

플라스틱 레귤레이터 레일 성형 최적화연구

이행수^{1*}, 변홍석¹

¹울산과학기술대학교 디지털기계학부

Study on the Design Optimization to Improve Injection Molding Performance of Plastic Regulator Rail

Haeng-Soo Lee^{1*} and Hong-Seok Byun¹

¹Division of Digital Mechanics, Ulsan College

요 약 플라스틱 소재를 사용한 사출성형부품은 차량 경량화뿐만 아니라 충격흡수를 통한 운전자와 보행자 보호, 제품 디자인의 자율성등의 우수한 장점을 가지고 있어 그 사용량이 급속히 증가하고 있다. 유리섬유함유 플라스틱재료를 이용한 레귤레이터 레일의 사출성형시 불량률최소화를 위해 유한요소해석과 실험계획법을 사용하여 성형공정중의 휨변형량(warping)과 수축변형을 최소화할 수 있는 최적의 성형조건을 제시하고자 한다. 또한 유리섬유의 유동성과 냉각효율의 확보를 위해 최적의 게이트 및 런너방식을 설정한다. 사출금형을 제작하여 제품을 성형제작한 후 휨변형등의 성능확인을 통해 해석방법의 유효성과 최적화의 실효성을 확인하고자 한다.

Abstract Injection molding product is commonly used for reducing the weight of automotive vehicle, and door regulator guide rail with plastic material is also made by injection molding process. In order to improve the injection molding performance of plastic regulator guide rail, optimal molding condition is suggested by numerical simulation and DOE after obtaining the sensitivity of parameters for regulator rail manufacturing on warpage and fill time. Furthermore, multi direct gate method and optimal cooling circuit are introduced to get the uniform temperature distribution and better cooling efficiency in molding product. The effect of the proposed design on the injection molding performance is verified by the test of prototype of plastic regulator guide rail.

Key Words : Plastic Regulator Rail, Injection Molding, Multi Direct Gate, Cooling Channel

1. 서론

차량 경량화는 고갈되어가는 석유자원의 절약과 배출가스 최소화를 통한 환경부담 경감을 위해 자동차산업에 있어 가장 화두가 되고 있는 연구개발 분야이다. 자동차 차체 경량화라는 요구에 대응하여 고장력강 확대, 금속 대체 경량 소재인 플라스틱, 알루미늄, 마그네슘 등의 신소재 부품 개발에 대한 중요성이 확대 되는데, 이는 자동차 부품에의 고성능 경량화 재료의 적용이 차량에 필요한 동력 성능을 감소시켜 연비개선 및 주행거리 증대와 이를 통한 배출가스 감소와 비용감소라는 선순환 구조의

원천이 되기 때문이다. 이러한 사례 중의 하나로 기존의 프레스 공법에 의해 제작되던 자동차 부품 모듈들이 고분자 재료를 이용한 사출성형 공법으로 대체되어 생산되고 있다[1].

플라스틱 소재는 차량 경량화뿐만 아니라 충격흡수를 통한 운전자와 보행자 보호, 제품 디자인의 자율성, 그리고 재활용에 따른 부품 가격 저가화 가능 등의 우수한 장점을 가지고 있어 그 사용량이 급속히 증가하고 있다. 또한 금속, 유리와 같은 고강도 특성을 부여함으로써 내장재에서 외장재로의 확대적용이 가능한 제품으로 기대가 큰 소재이기도 하다.

*Corresponding Author : Haeng-Soo Lee (Ulsan College)

Tel: +82-52-279-3109 email: haengsoolee@uc.ac.kr

Received September 5, 2012 Revised October 5, 2012

Accepted December 6, 2012

본 연구는 자동차 도어의 레귤레이터 가이드 레일(Door Regulator Guide Rail)에 관한 것으로 기존에는 강재(Steel)를 이용하여 여러 부품을 제작한 뒤 용접, 리벳, 볼트를 이용하여 조립, 완성하던 것을 유리섬유가 고풍유된 플라스틱 재료를 사용하여 가이드 및 각종 조립용 브라켓, 볼트 등을 일체로 하여 부품수의 감소와 조립공정의 간소화를 달성하였으나 새로운 공정의 적용에 따른 약 20%의 높은 불량률이 문제로 대두되었는데 이는 고분자 재료의 수축 및 휨 등의 변형에 의한 것으로 사출금형의 냉각 성능에서 기인한다.

최적의 사출조건을 도출하기 위해 수치해석과 함께 여러 가지 최적화기법을 도입한 연구가 진행되어왔으며 특히 실험계획법을 이용한 최적화가 사출성형에 널리 적용되고 있다[2-4].

이에 본 연구에서는 레귤레이터 레일의 휨변형량(warpage)과 수축변형 등을 목적함수로 하여 성형공정인자들의 변화에 따른 사출성능을 유한요소해석과 실험계획법을 사용하여 구하고, 이를 통하여 성형성능을 향상시킬 수 있는 최적의 성형조건을 제시하고자 한다. 또한 유리섬유의 유동성과 냉각효율의 확보를 위해 최적의 게이트 및 런너방식을 설정하였다. 사출금형을 제작하여 제품을 성형제작한 후 휨변형등의 성능확인을 통해 해석방법의 유효성과 최적화의 실효성을 확인하고자 한다.

2. 플라스틱 레귤레이터레일 사출성형

2.1 플라스틱 자동차 레귤레이터 레일

자동차 도어의 내측패널과 외측패널사이에 설치되며 도어 윈도우 글래스의 상하 승하강 작동을 지지하는 가이드 레일로서 글래스의 이탈을 방지함과 동시에 원활하게 이동하도록 안내하는 제품이다. 유리섬유가 고풍유된 플라스틱 재료를 사용하고 궤적유지와 유동방지를 위한 글래스 가이드 및 각종 조립용 브라켓과 볼트를 일체로 구비하여 부품수의 감소와 조립공정의 간소화를 목적으로 제작하게 된다.

고분자 재료를 이용한 일체형 사출성형공정의 개발로 인해 원가절감 및 생산성향상은 크게 개선되었지만 현재 고분자재료를 이용한 도어 내측패널의 사출성형 불량률은 20%를 상회하고 있어 생산의 효율이 떨어지는 문제점이 있어 개선이 시급하다.

2.2 생산공정에서의 문제점

유리섬유 및 탄소섬유 등이 고풍유되어 두께의 변화

가 심하고, 볼트 및 너트 등의 인서트 성형 일체형 제품은 금형의 표면 냉각 온도 분포도 중요하지만 무엇보다 제품 자체의 열을 제거하여 후 변형을 방지하는 게 가장 좋은 방법이다.

열가소성 고분자 재료인 폴리프로필렌(Polypropylene)과 장섬유(Long Glass Fiber) 30% 함유한 플라스틱 도어 레귤레이터 레일 제품은 볼트 인서트 일체형 사출 성형 방식으로 금형 온도에 기인한 성형후 변형에 의해 불량률이 예상되는 만큼 제조기술의 개선이 절대적으로 필요하다.

기존의 플라스틱 도어 내측패널 불량은 잠열에 의한 후변형에서 기인하고 있다. 일반적인 사출 금형 냉각 성능은 금형 표면의 온도편차를 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 유지하면 우수한 금형온도 분포라고 알려져 있고 통상적으로 생산 현장에서는 5°C 편차를 넘지 않는다. 본 연구대상 제품의 금형 역시 상기 기준의 금형표면 온도를 유지하였음에도 불구하고 불량률이 감소하지 않는데 이는 국부적으로 인서트 볼트 삽입부의 후육부(Thick Section) 온도가 120°C 를 나타내는 큰 편차에 의해 냉각이 지연되고 사출성형 후 잠열로 인한 변형이 발생하고 있다는 것을 확인하였다. 이로 인해 도어 내측 좌면에 볼트 체결면이 휘어지는 문제가 발생하고, 윈도우 글래스 승하강시 'Guide Run'의 변형으로 작동 이상이 발생하고 있다. 무엇보다 윈도우 글래스의 승하강 작동이 불량할 때 고객 불만을 야기시키고 심지어 리콜 사태까지 불러올 정도로 중요한 품질 성능이 요구되는 실정이다.

3. 사출성형 공정변수 최적화

3.1 초기 공정조건

고강성을 가지는 유리섬유 고풍유 (PP+Glass Fiber 30%)의 수지를 사용하여 사출성형을 하였으며 본 연구 개발에 사용된 플라스틱 수지의 물성치는 Table 1과 같다. ASA수지의 사출성형에 적합한 추천된 수지용융온도 (220°C)를 사용한 뒤, 도어 가이드 레일의 형상 자료를 성형해석 프로그램에 변환입력하여 계산된 추천값으로 레귤레이터 레일의 형상에 요구되는 최대 사출압과 최대 형체력을 최종 설정하였다.

레귤레이터 레일과 같은 스틸 대체 자동차 기능성 부품은 웰드라인에 의한 제품 취약부의 기능 제약 불량 및 수축변형을 방지하고 수지의 유동 밸런스를 좋게 하여야 한다. 공정설계에 포함되어야 할 중요한 성형변수는 매우 다양하지만 사출공정조건외 최적화를 위해 5개의 주요

인자(A, B, C, D, E)로서 아래의 Table 2와 같이 금형온도, 수지온도, 사출압, 보압, 보압시간 등 레귤레이터 레일의 휨변형에 가장 큰 영향을 미치는 인자로 설정하였다. 시제품 제작 사출성형을 위한 초기 공정조건은 기존 플라스틱수지에 대한 실험을 통해 최적화된 데이터를 그대로 적용하여 Table 2와 같이 설정하였다.

[Table 1] Properties of Plastic Material

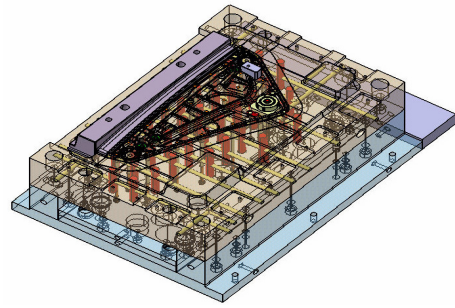
Factors	Properties
Tensile Strength	1150 kg/cm ²
Flexural Strength	1600 kg/cm ²
Flexural Modulus	67000 kg/cm ²
Mold Temperature	40~70 °C
Melt Temperature	210~220 °C
Drying Time	2hrs
Drying Temperature	90 °C
Shrinkage	0.4%

[Table 2] Parameters for Optimization of Injection Molding Process

Parameters	Initial Values
A Mold Temperature (°C)	50
B Melt Temperature (°C)	220
C Injection Pressure (MPa)	120
D Packing Pressure (MPa)	150
E Packing Time (sec)	5

3.2 모델링 및 사출성형해석

사출성형해석을 위한 레귤레이터 레일의 3차원 형상 모델링을 Fig. 1에 도시하였다. 사출성형해석은 충전, 냉각, 보압해석을 통해 마지막으로 변형해석을 수행한다. 레귤레이터 레일 금형의 설계과정에서 성형불량을 예측하여 최적 공정조건을 설정하고, 이러한 결과를 이용하여 냉각 및 보압해석을 실시한다. 냉각해석에서 금형의 평균적인 온도분포를 통하여 효율적인 냉각채널을 설계하며, 보압해석에서 보압의 적절한 시점과 크기를 확인할 수 있다. 최종적으로 위와 같은 해석결과를 통하여 레귤레이터 레일의 휨(warpage) 변형을 유발하는 수축에 관한 정보를 획득하고 최종 수축과 휨에 의한 변형을 확인할 수 있다.



[Fig. 1] 3D Modeling of Regulator Rail

3.3 공정변수 최적화

다양한 최적화 기법중 하나인 실험계획법을 이용하여 사출성형 공정인자에 대한 최적화를 수행하도록 시스템을 구성하였다. 그리고 최적화 방법에 의해 추출된 결과를 활용하여 사출성능 시뮬레이션해석에 적용하는 작업을 수행하였다.

5개의 공정변수는 3수준으로 하여 Table 3과 같이 인자의 수준을 정하였고 이는 수지업체에서 추천하는 성형 범위를 벗어나지 않도록 하였다.

[Table 3] Levels of Design Parameters

Parameters	-1	0	1
A Mold Temperature (°C)	45	50	55
B Melt Temperature (°C)	210	220	230
C Injection Pressure (MPa)	110	120	130
D Packing Pressure (MPa)	140	150	160
E Packing time (sec)	4	5	6

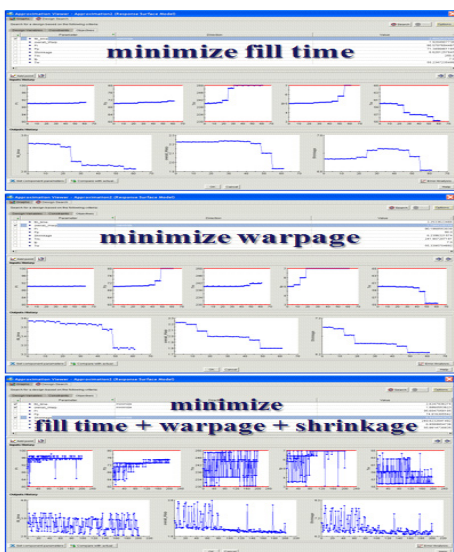
해석을 통해 용융 수지의 충전시간(fill time), 휨변형(warpage), 수축변형(shrinkage)을 얻게 되며, 상호 영향을 통하여 동시에 모두 최소화할 수 있도록 도출하였다. 실험계획법에 따라 24회의 해석 실험을 통하여 얻은 각각의 결과는 다음의 Table 4와 같으며 Fig. 2와 같이 상용최적화SW인 iSIGHT를 사용하여, 각 인자들의 결과에 미치는 기여도를 파악하였고 세가지 목적함수를 최소화시킬 수 있는 변수들의 조합을 도출하였다.

위의 최적화 과정에 의해 결정된 Table 5와 같은 공정 변수의 최적치로 레귤레이터 레일의 변형해석을 다시 수행하여 그 결과 Table 6과 같이 초기공정조건에 비해 휨 변형량등 모든 결과치가 10%이상 현저히 개선되었음을 알 수 있다.

[Table 4] Design Table for DOE

- Out1 : Overall Warpage
- Out2 : Volume Shrinkage
- Out3 : Fill Time

Run	C	B	A	E	D	Out1	Out2	Out3
1	140	210	45	3	110	2.7	4.22	4.94
2	140	210	50	5	120	2.2	3.54	5.05
3	140	210	55	7	130	1.86	3.11	4.26
4	140	210	45	5	120	2.15	4.21	4.61
5	140	220	50	7	130	1.79	3.04	4.49
6	140	220	55	3	110	2.89	4.67	4.49
7	140	230	45	7	130	1.75	3.38	3.93
8	140	230	50	3	110	2.94	5.33	4.15
9	150	230	55	5	120	2.32	4.24	4.26
10	150	210	45	5	130	1.96	3.54	4.96
11	150	210	50	7	110	2.2	3.54	5.05
12	150	210	55	3	120	2.61	3.98	5.15
13	150	220	45	7	110	2.22	3.87	4.38
14	150	220	50	3	120	2.7	4.42	4.49
15	150	220	55	5	130	2.1	3.51	5.49
16	150	230	45	3	120	2.82	4.8	3.93
17	150	230	50	5	130	2.15	3.87	3.93
18	160	230	55	7	110	2.21	4.08	5.04
19	160	210	45	7	120	2.05	3.33	4.94
20	160	210	50	3	130	2.43	3.75	5.05
21	160	210	55	5	110	2.46	3.89	5.15
22	160	220	45	3	130	2.53	4.16	4.60
23	160	220	50	5	110	2.38	4.23	4.71
24	160	220	55	7	120	2.02	3.52	4.81



[Fig. 2] Optimization Process by iSIGHT

[Table 5] Optimal Combination of Design Parameters

Parameters		초기	최적
A	Mold Temperature (°C)	50	48
B	Melt Temperature (°C)	220	222
C	Injection Pressure (MPa)	120	120
D	Packing Pressure (MPa)	150	145
E	Packing time (sec)	5	5.6

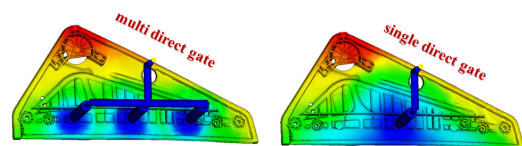
[Table 6] Simulation Results of Molding Process Optimization

Outputs	Initial Results	Optimal Results	Reduction
Warpage : all effects (mm)	1.20	0.97	19.2%
Volume shrinkage (%)	5.0	4.26	14.8%
Fill Time (sec)	5.0	4.6	8.0%

4. 게이트 및 런너 최적화

4.1 다중게이트

런너에 의한 재료 낭비 방지와 유리섬유의 유동성 확보를 위해서 런너레스(Runnerless) 방식의 다이렉트 게이트(Direct gate)방식을 선정하였고[5] 3개의 게이트를 사용하는 다중 게이트(multi gate)방식과 제품 중앙에 하나의 게이트만을 사용하는 단일 게이트(single gate)방식으로 성형해석을 진행하였다. 레귤레이터 레일 성형을 위한 최적의 게이트방식을 선정하고자 Fig. 3과 같이 두 가지 게이트 방식을 모두 적용하여 시뮬레이션을 통해 각각 유동해석을 수행하였다.



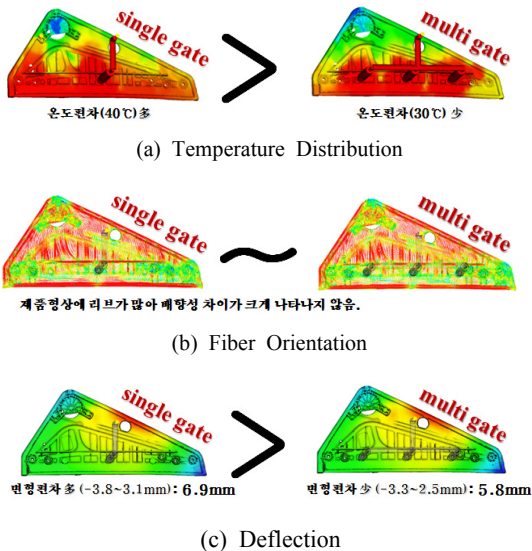
[Fig. 3] Gates for Regulator Rail Molding

각각의 게이트방식에 대한 해석 결과 Fig. 4와 같이 3점 게이트 방식은 수지충전시 금형 내 제품의 온도편차가 단일 게이트방식에 비해 낮고 변형에 의한 불량요인이 적어서 적용시 제품에 불량률이 단일 1점 게이트 보다 양호하게 됨을 예측할 수 있다. 따라서 단일 1점 게이트(1point Direct gate)에 비해서 3점 다중 게이트(3points

Multi gate)를 사용하는 게이트 방식이 레귤레이터 그릴 사출성형을 위한 본 연구에 보다 적합함을 알 수 있다.

또한, 러너(runner)방식은 사출성형 동안 러너가 응고 되지 않고 사출온도가 그대로 유지되는 핫러너(hot runner)방식과 그렇지 않은 콜드러너(cold runner) 방식으로 나뉘며, 레귤레이터 레일 사출성형공정에서는 핫러너 방식을 사용한다. 핫러너 방식의 러너시스템과 아울러 시퀀스 밸브 게이트 시스템(Sequence valve gate system)을 사용하였다. 이는 게이트가 사이클마다 이형되고 그것을 재활용하기 위해서는 분쇄를 하여야 하기 때문이다.

이처럼 생산비용을 높이는 경제적 손실뿐만 아니라, 원료의 열적물성 저하와 오염에 의한 위험을 줄여주기 위해서 '3점 다이렉트 게이트(3points direct gate) + 시퀀스 밸브 게이트 시스템(Sequence valve gate system)+ 핫러너 시스템(Hot runner system)'의 고도화된 방식을 최종 적용하였다.

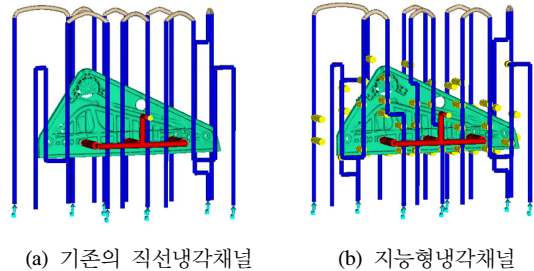


[Fig. 4] Comparison of Mechanical Performance between Single and Multi Gate

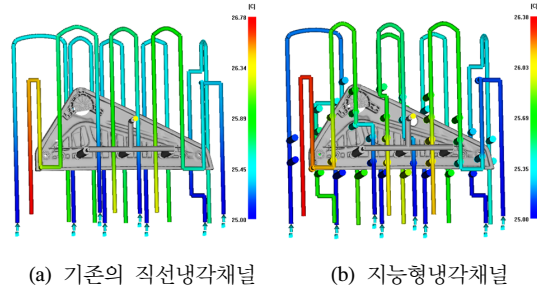
4.2 지능형 냉각채널

플라스틱 원료를 용융점 이상으로 가열하여 충분히 용융이 된 후에 최종 형상으로 가공이 이루어져야 하기 때문에 플라스틱 사출성형공정에는 많은 열이 소요된다. 냉각은 가능한 빠른 시간 내에 이루어져야 하며, 빠른 냉각 시간은 시간당 생산량을 높여주게 된다. 이렇게 사출성형에서 제품의 냉각은 전체 공정의 70%이상을 차지하는 중요한 공정이다. 따라서 냉각해석을 통하여 효율적인 냉각 방식을 설정하는 일은 매우 의미 있는 과정이며[6], 본

연구에서는 Fig. 5에 도시된 것과 같이 기존의 일반적인 직선형 냉각채널과 배플 및 단독 냉각장치를 사용한 지능형 냉각채널의 비교 해석을 통하여 최적의 냉각방식을 선정하고자 하였다.



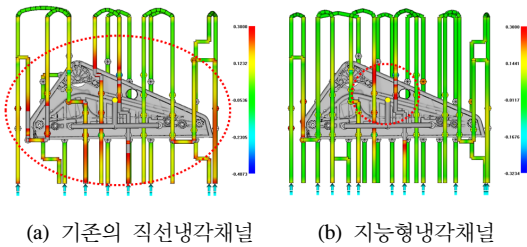
[Fig. 5] Cooling Circuit for Regulator Rail



[Fig. 6] Results of Circuit Coolant Temperature

Fig. 6은 냉각채널온도 (Circuit Coolant Temperature)의 결과로 냉각수의 온도 변화를 나타낸다. 냉각수가 입수부를 통과하여 금형 밖으로 나올 때까지 제품으로부터 열을 얻게 되어 온도가 상승한다. 일반적으로 냉각수의 입수부와 출수부사이의 온도편차는 2°C이하가 되어야 한다. 온도가 그 이상으로 증가하는 경우에는 불균일한 수축 편차에 의한 변형이 발생할 수도 있다. Fig. 6 (a)의 일반적인 직선형 냉각채널에서의 입수부와 출수부 사이 온도차는 5.7°C (25.00°C~30.70°C)이며, Fig. 6 (b)의 배플 및 단독냉각장치를 사용한 지능형 냉각채널에서의 온도차는 1.38°C (25.00°C~26.38)로 연구개발의 지능형 냉각채널의 온도차가 작아 냉각효율이 더욱 좋을 것을 알 수 있다.

냉각채널의 열전도효율(Circuit Heat Removal Efficiency)은 제품으로부터 냉각채널의 각각의 요소가 얼마나 효과적으로 열을 제거하는지에 대한 효율의 비를 나타낸다. 여기서 효율은 제품과 냉각채널과의 거리가 가까울수록, 냉각채널의 레이놀즈수(Reynolds No)가 클수록, 제품과 냉각수의 온도편차가 클수록 증가한다. 따라서 이 결과는 냉각채널들이 제품으로부터 열을 얼마나 많이 제거하는가를 나타낸다.



[Fig. 7] Results of Circuit Heat Removal Efficiency

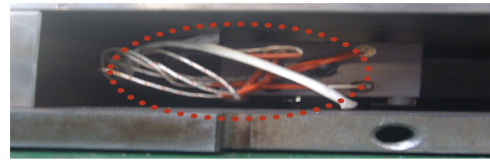
Fig. 7 (a)의 일반적인 직선형 냉각채널의 경우에 레귤레이터 레일은 전체적으로 제품으로부터 열을 효과적으로 제거하지 못하고 있다. 이는 레귤레이터 레일의 가장 자리 넓은 면에 게이트가 위치하고 있어 다른 부분보다 온도가 높아 냉각효율이 다소 떨어지기 때문이다. 따라서 냉각채널의 수를 추가하거나 근접 이동하도록 설계를 다시 하여야 한다. 그러나 Fig. 7 (b)의 배플 및 단독 냉각 시스템을 사용한 냉각채널의 경우에는 현재 매우 효율적으로 열을 제거하고 있음을 확인할 수 있다.

위의 냉각해석 결과들을 종합한 결과, 레귤레이터 레일을 위한 냉각방식으로 일반적인 직선형 냉각방식 보다는 배플 및 단독냉각 시스템을 사용한 지능형 냉각채널을 적용하는 것이 적합하다는 사실을 확인하였다.

5. 금형가공 및 시험사출

금형 제작은 CNC가공, EDM(Electric Discharge Machine) 가공을 각각 거친 뒤 사상공정을 통해 금형의 표면을 매끄럽게 최종 가공하여 조립 완성한다. 런너의 방식은 앞절에서 결정된 핫런너방식의 시퀀스 밸브게이트 시스템으로 Fig. 8과 같이 금형 내에 설치하였다. 이를 통하여 사출성형 사이클 도중에 핫런너에 수지가 충전되고 성형제품만 취출됨으로서 런너의 처리와 성형 후 런너의 저장 및 재활용의 부담이 없게 되었다. 런너가 없기 때문에 사출량, 가소화시간 (다음 사출을 위해 수지를 용융시키는 시간) 및 런너의 냉각시간이 감소된다.

설계, 가공, 사상, 조립공정을 거친 Fig. 9와 같은 금형을 550톤 사출성형기에 장착하여 Bolt Insert후 사출성형을 시행하여 Fig. 10의 시제품제작을 하였다. Bolt insert 후 사출성형이 이루어지기까지 볼트의 유동이 없었으며 사출성형 후에도 data기준과 동일한 위치에 시제품의 형상을 이루고 있다. 성형된 시제품을 상온에서 48시간 방치 후 측정할 결과 ±0.5 mm 이내의 변형으로 스펙(Spec.)을 만족시키는 성과를 도출하였다.

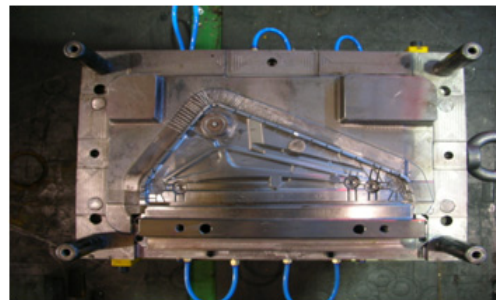


< Hot Runner Block >



< Hot Runner Nozzle >

[Fig. 8] Hot Runner Valve Gate System

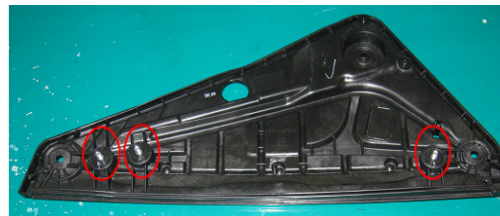


(a) 고정측(상) 금형



(b) 가동측(하) 금형

[Fig. 9] Mold for Ragulator Rail



(a) 레귤레이터 레일정면 (Bolt insert 3개소성형)



(b) 레귤레이터 레일후면

[Fig. 10] Prototype of Regulator Rail

6. 결론

플라스틱재료를 이용한 자동차 레귤레이터 레일의 제작과 불량률최소화를 위해 유한요소해석과 실험계획법을 사용하여 성형공정인자들의 변화에 따른 사출성능을 살펴봐왔다.

- (1) 충전시간, 힘변형, 수축변형을 모두 최소화할 수 있는 설계인자(금형온도, 수지온도, 사출압, 보압, 보압시간)의 최적조합을 구하였고 이를 통하여 10%이상 성형성능을 개선하였다.
- (2) 3점의 다중 게이트방식이 금형내 제품의 온도편차가 낮고 변형에 의한 불량 요인이 적다.
- (3) 냉각방식에 따른 냉각채널온도분포와 열전도효율로부터 배플 및 단독냉각 시스템을 사용한 지능형 냉각채널을 적용하는 것이 적합하다.

References

- [1] H.S.Park, J.H.Kim, T.S.Tran and X.P.Dang, "Development of Injection Molding Process for Radiator Grille with Chrome Metal Film", Proceedings of the KSME 2009 Fall, pp. 1266-1271, 2009.
- [2] J.Y.Oh and Y.J.Huh, "A Study on Optimization of Injection-molded System Using CAE and Design of Experiment", J. of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 7, pp. 271-277, 2006.
- [3] K.Park, J.H.Ahn and S.R.Choi, "Application of Design of Experiments and Numerical Analysis to Optimal Design for Injection Molding Process of Electrical Parts", Transactions of the KSME A, Vol. 26, pp. 1348-1356, 2002.
- [4] Y.U.Lee, "A Study on the Battery Case Injection Molding by CAE Analysis", J. of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society Vol. 12, pp.

55-61, 2011, Article(CrossRefLink), [Article\(CrossRefLink\)](#)

- [5] B.R.You, "Runnerless Injection Molding", SungAnDang, 1999.
- [6] H.J.Moon, S.K.Lee and C.D.Cho, "Cooling System Design for Minimizing the Side Effects Caused During in Injection Molding", Proceedings of the KSME 2008 Spring, pp. 428-433, 2008.

이 행 수(Haeng-Soo Lee)

[정회원]



- 1990년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과 (공학석사)
- 1995년 8월 : 한국과학기술원 기계공학과 (공학박사)
- 1995년 9월 ~ 2008년 2월 : 삼성전자
- 2008년 3월 ~ 현재 : 울산과학기술대학교 디지털기계학부 조교수

<관심분야>
구조진동해석, 성형해석

변 흥 석(Hong-Seok Byun)

[정회원]



- 1999년 2월 : 부산대학교 정밀기계공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : 광주과학기술원 기계전공학과 (공학박사)
- 2005년 2월 ~ 2008년 2월 : 국방과학연구소
- 2008년 3월 ~ 현재 : 울산과학기술대학교 디지털기계학부 조교수

<관심분야>
패속조형, 소성가공, CAD/RE