

사출금형제품의 표면향상에 관한 연구

조재성

한국산업기술대학교 기계공학과, 마이크로 부품 소재 연구소

A Study on Improvement of Surface Quality in Injection Molded Parts

C. S. Cho

Institute for Micro-Parts and Materials
Dept. Mechanical Engineering,
Korea Polytechnic University, Kyonggi-Do, 429-450

Abstract

Injection molded plastic parts have many surface defects. These include a weld line, sink mark, flow mark, gloss, shading, scratching etc. Because these surface faults are not aesthetically acceptable, plastic parts are produced through painting or texturing. The purpose of this paper is to develop paintless molded parts using a flow control method. Computer aided injection mold filling simulations were used in order to minimize the number of defects from injection molding. Based on the numerical results, FR (Flame Retardant) HIPS was developed and the guidelines for part design, mold design, and the processing conditions were established. The effects of cost savings, improvements in productivity, and recycling were considered by reducing the number of surface faults and eliminating the painting process.

Key words : Injection molded plastic parts, surface defects, paintless molded recycling

1. 서 론

사출 성형품의 표면상 외관불량으로는 웰드라인(weld line), 표면수축(sink mark), 플로우 마크(flow mark) 등의 표면전사불량과 색 얼룩(shading) 및 광택 불량 등을 들 수 있다.^{1, 2)} 종래 외관의 품위가 요구되는 제품은 표면의 보호 및 외관의 장식, 표면성질의 기능적 개선을 위하여 도장(painting)을 사용하였다.³⁾

그러나 최근 기업마다 살아 남기위해 생산성 향상과 원가절감, 환경문제 대응의 일환으로 도장공정 작

업을 삭제할 수준의 사출 성형품의 외관 표면을 향상시키는 무도장 성형에 대한 관심이 고조되고 있다.

현재 플라스틱 금형의 사출 성형시 발생하는 외관 불량 개선을 위해 도장을 사용하고 있으며, 도장공정 삭제를 위해 SONY, SHARP 등의 외국 업체에서 무도장 성형(paintless injection molding)을 적용하고 있다.

그러나 HIPS(High Impact Polystyrene)보다 원가가 높은 ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene) 수지를 대부분 적용 무도장 성형을 하고 있으며, HIPS 수지 적용은 부분적 도장을 실시하고 있어 완

전한 무도장 성형을 실현하기 위해서는 이에 대한 연구가 절실히 요구된다.

일반적으로 무도장 성형법은 유동조절 (flow control) 법과 단열금형법을 들 수 있다. 본 연구에서는 투자비 및 유지보수 등을 고려하여 유동조절법을 적용하였다.

유동 조절법은 CAE (Computer Aided Engineering) 기법을 이용하여 웰드라인이 발생하는 위치, 길이 등을 예측하여 게이트 (gate), 런너 (runner) 등을 조절함으로써 웰드라인을 눈에 보이지 않는 부위에 위치하거나 부분적 두께 변화로 만나는 흐름 각도를 변화시켜 웰드라인 길이를 최소로 조정하는 방법이다.⁴⁾

단열금형법은 수지 단열층 위에 금속층을 형성시켜 성형시 금속층을 금속 가열함으로써 고화층의 발달을 늦추어 플로우마크, 웰드라인, 표면수축 등의 전사불량을 개선하는 방법이다.²⁾

본 연구에서는 플라스틱 사출성형품에 발생하는 웰드라인, 플로우마크, 표면수축, 색 얼룩 (shading), 광택 (gloss) 등의 외관표면불량을 개선을 위해 사출 성형해석 및 실험을 통해 고찰하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 실험에서 사용한 실험장치는 다음과 같다.

2.1.1 사출성형기

일본 도시바 (사)의 800톤으로써 유압에 의한 직압식 수평 성형기이며, 모델은 IS-800CNII이다.

2.1.2 온도조절기

Hanse (사)의 NTC-100 모델로 펌프 용량은 1hp, 히터용량은 12kw이다.

2.1.3 온도측정기

독일 Testoterm (사)의 접촉식 온도 측정기로 모델은 testo 920을 사용하였다.

2.1.4 표면조도계 (surface roughness tester)

일본 Mitutoyo (사)의 surfstest 301 모델을 사용하였다.

2.1.5 금형 (mold)

본 연구에 사용한 금형은 TV Mask Front 제품으로 그림 1에서 보는바와 같이 제품크기는 366mm × 338mm × 131mm (W × H × D), 기본두께는 2.3mm이며, 콜드런너 (cold runner)의 커버 터널게이트 (curved tunnel gate) 방식을 채택하였다.

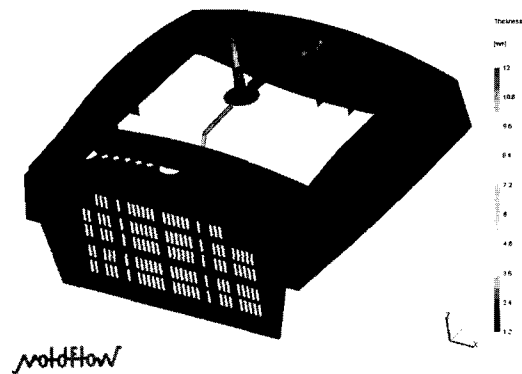


Fig. 1 Part configuration.

금형은 2단 형식으로 860mm × 850mm × 760mm (W × D × H)의 크기로 설정하였으며, 그림 2와 3에 정면 조립도 및 단면 조립도를 각각 나타내었다.

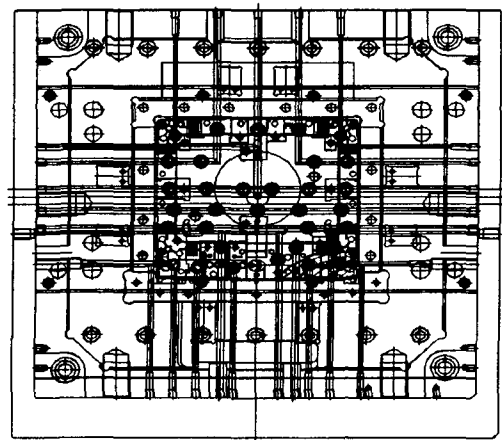


Fig. 2 Front assembly drawing.

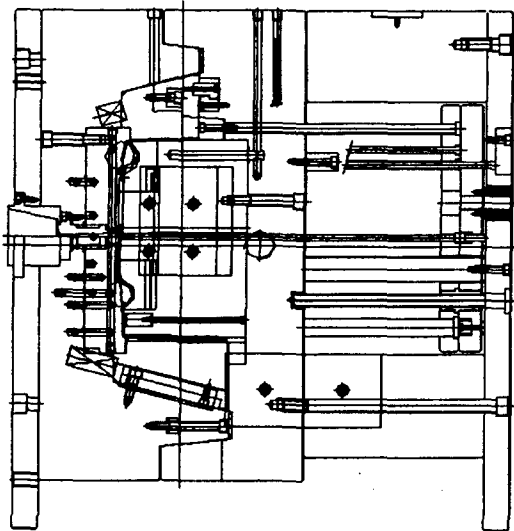


Fig. 3 Sectional assembly drawing.

금형재질은 고정측은 한국중공업(주)의 HP4M, 가동측은 HP4를 사용하되 CRT 보스부는 일본 Kobe(사)의 HR750을 사용하였다.

2. 2 실험방법

성형불량을 최소화하기 위해서 Moldflow(사)의 MF/FLOW로 사출성형해석을 실행하여 유동패턴에 따른 게이트 방식, 런너 및 게이트 크기, 게이트 위치 등을 설정 반영하여 금형을 제작 실험을 수행하였다.

본 실험에서는 먼저 수지충전패턴을 분석한 후, 공정변수를 조절하면서 실험을 수행하여 해석결과와 비교 분석하였으며, 외관표면불량 개선을 위해 성형상 주요 문제점인 웰드라인, 수축, 플로우마크 등의 표면전사불량과 광택 및 색얼룩, 스크래칭(scratching) 등의 유무를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3. 1 웰드라인 최소화

게이트 및 홀(hole)을 통과한 수지간 흐름의 선단이 합류될 때 생기는 웰드라인이 가장 큰 외관 불량

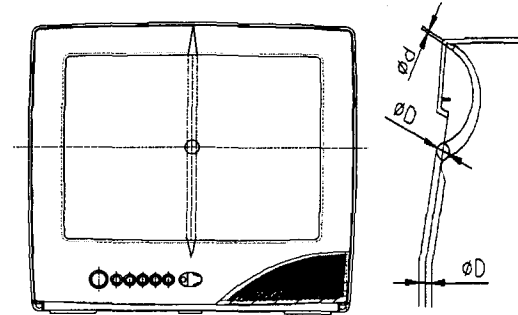


Fig. 4 Gate positions.

요소이다.⁵⁾

게이트 형식은 취출 로봇 사용 및 후가공 배제를 위해 커브 터널(curved tunnel) 게이트를 선정하였다.

웰드라인 개수를 최대로 억제하기 위해 게이트 개수를 2개로 최소화하고, 성형상 발생하는 게이트 마크(gate mark)를 줄이기 위해 그림 4와 같이 게이트를 상측은 제품코너에, 하측은 제품명(brand name)이 인쇄되는 부위에 설정하였다.

그림 5는 유동해석 결과로 게이트를 통해 흘러 들어간 수지의 유동이력(melt history)을 충전시간의 증가에 따라 나타낸 것이다. 제품하단 끝단에서 가장 늦게 충전되는 것을 볼 수 있다.

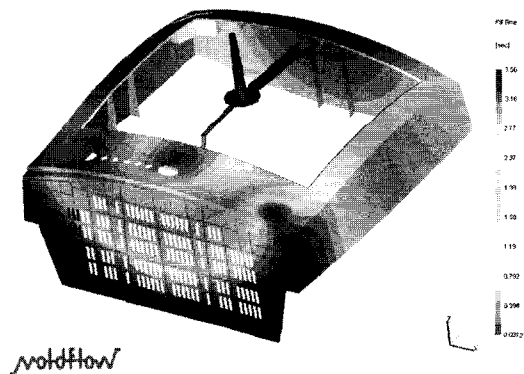


Fig. 5 Flow pattern for melt history.

그림 6에서 보는 바와 같이 게이트와 런너의 크기를 조정하여 웰드라인을 눈에 잘 보이지 않는 하측 좌우 코너부위로 유도하였다.

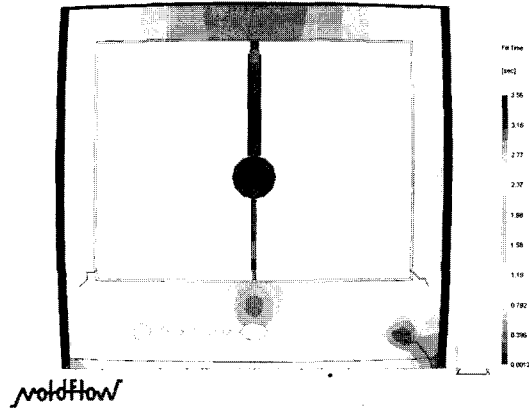


Fig. 6 Position of weld lines.

오른쪽 하단에 유동정체 (flow hesitation)로 발생한 웰드라인은 스피크 그릴 (speaker grille) 부로 실제 사출시에는 은폐되었다.

또한, 그림 7과 같이 부분적 두께변화를 주어 수지 흐름각을 조절함으로써 웰드라인 크기를 최소화 하였다. 웰드라인은 두 흐름선단사이의 함유각과 관련이 있으며, 일반적으로 HIPS 수지의 경우 함유각도가 120°C-150°C에 도달할 때 웰드라인이 사라지는 경향을 나타낸다.⁴⁾

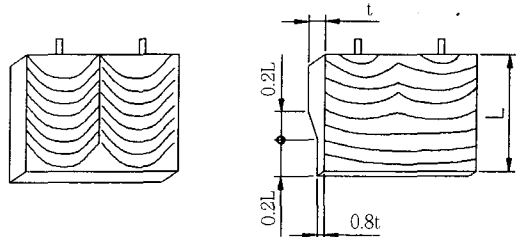


Fig. 7 Flow control method.

3. 2 난연 HIPS 개발

일반적으로 HIPS 수지는 기계적 강도를 향상 시키기 위해 연성이 큰 고무입자를 첨가하는데 이로 인해 유동성이 저하되어 웰드라인이 심해지며, 외관상으로 광택이 없고 경도가 낮아 표면손상이 쉽고, 얼룩 등이 발생한다.³⁾

본 연구에서는 웰드라인을 최소화하기 위해 유동성을 향상시키고, 기존 HIPS와 동등한 기계적 강도

를 가지며, 열안정성이 우수하고 가스발생을 최소화 및 내스크래치성을 향상시키는데 주안점을 두고 개발하였다.

고무입자의 첨가 및 조성 방법, 열안정제 및 실리콘오일의 첨가에 따른 외관에 미치는 영향을 분석하기 위해 표 1과 같이 조건에 따라 수지를 조성하여 중앙에 인서트 홀이 형성된 450mm×250mm 크기의 시험편을 제작하여 외관성을 평가하였다.

Table 1 Polystyrene-based resin composition.

NO.	1st Styren	2nd Styren	Thermo stabilizer	Silicon oil	Swelling index
1	99.8	0.0	0.2	0.0	11
2	90.0	9.4	0.4	0.2	9
3	80.0	19.0	0.6	0.4	7
4	70.0	28.6	0.8	0.6	6
5	60.0	38.2	1.0	0.8	5

제 1 스티렌 조성물은 스티렌에 평균 입자경이 3-5 μm인 고무 7%를 배합한 스티렌 조성물이고, 제 2 스티렌 조성물은 스티렌에 평균 입자경이 1-2 μm인 고무 8%를 배합한 스티렌 조성물로 실험 1은 제 1 스티렌 조성물만 사용하였으며, 그 외 실험에서는 제 2 스티렌 조성물 배합비율을 조금씩 증가시켜 실험을 수행하였다.

실험방법은 상단 중앙 1개의 사이드 게이트 (side gate)의 시험편 금형에 표 1의 수지 조성 조건에 따라 사출기 실린더 온도 (NH1) 220°C, 금형온도 50°C, 사출압력 100Kg/cm²의 공정조건으로 사출하여 그 결과를 분석하였다.

실험결과 표 2에서 보는 바와 같이 상대적으로 단

Table 2 Results with respect to the polystyrene-based resin composition.

NO.	Weld line (mm)		Gloss	Shading	Gas generating (%)
	Length	Width			
1	10.0	0.5	35	Common	2.417
2	4.0	0.1	55	Very good	1.502
3	3.0	0.2	63	good	1.524
4	3.0	0.4	64	Common	1.890
5	3.0	0.5	70	Bad	2.141

일 스틸렌 조성물만 사용한 실험 조건 1에서는 웰드라인의 길이와 폭이 길게 발생하는 반면 혼합 스틸렌 조성물을 적용한 실험 조건 2-5에서는 웰드라인의 길이와 폭이 점점 감소하였으며, 제 2 스틸렌 조성물 배합비율이 많이 포함된 실험 조건 5에서 웰드라인 폭이 다시 증가하였다.

광택 (gloss) 특성에서도 단일 스틸렌 조성물에 비해 혼합 스틸렌 조성물을 적용 시에 더 좋은 특성을 얻었으며, 얼룩 (shading) 특성에서는 제 2 스틸렌 조성물 배합비율이 90% 포함된 실험 조건 2에서 가장 양호한 결과를, 60% 포함된 실험 조건 5에서 가장 불량한 결과를 얻었다.

가스 발생량은 230℃에서 30분간 체류 시킨 후 감량을 측정 한 결과 혼합 스틸렌 조성물 실험 조건 2와 3에서 가장 양호한 결과를 얻었다.

이상과 같이 외관에 미치는 영향을 분석한 결과 고무입자 함유는 큰 입자의 단일고무를 사용하는 것보다 소입자의 고무입자를 혼합 사용한 것이 양호하였으며, 열안정제 및 실리콘 오일 첨가량에 따라 광택 및 색 얼룩이 개선됨을 확인하였다.

상기 실험 결과를 기준으로 웰드라인, 플로우 마크, 광택, 얼룩 등의 외관불량 개선을 위해 난연 (FR ; Flame Retardant) HIPS를 개발하였다.

표 3은 기존 및 개선용 난연 HIPS 물성을 비교하여 나타낸 것이다.

3. 3 금형온도 설정

외관표면 품질을 확보를 위해 금형온도를 부위별로 별도 관리하였다. 상측은 용융된 수지가 합류되

Table 3 Physical properties of conventional vs improved FR HIPS.

NO	Item	Unit	Conventional	Paintless
1	Tensile strength	kg/cm ²	228	230
2	Tensile elongation	%	60	60
3	Flexural strength	kg/cm ²	320	330
4	Impact strength	kg cm/cm	9	8
6	HDT	℃	76	76
7	Melt index flow	g/10min	11	14

는 부위의 웰드라인과 색차의 발생을 억제하기 위해 그림 8과 같이 별도의 온수관을 설정 온도조절기를 통해 온도를 관리하였다.

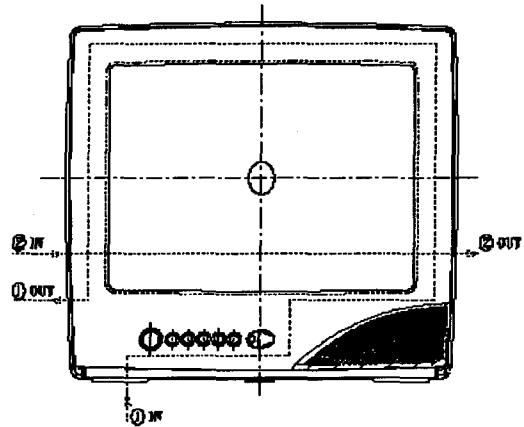


Fig. 8 Hot water channel layout.

실험결과 상측금형온도가 60℃ 이하에서는 유동선단부의 온도가 낮은 상태에서 합류됨으로 인해 웰드라인이 발생하였으며, 70℃ 이상의 온도에서는 수지가 분해로 가스가 발생하였으며 국부적인 압력 차이를 유발하여 성형품 표면에 색 얼룩 및 광택 등의 색차가 발생하였다. 따라서 상측금형온도를 60℃ - 70℃ 범위에서 최적의 외관품질을 얻을 수 있었다.

또한, 하측은 보스 (boss) 나 리브 (rib) 등의 두꺼운 부분에 열이 집중되므로 40℃ 이상의 금형온도에서는 표면수축이 발생하여 그 이하의 온도관리가 요구되었다.

이와 같이 외관품질 확보를 위해서는 실험결과 금형 상측은 60℃ - 70℃로, 하측은 40℃ 이하의 온도관리가 요구되었다.

3. 4 에어벤트 및 부식

웰드라인은 금형내의 잔류공기나 수지로부터 발생하는 가스에 의해서도 영향을 받는다.¹⁻³⁾

따라서 본 연구에서는 금형내의 공기나 가스를 제거하는 구조를 취하였다.

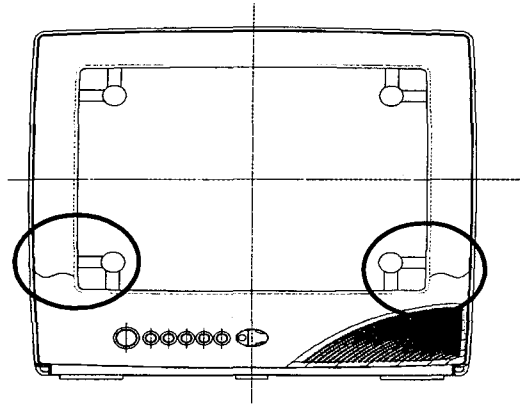


Fig. 9 Air venting hole in weld line area.

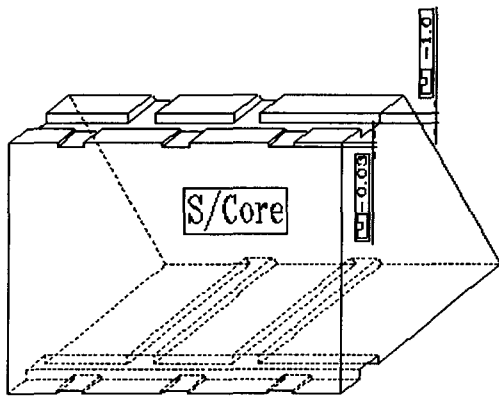


Fig. 10 Air venting hole in slide core area.

4면 슬라이드 코어(slide core) 구조와 하측 코너 부 4개소, 슬라이드 상측형합면과 파팅면측 상측형합면에 에어벤트홀(air venting hole)을 설치하였다.

웰드라인 및 광택을 억제하기 위해서 금형상측에 부식처리(texturing)를 하였다. 거친 부식은 도장한 성형품에 비해 색감이 떨어져 상품 가치가 하락하게 된다. 그러나 고운 부식은 외관은 우수 할지라도 스크래칭성이 떨어지므로 무도장의 외관품질을 확보하기 위해서는 부식패턴의 선정이 중요하다. 본 금형에서는 일반 TV 하우스용 부식사양인 TH-114를 기준으로 외관품질의 중요성에 따라 전면부와 상단 및 측면을 별도로 부식을 하여 실험을 수행하였다.

실험 결과 부식패턴 부위를 등글게(beading) 처리하여 사출하였을 때 광택차가 줄어든 것을 육안으로 인식하였으며, 무광처리 보다는 유광처리 시에 스크래칭이 개선되는 것을 사출시 손톱으로 긁어 그 정도를 판단하였다.

금형표면의 부식처리 후 사출에 의한 표면 정도를 확인하기 위해 그림 11과 같이 성형제품의 주요 지점에서 표면 조도계로 측정하였다.

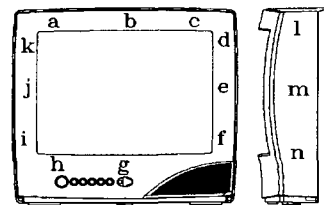


Fig. 11 Measuring points for surface roughness.

각 지점에서의 측정 결과를 표 4에 나타내었으며, 결과에서 보듯이 부식 깊이가 평균 전면부 30 μm , 측면에는 20 μm 이상으로 가공하였을 때 도장(spray painting) 제품의 외관과 대등한 품질을 확보할 수 있었다.

Table 4 Surface roughness for the points shown in Fig. 11.

Point	Roughness (μm)	Point	Roughness (μm)
a	32.0	h	32.8
b	30.8	i	32.6
c	31.2	j	30.2
d	31.0	k	31.9
e	30.7	l	24.5
f	31.8	m	22.9
g	31.5	n	28.5

3. 5 표면수축 및 색차관리

일반적으로 소형 TV Mask Front의 경우 4개 이상의 게이트 구조로 설정되어 있으나 본 금형에서는 외관표면향상을 실현하기 위해 2개로 최소화 하였다. 본 연구의 실험을 위해 표 5와 같이 사출성형조건을 설정하였다.

Table 5 Processing condition.

Time (sec)	temperature (°C)		Injection pressure (kg/cm ²)		Clamping pressure (kg/cm ²)		
	injection	cooling	melt	mold (cavity)	1st	2nd	High
20	215	110	130				
22	90	80	40				

사출과정에서 높은 사출압력이 요구되었으며, 게이트에서 상대적으로 거리가 멀고 열 집중이 발생하는 제품 좌우 코너단의 CRT (Cathode Ray Tube) 형합 보스 및 리브에 수축이 발생하였다.

이러한 수축을 없애고자 하여 표 5에서 보는 바와 같이 보압(2차 사출압)을 높게 설정하였지만, 수축이 여전히 발생하였고 게이트 자국(gate flow mark)도 발생하였다.

또한, 형합 보스 및 리브 존재 유무에 따른 밀도차에 의해 색차가 발생하였다.

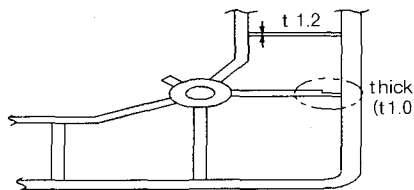


Fig. 12 Rib type for the prevention of sink mark and color difference.

따라서 그림 12와 같이 제품 좌우 및 상단의 형합 리브에 의한 수축 및 색차는 제품 기본두께(2.3mm) 대비 50% 이하(1.0mm)로 설정하였을 때 최소화되었다. 그러나 리브 전체 두께를 줄이면 낙하, 진동 등의 강도상 문제가 발생하여 기본 두께 표면에서 약 15mm 구간에서만 적용하였다.

또한, CRT 형합 보스부에 그림 13과 같이 전주 2mm 구간의 제품두께를 기본두께(3.4mm) 대비 50%로 테이퍼 형상으로 줄 일 경우 수축은 개선되었으나 색차는 여전히 발생하였다. 그러나 보스핀을 전주 R0.5mm로 가공하여 실험한 결과 색차가 개선되었다.

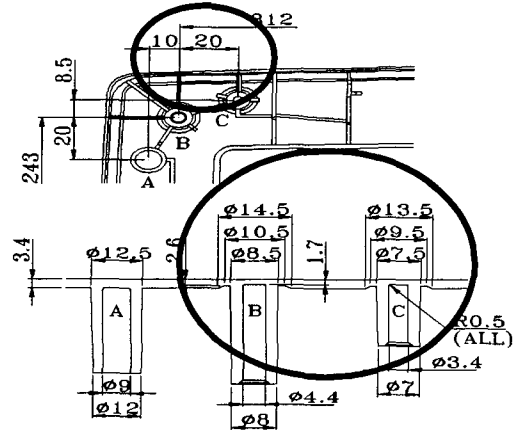


Fig. 13 Boss type for the prevention of sink mark and color difference.

3. 6 적용효과

유동조절 및 금형 및 제품 구조개발, 수지개발 등의 적용으로 외관표면을 개선하여 도장공정을 삭제한 무도장 성형을 실현하였다. 이로 인해 표 6과 같이 생산원가를 26.4% 절감하는 효과와 아울러 유기용제 미사용에 따른 노동환경 개선 및 리사이클(recycle)축진으로 인한 환경보전으로의 공헌을 가져왔다.

Table 6 Effects of cost savings.

division	convention	paintless	remark
painting cost	₩724	0	
set cost	₩2743	₩2019	26.4%

4. 결 론

플라스틱 사출금형제품의 표면향상을 위해 사출성형해석 및 실험을 수행하여 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

1) 게이트 개수의 최소화와 병행하여 부분적 제품두께변경, 게이트, 런너 등의 유동조절에 의한 수지 흐름각 및 위치 조정으로 웰드라인을 최소화하였다.

2) 유동성 향상, 소입자 고무입자 혼합, 조색수지 사용, 오일계통 첨가, 열안정제 증량 등에 따른 웰드라인, 광택 및 얼룩 등을 평가하여 난연 HIPS 무도장용 수지를 개발하였다.

3) 금형온도는 최적의 온수관을 설정하여 온도조절기로 상측 60°C-70°C, 하측 40°C로 유지하였다.

4) 표면수축 및 색차는 형합리브 및 보스두계를 최소화 하고, 금형 상측온도를 높고 균일하게 유지하여 관리하였다.

5) 금형내의 공기나 가스를 제거하기 위해 4면슬라이드 구조와 에어벤트홀을 설치하였다.

6) 웰드라인 및 광택을 억제하기 위해 금형 상측에 부식처리를 하였다.

7) 표면외관 불량률 개선하고 도장공정을 삭제하여 26.4%의 생산원가절감과 노동환경 개선 및 환경보전에 기여하였다.

참고문헌

1. T. Takagi, Plastic Sci., (1996) 137
2. 월간프레스 & 성형기술 (1997) 19
3. R. A. Malloy : Plastic Part Design for Injection Molding, Hanser (1994)
4. Y. Hidetoshi, M. Yasuhiko, and W. Hiromi, Seikei-Kakou (1997) 290
5. R. Selden Polymer Eng. Sci., 37 (1) (1997) 205

2002-15

accepted days : 2002. 4. 30.

received days : 2002. 6. 21.