

자동차용 에어클리너 상부커버 사출성형에서 게이트의 위치 결정

장성민¹, 김인수^{2*}

¹조선이공대학교 기계과, ²삼우금형

A Study on Decision of gate location for Injection molding of Automobile air cleaner Upper cover

Sung-Min Jang¹, In-Soo Kim^{2*}

¹Dept. of Mechanical Engineering, Chosun College of Science & Tec.

²SAMU DIES CORP

요약 플라스틱 제품의 사출금형을 위한 게이트 위치의 최적 설계는 다양한 설계에 대한 3차원 사출성형 분석으로 도출할 수 있다. 이 논문은 사출금형에서 게이트 위치의 영향에 관한 연구이다. 게이트 위치는 플라스틱 제품의 생산성과 품질에 결정적인 영향을 미친다. 논문의 목적은 사출기를 사용한 자동차 에어 클리너 상부커버의 제조과정 중에 수지충전, 웰드라인, 사출압력에 대한 게이트의 영향을 분석하기 위한 것이다. 따라서 이 논문에서 이러한 문제들을 분석하기 위한 게이트의 위치는 4가지 경우로 변화를 주었다. 논문에서 각각의 게이트 위치 변화를 고려한 CAE 시뮬레이션은 사출금형공정에서 제품에 나타나는 결함의 원인을 예견하기 위하여 수행되었다.

Abstract The proper design of the gate location for injection molding of plastic goods is obtained from three-dimensional injection molding analysis for various design alternatives. This paper is study on effect of gate location in injection molding. It have a decisive impact on productivity and quality of plastic goods. This objectives of this paper is to analysis effect of hot runner gate location for resin filling, weld line, injection pressure to manufacture of automobile air cleaner upper case with injection molding machine. Thus, to analysis these problems in this paper, location of gate are gave variety in 4 CASEs. In this paper, the CAE simulation considering each variations in location of gate is performed to predict the cause of faulty which appears in the injection molding process.

Keywords : Gate location, Injection molding, Filling, Weld line, Upper case, CAE simulation

1. 서론

기계산업 분류에 해당하는 금형산업에서 대량의 플라스틱 제품 생산을 위한 사출금형 설계의 중요성은 매우 강조되고 있다. 이것은 금형설계의 형태에 따라 제품의 생산성과 품질을 크게 좌우하고 잘못된 금형설계로 모든 제품의 불량과 엄청난 경제적 손실을 초래하기 때문이다.

사출성형공정 해석은 사전에 예상되는 문제점을 도출, 수정함으로써 금형의 설계와 제품을 최적화하는 것

에 근본적인 목적이 있다[1]. CAE에 의한 사출성형해석 기술은 사출성형 제품에 영향을 미치는 인자들의 조건을 사전에 검증 할 수 있으므로 불량감소로 인한 품질향상과 사출금형설계 전문가 양성에도 크게 기여하고 있다. Jung[2] 등은 구조해석을 이용한 형체력에 따른 사출성형기 플렉스 링크의 특성 분석에서, 형체력 증가에 따른 플렉스 링크에 굽힘량이 발생되었고 이에 따른 축경 평균값 및 편차를 분석하였다. Ahn[3] 등은 두꺼운 두께의 평판 제품의 사출성형공정을 위한 금형의 냉각채널 설계

*Corresponding Author: In-Soo Kim(SAMU DIES CORP)

Tel: +82-10-5269-7781 email: twkjsm@naver.com

Received April 27, 2015

Revised July 15, 2015

Accepted July 16, 2015

Published July 31, 2015

에 관한 연구를 수행하였다. Choi[4]는 화장품 용기 제작공정에서 제안한 오버랩 게이트가 사이드 게이트와 비교할 때 유동성 향상과 불량률을 낮출 수 있음을 확인하였다.

일반적으로 사출성형제품의 디자인과 공정조건은 사출성형제품의 상구조, 분자배향 등과 같은 미시적 구조 변화에 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며 사출성형제품의 품질은 압력, 속도, 위치(stroke), 시간, 수지의 온도, 그리고 금형의 온도 등에 영향을 받는 것으로 알려져 있다[5].

플라스틱 제품의 성형공정에서 생산성과 품질에 미치는 다양한 인자 중 게이트의 위치는 플라스틱 제품의 수지 충전, 웰드라인 형성, 수지의 유동 저항 등에 영향을 주어 사출압력을 변화시키므로 설계단계에서 고려되어야 한다. 본 연구에서는 자동차의 에어클리너 상부커버 제품을 대상으로 사출금형설계단계에서 성형의 문제점 예측 및 개선, 사출공정의 정밀해석 및 최적화를 위해 Moldflow를 사용하여 해석하였다. 조건은 4 CASE의 게이트 위치와 형태 변화에 따른 수지의 충전, 웰드라인 형성, 사출압력 등에 미치는 영향을 파악하였고 생산성과 품질을 비교 분석하였다.

2. 성형해석 방법

본 연구에서 CAE를 이용한 자동차 에어클리너 상부커버의 사출성형해석 조건은 Table 1에 나타내었다. Fig. 1은 적용 수지의 온도변화에 따른 점도 및 PVT선도를 나타낸 것이다.

사출성형해석을 위한 게이트의 형태 및 위치를 CASE 1~4의 4가지 조건으로 구분하여 해석을 수행하였으며 매니폴드 $\varnothing 18$, 핫 노즐 $\varnothing 18$, 핫 게이트 $\varnothing 2.4$ 그리고 런너는 $\varnothing 12$ 로 하였다.

Table 1. Injection molding conditions for analysis

| Factors | Conditions |
|-------------------------------|---------------------------|
| Mold Temperature(°C) | 46(Min 38 ~Max 53) |
| Resin melting temperature(°C) | 244(Min 232 ~Max255) |
| Cycle time(sec) | 60sec |
| V/P switch | By 98% Volume filled |
| Packing pressure | 1850psi |
| Part Volume(cm ³) | 690.1 |
| Part Weight(g) | 781.5 |
| Material Description | PP+30% Glass Fiber Filled |

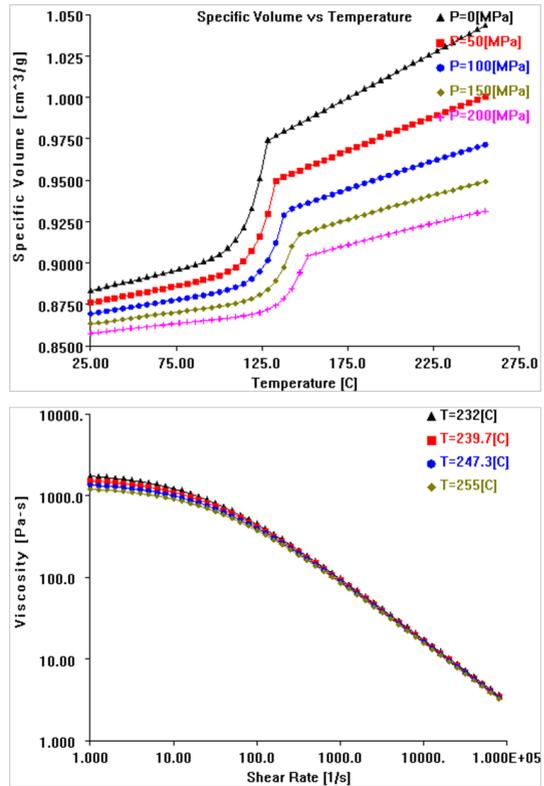


Fig. 1. Viscosity and PVT graphs of applied resin

3. 성형해석 결과 및 고찰

3.1 충전결과

게이트의 형태와 위치는 수지가 런너를 통해 캐비티로 유동, 유입되는데 영향을 미친다. 즉 유입수지의 유동성, 온도, 충전시간에 영향을 주므로 사출성형제품의 품질과 생산성을 좌우한다. 만일 용융수지의 캐비티 내 유입속도가 느려 충전시간이 지연되면 용융수지는 금형으로 열손실이 증가되고 충전이 완료되기 전에 캐비티 내 수지의 고화층이 두꺼워지므로 미충전이 발생하게 된다. 이것은 플라스틱 제품의 불량률 초래하는 원인이기도 하다. Fig. 2는 용융수지를 충전시키기 위한 게이트의 형태를 CASE 1~4로 구분하여 나타낸 것이다. CASE 별 수지 충전 결과는 단계별로 Fig. 3~6에 나타내었다. 모든 CASE에 대하여 스프루(sprue)의 위치는 상부커버의 중심부에 위치하도록 하였다.

Fig. 3은 CASE 1의 경우로써 핫 런너 게이트를 에어클리너 상부커버 중앙 윗부분에 위치하도록 설계한 후

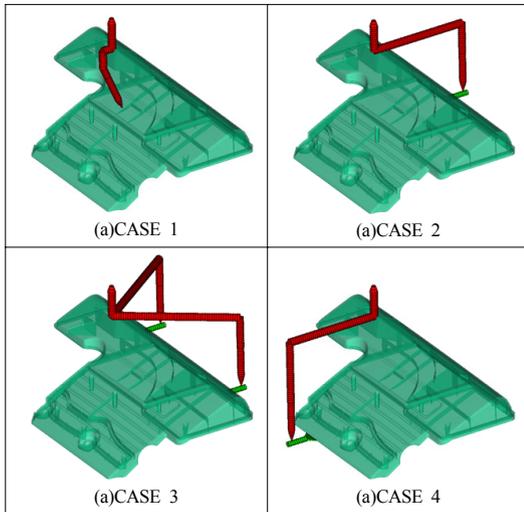


Fig. 2. Analysis model for colophony filling

캐비티 내 수지의 충전상태를 파악하기 위한 단계별 해석결과를 3차원 형상의 유동패턴으로 나타낸 것이다. CASE 1의 상부커버 제품 내 성형 밸런스가 매우 안정적으로 충전되는 것을 확인하였다. Fig. 3 (a)~(f)의 STEP 1~6의 과정에서 알 수 있듯이 수지의 유동이 캐비티 내 충전을 균일하게 하였으며 특히, STEP 5에서 마지막 충전 단계인 STEP 6으로 충전되는 과정의 밸런스가 매우 안정적이어서 가스 벤트(gas vent)의 설치가 불필요할 것으로 판단되며 미성형부의 발생 또한 없을 것으로 예상된다. 그리고 충전완료 시간은 2.705sec 소요되어 매우 빠르게 충전되었다.

CASE 2는 핫 런너 게이트(1Drop)와 상부커버 측면에 팬 게이트를 1개소 위치하도록 설계한 후 수지 유동에 의한 캐비티 내 충전상태를 파악하고자 한 것이다. 캐비티 내 수지의 충전을 Fig. 4에 STEP 1~6으로 구분하여 단계별 충전 상태를 파악할 수 있도록 나타내었다. 용융수지는 팬 게이트와 가까운 캐비티 측면을 채운 후 반대 방향으로 유동하여 점차적으로 캐비티 내부를 충전하고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 CASE 2는 단계적으로 충전되는 과정에서 상부커버 제품 내 마지막 충전부에서 유동 수지가 만나게 되므로 가스 벤트(gas vent)가 설치되어야 할 것으로 사료된다. 충전 결과 미성형부는 발생되지 않았고 충전완료 시간은 2.745sec 소요되었다.

CASE 3은 핫 런너 게이트(2 Drop)와 상부커버 측면에 팬 게이트를 2개소 설치하는 것으로 설계한 것이다.

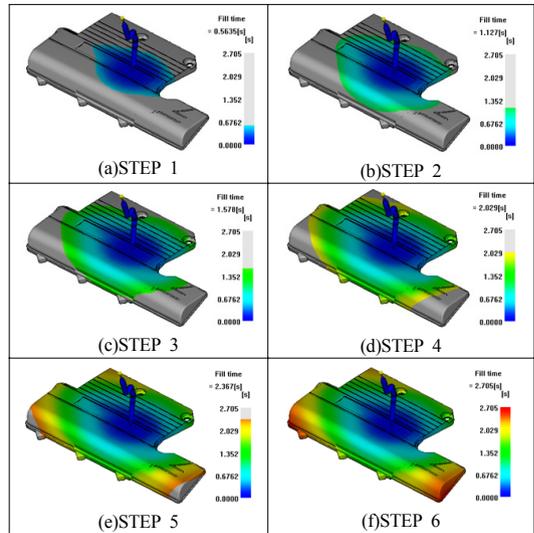


Fig. 3. Simulation result on filling motion of CASE 1

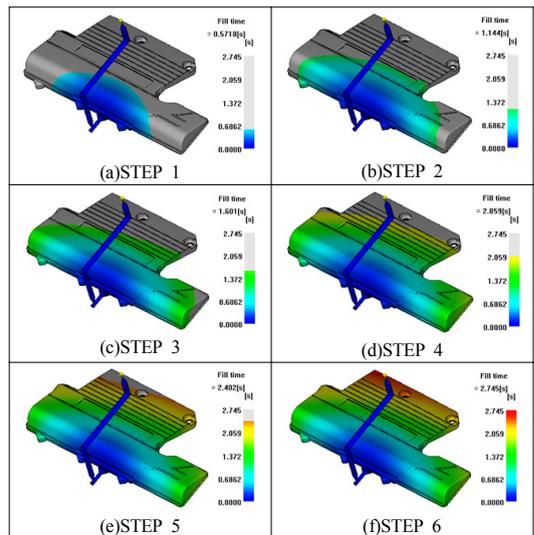


Fig. 4. Simulation result on filling motion of CASE 2

CASE 3의 경우에 관하여 사출 압력에 의한 유동 수지의 충전상태를 해석하여 그 결과를 Fig. 5에 단계별로 나타내었다. 해석 결과 CASE 3은 Fig. 4의 CASE 2와 유사한 결과를 보이고 있다. 그러므로 상부커버 제품 내 마지막 충전부에서 가스 벤트가 설치되어 있어야 할 것으로 판단된다. CASE 2와 같이 미성형부는 발생되지 않았고 충전완료까지는 CASE 2에 비하여 다소 빠른 2.737sec 소요되었다.

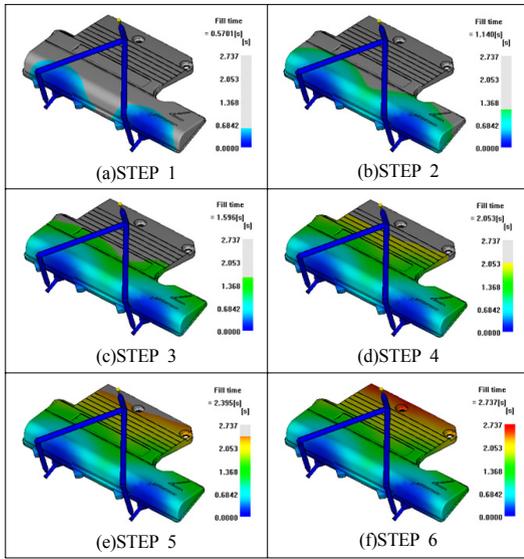


Fig. 5. Simulation result on filling motion of CASE 3

CASE 4는 핫 런너 게이트(1 Drop)와 상부커버 측면에 팬 게이트가 1개소 설치되도록 설계한 것으로써 수지가 사출압력에 의해 캐비티 내에서 유동하여 그 충전상태를 파악한 것이다. Fig. 6은 CASE 4에 대한 해석 결과를 단계별로 나타낸 것이다. 그 결과 CASE 4의 경우는 CASE 2, 3에서 보여준 결과와 동일하게 상부커버의 캐비티 내 마지막 충전부에서 가스 벤트(gas vent)가 설치되어 있어야 할 것으로 예상되고 미성형부는 발생하지 않았으며 충전완료 시간은 2.773sec 소요되었다.

Fig. 3~6의 해석결과, 모든 경우에서 캐비티 내 수지의 미충전은 전혀 발생하지 않는 것으로 나타났다. 모든 CASE에 대하여 수지의 유동상태는 CASE 1에서 가장 원활하게 나타났음을 파악할 수 있었다. CASE 1은 상부커버의 중앙 상부에 설계된 게이트를 통한 수지의 유동에 의해 제품을 사출성형하는 방법을 이용한 것으로써 용융수지의 캐비티 내 유동거리를 짧게 하여 수지 충전을 가장 빠르게 완료하였다. 또한 벤트의 설치를 필요로 하지 않기 때문에 상부커버 제품의 사출성형 시 소요비용을 적게 하고 제품의 생산성 향상에도 기여할 뿐만 아니라 금형설계측면에서도 매우 효율적인 핫 런너 시스템인 것으로 사료된다. 그러므로 CAE 방법을 이용한 사출성형 해석결과 상부커버의 제품생산을 위해서는 CASE 1의 방법으로 사출성형 하여야 한다.

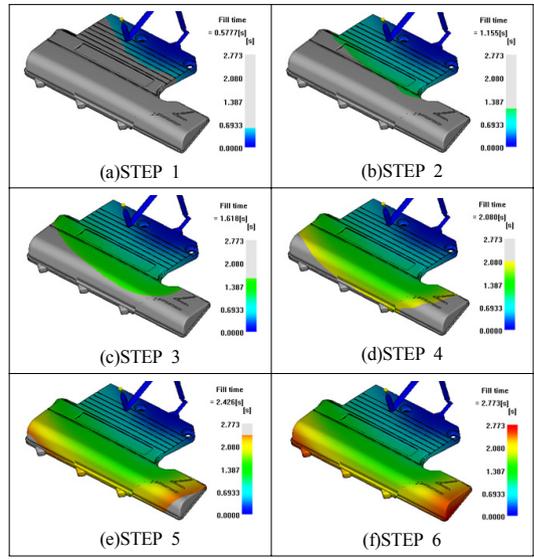


Fig. 6. Simulation result on filling motion of CASE 4

3.2 웰드라인(Weld line)

웰드라인은 캐비티 내 용융 수지의 온도가 떨어지면서 유동되어 마지막에 만나는 부분에서 발생하고, 여기에 가스가 집중되어 사출성형제품의 불량률을 초래한다. 사출성형공정을 통한 플라스틱 제품 생산에서 무결점 웰드라인(weld line)은 매우 어려운 문제이다. 특히 투명한 플라스틱 제품생산의 경우 웰드라인이 더욱 뚜렷하게 나타날 수 있고 고객의 심미적 관점에서도 제품 구매에 영향을 미치게 된다. 또한 웰드라인은 플라스틱 제품의 구조적 취약점을 갖는 불량 요인 중 하나로서 게이트의 위치에 가장 크게 영향을 받는다. 이것은 제품의 살 두께 조절을 통한 유동조절로 제어할 수 있으나, 살 두께가 얇을 경우 제품의 강도에 크게 영향을 주어 바람직하지 않기 때문에 게이트 위치 등에 변화를 주어 제어하는 것이 바람직하다[6].

Fig. 7은 CASE 1~4에 대한 웰드라인 해석결과를 나타낸 것이다. CASE 1의 경우에는 용융 수지가 중앙에서 사방으로 유동되므로 가스 벤트의 설치가 필요 없어 웰드라인의 강도가 가장 약하게 형성된다. 이에 반해 CASE 2~4의 경우에는 가스 벤트의 설치를 필요로 하는 것으로 판단되어 상대적으로 웰드라인의 강도가 더 크게 나타날 것으로 사료된다. 특히 CASE 3의 경우에는 수지의 유동정체구간이 가장 극심하게 나타나 회피하여야 할 것으로 판단된다.

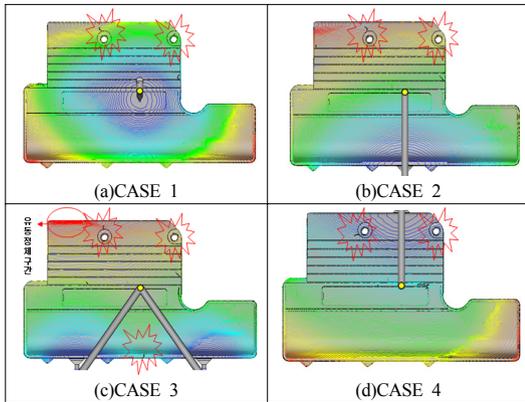


Fig. 7. Weld line result after filling of colophony

3.3 사출압력

사출성형공정에서 다양한 인자들이 사출압력에 영향을 미치고 있다. 사출압력이 증가하는 원인은 수지의 유동저항이 증가되기 때문이다. 제품의 두께가 두꺼울수록, 유동길이가 증가할수록, 제품의 면적이 증가할수록, 사출속도가 느릴수록 그리고 수지의 온도가 낮을수록 수지의 유동저항 증가를 초래하여 사출압력은 상승한다.

수지를 사출할 때 최대 사출압력보다는 적은 압력에 의해 용융수지를 캐비티 구석까지 충전하도록 하여야 한다. 충전 후 캐비티 내 수지의 고체화 과정에서 발생하는 수축으로 수지를 보충해주기 위하여 적정 압력으로 계속하여 수지를 캐비티로 공급할 필요가 있는데, 이러한 과정이 보압과정이다. 캐비티 내 수지에 전달되는 보압의 불균형은 수축률 불균형과 이로 인한 잔류응력에 의한 제품의 변형을 초래한다. 따라서 보압은 일정하게 작용시키지 않고 단계적으로 감소시켜 캐비티 내 수지의 위치에 따른 압력의 편차가 크지 않도록 하고 게이트 고화 시간 이상으로 설정한다.

Fig. 8~11은 CASE 1~4에 대하여 CAE 방법을 이용한 사출성형해석 후 도출된 사출압력을 나타낸 것이다. 사출압력은 CASE 1의 경우에서 가장 낮게 나타났고 CASE 4의 경우 가장 높게 나타났다. 앞서 Fig. 3~6의 해석결과에서 확인하였듯이 캐비티 내 수지의 충전은 CASE 1, 3, 2, 4의 순으로 빠르게 나타났다. 특히 상부커버 측면에 팬 게이트를 2개소로 설계한 CASE 3의 경우보다 CASE 1에서 가장 유동성이 양호한 결과를 나타냈다. 이와 같은 결과는 사출압력의 상승에 영향을 미치는 유동길이와 연관이 있는 것으로써 유동길이와 마찰손

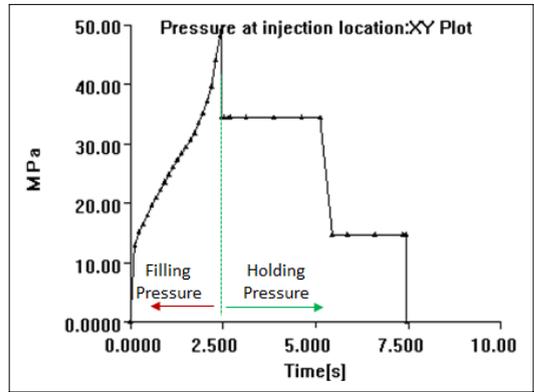


Fig. 8. Distribution of injection pressure of CASE 1 with the passing of time

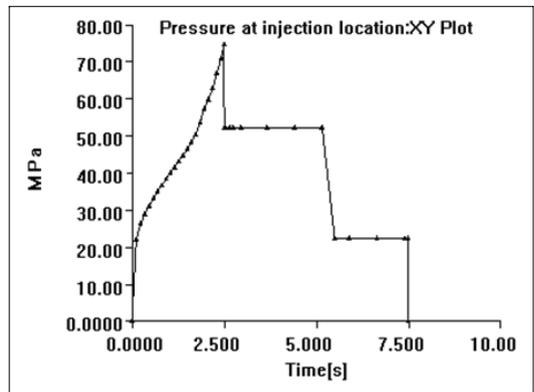


Fig. 9. Distribution of injection pressure of CASE 2 with the passing of time

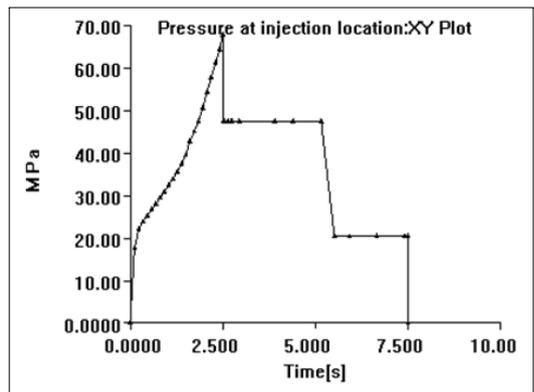


Fig. 10. Distribution of injection pressure of CASE 3 with the passing of time

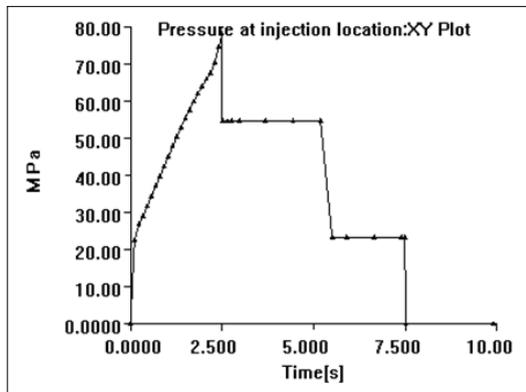


Fig. 11. Distribution of injection pressure of CASE 4 with the passing of time

실은 비례관계이며 이에 따라 압력상승이 발생한다는 일반화된 역학적 이론과 일치한다. 따라서 CASE 3의 경우보다 CASE 1의 경우가 유동길이가 더 짧다는 것을 알 수 있다. 이것은 수지의 충전시간이 가장 짧은 것으로도 증명된다. 상부커버의 사출성형공정에서 사출압력에 영향을 미치는 유동길이의 감소방법은 게이트의 설치 개소와도 연관이 있다. 즉 동일 조건에서는 게이트의 개소가 증가하면 유동길이가 짧아진다. 그러나 CASE 3과 같이 게이트가 2개소인 경우 유동길이는 CASE 2와 4의 경우보다는 짧게 나타났으나 게이트가 1개소인 CASE 1의 경우보다는 다소 길게 나타났다. 또한 CASE 1의 경우 사출압력이 가장 낮으면서도 유동밸런스가 가장 좋아 캐비티 양쪽 코너부에 용융수지가 동시에 충전되는 결과를 보였다. 이것은 사출성형제품의 디자인에 따른 게이트의 위치가 수지의 유동성에 매우 중요하다는 것을 보여주는 해석결과라고 사료된다. Fig. 7은 CASE 4의 경우로써 캐비티 내 수지의 충전이 완료된 한쪽에 비하여 다른 한쪽의 충전이 계속진행 중에 있으므로 사출압력이 증가되었다.

4. 결론

본 연구는 사출성형에서 게이트 위치의 중요성을 보여주는 사례라 사료된다. 게이트를 에어 클리너 상부커버 중앙 윗부분으로 설계한 CASE 1의 경우에 대하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 용융 수지가 중앙에서 사방으로 유동되어 캐비티 내 유동거리가 가장 짧고 수지 충전을 빠르게 완료하였다.
2. 사출압력이 가장 낮고 유동밸런스가 좋아 캐비티 양쪽 코너부에 용융수지가 동시에 충전되었다.
3. 웰드라인의 강도가 가장 약하게 형성되고 가스 벤트의 설치를 필요로 하지 않기 때문에 소요비용을 절감하고 생산성 향상에도 기여한다.

References

- [1] T. J. Lho, K. S. Kim, "An Analysis of Plastic Injection Molding Process for Automobile Gearbox Cover by Moldflow," Journal of Korea Academia-industrial Cooperation Society, Vol. 9, No. 6, pp. 1494-1499, 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2008.9.6.1494>
- [2] H. S. Jung and J. H. Yoo, Characteristics Analysis of Flex Link according to Mold Clamping Force in Injection Molding Machine, J. Journal of the Korean Society for Precision Engineering., Vol. 31, No. 2, pp. 165-170, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7736/KSPE.2014.31.2.165>
- [3] D. G. Ahn, M. W. Park, H. S. Kim, "A Study on the Design of Cooling Channels of Injection Mould to Manufacture a Flat Part with a Partly Thick Volume," Journal of the Korean Society for Precision Engineering., Vol. 29, No. 8, pp. 824-833, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7736/KSPE.2012.29.8.824>
- [4] J. H. Choi, "A Study on manufacturin of Mold and Delivery System Characteristics of Cosmic case," Journal of Korea Academia-industrial Cooperation Society, Vol. 14, No. 12, pp. 6047-6052, 2013.
- [5] D. H. Kim, J. W. Lee, T. W. Kim., "Effects of Mold Temperature on the Weldline and Dimensional Stability of Infection-molded Parts," Journal of Korea Academia-industrial Cooperation Society, Vol. 4, No. 3, pp. 172-176, 2003.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.12.6047>
- [6] J. S. Moon, "Optimization of Gate Location Using Computer-Aided Injection Mold Analysis" Journal of Korea Academia-industrial Cooperation Society, Vol. 15, No. 10, pp. 5968-5973, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.10.5968>

장 성 민(Sung-Min Jang)

[정회원]



- 2000년 2월 : 송실대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2004년 8월 : 인하대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2009년 3월 ~ 2010년 2월 : (주)정일기계 연구소장
- 2012년 1월 ~ 현재 : 조선이공대학교 기계과 교수

<관심분야>

정밀가공, 강도설계, 실험계획법, 금형공정

김 인 수(In-Soo-Kim)

[정회원]



- 1988년 2월 : 서울과학기술대학교 제품설계금형공학과 (공학석사)
- 2015년 2월 : 한국산업기술대학교 기계제조공학과 (공학석사)
- 1994년 8월 ~ 현재 : (주)삼우금형 품질경영대리인
- 2014년 4월 ~ 현재 : 대한민국 산업현장 교수 (고용노동부)

<관심분야>

사출금형제작, 성형기술, 정밀가공