

하니컴 샌드위치 Panel을 이용한 LCD/PDP생산공정용 고기능성

복합 신소재 파렛트의 최적설계

김윤해* • 최병근** • 손진호*** • 조영대**** • 엄수현***** • 우병훈*****

(원고접수일 : 년 월 일, 심사완료일 : 년 월 일[편집자 기재, 학술대회용원고에서는 생략])

The Optimum Design of the Light-weight Composite Pallet Plank for Assembly Line of LCD/PDP by using Honeycomb Sandwich Panel

Y. H. Kim*, B. G. Choi**, J. H. Son**, Y. D. Cho***, S. H. Eum*****, B. H. Woo*****

Abstract : A typical honeycomb sandwich panel consists of two thin, high-strength facings bonded to a thick, light-weight core. Each component by itself is relatively weak and flexible, but when it combines in a sandwich panel they produce a structure that is stiff, strong, and lightweight. In addition to use in honeycomb sandwich panels, honeycomb is used for energy absorption, radio frequency shielding, light diffusion, and to direct air flow. Accordingly, the usage of honeycomb sandwich structure is very widely applied to the aircraft, the automobile, and marine industry, etc., because of these advantages. Generally, this honeycomb sandwich structure is manufactured by autoclave process. In this study, the honeycomb sandwich structure was produced by prepreg. To prove the suitability the honeycomb sandwich structure with prepreg, the optimum design of the skin materials and honeycomb sandwich structure were evaluated with the theory of stress analysis.

Key words : LCD(Liquid crystal digital), PDP(Plasma display panel)

Nomenclature

	P	: Concentrated load (kg/cm)
t	:	Panel's total thickness(cm)
	δ	: Panel's maximum sag (cm)
tf	:	Skin plate thickness (cm)
	M	: Maximum moment (kgcm/cm)
tc	:	Thickness of honeycomb core (cm)
	D	: Stiffness (kgcm ² /cm)
a, b	:	Supporting span (cm)
	σ	: Skin plate Strength (kg/cm ²)
q	:	Distribution load (kg/cm ²)
	τ	: Shear stress of honeycomb core

* 김윤해(한국해양대학교 기계소재공학부), E-mail:yunheak@mail.hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4355

** 최병근, 손진호(한국해양대학 대학원)

*** 조영대(C.K.I Co., Ltd)

**** 엄수현(동경대)

***** 우병훈(동경공대)

σ_c : Breaking strength of honeycomb core (kg/cm²)

ρ : Density

E : Modulus of elasticity of skin plate (kg/cm²)

G_c : Shear modulus of elasticity of core (kg/cm²)

$\lambda = 1 - (\text{Poisson ratio})^2$

$\alpha \quad \alpha \quad \beta \quad \nu$ Modulus

1. 서론

복합재료(composite materials)중 섬유강화 복합재료는 무게비강도 및 강성도가 크며 내환경성이 좋고, 성형성이 우수하여 제품의 일체화가 가능한 점이 큰 특징이다.

이러한 복합재료의 응용은 우주, 항공 분야에서 뿐만 아니라, 조선분야 및 일반 산업분야에서도 날로 증가됨에 따라서 복합재료 산업은 이미 많은 발전 단계에 이르고 있다. 예를들면 우주, 항공 분야에서는 오토클레이브(autoclave)를 이용하여 항공기의 동체나 헬리콥터의 블레이드를 복합재료화 하였고, 자동차의 범퍼 등도 프리폼(preform)에 수지를 주입하는 레진 트랜스퍼 몰딩(Resin transfer molding ; RTM)성형법을 이용하여 복합재료화 하고 있으며, 현재 고강도·고탄성률을 지닌 섬유와 에폭시 등의 수지를 이용하여 필라멘트 와인딩 성형법으로 고압의 특수 압력용기 등을 복합재료화 하고 있다.

한편, LCD/PDP 생산라인에 사용되는 파렛트(pallet)는 대부분 알루미늄으로 만들어지고, 일반적으로 이용되고 있는 알루미늄 파렛트의 경우, 그 평가기술은 기술력과 공신력이 어느 정도 축적되었다고 사료되나, 복합재료의 사용이 널리 확대되고 있는 시점에서 LCD/PDP 생산라인에 복합재료를 이용할 경우 이를 평가할 수 있는 기술이 없는 실정이다.

기존의 금속재 파렛트와 비교할 때 보강섬유로 강화된 복합 신소재로 제작된 파렛트는 상당한 무게

감소를 달성할 수 있어 경제적인 측면 및 연료 소비량 측면에서도 상당한 효과를 거둘 수 있다. 그리고 복합재료는 금속재료에 비해 상당한 진동 감쇠 능력을 가지고 있는 것으로 알려져 있으므로 제조 시에 발생하는 진동으로 인한 불량률을 최소화시키고, 파렛트의 경량화 및 비틀림 진동을 줄이고 생산성 향상 및 파렛트의 변형 등을 최소화시킴으로써 정비성의 향상을 도모할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 LCD/PDP 생산라인에 사용되는 복합 신소재 파렛트를 제작하기 위해 먼저 복합 신소재 파렛트의 응력해석을 통해 면재와 코어의 두께를 설계하여 그 특성을 평가하고 경량의 고기능성 복합 신소재 파렛트를 개발하는 것이 그 목적이다.

2. LCD/PDP 생산라인용 파렛트

Table 1은 본 연구에서 개발하고자 하는 복합 신소재 파렛트와 기존 알루미늄 파렛트와의 특성을 상호 비교하여 나타낸 것이다.

본 연구에서 복합 신소재 파렛트의 제작에 사용하는 성형기는 컴퓨터 프로그램에 의하여 성형 조건을 입력시킨 다음 진공 압력, 외부 압력, 온도 사이클 등을 전기적 신호로써 압력 주기와 온도 주기를 제어하여 일정한 압력과 온도로 성형할 수 있도록 설계되어 있는 오토클레이브이다.

면재로써는 에폭시 수지가 함침 되어 있는 유리섬유 프리프레그(prepreg)를, 코어 재료로는 경량이면서 내구성이 뛰어난 하니컴 코어(honeycomb core)를 사용하였다.

본 실험에서는 강도와 전기적 특성이 우수하고 가격이 저렴하여 보강재로 가장 많이 사용되고 있는 E-glass 섬유 프리프레그를 사용하였다. E-glass 섬유 프리프레그와 하니컴코어재의 특성을 Table 2에 나타낸다.

하니컴 코어는 일반적으로 열적 안정성 및 방염성이 뛰어나고, 탁월한 치수 안정성, 가수분해 안정성 및 내마모성, 가공의 용이성, 화학적 적합성, 우수한 내전압 강도, 내자외선 및 내 방사성 그리고 저신율 및 고인장 탄성율과 같은 특성을 가지고 있다.

Table 1. Comparison of characteristics between aluminium pallet and composites pallet

Kind of pallet Characteristics	Aluminum pallet	Composites pallet
Materials	Aluminum	Reinforced fiber plastics
Weight	1 (100%)	0.3 (30%)
Anti - corrosion	Good	Good
Specific strength	Low	High
Specific elongation	Low	High
Absorption of vibration	Bad	Good
Number of bearings	Many	Few
Maintenance	Bad	Good
Joining for metal	Good	Bad
Recycling	Good	Bad

Table 2. Chemical properties of E-glass fiber prepreg

Properties		Value
Volatile content	%	1.5(Max.)
Resin content	%	40 ±3
Fiber areal weight	g/sq.m	208
Gel time	minutes	14 ±3
Resin flow	%	25 ±5
Laminate thick/ply	mm	0.18
Tg	℃	120(Min.)

Table 3. Properties of honeycomb core material

Aramid honeycomb core	
Compositions	Value
Nomex paper	66< %
Phenolic multipolymer resin	33>%
Epoxy multipolymer resin	0.3>%
Nylon multipolymer resin	0.3>%

3. 복합 신소재 파렛트 설계

3.1 단면계수와 단면 2차 모멘트

단면계수 및 단면 2차 모멘트는 강도나 처짐을 계산하는 식으로 사용되어 다른 단면을 가지는 빔의 강성을 비교하기 위해 사용하고 있다. 단면 당 단면계수 Z 및 단면 2차 모멘트 I 는 보통 다음 식으로 나타낸다.

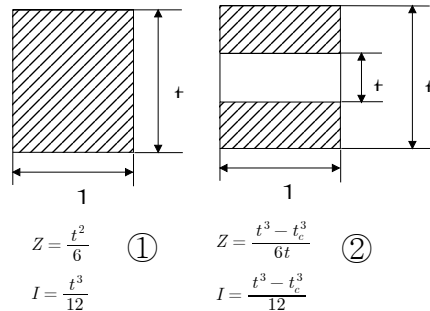
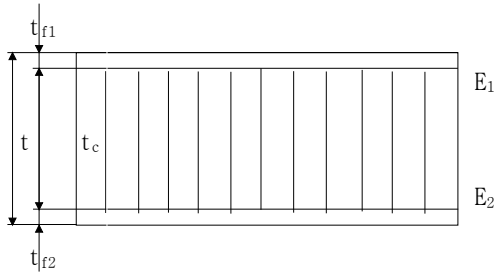


Fig. 1 Section modulus and Section 2nd moment

3.2 하니컴 샌드위치 패널의 강성

강성 D 는 보통 $D=EI$ 로써 구해지는 것이 가능하지만, 하니컴 샌드위치 패널은 tf 가 충분히 얇기 때문에 ③식으로써 구해진다. 표면판 두께 및 재질이 다른 경우 ③식을 이용하는 것은 불가능하기 때문에 이러한 경우 단위 폭의 굴곡강성 D 는 ③'식과 같이 나

타낸다. (Fig. 2 참조)



$$D = \frac{E t_f (t + t_c)^2}{8 \lambda} \quad (3)$$

$$D = \frac{(E_1 t_{f1})(E_2 t_{f2})(t + t_c)^2}{4 \lambda (E_1 t_{f1} + E_2 t_{f2})}$$

Fig. 2 Honeycomb sandwich panel stiffness

이 식과 같이 강성 D는 코어 두께의 평행방향에 비례해서 증가하는 것을 알 수 있다. 그래도 코어의 두께가 증가하는 것에 의한 샌드위치 전체로써의 중량 증가는 무시 가능한 정도이기 때문에 샌드위치 패널의 처짐을 작게 하기 위해서는 코어 두께를 크게 해야 한다.

3.3 강도계산식

샌드위치 패널의 설계 기준은 표면판 및 코어 응력과 패널의 처짐이다. 패널 두께 (표면판 두께 및 코어 두께)를 크게 함으로써 표면판 응력을 적게 하는 것이 가능하면 동시에 강성 D의 증가에 의해 처짐도 감소한다. 또 지지 점에 있어서 하중방향의 전단력의 분산, 하니컴 코어 및 접착제의 전단 강도도 설계조건에 들어가야 한다.

3.3.1 2점 지지, 분포하중

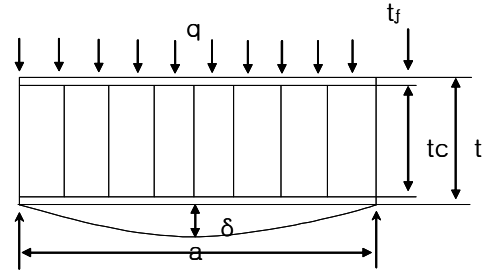


Fig. 3 Distributed load on simple supported beam

$$\text{최대 모멘트 } M = -\frac{qa^2}{8} \quad (4)$$

$$\text{표면 판의 최대 응력 } \sigma_f = -\frac{M}{t_c t_f} \quad (5)$$

$$\text{코어의 최대 전단응력 } \tau_c = -\frac{qa}{t + t_c} \quad (6)$$

$$\text{최대 처짐 } \delta = \frac{5qa^4}{384D} + \frac{qa^2}{8t_c G_c} \quad (7)$$

3.3.2 2점지지, 집중하중

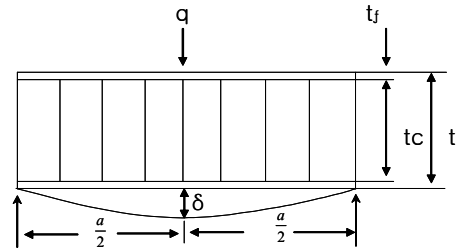


Fig. 4 Concentrated load on simple supported beam

$$\text{최대 모멘트 } M = -\frac{Pa}{4} \quad (8)$$

$$\text{표면 판의 최대 응력 } \sigma_f = -\frac{M}{t_c t_f} \quad (9)$$

$$\text{코어의 최대 전단 응력 } \tau_c = -\frac{P}{t + t_c} \quad (10)$$

$$\text{최대 처짐 } \delta = \frac{5qa^4}{48D} + \frac{Pa}{4t_c G_c} \quad (11)$$

이 타입의 하중을 받는 패널의 경우도 앞에서 서술한 분포하중의 경우와 같지만, 선 혹은 점상의 집중하중의 근원에서는 하중방향의 전단응력은 매우 크고, 이들 하중에 대해 충분한 강도를 가지게 하기 위해서는 i)하니컴 코어의 밀도를 높일 것. ii)하중 측 표면 판을 두껍게 하여 하중의 분산을 행할 것. iii)하중과 패널의 접촉면적을 크게 할 것. iv)하중이 걸리는 부분에 인서트를 삽입하는 등의 고려가 필요하다.

3.3.3 캔틸레버 빔의 분포하중

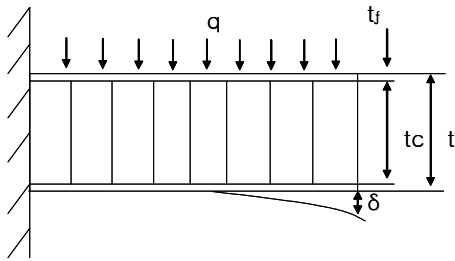


Fig. 5 Distributed load on cantilever beam

$$\text{최대 모멘트 } M = -\frac{qa^2}{2} \quad (12)$$

$$\text{표면판 최대 응력 } \sigma_f = -\frac{M}{t_c t_f} \quad (13)$$

$$\text{코어 최대 전단 응력 } \tau_c = \frac{2qa}{t + t_c} \quad (14)$$

$$\text{최대 처짐 } \delta = \frac{qa^4}{8D} + \frac{qa^2}{2t_c G_c} \quad (15)$$

이 타입의 지지방법에 대해서 충분한 강도를 가지게 하기 위해서는 고정지지점과의 결합이 중요한 설계요소로 된다. 일반적으로 이 샌드위치 패널에는 고정 단에 매우 높은 하중이 가해진다.

3.3.4 캔틸레버 빔 집중하중

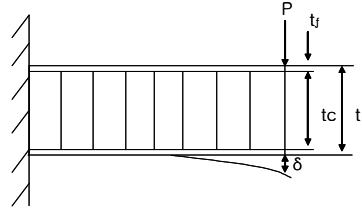


Fig. 6 Concentrated load on cantilever beam

$$\text{최대 모멘트 } M = Pa \quad (16)$$

$$\text{표면판 최대 응력 } \sigma_f = \frac{M}{t_c t_f} \quad (17)$$

$$\text{코어 최대 전단 응력 } \tau_c = \frac{2P}{t + t_c} \quad (18)$$

$$\text{최대 처짐 } \delta = \frac{Pa^3}{3D} + \frac{Pa}{t_c G_c} \quad (19)$$

3.3.5 4점지지, 분포하중

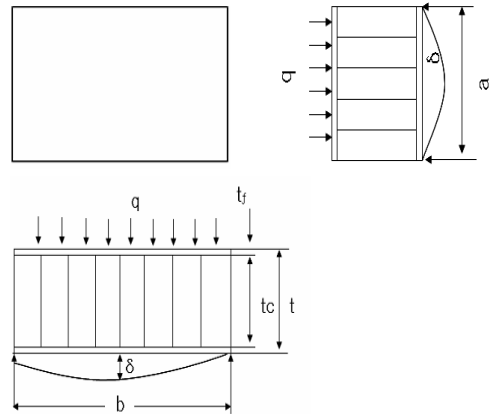


Fig. 7 Distributed load on double supported beam

$$\text{최대 모멘트 } M = \beta qa^2 \quad (20)$$

$$\text{표면판 최대 응력 } \sigma_f = \frac{M}{t_c t_f} \quad (21)$$

$$\text{코어의 최대 전단 응력 } \tau_c = \frac{2rqa}{t+t_c} \quad (22)$$

$$\text{최대 처짐 } \delta = a_1 \frac{qa^4}{D} + a_2 a_1 \frac{qa^2 \pi^2}{t_c G_c} \quad (23)$$

$a \leq b$ a_1, a_2, β, γ 계수 (Fig 4. Fig 5 참조)

일반적으로 패널은 그 사용목적에 따라 설계법은 달라진다. 예를 들면, 벽을 설계할 경우, 처짐은 설계의 기준으로 되지만, 트러스의 판 등의 설계의 기준은 되지 않는다. 이 경우는 이동하중이나 집중하중에 견딜 수 있는 설계를 하지 않으면 안 된다. 설계상의 문제점은 각각의 사용법을 잘 고려해서 설계를 해야 한다.

3.3.6 주상하중

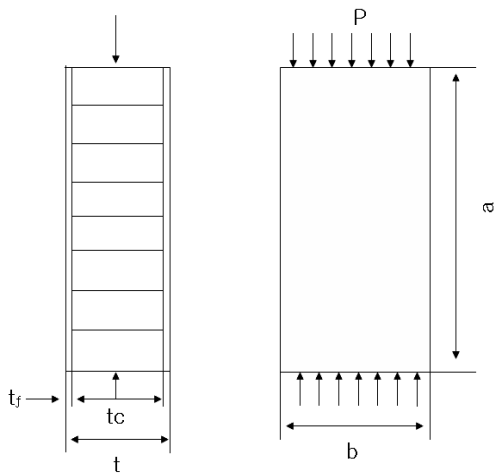


Fig. 8 Column load

$$\text{좌굴하중 } P = \frac{\pi^2 D}{a^2 + \frac{\pi^2 D}{t_c G_c}} \quad (24)$$

$$\text{표면판 응력 } \sigma_f = \frac{P}{2t_f} \quad (25)$$

이 강도계산식은 하중이 양표면판에 평등하게 가해지는 경우에 있어서의 것이지만, 실제의 경우 과연

평등하게 가해질까 라고 하는 것이다. 이것을 막기 위해서는 패널에 연계를 삽입해서 하중이 양 표면에 가해지도록 해야 한다.

3.3.7 최소중량설계

굴곡강성 D를 일정하다고 했을 때, 최소 중량으로 되도록 t, t_c, t_f의 사이에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$t = a \sqrt{\frac{8\lambda D}{E} \frac{\rho_f}{\rho_c}} \quad (26)$$

$$\frac{t_c}{t} = \frac{1}{4} \frac{\rho_c}{\rho_f} \quad (27)$$

따라서 식 (3)에 의해 조건을 만족하는 D가 구해지면, t와 ρ_c의 관계를 알 수 있기 때문에 적당한 밀도의 하니컴을 선택하고, 단면이 결정된다.

다음에 모멘트 M을 주어서, 즉 표면 판 응력 일정의 조건 하에서 최소 중량으로 하고 싶을 때는 아래 식을 만족할 필요가 있다.

$$t = \sqrt{\frac{2M}{\sigma_f} \frac{\rho_c}{\rho_f}} \quad (28)$$

$$\frac{t_f}{t} = \frac{1}{2} \frac{\rho_c}{\rho_f} \quad (29)$$

또한 전단응력 τ를 준 경우는 코어의 전단응력의 식보다 일의적으로 코어 두께가 결정될 것이다.

3.4 하니컴 샌드위치 패널의 두께 설계

$$\text{강성 } D = \frac{Et_f(t+t_c)^2}{8\lambda}$$

$$D = \text{강성} (kgcm^2/cm)$$

$$E = \text{표면판의 종탄성계수} (kg/cm^2)$$

$$G_c = \text{코어의 전단탄성계수} (kg/cm^2)$$

$$\lambda = 1 - (\text{포아송비})^2 \quad (\text{이방성} = 0.99)$$

$$t = \text{샌드위치구조물의 두께}$$

$$t_c = \text{코어의 두께}$$

$$t_f = \text{스킨의 두께}$$

스킨의 두께가 2mm일 경우

$$D = \frac{32000N/mm^2 \times 2mm \times (15mm + 11mm)^2}{8 \times 0.99} = 5462626.3Nmm$$

스킨의 두께가 2.5mm일 경우

$$D = \frac{32000N/mm^2 \times 2.5mm \times (16mm + 11mm)^2}{8 \times 0.99} = 7363636.3Nmm$$

4점지지, 분포하중

$$\text{최대처짐 } \delta = \alpha_1 \frac{qa^4}{D} + \alpha_2 \frac{qa^2 \pi^2}{t_c G_c}$$

Fig. 3, 4에 의해

$$\frac{a}{b} = 0.58 \quad \text{일 때} \quad \alpha_1 = 0.0089, \quad \alpha_2 = 0.004$$

$$P = 50kg \times 9.8N = 496N$$

$$\text{분포하중 } q = \frac{P}{a \times b}$$

$$\text{분포하중 } q = \frac{496N}{950mm \times 550mm} = 0.000938 N/mm^2$$

스킨 두께가 2mm일 때

$$\begin{aligned} \text{최대처짐 } \delta &= 0.0089 \times \frac{0.000938N/mm^2 \times 950^4}{5462626.3Nmm} \\ &+ 0.0089 \times 0.004 \times \frac{0.000938N/mm^2 \times 950^2 \times \pi^2}{12mm \times 48.3N/mm^2} \\ &= 1.2mm \end{aligned}$$

스킨 두께가 2.5mm일 때

$$\begin{aligned} \text{최대처짐 } \delta &= 0.0089 \times \frac{0.000938N/mm^2 \times 950^4}{7363636.3Nmm} \\ &+ 0.0089 \times 0.004 \times \frac{0.000938N/mm^2 \times 950^2 \times \pi^2}{12.5mm \times 48.3N/mm^2} \\ &= 0.9mm \end{aligned}$$

4. 결론

본 연구에서는 하니컴 샌드위치 판넬을 이용하여 LCD/PDP 생산라인에 사용되는 복합 신소재 응력해석을 통해 전체두께가 약 25mm 되는 파렛트를 설계하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

하니컴 샌드위치에 관한 기본적인 강도계산 이론에 의해 면재 2.5mm, 하니컴 샌드위치의 두께 20mm로 LCD/PDP 생산라인에 사용되는 파렛트를 설계한 결과 충분한 특성을 나타내었으므로 최적 설계가 이루어졌다.