

게이트 종류에 따른 라디에이터 그릴의 해석결과와 비교에 대한 연구

유영태¹, 이춘규[†]

공주대학교 금형공학과¹
공주대학교 디지털융합금형공학과[†]

A Study on Analysis Results and Comparison of Radiator Grille by Gate Type

Young-Tae Yu¹, Chun-Kyu Lee[†]

Department of Metal Mold Engineering, Kongju National University¹
Department of Digital Convergence Metal Mold Engineering, Kongju National University[†]
(Received January 11, 2024 / Revised March 15, 2024 / Accepted March 31, 2024)

Abstract: The radiator grille has several air intakes. These holes cause the resin flows to divide and merge. As a result, weld lines occur. These weld lines and other problems appear in various forms depending on the grille pattern. To solve these problems, designers use injection molding analysis to proactively identify problems and determine optimal molding conditions. In this study, we conducted research on the effect and optimization of gates on injection molding of automobile radiator grille. The gates used in molding analysis are the side gate and the grape gate. We then compared the effects of each gate on weld line, injection pressure, clamping force, and deflection. As a result of the analysis applying the side gate, weld lines occurred in all major grilles. In contrast, in applying the grape gate, small weld lines occurred in the minor grille, but the weld line in the major grille could be prevented. The maximum injection pressure was reduced by 48.2% in applying the grape gate compared to applying the side gate. Additionally, the maximum clamping force was also reduced by 17.6%. To compare the amount of deformation, deflection values were measured at 20 identical locations. As a result, applying the grape gate showed a deformation improvement of at least 5.2% and up to 77.9%.

Key Words: ASA, CAE, Grape gate, Injection molding analysis, Radiator grille, Side gate, Weld line

1. 서론

사출성형은 플라스틱 제품의 생산을 위한 하나의 생산 수단으로서 발전하고 있다¹⁾. 사출성형을 위한 금형의 초기 투자비가 고액이고 금형 수정 시 추가적인 비용이 발생하지만 동일한 제품을 균일하게 대량생산할 수 있다는 큰 장점이 있어 폭 넓게 이용되고 있다²⁾. 또한 금속보다 매우 가벼운 플라스틱의 특성으로 인해 경량화를 목적으로 다양한 분야에서 사용되고 있으며 특히 자동차부

야에서 크게 적용하고 있다^{3,4)}. 최근 지구온난화와 환경오염의 원인 중 하나로 자동차의 배기가스가 지목되면서 유럽 배출가스 규제 기준이 더욱 엄격해지고 있으며 각 국가와 기업이 온실가스 배출을 감축에 동참하고 탄소중립을 달성하겠다는 선언을 하였다⁵⁾. 이러한 경향으로 자동차 업계는 내연기관에서 전기자동차로 전환과 동시에 친환경차 산업이 급성장 중이며 경량화를 위해 플라스틱과 신소재의 적용 비중을 늘리고 있다⁶⁾. 전기자동차는 내연기관에 비하여 발생하는 열이 크게 감소하였고 공기저항계수를 낮추기 위해 불필요한 라디에이터 그릴의 면적을 대폭 줄이거나 삭제하는 등으로 디자인이 크게 변화하고 있다⁶⁾. 하지만 내연기관과 전기차의 또 다른 대안으로 대체연료 기술과 수소

[†]교신저자: ckt1230@kongju.ac.kr

* 본 논문에 대한 저작권은 저자들에게 있으며 CC BY-NC-SA를 만족하는 조건으로 이용할 수 있습니다.

연료전지차(FCEV)의 연구개발이 진행되고 있음에 따라 Grille 디자인은 앞으로도 필요할 것이라 예측된다⁷⁾. 이러한 그릴은 엔진 냉각, 연료전지를 위한 공기유입을 위해 다수의 구멍 형상이 존재한다. 이러한 구멍 형상에 의해 제품 성형시 수지흐름이 나누어지고 다시 결합됨에 따라 웰드라인(Weld line)이 발생한다. 또한 자동차마다 그릴의 패턴, 디자인이 다르기 때문에 웰드라인이 발생하는 위치, 경향이 모두 다르게 나타난다. 이를 해결하기 위해 금형 설계에 앞서 성형해석을 활용하여 사출성형시 발생하는 문제점을 미리 파악하고 최적의 게이트 위치와 성형조건을 선정하고 있다. 앞서 성형해석을 이용하여 성형문제와 이를 해결하는 연구가 진행되어왔다. Sung(2019) 외는 다수 캐비티의 성형을 위해 게이트 위치와 런너 크기를 조정하여 유동의 최적화를 진행하였다⁸⁾. Yoo(2021) 외는 성형해석과 게이트 위치조정을 통하여 세탁기 Base의 품질개선을 위한 연구를 진행하였다⁹⁾. Park(2011) 외는 안개등 사출성형품의 충전과정에서의 사출압력을 최소화하고 웰드라인을 방지하기 위한 연구를 진행하였다¹⁰⁾. 하지만 라디에이터 그릴의 성형과 관련된 연구는 크게 이루어지지 않았다.

본 연구에서는 자동차의 라디에이터 그릴의 웰드라인, 제품의 변형에 영향을 미치는 사출압력의 상태와 제품의 변형을 최소화하기 위해 Side gate와 Grape gate를 적용하여 최적의 게이트와 개선된 사출성형 결과를 도출하는 것을 목적으로 하였다.

2. 본 론

2.1. 라디에이터 그릴의 제품도 분석

본 연구에 적용하는 대상으로 자동차의 라디에이터 그릴을 선정하였다. 해당 성형품은 자동차의 디자인을 나타내는 중요한 제품 중 하나이다. 차량의 바깥쪽을 장식하여 이미지 향상을 꾀하고 부가가치를 높이는 익스테리어의 부품 중 하나이기에 웰드라인, 플로우 마크(Flow mark) 등의 표면 품질 문제의 발생을 최소화하는 것이 중요하다.

Fig. 1은 연구대상에 대한 3D 모델을 나타내었다. Fig. 1의 (a)는 제품의 정면도, (b)는 우측면도, (c)는 중심부를 기준으로 한 우측 단면도를 나타내었다. 크기는 약 1102×314.7×161 mm이며, 제품의 평균 두께는 2.8 mm이다. 그릴 패턴 간의 간격은 약

60 mm이며 그릴의 높이는 약 40 mm이다.

원재료는 LG Chem사의 ASA(Acrylate Styrene Acrylonitrile) LI928을 적용하였다. Table 1은 수지의 기계적 특성이며, Table 2는 권장 성형조건이다.

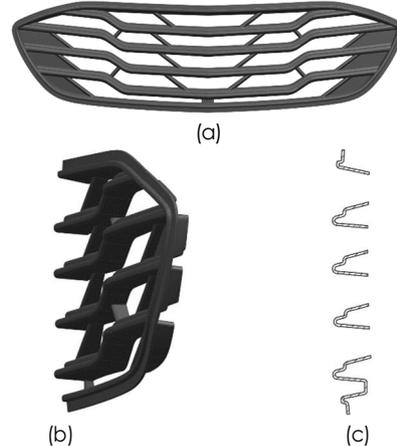


Fig. 1 3D model of radiator grille: (a)front view (b)right side view (c)section view from the center

Table 1 Mechanical properties of LI928

Mechanical property	Unit	Value
Elastic modulus	MPa	2096
Poisson's ratio	-	0.38
Shear modulus	MPa	769.9
Conductivity	W/m °C	0.19
Specific heat	J/kg °C	2530
Melt density	g/cm ³	0.93

Table 2 Processing data sheet of LI928

Process conditions	Unit	Value
Mold temperature range	°C	40 - 60
Optimal mold temperature		50
Melt temperature range		220 - 280
Optimal melt temperature		250
Ejection temperature		94

2.2. 사출성형해석과 게이트 선정

사출성형 해석은 AUTODESK의 Moldflow insight을 사용하였다. Element의 형태는 Dual domain을 사용하였고, 총 Element의 개수는 114,298개이다. 수지의 유동시스템은 Hot runner system과 5점의 밸브 노즐(Valve Nozzle)을 적용하였다. Fig. 2는 제품의

Mesh와 유동시스템의 모델 및 노즐의 위치를 나타내었다. Table 3은 Hot runner system에 대한 정보이다.

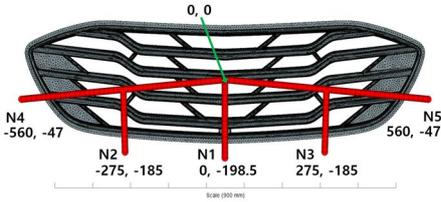


Fig. 2 Mesh model and nozzle location

Table 3 Information of hot runner system

Hot runner system	Diameter
Sprue	Ø12
Manifold	Ø18
Nozzle	Ø18
Valve gate	Ø5

게이트 종류에 대한 성형의 영향을 확인하기 위해 2가지의 게이트를 선정했다. 첫번째 조건으로 Side gate는 각각의 밸브 노즐로부터 성형품으로 연결하여 총 5점(point)의 게이트를 사용하였다. 런너의 크기는 Ø10이며 게이트의 크기는 폭 15 mm, 두께 1.8 mm이다. Fig. 3은 Side gate를 사용한 성형해석 모델을 나타내었다. 웰드라인을 최소화하기 위해 Valve control을 적용하였다. N1 노즐은 사출시작 시 열려있는 상태이며 그 외의 밸브 노즐이 열리는 시점은 유동선단이 점차적으로 각 게이트에 도달하는 시점이며 그 시점은 Table 4와 같다.

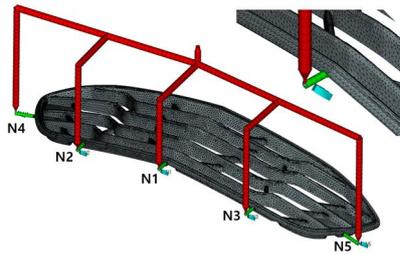


Fig. 3 Analysis model of case 1 with side gate

Table 4 Information of valve control in case 1

No.	Open (time / volume)	Close
N1	0s / 0%	End of pack
N2, N3	1.993s / 24.94%	End of pack
N4, N5	3.611s / 49.27%	End of pack

두번째 조건으로 Grape gate를 적용하였다. Grape gate는 핀 포인트 게이트와 캐슈(Cashew) 게이트가 접목된 형태의 게이트이다. 후방(역)사출의 금형구조를 사용하지 않고 금형 코어측에 다점의 핀 포인트 게이트를 설치할 수 있으며 성형품 취출 시 게이트의 자동 커팅이 구현된다. Fig. 4는 Grape gate를 적용한 해석모델과 게이트의 상세한 모습을 나타내었다. Grape gate는 N1-N3까지 각 노즐 당 5점의 게이트를 적용하였으며 게이트 자국의 노출과 품질문제를 최소화할 수 있도록 그레이존(Gray zone)에 위치하였다. 성형품의 길이방향 외곽 형상은 구멍이 없고 충전 필요량이 많은 것을 고려하여 N4, N5는 Side gate를 적용하였다. 각 런너, 게이트의 크기 및 런너 길이는 Table 5와 같다.

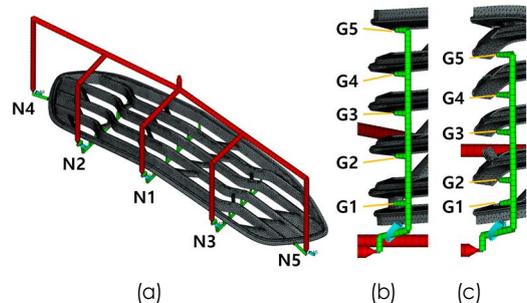


Fig. 4 Analysis model of case 2 with grape gate: (a)overall analysis model (b)detail nozzle 1 (c)detail nozzle 2, 3

Table 5 Information of runner and gate in case 2

No.	Runner	Gate	Length form nozzle	
N1	Ø10	Ø2	G1	133.85
			G2	197.75
			G3	260.15
			G4	315.15
			G5	374.96
N2, 3	Ø10	Ø2	G1	135.55
			G2	167.5
			G3	236.3
			G4	288.5
			G5	343.6
N4, N5	Ø10	15 x 1.8	54.11	

밸브 노즐이 열리는 시점은 Table 6과 같으며 N1은 사출 시작 시 열려 있는 상태이다. N2, 3는 유동선단이 각각의 G2게이트에 도달 시 열리도록 하였으며 N4, 5 또한 유동선단이 게이트에 도달하는 시

점에 작동하도록 설정하였다. 연구에 적용한 성형 해석은 Table 7의 성형조건을 적용하여 진행하였다.

Table 6 Information of valve control in case 2

No.	Open (time / volume)	Close
N1	0s / 0%	End of pack
N2, N3	3.616s / 50.1%	End of pack
N4, N5	6.791s / 97.89%	End of pack

Table 7 Injection analysis conditions

Process conditions	Unit	Value
Injection time	sec	6.0
Packing pressure	MPa	65
Packing time	sec	10
Cooling time	sec	40
Coolant temperature	°C	50
Melt temperature	°C	250
Mold temperature	°C	50

3. 해석결과

3.1. 성형해석 결과 분석

성형해석결과에서 시간에 따른 충전은 Fig. 5와 같이 나타났으며 제품이 YZ평면(제품중심) 기준으로 대칭이기에 해석결과를 비교를 위하여 절반씩 표현하였다. 좌측(a)는 Side gate를, 우측(b)는 Grape gate를 적용한 결과이며 위에서 순차적으로 충전비율의 25%, 50%, 75%, 100%를 나타내었다. 게이트 종류와 위치에 대한 영향으로 Side gate를 적용한 Case 1(a)은 제품의 외측으로부터 중심부로 충전되어 갔으며 Grape gate를 적용한 Case 2(b)는 제품의 중심부터 외측으로 고르게 충전되었다. 이에 대한 영향으로 Air trap과 웰드라인 또한 다르게 나타났다. Fig. 6은 성형해석에서 웰드라인이 발생한 위치에 대하여 나타내었다. Case 1(a)의 경우 가로방향의 주요 그릴 마다 웰드라인이 발생하였으며 특히 최종 충전부인 제품의 중심에서 모두 웰드라인이 발생하였다. 그에 반해 Case 2(b)의 경우 주요 그릴에는 웰드라인이 최소화되었으나 세로방향의 보조 그릴에 웰드라인이 발생하였다. 이는 각 그릴마다 Grape gate가 적용되었기에 나타난 결과로 사료된다. Fig. 6의 (b)의 표기된 부위에 웰드라인이 크게 발생한 것으로 나타났는데 N2, 3의 노즐 밸브가 열

리는 시점이 유동선단이 게이트에 도착하는 시점보다 이르기 때문에 나타난 결과로 사료된다.

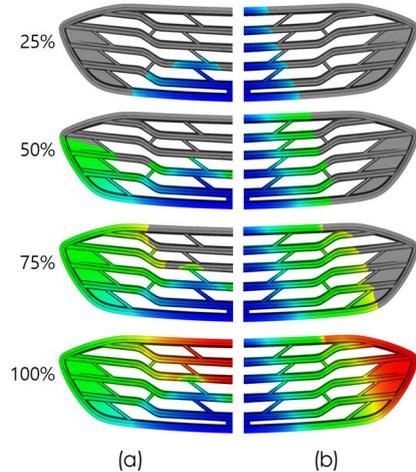


Fig. 5 Result of fill time: (a)case 1 (b)case 2

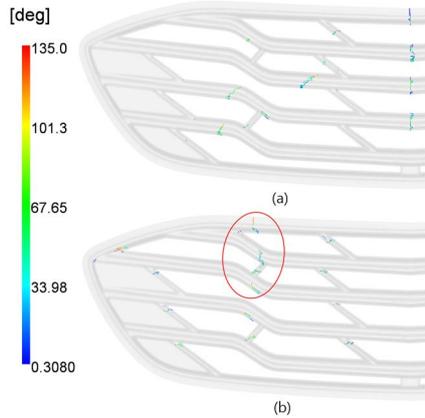


Fig. 6 Result of weld line: (a)case 1 (b)case 2

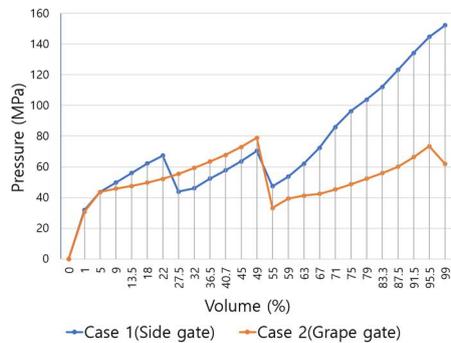


Fig. 7 Comparison of pressure at injection location

Fig. 7는 사출성형시 발생하는 사출압력을 성형품이 충전되는 부피 비율에 따라 비교하는 그래프이다. Case 1의 최대 사출압력은 보압전환(99%)에서 152.25 MPa로 나타났다. Case 2의 최대 사출압력은 충전비율 49%에서 78.87 MPa로 나타났으며 보압전환 시에는 62 MPa의 사출압력이 발생하였다. Case 2의 95.5-99%부근에서 사출압력이 감소하는 것으로 나타났는데 이는 N4, 5번 노즐이 열림에 따라 발생한 것으로 사료된다. 이와 같이 최대 사출압력을 비교한 결과 Case 2의 사출압력이 Case 1에 비하여 약 48.2% 감소한 것을 확인하였다.

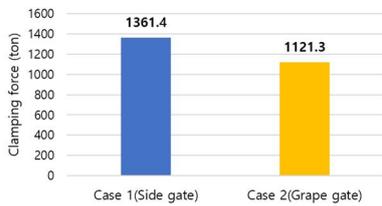


Fig. 8 Comparison of clamping force

Fig. 8은 최대 형체력을 비교한 그래프이다. Case 1이 약 1,361.4 ton이며 Case 2이 약 1,121.3 ton으로 Grape gate를 적용한 Case 2의 형체력이 약 17.6% 감소한 것으로 나타났다.

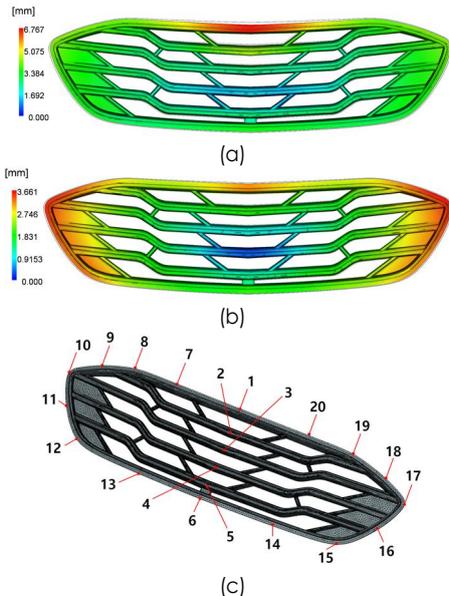


Fig. 9 Deflection results: (a)case 1 (b)case 2 (c)measuring point

Fig. 9는 Side gate와 Grape gate를 적용한 제품의 변형값을 비교하기 위한 해석결과와 측정 위치를 나타내었다. 최대 변형값은 각각 (a) 6.767 mm, (b) 3.661 mm로 나타났지만 최대 변형이 발생한 위치가 일치하지 않기 때문에 동일한 지점의 변형값을 측정하기 위해 (c)와 같은 측정점을 선정하였다. (c)의 2-5는 중심부 그릴의 높은 부위이며 1, 6, 7-20은 제품의 테두리를 지정하였다.

Table 8 Deflection value and decline rate unit: mm

Point	Case 1 Side gate	Case 2 Grape gate	Difference	Decline Rate (%)
1	6.77	3.17	3.60	-53.2
2	4.65	1.92	2.73	-58.7
3	2.41	0.99	1.42	-58.9
4	1.63	0.36	1.27	-77.9
5	2.64	1.36	1.28	-48.5
6	3.42	2.00	1.42	-41.5
7	5.19	2.61	2.58	-49.7
8	4.18	2.85	1.33	-31.8
9	4.29	3.35	0.94	-21.9
10	4.30	3.56	0.74	-17.2
11	3.70	3.32	0.38	-10.3
12	3.23	3.23	0.00	0.0
13	2.79	2.16	0.63	-22.6
14	2.98	2.26	0.72	-24.2
15	3.07	2.91	0.16	-5.2
16	3.61	3.24	0.37	-10.2
17	4.24	3.60	0.64	-15.1
18	4.24	3.41	0.83	-19.6
19	4.19	2.78	1.41	-33.7
20	5.55	2.75	2.80	-50.5

Table 8은 Case 1, 2에서 측정한 변형값, 차이값, 감소율을 나타낸 결과값이다. Fig. 10은 Table 8을 토대로 측정위치의 변형값을 비교한 그래프이다. Fig. 10와 같이 Case 2가 대부분의 측정점에서 변형값이 낮게 나타났다. 특히 Case 1의 1, 2번 측정점에서 6.77 mm, 4.65 mm의 변형이 발생한 것에 비하여 Case 2에서는 3.17 mm, 1.92 mm의 변형이 발생하여

변형이 53.2%, 58.7% 개선되었음을 확인하였다. 이와 같은 결과의 요인으로 보압 단계에서 성형품에 압력이 전달되지 못한 것이 변형에 영향을 준 것으로 사료된다.

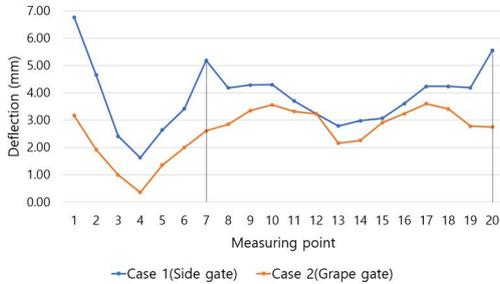


Fig. 10 Comparison of deflection

Fig. 11은 보압 시 성형품에 작용한 압력을 나타내었다. 앞의 Fig. 7에서 Case 1의 70-99%구간이 1, 2번 측정점의 부위를 충전하는 시점으로 높은 사출압력이 발생하고 그로 인해 잔류응력이 발생하였으나, Fig. 11(a)와 같이 보압시 압력이 전달되지 못하여 약 17 MPa의 낮은 압력이 작용되었다. 그에 반해 Case 2는 Fig. 11(b)와 같이 보압 시 모든 부위에 55 MPa 이상의 압력이 작용되었다.

전체적인 변형을 비교한 결과 Case 2에서 최소 5.2%, 최대 77.9%의 변형개선이 이루어졌다.

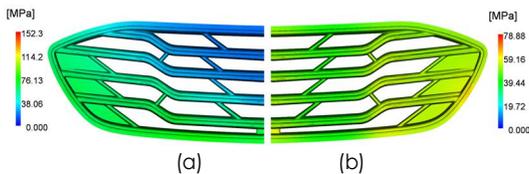


Fig. 11 Pressure in packing phase: (a)case 1 (b)case 2

3.2. 추가 성형 해석 및 웰드라인 개선 확인

앞서 Fig. 6(b)의 표기부에서 웰드라인이 발생하는 원인으로 노즐 밸브가 열리는 시점이 이른 것을 요인으로 판단했다. 해당 문제점을 해결하기 위해 N2, 3의 노즐 밸브가 열리는 시점을 유동선단이 N2, 3의 모든 게이트(G1-G5)에 도달하는 시점에 열리도록 조정하였다. Fig. 12는 밸브 작동시점을 조정 한 Case 2의 성형해석 결과의 웰드라인 위치를 나타내었으며 Case 1 및 Case 2와 비교하여 웰드라인이 개선되었음을 확인하였다.



Fig. 12 Result of weld line in case 2 adjusted valve control time

4. 결론

본 연구에서는 자동차의 라디에이터 그릴의 웰드라인, 제품의 변형에 영향을 미치는 사출압력의 상태와 제품의 변형을 최소화하기 위해 Side gate와 Grape gate를 적용하여 최적의 게이트와 개선된 사출성형 결과를 구하기 위한 연구를 진행하였다. 첫 번째 조건으로 Side gate 5점을 적용하였다. 두 번째 조건으로 Grape gate 3개소와 Side gate 2점을 적용하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 확인하였다.

- 1) Side gate만 적용한 경우 가로방향의 주요 그릴마다 웰드라인이 발생하였으며 최종 충전부인 제품 중심부에서 모두 웰드라인이 발생하였다.
- 2) Grape gate를 적용한 경우 세로방향의 보조그릴에 작은 면적의 웰드라인이 발생하였으나 주요 그릴의 웰드라인은 방지할 수 있었다.
- 3) 최대 사출압력과 형체력은 Side gate적용시 152.25 MPa, 1361.4 ton이지만 Grape gate적용시 78.87 MPa, 1121.3 ton으로 나타나 각각 48.2%, 17.6% 감소한 것을 확인하였다.
- 4) 변형량을 비교하기 위해 20점의 동일한 부위의 변형값을 측정하였으며 Grape gate를 적용시 side gate를 적용한 해석 결과에 비하여 최소 5.2%, 최대 77.9%의 변형개선이 이루어진 것을 확인하였다.

자동차뿐만 아니라 각 분야의 제품 또한 그릴 패턴과 크기 및 언더컷 등의 제품 구조가 다르기 때문에 Grape gate의 적용에 앞서 금형 구조상에 문제가 없는지 검토가 필요하며 성형성과 문제의 경향 또한 다르게 나타날 수 있기 때문에 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

- 1) Choi, H.J., Park, C.W. and Choi, S.D., Analyses on deformation patterns depending on the injection process for rear lamp reflectors of automotive, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 9:4, pp. 32-37, 2010.
- 2) Kim, B.S. and Han, S.R., Prediction of weight of spiral molding using injection molding analysis and machine learning, Design & Manufacturing, Vol. 17:1, pp. 27-32, 2023.
<http://doi.org/10.22847/ksdme.17.1.202303.005>
- 3) Lee, Y.C., The Improvement of Weldline and Flow mark Defection by using Injection Molding Analysis, Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 30:12, pp. 1295-1301, 2013.
<http://doi.org/10.7736/KSPE.2013.30.12.1295>
- 4) Han, S.R., A study on the deformation optimization of a plastic bezel assembled on the steering wheel of an automobiles, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16:5, pp. 105-112, 2017.
<http://doi.org/10.14775/ksmpe.2017.16.5.105>
- 5) Lee, S.W. and Choi, D.O., A Study on Environmental Regulations of EU and Its Effect on Domestic Automobile Industry -Focused on EURO-6, Journal of Korea Research Association of International Commerce, Vol. 15:4, pp. 439-460, 2015.
- 6) Li, Z.J. and Koo, S., A Convergence Study on the Design Change of Radiator Grill in Passenger Car, The Korean Society of Science & Art, Vol. 39:2, pp. 395-408, 2021.
<http://doi.org/10.17548/ksaf.2021.03.30.395>
- 7) Choi, J.H. and Choi, J.Y., Research Status of Hydrogen Fuel Cell System Based on Hydrogen Electric Vehicle, Journal of Energy Engineering, Vol. 29:4, pp. 26-34, 2020.
<http://doi.org/10.5855/ENERGY.2020.29.4.026>
- 8) Sung, S.M. and Jung, S.J., A study on the motorcycle lear cowl injection molding by CAE analysis, Journal of the Korea Society of Die & Mold Engineering, Vol. 13:4, pp. 34-39, 2019.
<http://doi.org/10.22847/ksdme.13.4.201912.006>
- 9) Yoo, M.J., Kim, K.A. and Han, S.R., Optimization of feed system of base mold for washing machine using CAE, Journal of the Korea Society of Die & Mold Engineering, Vol. 15:1, pp. 1-7, 2021.
<http://doi.org/10.22847/ksdme.15.1.202103.001>
- 10) Park, C.H., Pyo, B.G., Choi, D.H. and Koo, M.S., Design optimization of an automotive injection molded part for minimizing injection pressure and preventing weldlines, Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 19:1, pp. 66-72, 2011.

저자 소개

유 영 태 (Young-Tae Yu)



- 2016년 9월~2022년 12월: 주케이시스 설계부
- 2024년 2월: 공주대학교 금형공학과(공학사)

< 관심분야 >
사출금형 설계 및 성형

이 춘 규 (Chun-Kyu Lee) [종신회원]



- 2014년 8월: 공주대학교 기계공학과(공학박사)
- 2010년 3월~2016년 12월: 유한대학교 금형설계공학과 교수
- 2016년 12월~2018년 3월: 한국폴리텍 대학 창원캠퍼스 금형디자인과 교수
- 2018년 4월~현재: 공주대학교 다지탈융합금형공학과 교수
- 2018년 4월~현재: 공주대학교 글로벌금형기술연구소

< 관심분야 >
프레스 성형 및 금형