

미세 딩플 내부구조재 제작을 위한 롤 성형기술 연구

제태진¹· 최두선[#]· 김형종¹· 김보환²· 허병우²· 성대용³· 양동열³

A Study on Roll Forming Technology for Inner Structure Plate with Micro Dimple

T. J. Je, D. S. Choi, H. J. Kim, B. H. Kim, B. W. Huh, D. Y. Seong, D. Y. Yang

(Received March 9, 2006)

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. Depending on the sheets by a rolling process, which is a more efficient and economical approach compared to other types of processes, has become an increasingly important subject of study. In this paper, we made a roll forming machine which progressive forming possible and force measurement for a roll forming of the sheet metal forming. And we designed a roll molding that arrayed of embossing size 3mm in diameter fabricate micro dimple inner structure plate. We carried out forming experiment such as array change and thickness to sts304 sheet. Ultimately, this research developed inner structure plate of high stiffness.

Key Words : Sheet Metal Forming, Dimple Inner Structure Plate, Roll Force, Embossing Roll Mold, Roll Forming Machine

1. 서론

현대 사회는 에너지 자원이 점차 고갈되어 가고 있고 소비자의 기호 수준이 향상되어 고성능의 제품을 요구하고 있으므로, 높은 에너지 효율성과 구조의 안정성 및 신뢰성을 동시에 만족시킬 수 있는 초경량 고강도 재료 개발이 활발히 진행되고 있다. 특히, 고속 운행과 강한 내충격성을 요구하는 자동차, 항공 및 방위 산업 분야에서는 초경량 고강도 박판의 내부 구조재 개발이 세계적으로 각광받고 있다[1~3].

샌드위치 형 판재에 사용되는 면재(面材, face

sheet)와 심재(心材, core)는 개발 목적과 특성에 따라 다양하며 대표적인 예로 복합재료, 메탈 폼(metal foam), 금속 구조를 이용한 샌드위치 판재를 들 수 있다.[4] 복합재료를 이용한 경우 재료의 특성상 친환경적 재활용이 어렵고, 화학적 접착 및 복잡한 공정 등으로 인해 사용이 제한적이다[5~6]. 반면, 금속 샌드위치 판재를 만드는데 있어서는 기계적 특성이 우수하고 금속을 활용함으로써 재활용이 가능한 여러 공정이 개발되고 적용되고 있다. 이러한 연구들 중 Wadley 등은 상용철망 및 타공망을 크리핑(crimping)하여 손쉽게 피라미드 구조 등을 제작할 수 있는 방법을 제시하였다[7].

교신저자 : 한국기계연구원, choids@kimm.re.kr

1. 한국기계연구원 나노공정장비연구센터

2. 나라엠앤디㈜

3. 한국과학기술원 기계공학과

박관성형을 통한 내부구조재 제작의 대표적인 방법으로 프레스를 이용한 성형 방법과 롤을 이용한 성형 방법이 있으며, 프레스 성형 방법을 통해서도 일정 형상의 제품에 대한 정밀 내부구조재 제작이 가능하지만 연속공정으로 대면적 내부구조재 제작에 문제점이 있다. 이러한 문제점을 보완하고자, 작은 면적의 금형으로 동일판재상에 연속적으로 타발하는 방식인 부분 연속 성형 공정을 도입하고 있지만 성형 연결부의 결침이나 미성형 패턴 등이 발생하여 정밀한 내부구조재 제작에 문제점이 발생하고 있다. 이러한 평면 프레스 성형의 문제점을 보완하고 성형의 효율성을 높이기 위해서는 롤 성형 공정에 대한 연구가 필수적이다[8~10].

본 연구에서는 미세패턴을 갖는 내부구조재의 대면적 연속 성형 공정에 적용하기 위한 롤 성형 시스템을 설계 제작하고, 미세 엠보싱 형상의 롤 금형을 제작하였다. 또한, 덩플 롤 제조 공정을 확립하고 소재 두께별 성형 최적 조건을 찾고자 롤의 회전속도 변화에 따른 롤 성형 실험을 하였고, 롤의 배열 변화를 통한 성형특성을 분석하였다.

2. 롤 성형시스템 개발

2.1 롤 성형 시스템 설계 및 제작

2.1.1 롤 성형 실험장치 구성

롤을 이용한 미세패턴 성형 공정에서는 롤을 회전시키고 제어할 수 있는 성형 장치가 필요하다. Fig. 1은 본 연구를 위하여 개발된 롤 성형 시스템의 구성도이며, 롤을 구동할 구동부와 회전 및 토크 측정모듈로 구성되어 있다.

본 시스템에서 롤 구동부에 장착할 수 있는 롤

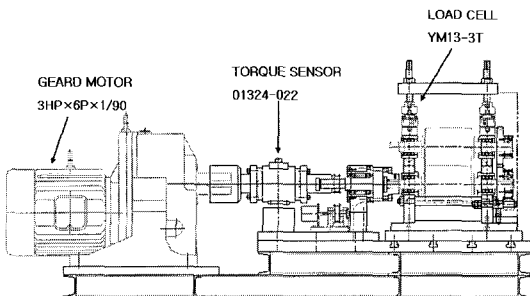


Fig. 1 Schematic of roll forming machine

금형의 최대폭은 150.0mm 이고, 성형 중 발생하는 롤 부하력 측정을 위해 상부 롤 금형의 양쪽 측에 로드셀을 부착할 수 있도록 설계하였다. 또한, 두 쌍의 롤을 구동할 수 있는 구조로 설계하여 내부구조재 패턴 형상 및 제작 공정에 따라 다단성형을 할 수 있도록 설계되었다. 그리고 성형 소재의 두께에 따라 롤 간격 조정이 가능하도록 하여 하부 롤은 고정시키고 상부 롤 금형의 양쪽에 부착된 다이얼게이지를 통해 상부 롤의 상하 이동 간격을 조절할 수 있도록 하였다.

2.1.2 롤 시스템 구동장치

롤 구동을 위한 롤 구동기어 장치는 두 개의 기어장치만으로 롤을 구동할 경우 하부 롤과 상부 롤의 위치 고정을 통해 고정 두께에 대해서만 적용이 가능하여 정형화된 생산라인에 적합하지만 여러 형태의 두께에 대한 성형실험에는 부적합하다. 이러한 문제점 해결을 위해서는 성형 소재의 두께에 따라 롤 간격 조정이 가능한 기어구조가 필요하다.

상부 롤의 상하 위치 조정을 위해서는 중간 조정기어를 통한 기어의 좌우 이동을 통해 상부 롤의 위치를 제어할 수 있도록 하여야 한다. 따라서 소재에 따른 두께 조정을 위해 상 하부 롤의 구동을 위한 2 개의 기어, 중간 조정기어 및 롤의 회전방향을 일치시키기 위한 동력전달용 기어를 포함한 4 개의 기어 구조를 고려하여 Fig. 2에 나타내었다. 상부 롤의 위치는 하부 롤과 접촉할 수 있는 위치까지 이동이 가능하고 접촉한 부분을 기준으로 설정하고 롤의 양쪽에 다이얼게이지를 통해 소재 두께에 맞게 조정이 가능하도록 하였다.

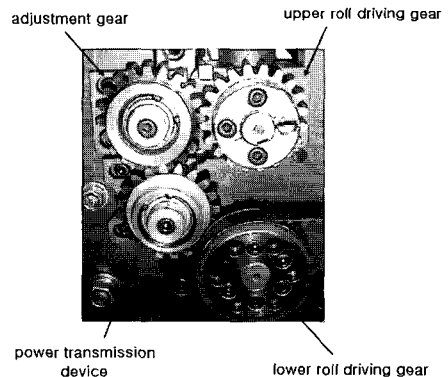


Fig. 2 Driving gear system

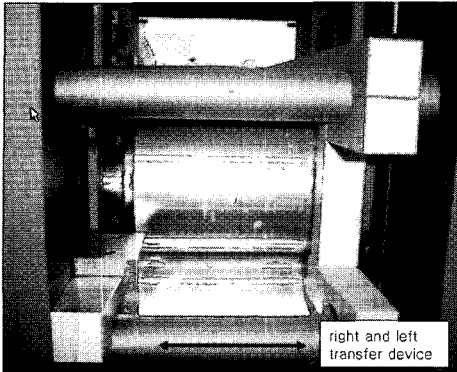
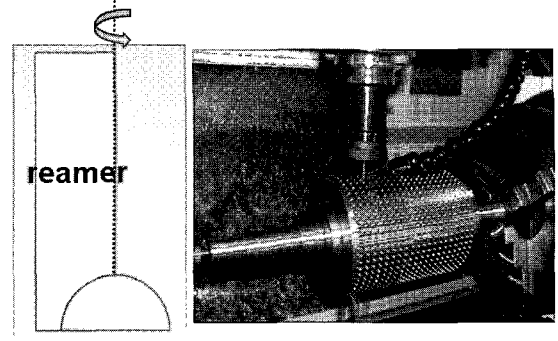


Fig. 3 Plate guide device



(a) reaming process (b) machining of roll mold
Fig. 5 Machining process of embossing roll mold

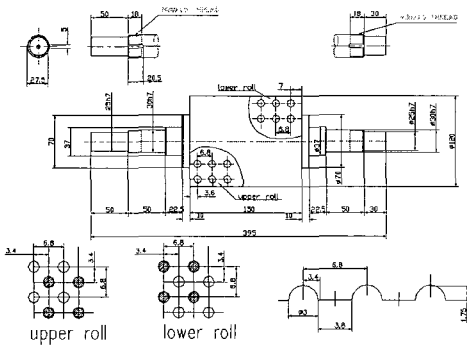


Fig. 4 Schematic of embossing roll mold

2.1.3 성형 가이드 장치

롤 성형 실험 중 발생할 수 있는 소재 비틀림이나 불 균일 패턴 발생을 방지할 수 있도록 롤 구동 장치 입구부에 소재 가이드 장치를 설치하였다. Fig. 3은 입구부에 설치된 소재 가이드 장치를 나타내고있다. 소재 가이드 장치의 한 방향은 고정시키고 한쪽 방향으로 좌우 이동이 가능하도록 제작을 하여 소재폭에 따라 소재 가이드 장치의 조정을 통한 성형 실험이 가능하도록 제작하였다.

2.2 엠보싱 롤 금형 설계 및 제작

2.2.1 엠보싱 롤 금형 설계

미세패턴 딤플 내부구조재 제작을 위한 롤 금형을 설계하여 Fig. 4에 나타내었다. 소재 폭 120mm의 내부구조재 제작을 위해 롤 금형의 크기는 $\Phi 120 \times 150$ mm로 제작하였다. 또한, 엠보싱 패턴 형상의 크기는 $\Phi 3$ mm, 높이는 1.75mm이고 패턴간

피치는 6.8mm로 상/하부 금형 한 세트르 설계되었다. 피치 6.8mm는 상부 엠보싱 패턴과 하부 엠보싱 패턴의 성형 중 겹침 방지를 고려하였다. 상부 롤의 수평 방향으로의 패턴 개수는 22개로 설계되었고 하부 롤의 수평 방향으로의 패턴 개수는 21개로 설계되었다. 또한, 상부 롤 금형 및 하부 롤 금형의 수직 방향으로의 패턴 개수는 55개로 동일하게 설계되었다. 성형 소재의 두께가 0.5mm인 경우에 성형 실험을 통한 내부구조재의 최대 높이는 2.0mm가 되도록 고려하여 설계되었다.

2.2.2 엠보싱 롤 금형 제작

피삭재는 대표적인 금형재인 STD11강을 소재로 선정하여 롤 금형 크기에 맞게 선반을 통해 1차 가공을 수행하였다. 금형 소재를 풀림 처리를 한 후 $\Phi 10.0$ mm 평엔드밀(flat endmill)을 통해 황삭 가공을 수행하였고, $\Phi 6.0$ mm 평엔드밀(flat endmill)을 통해 중삭 가공을 한 후 열처리를 하여 금형의 경도를 향상시켰다. 엠보싱 패턴 형상 가공을 위해 반구 형상 가공에 적합한 리머 공구를 제작하여 정삭 가공을 수행하였다. Fig. 5에 리머 공구 형상 및 롤 금형을 가공하는 모습을 나타내었다. 정삭 가공 후 정밀도는 0.05mm 이하이고 열처리 후 경도는 HRC 55~59로 측정되었다.

금형 가공 후 엔드밀 공구 이동 자국 및 칩 발생을 통한 금형 표면에 굽힌 자국 제거를 위해 샌딩(sanding) 공정을 통한 표면처리를 하였으며 제작 완성된 엠보싱 패턴 롤 금형을 Fig. 6에 나타내었다.

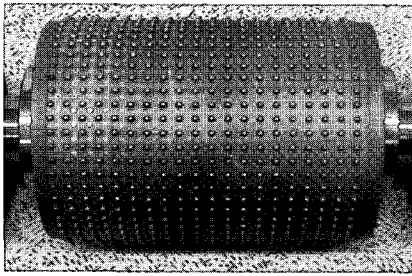


Fig. 6 Manufactured of embossing roll mold

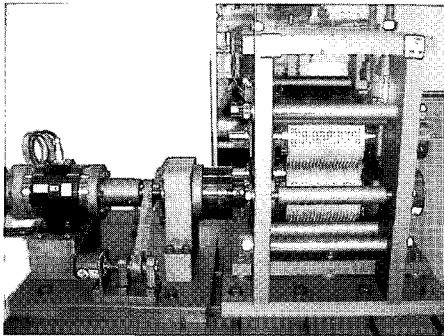


Fig. 7 Roll forming system for experimental

2.3 롤 성형 시스템 구성

롤 회전속도 제어 시스템은 최저 1RPM 에서부터 최대 13RPM 까지 조절이 가능하도록 제작하였다. 롤 성형 실험시 롤의 회전속도 제어 및 하중 측정값은 제어장치에서 제어 및 확인이 가능하도록 하였고 형상이나 구조에 따라 두 쌍의 롤 금형을 통한 연속 롤 성형이 가능한 구조로 제작되었다. 또한, 롤 성형 실험에 사용되는 소재의 최대폭은 150mm 이고 길이 방향으로는 제한이 없도록 구성되었다. 현재 덩플 형상에서는 한 쌍의 엠보싱 롤 금형만으로 내부구조재 제작이 가능하여 2 차 성형부에 제작된 엠보싱 롤 금형을 조립하였고 1 차 성형부에는 형상이 없는 한 쌍의 롤 금형을 조립하여 소재의 이송(feeding)을 위한 장치로 제작하였다. Fig. 7 에 덩플 내부구조재 제작을 위한 롤 성형 시스템을 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 실험소재 및 방법

덩플 내부구조재 제작을 위한 실험소재로는 자동차, 항공 및 방위 산업 분야에서 많이 사용되는 STS304 소재를 사용하였고, 소재 두께는 각각

Table 1 Mechanical properties of STS304

Material	STS304
Mass density	0.0079 g/mm ³
Tensile strength	520 MPa
Young's modulus	210GPa
Poisson ratio	0.3

Table 2 Experimental conditions

Forming condition	Feeding speed (mm/sec)	Forming time (sec)
13RPM	81.68	2.4
9PRM	56.55	3.5
5RPM	31.42	6.3
1RPM	6.28	31.8

0.3mm 와 0.5mm 를 사용하였으며 실험소재의 기계적 성질을 Table 1 에 나타내었다.

롤 성형 기초실험을 수행하고자 소재 두께별 롤의 회전속도 변화에 따른 성형특성 비교와 롤 금형 위치 조정으로 패턴 배열 변화를 통한 성형특성에 대한 기초 실험을 수행하였다.

소재 두께별 롤의 회전속도 변화에 따른 성형특성 비교를 위해 STS304 0.3mm 소재와 0.5mm 소재를 이용하여 13RPM, 9RPM, 5RPM 그리고 1RPM 인 4 가지 경우에 대해서 각각 성형 시간 및 롤 부하력 비교를 하였다. Table 2 에는 소재 길이 200mm 인 경우에 롤의 회전속도 변화에 따른 이송속도 및 성형시간을 나타내었다. 그리고, 상부 롤 금형의 위치 조정을 통한 배열 변화 실험을 위해 소재 두께 0.3mm 와 0.5mm 인 경우에 대한 성형 특성을 비교하였다.

3.2 롤 성형 실험

3.2.1 롤 회전속도 변화에 따른 결과

STS304 두께 0.3mm 인 소재에 대한 실험을 위하여 상부 롤의 간격을 양쪽에 부착된 다이얼게이지를 이용하여 조정하여, 롤 회전 속도 변화에 따른 롤 부하력을 비교하여 Fig. 8 에 나타내었다. 본 연구에 적용하고 있는 소재 길이는 200mm 이고, 이 경우에 롤의 회전속도 5RPM, 9RPM 그리고 13RPM 에서는 단 시간에 모든 성형이 완료가 되었고, 성형 중 발생하는 롤 부하력은 900~ 1,300kgf를 나타내었다. 보다 정밀한 롤 부하력 측정을 위해 1RPM 인 경우에 롤 부하력을 측정해 본 결과 800

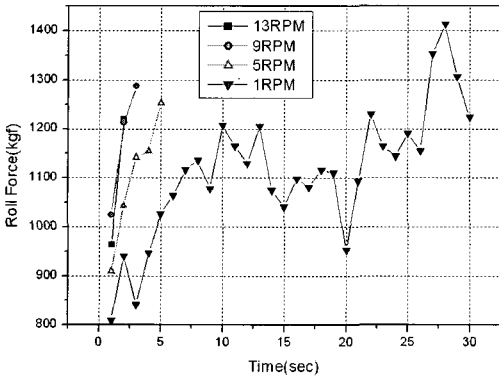


Fig. 8 Roll force for forming of STS304(0.3t)

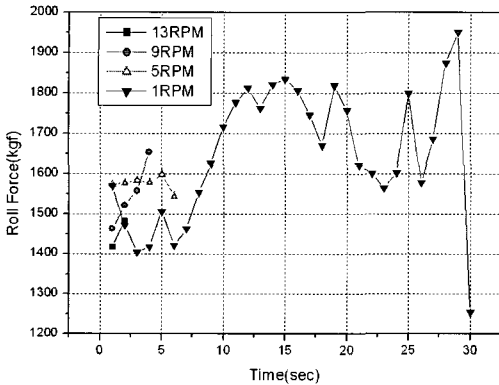


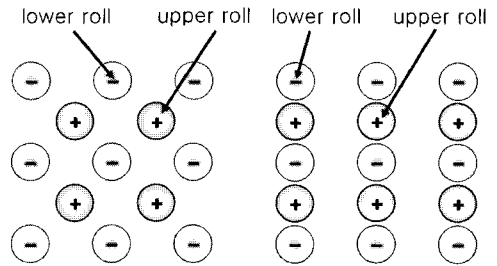
Fig. 9 Roll force for forming of STS304(0.5t)

~1,450kgf 를 나타내어 성형 시간에는 차이가 있었지만 동일 소재에 대해서는 롤 회전속도 변화에 따라 롤 부하력에는 차이가 없음을 확인하였다. 그리고, STS304 0.3mm 소재에 폭이 100mm 인 경우 롤 부하력은 약 800~1,500kgf 내에서 성형이 발생함을 확인하였다.

소재 두께 변화에 따른 비교를 위해 STS304 두께 0.5mm 인 소재를 이용하여 롤 회전 속도 변화에 따른 롤 부하력을 비교하여 Fig. 9 에 나타내었다. 5RPM, 9RPM 그리고 13RPM 인 각각의 경우 성형 중 발생하는 롤 부하력은 1,400 ~ 1,700kgf 를 나타내었고, 1RPM 인 경우 롤 부하력은 1,400~2,000kgf 내에서 성형이 발생함을 확인하였다. 성형 소재 두께 증가에 따라 성형 면적이 증가하게 되어 롤의 부하력은 증가하게 되었고, STS304 0.3 mm 소재 보다 STS304 0.5mm 소재에서 롤 부하력이 약 1.4 배 정도 더 발생함을 확인하였다.

3.2.2 패턴 배열 변화에 따른 결과

상부 롤의 위치 조정을 하여 Fig. 10(a)에 상부 덤플 패턴과 하부 덤플 패턴이 동일한 경우와 Fig 10(b)에 하부 덤플 형상들 사이에 상부 덤플 형상이 안쪽에 형성되는 경우에 대한 성형 특성 분석을 수행하였다.



(a) zigzag array of roll (b) parallel array of roll

Fig.10 The configuration of array on the structure

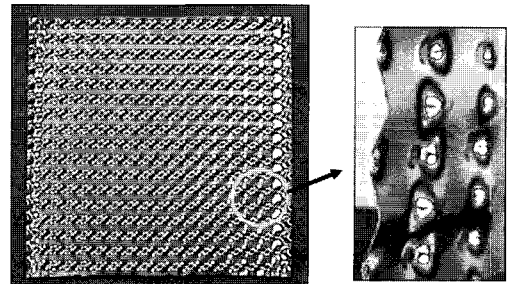


Fig.11 Same of dimple position between upper roll and lower roll

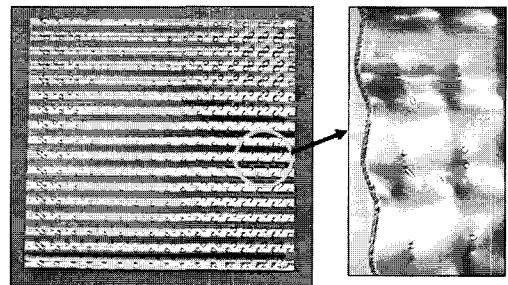


Fig.12 The dimple of lower roll locates between those of upper roll

Fig. 11은 성형 완료 후의 덤플 패턴이 동일한방향에 위치한 경우에 성형 결과를 보여주었다. 이

경우 패턴 피치 간의 간격이 조밀하고 가로 및 세로 방향에 대한 굽힘 강성이 유리한 측면이 있고, 소재 두께 0.3mm이하인 경우에도 패턴간의 간격이 조밀하여 정상적인 덩플 형상의 성형이 가능하다. 반면, Fig. 12에서와 같이 하부 금형에 의한 덩플 패턴들 사이에 상부 금형에 의한 덩플 패턴이 위치하는 경우에는 기존 소재 두께인 0.5mm에서는 정상적인 덩플 형상을 보여주었지만, 0.3mm 이하 소재에서는 정상적인 덩플 형상을 볼 수 없고 주름형태의 형상을 보였다. 이러한 문제점을 보완하기 위해서는 피치 간격을 줄이거나 덩플 형상을 높이는 방안이 필요하고 소재 두께에 맞는 최적 설계가 필요할 것으로 보인다.

4. 결 론

본 연구에서는 미세 덩플 내부구조재 제작 방법 중 하나인 롤 성형 공정 연구를 위해 덩플 패턴을 갖는 롤 금형 및 대면적 내부구조재 제작이 가능한 롤 성형 시스템을 제작하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 대면적 연속 성형 공정에 적용 가능하고, 내부구조 형상 및 제작 공정에 따라 다단 성형이 가능한 롤 성형 시스템을 설계 제작하였다.

(2) 소재 두께 변화에 따라 롤 간격 조정이 가능하도록 상부 롤 금형의 상하 방향 위치 그대로 양쪽에 다이얼게이지를 통한 수평 위치를 확인할 수 있도록 하여 소재 두께에 따라 성형 최적화 실험을 할 수 있는 장치로 개발되었다.

(3) 소재 두께 변화에 따른 성형 실험을 통해 롤 부하력 변화를 비교를 통하여 소재 두께 0.5mm 인 경우에서 소재 두께 0.3mm 인 경우보다 약 1.4 배의 롤 부하력이 더 작용하였고, 롤의 회전속도 변화에 따른 롤 부하력 변화는 없었다.

(4) 상부 롤 금형의 위치 조정을 이용하여 상부 덩플 패턴과 하부 덩플 패턴이 동일한 경우에는 소재 변화에도 정상적인 덩플 패턴을 형성하였지만, 하부 덩플 형상들 사이에 상부 덩플 형상이 안쪽에 형성되는 경우에는 두께 0.3mm 이하 소재의 성형 실험에서 정상적인 덩플 패턴을 형성하지 못하고 주름 형상을 나타내어 이 경우 보완 연구가 필요하였다.

본 연구에서 개발된 박판 롤 성형 시스템을 통해 정밀한 내부구조재 제작이 가능하고, 소재 두께 변화에 대한 실험과 덩플 내부구조재 제작이

가능하고 대면적 형상에 대한 연속 롤 성형 공정이 가능함을 보였다.

후 기

본 연구는 산업자원부 차세대신기술개발사업인 마이크로 첨단복제 생산시스템 개발사업 수행 결과의 일부이며, 이에 관계자 여러분에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] R. R. Arnold, P. W. Whitton, 1959, Stress and Deformation Studies for Sandwich Rolling Hard Metals, Proc. Inst. Mech. Eng. 173, pp. 241~256.
- [2] A. A. Afonja, D. H. Sansome, 1973, A Theoretical Analysis of the Sandwich Rolling Process, Int. J. Mech. Sci. 15, pp. 1~14.
- [3] M. Denchiyuu, 1984, Sandwich Rolling Analysis and Experiments, in : proceeding of the s-54 Spring Conference, Jpn. Soc. Technol. Plast, pp. 557~560.
- [4] C. G. Jung, S. J. Yoon, D. Y. Yang, S. M. Lee, S. J. Na, S. H. Lee, D. G. Ahn, 2005, Basic Study in Fabrication and Mechanical Characteristics of Ultra Light Inner Structured and Bonded(ISB) Panel Containing Perpendicularly Woven Metal, KSPE, Vol. 22, No. 5, pp 152~158.
- [5] Y. N. Kim, J. H. Kim, I. Y. Yang, 2001, Influence of Stacking Sequence Conditions on the Absorbed Energy Characteristics of Composite Tubes, KSPE, Vol. 18, No. 11, pp. 34~41.
- [6] L. J. Gibson, M. F. Ashby, 2001, Cellular Solids-Structure and Properties, Cambridge University press, second edition.
- [7] H. N. G. Wadley, N. A. Fleck and A. G. Evans, 2003, Fabrication and Structural Performance of Periodic Cellular Metal Sandwich Structures, Composites Science and Technology, Vol. 63, Issue 16, pp. 2331~2343.
- [8] K. Siegret, M. Haussermann, B. Losch, R. Rieger, 2000, Recent Development in Hydroforming Technology, Journal of Materials Processing Technology, No. 98, pp. 251~258.
- [9] H. J. Kim, D. W. Jung, D. S. Choi, T. J. Je, J. H. Park, 2004, A Study on Basis of Metal Inner

Structure by Roll Forming Machine, Proceedings of the KSPE fall annual meeting, pp. 1452~1455.
[10] H. J. Kim, D. S. Choi, T. J. Je, D. W. Jung, 2005, A

Study on the Sheet Metal Forming Process to Design Parameter of Inner Structured, Proceedings of the KSTP fall annual meeting, pp. 389~392.