

귀 체온계 측온부의 이중 사출 공정 최적화에 관한 연구

백승익¹ · 정육철¹ · 김인관² · 신광일² · 김태완[†]
부경대학교 기계공학과^{1,†} · (주)이즈프로브 기술연구소²

A study on optimization of the double injection process for temperature measuring part of an ear thermometer

Seung-Ik Baek¹ · Wuk-chul Joung¹ · In-Kwan Kim² · Kwang-Il Shin² · Tae-Wan Kim[†]

Mechanical Engineering, Pukyong National University^{1,†} · Is-Probe, inc.²

(Received February 14, 2022 / Revised March 30, 2022 / Accepted March 31, 2022)

Abstract: The importance of fast and accurate body temperature measurement with a portable thermometer is increasing. In order to reduce the temperature measurement response time of the infrared ear thermometer, it is very important to develop a structure for a thermometer having an efficient heat transfer path. Most of the existing ear thermometers are single structures that do not consider thermal efficiency, which may delay measurement time and reduce measurement accuracy. Therefore, in this study, the upper part of the thermometer in contact with the ear is made of a thermally conductive material, and the lower part of the thermometer is made of a thermal barrier material so that heat can be concentrated on the infrared sensor of the thermometer by blocking the upper part of the heat. For the efficiency of production, it was intended to be manufactured through the double injection process, and for this purpose, in this paper, the optimal process parameters were derived through the double injection process analysis.

Key Words: Double Injection Process, Ear Thermometer, Injection Molding Anslysis

1. 서 론

사출 성형공정에서 이중의 재질을 1차, 2차에 걸쳐 사출하여 최종 제품을 제작하는 이중사출 성형(double-shot injection molding) 기술을 이용하여 제품의 원가절감 및 품질 향상을 꾀하고자 하는 시도가 많이 되고 있다¹⁻³⁾. Islam 등⁴⁾은 이중사출 공정시 이중의 고분자 수지간의 결합 강도에 대한 연구를 수행하였고 Shin 등⁵⁾은 렌즈를 포함한 이중 사출 성형 공정에서 웰드라인을 최소화하는 연구를 수행하였으며 Ahn 등⁶⁾은 이중 사출 성형해석을 통해 컴퓨터 마우스의 공정조건을 결정하는 연구를 수행하였다. 최근에는 안경테를 제작함에 있어 무코팅 이중사출

성형을 통해 공정을 줄이는 연구도 수행되었다⁷⁾.

최근 코로나 바이러스감염증에서 볼 수 있듯이 감염질환 대부분의 일차적 진단은 체열 측정에 의존함에 따라 휴대용 체온계의 빠르고 정확한 체온 측정의 중요성은 증대되고 있다. 적외선 귀체온계의 온도 측정 반응시간을 줄이기 위해서는 효율적인 열전달 경로를 갖는 측온부 구조의 개발이 매우 중요하다. 기존의 귀 체온계 측온부의 대부분은 열효율을 고려하지 않은 단일 구조체로 이는 측정시간의 지연 및 측정의 정확도를 저하시킬 우려가 있다. 따라서 본 연구에서는 귀 체온계 측온부를 귀와 접촉되는 측온부 상부는 열전도성 소재로 하고 측온부 하부는 상부의 열을 차단하여 측온부 적외선 센서에 열이 집중될 수 있도록 열차단성 소재를 사용하여 제작하고자 하였다. 생산의 효율성을 위해서 이중 사출공정을 통해 제작하고자 하였으며 이를

1. 부경대학교 기계공학과

† 교신저자: 부경대학교 기계공학과

E-mail: tw0826@pknu.ac.kr

위해 본 논문에서는 이중 사출 공정 해석을 통해 최적의 공정 파라미터들을 도출하고자 하였다.

2. 사출성형해석

본 연구에서는 Fig. 1에 보인 바와 같이 상부에 열전도성 소재가 배치되고 하부에 열차단성 소재가 배치된 귀 체온계를 이중 사출성형을 통해 제작하고자 하였다. Fig. 2는 귀 체온계 측온부 제작을 위한 금형의 형상을 보인 것으로 우측 금형에서 측온부 상부를 1차 성형하고 상형 금형을 이동하여 측온부 하부를 2차 성형하는 구조이다. Fig. 3은 1차 및 2차 금형의 러너 시스템의 형상을 도시한 것으로 1차 및 2차 금형 각각 4개의 캐비티로 2개씩 대칭으로 배치되어 있다.

사출 성형 해석은 MOLDEX 3D Flow를 이용하였다. 측온부 상부를 1차 사출하고 1차 성형부를 인서트로 가정하여 오버 몰딩 해석 모듈을 통해 하부를 2차 사출해석을 실시하였다. Table 1은 해석에 사용된 수지를 나타낸 것인데, 1차 성형시에는 ABS 수지에 카본 파이버가 10% 함유된 Stylac-ABS IC24 수지를 사용하였고 2차 성형시에는 ABS 수지를 사용하였다.

Table 1 Material properties of Stylac-ABS IC24 and ABS

Properties	Stylac-ABS IC24	ABS
Conductivity, W/(m·°C) @ 250 °C	0.22	0.15
Specific heat, J/(kg·°C) @ 250 °C	2371	1968
Melt Density, g/cm ³	0.958	0.928
Ejection Temperature, °C	93	89

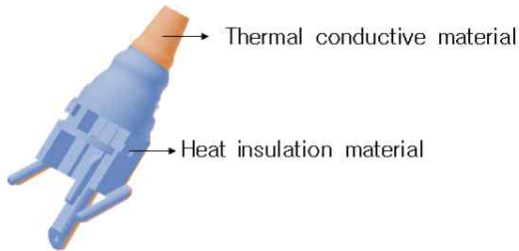


Fig. 1 Structure of Temperature measuring part of an ear thermometer

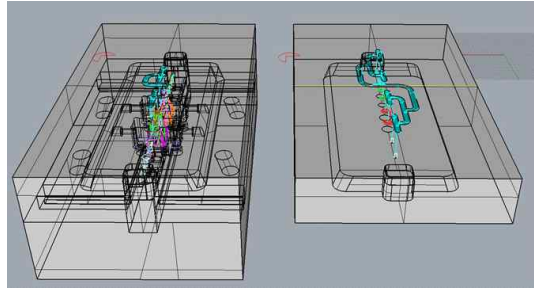


Fig. 2 Design of double shot mold

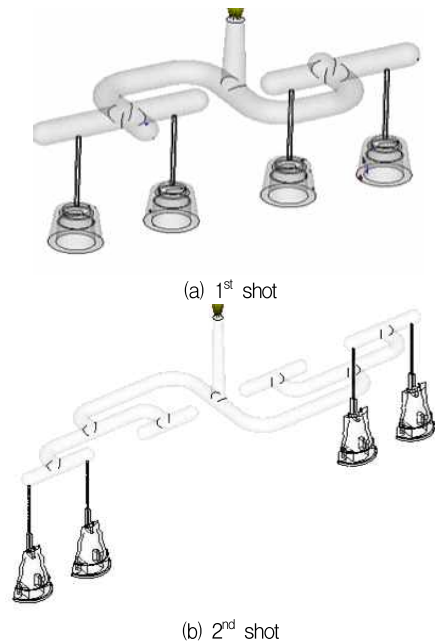


Fig. 3 Results of double shots injection molding simulation(left: 1st shot, right: 2nd shot)

3. 사출 성형 해석 결과

Table 2는 각 단계 별 사출 해석조건을 나타낸 것으로 1차 및 2차 성형 모두 동일한 조건으로 해석을 수행하였다.

Table 2 Analysis conditions of double shots injection molding

Stage	Melting Temp. of resin (°C)	Mold Temp. (°C)	Cooling Temp. (°C)
1st shot	250	60	20
2nd shot	250	60	20

Fig. 4에서 Fig. 9까지는 1차 2차 사출성형 해석 결과를 도시한 것이다. Fig. 4의 Fill time은 충전시간의 해석결과로 최초 수지가 주입되는 시점에서 완료되는 시점까지 걸리는 시간이 1차 성형 시 약 1.1초, 2차 성형 시 약 1.3초 정도가 소요됨을 확인할 수 있다. 두 경우 모두 1.3초내의 시간에 완전 충전이 일어나 게이트 위치의 선경이 적절한 것으로 나타났다. Fig. 5는 충전 완료시점에서 제품의 고화정도를 나타낸 결과이다. 고화도가 1에 가까워지면 수지의 유동정체가 발생하여 선단의 급격한 온도강하를 유발하여 미성형 등의 문제점이 발생할 수 있다. 본 해석의 1차 성형에서는 최대 0.069, 2차 성형에서는 최대 0.076 정도의 고화도로 매우 낮은 수치를 보이고 있어 성형성이 우수할 것으로 판단된다. Fig. 6은 수지가 금형에 충전되는 동안 온도를 보여준 결과로 1차 성형에서는 245°C, 2차 성형에서는 252°C 정도의 최대 온도를 보이며 늦게 충전되는 부분에서 3% 이내의 온도 강하가 발생됨을 알 수 있다.

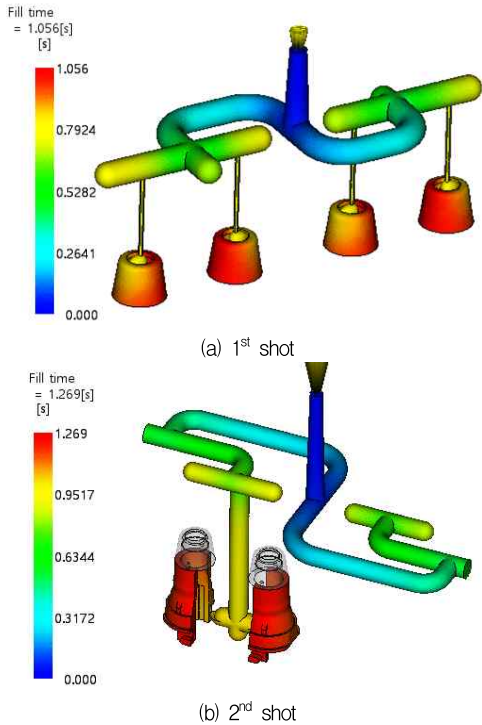


Fig. 4 Fill time results of double shots injection molding simulation

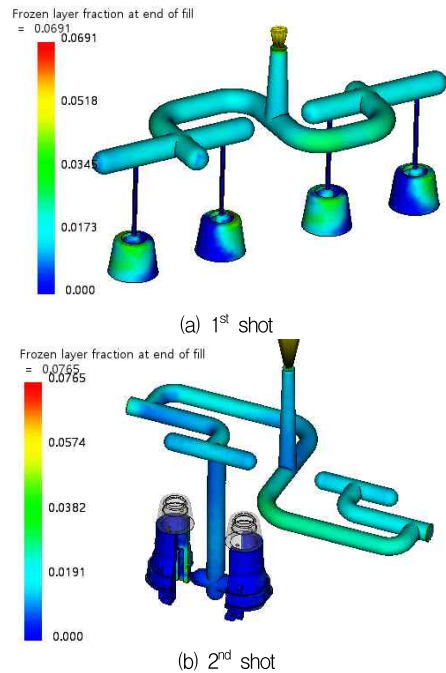


Fig. 5 Frozen layer fraction results of double shots injection molding simulation

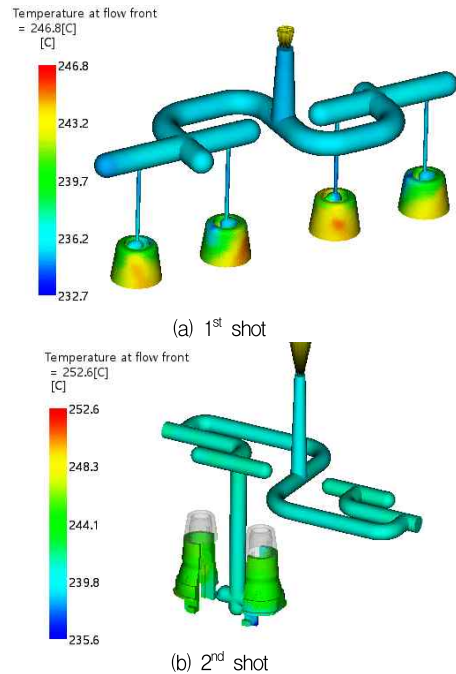


Fig. 6 Bulk temperature results of double shots injection molding simulation

Fig. 7과 Fig. 8은 각각 Air trap과 Weld line의 결과를 도시한 것으로 사출성형공정을 통한 제품의 외관과 내구성에 중요한 영향을 미치는 인자들이다. Air trap의 경우 1, 2차 성형 모두 발생되지 않음을 알 수 있고 Weld line의 경우 2차 성형시는 발생되지 않았고 1차 성형시에 일부 발생함을 알 수 있는데 이는 중공 실린더 형상에서 피할 수 없는 현상이지만 제품의 안쪽에 형성되어 제품의 외관에 영향을 주는 결과는 아닐 것으로 판단된다. Fig. 9는 평균 수축율로 1차 성형시 최대 8.1%, 2차 성형시 최대 7.9%의 수축율이 발생함을 보였다.

Fig. 10(a)는 이중 사출시 발생하는 Re-melt zone으로 1차 사출과 2차 사출부의 접합 경계부에서 발생됨을 확인 할 수 있고 Fig. 10(b)는 이중 사출 공정 후 발생하는 변형량을 표시한 것으로 최대 0.387mm의 변형량이 발생함을 알 수 있다. 이상의 해석결과에서 충전시간, 온도, 수지의 분포, 고화 정도, 기포 및 웰드 라인 생성 등의 양호한 결과를 보이는 것으로 나타났으나 사출 후의 수축율 및 변형량은 다소 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

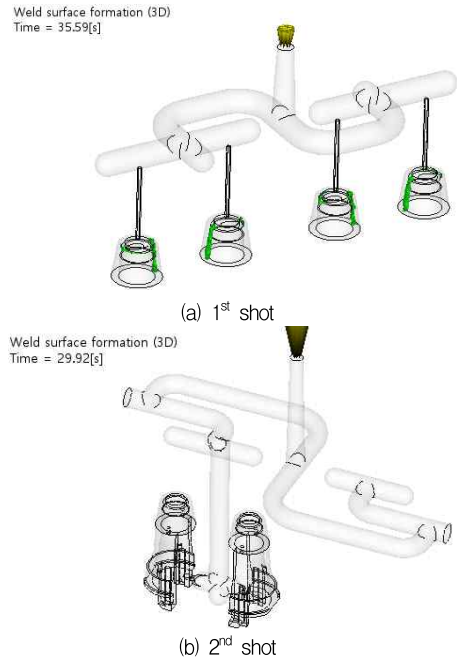


Fig. 8 Weld line results of double shots injection molding simulation

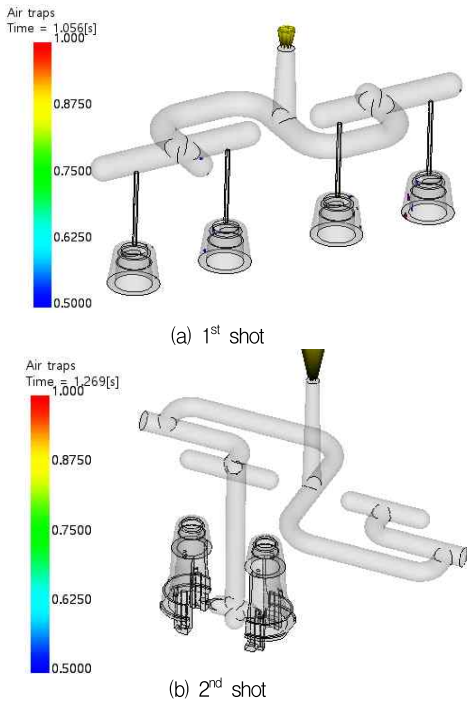


Fig. 7 Air trap results of double shots injection molding simulation

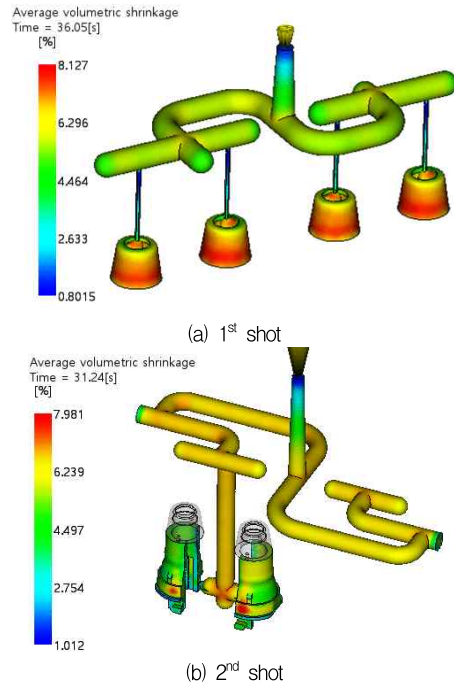


Fig. 9 Volumetric shrinkage results of double shots injection molding simulation

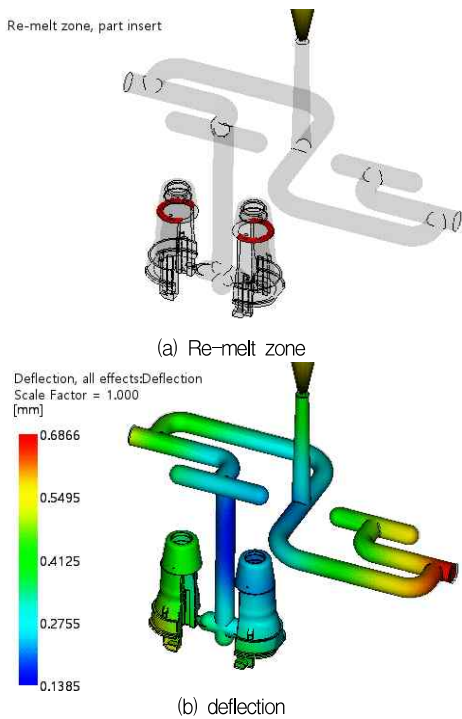


Fig. 10 Re-melt zone and deflection results of double shots injection molding simulation

4. 사출 성형 공정의 최적화

이상의 해석결과에서 사출 후의 수축율 및 변형량을 최소화 할 필요가 있음을 알 수 있었다. 일반적인 플라스틱 성형에 의한 사출 성형품은 플라스틱 고유의 성질에 영향을 받는 수축률의 과다로 인해 변형이 발생하는 것이므로 최소의 변형량을 목표로 공정 최적화를 실시하였다. 본 연구에서는 다구찌 실험계획법 중 일부실험법(fractional factorial design)중 하나인 직교 배열법(orthogonal design)을 이용하여 해석을 진행하였다. 변형량에 영향을 미치는 성형조건은 Table 3과 같이 재료의 물성치를 바탕으로 요구되는 성형범위의 한계 내에서 사출 온도(melting temperature of resin), 금형 온도(molding temperature), 사출 시간(injection time)을 특성 요인으로 하여 각 3수준으로 설정하였다. 직교배열표를 구성하기 위해 3수준계 $L_{27}(3^3)$ 을 사용하여 성형조건을 할당하였고 각 인자간 교호작용은 없는 것으로 가정하였다. 품질 특성치가 변형량이므로 망소특성에 해당된다.

Table 3 Factors and levels of orthogonal design

Factor	Level 1	Level 2	Level 3
A - Melting Temp. of resin(°C)	230	240	250
B - Mold Temp.(°C)	50	60	70
C - Injection time(s)	1	1.2	1.4

Fig. 11에서 Fig. 13은 총 27회의 사출 후 변형량 시뮬레이션 중 사출 온도, 금형 온도, 사출 시간에 대한 영향을 일부 도시한 것이다.

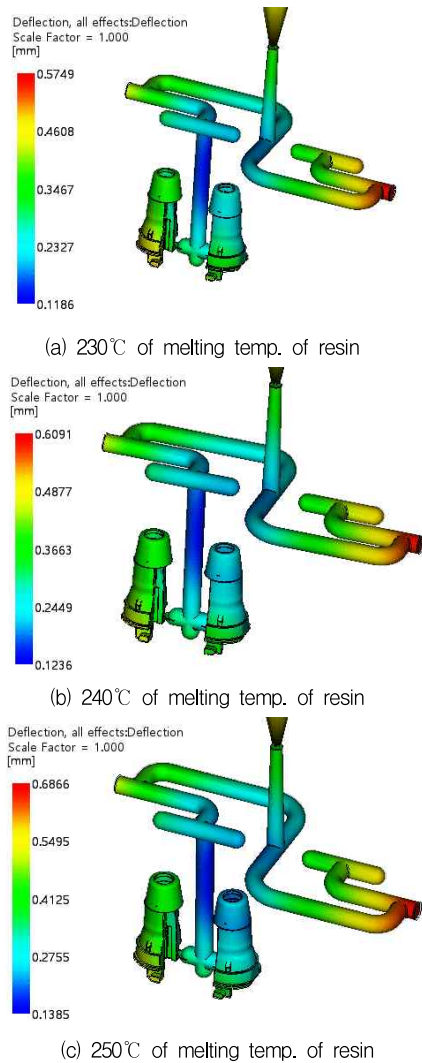
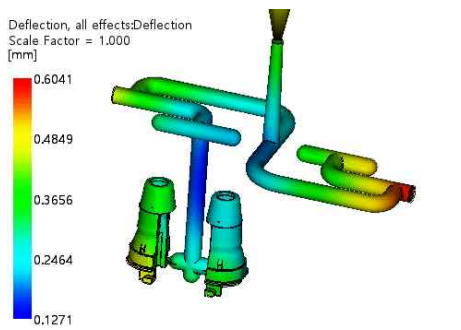
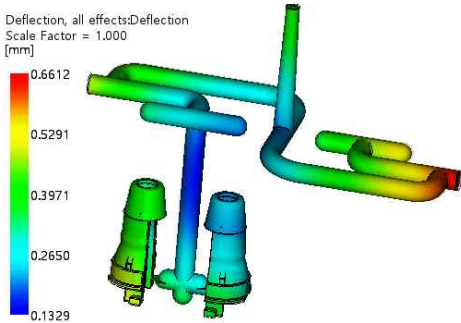


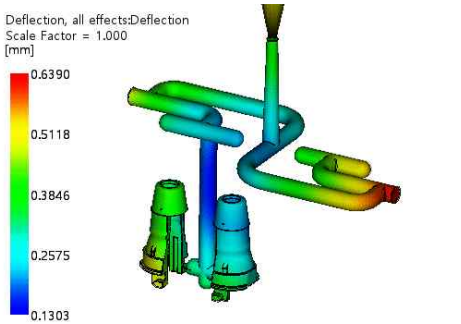
Fig. 11 Plots of deflection with increasing melting temperature of resin at molding temp. of 60°C and injection time of 1.2sec



(a) 50°C of molding temp.



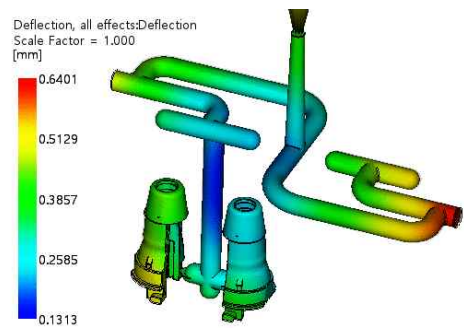
(b) 60°C of molding temp.



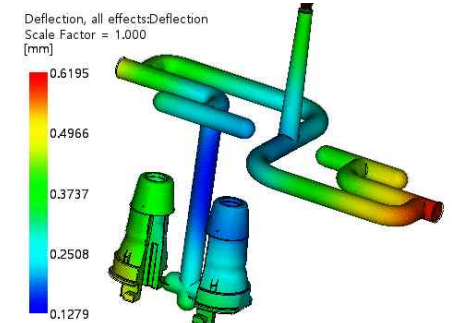
(c) 70°C of molding temp.

Fig. 12 Plots of Deflection with increasing molding temperature at Melting Temp. of resin of 240°C and injection time of 1.2sec

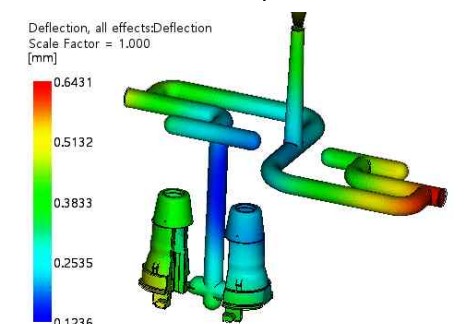
Table 4와 Fig. 14은 사출 공정변수에 따른 분산 분석 결과와 변형량의 주효과 그래프를 나타낸 것이며 Fig. 15는 SN비에 대한 주효과 그래프를 나타낸 것이다. 변형률에 가장 큰 영향을 주는 인자는 사출 온도(A)이고 두 번째가 금형 온도(B)이며 사출 시간(C)은 세 요인 중 가장 작은 영향을 미치는 것으로 나타났으며 제품의 변형량을 최소화 할 수 있는 최적의 사출 공정 조건은 사출 온도 230°C, 금형 온도 50°C, 사출 시간 1.2초임을 알 수 있다.



(a) 1 sec of injection time



(b) 1.2 sec of injection time



(c) 1.4 sec of injection time

Fig. 13 Plots of Deflection with increasing injection time at Melting Temp. of resin of 230°C and molding temp. of 1.2sec

Table 4 ANOVA for deflection about injection mold parameters

Factor	DF	SS	MS	F	P
A	2	0.001192	0.000596	2.21	0.311
B	2	0.000736	0.000368	1.37	0.422
C	2	0.000544	0.000272	1.01	0.497
error	2	0.000538	0.000268		
Total	8	0.003010			

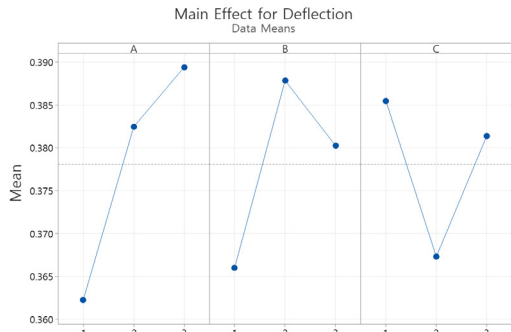


Fig. 14 Main effects plot for deflection

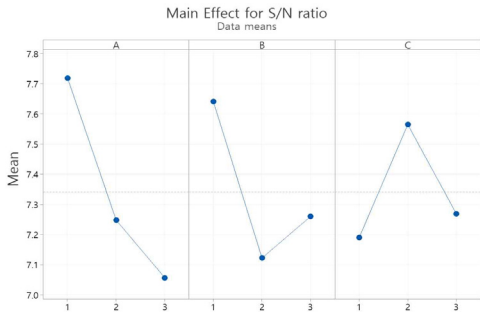


Fig. 15 Main effects plot for S/N ratio

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 귀체온계 상부에 열전도성 소재가 배치되고 하부에 열차단성 소재가 배치된 귀 체온계 측온부를 이중 사출성형을 통해 제작하기 위한 모델링 및 사출해석을 실시하였다. 사출 해석결과, 충전시간, 온도, 수지의 분포, 고화 정도, 기포 및 웰드 라인 생성 등의 양호한 결과를 보이는 것으로 나타났으나 사출 후의 수축율 및 변형량은 다소 높게 나타나 수축율 및 변형량이 최소화 될 수 있는 사출 공정 최적화를 실험계획법을 통해 도출하였다. 변형률에 영향을 주는 인자는 사출 온도, 금형 온도, 사출 시간 순임을 밝혀내었고 최적의 사출 공정 조건으로 사출 온도 230℃, 금형 온도 50℃, 사출 시간 1.2초를 도출하였다.

후기

본 연구는 보건복지부 재원으로 한국보건산업진흥원의 보건의료기술연구개발사업 지원에 의하여 이루어진 것임(HW20C2170020020)

참고문헌

- 1) Diginantonio, R. I. "Two Shot Molding of Thermoplastic Elastomers"; ANTEC '92 in Deroit MI. 1992.
- 2) Islam. A., and Hansen. H. N., "Micro-MID manufacturing by two-shot injection moulding", European Magazine-Onboard technology, Vol. 9, pp. 10-13, 2008.
- 3) Kim, O. R., Cha, B. S., Lee, S. Y., Kim, Y. G., and Woo, C. K., "A Study on the Runner and Gate Consequence of Manufacture Double Shot Molding Using CAE", Transactions of Materials Processing, Vol.18, pp. 160-165, 2009.
- 4) Islam, A., Hansen, N. and Bondo, M., "Experimental Investigation of the Factors Influencing the Polymer- Polymer Bond Strength during Two-Component Injection Moulding", J. Adv. Manuf. Tech., Vol. 50, pp. 230-235, 2004.
- 5) Shin. J. K., Min. B. K., Kim. Y. J., and Kang. S., "Minimization of weld lines in two shot molded parts with microlenses", Transactions of Materials Processing, Vol. 13, pp 230-235, 2004.
- 6) Ahn, D. G., Park, M. W., Park, J. W., and Kim, H. S., "Determination of Molding Donditions of Double-Shot Injection Mold for Computer Mouse vis Three-Dimensional Injection Molding Analysis", Trans. Kore. Soc. Mech. Eng.(A), Vol. 35, pp. 1619-1625, 2011.
- 7) Ha, B. H, Kwak C. S., Go, Y. J., and Kim, K. H., "Development of Non-coated Double Injection Eyewear with TR XE 4668", J. Kor. Ophthalmic Optics Soc., Vol. 24, pp. 295-300, 2019.

저자 소개

백 승 익(Seung-ik Baek)

[학생회원]



- 2022년 2월: 부경대학교 기계공학과 (공학사)
- 2022년 3월~현재: 부경대학교 로봇융합공학과, 석사과정

< 관심분야 >
유탄해석, 구조해석

정욱철(Wuk-chul Joung)



- 2010년 2월: 연세대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2010년 2월~2011년 2월: 삼성전자 요소기술개발G 책임연구원
- 2011년 3월~2019년 08월: 한국표준과학연구원 물리표준본부 책임연구원
- 2019년 9월~현재: 부경대학교 기계공학부, 조교수

< 관심분야 >

상변화열전달, 온도측정, 온도제어

신광일(kwang-IL Shin)



- 2003년 11월~2014년 4월: (주)정관 기술연구소, 사장
- 2017년 7월~현재: 주식회사 이즈프로브, 대표

< 관심분야 >

모델링 및 기구설계

김인관(In-Kwan Kim)



- 2004년 2월: 부경대학교 냉동공조공학과 (공학박사)
- 2004년 9월~2009년 8월: 부경대학교 친환경에너지 연구소 조교수
- 2013년 1월~2020년 4월: 뉴마린엔지니어링(주) 기술 연구소 기술이사
- 2020년 5월~현재: 주식회사 이즈프로브 기술연구소 연구소장

< 관심분야 >

사출성형 및 금형, 유동해석

김태완(Tae-Wan Kim)

[정회원]



- 2003년 8월: 부산대학교 정밀기계공학과 (공학박사)
- 2006년 12월~2008년 2월: 현대자동차 남양연구소, 선임연구원
- 2008년 3월~현재: 부경대학교 기계공학과, 교수

< 관심분야 >

트라이볼로지, 표면공학