

사출성형품에서 2차원 첨가제의 배향 및 외관품질에 관한 연구

김세린 · 최태균 · 조한수 · 류민영[†] · 임정섭* · 이상훈*

서울과학기술대학교 대학원 제품설계금형공학과, *삼성전자(주)

(2016년 4월 21일 접수, 2016년 6월 10일 수정, 2016년 6월 25일 채택)

Orientation of Two Dimensional Fillers and Surface Appearance in an Injection Molded Article

Se Lyn Kim, Tae Gyun Choi, Han Su Cho, Min-Young Lyu[†], Jungseop Lim*, and Sanghoon Lee*

Department of Product Design and Manufacturing Engineering, Seoul National University of Science and Technology,
232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 01811, Korea

*Samsung Electronics Co. Ltd, 129 Samsung-ro, Youngtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do 16677, Korea

(Received April 21, 2016; Revised June 10, 2016; Accepted June 25, 2016)

초록: 플라스틱 표면에 금속의 질감(metallic texture)을 부여하기 위해서 표면에 도장이나 코팅을 하는 경우가 많다. 그러나 그러한 공정이 증가되면 생산비용이 증가되므로 사출성형만으로 플라스틱 표면에 금속질감을 부여하는 방법이 필요하다. 그 방법으로 알루미늄조각(aluminum flake)이 첨가된 수지를 사용해 사출 성형하는 방법이 활용된다. 알루미늄 조각은 납작한 판 형상으로 2차원 형상의 첨가제이다. 2차원 형상 첨가제는 섬유같은 단순한 1차원 형상 첨가제와는 다른 복잡한 배향을 보이고 있다. 본 논문에서는 성형해석을 통하여 다양한 형상 즉, 구멍이나 리브 등을 포함하는 사출시편에서 2차원 첨가제의 배향을 분석하고 제품의 표면 질감을 예측하였다. 정상적인 흐름인 경우 제품의 표면영역에서 알루미늄 조각은 흐름에 평행하게 배향하였고 코어영역에서는 흐름에 수직 또는 평행하게 배향하였다. 웰드라인에서는 판상의 알루미늄 조각이 흐름에 수직으로 배향하였고, 리브의 밑면에서는 배향이 불규칙하게 일어나서 흐름자국으로 나타났다. 해석에서 예측한 제품 표면의 질감을 실제 사출성형 실험을 통하여 비교분석하였으며, 실험과 해석이 잘 일치하는 결과를 보였다.

Abstract: Painting and coating impart metallic textures to plastic surfaces but increase manufacturing cost. Therefore, developing a single-step molding method such as injection molding by using plastics containing aluminum (Al) flake (i.e. two-dimensional flat plate) that imparts metallic textures to plastic products is beneficial. Unlike one-dimensional fillers, such as fibers, two-dimensional fillers exhibit complex orientation during molding. In this paper, the orientation of two-dimensional fillers was analyzed, and their surface appearances during the injection molding of various shapes, such as holes, slits and ribs, were predicted. During normal flow, the Al flakes oriented parallel to the flow direction near the skin region of the product, whereas those near the core region and the weldline oriented perpendicular to the flow direction or flow direction. Al flake orientations at the bottom surface of ribs were irregular, causing flow marks. These predicted surface appearances were compared with those of actual injection molded product, and the simulations showed good agreement with the experimental results.

Keywords: injection molding, metallic texture, Al flake, two-dimensional orientation, surface appearance.

서 론

형상을 갖는 제품에서 디자인에 대한 요구사항이 다변화함에 따라 디자인은 인간공학적인 디자인을 거쳐 감성디자인까지 발전되어 왔다. 감성적인 디자인은 눈에 보이는 표면의 상태

및 질감 등에 크게 지배받기 때문에 이를 구현하는 것은 쉽지 않다. 여러 감성디자인 중에서도 플라스틱 제품 외장에 금속이 가지는 고급스러움과 깊이감을 부여하는 금속질감(metallic texture)을 실현시키는 것이 화두가 되고 있으며 이는 표면에 코팅이나 도금 등의 후가공을 통해 실현하고 있다.^{1,2} 그러나 후가공의 추가는 비용과 생산 시간이 증가되고 불량률을 증가시키는 등 제품의 경쟁력을 하락시키는 요인이 되기도 한다. 따라서 추가 공정을 거치지 않고도 한번 성형으

[†]To whom correspondence should be addressed.

E-mail: mylyu@seoultech.ac.kr

©2016 The Polymer Society of Korea. All rights reserved.

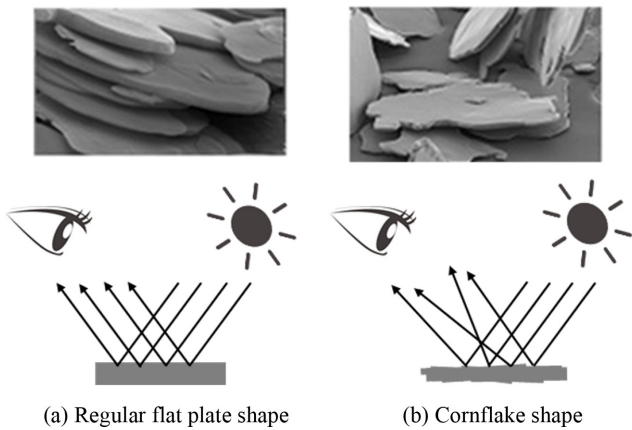
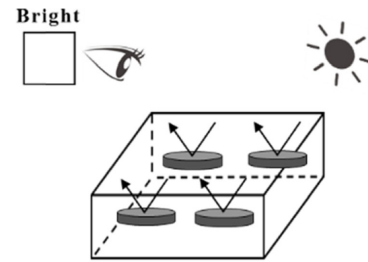


Figure 1. Surface reflection characteristics of light for flake shape of aluminum.

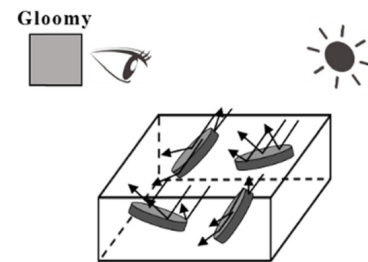
로 제품의 표면에 요구되는 특성을 만족시키는 방법을 연구하는 것이 필요하다.

추가된 공정 없이 제품 표면에 감성적인 요구를 만족시키는 제품을 생산할 수 있는 방법은 금형 및 공정 설계로 구현하는 방법과 재료적인 방법으로 나뉘 볼 수 있다. 이 중에서 재료적인 방법으로 구현하는 방법은 금형이나 공정을 조절하는 방법보다 단순하기 때문에 큰 강점을 가진다. 재료적인 방법의 하나로 금속 분말을 첨가한 플라스틱 수지를 사출성형하는 방법으로 금속질감을 구현하는 방법이 있다. 대표적으로 플라스틱 수지에 알루미늄 조각(aluminum flake)을 첨가한 후 컴파운드(compound)하여 만든 일명 펄(pearl)수지를 사출성형하는 방법이 활용되고 있다.^{3,9} 금속질감을 구현하기 위해 사용되는 알루미늄 조각은 그 형상과 크기 등에 따라 금속질감이 다르게 나타난다. 알루미늄 조각이 Figure 1(a)처럼 편평한 판처럼 균일하고 넓은 면을 가질 경우 표면에서 빛이 정반사되어 금속질감 효과가 우수하다.^{3,4,8} 반면에, Figure 1(b)처럼 불규칙한 표면이 균일하지 못한 면을 가질 경우 표면에서 빛이 난반사되어 금속질감 효과가 약하게 나타난다. 알루미늄 조각의 크기에 따라서도 금속질감의 구현 정도가 달라진다. 알루미늄 조각의 크기가 클수록 웰드라인(weldline)이나 흐름자국(flowline 또는 flowmark)같은 표면 불량은 감소하지만 스파클링(sparkling) 현상이라고 부르는 표면이 반짝거리는 현상이 나타나 금속이 가진 깊이감과 차가운 느낌이 떨어진다. 반대로 알루미늄 조각의 크기가 작아지면 스파클링 현상이 감소하므로 고급스러운 깊이감과 금속의 차가운 느낌이 구현되지만 표면 불량이 선명하게 발생한다는 문제가 있다.^{5,7}

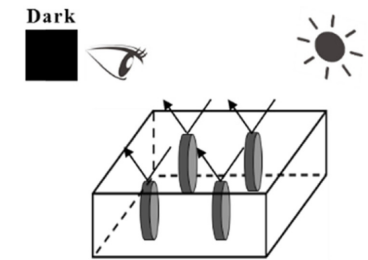
2차원 형상을 가지는 알루미늄 조각의 특징을 Figure 2에 나타내었다. 알루미늄 조각이 Figure 2(a)처럼 성형품 표면에 평행하게 배향되면 표면에서 빛의 반사가 규칙적으로 일어난다. 그러나 Figure 2(b)나 2(c)와 같이 알루미늄 조각이 제품



(a) Orientation of Al flake parallel to product surface



(b) Orientation of Al flake slanting to product surface



(c) Orientation of Al flake perpendicular to product surface

Figure 2. Visual characteristics according to the orientation of Al flake.

표면에 비스듬하게 배향되거나, 모서리로 배향되면 빛의 반사가 줄어들어 어둡게 보인다. 특히 제품에 구멍이나 리브같은 흐름을 방해하는 장애물이 존재할 경우 수지가 장애물을 지나면서 알루미늄 조각 배향의 규칙성이 떨어져 표면불량이 발생하게 된다.^{3,9}

알루미늄 조각은 2차원 형상으로 섬유와 같은 1차원 첨가제와는 다른 복잡한 배향 메커니즘(orientation mechanism)을 가진다.^{3,4,6-8} 그러나 금속질감을 발현하기 위해 알루미늄 조각을 사용하는 것은 최근에서야 시작한 것으로 알루미늄 조각의 배향에 관한 연구는 아직 미진한 상태이다. 알루미늄 조각을 이용하여 원하는 금속질감을 효과적으로 구현하고 미려한 외관(surface appearance)을 얻기 위해서는 알루미늄 조각의 배향 연구가 필요하다.

본 연구에서는 사출성형에서 나타나는 2차원 형상 첨가제의 배향에 대해 연구하였다. 컴퓨터 해석을 통하여 구멍이나 리브 등의 복잡한 형상을 가진 시편에서의 정상흐름영역, 웰

드라인영역, 그리고 흐름자극영역에서 나타나는 2차원 형상 첨가제의 배향을 파악하였다. 또한 실험을 통해 알루미늄 조각 배향에 따른 외관을 관찰하고 해석에서 예측된 결과와 비교하였다.

해석 및 실험

사출성형에서의 배향 모델. 용융된 수지가 캐비티 내를 지날 때 수지는 Figure 3(a)와 같이 분수유동을 하며 흘러간다.^{10,11} 수지가 낮은 온도의 캐비티 벽에 닿으면 벽면의 수지는 먼저 고화가 시작되지만 용융 상태의 코어층은 계속 흐르기 때문에 스킨층과 코어층에 속도 구배가 발생한다. 이러한 스킨층과 코어층의 속도 차이로 인해 Figure 3(b)와 같은 전단변형률 분포를 보인다. 그리고 이에 따라 전단응력 편차가 발생하며 스킨층과 코어층에서의 배향이 다르게 나타나게 된다.

고분자 재료는 분자들이 연속적으로 연결되어 있는 사슬구조이다. 이러한 고분자의 사슬구조로 인해 용융 수지가 흘러가면서 분자 배향을 하게 된다. Figure 3(b)에 나타난 것처럼 전단변형률과 전단응력이 가장 큰 영역이므로 이 스킨층에서는 용융된 수지가 진행하던 방향으로 고분자 사슬들이 배향된다. 코어층으로 갈수록 전단응력이 작아 배향이 적게 형성될 뿐만 아니라 스킨층에 비해 고화가 느리게 진행되기 때문에 배향이 이루어져 풀리게 된다. 또한 분수유동의 효과로 배향이 매우 작고 심지어 흐름의 직각방향으로 배향되는 경향이 있다.^{12,13}

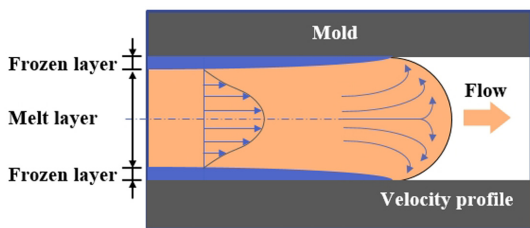
고분자 재료의 강도 보강을 탄소섬유나 유리섬유와 같은

1차원 형상 첨가제를 첨가한다. 이러한 첨가제도 용융된 수지의 흐름에 따라 함께 배향되며 첨가제가 배향된 방향에 따라 사출성형품의 강도가 다르다. 탄소섬유나 유리섬유같은 1차원 형상 첨가제의 배향에 대한 연구는 많이 진행되어 있으며 1차원 형상의 섬유 배향에 관한 실험적 관찰은 많은 논문에서 찾아 볼 수 있다.¹⁴⁻¹⁶ 섬유 배향에 관한 이론적 연구도 역시 많이 진행되었는데 가장 많이 쓰이고 있는 모델은 Folgar와 Tucker III가 제시한 모델이다.¹⁷ Tucker III는 그의 모델을 이용하여 섬유 배향을 예측하였으며 많은 수정된 모델을 제시해왔다.¹⁷⁻²² Kwon 등은 Tucker III의 모델을 수정하면서 새로운 배향 모델들을 제시하였다.²³⁻²⁷ 2차원 판상 형태 첨가제의 배향 및 이에 따라 나타나는 현상에 대한 연구는 근래에 들어와서야 찾아볼 수 있다. 이들은 대부분 성형품의 외관에 관한 연구이며^{5,6} 배향에 따른 빛의 반사에 대한 연구이다.^{3,4,7-9} 2차원 형상의 배향에 관한 이론적 연구 및 배향에 따른 빛의 반사에 대한 연구는 Park이 대표적이다.^{3,4}

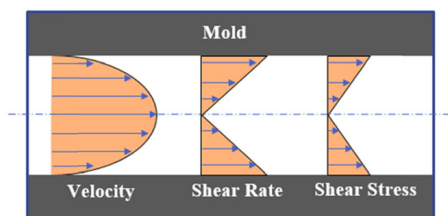
본 연구에서 2차원 판상 첨가제 배향의 이론적 해석은 Core Technology 사의 Moldex 3D 프로그램을 이용하여 수행하였다. 이 상용 프로그램의 이론적 배경은 Park의 연구와 일맥상통하다.^{3,4}

사용재료. 사출 실험에 사용된 수지는 ABS(XR-401, LG Chemical, S. Korea) 수지이다. 여기에 Silberline 사(USA)의 알루미늄 조각(평균 직경 13 μm, 두께 1 μm의 판상형)을 0.5 wt% 첨가하여 필수지를 제조하였다. 필수지의 제조에는 이축 동 회전 스크류 압출기를 사용하였다. Table 1에 수지와 알루미늄 조각의 정보가 나타나 있다.

연구 모델. 알루미늄 조각의 배향과 이에 따른 표면 외관을 관찰하기 위해 제작한 시편 형상을 Figure 4에 나타내었다. 전체 크기는 270×220 mm이며 평균 두께는 1.8 mm이다. 이 시편은 형상에 따른 배향을 파악하기 위한 다양한 형상을 포함하고 있다. 시편의 전면에는 사각 구멍 16개, 원형 구멍



(a) Frozen layer near mold surface and fountain flow near core region



(b) Velocity, shear rate and shear stress profiles

Figure 3. Flow characteristics of molten polymer in a cavity of injection mold.

Table 1. Information of Resin and Al Flake Used in This Study

Base resin	Polymer	ABS
	Supplier	LG Chemical
	Grade	LG ABS XR-401
Al flake	Supplier	Silberline
	Aspect ratio(T/D)	0.08
	Contents (wt%)	0.5
	Poisson's ratio	0.3
	Young's modulus (GPa)	70
	CLTE (1/K) (Coefficient linear thermal expansion)	10 ⁻⁵

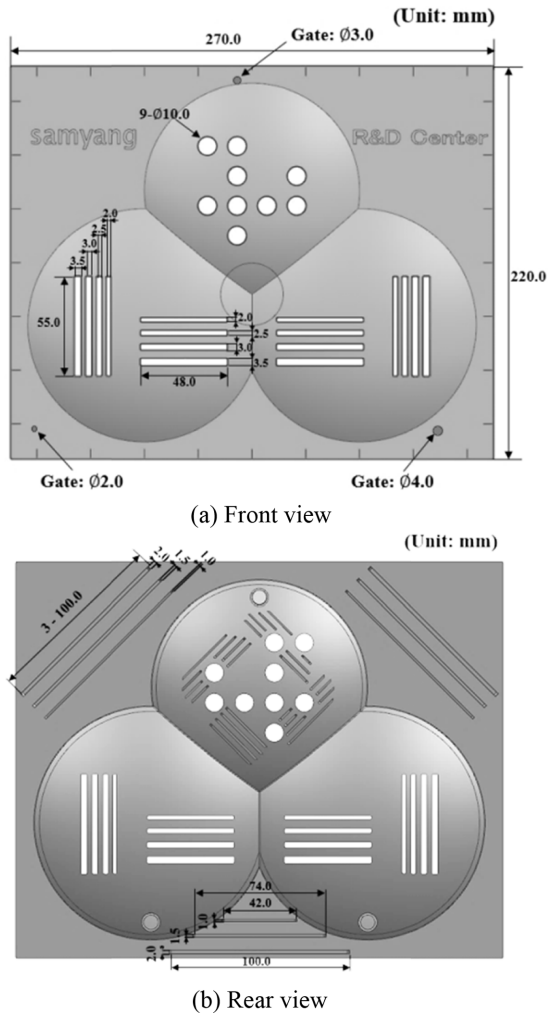


Figure 4. Study model containing holes, slits, and various ribs for the simulation and injection molding of pearl resin.

9개가 존재하며 배면에는 두께와 높이를 달리한 리브들이 존재한다. 펄수지를 사용한 사출성형으로 시편을 제작하여 정상적인 흐름에서의 알루미늄 조각의 배향 뿐만 아니라 웰드 라인 및 흐름자국이 발생한 곳에서 알루미늄 조각의 배향을 파악하였다.

Figure 5에는 해석을 위한 메시 형상을 나타내었다. Figure 5(a)의 모델 전체의 메시는 메시의 크기가 작아 메시지를 구별하기 어려운 그림이다. Figure 5(b)는 모델의 한 단면에서의 BLM(boundary layer mesh)을 보여주고 있다. 2차원 형상 첨가제의 배향을 파악하기 위해서는 해석 모델의 스킨층과 코어층이 잘 구분할 수 있도록 메시지를 형성하는 것이 중요하다. 이를 위해 모델 전체를 솔리드(solid) 형태로 테트라 메시(tetra mesh)나 프리즘 메시(prism mesh)를 이용해 조밀하게 구성하게 되면 메시 수가 너무 많아져 해석 시간이 매우 길어진다. 따라서 본 해석에서는 스킨층은 프리즘 메시지를 사용

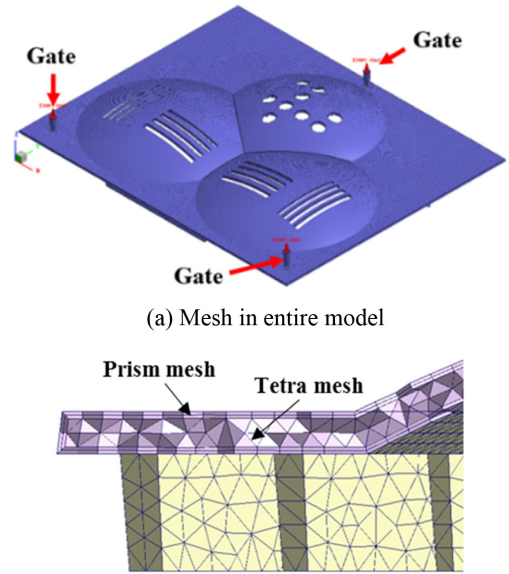


Figure 5. Mesh generation for the simulation of injection molding.

Table 2. Parameters in Modified Cross Model after Curve Fitting

Parameter	Name	Value	Unit
B	Consistency index	0.00131193	[g/cm·sec]
T_0	Temperature sensitivity of material (when $0 < n < 1$)	9916.97	[K]
n	Power-law index, $0 < n < 1$	0.284845	-

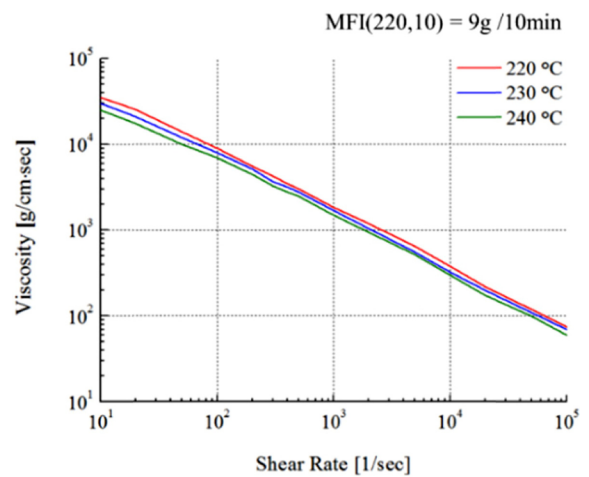


Figure 6. Shear viscosity curve of ABS used in this study.

하여 얇고 조밀하게 메시지를 생성하고, 내부는 테트라 메시지를 이용하여 메시지를 생성하는 BLM 방식으로 메시지를 생성하였다.

본 해석에서는 비뉴턴 점성모델로 식 (1)과 같은 modified

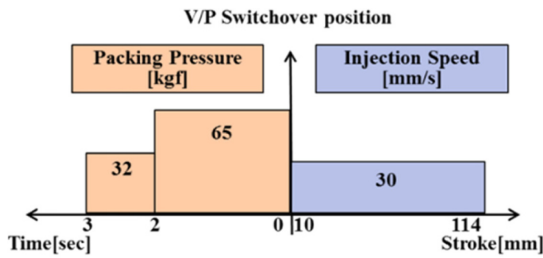


Figure 7. Molding condition for the injection molding of specimen.

cross모델을 사용하였다. η_0 는 제로전단점도(zero shear viscosity), T 는 온도이며, 식 (1)의 파라미터 값이 Table 2에 나타나 있다. Figure 2는 해석에 사용한 ABS에서 보이는 온도와 전단속도에 따른 점도 그래프이다.

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 + (\dot{\gamma} \eta_0)^{1-n}} \quad (1a)$$

$$\eta_0 = B \exp\left(\frac{T_b}{T}\right) \quad (1b)$$

실험. 연구 모델의 사출 성형을 위한 공정조건이 Figure 7에 나타나 있다. 사출기는 우진플라임의 NE170으로 형체력은 170 ton이고, 스크류 직경은 40 mm이다. 사출온도는 240 °C, 금형온도는 60 °C로 설정하였다. 그리고 사출속도는 30 mm/s, 보압은 2단계로 3초 동안 적용하였다.

결과 및 토론

충전패턴. 해석으로 예측된 충전패턴을 Figure 8에 나타내었다. 3개의 서로 다른 게이트로부터 흘러나온 수지가 서로

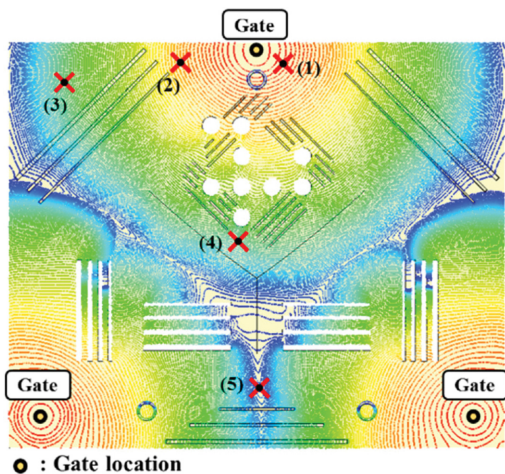


Figure 8. Predicted fill pattern.

만나는 부분에서 웰드라인이 형성되고 있다. Figure 9에서는 전체적인 웰드라인과 구멍이나 리브 부분에서의 웰드라인을 보여주고 있다. 좌우 양측에서 중앙 아래쪽으로 긴 웰드라인이 형성되었고, 시편 아래 중앙 쪽에도 긴 웰드라인이 형성되었다.

(1), (2), (3), (4), 그리고 (5)로 표기된 부분은 알루미늄 조각의 배향을 관찰하기 위한 위치이다.

압력 분포. Figure 10은 압력분포이다. 게이트 주변에서 압력이 가장 높고 게이트에서 멀어질수록 압력이 떨어진다. 또한 Figure 8의 충전패턴과 비교해 보면 수지가 가장 늦게 충전되는 부분에서 압력이 가장 낮은 것을 알 수 있다. 사출성형에서 수지의 흐름은 압력에 의한 흐름이기 때문에 가장 늦게 채워지는 부분에서 압력이 가장 낮다.

온도 분포. Figure 11은 해석으로 예측된 온도분포이다. 가장 늦게까지 수지가 유입되는 게이트에서의 온도가 가장 높게 분포한다. 시편의 좌우 상단 부분에서는 수지가 흐르면서 벽면에서 전단변형률이 크기 때문에 온도 상승이 일어나 온도가 높게 유지되고 있다. 또한 수지가 흐르면서 금형 벽면에서 전단을 받아 유동선단에서도 온도가 다소 높게 분포한

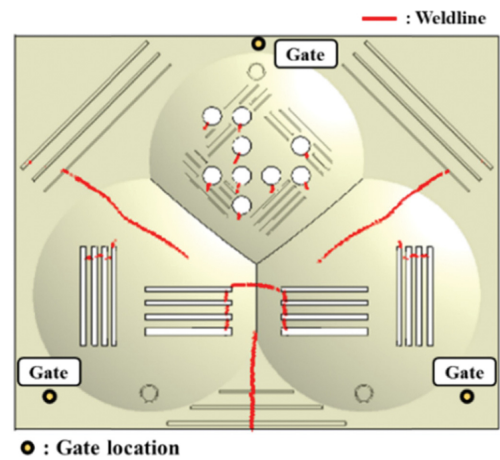


Figure 9. Predicted weldlines through computer simulation.

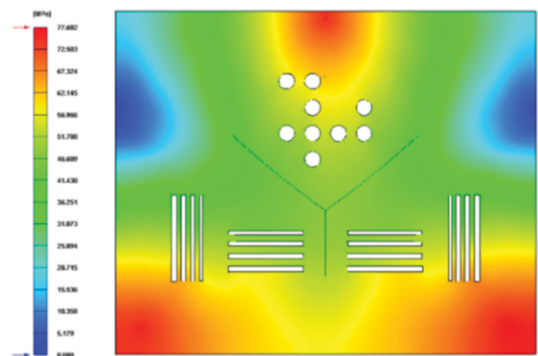


Figure 10. Predicted pressure distribution.

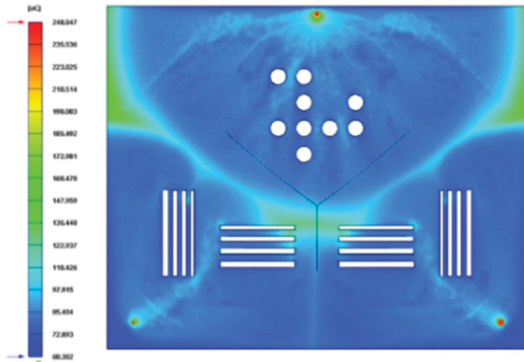


Figure 11. Predicted temperature distribution.

다. 수지가 흘러가면서 금형에 열을 빼앗기기 때문에 대체적으로 늦게 충전되는 부분과 구멍, 리브가 있는 부분에서 온도가 낮게 분포함을 보여주고 있다.

해석과 실험의 외관 비교. Figure 12는 해석 결과의 외관을 보여준다. 이 해석 결과는 알루미늄 조각의 배향에 따른 빛의 반사를 반영한 것이다. 사출성형으로 제작된 시편이 Figure 13에 나타나있다. 시편의 표면에는 구멍, 리브 등 흐름 장애물과 세 개의 게이트를 통해 나오는 수지로 인해 웰드라인과 흐름자국 등의 표면 불량이가 나타나는 것을 볼 수 있다. Figure 8, Figure 9, 그리고 Figure 12에서 예측된 웰드라인 위치는 Figure 13의 실제 사출시편의 웰드라인 위치와 매우 유사하여 해석과 실험이 잘 일치함을 보여주고 있다. Figure 12의 리브 반대면에서 예측된 흐름자국은 Figure 13의 사출시편에서도 확인할 수 있다. 알루미늄 조각이 표면에 평행하게 배향된 곳은 빛이 잘 반사되어 밝게 나타난다. 그러나 알루미늄 조각이 표면에 비스듬하게 배향되면 회색빛으로 어둡게 나타나고 표면에 수직으로 배향하면 검은색으로 어둡게 나타난다. 그래서 리브가 있는 곳은 회색빛으로 어둡

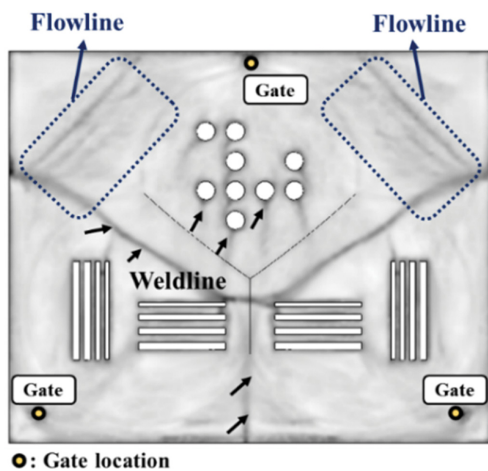
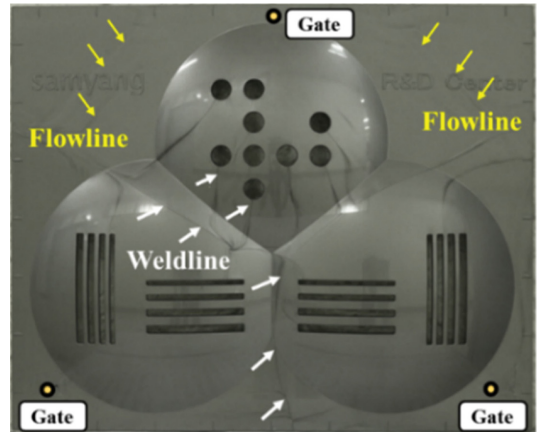
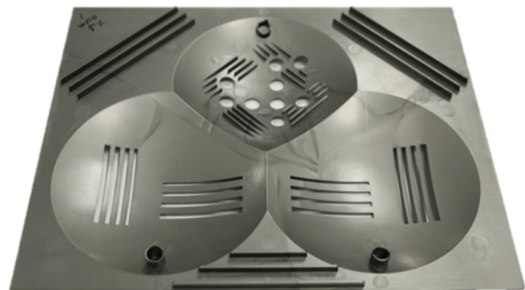


Figure 12. Predicted surface appearance through computer simulation.



(a) Front view



(b) Rear view

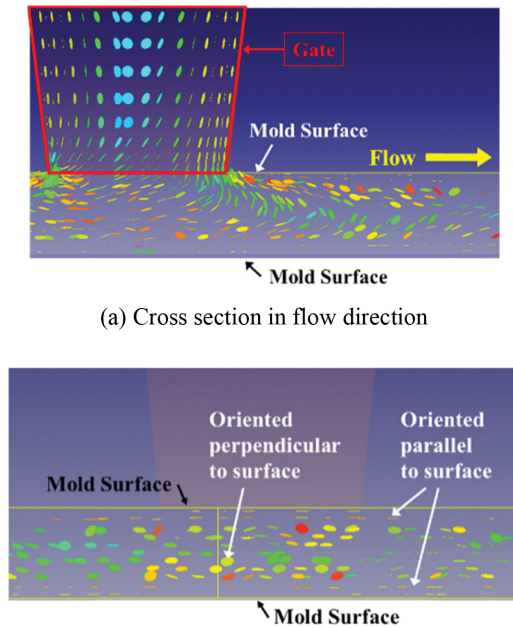
Figure 13. Surface appearance of injection molded specimen showing weldlines and flow marks.

게 나타났고 웰드라인이 있는 곳은 검은색으로 더 어둡게 나타났다. 사출성형품과 해석결과를 비교해보면 수지가 구멍을 지나거나 또는 서로 다른 게이트에서 흘러나온 수지가 만나서 발생하는 웰드라인 위치가 유사하다. 그리고 리브를 지나면서 발생하는 흐름자국의 위치와 형태가 해석과 실험에서 매우 유사하게 나타나고 있다.

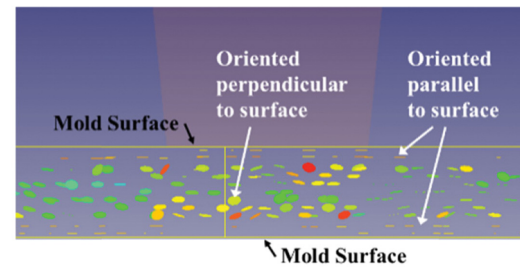
알루미늄 조각의 배향. 알루미늄 조각의 배향은 수지가 흘러가는 패턴과 관계가 깊다. 따라서 시편에서 흐름 패턴이 다른 5곳에서의 첨가제의 배향을 살펴보았다. Figure 8에 표기된 (1), (2), (3), (4), 그리고 (5) 부분에서의 알루미늄 조각의 배향 결과는 다음과 같다.

(1)번 위치: 게이트 부근

게이트 부근에서 흐름방향과 흐름직각방향으로 절단한 면에서 알루미늄 조각의 배향을 관찰하였다. Figure 14(a)는 흐름방향으로 절단한 면에서 알루미늄 조각의 배향으로 코어층의 알루미늄 조각들은 표면에 수직하게, 스킨층으로 갈수록 표면과 평행하게 배향되고 있다. Figure 14(b)는 흐름직각방향으로 절단한 면에서 관찰한 알루미늄 조각의 배향이다. 마찬가지로 코어층에서는 표면에 수직하게 배향되고 스킨층으



(a) Cross section in flow direction



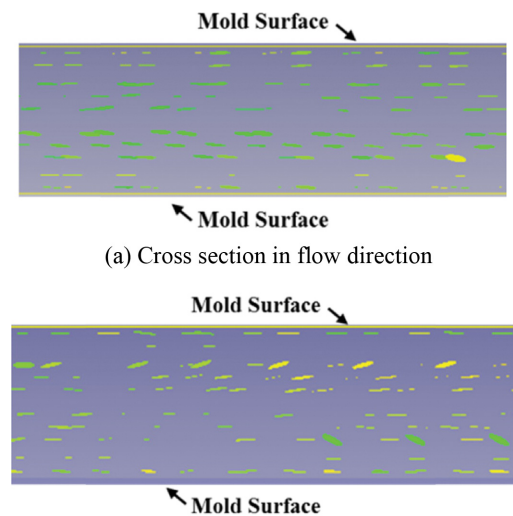
(b) Cross section in the perpendicular direction to flow

Figure 14. Al flake orientation near gate region.

로 갈수록 표면에 평행하게 배향되고 있음을 알 수 있다.

(2)번 위치: 게이트에서 먼 곳으로 흐름이 안정된 곳

(2)번 위치는 게이트에서 약 40 mm 떨어진 곳으로 흐름이 매우 안정된 위치라고 판단된다. 안정된 흐름 상태에서의 배향을 관찰한 결과가 Figure 15에 나타나 있다. 표면 층이나 코어 층에서 알루미늄 조각이 표면에 평행하게 흐름방향으로 배향하고 표면은 깨끗하고 미려하다(Figure 2(a)). 2차원 형상



(a) Cross section in flow direction

(b) Cross section in perpendicular direction to flow

Figure 15. Al flake orientation in the region far away from gate.

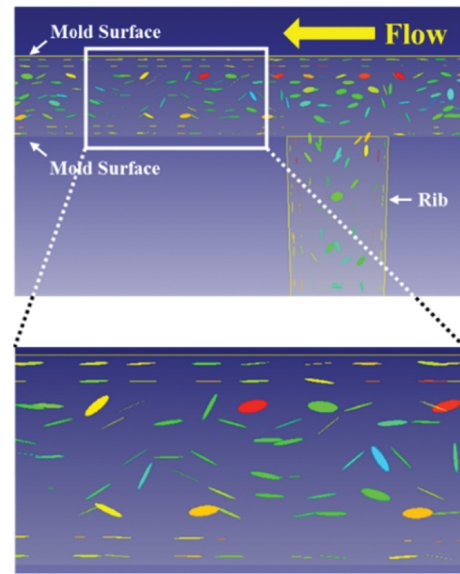


Figure 16. Al flake orientation near rib showing flow mark.

의 알루미늄 조각이 코어층에서도 표면에 나란하게 배향하는 것은 흐름의 저항이 적은 상태로 배향되려는 특성 때문이라고 판단된다. 이는 분자배향이나 유리섬유의 배향과 다른 현상이다.

(3)번 위치: 리브 근처의 흐름자국이 형성된 곳

수지가 리브를 지나면 두께의 편차로 인해 정상적인 흐름이 변하게 된다. Figure 16은 리브를 지나면서 형성된 흐름자국에서 알루미늄 조각의 배향을 보여주고 있다. 용융된 수지가 리브를 지나며 리브 두께로 수지가 유입되면서 알루미늄 조각이 급격히 세워지게 된다. 이렇게 배향이 급격하게 변화하면 리브를 지난 후에도 알루미늄 조각의 배향은 안정된 흐름이 있는 곳과는 다른 배향을 보인다. 즉 대부분의 알루미늄 조각들이 리브를 지난 후에도 그림에서와 같이 표면과 평행하지 않고 비스듬하게 존재하게 된다. 이러한 이유 때문에 수지가 리브를 지난 후에도 넓은 면적에 걸쳐 흐름자국이 발생하게 된다(Figure 2(b)).

(4)번 위치: 구멍 주변의 웰드라인 부근

구멍 주변에서 수지가 Figure 17과 같이 흐르면서 흐름이 나뉘었다가 만나게 된다. 나뉘었던 수지가 만나면 웰드라인을 형성하게 된다. 웰드라인에서 알루미늄 조각의 배향을 Figure 18에 나타내었다. 웰드라인 영역에서 알루미늄 조각은 스킨층과 코어층 모두에서 표면에 수직으로 세워지는 것을 볼 수 있다. 이는 전형적으로 사출 성형의 웰드라인에서 보이는 분자나 섬유의 배향과 같다. 이러한 배향 때문에 제품 표면에서 알루미늄 조각의 모서리가 반사되어 웰드라인에서는 검게 나타나게 된다(Figure 2(c)).

(5)번 위치: 다른 이력의 흐름에 의한 웰드라인 부근

본 실험의 시편에는 3개의 게이트를 사용하였다. 따라서 각

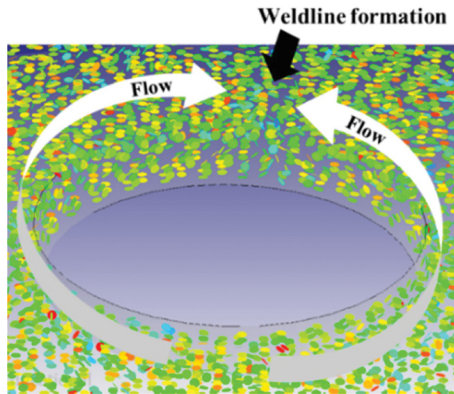


Figure 17. Flow of Al flake near hole showing weldline.

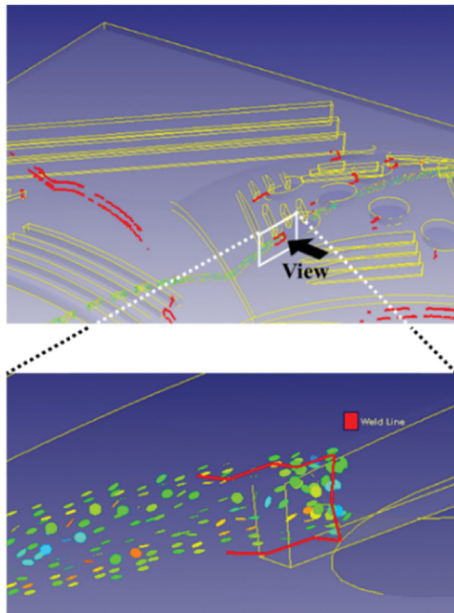


Figure 18. Al flake orientation near hole after flows meet.

각의 게이트에서 흘러나온 수지가 만나는 부분이 존재하게 된다. 이 부분에서 Figure 8의 위치(5)와 같이 웰드라인이 형성된다. 이는 구멍 주위에서 발생한 웰드라인에서 보이는 배향과 유사하다. Figure 8의 위치(5) 부분의 위쪽에서 관찰한 알루미늄 조각의 배향이 Figure 19에 나타나 있다. 스킨층과 코어층의 알루미늄 조각이 모두 표면에 수직하게 배향하고 있다. 이러한 배향 때문에 웰드라인에서는 검은 선이 나타난다.

결 론

본 연구에서는 알루미늄 조각을 포함한 수지의 사출성형에서 나타나는 2차원 형상첨가제의 배향과 외관에 대해 해석과 실험을 통해 관찰하였다. 사출성형 해석을 통해 평탄부에서 뿐만 아니라 다양한 형상을 지날 때의 알루미늄 조각의 배향

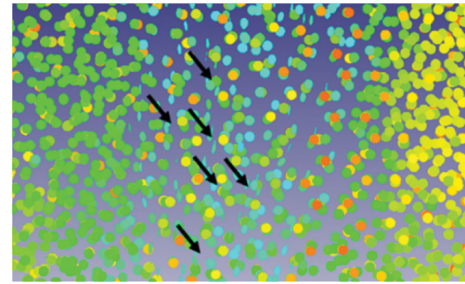


Figure 19. Topview of Al flake orientation near weldline after two flows meet.

을 관찰하였다. 또한 해석 결과로 나타난 외관과 실제 사출성형품의 외관을 비교하였다. 사출성형 해석으로 나타난 알루미늄 조각은 게이트 부근의 스킨층에서는 표면과 평행하게 배향하였고 코어층에서는 표면에 수직하게 배향되었다. 게이트에서 먼 영역, 즉 흐름이 완전히 안정된 영역에서는 스킨층과 코어층에서 모두 표면에 평행하게 배향되었다. 웰드라인 부에서는 스킨층과 코어층에서 모두 표면에 수직하게 배향되었다. 해석과 실험으로 나타난 외관을 비교한 결과 웰드라인의 위치가 일치하였고 리브로 인해 발생하는 흐름자극의 위치 및 경향도 서로 매우 유사함을 볼 수 있었다.

실험과 해석에서 외관이 유사하므로 해석으로 예측한 다양한 곳에서의 알루미늄 조각의 배향이 적절하게 예측되었다고 판단된다.

감사의 글: 본 논문은 산업통상자원부 산업핵심기술개발사업으로 지원된 연구결과입니다(10051680, 3D 프린팅용 친환경 고강도 고분자 소재 개발).

참 고 문 헌

1. K. Topp, H. Haase, C. Degen, G. Illing, and B. Mahltig, *J. Coat. Technol. Res.*, **11**, 943 (2014).
2. B. D. Pell, E. Sulic, W. S. T. Rowe, K. Ghorbani, and S. John, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, **59**, 434 (2011).
3. J. M. Park, S. J. Jeong, and S. J. Park, *Polym. Compos.*, **32**, 1297 (2011).
4. J. M. Park, S. J. Jeong, and S. J. Park, *J. Manuf. Sci. Eng.*, **134**, 014501-1 (2012).
5. E. Ringan and R. Schoppe, *ANTEC*, **1**, 127 (2006).
6. R. Schoppe, *ANTEC*, **1**, 313 (2012).
7. I. O. Santos, A. J. Pontes, and C. I. Martins, *ANTEC*, **3**, 1944 (2013).
8. Y. Kobayashi, G. Teramoto, and T. Kanai, *Polym. Eng. Sci.*, **51**, 526 (2011).
9. K. W. Rawson, Peter. S. Allan, and M. J. Bevis, *Polym. Eng. Sci.*, **39**, 177 (1999).
10. M. G. H. M. Baltussen, M.A. Hulsen, and G. W. M. Peters, *J.*

- Non-Newton. Fluid Mech.*, **165**, 631 (2010).
11. M. R. Kamal, S. K. Goyal, and E. Chu, *AIChE J.*, **34**, 94 (1988).
 12. J. Fang, Wesley R. Burghardt, and Robert A. Bubeck, *Polym. Eng. Sci.*, **52**, 774 (2012).
 13. Z. Tadmor, *J. Appl. Polym. Sci.*, **18**, 1753 (1974).
 14. J. B. Ryu and M.-Y. Lyu, *Intern. Polym. Process.*, **24**, 389 (2014).
 15. S. Fellahi, A. Meddad, B. Fisa, and B. D. Favis, *Adv. Polymer Tech.*, **14**, 169 (1995).
 16. R. A. Sousa, R. L. Reis, A. M. Cunha, and M. J. Bevis, *Plast. Rub. Compos.*, **33**, 249 (2004).
 17. F. Folgar and C. L. Tucker III, *J. Reinf. Plast. Compos.*, **3**, 98 (1984).
 18. S. G. Advani and C. L. Tucker III, *J. Rheology*, **31**, 751 (1987).
 19. J. Wang, C. L. Tucker III, and J. F. O'Gara, *J. Rheology*, **52**, 1179 (2008).
 20. J. H. Phelps and C. L. Tucker III, *J. Non-Newton. Fluid Mech.*, **156**, 165 (2009).
 21. D. H. Chung and T. H. Kwon, *J. Non-Newton. Fluid Mech.*, **107**, 67 (2002).
 22. B. E. VerWeyst and C. L. Tucker III, *Can. J. Chem. Eng.*, **80**, 1093 (2002).
 23. D. H. Chung and T. H. Kwon, *Polym. Compos.*, **22**, 636 (2001).
 24. D. H. Chung and T. H. Kwon, *J. Rheology*, **46**, 169 (2002).
 25. J. M. Park and T.H. Kwon, *Polym. Compos.*, **32**, 427 (2011).
 26. H. M. Hyun, M.S. thesis, University of Illinois, USA, (2001).
 27. M. Sepehr, G. Ausias, and P. J. Carreau, *J. Non-Newton. Fluid Mech.*, **123**, 19 (2004).