

Moldflow를 이용한 자동차 기어박스커버의 사출성형공정 해석

노태정^{1*}, 김경수²

An Analysis of Plastic Injection Molding Process for Automobile Gearbox Cover by Moldflow

Tae-Jung Lho^{1*} and Kyung-Soo Kim²

요약 플라스틱은 양호한 내구성과 더불어 가벼우면서 장시간 경과하여도 변질이 없는 특성으로 인하여 자동차 내장 부품의 가장 주요한 소재로 활용되어지고 있다. Moldflow를 이용한 자동차 기어박스커버의 플라스틱 사출공정 시뮬레이션을 통해 충전시간, 웰드라인, 에어트랩 등 사출성형 공정에 대한 사전분석을 제시하였다.

Abstract Plastic materials are utilized to the most important material of automobile interior-parts due to special characteristics that it is light, good strength and do not transmute quality even if pass long time. This study presented a preliminary analysis of fill time, weld line, air trap etc. for the plastic injection molding process of automobile gearbox cover through simulation using Moldflow

Key Words : plastic injection molding process, Moldflow, gate, fill time, weld line, automobile gearbox cover

1. 서론

플라스틱은 지난 수세기동안 다양한 분야에서 그 사용이 현저하게 증가되어 왔다. 플라스틱 제품을 생산하는 사출성형공정은 제품의 재료가 되는 플라스틱 수지 중 하나와 제품의 형상을 결정하는 하나의 금형을 필요로 한다. 금형의 경우 최초 제작비가 고액일 뿐만 아니라 지속적인 추가 비용이 발생하게 되는데, 성공적인 제품 제작을 위해 재료 및 성형조건에 따라 지속적인 수정작업이 이루어지기 때문이다. 이러한 고액의 금형을 제작하여 이루어지는 사출성형공정은 대량 생산을 전제 조건으로 장기간에 걸쳐 수백만 개 분량의 제품을 생산하게 된다.

이러한 금형의 금액은 금형에서 제작되는 제품의 수백만 배가 된다. 또한 완벽하지 못한 금형일 경우 불량품의 분량 또한 기하급수적으로 늘어날 수밖에 없게 된다. 사출 성형 공정의 특성에 의거하여 공정의 불량률이 심할 경우 경제적, 시간적 손실이 발생하게 된다. 따라서 제조업계의 측면에서는 상기 설명한 불량률의 저하는 선결해야 할 과제라고 할 수 있다. ^{1), 2), 3), 4), 5)}

과거 사출성형에 대한 해석이 없던 시절에는 금형 제

작 및 사출 조건에 대한 전반적인 것을 경험에 의존하였으며, 미성형, 웰드 라인, 에어트랩, 크랙, 변형 등의 많은 성형불량에 대하여 잦은 금형의 수정을 통해 보완해 왔지만, 현재는 사출성형 해석 소프트웨어의 등장으로 금형을 제작하기에 앞서 다양한 조건을 사전 분석해 볼 수 있으므로 최적의 공정설계에 근접해 가고 있으며 공정의 불량률은 낮아지고 있는 추세이다. ^{6), 7)}

사출 성형 해석의 근본적인 목적은 예상되는 문제점들을 미리 파악하여 제품 설계와 금형 설계를 최적화하는데 있으며, 본 논문에서는 자동차 내장재 부품 중 기어박스커버(gearbox cover)의 모델링 데이터를 설계하고 Moldflow를 이용하여 사출성형 공정에 대한 해석을 실행하였다. 플라스틱 재료는 가벼운 무게와 썩거나 녹슬지 않는 내환경성으로 인해 장시간 경과하여도 변질이 없는 특성 때문에 오늘날까지 가장 많이 사용되고 각광 받는 자동차 내장재의 재료이다. 기어박스 커버를 대상으로 충전시간(fill time), 웰드라인(weld line), 에어트랩(air trap) 등 사출 성형 공정에서 나타나는 주요한 현상들을 시뮬레이션을 통해 사전 분석 해보고자 하였다.

¹동명대학교 메카트로닉스공학과(부교수)

²동명대학교 메카트로닉스공학과(석사과정)

*교신저자: 노태정(tjlho@tu.ac.kr)

접수일 08년 10월 17일

수정일 (1차 08년 11월 28일, 2차 08년 12월 15일)

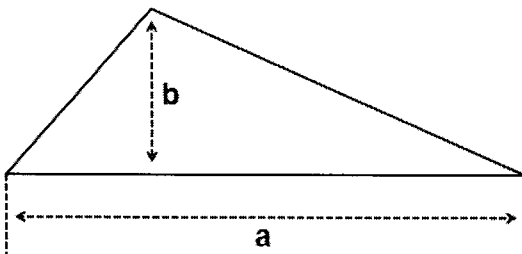
게재확정일 08년 12월 16일

2. 사출성형해석을 위한 모델링

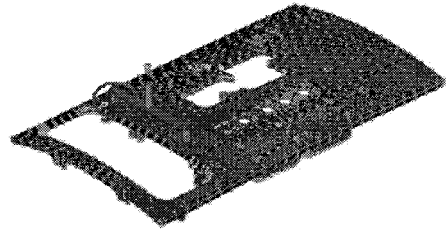
사출 성형 공정의 해석을 위해서는 모델링 즉, 대상이 되는 기어박스의 정확한 제품 설계와 러너 시스템의 설계를 필요로 한다. 통상적인 제품 개발 과정에서는 3D CAD 툴을 이용하여 제품 설계를 하고 해석을 수행하기 위한 메쉬(mesh) 요소를 생성하기 위해 증립면 추출, 두께 부여 등의 작업을 수행해야 하며 대다수의 구조해석에서는 툴에서 자체적으로 이러한 기능을 지원해주고 있지만, 사출성형공정의 해석에서는 문제 부위에 관하여 사용자가 삼각형 내지는 사각형의 유한요소를 형성할 수 있도록 개별적인 수정작업을 하여야 한다.^{8),9)}

본 논문에서는 먼저 CATIA v5를 이용하여 기어박스커버의 제품 설계를 하였으며 해석을 위해 사출성형해석 툴인 Moldflow를 사용하였으며 문제 부위에 관해서는 Moldflow 내부에서 지원하는 Mesh tool을 이용한 수정작업을 통해 보완하였다. Moldflow의 경우 삼각형의 유한요소를 형성 시켜야 하며, Aspect ratio 즉, 최장변(a)과 그 높이(b)의 비율은 6:1을 표준으로 하고 있다(그림 1 참조). 비율이 표준과 비교하여 지나치게 증가할 경우 error로 인해 정확성이 떨어지는 해석 결과를 생성하거나 해석 진행 자체가 불가할 수 있다.

그림 2는 표준치에 맞도록 각 요소들에 대해 수정작업을 거쳐 최종적으로 사출성형해석을 위해 형성한 모델링 데이터로서 7,230개의 노드와 14,507개의 메쉬 요소로 형성되어져 있다. 최초 직경이 4mm에서 8mm로 넓어지는 스프루를 통해 흘러들어간 수지는 8mm의 지름을 갖는 러너를 거쳐 러너의 양 끝단에 배치된 2개의 게이트에서 제품 캐비티로 주입되어 성형하게 되는 방식이며 2개의 게이트는 각각 그림에서 원으로 표기하였다. 전체 러너 시스템은 콜드 러너로 구성되었으며 상기까지 설명한 제품 모델링 데이터와 해석 시스템을 활용하여 기어박스커버의 사출성형해석을 진행하였다.



[그림 1] Aspect ratio

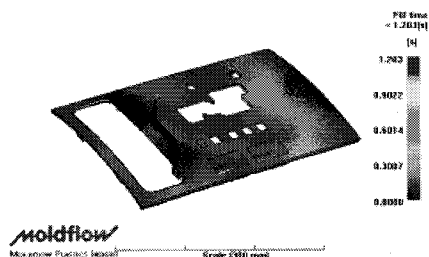


[그림 2] 3D 모델링 & 러너시스템

3. 사출성형해석 결과

본 논문에서는 별도의 특정한 사출 조건을 설정하지 않고 Moldflow 내부의 자동 설정된 기본 조건으로 온도, 압력, 시간 등을 적용하여 시뮬레이션을 실행하여 기어박스커버가 성형 제작 되는 공정을 살펴보았다. 단, 제품의 재료가 되는 수지의 선택에 있어서는 LG-XR 404를 선택하여 진행하였다. 이는 본 사전해석을 통하여 제작하고자 하는 실제 기어박스 커버의 재료로 채택해 둔 수지로서 시뮬레이션을 통해 살펴보게 될 해석결과가 미약하게나마 더욱 일치되는 정확한 분석으로 실제 공정에 반영되도록 하기 위해서 선택한 조건이다.

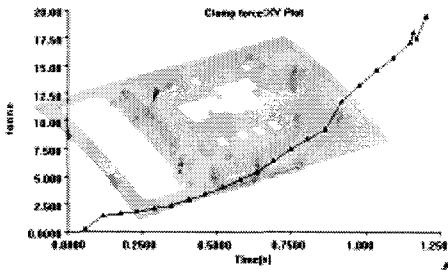
그림 3은 기어박스 커버에 대한 충전 시간의 해석 결과를 나타내고 있다. 최초 수지가 주입되는 시점에서 완료되는 시점까지의 시간은 약 1.2초 정도의 시간이 소요됨을 알 수 있으며, 그림에서의 우측이 좌측과 비교하여 더욱 빠른 시간에 충전되는 것을 확인할 수 있다. 전체적으로 균일한 충전이 공정으로서는 이상적이긴 하나 본 해석에서는 제품의 미관상의 수려함을 위해 그림에서와 같이 모서리가 겹치는 두 부분을 게이트로 설정하였다. 본 기어박스 커버의 경우 두께는 얇고 면적은 넓은 대표적인 형상으로서 미관을 해치지 않는 범위 내에서 더욱 균일한 충전을 위한 게이트 위치 선정이 필요하다고 할 수 있다.



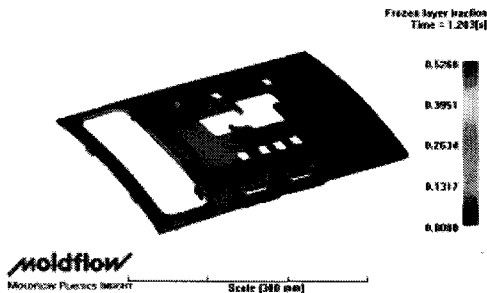
[그림 3] Fill-time 해석결과

그림 4는 충전시간인 1.2초 동안 금형 내부에서 발생되는 압력에 의해 외부로 금형을 밀어내려는 클램프력의 변화를 나타낸다. 최초 미세한 정도로 발생한 클램프력은 시간의 경과에 따라 점점 강해짐으로서 충전이 완료되는 1.2초 시점에 가장 강하게 나타남을 그래프를 통해 확인하였다.

그림 5는 충전이 완료된 시점인 1.203초의 시점에서 제품의 두께 방향의 고화정도를 나타내는 결과로서 여기서 수치 "1"은 수지가 완전한 고체는 아니지만 아무리 큰 힘으로도 더 이상은 수지가 흐르지 않는 온도에 도달하여 고화된 것을 나타내고 "0"의 수치는 그 반대의 경우이다. 충전 완료 시점에서 고화 정도가 크다는 것은 수지의 유동과정에서 유동정체가 발생하여 유동선단의 급격한 온도 강하가 일어난 것을 의미하며 이로 인해 미성형 등의 문제점이 발생할 수 있으므로 주요하게 다루어야 할 요인이다. 본 기어박스 커버의 경우 전체적으로 대략 0.1 정도의 매우 낮은 수치를 나타내고 있으며 그에 따라 앞서 설명한 문제점들은 우려되지 않는 양호한 결과를 보인다.



[그림 4] Clamp force 해석결과

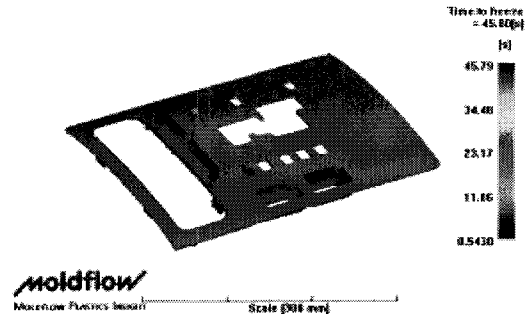


[그림 5] Frozen layer fraction 해석결과

그림 6은 충전이 완료된 시점에서 취출 가능한 온도까지 냉각되는데 필요한 응고시간을 나타내는 해석결과이다.

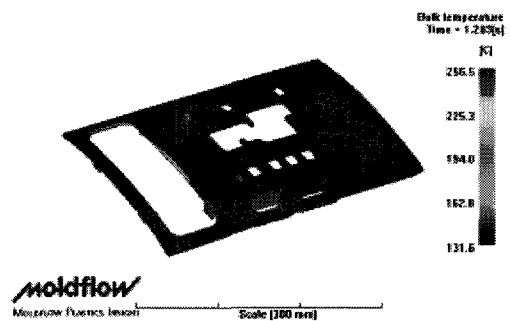
그림 5의 결과에서 확인한 바와 같이 본 기어박스 커버의 경우 사출 충전 직후에 전체적인 고화 정도가 0에

가깝도록 미약하게 나타나는 것을 알 수 있었으며 그에 따라 제품 취출이 가능한 시점까지의 냉각 시간이 어느 정도 필요하다는 것을 알 수 있다. 그림 6의 결과에서 제품의 전체적인 부분에 대해 10초 정도의 결과를 나타냄을 알 수 있다. 따라서 본 제품의 경우 10초 정도 경과 후에는 금형에서 전체적으로 제품 취출이 가능하다는 것을 확인하였다.



[그림 6] Time to freeze 해석결과

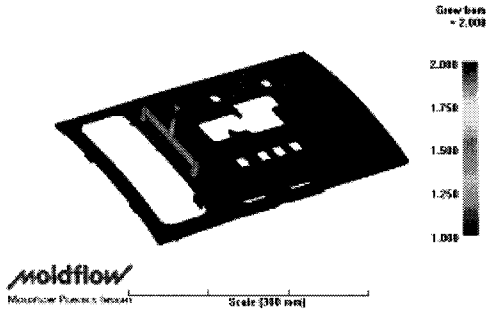
그림 7의 결과는 수지가 제품으로 충전되는 동안의 온도를 보여주는 결과이다. 스프루에서 제품의 최외곽 부위까지 제품 전체에 걸쳐 대략 250℃를 상회하는 고온 상태를 나타내고 있으며 늦게 충전되는 부분에 한해서 약간의 온도강하만 발생하는 것을 확인하였다. 충전 시간이 매우 짧은 이유로 인해 최초 주입되는 시점의 수지의 온도와 충전이 완료되는 시점에서의 수지의 온도가 유사함을 확인하였다.



[그림 7] Bulk temperature 해석결과

그림 8은 다수의 게이트가 존재하는 경우 각 게이트에 의하여 제품에 수지가 충전된 영역을 각각 다른 색으로 나타내는 결과이다. 2개의 게이트를 설계한 본 해석에서는 그림과 같이 2가지 색상의 충전 영역을 확인할 수 있다. 이 결과는 다수의 게이트를 이용하여 얼마만큼의 균

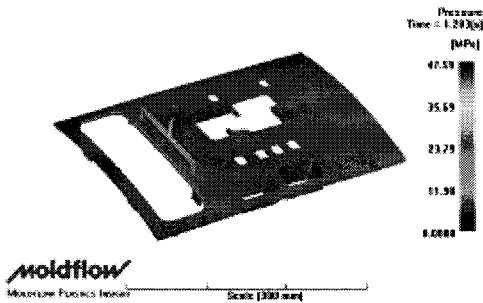
형된 충전이 이루어지는가를 판단할 수 있는 결과이며 균형된 충전이 이루어지지 않으면 사출압력이 상승하고, 그로 인한 수축률 편차가 발생할 수 있다. 그림 8을 통해 본 해석에서는 두 개의 게이트를 이용하여 상당히 균형 잡힌 충전이 이루어졌음을 확인할 수 있었다.



[그림 8] Grow form 해석결과

그림 9는 제품 성형시 형성되는 압력을 나타낸다. 그림에서 보듯이 본 제품에서는 러너시스템에서는 35MPa 정도의 압력이다가 제품이 성형되는 캐비티의 영역에서는 약 25MPa 정도의 압력으로 약간의 압력 감소가 일어남을 확인할 수 있다. 일반적으로 압력은 모든 부분에 균일하게 전달되어야 수축률이 일정하여 제품의 변형 발생 가능성이 감소하게 되며 수축률의 감소를 위해 게이트 위치 또한 가급적 제품의 두꺼운 부분에 배치를 하게 된다.¹⁰⁾

본 제품의 경우 제품 전체의 두께가 거의 동일하므로 수축률의 변동은 우려되지 않으며 압력의 분포 또한 제품 전체에 걸쳐 매우 균일하므로 제품 성형 시 변형은 우려되지 않는다.

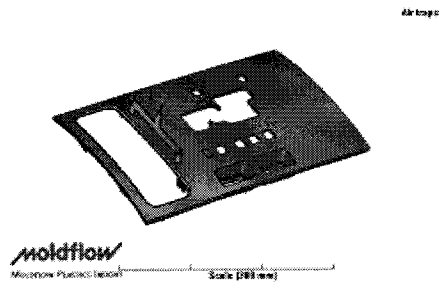


[그림 9] Pressure 해석결과

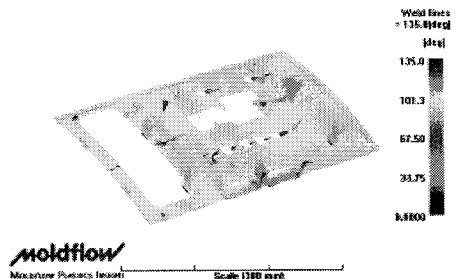
그림 10과 그림 11은 각각 사출성형 공정을 통한 제품 생산에서 외관 및 내구성과 관련하여 가장 고려해야 할 사항이라 할 수 있는 기포 생성과 웰드 라인의 해석 결과를 나타낸다. 기포 생성은 그림 10에서와 같이 주로 수지의 충전이 완료되는 외곽부위에 걸쳐 몇 군데가 나타났

으며 이는 설정된 압력조건이 모자라거나 충전시간이 부족함으로 인해 발생할 수 있는 요인들이다. 기포생성은 제품의 외관을 해칠 수 있으며 균열, 파손 등 내구성을 떨어뜨려 완성된 제품의 불량을 생성하는 주요한 사항이므로 초기 압력을 높게 설정하거나 보압 등의 방법을 이용하여 압력 및 충전이 충분해지도록 하여 가급적 전혀 발생되지 않는 성형 환경을 찾는 개선이 필요하다.

수지의 유동선단이 만남으로써 발생하는 웰드 라인은 그림 11에서의 결과와 같이 다수의 위치에서 발생하는 것을 확인하였다. 이 역시 제품의 외관을 해치게 되며 성형 제품이 자동차 내장부품인 점을 고려할 때 안쪽 부분은 시각적으로 다소 영향을 적게 받지 모르나 바깥 부분은 치명적인 하자가 될 수 있다. 뿐만 아니라 앞서 설명한 기포 생성과 같이 웰드 라인을 기준으로 파손, 균열 등의 제품 내구성을 떨어뜨리는 위험성이 있는 요인이므로 현저히 줄여나가는 개선이 필요하다. 게이트가 다수이며 사출성형 제품으로서는 비교적 복잡한 형상을 갖고 있는 본 제품을 성형하기 위해 하나가 아닌 다수의 게이트를 가지는 본 러너시스템 설계에서 그 특성상 주입되는 수지의 유동선단은 충전시간 동안 만나야 하므로 웰드 라인을 완전히 삭제할 순 없을지라도 게이트 위치의 이동, 혹은 개수의 변동 등을 변경하여 최적으로 발생되도록 줄여나감과 동시에 가급적 제품의 외관을 해치지 않는 안쪽 부위에서 발생이 되도록 하는 개선이 필요한 부분이다.



[그림 10] Air-trap 해석결과



[그림 11] Weld line 해석결과



[그림 12] 시험제작품

그림 12는 본 해석에 앞서 경험에 의존하여 제작한 또 다른 기어박스커버의 시험제작품으로서 그림 좌측에 보이는 성형이 덜 된 부분과 전체적으로 균일하지 못한 충전 등 제품으로서의 온전하다 할 수 없는 품질을 가지고 성형되는 공정 실패의 일례라 할 수 있다.

4. 결론

자동차 내장부품 중 하나인 기어박스 커버를 대상으로 실제 생산에 앞서 해석을 수행하여 충전시간, 온도, 수지의 분포, 고화 정도 및 기포생성까지 다양한 사출성형공정 시 발생하는 현상들을 사전에 살펴보았다.

제품 설계는 3D 모델링 툴인 CATIA v5를 이용하였으며 러너지스팀 설계와 사출공정해석에는 상용 소프트웨어인 Moldflow를 활용하였다. 성형 수지는 사전 분석 후 실제 제작하게 될 시작품의 소재인 LG-XR 404를 선정하여 시뮬레이션 결과를 실제 공정과 더욱 가깝게 하고자 하였으며 수행한 해석을 통해 양호한 현상을 보인 결과와 함께 기포생성 및 웰드 라인 등 개선이 필요한 현상 또한 함께 존재하는 것을 확인할 수 있었다.

반복적인 해석을 통한 결과 비교 등을 통해 지속적인 개선을 해 나간다면 불량률이 현저히 낮은 최적의 조건을 실제 공정에 반영하여 고품질의 제품을 생산할 수 있을 것이라 판단된다.

참고문헌

- [1] 노태정, 김경수, “자동차 부품용 알루미늄인서트 사출성형공정 구현에 관한 연구, 한국정밀공학회지 제25 권제5호, pp.43-51, 2008.
- [2] 노태정, 김중학, “AI-Insert 사출성형을 이용한 자동차 내장재 부품 개발에 관한 연구”, 2005 한국정밀공학

회 춘계학술대회논문집, pp.170-175, 2005.

- [3] 엄창환, 김정호, “혼합 플라스틱으로 제조된 자동차 부품의 재활용”, 한국자동차공학회 학술강연 논문집, pp.5-11, 1999.
- [4] 김경수, 노태정, 오영진, 정희상, 김기일, “Moldflow를 이용한 AI-Insert 사출성형해석에 관한 연구”, 2006 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, pp.275- 276, 2006.10.
- [5] 유상열, 김수용, 김민주, 정인찬, “러너지스팀에 따른 사출성형 경제성 평가”, 2007 한국공작기계학회 춘계학술대회논문집, pp.365-369, 2007.
- [6] 안동규, 김대원, “사출성형해석을 통한 자동차 Floor Console 금형 Gate 위치 선정”, 2007 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, pp.449-450, 2007.
- [7] 황지은, 이동욱, 김종순, 강태호, 김인관, 김중수, “가정용 전자 제습기의 사출성형 해석”, 2006한국기계학회 춘계학술대회논문집, pp.167-171, 2006.
- [8] 정영득, 구분홍, “사출성형해석에 의한 제품 및 금형 설계”, 인터뷰전, 2006
- [9] 조용무, 권오재, 유용재, 김재도, “해석적 방법에 의한 사출성형의 충전조건 선정”, 1993 대한기계학회 춘추학술대회 논문집 제1권제1호, pp.713-717, 1993.
- [10] 임원길, 김영일, 설권, “사출성형의 게이트 위치 최적화”, 1996 한국정밀공학회 학술발표대회 논문집, pp.787-791, 1996.

노 태 정(Tae-Jung Lho)

[정회원]



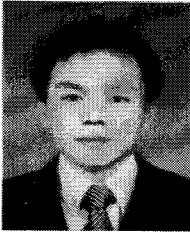
- 1984년2월: 부산대학교 기계설계학과 (공학학사)
- 1986년2월: KAIST 생산공학과 (공학석사)
- 1992년8월: KAIST 정밀기계공학과(공학박사)
- 1986년2월~1999년2월: 삼성중공업 기전연구소(수석연구원)
- 1999년3월~현재: 동명대학교 메카트로닉스공학과 부교수

<관심분야>

Mechatronics, Robotics, FAB 자동화, LCD 물류반송 자동화, 항만하역설비 자동화, 공정해석 등

김 경 수(Kyung-Soo Kim)

[준회원]



- 2007년2월: 동명대학교 메카트로닉스공학과 (공학학사)
- 2007년3월~현재: 동명대학교 메카트로닉스공학과 석사과정

<관심분야>

금형설계/사출성형해석, Mechatronics 등