

BLDC 모터 고정자의 인서트 사출 성형에 관한 연구

최두순¹, 김홍석^{2*}

¹한국교통대학교 기계공학과, ²대구대학교 기계·자동차공학부

A Study on Insert Injection Molding for BLDC Motor Stator

Du-Soon Choi¹, Hong-Seok Kim^{2*}

¹Department of Mechanical Engineering, Korea National University of Transportation,

²School of Mechanical and Automotive Engineering, Daegu University.

요약 인서트 사출 성형은 용융 플라스틱을 인서트가 삽입된 금형에 주입하는 공정이다. 사출 과정 중에 인서트는 용융 플라스틱이 가하는 압력에 의해 변형될 수 있다. 인서트의 변형은 인서트 주변의 유로 폭을 변화시키고, 이것은 미성형이나 성형품의 뒤틀림 같은 심각한 결함을 야기시킬 수 있다. 인서트의 변형을 감소시키기 위해서는 게이트 시스템, 인서트 형상, 성형 조건 등을 성공적으로 설계해야 한다. 본 연구에서는 BLDC 모터 고정자의 사출 성형 시 발행하는 인서트의 변형을 수치해석을 통하여 분석하였다. 인서트 변형을 감소시키기 위하여 게이트 위치와 인서트 형상을 수정하였다. 마지막으로, 수정된 설계로 사출 성형을 수행하고, 변형이 감소되었음을 확인하였다.

Abstract Insert injection molding is a process in which molten plastic is injected into a mold that contains a pre-placed insert. During the injection stage, the insert can be deformed by the pressure applied by the polymer melts. The deformation of the insert changes the width of the flow path around the insert, which can cause several defects such as short shots or warpages of the parts. In order to reduce the deformation of the insert, it is important to achieve successful design of gating system, insert geometry, and molding conditions. In the present study, the insert deformations that occurred during the injection molding of the BLDC motor stator were investigated by numerical analyses. The gate location and the insert shape were modified to reduce the insert deformation. Finally, the injection molding with the modified designs was carried out, and it was confirmed that the insert deformation was reduced.

Keywords : BLDC motor, Insert deformation, Injection molding

1. 서론

BLDC 모터 (brushless DC motor)는 DC 모터에서 브러쉬, 정류자 등 기계적인 접촉부를 없애고 이것을 전자적인 정류 기구로 대신한 DC 모터이다. 이것은 보통 전자적으로 구성된 고정자, 영구자석으로 구성된 회전자, 회전 시 전류의 방향을 제어하는 전자 제어부의 세 가지로 구성된다. 기계적 브러쉬 대신 전자적 제어 시스템을 사용하므로, 브러쉬의 마모나 마멸이 없고, 스파크

나 전기노이즈 등이 적다는 장점이 있다. 따라서 고속회전 및 고투크 구현이 가능하고 신뢰성이 높으며, 가볍고 얇은 소형의 형태로 제작 가능하여 다양한 분야에 활용되는 모터이다.

이처럼 다양한 환경에서 사용되는 BLDC 모터는 절연, 습기, 열충격, 강도 등 고도의 신뢰성이 요구되며, 이러한 신뢰성 확보를 위하여 모터의 고정자와 회전자를 열경화성 수지나 열가소성 수지로 패키징하는 것이 일반적이다. 그러나 열경화성 수지를 이용할 경우에는 고온

*Corresponding Author : Hong-Seok Kim(Daegu Univ.)

Tel: +82-53-850-6683 email: kimkong@daegu.ac.kr

Received July 31, 2015

Revised August 21, 2015

Accepted September 11, 2015

Published September 30, 2015

성형으로 인한 긴 사이클 타임, 과도한 설비투자 등의 문제점이 발생하므로 열가소성 수지를 이용한 공정이 더욱 경제적이다. 일반적으로 인서트 사출성형이 이러한 패키징 공정으로 적용되고 있다.

인서트 사출성형은 성형품의 보강, 부품의 부착 또는 전기 회로의 형성 등을 위하여 미리 금형에 금속 또는 기타 재질의 인서트를 삽입하고 사출 성형하여 일체화된 제품을 생산하는 공정이다[1-3]. 인서트는 금속, 플라스틱, 혹은 여러 부품으로 이루어진 조립품 등이 될 수 있다. 이러한 인서트 사출성형은 전원플러그나 확장카드, 금속 너트부 등의 제작에 폭넓게 사용되고 있다.

그러나, 삽입된 인서트는 사출 공정 중에 가해지는 용융 수지의 압력으로 인하여 변형이 발생할 수 있다. 인서트의 변형은 인서트 주변의 수지 유동 경로의 폭을 변화시키고, 결과적으로 미성형이나 뒤틀림 등의 사출불량을 발생시키게 된다. 이러한 인서트의 변형을 방지하기 위해서는 금형설계, 공정제어 뿐 아니라 인서트 형상 설계 또한 효과적으로 이루어져야 한다.

본 연구에서는 BLDC 모터 고정자의 인서트 사출 성형 공정 시에 발생하는 인서트의 변형을 예측하기 위하여 상용 해석 프로그램인 Moldflow를 이용하여 3차원 해석[4]을 수행하였다. 해석 결과를 토대로 인서트 사출 성형 공정 시에 발생할 수 있는 문제점을 예측하였고, 이를 개선하기 위한 게이트 설계, 인서트 형상설계를 개선하였다. 또한, 개선된 설계안을 적용한 사출성형 실험을 수행하고, 이러한 문제점이 해결된 것을 확인하였다.

2. 수치 해석

2.1 초기 설계안 해석

본 연구에서는 사용된 인서트는 Fig. 1에 나타난 것과 같이 고정자와 전자회로기판이 결합된 형태로 이루어져 있다. 고정자는 안지름 31 mm, 바깥지름 58 mm의 크기를 가지며, 전자회로기판은 1.5 mm의 두께를 가진다.

수치해석을 위하여 인서트부와 사출성형부는 Fig. 2와 같이 모델링되었다. 사출에 사용된 수지는 폴리프로필렌(polypropylene, PP)이며, 수지의 점성 모델과 PVT 모델에 사용된 계수들은 Table 1과 2에 나타내었다.



Fig. 1. An assembly of a stator and an electronic circuit board.

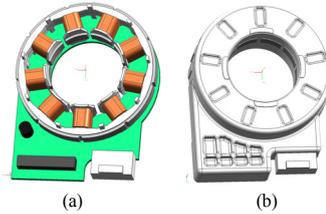


Fig. 2. 3D modeling of (a) the inserted part and (b) the molded part.

Table 1. Cross WLF Model Coefficients for PP

| Coefficients | Value |
|---------------|------------------------|
| n | 0.226 |
| τ^* (Pa) | 60572.8 |
| D_1 (Pa·s) | 5.611×10^{12} |
| D_2 (K) | 263.15 |
| D_3 (K/Pa) | 0 |
| A_1 | 27.289 |
| A_2 (K) | 51.6 |

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 + \left\{ \frac{\eta_0 \dot{\gamma}}{\tau^*} \right\}^{1-n}}, \quad \begin{array}{l} \eta : \text{viscosity} \\ T : \text{temperature} \\ p : \text{pressure} \\ \dot{\gamma} : \text{shear rate} \end{array}$$

$$\eta_0 = D_1 \exp \left[- \frac{A_1 (T - T^*)}{A_2 + (T - T^*)} \right], \quad T^* = D_2 + D_3 p$$

Table 2. 2-Domain Modified Tait PVT Model Coefficients for PP

| Coefficients | Value |
|----------------------------------|------------------------|
| $b_{1,m}$ (m ³ /kg) | 9.196×10^{-4} |
| $b_{2,m}$ (m ³ /kg·K) | 5.66×10^7 |
| $b_{3,m}$ (Pa) | 1.001×10^8 |
| $b_{4,m}$ (K ⁻¹) | 4.543×10^3 |
| $b_{1,s}$ (m ³ /kg) | 8.685×10^{-4} |
| $b_{2,s}$ (m ³ /kg·K) | 3.823×10^7 |
| $b_{3,s}$ (Pa) | 1.281×10^8 |
| $b_{4,s}$ (K ⁻¹) | 7.251×10^3 |
| b_5 (K) | 451.15 |
| b_6 (K/Pa) | 2.8×10^{-8} |

$$v(T, p) = v_0(T) \left[1 - 0.0894 \ln \left(1 + \frac{p}{B(T)} \right) \right]$$

$$v_0(T) = \begin{cases} b_{1,m} + b_{2,m}(T - b_5) & \text{for } T > T_t \\ b_{1,s} + b_{2,s}(T - b_5) & \text{for } T \leq T_t \end{cases}$$

$$B(T) = \begin{cases} b_{3,m} \exp\{-b_{4,m}(T - b_5)\} & \text{for } T > T_t \\ b_{3,s} \exp\{-b_{4,s}(T - b_5)\} & \text{for } T \leq T_t \end{cases}$$

$$T_t = b_5 + b_6 p$$

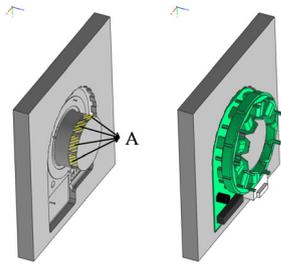


Fig. 3. Placement of the inserted part in the mold.

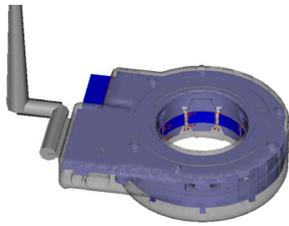


Fig. 4. Initial design of the gate system.

Fig. 3은 금형 내에서의 인서트물의 장착방식을 나타낸다. 고정자가 Fig. 3의 A 부분에 고정되며 전자회로기판은 단지 고정자에만 부착되어 고정된다. 인서트물의 거의 모든 표면이 사출 후 플라스틱으로 감싸져야 하기 때문에 인서트물과 금형과의 접촉면이 매우 적을 수밖에 없고, 따라서 인서트물의 고정은 매우 불안정하다. 이러한 불안정한 고정방식은 사출 공정 중에 인서트물이 쉽게 변형되는 원인이 된다.

Fig. 4는 게이트 시스템의 초기 설계안을 보여준다. 폭 17 mm, 두께 1 mm의 사이드 게이트가 1개 적용되었다. 사출 성형 조건은 수지 용융 온도 230 °C, 금형 온도 30 °C, 사출 시간 3 sec로 설정하였다.

주어진 게이트 시스템과 성형조건을 적용하여 상용 해석 소프트웨어인 Moldflow를 사용한 3차원 성형해석을 수행하였다[4]. 해석 결과 얻어진 충전 패턴과 인서트물의 변형을 Fig. 5와 6에 나타내었다.

Fig. 5에 나타난 바와 같이 대부분의 용융 고분자는 인서트의 아래쪽 영역으로 유입되었다. 이것은 아래쪽 영역의 유로두께가 더 두꺼워 유동저항이 작게 발생하기 때문이다. 아래쪽 영역으로 치우친 유동양상은 인서트의 아랫면에 압력을 가해 인서트를 위쪽으로 변형시켰고, 이로 인하여 위쪽 영역의 유로두께가 감소하여 유동저항이 증가하고 결과적으로 미성형이 발생하였다.

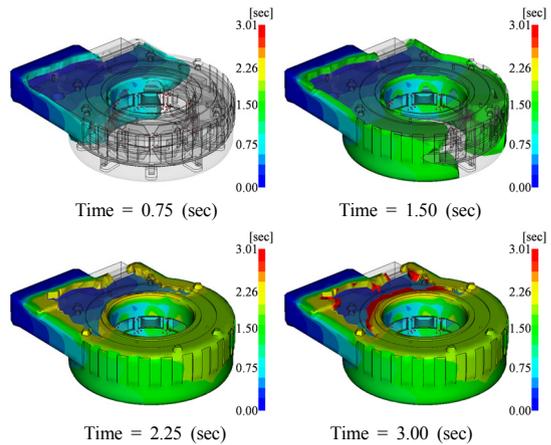


Fig. 5. Filling patterns with the initial gate system.

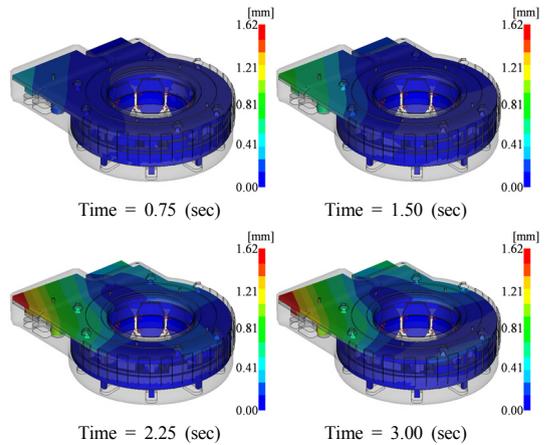


Fig. 6. Deformation distributions of the inserted part.

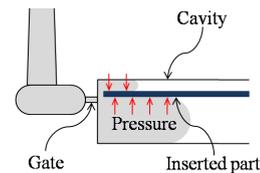


Fig. 7. Schematic diagram of the pressure distribution in the cavity.

Fig. 6에 나타난 인서트의 변형분포를 살펴보면 충전 시 높은 압력이 발생하는 게이트 주변에서 인서트가 위쪽 방향으로 1.62 mm까지 변형되었음을 알 수 있다. 이러한 변형은 충전과정 동안 받게 되는 인서트의 윗면과 아랫면에서의 압력 차이 때문에 발생한다.

Fig. 7에 나타난 바와 같이 인서트 아래쪽 영역으로 유입된 유동은 인서트에 위쪽 방향의 압력을 가하고, 위

쪽 영역으로 유입된 유동은 아래쪽 방향으로 압력을 가한다. 유동이 아래쪽 영역으로 치우치게 되면 아래면이 받게되는 힘이 더 커져서 결과적으로 인서트는 위쪽 방향으로 변형하게 된다. 이러한 변형은 위쪽 영역의 유로를 더 좁게 만들게 되고 아래쪽 영역의 유로를 더 넓게 만들어 유동은 더욱더 아래쪽 영역으로 치우치게 된다. 결과적으로 위쪽 영역에는 유동지연으로 인한 미성형이 발생하게 된다.

이러한 문제점을 해결하려면, 용융 고분자가 인서트물의 위쪽과 아래쪽을 통하여 균형있게 충전되어야 할 것이다.

2.2 게이트 시스템의 설계 개선

예측된 문제점을 개선하기 위하여 Fig. 8과 같이 게이트 시스템의 설계를 개선하였다. 게이트 위치를 그림상의 오른쪽으로 이동시켰고, 유동이 인서트의 위아래 방향으로 고르게 분산되도록 하기 위하여 게이트의 크기를 두께방향으로 15 mm로 증가시켰다.

개선된 게이트 시스템을 적용하여 수치해석을 수행하여 얻어진 충전패턴을 Fig. 9에 나타내었다. 결과를 살펴보면 게이트 시스템의 설계 개선에도 불구하고, 대부분의 유동은 여전히 인서트의 아래쪽 영역으로 치우쳐 있고, 결과적으로 위쪽 영역에 또다시 미성형이 발생하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 10에 나타난 인서트의 변형분포는 초기 게이트 시스템의 경우와 비슷하게 위쪽 방향으로의 변형이 발생함을 보여준다. 그러나 인서트의 변형은 아래쪽 영역의 유동이 왼쪽 부분에 다다르기 전 (time = 2.25 sec)에는 거의 발생하지 않다가 유동이 다다른 이후 급격하게 발생하였다. 이러한 점을 고려할 때, 초기 게이트 시스템보다는 미약하게나마 더 나은 유동 특성을 보인다고 판단할 수 있다. 그러나 여전히 인서트의 변형 및 미성형이 발생하고 있기 때문에 이러한 문제점을 해결할 수 있는 방법이 필요하다.

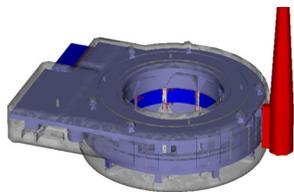


Fig. 8. Modified design of the gate system.

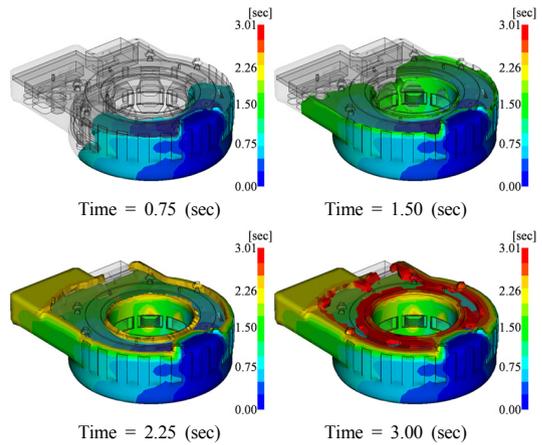


Fig. 9. Filling patterns with the modified gate system.

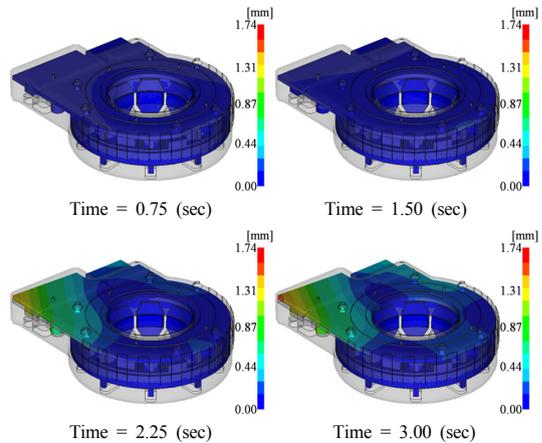


Fig. 10. Deformation distribution of the inserted part with the modified gate system.

2.3 인서트 형상 설계 개선

인서트의 위쪽 영역에서 발생하는 미성형 문제를 해결하기 위해서는 유동이 위쪽 영역으로 유입될 수 있는 추가적인 유동 경로가 필요하다. 본 연구에서는 인서트의 전자회로기판에 구멍을 가공하여 이러한 추가적인 유동 경로를 생성시켰다. 이러한 구멍은 인서트의 위쪽 영역과 아래쪽 영역을 연결하는 직접적인 유동 경로로써 작용할 뿐만 아니라, 압력을 받는 면적을 감소시켜 주는 역할도 수행하므로 인서트의 변형 감소에도 도움을 줄 수 있다.

가공할 구멍의 위치는 전자회로를 손상시키지 않도록 Fig. 11과 같이 결정하였다. 개선된 인서트에 Fig. 8의

게이트 시스템을 적용하여 성형 해석을 수행하였다.

Fig. 12는 해석 결과 중 유동 패턴을 나타낸다. 결과에서 알 수 있듯이 구멍을 통한 유동으로 인해 인서트물의 위쪽 영역과 아래쪽 영역이 거의 균일하게 충전되고, 미성형이 발생하지 않음을 알 수 있다.

Fig. 13은 인서트의 변형분포를 나타내며, 변형량이 0.29mm로 크게 감소하였음을 확인할 수 있다.

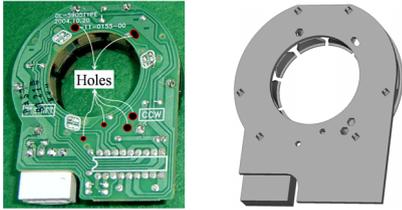


Fig. 11. Design modification of the inserted part by making holes.

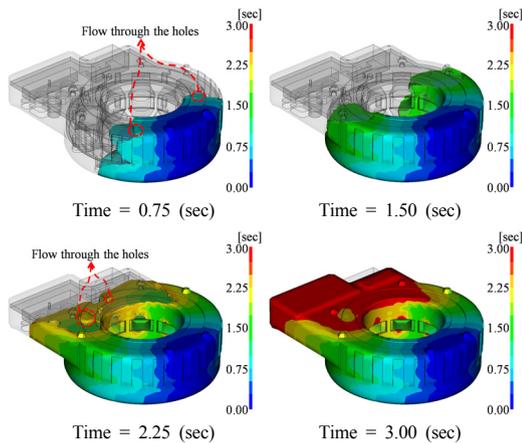


Fig. 12. Filling patterns with the inserted part with holes.

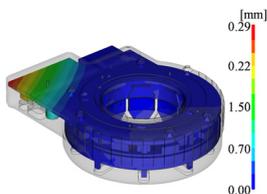


Fig. 13. Deformation distribution of the inserted part with holes.

이러한 수치해석 결과로부터, 전자회로 기판에 구멍을 내어 인서트물의 위쪽 영역과 아래쪽 영역을 연결해 준 것이 유동의 균형을 맞추어, 인서트물의 변형을 방지하고 미성형 문제를 해결하는데 매우 효과적임을 확인하였다.

3. 사출 성형 실험

수치 해석 결과를 확인하기 위하여 인서트 사출 성형 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 사출기는 고려정밀(주)의 75 ton 사출기인 KCA-75 가 사용되었다. 성형 조건은 해석에서의 조건과 동일한 용융수지 온도 230 °C, 금형 온도 30 °C, 사출 시간 3 sec로 설정하였다.

Fig. 14와 Fig. 15는 각각 Fig. 4와 Fig. 8의 게이트 시스템을 적용하고, 구멍을 가공하지 않은 인서트를 삽입하였을 때의 성형품을 나타낸다.

각 경우의 충전양상이 수치해석 결과와 잘 일치하고 있다. 두 경우 모두 인서트의 위쪽 영역에서 미성형이 발생하였고, 인서트의 왼쪽 영역이 위쪽으로 휘어지는 변형이 발생함을 확인하였다.

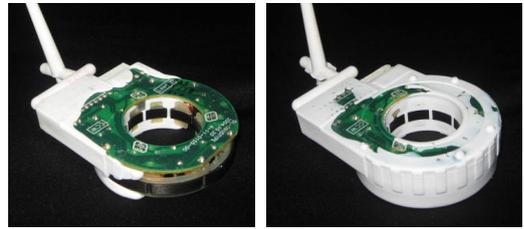


Fig. 14. Experimental results of insert injection molding using the initial gate system.

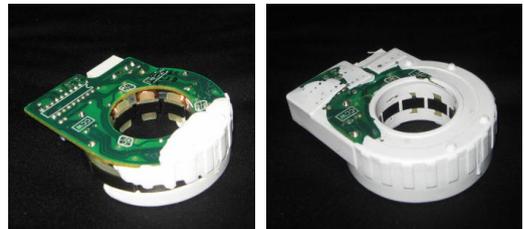


Fig. 15. Experimental results of insert injection molding using the modified gate system.



Fig. 16. Experimental results of insert injection molding using the inserted part with holes.

Fig. 16은 개선된 게이트 시스템과 구멍이 가공된 인서트를 삽입하여 성형하였을 경우의 최종 성형품을 나타낸다. 모든 영역에 수치가 잘 충전되었고, 미성형 등의 불량 발생하지 않음을 확인할 수 있다.

이러한 사출 성형 실험 결과로부터 수치해석 결과가 인서트 사출 성형에서 발생하는 불량을 잘 예측하고 있으며, 개선된 게이트 시스템과 인서트 형상 개선이 사출 불량 해소에 매우 효과적임을 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 BLDC 모터의 인서트 사출 성형에 대하여 수치해석 및 실험을 수행하였다. 이러한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 인서트의 변형을 고려한 3차원 유동해석을 통하여 사출 시 발생하는 문제점의 원인을 분석하였다.
- 2) 성형 시 발생하는 문제점인 인서트의 변형과 이로 인한 미성형 불량을 해결하기 위하여 유동의 분산을 유도하는 게이트 시스템을 재설계하였고, 인서트 위아래의 유동균형을 맞추기 위하여 인서트에 구멍을 가공하여 양쪽간의 유로를 확보하였다.
- 3) 개선된 설계안을 적용한 인서트 사출 성형의 수치해석을 통하여, 인서트물의 변형 및 미성형 문제가 해결되었음을 확인하였다.
- 4) 설계 개선 전과 후의 사출 성형 실험을 수행하여, 제안된 설계 개선안이 사출 불량 해소에 매우 효과적임을 확인하였다.
- 5) 본 연구에서 수행된 수치해석과 설계 개선안은 여러 가지 인서트 사출 성형 시 발생가능한 문제점을 예상하고 해결안을 찾는 데 도움이 될 것으로 기대된다.

References

[1] T. J. Lho, K. S. Kim, "A Study on Implementation of AI-Inserted Plastic Injection Molding Process for Automobile Interior-Parts," *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 25, No. 5, pp. 43-51, 2008.

[2] H. L. Chen, S. C. Chen, W. H. Liao, R. D. Chien, Y. T. Lin, "Effects of insert film on asymmetric mold temperature and associated part warpage during in-mold decoration injection molding of PP parts," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 41, pp. 34-40, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2012.11.002>

[3] D. G. Ahn, D. W. Kim, "Injection Molding Analysis of Battery case considering the Insert Deformation," *Proc. of the KSME Autumn*, pp. 1107-1112, November, 2008.

[4] Matt Jaworski, Simulation of Core Shift and Injection Molding Machine Clamp Over - Tonnage Using Moldflow Plastic Insight, Moldflow Pty. Ltd., pp.2-12, 2005.

최 두 순(Du-Soon Choi)

[정회원]



- 1999년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과 (기계공학석사)
- 2005년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과 (기계공학박사)
- 2005년 5월 ~ 2008년 2월 : LG화학 Tech Center 과장
- 2008년 3월 ~ 2013년 9월 : 인하공업전문대학 기계설계과 교수
- 2013년 10월 ~ 현재 : 한국교통대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

소성가공, 사출성형, CAE해석

김 흥 석(Hong-Seok Kim)

[정회원]



- 1994년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과 (기계공학석사)
- 1998년 8월 : 한국과학기술원 기계공학과 (기계공학박사)
- 1998년 10월 ~ 2000년 3월 : 현대전자 과장
- 2000년 4월 ~ 2002년 8월 : 현대오토넷 과장
- 2002년 9월 ~ 현재 : 대구대학교 기계·자동차공학부 교수

<관심분야>

사출성형, 소성가공, 금형설계