한국소성가공학회 2007년도 추계학술대회 논문집 pp. 271~274

전자제품용 전원 플러그의 사출-구조 연계해석

박형필[1,2]· 최권일[2,3]· 이영주[2]· 이병옥[2,#]· 차백순[1]· 홍석관[1]· 구본흥[3]

Structural Analysis in Conjunction with Injection Molding Analysis for Electrical Power Plug

H. P. Park, K. I. Choi, Y. J. Lee, B. O. Rhee, B. S. Cha, S. K. Hong and B. H. Koo

Abstract

Housing and insulation of electrical connectors are made of plastic resin by injection molding process. The metallic inner tube is easily deformed by high pressure during the injection process. In order to prevent deformation of the inner tube, it is desirable to simulate it by structural CAE analysis. However, it takes a long time to calculate the stress of the part by commercially available injection molding CAE software with sufficient accuracy. In this study, structural analysis in conjunction with injection molding analysis is proposed to improve accuracy of the structural analysis. Pressure distribution on the inner tube is predicted by the injection molding CAE analysis, and then mapped onto the mesh of structural analysis by a mapping algorithm developed in this study. As a result, reliable result is obtained in shorter time than the conventional method. The predicted deformation of the inner tube is compared with the actual part after experiment.

Key Words : Injection Molding(사출성형), Metal Insert Injection Molding(금속 인서트 사출성형), Structure Analysis(구조해석)

1. 서 론

외부전원 장치를 사용하는 대다수의 전기/전자제품은 교류를 직류로 변환하는 어댑터(adapter)를 사용하고 있다. 특히 다양한 전자제품 개발로 인하여 어댑터의 주요 부품인 전원 플러그의 생산량도 지속적인 증가를 보이고 있다. 일반적으로 전원 플러그는 황동 재질(C2680)로 만들어진 내부와 외부 중공핀으로 구성되어 있으며, 인서트 사출성형을 통하여 고온의 플라스틱 수지를 두 핀 사이로 충전하여 만들어 진다. 플라스틱 수지는 내부와 외부 중공핀 사이의 전기를 차단하는 절연체 역할을 한다.

Fig. 1 에는 전원 플러그 및 어댑터 생산과정을 간략히 나타내고 있다. 그러나 사출성형 중에 발생되는 높은 압력이 황동 재질의 중공핀에 작용하게 된다. 이때의 압력이 재료의 항복응력 이상으로 작용하여 중공핀이 소성변형을 일으키게 되면서 최종 제품의 불량을 유발하는 일이 빈번하게 발생되고 있다. 그러나, 내부 중공핀이 변형된 경우, 생산 중에 불량 여부를 외관으로 쉽게 판단할 수 없기 때문에 별도의 불량여부를 검사하는 작업을 실시하지 않으면, 불량 전원 플러그가 장착된 최종 제품이 소비자에게 전달되고 난 이후에 제품 불량이 발견되어 피해비용이 커지는 문제를 가지고 있다. 이와 비슷한 제품의 경우 일부 기업체에서는 상용 사출성형해석 프로그램을 이용하여 불량을 발생하는 성형조건을 예측하여 불량을 근본적으로 제거하려 노력하고 있다. 그러나 전원 플러그의 경우 대다수의 영세기업체에서 생산되고 있기 때문에 불량품 검사를 작업자의 전수검사를 통하여 선별하고 있는 실정이다.

1. 한국생산기술연구원 정밀금형팀
2. 아주대학교 기계공학부
3. (주)브이엠테크
교신저자: 아주대학교 기계공학과
E-mail : rhex@ajou.ac.kr

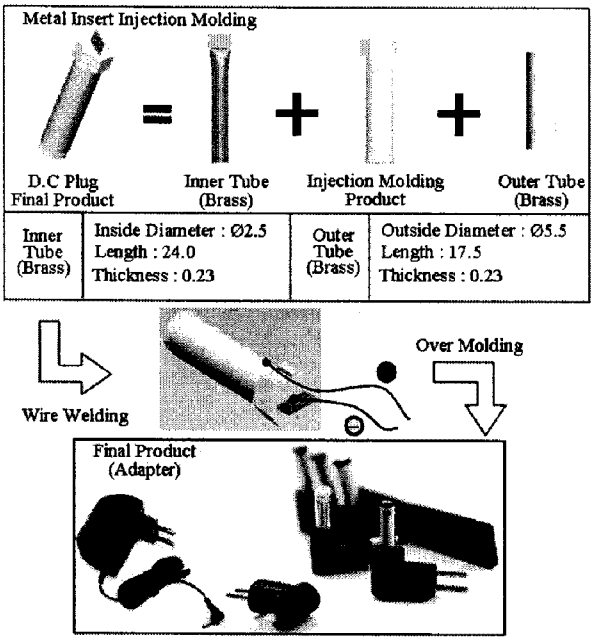


Fig. 1 Photo of Power Plug Jack

일반적으로 상용사출성형해석 프로그램을 이용하여 금속 부품의 변형을 예측할 경우에는 해석 시간이 오래 소요되고 해석 결과의 신뢰도에도 한계가 있기 때문에 프로그램의 활용도가 낮은 단점을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 사출성형 해석의 단점인 금속 부품 변형 예측 및 장시간 소요되는 해석 시간을 줄이기 위한 방법으로, 전자제품 전원 플러그를 대상으로 전용 구조해석 프로그램과 사출성형 해석의 연계를 위한 방법론을 제시하였다. 이를 위하여 1 차로 상용 사출성형해석 프로그램을 통한 전원 플러그의 사출성형 해석을 수행하여 성형압력 결과를 분석하였다. 분석한 사출성형의 압력 결과를 구조해석의 경계조건으로 적용하기 위한 Mapping 알고리듬을 개발하였으며, 개발된 알고리듬을 이용하여 전용 구조해석 툴에서 응력해석을 수행하였다. 이를 통하여 사출성형 시 발생되는 압력이 내부 중공핀에 미치는 영향을 알아보았으며, 특히 사출성형 중 발생되는 압력에 의한 금속 인서트 부품의 변형의 원인 및 대처방안에 대해 알아보았다.

2. 전원 플러그 금형 구조와 1차 구조해석

2.1 전원 플러그 인서트 사출금형 구조

전원 플러그 생산용 인서트 사출금형은 인서트 부품을 사출성형 전 금형 내에 정확히 위치시키기 위하여 별도의 치공구가 필요하게 된다. 치공구를 통하여 삽입된 금속 부품은 인서트 금형이 닫힘과 동시에 구동되는 슬라이드 블록에 의해서 Fig. 2 와 같이 내부 중공핀 끝 단이 성형된다. 성형된 중공핀은 치공구와 슬라이드 블록에 의해서 위아래가 고정되고, 이때 고온 고압의 수지가 충전되며, 다수개의 최종 제품이 완성된다.

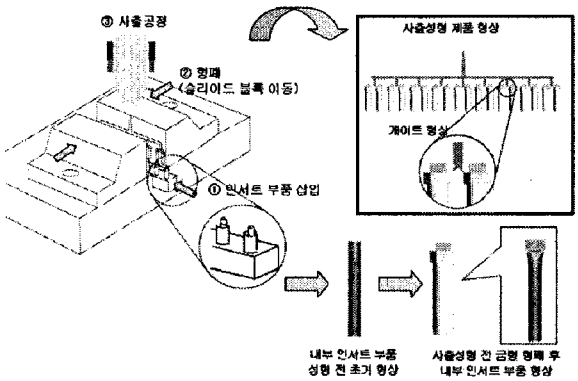


Fig. 2 Structure of metallic inserts molding

2.2 전원 플러그 내부 중공핀 성형해석

본 연구에서는 Fig. 3 과 같이 금형의 형상을 강체로 가정하였고, 내부 중공핀이 하단부의 치공구로 고정되기 때문에 하단부에 구속조건을 부여하였다. 해석결과 Fig. 3 과 같이 금형의 닫힘 과정 중 내부 중공핀의 성형과정을 확인할 수 있었으며, 성형된 최종 형상을 얻을 수 있었다. 이와 같은 내부 중공핀의 해석이 필요한 이유는 금형에 의해 성형된 금속 인서트의 형상을 별도로 모델링하지 않고 금형에 의한 소성변형 결과를 그대로 사용하여 결과의 정확성을 높이기 위해서이다.

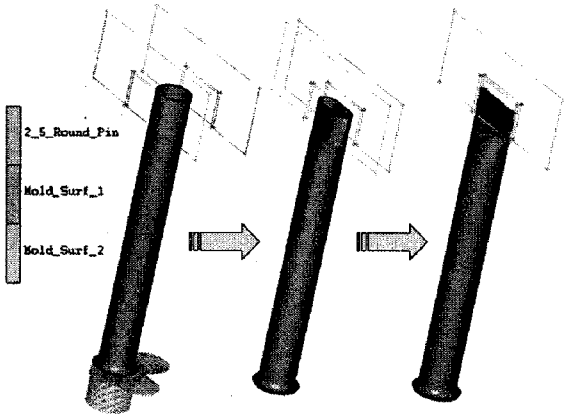


Fig. 3 Mold closing simulation of inner tube using forming analysis

Fig. 4(a)에는 실제 성형된 내부 중공핀을 측정한 형상을 보여 주고 있으며, 측정에 사용된 장비는 아이너스사의 3D Scanner 레이져 측정기를 사용하였다. Fig. 4(b)에는 성형해석을 통하여 얻어진 중공핀 형상을 나타내고 있다. Fig. 4(c)는 두 가지 결과를 비교한 것으로써, 형상 변화 부위에 최대 편차가 0.25mm 이내로 나타남을 확인하였다. 이 정도의 오차는 본 해석에 미치는 영향이 작은 것으로 확인하였으며, 형상의 차이가 발생되는 원인은 성형해석에서 스프링백 효과를 배제했기 때문으로 판단된다.

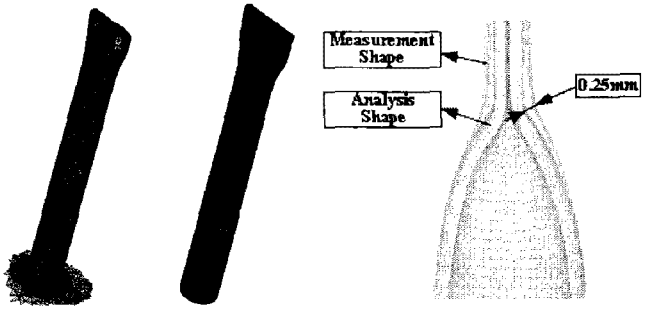


Fig. 4 Comparison of predicted shape with actual one measured by 3D laser measurement

3. 사출성형 해석 및 구조 연계 해석

3.1 전원 플러그의 사출성형 해석

1차 성형해석을 통하여 얻어진 내부 중공핀의 형상을 이용하여 Fig. 5(a)와 같이 금속 인서트 사출성형해석을 위한 유한요소 모델을 생성하였다. 본 해석은 사출성형 시 발생되는 사출압력에 의한 내부 중공핀의 변형 여부 판단을 위한 해석이므로 1개의 캐비티에 대해서 실시하였다. 사출성형 해석은 Moldflow사의 MPI6.1을 이용하였다. 선행 연구를 통해 내부 중공핀 변형은 충전 말기에 발생하는 높은 사출압력이 원인임을 확인하였다. 따라서 Table 1과 같은 조건으로 해석을 진행하도록 하였으며, 수지는 LG Chemical의 ABS HI-121을 사용하였다.

Table 1 Experiment conditions for power plug jack

Case No.	Melt Temp.(℃)	Injection Rate(cm^3/s)	Holding Pres.(%)	Holding Time(sec)
1	220	16.1	25	2
2			50	

Fig. 5(b)에는 보압이 다른 두 경우에 대한 사출성형해석 결과로써, 내부 중공핀의 동일 위치에서의 압력결과를 나타내고 있다. 보압의 변화로 인하여 중공핀이 받는 사출압력이 상당히 높고 두 경우의 압력 차이가 큰 것을 확인할 수 있다. 그러나 유동 및 보압해석을 통해서는 내부 중공핀의 변형 및 변형이 발생하는 임계점을 도출하기는 어렵다는 것도 알 수 있었다.

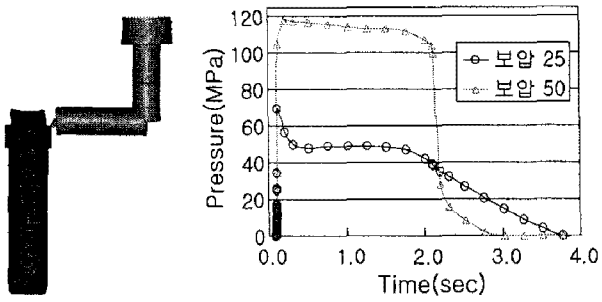


Fig. 5 Finite element model and result of injection pressure

3.2 사출성형결과의 구조해석 Mapping

사출성형해석에서 얻어진 압력 결과를 통한 내부 중공핀에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 전용 구조해석 프로그램을 이용해야 한다. 그러나 사출성형 중 발생되는 압력이 시간에 따라 변하고, 중공핀 각각의 요소에 작용하는 사출압력도 다르기 때문에 구조해석의 경계조건 적용은 어려운 문제로 알려져 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서 시간에 따른 사출압력 결과를 구조해석의 경계조건으로 입력 할 수 있는 Mapping 알고리듬을 개발하였다. 개발된 Mapping 프로그램은 사출성형해석 프로그램이 사출압력을 절점에 대하여 나타내기 때문에, 구조해석의 각각의 요소에 대한 면 압력으로 경계조건을 적용하기 위해서 Fig. 6와 같은 원리를 적용하였다.

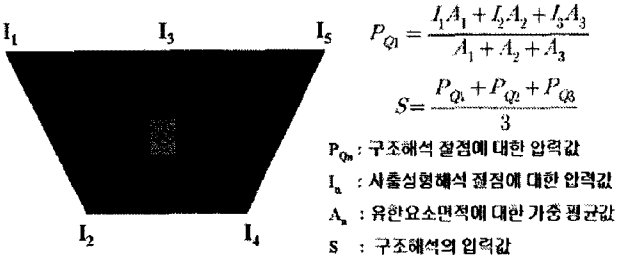


Fig. 6 Schematic of mapping algorithm

Mapping 순서를 살펴보면, 구조해석의 대상 제품과 맞닿는 플라스틱 수지제품에 해당하는 절점을 이용하여 삼각형 유한요소를 구한다. 이후 구

조해석에 해당하는 절점을 기준으로 생성된 유한요소 면적에 대한 가중평균값을 구하여 구조해석의 삼각형 유한요소를 형성하는 절점에 대한 값으로 계산한다. 마지막으로 구해진 구조해석의 절점값을 유한요소구성 절점수로 나누어 평균을 취한다. Fig. 7에는 경계조건이 부여된 전원 플러그의 내부 중공핀을 보여주고 있다. 경계조건이 부여된 요소 수는 28,450개이며, 각각의 요소에 사출압력을 Table화하여 부여하였다.

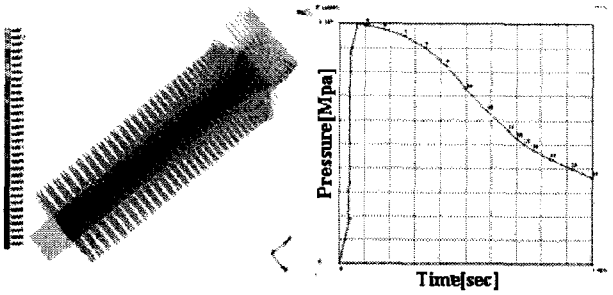


Fig. 7 Applied pressure boundary condition using mapping algorithm

3.2 구조해석 결과

Fig. 8과 Fig. 9에는 등가응력분포와 소성변형에 대한 구조해석 결과를 보여주고 있다. Fig. 8은 보압 25%의 경우이며, 내부 중공핀 상부의 형상 변화 부위에 응력이 집중적으로 작용하는 것을 볼 수 있으나, 소성변형은 전혀 발생되지 않았다. 따라서 보압 25%는 내부 중공핀의 소성변형을 발생시키지 않음을 확인 할 수 있었다.

Fig. 9는 보압 50%의 경우로써, 보압 25%와 동일한 위치에 응력이 집중적으로 발생되어 내부 중공핀이 소성변형을 일으켰음을 확인할 수 있다. 그러나 Fig. 9의 변형을 살펴보면, 내부 중공핀에 작용하는 압력이 재료의 항복점에 이르러 급작스럽게 변형되는 좌굴 현상을 일으키고 있음을 확인하였다.

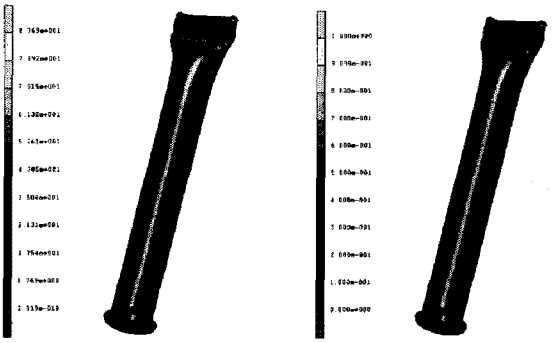
4. 결 론

본 연구에서는 전자제품 전원 플러그 내부 중공핀의 변형을 예측하기 위해 구조해석과 사출성형해석을 연동하여 해를 구했으며, 결과로서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 1차 구조해석을 통하여 내부 중공핀의 변형된 형상을 해석적으로 얻었으며, 측정형상과 비교했을 때 큰 차이가 나지 않음을 확인하였다.

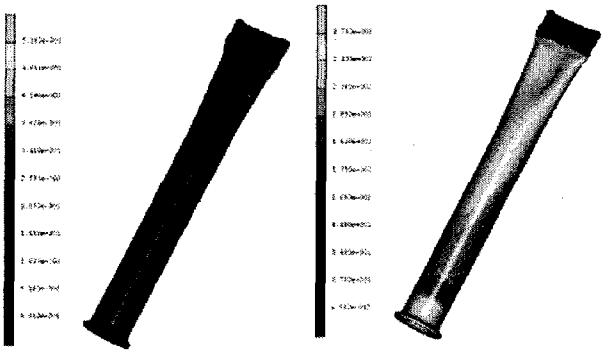
(2) 사출성형해석 결과인 압력을 구조해석의 경계조건으로 입력하기 위한 Mapping 알고리듬을 개발하였으며, 개발된 프로그램이 구조해석의 경계조건을 효과적으로 부여함을 확인하였다.

(3) 구조해석을 통하여 보압 크기에 따라 내부 중공핀의 소성변형 발생이 영향을 받음을 확인하였다.



(a) Stress distribution **(b) Plastic strain**

Fig. 8 Result of structure analysis for 25% holding pressure



(a) Stress distribution **(b) Plastic strain**

Fig. 9 Result of structure analysis for 50% holding pressure

후 기

본 연구는 한국생산기술연구원 현장생산기술자문사업의 지원에 의해 수행하였으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] D. M. Gupta, 2005, Prediction of core deflection in ceramic injection molding, ANTEC2005, pp.42～46.

[2] Shepard T. A et al., 1996, Minimizing Coreshift in Injection Moulded Containers, Plastics Engineering, Vol. 52, pp. 27~29