

자동차부품용 알루미늄인서트 사출성형공정 구현에 관한 연구

노태정[#], 김경수^{*}

A Study on Implementation of Al-Inserted Plastic Injection Molding Process for Automobile Interior-Parts

Tae-Jung Lho[#] and Kyung-Soo Kim^{*}

ABSTRACT

Generally a plastic injection molding is a manufacturing process used to produce the various parts of complicated shape at low cost. The objective of this study is to implement a new plastic injection molding process with inserted Aluminum sheet, which is highly durable, light and luminous. Moldflow analysis and simulation of plastic injection molding process with inserted Aluminum sheet were carried out in order to predict optimal molding operation conditions. The experimental results in the Al-inserted plastic injection molding process were compared with the simulation results by Moldflow. Durability and reliability test results for trial products were satisfied to adopt the Al-inserted plastic injection molding process developed as manufacturing of automobile interior parts.

Key Words : Al-inserted plastic injection molding (알루미늄인서트 플라스틱사출성형), Moldflow (몰드플로우), Gate (게이트), Fill time (충진시간), Weld line (웰드라인)

1. 서론

오늘날의 자동차 산업은 세계적으로 차량의 품질이나 성능 면에서 상향 평준화를 이루어가고 있는 추세이며, 국내의 자동차 산업의 해외 경쟁력을 확보하기 위해서는 기술 및 부품의 국산화, 특히 부품 제조 공정의 획기적인 변화가 있어야 할 것이다. 알루미늄인서트(Aluminum-insert, Al-insert) 플라스틱 사출성형(plastic injection molding)은 이러한 추세에 적합한 공정 중의 하나이다.

알루미늄은 내구성이 뛰어나면서도 가볍고, 소재의 특성상 발광을 부각시키는 디자인이 가능하기에 광택을 이용한 고급스러운 느낌을 최대한 이끌어 낼 수 있으며, 또한 수요층이 원하는 외양과 이미지를 창출할 수 있는 동시에 뛰어난 내구성에 의해 쉽게 파손되지 않기 때문에 안정성이 뛰어난 자동차 내장재 부품에 적합한 소재라고 할 수 있다. 따라서 알루미늄인서트 사출성형이란 플라스틱 수지로 성형되는 제품의 외형에 맞도록 알루미늄 시트(Al-sheet)를 프레스 블랭킹(blanking)과 프

접수일: 2007년 7월 30일; 게재승인일: 2008년 2월 13일

[#] 교신저자: 동명대학교 메카트로닉스공학과

E-mail: tjlho@tu.ac.kr Tel. (051) 629-3700

^{*} 동명대학교 메카트로닉스공학과

레스 포밍(forming) 공정을 통해 형상화하여 접착제를 도포(bonding)한 후에 플라스틱 수지로 제작되는 부분과 일체화되어 일반적인 플라스틱 사출제품과는 달리 외부가 알루미늄으로 성형되는 제품을 생산하는 공정으로서 상당한 수요를 기대할 수 있는 공법이라 할 수 있겠다.

본 연구에 앞서 Lho¹는 자동차 내장재 제작에 알루미늄인서트 사출성형 공법의 적용을 시험하기 위하여 기어커버를 대상으로 역설계로 모델링하고 Moldflow를 통한 플라스틱 사출성형 해석을 수행하였으며, 또한 Kim and Lho²는 재떨이덮개를 대상으로 역설계로 모델링하여 Moldflow를 플라스틱 수지의 수축 및 온도 분포에 대하여만 간단하게 해석을 수행하고 시제품을 제작하여 외관상으로만 그 가능성을 판단하였다.

그리고 본 연구에서는 자동차 내장부품인 재떨이덮개를 역설계로 모델링하고, Moldflow를 통한 플라스틱수지의 거동에 대한 전반적인 해석으로 품질이 떨어지거나 제작에 있어 발생하는 이상의 여부에 대한 확인을 하고 지속적인 공정개선을 통해 실패 및 시행착오에 대한 손실을 줄이고 양질의 시제품을 확보하고자 하였으며, 특히 최종적으로 완성된 시제품의 내구성 시험을 통해 뛰어난 외양과 내구성을 가진 높은 품질의 시제품을 개발하여 자동차 내장재 제작에 알루미늄인서트 사출성형 공법을 적용코자 하였다.

2. Moldflow 이용한 사출성형 해석

알루미늄인서트 사출성형 제품의 연구를 위해서는 알루미늄인서트 사출성형 모델이 정확히 표현되어야 하므로 제작된 사출성형 제품인 재떨이덮개를 대상으로 3차원 이동형 광학식 스캐너(장비명: Comet4)를 이용하여 역설계 모델링 데이터를 획득하였다.

Fig. 1은 3D 스캐너를 활용하여 획득되어진 재떨이 덮개의 모델링 결과를 나타낸 것으로서 알루미늄인서트 사출성형 제품의 구조를 쉽게 알 수 있도록 플라스틱 수지와 알루미늄시트 부분을 구분하였다. 상부는 플라스틱 수지로 성형되는 부분이며, 하부는 그 위에 플라스틱 수지가 성형될 수 있도록 프레스 블랭킹 및 포밍 공정에 의해 제작된 알루미늄 시트이다. 이렇게 알루미늄 시트와 플라스틱 수지가 일체화 되어 성형되는 것이 알루미

늄인서트 사출성형이다.

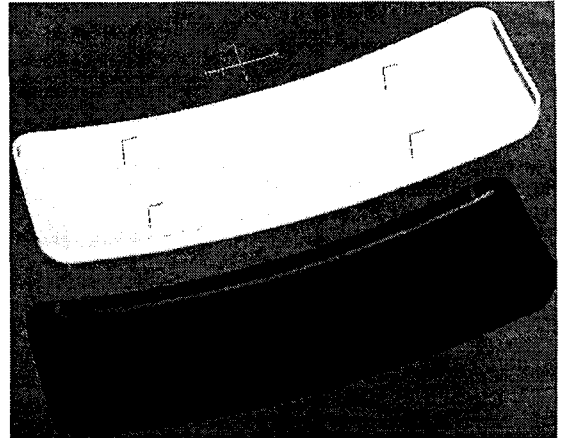


Fig. 1 Modeling result of part by 3D scanner²

Fig. 2는 알루미늄인서트 사출성형 공정을 통해 성형된 제품을 시뮬레이션하기 위하여 역설계를 통해 획득한 모델링 데이터를 메쉬로 형성한 것으로서 한쪽면에 금형 대신 금형에 부착된 알루미늄 시트(접착제 도포)로 구성된 캐비티에서의 플라스틱 수지의 거동은 거의 동일하므로 실제 제품의 바깥면을 형성하는 포밍된 알루미늄 시트 부분은 고려되지 않았으며, 이 모델 하부의 금형에 장착된 알루미늄 시트와 상부의 금형 속에 플라스틱 수지로 구성되어 두께 방향의 유동이 고려되어 Moldflow로서 플라스틱 수지의 3차원 유동을 해석할 수 있도록 하였다.

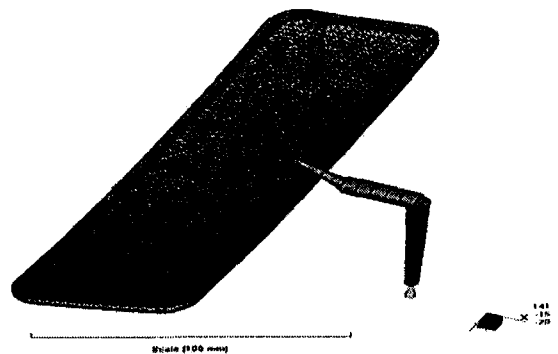


Fig. 2 3D model for Moldflow analysis

플라스틱 수지는 한 군데의 게이트(gate)를 통해서 사출금형으로 들어가도록 설정하였으며, 재

떨이 덮개의 경우는 형상의 단순함으로 인해 게이트를 중간에 한 곳만 두더라도 충전에 문제가 없으며 제품의 전체적인 균일성을 높일 수가 있었다.

본 연구에서는 충전시간(fill time), 클램프력(clamp force), 응고시간(time-to-freeze), 응고층(frozen layer fraction), 싱크계수(sink index), 유동온도(temperature-at-flow), 체적 수축률(volumetric shrinkage), 기포생성(air trap), 웰드라인(weld line) 등 사출성형의 다양한 기능을 시뮬레이션하고, 사용되는 사출 성형기의 최적의 작업조건을 도출하기 위하여 Moldflow를 사용하였으며, 실제 재떨이 덮개의 재료인 LG-XR 404 플라스틱 수지를 채택하였다.³⁻⁷

Fig. 3은 제품의 충전 시간을 나타내고 있으며, 게이트 입구의 위치가 중앙이므로 폭이 좁은 쪽이 먼저 충전이 된 후 길이 방향으로 충전된다. 제품 전체에 대해 균일한 충전이 완료되는 것을 확인할 수 있으며 약 4.23초 정도의 시간이 소요된다.

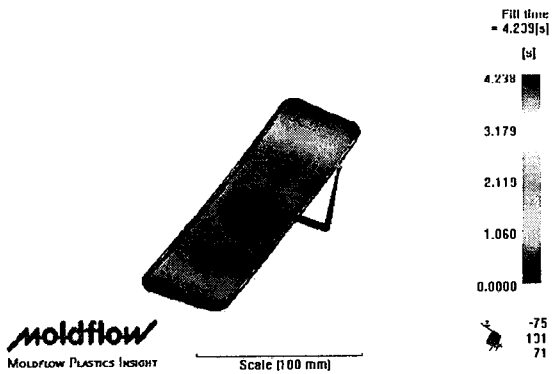
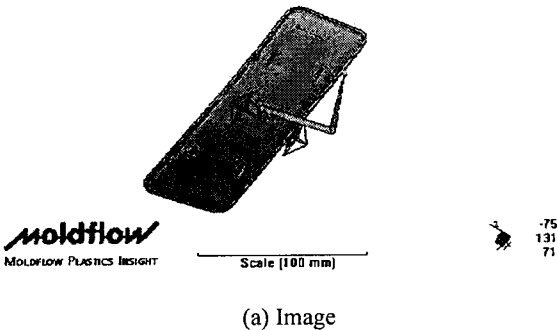
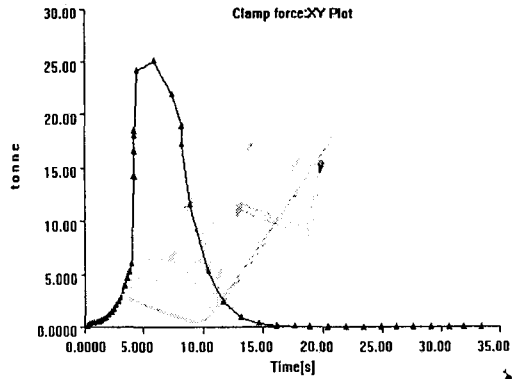


Fig. 3 Simulation result for fill time



(a) Image



(b) Graph

Fig. 4 Simulation result for clamp force

Fig. 4에서 보는 바와 같이 플라스틱 수지가 사출 성형되는 동안 캐비티 내부에서 발생하는 압력에 의하여 금형을 밀어내려는 클램프력은 길이 방향보다 먼저 충전이 완료되는 폭 방향의 양쪽으로 발생하는 것을 확인할 수 있으며, 그 힘은 충전이 완료되는 시점인 4.23초에서도 더욱 크게 증가하며 약 10초 정도의 시간 동안 다시 급격히 감소하여 충전 완료 시간의 약 3배 이상의 시간인 15초 정도의 시간이 경과되어야 완전히 소멸되는 것을 그래프를 통해 확인할 수 있다.

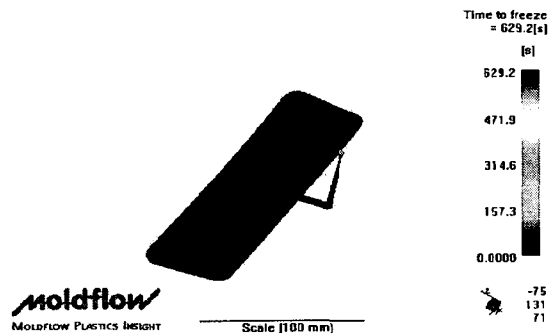


Fig. 5 Simulation result for time-to-freeze

Fig. 5에서 보는 바와 같이 사출성형 제품의 충전이 완료된 시점부터 제품을 취출(ejection) 가능한 온도까지 냉각되는데 필요한 응고시간은 거의 '0'의 값으로 나타나며, 즉 본 재떨이 덮개는 충전 완료되는 즉시 전체적인 부분이 취출 가능하다는 것을 확인할 수 있다. 통상적으로 크기가 작고 형체가 균일한 제품은 이러한 결과가 대부분이며 알

루미늄인서트 공정으로 제작된 본 제품도 그와 같은 결과를 보인다.

Fig. 6의 응고층은 시간 경과에 따른 제품의 두께 방향의 고화 정도를 나타내는 것으로서, 응고층은 사출성형의 가장 큰 문제점이라 할 수 있는 유동정체에 의한 성형 여부를 판단하는 기준이 될 수 있으며 본 재질이 덮개의 경우는 그림과 같이 균일하게 제품 전체 부위가 '1'의 값으로 안정되게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

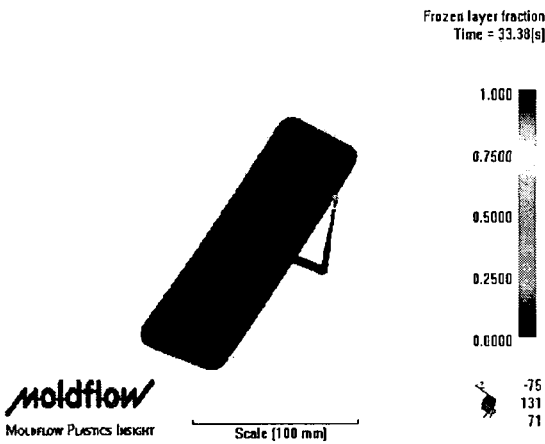


Fig. 6 Simulation result for frozen layer fraction

Fig. 7의 싱크계수는 제품의 특정 부분의 내부 캐비티 압력이 모두 사라진 경우에도 고화가 완료되지 않은 수지의 양을 %로 나타낸 것으로서, 바깥 부분은 모두 - 값을 가지며 게이트의 주변 부위만이 '0'을 약간 상회하는 수치로서 이러한 경우 실제 제품 성형에서의 문제점은 우려되지 않는 정도이다.

Fig. 8의 유동온도(temperature-at-flow)는 제품의 충전이 완료되기까지 수지의 온도를 나타내고 있다. 주입시의 온도는 약 240℃ 정도에서 충전 완료 지점인 외곽 부위에서는 약 200℃ 정도로 온도가 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 본 사출성형 해석에서의 온도조건은 실제 사출 성형기에서의 작업조건과 동일하게 250℃의 주입 온도를 설정하였으나 금형의 초기 온도는 상온으로 설정되어 있으므로 그림에서의 결과와 같이 주입과 동시에 온도가 약간 떨어지므로 최초 주입이 시작되는 게이트 입구 부분은 240℃의 온도를 가지고 충진을 시작하게 됨을 알 수 있다.

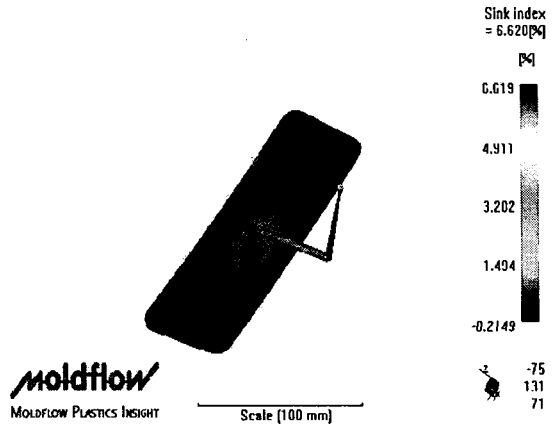


Fig. 7 Simulation result for sink index

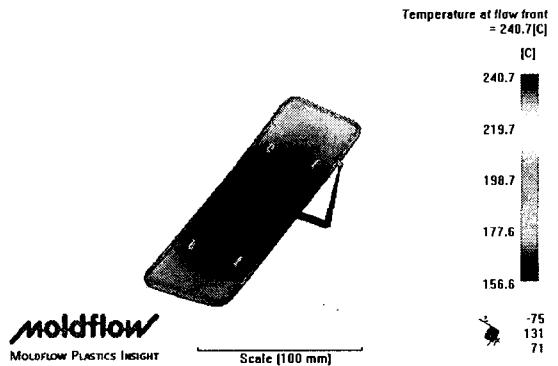


Fig. 8 Simulation result for temperature-at-flow²

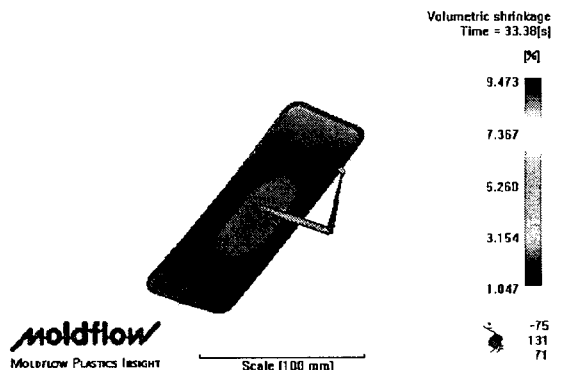


Fig. 9 Simulation result for volumetric shrinkage²

Fig. 9는 사출성형 제품의 체적 수축률을 나타내는 것으로서 본 제품은 전체적으로 미세한 수축의 수치를 가지며 이러한 부분은 제품설계, 금형설계 또는 공정조건 등의 개선을 통한 최적을 찾

기 위한 보완이 필요하다.

Fig. 10은 사출성형 시 발생하는 기포생성을 나타낸다. 대체적으로 제품의 최외곽 부위에 미세하게 생성이 되며 이는 실제 성형시 크게 우려할 정도는 아니지만, 외관의 완성도를 떨어뜨릴 수 있으므로 가능한 최적을 찾는 개선이 필요하다.

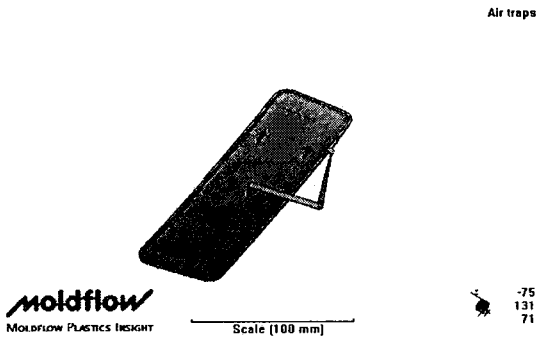


Fig. 10 Simulation result for air trap

Fig. 11은 미성형, 기포생성과 더불어 사출성형 시 가장 우선적으로 고려되어야 할 웰드라인을 나타내고 있다. 본 제품의 경우 형상이 단순하며 게이트를 한 곳만을 가지고 수지가 주입되므로 상기와 같이 웰드라인은 우려되지 않는다.⁸⁻¹³

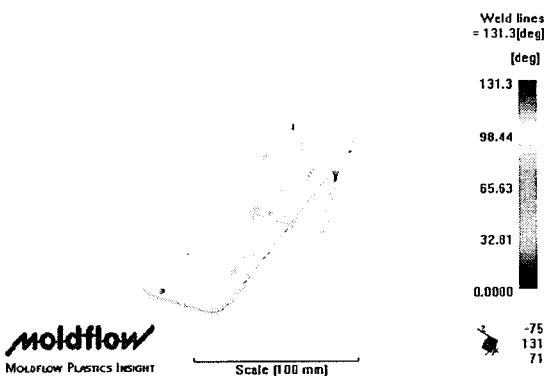


Fig. 11 Simulation result for weld line

3. 금형 설계 및 시제품 제작

앞에서 해석한 재질이 텃개를 알루미늄 인서트 사출성형 공정을 통하여 시제품을 제작을 진행하였다. 알루미늄 시트를 프레스 블랭킹 및 포밍 공정으로 재질이 텃개의 외관형상을 우선 제작한 후,

접착제를 도포하고 포밍된 알루미늄 시트와 사출 금형 내에서 한 번의 알루미늄인서트 사출성형 공정으로서 일체형의 원하는 시제품을 제작하고자 한다.

Fig. 12와 Fig. 13은 각 공정에서 실제 사용된 프레스 블랭킹과 포밍을 위한 제작된 금형을 나타내고 있다. 알루미늄 시트를 1차 프레스 블랭킹하여 크기를 설정하고 2차 포밍하여 형상을 마무리한다.

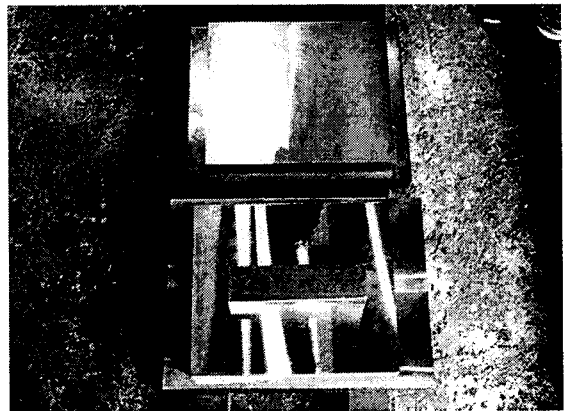


Fig. 12 Mold for press blanking

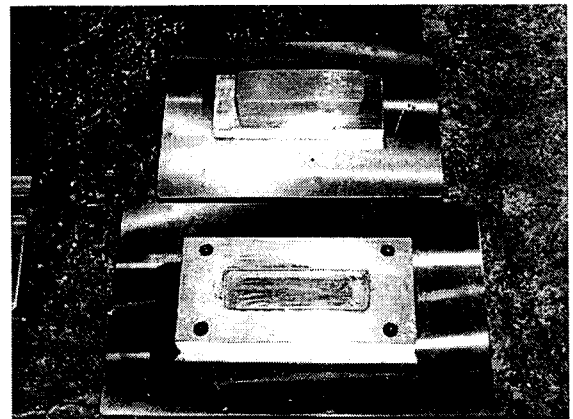
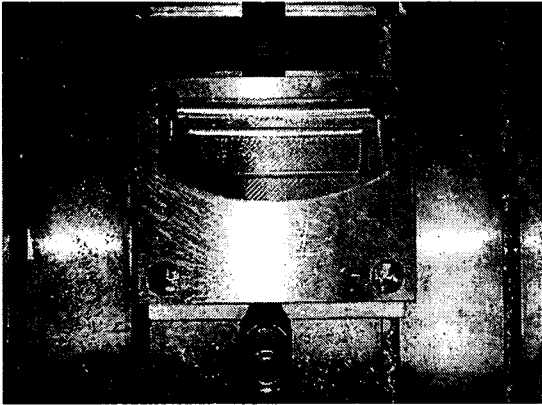


Fig. 13 Mold for press forming

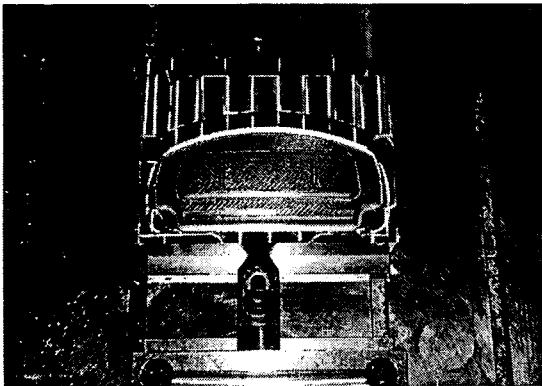
두 공정이 완료되어 생성된 알루미늄 시트 내부를 이물질이 없는 상태로 세척하여 수지와 부착될 부위에 접착제를 도포한다. 이후 사출성형 금형 내부에 상기 알루미늄 시트를 안착시킨 뒤 수평형 사출성형기를 통하여 수지를 사출성형을 하면 미리 도포된 접착제가 금형 내의 고온에 의해

용용되어 최종적인 알루미늄인서트 사출성형 제품이 제작되는 것이다.

Fig. 14 (a), (b)는 사출성형에 활용되어진 두 금형을 보여주며, 이 두 금형이 합형되어진 전체 금형 내부에서 알루미늄 시트와 플라스틱 수지를 이용한 알루미늄인서트 제품이 최종적으로 제작을 완료하게 된다.



(a) Front surface



(b) Back surface

Fig. 14 Mold for Al-insert plastic injection

Fig. 15는 본 연구를 통한 알루미늄인서트 시제품 제작에서 사용된 수평사출 방식 사출성형기의 전반적인 외관을 나타내고 있다.

Fig. 16은 사출성형 제품의 외관을 형성하게 될 포밍된 알루미늄 시트를 수평사출 방식 사출성형기의 금형 내부에 안착시킨 것으로서 금형의 내부와 닿게 되는 시트의 외부 표면에는 금형 내부의 고온 또는 금형과의 접촉으로 인한 제품 손상이

발생하지 않도록 보호용 테이프가 감싸져 있으며 내부 표면은 본드 도포 작업이 완료된 상태이다. 이러한 알루미늄인서트 사출성형에는 수직사출방식이 일반적으로 사용되나, 여기에서는 수평사출성형 방식도 가능함을 확인하였다.



Fig. 15 Overview of injection molding machine

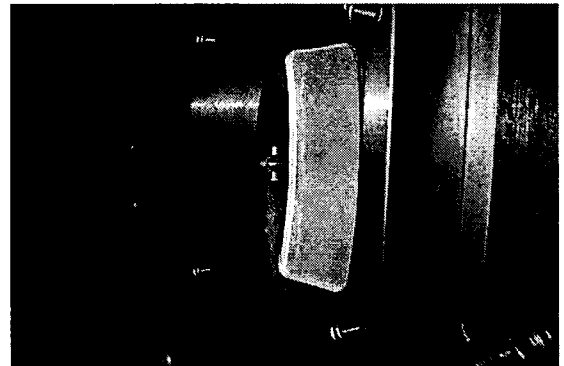
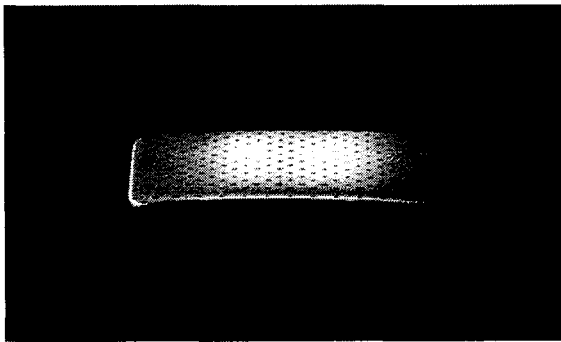


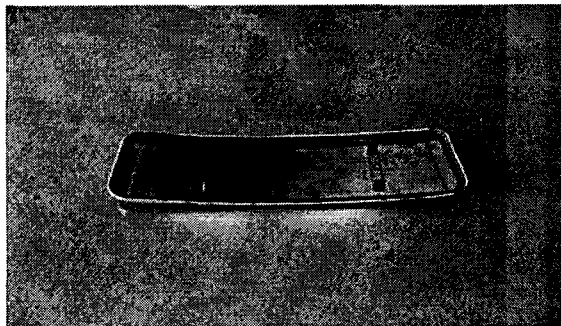
Fig. 16 Mold of the trial product with Al-sheet

접착제는 사출성형 공정시 생성되는 고온에 의해 용융되어 시트와 수지 제품의 일체화를 통해서 제품을 완성하게 된다. 상기와 같이 사출금형 및 포밍된 알루미늄 시트의 사전 작업이 완료가 되면 사출성형 작업조건을 사출성형기에 설정하여 시작품을 제작한다.

본 시제품 제작을 위해 사출성형기의 작업조건은 수지 주입 시간은 3.5sec, 온도설정은 250℃, 사출압력은 90MPa로 설정하였으며 보압 (packing pressure)이 없이 한 번의 알루미늄 인서트 사출성형으로 시제품 Fig. 17과 같이 제작하였다.



(a) Front surface



(b) Back surface

Fig. 17 Trial product of ash-tray by Al-insert injection

Fig.18은 완성된 시제품의 품질을 검증하기 위해 한국화학시험연구원에 의뢰하여 확인한 본 시제품의 시험성적서이다. 시험을 위한 제시규격은 일반 자동차 회사에서 제공하는 MS210-05로서 7시간 120℃ 내열시험, 6시간 -30℃ 내한성시험, 10시간 50℃, 90%RH 내습성시험으로 구성된 총 3사이클 내열사이클성 시험과, 70℃ 분위기에서 500시간 방치하는 내열노화성, 내약품성, 내마모성, 내충격성, 내포깁(fogging)성 등에 대해 시험한 결과, 본 시제품으로서 내구성에 이상 없음을 확인할 수 있었다. 본 공정은 재질이 덮개뿐만 아니라 팔걸이, 도어록 커버 등 모든 자동차의 내장재 부품에 적용이 가능한 공법이며 프레스와 알루미늄인서트 사출성형을 일원화하여 내장 부품을 단순한 공정으로 생산할 수 있는 특징을 가진다.

Table 1은 알루미늄인서트 사출로 제작된 시제품을 외관미, 성형성, 내구성 및 강도에 대하여 일반 플라스틱 사출 제품과의 특징을 비교해 놓은 것이다. 시제품의 사진에서 확인할 수 있듯이 알루미늄인서트 사출제품은 통상적인 플라스틱 제품과

는 달리 매우 고급스럽고 유려한 외관을 가질 수 있으며 알루미늄의 소재 특성으로 인해 단순한 플라스틱 수지 사출제품에 비해 더욱 뛰어난 내구성과 강도를 확보할 수가 있다. 그러나 한번의 수지 주입과 제품의 취출로 성형 가능한 일반적인 사출과는 달리 알루미늄 시트를 소재로 하여 수지 제품의 외형과 일치하도록 프레스 블랭킹과 포밍의 공정이 필요하게 되므로 공정의 성형성은 조금 떨어지는 것은 단점이라 할 수 있다.¹⁴⁻¹⁶

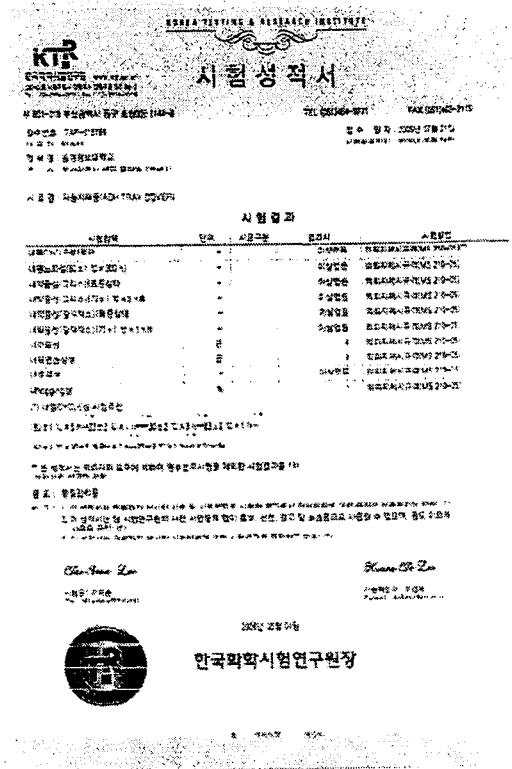


Fig. 18 Test record for the trial product

Table 1 Comparison between Al-insert injection & plastic injection molding

항목	알루미늄인서트 플라스틱사출 제품	일반 플라스틱 사출 제품
외관미	우수	미흡
성형성	보통	우수
내구성	우수	보통
강도	우수	보통

4. 결론

플라스틱과 알루미늄은 오늘날 광범위하게 활용되는 특성이 우수한 소재들이다. 이러한 두 소재를 활용한 알루미늄인서트 플라스틱사출성형 공법의 개발을 위해 Moldflow를 이용하여 사출성형 현상을 분석하고, 또한 분석된 데이터를 기반으로 하여 실제로 최적의 작업조건으로 사출성형기에서 시제품을 사출 성형하여 열, 충격, 마모 등 각종 내구성 시험을 한 결과 이 알루미늄인서트 사출성형 공법으로 양산을 해도 좋은 아주 만족할 만한 결과를 얻었다. 또한 통상의 수직방향의 사출기와는 달리 수지의 주입방향이 가로가 되는 수평방향의 사출기를 활용하였고. 하자가 없는 제품 생산을 통해 수평 사출기의 공정 및 제품 완성도가 수직 사출기의 그것과 다르지 않음을 확인할 수 있었다.

본 연구를 통하여 플라스틱 수지로 성형되는 제품의 형상에 맞도록 알루미늄 시트를 프레스 블랭킹, 포밍 공정으로 형상화하여 접착제로 도포한 후에 사출성형 금형 내부에 알루미늄 시트를 안착시킨 뒤 수평형 사출성형기를 통하여 수지를 사출성형을 하면 미리 도포된 접착제가 금형 내의 고온에 의해 용융되어 최종적인 알루미늄인서트 플라스틱 사출성형하는 공정을 개발하였으며, 자동차산업의 내장부품 고급화 및 생산단가 저감에 대하여 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

- Lho, T. J., Kim, J. Y., Kang, D. J., Kim, J. H. and Kim, K. I., "A Study on Development of Automobile Interior Parts using Al-Inserted Injection Molding Process," KSPE Fall Conference, p. 54, 2005.
- Kim, K. S., Lho, T. J., Oh, Y. J., Jeong, H. S. and Kim, K. I., "A Study on Al-Inserted Injection Molding Analysis using Moldflow," KSPE Fall Conference, pp. 275-276, 2006.
- Kim, Y. S., "A Study of Shrinkage Phenomena on Injection Molded Pa Metal Insert," J. of Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 7, No. 8, pp. 112-118, 1999.
- Lyu, M. R., Seo Y. B., Mun, B. J. and Park, H. S., "Shoe Moulds Runner Shape Optimization using Moldflow," KSPE Spring Conference, pp. 1483-1486, 2003.
- Kim, J. H., Kim, J. K., Song, J. I. and Kim, S. T., "Injection molding process Optimization using Moldflow and Taguchi method," KSPE Fall Conference, p. 49, 2003.
- Han, K. T., Goo, Y., Kim, B. T., Jeong, Y. D. and Han, S. R., "A Study on the Filling Imbalance in a Geometrically Balanced Injection Mold," J. of Korean Society of Marine Engineers, Vol. 28, No. 6, pp. 931-937, 2004.
- Kim, B. H., Jang, W. J., Kim, J. H., Chung J. W., Park Y. H. and Choe, S. J., "Optimization Condition for Injection Molding of TV Speaker Grille Using CAE," Polymer, Vol. 25, No. 6, pp. 855-865, 2001.
- Ha, Y. W., Chong, T. H. and Lee, B. J., "Injection Molding of Polyetherimide Axi-Symmetric Elements," Trans. of Korean society of machine tool engineer, Vol. 11, No. 6, pp. 68-74, 2002.
- Kim, J. M. and Lyu, M. Y., "An Application of CAE in the Optimization of Runner Size in Injection Molding," J. of the Korean society for Technology of Plastics," Vol. 15, No. 5, pp. 347-353, 2006.
- Shokri, P. and Bhatnagar, N., "Effect of packing pressure on fiber orientation in injection molding of fiber-reinforced thermoplastics," Society of Plastics Engineers, Vol. 28, No. 2, pp. 214-223, 2007.
- Imiherri, S. S. S., Sapueu, S. M., Sulaiman, S., Hamdan, M. M., Zainnddin, E. S., Osmou. M. R. and Rahmau, M. Z. A., "Mould flow and component design analysis of polymeric based composite automotive clutch pedals," J. of materials processing technology, Vol. 171, No. 3, pp. 358-365, 2006.
- Lam, Y. C., Britton, G. A. and Deng, Y. M., "A computer-aided system for an optimal molding conditions design using a simulation-based approach," Int. J. of advanced manufacturing technology, Vol. 22, No. 7, pp. 574-586, 2003.
- Cox, H. W., Mentzer, C. C. and Custer, R. C., "Flow of thermoplastic melts: experimental and predicted," Polymer engineering and science, Vol. 24, No. 7, pp. 501-510, 1984.
- Choi, Y., Yeo, H. T., Park, J. H., Kang, M. G., Oh, K. H. and Park, S. W., "Press Forming of Extruded Aluminum Profile for Automotive Parts," J. of the

Korean Society of Precision Engineering, Vol. 23, No. 5, pp. 52-58, 2006.

15. Bae, W. B., Kim, Y. H., Lee, Y. S. and Kim, M. S., "The Basic Study on the Casting/ Forging Technology of Aluminum Alloy," KSPE Spring Conference, pp. 85-88, 1998.
16. Ahn, D. G. and Kim, D. W., "Selection of Gate location of Injection Mould for Automotive Floor Console Using Injection Molding Analysis," KSPE Spring Conference, pp. 449-450, 2007.