

자동차용 모터케이스 성형용 멀티포머의 공정개선에 관한 유한요소해석

김형진¹, 배원병², 조종래³

Finite Element Analysis on Process Improvement of the Multi-Forming for the Motor-Case of an Automobile

H.J.Kim, W.B.Bae, J.R.Cho

Abstract

There are about 10 motors for the actuator of the automation system in an auto-mobile recently. The performance of the motor-case is much related to the noise and the vibration of an auto-mobile. Multi-Forming process is so much the better than existing deep-drawing or Multi-step forming by press by less cost, installation and staff. But there isn't the specific and general process design, so we aren't good at competition. So in the first step, I want to study about the core design for the multi-forming process. We can access by the elasto-plastic theory and the finite element method, and we use a commercial package of the Deform-2D and, Deform-3D which is based on three-dimensional elasto-plastic finite element, evaluated propriety of the package. The evaluation of the package propriety was simulated by simple bending example. It was found the elasto-plastic theory was mostly in agreement with the simulation. We proposed that three type of section for the core and analyzed by finite element method (Deform-2D). We can get the best result with the ellipse type core. Then we apply the result of the preceding analysis to the finite element method (Deform-3D). In 3D-finite element analysis, we can get the result of 8/100mm-roundness. This result can help the improvement of the multi-forming process.

Key Words : Multi-forming (멀티포밍), Motor-case (모터 케이스), Springback (탄성회복), FEM(유한요소해석)

1. 서론

자동차 산업은 우리나라가 보유하고 있는 세계적인 경쟁력 있는 산업 중 하나로 2002 년도에 국내 생산대수가 315 만대로 세계 5 위의 생산국이다. 최근 자동차는 운전자의 편의성을 향상시키고 모든 작동이 전자화 되고 있는 추세로 이를 위하여 필요한 동력부는 대부분 모터가 사용되고 있는데, 냉각팬, 에어컨, 블로우, 문 잠금장치, 안테나용 등 자동차 1 대에 현재는 평균 10 여개의 소형 직류 모터가 사용되고 있으며 점차 증가 추세에 있다. 모터 케이스의 형상 정도가 떨어질 경우

모터 회전 시 자력선의 변화에 따라 회전 불연속 현상이 발생하고 모터 중심이 어긋남에 따른 진동, 모터 축 베어링부의 수명 저하 등이 발생하여 자동차 전체의 진동 및 소음 발생에 큰 영향을 미치게 된다.

모터 케이스의 성형 방법은 초기에 프레스를 이용한 딥드로잉 방법을 이용하였으며, 그 후 프레스를 이용한 단단계 포밍방식으로 발전, 최근에는 멀티포밍 방식으로 발전하였다. 멀티포밍 방식은 코어를 중심으로, 캠으로 구동되는 동력부를 원주 방향으로 배치하여 판재를 원통형으로 성형하고 양 끝 부분을 퍼즐 락 (puzzle lock) 방식으로

1. 넥센타이어㈜

2. 부산대학교 기계공학부, wbbae@pnu.edu

3. 한국해양대학교 기계정보공학부 cjr001@hhu.ac.kr

고정으로 공법으로 국내에 최근에 도입된 공정으로, 기존의 방법에 비해 생산성, 가격 경쟁력, 정밀도, 품질안정성 측면에서 매우 우수한 제조 공법이다.

멀티포밍은 성형 해석 시 원통 직경에 비해 두께가 매우 얇으므로 성형 시 소성 변형뿐만 아니라 탄성거동이 지배적으로 일어나 스프링백 현상 [1]이 크게 일어나므로 성형 해석 시 탄소성 거동을 동시에 고려해야 한다[2]. 스프링백의 특성에 관한 연구는 1940 년대부터 현재에 이르기까지 국내외의 많은 학자들에 의하여 행하여져 왔다. 그러나 기존의 연구[3~6]는 일반적인 판재성형공정에서 제품의 스프링백과 잔류응력에 관한 연구에 치우쳐 있어 멀티포밍공정과 그에 따른 스프링백의 특성에 관한 연구는 전혀 없는 실정이다.

2. 2 차원 유한 요소 해석

2.1 모델링 및 해석조건

소재 및 금형의 모델링에는 CATIA V5 를 사용하였으며, 해석은 DEFORM 2D 및 3D 를 사용하였다. 해석에 사용될 물성치는 실제 제품에 적용되는 SS330 소재를 사용하였다.

Fig. 1 의 (a)는 예비 곡률을 만들기 위한 제 1 공정을 설명한 그림이고, (b)는 제 2 공정에서 4 공정까지를 나타낸 그림이다. 모든 공정단계 및 치수는 실제 공정과 동일하게 해석되었으며 코어는 진원형 과 타원형의 두가지 형태로 하여 탄성회복을 고려한 해석이 수행하였다.

2.2 결과 및 고찰

(1)진원형 코어의 경우

최종 제품의 반지름을 구한 결과 평균 39.25mm 임을 알 수 있었다. 최대 반지름은 41.00mm, 최소 반지름은 36.97mm 로 진원 정도가 4.03 mm 정도임을 알 수 있다. 즉 코어가 진원일 때, 스프링백이 많아 반지름이 증가함을 알 수 있으며, 부위별 스프링백을 정량화하고 예측하여 코어의 치수 제안이 필요하다.

(2) 타원형 코어의 경우

진원형에서의 해석을 참고로 하여 코어의 사이스를 최종 형상 대비 수직방향으로 10.83%줄여 32.92mm 로, 수평방향으로 3.49% 늘려 36.92mm 로

디자인하였다.

Fig. 2 는 제 4 공정까지 성형이 끝난 후 최종형상을 나타낸 것이다. 치수를 확인하면 수직방향으로 반지름이 34.23mm, 수평방향으로 반지름이 37.12mm 가 되었음을 알 수 있다. 즉 수직방향으로 3.99%, 수평방향으로 0.55%의 탄성회복을 하였다. 즉 타원형 코어설계 시 수직방향과 수평방향의 길이의 차는 약 3.5% (수직방향길이<수평방향길이) 이내로 설계되어야 함을 알 수 있다.

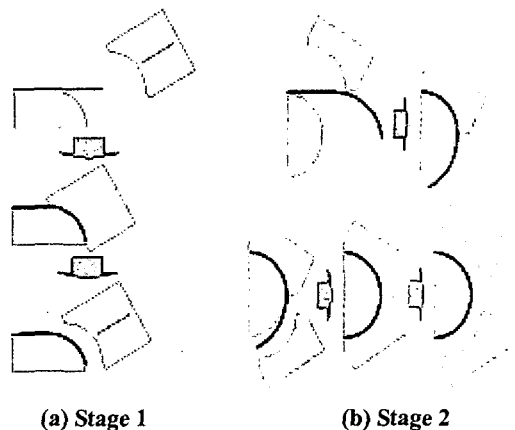


Fig. 1 Steps of multi-forming



Fig. 2 Results of 2D-analysis

Fig. 3 은 위의 결과를 적용하여 디자인된 코어를 이용하여 제 4 공정까지 성형해석을 마친 후 최종형상을 나타내고 있다 최종 성형 형상 정도와 최종 제품 형상을 비교한 결과 최대치는 0.044mm로서 양호한 정도를 나타내고 있다.

2.3 치수 및 재질 변화 적용

코어 디자인에 적용한 해석 결과를 최종 제품의 반지름이 20mm, 40mm 로 서로 다른 2 개의 제

품에 적용하여 해석 하였다. 그 결과는 Fig. 4 에 나타내었다. 반지름이 20mm 인 제품에서는 최대 0.05mm, 40mm 제품에서는 0.012mm 의 오차를 내었고, 해석 결과 두 제품 모두 양호한 값을 얻었으나, 반지름이 40mm 인 제품이 조금 더 양호한 값을 얻었다.

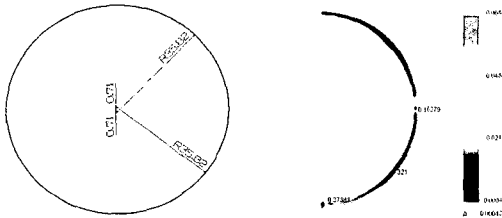


Fig. 3 New designed core and result

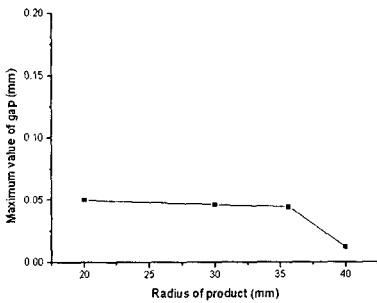


Fig. 4 Value of gap by radius of product

또한 다양한 재질에 관한 해석을 수행하였다. AISI 1010, AISI 1020, AISI 1030 그리고 AISI 1035 에 관해서 수행하였으며, 각 재료의 물성치는 Table 1 에 나타내었다. AISI 1010 은 위의 해석에 사용된 SS330 과 물성치가 비슷하여 거의 동일한 결과를 나타내고 있으며, AISI 1020 및 AISI 1030 은 해석 결과 허용치인 진원 정밀도 0.1mm 를 만족하나, AISI 1035 는 해석결과 하부 곡률부분의 탄성회복 정도가 최종 제품 치수 대비 반지름방향으로 최대 0.31mm 정도로 허용치에 만족하지 못했다. 그러므로 항복강도 175MPa 부터 240MPa 정도까지의 재질에 대해 위의 디자인 룰을 적용시킬 수 있다는 결과를 얻을 수 있었다. 결과에 대한 그래프를

Fig. 5 에 나타내었다.

Table 1 Material property 1

AISI	1010	1020	1030	1035
Sy (MPa)	180	205	240	275
Su (MPa)	310	380	440	495
E (GPa)	200			

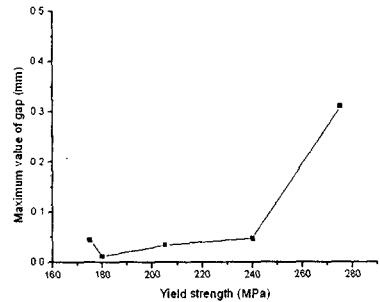


Fig. 5 Value of gap by yield strength

3. 3차원 유한 요소 해석

2 차원 유한 요소 해석에서 얻어진 최적의 타원형 코어를 적용하여 3 차원 유한 요소 해석을 수행하였다. 실제 공정에서 사용되는 판재는 스탬핑, 블랭킹과 같은 공정에 의해 단순한 형상을 가지지 않기 때문에 내부응력 또한 균일하지 않음을 예상할 수 있다. 그에 따른 탄성회복도 다르게 나타날 것으로 예상 된다. 3 차원 유한 요소 해석은 스탬핑, 블랭킹이 되고, 퍼즐락 부분을 단순하게 묘사한 실제 형상에 가까운 복잡한 형상의 판재를 사용하여 성형 해석을 수행한다.

3.1 모델링 및 해석조건

실제 제품에서의 탄성 변형량을 알아보고 그 결과를 정량적으로 분석하기 위하여 유한 요소 해석 프로그램인 DEFORM-3D 를 사용하여 소재의 탄성 거동을 분석하였다. 2 차원 유한 요소 해석을 통하여 최적화된 타원형 코어 형상을 적용하여, 3 차원 유한 요소 해석을 수행하였다. 실제 제품에 사용되는 소재의 형상은 대칭형이 아닌데다, 형상도 복잡하기 때문에 전체 모델링을 하였다

요소망은 Tetra mesh-linear type 을 사용하였다. 실

제 공정에서 소재의 운동을 구속하는 다이를 모사하여, 소재의 가장 내측 모서리를 기준으로 x 및 z 방향으로의 운동을 구속하였으며 다이는 변위로 제어하였다. 마찰계수는 냉간 가공이므로 0.12 로 설정하였다. 경계조건으로는 Master-Slave 경계조건으로 코어와 다이를 Master, 소재를 Slave 로 지정하였다. 끝단에 퍼즐 락을 모사하여 소재의 양 끝단에 대하여 x 방향으로의 운동을 구속하고 z 방향과 y 방향으로만 운동을 가능하게 하였다.

3.2 결과 및 고찰

Fig. 8 은 해석 결과를 나타내고 있다. 스프링백이 일어난 후의 반지름방향에 대한 스프링백 양을 나타내고 있다. 자유단이 많아 전체적으로 탄성회복이 일어났음을 알 절점 데이터를 추출하여 계산한 결과 진원 정밀도가 0.01mm 로써 상당히 양호한 결과라고 볼 수 있다.



Fig. 7 Results of complex model analysis

3 차원 유한 요소 해석 결과 형상에 따라서 차이가 있지만 상부보다 주로 하부에서 탄성회복이 일어났음을 알 수 있다. 실제모델에 가까운 스탬핑이나 블랭킹등이 있는 소재에서는 자유단이 많은 부분에서 탄성회복이 더 많이 일어났음을 알 수 있으며, 이는 진원정밀도에 큰 영향을 줄 수 있으므로, 최초 케이스의 형상 설계 시 고려가 필요하다.

5. 결론

본 연구에서는 자동차용 모터케이스 제작에 사용되는 공정인 멀티 포밍 공정에 관한 유한 요소 해석을 수행하였고, 코어의 형상에 따른 결과를 제시하여, 최고의 진원정밀도를 얻기 위한 최적의

코어형상을 제시하였다. 최적의 코어단면을 제안하기 위하여 DEFORM-2D 를 사용 하였고, 최적화된 단면 모델을 DEFORM-3D 적용, 해석 하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

1) 본 연구를 통하여 시행착오로 설계되고 있는 현재의 코어 디자인 공정을 개선하고자, 여러 가지 코어 형상에 대한 해석을 수행하고 검증하였으며, 그 결과를 바탕으로 코어형상을 디자인하여 최적의 코어를 제안하였다.

2) 최종 제품의 반지름에 대하여 수직방향 3.99%감소, 수평방향 0.55%증가시킨 타원형의 코어에 대하여 해석을 수행한 결과 최적의 결과를 얻을 수 있었다.

3) 제안된 코어형상은 반경이 20mm 이상 40mm 이하의 제품, 항복강도 175MPa 이상 240MPa 이하인 재질에 대해서 적용이 가능하다.

4) 제안된 코어형상에 관한 연구 결과를 향후 실험을 통해서 확인하는 추가 연구가 필요하다

참고문헌

- [1] F. Morestin, M. Boivin and C. Silva, "Elasto Plastic Formulation Using a Kinematic Hardening Model for Springback Analysis in Sheet Metal Forming", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 56, pp. 619-630, 1996.
- [2] M.V. Inamdar, P.P. Date and S.V. Sabnis, "On the Effects of Geometric Parameters on Springback in Sheets of Five Materials Subjected to Air Vee Bending", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 123, pp. 459-463, 2002.
- [3] K.Mattiasson, A.Strange, P.Thilderkvist and A.Samuelsson, "Spring back in Sheet Metal Forming", NUMIFORM '95, pp.115-124, 1995.
- [4] F. Pourboghra, E.Chu, "Prediction of spring-back and side-wall curl in 2-D draw bending", Journal of Materials Processing Technology 50, pp.361-374, 1995.
- [5] T.Kawaguchi, S.Imatani and K. Yamaguchi, "An elasto-Viscoplastic Finite Element Analysis of Sheet Metal Bending Process", J. JSTP, Vol. 35, pp.125-130, 1994.
- [6] 양동열, 이상욱, 윤정환, 유동진, "박관성형에서의 스프링백 해석과 산업적 응용", 한국소성가공학회지, 제 8 권 제 1 호, pp.22-28, 1998.