

사출공정에 따른 자동차부품 변형 패턴 분석

Analysis of Deformation Patterns for Injection Process of Automotive Part

*최현진¹, 박철우¹, 장은실¹, 최성대^{2#}

*H.J. Choi¹, C.W. Park¹, E.S. Jang¹, S.D. Choi^{2#}(sdchoi@kumoh.ac.kr)

¹ 대구기계부품연구원, ² 금오공과대학교 기계공학부

Key words : Injection Process, Injection Analysis, Rear Lamp for Automotive, Reflector

1. 서론

플라스틱은 지난 수세기 동안 다양한 분야에서 그 사용이 현저하게 증가되어 왔다. 플라스틱재료를 사용한 가공법 중에서 가장 보편화 되어 있는 방법은 사출성형법이다. 사출성형공정은 저렴한 비용으로 복잡한 형상의 플라스틱제품을 대량으로 신속, 정밀하게 생산할 수 있는 제조공정이다. 하지만 금형의 최초 제작비가 고액일 뿐만 아니라 지속적인 추가 비용이 발생하게 되는데, 성공적인 제품 제작을 위해 재료 및 성형조건에 따라 계속적인 수정작업이 이루어지기 때문이다. 이러한 고액의 금형을 제작하여 이루어지는 사출성형공정은 대량 생산을 전제 조건으로 장기간에 걸쳐 수백만 개 분량의 제품을 생산하게 된다. 이러한 특성에 따라 완벽하지 못한 금형일 경우 불량품의 분량 또한 기하급수적으로 늘어날 수밖에 없게 된다. 사출 성형 공정의 특성에 의거하여 공정 불량률이 심할 경우 경제적, 시간적 손실이 발생하게 된다. 따라서 제조 업계의 측면에서는 상기 설명한 불량률의 저하는 선결해야 할 과제라고 할 수 있다.

과거 사출성형에 대한 해석이 없던 시절에는 금형제작 및 사출조건에 대한 전반적인 것을 경험에 의존하였다. 여러 가지 불량률의 원인은 미충전(soft shot), 웰드라인(weld line), 에어트랩(air traps), 싱크(shink), 유동자국(flow marks), 크랙, 변형 등의 많은 성형불량에 대하여 잦은 금형의 수정을 통해 보완해왔지만, 현재는 사출성형 해석 소프트웨어의 등장으로 금형을 제작하기에 앞서 다양한 조건을 사전 분석해 볼 수 있으므로 최적의 공정설계에 근접해 가고 있으며 공정의 불량률은 낮아지고 있는 추세이다.

사출성형해석의 근본적인 목적은 예상되는 문제점들을 미리 파악하여 제품 설계와 금형 설계를 최적화하는데 있으며, 본 논문에서는 자동차 리어램프의 반사판에 대해 Moldflow를 이용하여 사출성형공정에 대한 해석을 수행하였다. 리어램프의 반사판은 리어램프 작동시 다양한 디자인 연출을 위하여 형상이 복잡해지며, 사출 후 코팅공정을 거쳐 부품화가 되므로 웰드라인 생성에 민감하다. 이러한 제품특성을 냉각해석, 충전해석, 변형해석을 진행하여 웰드라인, 에어트랩, 충전시간, 금형온도, 변형 패턴 등을 사전 분석하여 불량률을 최소화 하고자 하였다.

2. 사출성형해석 모델 생성

본 연구논문에서는 자동차용 리어램프의 반사판에 대한 사출 성형공정 해석을 수행하였으며, 해석을 위해 생성된 FE 모델과 런너 시스템은 Fig.1과 같다.

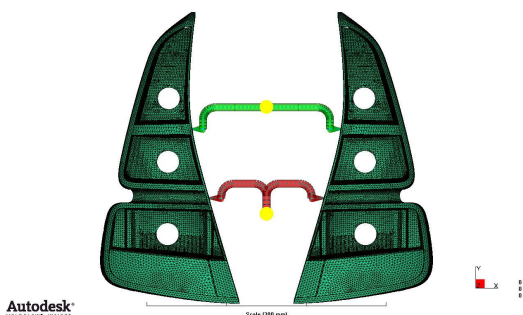


Fig. 1 FE-Model of reflector bracket & Runner System

FE 모델의 평균 Aspect Ratio는 2.28이며 요소의 다른 특성들은 Table 1에 나타나있다. 상부 게이트는 콜드게이트, 하부는 핫게이트로 최초직경이 $\Phi 10\text{mm}$ 에서 $\Phi 2.5\text{mm}$ 로 좁아지며, 상부 런너는 콜드런너, 하부는 핫런너로 사이즈는 $\Phi 10\text{mm}$ 이며, 스프루는 $\Phi 6\text{mm}$ 에서 $\Phi 10\text{mm}$ 로 금형설계의 내용과 동일하게 적용하였다. 냉각해석은 Fig. 2에서 보는 것과 같이 냉각라인(cooling line)을 3가지 Type으로 생성하여 각각의 관로 및 유동에 따른 냉각특성을 분석하여 설계안중의 최적의 냉각시스템을 선정하였다. 냉각라인은 채널(Channel)과 배플(baffle), 호스(Hose)로 구성되어있으며, 채널의 사이즈는 $\Phi 10\text{mm}$, 배플은 $\Phi 18\text{mm}$ 를 기본으로 하여 설계를 하였다.

Table 1 Finite element analysis parameters

Element number	Node number	Analysis Sequence	Element type
190,714	96,959	Cool + fill + pack + warp	Dual Domain Mesh

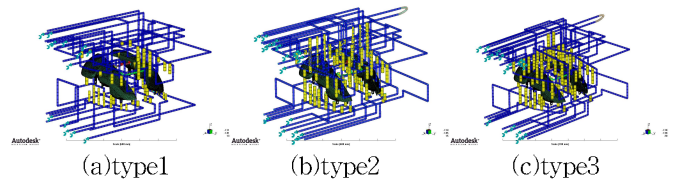


Fig. 2 Cooling line System(3 Type)

냉각수는 물을 사용하였으며, 냉각해석의 조건들은 Table 2와 같이 부여하여 각각 냉각해석을 수행하였다.

Table 2 Cooling analysis of conditions

Sequence	Inlet Temp.	Coolant control
1type	90℃	Specified Reynolds number; 10,000
2type	80℃	Specified flow fate; 10 l/min
3type	80℃	Specified flow fate; 10 l/min

사출해석을 위한 수지는 SABIC Innovative Plastics의 PC수지를 사용하였으며, 금형의 열린시간을 10초로하여 총 공정이 50초에 이루어지도록 설정하였다. 핫게이트는 밸브게이트(valve gate)를 이용하여 콜드게이트보다 일정시간을 지연시켜 사출이 되도록 하였으며, 상세한 해석조건은 Table 3과 Fig. 3의 조건과 같이 부여하여 사출해석을 진행하였다.

Table 3 Injection molding conditions

Sequence	Valve gate open time	Injection time	velocity/pressure switch-over	Holding pressure %filling pressure(time)
case 1	0.6sec	3.5sec	Automatic	80%(0)-80%(8)-0%(8)
case 2	0.6sec	3.0sec	Injection pressure; 110MPa	80%(0)-80%(10)-30%(8)
case 3	0.6sec	2.8sec	Injection pressure; 110MPa	100%(0)-80%(8)-30%(8)
case 4	0.4sec	3.0sec	%volume fill; 97%	90%(0)-80%(8)-30%(8)
case 5	0.6sec	Ram speed profile	%volume fill; 97%	100%(0)-90%(8)-30%(8)

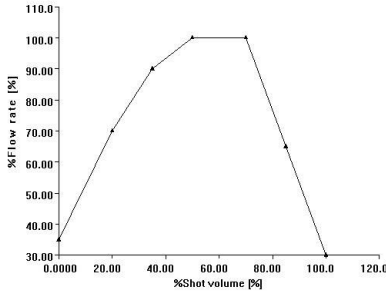


Fig. 3 Relative ram speed profile

사출조건 case1은 type1의 냉각조건으로, case2,3은 type2의 냉각조건으로, case 4, 5는 type3의 냉각조건으로 해석을 진행하였다.

3. 해석결과

냉각해석 결과 type1의 경우 냉각수의 온도가 최고 3.4°C 이상으로 상승하였으며, type2는 +0.57~0.65°C, type3는 +0.12~0.13°C의 온도 변화를 확인하였으며, 금형표면온도는 Fig. 4와 같은 결과를 얻었다. 금형표면의 온도 범위는 type1은 80~155.9°C, type2는 80~146.8°C, type3은 80~142°C의 범위의 결과를 얻었다. Type1과 2의 경우 상측과 하측의 온도편차가 불균일한 것을 그림을 통해 확인할 수 있다.

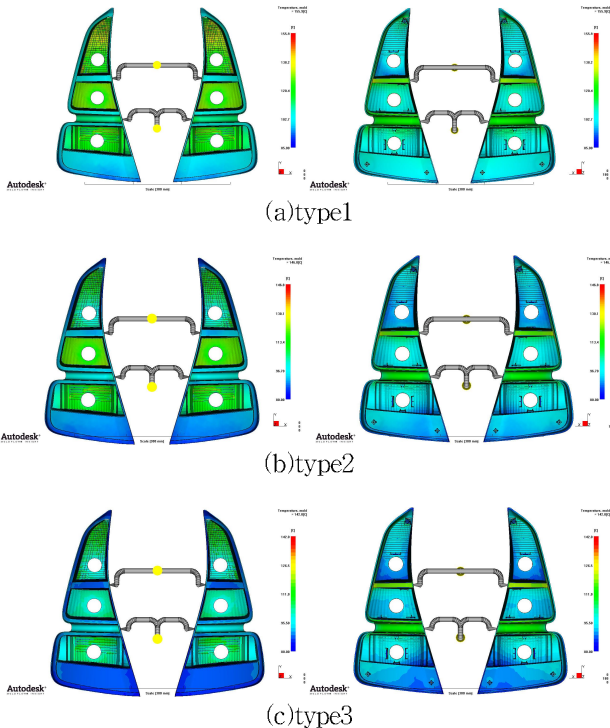


Fig. 4 Analysis result showing temperature Mold

냉각해석결과를 바탕으로 사출해석을 수행한 결과 최대 사출압이 case1은 125MPa, case4는 137MPa, case5는 107MPa이 발생하였으며, case2, 3의 보압 전환시점의 충진을 살펴보면 Fig. 5와같이 충진량이 약88%의 충진시점에서 보압전환이 발생하였으며, 보압조건이 낮은압력으로 이루어진 case2는 미충진이 발생하였다.

각 해석조건에서 발생한 형체력(clamp force)은 case1이 586ton, case2는 382ton, case3은 585ton, case4는 630ton, case5는 510ton이 발생하였으며, 최고점의 발생시기는 모두가 사출시에 발생하였으나 case3은 보압시 최대의 형체력이 발생하였다. 사출기의 사양을 기준으로 최대 사출압이 110MPa 이하, 형체력은 600ton이 넘지 않도록 결과를 얻어야 한다. 해석결과 두가지

조건을 만족하는 해석은 case5이다.

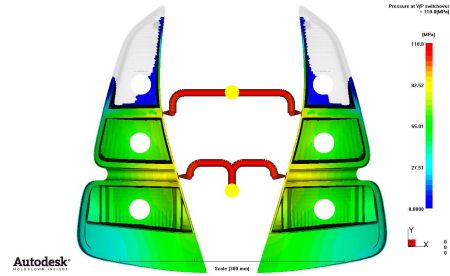


Fig. 5 Analysis result for Pressure at V/P switchover at case3

충진해석결과 case2, case4는 해석결과 웰드라인 생성이 반사면에서 많이 생성되었으며, 에어트랩은 반사면의 에찌라인에서 많이 생성되었다.

변형해석결과 변형형태는 Fig. 6과 같이 모두 유사하며, 최대 변형값은 case1그 값은 1.532mm, case3는 1.259mm, case4는 1.353mm, case5는 1.497mm로 case3이 가장 적은량의 변형이 발생하였다. Fig.6은 case5의 변형형태를 나타낸 것이다.

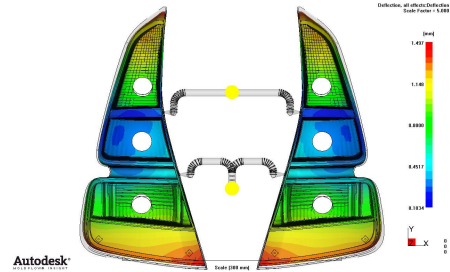


Fig. 6 Analysis result of deflection(all effects) at case5

Table 4 Analysis result of deflection

Sequence	All effects	Differential cooling	Corner effect	Differential shrinkage
case 1	1.532mm	0.545mm	0.1912mm	1.603mm
case 3	1.259mm	0.3836mm	0.2243mm	1.401mm
case 4	1.353mm	0.5146mm	0.2053mm	1.476mm
case 5	1.497mm	0.5455mm	0.1938mm	1.562mm

4. 결론

- (1) 냉각해석결과 type1은 80~155.9°C, type2는 80~146.8°C, type3는 80~142°C의 범위의 결과를 얻었다. Type1과 2의 경우 상측과 하측의 온도편차가 type3보다 크게 발생하였다.
- (2) 냉각해석결과 하측면의 연결부의 온도가 높으며, 온도를 낮추기 위해 열전도율이 좋은 재료로 슬라이드코어를 삽입하여 금형온도를 낮추어 온도편차를 최소화 하였다.
- (3) 사출기 성능에 맞는 사출조건은 case5번의 사출조건이며, 웰드라인의 결과 또한 case5번의 조건이 가장 좋은 것으로 나타났다.
- (4) 변형의 해석결과 수축의 편차에 의해 발생하는 변형이 가장 크며 압력이 높을수록 수축률이 줄어드는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. Seong-Kwun Ahn. "Optimization of warpage of ABS injection molding part using Design of Experiments", Hanyang University Graduate, 2007
2. 박철우, "Moldflow를 이용한 드림세탁기 케이스의 사출성형 공정에 관한 연구", 한국마린엔지니어링학회지, 제33권, pp90~96, 2009
3. 김재민, 문형준, "사출성형 공정에서 wide-thin 제품의 변형 감소를 위한 연구", 대한기계학회, 2008년 추계학술대회, pp186~191