



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2023년 2월
석사학위 논문

사출 금형의 밸브 게이트 순차 제어 적용을 위한 피드 시스템 최적화

조선대학교 대학원

용접 · 접합과학공학과

강 수 인

사출 금형의 밸브 게이트 순차 제어 적용을 위한 피드 시스템 최적화

Optimization of Feed System for Application
Sequential Valve Gating in Injection Mold

2023년 2월 24일

조선대학교 대학원

용접 · 접합과학공학과

강 수 인

사출 금형의 밸브 게이트 순차 제어 적용을 위한 피드 시스템 최적화

지도교수 방 희 선

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2022년 10월

조선대학교 대학원

용접·접합과학공학과

강 수 인

강수인의 석사학위 논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 손윤철 (인)

위 원 조선대학교 교수 방희선 (인)

위 원 조선대학교 교수 박철호 (인)

2022년 12월

조선대학교 대학원

목차

List of Figures	III
List of Tables	IV
Abstract	V
1 장. 연구 배경 및 목적	1
1.1 연구 필요성 및 목적	1
1.1.1 밸브 게이트 순차 제어	1
1.1.2 기존 밸브 게이트 순차 제어 시스템의 한계점	3
1.1.3 국내·외 기술 동향	3
1.2 연구 내용	6
2 장. 연구 방법	7
2.1 피드 시스템의 단계별 최적화	7
2.1.1 오버랩 성형기술 적용	7
2.1.2 사선 게이트 적용	9
2.1.3 보조 러너 적용	10
2.2 사출 성형 해석방법	11
2.2.1 밸브 게이트 배치 및 설계	11
2.2.2 피드 시스템 해석 방법 및 조건	14

3 장. 연구 결과 및 고찰	17
3.1 오버랩 성형기술 적용에 따른 특성	17
3.1.1 유동 선단에서의 온도	17
3.1.2 충전시간 내 유동 선단 속도 분포	19
3.2 사선 게이트 적용에 따른 특성	21
3.2.1 유동 선단에서의 온도	21
3.2.3 충전시간 내 유동 선단 속도 분포	22
3.3 보조 러너 적용에 따른 특성	25
3.3.1 유동 선단에서의 온도	25
3.3.2 충전시간 내 유동 선단 속도 분포	28
4 장. 결론	32
참고문헌	34

List of Figures

Fig. 1.1	Recent trends in the role of injection molded products	1
Fig. 1.2	Weld line defect generated in multi-component injection molding	2
Fig. 1.3	Principles of sequential valve gating technology	2
Fig. 1.4	Valve gate section of hot runner injection	2
Fig. 1.5	Before and after application of the precise flow control method of 'the Synflow System'	5
Fig. 2.1	Principles of original sequential valve gating technology and overlap molding technology	8
Fig. 2.2	Overlap phenomenon in injection mold	8
Fig. 2.3	Applying diagonal gates viewed from the upper side	10
Fig. 2.4	Before and after applying diagonal gates	10
Fig. 2.5	Before and after applying auxiliary runner geometry viewed from the upper side	11
Fig. 2.6	Before and after applying auxiliary runner geometry viewed from the side	11
Fig. 2.7	Gate position according to the number of gates and technologies used	13
Fig. 2.8	Design of gate shape	13
Fig. 2.9	The opening time of the secondary gates before and after applying overlap molding technology	16
Fig. 2.10	Geometry in three types of diagonal gates	15
Fig. 2.11	Geometry in five types of auxiliary runner	16
Fig. 3.1	Temperature distribution at flow front of the products before and after applying overlap molding technology	18
Fig. 3.2	Flow front velocity of products before and after applying overlap molding technology	20
Fig. 3.3	Temperature distribution at flow front of the products according to diagonal gate length	22

Fig. 3.4 Flow front velocity of the products according to diagonal gate length 24

Fig. 3.5 Temperature distribution at flow front of the products according to auxiliary runner geometry 27

Fig. 3.6 Flow front velocity of products according to auxiliary runner geometry 31

List of Table

Table 2.1 Data of the product and conditions of gate layout	12
Table 3.1 Fill time of the products before and after applying overlap molding technology	19
Table 3.2 Fill time of the products according to diagonal gate length	23
Table 3.3 Pressure at V/P switchover of the products according to diagonal gate length	23
Table 3.4 Date of auxiliary runners	25
Table 3.5 Fill time of the products according to auxiliary runner geometry	29

ABSTRACT

Optimization of Feed System for Application Sequential Valve Gating in Injection Mold

Kang Su In

Advisor : Prof. Bang, Hee-Seon, Ph.D.

Department of Welding and Joining Science
Engineering,

Graduate School of Chosun University

Recently, multi points injection are used to reduce high molding pressure occurred by enlargement of injection molded products and high viscosity characteristic of plastic resin. And then, Weld line defects caused by the multi-component injection molding can be eliminated by a sequential valve gating technology which successively controls of open close time of gates.

However, the original sequential valve gating technology has a limit that the response of the injection system is delayed. This limit causes rapid changes of the flow front velocity, which have negative effects on the quality of molded products.

Thus, in this study, a new molding feed system is established as a measure of guarantee of the exterior quality of products to supplement the limitation of responsibility of the injection system without application of costly additional control systems. The feed systems consists of 3 stages, which are applied in order, of overlap molding technology, diagonal gates, auxiliary runners. The analysis conditions were designated as a total of 10

cases according to the application of each stage, and the analysis was performed by Moldflow injection molding analysis program.

As a result of temperature distribution at a flow front, all cases except Case 1 which is applied by original sequential valve gating technology were suitable for the criteria for evaluating the excellent quality. Then, as a result of analyzing the distribution flow front velocity within the fill time, when overlap molding was applied, the rapid hesitation was relatively reduced. And when diagonal gate was applied at intervals of 10mm in length of the gates, the molding pressure was decreased. Finally, a phenomenon of rapid acceleration could be alleviated by application of auxiliary runners according to the shape.

Based on the results of temperature distribution at a flow front and fill time of the products, it was found that Case 9 was the optimum condition. This study could suggest composition of the new feed system as a measure of exterior quality of molded products.

제 1 장. 연구 배경 및 목적

1.1 연구 필요성 및 목적

사출 성형 공법은 용융 수지의 높은 점도로 인한 부정적 요인(높은 압력 하중)에도 불구하고 우수한 외관과 높은 제품 완성도로 인하여 적용 분야가 지속해서 확대되는 추세이다. 예시로 Fig 1.1과 같이 자동차용 내·외장재와 같이 외관 품질 중요도가 높은 제품의 경우 사출 성형 공법으로 주로 제작된다. 그리고 사출 성형 제품은 전자제품 내에서도 전자레인지와 같이 중소형 마감재에서 점차 세탁기, 냉장고 등 대형 마감재로 그 영역을 확장하고 있다.



Fig. 1.1 Recent trends in the role of injection molded products

1.1.1 밸브 게이트 순차 제어

용융 수지의 높은 점도 특성과 사출 제품의 대형화로 인해 유동 거리가 늘어나게 되면서 높은 사출 압력을 요구하는데, 이에 따른 대안 방안으로 다점의 게이트를 사용하는 것이 불가피하다. 그러나 다점의 게이트를 동시 사출 시 문제점은 캐비티 내에서 용융 수지 유동 선단의 합류 지점에서 Fig 1.2와 같이 제품 표면에서 드러나는 웰드라인 결함이 발생한다는 점이다. [1-3]

웰드라인 결함을 방지하기 위해 밸브 게이트에 대한 순차 제어(sequential valve gating) 시스템이 개발되었는데, 이는 Fig. 1.3과 같이 다점의 밸브 게이트를 순차 적으로 개폐하여 사출하는 기술이다. 여기서 밸브 게이트란 용융 수지의 주입 여부를 제어할 수 있는 게이트로, Fig. 1.4 에 나타난 것처럼 핫러너 사출 금형에 설치되어 밸브 핀의 전진과 후진을 통해 용융 수지의 주입 여부를 조절한다. [4]



Fig. 1.2 'Weld line' defect generated in multi-component injection molding

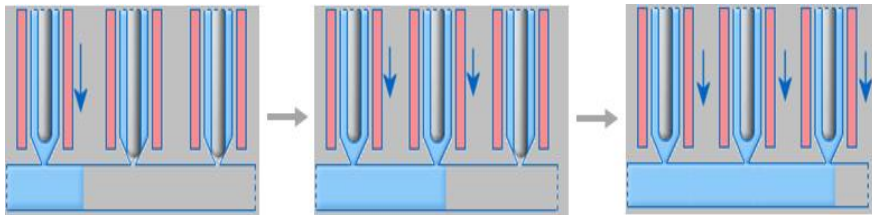


Fig. 1.3 Principles of sequential valve gating technology

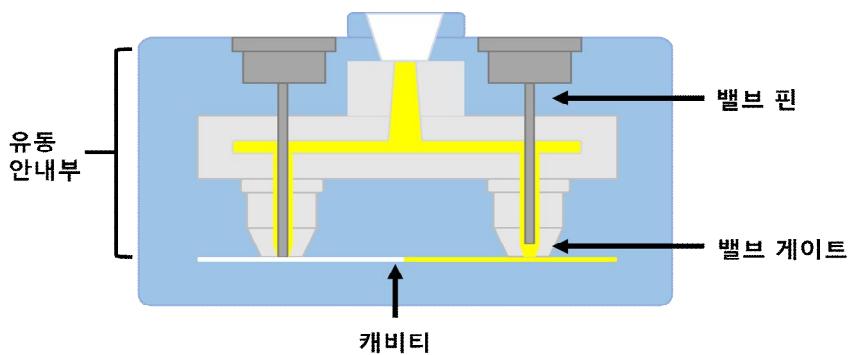


Fig. 1.4 Valve gate section of hot runner injection

1.1.2 기존 밸브 게이트 순차 제어 시스템의 한계점

밸브 게이트 순차 제어기술이 필요 사출 압력 감소를 위한 다점 게이트 사용과 동시에 웰드라인 결함 방지의 이점을 지니고 있음에도 불구하고 현업에서 성공적으로 적용된 사례를 찾기 힘든데, 이는 사출기 응답성 지연에 관한 한계로 인한 결과이다.

사출기에서의 설정값과 실제 사출 속도가 차이 나는 사출기 응답성 지연의 원인은 사출기 제어의 속도 제어 구간에서는 시간당 유량을 제어하게 되는데, 이때 일정한 유량을 제어하기 위한 필요 압력이 게이트 개방과 동시에 급격히 저하, 이는 물리적으로 동기화가 불가능하기 때문이다. 또한, 용융 수지의 높은 점도 특성으로 인해 필요 압력이 높을 수밖에 없어 사출기 응답성이 요구되는 수준으로 빨라지는 것은 불가능하다.

Kelly et al.에 따르면 동일하게 사출 속도를 설정하더라도, 설정값 대비 실제 사출 속도는 사출 성형기에 따라 1.1% 빠르기도 하고, 37% 느리기도 하다. [5] 이러한 사출기 응답성의 지연으로 인해 용융 수지의 유동 선단 속도가 급변하는 현상이 일어나는데, 이는 제품 외관 품질에 부정적인 영향을 끼친다. 따라서 국내·외에서 이에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 현업에서는 이를 보완하기 위하여 추가 정밀 제어 등을 통한 다각적인 시도가 이루어지고 있다.

1.1.3 국내·외 기술 동향

밸브 게이트의 순차 제어를 자동화하기 위하여 캐비티 내부의 설치된 센서를 사용하는 시스템은 수 개의 세계적인 핫러너 업체들에 의해 제공되고 있다. Gate Sequence Controller(GSC)² 라는 이름의 제어기를 제공하는 Incoe는 금형 내의 압력센서를 활용하여 밸브 게이트를 순차적으로 제어하는 제어기에 관한 특허를 가장 먼저 등록했고, 본 특허는 2017년에 만료되었다. [6] 미국의 RJG라는 핫러너 업체 또한 압력센서를 활용하여 용융 수지의 충전을 판단하고, 이를 토대로 밸브 게이트를 순차적으로 제어하는 기술을 발표하였다.

또한, 핫러너 업체 Synventive가 개발한 Synflow라는 밸브 게이트 순차 제어 시스템은 사출기 응답성 한계로 인한 유동 선단의 급격한 가속 및 정체 방지를 위하여 밸브 핀의 위치 제어를 통해 추가적인 유량 정밀 제어 방식을 적용한다. Fig. 1.5를 보면 Synflow의 유동 선단 속도가 기존 방식에 비해 균일하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 또한, Fig. 1.5의 오른쪽 그림과 같이 밸브 핀 위치를 제어하는 해당 정밀 시스템을 사용하여 용융 수지의 유량을 제어, 웰드라인을 외관 품질에 큰 영향을 끼치지 않은 위치로 이동하는 것을 가능하게 하였다.

이처럼, 국내·외 핫러너 업체들은 사출기 응답성 지연의 한계점을 보완하기 위하여 추가 정밀 제어 시스템을 적용하는데, 이를 적용할 시 복잡한 공정 설정으로 인한 공정 불량률이 상승하게 된다. 아울러 설비 자체도 굉장히 고가이고 전문 운용 인력이 필수로 요구되기 때문에, 이는 생산 원가 자체를 상승시키게 된다는 문제점을 지니고 있다.

따라서 추가 정밀 제어를 적용하지 않고도 사출기 응답성 지연의 문제점을 보완하기 위한 연구가 국내·외적으로 진행되었다. 그중에 다점의 게이트 배치를 최적화하여 순차 제어를 적용하는 연구는 꾸준히 수행되고 있는데, [7] Zhai et al.은 게이트의 위치와 유동 안내부의 지름을 함께 최적화하는 방법을 연구했다. [8] 하지만 이 연구는 3개 이상의 게이트 위치를 최적화할 수는 없으며, 웰드라인을 제거 하는데는 쉽지 않다. 그 외의 Park and Seong 의 3개의 게이트 위치를 최적화하는 연구 역시, 게이트 최적 위치 탐색을 위한 순차적 탐색방법을 제시하였지만 [9], 웰드라인 생성을 방지하지 못한다.

국내에서 진행된 다수의 연구 중 김봉주 박사의 ‘핫러너 사출 금형의 밸브 게이트 순차 제어 시스템 최적화’에 관한 연구는 캐비티 내부에 센서를 설치하여 용융 수지의 흐름을 모니터링하고, 이를 기반으로 밸브 게이트의 순차 제어를 자동화하는 시스템을 개발하여 발표하였다.[4] 하지만 해당 시스템을 개발하여 적용하는 과정에서도 큰 비용이 발생하는 실정이다.

국내·외적으로 이러한 연구가 진행되고 있지만, 밸브 게이트 순차 제어에 적합한 피드 시스템을 최적화하여 이를 방지하는 방안은 체계적인 연구가 이루어지고

있지 않다. 따라서 본 연구는 고가의 추가 정밀 제어 방식을 적용하지 않고 기존 시스템의 한계점을 보완하는 새로운 금형 피드 시스템을 최적화함으로써 제품 외관 품질 제어방안을 도출하고자 하였다.

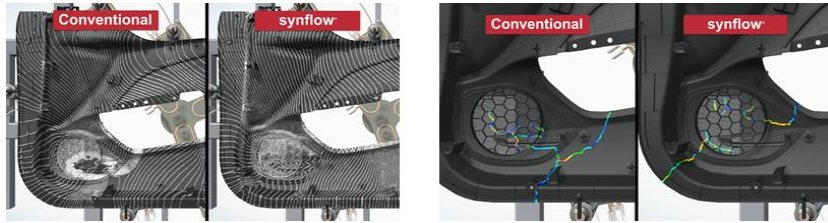


Fig. 1.5 Before and after application of the precise flow control method of 'the Synflow System'

1.2 연구 내용

본 연구에서는 고가의 추가 정밀 제어 시스템을 적용하지 않고 기존의 밸브 게이트 순차 제어 시스템의 사출기 응답성의 한계점을 보완할 수 있는 새로운 피드 시스템을 최적화하고자 하였다. 먼저 밸브 게이트 순차 제어기술에 적합한 게이트 배치와, 이에 대한 형상을 설계하였다. 또한, 피드 시스템의 구성요소를 3단계로 나누어, 단계별 유동 해석을 수행하였다. 이를 바탕으로 제품 외관 품질의 건전성을 평가하고자 유동 선단에서의 온도, 충전시간 내 유동 선단 속도 분포 2가지 관점 측면에서 분석하였다. 이로써 본 연구의 연구 방법을 정리하면 다음과 같다.

1) 최적의 밸브 게이트 배치 및 설계

게이트 위치나 수량은 압력 강하량을 결정하는 요인으로서, 밸브 게이트 순차 제어적용에 알맞은 최적의 위치와 조건으로 배치하고자 한다.

2) 사출기 응답성 지연을 보완할 단계별 구성요소 개발 및 적용

피드 시스템 구성요소를 3단계로 개발, 1단계 ‘오버랩 성형’ 기술, 2단계 사선 게이트 적용, 3단계 보조 러너 적용 순으로 적용하여 사출기 응답성 지연을 보완하고자 한다.

3) 단계별 성형 해석 수행 및 최적화

Moldflow 프로그램을 활용하여 단계별로 유동 해석을 수행 후 유동 선단에서의 온도, 충전시간 내 유동 선단 속도 분포 2가지 결과를 분석하여 제품 외관 품질 우수성을 판단한다.

4) 새로운 금형 피드 시스템 효과 검증

도출된 최적의 조건을 적용하여 품질 제어방안으로서의 새로운 금형 피드 시스템 효과를 검증하고자 한다.

2 장. 연구 방법

2.1 피드 시스템 단계별 최적화

2.1.1 ‘오버랩 성형’ 기술 적용

1) 정의 및 특징

Fig 2.1은 기존의 밸브 게이트 순차 제어기술의 원리(a)와 새로운 오버랩 성형기술의 원리(b)를 모식도로 나타낸 것이다. 기존의 밸브 게이트 순차 제어기술은 1차 게이트(중앙 게이트)에서 주입된 용융 수지가 2차 게이트(좌우 게이트) 직전에 도달하였을 때, 2차 게이트를 개방하는 기술이다. 반면에, 오버랩 성형기술은 1차 게이트에서 주입된 용융 수지가 2차 게이트의 러너를 지나 끝 지점까지 충전되었을 때, 2차 게이트를 개방하는 기술이다. 이때 제품 내에서 용융 수지의 도달 지점은 Fig 2.2의 점선 지점으로, 용융 수지가 오버랩되는 형상을 지닌다.

기존 기술에서는 2차 게이트를 개방할 시 급격한 정체 현상이 일어나는데, 이는 2차 게이트 개방과 동시에 급격히 압력이 저하하게 되면서 생성된다. 따라서 오버랩 성형기술은 2차 게이트의 밸브 게이트 밑 지점까지 용융 수지가 충전된 후, 2차 게이트를 개방함으로써 압력이 저하되는 것을 방지하고자 하였다.

다시 말해, 오버랩 성형기술은 2차 게이트 개방 시점을 용융 수지가 밸브 게이트 밑 지점에 도달하는 시점으로 설계함으로써 압력 차이를 줄여 급격한 정체 현상을 방지하는 것이 주목적이다.

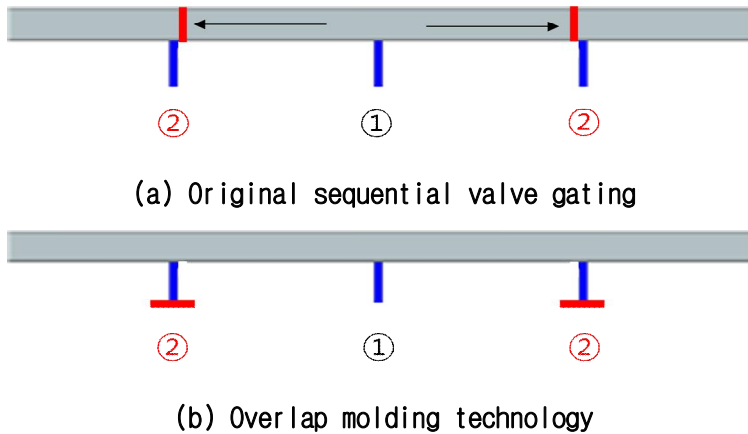


Fig. 2.1 Principles of original sequential valve gating and overlap molding technology



Fig. 2.2 Overlap phenomenon in injection mold

2) ‘오버랩 성형’ 기술 예상 문제 및 대응 방안

‘오버랩 성형’ 기술 적용 시 용융 수지가 밸브 게이트 위치에 도착한 이후까지 도달하는 정확한 타이밍을 맞추는 것은 매우 어렵다. 게다가 밸브 게이트 인근에서 언더플로 현상(특정 방향으로 가던 수지의 흐름, 즉 유동의 방향이 반대로 바뀌는 현상)이 일어나기 때문에 용융 수지의 유속이 일시적으로 0인 상태에 가깝게 지속될 경우 게이트가 고화될 가능성이 있다.

게이트 고화 가능성의 대안으로, 콜드 게이트에 짧은 스트로크의 커스텀 유압실린더를 적용하는 방안이 있다. 또한, 게이트 형상을 고화되기 어렵게 설계함으로써, 이를 방지할 수 있다.

따라서 본 연구는 게이트 랜드의 경우 게이트보다 두께가 얇게 선정되기 때문에 고화될 가능성이 크다고 판단하여, 게이트의 랜드를 제거하고 게이트 형상 자체도

두껍게 설계하였다.

오버랩 성형 적용 시 발생하는 또 다른 문제점은 기존의 밸브 게이트 순차 제어 기술보다 높은 사출 압력을 필요로 한다는 것이다. 2차 개방 시점을 늦춘 영향으로 오버랩되는 거리가 생성되기 때문에, 해당 거리만큼 추가 압력이 필요하므로 압력강하 관점에서 적합하지 않다.

이에 대한 대안으로, 본 연구는 오버랩 구간의 거리를 감소시킬 수 있는 추가적인 구성요소를 고려하여 다음 단계에서 적용하고자 하였다. 이는 게이트 형상에 사선 요소를 추가하는 방안인데, 상세내용은 2.1.2. 절에서 논하고자 한다.

2.1.2 사선 게이트 적용

오버랩 성형기술을 적용 시 오버랩 성형 거리를 사출하는 만큼의 추가 사출 압력 요구, 이는 압력 강하면에서 부적합하다. 이를 방지하기 위해 오버랩 성형 거리 감소를 위한 게이트 형상을 설계 및 적용하여 사출 필요 압력 결과를 분석하고자 하였다.

오버랩 성형 거리 감소를 위한 방안은 2차 게이트(좌우 게이트)에 사선 요소를 적용하는 것인데, Fig 2.3 에 그에 대한 모식도를 나타내었다. 1차 게이트(중앙 게이트)에서 주입된 용융 수지가 사선을 타고 2차 게이트 내로 충전되도록 설계하였다.

Fig 2.4 는 기존의 직육면체 형상인 게이트(a)와 사선 게이트(b)의 형상을 나타내었고, 각각의 용융 수지의 유동 흐름을 화살표로 나타내었다. 이를 보면 기존 게이트를 적용한 (a)에 비해 사선 게이트를 적용한 (b)의 경우, 2차 게이트 개방 시점(밸브 게이트 밀 지점)에 도달하는 유동 경로가 짧은 것을 확인할 수 있다. 이는 2차 게이트 개방 시점에 도달하는 시간을 단축시켜 오버랩되는 거리를 감소 시킴으로써 사출 필요 압력을 줄이고자 함이다.



Fig. 2.3 Applying diagonal gates viewed from the upper side

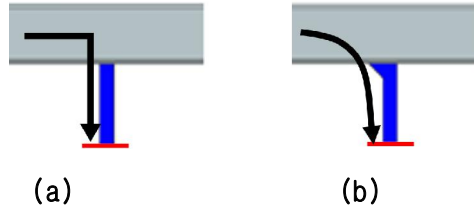


Fig. 2.4 Before(a) and after(b) applying diagonal gates

2.1.3 보조 러너 적용

제품의 외관 품질 보장이 주목적인 만큼 충전 과정에서 용융 수지 유동 선단 속도의 균일한 분포는 필수적으로 요구된다. 이러한 외관 마감재의 역할 수행을 위해 유동 선단 속도 급격한 정체 현상 방지를 위한 ‘오버랩 성형’ 기술을 적용함과 동시에, 급격한 가속을 방지하기 위한 추가적인 방안이 요구된다.

본 연구는 이러한 완충 역할을 할 보조 러너를 고려하여, 2차 게이트(좌우 게이트) 러너에 추가로 적용하였다. Fig. 2.5는 기존 러너를 적용한 제품(a)과 보조 러너를 적용한 제품(b)의 윗면 모식도이다.

Fig. 2.6 는 보조 러너를 적용하지 않은 게이트(a)와 보조 러너를 적용한 게이트(b)의 측면에서 본 형상으로, 각각의 유동 흐름을 노란 선으로 표시하였다. (b)의 모식도와 같이, 저장소와 같은 보조 러너를 적용함으로써 제품의 가해질 충격을 제품의 반대쪽으로 흡수시키고자 하였다.

따라서, 본 연구에서는 보조 러너 적용을 통해 제품에 가해질 충격을 완화 시킴으로써, 유동 선단의 급격한 가속 현상을 방지하고자 하였다.

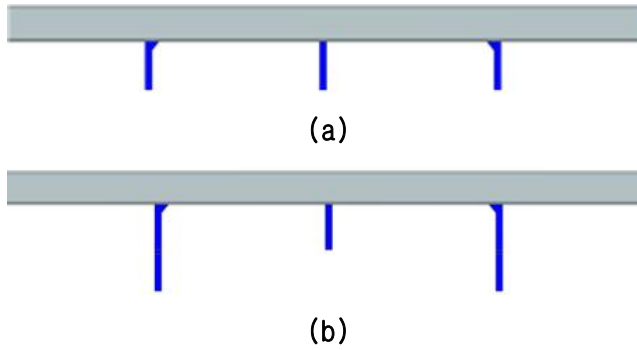


Fig. 2.5 Before (a) and after (b) applying auxiliary runner geometry viewed from the upper side

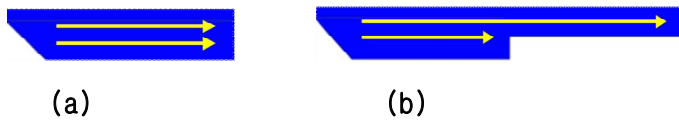


Fig. 2.6 Before (a) and after (b) applying auxiliary runner geometry viewed from the side

2.2 사출 성형 해석방법

2.2.1 밸브 게이트 배치 및 설계

본 연구에서는 제품 외관 품질 제어방안으로 밸브 게이트 순차 제어를 적용하기 위하여 최적의 게이트 배치와 형상을 도출하고자 하였다. 게이트의 위치와 수량을 결정하는 요인으로 최대 압력 강하량과 제품 외관 측면에서 고려하였고, 게이트의 형상은 고화 가능성 측면을 고려하여 설계되었다. 자세한 내용은 다음과 같다.

직사각형의 제품이 있다고 가정할 시, Fig. 2.7의 (a)는 게이트가 한 점일 때 최적의 게이트 위치, (b)는 세 점의 게이트가 동시 사출할 때의 최적 게이트 위치, (c)는 세 점의 게이트가 순차적으로 개방될 때의 최적 위치를 나타낸 모식도이다. (a)와 같이 게이트를 중앙에 한 점으로 배치할 경우, 웰드라인 형성 가능성을 최소화할 수 있지만 높은 사출 압력을 요구하게 된다. 따라서 (b)와 같이 다점

의 게이트를 활용해 유동 거리를 감소시킴으로써 사출 압력을 최소화시킬 수 있다. 하지만 이 경우 수지가 만나는 지점에 웰드라인이 발생하므로 밸브 게이트 순차 제어적용이 요구된다.

또한, 동시 사출의 경우 압력강하가 최소가 되는 균형 잡힌 게이트 위치는 (b) 그림의 삼각형 위치로 지정하지만, 밸브 게이트 순차 제어를 적용할 시 중심 게이트가 최초로 열리고 좌우 게이트가 이후에 열린다면, 압력강하가 최소가 되는 게이트 위치는 삼각형 위치가 된다. 따라서 동시 사출의 경우 최대압력강하는 전체 제품길이의 1/6을 성형하기 위한 압력 강하량이 되겠지만, 밸브 게이트 순차 제어의 경우 전체 제품길이의 1/4을 성형하기 위한 압력 강하량에 해당이 된다.

Table 2.1은 제품과 게이트의 배치 및 설계 조건을 나타낸다. 모델링 프로그램은 NX UG 프로그램을 사용하였고, 해석을 위한 제품의 재원은 길이 1000mm, 너비 50mm, 두께 2.5mm로 선정하였다.

게이트의 수량은 세 점으로 지정하였고, 밸브 게이트 순차 제어적용의 목적은 웰드라인을 제거하여 제품 외관의 품질을 보장하는 것이기 때문에 게이트 배치는 제품 표면에 직접 게이트를 설치하는 다이렉트 게이트 방식이 아닌 제품 측면에 설치하는 사이드 배치 방식을 적용한다. 또한 게이트의 형상은 게이트 랜드 부분에서 고화될 가능성 배제할 수 없기 때문에, 랜드가 없고 게이트 자체도 두꺼운 형상으로 선정하였다. Fig. 2.8은 설계한 게이트의 형상을 나타내었다.

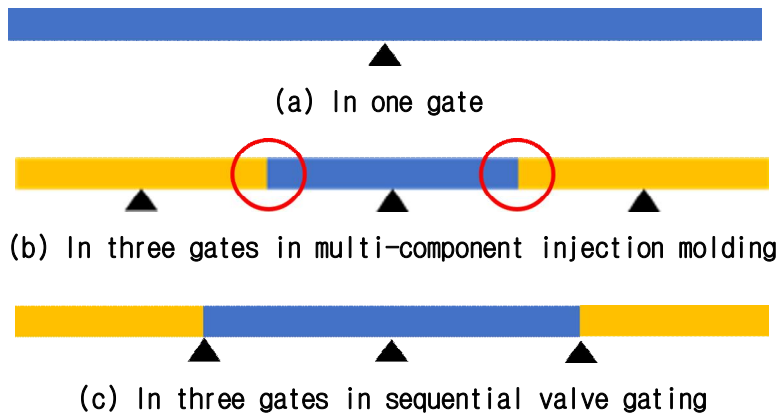


Fig. 2.7 Gate position according to the number of gates(a and b) and technologies used (b and c)

Table 2.1 Data of the product and conditions of gate layout

모델링 프로그램	NX UG 프로그램
제품	<ul style="list-style-type: none"> 길이: 1000mm 너비: 50mm 두께: 2.5mm
게이트	<ul style="list-style-type: none"> 수량: 3 배치 방식: 사이드 방식 위치: 최대 압력 강하량이 제품길이의 1/4를 성형하기 위한 압력 강하량 형상: 게이트 랜드가 없고 두꺼운 형상



Fig. 2.8 Design of gate shape

2.2.2 피드 시스템 해석 방법 및 조건

본 연구는 밸브 게이트 순차 제어적용을 위한 피드 시스템을 최적화하기 위하여 상용 사출 해석 소프트웨어인 Moldflow를 이용하여 유동 해석을 수행하였다. 수지의 종류는 CEW-670으로 선정하여 제품 유동 선단에서의 온도 분포와 충전시간 내 유동 선단 속도 분포를 관점에 두고 제품의 외관 품질의 건전성을 판단하였다. 2가지 관점에서 유동 선단 속도 분포의 경우 제품 표면 온도의 전체 편차를 기준으로 판단하고, 충전시간은 유동 선단 속도 분포의 균일성을 기준으로 우수성을 판단하고자 하였다.

해석은 오버랩 성형기술을 적용, 사선 게이트 적용 그리고 보조 러너 적용 순으로 총 3단계에 대한 유동 해석을 수행하였다. 해석조건은 단계별 주요 변수에 대해 1단계 ‘오버랩 성형’ 기술에서 2가지 경우, 2단계 사선 게이트 적용에서 3가지 경우, 3단계 보조 러너 적용에서 5가지 경우로 하여 총 10가지 경우에 대해 수행하였다. 해석조건의 단계별 세부사항은 다음과 같다.

1) 1단계. 오버랩 성형기술 적용

오버랩 성형 적용 여부에 따른 특성을 비교, 평가하기 위하여 해석을 수행하였다. 해석조건은 오버랩 성형기술을 적용하지 않은 Case 1과 오버랩 성형기술을 적용한 Case 2로 나누었고, Fig 2.9는 오버랩 성형 전(Case 1)과 후(Case 2)의 2차 게이트 개방 시점을 나타내었다.

기존의 밸브 게이트 순차 제어기술을 적용한 Case 1의 경우, 2차 게이트 개방 시점은 중심 게이트로부터 주입된 용융 수지가 충전 과정 중 캐비티 내의 2차 콜드 게이트 지점에 도달한 시점으로 지정하였다. 그리고 오버랩 성형기술을 적용한 Case 2는 2차 게이트 개방 시점을 용융 수지가 2차 게이트의 러너를 지나 밸브 게이트 밑의 지점에 도달한 시점으로 지정하였다.



Fig. 2.9 The opening time of the secondary gates before(a) and after(b) applying overlap molding technology

2) 2단계. 사선 게이트 적용

오버랩 성형 거리 감소 효과를 검증하기 위한 조건은 ‘사선 게이트 길이’를 주요 변수로 두고 Fig. 2.6 같이 나누었다. Case 3은 중심 게이트와 같은 넓이 10mm인 기본 형상의 게이트를 적용한 모델, Case 4는 길이 20mm인 사선 게이트를 적용한 모델, Case 5는 30mm 사선 게이트를 적용한 모델로 지정하였다. Case 3부터 5까지의 조건은 모두 오버랩 성형을 적용 후 사선 게이트를 적용하였다.

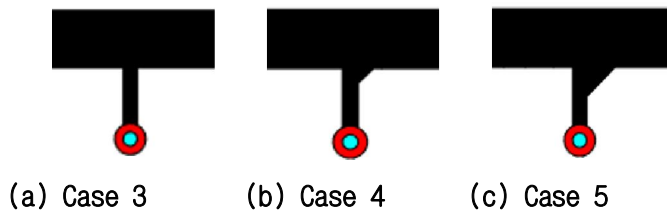


Fig. 2.10 Geometry in three types of diagonal gates ;
 (a) Non-applied diagonal gate, (b) 20mm long diagonal gate,
 (c) 30mm long diagonal gate

3) 3단계. 보조 러너 적용

유동 선단 속도 급가속 현상 방지 효과를 고찰하기 위해 ‘보조 러너 형상 변화’를 주요 변수로 두고 Fig. 2.7 같이 나누었다.

Case 6은 보조 러너를 적용하지 않은 모델, Case 7은 보조 러너를 두께 2mm로 적용한 모델을 선정하였다. Case 8 러너 두께를 5mm 적용하고 기존 러너와의 연결 지점 두께를 2mm로 줄여 저항을 주었다. Case 9와 Case 10은 연결 지점 두께를 각각 1mm, 0.5mm로 줄여줌으로써 저항의 정도를 높여 적용하였다. Case 6부터 10까지의 모델은 모두 넓이 20mm의 사선 게이트 적용 후 다양한 형상을 적용하였다.

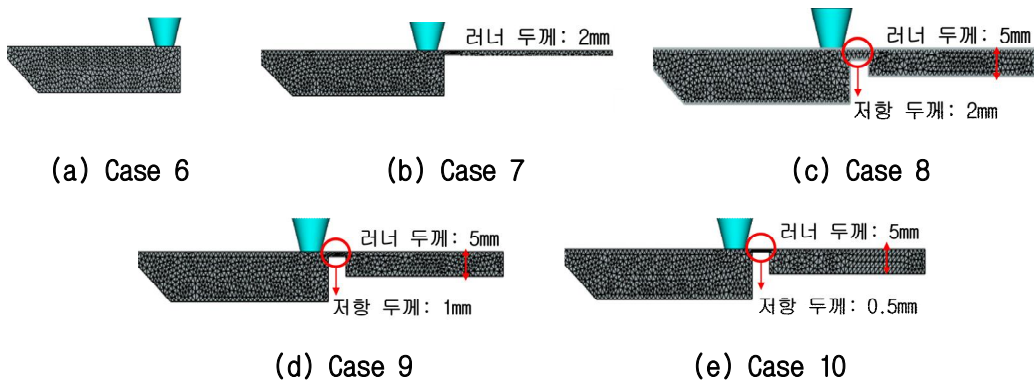


Fig. 2.11 Geometry in five types of auxiliary runner ;

- (a) Non-applied auxiliary runner, (b) 2mm thick auxiliary runner,
- (c) 5mm thick auxiliary runner with 2mm thick resistance element,
- (d) 5mm thick auxiliary runner with 1mm thick resistance element,
- (e) 5mm thick auxiliary runner with 0.5mm thick resistance element

3장. 연구 결과 및 고찰

본 연구는 사출 제품의 외관 품질 제어방안으로서 밸브 게이트 순차 제어적용을 위한 피드 시스템을 최적화하고자 하였다. 먼저 밸브 게이트 순차 제어적용을 위한 최적의 게이트 배치 및 형상을 설계하고 피드 시스템의 최적화를 위하여 3단계 오버랩 성형, 사선 게이트 적용, 보조 러너 적용에 대해 순차적으로 유동 해석을 실시하였다.

사출 제품의 외관 품질 건전성을 판단하기 위한 기준으로 ‘유동 선단에서의 온도’ 및 ‘충전시간 내 유동 선단 속도 분포’ 관점에서 고찰하였다. 유동 선단에서의 온도 분포 평가 시 제품 표면에서의 온도 분포가 2℃ 이상 5℃ 이내의 편차를 나타낸다면 제품 표면 품질이 건전하다고 판단하였다. 충전시간 결과는 유동 선단 속도 분포가 균일성을 유지할 시 제품 외관 품질이 건전하다고 판단하였다.

아울러, 사선 게이트 적용 단계에서 제품 외관 품질의 건전성을 판단할 시, 추가적으로 사출 필요 압력 감소 여부를 비교 평가하기 위하여 오버랩 성형 거리 감소 특성을 평가하고자 하였다.

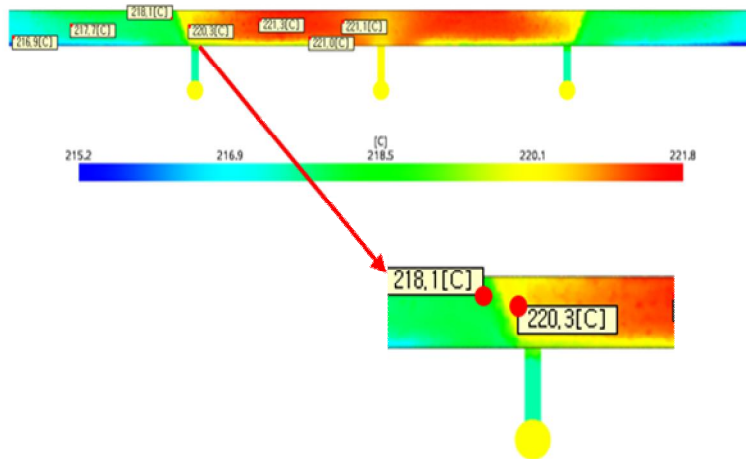
3.1 오버랩 성형기술 적용에 따른 특성

3.1.1 유동 선단에서의 온도

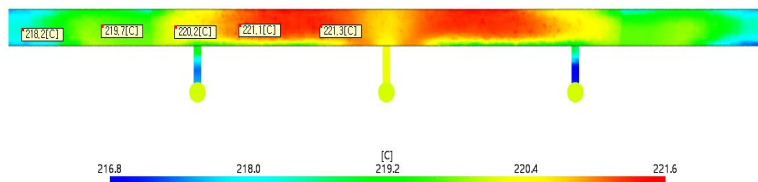
Fig. 3.1에는 오버랩 성형기술을 적용하지 않은 Case 1과 ‘오버랩 성형’ 기술을 적용한 Case 2의 유동 선단에서의 온도를 분포도이다.

Case 1의 경우 제품 표면 온도 편차가 2℃ 이상 5℃ 이내였으나 근접한 지점에서 220.3℃에서 218℃로 온도가 급격히 감소하는 것을 나타냈다. 이는 게이트 개방과 동시에 급격히 사출 압력이 하강하여 용융 수지의 급격한 정체로 인한 결과로 사료 된다. 제품 표면 품질 건전성 기준 편차가 제품 전체에서 2℃ - 5℃인데, 한 지점에서 2℃ 이상의 차이를 나타냈기 때문에 건전하지 않다고 판단하였다.

반면, 오버랩 성형기술을 적용한 Case 2의 경우 제품 표면에서의 유동 선단 온도가 급격하게 변화되지 않음을 확인하였다.



(a) Case 1: Before applying overlap molding



(b) Case 2: After applying overlap molding

Fig 3.1 Temperature distribution at flow front of the products before(a) and after(b) applying overlap molding technology

3.1.2 충전시간 내 유동 선단 속도 분포

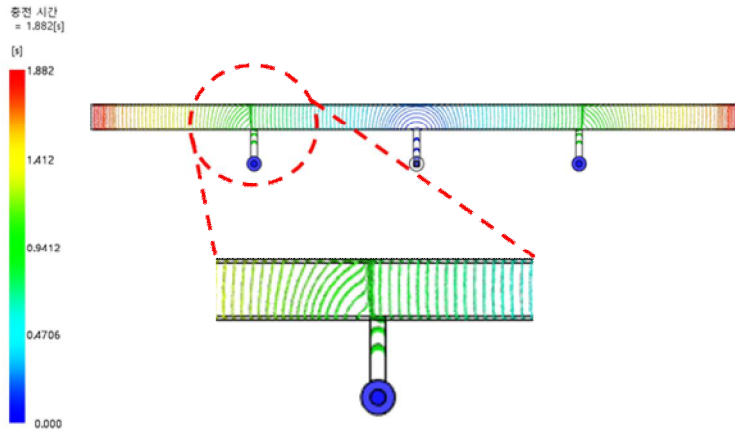
오버랩 성형기술 적용에 따른 특성을 고찰하기 위하여 오버랩 성형 여부에 따른 조건의 충전시간 내 유동 선단 속도 분포 결과를 비교 평가하였다. Table 3.1은 오버랩 성형 적용 여부에 따른 조건의 충전시간을 나타내었다. 오버랩 성형을 적용한 Case 2의 2차 게이트 개방 시점을, 기존 밸브 게이트 순차 제어 시점을 적용한 Case 1에 비해 늘린 영향으로 충전시간이 미세하게 길게 측정된 것을 확인할 수 있다.

Fig 3.2는 Overlap 성형기술을 적용하지 않은 Case 1과 ‘오버랩 성형’ 기술을 적용한 Case 2의 충전시간 결과 내 유동 선단 속도 분포를 나타낸다. 오버랩 성형을 적용하지 않은 Case 1의 경우 제품 내 2차 게이트 개방 시점에서 급격한 정체 발생을 확인하였다. 반면, 오버랩 성형을 적용한 Case 2의 경우 충전하는데 더 많은 시간이 걸렸음에도 불구하고, Case 1보다 균일한 유동 선단 속도 분포를 나타내었다.

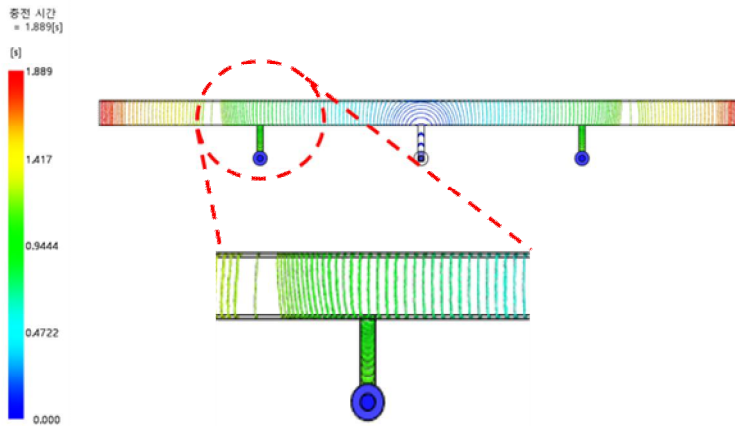
이처럼, 오버랩 성형기술을 적용하지 않은 조건(Case 1)보다 오버랩 성형을 적용한 조건(Case 2)의 유동 선단 속도 분포도가 균일한 것은 확인함으로써 오버랩 성형기술의 효과를 나타낼 수 있었다.

Table 3.1 Fill time of the products before and after applying overlap molding technology

Case	1	2
충전시간 (sec)	1.882	1.889



(a) Case 1: Before applying overlap molding



(b) Case 2: After applying overlap molding

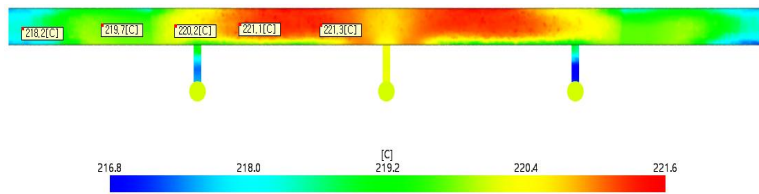
Fig 3.2 Flow front velocity of products before(a) and after(b) applying overlap molding technology

3.2 사선 게이트 적용에 따른 특성

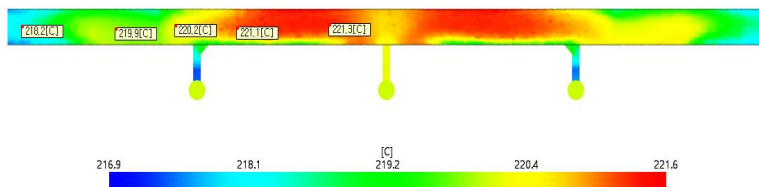
3.2.1 유동 선단에서의 온도

사선 게이트 적용에 따른 특성을 고찰하기 위하여 사선 게이트 길이에 따른 조건의 유동 선단에서의 온도 분포를 비교 평가하였다. Fig. 3.3에는 기본 형상의 게이트를 적용한 Case 3, 20mm 길이의 사선 게이트를 적용한 Case 4, 30mm 길이의 사선 게이트를 적용한 Case 5의 유동 선단에서의 온도를 분포로 나타낸다.

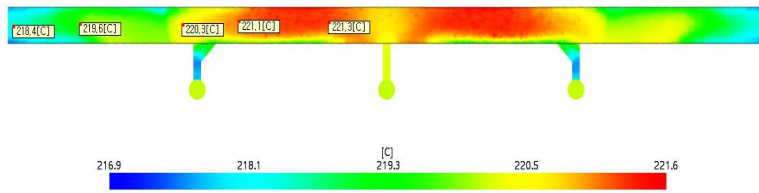
유동 선단에서의 온도를 비교 평가한 결과, 사선 게이트의 길이에 상관없이 모두 제품 외관 품질 우수성 기준인 2℃ 이상 5℃ 이내인 표면 온도 편차를 나타냈기 때문에 우수하다고 판단하였다.



(a) Case 3: Non-applied diagonal gate



(b) Case 4 : 20mm long diagonal gate



(c) Case 5 : 30mm long diagonal gate

Fig 3.3 Temperature distribution at flow front of the products according to diagonal gate length

3.2.2 충전시간 내 유동 선단 속도 분포

사선 게이트 적용에 따른 특성을 고찰하기 위하여 사선 게이트 길이에 따른 조건의 충전시간 내 유동 선단 속도 분포 결과를 비교 평가하였다. Table 3.2는 사선 게이트를 적용하지 않은 Case 3, 20mm 길이의 사선 게이트를 적용한 Case 4, 30mm 길이의 사선 게이트를 적용한 Case 5의 충전시간을 나타내는 표이다. 사선 게이트의 길이에 따라 2차 개방 시점에 도달하는 시간을 단축함으로써 충전시간 또한 점진적으로 단축된 것을 확인할 수 있다.

Fig 3.4는 세 가지 조건의 충전시간 내 유동 선단 속도 분포를 나타내는데, 사선 게이트의 길이를 10mm 간격으로 증가시켜, 오버랩 성형 거리가 54mm, 41mm, 30mm로 감소하는 것을 볼 수 있다.

Table 3.3은 세 가지 조건의 보압 절환 시 압력을 나타내는데, 사선 게이트를 적용하지 않은 Case 3은 29.06MPa, 20mm 길이의 사선 게이트를 적용한 Case 4는 28.75MPa, 30mm 길이의 사선 게이트를 적용한 Case 5는 28.65MPa을 필요로 하였다. 이로써 사선 게이트의 길이 증가가 오버랩 성형 거리와 사출 필요 압력 감소에 영향을 끼친다는 것을 확인할 수 있었다.

결과적으로 30mm 길이의 사선 게이트를 적용한 Case 5가 가장 적은 사출 압력을

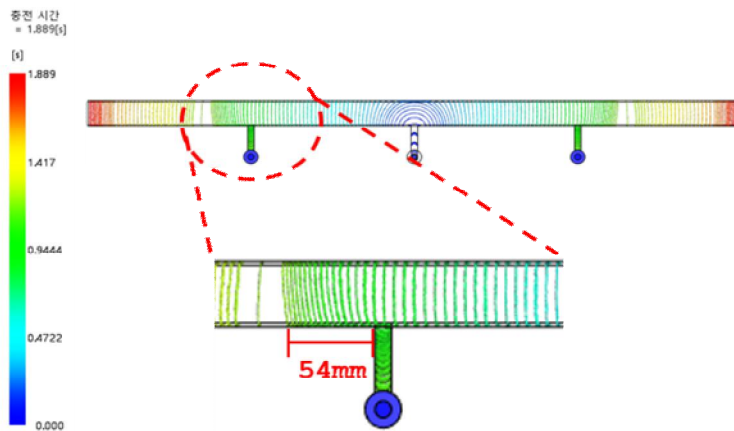
요구했지만, 해당 조건의 분포도에서 급격한 가속이 일어났기에, 20mm 길이의 사선 게이트를 적용한 Case 4를 가장 적합한 조건으로 판단한다.

Table 3.2 Fill time of the products according to diagonal gate length

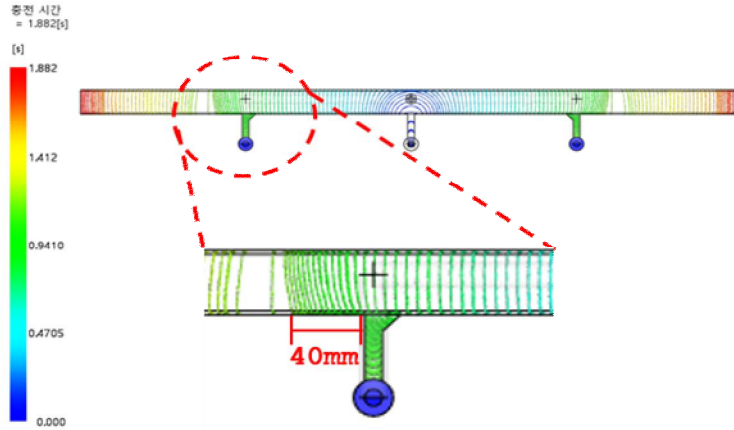
Case	3	4	5
충전시간 (sec)	1.889	1.882	1.872

Table 3.3 Pressure at V/P switchover of products according to diagonal gate length (V=Velocity, P=Pressure)

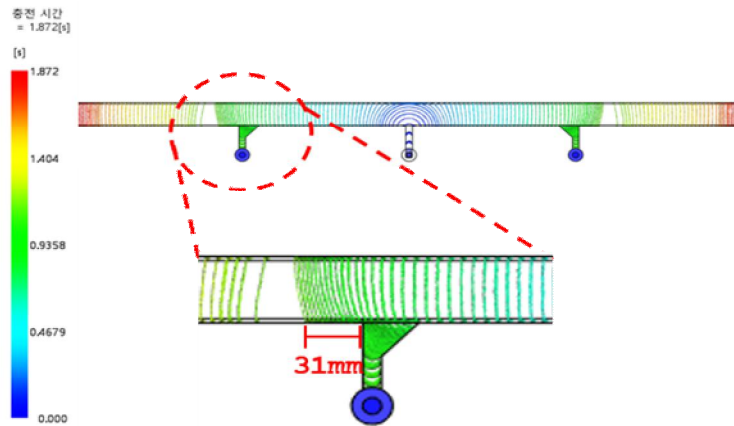
Case	3	4	5
보압 전환 시 압력 (MPa)	29.06	28.75	28.65



(a) Case 3: Non-applied diagonal gate



(b) Case 4: diagonal gate length 20mm



(c) Case 5: diagonal gate length 30mm

Fig 3.4 Flow front velocity of the products according to diagonal gate length

3.3 보조 러너 적용에 따른 특성

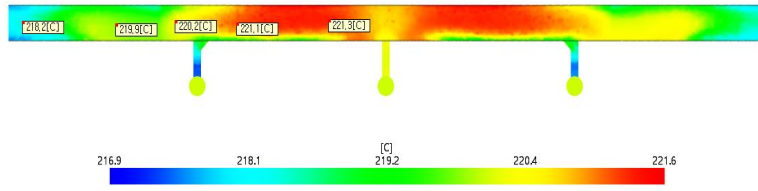
3.3.1 유동 선단에서의 온도

보조 러너 적용에 따른 특성을 고찰하기 위하여 Table 3.4와 같이 보조 러너 형상에 따른 조건의 유동 선단에서의 온도 분포를 비교 평가하였다. Fig. 3.5에는 보조 러너를 적용하지 않은 경우와, 보조 러너 및 저항 요소 두께에 따른 5가지 조건에 대한 유동 선단에서의 온도를 분포로 나타낸다.

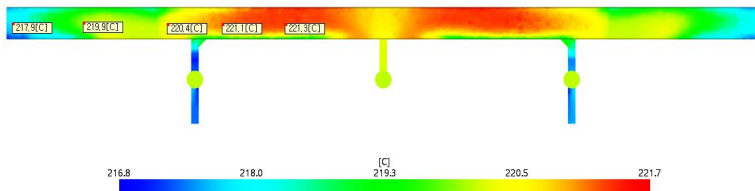
유동 선단 속도에서의 분포도를 분석한 결과, 보조 러너 형상과 관계없이 모두 제품 외관 품질 우수성 기준인 2℃ 이상 5℃ 이내인 표면 온도 편차를 나타냈기 때문에 건전하다고 판단한다.

Table 3.4 Date of auxiliary runners

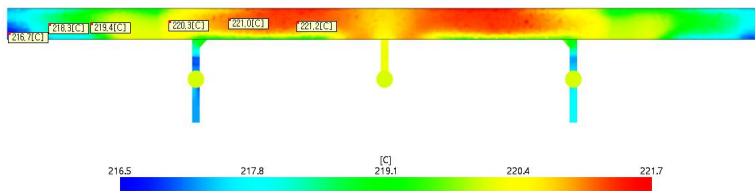
Case	보조 러너 제원
6	보조 러너 미적용
7	보조 러너 두께 2mm
8	보조 러너 두께 5mm 및 저항 두께 2mm
9	보조 러너 두께 5mm 및 저항 두께 1mm
10	보조 러너 두께 5mm 및 저항 두께 0.5mm



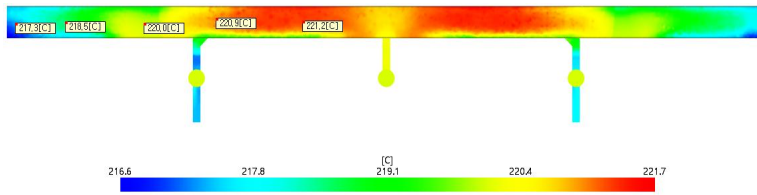
(a) Case 6: Non-applied auxiliary runner



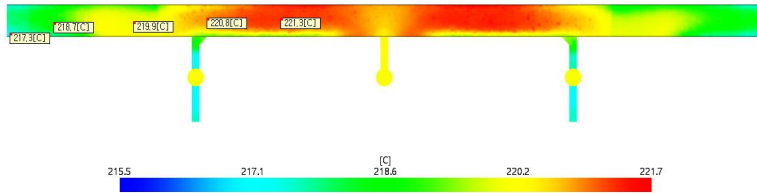
(b) Case 7 : 2mm thick auxiliary runner



(c) Case 8 : 5mm thick auxiliary runner with 2mm thick resistance element



(d) Case 9 : 5mm thick auxiliary runner with 1mm thick resistance element



(e) Case 10 : 5mm thick auxiliary runner with 0.5mm thick resistance element

Fig 3.5 Temperature distribution at flow front of the products according to auxiliary runner geometry

3.1.2 충전시간 내 유동 선단 속도 분포

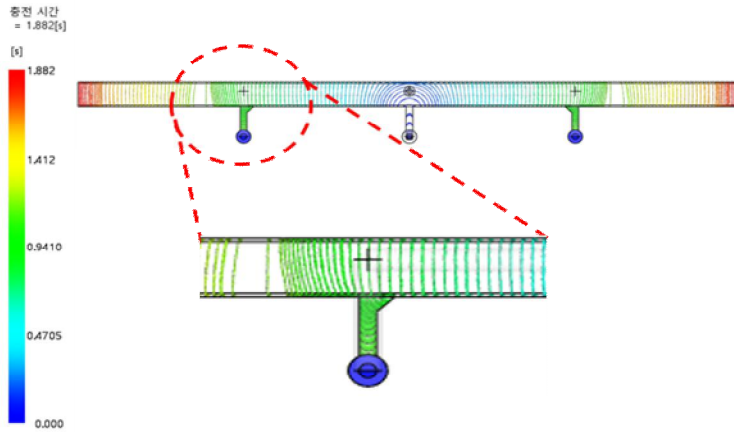
보조 러너 적용에 따른 특성을 고찰하기 위하여 보조 러너 형상에 따른 조건의 충전시간 내 유동 선단 속도 분포 결과를 비교 평가하였다. Table 3.4는 보조 러너를 적용하지 않은 경우와, 보조 러너 및 저항 요소 두께에 따른 5가지 조건의 제품을 충전하는데 소요된 충전시간을 나타낸다. 보조 러너 형상이 충전시간에 미치는 영향은 크게 차이가 나지 않는 것으로 확인할 수 있다.

Fig 3.6는 다섯 가지 조건의 충전시간 내 유동 선단 속도 분포를 나타내었다. 보조 러너를 적용하지 않은 Case 6 예비해 두께 2mm의 보조 러너를 적용한 Case 7의 유동 선단 속도 분포가 상대적으로 균일하게 나타났으나, 큰 차이는 확인 불가능하였다. 이에 비해 보조 러너 두께를 3mm 늘여 5mm로 적용하고 저항 요소(두께 2mm)를 추가시킨 Case 8의 유동 선단 속도 분포를 분석한 결과, 제품 내 유속이 미세하게 감소하는 현상이 나타났다. 또한, Case 9 조건에 동일한 두께의 보조 러너에 저항 요소 두께를 1mm 감소시켜 적용하자 급격한 가속 현상이 현저히 줄어드는 것을 확인하였다. 하지만 저항 요소의 두께를 0.5 감소시켜 적용한 Case 10의 경우, 다시 급격한 가속화가 생성되었다.

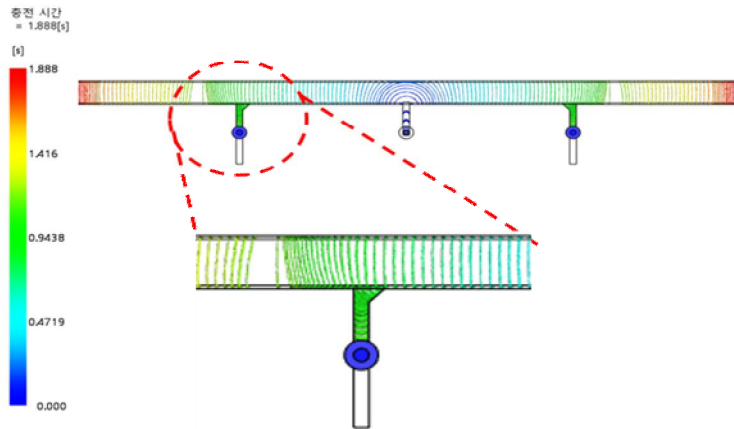
따라서 보조 러너를 적용한 조건 중 가장 균일한 유동 선단 속도 분포를 나타낸 조건을 Case 9로 판단하였다. 보조 러너를 적용하지 않은 조건(Case 6)에 비해 최적 형상의 보조 러너를 적용한 조건 (Case 9)의 유동 선단 속도 분포가 현저히 균일하게 나타났기에 보조 러너 적용의 효과를 확인할 수 있었다.

Table 3.5 Fill time of products according to the auxiliary runner geometry

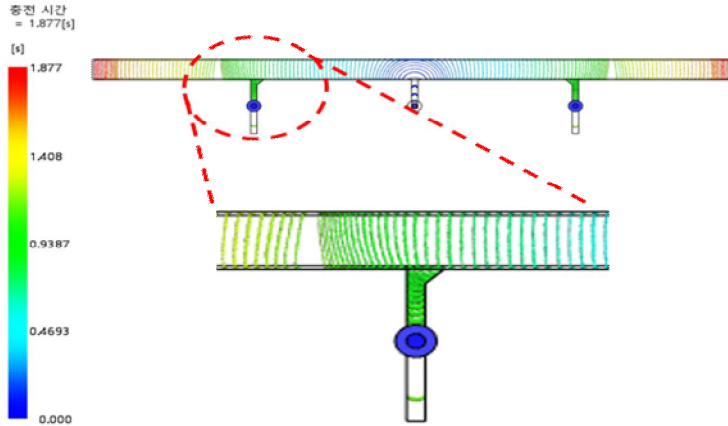
Case	6	7	8	9	10
충전시간 (sec)	1.882	1.888	1.872	1.877	1.878



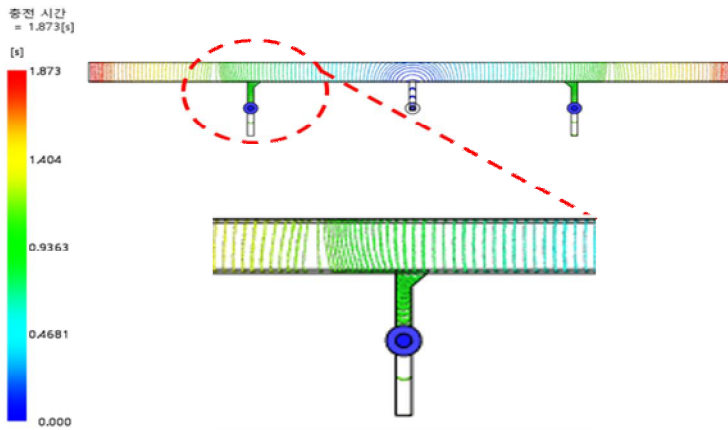
(a) Case 6: Non-applied auxiliary runner



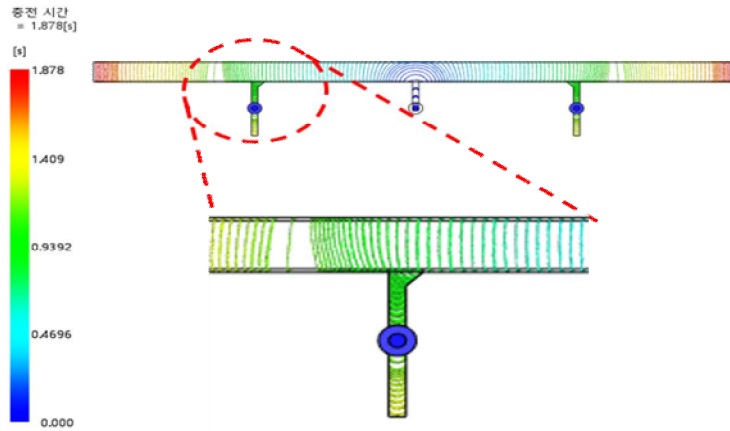
(b) Case 7 : 2mm thick auxiliary runner



(c) Case 8 : 5mm thick auxiliary runner, 2mm thick resistance element



d) Case 9 : 5mm thick auxiliary runner, 1mm thick resistance element



(e) Case 10 : 5mm thick auxiliary runner, 0.5mm thick resistance element

Fig 3.6 Flow front velocity of products according to auxiliary runner geometry

제 4 장 결 론

본 연구는 사출 금형에서 고가의 추가 정밀 제어 방식을 적용하지 않고 밸브 게이트 순차 제어기술의 한계점을 보완할 수 있는 금형 피드 시스템을 최적화하기 위하여 연구를 진행하였으며, 이에 대한 결론은 다음과 같다.

1) 오버랩 성형기술 적용 유무에 따른 유동 선단 온도에서의 특성을 고찰한 결과, 오버랩 성형을 적용함으로써 표면 온도가 급변하는 현상을 방지하였고, 건전성 기준에 적합하였다. 충전시간 내 유동 선단 속도 특성을 고찰한 결과, 오버랩 성형기술 적용으로 인해 급격하게 정체되는 현상이 감소하였다. 따라서 오버랩 성형기술의 온도 분포와 유동 선단 속도 분포의 균일화 효과를 나타냄을 알 수 있었다.

2) 사선 게이트 길이에 따른 유동 선단에서의 온도 특성을 고찰한 결과, 사선의 길이에 상관없이 전체 표면 온도 편차가 건전성 기준에 적합하였다. 충전시간 내 유동 선단 속도 특성을 고찰한 결과, 사선 게이트의 길이가 증가함에 따라 오버랩 성형 구간이 감소, 이로써 사출 필요 압력 또한 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이 중 30mm 길이의 사선 게이트를 적용한 조건이 가장 작은 사출 압력을 요구하였지만, 급가속 현상이 일어났기에 20mm 길이의 사선 게이트를 가장 적합하다고 판단하였다.

3) 보조 러너 형상에 따라 유동 선단에서의 온도 특성을 고찰한 결과, 보조 러너 형상과 상관없이 전체 제품 표면 온도 편차가 건전성 기준에 적합하였다. 충전시간 내 유동 선단 속도 특성을 고찰한 결과, 보조 러너 두께가 증가함에 따라 유속이 감소한 것을 확인하였다. 또한, 저항 요소의 두께가 2mm에서 1mm로 감소 시, 저항이 증가하여 급가속 현상이 현저히 감소 되었다. 하지만 저항 요소의 두께가 1mm에서 0.5mm로 더욱 감소 시, 다시 가속 현상이 발생하였기 때문에 1mm 두께의 저항 요소를 적용한 조건을 가장 적합하다고 판단하였다.

유동 선단에서의 온도와 충전시간 내 유동 선단 속도 분포 특성을 제품 외관 건전성 측면에서 고찰한 결과, 10가지의 조건 중 9번째 조건이 가장 적합함을 알 수 있었다. 따라서 사출 제품 외관 품질 제어가 가능한 밸브 게이트 순차 제어적용을 위한 금형 피드 시스템을 도출할 수 있었다.

참고문헌

- [1] S.C. Malguarnera, A.I. Manisali and D.C. Riggs, "Weld line structures and properties in injection molded polypropylene", *Polymer Engineering & Science*, 45(7), 1021-1030, 2005.
- [2] C. H. Wu and W. J. Liang, "Effects of geometry and injection-molding parameters on weld-line strength", *Polymer Engineering & Science*, Polymer, 21(17), 1149-155, 1981.
- [3] W. Feng, C. Guodong, B. Jiling and Z. Bin, "Application of Sequence Control Injection in Modified Design of Car Front Bumper", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 62(1), 1-8, 2014.
- [4] 김봉주, "햏러너 사출금형의 밸브 게이트 순차제어 시스템 최적화", 국내박사학위논문 아주대학교, 2021.
- [5] J. Tarr and D. Reitan, "Injection molding system with sequential gate control", US5919492A, 1999.
- [6] A.L. Kelly, M. Woodhead and P.D. Coates, "Comparison of injection molding machine performance", *Polymer Engineering & Science*, 45, 6, 857-865, 2005.
- [7] J.D. Cao, J.B. Ding, L.G. Wang, "Warp Degree Optimization of Automobile Bumper in Sequential Injection Molding", *Applied Mechanics and Materials*, 329, 176-181, 2013.
- [8] M. Zhai, Y.C. Lam and C.K. Au, "Runner sizing and weld line positioning for plastics injection moulding with multiple gates", *Engineering with Computers*, 21, 3, 218-224, 2006.
- [9] J.C. Park and Y.K. Seong, "A Study on Determining Optimal Gate Positions for Cavity Fill-Uniformity in Injection Molding Design", 9, 6, 21-28, 2010.
- [10] Richard G. Griskey, *Polymer Process Engineering*, Springer Dordrecht, 1995.
- [11] B.H. Lee and B.H. Kim, "Automated Design for the Runner System of Injection Molds Based On Packing Simulation", *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 35(1), 147-168, 2006.

- [12] W.B. Young, "Gate Location Optimization in Liquid Composite Molding Using Genetic Algorithms", *Journal of Composite Materials*, 12(28), 1098-1113, 1994.
- [13] A. Pyata, M. Nikzad, S. S. Vishnubhotla, J. Stehle and E. Gad, "A simulation-based approach for assessment of injection moulded part quality made of recycled olefins", *Materials Today: Proceedings*, 46, 1, 311-319, 2021.
- [14] C.Y. Shen, X.R. Yu, Q. Li and H.M. Li, "Gate Location Optimization in Injection Molding By Using Modified Hill-Climbing Algorithm", *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 43, 3, 649-659, 2004.
- [15] B.H. Lee and B.H. Kim, "Automated Selection of Gate Location Based On Desired Quality of Injection-Molded Part", *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 35, 2, 253-269, 1996.
- [16] D. Yao and B. Kim, "Direct-Search-Based Automatic Minimization of Weldlines in Injection-Molded Parts", *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 37, 4, 509-525, 1998.
- [17] S.H. Lim, K.I. Jeon, Y.G. Son and D.H. Kim, "Estimation of viscosity of by comparing the simulated pressure profile from CAE analysis with the Long Fiber Thermoplastic(LFT) measuring cavity pressure". *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 12, 4, 1982-1987, 2011.