

무광부식 패턴을 갖는 자동차 내장부품인 HD Switch Panel의 제조 및 전사성 평가

김영균¹, 김동학^{*}, 손영곤²
¹순천향대학교 나노화학공학과
²공주대학교 신소재공학부

Development and transcription estimation of an automotive interior plastic part(HD Switch Panel) with no glossy etching pattern

Young-Kyun Kim¹, Dong-Hak Kim^{1*} and Young-Gon Son²

¹Dept of Chemical Engineering, SoonChunHyang University

²Division of Advanced Material Engineering, Kongju National University

요약 본 논문에서는 미세 무광부식 패턴을 갖는 HD Switch Panel 자동차 부품을 개발하는 것으로, 제품 디자인을 통해 금형을 설계, 제작하였다. 최적화된 금형 제작을 위하여 CAE(Computer Aided Engineering)해석을 통하여 사출성형 공정에서 나타날 수 있는 문제점과 부품의 수축 변형을 정량적으로 예측하였다. 그리고, 금형표면의 가열온도와 실제 금형온도를 비교함으로써 공정변수 조절을 통해 사출성형조건 최적화도 달성할 수 있었다. 한편, 순간금형표면가열방식을 이용한 성형기술인 E-MOLD를 적용하여 자동차 내장부품용 HD Switch Panel 사출성형품을 제작하였고, 전자현미경과 원자현미경을 이용한 표면 평가 및 광택도 측정을 통하여 무광부식 패턴의 전사율 향상으로 인한 무광 특성이 향상됨(2.5이상→1.5~1.7)을 확인하였다.

Abstract In this paper, we designed and manufactured HD Switch Panel parts with micro-etched pattern. By using CAE analysis, we could predict weld-line positions and the amount of shrinkage during injection molding process. We measured the temperature distribution of the mold surface so that we could optimize the processing conditions such as mold temperature. In order to increase the transcription of micro-etched pattern, we applied the E-Mold technology and evaluated the effect of mold temperature on the surface quality. We concluded that the etched pattern was improved(more than 2.5→1.5~1.7) through the measurement of surface gloss and the observation of both SEM and SPM images.

Key Words : HD Switch Panel, Micro-etched pattern, Transcription, CAE analysis

1. 서론

최근 유럽 등에서 자동차를 폐차할 때 재활용률을 높이기 위하여 등 세계적으로 자동차 관련 규제가 점차 강화되고 있는 추세이기 때문에 자동차 관련업계에서도 이제 친환경제품 개발은 향후 생존을 좌우하는 문제로 대

두되고 있다. 또한, 자동차의 연료효율 향상 및 기타 원가 절감 등의 목적으로 자동차 재료에 대한 경량화 요구가 부쩍 늘어 국내외 완성차 업체는 플라스틱 재료에 대한 사용량이 점차적으로 증가하고 있으며, 비금속 재료 가운데 플라스틱이 차지하는 비율은 고구성분을 포함하면 약 15%에 육박하고 앞으로도 꾸준한 증가세를 지속할 것

본 연구는 (재)충남테크노파크와 순천향대 신가공 지역혁신센터의 기술인프라 연계 연구개발사업으로 수행되었습니다.

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행되었습니다.

*교신저자 : 김동학(dhkim@sch.ac.kr)

접수일 09년 09월 18일

수정일 09년 10월 25일

게재확정일 09년 11월 12일

로 예상되고 있다. 따라서 재활용성 향상 및 재질/공정 단순화를 위해 국외 자동차 업계의 경우, 현재 사용 중인 30여종의 PP(Polypropylene) 수지를 2종류로 줄여 내장재에 적용하기 위해 진행 중이며, 국내 업계의 경우 환경문제 대응과 성능향상을 위해 내장재에 주로 사용하던 PVC (Polyvinyl chloride)계 소재를 사용하지 않고, 친환경적인 올레핀계 재료나 열가소성 재료를 사용해 무도장 내장재를 개발 중에 있다[1,2].

이처럼 자동차의 플라스틱화는 의장과 내장부품을 벗어나 구조나 기능부품 영역까지 확대 적용되면서 보다 고성능화된 수지의 요구가 증가되고 있다.

특히, 자동차 내장부품은 승차 시 쾌적성을 좌우하는 중요 부품들이며, 고급감 및 실내 조화감이 요구되어 자동차의 상품성을 좌우하는 요인이다.

일반적으로 자동차 내장재를 제조하는 방법으로 사출 성형공정이 적용되고 있다. 사출성형공정은 플라스틱 제품을 저비용으로 대량 생산할 수 있는 장점이 있지만 금형 제작 후에도 제품을 생산하기 까지 금형 수정이 빈번하게 요구되어 제작비용 및 제작기간이 증가하는 단점이 있어 제품에 대한 재현성 확보가 어렵다. 따라서 플라스틱 제품개발에 필요한 재료, 제품설계, 금형설계, 성형의 문제점을 사전에 방지하여 시행착오를 줄이고 제품성능 및 성형성을 향상시키기 위해 사출성형 CAE(Computer Aided Engineering)을 적용하였다[3,4].

하지만 CAE를 통해 성형 조건을 예측하여 위험 요소를 줄일 수는 있지만, 기존방법인 일반사출의 경우 금형의 온도와 용융된 수지의 온도차이로 인해 캐비티 내에 수지 충전 시 고화가 되면서 유동성이 급격하게 저하되어 미성형이나 웰드라인, 휨, 수축 등의 변형에 의한 제품의 불량률이 증가한다[5]. 이와 같이 플라스틱 성형품의 외관품질 및 치수 안정성에 금형온도에 따라 영향을 미치기 때문에 지금까지 금형온도를 조절할 수 있는 다양한 사출성형 기술이 사용되고 있다[6,7]. 이에 따라, 현재 대두되고 있는 원가절감 및 재활용성이 높은 자동차용 플라스틱 내장부품 개발을 위해서는 무도장으로 인한 친환경적이면서 외관품질을 향상 시킬 수 있는 사출성형기술이 필요하다.

본 연구에서는 일반사출인 경우 광택도 저하를 위해 유광부식 패턴을 무광부식 패턴 처리 시 성형 후 Sanding 처리를 해야 하는 공정의 한계를 개선하기 위해 검증용 Resin(PP, ABS)의 최적 Grade를 선정 후 자동차 내장부품 설계 및 사출성형 CAE를 이용하여 사출성형 공정의 문제점과 변형량을 예측하였고, 공정변수 최적화를 위해 금형표면의 가열온도와 실제 금형온도의 비교하였다. 또한 무도장 및 무표면 결합 사출성형기술(E-MOLD)을 적

용하여 제작된 HD Switch Panel의 무광부식 패턴의 전사성과 광택도를 평가하였다.

2. 실험

2.1 검증용 Resin 선정

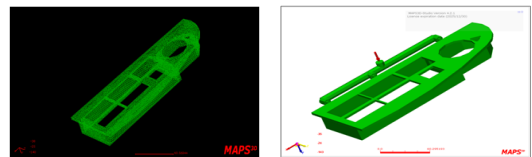
검증용 Resin의 선정은 자동차 내장재에 주로 사용되는 PP와 ABS를 이용하였다. 선정된 Resin의 요구조건은 다음과 같다. 첫째로 승차 시 운전자의 쾌적성 및 친환경성에 적합한 재료이어야 한다.

둘째로 원가절감 및 공정 단순화를 위해 가공성이 용이하여야 한다. 셋째로 고급감 및 실내조화감에 어울리는 색상 구현이 가능하여야 한다. 따라서 상기 조건을 기준으로 최적 Grade를 결정하였다.

2.2 사출성형 CAE

제품개발 전 문제점 및 변형량 예측을 위해, 전산모사 프로그램을 이용하였다. Pro-Engineer Wildfire 2.0을 이용하여 HD Switch Panel의 제품 설계를 하였고, 성형해석을 위해 MAPS-3D를 이용하여 해석에 필요한 Model을 완성하였다.

그림 1은 HD Switch Panel의 제품 디자인과 분석 모델 디자인을 나타낸 것이다.



(a) 제품 디자인 (b) 분석모델 디자인

[그림 1] HD Switch Panel 개략도.

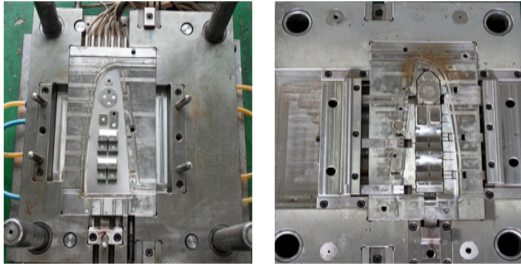
CAE 해석을 위해 사용된 수지는 PP(Prime Polypro, J-950HP), ABS(Starex, HG-0760)를 이용하였고, 해석조건은 표 1과 같다.

[표 1] CAE 해석 조건.

수지	사출 시간 (sec)	냉각 시간 (sec)	실린더 온도 (°C)	금형온도(°C)			
				Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
PP	5	20	205	25	100	110	120
ABS	5	20	235	60	150	160	170

2.3 금형가열에 따른 온도분포 해석

그림 2는 CAE 해석을 통해 제작된 HD Switch Panel의 E-MOLD 개략도를 나타낸 것이다.



[그림 2] E-MOLD 개략도.

E-MOLD는 금형의 고정측만 가열하는 단면가열 방식으로 되어 있으며, 전열장치(마이크로 히터, 센서)를 이용한 금형가열 시 가열코어만을 가열 하게 되는데 사출성형 시 E-MOLD 제어기에서 설정하는 가열온도만큼 열이 가열코어에 전달되어야 성형품의 표면 불량률을 감소시킬 수 있고, 무광 부식패턴의 전사성을 향상시킬 수 있다. 따라서 금형가열 온도조건과 실제 금형온도의 비교를 통한 공정변수의 최적화를 위해 열화상촬영기 (FLIR, ThermalCAM 675)를 이용하였다. 표 2와 3은 열화상 촬영 측정조건과 수지에 따른 금형 가열온도 조건을 나타낸 것이다.

[표 2] 열화상촬영기 측정 조건.

방사율	측정거리 (m)	측정장소		분해능 (°C)
		온도(°C)	습도(%)	
0.20	0.5	25	29	0.1

[표 3] 금형 가열온도 조건.

수지	금형온도(°C)			
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
PP	25	100	110	120
ABS	60	150	160	170

2.4 HD Switch Panel 시제품 제작

기존의 자동차 내장부품의 광택 개선 방법인 도장 및 감싸기(표피재) 공정을 개선하기 위해 HD Switch Panel의 시제품 제작 시 무도장 및 무표면 결함 사출성형기술(E-MOLD)을 적용하였다.

사출성형기는 직압식 수평형 타입(현대, SPE-250)을 사용하였고, 수지는 PP(Moplen, EP640R)와 ABS (Starex, HG-0760GP)를 사용하였다. 금형온도는 표 3과 같고,

Case 1은 일반사출이며 Case 2, 3, 4가 E-MOLD의 조건이다. 다른 사출성형 조건은 표 4와 같이 설정하였다.

[표 4] 사출성형 조건.

수지	압력 (kg _f /cm ²)	속도 (%)	보압 (kg _f /cm ²)	시간(sec)		온도(°C)	
				사출/보압	냉각	실린더	냉각수
PP+MB(3%)	65	12	55	5/3	20	205	20
ABS	70	12	60	5/3	20	235	20

2.5 HD Switch Panel 표면 특성 평가

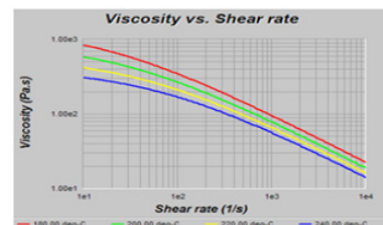
일반사출성형 및 E-MOLD로 성형된 HD Switch panel을 이용하여 무광부식 패턴의 전사성 및 광택도를 평가하였다. 전사성은 비접촉 방식인 SPM(PSIA, XE-100)과 주사전자현미경(JEOL, JSM-5310)을 사용하였고, 광택도 평가는 광택측정기 (HORIBA, IG-320)를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

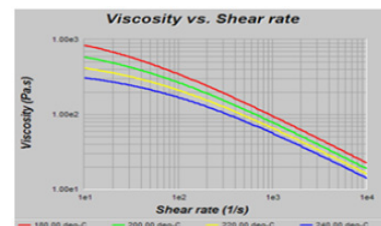
3.1 검증용 Resin 최적 Grade 선정

Cross exp model을 통해 선정된 Resin은 PP (Moplen, EP640R)와 ABS(Starex, HG-0760GP)이다.

그림 3은 PP와 ABS에 대한 Cross exp model을 나타낸 것이다.



(a) PP



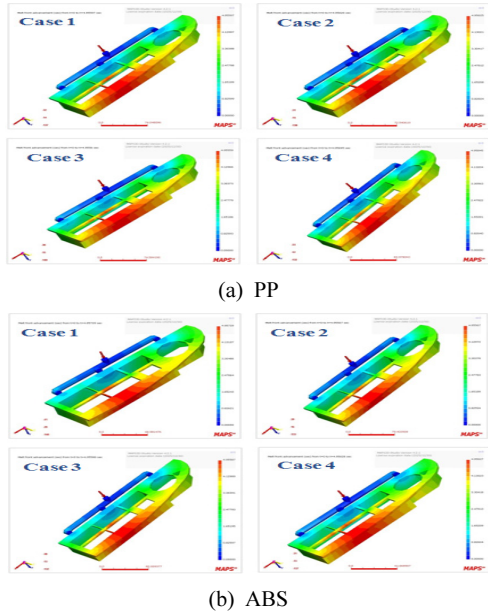
(b) ABS

[그림 3] Cross exp model.

3.2 전산모사 프로그램을 이용한 해석 결과

3.2.1 유동 해석

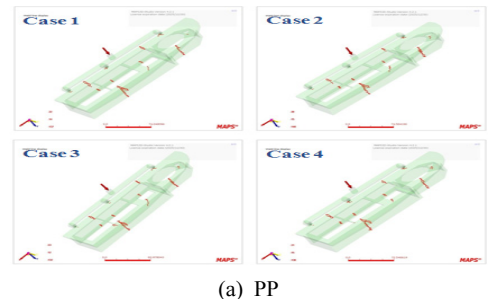
금형온도에 따른 PP와 ABS의 유동해석 결과를 그림 4에 나타내었다. 제품의 구조가 같을 경우 유동 패턴은 수지와 사출조건에 영향을 받지 않고 유사하게 나타났다.



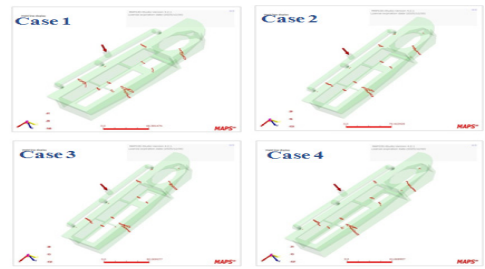
[그림 4] 금형온도에 따른 PP와 ABS 수지의 유동 패턴 비교

3.2.2 웰드라인 해석

웰드라인은 사출성형에서 나타나는 대표적인 불량으로 수지가 캐비티 내에서 핀이나 코어의 주위를 흐르거나 두 개 이상으로 나뉜 흐름이 만나게 될 때 가는 선을 나타내는 현상이다. 일반 사출의 경우 웰드라인은 해결이 불가능하였고, 품질을 현저히 저하시키는 원인이기 때문에 최소화 할 수 있도록 공정변수를 제어하여 최적의 조건을 확립해야 한다. 그림 5는 HD Switch Panel의 웰드라인 해석결과를 나타낸 것으로 성형품의 구조적 영향에 의해 발생하는 것을 나타낸다.



(a) PP

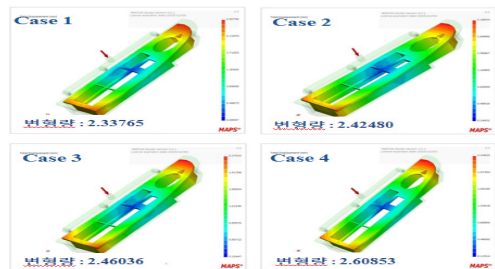


(b) ABS

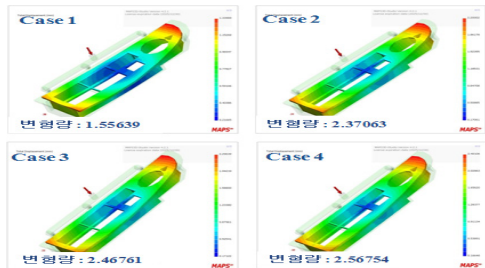
[그림 5] 금형온도에 따른 PP와 ABS 수지의 웰드라인 비교

3.2.3 휨 해석

변형의 원인은 성형품의 각 부위별로 수축이 불균일하게 발생하여 제품을 뒤틀어지게 하는 힘이 생겨 나타나며, 성형품의 강성과 수축 불균일 정도에 따라서 결정된다. 그림 6과 표 5는 성형품의 전체 변형량을 나타낸 것이다.



(a) PP



(b) ABS

[그림 6] 금형온도에 따른 PP와 ABS 수지의 변형량 비교

[표 5] 금형온도에 따른 성형품의 전체 변형량.

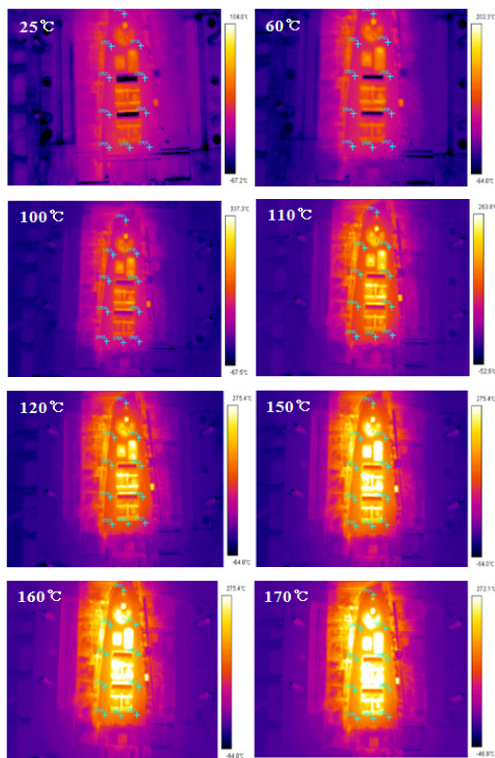
수지	변형량			
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
PP	2.33765	2.42480	2.46036	2.60853
ABS	1.55639	2.37063	2.46761	2.56754

그림 6과 표 5에서와 같이 금형의 온도가 증가 할수록

HD Switch Panel의 구조적 영향에 의해 제품 양쪽 끝단에 수축과 휨이 발생하여 전체 변형량은 증가하는 것을 나타내므로 E-MOLD 금형의 설계 시 제품 양쪽 끝단의 변형을 최소화할 수 있는 냉각 라인의 위치를 선정하여 E-MOLD를 제작하였다.

3.3 금형가열에 따른 온도분포 해석

그림 7은 금형가열 시 E-MOLD 온도조절기에 입력한 설정온도와 열화상촬영기로 측정한 실제 금형온도를 비교한 것이며, 금형온도 편차에 대한 분석 결과는 표 6에 나타내었다.



[그림 7] 금형가열에 따른 E-MOLD 온도분포.

[표 6] 금형가열 설정온도와 실제 금형온도 비교.

설정온도 (°C)	실제온도(°C)			
	최대	최소	평균	표준편차
25	4.2	-12.0	0.3	4.8
60	48.0	20.6	40.5	8.2
100	101.4	60.6	88.6	15.2
110	115.9	71.0	99.8	16.1
120	128.9	74.8	112.1	19.0
150	162.8	111.1	142.1	18.2
160	174.5	120.5	153.8	19.2
170	189	131.7	167.1	20.9

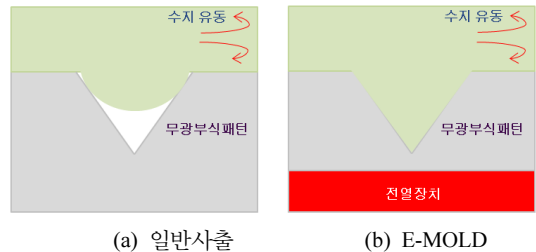
일반사출(PP : 25°C, ABS : 60°C)의 경우 HD Switch Panel의 측정위치에 따라 온도가 불균일하여 설정온도와 실제 금형온도의 차이가 PP : 24.7°C, ABS : 19.5°C를 나타내며, E-MOLD(PP : 100~120°C, ABS : 150~170°C)의 경우 급속가열 초기에는 히터 내부의 열전달 시간(5~10sec) 소모로 인해 PP : 11.4°C, ABS : 7.9°C의 온도차이가 발생하지만 급속가열이 끝나는 시점(10~15sec)에는 안정적인 온도에 도달하여 PP: 7.9°C, ABS : 2.9°C로 설정 온도와 실제 금형온도가 유사한 온도를 나타냈다.

3.4 HD Switch Panel 시제품

HD Switch Panel의 제품평가를 위해 일반사출 방식과 CAE 해석 및 금형온도 분포 해석을 통해 최적화된 성형 조건을 적용한 무도장 및 무표면 결함 사출성형기술(E-MOLD)을 이용하여 제작하였고, 그림 8은 일반사출과 E-MOLD에 따른 무광부식 패턴 내의 수지 충전 시 성형성을 비교한 것이고, 그림 9는 제작된 HD Switch Panel을 나타낸 것이다.

그림 8에서 알 수 있듯이 일반 사출에서는 금형의 온도가 낮으므로 수지가 금형 캐비티 내를 유동하면서 충전할 때 수지와 금형의 온도차이로 인한 급격한 냉각으로 인한 수지의 점도 상승으로 미세 패턴 공간으로의 충전이 어렵게 되는 반면에 그림 8 (a), 전열 장치를 이용한 금형가열방식인 E-MOLD의 경우에는 수지와 금형 온도의 차이가 적으므로 충전시 냉각으로 인한 수지 점도 상승이 거의 없으므로 금형 내의 미세 캐비티 공간까지 충전할 수 있게 된다[그림 8 (b)].

그림 9에서는 충분히 전사되지 않은 일반사출성형품의 경우는 광택 저감 효과가 적어 번듯거림이 남아있지만, E-MOLD의 경우에는 광택이 낮아 반사가 적게 되는 것을 볼 수 있다.



[그림 8] 금형가열방식에 따른 성형성 비교.



(a) PP+MB(3%)



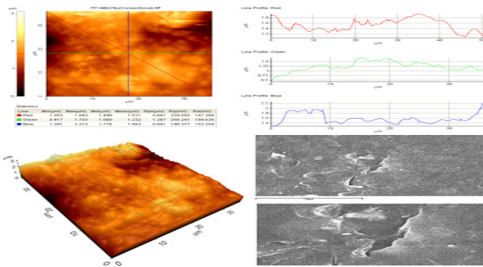
(b) ABS

[그림 9] HD Switch Panel 시제품.

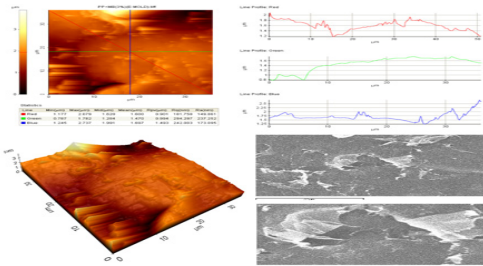
3.5 HD Switch Panel 표면 특성 평가

3.5.1 무광부식 패턴 전사성 평가

그림 10와 11은 PP+MB(3%), ABS로 제작된 성형품의 표면을 원자현미경과 주사전자현미경으로 측정한 이미지를 나타낸 것으로 일반사출 방식과 E-MOLD 방식에 따른 무광부식 패턴의 전사성을 비교하였다. 비교 결과, 표 7에 나타나듯이 E-MOLD 방식으로 성형 시 기존 공정보다 전사성이 향상 되어 무광부식 패턴의 전사율을 개선하였다.

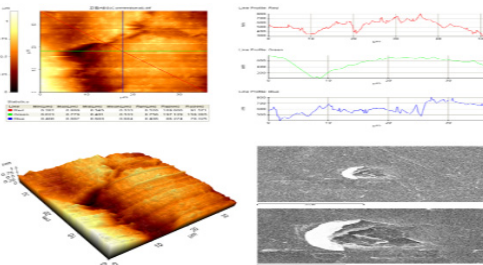


(a) 일반사출

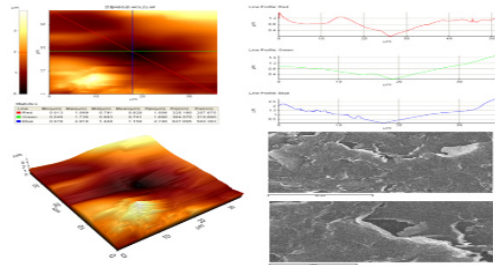


(b) E-MOLD

[그림 10] 금형가열 방식에 따른 무광부식 패턴 전사성 평가 : PP+MB(3%).



(a) 일반사출



(b) E-MOLD

[그림 11] 금형가열방식에 따른 무광부식 패턴 전사성 평가 : ABS.

[표 7] 금형가열방식에 따른 수지별 전사성 비교.

공정방법	PP		ABS	
	높이(μm)	거칠기(μm)	높이(μm)	거칠기(μm)
일반사출	1.973	0.224	0.798	0.131
E-MOLD	2.199	0.239	2.038	0.445

3.5.2 HD Switch Panel 광택도 평가

광택도는 주사광원으로 LED(880nm)를 이용하고, Gloss 60°를 기준으로 하여 측정하였다. 수지와 사출성형 공정에 따른 광택도 측정 결과를 표 6에 나타내었다.

[표 8] 수지와 사출성형 공정에 따른 광택도 측정 결과.

수지	공정방법	1	2	3	4	5	평균
PP+MB(3%)	일반사출	2.6	2.5	2.5	2.6	2.6	2.6
	E-MOLD	1.6	1.5	1.7	1.7	1.6	1.6
ABS	일반사출	7.0	6.7	7.2	7.1	6.7	6.9
	E-MOLD	1.7	1.6	1.8	1.7	1.6	1.7

측정결과 무광부식패턴의 전사율이 향상됨에 따라 무광특성이 향상되어 2.5이상이었던 광택도를 1.5~1.7로 저하시킬 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 무광부식 패턴을 갖는 HD Switch Panel 제작을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 사출성형 Simulation(CAE)을 이용하여 사출성형 공정의 문제점과 변형량을 예측함으로써 웰드라인 및 제품의 변형량은 성형품 구조에 따른 유동 흐름 방향과 사출조건에 영향을 받는 것을 확인하였다.

- 2) 금형표면의 가열온도와 실제 금형온도의 비교함으로써 일반사출의 경우 HD Switch Panel의 측정위치에 따라 온도가 불균일하여 설정 온도와 실제 금형온도의 차이가 나지만, E-MOLD의 경우 급속가열 초기에는 히터내부의 열전달 시간(5~10sec) 소모로 인해 온도차이가 발생되다 급속가열이 끝나는 시점(10~15sec)에는 안정적인 온도에 도달하여 설정온도와 실제 금형온도가 유사한 온도를 나타냄을 확인하였다.
- 3) E-MOLD를 적용하여 자동차 내장부품용 HD Switch Panel을 제작하였고, 전자현미경과 원자현미경을 이용한 표면 평가를 통하여 무광부식 패턴의 전사율 향상(PP : 1.973→2.199, ABS : 0.798→2.038)으로 인한 무광 특성이 향상됨(2.5이상→1.5~1.7)을 확인하였다.

참고문헌

- [1] Yunjong Kim, Dongha Park, Ho Nam, "Recycling status and manufacture activity under EU ELV Directive", *KSAE*, Vol. 3, pp. 1667-1672, 2007.
- [2] 유태욱, "최근 자동차 환경 이슈와 규제 현황", *Rubber Technology*, Vol. 8, No. 2, pp. 101-107, 2007.
- [3] Young-joon Park, Yong Chun, Chun-soo Park, "The application of Injection Molding Analysis in Automotive Development Process", *KSAE*, Vol. 4, pp. 1980-1985, 2006.
- [4] Worlyong Kim, Shi-Ho Lee., "CAE Application in Injection Molding and Its Software", *Polymer Science and Technology*, Vol. 9, pp. 283-292, 1998.
- [5] Dong-Hak Kim., Jae-Won Lee, Tae-Wan Kim, "Effects of Mold Temperature on the Weldline and Dimensional Stability of Injection-molded Parts", *KAIS*, Vol. 4, No. 3, pp. 172-176, 2003.
- [6] Dong-Hak Kim, Ji-Won Ryu, Young-Gon Son, "Fabrication of electrical heating mold core and evaluation of injection-molded parts by various mold heating methods", *KAIS*, Vol. 7, No. 4, pp. 738-742, 2006.
- [7] Y.P. Tsai, A.T. Lee, R.Q. Hsu, "A study on the heating and cooling cycle system via vapor chamber in injection molding process", *ANTEC 2007*, pp. 2524-2527, 2007.

김 동 학(Dong-Hak Kim)

[정회원]



- 1986년 2월 : 서울대학교 화학공학과(공학사)
- 1988년 2월 : KAIST 화학공학과 (공학석사)
- 1993년 8월 : KAIST 화학공학과 (공학박사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 나노화학공학과 교수

<관심분야>

고분자가공, 유변학 및 이동현상

김 영 균(Young-Kyun Kim)

[정회원]



- 2005년 2월 : 순천향대학교 환경공학과(공학사)
- 2009년 2월 : 순천향대학교 나노화학 공학과(공학석사)
- 2004년 12월 ~ 현재 : 순천향대학교 신가공지역혁신센터

<관심분야>

고분자가공, 사출성형

손 영 곤(Young-Gon Son)

[정회원]



- 1988년 2월 : 서울대학교 화학공학과(공학사)
- 1990년 2월 : KAIST 화학공학과 (공학석사)
- 1998년 2월 : 서울대학교 화학공학과 (공학박사)
- 2002년 9월 ~ 현재 : 공주대학교 신소재공학부 교수

<관심분야>

고분자가공, 사출성형, 압출성형 고분자유변학