

플라스틱 DVD-Tray의 박막 사출성형을 위한 최적화 설계 Simulation에 관한 연구

정재엽¹, 김동학^{1*}

Study on the design optimization of injection-molded DVD-Tray parts using CAE Simulation

Jae-Youp Chung¹ and Dong-Hak Kim^{1*}

요약 사출성형은 다양한 형태의 제품을 대량 생산할 수 있는 플라스틱 성형 공법중의 하나이다. 플라스틱 제품을 만들기 위해서는 고상의 재료를 액상으로 녹인 후 다시 고상으로 굳히는 과정을 거치는 데, 이 과정 중에 많은 문제점들이 발생을 하게 된다. 과거에는 이러한 문제를 해결하기 위해서 성형 후 금형 설계 변경 등의 시행착오적 방법을 사용하였으나, 성형과정에 대한 사출성형 CAE(Computer Aided Engineering)를 적용함으로써, 사전에 문제점을 파악하는 기술이 도입되었다. 플라스틱 제품의 큰 문제점 중 하나가 치수안정성이다. 특히 박막사출성형품은 게이트의 위치, 냉각채널과 온도에 따라서 변형량이 크게 달라진다. 본 연구에서는 현재 Stackmold방식으로 4개의 Cavity에 4개의 Hot-Runner가 설치된 금형을 통해 생산중인 DVD Tray 박막사출제품의 생산 원가 절감을 위해서 Cavity하나에 한 개의 Hot-Runner를 설계하기 위해서 CAE 해석을 통해 게이트의 위치, 냉각채널과 온도에 따라 비교하여 해석해 최적의 제품 설계를 하였다. CAE 해석에는 상업화된 CAE 프로그램인 Moldflow를 사용하였고, 수지는 PC+ABS 를 사용하였다.

Abstract Injection molding is one of plastic forming technology which can easily mass-produce plastic parts with various and even complex shape. The technology has lots of difficulties in making a good part due to phase change of material, high applied pressure, and fast melt flow speed in the cavity. To overcome the problems, they had to make trial and error method until the CAE(Computer Aided Engineering) could be a tool for concurrent engineering. In this paper, we investigate the optimal design for a plastic DVD tray part by systematic approach of the commercial CAE program. In design, we should consider two objectives which are both dimensional stability and cost-down. The dimension of the part is crucial because the tray should carry a DVD correctly, but the part is too thin to injection-mold easily. In order to improve the moldability, the mold is designed in the form of stack mold which is a kind of 4 hot runner system. In first, we changed the stack-mold system with one hot-runner to cost down, and decided the optimal position of the gate. After that, we investigate the effect of both the layout of cooling channels and the cooling temperature on the shrinkage of the DVD tray. A optimal simulation approach, the gate design is 2Gate#3 and the layout is Case2 cooling line as the optimal temperature of 70℃. The Moldflow and PC+ABS are used for the CAE program and material respectively.

Key Words : DVD-Tray, Injection molding, CAE, PC+ABS, design optimization

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행됨

본 연구는 중소기업청의 산학공동기술개발지원사업으로 수행됨

¹순천향대학교 나노화학공학과

*교신저자 : 김동학(dhkim@sch.ac.kr)

접수일 08년 10월 08일

수정일 08년 12월 12일

게재확정일 08년 12월 12일

1. 서론

사출성형은 열가소성 수지의 가공법들 중에서 정밀도나 고품질의 제품을 효과적으로 생산하는 데에 널리 이용되는, 플라스틱 산업의 가장 일반적인 공정으로 고분자 용융체를 금형의 캐비티에 높은 압력으로 채워 넣음으로써 캐비티 형상과 같은 제품을 생산하는 공정으로 단순한 형상의 제품은 물론이고 복잡한 형상의 플라스틱 제품의 생산에 가장 널리 사용되고, 다양한 플라스틱 소재를 재료로 하여 가공할 수 있으며, 상대적으로 생산 Cycle time이 짧아서 다른 생산 방식보다 저렴한 생산가로 복잡한 형태의 제품을 효율적으로 생산할 수 있는 방식이다.

사출성형은 1872년에 Hyatt 형제가 가소물인 celluloid를 개발한 이래, 1923년에는 Eichengrun가 Eckert 등과 함께 기계식 사출성형기를 개발하였으며, 1950년대 초 Willert에 의해 왕복 스크루식 사출성형기가 개발되면서 급격한 진전을 보았다. 이전의 사출성형은 체계적이고 과학적인 이해 부족으로 인하여 주로 생산하면서 얻어진 경험과 시행착오에 의존하여 수정하여 왔으므로 다양한 플라스틱 재료의 성질, 복잡한 성형품의 형상 및 성형조건의 변화 등에 대한 능동적 대처가 부족했다. 그러나 현대 산업사회가 요구하는 고도의 정밀도, 기계적 강도, 원가절감 및 납기 단축을 통한 생산성 향상은 사출성형 공정 적에 일어나는 물리적 현상을 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 이론적 해석으로 해결하게 되었다. 이 해석기법이 CAE (Computer Aided Engineering)인데, 사출성형의 각 단계에 대한 시뮬레이션을 통하여 생산성을 극대화 시키는데 그 목적이 있다.[1]

CAE에 사용되는 충전해석은 용융수지가 사출금형 내에서 유동하는 과정을 해석하는 과정으로써 설계조건과 성형조건, 즉 유동하는 용융수지의 물성 변화를 가져오는 캐비티 내의 압력, 전단응력, 온도 등의 영향을 알아본다. 그리하여 충전시 발생될 수 있는 웰드라인(Weld line), 미충전(Short shot), air trap 등의 성형불량 현상을 미리 예측한다.[2,3]

우수한 물성을 갖는 성형품은 열과 변형이력에 연관된 미세구조의 변화와 잔류응력을 최소화하기 위하여, 수지의 과충전이나 미성형 등을 예방하는 유동해석, 제품 전체의 균일한 냉각을 실현시켜 냉각속도의 차이에 의한 잔류응력을 예방하는 냉각해석, 제품 냉각시 금형 안에서 수지의 수축에 의한 제품 변형을 방지하고 사출 불량요인을 줄이는 보압해석 등이 있다. 위의 해석을 통하여 나타난 결과를 입력 값으로 사용하여 변형해석을 하면 취출 후 사출 성형품의 변형량과 형태를 예측 할 수 있

다.[4,5,6]

사출제품의 개발은 일반적으로 ① 수지선정/제품설계 ② 금형설계 ③ 금형제작 ④ 시사출성형 ⑤ 금형수정 ⑥ 시사출성형 ⑦ 양산 등의 과정을 거쳐 이루어진다. 따라서 사출성형에서 CAE를 적용하고자 할 때 수지선정/제품설계 등 개발 초기단계부터 CAE를 이용해야 효과를 극대화 할 수 있다. 예를 들어 시성형시 발생한 문제점을 해결하고자 CAE를 적용하게 되면, 수지 선정이 잘못되어 재선정 해야 하거나, 제품의 강도가 충분치 못해 구조설계를 다시 해야 하거나, 혹은 금형의 많은 부분을 수정해야 하므로 이를 위한 수정 비용과 시간이 중복투자되어 낭비가 심할 수도 있고, 제한된 금형수정만 해야 할 경우에는 CAE를 이용하더라도 양품의 생산을 기대할 수 없기 때문이다.[7]

Stack mold는 2개의 금형을 서로 마주보게 겹친 형태로 되어 있는데 이때 한쪽 금형의 가동측은 사출 성형기의 Injection nozzle side의 설치판에, 또 다른 금형의 가동측은 사출 성형기의 Clamping side 설치판에 장착되며, 두 금형의 고정 측은 그 중간 부분에 위치 한다. 이 경우 고정 측과 Runner & gate system은 설치판에 장착되지 않으므로, 두 가동 측 사이에서 균형된 작동과 적절한 지지가 이루어져야 과도한 충격하중을 방지하고 정밀한 Cavity-Core Alignment를 이루어 금형 수명 및 제품 수준을 높일 수 있다. 이러한 Stack mold는 높은 수준의 Engineering 과 Manufacturing 능력을 요구하지만, 고가의 사출기에서 한번의 Cycle로 생산성을 2배 또는 그 이상(4X Stack mold에서는 4배) 올릴 수 있고, 설비 투자 및 공간의 추가 없이 생산성을 획기적으로 증가 시킬 수 있어, 최근 활발히 개발이 이루어지고 있다.[8]

본 연구에서는 현재 Stackmold방식으로 4개의 Cavity에 4개의 Hot-Runner가 설치된 금형을 통해 생산중인 DVD Tray 박막사출제품의 생산 원가 절감을 위해서 Cavity하나에 한 개의 Hot-Runner를 설계하기 위해서 CAE 해석을 통해 게이트의 위치, 냉각채널과 온도에 따라 비교하여 해석해 최적의 제품 설계를 하였다. CAE 해석에는 상업화된 CAE 프로그램인 Moldflow를 사용하였고, 수지는 PC+ABS 를 사용하였다.

2. CAE Analysis

2.1 Modeling & Condition

3D DVD-Tray Model을 CAE해석을 위해 Moldflow사의 Moldflow 사출성형 해석 Software를 이용하여 Mesh

를 생성하고, Cooling Line 을 설계한다. Cooling Line의 설계에 따라 냉각 효율이 달라져 변형량이 달라진다.

따라서 두 가지 Case로 설계를 하여 냉각 효율을 최적화 하고, Gate는 1개의 Hot-Runner에 1Gate, 2Gate, 4Gate 등 공정변수를 위해 Modeling 한다. [그림 1]은 DVD-Tray의 Mesh Model 이고, [그림 2]는 Case별 Cooling Line의 Model이다. 사용수지는 PC+ABS(LG화학 Lupoy HR-5007)이고 [표 1]은 CAE Analysis Condition을 나타낸다.

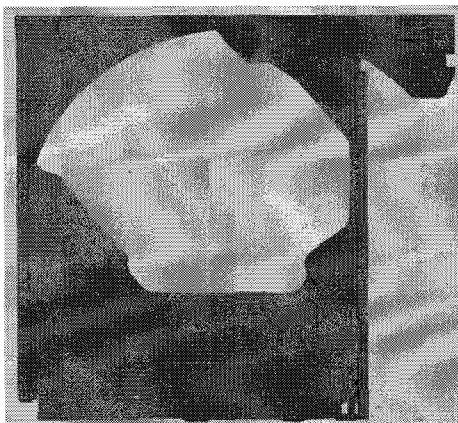
[표 1] CAE Analysis Condition

Inj. Time	Melt Temp.	Mold Temp.	Packing time	Cooling Time
1.2sec	260℃	70℃	10sec	30sec

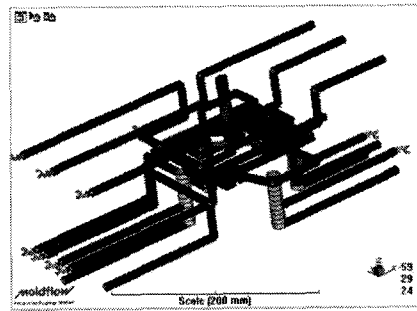
2.2 Gate와 Cooling Line에 따른 유동해석

Moldflow Software를 이용하여 Gate 위치에 따른 유동 해석과 Cooling Line에 따른 유동해석을 하였다. 사출성형에서 수지의 유동은 Gate의 개수와 위치에 따라서 달라지고, 또 Cooling Line에 의한 영향도 받는다.

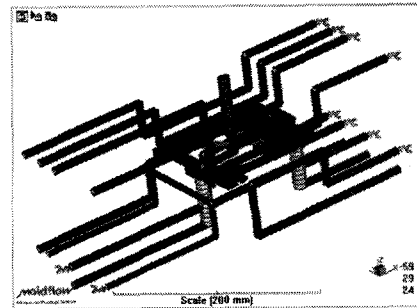
Gate에 따른 Cooling Line Case별 Simulation을 통해 최적의 Gate 위치를 찾는다. [그림 3]은 Case1(Cooling Line)일 때 Gate 위치별 Flow Pattern을 나타낸 그림이고, [그림 4]는 Case2(Cooling Line)일 때 Gate 위치별 Flow Pattern을 나타낸 그림이다. Gate는 1Gate, 2Gate #1, 2Gate #2, 2Gate #3, 4Gate 로 Simulation 하였고 냉각온도는 70℃이다. Gate는 한 개의 Hot-Runner를 통해 Cold-Runner 서브마린 Gate로 설계되었으며, [그림 3]에서 나타나듯 2Gate는 대각선 양방향으로 나누고, 직각방향으로 나누어 3개의 Case로 설계하였다.



[그림 1] DVD-Tray Mesh Modeling

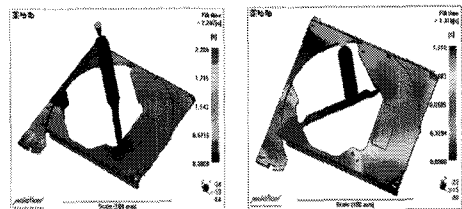


Case1



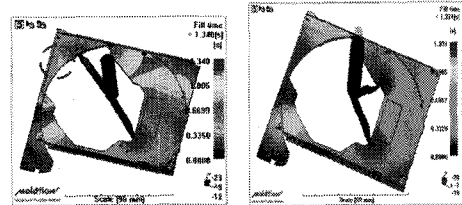
Case2

[그림 2] Case 별 Cooling Line Modeling



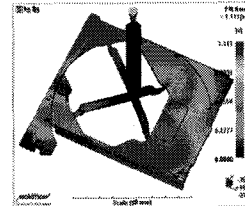
1Gate

2Gate #1



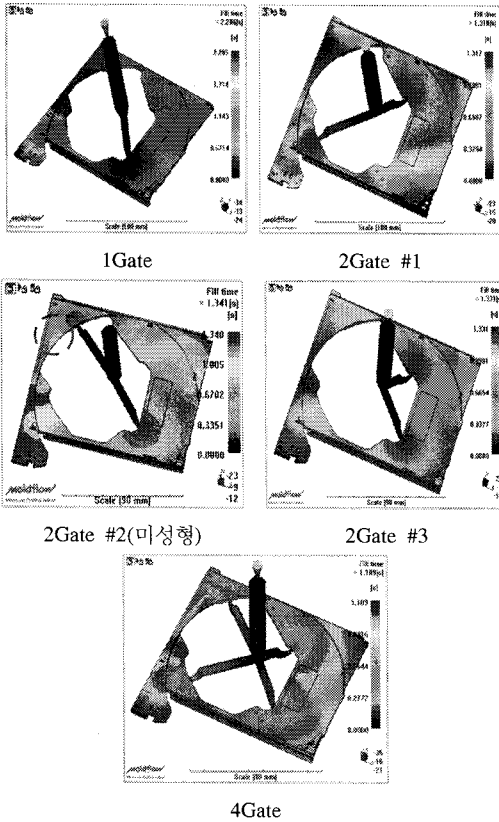
2Gate #2(미성형)

2Gate #3



4Gate

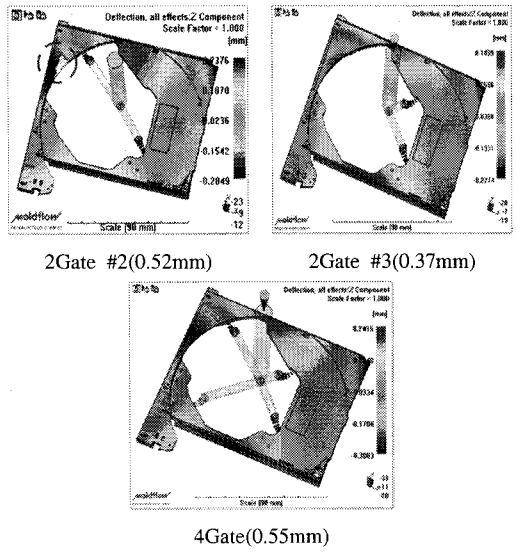
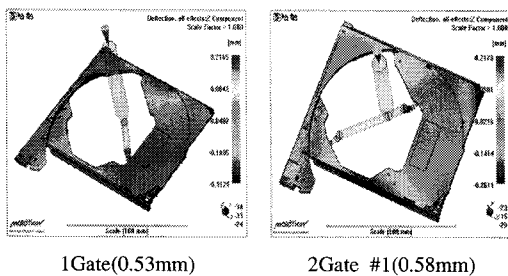
[그림 3] Case1(Cooling Line)에서의 Gate별 Flow Pattern



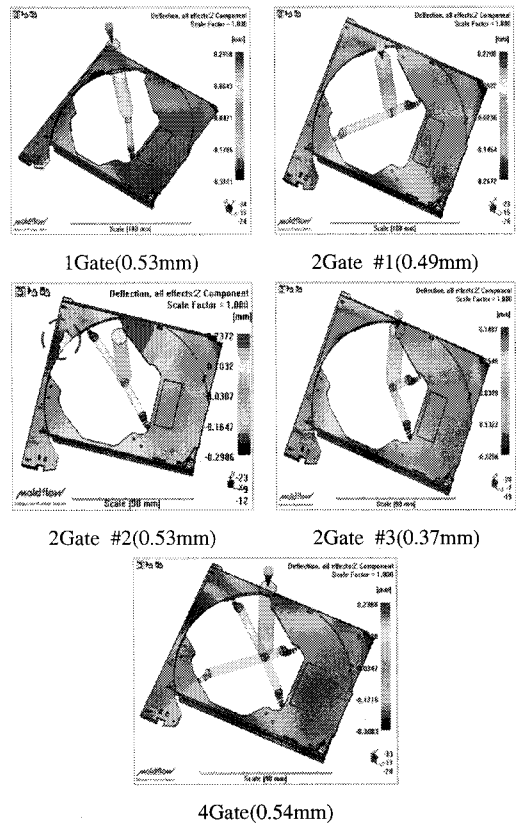
[그림 4] Case2(Cooling Line)에서의 Gate별 Flow Pattern

2.3 Gate와 Cooling Line에 따른 힘 해석

Moldflow Software를 이용하여 Gate 위치에 따른 힘 해석과 Cooling Line에 따른 힘 해석을 하였다. 사출성형에서 가장 중요시 되는 요인 중 하나가 변형량이다. Gate와 Cooling Line에 따라서 변형량 또한 큰 영향을 미치는데 치수안정성이 중요한 제품일수록 초기 최적화 설계가 필요하다. [그림 5]는 Case1(Cooling Line)일 때 Gate 위치별 Warpage를 나타낸 그림이고, [그림 6]은 Case2(Cooling Line)일 때 Gate 위치별 Warpage를 나타낸 그림이다. Gate는 1Gate, 2Gate #1, 2Gate #2, 2Gate #3, 4Gate로 Simulation 하였고 냉각온도는 70℃이다.



[그림 5] Case1(Cooling Line)에서의 Gate별 Warpage

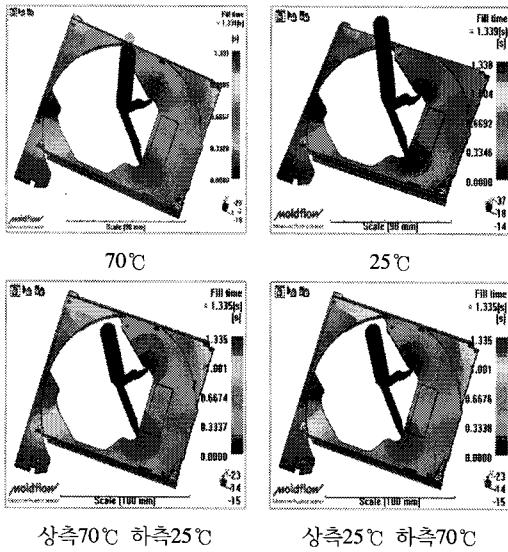


[그림 6] Case2(Cooling Line)에서의 Gate별 Warpage

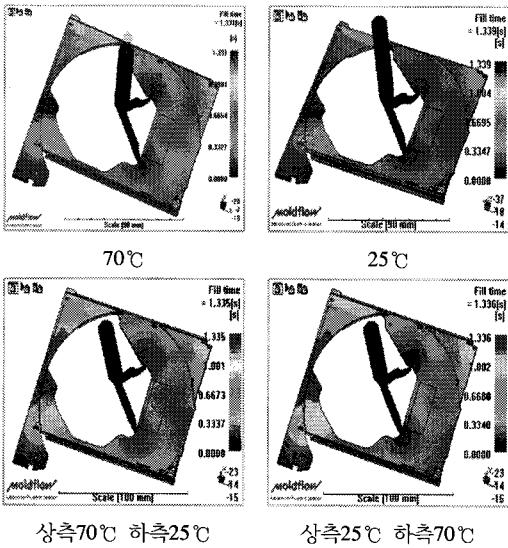
2.4 냉각온도에 따른 유동해석

사출성형품은 성형조건에 따라서 다른 특성을 갖는다.

냉각온도를 공정변수로 설정하여 Simulation 하여 최적의 사출조건을 찾는다. 앞서 진행된 실험에서 최적의 Gate 위치로 적합한 Gate2 #3 Model을 이용하여 냉각온도가 미치는 영향을 알아보았다. [그림 7]은 냉각온도에 따른 Case1(Cooling Line)에서의 Flow pattern을 비교한 그림이고, [그림 8]은 냉각온도에 따른 Case2 (Cooling Line)에서의 Flow pattern을 비교한 그림이다. 냉각온도는 70℃, 25℃, 상측70℃ 하측25℃, 상측25℃ 하측70℃ 이다.



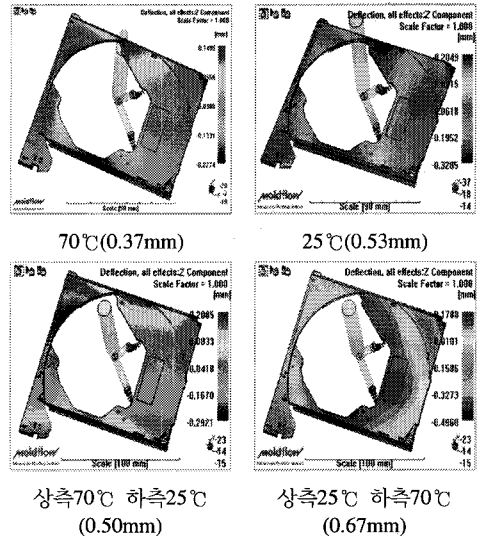
[그림 7] Case1(Cooling Line)에서의 냉각온도에 따른 Flow Pattern 비교



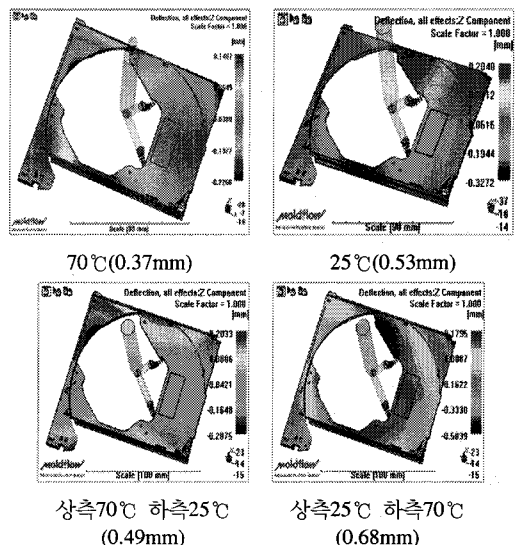
[그림 8] Case2(Cooling Line)에서의 냉각온도에 따른 Flow Pattern 비교

2.5 냉각온도에 따른 휨 해석

사출성형에서 변형량에 가장 큰 영향을 미치는 것이 냉각이다. 냉각 온도와 시간, 냉각 채널에 따라서 변형량은 크게 달라진다. Gate2 #3 Model을 이용하여 냉각온도가 미치는 영향을 알아보았다. [그림 9]는 냉각온도에 따른 Case1(Cooling Line)에서의 Warpage를 비교한 그림이고, [그림 10]은 냉각온도에 따른 Case2(Cooling Line)에서의 Warpage를 비교한 그림이다. 냉각온도는 70℃, 25℃, 상측70℃ 하측25℃, 상측25℃ 하측70℃ 이다.



[그림 9] Case1(Cooling Line)에서의 냉각온도에 따른 Warpage 비교



[그림 10] Case2(Cooling Line)에서의 냉각온도에 따른 Warpage 비교

3. 결 과

Gate별 유동해석 결과를 보면 2Gate#1에서 미성형이 발생했다. 이는 Flow Pattern 만으로 보았을 때 2Gate#1을 제외하고, 다른 모델은 성형이 가능하다. 또, 성형품의 변형량에 크게 작용하는 요인 중 하나인 Cooling Line 설계에 따른 변형량을 알아보았다. 최적의 Gate를 설계하기 위해 두 가지 Case의 Cooling Line에 따른 변형량은 [표 2]에서 나타내었다.

[표 2] Gate별 Cooling Line에 따른 변형량

Cooling Line	(mm)				
	1Gate	2Gate #1	2Gate #2	2Gate #3	4Gate
Case1	0.53	0.58	0.52	0.37	0.55
Case2	0.53	0.49	0.53	0.37	0.54

성형품의 변형량에 크게 작용하는 요인 중 또 다른 하나인 냉각온도에 따른 변형량을 알아보았다. 최적의 Gate 위치로 선정된 모델을 통해 온도에 따른 변형량을 [표 3]에서 나타내었다.

[표 3] 냉각온도에 따른 변형량

Cooling Line	(model : 2Gate#3 / mm)			
	70℃	25℃	상 : 70℃ 하 : 25℃	상 : 25℃ 하 : 70℃
Case1	0.37	0.53	0.50	0.67
Case2	0.37	0.53	0.49	0.68

4. 결 론

사출성형 CAE 해석 결과 Gate별 Cooling Line에 따른 비교에서 유동으로 볼 때 2Gate#2 Model은 미성형이 발생하여 적합하지 않고, 다른 Gate Model은 성형은 충분하다. 하지만 변형량을 포함하여 생각할 때, Gate에 따른 변형량이 최소가 되는 2Gate#3 Model(0.37mm)이 최적의 Gate위치로 적합하다. 또 Cooling Line과 냉각온도에 따른 비교 결과 70℃에서 변형량이 최소가 되어 최적의 사출조건으로 적합하다. Cooling Line에 따라서 변형량이 다소 차이를 보이지만 최소 변형량을 고려할 때 크게 영향을 받지 않았고, 최적의 사출 조건을 찾기 위해 전체의 변형량을 고려할 때 Case2의 Cooling Line에서 2Gate#3 Model(0.37mm)이 최적화 설계이며, 70℃의 냉각온도가

최적의 조건이다.

참고문헌

- [1] Kim, B. H., Jang, W. J., Kim, J. H., Cho, J. H., Park, Y. H. and Choe, S. J., "Application of CAE in Injection Molding Process," HWAHAK KONGHAK, Vol. 41, pp. 577~584., 2003
- [2] Spencer, R. S. and Gilmore, G. D., "Flow Phenomena in the Injection Molding of Polystyrene," J. Collid. Sci., 6, 118., 2002.
- [3] Spencer, R. S. and Gilmore, G. D., "Eguation of state for High Polymers" J. Appl. Phys., 21, 523., 1950
- [4] Bakerdjan, Z. and Kamal, M. R., "Distribution of Some Physical Properties in Injection-Molded Thermoplastic Parts," Polym. Eng. Sci., 17, 96-100., 1977
- [5] White, J. L. and Dee, H. B., "Flow Visualization for Injection Molding of Polyethylene and Polystyrene Melts," Polym. Eng. Sci., 14, 211., 1974
- [6] Chinag, H. H., "Simulation and Verification of Filling and Post-Filling Stages of the Injection-Molding Process," Ph.D. Thesis, University of Cornell, Ithaca, New York., 1989
- [7] Kim, W. Y. and Lee, S. H., "CAE Application in Injection Molding and Its Software," Polymer Science and Technology., Vol. 9, No. 4, 1998
- [8] Shin, J. S., Hwang, S. H., Kim, Y. J., Jung, K. J., Heo, Y. M. and Yoon, G. S., "Development of 2-level Stack Mold for Functional Packaging," 한국정밀공학회, 2006

김 동 학(Dong-Hak Kim)

[정회원]



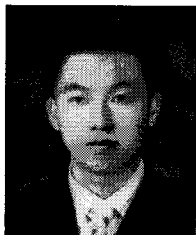
- 1986년 : 서울대학교 화학공학과 (공학사)
- 1988년 : KAIST 화학공학과 (공학석사)
- 1993년 : KAIST 화학공학과 (공학박사)
- 1998년 ~ 현재 : 순천향대학교 나노화학공학과 부교수

<관심분야>

고분자가공, 유변학 및 이동현상

정 재 엽(Jae-Youp Chung)

[정회원]



- 2007년 : 순천향대학교 화학공학과(공학사)
- 2007년 ~ 현재 : 순천향대학교 나노화학공학과(석사과정)

<관심분야>

고분자가공, 유변학 및 이동현상