

박스형태 제품의 가스사출성형

조재성*

(1999년 1월 11일 접수)

Gas-Assisted Injection Molding for Box Shape Molded Parts

Chae-Sung Cho

Abstract

This study focuses on part quality and cycle times under gas-assisted injection molding(GIM) of box shape molded parts. The position of the gas channel was established near to parting line at the end of last locations to fill. Applied hot runner and valve gates, the gas was introduced directly into the mold cavity via gas pin. As GIM was applied, the conclusion reached as follows. i) The quality of appearance was improved by reducing sink marks and scratches of texture. ii) The reliability was improved by preventing warpages and reinforcing rigidity through optimum gas channel layout. iii) It is enable to use small size of injection molding machine step by step as GIM was accomplished low pressure and reduced clamp forces against CIM. iv) The productivity were improved by reducing cycle times.

Key Words : Cycle Times, Gas-Assisted Injection Molding, Conventional Injection Molding, Warpage, Gas Channel, Gas Fingering

1. 서론

최근의 사출제품이 점점 복잡화, 대형화 되면서 그에 수반되는 뒤틀림, 수축등의 품질 문제와 대형 사출 성형기가 요구에 따른 투자비 상승 및 고압성형에 의한 생산성 저하 등이 문제점으로 대두 되었다.

이러한 문제의 해결방법의 하나로 개발하여 실용화하고 있는 가스사출성형법(Gas-assisted Injection Molding: GIM)의 중요성이 점차 강조되고 있다.

가스사출성형법은 플라스틱 성형 공정중에 가스 N_2 매체를 성형품에 주입하는 새로운 기술로 일반 사출 성형법(Conventional Injection Molding: CIM)에서 해결하지

못했던 잔류응력(Residual stress)에 의한 변형(Warpage) 및 수축(Sink mark)해소에 큰 효과를 발휘하고, 특히 사출성형에서 문제점으로 인해 별도로 제작하여 조립하던 부품들의 일체화를 가능하게 하여 원가절감 향상에도 기여하고 있다.⁽¹⁻²⁾

그러나 일반 사출성형과는 달리 가스 사출성형은 수지와 가스의 이중재료가 온도와 압력변화를 겪는 동일 캐비티 내에서 유동하기 때문에 그 과정을 예측 하기란 상당히 어렵다.⁽³⁾

지금까지 가스사출성형에 관해서 크게 재료선정(Material selection), 제품설계(Part design), 가스채널설계(Gas channel design), 금형설계(Mold design),

* 대우전자 TV 연구소

공정조건(Processing condition)등에 대한 연구가 이루어지고 있다.¹⁴⁾

본 연구에서는 고압성형으로 인한 변형 및 부식(Texture) 긁힘, 형합 리브(Rib) 및 보스(Boss)부 수축발생 등의 품질 및 사이클 타임(Cycle times)연장으로 인한 생산성 저하등의 문제 해결을 위해 대표적인 박스형태의 제품인 TV 하우징(Housing)에 대해 가스사출성형을 적용하여 해석 및 실험을 통해 고찰하였다.

2. 이론전개

2.1 가스사출성형^{15~16)}

2.1.1 성형공정

Fig.1은 일반사출성형과 가스사출성형의 성형공정을, Fig.2는 일반 및 가스사출공정에서의 일반적인 캐비티 압력이력을 상호 비교하여 나타낸 것이다.

이 두가지 성형 프로세스의 큰 차이점은 보압공정에 있다.

일반사출성형법의 경우에는 냉각에 동반되는 체적수축의 보상을 보압에 의한 수지로 보충하지만, 가스사출성형법은 저압의 가압가스인 질소로 보충한다.

금형 캐비티내에 수지가 주입되는 양에 따라 크게 완전충진공정(Full shot process)와 부분충진공정(Short shot process)으로 구분하여 사용하고 있다.

부분충진공정은 주로 핸들이나 파이프같이 보통의 사출성형법으로 하기 곤란한 두께가 두꺼운 후육 성형품에 적용되며, 완전충진공정은 박스나 판형태의 보통의 성형가공으로도 가공되는 박육성형품에 사용된다.

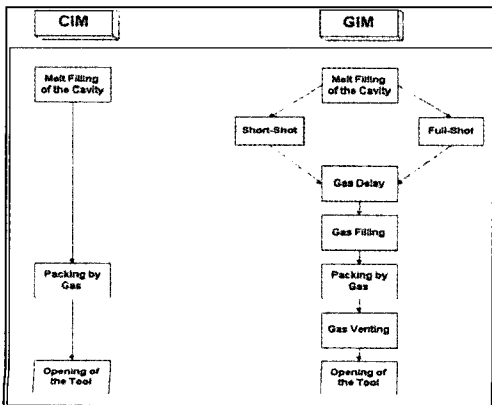


Fig. 1 Diagram of injection process in CIM and GIM

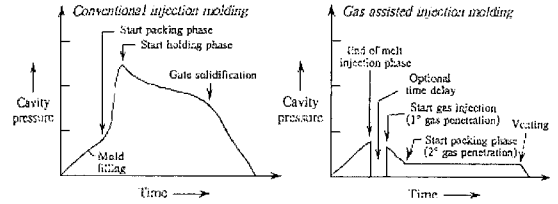


Fig. 2 Typical cavity pressure profile for the CIM and GIM

또한 가스성형법은 성형품내에 가스압을 빼어내는 공정이 필요하다.

특히, 가스사출에서는 가소화공정 시작 시점이 앞당겨지고, 냉각공정이 줄어들어 사이클 타임이 단축된다.

가소화가 일반사출에서는 수지충진과 수지보압단계 이후에서 시작되나, 가스사출에서는 수지충진단계 이후에서 가능하다

일반사출의 경우 수지충진후 수지 보압단계를 거쳐 수지유동에 의한 냉각이 이루어지는 반면, 가스사출에서는 수지 충진후 Shut-off valve가 작동 가스유동에 의한 냉각이 이루어진다.

2.1.2 가스사출의 문제점

가스사출 성형상 주요 문제점으로 미성형(Short shot), 가스터짐(Gas blow-out), Gas fingering 및 색차(Color difference)등을 들 수 있다. 여기서는 Gas fingering과 색차에 대해 살펴 보기로 한다.

1) Gas fingering

가스사출에서 외관 및 신뢰성 문제에서 가장 큰 불량요소로 Gas fingering을 들 수 있다. 가스채널이 아닌 제품의 얇은 부위로 가스가 침투하게 되면 강성이 저하되는 문제가 발생한다.

이를 해결 하기 위해서는 가스공정원리를 이용한 가스채널설계 및 공정변수 조절이 필요하다.

① 가스공정원리를 이용한 설계

가스는 항상 유동저항이 가장 작은 경로를 따라서 이동하므로 가스채널설계(Gas channel layout)이 가능한 제품형상과 아울러 유동저항을 고려한 게이트 위치선정, 가스채널설계, 가스 주입 위치 및 공간확보가 고려된 설계가 이루어져야 한다.

② 공정변수조절

일반적으로 형상이 복잡한 대형 TV 하우징등에서는 완전충진공정을 사용한다. 즉, 수지를 금형내에 100%

Table 1 The process control methods for problems of GIM

No	Problem	Solution						
		Mold temp.	Melt temp.	Inject. time	Resin vol.	Delay time	Gas pres.	Gas time
1	Gas fingering	Down	Down	Long	Up	Long	Down	Down
2	Blow-out	Down	Down	Short	Up	Long	Down	Down
3	Stress mark	Up	Up	-	Up	Long	Down	Down
4	Sink mark	Down	Down	Long	Down	Short	Up	Up
5	Silver streak	Up	Down	Long	-	-	-	-
6	Color difference	Down	Down	Long	-	Short	Down	Down

사출하고 수지유입차단장치(Shut off valve)작동에 의해 가스주입 지연시간(Gas delay time)공정후, 가스를 주입하여 가스로 균일한 보압을 실현하는 공정을 따른다.

흔히 가스성형시에 단지 가스만을 중요하게 생각하고 고분자 수지에 대해서는 소홀 하게 되나, 수지가 흘러 들어온 과정(Melt history)은 차후에 가스유동에 지대한 영향을 미치게 된다.

2) 색차(Color difference)

일반적으로 제품두께에 비해 채널크기가 상대적으로 크게 되면 제품표면에 색차가 발생한다.

따라서 이러한 가스사출 불량을 해결하기 위해서는 상기 Table 1과 같이 공정변수조절이 요구된다.

특히, 가스사출성형에서 양질의 품질을 확보하기 위해서는 최적의 중량편차설정에 따른 중량관리가 요구된다.

2.2 해석수법 및 절차⁽⁵⁾

Moldflow社의 MF/FLOW와 MF/GAS를 사용하였다. Pro Engineer에서 3D 모델링 한 데이터를 MF/VIEW에서 Patran format으로 Interface하여 Modify 한 후 공정조건을 적용하여 해석을 수행하였다.

해석절차는 수지 유동 및 보압 해석을 먼저 수행하여 수지 유동장의 결과를 먼저 확인한 후, 요구하는 위치에 가스채널을 설치하여 유동 및 보압의 가스 성형 해석을 수행하였다.

Table 2 Physical properties of testing material

NO	Item	ASTM	Unit	Result	Remarks
1	Tensile strength	D638	kg/cm ²	250	
2	Elongation	D638	%	50	
3	Flexural Strength	D790	kg/cm ²	390	
4	Flexural modulus	D790	kg/cm ²	20,000	
5	Impact strength	D256	kg cm/cm	9.5	23℃
6	Softening point	D1525	℃	93	5Kg(Vicat)
7	HDT	D648	℃	78	18.6Kg
8	Melt index flow	D1238	g/10min	8	200℃/5Kg

Table 3 Input data of process condition

	Item	Setting value	
Filling condition	Mold temperature(℃)	40	
	Melt temperature(℃)	230	
	Injection time(sec)	4	
	Delay time(sec)	3.7	
Gas condition	Step	Pressure(MPa)	time(sec)
	1	15	4
	2	12	4
	3	10	4
	4	7	4
	5	4	4
6	0	0	

가스제어는 압력 조절방식(Pressure control process)을 채택 하였으며, 수지는 제일모직의 Starex VH1800 HIPS(High Impact Polystyren)을 사용하였으며, 주요 물성은 상기의 Table 2와 같다.

해석을 위한 성형 공정조건의 입력값은 상기의 Table 3과 같이 설정하였다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치⁽⁷⁾

본 실험에서 사용한 실험장치는 다음과 같다.

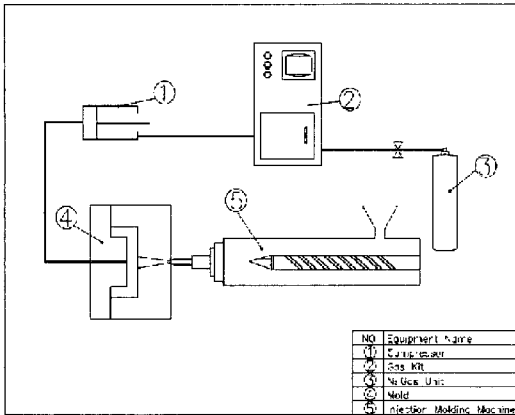


Fig. 3 Block diagram of experiment apparatus

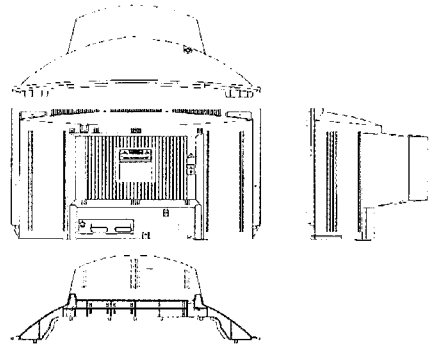


Fig. 4 Cavity geometry

3.1.1 가스킷(Gas Kit)

미국 GAIN사의 GT-SR-V-A 모델을 사용하였으며, 질소승압기(Booster)와 제어기(Control box)로 구성된다.

질소승압기는 질소가스의 압력을 승압시키는 장치이며, 공기압력에 의해 구동된다. 형식은 HASKEL사의 AGT-62/152C 이며, 최대압력은 748.3kg/cm³이다.

제어기는 사출조건(압력,시간)을 조절하는 장치로서 압력은 6.8kg/cm³ 단위로 시간은 0.1초 단위로 제어되며 6 단계의 연속제어가 가능하다.

3.1.2 질소공급장치(N2 gas unit)

질소가스를 공급하는 장치로서 시중에서 판매하는 질소를 사용하였다. 용량은 6루베, 순도 99%, 초기 토출압력은 102.04kg/cm³이다.

3.1.3 사출성형기

일본 도시바사의 1250톤으로써 유압에 의한 직압식 수평 성형기이며, 모델은 IS-1250이다.

3.1.4 금형

Fig. 4와 Fig. 5는 각각 제품 형상 및 게이트 위치를 나타낸 것이다.

제품크기는 726 mm×533 mm×357 mm (W×H×D)로 제품의 기본두께는 3.0 mm이며, 핫-런너(Hot runner), 4점 밸브게이트(Valve gates) 방식을 채택 하였다.

핫-런너를 사용할 경우 가스가 사출기로 역류함을 방지할 수 있고 Shut-off이 가능하다.

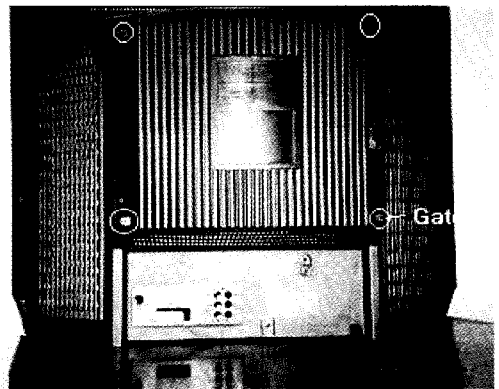


Fig. 5 Gate positions

3.1.5 가스 주입과 조절방식

가스 주입은 셔트-오프 밸브(Shut-off valve)를 사용하여 노즐을 통한 수지유동 차단후 가스가 주입되는 노즐방식(Nozzle type)이 아닌, 노즐을 통한 수지유동후 부수적인 가스핀을 이용하여 성형품 표면에 직접가스를 주입하는 핀방식(Pin type)을 채택하였다.

성형시 압력은 높은영역에서 낮은영역으로 진행된다. 일반적으로 스프루 선단에서 최대압이 걸리고 최종 충전부에서 최소압이 걸린다.

따라서 성형기의 노즐에서 주입하는 방식에서는 높은 가스압력을 요구하는 반면, 유동저항이 낮은 게이트에서 다소 떨어진 금형내에 가스를 주입하는 방법은 높은 가스압력을 요구하지 않는다.

Fig. 6에서 보는 바와 같이 캐비티의 좌,우측의 상,하 4개 지점(화살표 표시)으로 가스를 주입하였다. 주입경로는 1개의 가스밸브를 이용하여 코어측 금형외곽에 고정된 가스 집중블록으로 주입 시킨후 상,하 각 2개 라인으로 분

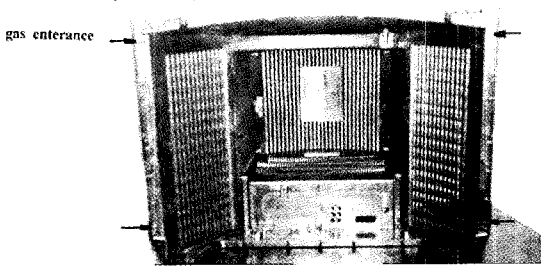


Fig. 6 Gas inlet positions

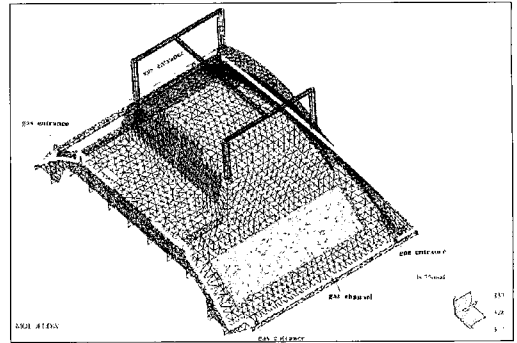


Fig. 8 Gas channel layout and gas inlet positions

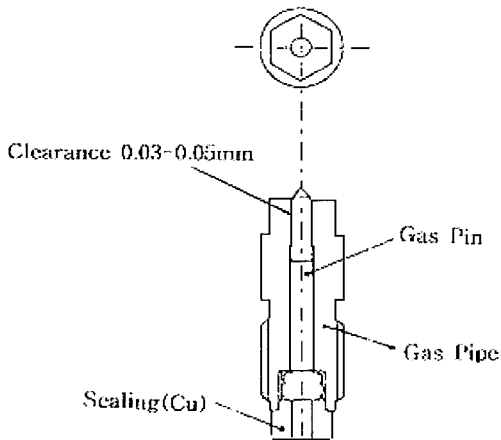


Fig. 7 Configuration of air inlet

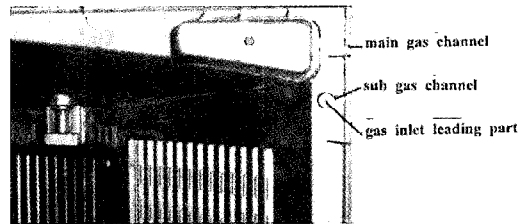


Fig. 9 Detailed pictures of gas channel layout and gas inlet positions

배하여 가스를 주입하였다.

Fig. 7은 가스 노즐핀의 형상을 나타낸 것으로, 성형부 하측에 돌기형상으로 가스핀을 감싸는 유도부(Gas inlet leading parts), 가스핀(Gas pin), 가스파이프(Gas pipe)로 구성되어 있다.

가스핀이 사면면삭으로 가공되어 있어 가스가 주입되는 통로로 이용되며, 가스핀의 머리 주위에는 주입된 가스가 누설되지 않도록 O-Ring이 설치하였다. 가스핀의 틈새는 0.05 mm를 유지하였다.⁽³⁾

가스조절은 GAIN 방식에 의한 가스 압력 조절 방식을 채택 하였다. 이때 가스조절은 6단계의 압력 및 시간을 설정하여 사용할 수 있다.

3.1.6 가스채널 설정

가스사출성형의 성공적인 적용을 위해서는 수지 사출량 및 위치, 수지의 특성, 수지/가스 전이시간, 가스 주입위치, 가스압력, 금형온도등을 고려한 가스채널설계가 필수적이다.

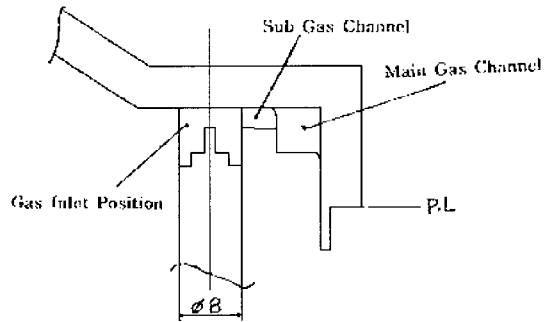


Fig. 10 Sectional diagrams of gas channel layout and gas inlet positions

금형의 구석 구석 까지 가스가 골고루 미치게 하려면 성형품에 부분적인 후육(厚肉)부를 만들어 가스가 흘러가는 통로인 가스채널을 만들어야 한다.

가스성형의 가장 큰 문제인 수축 및 변형, Fingering 및 색차 문제해결을 위해 Fig. 8(노란색 지정영역)과 Fig.9에서 보는 바와같이 제품의 파팅부에 형성된 단의 코너부에 가스채널을 설정하였다.

Fig.10은 가스주입구 및 가스채널부의 형상을 의 단면도를 표시한 것이다.

주(Main) 가스채널크기는 7.0 mm×7.0 mm, 보조(Sub) 가스채널크기는 7.0×4.5 mm, 가스주입 유도부(Gas inlet leading parts)의 외곽크기 Φ 는 8.0 mm로 설정 하였다.

이상과 같이, 압력이 상대적으로 큰 게이트 위치에서 다소 떨어진 파팅부의 코너에 가스 채널 설치함으로써 가스 유동 특성상 제품의 얇은 부위로의 가스침투가 방지될 뿐만 아니라, 평판이 아닌 코너로 가스채널을 설정으로 인해 강성이 보강되고 색차의 발생도 완화된다.

결론적으로, TV 하우징(Back cover)와 같은 박스형태의 제품에 가스성형을 효과적으로 적용하기 위해서는 파팅부의 코너단이 요구되며, 다음과 같은 공간이 코너단에 확보 되어야 하는 디자인 제약이 요구된다.

- ① 가스채널설정 공간
- ② 노즐주입방식이 아닌 핀주입방식에 따른 가스주입유도부 공간
- ③ 결국 파팅부의 코너단은 ①+②의 공간이 요구된다.

3.2 실험방법

금형 제작전 예상 문제점 및 불량률 최소화 하기 위해서 사출성형해석을 실행하여 유동패턴에 따른 게이트위치, 가스채널 위치 및 크기, 가스주입 위치등을 설정 반영하여 금형을 제작 실험을 수행하였다.

본 실험에서는 먼저 수치충진패턴과 가스유동패턴을 분석한후, 공정변수를 조절하면서 실험을 수행하여 해석결과와 비교 분석하였다.

또한, 일반사출에서의 주요 문제점인 변형 및 부식균형, 수축발생등의 유무와 사이클 타임 및 생산량을 분석하였다.

4. 해석 및 실험결과

4.1 유동패턴(Flow pattern)

Fig.11은 4점 게이트를 통해 흘러들어간 수지의 유동이력(Melt history)를 나타낸 것으로 영향을 주는 인자로는 수치, 사출위치, 성형품의 기하학적 형태, 수지의 점도 및 유동선단의 위치등이다.

게이트를 통해 흘러 들어간 수지는 유동저항(압력)이 낮은 곳으로 흘러 파팅부 영역에서 최종 충진이 이루어 진다.

최종충진부인 파팅부에 가스채널이 설정되어 있어 일반 사출과 가스사출에서의 유동패턴은 거의 일치한다.

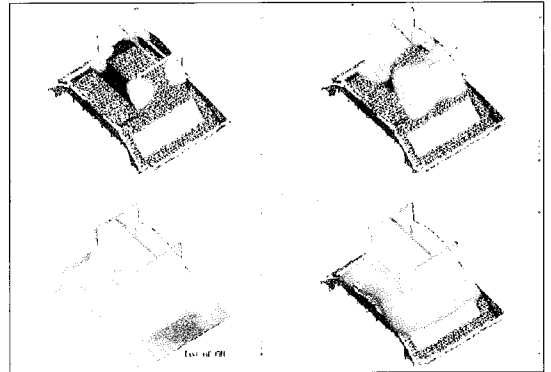


Fig. 11 Flow pattern for melt history in GIM

4.2 최대압력(Maximum injection pressure)

Fig.12는 좌측에 일반사출, 우측에 가스사출 성형을 적용할 때 스프루(Sprue) 선단에서의 요구되는 압력 이력 분포를 나타낸 것인데, 일반적으로 압력은 수치가 흘러 들어가는 스프루 선단에서 최대값이 요구된다.

해석결과를 정리하면, Fig.13에서 보듯이 일반사출에서는 67.87MPa, 가스사출에서는 56.15 MPa의 압력이 요

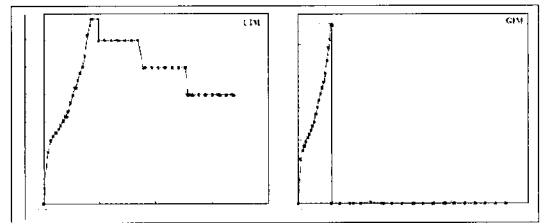


Fig. 12 Injection pressure history in sprue for CIM and GIM

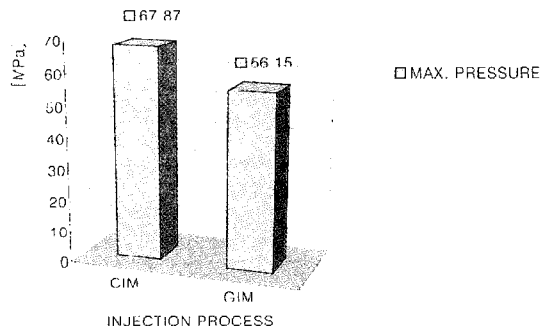


Fig. 13 Max. pressure in sprue for CIM and GIM process

구되어, 가스사출을 적용할때 최대압력이 17.27% 감소함을 보였다.

4.3 요구 형체력(Clamp force)

Fig.14는 좌측에 일반사출, 우측에 가스사출 성형에 요구되는 형체력의 이력을 나타낸 것이다.

해석결과를 정리하면, Fig.15에서 보듯이 일반사출에서는 1755ton, 가스사출에서는 1416ton의 형체력이 요구되어, 가스사출을 적용할때 19.32%가 감소함을 보였다.

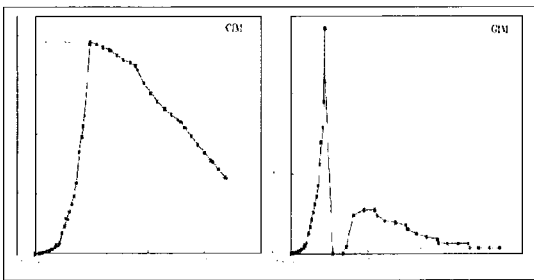


Fig. 14 Required clamp forces history for CIM and GIM process

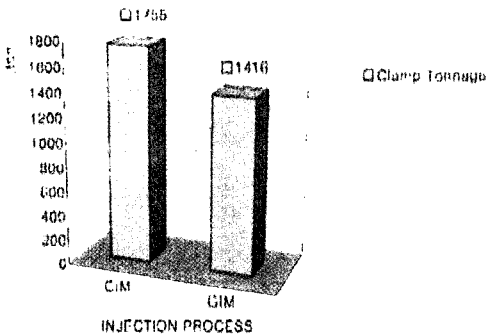


Fig. 15 Required clamp forces for CIM and GIM process

4.4 수축(Sink mark), 변형(Warpage)

Fig.13과 Fig.15에서 보는 것처럼 일반사출에 비해 최대압력 및 형체력이 저하되었다.

따라서 일반사출에서 게이트 고화 이후에는 리브나 보스 부위에 효과적인 보압전달이 미흡 하지만 가스성형의 경우에는 성형품 이형전까지 구석 구석에 균일한 가스보압이 전달 되므로 두께나 냉각속도 차이에 기인한 내부 잔

류응력이 감소하여 비틀림이나 휨 등의 변형 및 수축을 완화 및 제거된다.

실제 사출결과 수축 제거로 인한 외관품질이 향상되었고 가스채널로 인해 강성이 크게 보강되어 변형방지 및 조립성 향상 그리고 낙하, 진동등의 신뢰성을 향상 시키는 결과를 가져왔다.

4.5 가스유동현황

가스는 항상 유동저항이 가장 작은 경로를 따라서 이동한다. 충전이 시작되는 게이트에서는 유동저항(압력)이 높고, 충전이 완료되는 파팅부에서 유동저항(압력)이 상대적으로 낮다.

해석결과 Fig.16에서 보듯이 상단중앙 및 좌우중앙에서 가스 미충진(노란색 영역)이 발생하였다. 이 결과를 토대로 실제 금형에서는 가스 미충진 및 가스충돌을 방지하기 위해, 미충진 부분은 가스채널을 가공하지 않았다.

또한, 상측 및 하측에 Gas fingering이 발생되었다. 그러나 실제 사출결과 가스 주입이 유동 저항이 상대적으로 낮은 파팅부 단의 가스채널로 주입되므로 가스유동의 특성상 Gas fingering 현상은 크게 완화되었으며, 계량, 가스압력, 가스지연시간등의 공정변수 조절을 통해 Gas fingering 현상을 줄이거나 없앨 수 있었다.

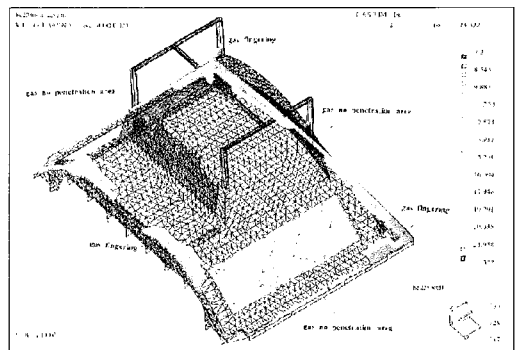


Fig. 16 Results of gas flow for GIM

4.6 사이클 타임 및 생산량

일반 및 가스사출시 성형공정 특성으로 인해 사이클 타임의 차이가 발생한다. 크게 영향을 미치는 주요인자로 가소화와 냉각공정을 들 수 있다. 가스사출에서는 가소화 공정시작 시점이 앞당겨지고, 냉각공정이 줄어들어 사이클

5. 결론

고압성형으로 인한 품질 및 생산성이 저하의 문제가 발생하는 문제해결을 위해, 박스형태의 대표적인 제품인 대형 TV 하우징에 대해 가스사출성형을 적용하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 파팅부에 가스 주입구 및 가스 채널 형성이 가능한 단 구조를 갖는 디자인이 요구된다.

(2) 수축 및 부식균형이 방지되어 외관품질이 향상되었다.

(3) 변형방지 및 가스채널 설정으로 인한 강성보강으로 신뢰성이 증대되었다.

(4) 일반사출에 비해 저압화 및 요구 형체력 저하로 인해 단계적으로 용량이 낮은 사출기 적용이 가능하다.

(5) 사이클타임의 단축으로 인해 생산량의 증가를 가져옴으로써 생산성이 향상되었다.

참고문헌

- (1) Ken C. Rusch, 1989, *Plastics Engineering*, Vol. 45, No. 7, pp. 35~38.
- (2) M. Fallon, *Plastic Technology*, 1989, pp.70~75.
- (3) H. Potente, E. Moritzer, and C. Obermann, 1996, *J. of Injection Molding Technology*, Vol. 36, No. 16, pp. 2163~2171.
- (4) Stewart Barton and Leray T. Dandy, 1997, *J. of Injection Molding Technology*, Vol. 1, No. 2, pp. 104~111.
- (5) MF/GAS Training Manual, 1996, Moldflow Korea.
- (6) Suresh Shah, 1997, *J. of Injection Molding Technology*, Vol. 1, No. 2, pp. 96~103.
- (7) Suresh Shah and David Hlavaty 1991, *Plastics Engineering*, pp. 21~26.
- (8) Oliver M. Becker, Kurt Koelling, and Talyan Altyan, 1997, *J. of Injection Molding Technology*, Vol. 1, No. 3, pp. 158~164.

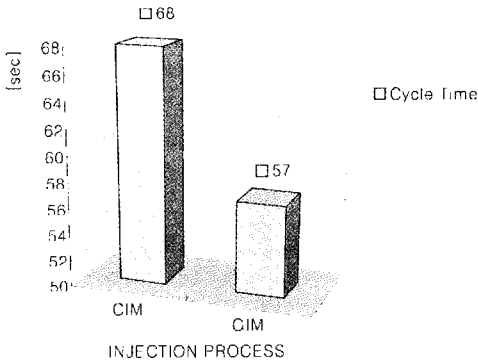


Fig. 17 Cycle times for CIM and GIM

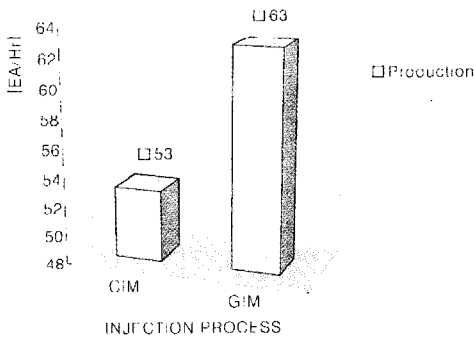


Fig. 18 Productions for CIM and GIM

타임이 단축된다.

실제로 본 연구모델과 유사한 25인치 TV 하우징의 일반사출성형 결과를 Fig.17과 Fig.18에서 사이클 타임과 생산량을 각각 비교해 보면 다음과 같다.

사이클 타임은 일반사출에서는 68초, 가스사출에서는 57초로 16.2% 단축을 보였고, 시간당 생산량은 일반사출에서는 53개, 가스사출에서는 63개로 18.9% 향상을 가져왔다.