

사출성형 CAE해석을 이용한 성형품의 Weldline과 변형에 관한 연구

정재엽*, 김동학*

*순천향대학교 나노화학공학과

e-mail : dhkim@sch.ac.kr[†]

Effect of Processing Conditions on the Weldlines and Shinkage of Injection-Molded parts by using both CAE and Experiment

Jae-Youp Chung*, Dong-Hak Kim*

*Dept of Chemical Engineering, SoonChunHyang University

요 약

본 연구에서는 무도장 Weldless 평가금형을 이용하여 사출성형 공정조건에 따라 다양한 형태의 변형이 생기는 성형품을 CAE를 통하여 ABS와 PC의 사출조건 냉각시간, 보압의 유/무 등에 따라서 발생하는 문제점과 변형량을 예측하고, 실제 사출성형 되어진 성형품과의 비교 분석을 통하여 사출성형 CAE 해석을 실제 사출성형 공정에서의 활용방안에 대하여 검토하였다.

1. 서론

고분자의 가공방법 중 사출성형으로 제조되는 플라스틱 제품은 산업의 모든 분야에서 활용되고 있다. 특히 원가 절감과 환경보호 측면에서 자원 재활용이 강조 되면서 사출성형으로 생산되는 제품은 더욱 널리 사용되고 있는 추세이다. 하지만 기존의 사출성형공정은 개발 중 빈번한 금형 수정으로 인하여 금형의 품질이 저하되며 금형 제작비용이 상승한다. 사출성형의 특성상 제품의 결함은 시험사출이나 더 나아가 생산과정에서 밝혀지는 것이 보통이다. 그 결과 품질의 균일성 확보가 어렵고 문제 해결에 많은 비용이 들뿐더러 시행착오의 반복으로 개발기간이 연장되어 제품생산이 지연되는 경우가 많다. 따라서 CAE(Computer Aided Engineering) 기술을 접목시켜 사용하면 제품이 제조되기 전에 개발 및 생산과정에서 예상되는 모든 문제점들을 미리 분석하여 최적의 설계치를 얻을 수 있으므로 종래의 방법에서 빈번하게 발생하는 설계변경, 금형수정, 시험사출 반복 등으로 인한 시간 낭비와 비용지출을 방지할 수 있으며 품질을 향상시킬 수 있다.[1,2]

CAE는 제품 개발중의 불확실 요인을 검증된 이론과 축적된 Data Base를 이용하여 분석, 문제점을 사전에 제거함으로써 최적 설계를 이룩하는 기술이다. 제품설계는 물론 제품이 개발되고 제조되는 전체 과정을 최적화하고 제어하는 것을 목적으로 한다. 금형설계와 가공, 사출성형기의 효과적인 운전과 사용하는 재료의 특성을 고려한 능동적인 선택이 포함된다. 설계도를 토대로 제품을 개발하는 과정에서 최종 제품의 강도나 기타 성능 면에서 설계자가 의도했던 특성이 유지될 수 있는지를 파악하기는 어렵다. 설계된 제품모형을 실제로 제작하기에 앞서 컴퓨터 안에서 수치해석을 통하여 상세히 분석하고 그 결과를 토대로 최적화 설계를 구현하는 시스템이 CAE라고 할 수 있다.[3,4]

CAE의 효과는 CAE기술을 사용하지 않을 경우와 비교하면 극명하게 대비된다. 보편적인 사출성형 제품 제조과정에서는 대부분의 경우 몇 번의 시행착오를 거치게 된다. 제품이 대형화되고 높은 정밀도가 요구될수록 시행착오를 범할 가능성은 증가한다. 이는 곧 개발기간의 지연과 제품의 원가상승으로 이어져 경쟁력을 떨어뜨리는 원인이 된다.[5,6]

본 연구에서는 무도장 Weldless 평가금형을 이용

하여 CAE 해석을 통해 PC와 ABS의 수지별 사출 조건 냉각시간과, 보압의 유,무에 따라 변형량을 예측하고, 실제 사출성형 되어진 성형품과 변형량 비교를 통하여 사출성형 CAE의 활용방안에 대하여 검토하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 실험재료 및 장치

본 연구에서는 사출성형공정 모사를 위해 상용화된 Software를 사용하였다. 사출성형품은 3D CAD Program인 Pro/ENGINEER를 사용하여 모델링 하였고, 사출성형 CAE해석은 MAPS-3D Program을 사용하여 Mesh생성과 유동, 냉각, 보압, 휨 해석을 수행하였고, 실험재료는 PC와 ABS를 사용하여 사출조건에 따른 사출성형실험을 실시하였다.

2.2 사출성형 CAE

2.2.1 Modeling

사출성형품의 모델링은 Pro/ENGINEER CAD Program을 사용하여 완성되고, 완성된 CAD File을 MAPS-3D Program에 포함된 Modeler Tool 에서 Mesh를 생성하고 Cooling Line 을 Design 하여 해석에 필요한 Model을 완성하였다. Fig.1은 Part Design(a)과 Cooling Line Design(b)을 나타내고, Fig.2 은 Simulation을 위해 완성되어진 Model을 나타낸다.

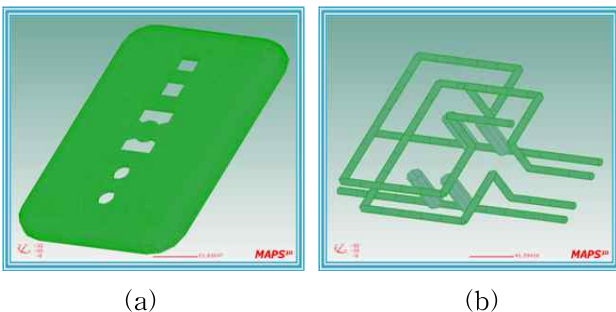


Fig.1 Part Design(a) 와 Cooling Line Design(b)

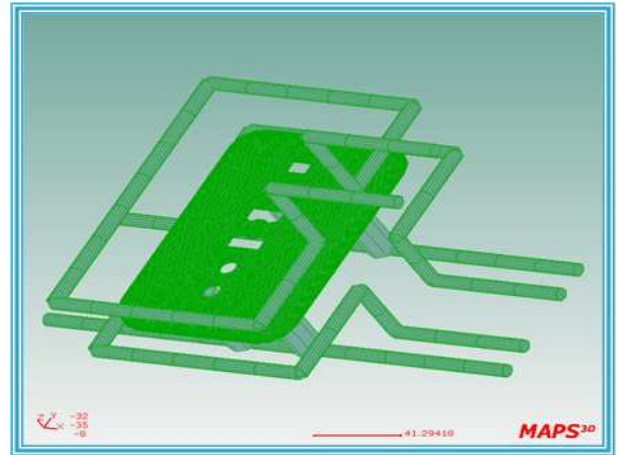


Fig.2 Analysis Model

2.2.2 Simulation

Simulation을 위해 사용되어진 수지는 ABS(LG Chemical / HI121)와 PC(GE Plastic / Lexan121R)가 사용되었고, 해석조건은 Table.1 과 같다. 사출조건에 따른 비교를 위하여 실험조건을 Table.2 와 같이 변화시켜 Simulation을 실시하였다.

Table.1 CAE Analysis Condition

Resin	Fill Time	Coolant Temp.	Mold Temp.	Melt Temp.
ABS	8 sec	20℃	60℃	230℃
PC				280℃

Table.2 Experimental Condition

	Cooling Time	Pack(2sec)
Case1	25sec	No
Case2	15sec	No
Case3	25sec	ABS(68kg _t /cm ²) PC(80kg _t /cm ²)

2.2.3 Injection Molding

사출성형은 Hyundai 250톤 사출기를 통해 실험을 실시하였다. 사용되어진 수지는 CAE해석 DATA와 비교를 위해서 Simulation과 마찬가지로 ABS(LG Chemical / HI121)와 PC(GE Plastic / Lexan121R)가 사용되었고, 사출조건은 Table.3 과 같다. 사출조건에 따른 비교를 위해서 변화조건은 앞의 Table.2와 같다.

Table.3 Injection Molding Condition

Stroke	Fill Time	Coolant Temp.	Mold Temp.	Melt Temp.
46.2mm	8 sec	20℃	60℃	230℃ 280℃

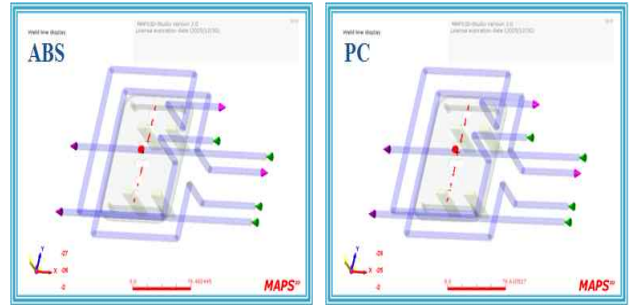


Fig.4 Weldline

3. 결과 및 고찰

3.1 CAE 해석 결과

3.1.1 Flow Analysis

Fig.3 는 ABS와 PC의 유동해석 Flow-Pattern을 나타낸다. 사출시간이 지남에 따라 Gate에서 수지가 채워지는 과정을 모사한 것이다. Flow-Pattern은 수지와 사출조건에 영향을 받지 않고 제품의 구조가 같을 경우 수지의 흐름은 유사함을 나타낸다.

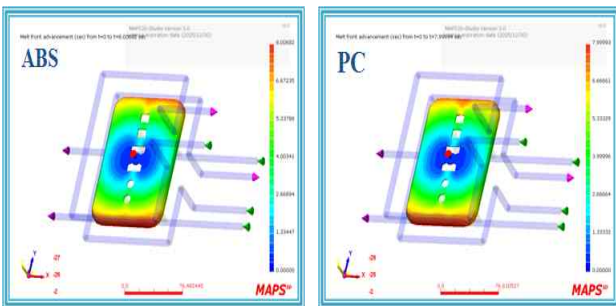


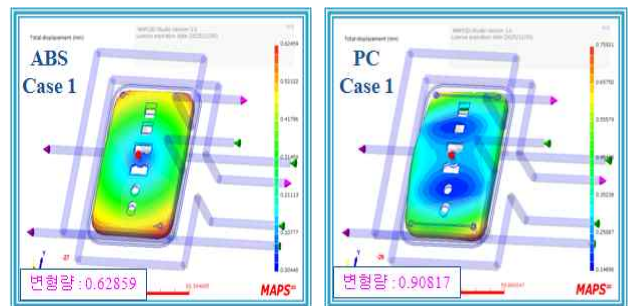
Fig.3 Flow-Pattern

3.1.2 Weldline Analysis

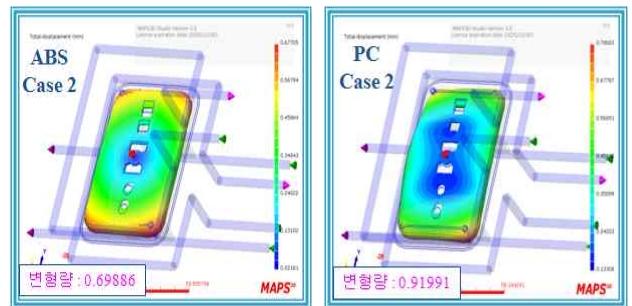
Weldline은 서로 다른 두 개 이상의 방향을 갖는 유동이 서로 만나면서 표면에 남기는 흔적으로 사출 성형에서 나타나는 대표적인 불량 중에 하나이다. Fig.4 는 ABS와 PC성형품의 Weldline을 나타낸다. Weldline 또한 수지와 사출조건에 영향을 받아 그림과 같이 Weldline이 발생할 것이라고 예측된다.

3.1.3 Warp Analysis

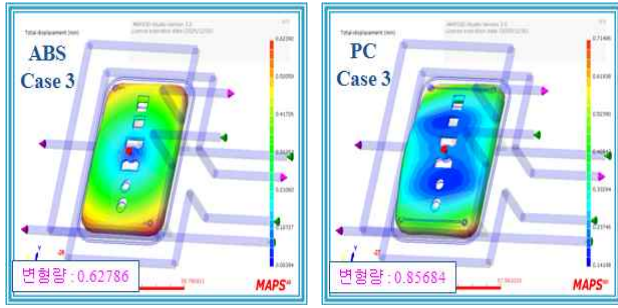
Warp Analysis는 사출성형품의 변형현상을 해석하여 과학적인 이해를 돕고 변형이 어느 곳에 발생할 것인지를 예측하여 결과적으로 설계의 최적화를 이루고 적절한 재료의 선정과 성형조건을 결정하게 함으로서 금형이 가공되기 전에 제품의 변형을 방지할 수 있는 방안을 모색할 수 있게 한다. Fig.5는 수지와 사출조건에 따른 변형(Total)을 나타낸 것이다. (a)는 실험조건 Case1에 대한 ABS와 PC의 Total-Warpage를 나타내고, (b)는 실험조건 Case2에 대한 Total-Warpage를 나타내고, (c)는 실험조건 Case3에 대한 Total-Warpage를 나타낸다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 5 사출조건에 따른 변형량(Total / Scale : 15)

4. 결론

본 연구결과 실제사출성형품의 불량은 CAE해석을 통해 사전에 예측이 가능하고, 변형량은 각 수지와 사출조건에서 다르게 나타난다. ABS와 PC의 비교결과 각 수지가 갖는 고유의 물성에 따라서 변형량이 좌우되며, PC가 ABS보다 더 많은 변형이 생긴다는 것을 알 수 있다. 또, Case에 따른 비교결과 변형량은 사출조건에 따라 많은 영향을 받는데 보압보다 냉각시간이 변형량에 더 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 또, Simulation과 Injection Molding의 비교 결과 사출성형 해석의 최저 95.32%, 최고 99.99%의 정확도로 볼 때, CAE 해석을 통해 최적 설계 및 조건을 찾을 수 있다. 따라서 설계단계에서 사출성형 CAE를 활용하면 개발기간을 단축하고 소요비용을 절감 할 수 있어 경쟁력을 향상시킬 수 있다.

감사의 글

본 연구에 함께 참여해주신 순천향대학교 나노화학공학과 장원, 전강일, 문보람 학부생에게 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Beomho Kim, Woojin Jang, Junghoon Kim, Junghwan Cho, Yunghoon Park, Soonja Choe., "Application of CAE in Injection Molding Process" *Hwahak Konghak* 41, 577-584, 2003.
- [2] Ji-Eun Hwang, Dong-Wook Lee, Jong-Soon Kim, Tae-Ho Kang., "The Analysis of Injection Molding for Electronic Dehumidifier" *한국기계가공학회 추계학술대회논문집*, 167-171, 2006
- [3] Young-joon Park, Yong Chun, Chun-soo Park., "The Application of Injection Molding Analysis in Automotive Development Process" *한국자동차공학회 춘계학술대회논문집*, 980-1985, 2006.
- [4] Worlyong Kim, Shi-Ho Lee., "CAE Application in Injection Molding and Its Software", *Polymer Science and Technology* 9, 283-292, 1998.
- [5] 최철주, 이호관., "사출성형산업의 CAE 응용" *대한기계학회지* 31, 60-67, 1991.
- [6] Hyoung-soo Lee, Hi-Koan Lee, Gyun-eui Yang., "A Study on Injection Molding Analysis and Validation of Large Injection-Molding Body Using Design of Experiment", *한국공작기계학회 춘계학술대회논문집*, 109-114, 2005.

3.2 Injection Molding 결과

Fig. 6은 실제 사출성형품에 나타난 Weldline을 나타낸다. 이는 CAE해석에서 예측과 같으며 CAE 해석을 통해서 실제사출성형 전에 미리 확인 및 수정, 보완이 가능하다는 것을 알 수 있다.

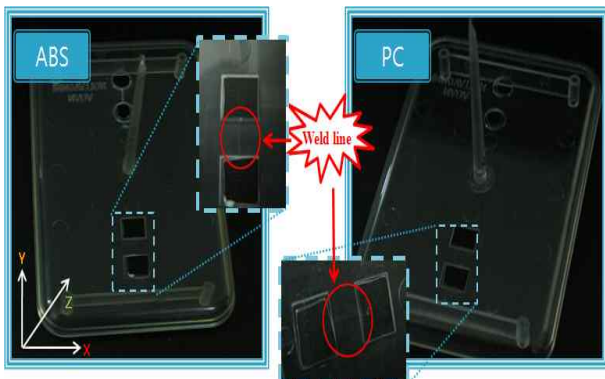


Fig. 6 사출성형품의 Weldline

3.3 CAE해석과 사출성형품의 변형량 비교

Table. 4는 CAE해석과 사출성형품의 변형량 비교 DATA를 나타낸다. X, Y, Z 축은 Fig.6에서 명시하였으며, 성평품과 CAE해석 DATA와 비교 결과 CAE 해석의 정확도는 최저 95.35%에서 최고 99.99%의 정확성을 나타내었다.

Table.4 사출성형품과 CAE해석의 Warpage 비교

구분		ABS (mm)			PC (mm)		
		case1	case2	case3	case1	case2	case3
X	Inj. Mold	0.84	1.04	0.77	1.04	1.07	1.04
	Simulation	0.76	0.82	0.76	0.83	0.88	0.78
Y	Inj. Mold	1.5	1.57	1.47	1.5	1.97	1.37
	Simulation	1.07	1.17	1.07	1.16	1.25	1.1
Z	Inj. Mold	0.67	0.24	0.27	0.27	0.2	0.34
	Simulation	0.3	0.31	0.31	0.84	0.8	0.79