[논문] 한국소성가공학회지, 제 20 권 제 2 호, 2011
Transactions of Materials Processing, Vol.20, No.2, 2011
DOI : 10.5228/KSTP.2011.20.2.104

휴대폰용 금속 프론트 케이스의 프레스 성형공정에서 프레임의 형상오차 저감을 위한 연결부 형상설계

이인규[1] · 이찬주[2] · 손영기[2] · 이정민[3] · 김동환[4] · 김병민[#]

Connector Design in Press Forming Process to Prevent Frame Twisting of Metal Front Case for Mobile Phone

I. K. Lee, C. J. Lee, Y. K. Son, J. M. Lee, D. H. Kim, B. M. Kim
(Received October 15, 2010 / Revised January 3, 2011 / Accepted January 13, 2011)

Abstract

The metal front case of a mobile phone is manufactured by press forming and welding of thin metal sheets. Twisting of the frame after the forming process is one of main obstacle for the assembly with reinforcement by welding. This study introduces a method preventing twisting of the metal front case frame in press forming. The spring-back after forming produces twisting of the frame, which leads to a low structural stiffness. To reduce twisting, connectors are required to reinforce the structural stiffness of the frame. In this study, the twisting profile is evaluated using a finite element(FE) analysis for various connector shapes. The actual connector shape is determined by minimization of the frame twisting within the tolerance of the FE-analysis. To verify the validity of the proposed blank shape, a forming experiment is performed and the twisting profile is measured using a 3D laser scanning method. The dimensional accuracy is found to be within the tolerance and in good agreement with the FE-analysis.

Key Words : Metal Front Case, In-plane Bending, , Structural Stiffness, Frame Twisting, Connector Design

1. 서 론

종래의 모바일 폰용 외장부품은 주로 폴리카보네이트(Polycarbonate)로 생산되었으나, 최근에는 제품의 높은 신뢰성을 위해 금속 재료의 모바일 폰용의 외장부품의 사용이 증가하는 추세이다. 특히 모바일폰용 외장부품에 주로 사용되는 스테인리스는 원가나 강도측면에서 마그네슘이나 알루미늄에 비해 매우 효율적이기 때문에 그 적용이 점차 확대되고 있다[1, 2].

Fig. 1에 나타낸 스테인리스 박판소재가 적용되는 금속 휴대폰 프론트 케이스는 벤딩, 블랭킹, 피어싱 등 여러 단계의 성형 공정을 거친 후 최종적으로 용접 공정에 의해 제작된다. 특히 용접공정은 휴대폰의 키패드와 LCD화면을 경계하는 프레임을 삽입하는 공정으로 정밀 조립을 위해 매우 높은 치수공차가 요구된다. 프레스 성형 공정시 금속박판의 탄성회복에 의한 비틀림이 발생할 경우, 용접공정시 프레임의 위치공차가 발생하게 되어 제품의 치수정밀도가 만족할 수 없다.

Kim 등[3]은 얇은 프레임을 가지는 박판성형제품 성형시 발생하는 비틀림을 억제하기 위한 공정설계를 수행하였다. 이러한 프레스 성형공정시 발생하는 비틀림의 직접적인 원인은 박판성형공

1. 부산대학교 하이브리드 소재 솔루션 협동 과정
2. 부산대학교 정밀가공시스템전공
3. 재료연구소 산업기술지원부
4. 한국국제대학교 기계자동차공학부
교신저자: 부산대학교 기계공학부, bmkim@pusan.ac.kr

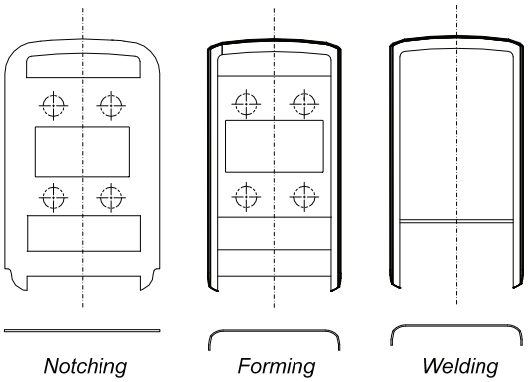


Fig. 1 Manufacturing process layout of metal front case for mobile phone

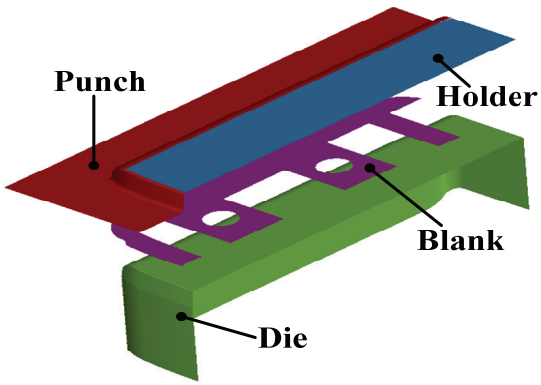


Fig. 2 FE-model for foming process

Table 1 Mechanical properties of SUS304 1/2H

Properties	Value
Young's Modulus (GPa)	207
Poisson's ratio	0.28
Yield stress (0.2%)	580MPa
Hardening Modulus	1886MPa
r-value	1.02
Thickness	0.5mm

정 이후 탄성회복시 얇은 프레임의 낮은 구조강성(Structural stiffness)에 의해 비틀림이 발생하며, 이를 고려한 제품의 구조강성을 고려한 제품설계가 요구된다[4, 5].

본 연구에서는 금속 휴대폰 프론트 케이스의 성형공정 시, 스프링백에 의해 발생하는 휴대폰용 금속 프론트 케이스의 프레임 비틀림을 방지하기 위해 프레임 사이에 연결부를 추가하였다. 유한요소해석을 통해 연결부 형상에 따른 성형공정 후의 형상오차를 평가하고, 형상오차를 최소화 할 수 있는 연결부 형상을 결정하였다. 또한 성형실험을 통해 설계된 연결부 형상의 타당성을 검증하였다.

2. 금속 휴대폰 프론트 케이스 성형공정해석

2.1 유한요소해석모델

금속 휴대폰 프론트 케이스는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 노칭공정, 성형공정으로 구성된 프로그레시브 성형방법으로 성형 후 프레임의 용접공정을 걸쳐 제작된다. 금속 휴대폰 프론트 케이스의 비틀림 현상은 프로그레시브 성형 후 탄성회복시 발생하는 굽힘모멘트를 프레임이 견디지 못하고 영구변형이 발생하기 때문이다.

본 연구에서는 프로그레시브 성형공정 후 제품의 탄성회복에 의한 비틀림을 유한요소해석을 통해 평가하였다. 유한요소해석은 상용박판성형 해석 프로그램인 DYNAFORM(ver. 5.5)를 사용하였으며, 노칭공정은 블랭크 요소제거법으로 대체하였다[6, 7]. 성형공정은 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 펀치, 다이 및 홀더로 구성되며, 툴과 소재간의 마찰계수는 0.125로 가정하였다. 성형 후 DYNAFORM에서 지원하는 스프링백 해석모듈을 이용하여 탄성회복에 의한 금속 휴대폰 프론트 케이스의 형상오차를 평가하였다. 박판소재는 SUS304 1/2H를 사용하였으며, 소재의 기계적 물성은 인장시험을 통해 평가하였다. 평가된 물성치는 Table 1에 나타내었다.

2.2 형상오차 평가 및 개선방안

기존 생산방식에서 제작되는 금속 휴대폰 프론트 케이스의 비틀림량을 평가하였다. 휴대폰 프론트 케이스의 비틀림은 Fig. 3(a)에 나타낸 것과 같이 성형 후 탄성회복에 의해 다이면과 평행한 방향으로 구속되지 않은 프레임이 벌어지는 평면내 굽힘(in-plane bending)현상이 주로 발생하였다. 평면내 굽힘에 의한 금속 휴대폰 프론트 케이스의 폭치수 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 비틀림량은 프레임의 끝단부에서 최대 0.665mm, 구속부에서 최소 -0.16mm였다. 또한 그 편차가 0.825mm로 용접 공정 시 요구되는 폭치수 공차 0.15mm를 벗어나는 치수로 이는 프레임과 보강재의 용접 공정

에서 조립치수 불량으로 용접에 의한 조립이 불가능하다.

Kim등[3]에 의하면 박판성형에서 성형 후 비틀림 현상은 비틀림방향으로 제품의 구조강성이 부족하기 때문에 발생한다. 즉, 금속 휴대폰 프론트 케이스 성형 시 발생되는 비틀림을 억제하기 위해서는 비틀림 방향으로 제품의 구조강성을 증가시킬 수 있는 방안이 요구된다. 본 연구에서는 제품의 비틀림을 억제하기 위해 Fig. 5와 같이 금속 휴대폰 프론트 케이스의 연결부를 추가하여 평면내 굽힙방향으로의 구조강성을 증가시켰다.

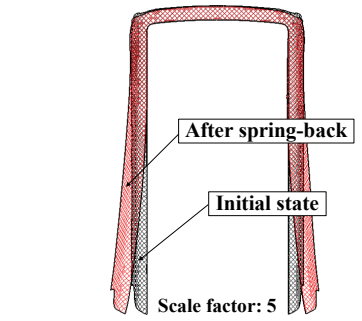
Fig. 3(b)와 같은 다이면을 벗어나는 방향으로의 평면이탈 변형(warping)현상도 발생하였으나, 굽힘공정에서 성형된 프레임의 경우, 프레임의 굽힘부에 의해 평면이탈 변형방향으로의 구조강성이 증가하기 때문에 그 발생량이 작다. 평면이탈 비틀림의 최대발생량이 0.042mm로 치수 공차 0.15mm를 만족하는 것으로 나타났기 때문에 연결부 설계시 평면이탈 방향으로의 비틀림은 고려하지 않았다. 또한 연결부의 추가는 평면이탈 변형에 대한 구조강성도 증가시키기 때문에 평면이탈 변형방향으로의 비틀림을 억제시키는 효과를 얻을 수 있다.

3. 형상오차 저감을 위한 연결부 형상설계

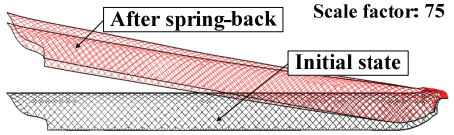
본 연구에서는 Fig. 5에 나타낸 것과 같이 연결부(connector)의 형상에 따른 휴대폰 프론트 케이스의 비틀림현상을 유한요소해석을 통해 분석하였다. Fig. 6, 7과 8은 각 연결부 형상에 따른 금속 휴대폰 프론트 케이스의 프레임 길이방향으로의 폭치수 변화를 측정한 결과를 나타낸 그림이다.

Fig. 6에 나타낸 것과 같이 끝단부에 연결부를 위치시킨 연결부 1의 경우, 끝단부에서 발생하는 평면내 굽힘현상은 감소하였으나, 상대적으로 구조강성이 약한 케이스 프레임이 안쪽으로 비틀어지는 현상이 발생 하였다. 이로 인해 폭치수는 최소 -0.14mm, 최대 0.14mm로 편차가 총 0.28mm였으며, 용접공정시 요구되는 폭치수 공차 0.15mm를 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

Fig. 7은 프레임의 안쪽으로 비틀어지는 현상을 방지하기 위해 연결부를 금속 휴대폰 프론트 케이스 프레임의 중간에 위치시킨 연결부 2에 대한 성형 후 발생하는 프레임 길이방향으로의 폭 치수 변화를 나타낸 것이다. 연결부가 위치한 프론트



(a) In-plane bending



(b) Warping

Fig. 3 Twisting shape of metal front case after spring-back

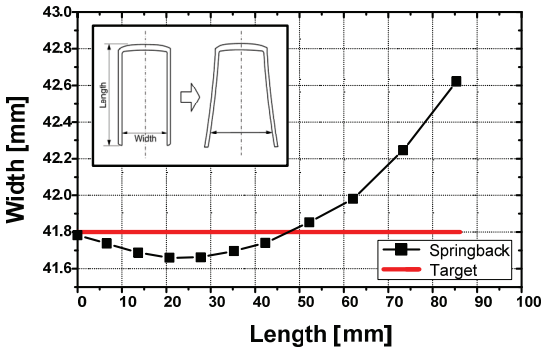
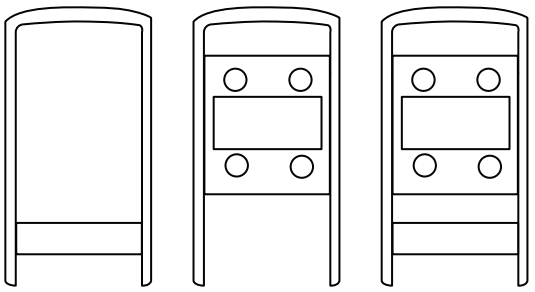


Fig. 4 In-plane bending profile of mobile metal front case without connector



(a) connector 1 (b) connector 2 (c) connector 3

Fig. 5 Connector shape of mobile metal front case to reduce twisting after forming

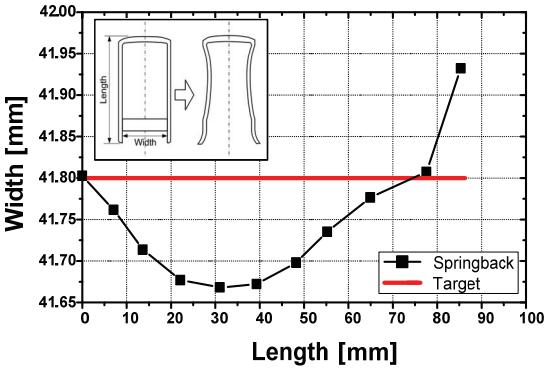


Fig. 6 In-plane bending profile of mobile metal front case with connector 1 as shown in Fig. 5(a)

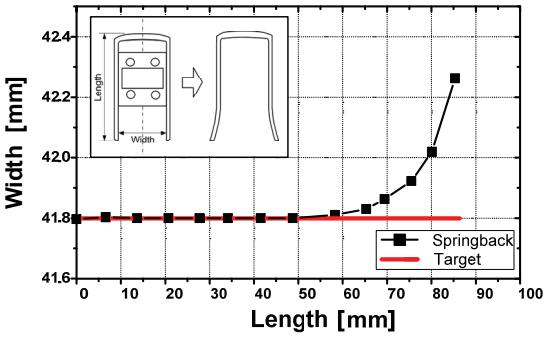


Fig. 7 In-plane bending profile of mobile metal front case with connector 2 as shown in Fig. 5(b)

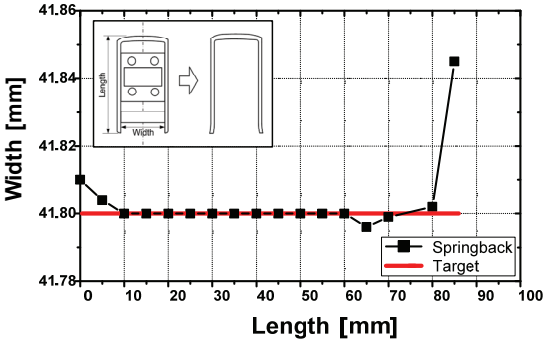
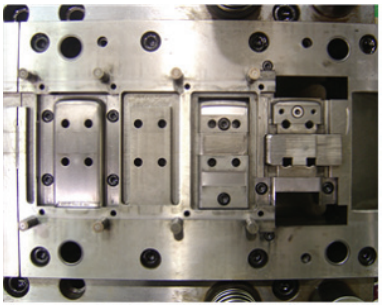
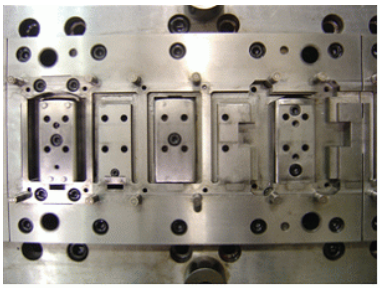


Fig. 8 In-plane bending profile of mobile metal front case with connector 3 as shown in Fig. 5(c)

케이스의 프레임은 폭 치수 공차를 만족하는 결과를 얻을 수 있었으나, 프레임의 끝단부에서는 연결부 1보다 더 큰 최대 0.44mm의 폭치수 오차가 발생하였다. 연결부의 위치가 프레임 중간으로 이동함에 따라 비틀림의 시작점이 같이 이동하기



(a) Upper die



(b) Lower die

Fig. 9 Progressive tooling for experiment

때문에 상대적으로 끝단부의 비틀림량이 증가하게 된다. 즉 연결 부의 위치에 따라 비 틀림에 의한 치수오차가 오히려 크게 발생할 수 있음을 의미한다.

Fig. 8은 중심부와 끝단부에 연결부를 위치시켜 전체적인 프론트 케이스의 강성을 증가시킨 연결부3에 대한 프레임 길이방향으로의 폭치수변화를 나타낸 것이다. 전체적인 구조강성의 증가로 폭치수 오차가 0.06mm로 폭 치수 공차를 만족하는 결과를 얻을 수 있었다. 안쪽으로 발생하는 평면내 굽힘현상은 프레임 중간에 위치 한 연결부에 의해 억제되고, 바깥쪽으로 비틀리는 현상은 끝단부의 연결부에 의해 비틀림이 억제된다. 또한 연결부의 추가로 프레임부의 평면이탈 굽힘에 대한 구조강성이 증가하기 때문에, 기존제품과 비교하여 평면이탈 굽힘변형량은 0.018mm로 감소하였다.

4. 연결부 형상설계에 대한 실험적 검증

유한요소해석 결과, 연결부3의 형상으로 했을 때 폭치수 공차를 만족하는 결과를 얻을 수 있었다. 이에 대한 유효성을 검증하기 위해 성형실험을 수행하였다. 성형실험시 소재는 유한요소해석

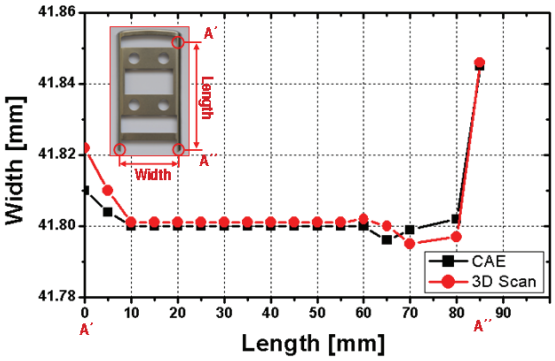


Fig.10 Comparison of in-plane bending profile of mobile metal front case

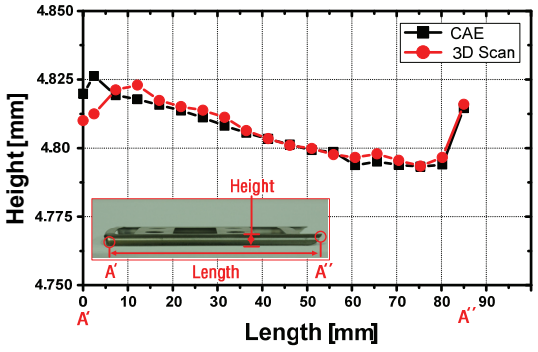


Fig.11 Comparison of wrapping profile of mobile metal front case

과 동일한 SUS304 1/2H소재를 사용하였다. Fig. 9는 성형실험을 위한 프로그레시브 금형을 나타낸 것이다. 성형 후 제품의 형상오차는 3차원 레이저 형상측정장비를 사용하여 형상을 측정하고, 도면치수와 비교하여 분석하였다.

Fig. 10은 유한요소해석결과와 성형실험을 통해 얻어진 금속 프론트 케이스의 폭치수 변화를 비교한 결과이다. 유한요소해석을 통해 구해진 결과는 실제 실험과 매우 유사한 형상을 가지는 것으로 평가되었다. 또한 최대 비틀림 발생은 0.06mm로 폭 치수공차 0.15mm를 만족하는 결과를 얻을 수 있었다. 즉, 초기 블랭크에 Connector 3과 같은 형상을 추가하여 비틀림 방향으로의 구조강성을 증가시켰으며, 이를 통해 성형후 탄성회복시 발생하는 금속 휴대폰 프론트 케이스의 평면내 굽힘에 의한 형상오차를 저감할 수 있음을 확인하였다.

Fig. 11은 평면이탈 굽힘에 의한 금속 휴대폰 프론트 케이스의 형상오차를 나타낸 것이다. 평면이탈 굽힘에 의한 형상오차는 프레임 길이방향으로 발생하는 프레임의 높이변화로 평가하였다. 성형실험결과, 연결부의 추가를 통해 평면이탈 굽힘에 대한 형상오차를 저감할 수 있었으며, 유한요소해석과 실험결과 모두 허용 치수공차 0.15mm이내에서 형상오차가 발생하였다.

Fig.12 Metal front case for mobile phone assembled with reinforcement by welding process

또한 성형실험을 통해 제작된 성형제품을 용접공정에 적용하여 보강재와 성형제품을 조립하였다. Fig. 12에 나타낸 것과 같이 연결부를 추가하여 성형 후 프레임의 비틀림을 억제한 결과, 용접공정에 의한 보강재와 금속 휴대폰 프론트 케이스의 양호한 조립이 가능함을 확인하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 금속 휴대폰 프론트 케이스의 성형공정에서 발생하는 비틀림을 저감하기 위한 블랭크 형상을 유한요소해석을 통해 설계하고, 이를 실험적으로 검증하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 금속 휴대폰 프론트 케이스의 비틀림은 주로 탄성회복에 의해 발생하며, 평면내 굽힘현상이 지배적으로 발생하였다.

(2) 연결부를 추가시킨 블랭크 형상에 대해 비틀림은 감소하는 경향을 나타내었으나, 연결부 위치에 따라 굽힘 시작점의 이동으로 인한 비틀림이 발생하였다. 즉 연결부의 적절한 설계가 요구됨을 의미한다.

(3) 유한요소해석을 설계된 제품에 대해 실험적으로 검증한 결과 최대 비틀림 발생은 0.06mm로

저감할 수 있었으며, 이는 요구 폭치수 공차 0.15 mm를 만족하는 결과를 얻었다.

(4) 이러한 결과는 유한요소해석을 통해 연결부 위치에 따른 비틀림 시작점의 변화 및 형상오차를 평가하고, 이를 최적화하여야 휴대폰 프론트 케이스의 성형공정에서 발생하는 프레임의 형상오차를 저감할 수 있음을 보여준다.

후 기

본 연구는 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략기술인력양성사업과 2010년 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.

참 고 문 헌

[1] G. H. Kim, D. C. Ko, K. K. Kam, B. M. Kim, 2009 The Design of Forming Process of Joint Guide for Battery Cover of Mobile Phone, Proc. Kor. Soc. Precision Eng. Conf., pp. 283~284.

[2] B. K. Ha, T. W. Ku, B. S. Kang, 2000, Blank Design of The High Miniature Rectangular Vibrator Case for The Cellular Phone, Trans. Kor. Soc. Mech. Eng., pp.754~758.

[3] K. H. Kim, H. S. Kwon, 1996, Study on the Deformation of a Sheet Metal Structure due to Stamping Residual Stress, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Conf., pp. 48~71.

[4] U. Masanobu, U. Keii, K. Masaru, 1981, A Study of Springback in The Stretch Bending of Channels, J. Mech. Working Technol., Vol. 5, pp. 163~179.

[5] S. K. Panthi, N. Ramakrishnan b, Meraj Ahmed, Shambhavi S. Singh, M.D. Goel, 2010, Finite Element Analysis of sheet metal bending process to predict the springback, Mater. Design, Vol. 31, pp. 657~662.

[6] DYNAFORM User's Manual, Ver. 5.5

[7] D. C. Ko, S. H. Cha, S. K. Lee, C. J. Lee, B. M. Kim, 2010, Application of a feasible formability diagram for the effective design in stamping processes of automotive panels, Mater. Design, Vol. 31, pp.1262~1275.