엠보싱 구조재의 성형성 향상에 관한 연구

김형종*(제주대 대학원 기계공학과), 정동원(제주대 기계공학과)
최두선, 제태진, 박재현(한국기계연구원)

A Study on the Improvement of Formability of Embossing Structure

H. J. Kim, D. W. Jung((Mech. Eng. Dept., Cheju Univ.)
D. S. Choi, T. J. Jae, J. H. Park(KIMM)

ABSTRACT

Sandwich structures, which are composed of thick core between two thin faces, are commonly used in many engineering applications because they combine high stiffness and strength with low weight. In this research, we have investigated the embossing configuration at the sheet metal shape through research with regard to the construction that the hardness and stiffness are excellent, and formability is advantage as inner structure. Through the FLD analysis according to the pattern changes, we have confirmed the forming possibility and variation of the aspect thickness. Also, we have fabricated the embossing press mold according to the pattern changes, and obtained the embossing inner structure the forming experiments.

Key Words : Inner structure (내부구조재), FLD Analysis (성형 한계 해석), Embossins press mold (엠보싱 프레스 금형)

1. 서론

자동차, 항공, 선박, 가전, 건축 및 방위 산업 등 현대 사회의 핵심 기간산업은 제품의 대부분을 금속 판재를 이용하여 제품을 생산한다. 따라서 향상된 물성 특성을 갖춘 금속 판재를 이용함으로써 기존 제품의 성능을 더욱 향상 시킬 수 있다. 이러한 관점에서, 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 내부구조재 개발이 절실히 요구되고 있다.[1-3]

기존에 많은 연구가 되고 있는 피라미드 구조의 경우 용접이 어렵고 마름모꼴 격자모양으로 인한 이방성 문제가 발생한다. 또한 woven metal의 경우 와이어끼리 접합이 되지 않아 쉽게 변형하고 수작업으로 비교적 제작단가가 높고 대량생산이 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해 강도 및 강성이 높고 대량생산이 가능한 판재 형태의 엠보싱 구조에 대한 연구를 수행하였다.[4]

엠보싱 형상은 박판을 프레스 등으로 가공하여 특정 형상으로 요철을 줌으로써 패턴을 성형한다. 성형된 패턴에 따라 다양한 기계적 특성을 가지며 단위면적이 증가함으로 열적특성도 개선된다.

본 연구에서는 엠보싱 형상에 패턴 변화에 따른 성형성 평가를 위한 해석모델을 설계하여 성형해석을 통해 성형 완료 후의 성형한계도를 통한 분포를 비교하였다. 또한 성형 완료 후의 단면두께 변화 및 특정 부분에서의 두께 변화 추이를 통한 성형성을 평가하였다. 성형해석 결과를 확인하기 위한 엠보싱 구조의 프레스 금형을 설계하였고 프리하든강을 이용하여 동일 반경을 갖는 형상에 대한 패턴 변화를 통해 2가지 금형을 제작하였다. STS304 0.2t 소재를 이용하여 2가지 금형에 대한 성형실험을 수행하여 각각의 박판 엠보싱 구조재를 얻을 수 있었다.

2. 내부구조재 해석

2.1 해석모델 설계 및 해석방법

배열 변화에 따른 성형성 평가를 위한 미세패턴 엠보싱 형상을 갖는 프레스 성형 해석을 수행하기 위해 Fig. 1에 패턴방향에 따른 정의를 나타내었다. 딤플 형상과 엠보싱 형상이 동일한 방향으로 배열이 된 경우를 패턴방향 0도로 정의하고 45도 방향으로 배열이 된 경우를 패턴방향 45도로 정의한다. 90도 방향인 경우는 패턴방향 0도인 경우와 동일하다.

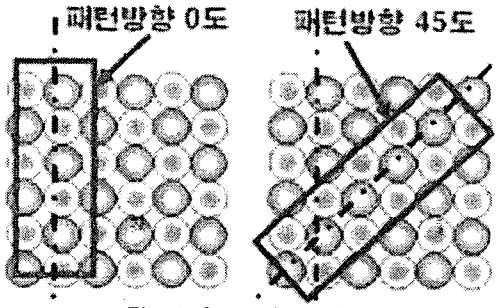

Fig. 1 Comparison of pattern

패턴 방향에 따라 설계된 해석모델을 Fig. 2에 나타내었다. 박판금속성형 해석에 유용하고 탄소성 유한요소 해석 프로그램인 Dynaform을 사용하여 성형해석을 수행하였다. 성형 해석 시 다이와 펀치는 강체로 가정하였으며 다이는 고정시키고 펀치의 z축 방향으로의 상하이동을 통해 성형 해석을 수행하였다. Table 1에는 성형 해석에 사용된 조건을 나타내었다.

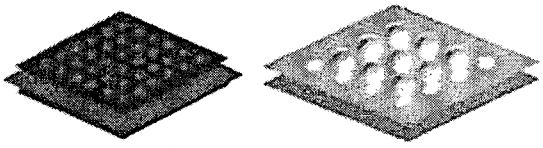

Fig. 2 Analysis models

Table 1 Analysis conditions

Blank	STS304
Thickness(mm)	0.2
Punch Velocity(mm/sec)	50

블랭크의 소재는 자동차, 항공 및 방위 산업 분야에서 많이 사용되는 STS304 소재를 사용하였으며 각각의 소재에 대한 기계적 성질을 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Mechanical properties of STS304

Mass Density(g/cc)	7.9
Tensile strength(MPa)	520
Young's Modulus(GPa)	210
Poisson ratio	0.3

2.3 성형해석

2.3.1 성형한계(FLD)해석

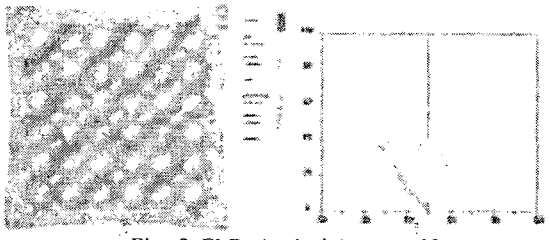

Fig. 3 FLD Analysis(pattern 0?

Fig. 3은 패턴방향이 0도인 경우에 펀치속도 50㎜/sec를 주었을 때의 내부구조재의 성형 완료후의 변형된 형상들을 시뮬레이션으로 나타내었다. 블랭크의 외곽부분에 주름이 발생하고 오목하게 휘는 현상이 발생했다. 형상 주위에서 균열발생의 위험이 보이고 형상은 대부분 안전한 성형이 될 것으로 예측된다. 성형 시뮬레이션 완료 후의 요소별 분포를 성형한계곡선에 나타낸 결과를 보면 외곽부분에 발생된 주름으로 인해 주름 분포가 나타났고 형상 주변에 균열 위험으로 인한 균열 위험 분포가 조금 나타났다. 분포를 보면 균열발생은 없을 것으로 예측되며 대부분 안전영역에 분포하는 것으로 보아 안전한 성형이 될 것으로 예측된다.

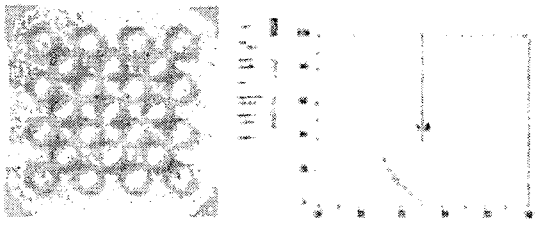

Fig. 4 FLD Analysis(pattern 45?

Fig. 4는 패턴방향이 45도인 경우에 펀치속도 50 ㎜/sec인 경우에 내부구조재의 성형 완료후의 변형된 형상들을 시뮬레이션으로 나타내었다. 패턴방향이 0도인 경우와 유사하게 블랭크 외곽부분에 주름이 발생하고 오목하게 블랭크가 휘는 현상이 발생했다. 형상 주위에서 균열이 발생하였고 패턴방향 0도

인 경우에 비해 많은 주름 경향을 보였다. 성형 시뮬레이션 완료 후의 요소별 분포를 성형한계곡선에 나타낸 결과를 보면 블랭크 외곽 부분에 발생되는 주름으로 인해 주름분포를 나타냈고 형상 주변에서 발생된 균열로 인해 균열 발생 분포를 보였다. 패턴방향 0도인 경우와 비교해서 균열이 발생할 것으로 예측되어 성형이 위험할 것으로 보여 피치의 증가 또는 성형 조건이 중요할 것으로 보인다.

2.3.2 단면두께 해석

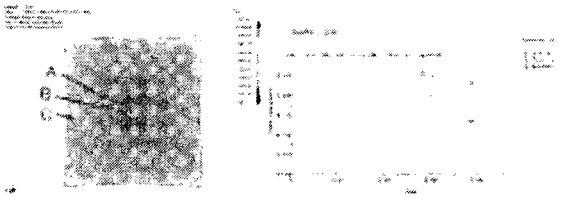

Fig. 5 Thickness variation(pattern 0?

Fig. 5는 내부구조재의 성형 완료후의 블랭크의 두께 변화에 대한 결과를 나타내었다. 두께 변화에 대한 값을 확인 해 본 결과 외곽 부분에서 최대값 0.209908 ㎜로 약 5.0%에 두께 증가를 나타내었고, 형상 주변에서 최소값 0.140102 ㎜로 약 30.0%에 두께 감소를 나타내었다. 내부구조재의 성형 완료후의 블랭크의 두께 변화에 대한 결과에서 형상, 형상주변, 그리고 외곽 부분을 선택하여 그래프에 성형 과정에서의 두께 변화 추이를 나타내었다. 형상 A부분에서는 초기 성형시 선형적인 두께 감소를 보였고. 형상 주변 B 부분에서는 형상 A부분과 유사한 흐름에 두께 감소를 보여주어 A점과 큰 차이가 없는 결과를 보여주었다. 외곽 C 부분에서는 성형시 서서히 두께 증가가 일어나서 초기 블랭크의 두께보다 약간의 증가를 보였다.

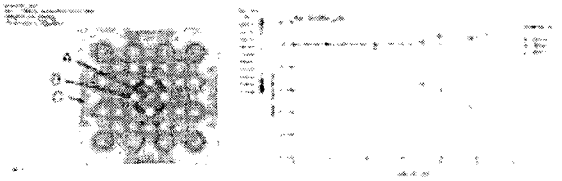

Fig. 6 Thickness variation(pattern 45?

Fig. 6은 내부구조재의 성형 완료후의 블랭크의 두께 변화에 대한 결과를 나타내었다. 두께 변화에 대한 값을 확인 해 본 결과 외곽 부분에서 최대값 0.215799 ㎜로 약 7.9%에 두께 증가를 나타내어 패턴방향 0도에 성형해석 결과 보다 약 3.0% 정도 두께 증가가 더 발생함을 보였고, 형상 주변에서 최소값 0.12711 ㎜로 약 36.4%에 두께 감소를 나타내어 패턴방향 0도에 성형해석 결과 보다 약 6.4% 정도의 두께감소율이 더 발생함을 보였다. 내부구조재의 성형 완료후의 블랭크의 두께 변화에 대한 결과에서 패턴방향 0도인 경우와 동일한 부분을 선택하여 그래프에 성형 과정에서의 두께 변화 추이를 나타내었다. 형상 A부분은 패턴방향 0도에 성형 해석결과와 동일한 결과를 보여주었고 B부분은 두께변화가 초기에 약간 증가하다가 성형 완료 시점에서 약간의 두께 감소가 있었다. 여기서는 패턴방향 0도와는 달리 직접적인 성형이 발생하는 부분이 아니며 성형이 발생하는 패턴간의 소성유동에 따라 약간의 두께 변화만이 발생하였다. 외곽 C부분 역시 패턴방향 0도에 성형 해석 결과와 동일한 결과를 보여주었다.

3. 엠보싱 프레스 금형 제작 및 실험

3.1 금형 설계

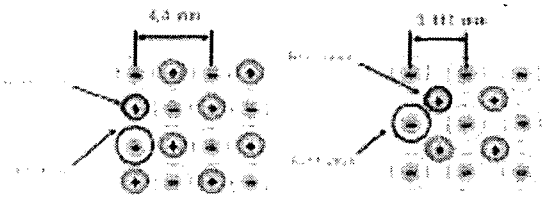

Fig. 7 Drawing of embossing shear

박판 내부구조재를 얻기 위해 엠보싱 형상을 갖는 프레스 금형을 설계하였다. 패턴방향 0도와 45도인 금형은 동일한 반경을 갖는 구조로 엠보싱 형상은 ∅2mm이고 딤플 형상은 ∅2.4mm이다. 패턴방향 0도에 피치는 4.4mm이고 패턴방향 45도인 경우에 피치는 3.111mm로 설계하여 Fig. 7에 나타내었다.

3.2 금형 제작

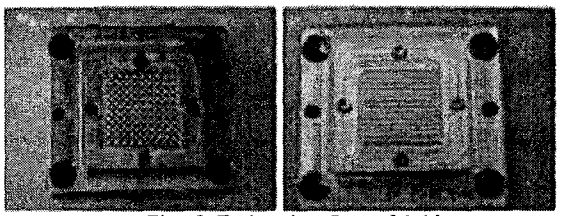

Fig. 8 Embossing Press Mold

엠보싱 프레스 금형 설계를 통해 패턴 방향에 변화에 따른 금형을 제작하였다. 금형의 소재로는 프리하든강(HPM1)을 사용하였다. 프리하든강은 특수용해에 의해 핀홀의 원인인 내부결함을 방지함과 동시에 경도가 HRC40인 고경도강으로써 미세패턴 금형의 보다 정밀한 형상가공과 성형 시 필요조건인 피삭성, 고경도를 모두 갖춘 금형재료이다.

3.3 실험결과

Fig. 9는 본 실험에 사용된 UTM(Universal Test Machine)으로 프레스 용량은 100kgf이다. 실험에 사용된 소재는 STS304 0.2t를 사용하였다. 펀치의 속도는 10mm/min으로 하여 실험을 수행하였다.

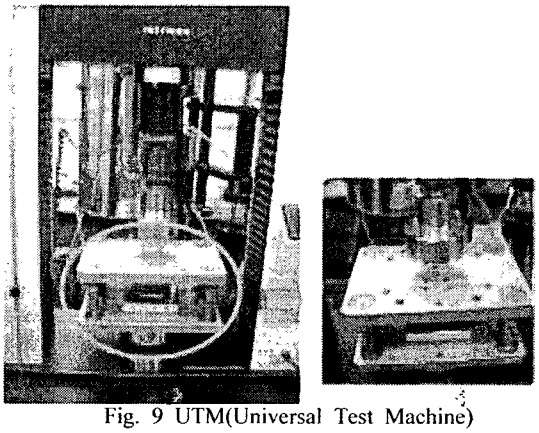

Fig. 9 UTM(Universal Test Machine)

Fig. 10은 성형 완료후의 내부구조재의 형상을 나타내었다. 패턴방향 0도인 경우와 패턴방향 45도인 경우 모두 양호한 성형 결과를 보였다.

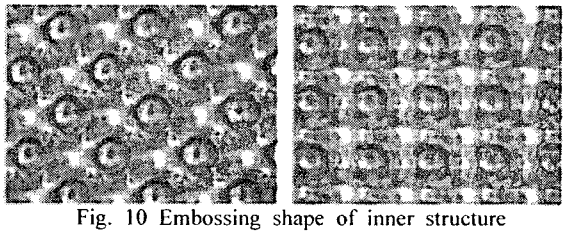

Fig. 10 Embossing shape of inner structure

4. 결론

본 연구에서는 박판 내부구조재 제작을 위한 최적의 금형을 제작하기 위한 제반적 조건을 얻기 위해 여러 패턴 배열 변화에 따른 성형 해석을 수행하였고 이를 바탕으로 실제 금형을 제작 및 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 동일 반경에 의한 패턴변화에 따른 성형 완료후의 변형된 형상들을 시뮬레이션으로 나타낸 결과 엠보싱 형상과 딤플 형상이 동일한 위치에 배열된 경우 성형에서 균열발생은 없을 것으로 예측되어 안전한 성형이 될 것으로 보인다.

2) 엠보싱 형상과 딤플 형상이 45도 방향으로 배열된 경우 성형은 plastic hinge line 발생을 억제하여 굽힘하중에 대한 강도 및 강성의 개선이 예상된다.

3) 단면 두께 변화에 대한 해석을 통해 패턴방향이 45도인 경우가 패턴방향 0도인 경우에 비해 약 6.4% 정도의 두께감소율을 보였다.

본 연구에서는 내부구조재로서 강도 및 강성이 우수하면서 성형성에 유리한 구조에 대한 연구를 통해 판재 형태에 엠보싱 형상에 관한 연구를 수행하였다. 패턴변화에 따른 성형해석을 통해 성형 가능성을 예측하고 엠보싱 프레스 금형을 제작하여 성형실험을 통해 엠보싱 내부구조재를 얻었다. 현재 형상 변화에 따른 해석모델을 설계하여 성형해석을 수행하였고 형상 및 배열 변화에 따른 성형성 평가를 통한 강도 및 강성이 우수한 내부구조재 제작에 대한 연구가 필요하다.

후기

본 논문은 산업자원부 핵심연구개발사업인 마이크로 첨단복재 생산시스템 개발사업 수행 결과의 일부임을 밝혀둡니다.

참고문헌

1. R.R. Arnold, P.W. Whitton, Stress and deformation studies for sandwich rolling hard metals, Proc. Inst. Mech. Eng. 173 (1959) 241-256
2. A.A. Afonja, D.H. Sansome, A theoretical analysis of the sandwich rolling process, Int. J. Mech. Sci. 15 (1973) 1-14
3. M. Denchiyuu, Sandwich rolling analysis and experiments, in : Proceeding of the S-54 Spring Conference, Jpn. Soc. Technol. Plast. (1984) 557-560.
4. 김형종, 최두선, 제태진, 박재현, 정동원 롤 성형기를 이용한 금속 내부구조물 기초 실험? 한국정밀공학회 추계학술대회논문집(2004), pp1452~1455
5. 김형종, 정동원, 최두선, 제태진, 박재현 박판 내부구조재의 성형성 향상에 관한 연구? 한국소성가공학회 춘계학술대회논문집(2005)