한국산학기술학회논문지
Vol. 12, No. 1 pp. 55-61, 2011

CAE 해석을 이용한 배터리 케이스 사출성형에 관한 연구

이영욱[1*]
[1]호원대학교 국방기술학부

A Study on the Battery Case Injection Molding by CAE Analysis

Young-Uk Lee[1*]
[1]**Department of Defense Science & Technology, Howon University**

요 약 축전지 용기는 폴리프로필렌으로 사출되며, 결정성 고분자 수지로 변형이 많이 일어나는 특성이 있다. 따라서 본 연구에서는 축전지 용기의 사출시 사용되는 Gate를 개선하여 금형의 공정을 단순화시킴으로써 생산비용의 절감과 성형품의 품질개선에 중점을 두고 CAE 해석을 실시하였다. 그 결과 성형과 제품에서 발생될 수 있는 유동의 불균형과 변형 등을 예측하여 제품의 불량률 감소로 신뢰성 향상에 기여할 것이다.

Abstract Battery cases have been made of polypropylene and its warpage is relatively large due to the crystalline characteristic of polypropylene. In this study, the battery case when the injection mold used to improve the Gate by simplifying the process of production cost savings and focus on improving the quality of molding CAE analysis was carried out. The result could be produced in plastic and products of the imbalance in the flow and deformation and to predict reliability of the product will contribute to reduced scrap.

Key Words : Injection molding, CAE, Optimum design, Battery case

1. 서론

1.1 연구배경

산업기술의 발전과 더불어 우리나라의 공업기술과 생산력이 세계적인 수준에 이르렀지만 자원의 부족으로 그 대부분을 수입에 의존하고 많은 기술 자원들도 외국으로부터 도입되고 있다. 그중 사출성형(injection molding) 또한 예외는 아니다. 이런 현실을 생각할 때 지속적이고 체계적인 연구개발과 기술 축적만이 생산력 향상에 기여 할 수 있는 방법이라 판단되어 본 연구를 진행하게 되었다. 플라스틱 사출성형(plastics injection molding) 은 전기, 전자, 자동차, 항공산업 뿐만 아니라 우리 일상생활에서 사용되는 많은 제품을 생산 하는데 중요한 부분을 차지하고 있다. 산업적으로 중요한 사출성형 기술은 최근 들어 CAE 해석 기술의 발전에 힘입어 더욱 기술의 발전이 가속되고 있으며, CAE 해석 기술이 사출성형 기술에 적용되어 제품의 질과 생산성을 높이는 예는 주변의 제품에서 쉽게 볼 수 있을 정도가 되었다[1].

본 논문에서는 자동차 부분에서 필수적인 전원 저장 장치인 축전지 용기(battery case)를 모델로 하여 효과적인 설계와 성형품의 생산에 기여하고자 한다. 자동차용 축전지 용기는 엔진룸 내부의 온도가 계절에 따라 최저 30℃부터 최고 100℃ 이상의 큰 온도차에 의한 열응력 피로현상을 받고 금형구조 측면에서 깊은 코어가 설치되어 극심한 열전달의 불균형을 발생시키고 제품의 넓은 벽면의 손상과 변형으로 전해액 보호에 위험을 가져올 수 있다. 따라서 이런 변형을 예방하기 위한 성형품이 생산되어야 하며 이번 연구에서는 공정의 간편화를 통한 생산비용 절감과 성형품 품질개선의 두 가지에 목적을 두고 연구했다.

1.2 연구목적

축전지 용기(battery case)는 폴리프로필렌(Polypropylene, 이하PP)으로 사출된다. PP는 대표적 결정성 고분자 수지로

본 논문은 호원대학교 교내연구비 지원에 의해 수행되었음.
*교신저자 : 이영욱(leeyu@howon.ac.kr)
접수일 10년 10월 18일 수정일 (1차 10년 11월 22일, 2차 10년 12월 14일, 3차 11년 01월 11일) 게재확정일 11년 01월 13일

서 융점을 지나면서 큰 비체적 변화를 보이며 수축이 크게 증가하는 특성으로 정밀한 제품을 제조하는 데에 어려움이 많은 수지이다. 현재 생산되는 축전지 용기는 온도의 균형과 충전조건을 해결하기 위해 6개의 게이트를 사용함에 따라 러너(Runner)밸런스, 금형구조의 복잡성에 따른 가격상승, 게이트 처리를 위한 후 가공처리 등 생산 공정상 여러 가지 문제를 일으킬 수 있다. 따라서 이런 문제요인을 CAE 해석을 이용하여 제품을 모델링 하여 분석하고 Gate수의 변화에 따라 사출성형시 발생되는 충전상태, 온도변화, 압력분포와 격벽에서 나타나는 변형을 최소화 하고 금형설계의 단순화를 이룩함으로써 제품의 단가를 최소화하여 생산력향상에 기여하고자 하는 것이 본 연구의 목적이다.

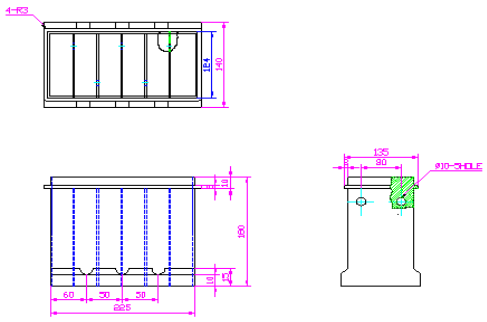
2. 본론

2.1 연구범위 및 방법

본 연구는 게이트(Gate) 수를 최소화 했을 때 나타나는 문제점을 도출하여 해결하고 기존 설계보다 나은 설계방법을 제공하며 연구방법은 CAE 해석 프로그램으로 플라스틱 유동 시뮬레이션 프로그램으로 가장 많이 사용되고 있는 소프트웨어로 사출금형 설계 후 생산 가능성과 품질을 조기에 판별하여, 시간 지연과 비용초과를 일으키는 다운스트림 문제를 방지할 수 있는 MOLDFLOW를 이용하여 해석 하고자 한다. 본 연구는 먼저 연구의 방향을 제시하고 실험에 필요한 제품과 시스템의 설계, 해석, 문제점 파악 및 보완의 형태로 실시하였다.

2.2 제품 및 유동시스템 설계

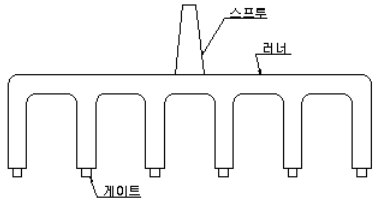
사출 성형품은 용융된 수지를 금형 캐비티에 사출하고 냉각하여 얻는 제품이다. 사출성형공정은 충진단계, 보압단계, 냉각단계, 취출단계를 통해 용융된 플라스틱 수지가 유동 및 냉각과정을 반복적으로 거치게 되면서 플라스틱 제품을 생산하게 되며[2], 주로 대량생산을 목적으로 고도의 생산성을 요구하기 때문에 무엇보다도 성형성을 고려해야 한다. 사출성형품에 요구되는 사항으로 성형 후 수지의 물리적, 화학적 특성을 유지하고 잔류응력에 의한 구조변화가 없어야 되며 생산성과 직결되는 성형시간이 짧아야 한다. 사출성형품을 설계시 고려해야 할 점은 파팅라인, 성형품의 살두께, 빼기구배, 변형방지를 위한 보강재 등이 있지만 본 연구에서는 기본 재질과 살 두께만을 적용하여 그림 1과 같이 설계하였다[3-5].



[그림 1] 제품 형상 설계도

축전지 용기의 재질은 원재품의 재질인 폴리프로필렌(PP)으로 선정하였고 살 두께(벽두께)는 0.6-3.5mm 범위 내에서 적용하였다.

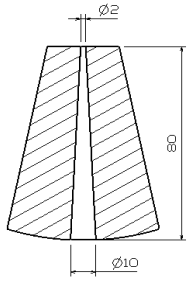
유동시스템은 일반적으로 스프루(Sprue), 러너(Runner), 게이트(Gate) 및 콜드슬러그웰(Cold Slug Well)로 구성되어 있지만 본 연구에서는 스프루, 러너, 게이트만 설계하여 적용하였다.[6]



[그림 2] 유동시스템 설계도

2.2.1 스프루 설계

스프루는 용융된 수지를 러너에 보내는 역할을 하고 러너 위쪽에 위치하며 다음과 같이 설계하였다.



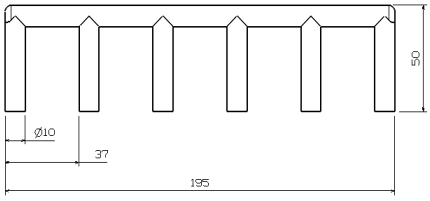
[그림 3] 스프루 시스템

2.2.2 러너설계

러너는 용융수지를 캐비티 까지 안내하는 역할을 하며, 압력전달의 관점에서 최대 단면적을 가져야 하고, 열

전달의 관점에서는 둘레길이가 최소로 되어야 한다. 둘레길이에 대한 단면적의 비가 러너의 효율을 나타낸다. 러너의 설계시 고려사항으로는 캐비티의 개수 및 배열에 따라 배치 방법을 결정하고 수지의 온도저하가 최소가 되도록 한다. 또, 러너에서 압력손실이 최소가 되도록 하고 가능하면 각 캐비티에 동시에 수지가 도달 되도록 하며, 러너의 체적은 될 수 있는 한 작아야 한다. 그 외에도 여러 고려사항이 있지만 본 설계에는 적용하지 않았다.

러너의 형상은 여러 가지가 있지만 비교적 효율이 좋은 원형으로 하였으며, 직경은 10mm로 하였다. 구체적인 설계는 아래 그림과 같다.

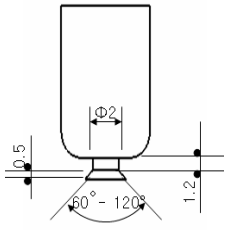


[그림 4] 러너 설계도

2.2.3 게이트 설계

게이트는 용융수지의 흐름과 유량을 제어하고, 성형품을 이젝팅 시키기에 충분한 상태로 고화될 때까지 캐비티 안의 수지의 역류를 막아준다.

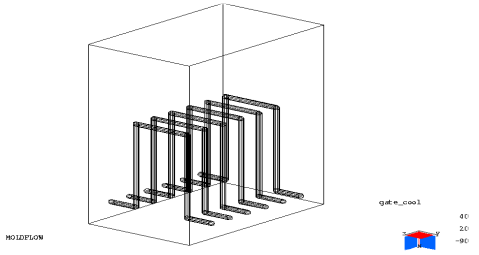
스프루, 러너를 통과하면서 냉각된 수지는 좁은 게이트를 통과하는 동안 유동속도가 빨라져 마찰열이 발생되며 수지온도가 상승되어 플로마크(Flow Mark)나 수지의 흐름이 만나서 생기는 웰드라인(Weld Line)을 감소시킨다.[4] 게이트의 크기는 잔류응력에 의한 변형, 휨 등을 고려하여 작은 것이 유리하며, 게이트 종류는 게이트 부근의 잔류응력이 적고, 후 가공이 용이한 핀 포인트 게이트(Pin Point Gate)를 선정하여 다음 그림과 같이 설계하였다.



[그림 5] 게이트 설계

2.3 냉각시스템 설계

냉각장치는 금형의 열전달과 제품의 변형을 억제하여 생산성을 향상시키기 위해 설치되며 본 실험에 설치된 냉각관은 제품의 특성을 고려하여 다음과 같이 설계하였다.

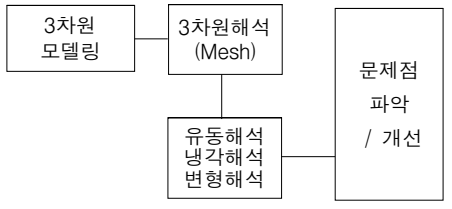


[그림 6] 냉각관 설계

위 그림에서 나타난 바와 같이 냉각관은 코어쪽에 설치되며 금형의 크기를 고려하여 설계하였으며, 관의 직경은 8mm로 설계하여 냉각수의 흐름이 원활하도록 하였다.

2.4 실험

앞에서 설계된 모델들을 MOLDFLOW를 이용하여 게이트 수 변화만 적용하여 그림 7의 절차에 의해 해석을 실시하였다.



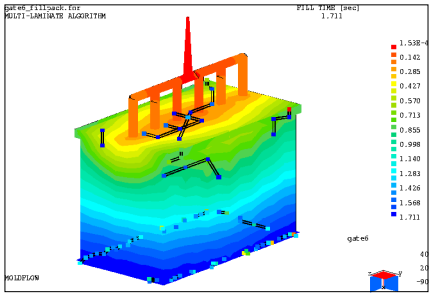
[그림 7] 해석절차도

2.4.1 1차 설계해석

현재 가장 많이 사용되고 있는 축전지용기를 CAE 프로그램 상에서 모델링 한 다음 6개의 게이트를 설치하여 해석을 실시하였다.

해석조건으로 Injection Press는 100Mpa로 하고 Packing Time은 10초, 35Mpa의 압력으로 Packing을 실시하였으며, 기타 설정되지 않은 조건들은 MOLDFLOW 상에서 자동으로 처리 하였다.

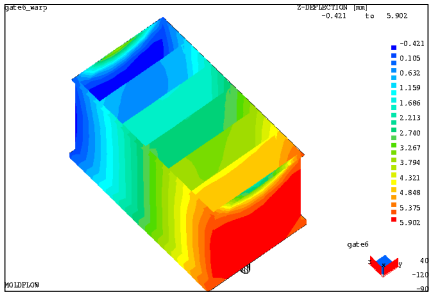
해석결과 Fill Time은 그림8과 같이 최대 1.7초를 나타내었으며, 충전상태도 비교적 양호하였다.



[그림 8] Fill Time-웰드라인 분포도

온도는 적은 차이로 전반적으로 고른 분포를 나타내었고 제품의 좌측인 벽체 부분과 우측 격벽에서 웰드라인(Weld Line)이 발생하는데 이는 과다한 온도차에 의한 열응력으로 크랙의 발생 위험을 가지고 있다.

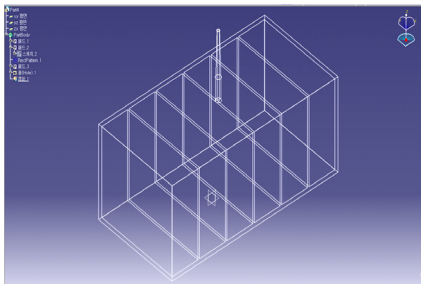
최종 성형품에서의 변형에 가장 큰 영향을 주는 것은 Z 방향의 변형으로, 그림 9와 같이 최소 -0.4 mm에서 최대 5.9 mm의 변형을 일으킨다. 이러한 변형은 넓은 판의 좌굴(Buckling) 현상을 발생시킬 수 있으며, 이를 방지하기 위한 방법으로 성형후 잔류응력을 제거하기 위한 공정처리가 실시되기도 한다[3].



[그림 9] Z방향 변형도

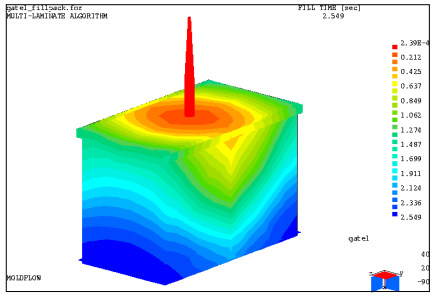
2.4.2 2차 설계해석

용기의 모델은 동일하며 그림 10과 같이 스프루 게이트를 1개만 설치하여 1차 해석 방법과 동일한 조건으로 해석을 실시하였다.



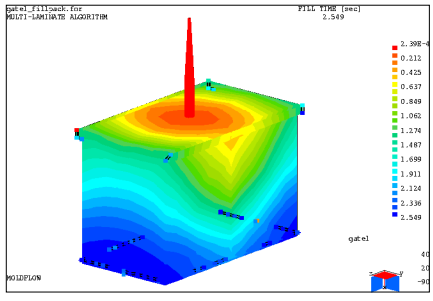
[그림 10] 1게이트 설계도

앞의 모델을 해석한 결과 그림 11과 같이 Fill Time이 최대 2.65로 6게이트 보다 Fill Time이 지연되면서 용융수지의 충전 상태가 고르지 못하고 V자 형태를 나타낸다.



[그림 11] 1게이트 Fill Time 분포도

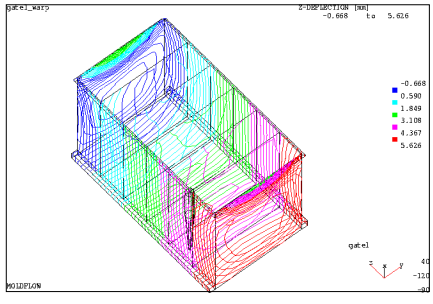
온도분포는 6게이트의 결과와 별 차이는 없었다.



[그림 12] 1게이트 웰드라인 분포도

웰드라인은 6게이트 사용시에 크게 2개소에 나타났던 것이 여기서는 나타나지 않아 개선의 효과를 나타내었다고 볼 수 있다.

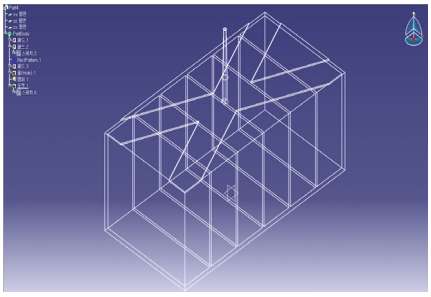
Z방향으로 변형 분포는 그림 13과 같이 비슷하게 나타났지만 격벽에서 휨이 발생하여 후가공 및 후금형처리가 필요한 것으로 판단된다.



[그림 13] 1게이트 Z방향의 변형 분포도

2.4.3 3차 설계해석

2차 해석시 웰드라인 문제는 해결되었으나, 용융수지의 충전상태가 조금 늦어졌고 Z방향의 변형은 표3에서와 같이 큰 차이는 없었다. 용융수지의 원활한 흐름과 Z 방향의 변형을 좀더 해결하기 위해 이번 해석에서는 Flow Leader(이하 개선게이트)를 설치하였으며 개선게이트는 아래 그림 14와 같이 폭 19.5 mm, 두께 5mm 로 하여 대각으로 설치하고 나머지는 해석조건은 1, 2차와 동일하게 실시하였다.

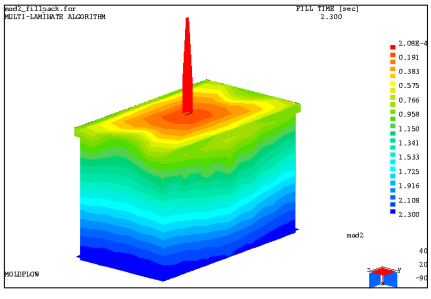


[그림 14] Flow Leader모델링

Fill Time은 다음 표 1과 같이 6게이트 보다는 늦지만 2차 해석시 1게이트에서 나타났던 유동분포를 그림 15와 같이 나타났다.

[표 1] Fill Time 비교

구 분	6게이트	1게이트	개선 게이트
Fill Time (max)	1.7 sec	2.55 sec	2.3 sec



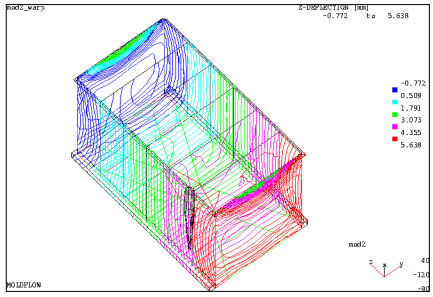
[그림 15] 개선게이트 유동분포도

온도 분포는 표2에서 나타난 바와 같이 최대값은 변화량이 적지만 최소값이 0.4℃의 차이를 나타내었지만 실제 모델상에서 고른 분포를 나타내었다.

[표 2] 온도 비교표

구분	6게이트	1게이트	개선게이트
T(max)	231.13 ℃	231 ℃	231.1 ℃
T(min)	230 ℃	229.4 ℃	229.7 ℃

웰드라인은 제품의 모서리부분에 일부 나타났지만 2차 해석 때와 별 차이가 없었다. Z방향으로의 변형은 1게이트 보다 격벽부분에 변형이 줄어 6게이트에 가깝게 개선되었다.



[그림 16] 개선게이트 Z방향 변형도

2.5 해석결과 및 분석

2.5.1 해석결과 비교

2.5.1.1 게이트 수의 영향

앞에서 해석은 주요 설계 변수를 게이트 수에 맞추었다. 그 이유는 현재 축전지 용기의 사출로 사용되고 있는 6개 형태의 게이트 수를 변경했을 때 결과는 다음과 같다.

[표 3] 게이트 변경에 따른 해석결과 비교

구 분	단 위	6게이트	1게이트	개선 게이트
온도	℃	Max:231.1 Min:230	231 229.4	231.15 229.7
Fill time	sec	Max:1.7	2.55	2.3
Deflect-ion(Z)	mm	Max:5.9 Min:-0.42	5.7 -0.67	5.6 -0.7
Weld line	개소	2	0	0

※ 웰드라인 중요개소만 선정

위 표에서 Fill Time은 6게이트 적용시 보다 1게이트 적용시 증가됨을 알 수 있고, 그림 8과 그림 11을 비교했을 때 1게이트를 적용한 그림 11의 유동상태가 고르지 못함을 알 수 있다.

또, 온도분포에서는 상호 큰 온도차는 없었지만 그림 8과 그림 12를 비교했을 때 Base Plate 온도 분포가 고르지 못함을 알 수 있다. 웰드라인은 6게이트에서 2개소가 크게 나타났지만 1게이트에서는 전혀 나타나지 않아 1게이트 사용시 해결대책이 될 수 있었다. 변형은 그림 9와 그림 13을 비교했을 때 Z축의 변형 해소에 큰 영향을 주지 못했다.

2.5.1.2 웰드라인의 영향

웰드라인은 제품에서 크랙 발생의 요인을 제공하여 플라스틱 용기로서의 기능을 상실하게 한다. 6게이트 해석시 나타난 웰드라인은 그림 8과 같이 제품으로 기능을 발휘하지 못하게 하는 위치에 크게 2개소가 위치하고 있었으며, 2차 실험을 통해 웰드라인 문제는 해결되었다.

2.5.2 문제점 및 보완대책

6게이트를 사용한 1차 해석에서는 러너의 밸런스와 웰드라인의 문제가 나타났는데 밸런스의 문제는 충전상태와 게이트 위치에 영향을 주고, 후가공 처리 소요가 많으며, 6개의 핀 포인트 게이트 사용시 별도의 금형판을 설치하게 됨에 따라 금형비용의 증가를 가져온다. 또, 웰드라인은 제품의 불량을 발생시키고 제품의 기능을 발휘에 큰 영향을 준다.

이와같은 문제점을 보완하기 위해 연구한 결과 1게이트를 설계하였으며, 2차 해석시 1게이트는 스프루 게이트를 사용했기 때문에 러너 밸런스의 문제는 해결되었고, 별도의 금형판 설치가 필요하지 않아 금형제작비의 절감의 효과를 가져왔으며, 그림 12와 같이 웰드라인의 문제가 해결되었다. 그러나 용융수지의 흐름이 불안정적이고 V자 형태의 불균형을 Filling을 통해 확인할 수 있었고 변형해석에서 그림 13과 같이 Z방향의 변형이 각 격벽마다 나타났고 중앙 부분은 더욱 심하게 나타났다.

3차 해석에서는 용융수지의 흐름을 원활히 하고 유동을 분산하여 변형을 억제하기 위해 간단한 Flow Leader를 설치하여 해석한 결과 별도의 금형판 없이 그림15, 그림16과 같이 6게이트를 사용한 1차 해석과 근접한 결과를 얻었다.

3. 결론

본 연구를 통해 플라스틱 사출성형이 일반기계가공보다 까다롭고 접근하기 힘들다는 것을 확인하였으며, 현 설계상의 문제점과 게이트의 변화에 따른 문제점을 조사하고 동일한 사출공정 조건하에서 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

가. 현 설계상의 문제점으로 긴 코어 길이로 인하여 열전달이 잘 되지 않고, 성형후 제품의 주요부에 웰드라인 발생으로 제품의 크랙 요인과 격벽의 변형을 제공하며, 6개의 게이트를 사용함에 따라 Filling Time 은 빨랐지만 후가공 처리의 문제가 있어 게이트수를 1개로 변경하고 용융수지의 유동성을 보강하였고, Flow Leader를 설치하여 러너 밸런스의 문제를 해결 하였으나 후가공 처리의 문제는 해결 수 없었다.

나. 단일 게이트만을 사용했을 때의 유동분포가 고르지 못하였고 격벽에 변형이 Z방향으로 일어났던 문제는 개선게이트를 통해 약간의 차이는 나타났지만 근본적인 개선이 되지 않았고 다만 유동의 원활한 분산으로 용융수지의 문제를 개선하였다.

이상과 같이 기존 6게이트에서 1게이트, 개선게이트의 연구를 통해 성형과 제품에서 발생될 수 있는 유동의 불균형과 변형 등을 예측하여 개선함으로서 불량률을 감소되며, 제품의 신뢰성 향상에 기여할 것이다.

참고문헌

[1] 노정태, 김경수 ”Moldflow를 이용한 자동차 기어박스 커버의 사출성형공정 해석”, 산학기술학회 논문지, 제9권, 제6호, pp. 1494-1499, 2008.

[2] 안동규, 김대원 “인서트 변형을 고려한 배터리 케이스 사출 성형 해석”, 대한기계학회 추계학술대회A 논문집, pp.1107-1112, 2008년 11월

[3] 정재엽, 김동학 ”플라스틱 DVD-Tray의 박막 사출성형을 위한 최적화 설계 Simulation에 관한 연구”, 산학기술학회 논문지, 제9권, 제6호, pp. 1726-1732, 2008.

[4] 김옥래, 차백순, 이상용, 김영근, 우창기 ”CAE를 이용한 이중 사출제품의 러너 및 게이트 영향에 대한 연구”, 한국 소성가공 학회지, 제8권, 제2호, 2009.

[5] 한영수, Plastic射出成形의 理論과 設計, 일진사, 서울, pp .42-138, 1996.

[6] 홍명웅, 엔지니어링 프라스틱 사출성형, 법경, 서울, pp.176-180, 1988.

이 영 욱(Young-Uk Lee) **[정회원]**

- 1998년 8월 : 아주대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2008년 2월 : 충남대학교 대학원 메카트로닉스 공학과 (박사수료)
- 2005년 3월 ~ 2008년 2월 : 대덕대학 특수무기과 학과장, 교수
- 2008년 3월 ~ 현재 : 호원대학교 국방기술학부 교수

<관심분야>
특수재료, 방산무기 제작용 재료, CAE