

사출성형 금형 캐비티 내압 측정장치 개발 및 이를 이용한 새로운 복합재료의 점도 측정

김용현¹, 김동학^{2*}

¹나다이노베이션, ²순천향대학교 나노화학공학과

Development of a cavity pressure measuring device and estimation of viscosity functions of various polymer composites

Yong-Hyeon Kim¹, Dong-Hak Kim^{2*}

¹NADA Innovation

²Department of Chemical Engineering, Soonchunhyang University

요약 본 연구진은 사출성형 공정에서 적용되는 미지 시료 및 고점도의 복합소재 점도를 추정하기 위한 새로운 방법을 제시한 바 있다. 본 논문에서는 사출성형 금형 캐비티 내압을 측정하는 장치를 개발하였다. 이는 사출성형 공정 중의 금형 내를 흐르는 용융체의 압력을 실시간으로 측정하고, 이를 CAE 해석 결과로부터 모사된 압력과 비교함으로써 CAE D/B내의 점도 데이터의 정확성을 검증할 수 있게 한다. 본 연구에서 사용한 재료는 PP(Polypropylene), PP/LGF30%(Polypropylene 과 long glass fiber 50% composite), PA66/LGF50%(Polyamide 6,6와 long glass fiber 50% composite) 이다. 여기서 PP와 PP장섬유복합재료는 이미 점도 데이터가 구축되어 있으나, PA66장섬유복합재료는 새롭게 개발한 재료로써 기존의 점도 데이터가 없기에 본 시스템을 이용해서 새로운 점도 곡선을 추정하였다. 그리고, 일반 점도 측정장치로 구한 점도 곡선과도 비교하였다. 한편, 이미 점도 데이터를 갖고 있는 경우인 PP는 신뢰성을 확인할 수 있었으나, PP/LGF50%의 경우는 높은 점도와 구조의 복잡성으로 인해 기존 점도 데이터의 개선이 필요하였다.

Abstract We have proposed a new method for estimating the viscosity of the composite. In this paper, we have developed a device for measuring the injection mold cavity pressure. This makes it possible to verify the accuracy of the viscosity in CAE D/B in real time by measuring the melt pressure in the mold, and comparing this with the simulated pressure from the CAE analysis. Materials used in this study is a PP(Polypropylene), PP/LGF30%(Polypropylene/long glass fiber 50% composite) and PA66/LGF50%(Polyamide 6,6/ long glass fiber 50% composite). The viscosity data for PP and PP long fiber composite have already been built, but the one for PA66 long-fiber composite does not exist because it is a newly developed material. Thus we obtained the viscosity curve of PA66/LGF50% by this system. Then, the viscosity curves from conventional viscometer were also compared with the viscosity obtained by the our method. And, we proved the accuracy of the CAE data of PP. In case of PP/LGF50% which is highly viscous and complex material, we improved the existing CAE data.because there was a difference between the measuring data and the CAE data.

Key Words : CAE, Injection molding, LFT, Viscosity

이 논문은 2013학년도 순천향대학교 교수연구년제에 의하여 연구하였음

*Corresponding Author : Dong-Hak Kim(Soonchunhyang Univ.)

Tel: +82-10-3772-1023 email: dhkim@sch.ac.kr

Received December 19, 2014

Revised January 5, 2015

Accepted January 8, 2015

1. 서론

사출성형은 플라스틱 원료를 가공하는 중요한 성형 공법 중의 하나이다.¹ 공정을 살펴보면, 고체의 재료를 높은 압력과 마찰열로써 용융시켜 높은 압력을 이용하여 금형 내 캐비티로 주입하여 냉각시켜서 고체 형태의 부품을 제조하는 사이클 공정이다. 이때 용융 수지의 유동성이 부품의 생산성과 최종 품질에 영향을 미친다. 따라서 점도의 정확한 정보는 사출성형 공정에서 매우 중요하다.

자동차 및 휴대 전자부품의 발전에 힘입어 다양한 복합재료가 새롭게 개발되고 있다. 특히, 고점도 물질 및 복합재료의 경우, 기존의 점도계를 이용한 점도 측정 방식으로는 점도를 측정하기 어려우며 측정이 가능하다고 하여도 복잡한 구조로 인해 측정된 데이터도 신뢰하기 어렵게 된다. 따라서 사출성형 공정에서 캐비티 내에 용융체 흐름에 대한 실질적인 점도 특성을 파악할 수 있는 데이터를 얻는 것이 요구된다. 이를 위해서 본 연구진은 사출성형 금형 캐비티 용융 수지의 압력을 측정하고 이를 CAE 해석에서 얻은 모사 압력 프로파일과 비교함으로써 실질적인 점도 데이터를 추정하는 연구를 진행한 바 있다.²

본 연구에서는 이전 연구 성과를 바탕으로 압력 측정 장치를 개량하였다. 금형 내 2개의 압력센서를 설치하여 캐비티 내의 압력을 측정하였으며 동일한 조건으로 CAE 해석을 진행한 뒤 압력 프로파일을 비교하였다. 이 결과가 일치하지 않을 경우 Cross-WLF의 점도 모델³을 근거로 매개변수(parameter)를 변경시켜 점도 값을 수정한 뒤 CAE해석을 재진행하며, 두 압력 프로파일이 일치할 때까지 반복적으로 수업을 하였다. 용융 수지가 두 센서를 통과할 때 발생하는 시간차와 압력 증가량을 비교하고 이것이 일치할 경우 동일한 점도라고 추정할 수 있다.

이와 같이 사출성형 공정 중에 캐비티 압력 측정할 수 있는 장치와 CAE 프로그램을 이용하여 실질적인 점도 추정이 가능한 시스템을 구축하였고, 이를 활용하면 CAE D/B(data base)내 점도 데이터 오류를 수정할 수 있을 뿐만 아니라, 새롭게 개발되는 미지시료에 대한 점도 데이터도 얻을 수 있다.

본 논문에서는 PP, PP/LGF30%(장섬유 30% 함유한 PP복합재료), 그리고 PA66/LGF50%(장섬유 50% 함유한 Nylon 66 복합재료)을 대상으로 연구하였다. PP는 상

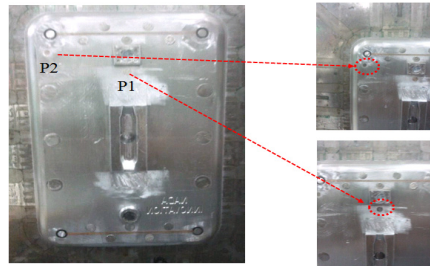
대적으로 구조가 단순한 고분자이고 점도 데이터가 널리 알려져 있고 데이터의 신뢰도가 높다. 반면에, PP/LGF30%는 장섬유강화 열가소성 복합재료로써 기존 CAE D/B에 점도 데이터는 있지만, 실제 성형 조건에서 점도 데이터의 신뢰도는 높지 않다. 마지막으로 PA66/LGF50%는 새로운 부품에 적용하기 위해 개발된 수지로써 아직까지 점도 데이터가 알려져 있지 않은 복합재료이다.

2. 실험

가. 실험장치

① 시험 금형(Test mold)

시험 금형은 사각형 형태로 되어 있으며 스프루를 기준으로 사각형 홀(hole)과 원형 홀이 있다. 이를 통해 웰드라인(weldline), 멜드라인(meldline)을 평가할 수 있는 금형이다.



[Fig. 1] Pressure sensor locations(P1 and P2)

금형 내 압력 센서는 [Fig. 1]와 같이 게이트와 가까운 곳과 먼 곳 2개의 위치에 설치하였다. 2개의 센서를 설치한 이유는 P1에서 P2로 용융수지가 이동하는 시간차와 압력 변화량을 관찰하기 위함이다.

② 사출성형기(Injection molding machine)

사출성형기는 우진 세렉스사의 형체력 220ton의 NE 220 모델을 사용하였다. 유압식 사출기이며 재현성이 우수한 포지션 트랜스듀서를 사용하며 다단, 속도, 압력 제어가 우수하다.

③ 압력 센서(Pressure sensor)

캐비티 내압 측정에 사용된 압력 센서는 KISTLER사

의 6157BA 모델을 사용하였다. 압력 직접 측정 방식이며 측정 가능한 범위는 0~2,000 bar이다. 측정 원리는 석영 결정 (quartz crystal)과 같이 힘 또는 압력을 가하면, 가해진 힘에 비례하여 전하가 발생하는 물질로 자연 또는 인공 석영결정과 같은 압전 소자를 이용하여 측정한다.⁴

④ 증폭기(Amplifier)

증폭기는 KISTLER사의 5073 모델을 사용하였다. 압력 센서에서 측정 된 전하량을 증폭기로 보내면 이것을 비례 전압으로 변환하고 증폭시키게 된다. 증폭기의 압력 측정 범위는 압력 센서와 동일한 0~2,000 bar이며 실험에 사용 된 증폭기는 최대 2개의 압력 센서를 연결하여 사용할 수 있다.

⑤ A/D 변환기(A/D converter)

A/D 변환기는 LabJack사의 U3-HV 모델을 사용하였으며, 증폭기에서 전송된 아날로그(analog) 신호를 디지털(digital) 신호로 변환하여 PC로 전송하는 역할을 한다. 전송되어진 신호를 DAQ factory express 프로그램에서 이를 수집, 분석하여 문서화된다. 문서화 된 데이터는 시간(1/10sec)에 따른 압력신호(voltage)로 그래프화 되어 모니터 및 프린터를 통해 출력 된다.

⑥ CAE해석 프로그램(Moldflow)

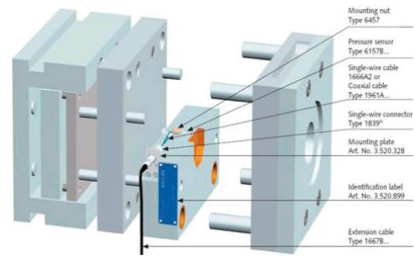
CAE (Computer Aided Engineering)는 컴퓨터를 이용하여 분석을 하는 것을 의미한다. 사출성형뿐만 아니라 전 분야에 걸쳐 적용이 가능하다. 사출성형을 예로 기존에는 사출품의 양산과 관련된 문제들을 경험적으로 해결하게 되는데 이 경우에는 반복되는 시행착오로 금형 수정비용, 재료비용, 개발시간 등 많은 부분에서 손실이 따르게 된다. 하지만 CAE해석 프로그램을 이용하게 되면 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션을 통해 실제 사출성형에서 진행되는 공정에 대해 관찰할 수 있으며 발생하는 문제점들에 대해 예측을 쉽게 할 수 있다. 따라서 일반적인 개발보다 비용 및 개발기간을 단축 할 수 있다.

나. 실험방법

① 금형 내 압력 센서 설치

압력 센서는 고가의 장비이기 때문에 설치 시 주의가 필요하다. 또한 부적절한 설치는 측정된 데이터의 정확도를 떨어뜨리게 되며 설치 위치에 따라 연구방향 및 결

과를 좌우하므로 신중하게 선택해야 된다.⁵



[Fig. 2] Mold structure with pressure sensors



[Fig. 3] Pressure sensor and cable in mold

[Fig. 2]과 [Fig. 3]는 금형 내의 압력 센서와 외부에 연결 된 케이블에 대한 그림이다. 금형 내부에서 케이블이 꺾이거나 단선될 경우 금형을 분해하고 재조립 하여야되므로 충분히 고려한 뒤 설치해야 한다.

압력 직접 측정 방식이기 때문에 설치 시 금형 벽 (mold wall)과 센서의 측정 면이 정확히 일치 되도록 한다. 또한 센서의 케이블은 금형 외벽에 mounting plate로 고정하고 어떤 종류의 센서인지 라벨을 붙여 확인 가능하도록 한다.

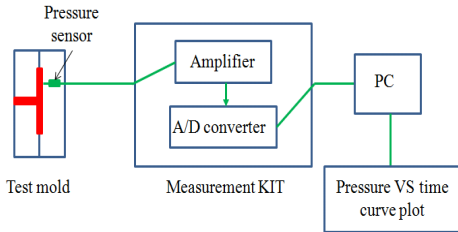
② 압력 측정 KIT의 제작

캐비티 내압을 측정하기 위해 필요한 증폭기, 변환기 등을 휴대가 편리하도록 제작하였다. 압력 센서의 경우는 금형 내부에 설치가 되어 반복적으로 설치와 해체를 하기엔 번거롭기 때문에 압력 센서는 제외 시켰다. 손가방 형태로 제작 된 KIT는 외부 충격을 대비해 충격흡수가 뛰어난 내장재를 사용하여 장비를 보호하고, 센서와의 연결과 해체가 쉽게 이루어지는 장점을 가지고 있다.

③ 시험 금형을 이용한 사출성형

캐비티 내압 측정을 위한 준비를 마친 후 사출성형을 진행 한다. 실험에 사용된 수지는 PP, PP/LGF30%, PA66/LGF50%의 세 종류를 이용하였으며, PP와 PP/LGF30%의 수지는 CAE프로그램에 등록된 정보가 맞는 것인지 검토를 위해 진행하였고, PA66/LGF50%의

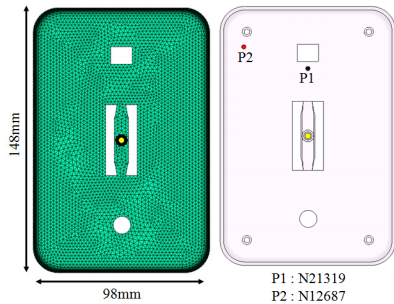
경우엔 미지시료의 점도추정을 위해 선택을 하게 되었다. 사출성형 조건 중 사출 속도를 변수로 진행 하였다. 압력 측정 시스템은 [Fig. 4]과 같다.



[Fig. 4] Pressure measurement system

④ CAE프로그램을 이용한 사출성형해석

사출성형을 통해 측정된 캐비티 내압과 비교를 하기 위해 CAE프로그램 해석을 진행하였다. 해석에 사용된 모델은 [Fig. 5]과 같이 사출성형품과 동일하게 설계 되었으며, 해석에 사용된 요소(elements)의 수는 21,396개 이다. CAE프로그램 해석의 조건은 사출성형 조건과 동일하게 입력되었으며, 압력센서가 설치 된 위치와 동일한 위치의 절점(node)을 선택해 압력 해석 결과를 확인 하였다.



[Fig. 5] CAE model

3. 결과 및 토론

가. PP

캐비티 내압과 CAE해석 압력의 비교를 위해 [Table 1]와 같은 조건으로 사출성형 및 CAE해석을 진행 하였다.

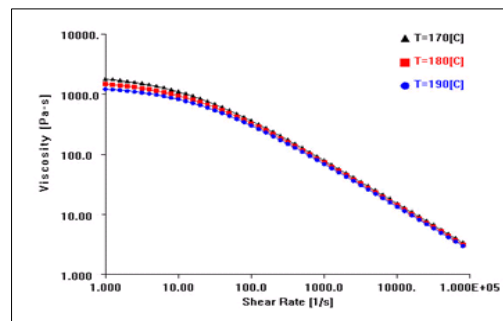
[Table 1] Injection molding and CAE analysis conditions for PP

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

CAE프로그램 D/B에 등록된 PP의 Cross-WLF 점도 모델의 매개변수는 [Table 2]과 같으며 그에 따른 점도 그래프는 [Fig. 6]과 같다.

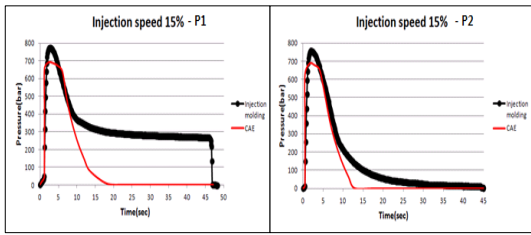
[Table 2] Cross-WLF Viscosity model parameter by PP

Cros-WLF viscosity model	
n	0.2736
Tau*(Pa)	238641
D1(Pa × s)	2.03111 × 10 ¹¹
D2(K)	263.15
D3(K/Pa)	0
A1	23.678
A2(K)	51.6

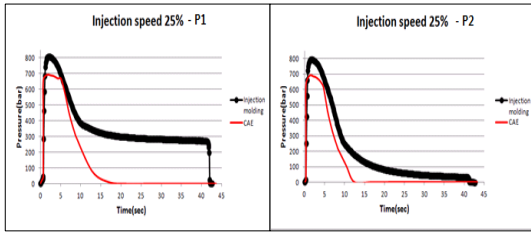


[Fig. 6] PP viscosity curve in CAE D/B

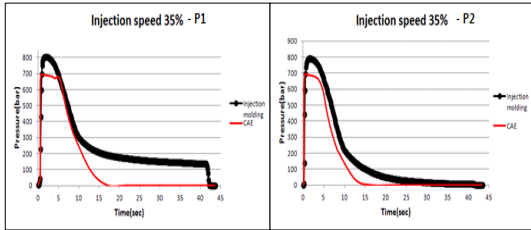
사출성형을 진행한 결과 [Fig. 7]과 같은 전체공정에 대한 압력 프로파일에 대한 결과를 얻게 되었다.



(a) Pressure profiles at P1, P2 for Case 1



(b) Pressure profiles at P1, P2 for Case 2

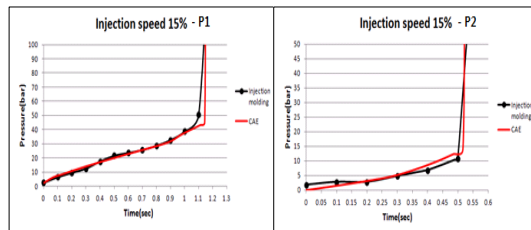


(c) Pressure profiles at P1, P2 for Case 3

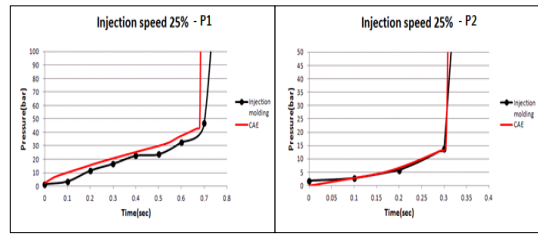
[Fig. 7] Comparison of Cavity Pressure with the simulated results from CAE during entire process with PP

CAE해석 압력과 비교 시에 최대 압력에서 사출성형에서의 최대압력은 800bar로 나타났으며 CAE해석에서의 최대 압력이 100bar의 차이를 보였으나 전체공정에 대한 경향성은 유사한 것으로 나타났다.

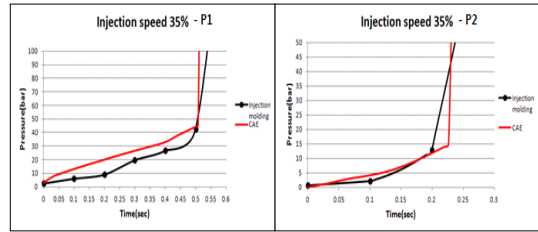
사출성형 공정 중 점도가 영향을 미치는 단계는 충전이 완료되기 전까지 용융수지가 유동하는 충전 단계이다. 따라서 캐비티 내압 중에서도 충전 단계에서의 압력변화에 대해 중점적으로 연구를 하였다.



(a) Pressure profiles at P1, P2 for Case 1



(b) Pressure profiles at P1, P2 for Case 2



(c) Pressure profiles at P1, P2 for Case 3

[Fig. 8] Comparison of Cavity Pressure with the simulated results from CAE during the filling step with PP

[Fig. 8]는 Case별 충전 단계에서의 압력 프로파일이다. Case1의 결과는 P1, P2 모두 캐비티 내압과 CAE해석 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.

충전재가 없이 단순히 수치로만 이루어진 그래프의 경우는 CAE프로그램 내 등록되어 있는 점도 정보에 대해 수정을 하지 않아도 사용이 가능하다고 판단된다.

나. PP/LGF30%

캐비티 내압과 CAE해석 압력의 비교를 위해 [Table 3]와 같은 조건으로 사출성형 및 CAE해석을 진행 하였다. PP와 비교하여 냉각시간을 제외한 다른 조건들은 동일하게 진행하였다.

CAE프로그램 D/B에 등록된 PP/LGF30%의 Cross-WLF 점도 모델의 매개변수는 [Table 4]와 같으며 그에 따른 점도 그래프는 [Fig. 9]와 같다.

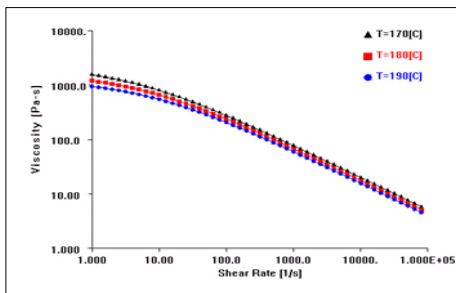
사출성형을 진행한 결과 [Fig. 10]과 같은 전체공정에 대한 압력 프로파일에 대한 결과를 얻게 되었다. CAE해석 압력과 비교 시에 Case1에서 최대 압력 100bar의 차이를 보였으나 전체공정에 대한 경향성은 유사한 것으로 나타났다.

[Table 3] Injection molding and CAE analysis conditions for PP/LGF30%

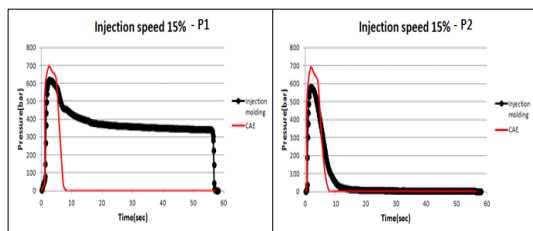
Injection molding and CAE analysis conditions			
Resin	Supuran E1330/Sambark LFT		
Mold Temp.	40 °C		
Melt Temp.	180 °C		
Injection speed	Case1	Case2	Case3
	15%	25%	35%
Injection pressure	60bar		
V/P switch-over	By volume filled 95%		
Cooling time	45 sec		

[Table 4] Cross-WLF Viscosity model parameter of PP/LGF30%

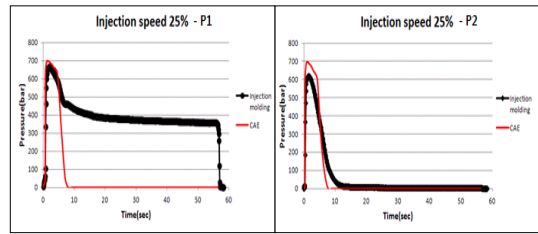
Cross-WLF viscosity model	
n	0.4046
Tau*(Pa)	8179.5
D1(Pa × s)	5.31581×10^{14}
D2(K)	263.15
D3(K/Pa)	0
A1	33.692
A2(K)	51.6



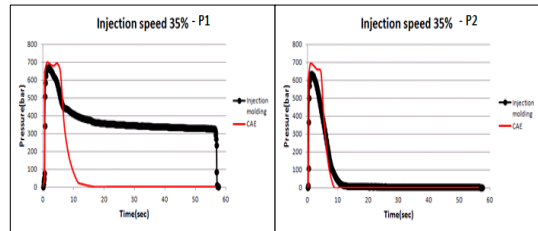
[Fig. 9] PP/LGF30% viscosity curve in CAE D/B



(a) Pressure profiles at P1, P2 for Case 1

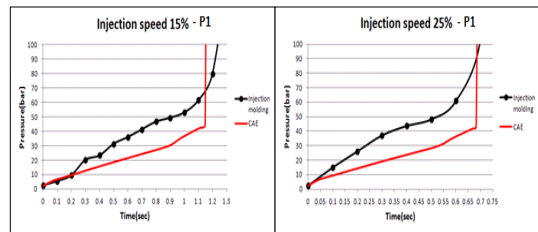


(b) Pressure profiles at P1, P2 for Case 2

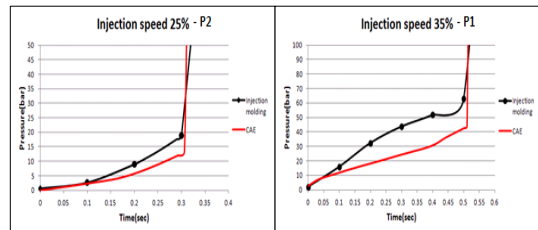


(c) Pressure profiles at P1, P2 for Case 3

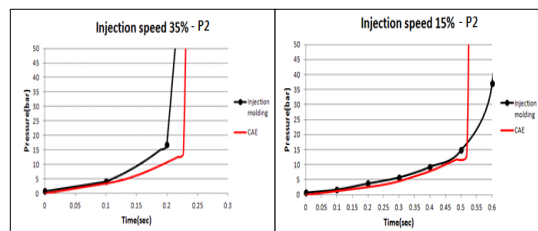
[Fig. 10] Comparison of Cavity Pressure with the simulated results from CAE during entire process with PP/LGF30%



(a) Pressure profiles at P1, P2 for Case 1



(b) Pressure profiles at P1, P2 for Case 2



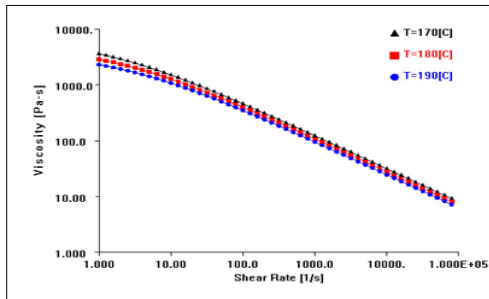
(c) Pressure profiles at P1, P2 for Case 3

[Fig. 11] Comparison of Cavity Pressure with the simulated results from CAE during the filling step with PP/LGF30%

충전 단계의 압력프로파일은 [Fig. 11]과 같으며, P1, P2 모두 CAE해석 압력이 캐비티 내압보다 낮은 것을 확인할 수 있다. 이러한 이유는 CAE프로그램 D/B의 점도 정보가 정확하지 않기 때문이다. 따라서 점도 값을 증가시키는 방향으로 매개변수 변경을 진행 시켰다. 동일한 재료이기 때문에 D1을 제외한 매개변수는 같다고 할 수 있다. 따라서 점도에 가장 영향을 미치는 D1만을 증가시켜 해석을 다시 진행하였다. 기존보다 3배를 증가시켰으며 수정된 매개변수는 [Table 5]에 나타내었고, 그에 따른 점도 그래프는 [Fig. 12]와 같다.

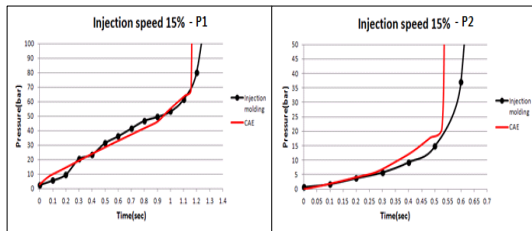
[Table 5] Cross-WLF viscosity model of modified PP/LGF30%

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

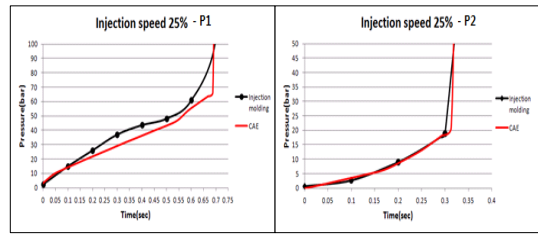


[Fig. 12] Modified viscosity curves of PP/LGF30%

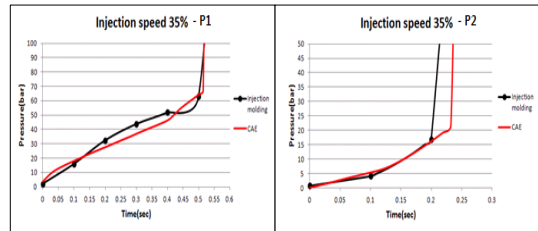
[Fig. 13]는 수정된 점도에 따른 Case별 충전 단계에서의 압력 프로파일이다. D1의 증가에 따라 CAE해석 압력 프로파일은 전체적으로 증가한 것을 확인할 수 있다.



(a) Pressure profiles at P1, P2 for Case 1



(b) Pressure profiles at P1, P2 for Case 2



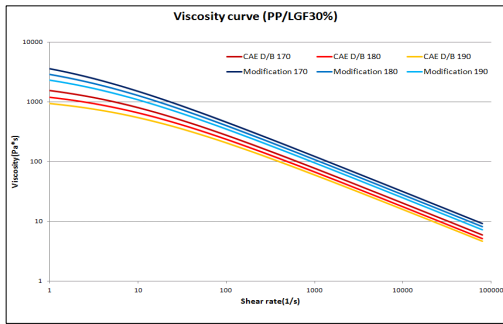
(c) Pressure profiles at P1, P2 for Case 3

[Fig. 13] Comparison of Cavity Pressure with the simulated results from CAE during the filling step with PP/LGF30% using modified viscosity curves

충전 시간에서 약간의 차이를 보이는 것을 확인할 수 있다. 이러한 이유는 측정된 압력을 수집하여 문서화시키는 DAQ의 데이터를 받아들이는 속도에 기인한 것으로 생각된다. 사출성형을 통해 측정된 압력은 0.1sec 간격으로 포인트가 찍히게 된다. 예를 들어 0.55sec에 충전이 완료된다면 0.5sec와 0.6sec 사이의 결과는 반영이 되지 않는다. 따라서 충전 완료시간이 짧아지며 급격한 압력 차이를 보이게 되는 것이다. 반면 CAE해석 압력은 0.01~0.05sec로 결과를 확인할 수 있기 때문에 Δt 와 ΔP 의 비교 시에 편차가 발생하는 것이다. 이러한 편차를 줄이기 위해선 응답속도가 빠른 DAQ의 사용이 필요할 것이다.

PP와 달리 충전제인 장섬유가 첨가된 PP/LGF30% 그레이드의 경우엔 CAE프로그램에 등록된 점도 정보가 잘못된 것을 알 수 있다. 따라서 충전제가 함유된 그레이드의 경우에는 일반적인 점도 측정장치로는 정확한 점도 데이터를 얻기 어렵다는 것을 의미하고 우리 방법을 통한 점도 정보 수정이 필요하다고 판단된다.

[Fig. 14]는 수정 전과 수정 후의 PP/LGF30%의 점도를 비교한 그래프이다. 사출성형 및 해석 조건이었던 180°C에서의 초기 점도를 비교해보면 수정 전에는 1,193 Pa.s, 수정 후에는 2,846 Pa.s로 2.4배 증가된 것을 알 수 있다.



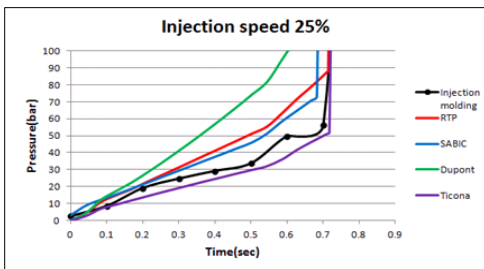
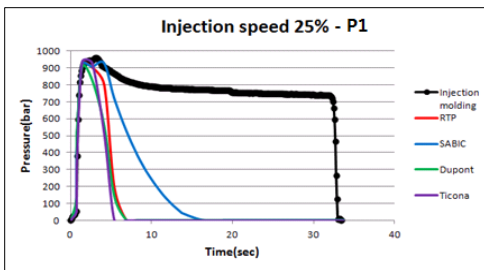
[Fig. 14] CAE D/B viscosity and modified viscosity of PP/LGF30%

다. PA66/LGF50%

PA66/LGF50%의 점도 추정을 위해 [Table 6]와 같은 조건으로 사출성형 및 CAE해석을 진행 하였다.

[Table 6] Injection molding and CAE analysis conditions of PA66/LGF50%

Injection molding and CAE analysis conditions			
Resin	PA66/LGF50%		
Mold Temp.	80 ℃		
Melt Temp.	300 ℃		
Injection speed	Case1	Case2	Case3
	25%	35%	45%
Injection pressure	80bar		
V/P switch-over	By volume filled 95%		
Cooling time	20 sec		

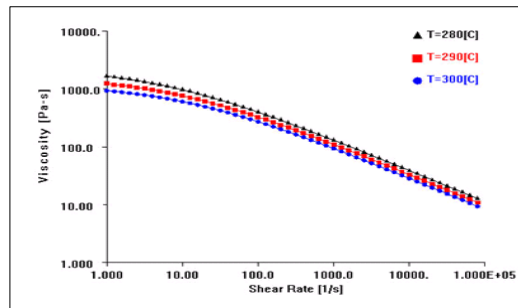


[Fig. 15] Grade selection of PA66/LGF50%

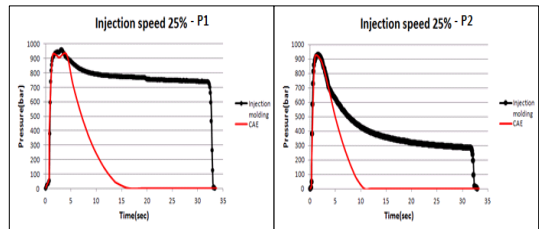
PA66/LGF50%의 그래이드는 CAE프로그램 D/B에 등록이 되어있지 않기 때문에 임의의 그래이드를 동일 조건으로 해석을 진행하여 가장 유사한 압력 프로파일을 보이는 그래이드를 선정하게 되었다. [Fig. 15]를 보면 충전 시간에서 SABIC과 Ticona사의 그래이드가 유사하였고, 전체적인 압력 프로파일 비교 시 SABIC사의 Verton PDX-R-92238 그래이드가 유사한 경향성을 보이기 때문에 최종적으로 선정을 하였다. CAE프로그램 D/B에 등록된 SABIC의 PA66/ LGF50%의 Cross-WLF 점도 모델의 매개변수는 [Table 7]과 같으며 그에 따른 점도 그래프는 [Fig. 16]과 같다.

[Table 7] Cross-WLF Viscosity model parameter of PA66/LGF50%

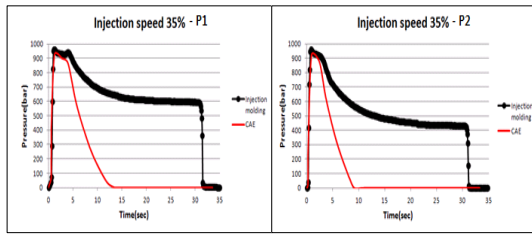
Cross-WLF viscosity model	
n	0.4589
Tau*(Pa)	12500
D1(Pa × s)	6.36×10^{-22}
D2(K)	323.15
D3(K/Pa)	0
A1	54.807
A2(K)	51.6



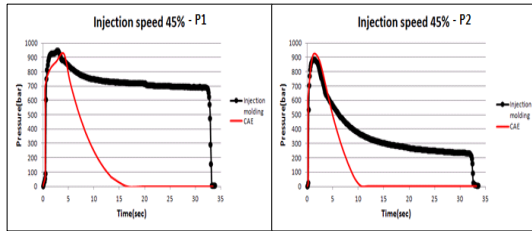
[Fig. 16] Viscosity curve of PA66/LGF50% in CAE program



(a) Pressure profiles at P1, P2 for Case 1



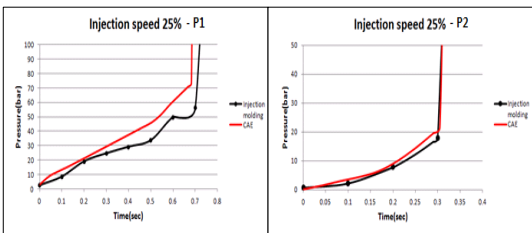
(b) Pressure profiles at P1, P2 for Case 2



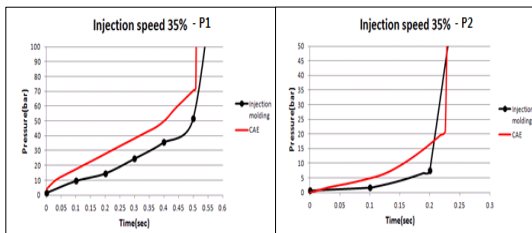
(c) Pressure profiles at P1, P2 for Case 3

[Fig. 17] Comparison of Cavity Pressure with the simulated results from CAE during entire process with PA66/LGF50%

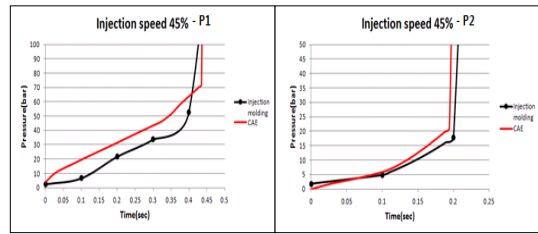
[Fig. 17]을 보면 전체적인 압력 프로파일에 대해 모든 Case에서 경향성이 유사한 것을 확인 할 수 있다. 하지만 [Fig. 18]의 충전 단계에서의 압력 비교를 보면 전체적으로 CAE 해석 압력이 높은 것을 확인 할 수 있다.



(a) Pressure profiles at P1, P2 for Case 1



(b) Pressure profiles at P1, P2 for Case 2



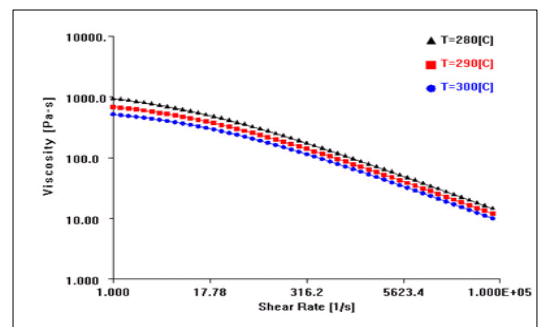
(c) Pressure profiles at P1, P2 for Case 3

[Fig. 18] Comparison of Cavity Pressure with the simulated results from CAE during the filling step with PA66/LGF50%

따라서 D1을 감소시켜 점도를 낮추는 방향으로 추정 하였으며, 캐비티 내압 중 충전 완료 시의 압력이 큰 차이가 없는 것을 확인 할 수 있다. 즉 전단률에 따라 점도가 완전한 감소를 보일 것으로 예상하여 매개변수 n을 증가 시켰다.

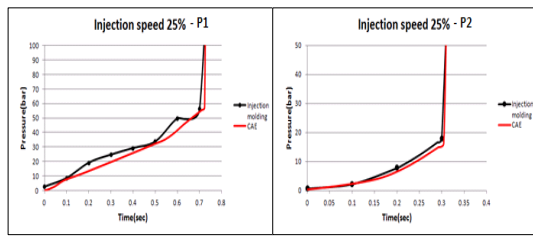
[Table 8] Cross-WLF viscosity model parameter of PA66/LGF50%

Cross-WLF viscosity model		
	CAE D/B	Estimate
n	0.4589	0.53
Tau*(Pa)	12500	7000
D1(Pa × s)	6.36×10^{22}	1.305×10^{22}
D2(K)	323.15	330
D3(K/Pa)	0	0
A1	54.807	53.807
A2(K)	51.6	51.6

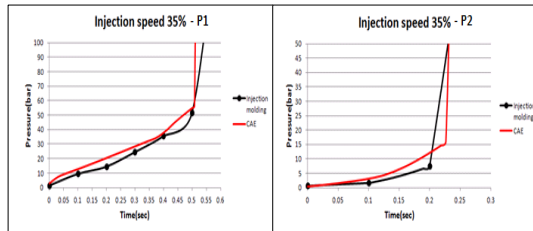


[Fig. 19] Estimated viscosity curves of PA66/LGF50%

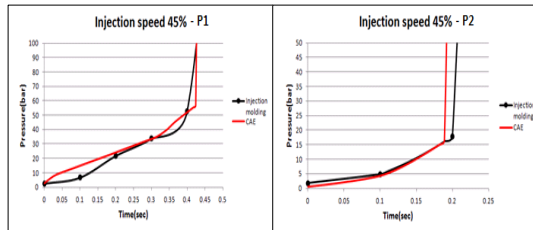
[Table 8]는 반복적인 해석을 통해 최종적으로 추정된 PA66/LGF50%에 대한 Cross-WLF 점도 모델 매개변수들이며, 이에 따른 점도 그래프를 [Fig 19]에 도시하였다.



(a) Pressure profiles at P1, P2 for Case 1



(b) Pressure profiles at P1, P2 for Case 2



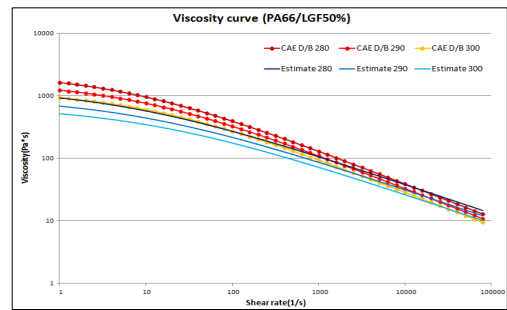
(c) Pressure profiles at P1, P2 for Case 3

[Fig. 20] Comparison of Cavity Pressure with the simulated results from CAE during the filling step with PA66/LGF50% using modified viscosity curves

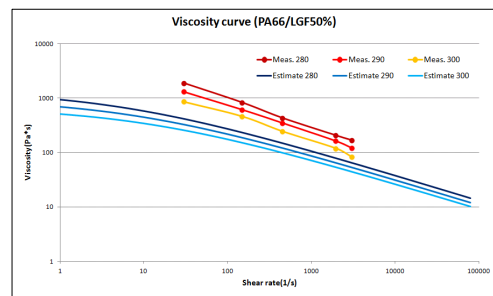
[Fig. 20]에서 알 수 있듯이 Case2의 P2 압력 비교를 제외한 모든 Case의 압력 프로파일이 일치하는 것을 확인할 수 있다. 앞에서 설명했듯이 DAQ의 응답속도에 기인하여 발생된 편차라고 할 수 있다.

PP, PP/LGF30% 그레이드를 이용한 실험과 마찬가지로 속도가 증가함에 따라 편차가 커지는 것을 알 수 있었다. 이러한 이유는 충전 시간이 1sec도 채 되지 않는 시간에 이루어짐에 따른 것으로 생각되며, 사출속도를 느리게 실험을 진행한다면 이 편차는 줄어들 것으로 예상된다.

[Fig. 21]은 CAE프로그램 내의 점도와 추정된 점도의 비교 그래프이다. 전단률이 1~10,000까지는 낮고, 10,000 이후의 전단률에서는 높아지는 점도일 것이라고 추정하였다.



[Fig. 21] CAE D/B viscosity and modified viscosity of PA66/LGF50%



[Fig. 22] Comparison of capillary rheometer measurement results with the estimated viscosity curves for PA66/LGF50%

모세관 점도계를 이용하여 PA66/LGF50%의 점도를 측정하였다. 기울기는 유사한 것을 알 수 있으며, 측정된 점도와 추정된 점도의 크기는 차이를 보인다. 하지만 추정된 점도가 사출성형에서 실질적으로 적용되는 점도라고 생각 된다.

4. 결론

본 논문에서는 사출성형 금형 캐비티 내압을 측정하는 장치를 개발하였다. 이를 이용해서 사출성형 공정 중의 금형 내를 흐르는 용융체의 압력을 실시간으로 측정하고, 이를 CAE 해석 결과로부터 모사된 압력과 비교함으로써 CAE D/B내의 점도 데이터의 정확성을 검증할 수 있었다.

개발한 점도 추정 Process를 확인하기 위해 PP와 PP/LGF30%를 이용한 실험을 진행하였다. 점도가 낮고, 충전제가 없는 PP의 경우엔 CAE프로그램의 점도 정보가 바르게 입력된 것을 확인하였고, PP/LGF30%의 경우엔 잘못 입력된 점도 정보로 인해 압력 프로파일의 차이

를 확인하였다. 이 점도 정보를 그대로 사용하면 CAE 해석 결과의 신뢰성이 떨어지게 된다. 따라서 점도 추정 Process를 이용한 점도의 수정을 진행하였다. Cross-WLF 점도 모델을 바탕으로 매개변수 중 다른 변수들은 동일 재료이기 때문에 제외시켰으며 점도와 관련된 DI를 증가시켜 압력 프로파일을 일치 시켰다.

미지시료인 PA66/LGF50%에 대한 점도 추정은 임의의 그레이트를 선정하고, 이에 대한 CAE해석 결과를 바탕으로 추정하게 되었다. CAE해석 압력이 높은 것을 확인하여 DI를 감소시켜 점도를 낮추는 방향으로 추정하였으며, 충전 완료 시의 압력에서 큰 차이가 없는 것을 확인해 전단률 증가에 따라 점도가 완만한 감소를 보일 것으로 예상하여 매개변수 n을 증가 시켰다. 추정된 점도를 이용한 CAE해석 압력과 캐비티 내압을 일치시켰으며, Capillary rheometer를 이용한 측정 점도와 비교 시 상대적으로 낮은 점도를 보였지만 기울기는 유사한 것을 확인하였다. 점도의 차이를 보였지만 추정된 점도가 사출성형 공정에서 실질적으로 적용되는 점도라고 생각 된다.

실험 결과 중 충전 시간의 편차와 급격한 압력 증가를 보이게 되는 경우가 있는데 첫 번째는 DAQ의 응답속도에 기인한 것이며, 응답속도가 0.1sec보다 낮은 장비를 사용하면 이 편차는 줄어들 것이며, 점도 추정 Process의 정확도 또한 증가 할 것이다. 두 번째로는 빠른 사출속도로 1sec도 채 안되어 충전이 완료된다. 이번 실험을 기준으로 25%(45cm³)이하로 사출속도를 느리게 한다면 편차는 감소할 것이다.

본 연구를 통해서 CAE D/B 내의 점도 정보의 수정이 필요한 것을 확인하였으며, 실제 사출공정에서 적합한 미지의 복합재료의 점도 데이터를 얻는 방법도 개발하였다.

References

[1] Dominick V. Rosato and Donald V. Rosato, "Injection Molding Handbook", Van Nostrand Reinhold Co., pp3-33, 1986.
 [2] Y.J. Jin, "Study on the Pressure and Temperature Variations in the Cavity During Injection Molding", SNUST, Master Thesis, 2004.
 [3] S-H Lim, et al, "Estimation of viscosity by comparing the simulated pressure profile from CAE analysis with the LFT measuring cavity Pressure", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 12, No. 4, pp 1982-1987, 2011.
 DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.4.1982>

[4] Fraden, JACOB, "Handbook of Modern Sensors : Physics, Designs, and Applications", Springer, pp.288-289, 2010.
 DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4419-6466-3>
 [5] O. S. Lee, "Optimization of injection processing conditions by measuring cavity pressure" Kistler Korea Co., LTD
 [6] Roy Knechtel, et al, "Detailed Investigations of Inner Cavity Pressure of MEMS Devices Sealed by Wafer Bonding", ECS Transactions, Vol. 64, No. 5, pp 285-296, 2014.
 DOI: <http://dx.doi.org/10.1149/06405.0285ecst>
 [7] Chih-Wei Lai, et al, "Application of Fabry-Perot and fiber Bragg grating pressure sensors to simultaneous measurement of liquid level and specific gravity", Measurement, Vol. 45, No. 3, pp 469-473, 2012.
 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2011.10.026>
 [8] Y. Geng, et al, "Discrete element modelling of cavity expansion and pressuremeter test", Geomechanics and Geoengineering : An International Journal, Vol. 8, No. 3, pp 179-190, 2013.
 DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/17486025.2012.735375>
 [9] CA Griffiths, et al, "Process factors influence on cavity pressure behavior in microinjection moulding", ASME, Vol. 133, No. 3, pp 10, 2011.
 DOI: <http://dx.doi.org/10.1115/1.4003953>

김 용 현(Yong-Hyeon Kim)

[정회원]



- 2011년 2월 : 순천향대학교 나노화학공학과(공학사)
- 2002년 2월 : 순천향대학교 순천향대학원 화학공학·환경공학과 (공학석사)
- 2013년 11월 ~ 현재 : (주)나다이노베이션

<관심분야>
유동해석, 고분자가공

김 동 학(Dong-Hak Kim)

[정회원]



- 1986년 2월 : 서울대학교 화학공학과(공학사)
- 1988년 2월 : KAIST 화학공학과(공학석사)
- 1993년 8월 : KAIST 화학공학과(공학박사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 나노화학공학과 교수

<관심분야>
고분자가공, 유변학 및 이동현상