degree)**

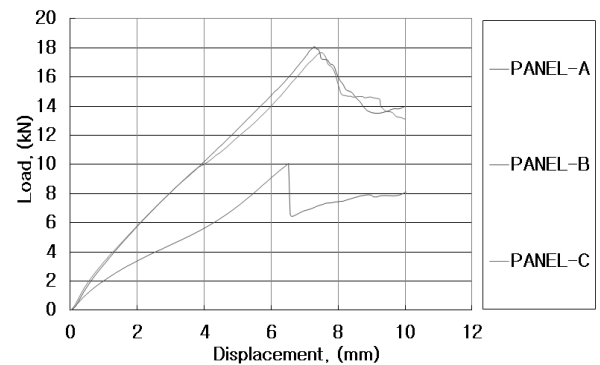
3.2 굽힘 시험 평가

단품 시편 시험 및 구조해석을 통해 결정된 샌드위치 패널 3가지 구조에 대하여 시험을 진행하였다. 3점 굽힘 시험을 진행하였고, 굽힘 시험을 통해 확보된 하중(Load)값을 고려하여 피로시험 하중 데이터 설정에 활용하고자 하였다. 시험편의 외관 사이즈는 30 mm*50 mm*5 t (폭*높이*두께)로, 높이 방향으로 하중이 인가되는 구조이다.

Table 3 및 Fig. 10 에서 복합소재 패널 3가지(Panel A, B, C)에 대한 굽힘 시험결과를 확인할 수 있다. 복합소재 패널구조 B에 비하여 상대적으로 A, C 구조 시험결과가 우세함을 나타낸다. 이는 단면 계수에서 높이(height) 변수에 의한 영향이 폭(width) 변수에 비해 강도에 미치는 영향이 높음을 확인 할 수 있으며, 폭(width)방향 밑 부분에 절삭된 단면 플랜지의 영향이 상대적으로 미비한 것으로 보인다. 이는 절삭된 단면 아래 부분에 직물(Fabric) 및 나무합판 구조가 유지되고 있어 구조를 보강하고 있으며, 절삭된 인발소재 부분의 두께가 전체 두께를 형성하지 않고 단면계수 감소에 미치는 영향이 상대적으로 낮아지는 것으로 확인 할 수 있었다.

Table 3 Results of Bending Test

No	Thickness (mm)	Width (mm)	Peak Load (kN)	Span (mm)
A	61	70	18~19	200
B	61	70	10~11	200
C	61	70	17~18	200

**Fig. 10 F-D Curve of bending test (composite panel)**

3.3 피로 시험 및 특성 평가

굽힘 시험을 통해 3가지 샌드위치 패널의 구조 중에 구조안전성 및 경제적 측면을 고려하여 복합소재 Panel C의 구조를 대안으로 제시하였으며, 추가적으로 Panel C에 대하여 내구 검증 과정을 진행하였다. 굽힘 시험과 동일한 지점 거리(200 mm)로 피로시험을 진행하였다. Fig. 11, Fig. 12는 샌드위치 패널의 압축-압축 피로시험을 통하여 얻은 F-N선도를 최대하중과 최대진폭 하중에 대해 각각 나타낸 것이다.

식 (12)은 Fig. 11의 피로시험 결과 값을 최대 하중 및 피로수명에 관한 로그(log)함수로 표현한 것이다. 반면, 식 (13)은 압축-압축에 의한 피로 실험 결과 Fig. 11을 압축-인장에 대한 실험 결과 값 Fig. 12로 즉, 평균하중을 0 kN로 조정한 진폭 하중(amplitude force)으로 변환하여 표현한 것이다.

이 결과 값을 통하여, 10^5 사이클을 만족하는 최대 하중은 최대 굽힘 하중 대비 약 60% 수준인 10.18 kN임을 확인 할 수 있었다. 또한 비교적 높은 하중에서의 피로시험 결과가 낮은 하중 시험 결과 대비 편차가 큰 것을 확인할 수 있다.

$$\log(F) = -0.057 \cdot \log(n) + 1.2928 \quad (12)$$

$$\log(F) = -0.057 \cdot \log(n) + 0.9418 \quad (13)$$

Fig. 13는 피로시험(fatigue test)을 통해 얻어낸 데이터와 식 (2~11)에 적용하여 수치적으로 풀어진 수치 결과 데이터를 바탕

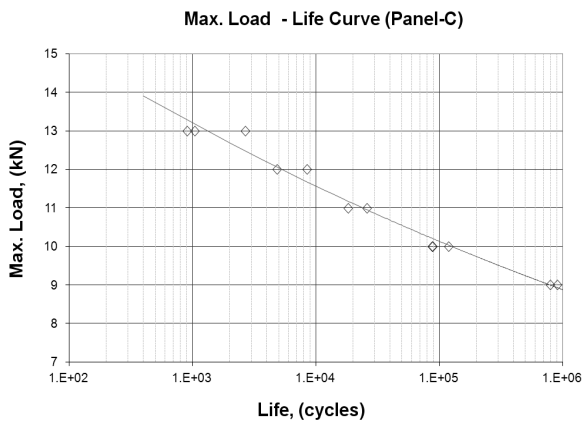


Fig. 11 F-N Curves for sandwich panel (Max. Force)

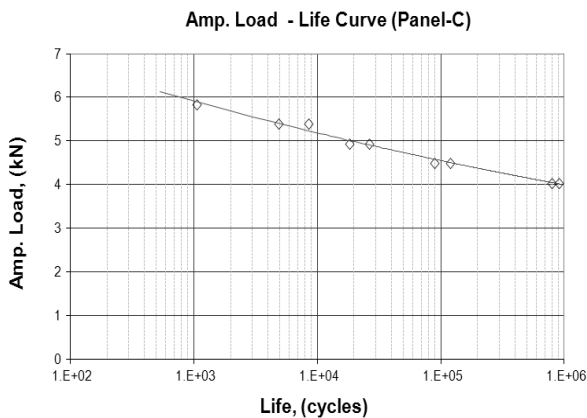


Fig. 12 F-N Curves for sandwich panel (Amp. Force)

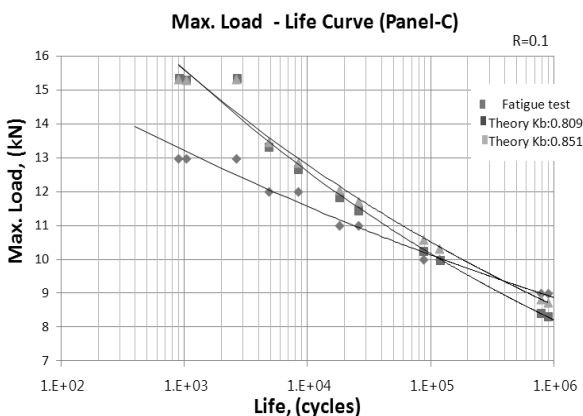


Fig. 13 Comparison of experimental results with theoretical calculations

으로 추세 선을 나타내어 비교한 것으로, 일반적인 피로거동의 경우 높은 하중영역에서 실험값과 이론값이 비슷한 거동을 보인다^[2]. 반면, 샌드위치 복합소재 패널의 피로시험 결과는 낮은 하중(low force) 영역에서 F-N선도 그래프의 경향이 유사하게 나타나는 것

을 확인할 수 있었다.

추세선 그래프에서 보면 크기계수 k_b 0.851 경우는 샌드위치 패널의 심재인 인발소재에 대한 등가직경을 바탕으로 구한 값이고, k_b 0.809 경우는 샌드위치 패널 전체 크기에 대한 등가직경을 통하여 얻어진 값이다. 이를 통하여, 샌드위치 패널 피로내구 특성에서는 구조적 역할이 가장 큰 인발소재 심재에 의한 영향이 가장 큰 것을 확인할 수 있다.

이를 통하여, 초기 높은 하중 영역에서는 피로수명의 가장 큰 영향을 미칠 것으로 파악되는 하중계수 k_c 로 인해 결과 값의 차이가 나타나며, 낮은 하중 영역에서는 크기계수 k_b 영향으로 결과 값의 차이가 나타남을 예측 할 수 있었다.

크기계수 k_b 0.851 반영 시, 실험값과 이론값을 비교하면 초기 높은 하중 영역을 제외하고 평균적으로 약 3~4% 오차 즉, 96~97%의 신뢰도를 갖는 결과임을 보였다.

4. 결 론

상용차에 적용되는 샌드위치 복합소재 패널의 인장, 전단, 굽힘 시험을 통하여 단면을 결정하였고, 선정된 패널(Panel) 구조에 대한 피로시험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 유리섬유 인발 소재의 인장시험의 경우 0° 방향은 섬유 직진도 유지의 어려움으로 물성차이를 수반하며, 90° 방향의 경우 섬유보다 수지의 의한 영향이 지배적이어서 결과 값의 편차가 상대적으로 낮았다.
- (2) 인장, 전단시험을 바탕으로 설계된 샌드위치 패널 시험편의 구조 안전성 및 경제성을 고려하여 Panel C의 구조를 선정하게 되었고, 이는 높이 변수에 의한 영향이 폭 변수에 비해 강도 및 단면계수에 미치는 영향이 높음을 확인 하였다.
- (3) 최종 선정된 Panel C 형상에 관한 피로시험 결과, 초기 높은 하중 영역에서는 하중계수 k_c 의 영향이 크며, 낮은 하중 영역에서는 크기계수 k_b 영향으로 결과 값의 차이가 나타남을 예측 할 수 있었다.
- (4) 샌드위치 복합소재 패널의 기계적 특성 평가를 통하여 차후 복합소재 패널 제품 설계 및 해석의 신뢰성을 확보하는데 중요한 데이터를 제공할 것으로 사료된다.

후 기

본 논문은 지식경제부 호남광역경제권선도산업을 통해 연구된 결과임.

References

- [1] Fish, J., and Belytschko, T., 2007, *A First Course on Finite Elements*, Wiley, New York.
- [2] Schijve, J., 2009, *Fatigue of Structures and materials*, Springer Science Business Media, Netherlands, 373-380.
- [3] Adams, V., Askenazi, A., 2010, *Building Better Products with Finite Element Analysis*, 41-54.
- [4] Nam, H. W., Pyun, H. J., Lee, Y. T., 2000, Characteristics of Composite Body Panel, Spring Conference of KSAE, 109-114.
- [5] Hwang, T. W., Choi, C. H., You, K. M., 2006, Development of Plastic Tailgate Panel with Thermoplastics, Spring Conference of KSAE, 2031.
- [6] Jeon, T. Y., Koo, J. S., Kim, B. W., 2009, Study on the deviation of Fatigue Properties of Engineering Plastics for Fatigue Analysis, KSAE 2009 Annual Conference, 2628-2632.
- [7] Jeon, K. W., Shin, K. B., Kim, J. S., 2011, An Evaluation of Fatigue Life and Strength of Lightweight Bogie Frame Made of Laminate Composites, KSME, 35:8 913-920.
- [8] Park, S. O., 2004, Fatigue Life Prediction of FRP Composites under Uniaxial Tension and Pure Torsion Loadings, KSMTE, 13:6 64-73.
- [9] Kim, E. S., 2012, An Evaluation of the Fatigue Properties for External Panel Using Low Density SMC, KSMTE, 21:5 830-835.
- [10] Houston, D. Q., Hunt, J., Jiang, C. H., 2011, Fatigue Performance of SMC Composite Material in the Different Environmental Damage and Temperature Conditions, 2011 Automotive Composites Conference of SPE, 1-10.
- [11] Alberto, C., Egidio, R., Enrico, P., 2000, Experimental characterization and numerical simulations of a syntactic-foam/glass-fibre composite sandwich, Elsevier, 60:11 2169-2180.
- [12] Talreja, R., 1981, *Fatigue of Fibrous Composites Materials*, ASTM STP 723, Philadelphia, 291-311.
- [13] ASTM, 1995, Standard Test Method for Tensile Properties for Plastics, ASTM D 638-93, American Society for Testing and Materials.
- [14] ASTM, 2002, Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Material, ASTM D 790-03, American Society for Testing and Materials.
- [15] ASTM, 2002, Standard Test Method for Conducting Force Controlled Constraint Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials, ASTM E 466-96, American Society for Testing and Materials.
- [16] ASTM, 1988, Damage Development during Multiaxial Fatigue of Notched and Unnotched Specimens, ASTM STP 942, American Society for Testing and Materials.
- [17] ISO, 2003, *Metallic Materials - Fatigue Testing - Statistical Planning and Analysis of Data*, ISO 12107, International Organization for Standardization, Geneva.
- [18] Julie A, Bannantine., Jess J, Comber., James L, 1990, *Fundamentals of Metal Fatigue Analysis*, Prentice Hall.
- [19] Vince, Adams., Abraham, Askenazi., 2009, *Building better products with finite element analysis*, Midasit.