

論文

복합재 샌드위치 구조의 인서트 조인트의 강도 향상

김광수*, 안재모*, 장영순*, 이영무**

Strength Improvement of Insert Joint for Composite Sandwich Structure

Kwang-Soo Kim*, Jae-Mo An*, Young-Soon Jang* and Yeong-Moo Yi**

ABSTRACT

In this study, joint strength and failure characteristics were experimentally examined with pull-out and shear specimens in which new designed "high strength insert" was applied. The performance of the new insert was compared with typical insert design. The experimental results showed that the "high strength insert" had the joint strengths of 2.1 times in the pull-out specimens and 2.04 times in the shear specimen compared with typical insert joints. Therefore, the new developed "high strength insert" will be usefully used in the aerospace structure.

초 록

본 연구에서는 새롭게 개발된 "강도 향상 인서트"에 대해 조인트 시편을 제작하여 Pull-out 및 전단시험을 수행하여 보통 인서트의 조인트 강도와 비교하고 그 파손 특성을 조사하였다. 이를 통해 새로운 인서트에 대한 성능을 확인하였다. 시험 결과, 새로운 "강도 향상 인서트"는 기존의 보통 인서트에 비해 Pull-out 강도는 2.1배, 전단강도는 2.04배 향상되는 것을 확인하였다. 따라서 향후 높은 인서트 강도를 요구하는 구조에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

Key Words : Insert(인서트), Composite sandwich(복합재 샌드위치), Joint strength(조인트 강도), Honeycomb core(허니콤 심재)

1. 서 론

복합재 샌드위치 구조는 비강성 및 비강도의 기계적인 성질이 우수하다. 그래서 무게 경량화가 매우 중요하게 요구되는 항공우주비행체 구조물에 많이 이용되고 있다. 예를 들면, 복합재 샌드위치 패널이 적용되는 곳은 항공우주비행체의 동체[1] 또는 탑재대 구조 등에 해당한다. 하지

만, 복합재 샌드위치 구조는 연결구조가 취약하다는 단점을 가지고 있다. 이것은 면재와 심재로 구성된 샌드위치 구조가 볼트 등의 패스너의 연결을 통해 발생하는 집중 하중에 취약하기 때문이다. 그래서 이러한 부분에는 국부적인 보강이 필요하며, 이로 인해 구조가 복잡해지고 무게가 증가하는 단점이 있다.

인서트(insert)는 샌드위치 패널에 다른 구조물을 연결하거나 탑재물을 장착하고자 할 때 볼트를 체결할 수 있는 구멍(관통 또는 나사 구멍)을 만들어 주는 역할을 하는 구조이다. 보통의 인서트는 알루미늄으로 제작하며, 샌드위치 패널에 구멍을 뚫고 이곳에 인서트를 삽입한 후 인서트 주변의 코아가 제거된 공간에 에폭시 수지를 주

† 2009년 9월 23일 접수 ~ 2009년 12월 9일 심사완료

* 정희원, 한국항공우주연구원 발사체구조팀

교신저자, E-mail : kskim@kari.re.kr

대전시 유성구 과학로 115

** 정희원, 한국항공우주연구원 발사체기술개발실

입(Potting)하여 인서트와 심재 및 면재를 접합하여 설치하게 된다. 이러한 작업으로 설치된 인서트를 이용할 경우, 조인트 강도는 증가하게 된다. 이러한 인서트의 강도는 Pull-out 하중의 경우, 주로 심재의 강도가 기여하게 되며, 전단 하중의 경우, 주로 면재의 강도가 기여하는 것으로 알려져 있다.

기존의 연구를 살펴보면, 복합재 샌드위치의 기계적 체결에 대해서는 제한적인 연구가 존재한다[2-9]. 이 중에 복합재 샌드위치 패널의 인서트 조인트에 대한 연구[5-8]가 일부 수행되었다. 샌드위치 패널의 인서트 조인트에 대한 연구를 살펴보면, Heims와 Pein[5]은 두 가지 종류의 인서트에 대해 Pull-out 및 전단 하중 시험을 수행하여 파손 모드와 파손 과정을 조사하였다. 시험 결과, 정적 하중과 동적 하중에서 비슷한 파손 모드 및 과정을 나타내었으며 최대 하중은 동적 하중 조건에서 높게 나타났다. 송근일과 최지영 등[6,7]은 코아의 두께 및 밀도, 면재의 두께 및 적층, 인서트의 홀 유격(hole clearance) 등이 인서트 조인트 강도에 미치는 영향을 조사하였다. Kim과 Lee[8]는 인서트 모양에 따라 인서트 조인트의 정적 및 반복 하중 강도가 달라지는 영향을 조사하였으며 반복 하중 강도에 효과적인 인서트 모양을 제시하였다.

앞서의 연구 결과[5-7]를 통해, 인서트 조인트의 강도를 증가시키기 위해서는 면재의 두께를 증가시키거나 또는 강한 종류의 심재를 사용하거나, 또는 포팅 재료의 양을 증가시키는 방법이 가능하다는 것을 알 수 있다. 하지만, 이렇게 되면 필수적으로 샌드위치 패널의 무게 증가를 동반하게 된다. 본 연구에서는 면재의 두께, 심재의 종류 및 포팅 재료의 양을 그대로 유지시키면서 인서트 조인트 강도를 향상시킬 수 있는 변형된 새로운 인서트 구조[9]를 고안하였다. 새로운 인서트의 주요한 특징은 1. 에폭시 포팅 이용, 2. 두 개의 부품으로 구성되며, 나사로 조립됨, 3. 면재를 덮도록 한 외부 플랜지 구성 등의 세 가지를 종합적으로 이용한다는 것이다. 이러한 특징은 기존의 인서트와는 다른 독특한 것으로 국내 특허[9]를 획득한 바 있다.

본 연구에서는 새롭게 고안된 인서트 구조에 대해 Pull-out 강도 및 전단 강도를 시험적으로 평가하였다. 이를 통해, 새로운 인서트의 강도 향상 효과를 검증하고 파손 특성을 파악해 보고자 한다.

II. 강도 향상 인서트 개념

보통 인서트의 경우, Fig. 1(a)와 같이 인서트와 샌드위치 패널의 접합이 포팅을 통해 이루어

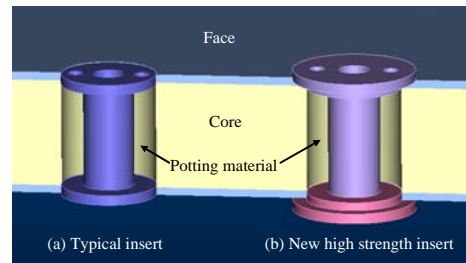


Fig. 1. (a) Typical insert and (b) New high strength insert

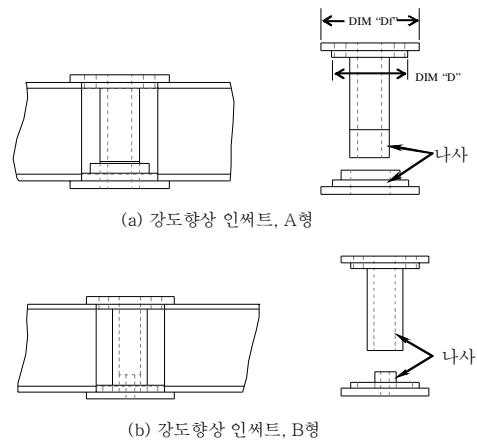


Fig. 2. Types of "high strength insert"

지며 강도 또한 포팅 재료와 심재 및 면재의 접착력에 의해 결정된다고 할 수 있다. 이에 비해 "강도 향상 인서트(high strength insert)"는 Fig. 1(b)과 같이 인서트의 외부 플랜지가 면재의 일부를 덮도록 되어 있다. 따라서 포팅 재료의 접착력 외에 인서트의 외부 플랜지가 면재와 접촉하는 힘에 의해 추가적인 강도 향상을 기대할 수 있다. "강도 향상 인서트"는 인서트의 양쪽 플랜지가 면재를 덮도록 하였기 때문에 일체형으로 만들기 어렵게 되므로 Fig. 2와 같이 2개의 부품으로 조립하도록 하였다. "강도 향상 인서트"를 구성하는 부품의 형태에 따라 2가지 종류를 제작하였으며, Fig. 2에 A형과 B형을 나타내었다. A형과 B형은 조립된 이후의 외부 형상은 동일하지만, 조립하는 나사의 위치에 따른 차이만 있다.

III. 시편 및 시험 장치

강도 향상 인서트를 이용해서 Pull-out 및 전단 시편을 제작하였다. Pull-out 및 전단 시편의 형상 및 치수는 Fig. 3과 같다. Pull-out 시편은

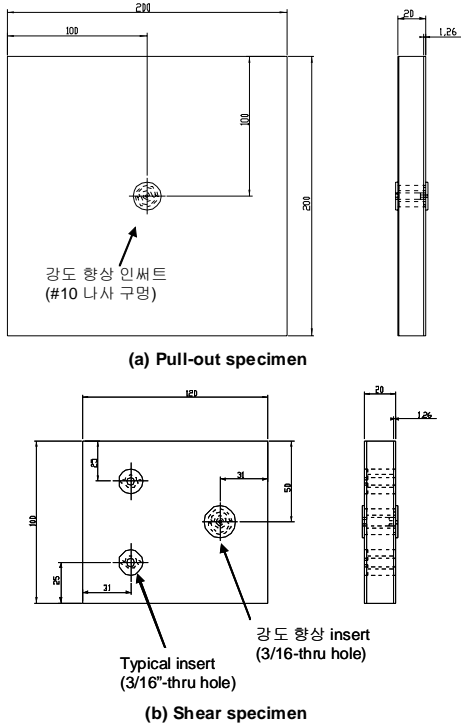


Fig. 3. Joint specimens of high strength insert

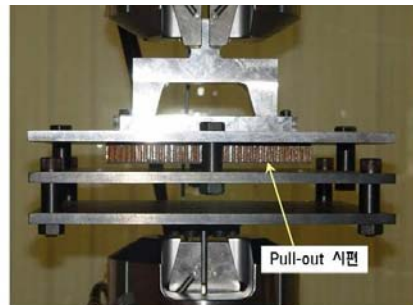
200×200mm의 샌드위치 패널의 가운데에 인서트를 설치한 것이다. 전단 시편은 한쪽 편에는 강도 향상 인서트를 한 개 설치하였고 반대편에서는 보통 인서트를 2개 설치하였다. 샌드위치 패널의 면재, 심재, 인서트 및 포팅 등의 사양은 다음과 같다.

- 면재 : CFRP 평직(HWP193/RS1222, 한국하이바 제작), [0/45/0]_s 적층, 적층 두께=1.26mm
- 심재 : 노멕스 코아(Europe Composite사 제작, ECA-1/8-3.0) 또는 알루미늄 코아 (Europe Composite사 제작, ECM-4.8-77)
- 인서트 : 알루미늄 2024-T4, 관통(지름 3/16in) 또는 나사(#10-32UNF-3A) 구멍
- 포팅(Potting) 재료 : Hysol EA9392

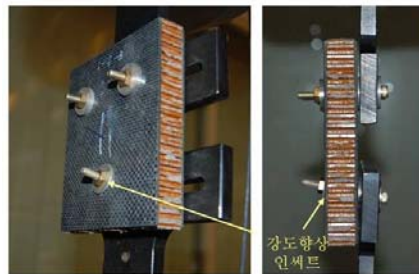
시편은 하중 종류, 코아 종류, 인서트 종류(보통형, 강도향상 인서트 A형, B형), 바깥쪽 플랜지의 직경(Df)을 달리하여 table 1과 같은 종류를 제작하였다. 코아는 노멕스 및 알루미늄 코아의 두 가지를 고려하였다. 노멕스 코아는 약한 코아에 해당하며, 셀의 크기가 3.175mm이며 밀도는 48kg/m³이다. 알루미늄 코아는 강한 코아에 해당하며, 셀의 크기가 4.8mm이며 밀도는 77kg/m³에 해당한다. 강도 향상 인서트의 바깥

Table 1. Types of Joint specimens of new high strength insert

No.	Loading Type	Core	Insert type	Insert Mass (g)	Dim "Df" (mm)	Dim "D" (mm)
PN1	Pull-out	Nomex	typical	3.17		15.5
PA1	Pull-out	Aluminum	typical	3.17		15.5
P1-1	Pull-out	Nomex	A	5.83	19.5	15.5
P1-2	Pull-out	Nomex	A	6.40	21.5	15.5
P1-3	Pull-out	Nomex	A	7.04	23.5	15.5
P2-1	Pull-out	Nomex	B	6.20	19.5	15.5
P2-2	Pull-out	Nomex	B	6.77	21.5	15.5
SN1	Shear	Nomex	typical	3.17		15.5
S1	Shear	Nomex	A	5.83	19.5	15.5



(a) Pull-out specimen



(b) Shear specimen

Fig. 4. Test set-up

쪽 플랜지 직경(Df, Fig.2 참조)의 영향을 조사하기 위해 19.5, 21.5, 23.5mm의 세 가지를 고려하였다.

Pull-out 및 전단 시편을 위한 시험 장치는 Fig. 4와 같다. 하중은 Pull-out 및 전단 시험 모두 변위제어로 3mm/min으로 부가하였다.

IV. 시험 결과 및 검토

4.1 Pull-out 시편

Pull-out 시편의 대표적인 하중-변위 곡선을 Fig. 5, 6에 표시하였다. 강도 향상 인서트의

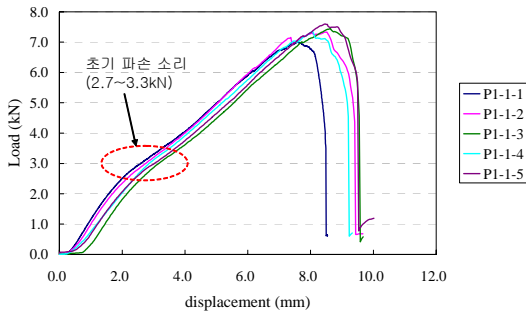


Fig. 5. Load-displacement curves of Pull-out specimen P1-1

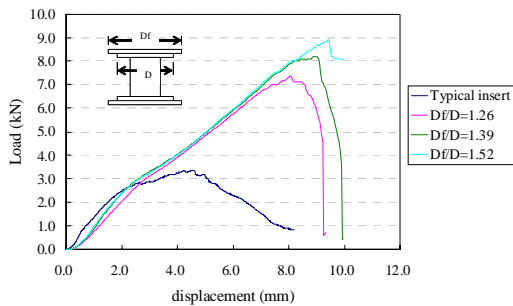


Fig. 6. Pull-out test results of typical and high strength insert (type A) specimens

Pull-out 시편에 대한 하중-변위 곡선의 공통적인 특징은 기울기가 변하는 부분이 중간쯤에 있는 것과 이 지점을 기준으로 양쪽으로는 대략 선형적인 부분이 있는 것을 알 수 있다. 그리고 이 기울기가 변하는 지점에서 초기 파손의 징후로서 귀로 들을 수 있는 작은 소리가 공통적으로 발생하였다. 이것은 초기 파손 이전에는 주로 하중을 코아에서 지지하다가 이 지점에서 코아의 파손이 발생하며 이후에는 주로 면재와 인서트 플랜지의 면접촉에 의해 하중이 지지되는 것으로 보인다. Fig. 6을 보면 보통 인서트 시편의 경우, 이 지점에서 코아 파손에 의해 최대 파손하중에 도달하는 것을 통해서 이러한 사실을 유추할 수 있다. Fig. 7은 최종 파손 후 Pull-out 시편의 단면 모습을 나타내고 있다. 그림을 통해, 코아뿐만 아니라 면재에서도 파손이 발생해 있는 것을 알 수 있다.

“강도 향상 인서트”의 효과를 알아보기 위해 보통 인서트와 “강도 향상 인서트”의 pull-out 시편의 파손강도를 비교하여 Fig. 8에 표시하였다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 보통 인서트에 비해 “강도 향상 인서트” 시편이 200% 이상 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 “강도 향상 인

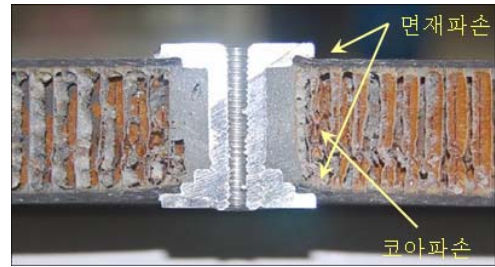


Fig. 7. Cross section of failed pull-out specimen

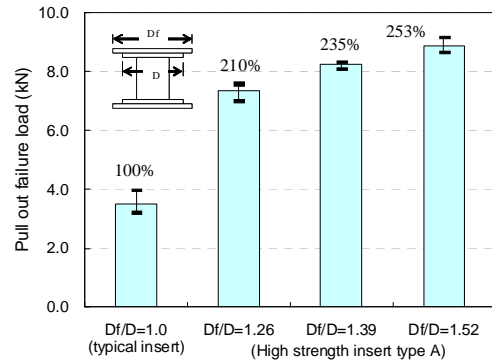


Fig. 8. Pull-out strength comparison of “high strength insert”

서트” 시편의 pull-out 강도는 외부 플랜지의 외경(Df)이 커질수록 증가하였다. 하지만, 증가 폭은 보통 인서트와 “강도 향상 인서트”의 차이보다는 작았다. A형 및 B형의 “강도 향상 인서트”의 Pull-out 강도의 비교에서는 A형과 B형의 강도 차이는 없는 것으로 나타났다.

	파손하중 (kN)	시편무게 (g)
보통시편 (nomex)	3.50	200
보통시편 (AI 코아)	5.37	220
강도향상시편 A형 (Df=19.5)	7.35	202

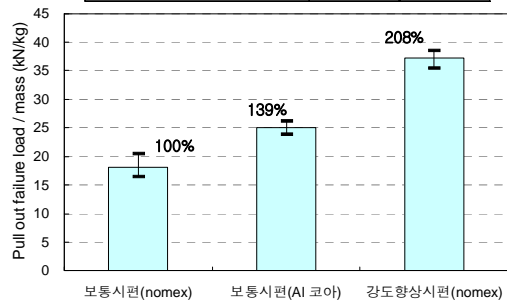


Fig. 9. Pull-out strength comparison of “high strength insert, type A” and high strength core

Fig. 9는 강도향상 인서트를 사용할 경우와 코아의 재질을 변경할 경우 Pull-out 강도 성능(=강도/시편무게) 결과를 비교하였다. 결과를 통해, 인서트 조인트 강도 향상을 위해 코아 재질을 변경하는 것보다 "강도 향상 인서트"를 사용하여 더 높은 효율을 얻을 수 있다.

4.2 전단 시험

보통 인서트와 "강도 향상 인서트"의 전단 시험에 대한 하중-변위 곡선을 Fig. 10에 비교하였다. 하중-변위 곡선의 대체적인 기울기는 서로 비슷하지만 파손 강도가 많이 차이 나는 것을 알 수 있다.

파손 모드를 살펴보면, 보통 인서트의 경우 최대 하중 이전에는 파손 소리와 같은 특별한 징후 없었으며 최대 하중에 도달하게 되면 갑자기 하중이 떨어졌다. 보통 인서트의 파손 모드는 Fig. 11에 표시한 바와 같이 인서트가 면재로부터 이탈되

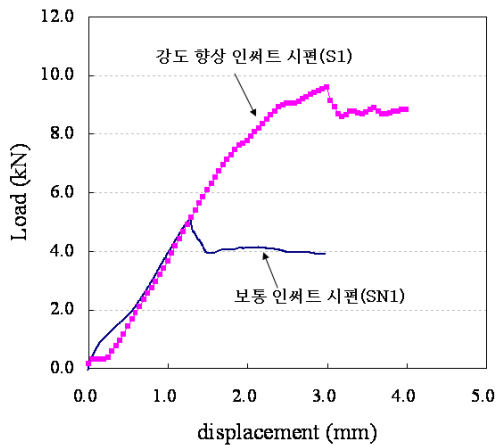


Fig. 10. Shear test results of typical and high strength insert

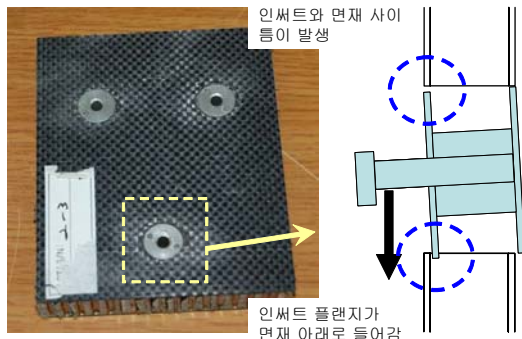


Fig. 11. Shear failure mode of typical insert

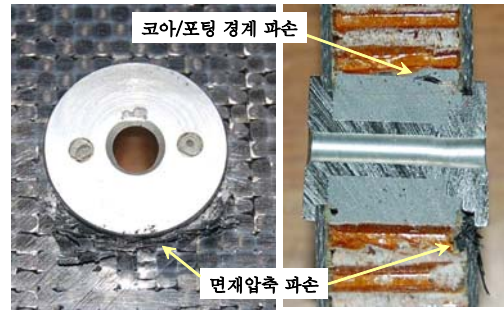


Fig. 12. Shear failure mode of high strength insert

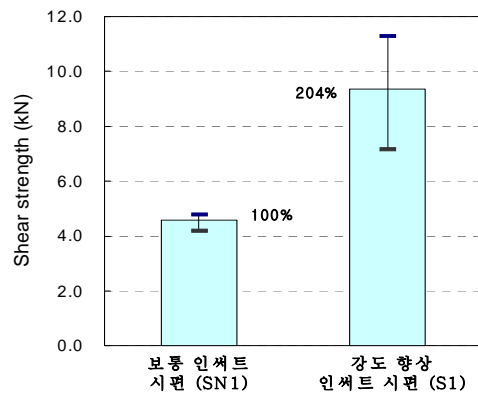


Fig. 13. Shear strength comparison of typical and high strength inserts

면서 발생하였다. 따라서 보통 인서트에서는 에폭시와 코아의 접합부분의 분리 파손이 주 파손 모드이며 면재의 강도는 큰 영향을 미치지 않은 것으로 보인다. 다만, 최대 하중을 지난 시점에서 이탈된 인서트가 양쪽의 면재 사이에 끼이게 되면서 어느 정도의 하중을 계속 지지 하였다.

이에 비해 강도 향상 인서트는 바깥쪽에 있는 플랜지가 면재를 덮고 있기 때문에 인서트가 면재로부터 이탈되는 것은 발생하지 않았다. 이로 인해, 에폭시와 코아의 접합력 이외에도 면재에 의해 추가적인 하중 지지가 가능하였다. 따라서 주 최종 파손 모드는 Fig. 12에 나타난 바와 같이 면재의 압축파손으로 발생하였다. 면재의 압축파손에서 강성이 감소하는 점진적인 파손 과정(베어링 파손)이 발생하였고 이 과정에서 파손되는 소리가 연속적으로 발생하는 것을 들을 수 있었다.

보통 인서트와 "강도 향상 인서트"의 전단 강도를 Fig. 13에 비교하였다. 그림을 통해, "강도 향상 인서트"의 전단 시험 강도 증가 효과가 상당한 것을 알 수 있다. 즉, 평균적으로는 2배 이상의 강도 효과가 있었다.

V. 결 론

본 연구에서는 새롭게 고안된 “강도 향상 인서트”에 대해 시편을 제작하여 Pull-out 및 전단 시험을 수행하여 기존의 보통 인서트의 강도와 비교하였다. 이를 통해 새로운 인서트에 대한 성능을 확인하였다. 시험 결과, 새로운 “강도 향상 인서트”는 기존 인서트에 비해 Pull-out 강도는 2.1배, 전단강도는 2.04배 향상되는 것을 확인하였다. 인서트 강도에 대한 기여도 분석 결과, 보통 인서트는 코아의 강도에 의존하지만 “강도 향상 인서트”는 면재의 강도에 의존함을 알 수 있었다. 인서트 조인트 강도 향상을 위해 코아 재질을 변경하는 것보다 “강도 향상 인서트”를 사용하여 더 높은 효율을 얻을 수 있었다.

참고문헌

- 1) Kobayashi, M., Sakai, S., and Shimizu, R., "Development of H-2A launch vehicle composite interstage structure", *Advanced Composite Materials*, Vol. 10, No.2,3, 2001, pp. 47~253.
- 2) 김광수, 안재모, 장영순, 이영무, "복합재 샌드위치 패널의 핀 베어링 강도 시험", 한국복합재료학회 추계학술대회 논문집, 2008.
- 3) 김광수, 안재모, 장영순, 이영무, "복합재 샌드위치 패널의 부상형 핀 조인트 강도 특성", 한국복합재료학회 춘계학술대회 논문집, 2009.
- 4) Demolio, G., Genovese, K., Pappalettere, C., "An Experimental Investigation of Static and Fatigue Behaviour of Sandwich Composite Panels Joined by Fasteners", *Composite: Part B*, 32, 2001, pp. 299-308.
- 5) Heimbs, S., Pein, M., "Failure behaviour of honeycomb sandwich corner joints and inserts", *Composite Structures*, 2009, in press.
- 6) Song, K.I., Choi, J.Y., Kweon, J.H., Choi, J.H., Kim, K.S., "An experimental study of the insert joint strength of composite sandwich structures", *Composite Structures*, Vol. 86, 2008, pp. 107-113.
- 7) 최지영, 송근일, 권진희, 김광수, 장영순, "복합재-하니컴 샌드위치 구조물의 인서트 강도 특성 연구", 한국복합재료학회지, 제20권 제5호, 2007, pp. 26-33.
- 8) Kim, B.J., Lee, D.G., "Characteristics of joining inserts for composite sandwich panels", *Composite Structures*, Vol. 86, 2008, pp. 55-60.
- 9) 국내특허등록, 0698475, 샌드위치 패널의 기계 체결을 위한 인서트 구조, 2007. 03. 15.