

## 하니컴 샌드위치 Panel을 이용한 LCD/PDP 생산 공정용 경량 고기능성 복합 신소재 파렛트 제조 및 그 특성 평가

김윤해† · 최병근\* · 손진호\* · 조영대\*\* · 엄수현\*\*\* · 우병훈\*\*\*\*

(원고접수일 : 2005년 8월 3일, 심사완료일 : 2006년 2월 1일)

### Fabrication and Its Evaluation of the Light-weight Composite Pallet Plank for an Assembly Line of LCD/PDP by using Honeycomb Sandwich Panel

Yun-Hae Kim† , Byung-Geun Choi\*, Jin-Ho Son\*, Young-Dae Jo\*\*, Soo-Hyun Eum\*\*\*, Byung-Hun 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 combined in a sandwich panel they produce a structure that is stiff, strong, and lightweight. To prove the suitability the honeycomb sandwich structure with prepreg, the mechanical properties of the skin materials and honeycomb sandwich structure were evaluated with the static strength tests. Accordingly, the honeycomb sandwich structure made by autoclave process is available for a panel on LCD/PDP assembly line.

**Key words** : Composites(복합재료), Honeycomb Sandwich(하니컴샌드위치), LCD(Liquid crystal display; 액정디스플레이), PDP (Plasma display panel; 플라즈마디스플레이)

### 1. 서 론

복합재료(composite materials)란 두 종류 이상의 소재를 조합하여 물리적, 화학적으로 원래의 원소와 상이한 상을 형성하여 원래의 소재보다도 우수한 기능 또는 특성을 발휘하도록 설계된 재료이다. 특히, 이 중에서 섬유강화 복합재료는 무게비 강도 및 강성도가 크며 내환경성이 좋고, 또한 방

향성이 있으며, 성형성이 우수하여 제품의 일체화가 가능한 점이 큰 특징이다<sup>[1]-[4]</sup>.

이러한 복합재료의 응용<sup>[5]</sup>은 예를 들면 우주, 항공 분야에서뿐만 아니라, 조선분야 및 일반 산업분야에서도 날로 증가됨에 따라서 복합재료 산업은 이미 많은 발전 단계에 이르고 있다. 우주, 항공 분야에서는 오토클레이브(autoclave)를 이용하여 항공기의 동체나 헬리콥터의 블레이드를 복합재료화

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

\*\* 최병근, 손진호(한국해양대학 대학원)

\*\*\* 조영대(C.K.I Co.,Ltd)

\*\*\*\* 엄수현(동경대)

\*\*\*\*\* 우병훈(동경공대)

하였고, 자동차의 범퍼 등도 프리폼에 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<sup>[6]-[8]</sup>.

한편, LCD/PDP 생산라인에 사용되는 파렛트(pallet)는 대부분 알루미늄으로 만들어지고 있으나, 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 감소 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.

또한, LCD/PDP 생산라인에 사용되는 파렛트는 알루미늄으로 만들어지므로 무게의 증가에 따라 진동도 심할 뿐만 아니라 중량 증가에 따라서 베어링의 증가 설치가 필수적이다.

본 논문에서는 LCD/PDP 생산라인에 사용되는 파렛트를 오토클레이브 성형법에 의해 시제품을 제작하여, 섬유함유율/기계적/화학적/열적 특성 등을 평가하여 경량의 고기능성 복합 신소재 파렛트를 개발하는 것이 목적이다.

## 2. 재료 및 파렛트 제조 방법

### 2.1 재료

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

본 연구에서 복합 신소재 파렛트의 제작에 사용한 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.

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

**Table 1 Comparison of characteristics between aluminum pallet and composites pallet**

Kind of pallet Characteristics	Aluminum pallet	Composites pallet
Materials	Aluminium	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

본 실험에서는 강도와 전기적 특성이 우수하고 가격이 저렴하여 보강재로 가장 많이 사용되고 있는 E-glass 섬유 프리프레그를 사용하였다. E-glass 섬유 프리프레그의 특성을 Table 2, 3에 나타낸다.

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

본 실험에서는 Aramid fiber에 페놀 수지를 함침시켜 만든 Nomex core를 사용하였으며 그 특성을 Table 2에 나타내었다.

**Table 2 Comparison of honeycomb core**

Factor	Aluminum Honeycomb			Aramid Fiber Reinforced	Special Application
	5052/5956	2024	Al Commercial Grade	Dipped in a Phenolic Resin	Water Resistant Core
Cost	MOD	HIGH	LOW	MOD	LOW
Max. Service Temp.	177°C	216°C	177°C	177°C	177°C
Flammability	E	E	E	E	P
Impact Resistance	G	G	G	E	F
Moisture Resistance	E	E	E	E	G
Fatigue Strength	G	G	G	E	F
Heat Transfer	HIGH	HIGH	HIGH	LOW	LOW

E: Excellent G: Good F: Fair P: Poor

**Table 3 Chemical properties of E-glass fiber prepreg**

Properties		Values
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	°C	120(Min.)

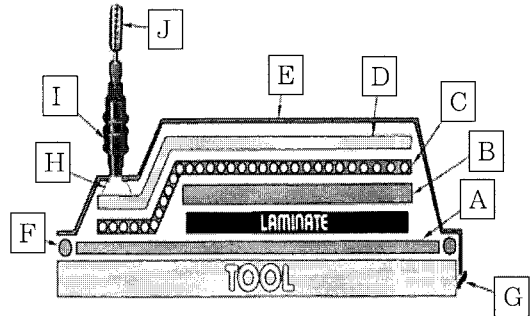
**Table 4 Properties of honeycomb core material**

Aramid honeycomb core	
Compositions	Values
Nomex paper	> 66%
Phenolic multi-polymer resin	< 33%
Epoxy multi-polymer resin	< 0.3%
Nylon multi-polymer resin	< 0.3%

2.2. 복합 신소재 파렛트 제작 방법

- (A) 이형필름 : 성형 후 Tool과 제품간의 이형을 용이하게 한다.
- (B) 이형필름 : 성형 후 다른 부자재들과의 이형을 용이하게 한다.

- (C) 콜 플레이트 : 제품의 평활도를 유지하기 위하여 올려준다.
- (D) 브리더 : 진공 백 내부의 균일한 압력과 진공을 유지시킨다.
- (E) 진공 백 필름 : 진공 백을 형성하고 내부를 진공 분위기로 만든다.



**Fig. 1 Lay-up pattern for autoclave process.**

- (F) 실리콘 테이프 : 진공을 유지하기 위하여 진공 백 내부와 외부를 차단하는 역할을 한다.
- (G) 플래쉬 브레이커블 테이프 : 진공 백 필름의 남은 부분이 당겨져서 진공도가 낮아지는 것을 방지한다.
- (H) 진공 포트 : 내부의 공기를 배출하는 역할을 한다.
- (I) 진공 호스 커넥터 : 진공 포트와 진공 호스를 연결한다.
- (J) 진공 호스 : 진공 백 내부의 공기를 진공 펌프에 의해 뽑아낸다.

제단이 끝난 프리프레그와 일체 성형되어지는 부품들을 성형하기 위하여 Fig. 1 과 같은 순서로 레이업 한다.

오토클레이브 내부에 레이업이 끝난 Tool을 넣고 진공 호스를 연결하며, 성형품의 온도를 측정하기 위한 열전대를 장착한다.

그리고 진공 백 내부의 진공을 유지하기 위하여 진공 펌프를 가동한 후 외압을 주기 위해 컴프레서를 가동한다. 외부 압이 15psi에 도달할 시점에 진공 펌프를 끄고 배기한다.

오토클레이브를 자동제어하기 위한 시스템이다.

챔버 내부의 온도, 진공압력 그리고 외부압력을 사용자의 설정에 의해 제어된다.

고온용 접착 sheet를 사용하여 하니컴 코어와 면재를 가집한 다음 면재의 성형과 똑같은 과정으로 진공 백을 형성하여 오토클레이브로 같은 성형 조건 하에서 성형한다.

하니컴 코어와 면재를 접착한 후 가공을 마치고 추가 부품을 장착하여 복합 신소재 파렛트를 완성하게 된다. Fig. 2는 완성된 복합 신소재 파렛트의 형상을 나타내고 있다.

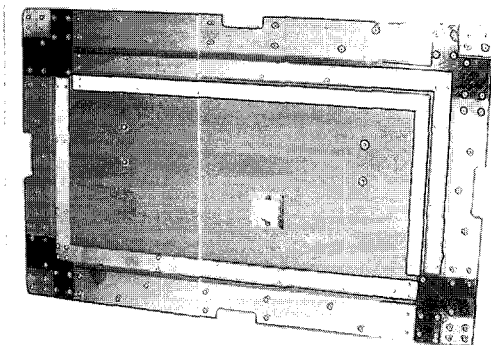


Fig. 2 Composite pallet made by honeycomb sandwich structure.

### 3. 복합 신소재 파렛트 특성 평가

#### 3.1 파렛트에 적용된 복합 신소재의 화학적 특성 평가

섬유함유율(fiber content)은 유리섬유강화 플라스틱(GFRP)의 전체질량(또는 전체부피)에 대한 유리섬유의 질량(또는 부피)의 비율을 백분율로 표시한 것을 말한다. 섬유함유율을 구하는 방법에는 두 가지 방법이 있는데 유리강화 플라스틱 전체의 무게에 대한 유리섬유 무게비율을 백분율로 표시한 유리섬유 무게함유율과 유리섬유강화 플라스틱의 전체 부피에 대한 유리섬유 부피의 비율을 백분율로 표시한 유리섬유 부피 함유율로 나누어진다.

유리섬유 강화 플라스틱은 강화재인 유리섬유와 기지재인 수지가 함침되어 적층되는데 유리섬유 강화 복합재료의 기계적 특성에 영향을 미치는 것은 섬유의 역학적 특성과 섬유 함유율이다.

섬유함유율을 측정하기위한 시험편은 햇빛, 자외선 및 열선의 직사광선을 받지 않는 곳에서 온도  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  및 상대습도  $50 \pm 5\%$ 에서 48시간 이상 보관되었으며 동일 온도와 동일 습도에서 시험을 실시하였다.

시험편의 모양은 적층판 전체를 대표하도록 Fig 3과 같은 위치에서 잘라낸 것으로 시험편의 가장자리는 매끄럽게 다듬질하였다.

시험편의 무게는 2g 이상이 되도록 3개를 제작하였으며 질량을 측정하여 그 평균치로 계산하였다.

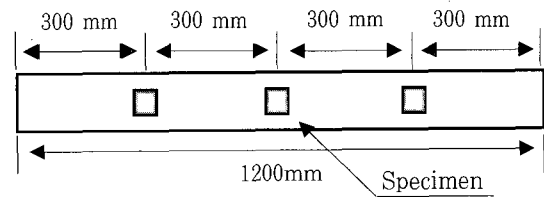


Fig. 3 Specimen preparing for measuring of fiber content.

본 연구에서 섬유함유율을 구하기 위해 적층한 면재의 전체를 대표할 수 있도록 시험편 3개를 잘라내어 그 질량을 측정한 후 평균하여 시험편 질량을 구했으며, 그 결과 연소 전 시험편의 질량은 7.6031g 이었고 도가니의 질량은 1.6152g이었으며 연소 후 시험편 질량은 5.5073g이었다.

한편 본 연구에서는 충전재를 포함하지 않았기 때문에 유리섬유의 무게 함유율( $w_f$ )은 다음 식을 이용하여 계산할 수 있다.

$$W_f = \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_1} \times 100$$

여기에서  $w_f$  : 유리섬유 무게함유율(%)

$M_1$  : 도가니의 질량(g)

$M_2$  : 연소전의 도가니와 시험편 질량(g)

$M_3$  : 연소후의 도가니와 시험편 질량(g)

따라서 위의 식에 따라 섬유함유율을 구하면 섬유 함유율( $w_f$ )은 65%이다.

전술한 바와 같이 유리섬유 강화 플라스틱에서 섬유함유율은 재료의 기계적 특성에 큰 영향을 미치는데, 오토클레이브 성형법에서는 성형 시 섬유에

걸리는 진공 압 뿐 만 아니라 외압 및 승온 속도 등에 따라 섬유함유율이 변하게 되고 섬유함유율의 변화에 따라 섬유와 수지의 접착특성 등이 변화하기 때문에 주의할 필요가 있다.

섬유함유율이 높으면 강도는 높게 할 수 있으나 수지 함침율이 나빠지게 되고, 반대로 섬유함유율이 낮으면 수지 함침율은 좋아지나 강도가 문제시 될 수 있다.

따라서 오토클레이브 성형 시 성형 조건의 조절에 따라 섬유함유율이 약 65± 5%로 최적 함유율에 근접한 섬유함유율을 유지할 수 있다.

3.2 기계적 특성평가

하니컴 코어로 보강된 복합재료 시편은 오토클레이브 성형법을 이용해 Fig. 4와 같은 형상으로 제작하였다. (a)는 Flatwise tension 시편모양이며, (b)는 long beam flexural 시편을 나타낸다. Flatwise tension 시편과 알루미늄 블록과의 접착은 Loctite사의 EA9696, adhesive film을 사용하였으며, 120℃에서 1시간 경화접착 하였다.

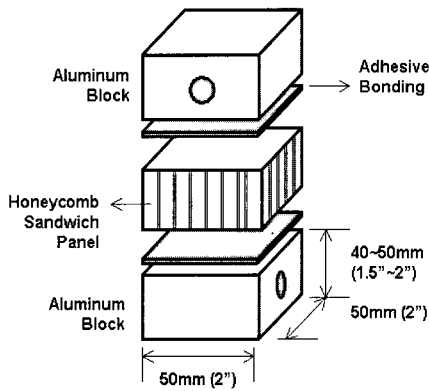
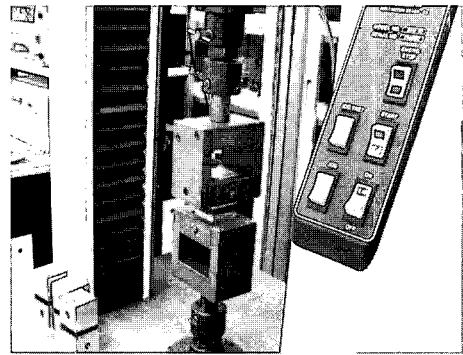
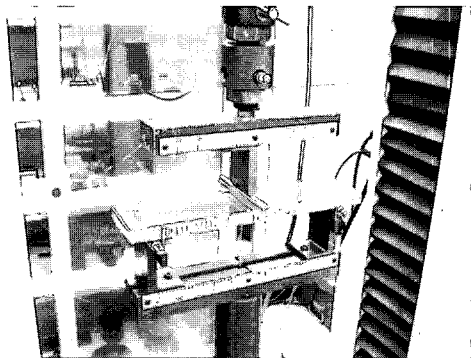


Fig. 4 Schematic diagrams of specimens for this experiment.

시험 조건은 Flatwise tension 시험과 long beam flexural 시험에서는 cross head speed를 최대 파단하중이 3~6분 사이에 일어날 수 있는 범위로 정하였다. Flatwise tensile와 long beam flexural strength의 시험장면을 Fig. 5에 나타내었다.



(a) Flatwise tensile



(c) Long beam flexural

Fig. 5 Testing apparatus.

본 연구에서 구한 long beam flexural에 의한 시험결과를 Table 5에 나타내었다.

3.3 열적 특성

본 실험에서 사용된 시편의 재원은 0.9m x 1.8m 크기이다. DSC(differential scanning calorimeter) 경우는 프리프레그 성형 시 수지가 추출되게 하여 보강재가 포함되지 않은 순수 경화된 수지를 시편으로 사용하였다.(Fig.6) DMA

(dynamic mechanical analysis) 용 시편은 glass/epoxy laminate (두께 2~3mm)를 10mm x 30mm 로 가공하여 제작하였다.(Fig.7)

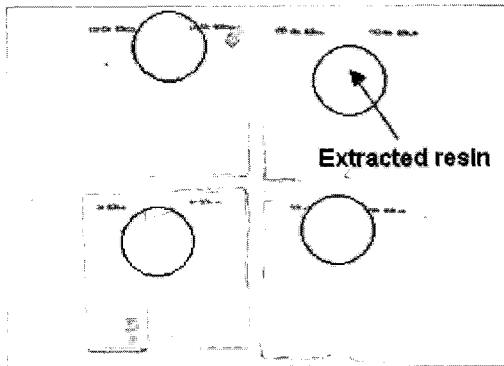
storage modulus의 비인 Tanδ 값으로 하였다. 라미네이트로 부터 추출한 수지의 유리전이온도(Tg)는 TA사의 DSC2910 장비를 사용하여 분당 20℃로 승온하면서 측정하였다.

**Table 5 Results from flatwise tensile and flexural tests**

Test Items	Flexural Strength(MPa)			
	L - Direction			
Specimens	1	2	3	average
Case 1	55	55	56	55
Case 2	59	59	60	59
Case 3	75	72	71	73

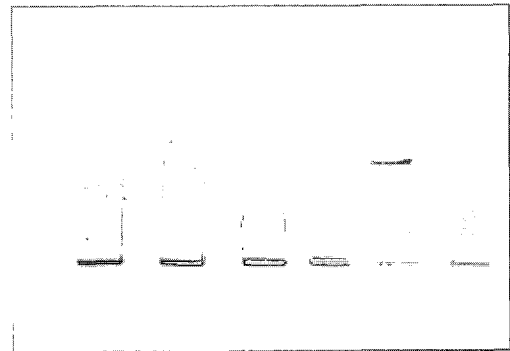
Test Items	Flexural Strength(MPa)			
	W - Direction			
Specimens	1	2	3	average
Case 1	31	32	31	31
Case 2	32	32	32	32
Case 3	42	41	42	42

Test Items	Flatwise Tension(MPa)			
	1	2	3	average
Case 1	888	1,032	753	891



**Fig. 6 Cured resin specimen for DSC.**

DMA(dynamic mechanical analysis)에 의한 유리전이온도(Tg) 측정은 TA사의 DMA 983장비로 각각 수지만으로 이루어진 시편과 유리섬유로 강화된 라미네이트 시편 (1cm x 3cm)을 사용하였다. 시험에 적용한 주파수는 resonant mode, heat up rate는 20℃/min 로 하였고 질소분위기 하에서 상온에서 250℃까지 측정하였다. Tg는 loss modulus와



**Fig. 7 Shape of specimen for DMA**

본 연구는 라미네이트의 Tg를 DMA와 DSC를 이용하여 측정하고 그 변화 양상을 분석하여 물성 변화에 어떠한 영향을 미치는가를 알고자 하였으며, 측정 결과치를 Table 6에 나타내었다.

**Table 6 Measuring of Tg using of DSC and DMA**

Test Item	DSC	DMA
Glass Transition Temperature(℃)	131	169

**3.4 중량 측정**

본 연구에서는 기존의 알루미늄 파렛트를 복합 신소재화 하였을 때의 경량화를 알아보기 위하여 시편의 무게를 측정하였으며, 그 결과 알루미늄 판넬의 경우 2.4kg이던 것이 복합 신소재를 이용한 결과 0.6kg으로 경량화를 실현할 수 있었다.

**4. 결 론**

본 연구에서는 LCD/PDP 생산라인에 사용되는 파렛트를 복합재료 성형법 중에서 우주항공용 부품의 성형에 많이 이용되고 있는 오토클레이브 성형법에 의해 시제품을 제작하였으며 그 열적, 기계적 특성들을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 섬유함유율을 계측한 결과 65%로 섬유함유율은 충분한 강도를 나타내기에 적절한 것으로 판단되며, 경화 시의 승온 속도, 진공압 그리고 외부압이 적절했던 것으로 판단된다.
2. 하니컴 샌드위치 패널을 long beam flexural strength 와 flatwise tension strength 를 측정하였다. 그 결과 열간 시효 시간이 증가함에 따라 각각의 강도 값이 크게 저하됨을 알 수 있었다. 따라서 열간 시효가 샌드위치 구조물에서 하니컴과 표피와의 접착력에 큰 영향이 있음을 알 수 있었다.
3. 라미네이트와 성형 시 추출한 경화된 수지 시료를 DMA와 DSC를 이용하여 유리전이온도 (Tg)를 측정된 결과, 측정된 유리전이 온도는 131°C(DSC)와 169°C(DMA)로 LCD/PDP 생산 공정용 파렛트의 사용이 예상되는 최대온도인 60°C~70°C 부근에서의 열적안정성은 충분함을 알 수 있다.
4. 경량화 정도를 확인하기 위해 동일한 치수의 알루미늄 파렛트와 복합 신소재에 의한 파렛트의 무게를 계량한 결과 복합 신소재에 의한 파렛트가 약 76%의 경량화가 된 것을 알 수 있었다.

## 참고문헌

- [1] 奥田謙介, 炭素纖維と 複合材料, 共立出版株式会社, pp. 26~30, 1992.
- [2] Daniel B., Miracle and Steven L., Donaldson, ASM Handbook, Vol. 21, Composites, ASM International, pp. 3-17, 2001.
- [3] 日本材料學會, 先端材料の 基礎知識, オーム社, pp. 65-81, 1991
- [4] 福田 博, 横田力男, 塩田-路, 複合材料 基礎工學, 日刊工業新聞社, pp. 1-3, 1994.
- [5] 김윤해, 한중원, 복합재료학, 효성출판사, pp. 1-18, 2001.
- [6] 島村昭治, 官入裕夫, 複合材料, 實教出版, pp. 22-31, 1993.
- [7] B. S. Mitin, A. A. Ilyin and E. N.

Kablov, Present Situation and Development of Aviation Materials Science in Russia, Korea-Russia Joint Seminar on Composite Technology, pp. 1-7, 1997.

- [8] シーエムシー出版部, コンポジット材料の製造と應用, シーエムシー, pp. 170-183, 2000.

## 저자 소개

### 김윤해 (金允海)



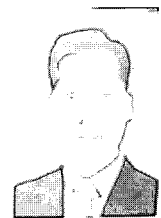
1983. 2. 한국해양대학교 졸업, 1990. 3. 일본도쿠시마대학교 대학원 졸업(공학석사), 1993. 3. 일본규슈대학교 대학원 졸업(공학박사), 1997. 8. 미국국립표준과학연구소 객원교수, 2006. 3 한국해양대학교 기계소재공학부 교수

### 최병근 (崔秉根)



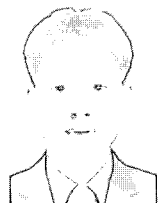
1983. 3. 부산대학교 물리학부 입학, 1991. 2. 부산대학교 물리학부 졸업, 2000. 3 한국해양대학교 재료공학과 석사과정입학, 2002. 2 동 대학원 석사학위취득, 2002. 3. 동 대학원 박사과정 재학 중

### 손진호 (孫晋浩)



1960년 8월12일생, 1983년 2월 한국해양대학 졸업, 2000년 2월 한국해양대학 대학원 졸업(공학석사 학위취득), 2006년 2월 한국해양대학 대학원 졸업(공학박사 학위취득), 2006년 현재 한국해양대학 출강

### 조영대 (曹永大)



1994. 3. 한국해양대학교 재료공학과 입학, 2000. 2. 한국해양대학교 재료공학과 졸업, 2003. 3. 한국해양대학교 재료공학과 석사과정 입학, 2005. 2. 한국해양대학교 재료공학과 석사학위취득