

## 서로 다른 금형에서 복합재료의 점도 추정에 관한 연구

김용현<sup>1</sup>, 박은조<sup>1</sup>, 김동학<sup>1\*</sup>, 손영곤<sup>2</sup><sup>1</sup>순천향대학교 나노화학공학과, <sup>2</sup>공주대학교 신소재공학부  
(dhkim@sch.ac.kr\*)

## Estimation of Viscosity of composite in a different mold

Yong-Hyun Kim<sup>1</sup>, Seung-Kyu Noh<sup>1</sup>, Eun-Jo Park<sup>1</sup>, Dong-Hak Kim<sup>1\*</sup>, Yung-Gon Son<sup>2</sup><sup>1</sup>SoonChunhyang Univ. Department of Chemical Engineering,<sup>2</sup>Kongju National Univ. Division of Adanced Materials 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 있으며, 더 나아가서는 최첨단 산업의 필수적인 부품으로도 이용되고 있다.<sup>1</sup>

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.<sup>2</sup>

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 CAE 해석을 통한 점도 추정에 대한 연구가 진행 되었다.<sup>3</sup> 또

한 CAE 해석 프로그램에 정확한 점도가 입력되지 않으면 전혀 다른 해석 결과를 얻게 된다.

본 연구에서는 두 가지의 서로 다른 방법을 통하여 복합재료의 점도 추정에 관한 연구를 진행 하였다.

PAG-LGF40%의 동일 수지를 캐비티 모양이 다른 금형에서 캐비티 내압을 측정하였고, 이때 측정된 압력프로파일과 동일 조건으로 진행한 CAE 해석과의 압력프로파일을 비교하였으며 압력프로파일이 일치하지 않아 CAE 프로그램 내 Cross-WLF의 점도모델을 근거로 매개변수를 변경시켜 점도 값을 수정한 뒤 CAE 해석을 재 진행하며, 압력프로파일이 일치할 때 까지 반복 수행 하였고, 일치할 경우 그때의 Cross-WLF 매개변수의 값이 수지의 점도라고 추정 할 수 있다.

사출성형에 적용되는 실질적인 점도 추정 방법의 개발과 CAE 해석 프로그램 D/B(Data base)에 잘못 입력되어진 점도를 수정하고 미지시료에 대한 점도를 추가함으로써 CAE 해석결과에 대한 신뢰성 향상과 미지시료에 대한 점도 추정을 목적으로 연구를 진행 하였다.

### 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 최적화시킬 수 있다.<sup>4</sup>

이번 실험에 쓰인 LFT는 단섬유 충전 강화재료보다 내마모성, 내피로성, 충격강도 등 기계적 물성이 우수하다.<sup>5</sup>

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

### 실험

실험에 사용된 금형은 Fig 1.에서 보는 것과 같이 두 가지 금형을 사용하였으며 1 캐비티의 사각형 금형과 스파이럴 금형으로 진행 하였다.



Fig 1. 실험에 사용된 금형의 모양

사출성형기는 우진 섀렉스사의 형체력 220ton의 NE220 모델을 사용하였으며 실험

으로 측정된 압력 프로파일의 비교를 위해 Autodesk사의 Moldflow를 사용하여 진행하였다.

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

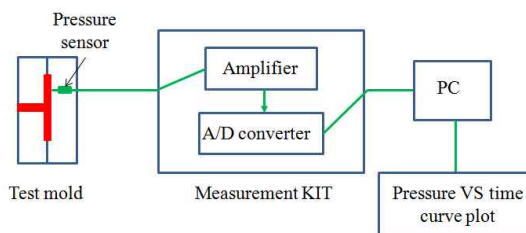


Fig 2. 압력 측정 시스템

본 연구실험에 사용된 수지는 제일모직의 PA6-LGF40% 수지를 사용하여 진행하였으며, Moldflow 내 그레이드가 등록되어 있지 않아 여러 수지들을 같은 성형 조건으로 해석을 진행한 결과 압력프로파일이 가장 유사한 SABIC사의 Thermocomp PF-1008 HS RM 수지를 선정하여 진행 하였다.

사출성형 공정과 CAE해석 조건은 아래 표와 같다.

Table 1. 사출성형 공정 및 CAE해석 조건

Injection molding and CAE analysis conditions			
Resin	PA6/LGF40% (Thermocomp PF-1008 HS RM/SABIC)		
Mold Temp.	80 °C		
Melt Temp.	260 °C		
Injection speed	Case1	Case2	Case3
	25%	35%	45%
Injection pressure	80bar		
V/P switch-over	By volume filled 95%		
Cooling time	20 sec		

### 결과 및 고찰

우리가 임의로 선정한 SABIC사의 Thermocomp PF-1008 HS RM의 CAE프로그램 내 등록된 Cross-WLF 점도 모델 매개변수는 다음과 같다.

Table 2. SABIC사 그레이드의 Cross-WLF 점도 모델 매개 변수

Cross-WLF viscosity model	
n	0.2928
Tau*(Pa)	37531.9
D1(Pa × s)	$8.09713 \times 10^{17}$
D2(K)	323.15
D3(K/Pa)	0
A1	40.287
A2(K)	51.6

Table 2.의 매개변수를 변경하여 사각 금형과 스파이럴 금형의 압력프로파일을 맞추었다.

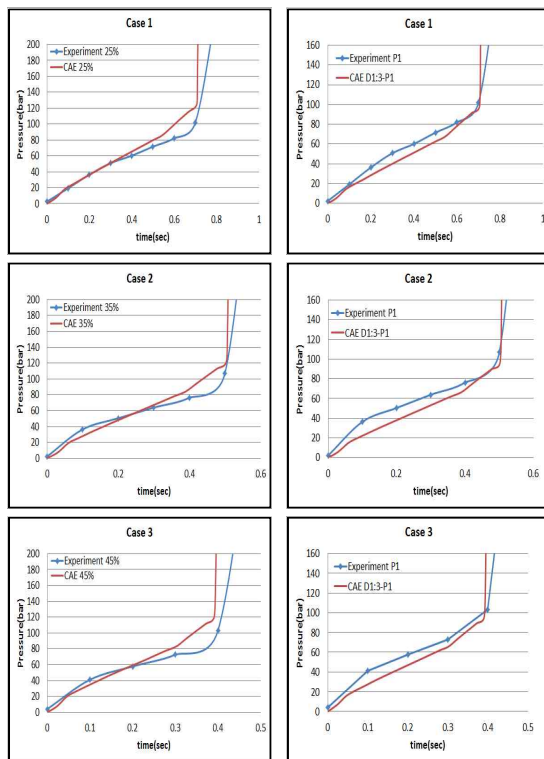


Fig 3. 사각금형의 충전단계 압력비교 매개변수 변경 전(좌)와 변경 후(우)

Fig 3.은 사각금형의 사출성형공정에서 충전단계 압력프로파일과 Autodesk사의 CAE 프로그램인 Moldflow의 Cross-WLF 점도모델식의 매개변수를 변경하여 실제 사출성형공정과 CAE해석에서의 압력프로파일을 맞추었다. 매개변수를 변경하여 압력이 측정되는 처음 부분과 끝부분을 맞춰 주었다.

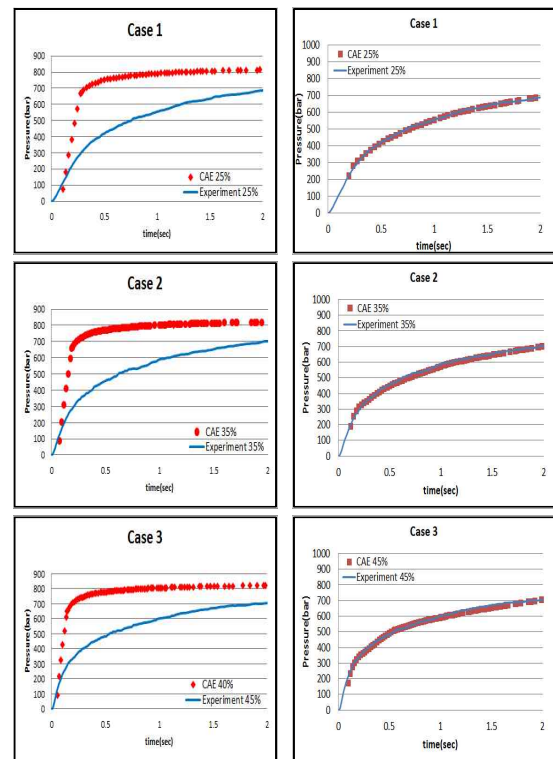


Fig 4. 스파이럴금형의 충전단계 압력비교 매개변수 변경 전(좌)와 변경 후(우)

Fig 4.는 스파이럴 금형의 사출성형공정에서 충전단계 압력프로파일과 Autodesk사의 CAE프로그램인 Moldflow의 Cross-WLF 점도모델식의매개변수를 변경하여 진행한 CAE 압력프로파일을 비교한 것이다. 매개변수를 변경하여 압력프로파일을 일치화시켰다.

Table 3. 변경된 Cross-WLF모델의 매개변수

Cross-WLF viscosity model		
	사각금형	스파이럴금형
n	0.2928	0.55
Tau*(Pa)	37531.9	14531.9
D1(Pa × s)	$3.59713 \times 10^{17}$	$5.59713 \times 10^{17}$
D2(K)	323.15	340
D3(K/Pa)	0	0
A1	40.287	41
A2(K)	51.6	51.6

Table 3.에서 보는 바와 같이 사각금형과 스파이럴 금형에서의 Cross-WLF 모델의 매개변수 값이 다른 것을 확인 할 수 있었다. 사각 금형에서의 압력프로파일에서는 CAE프로그램인 Moldflow의 점도 모델식

Cross-WLF의 매개변수 중 D1의 값을 낮추어 충전 단계에서의 압력프로파일을 일치화 하였으며 스파이럴 금형에서는 n, Tau\*, D1, D2, A1을 변경하여 일치화 시켰다.

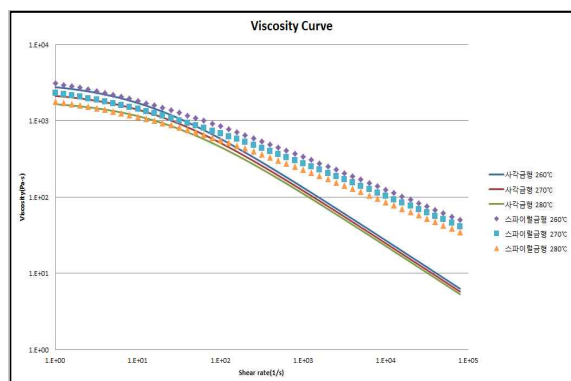


Fig 5. 사각금형(실선)과 스파이럴금형(점선) 점도커브 비교  
Fig 5.는 두 금형에서 측정된 압력프로파일을 통하여 추정된 점도 커브 비교 사진으로 Shear rate가 낮은 부분에서는 비슷한 점도값을 보이지만 실제 사출 부분인 1000~10000사이의 Shear rate 구간에서는 사각금형에서 점도 값이 더 낮고 점도커브의 기울기가 더 가파르게 나타났다.

## 결론

본 연구에서는 사출성형 공정에서 압력센서를 이용하여 캐비티 내 충전 단계의 용융수지 거동을 그래프를 통해 관찰함으로써 실제 적용되는 점도를 추정하기 위해 진행되었다. 모양이 다른 금형의 캐비티 내압을 측정하였으며 PA6-LGF40%의 동일한 수지를 사용하고 CAE해석을 통한 압력프로파일 결과가 일치한다면 동일한 점도라고 추정할 수 있다.

두 금형에서의 사출성형 공정을 통해 측정된 캐비티 내 압력프로파일과 CAE해석을 통한 압력프로파일 결과에 차이가 나는 것을 확인 할 수 있었으며 이 점도 정보를 그대로 사용하게 된다면 CAE해석 결과의 신뢰성이 떨어지게 된다. 따라서 점도 추정 Process를 이용한 점도 수정을 진행하였다. Moldflow프로그램에서 사용되는 점

도 모델인 Cross-WLF 점도 모델을 바탕으로 매개변수를 변경하여 압력프로파일을 일치 시켰다. 사각금형의 경우 D1만을 변화 시켰으며 스파이럴 금형의 경우 n, Tau\*, D1, D2, A1에 변화를 주어 압력프로파일을 일치 시켰다. 같은 수지이지만 두 금형에서의 점도커브가 다르게 나타난 것을 확인 할 수 있었다. 두 금형에서 측정된 점도 중 사각금형에서 측정된 점도가 사출성형 공정에서 실질적으로 적용되는 점도라고 생각 된다.

스파이럴 금형의 경우 압력 프로파일의 비교를 통한 점도 추정에는 적합하지 않은 시스템이라고 생각된다. 일반 캐비티 형태의 금형과는 달리, 충전이 완료되지 않고 수지 흐름이 냉각에 의한 저항으로 멈추는 형태이기에, 이때 나타나는 시간에 따른 압력 프로파일은 열전달에 의한 수지 점도 상승 및 압력 상승에 의한 영향이 복합적으로 반영되어 있기 때문이다.

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.