캐비티 압력측정과 CAE해석을 이용해서 PP/LFT수지의 점도모델 파라메타의 추정

김용현[1], 노승규[1], 박은조[1], 김동학[1*]
[1]순천향대학교 나노화학공학과
(dhkim@sch.ac.kr*)

Determination of model parameters of PP/LFT resin using cavity pressure measurement and CAE analysis

Yong-Hyun Kim[1], Seung-Kyu Noh[1], Eun-Jo Park[1], Dong-Hak Kim[1*]
[1]SoonChunhyang Univ. Department of Chemical Engineering
(dhkim@sch.ac.kr*)

서론

사출성형은 플라스틱 원료를 가공하는 중요한 성형 공법 중의 하나로 사용되는 원료는 열가소성, 열경화성으로 구분된다. 사출성형에 의해서 가공된 플라스틱 제품들은 우리의 생활 주변에 밀접하게 관계되어 있다. 더 나아가서는 최첨단 산업의 필수적인 부품으로도 이용되고 있다.[1]

캐비티 내에서 이루어지는 충전, 보압, 냉각의 공정에서 중요한 변수는 사출압력, 사출속도와 온도이다. 사출압력과 속도는 수지의 유동성에 영향을 미치며 온도는 사출품의 수축과 변형에 영향을 미친다. 이러한 변수들이 적절하지 않을 경우 short shot, flash, flow mark, crack, jetting 등 제품의 결함이 생기게 되며 수많은 연구와 실험, Computer Aided Engineering (CAE)해석 프로그램을 이용해 이러한 문제점들을 해결하기 위해 노력하고 있다.[2]

기존의 점도계를 이용한 점도 측정 방식으로는 고점도 물질 및 복합재료의 점도를 측정하기 어려우며 측정이 가능하다고 하여도 측정된 데이터에 대한 신뢰성이 떨어지게 된다. 따라서 사출성형 공정에서 캐비티 내의 압력 측정과 CAE해석을 통한 점도 추정에 대한 연구가 진행 되었다.[3] 또한 CAE해석프로그램에 정확한 점도가 입력되지 않으면 전혀 다른 해석 결과를 얻게 된다.

본 연구에서는 2개의 압력센서를 이용하여 캐비티 내의 압력을 측정하였으며 동일한 조건으로 CAE해석을 진행한 뒤 압력 프로파일(pressure profile)을 비교하였다. 이 결과가 일치하지 않을 경우 Cross-WLF의 점도모델을 근거로 매개변수(parameter)를 변경시켜 점도 값을 수정한 뒤 CAE해석을 재진행하며, 두 압력 프로파일이 일치할 때까지 반복적으로 수행을 하였다. 용융 수지가 두 센서를 통과할 때 발생되는 시간차와 압력 증가량을 비교하고 이것이 일치할 경우 동일한 점도라고 추정할 수 있다. 사출성형에 적용되는 실질적인 점도 추정 방법의 개발과 CAE해석프로그램 DB (data base)에 잘못 입력되어진 점도를 수정하고 미지시료에 대한 점도를 추가함으로써 CAE해석결과에 대한 신뢰성 향상과 미지시료에 대한 점도 추정을 목적으로 연구를 진행하였다.

이론

사출성형 공정은 사출성형기의 제어 변수에만 중점을 두어 개발되었다. 이러한 공정은 사출성형기 운영자에게 제한된 정보를 제공해주게 된다. 또한 동일 조건으로 사출성형을 진행하더라도 사이클별로 차이를 보이게 될 것이다. 금형 내부의 상황을 육안으로 관찰 할 수 없기 때문에 압력센서를 이용한 캐비티 내압 측정으로 시간에 따른 압력 그래프를 얻을 수 있고, 이를 통해 사출성형 조건 설정 및 조정이 가능해진다. 캐비티 내압 측정 시스템의 이점으로는 동일한 품질의 제품이 생산 되도록 하여 불량품의 수를 감소시킬 수 있고, 그래프를 통해 적절한 보압 전환점과 보압시간, 세기를 설정하여 불필요한 재료의 사용을 줄이고 공정 사이클을 최적화 시킬 수 있다.[4]

이번 실험에 쓰인 LFT는 단섬유 충전 강화재료보다 내마모성, 내피로성, 충격강도 등 기계적 물성이 우수하다.[5]

이번 연구의 목적인 점도 추정은 사출성형에서의 압력프로파일과 CAE해석의 압력프로파일의 충전 단계에서의 압력과 시간 관계 그래프를 일치화 시킴으로서 점도를 추정하게 된다.

실험

실험에 사용된 금형은 Fig 1과 같은 도면으로 제작되었으며 1 캐비티의 사각형 형태로 되어 있으며 압력센서는 게이트와 가까운 곳과 먼 곳 두 위치에 설치하였다. 2개의 센서를 설치한 이유는 P1에서 P2로 용융수지가 이동하는 시간차와 압력 변화량을 관찰하기 위함이다.

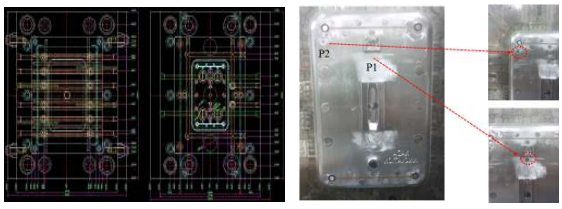


Fig 1. 시험 금형의 도면과 압력센서 위치

사출성형기는 우진 세렉스사의 형체력 220ton의 NE220 모델을 사용하였으며 압력센서는 KISTLER사의 6157BA모델을 사용하였다. 실험으로 측정된 압력 프로파일의 비교를 위해 Autodesk사의 Moldflow를 사용하여 진행하였다.

실험에 사용된 수지는 삼성토탈의 그레이드 HJ700인 PP와 삼박 LFT의 그레이드 Supuran 1330인 PP/LGF30%를 사용하였다. PP의 경우는 CAE프로그램에 등록된 정보가 맞는 것인지 검토를 위해 진행하였다.

사출성형 조건 중 사출 속도를 변수로 진행 하였으며 초기 충전 단계에서의 압력 프로파일을 이용해 점도를 추정 하였다. 압력 측정 시스템은 Fig 2와 같다.

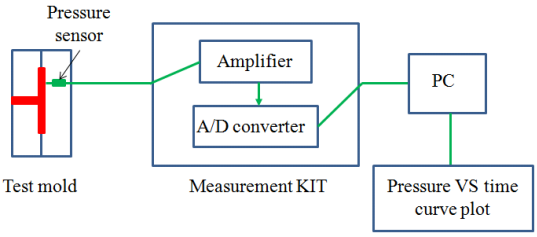


Fig 2. 압력 측정 시스템

PP와 PP/LGF30% 수지의 사출성형 공정과 CAE해석 조건은 아래 표와 같다.

Table 1. PP의 사출성형 공정 및 CAE해석 조건

Injection molding and CAE analysis conditions			
Resin	HJ700(RJ700)/Samsung Total		
Mold Temp.	40 ℃		
Melt Temp.	180 ℃		
Injection speed	Case1	Case2	Case3
	15%	25%	35%
Injection pressure	60bar		
V/P switch-over	By volume filled 95%		
Cooling time	35 sec		

Table 2. PP/LGF30%의 사출성형 공정 및 CAE해석조건

Injection molding and CAE analysis conditions			
Resin	Supuran 1330/Sambark LFT		
Mold Temp.	40 ℃		
Melt Temp.	180 ℃		
Injetion speed	Case1	Case2	Case3
	15%	25%	35%
Injetion pressure	60bar		
V/P switch-over	By volume filled 95%		
Cooling time	45 sec		

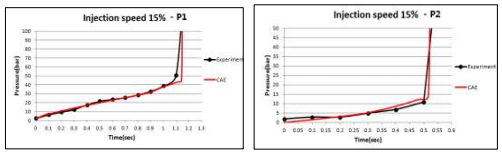
결과 및 고찰

우선 검토를 위해 진행된 PP를 먼저 살펴보면, 아래 표는 CAE프로그램 DB에 등록된 Cross-WLF 점도 모델의 매개 변수이다.

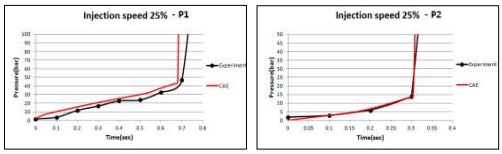
Table 3. PP의 Cross-WLF 점도 모델 매개변수

Cross-WLF viscosity model	
n	0.2736
Tau*(Pa)	23864.1
D1(Pa × s)	2.03111×10^{11}
D2(K)	263.15
D3(K/Pa)	0
A1	23.678
A2(K)	51.6

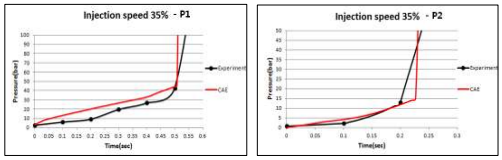
실험을 통해 측정된 압력과 CAE해석 압력 비교 그래프를 Fig.3에 나타내었다.



(a) Case1의 충전 단계 압력비교



(b) Case2의 충전 단계 압력비교

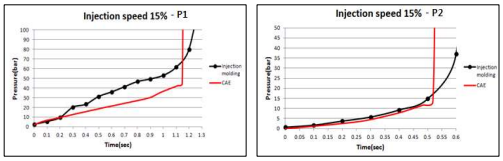


(c) Case3의 충전 단계 압력비교

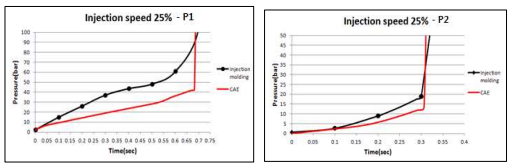
Fig 3. PP의 충전 단계에 대한 캐비티 내압과 CAE해석 압력 비교

Case 1은 P1, P2 모두 캐비티 내압과 CAE 해석 압력 프로파일이 일치하는 것으로 나타났으며 Case2의 캐비티 내압이 낮게 측정되었지만 전체적인 경향성은 동일한 것을 확인 할 수 있다. Case3의 결과는 P1의 경우 최대 10bar의 압력 차이를 보였으나 충전이 완료되는 시점에서의 압력은 동일하게 나타난 것을 확인 할 수 있다.

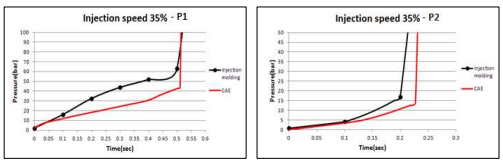
PP/LGF30%의 경우 Moldflow에 등재되어있는 CAE해석 압력프로파일과 사출성형 실험을 통해 측정된 압력프로파일의 비교를 Fig.4에 나타내었다.



(a) Case1의 충전 단계 압력 비교



(b) Case2의 충전 단계 압력 비교



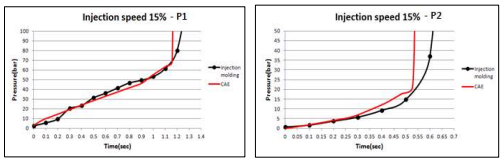
(c) Case3의 충전 단계 압력 비교

Fig 4. PP/LGF30%의 충전 단계에 대한 캐비티 내압과 CAE해석 압력 비교

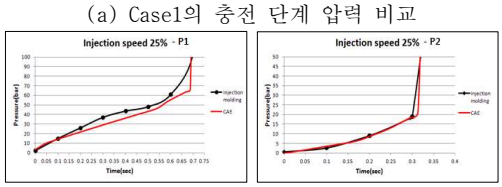
모든 Case에서 CAE해석의 압력이 낮은 것을 확인 할 수 있었고 Cross-WLF 점도 모델의 매개변수를 변경하면서 반복적으로 해석을 진행하였으며, 반복해서 진행된 해석을 통해 Table 4와 같이 파라미터를 최종 변경을 하였다.

Table4. PP/LGF30%의 Cross-WLF 점도모델매개 변수

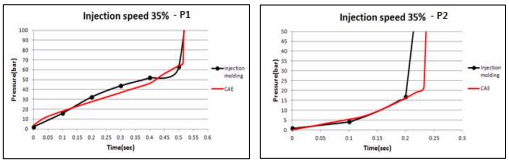
Cross-WLF viscosity model		
	CAE D/B	Modification
n	0.4046	0.4046
Tau*(Pa)	8179.5	8179.5
D1(Pa × s)	5.31581×10^{14}	1.59474×10^{15}
D2(K)	263.15	263.15
D3(K/Pa)	0	0
A1	33.692	33.692
A2(K)	51.6	51.6



(a) Case1의 충전 단계 압력 비교



(b) Case2의 충전 단계 압력 비교



(c) Case3의 충전 단계 압력 비교

Fig 5. PP/LGF30%의 수정된 점도를 이용한 충전 단계에 대한 캐비티 내압과 CAE해석 압력 비교

Fig 5는 수정된 점도에 따른 Case별 충전 단계에서의 압력 프로파일이다. D1의 증가에 따라 CAE해석 압력 프로파일이 전체적으로 증가한 것을 확인할 수 있다. P1에서는 Case2,3을 보면 0.2~0.5sec 구간에서 캐비티 내압이 높게 나타났으며 Case2의 경우 충전 시간이 약 0.1sec 차이를 보였다.

Fig 6.은 수정 전과 수정 후의 PP/LGF30%의 점도를 비교한 그래프이다. 사출성형 및 해석조건이었던 180℃에서의 초기 점도를 비교해보면 수정 전에는 1,193Pa · sec, 수정 후에는 2,846Pa · sec로 2.4배 증가된 것을 알 수 있다.

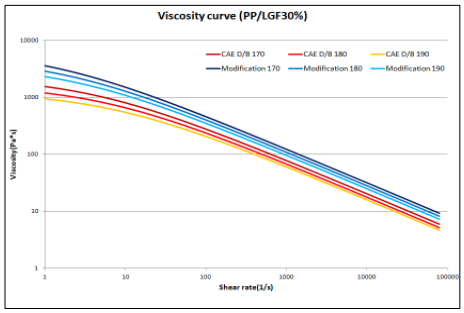


Fig 6. PP/LGF30%의 CAE D/B 점도와 수정된 점도의 비교

결론

본 연구는 사출성형 공정에서 압력센서를 이용해 캐비티 내 충전 단계의 용융수지 거동을 그래프를 통해 관찰함으로 실제 적용되는 점도를 추정하기 위해 진행되었다. 2개의 압력센서를 이용하여 캐비티 내의 용융수지가 P1을 지나 P2로 도달할 때의 압력을 관찰하게 된다. 캐비티 내압과 CAE해석 결과가 일치한다면 동일한 점도라고 추정할 수 있다.

점도가 낮고, 충전재가 없는 PP의 경우엔 CAE프로그램의 점도 정보가 바르게 입력된 것을 확인하였으며, PP/LGF30%에 대한 CAE해석 결과에서는 차이가 나는 것을 확인하였다. 이 점도 정보를 그대로 사용하게 된다면 CAE해석 결과의 신뢰성이 떨어지게 된다. 따라서 점도 추정 Process를 이용한 점도 수정을 진행 하였다. Cross-WLF 점도 모델을 바탕으로 매개변수 중 다른 변수들은 동일 재료이기 때문에 제외시켰으며 점도와 관련된 D1을 증가시켜 압력 프로파일을 일치 시켰다. 점도의 차이를 보였지만 추정된 점도가 사출성형 공정에서 실질적으로 적용되는 점도라고 생각 된다.

이번 실험을 진행하며 CAE프로그램 내의 점도 정보에 수정이 필요한 것을 확인하였으며, 기존의 점도계를 이용한 측정 방식이 아닌 사출성형 공정과 CAE프로그램을 이용한 실질적인 점도 추정 방법의 개발이 가능한 것을 확인 하였다.

참고문헌

1. 노원기 외 2명, “Wold Best를 위한 사출성형과 제품설계”, (주)교보문고, pp.115-116, 2010.
2. 진영준, “사출성형 공정에서 캐비티 내의 압력과 온도 변화에 관한 연구”, 서울산업대학교 대학원 석사학위논문, 2004.
3. 임승현, “사출성형 공정에서 캐비티 내 압력 측정 및 CAE해석을 활용한 Long Fiber Thermoplastic(LFT) 점도 추정”, 순천향대학교 대학원 석사학위논문, 2010.
4. 신남호 외 2명, “CAE를 응용한 사출성형 최적화”, 대광서림, pp.163-164, 2008.
5. Krishan Kumar Chawla, “*Composite Materials*”, Springer Verlag, pp.3-9, 2007.