

프레스 공정을 이용한 미세 골판형 내부구조재 제작에 관한 연구

최두선[#], 제태진^{*}, 김형종^{*}, 김보환^{**}, 허병우^{**}, 성대용^{***}

A Study on Fabrication of Inner Structure Plate with Micro Corrugated Using Press Forming

Doo Sun Choi[#], Tae Jin Je^{*}, Hyung Jong Kim^{*}, Bo Hwan Kim^{**},
Byung Woo Huh^{**} and Dae Yong Seong^{***}

ABSTRACT

Sandwich structures, which are composed of a thick core between two faces, are commonly used in many engineering applications because they combine high stiffness and strength with low weight. Accordingly, the usage of sandwich structure is very widely applied to the aircraft, the automobile and marine industry, etc., because of these advantages. In this paper, we have investigated the buckling protection of an inner structure plate and the useful corrugated configuration for contact, and the fabrication method of the inner structure plate for large area using the continuous molding process. Also, we have guaranteed the accuracy of the molding process through the micro corrugated mold fabrication and secured the accuracy and analyzed aspect properties of the inner structure plate fabricated for a large area using the partial mold process. We have compared molding simulation according to the aspect thickness of the corrugated configuration with the molding experiment results.

Key Words : Ultra-light weight structured material(초경량 금속구조재), Inner structure plate (내부구조재), Micro corrugated press mold(미세 골판형 프레스 금형)

1. 서론

최근 자동차, 항공기, 선박 등 수송기계들의 판재나 구조물을 첨단기능성 재료로 제작하여 에너지 효율을 증대시키고 대기 오염을 감소시키는 동시에 강도나 강성 및 내충격성을 현저히 증대시키

는 초경량 금속구조재에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.¹ 특히 샌드위치 구조재는 무게에 비하여 높은 강성 및 강도를 지니고 있으며 높은 에너지 효율성과 구조의 안정성 및 신뢰성을 동시에 만족시킬 수 있는 초경량 고강도 재료 개발에 관하여 연구가 집중되고 있다.^{2,3} 현재까지 시도된 내

▣ 접수일: 2006년 4월 6일; 게재승인일: 2006년 7월 26일

교신 저자: 한국기계연구원 나노공정장비연구센터

E-mail choids@kimm.re.kr Tel. (042) 868-7124

* 한국기계연구원 나노공정장비연구센터

** 나라엠엔디㈜

*** 한국과학기술원 기계공학과

부구조재의 주요 형상들은 크림핑 공정을 통하여 쉽게 제작이 가능한 피라미드 구조와 박판 성형을 통한 내부 구조 제작에 대한 연구가 진행되었다.^{4,6}

이러한 연구들 중 Wadley 등은 골판형 를을 이용하여 허니콤 구조재를 제작할 수 있는 방법과 상용철망을 크림핑하여 손쉽게 피라미드 구조를 제작할 수 있는 방법을 제시하였다.⁷

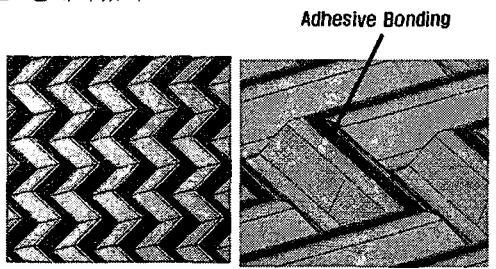
박판성형을 통한 내부구조제의 제작 방법 중 대표적인 성형 방법으로 프레스를 이용한 성형 방법이 있다. 프레스를 이용한 경우 일정 형상의 제품에 대한 단발 성형으로 인한 대면적 내부구조제 제작에 어려움이 있다.

따라서, 본 연구에서는 양 방향 주름 패턴 형성을 통한 좌굴 방지 및 접합의 유리한 골판형 내부구조제 제작에 대한 연구를 수행하였으며, 동일 판재상에 연속적으로 타발하는 방식인 부분 연속 공정을 고려한 대면적 내부구조제 제작방법을 제시하였다. 또한 미세 골판형 프레스 금형 가공 공정을 확립하고, 금형 제작을 통한 금형 가공 정밀도를 확보하였다. 제작된 금형을 이용하여 대면적 내부구조제 제작 실험과 성형 시제품 제작을 통한 박판 성형 특성을 분석 하였으며, 성형해석을 통한 단면 두께 변화를 실험을 통하여 비교 분석하였다.

2. 프레스 금형 설계 및 제작

2.1 프레스 금형 설계

ISB(Inner Structured and Bonded) 판재의 내부 구조재는 다양한 패턴 형태를 가질 수 있다. 본 연구에서는 Fig. 1 과 같이 접합면을 고려한 좌굴방지 및 굽힘/인장 성형에 유리한 미세 골판형 내부구조를 설계하였다.



(a) corrugated shape (b) adhesive bonding face

Fig. 1 Image of inner structure plate with micro corrugated

이러한 미세골판형 내부구조재 제작을 위한 방법으로 부분성형 공정을 통한 대면적 내부구조제 제작 기술을 구멍게이지를 이용한 방법과 형상게이지를 이용한 방법을 적용하였다. Fig. 2(a)에 구멍게이지를 이용한 부분 연속 성형 실험을 통하여 대면적 내부구조재를 제작하는 과정을 나타내었다. 이 방법은 성형소재에 편의 피치와 동일하게 구멍을 내어 소재를 이동시켜 부분 연속 성형함으로써 대면적 내부구조제 제작이 가능한 방법이다. 그러나, 이 방법의 경우 Fig. 2(b)에서와 같이 박판 성형 중 소재의 변형으로 인한 성형 연결부의 결함이 발생하여 정밀한 내부구조제 제작에 어려움이 있다. 이러한 문제점 해결을 위해서는 성형 연결부의 무결점 박판 성형을 위한 대면적 금형 제작 방법이나 정밀하게 형상 조정이 가능한 프레스 금형 방법인 형상게이지를 이용하는 방법이 있다. 따라서, 본 연구에서는 Fig. 3 과 같이 형상게이지를 이용한 대면적 내부구조제 제작을 위해서 미세 골판형 내부구조제 제작에 맞는 형상게이지를 설계하였다. 부분 성형공정을 위한 형상게이지는 성형 연결부의 결함을 방지하기 위하여 프레스 금형의 패턴 형상 폭과 동일한 피치 40mm로 설계하였다.

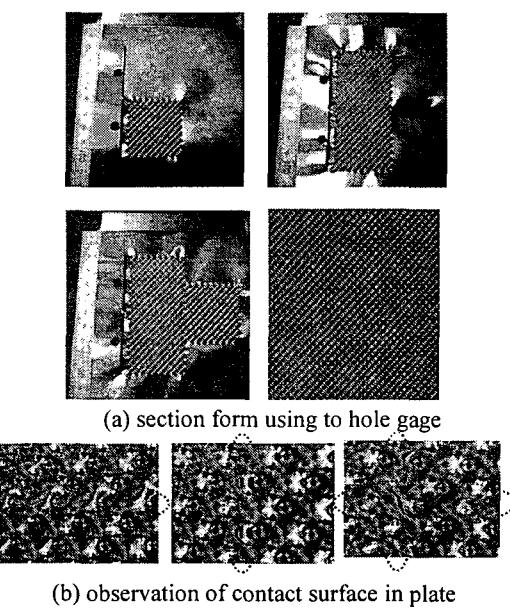


Fig. 2 Forming process of inner structured plate with micro dimpled using to hole gage

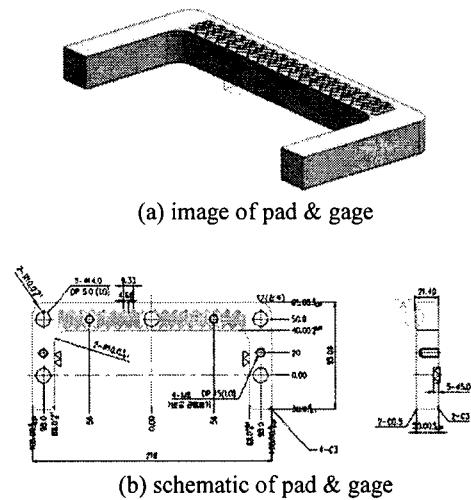


Fig. 3 Pad & gage

Fig. 4에 대면적 내부구조제 제작을 위한 프레스 금형과 형상게이지를 조립한 다단 프레스 금형의 개략도를 나타내었다. 미세 골판형 프레스 금형의 패턴간 피치는 9.33mm이고, 패턴의 상하 접합면의 크기는 0.65mm로 설계하였다. 또한, 하부금형에 형상게이지를 조립하였으며 조립된 금형의 크기는 160mm×40mm로 설계 되었으며 성형 후 내부구조재의 높이는 1.8mm가 되도록 하였다.

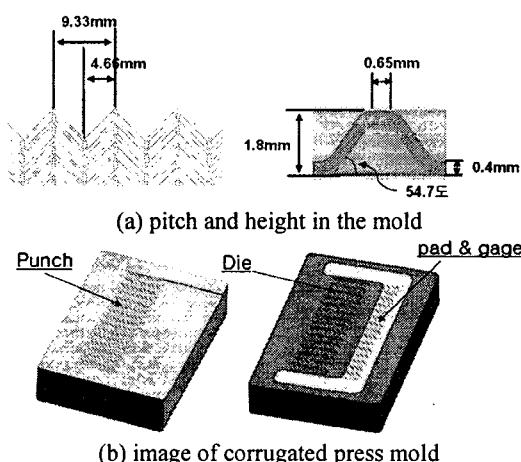


Fig. 4 Schematic of corrugated press mold

2.2 프레스 금형 제작

2.2.1 프레스 금형 제작 공정

프레스 금형 소재로는 가공성이 우수하고 열처리 공정 없이 고강도를 갖는 프리하든강(HPM1)을 사용하였다. 프리하든강은 특수용해 처리로 편향의 원인인 내부 결함을 방지함과 동시에 경도가 HRC40 인 고경도강으로써 정밀한 패턴 형상가공과 성형 시 필요조건인 피삭성과 고경도를 모두 갖춘 금형 재료이다.

먼저 $\Phi 10.0\text{mm}$, $\Phi 6.0\text{mm}$ 평 엔드밀을 이용하여 형상 주위 바닥면 및 금형의 윤곽을 가공하였으며, $\Phi 3.0\text{mm}$, $\Phi 1.0\text{mm}$ 볼 엔드밀을 이용하여 패턴 형상에 대한 황삭, 중삭 그리고 정삭 가공을 수행하였다. Fig. 5에 제작된 형상게이지 및 프레스 금형을 나타내었다.

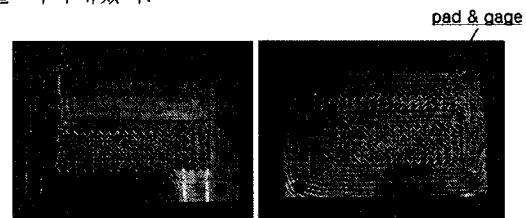


Fig. 5 Manufactured of corrugated press mold

2.2.2 프레스 금형 가공 정밀도 측정

제작된 형상게이지 및 프레스 금형을 3 차원 측정기(3D scanner)를 이용하여 가공 정밀도를 측정하였다. 가공 정밀도 측정은 금형의 바닥면에서부터 접합면까지의 거리를 10 회 측정하였으며, Fig. 6에 측정결과를 보여주고 있다. 금형 가공 정밀도를 분석해 본 결과 약 $5 \mu\text{m}$ 이하의 가공 정밀도를 얻었으며, 형상 프로파일 측정을 통해 피치 정밀도를 확인하였다.

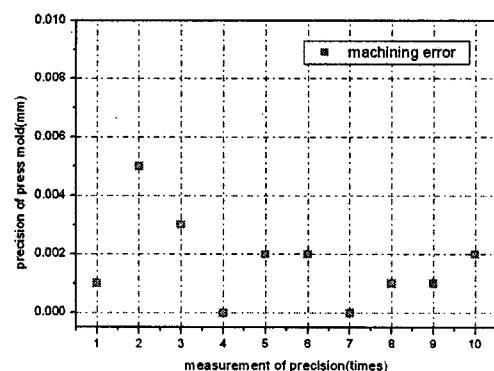


Fig. 6 Machining error for height of mold

3. 성형실험 및 시제품 제작

3.1 대면적 내부구조재 성형실험

박판 성형 공정을 이용한 고강도 내부구조재 제작에 사용된 소재는 자동차, 항공 및 방위 산업 분야에서 많이 사용되는 STS304 소재와 내부구조재로서 사용이 가능한 CSP1N을 사용하였으며, Table 1에 가공소재에 대한 기계적 특성을 나타내었다.

Table 1 Mechanical properties of materials

Materials	STS304	CSP1N
Mass density(g/mm ³)	0.0079	0.00785
Tensile strength(MPa)	520	625
Young's modulus(MPa)	210000	180000
Poisson ratio	0.3	0.29

Fig. 7에 CSP1N 소재(160mm×160mm×0.4mm)를 이용한 부분 연속 성형공정 대면적 내부구조재 제작 과정을 나타내었다. 성형 실험 결과 형상게이지를 이용한 부분 연속 성형 실험에서 골판형 내부구조재 형상 연결부에 겹침이나 찌그러짐 없이 매우 양호한 성형결과를 얻었다. 따라서 형상게이지를 이용한 부분 연속 성형공정이 매우 안정적이며 대면적의 내부구조재를 제작하는데 매우 유리한 공정임을 알 수 있다.

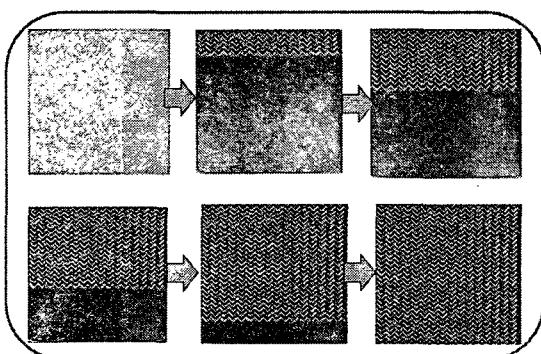


Fig. 7 Manufacture of inner structured plate with micro corrugated

대면적 부분 연속 성형 실험을 통해 제작된 성형시제품을 접착제 도포 두께는 0.3mm ~ 0.5mm이고, 접합 압력은 250KPa ~ 350KPa의 조건으로 adhesive bonding을 이용하여 샌드위치 구조재를 제

작하였다.

3.2 성형 정밀도 및 두께 변형 분석

대면적 부분 연속 성형 실험을 통해 제작된 내부구조재의 높이 정밀도를 측정 한 결과 Fig. 8에서 같이 약 25 μm 성형 오차를 나타내었다.

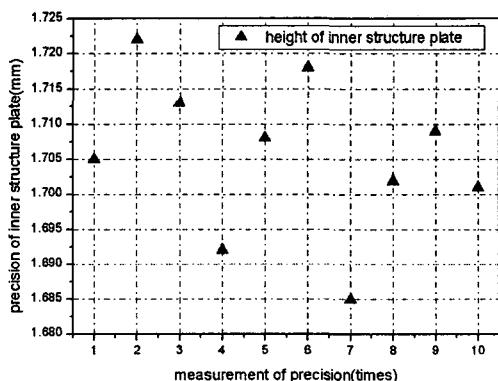


Fig. 8 Thickness measurement result of inner structured plate with micro corrugated

또한, 성형된 내부구조재의 내부 두께 변형을 분석하기 위해서 Fig. 9와 같이 단면 형상을 측정한 결과 실험에 사용된 소재 모두 접합면에서는 약간의 두께 감소가 발생하였고 양쪽 곡선부에서는 두께 증가 현상이 발생하였다.

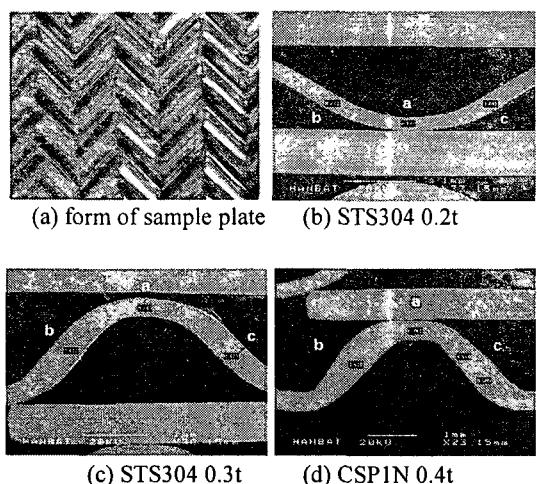


Fig. 9 Section thickness of form sample plate

4. 성형해석

4.1 해석모델 설계

Fig. 10에 본 연구에서 설계한 양 방향 주름 패턴을 가진 좌굴 방지 및 굽힘/인장 성형에 유리한 골판형 내부구조에 대한 해석모델을 설계하였다.

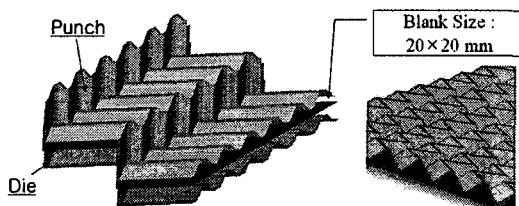


Fig. 10 Analysis model

해석에 사용된 소재는 STS304 와 CSP1N 을 사용하였으며, 성형해석 툴은 박판금속 성형 해석에 유용한 Dynaform 을 사용하였다. 성형 해석 조건으로 프레스 금형과 형상게이지 금형을 강체로 설정하여, 형상게이지 금형은 고정시키고 프레스 금형은 실험에 사용된 프레스 속도인 500mm/sec 로 설정하여 성형해석을 수행하였다.

성형해석을 통하여 실제 성형 시제품과 성형 해석 단면 두께 변화를 비교 분석하였다. Fig. 11에 실제 성형 시제품의 단면 두께 변화 측정 부문과 성형 해석 완료 후 단면 두께 변화 측정을 위한 임의의 4 지점을 나타내었다.

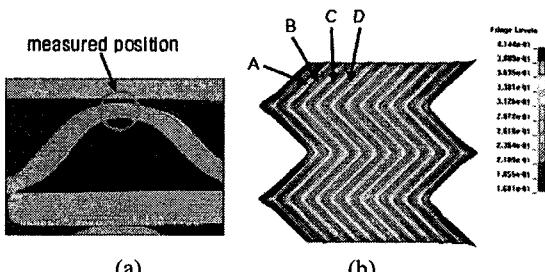


Fig. 11 Part of thickness variation using analysis; (a) thickness of cross section in plate, (b) measurement points on the analysis model

4.2 해석결과 및 고찰

Fig. 12에 STS304 0.2t 소재의 성형 시간에 대한 단면 두께 변화를 나타내었다. 단면 두께 측정은

형상 접합면에 대해 임의의 4 지점에서 분석하였다. 실제 성형 시제품의 단면 두께 변화는 약 0.179mm로 단면 두께 감소율 10.5%이며, 성형 해석에서는 접합면 두께 변화는 약 0.178mm ~ 0.192mm로 단면 두께 변화율 4% ~ 11%로 성형시 제품의 두께 변화와 거의 유사함을 알 수 있다.

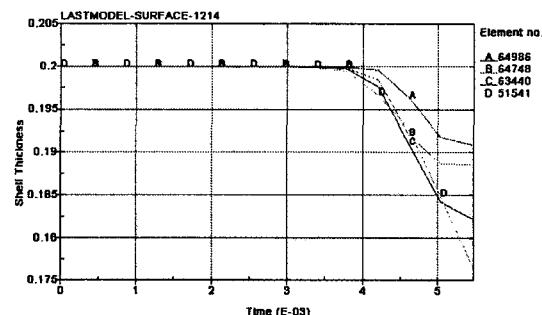


Fig. 12 Thickness variation graph of STS304 0.2t

Fig. 13은 STS304 0.3t 소재의 성형 시간에 대한 단면 두께 변화를 나타내었다. STS304 0.2t 와 동일한 방법으로 형상 접합면에 대해 임의의 4 지점에서 분석하였다. 실제 성형 시제품의 단면 두께 변화는 0.283mm로 단면 두께 감소율 5.67%이며, 성형 해석에서는 두께 변화 약 0.275mm ~ 0.29mm로 단면 두께 변화율 3.33% ~ 8.3%를 나타내어 실제 성형 시제품의 경우에서는 소재 두께의 증가에 따라 단면 두께 감소율이 줄어듦을 나타내었지만 성형 해석 결과 소재 두께 변화에 관계없이 단면 두께 변화율은 유사함을 알 수 있다.

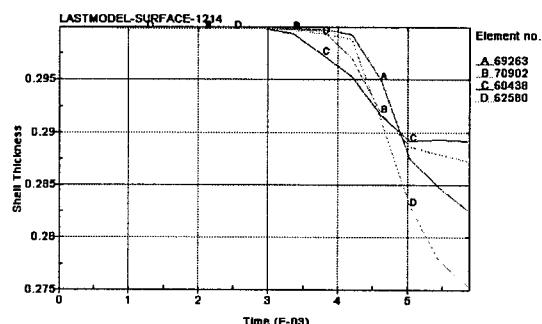


Fig. 13 Thickness variation graph of STS304 0.3t

Fig. 14는 CSP1N 0.4t 소재의 성형 시간에 대한

단면 두께 변화를 나타내었다. STS304 소재와 동일한 방법으로 형상 접합면에 대해 임의의 4 지점에서 분석하였다. 실제 성형 시제품의 단면 두께 변화는 0.381mm로 단면 두께 변화율 4.75%이며, 성형 해석에서는 두께 변화 약 0.33mm ~ 0.382mm로 단면 두께 변화율 4.5% ~ 17.5%로 성형시제품의 두께 변화와 거의 유사함을 알 수 있다. 또한, 성형 해석 수행 결과 중심부 형상으로 갈수록 단면두께 변화가 많이 발생함을 확인하였다.

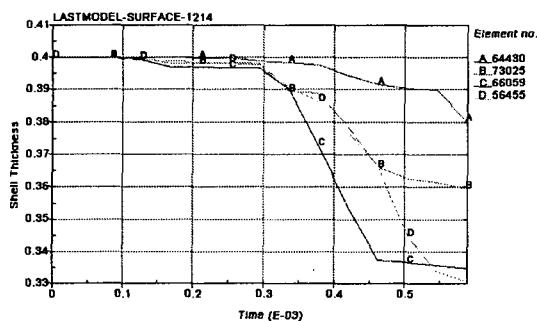


Fig. 14 Thickness variation graph of CSP1N 0.4t

5. 결 론

본 연구에서는 좌굴 방지 및 접합에 유리한 미세 골판형 내부구조재에 대한 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 부분 연속 성형 공정을 위한 대면적 내부구조재 제작방법으로 구멍게이지를 이용한 공정의 문제점을 분석하고 형상게이지를 이용한 공정을 제안하였다.
- (2) 좌굴 방지 및 굽힘/인장 성형에 유리한 미세 골판형 구조에 대한 프레스 금형 제조 공정을 확립하고, 형상게이지를 이용한 대면적 내부구조재 제작이 가능한 프레스 금형을 설계 제작을 하였다.
- (3) 미세 골판형 프레스 금형 제작을 통하여 5㎛ 이하의 가공 정밀도 확보하였으며 부분 연속 성형 실험을 통하여 미세 골판형 내부구조재를 제작하여 성형 정밀도를 확보하였다. 또한, 형상게이지를 이용한 경우 대면적 내부구조재 제작시 성형 연결부의 결함은 발생하지 않았다.

- (4) 내부구조재의 단면 두께 변형 분석 결과 소재의 꼭지점 부분에서는 약간의 두께 감소가 발생하였고, 양쪽 꼭지점 부분에서는 두께 증가 현상이 발생함을 확인하였다. 또한, 성형해석을 통해 실제 성형시제품과 성형해석을 통한 단면 두께 변화를 비교해 본 결과 내부구조재의 단면 두께 변화율과 성형 해석을 통한 단면 두께 변화율은 유사함을 확인하였다.

향후에는 를 성형 공정에 기반을 둔 미세 골판형 내부구조재 개발에 대한 연구를 수행하여 저가 대량 복제 공정 기술을 확보할 것이다.

후 기

본 연구는 산업자원부 차세대 신기술 개발사업인 마이크로 첨단복제 생산시스템 개발사업 수행 결과의 일부이며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Gibson, L. J. and Ashby, M. F., "Cellular solids-structure and properties," Cambridge University press, second edition, 2001.
2. Kim, Y., Kim, J. and Yang, I., "Influence of stacking conditions on the absorbed energy characteristics of composite tubes," KSPE, Vol. 18, No. 11, pp. 34-41, 2001.
3. Chang, W., Ventsel, E., Krauthammer, T. and John, J., "Bending behavior of corrugated-core sandwich plates," Composite Structures, Vol. 70, pp. 81-89, 2005.
4. Jung, C., Yoon, S., Seong, D., Yang, D. and Ahn, D., "Analysis of design parameter in Ultra light inner structured and bonded metal panel made of the metallic pyramidal structure," Proceedings of the KSPE fall annual meeting, pp. 483-486, 2004.
5. Kim, H., Jung, D., Choi, D., Je, T. and Park, J., "A Study on the Improvement of Formability of Embossing Structure," Proceedings of the KSPE spring annual meeting, pp. 1269-1272, 2005.
6. Wang, J., Evans, A., Dharmasena, K. and Wadley, H., "On the performance of truss panel with Kagome cores," International journal of solids and structures,

- Vol. 40, pp. 5165-5183, 2003.
7. Wadley, H., Fleck, N. and Evans, A., "Fabrication and structural performance of periodic cellular metal sandwich structures," Composites Science and Technology, Vol. 63, No. 16, pp. 2331-2343, 2003.