

IML 필름 성형공법 제품의 구조해석을 통한 품질개선

차병서*, 송철기**, 조우현***, 양원옥***, 이호성***,#

*풍원공업주식회사, **경상국립대학교 기계공학부, 공학연구원,

***경상국립대학교 기계융합공학과

Quality Improvement of IML Film Injection Molding Method through Structural Analysis

Byung Su Cha*, Chul Ki Song**, Woo Hyun Cho***, Won Ock Yang***, Ho Seong Lee***,#

*Poong Won Co., **School of Mechanical Engineering, ERI, Gyeongsang National University,

***Department of Mechanical Convergence Engineering, Gyeongsang National University

(Received 02 March 2022; received in revised form 28 March 2022; accepted 03 April 2022)

ABSTRACT

The customer demand for diverse colors in home appliances has increased. However, this has led to issues for manufacturers, such as ensuring cost effectiveness and high-level quality control. To resolve these issues, production engineers utilize computer-aided engineering (CAE) tools for injection-molding processes and assess the suitability of process parameters for products manufactured using the in-mold labeling method. CAE can solve various problems in manufacturing processes, thereby increasing production efficiency and decreasing manufacturing cost. In addition, it can be used analyze customer complaints related to surface defects, such as part differences and irregular spacing between parts, and ultimately reduce product returns. In this study, CAE was used to solve quality problems and implement the most economical manufacturing process.

Keywords : In-mold Labeling Film Injection(IML 필름 사출), Injection Molding(사출성형), Computer-aided Engineering(컴퓨터 이용 공학)

1. 서 론

IML은 In-Mold Labeling의 약자로 미리 만들어진 필름을 금형내부에 부착한 후 열가소성 및 열경화성 고분자 플라스틱 수지를 용융상태로 사출하여 제품을 생산하는 방식이다. 고객의 제품색상 다양성의 요구는 더욱 높아지고, 다양성 확보를

위한 스프레이 공정기법과 IML 공정기법의 복잡도는 점점 더 높아지게 되었다. 생산업체는 고객 색상에 대한 다양성의 요구가 경제적인 면과 효율적인 면에서 문제점을 가지고 있다. 기업 연구/개발자는 상기 문제점을 개선하기 위해 사출성형 전산해석 프로그램 CAE(Computer Aided Engineering)를 이용하여 실제 사출 공정 전에 설정되는 공정변수들이 타당성을 판단할 수 있게 됨에 따라 실제 공정단계에 적용되는 제품에 발생할 수 있는 다양한 문제점을 사전에 개선하여 제품생

Corresponding Author : hoslee@gnu.ac.kr

Tel: +82-55-250-7301, Fax: +82-55-250-7399

산의 효율성을 높이고 있다. 특히 제품의 프리미엄 전략은 제품의 구조상에서 발생하는 틈새 및 고저 차 불량에 구조상 가장 중요하게 요구되는 품질이다.

IML 사출성형 방식은 필름이 삽입된 상태에서 용융된 고분자 플라스틱 수지가 사출되기 때문에 제품형상, 필름과 플라스틱 수지 사이의 물성차이, 공정조건 등의 다양한 영향들에 의해 최종 제품에 잔류응력 및 수축 현상과 같은 영향을 미치게 된다^[1-3]. 최종 사출 제품에 영향을 미치는 여러 가지 원인을 보면 Jacques^[4]는 사출성형공정 시 평판의 불규칙한 냉각과정에 따른 평판의 변형을 연구하였고, Choi^[5] 등은 사출공정 시 사출온도와 재료의 사출속도에 따른 잔류응력 및 수축 현상을 연구하였다.

Lee^[6] 등은 이 밖에도 사출공정 시 결정하게 되는 사출시간, 냉각온도 등과 같은 다양한 공정조건들 역시 최종 제품에 영향을 미친다는 연구들이 발표되고 있다. 본 논문에서는 IML 사출성형을 통하여 실제로 생산되는 제품을 이용하여 IML 사출성형 전반의 사출 공정에서 발생하는 공정조건 최적화를 통해 고객의 실사용 조건에서 일어날 수 있는 주요 고객 불만인 틈새와 고저 차 불량을 사전에 문제를 해결하고자 한다.

본 논문에서는 가격경쟁력을 갖출 수 있도록 최적화하기 위하여 외관 품질을 만족하기 위한 최적 제품 두께를 선정하고, Flash의 사상 공정을 최소화하는 것과 고객 불량 요소인 틈새와 고저 차 관련 불량의 고객 SCR(Service Call Rate)“0”건 달성이 목표이다.

2. IML 사출성형 유동해석을 위한 수학적 모델링과 전산해석

본 논문에서는 사출성형해석 프로그램인 Moldflow에서 3D tetra mesh를 이용하여 해석하였다. 사출공정 해석의 장점은 유동해석을 통해 첫 번째 제품의 최소 두께를 결정할 수 있게 됨에 따라 제품 내부의 강도는 유지하면서 재료의 낭비를 막을 수 있다. 두 번째로 제품생산의 전체공정시

간을 단축함에 따라 같은 시간을 이용하여 제품의 생산성을 높일 수 있는 효율적인 생산을 가능하게 한다. 마지막으로 초기 사출공정에 사용되는 재료의 적합성을 판단하기 쉽고 불필요한 작업을 사출 공정 이전에 개선하여 전체적인 생산공정을 단순화 할 수 있다.

사출공정에 사용되는 고분자물질의 유동은 일반적으로 변형과 응력의 관계가 비선형을 취하고, 전단속도와 온도, 압력에 따라 점성이 변하는 비뉴턴성 유체로 알려져 있다. 사출공정에 사용되는 고분자 물질을 수치로 묘사하기 위해서는 일반적으로 3가지 방정식을 고려하여 표현한다. IML 사출공정을 수치로 해석하는데 사용되는 지배방정식은 크게 3가지로 나누어진다. 식 (1)은 질량보존식이며, 식 (2)는 운동량 보존식, 식 (3)은 에너지 보존식을 각각 나타내고 있다^[7].

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U) \quad (1)$$

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + U \cdot \nabla U \right) = -\nabla P + \eta \nabla^2 U + \rho g \quad (2)$$

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + U \cdot \nabla T \right) = k(\nabla^2 T) + \eta \dot{\gamma}^2 \quad (3)$$

본 논문에서는 사출공정 해석에 사용되는 점성계수에 관한 유동을 수치로 계산하기 위하여 수정된 WLF(Williams-Landel-Ferry) Cross 점성모델을 사용하였으며 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 + \left(\frac{\eta_0 \dot{\gamma}}{\tau^*} \right)^{(1-n)}} \quad (4)$$

식 (4)에서 η 은 점성계수 용융점도를 나타내며, η_0 은 전단력이 작용하지 않을 경우의 점성을 표현하고, 식 (5~7)를 통해서 계산할 수 있다. $\dot{\gamma}$ 은 전단률과 τ^* 은 전단 전이응력, n 은 점성모델 지수를 표현하고 있다. 식 (5~7)에서 T 는 온도(K), A_1 , A_2 , \dot{A}_2 , D_1 , D_2 , D_3 는 점도에 관련된 물성 상수이며, T^* 은 유리전이 온도를 나타낸다. IML 실험 필름 재질은 PET(Poly Ethylene Terephthalate)이고 resin의 재질은 ABS 수치이다.

Table 1 Cross-WLF model coefficient values of film and resin

Cross-WLF Model	Film (PET)	resin (ABS)
n	0.5269	0.4505
P (Pa)	7872.14	307
D_1 (Pa-s)	1.43899e+026	8.75e+009
D_2 (K)	380.15	417.15
D_3 (K/Pa)	0	0
A_1	69.964	15.381
A_1	51.6	51.6
Transition Temperature (°C)	226	113

$$\eta_0 = D_1 \exp \left[\frac{-A_1(T - T^*)}{A_2 + (T - T^*)} \right] \quad (5)$$

$$T^* = D_2 + D_3 P \quad (6)$$

$$A_2(P) = \tilde{A}_2 + D_3 P \quad (7)$$

두 재질 모두 열가소성 수지이므로 식 (4)와 식 (5)을 사용해서 유동에 관한 충전해석 사용 시 본문에서 사용한 모델의 계수값을 Table 1에서 보여주고 있다.

3. IML 사출성형 전산해석

3.1 전산해석 기법

IML 필름 사출성형 전산해석은 IML 필름 사출과 동일한 공정조건을 이용하여 Autodesk사의 사출성형 해석프로그램인 Moldflow를 이용해서 실시한다. Moldflow에서 사출해석한 데이터를 초깃값으로 설정한 후 실험과 동일한 조건으로 해석을 실시한다.

Fig. 1은 연구에 필요한 전반적인 시스템 구성도를 나타내고 있다. 사용 원재료는 LG 화학 열가소성 수지의 무정형(비결정성) 수지인 ABS XG569C (black tinted)를 선정했다. 금형은 성형 조건의 정밀제어가 요구되어 2단 금형의 1 cavity 3점 valve gate 구조의 금형을 제작했다. 그리고 사출성형기는 Moldflow의 CAE 해석을 통해 450ton의

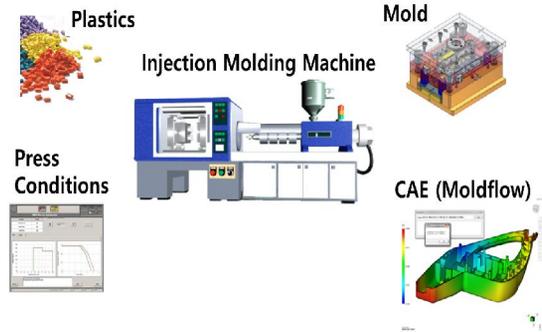


Fig. 1 Experimental system configuration

형체력이 요구되어 LS 엠트론의 유압 직압식 450ton 기종으로 연구를 진행한다.

부품개발 초기단계에서는 해석을 위한 mesh type, number, simplification을 결정하고, 원재료와 제품 디자인 규격이 결정되면 성형해석 연구의 진행순서는 첫 번째 충전해석을 실시한다. 두 번째 해석에서는 금형 설계가 시작되면 금형구조에 따라 발생하는 외관문제를 개선하기 위한 웰드라인, 에어트랩, 싱크마크, 플루마크등의 외관 성형성 및 치수적인 구조 개선을 위한 해석을 중심으로 실시한다. 최종해석은 실 사용설비에 제작된 금형을 시 사출하면서 대량생산 이전에 사이클 타임 개선 및 제품 실험을 만족하기 위한 구조 최적화 해석을 수행한다.

Fig. 2는 해석을 위한 본 연구에서 사용한 모델의 메시형상과 게이트 및 스프루 런너를 보여준다. 메시는 3D Tetra를 사용했고, 메시의 크기는 4.0mm이고, 실제 금형 제작도면과 일치하는 스프루, 런너, 게이트 모양을 형상하여 해석하였다. 총 사면체의 수는 1,284,522개이고 연결된 노드 수는 233,439개이다.

Table 2는 해석에 앞서 실험데이터를 분석한 결과를 보여준다. Fig. 3은 경계조건에 따른 해석조건 중 실험 원재료인 열가소성 수지인 비결정성 수지 ABS XG569C 물성 수치 정보이며, Fig. 3(a)는 온도와 비열과의 관계, Fig. 3(b)는 온도와 열전도율과의 관계, Fig. 3(c)는 온도와 비체적 PVT 선도를 나타내며, Fig. 3(d)는 전단률과 점도의 관계를 설명해주는 그래프를 보여준다.

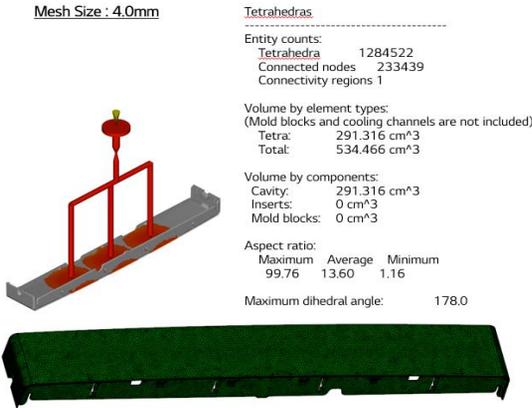


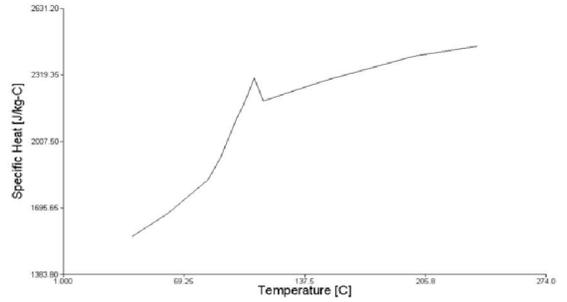
Fig. 2 Modeling information used for experiment

Table 2 Experimental data analysis

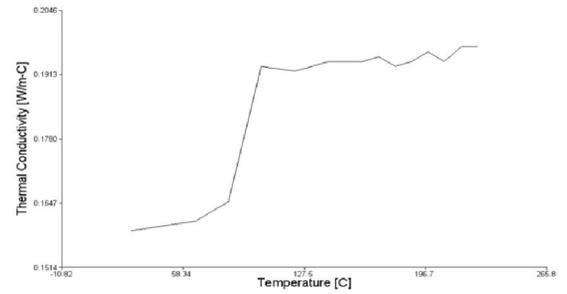
Division	Check Contents
Product Size (mm)	687.4 x 100.5
Raw Material Name (Grade)	ABS XG 569C
Raw Material Additives	Unfilled
Product Specifications	Built-in product/exterior/opaque/transparent/matte/glossy
Surface Treatment	IML Film
Gate Type	3 point valve gate
Gate Size	Φ3.0 mm
Weight	336 g

3.2 전산해석의 결과

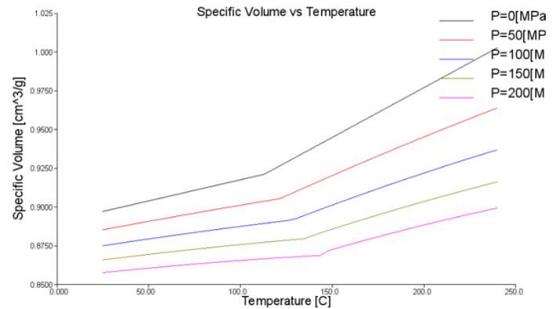
Fig 4(a)는 첫 번째 해석에서 핫런너 시스템을 결정하여 유동(충진+보압)해석을 통해 Fig 4(b)의 상단 평면①의 살 두께를 2.7mm로 결정했다. 두 번째 해석목표는 실제로 제작된 금형으로 제품 생산성과 제품 외관 불량에 대한 해석을 진행하였다. 주요 외관 불량 요소인 싱크마크(sink mark), 플로마크, 웰드라인을 성형해석을 확인한 결과 해석결과와 현물 수준이 서로 일치하고 있음을 확인하였다. 싱크마크의 경우에는 발생하지 않거나, 기준 SPEC을 만족하고, 웰드라인의 경우에는 전면에 2개소가 발생 되지만, 필름에 의해 가려지므로 문제가 없다.



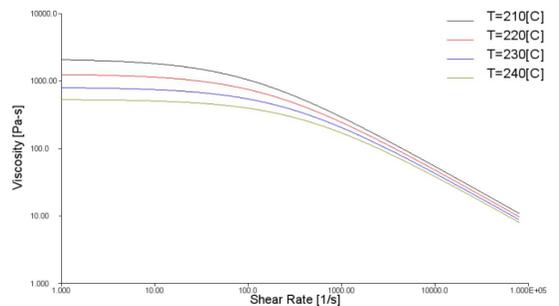
(a) Specific heat vs temperature



(b) Thermal conductivity vs temperature



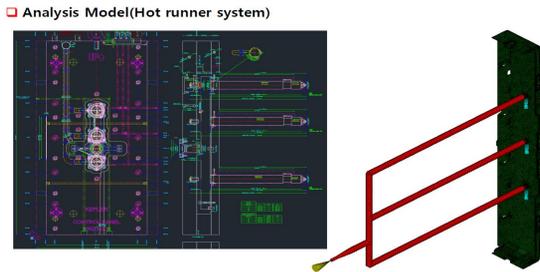
(c) Specific volume vs temperature



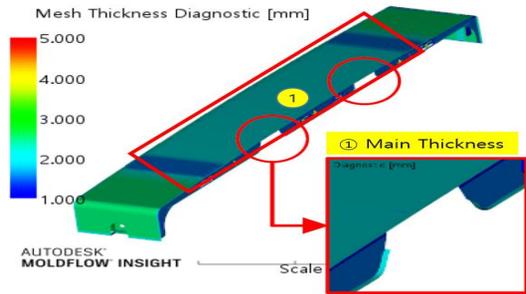
(d) Viscosity vs shear rate

Fig. 3 Analysis according to boundary conditions

세 번째 해석목표는 이번 연구의 가장 핵심 요소인 제품의 전장 치수를 관리하여 구조 형합 상대물 에서 발생하는 마감(finish)관련 틈새와 고저 차 불량을 제거하기 위한 제품 수축과 변형해석을 하는 것이다. 제품개발에서 가장 어려운 분야이기도 하면서 가장 많은 시간과 노력이 필요한 분야이다.

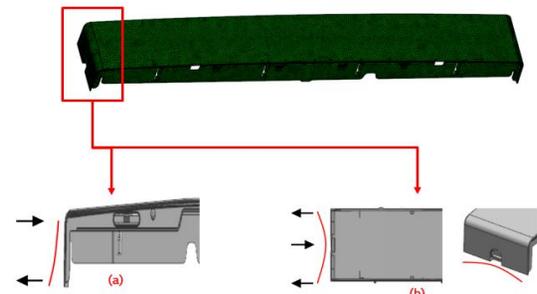


(a) Hot runner system



(b) Clarification of thickness specification

Fig. 4 CAE analysis: first trial



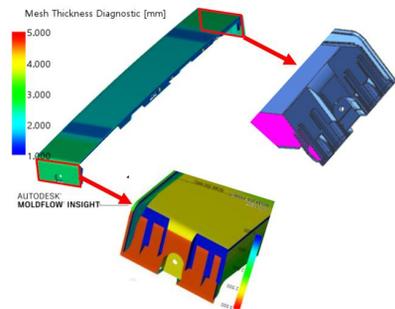
(a) Deformation in the outside of the left side of the product (b) Deformed to the inside of the center of the product

Fig. 5 Tendency of deformation

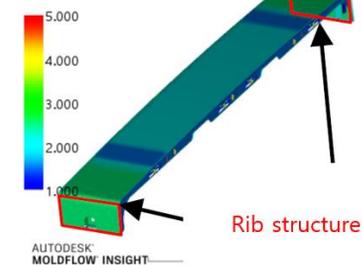
Fig. 5는 고저 차 불량에 주요한 원인 변형을 예측하기 위해 변형의 경향성을 분석했다. 변형의 방향은 그림 Fig. 5(a)와 같이 제품 전면의 좌측을 viewpoint로 지정할 때 제품 하단부의 외부 변형이 확인되었고, Fig. 5(b)는 동일지점을 제품 뒤집어서 바닥 면 기준으로 볼 때 중앙부의 제품 내부로의 변형이 확인되어 이를 방지하는 구조 설계가 추가 필요한 것으로 판단하였다.

Fig. 6(a)는 변형으로 인한 고저 차 개선을 위한 변형방지 필요한 위치를 표현했고 Fig. 6(b)는 리브의 형상과 숫자 치수적 요소 높이, 길이와 두께를 성형해석을 통해 최적화한 결과를 보여준다.

Table 4는 변형을 방지하기 위한 구조물의 형상을 결정한 후, 제품의 좌측과 우측의 살 두께가 싱크마크 불량과 뒤틀림 휨 변형에 어떤 두께가 최적인지를 확인하는 목적과 제품의 곡면부 hot spot 부위의 두께는 얼마가 최적인지를 확인하기 위해서 세 번째 해석에서 추가 해석을 진행했다. 해석 결과는 좌측과 우측 모서리면의 살 두께는



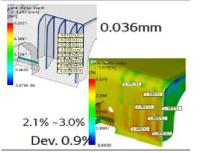
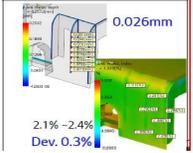
(a) Rib addition position



(b) Rib structure and number

Fig. 6 Optimization of rib side structures

Table 4 Shrink appearance optimization

	Thickness: 2.5 mm (standard)	Thickness: 2.0 mm (left/right corner)
Spot Check		
Analysis result		

우리의 일반적인 생각과 다른 2.0mm 두께에서 가장 최적임을 해석을 통해 확인하였다. 해석 결과와 현물 확인 결과에서도 일치한 유의미한 결과를 확인하였다.

제품의 냉각과정에서 발생하는 수축은 금형치수에 비해 플라스틱 제품의 치수가 감소하는 현상을 말한다. 냉각시스템모델링은 금형의 냉각 시스템 효율성을 해석하고 냉각 회로, 배플(baffle), 버플러(bubbler), 금형 인서트와 베이스를 모델링 할 수 있다. 금형 및 냉각 회로 설계를 최적화해 균일한 제품 냉각을 실현하여, 사이클 타임 최소화, 제품 변형 감소, 제조 비용 절감 등의 효과를 얻을 수 있다.FEM 방식으로 냉각 해석을 하였고 FEM 냉각 해석은 어렵지만, 오차가 적다는 장점이 있다.

Fig. 7은 핫 스팟부와 주변 지역의 시간 경과에 따른 온도 변화를 비교 분석 후 해석한 것이다. 이와 같은 분석결과를 통해 취약한 부위 두께를 개선하는 방법과 열전도율이 높은 기능성 금형 소재를 사용하여 요구 목표 냉각시간 이내에 주변 온도와 동일 수준으로 맞추는 개선을 통하여 싱크마크 수준을 개선하면서 품질을 향상하고, 제품의 변형을 최소화하면서 취출가능 온도를 낮추어 생산성을 높일 수 있다.

Fig. 8(a)는 좌, 우측의 핫 스팟 부위의 살 두께를 2.7mm에서 변형방지 rib를 4개소 추가 한 hot spot 개선 이전의 sink mark 냉각해석 결과이고, Fig. 8(b)는 살두께를 2.7mm에서 2.0mm로 0.7mm를

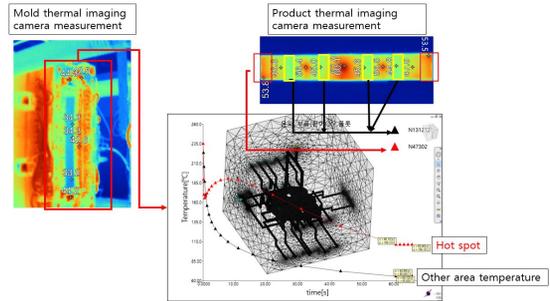


Fig. 7 Comparative analysis of temperature change

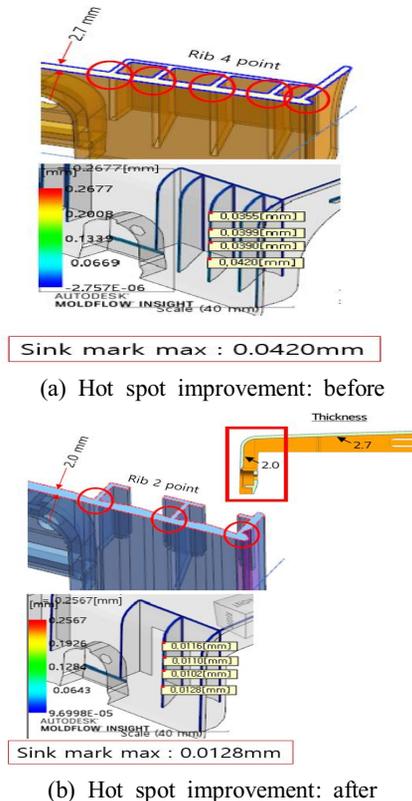


Fig. 8 Sink mark improvement through hot spot removal

줄여 핫 스팟 부위를 제거한 후 rib 개수도 4개에서 2개로 줄인 후 바닥의 살 빼기를 통해 싱크마크 수준을 최적화 한 해석결과를 확인해 볼 때 개선 전 0.0420mm 수준에서 개선 후 0.0128mm 수준으로 69.5% 개선 가능한 것으로 확인하였다.

4. 실험 결과 및 품질 개선

4.1 실험 결과와 고저 차 및 틈새 개선

내냉열 실험은 제품 형합 상태에서 다른 형합 부품의 고저 차와 틈새의 이상 없음을 먼저 확인하고 난 후 고객의 실사용 조건에서 열에 의한 변형을 확인하기 위하여 실시하는 실험이고, 1차 내냉열 실험결과로는 추가 개선이 필요한 것을 확인하였다. 변형모드는 Fig. 9와 같이 체결점 가운데 기준에서 바깥 방향으로 휨이 발생 되었고, 왼쪽은 변형으로 인한 고저 차 발생량이 0.64mm수준이고, 오른쪽은 고저 차 발생량이 0.67mm수준 발생되었다. Fig. 9에서 바깥쪽으로 변형에 영향을 주는 유의한 3인자를, Fig. 10(a)의 리브 절개(따져있는형상) 높이와 Fig. 10(b)의 리브 절개 위치, 그리고 Fig. 10(c)의 외측 리브 두께를 증가시키는 인자를 선정하였다.

첫 번째 실험 계획은 3 인자 2 수준의 완전배치 DOE(design of experiments)를 실시하여 진행했다. Table 4는 각각의 총 8가지의 배치 조건 중 배치 6번 리브 절개 높이 절반과 리브 절개 위치는 끝단 그리고 일부 두께를 증가하는 조건과 8번 리브 절개 높이 절반과 리브 절개 위치 중간과 일부 두께

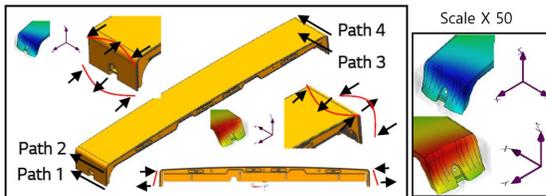


Fig. 9 First cold and heat resistant product deformation mode

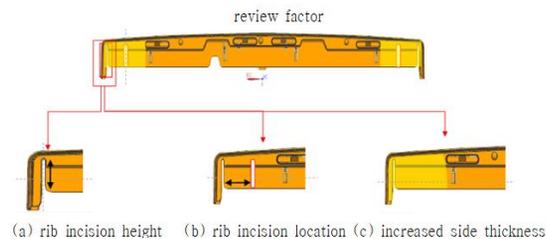


Fig. 10 Three significant factors affecting deformation

를 증가하는 조건이 좌측과 우측 모두 가장 변형 개선에 효과적인 것으로 분석되었다.

두 번째 실험 계획은 1차 실험에서 제품 구조에 개선할 수 있는 변형량을 기준 왼쪽 0.64mm에서 0.44mm로 개선됐고, 오른쪽 0.67mm에서 0.55mm로 개선되었지만, 완전한 개선이 이루어졌다고 판단이 되지 않아 전문가 집단이 모여 사출 성형조건에서 고저 차 불량에 영향을 미칠 수 있는 조건에 대해 추가 실험 계획 DOE를 수립하여 개선했다. 두 번째 DOE는 5인자 2수준의 1/4부분 배치를 선택하여 개선 진행했다. Table 5는 5인자를 보압 시간과 보압크기, 금형온도, 냉각시간, 수지온도로 선정하고, 각기 수준을 2수준으로 선정하여 진행하였다.

최종 해석실험에 앞서 전문가 집단을 구성해 logic tree 분석을 통해 사출인자를 누락 없이 발굴한 후 중요영향도 분석을 사전에 실시하여 최대한 실험 시간과 경비를 절감하기 위해 로직 트리에서 확인된 총 12인자 중 그동안 경험과 지식을 바탕으로 주 효과의 인자를 예측 할 수 있기에 최종 5인자로 선정 가능하였다. 최종 5인자로 선정 한 보압시간과 보압크기, 금형온도, 냉각시간, 수지온도 인자 중에서 보압시간과 보압크기 인자가 X축 방향의 길이에 주 효과 분석과 파레토 차트 분석을 통해 볼 때 영향을 많이 끼치는 것으로 확인할 수 있다.

Table 6은 두 번째 DOE의 결과이며, 총 8가지의 실험결과 중 1번 조건인 보압시간은 2s 그리고 보압크기는 75MPa 금형온도는 50℃, 냉각시간은

Table 4 3 factor 2 level fully placed DOE

division	1 st DOE					
	C1-T	C2-T	C3-T	C4-T	C5-T	
	Factor	Name	Type	Level - 1	Level - 2	
	A	Rib incision height	Text	Full	Half	
	B	Rib incision location	Text	End	Middle	
	C	increased thickness	Text	0.1 T	0.5 T	
DOE	C1	C2-T	C3-T	C4-T	C5	C6
	Run order	incision height	incision location	increased thickness	Left response	Right response
	1	Full	end	0.1 mm	0.88	0.93
	2	Half	end	0.1 mm	0.64	0.73
	3	Full	middle	0.1 mm	0.93	1.00
	4	Half	middle	0.1 mm	0.68	0.75
	5	Full	end	0.5 mm	0.58	0.67
	6	Half	end	0.5 mm	0.45	0.55
	7	Full	middle	0.5 mm	0.64	0.75
	8	Half	middle	0.5 mm	0.44	0.55

Table 5 5 factor 2 levels 1/4 partial placement DOE plan

		2nd DOE																																																																																																	
DOE plan	Create Factorial Design - Factors																																																																																																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Factor</th> <th>Name</th> <th>Type</th> <th>Low</th> <th>High</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>Holding tm</td> <td>Numeric</td> <td>2</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Holding siz</td> <td>Numeric</td> <td>75</td> <td>125</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Mold tempe</td> <td>Numeric</td> <td>50</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>Cooling tm</td> <td>Numeric</td> <td>15</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>Resin temp</td> <td>Numeric</td> <td>210</td> <td>250</td> </tr> </tbody> </table>					Factor	Name	Type	Low	High	A	Holding tm	Numeric	2	8	B	Holding siz	Numeric	75	125	C	Mold tempe	Numeric	50	80	D	Cooling tm	Numeric	15	30	E	Resin temp	Numeric	210	250	Fractional Factorial Design Factors: 5 Base Design: 5, 8 Resolution: III Runs: 8 Replicates: 1 Fraction: 1/4 Blocks: 1 Center pts total: 0 NOTE: Some main effects are confounded with two-way interactions. Design Generators: D = AB, E = AC Alias Structure: I + ABD + ACE + BCDE A + BD + CE + ABCDE B + AD + CD + ABCE C + AE + BDE + ABCD D + AB + BCE + ACDE E + AC + BCD + ABDE BC + DE + ABE + ACD BE + CD + ABC + ADE																																																															
	Factor	Name	Type	Low	High																																																																																														
A	Holding tm	Numeric	2	8																																																																																															
B	Holding siz	Numeric	75	125																																																																																															
C	Mold tempe	Numeric	50	80																																																																																															
D	Cooling tm	Numeric	15	30																																																																																															
E	Resin temp	Numeric	210	250																																																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>C1</th> <th>C2</th> <th>C3</th> <th>C4</th> <th>C5</th> <th>C6</th> <th>C7</th> <th>C8</th> <th>C9</th> </tr> <tr> <th>StdOrder</th> <th>RunOrder</th> <th>CenterPt</th> <th>Blocks</th> <th>Holding time</th> <th>Holding size</th> <th>Mold temperature</th> <th>Cooling time</th> <th>Resin temperature</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>75</td><td>50</td><td>30</td><td>250</td></tr> <tr><td>2</td><td>2</td><td>1</td><td>1</td><td>8</td><td>75</td><td>50</td><td>15</td><td>210</td></tr> <tr><td>3</td><td>3</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>125</td><td>50</td><td>15</td><td>250</td></tr> <tr><td>4</td><td>4</td><td>1</td><td>1</td><td>8</td><td>125</td><td>50</td><td>30</td><td>210</td></tr> <tr><td>5</td><td>5</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>75</td><td>80</td><td>30</td><td>210</td></tr> <tr><td>6</td><td>6</td><td>1</td><td>1</td><td>8</td><td>75</td><td>80</td><td>15</td><td>250</td></tr> <tr><td>7</td><td>7</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>125</td><td>80</td><td>15</td><td>210</td></tr> <tr><td>8</td><td>8</td><td>1</td><td>1</td><td>8</td><td>125</td><td>80</td><td>30</td><td>250</td></tr> </tbody> </table>										C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Holding time	Holding size	Mold temperature	Cooling time	Resin temperature	1	1	1	1	2	75	50	30	250	2	2	1	1	8	75	50	15	210	3	3	1	1	2	125	50	15	250	4	4	1	1	8	125	50	30	210	5	5	1	1	2	75	80	30	210	6	6	1	1	8	75	80	15	250	7	7	1	1	2	125	80	15	210	8	8	1	1	8	125	80	30	250
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9																																																																																											
StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Holding time	Holding size	Mold temperature	Cooling time	Resin temperature																																																																																											
1	1	1	1	2	75	50	30	250																																																																																											
2	2	1	1	8	75	50	15	210																																																																																											
3	3	1	1	2	125	50	15	250																																																																																											
4	4	1	1	8	125	50	30	210																																																																																											
5	5	1	1	2	75	80	30	210																																																																																											
6	6	1	1	8	75	80	15	250																																																																																											
7	7	1	1	2	125	80	15	210																																																																																											
8	8	1	1	8	125	80	30	250																																																																																											

30s, 수지온도는 250℃ 조건에서 가장 치수가 적합한 결과를 확인하였다.

Table 7은 구조 개선과 사출 조건 최적화를 통해 개선 전 고저 차와 개선 후 고저 차를 비교한 것이다. 최종 왼쪽 0.64mm에서 1차 0.44mm로, 최종 0.27mm로 57.8%가 개선되었고, 오른쪽 0.67mm에서 1차 0.55mm로, 최종 0.38mm로 43.3%가 개선되었다.

본 해석결과를 바탕으로 금형 개선과 사출성형 작업표준을 설정하여 제품 2차 내냉열 실험을 실시한 결과 고저 차와 틈새 규격을 전체 측정지점에서 만족하여 제품 양산을 시작하였다.

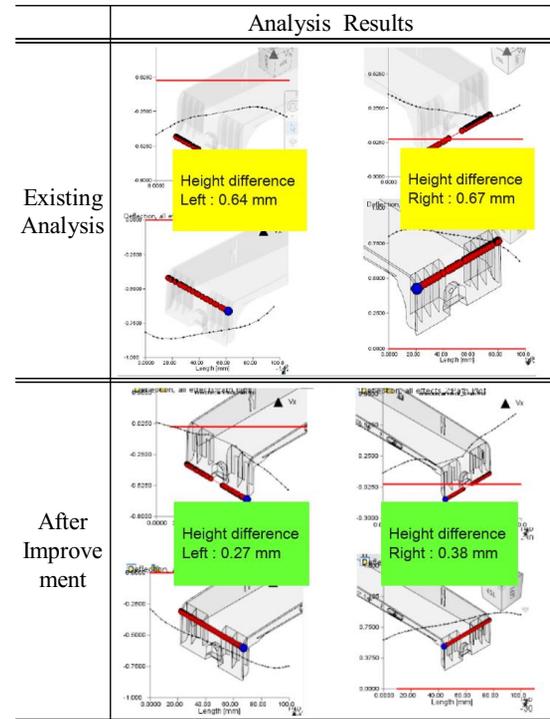
4.2 IML 필름의 열포밍 삭제실험

Fig. 12는 필름 양쪽의 “ㄷ”굴곡 형상을 열포밍 가공 없이 어떤 방법으로 성형하는지에 대한 이해를 돕기 위해 단계별 상세한 공정을 보여준다.

Table 6 5 factor 2 level 1/4 partial placement DOE result

		2nd DOE									
DOE result	RunOrder Holding time Holding size Mold temperature Cooling time Resin temperature Upper X axis length Lower X axis length										
	1	2	75	50	30	250	683.19	682.33			
	2	8	75	50	15	210	683.22	683.17			
	3	2	125	50	15	250	683.22	683.01			
	4	8	125	50	30	210	683.10	684.36			
	5	2	75	80	30	210	미 성형	682.05			
	6	8	75	80	15	250	682.88	682.75			
	7	2	125	80	15	210	683.38	682.87			
	8	8	125	80	30	250	684.30	684.04			

Table 7 Final analysis result for improvement of height difference



Step 1: Film feed Step 2: Air suction film hold Step 3: Gate open Step 4: Injection

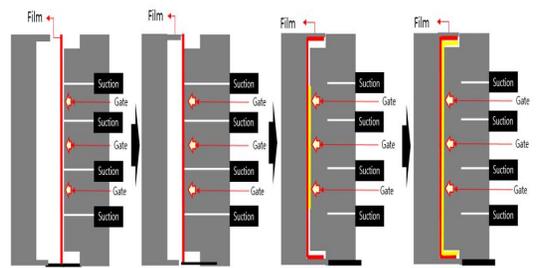


Fig. 12 Understanding the insert injection process of IML film

1단계에서는 금형에 항상 일정한 위치의 기준을 잡기 위한 필름 안착 기준점에 필름 끝단을 맞추어 포밍처리 되지 않은 평면의 필름을 올리면 금형에 설치한 에어석션(air suction) 장치를 통하여 에어로 필름을 빨아 당겨서 필름을 고정한다. 이때 90도 밴딩

형상 부위에는 필름이 부착되지 않고 허공에 떠 있는 상태이다. 이때 유의해야 할 점은 반드시 에어석션의 흡입력이 충분하여 필름의 유동이 생기지 않도록 강한 흡입력을 요구한다.

2단계에서는 금형이 닫히면서 에어석션은 꺼지면서 필름은 탄성에 의해 퍼지면서 사출 원재료가 채워질 2.7mm 두께의 공간에서 갇히게 된다.

3단계에서는 3점 Hot runner의 Valve gate 중 중앙부 게이트에서 원재료가 성형 흐름에 따라 필름 끝쪽으로 채워 나가면서 필름을 떠나간다.

4단계에서는 금형의 시퀀스(sequence) 제어에 따라 상부와 하부의 게이트가 열려서 끝단까지 레진이 공급되면서 필름 인서트 사출이 완료된다.

본 연구에서는 IML 필름 사출공법에서 CAE 해석 기법을 통해 형상에 대한 사전 열 포밍 작업 없이 작업하면서 발생할 수 있는 문제에 대한 선행관리 항목을 선정하여 양산에서 발생 될 수 있는 실패비용을 줄이고, 유사 형태의 제품개발에 경제성 확보 및 개발 시간 절감에 많은 도움이 되었다.

CAE 해석 기법은 특히 제품의 고급화에 요구되는 마감처리 피니쉬(finish) 관련 품질 요소인 틱새 및 고저 차에 대한 집중연구하는 과정에서 영향을 미치는 유의한 X축 방향의 길이 치수 상부와 하부, Y축 중앙부 폭 치수, Z축 수축으로 인한 변형 만곡점의 높이 치수 개선에 도움이 되었다.

연구의 효과 검증은 치수 자동측정기를 제작하여 전수측정시스템을 갖추었다. 이러한 Data의 실시간 관리를 위해 현장에 MES(Manufacturing Execution System) 시스템과 QR코드 실적 관리 시스템을 도입하여 IML 제품의 생산실적과 품질정보를 공유할 수 있는 시스템을 구축했다.

5. 결론

본 논문에서는 사출성형 수치해석을 통해 새로운 IML 공법을 개발하여 필름의 열 포밍 공정을 삭제하고, 기존 공법상에서 존재하던 부품 window display 부품을 삭제하고, 필름을 제어시스템에 바로 사출하는 공법을 개발하여 조립 공정을 삭제하여 기업의 원가 경쟁력을 확보하였고, 다음과 같

은 결론을 도출하였다.

- 1) IML의 신공법 연구는 고객의 제품 디자인 및 칼라의 다양화 요구를 가장 효과적으로 대응할 수 있게 되었다.
- 2) CAE 해석은 새로운 제품을 개발할 때 사출성형 결과치를 예측할 수 있고, 경제성을 확보하기 위해서는 필요한 시점에 성형해석을 활용해서 품질 실패비용과 원가 경쟁력을 방해하는 요인들을 검증해서 제거할 수 있게 되었다.
- 3) CAE 해석을 할 때 모델링 및 성형조건은 제공하는 Data의 정확도가 높을수록 전산 해석결과와 실제 성형결과가 일치하는 것을 확인하였다.
- 4) 신뢰성 실험은 고객사의 제품규격 기준을 만족하였음. 이 결과는 고객사용 상에서 발생할 수 있는 가장 가혹 조건을 만족하여 각 나라와 지역의 온도 차이로 발생하는 뒤틀림에 의한 틱새 및 고저 차에 의한 품질 문제점을 미연에 방지할 수 있었다.

REFERENCES

1. Kabanemi, K. K., Vallancourt, H., Wang, H., and Salloum, G., "Residual Stresses, Shrinkage and Warpage of Complex Injection Molded Products: Numerical Simulation and Experiment Validation," *Polymer Engineering and Science*, Vol. 38, No. 1, pp. 21-37, 1998.
2. Zoetelief, W. F., Dourven, L. F. A., and Ingen, A., "Residual Thermal Stresses in Injection Molded Product," *Polymer Engineering and Science*, Vol. 36, No. 14, pp. 1886-1896, 1996.
3. Liu, F., Zhou, H., and Li, D., "Numerical Simulations of Residual Stresses and Warpage in injection Molding," *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Vol. 28, No. 5, pp. 571-585, 2009.
4. Jacques, M., "An Analysis of Thermal Warpage in Injection Molded Flat Parts due to Unbalanced Cooling," *Polymer Engineering and Science*, Vol. 22, No. 4, pp. 241-247, 1982.
5. Choi, D. S. and Im, Y. T., "Prediction of Shrinkage and Warpage in Consideration of Residual Stress in

Integrated Simulation of Injection Molding,”
Composite Structures, Vol. 47, No. 1, pp. 655-665,
1999.

6. Lee, J. W., Jang, E. G., Shin, S. W., Park, S. H.,
and Jung, H. S, “Prediction of Residual Stress Caused
by IML Process and Deformation due to Thermal
Impact,” Transactions of the Korean Society of
Mechanical Engineers, Volume A, Vol. 34, No. 3,
pp. 375-382, 2010.
7. Lee, J. W., “A Study for Numerical Model
Development and the Effect of Processing Parameters
in IML Process and Thermal Impact,” G901: A-
0005581342, pp. 13~14, 2010.