[논문] 한국소성가공학회지, 제 14 권 제 5 호, 2005
Transactions of Materials Processing, Vol.14, No.5, 2005

가스사출성형을 이용한 자동차 내장부품 개발 사례에 관한 연구

김홍석[#]· 이덕영 [1]

A Case Study on Development of Automotive Interior Parts using Gas Assisted Injection Molding Process

H. S. Kim, D. K. Lee

(Received April, 12, 2005)

Abstract

Gas assisted injection molding (GAIM) is an innovative low-pressure injection molding technique that can provide numerous benefits such as reduced part warpage, excellent surface quality without sink marks, low injection pressure and greater design flexibility. However, adoptions of GAIM may cause unexpected defects since it requires many subtle design factors such as resin shot size, delay time and gas injection pressure, which wouldn't be considered in conventional injection molding process. Therefore, experiences applying GAIM should be collected and examined in order to establish design rules of the new technique. The purpose of this paper is to summarize developing cases of three automotive interior parts such as instrument panel, map pocket folding and center facia side panel so that possibilities and limitations of GAIM were examined. As a result, it is necessary to consider characteristics of GAIM at the initial stage of part design in order to obtain various advantages of the GAIM process without occurring severe defects, which would increase time and cost required to the part development.

Key Words : Gas Assisted Injection Molding(GAIM), Instrument Panel, Map Pocket Folding, Center Facia Side Panel

1. 서 론

가스사출성형(gas-assisted injection molding)은 저압 사출성형의 일종으로 금형 내에 적정량의 고분자 수지를 주입한 후 질소 등의 불활성 가스를 주입하여 미응고 상태의 용융수지를 밀어냄으로써 제품 내에 중공형상을 형성하는 방법이다[1~2]. 일반사출성형에 대한 가스사출성형의 장점은 크게 사출압력의 감소, 가스압력에 의한 수축보상 및 중공구조의 형성으로 나눌 수 있다[3]. 이러한 대표적인 장점 외에도 중공형상의 형성 및 게이트 개수의 감소를 통하여 원재료를 절감할 수 있고, 다수 개의 얇은 리브(Rib) 대신 소수의 두꺼운 리브를 사용함으로써 금형 구조의 단순화와 가공성의 향상을 꾀할 수 있다. 그러나 가스사출성형은 설계 단계에서부터 사출조건에 민감한 다수의 설계요인에 대한 고려가 필요하고 양산 시에 성형조건의 설정이 까다로워 일반사출성형에 비해 불량 발생의 가능성이 높다. 특히 가스의 흐름을 제어하는 가스채널(gas channel) 설계의 경우 이론적 근거보다는 설계자의 지식과 판단에 의존하는 경험 의존적 속성이 강하여 새로운 제품군에 가스사출성형을 적용할 경우 많은 시행착오가 요구된다[4~6].

교신저자: 대구대학교 자동차·산업·기계공학부
1. 대구대학교 자동차·산업·기계공학부

국내에 가스사출성형이 도입된 것은 1990년대 중반부터인데, TV 등의 전자제품 및 자동차 손잡이(side handle)류의 제품에 대해서는 상당한 기술 축적이 이루어져 적용 사례가 계속 증가하고 있다[7~11]. 그러나 자동차 내장부품의 경우에 제품의 형상이 비교적 복잡하며, 차종에 따른 형상 및 요구 특성의 다양성으로 인하여 현재까지 기술의 표준화가 이루어지고 있지 못한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 설계지식의 체계화를 위한 적용사례 공유의 일환으로 가스사출성형의 공정 특성과 설계변수를 분석하고 자동차용 인스트루먼트패널(instrument panel)과 맵포켓 폴딩(map-pocket folding), 계기판 사이드 패널(center facia side panel)에 대한 가스사출성형의 적용 사례를 분석하여 설계 과정 및 발생 문제점, 해결 방안 등을 정리함으로써 가스사출성형이 가지고 있는 가능성과 문제점에 대해 살펴보고자 한다.

2. 가스사출성형

2.1 공정 개요 및 설계 변수

성형 특성에 따라 변형 방식이 존재하지만 일반적인 가스사출성형은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 수지 주입, 가스 주입, 가스 보압의 3 단계로 구성된다. Fig. 1(a)에 나타낸 바와 같이 금형의 일부를 수지로 채운 후 Fig. 1(b)에서와 같이 사출기의 노즐(nozzle)이나 금형의 캐비티(cavity) 내에 설치된 가스핀(gas pin)을 통하여 가스를 주입시켜 미응고 상태의 수지를 미성형 부위로 밀어내어 중공단면을 형성한다. 수지의 충전이 완료되면 Fig. 1(c)에 나타낸 바와 같이 수지 고화에 따른 수축량을 보상하기 위하여 가스의 2차 주입이 진행되는데, 가스사출성형의 경우 용융수지에 의한 보압 대신 가스 압력으로 보압과정을 대체하므로 이 단계를 가스보압단계라 한다. 수지의 냉각이 완료되면 가스 주입구를 대기압 상태로 되돌리거나 역압력을 가하여 주입된 가스를 배출시킨 후 제품을 취출한다.

가스사출성형에서는 금형 및 수지의 온도, 사출속도, 사출압 등과 같은 일반사출의 공정조건 외에도 수지사출량(resin shot size)과 지연시간(delay time), 가스압력 등과 같은 성형조건이 가스의 주입경향에 큰 영향을 미친다.

수지사출량이란 캐비티와 주입된 용융수지의 부피비로서 미성형 충전(short shot) 방식에서는

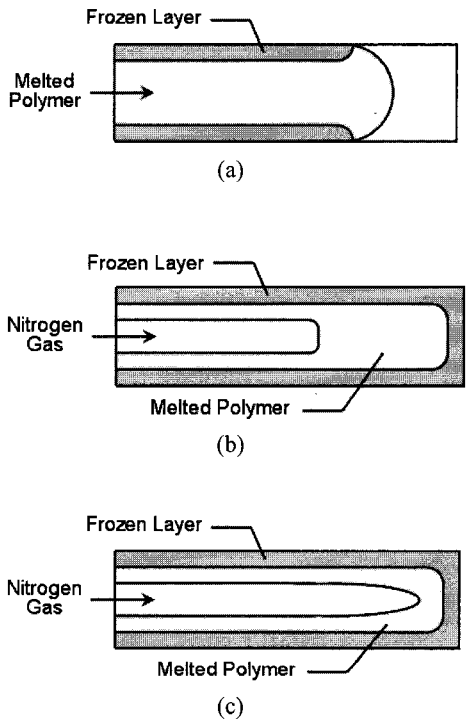

Fig. 1 Gas assisted injection molding procedure: (a) resin injection, (b) gas injection and (c) gas packing stage

75~95% 정도의 수지가 주입되는 반면, 완전 충전(full shot) 방식에서는 캐비티에 수지를 100% 충전시키기 때문에 별도의 가스충전단계가 없이 가스보압이 수행된다. 주입 가스에 의해 형성된 중공단면의 길이를 가스주입길이(gas penetration length)라 하는데, 수지사출량은 가스주입길이에 가장 큰 영향을 미치는 공정조건으로서 서로 반비례 관계에 있다. 그러나 수지사출량이 너무 적을 경우 가스가 수지 유동선단을 뚫고 나가는 가스터짐(gas blowout)이나 제품의 일반 두께 부분으로 퍼져나가는 핑거링(fingering) 불량이 발생하기 때문에 적절한 수지사출량이 설정되어야 한다.

지연시간이란 수지의 주입이 완료된 후 가스주입이 시작될 때까지의 시간 간격을 의미하는데, 일반적으로 0~2초 정도를 설정한다. 지연시간이 너무 짧으면 가스 주입구 부근에서 과도한 양의 가스 주입이 발생하여 가스주입길이가 감소하는 경향을 보이는 반면에 지연시간이 너무 길게 되면 수지의 내부까지 응고되기 때문에 가스 주입

이 불가능해진다.

가스압력의 경우 수지주입량과 지연시간에 비해 가스주입길이에 미치는 영향이 작은 것으로 알려져 있다. 그러나 가스압력이 너무 작으면 원하는 정도까지 가스침투가 이루어지지 않고 너무 클 경우 저압사출의 이점을 얻을 수 없으며 가스배관부품의 내구성이 떨어지게 된다.

수지의 온도와 사출 속도, 금형 온도 등의 공정변수는 주로 용융수지의 점성에 영향을 미치는데, 일반적으로 가스주입길이에 미치는 영향은 작은 것으로 알려져 있으며 지연시간을 통하여 유사한 효과를 거둘 수 있기 때문에 무리한 공정조건을 설정할 필요는 없다. 다만 수지나 금형의 온도가 높을수록 웰드 라인(weld line)이나 정체 마크(hesitation mark)를 약화시킬 수 있기 때문에 외관품질 향상의 목적으로 용융수지나 금형의 온도를 높이기도 한다.

2.2 가스채널설계

가스채널이란 가스의 주입을 통하여 미응고 상태의 수지를 밀어냄으로써 형성되는 중공부를 의미하는데, 제품의 다른 부분보다 두껍거나 금형으로의 열전달이 완만하게 진행되어 용융수지의 응고가 더디게 일어나는 부분에 형성된다. 자동차의 손잡이와 같이 제품이 전체적으로 두꺼운 경우에는 별도의 가공없이 제품 전체를 가스채널로 이용할 수 있으나 박육 제품의 경우 제품의 배면에 Fig. 2에 나타낸 바와 같은 챔퍼(chamfer)나 원호(round) 가공을 통하여 가스채널을 형성한다.

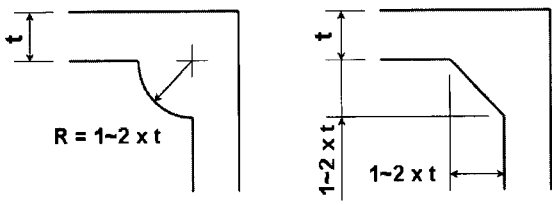

Fig. 2 Geometries of gas channels: (a) round and (b) chamfered corner

가스채널의 설계는 가스주입구의 선정, 가스채널의 배치 및 채널단면의 설계로 이루어지는데, 다음과 같은 가이드라인이 제시되고 있다[12~14].

(1) 수축량이 작고 압력이 높은 부위에 가스 주입구를 설치한다.
(2) 가스의 흐름이 수지의 유동방향과 일치되도록 가스채널을 배치함으로써 최종충전부위로 가스가 진행하도록 설계한다.
(3) 미성형 충전 시 최종충전부가 2개소 이상일 경우 모든 최종충전부의 미성형량을 최대한 일치시킨다.
(4) 가스주입구 부근에서는 가스채널의 분기를 피한다.
(5) 가스 진행의 간섭을 피하기 위하여 폐루프(closed-loop) 형상의 채널 배치는 피한다.
(6) 핫런너(hot runner) 사용 시 가스의 역류를 방지하기 위해 밸브게이트(valve gate)를 사용한다.

이상에서와 같이 몇 가지의 설계 가이드라인이 제시되고 있지만 대부분 정성적인 경향만을 제시하고 있기 때문에 실제 제품의 가스채널 설계 시 최종 설계치수의 확정이 쉽지 않고, 심지어 제품의 특성 상 가이드라인과 상충되는 설계가 불가피한 경우도 발생한다. 다양한 연구를 통하여 공정의 속성을 명확히 파악하여 보다 체계적인 설계 규칙을 확립하고자 하는 노력이 계속되고 있으나 현재까지는 설계자의 경험적인 판단이 불가피한 측면이 있다.

3. 적용 사례 고찰

3.1 인스트루먼트 패널

Fig. 3에 차량용 인스트루먼트 패널의 형상을 나타내었는데, 재질은 ABS이고 제품의 기본 두께는 2.5mm이다. 본 제품에 대한 가스사출성형의 적용목적은 제품 상단부의 강성 증대와 조립용 클립(clip) 및 셀프탭(self-tap)에서의 수축 방지이다. 따라서 제품 상단부에 강성 증대를 위한 중공단면이 형성되어야 하고, 수축 발생의 위험이 있는 부위에 가스압력이 전달되도록 게이트의 위치와 가스채널이 설계되어야 한다. 본 제품의 경우 수지의 유동균형성(flow balance)을 고려하여 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 2개의 핫밸브(hot valve)와 4개의 측면게이트(side gate)를 설치하였다. 또한 제품의 기능 및 상대물과의 조립성, 금형 부품과의 간섭 및 가공성 등을 고려하여 그림에 두꺼운 실선으로 표시된 위치에 반경 4.5mm의 원호형 가스채널을 설치하였다.

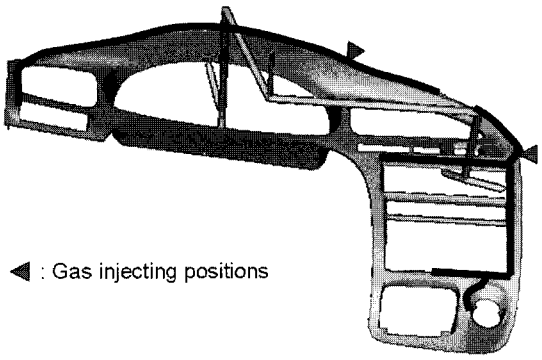

Fig. 3 Geometry of an automotive instrument panel with the designed gas channels

CAE 해석을 통하여 얻은 유동선단(flow front) 분포와 가스주입(gas penetration) 경향을 각각 Fig. 4(a)와 (b)에 나타내었다. 해석에는 상용 사출성형 해석 소프트웨어인 MOLDFLOW가 사용되었으며, 수지의 용융온도와 금형의 온도는 각각 260°C와 60°C, 수지주입량과 사출시간은 각각 98%와 2초로 설정하였다. Fig. 4(a)에 나타낸 바와 같이 용융수지는 4개의 측면 게이트를 통해 금형에 주입되며, 98% 수지 충전 시 그림의 'A'와 'B'로 표시된 부분에 미성형 구간이 발생함을 알 수 있다. 이 때, Fig. 3에 나타낸 2개의 가스핀에서 동시에 가스가 주입되면 유동저항이 최소가 되는 미성형 구간으로 가스가 전진하여 미응고 수지를 밀어내어 금형을 완전히 채움으로써 충전 과정이 완료된다. 충전 완료 후 가스주입을 위한 지연시간은 0.5초, 가스주입 압력은 30MPa(2초), 25MPa(5초), 20MPa (7초)의 3단계로 설정하였다. Fig. 4(b)에 나타낸 바와 같이 설치된 가스채널을 따라 전반적으로 양호한 가스주입 경향을 예측할 수 있었다. 다만, 'C'로 표시된 부위에서 가스채널이 설치되지 않은 기본 두께 구간으로 가스가 스며드는 핑거링 현상의 발생이 예상되었지만 제품의 외관이나 기능적 측면에서 큰 문제가 되지 않을 것으로 판단되었다.

CAE 해석을 통하여 얻은 가스채널 설계를 이용하여 금형을 제작하였으며, 시험사출로 얻은 제품의 형상 및 제품의 각 부위에 형성된 가스채널을 Fig. 5에 나타내었다. 해석 결과에서 예측된 바와 같이 일부 가스채널에서는 핑거링이 발생하였으나 전반적으로 양호한 가스 주입 경향을 얻을

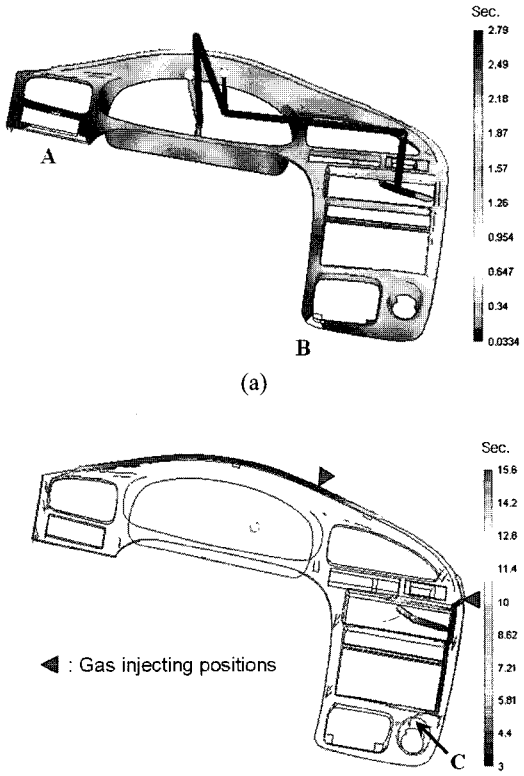

Fig. 4 Analysis results obtained by CAE analyses: (a) resin flow front and (b) gas penetration

수 있음을 알 수 있었다. 또한 설계 단계에서 의도한 바와 같이 제품의 상단부 및 조립용 클립과 보스의 하단에 원활한 가스주입이 이루어져 강도 보강 및 수축 방지의 목적을 달성할 수 있었음을 알 수 있었다.

본 제품은 자동차 계기판 부품에 가스사출성형을 적용시킨 국내 최초의 사례였으며, 일반 사출성형에서는 경험하지 못한 각종 문제점들이 발생하여 비교적 긴 개발기간과 많은 시험작업이 요구되었으나 가스사출 금형 개발에 성공하여 현재 양산 진행 중이다. 최근 인스트루먼트 패널 외에 센터페이셔(center facia) 및 클러스터페이셔(cluster facia) 등의 계기판 부품에 대해서는 주로 수축 방지를 목적으로 가스사출성형이 널리 적용되고 있는데, 이 경우 가스핀을 사용한 완전충전 방식이 주로 사용되고 있으며 반경 2~3mm 정도의 비교적 작은 가스채널이 적용되는 추세이다.

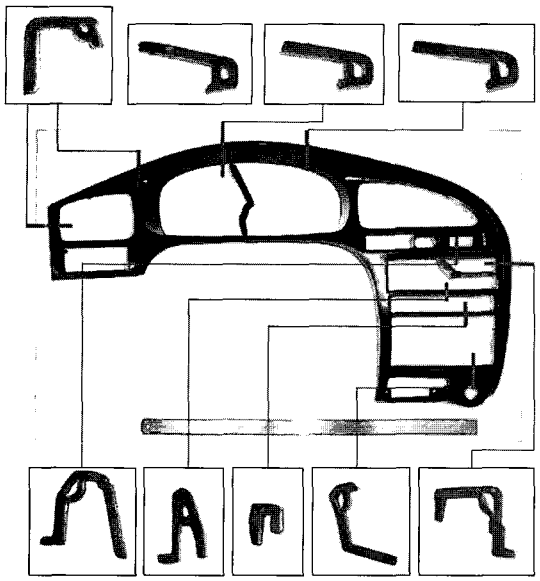

Fig. 5 Instrument panel obtained by injection tryouts and created hollow geometries of gas channels

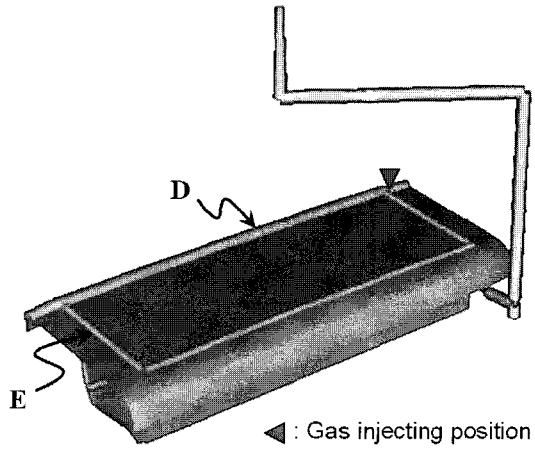

Fig. 6 Geometry of a map pocket folding part with the designed gas channels

3.2 맵포켓 폴딩

맵포켓이란 자동차 문의 내면을 구성하는 도어 트림 패널(door trim panel)에 조립되어 지도 등의 사물을 보관할 수 있는 공간을 제공하는 부품이다. 일반 맵포켓은 고정식으로 조립되지만 일부 고급형 차량의 경우 제한적인 힌지(hinge) 운동이 가능하도록 설계되고 있는데, 이 경우 조립되는 가동 부품을 맵포켓 폴딩이라 한다.

Fig. 6에 제품의 형상과 설계된 가스채널을 나타내었는데, 그림에 'D'로 표시된 부분은 제품의 상단부로서 도어의 개폐 시 사용자가 하중을 가할 수 있기 때문에 당초 제품 설계 시 가스사출성형의 적용을 고려하여 두께를 증가시켰다. 따라서 본 제품에 대한 가스사출성형의 적용 목적은 제품 상단부의 두께 증가에 따른 강도 보강 및 후육부에서의 수축 및 변형 감소이다. 또한 일반 사출 성형과는 달리 리브 유형의 형상을 갖는 부위에 가스가 주입되지 않으면 불충분한 보압에 의해 수축이 발생하므로 제품 배면의 받침대 하단에 반경 2.5mm의 보조 가스채널 'E'를 설치하여 가스의 주입을 유도하였다.

본 제품에 사용된 수지는 ABS이고 수지 용융온도 및 금형 온도는 각각 260°C와 60°C이다. 또한 수지의 사출시간은 2.0초로 설정하였는데, 95%의

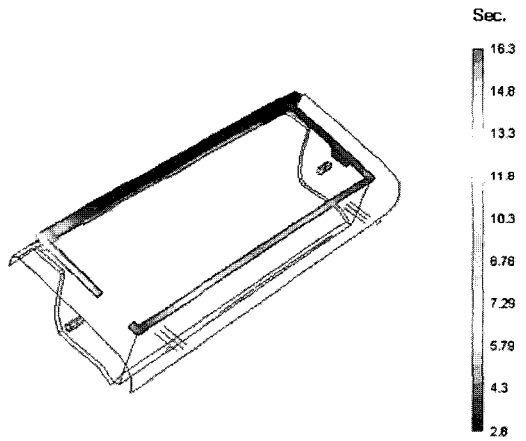

Fig. 7 Gas penetration predicted by CAE analysis

수지가 금형을 채운 후 0.8초의 지연시간을 거쳐 20MPa(3초), 15MPa(5초), 10MPa(5초)의 3단계 압력으로 가스가 주입된다. 설정된 사출조건에 따른 가스의 주입경향을 Fig. 7에 나타내었는데, 설치된 가스채널을 따라 가스의 주입이 원활하게 진행되리라 예측할 수 있었다.

Fig. 8에 시험사출을 통하여 얻은 시제품의 배면 형상을 나타내었으며, Fig. 9에는 Fig. 8에 표시된 'F'와 'G' 부위의 단면을 나타내었다. 그림에 나타낸 바와 같이 제품의 상단부가 두께 10mm 이상의 후육부로 설계되었으나, 가스의 주입을 통한

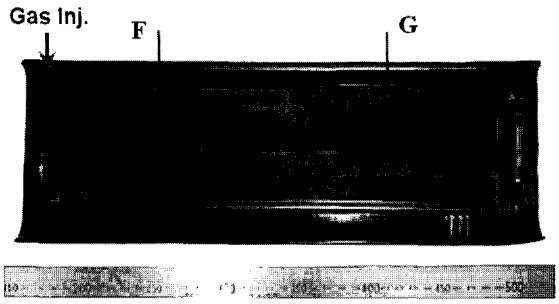

Fig. 8 Map pocket folding obtained by tryouts

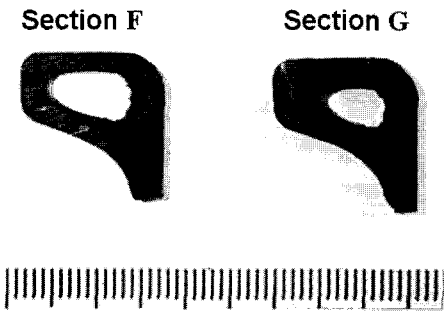

Fig. 9 Cross sections of 'F' and 'G' shown in Fig. 8

중공부의 형성으로 수축을 방지할 수 있었으며 결과적으로 제품의 강도를 크게 증가시킬 수 있었다.

3.3 센터페이셔 사이드 패널

Fig. 10에 센터페이셔의 측면에 조립되는 사이드 패널의 형상과 설계된 가스채널을 나타내었다. 본 제품의 당초 설계두께는 2.5 mm였으며 'H'로 표시된 취약 부위에 가스채널을 설치하여 제품의 강성을 증대시키고자 하였다. 그러나 금형설계 단계에서 상대 조립물과의 간섭 때문에 'H' 부위에 가스채널의 설치가 불가능함이 판명되었으며, 결국 가스사출성형을 통한 강성 보강이 불가능함이 뒤늦게 밝혀졌다. 따라서 제품의 두께를 3.0mm로 증가시켜 강성을 보강하는 방향으로 설계가 변경되었으며, 가스사출성형의 적용 목적은 리브와 클립부의 수축 방지로 축소되었다. 가스사출의 적용 목적이 단순히 수축 방지라면 수축 발생이 예상되는 부위에 미량의 가스만 주입시키면 문제를 해결할 수 있다. 따라서 Fig. 10에 나타낸 바와 같이 배면에 설치된 조립 클립과 리브를 따라 반경 2.5mm의 가스채널을 2열 배치하였으며, 압력구배를 고려하여 게이트 근방에 가스핀을 설치하였다.

본 제품에 사용된 수지는 PC/ABS이며, 수지의 용융온도와 금형의 온도는 각각 260°C와 70°C로 설정되었다. 또한, 본 제품에 대해서는 완전충전 방식을 적용하여 2초에 수지가 금형을 완전히 채운 후 1.5초의 지연시간을 거쳐 4MPa(3초), 7MPa (3초), 10MPa(3초)의 3단계 압력으로 가스를 주입시켰다. 설정된 가스 사출조건을 통하여 얻은 가스의 주입경향을 Fig. 11에 나타내었는데, 설치된 가스채널의 종단부까지 가스의 주입이 원활하게 이루어졌음을 확인할 수 있었으며 큰 문제없이 성형이 완료되리라 예측할 수 있었다.

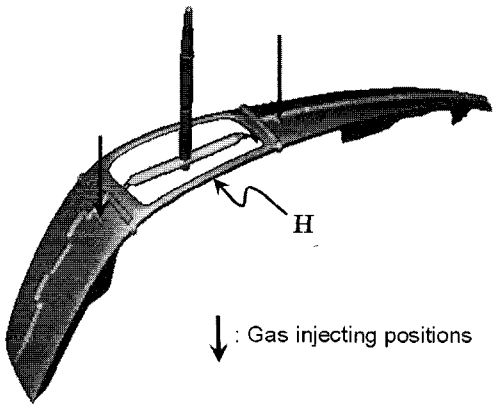

Fig.10 Geometry of a center facia side panel with the resin transfer system and gas channels

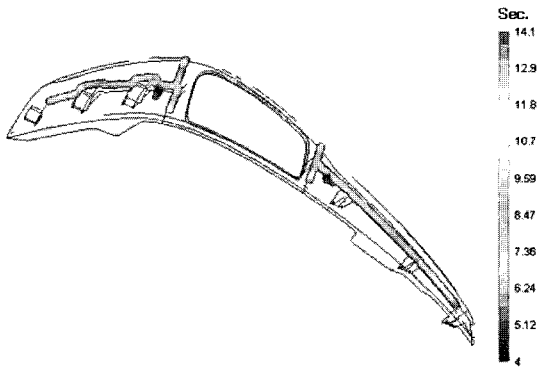

Fig.11 Gas penetration predicted by CAE analysis

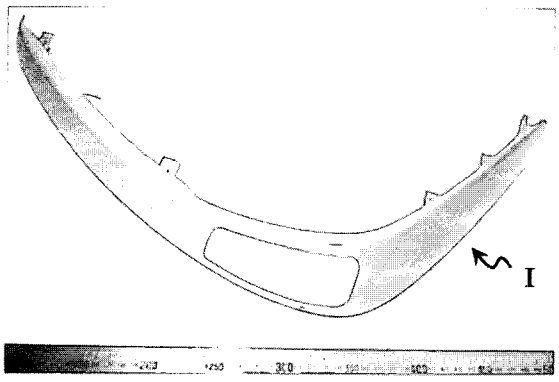

Fig.12 Side panel obtained by injection tryouts

Fig. 12에 시험사출을 통하여 얻은 제품을 나타내었는데, 가스의 주입이 원활하게 이루어져 단 1회의 시험사출에서 수축 불량이 없는 제품을 얻을 수 있었다. 일반적으로 자동차 계기판류 제품의 경우에 특별한 외관불량이 발생하지 않는다면 충격시험에서 문제가 발생되지 않는 한 금형개발이 완료된 것으로 간주한다. 그러나 본 제품의 경우 예상과는 달리 고온 시험에서 그림의 'I' 부위가 부풀어 오르는 형상 불량이 발생하였다.

불량의 원인을 규명하기 위하여 Fig. 13에 나타낸 바와 같이 제품 상단부를 절단하여 단면 형상을 고찰해 보았다. 그림에 나타낸 단면 'K'와 'M'의 경우 가스채널을 따라 중공형상이 비교적 양호하게 형성됨을 알 수 있었다. 그러나 단면 'J'와 'L'의 경우 수평 방향의 클립과 연결되는 가스채널에서 클립 하단면을 따라 제품의 기본 두께면으로 가스가 침투하는 핑거링이 발생하였는데, 형성된 넓은 중공부가 온도 상승 시 부풀어 오르는 것으로 판명되었다. 본 제품은 일반적인 계기판류 부품과는 달리 Fig. 12의 'I' 부위가 차량의 전면 글래스를 통한 직사광선에 노출되도록 설계되었기 때문에 온도 상승에 따른 중공부위의 부풀음은 제품의 기능과 직결되는 치명적인 결함이라 할 수 있다. 따라서 핑거링 현상을 최대한 억제하기 위하여 조립 클립 하단부의 살빼기 작업을 수행하였는데, 살빼기 작업의 경우 가공된 금형 코어에 대한 용접 및 재가공이 요구되어 금형의 품질이 저하되었다. 이러한 금형 수정 및 수 차례에 걸친 시험작업을 통하여 고온 시험 특성을 만족하는 제품을 생산할 수 있었으나 당초 의도했던

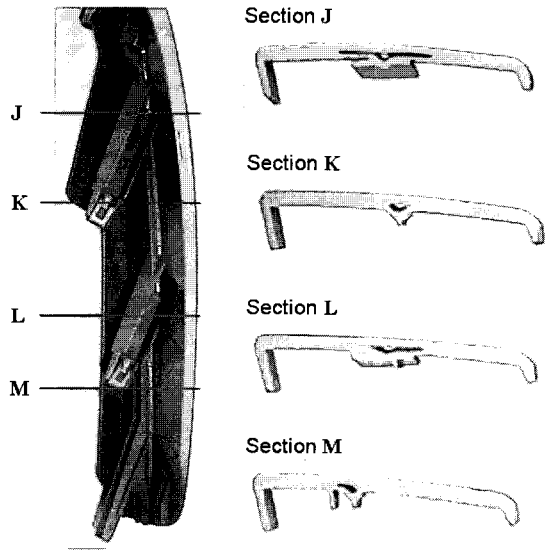

Fig.13 Cross sections of the side panel and occurred fingering defects

가스사출성형의 장점보다는 예상치 못한 불량에 따른 시간 및 비용의 소모가 더 컸다고 평가된다.

4. 결 론

본 논문에서는 자동차 내장부품에 대한 가스사출성형의 설계 과정 및 적용 결과, 발생 문제점 등을 고찰함으로써 가스사출이 갖는 가능성과 문제점을 살펴보았다. 이러한 일련의 과정을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 가스사출성형이 적절히 사용된다면 일반 사출로서는 얻을 수 없는 다양한 장점을 효과적으로 얻을 수 있다.

(2) 가스사출성형의 장점을 극대화시키기 위해서는 제품설계단계에서 가스사출성형의 특성을 고려한 설계가 이루어져야 한다. 특히 제품 두께의 국부적인 변화와 리브 두께의 증가 등을 통하여 제품 설계의 자유도를 크게 향상시킬 수 있다.

(3) 일반적인 자동차 내장부품의 경우 제품 형상의 비대칭성 때문에 가스핀을 이용한 가스주입 방식이 유리하며, 가스의 주입압력은 25~30MPa를 초과하지 않는 것이 바람직하다.

(4) 미성형 충전방식의 가스사출에서 최종충전부가 2개소 이상일 경우 미성형량이 서로 유사하

게 형성되도록 게이트와 가스채널의 설계가 이루어져야 한다.

(5) 고온시험 적용 제품의 경우 핑거링 발생 부위나 가스의 과다 침투부가 부풀어 오를 수 있기 때문에 중공부가 가능한 작게 형성되도록 가스채널을 설계하는 것이 바람직하다. 그러나 이러한 경우에 가스사출의 적용 목적은 수축 방지 정도로 축소될 수 있기 때문에 가스사출 적용의 타당성을 재검토하는 것이 바람직하다.

(6) 국내의 자동차 부품에 대한 가스사출성형의 적용은 주로 중소기업형인 부품업체에서 시행착오를 통한 단발성 개발로 그치고 있기 때문에 체계적인 설계 방식이 확립되지 않고 있다. 따라서 보다 다양한 적용 사례들에 대한 공유 및 분석을 통하여 체계적인 설계 규칙을 확립함으로써 가스사출성형을 보다 적용이 용이한 보편적인 공정으로 만들어야 할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 2004 학년도 대구대학교 교내학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

[1] K. C. Rusch, 1989, Gas-assisted injection molding-the new age of plastic molding technology, ANTEC '89, pp. 1014~1018.

[2] S. Shah, 1991, Gas injection molding: current practice, ANTEC '91, pp. 1494~11508.

[3] J. F. Stevenson, 1996, One-shot manufacturing: what is possible with new molding technologies, ANTEC '96, pp. 655~662.

[4] W. R. Jong, J. S. Huang, Y. S. Chang, 1996, Experimental studies of design guidelines for gasassisted injection molding process, ANTEC '96, pp. 668~673.

[5] S. C. Chen, K. F. Hsu, K. S. Hsu, 1996, Polymer melt flow and gas penetration in gas-assisted injection molding of a thin part with gas channel design, Int. J. Heat Mass Transfer., Vol. 39, No. 14, pp. 2957~2968.

[6] M. A. Parvez, N. S. Ong, Y. C. Lam, S. B. Tor, 2002, Gas-assisted injection molding: the effect of process variables and gas channel geometry, J. Mater. Proc. Technol., Vol. 121, pp. 27~35.

[7] Y. S. Soh, 1996, A case study on gas assisted injection molding technology, ANTEC '96, pp. 1006~1010.

[8] B. O. Rhee, H. K. Ahn, K. D. Lee, B. K. Yu, 1999, Gas assisted injection molding of a vacuum cleaner body, ANTEC '99, pp. 571~575.

[9] 이호상, 2001, 가스사출성형을 이용한 두꺼운 박스형 제품의 일체화 성형 연구, 한국소성가공학회지, 제10권, 제5호, pp. 402~410.

[10] 조재성, 2002, 가스사출성형을 이용한 TV mask front의 무도장 제품에 관한 연구, 한국소성가공학회지, 제11권, 제8호, pp. 691~700.

[11] 허영무, 신광호, 2002, 자동차용 핸들 성형시 gas injection 응용, 한국소성가공학회 금형 가공 심포지엄, pp. 103~108.

[12] C. Rennefeld, H. Potente, 1995, Systematic designing of gas injection moulded parts, ANTEC '95, pp. 534~539.

[13] S. Y. Yang, F. Z. Huang, 1995, A basic study of rib geometry for gas-assisted injection molding, ANTEC '95, pp. 747~759.

[14] H. Potente, H. P. Heim, 1999, Moulded part design for the gas injection technique, ANTEC '99, pp. 556~560.