

금형 자동 보정 방식을 이용한 자동차 서라운드 몰딩 부품의 스프링백 현상 제어

이덕영¹ · 최보성[#] · 황재현² · 백일기² · 최광용³

Springback Control of an Automotive Surround Molding Part Using Automatic Die Compensation Module

D. Y. Lee, B. S. Choi, J. H. Hwang, I. K. Baek, K. Y. Choi

(Received October 17, 2008)

Abstract

Springback, an elastic material recovery after the unloading of stamping tools, causes variations and inconsistencies of final part dimensions. Recently, narrow and long surround molding parts around door frame are applied to high grade automobiles, but there are great difficulties in their die development, construction and tryout because of several springback modes including vertical movement and twist during flange forming process of them. So it is very important to predict springback's quantities of a surround molding part and, moreover, to compensate the die for them adequately, when they can't be corrected by the restrike operation. This paper presents a case study based on the die design for a surround molding part made of stainless steel. The forming and springback predictions, carried out using PAMSTAMP 2G, are reported and compared with the measurement data of the prototype. The predicted springback results were acceptable, so the processes of compensating die using Automatic Die Compensation Module of PAMSTAMP 2G were performed iteratively until the tolerances between the designed shape and the simulation data were satisfied.

Key Words : Springback, Twist, Stainless Steel, Surround Molding , Die Compensation

1. 서 론

최근 자동차 업계에서는 CO₂ 저감이라는 전세계적인 환경문제와 고유가에 대한 대책으로 차체경량화를 통한 연비 개선, 승객의 안전성 강화 및 차별화된 디자인 등 소비자들의 다양한 요구사항을 적극적으로 반영하고 있다. 차체경량화를 통한 연비향상과 구조안전성 강화를 위하여 고장력강과 알루미늄 합금을 사용하는 부품이 날로 증가하고 있으며, 외관의 차별화를 위하여 스테인리스

소재의 몰딩 제품의 적용도 늘고 있다. 그러나 이러한 소재들은 성형과정에서 연강보다 상대적으로 큰 스프링백(springback) 때문에 엄밀한 생산공정기술이 요구되고 있다[1~4].

스프링백은 주름(wrinkling), 크랙(crack)과 함께 프레스에 의한 판재 성형 과정에서 발생하는 대표적인 성형 불량이다. 스프링백 현상은 판재 성형 과정에서 금형에 의한 구속이 풀려 외력이 제거되었을 때, 판재 내의 잔류응력에 의해 정적 평형상태를 유지하기 위하여 탄성적으로 재편되면

1. 대구대학교 공과대학 자동차·산업기계공학부
2. (재)울산산업진흥테크노파크 자동차부품혁신센터
3. 한국ESI㈜ 기술지원사업부 VM지원팀
교신저자: (재)울산산업진흥테크노파크 자동차부품혁신센터,
E-mail: bschoi74@apic.re.kr

서 형상이 변하는 것을 말한다. 스프링백은 제품의 치수정밀도를 떨어뜨려 품질 저하 및 각 부품 사이의 외관 불량, 조립 불량의 원인이 되므로 반드시 해결하여야 한다.

그런데 스프링백은 성형품의 기하학적 형상변수, 소재의 두께 및 물성치 등의 재료변수, 블랭크 홀딩력, 펀치 속도, 마찰이나 윤활 상태와 같은 공정변수 등 여러 인자들로부터 복합적인 영향을 받는 것으로 알려져 있다[3,6~10]. 스프링백의 주원인으로 공정변수인 경우에는 경험, 시행착오 및 직관에 의하여 해결할 수 있는 경우가 많다. 그리고 형상 및 재료변수가 스프링백의 주원인인 경우에는 변형 형상 및 각도, 항복강도, 탄성계수, 재료의 두께 등이 복합적으로 영향을 미치고 있으므로 각 변수들이 스프링백에 미치는 영향을 정확하게 예측하기 위하여 다양한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다[3].

그리고 스프링백에 의한 제품의 변형량을 저감하기 위하여 드로우 비드 효과를 고려한 초기 블랭크 설계[7,11], 분할 블랭크 홀더[12] 등이 시도되었다. 또한 스프링백을 최소화할 수 있는 공정변수를 예측하기 위하여 반응표면분석법(response surface method)과 같은 최적화방법도 시도되었다[2,5]. 한편 최근의 연구 동향에 의하면, 스프링백 현상도 어느 정도 예측이 가능해지고 신뢰도가 높아짐에 따라 설계 CAD 모델과 스프링백 해석 결과 데이터를 비교하여 자동으로 이를 보상해주는 프로그램의 사용이 시도되고 있다[13].

최근 고급 승용차에 대한 소비자들의 다양한 요구 중의 하나인 외관의 차별화 및 고급화를 위하여 리어 도어 코너 부위에 스테인리스 소재의 서라운드 몰딩(surround molding) 제품 적용이 늘고 있다. 그런데 이 서라운드 몰딩은 폭이 좁고 길이가 길며 단면의 변화가 심하여 성형 과정에서 변형 및 비틀림을 포함한 스프링백 등과 같은 피할 수 없는 생산 문제를 안고 있다.

본 연구에서는 스테인리스 소재의 서라운드 몰딩 제품을 성형하는 과정에서 발생하는 문제를 해결하기 위해 상용 프로그램인 PAM-STAMP™ 2G 를 이용하여 스프링백 현상을 예측하고, 탄성 복원량 예측에 의한 금형자동보정방식으로 허용 공차내의 제품을 생산할 수 있는 금형의 역보정 조건을 도출하고자 한다. 그리고 도출한 금형 조건을 반영한 금형으로 제작한 시제품의 치수를 성형 및 스프링백 해석 결과와 비교, 검토해봄

으로써 스프링백을 고려한 금형자동보정방식의 유용성을 검증해 보고자 한다.

2. 서라운드 몰딩 제품의 특징

2.1 서라운드 몰딩 제품

다음 Fig. 1 은 대표적인 고급 승용차의 리어 도어 코너 부위 서라운드 몰딩 제품으로서, 외관의 고급화를 위하여 일반적으로 이음매가 없는 단일 제품으로 만든다.



Fig. 1 Typical surround molding part

서라운드 몰딩 제품은 고급스러움이라는 자동차의 상품성을 강조하기 위하여 스테인리스 소재로 제작하는 경우가 많으며, 제품의 특성상 단면 폭에 비해 길이가 길고 변형이 심하여 엄정한 치수 관리가 필요하다. 특히 표면의 손상이나 비틀림 등이 있을 경우 고급 이미지를 손상할 수 있으므로 세심한 주의가 필요하다.

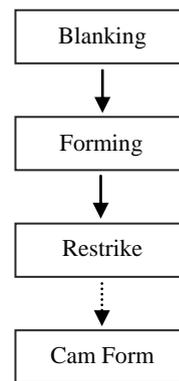


Fig. 2 Tooling processes of surround molding

2.2 서라운드 몰딩 제품의 금형 공정

일반적으로 서라운드 몰딩 제품을 만들기 위한 금형 공정은 Fig. 2 와 같이 최소한 3 개 이상의 공정으로 이루어진다. 특히 기본 성형 공정은 인

장력을 부과할 수 있는 드로우(draw) 성형법이 아니라 제품수율을 향상시키기 위하여 플랜지 포밍(flange forming) 성형법을 이용하므로 성형 조건 변경에 의해 치수정밀도를 맞추기가 매우 어렵다.

그리고 리스트라이크(restrike) 공정은 플랜지 포밍 성형 후 발생하는 스프링백을 보정하기 위한 공정이다. 만일 정확한 스프링백 보정에 의하여 플랜지 포밍 성형 후 스프링백이 없는 제품을 얻을 수 있다면 리스트라이크 공정은 생략 가능하다. 그러나 현재 서라운드 몰딩 제품 생산 현장에서는 비틀림 현상을 금형으로 보정할 수 없어 최종 공정에서 수작업으로 보정하고 있는 실정이다.

3. 서라운드 몰딩 성형 및 스프링백 해석

3.1 서라운드 몰딩의 공정 조건

먼저 플랜지 포밍 공정에 대한 성형 및 스프링백 해석을 상용해석 프로그램인 PAM-STAMP™ 2G 로 수행하고, 해석 결과에 의한 변형 예측량과 시제품 몰딩 패널의 변형량을 측정 비교하여 해석의 타당함을 검증한 후, 몰딩 패널의 비틀림과 스프링백 불량에 대한 대책을 제시하고자 하였다.

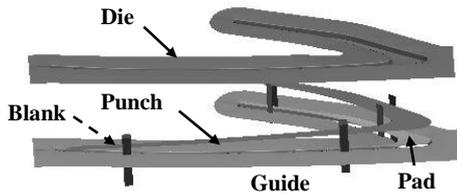


Fig. 3 Tool setting for flange forming process

플랜지 포밍 공정에 대한 성형 해석 수행을 위하여 몰딩 블랭크 패널이 안정적으로 안착되도록 가이드를 설치하였으며, 성형 해석 툴 구성은 Fig. 3 과 같다. 블랭크 패널이 안착된 후, 패드가 패널을 잡아주고 상형 다이와 하형 펀치에 의해 플랜지 포밍 성형이 이루어진다.

3.2 재료물성치(Material)

서라운드 몰딩의 재질은 SUS430 이며, 물성치는 Table 1 과 같다.

본 연구에서 사용한 진응력-진변형률 곡선은 다음 식(1)과 같이 Swift law 를 사용하였으며, 곡선은 Fig. 4 와 같다.

Table 1 Mechanical properties of SUS430

Tensile Strength (GPa)	0.519
Elongation (%)	28.2
Young's modulus (GPa)	200
Poisson's ratio	0.28
Density (e ⁻⁶ kg/mm ³)	7.8
\bar{R}	1.4
Thickness (mm)	0.5

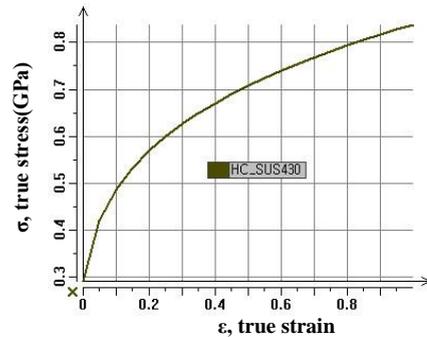


Fig. 4 True stress-true strain curve of SUS430

$$\sigma = K \cdot (\varepsilon + \varepsilon_0)^n \quad (1)$$

여기서 $K=0.835\text{GPa}$, $\varepsilon_0 = 0.014464$, $n=0.2494$ 의 값을 가진다. 그리고 판재의 이방성은 Hill[48]로 고려하였다.

3.3 스프링백 해석 및 측정 결과 비교

포밍 성형공정의 패딩(padding)력은 6.8ton, 쿠션 스트로크(cushion stroke)는 15mm, 블랭크 유한요소의 크기는 0.5mm 로 균일하게 하였다. 마찰계수는 모든 틀에 0.1 을 적용하였으며, 패딩 및 포밍의 성형속도는 각각 2m/s, 5m/s 로 설정하였다.

포밍 해석(explicit) 후, 몰딩 패널의 변형을 살펴보기 위하여 다음 Fig. 5 와 같이 스프링백 해석(implicit, double precision)을 수행하였다. 이 때, 경계조건은 아래 체커와 접촉이 발생하는 부분의 3 점을 이용하여 강체운동을 적절히 제어하였으며, 패널의 체커 안착 현상을 구현하기 위하여 자중 해석을 수행하였다. 그리고 매스 스케일링(mass scaling)은 0.2 를 사용하였다.

다음 Fig. 6 은 서라운드 몰딩에 대한 스프링백 해석 결과이고, Fig. 7 은 시제품을 3 차원 측정기(CMM)로 측정한 결과이다.

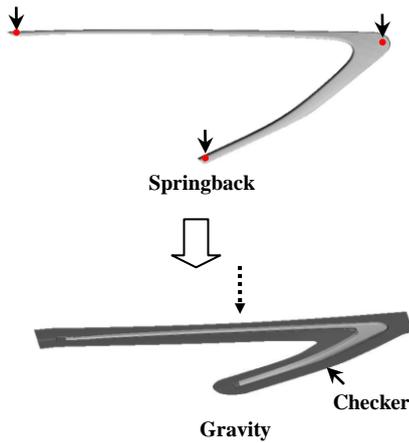


Fig. 5 Boundary condition for springback analysis

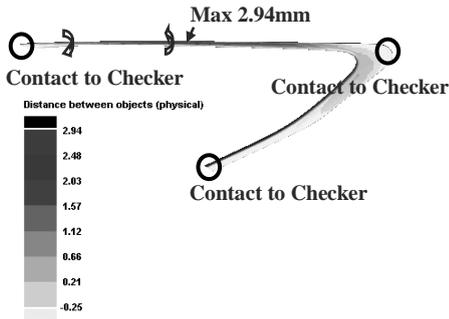


Fig. 6 Analysis results by springback simulation

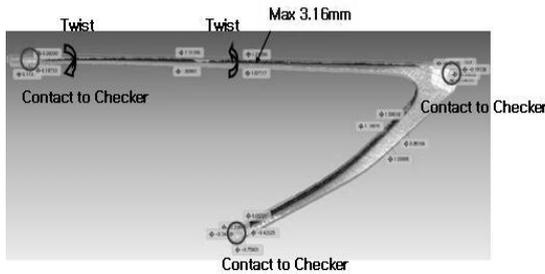


Fig. 7 Measured results using CMM

서라운드 몰딩은 주로 가늘고 긴 수평 부위의 들뜨는 현상과 비틀림 현상이 문제가 되는데, 수평 부위의 비틀림 경향은 해석 및 시제품 모두 동일한 경향을 보임을 확인할 수 있었다. 그리고 수평 부위에서의 들뜨는 양도 해석결과 최대 2.94mm, 측정결과 최대 3.16mm 로 거의 일치하여 스프링백 해석 결과에 대한 신뢰성은 충분하다고 판단할 수 있었다.

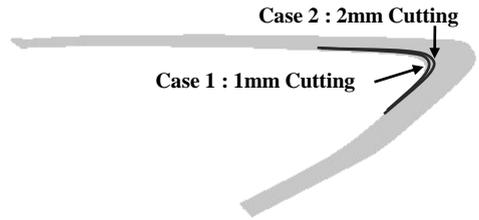


Fig. 8 Different blank shapes for twist control

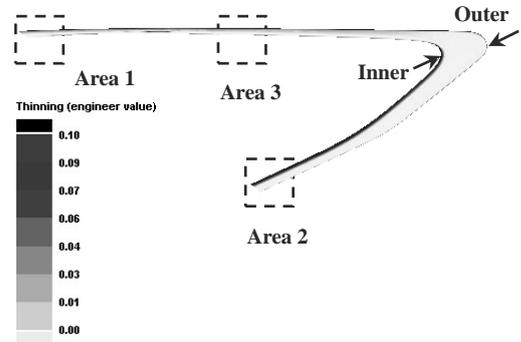


Fig. 9 Compared areas for different blank shapes

Table 2 Compared results for different blanks

Classification	Position	Origin	Case 1	Case 2
Thinning(%)	Inner	23.31	21.92	18.65
	Outer	-11.22	-10.50	-8.93
Twist(mm)	Area 1	0.37	0.25	0.15
	Area 2	0.51	0.48	0.46
Rising(mm)	Area 3	2.94	3.04	2.97

3.4 제품 수정을 통한 비틀림 경향 파악

앞 절에서 언급한 바와 같이 소재를 변경할 수 없는 플랜지 포밍 성형인 경우, 성형조건 변경에 의해 비틀림 변형량을 감소시키는 것은 매우 어렵다. 그리고 서라운드 몰딩의 경우 외판이므로 치수 변경도 불가능하다.

서라운드 몰딩은 성형 과정에서 Table 2 와 같이 코너 내측과 외측의 신율의 차이가 커서 비틀림이 발생하는 것으로 생각할 수 있다. 몰딩의 플랜지 길이가 비틀림에 미치는 경향을 파악하기 위하여 Fig. 8 과 같이 코너 부위의 블랭크를 각각 1mm 및 2mm 절단한 두 경우를 고려하였다.

성형 및 스프링백 해석을 수행한 결과는 Fig. 9 와 같으며, 비틀림 및 들뜸량을 비교한 결과는 Table 2 와 같다.

몰딩의 코너 내측의 플랜지 길이를 줄임에 따라 인장부의 최대 신율이 감소하고 압축부의 최소 신율이 증가하여 신율 차이가 줄어들음을 알 수 있었다. 그리고 몰딩 패널의 비틀림량 또한 플랜지의 길이가 짧아짐에 따라 감소함을 알 수 있었으나, 들뜨는 양에 대해서는 아무런 영향이 없음을 확인할 수 있었다.

4. 금형자동보정방식에 의한 금형형상 도출

4.1 금형자동보정방식 해석 프로세스

성형 해석 및 스프링백 해석을 수행하여 해석 결과가 제품의 허용 치수 범위를 만족하면 금형 가공 단계를 진행할 수 있다. 그러나 허용 치수 범위를 벗어나는 경우, 금형 형상을 수정하여 해결하는 방법을 금형 보정이라 한다. 즉 스프링백 현상으로 제품의 플랜지 부위가 수직 방향으로 들뜨다면, 금형의 플랜지 부위를 수직 아래 방향으로 역으로 보정하여 성형 제품이 허용 치수 범위 이내에 들도록 하는 방법을 말한다. 이 때, 스프링백 해석 결과 치수와 제품 형상 치수와의 차이 값을 고려하여 임의로 적절한 크기의 금형 보정량을 결정한 후, 성형 및 스프링백 해석을 수행하고 제품 형상 치수와 비교하여 허용 치수 범위 만족 여부를 판단한다. 만족하지 않을 경우, 다시 금형 보정량을 증가하여 해석을 다시 수행하여 허용 치수 범위를 만족할 때까지 반복적으로 수행하는 방법을 금형자동보정방식이라 한다.

다음 Fig. 10 은 PAM-STAMP™ 2G 의 금형자동보정방식인 Die-Compensation Module 의 해석 프로세스이다.

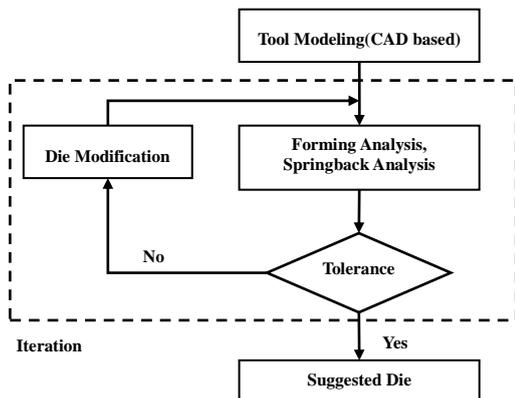


Fig.10 Schematic diagram of the automatic die compensation module

먼저 설계 제품 형상을 기준으로 하여 금형을 모델링한 후, 1 차 성형 및 스프링백 해석을 수행한다. 1 차 해석에 이어 금형자동보정 조건을 입력하여 성형 및 스프링백 해석을 재 수행한다. 이때 스프링백 해석 결과 모델과 제품 설계 데이터와의 차이 값이 허용공차 이하이면 적합한 금형 형상으로 판단하여 해석을 종료한다. 만일 허용공차 이상이면 금형이 자동 수정되어 2 차 성형 해석 및 스프링백 해석을 다시 수행한다. 이러한 반복 과정을 거쳐 최종적으로 스프링백 현상을 고려하여 제품 형상에 가장 근접한 부품을 성형할 수 있는 금형 형상을 얻을 수 있다.

4.2 금형자동보정방식 해석 결과

다음 Fig. 11 은 해석결과와 제품의 CAD 모델 데이터와의 허용공차인 0.1mm 를 만족하기 위하여 각 반복 단계에서 자동보정에 의하여 제시된 금형 단면들이다. 그리고 최대 들뜸은 Fig. 9 의 Area 3 구역에서 발생하는데, 각 보정단계에서의 최대 들뜸량에 대한 해석결과는 Table 3 과 같다.

첫 번째 반복에서 3.70mm 금형보정을 한 후 재 해석을 하였을 때 최대 들뜸량은 1.48mm 이며, 허용오차 0.1mm 보다 크므로 두 번째 반복 해석을 수행하였다. 이 때 금형은 5.56mm 자동 보정되어 반복하여 해석을 진행하며, 최대 들뜸량은 0.29mm 로 감소하였다. 이와 같은 방법으로 네 번의 반복 단계를 거쳐 허용공차 0.1mm 를 만족하는 금형 조건을 얻을 수 있었다.

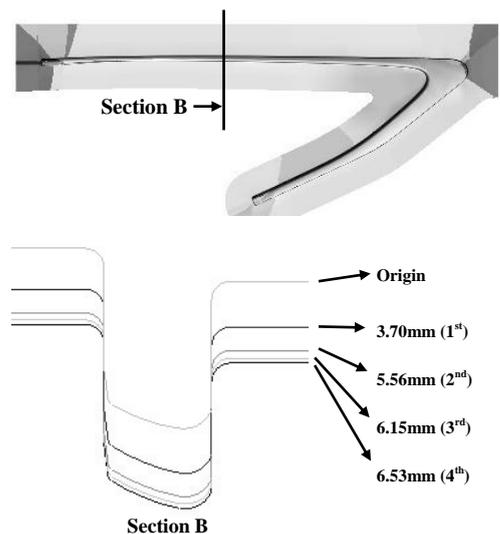


Fig.11 Compensated die sections after compensation

Table 3 Maximum rising quantities after compensation(mm)

1 st Iteration	1.48
2 nd Iteration	0.29
3 rd Iteration	0.13
4 th Iteration	0.10

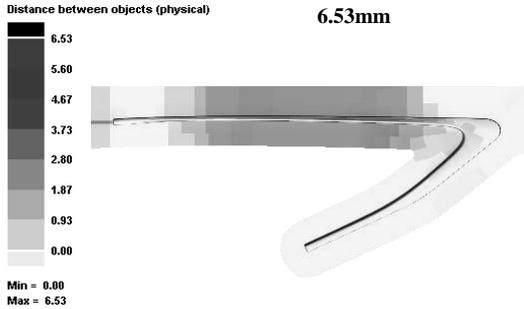


Fig.12 Finally suggested die by automatic die-compensation module

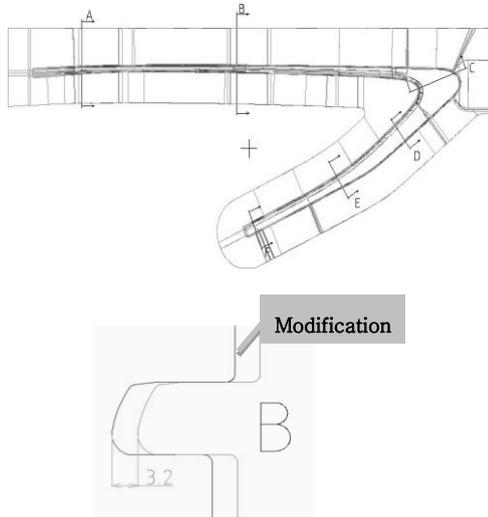


Fig.13 Adapted die compensation in forming process

금형자동보정 모듈에 의해 4 번의 반복 보정으로 최종 제안된 금형 형상은 Fig. 12 와 같다.

이러한 해석결과를 바탕으로 실제 금형 제작시 플랜지 포밍 공정에서 금형보정값으로 3.2mm 를 적용하였으며, 포밍성형 후 1.5mm 정도의 들뜨는 현상을 확인할 수 있었다. 이 값은 첫 번째 반복 해석 결과인 금형보정량 3.5mm 에 대한 들뜸량 1.48mm 와 거의 같은 양임을 확인할 수 있다. 그

리고 포밍성형 후 들뜨는 불량은 리스트라이크 금형에 추가로 보정하여 해결하였다. Fig. 13 은 포밍성형 공정의 실제 금형에 적용된 보정량을 나타낸 금형 전체 형상 및 단면이다.

이상과 같이 탄성복원량 예측에 의한 금형자동보정방식을 이용하여 허용공차 내의 제품을 생산할 수 있는 금형 보정량을 도출하고, 실제 금형에 적용하여 제품을 생산하였을 때 해석과 매우 유사한 결과를 얻을 수 있으므로 금형자동보정방식의 유용성을 확인할 수 있다.

5. 결론

승용차 도어 프레임부의 스테인리스 서라운드 몰딩과 같이 폭이 좁고 길이가 긴 제품을 플랜지 포밍 성형으로 제작하면 비틀림과 들뜨는 불량 문제가 많이 발생한다. 이를 자동금형보정방식에 의하여 해결할 수 있는지를 확인하기 위해 상용 해석 프로그램인 PAMSTAMP 2G 를 이용하여 성형 해석 및 스프링백 해석, 그리고 금형자동보정 해석을 수행하였으며, 해석 결과를 반영한 금형을 제작하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 플랜지 포밍 및 스프링백 해석 결과와 시제품 몰딩 패넬의 3 차원 측정 결과를 비교하였을 때, 패넬의 비틀림 경향과 들뜸량이 해석 결과와 거의 유사함을 알 수 있었다.

(2) 제품의 형상 변경 즉, 몰딩의 코너 부위의 플랜지 길이를 줄였을 때, 몰딩 패넬의 비틀림량은 감소하였으나 들뜨는 불량에는 아무런 영향이 없음을 알 수 있었다.

(3) 금형자동보정방식을 적용하여 포밍성형 후 몰딩 패넬의 들뜨는 불량을 해결하기 위한 금형보정량을 구하였으며, 실제 금형제작에 적용하여 성형한 제품의 치수는 해석결과와 매우 유사하게 나와 그 유용성을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 (주)나제의 중소기업기술혁신개발사업과 제 “금형자동보정방식을 이용한 SUS 소재 Surround Molding 부품개발”의 지원을 받았음.

참 고 문 헌

[1] Y. H. Kim, T. W. Kim, Y. S. Lee, J. H. Lee, 2004, A

- Study on the Springback of High-Strength TRIP Steel, Transactions of Material Processing, Vol. 13, No. 5, pp. 409~414.
- [2] J. H. Song, H. Huh, S. H. Kim, S. H. Park, 2005, Springback Reduction in Stamping of Front Side Member with a Response Surface Method, Numisheet 2005, American Institute of Physics, CP778, Volume A, pp. 303~308.
- [3] Jae Ho Lee, Dong Woo Kim, Sung Man Sohn,, Mun Yong Lee, Young Hoon Moon, 2007, Analysis of Springback of Sheet Metal(I): Based on the Residual Differential Strain, Transactions of Material Processing, Vol. 16, No. 7, pp. 509~515.
- [4] Jae Ho Lee, Dong Woo Kim, Sung Man Sohn,, Mun Yong Lee, Young Hoon Moon, 2007, Analysis of Springback of Sheet Metal(II): Experimental Validation of Analytical Model, Transactions of Material Processing, Vol. 16, No. 7, pp. 516~520
- [5] J. B. Yang., B. H. Jeon, S. I. Oh, 2000, A Study of the Springback Reduction in aluminum Sheet Forming Using Response Surface Method, Transactions of Material Processing, Vol. 9, No. 5, pp. 526~532.
- [6] S. H. Chang, J. M. Shin, D. G. Seo, 2003, Springback Characteristics of Tailor-Welded Strips in U-bending, Transactions of Material Processing, Vol. 12, No. 5, pp. 440~448.
- [7] W. Y. Yang, S. Y. Lee, Y. T. Keum, J. Y. Hwang, C. S. Yoon, C. S. Shin, W. S. Cho, 2003, Springback Control in the Forming Processes for High-Strength Steel Sheets, Transactions of Material Processing , Vol. 12, No. 8, pp. 718~723.
- [8] F. Pourboghrat, E. Chu, 1995, Prediction of springback and side-wall curl in 2-D draw bending, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 50, pp. 361~374.
- [9] W. D. Carden, L. M. Geng, D. K. Matlock, R. H. Wagnor, 2002, Measurement of springback, International Journal of Mechanical Sciences Vol. 44, pp. 79~101.
- [10] Luc Papeleux, Jean-Philippe Ponthot, 2002, Finite element simulation of springback in sheet metal forming, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 125-126, pp. 785~791.
- [11] W. Y. Yang, S. Y. Lee, Y. T. Keum, 2003, Initial Blank Design considering Springback Reduction, Transactions of Material Processing, Vol. 12, No.3, pp. 208~213.
- [12] J. J. Kang, S. K. Hong, H. K. Kim, Y. M. Heo, 2005, The Effect of Segmented Blank Holders on Reducing Asymmetric Springback of Anisotropic Sheet Metal in Shallow-Drawing, Transactions of Material Processing , Vol. 14, No. 4, pp. 392~398.
- [13] T. Dutton, R. Edwards, A. Blowey, 2005, Springback Prediction and Compensation for a High Strength Steel Side Impact Beam, Numisheet 2005, American Institute of Physics, CP778, Volume A, pp. 340~344.