

17" 평면 모니터 Front Cover의 가스사출성형에 관한 연구

김홍석[†], 손중식*, 서태수*

A Study of Gas-Assisted Injection Molding of 17" Flat Monitor Front Cover

Hong-Seok Kim, Jung-Sik Son and Tae-Soo Seo

Key Words: Gas-Assisted Injection Molding(가스사출성형), Flat Monitor(평면 모니터), Moldflow(몰드플로우), Weld Line(웰드라인)

Abstract

Gas-assisted injection molding 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, the adoption of gas-assisted injection molding may cause unexpected defects if the gas channel design is not conducted properly. The objective of this paper is to broaden the understanding of gas-assisted injection molding by summarizing the design procedures and experimental results of the gas-assisted injection molding of a 17" flat monitor front cover. The gas channels were designed by using Moldflow(MF/GAS) simulations and a 450 ton injection molding machine with a 5 stage pressure control gas kit was used in the experiments.

1. 서 론

가스사출성형(Gas Assisted Injection Molding)이란 금형 내에 적정량의 수지를 주입한 후 불활성 가스를 주입하여 제품 내에 중공 구조를 형성하는 방법으로서 저압의 가스를 이용한 충전 및 보압을 통해 제품의 변형을 감소시킬 수 있으며, 가스채널(Gas Channel)의 설치를 통해 보압의 전달이 어려운 부위에서 수축을 방지할 수 있다.

또한 중공 구조의 형성을 통해 제품의 강성이 증대될 수 있으며, 손잡이(Handle)와 같은 후속 제품의 경우 수지 절감 및 수축 방지의 효과를 기대할 수도 있다^(1,2). 그러나 압력과 온도에 민감한 가스의 속성 때문에 가스채널의 설계나 가스 주입 조건의 설정이 적절하지 않으면 일반 사출에서는 볼 수 없었던 각종 불량^{*}이 발생할 수 있다. 대표적인 불량으로는 수지의 충전이 완료되기 전에 가스가 수지의 유동선단을 뚫고 나가는 가스터짐(Gas Blowout)과 가스채널이 설치되지 않은 제품 영역으로 가스가 침투하는 가스퍼짐(Fingering)을 들 수 있으며, 의도한 부위까지 가스가 충분히 주입되지 않을 경우에는 가스채널에

[†] 책임저자, 회원, 현대오토넷 NET SBU 금형개발팀
E-mail: kimkong@haco.co.kr
TEL: (031)639-7842 FAX: (031)639-7830
* 현대오토넷 NET SBU 금형개발팀

수축이 발생할 수도 있다. 이러한 불량 외에도 일반 사출에서는 문제가 되지 않았던 부위에서 플로마크 (Flow Mark)나 웰드라인 (Weld Line) 등이 발생할 수 있으며, 가스 압력이 너무 높을 경우 가스 주입구 부분이 부풀어 오르거나 사출기 노즐로 가스가 역류할 수도 있다⁽³⁾.

가스사출성형이 적절하게 적용된다면 일반 사출로는 얻기 힘든 고품질의 제품을 생산할 수 있기 때문에 최근 적용영역을 확장하고자 하는 시도가 계속되고 있다⁽⁴⁻⁵⁾. 그러나 단지 가스의 주입만으로 가스사출성형의 모든 장점을 취할 수 있는 것은 아니며, 설계가 부적절할 경우 예상치 못한 불량이 발생할 수도 있다. 가스사출성형이 보다 보편적인 공법으로 사용되기 위해서는 발생 가능한 각종 문제점들이 체계적으로 정리되어야 하며, 이에 대한 해결책이 강구되어야 한다. 본 논문에서는 17" 평면 모니터 Front Cover의 가스사출금형의 설계 과정을 정리하고, 성형 시 발생 하였던 문제점과 대응책을 정리함으로써 가스사출성형에 대한 이해의 폭을 넓히고자 한다. 가스채널의 설계를 위한 CAE 해석에는 상용 패키지인 Moldflow의 가스사출모듈(MF/GAS)이 사용되었으며, 성형 실험에는 450톤 사출기와 5단 압력 제어형의 가스주입장치(Gas Kit)가 사용되었다.

2. CAE 해석을 통한 가스사출 금형설계

2.1 가스채널설계

본 연구에서 사용된 17" 평면 모니터 Front Cover의 제품 형상을 Fig. 1에 나타내었다. 수지로는 PC/ABS가 사용되었으며 제품의 기본 두께는 2.7mm이고 리브(Rib)의 두께는 대치수 기준 1.5mm이다. 그림에서와 같이 제품의 모서리 4군데에는 CRT와의 조립을 위한 보스(Boss)와 리브가 밀집되어 있으며, 하단 중앙부에는 스위치와의 조립을 위한 보스, 리브가 설치되어 있다. 모니터 Front Case에 대한 일반 사출의 경우 통상 4-5개의 게이트가 사용되는데, 보스와 리브의 완전 충전 및 수축 방지를 위하여 높은 사출압이 가해지며 그 결과 제품에 과도한 변형이 발생할 수 있다. 본 제품에 대한 가스사출성형의 적용 목적은 (1) 변형 최소화를 통한 제품 평탄도의 유

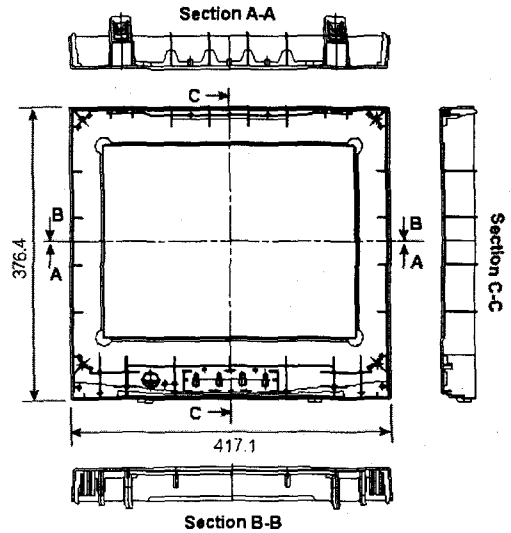


Fig. 1 Geometry of a 17" flat monitor front cover

지, (2) 수축 방지를 통한 외관 품질의 향상, (3) 게이트(Gate) 개수의 감소를 통한 수지 절감 등을 들 수 있다. 일반적으로 가스사출금형의 설계는 가스채널의 배치와 가스 주입구의 개수 및 위치 결정, 가스주입조건 최적화로 구성되는데, 가스채널의 배치는 가스사출성형의 적용 목적에 따라 좌우된다. 본 제품의 경우 사출압을 감소시키고 수축을 방지하기 위해서는 보스와 리브에 가스 주입을 통한 압력 전달이 효과적으로 이루어져야 한다. 따라서 가스채널이 각 모서리와 하단 중앙부를 경유해야 한다고 판단하였으며, Fig. 2(a)와 (b)에 나타낸 바와 같이 각각 2개와 4개의 가스 주입구(Gas Pin)를 갖는 2열(Case 1)과 4열(Case 2)의 가스채널을 구상할 수 있었다. Case 1과 Case 2는 각각 1개와 2개의 게이트로 성형되며, Case 2의 경우 제품 상하의 유동 균형을 향상시키기 위해 스프루(Sprue)를 제품 중심에서 하단으로 15mm 이동하였다. 가스채널의 형상은 일반적으로 널리 사용되는 원호형을 사용하였으며, 반지름은 주채널(Main Channel)과 보조채널(Sub Channel)에 대해 각각 4.0mm와 2.5mm로 설정하였다. 가스채널의 중단부는 가스의 주입을 촉진시키고 가스 미주입 시 수축의 최소화를 위해 최종 25 mm 구간에서 테이퍼 가공을 수행하였다.

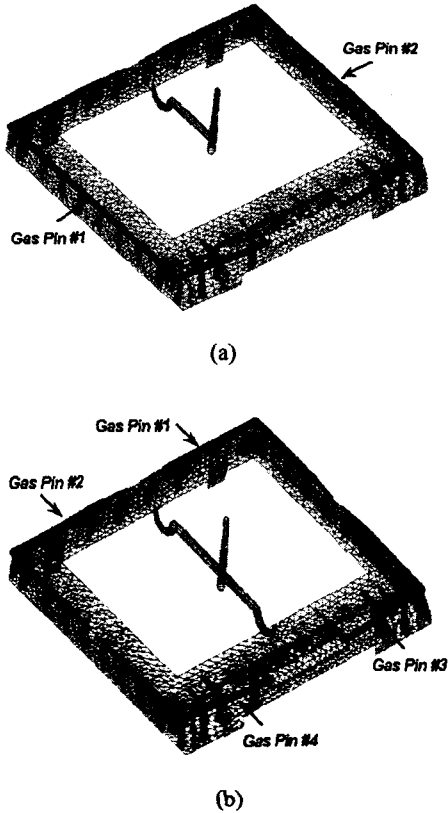


Fig. 2 Layouts of the designed gas channels: (a) Case 1 and (b) Case 2

2.2 CAE 해석 조건

성형 수지는 LG 화학의 LUPOY GN5001TF(PC/ABS)로서 해석에는 Moldflow의 수지 데이터베이스에 저장된 물성치가 사용되었으며, 수지와 금형 온도는 각각 270°C와 70°C로 설정되었다. 사출 시간은 2.2초에 98% 수지 충전 (체적 기준)이 이루어지도록 설정되었으며, 이때 약 220 cm³/sec의 사출 속도를 얻을 수 있다. 충전을 98%의 미성형 상태에서 2.8초에 가스를 주입하여 충전 및 보압을 수행하였는데, 가스압력은 12MPa(=1740 psi, 3초), 9MPa(=1305psi, 3초), 6MPa(=870 psi, 3초)의 3단계로 제어하였다.

2.3 CAE 해석 결과

Fig. 3(a)와 (b)에 충전을 98%에서 Case 1, 2에

대한 유동선단분포를 나타내었는데, 전술한 바와 같이 98% 충전 상태에서 약 0.6초의 지연시간 (Delay Time)을 거친 후 2.8초에 가스가 주입되어 충전이 완료된다. Case 1의 경우 Fig. 3(a)에 나타난 바와 같이 제품 하단의 중앙부에 최종 충전부가 형성되며, Case 2의 경우에는 Fig. 3(b)에 나타난 바와 같이 제품 좌우면의 중앙부에서 최종 충전이 이루어진다. Fig. 3(a)와 (b)에 나타난 수지의 유동양상을 고찰해보면 가스채널이 탕로(Flow Leader)의 역할을 하기 때문에 가스채널에서 수지의 유동속도가 기본 두께면보다 크다는 것을 알 수 있다. Fig. 4(a)와 (b)에는 각 경우에 대한 가스 주입 경향을 나타내었다. Case 1의 경우 제품의 측면 및 하단에 설치된 가스채널에 대해서는 양호한 주입경향을 보여 주었지만 상단 중앙부에

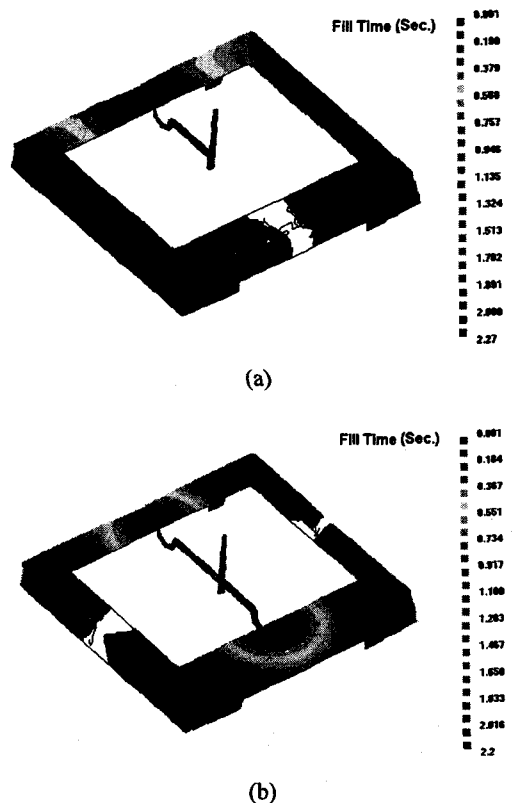


Fig. 3 Predicted results of flow fronts at 98% filling: (a) Case 1 and (b) Case 2

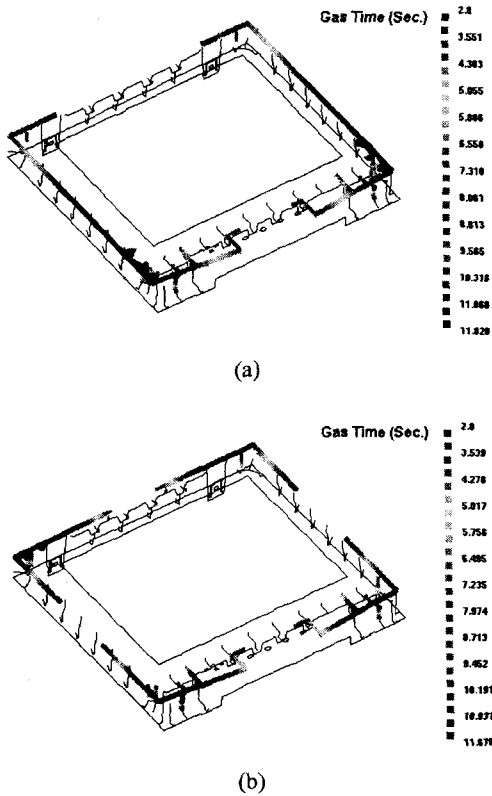


Fig. 4 Predicted results of gas penetration: (a) Case 1 and (b) Case 2

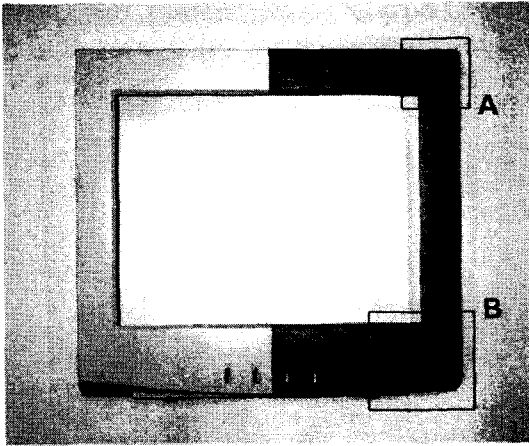
대해서는 약 254mm의 가스 미주입 구간이 발생하였으며, 측면 하단의 경우에 기본두께면으로의 가스퍼짐이 예측되었다. Case 2의 경우 설치된 가스채널에 대해 대체로 양호한 가스 주입경향을 보여 주었으나 측면 중앙부에서 약 103mm의 미주입 구간이 발생함을 알 수 있었다.

Case 1의 경우 제품의 상단 중앙부에 비교적 넓은 영역에 형성된 가스 미주입 구간으로 인한 수축이 예상되었으며, 시선 집중의 빈도가 높은 스위치 영역에 웰드라인이 형성되기 때문에 불량 발생의 위험이 높은 것으로 판단되었다. 이에 비해 Case 2의 경우 각 가스채널에 대해 대체로 양호한 가스 주입경향을 보여 주었으며, 제품 좌우 측 중앙에 형성되는 웰드라인의 경우 가스벤트(Air Vent)의 설치와 표면 부식을 통해 약화시킬 수 있을 것으로 판단되었다. 단, Case 2의 경우

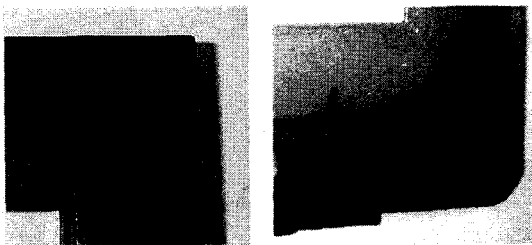
Case 1에 비해 런너와 게이트의 개수가 증가하므로 금형가공비 및 수지소모량이 증가하지만 통상 4~5개의 게이트가 설치되는 일반사출에 비해서 비용절감의 효과가 있을 것으로 판단되었다.

3. 가스사출 성형실험의 결과 및 고찰

CAE 해석결과에 대한 고찰을 통하여 Case 2를 최종안으로 선정하였으며, 2단 금형을 제작하여 가스사출성형을 수행하였다. 성형에는 450톤 사출기와 5단 압력제어 가스사출장비가 사용되었으며, 사출조건은 CAE 해석조건을 초기치로 설정하였다. 그러나 가스주입 압력의 상승에 따라 배관부품의 수명이 짧아지기 때문에 압력은 최소화해야 하며, 질소 가스의 절감을 위해 가스주입 시간은 짧을수록 유리하다. 따라서 가스주입 압력은 최대 2500psi에서 점차적으로 감소시켜 최종적으로 1500psi(3초), 1000psi(3초), 600psi(3초)의 최적 조건을 얻어낼 수 있었는데, CAE 해석 조건보다는 낮은 압력으로도 성형이 가능하였다. 수지충전율이나 지연시간이 너무 작을 경우 가스터짐이나 가스퍼짐이 발생하기도 하였는데, 본 제품의 경우 CAE 해석 조건에서 설정된 바와 같이 충전율과 지연시간을 각각 98%와 0.6초로 설정하여 무리없는 가스주입 결과를 얻을 수 있었다. 일반적으로 사출 및 가스주입 조건을 CAE 해석에서 최적화한 후에 실제 성형에 적용하는 것이 가장 바람직한 것으로 알려져 있으나, 통상 금형 제작 단계에서는 충분한 해석시간을 확보할 수 없기 때문에 다양한 조건에 대한 해석의 수행이 어렵다. 그러나 실제 성형에서는 다양한 조건에 대한 결과를 신속하게 검토할 수 있기 때문에 CAE 해석에서는 기준조건과 조건변화에 따른 사출경향만을 파악하는 것이 효과적이다. Fig. 5(a)에 가스사출을 통하여 얻어진 제품을 나타내었는데, 제품의 왼쪽은 양산에 사용될 표준 수지를 사용한 경우이고 오른쪽은 가스 주입 경향을 효율적으로 파악하기 위해 반투명 수지를 사용한 경우이다. Fig. 5(b)와 5(c)는 각각 Fig. 5(a)의 A와 B를 확대한 그림으로 리브와 보스의 하단으로 가스가 주입되어 수축이 방지되었음을 알 수 있었



(a)



(b)

(c)

Fig. 5 Experimentally obtained front cover by gas-assisted injection molding: (a) whole part, (b) region A, and (c) region B

다. 또한 현물 조립 시 CRT와 Front Case의 간극 (Gap) 문제가 발생하지 않았던 것으로 미루어 볼 때 가스사출성형을 통하여 제품의 평탄도를 향상시킬 수 있었다고 판단된다.

본 제품의 경우 가스의 주입이나 평탄도의 측면에서는 문제가 발생하지 않았지만 Fig. 6의 좌측에 점선으로 나타낸 A와 B에서 예상보다 짙은 웰드라인이 형성되어 외관품질 저하의 문제가 발생하였다. 컴퓨터 모니터의 경우 도장(Painting)을 하지 않기 때문에 금형 부식(Etching) 후에도 웰드라인이 잔류하면 외관 불량 판정을 받게 된다. A의 경우 CAE 해석에서 예측된 바 있었으나 가스 사출 시 지연시간(Delay Time) 때문에 수지의 유동선단이 냉각되어 일반 사출에 비해 짙은 웰드라인이 발생하였다. 또한 일반 사출과는 달리

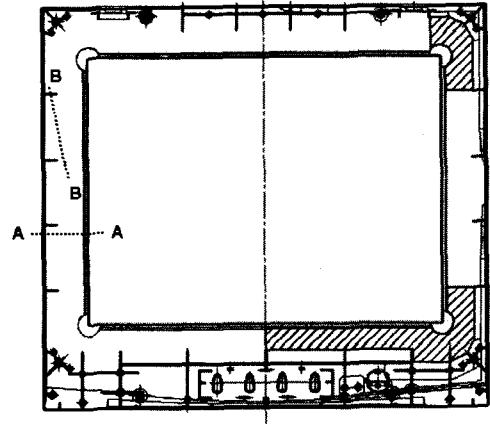


Fig. 6 The positions of weld lines (A, B) and regions of increased thickness (hatched areas)

수지의 충전이 가스채널을 중심으로 양쪽 외곽 방향으로 진행되었기 때문에 제품의 내측으로도 가스벤트를 설치해야 했는데, 공기를 외부로 배출해 내기 위한 별도의 구멍을 가공해야 했다. B의 경우 CAE 해석에서는 예측되지 않았던 웰드라인인데, 가스채널과 기본두께면에서의 유동 속도차에 의해 발생된 것으로 판단된다. B의 경우 형성 범위가 넓고, A와는 달리 가스벤트로 약화시킬 수도 없기 때문에 외관품질 측면에서 큰 문제가 야기되었다. 가스채널과 기본두께면의 유속 차이를 감소시키기 위해서는 가스채널의 크기를 감소시켜야 하는데, 용접에 따른 금형면의 균열 및 변형 때문에 가스채널의 크기를 감소시키는 것은 불가능하다고 판단되었다. 따라서 Fig. 6의 우측에 나타낸 바와 같이 빗금 부분의 두께를 2.7mm에서 3.0mm로 증가시켜 일반 두께 부분에서의 수지 유동을 향상시켰는데, 웰드라인의 길이는 감소하였으나 완전히 없앨 수는 없었다. 결국 금형의 온도를 80°C로 상승시켜 웰드라인을 거의 눈에 띄지않게 만들 수 있었으나 사이클타임(Cycle Time)이 30초에서 35초로 증가하여 양산성이 저하되었으며 수지 소요량이 증가하였다.

본 제품의 경우 수지의 미성형 상태(98% 충전)에서 가스를 주입하는 숏쇼트(Short Shot) 방식을 채용함으로써 유동선단의 온도저하에 따른 웰드

라인 심화의 문제가 발생하였으며, 너무 큰 가스 채널로 인해 예상치 못한 부분에서 웰드라인이 발생하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 수지의 완전 충전 후 가스를 주입하는 방식(Full Shot 방식)이 사용되어야 하며, 가스채널의 크기 도 대폭 감소시켜야 한다. 만일 가스사출성형의 목적이 강도 보강이라면 가스채널의 크기를 증가시킬 필요가 있으나 본 제품에서와 같이 변형 최소화 및 수축 방지의 목적이라면 작은 가스채널을 필요 부위에 설치함으로써 원하는 목적을 충분히 달성할 수 있다. 따라서 본 제품의 경우 가스채널의 반지름을 2.5mm 이하로 감소시키고, 수지를 완전 충전한 후 가스를 주입하였다면 큰 문제없이 우수한 제품을 얻을 수 있었으리라 생각된다.

4. 결론

본 제품에 대한 가스사출성형의 적용 목적은 변형 최소화를 통한 평탄도의 유지와 리브 및 보스에서의 수축 방지이다. 이러한 목적을 달성하기 위해 두 가지의 설계안을 구상하였으며 CAE 해석을 통해 4열의 가스채널안(Case 2)을 최종적으로 채택하여 금형을 제작하였다. CAE 해석에서 사용된 사출조건을 초기값으로 하여 가스압력 및 지연시간을 최적화하였으며, 설치된 가스채널에 대해 대체로 양호한 가스주입경향을 얻어낼 수 있었다. 그러나 가스주입 전의 지연시간 동안 수지유동이 지연됨으로써 웰드라인이 심화되었으며, 가스채널과 기본뚜껑면 간의 수지 유동속도 차로 인해 예측하지 못했던 부위에서 웰드라인이 발생하였다. 유동속도차로 인한 웰드라인 발생의 주원인은 가스채널 크기의 과다인데, 가스채널의 크기를 감소시키기 위해서는 용접 작업에 따른 시간 및 비용의 소모가 크게 되고 금형의 내구성도 저하된다. 따라서 본 제품에 대해서는 기본면의 두께 증가 및 금형 온도의 상승을 통하여 웰드라인을 약화시킬 수 있었으나, 수지 소요량이 증가하였으며 사이클 타임이 증가하여 생산성이 저하되었다.

본 논문에서는 17“ 평면 모니터 front cover의

가스사출성형을 위한 설계 과정을 정리하였으며, 발생된 문제점들에 대한 고찰을 수행하였다. 가스사출은 일반 사출에 비해 기술 적용의 경험이 적으며, 몇몇 제품군을 제외하면 표준화된 설계 지침이 확립되어 있지 않은 상태이다. 따라서 새로운 유형의 제품에 가스사출을 적용할 경우 일반 사출에 비해 많은 시행착오가 요구되며 당초 목적하였던 효과를 얻지 못할 수도 있다. 그러나 각종 실패 사례에 대한 고찰 및 대응책의 고안을 통하여 가스사출성형의 채용은 계속 증가할 것으로 보이며, 본 연구와 같은 적용 결과의 공유를 통하여 체계적인 설계 지침의 확립이 가능할 것으로 기대된다.

후기

본 연구의 수행에 아낌없는 도움과 조언을 주신 MOLDFLOW Korea에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- (1) Chen S. C., Hsu K. F. and Hsu K. S., 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.
- (2) Chen S. C., Cheng N. T. and Hsu K. S., 1996, "Simulation of Gas Penetration in Thin Plates Designed with a Semicircular Gas Channel During Gas-Assisted Injection Molding," *Int. J. Mech. Sci.*, Vol. 38, pp. 335-348.
- (3) W. R. Jong, J. S. Huang and Y. S. Chang, "Experimental Studies of Design Guidelines for Gas-Assisted Injection Molding Process," *ANTEC '96*, pp. 668~673.
- (4) 서영수, 2000, "최신 가스사출 기술," *프레스 기술*, 제 13권 2호, pp. 129~153.
- (5) 김동학, 2001, "사출성형의 최신 기술 - 저압 및 가스사출성형을 중심으로," *프레스 기술*, 제 14권 5호, pp. 19~38.