

캐비티 내압 측정 및 CAE해석을 통한 Long Fiber Thermoplastic(LFT)의 점도 추정

김용현*, 노승규*, 김동학*
*순천향대학교 나노화학공학과
e-mail : dhkim@sch.ac.kr

Estimation of LFT viscosity from CAE analysis with measuring cavity pressure

Yong-Hyun Kim*, Seong-Kyu Noh*, Dong-Hak Kim*
*Soon Chun Hyang University

요 약

본 논문에서는 LFT와 같은 고점도 수지의 점도를 추정하기 위한 방법을 제시하였다. 실제 사출공정에서의 점도를 추정함으로써 신뢰할 수 있는 점도데이터를 제공하기 위한 방법을 제시 하였다. 우선 금형 내에 캐비티 압력을 측정할 수 있는 시스템을 구성하였고, 이 시스템을 이용해서 실제 사출과정에서 나타나는 압력 변화를 측정하는 것이다. 상용화 된 CAE 프로그램(Moldflow)은 사출공정에서 캐비티 내부를 흐르는 수지의 압력변화를 모사할 수 있다. 만약, CAE D/B에 있는 수지의 점도 데이터가 정확하다고 가정하면, 실험에서 측정된 압력 프로파일과 CAE로부터 계산 된 압력 프로파일이 일치해야 한다. 이것이 실험값과 일치하지 않으면 가정한 값을 CAE D/B에 입력해서 일치할 때까지 반복함으로써 신뢰성 있는 점도를 추정 할 수 있다. 한편, LFT에 대하여 적용하여 최적화 된 점도 데이터도 추정할 수 있었다.

1. 서론

사출성형을 이용한 제품들의 범위 또한 항공, 전기, 자동차, 건축 등 수많은 분야에 걸쳐서 생산되고 있다. 사출성형의 장점은 복잡한 형상의 성형, 자동화율이, 품질향상을 위한 성형요인의 다양성, 고효율의 대량생산, 다양한 표면상태, 단일공정의 제품생산, 다른 재료와 동시형성이 가능하다는 점 등이 있다[1]. 이와 같이 많은 분야에서 널리 사용되고, 생산되는 사출성형 제품들은 금형의 캐비티 내에서 그 생산이 이루어지는데, 러너와 게이트를 통해 들어온 용융수지들이 충전, 보압, 냉각, 추출 순의 공정으로 제품을 생산하게 된다[2-4]. 충전 단계에서는 비정상상태의 압축성, 비등온유동이며 액체에서 고체로의 상변화를 겪게 된다[5-6]. 충전단계는 주로 성형품의 외관에 영향을 주며, 보압은 충전 단계 후 지속적인 냉각과 금형 내부의 압력 강하로 인하여 체적의 감소와 변형 발생을 방지하기 위해 지속적으로 가해주는 압력으로써, 복굴절, Cooling Stresses, 밀도 분포, 제품의 수축. 휨과 같은 제품의 미세구조, 특성, 품질에 결정적인 영향을 미친다[7]. 냉각단계에서는 성형품의 치수와 기계적 성질에 영향을 미친다. 최

종적으로 취출 단계에서 성형 제품을 얻는다. 성형 조건은 성형과정 중 단계마다 성형품의 품질에 많은 영향을 미친다. 그러므로 사출성형 공정에서는 각 단계에서 성형공정변수를 제어하는 것은 매우 중요하다[8].

캐비티 내에서 이루어지는 충전, 보압, 냉각의 공정에서 중요한 조건은 압력과 온도이다. 압력은 수지의 흐름에 영향을 미치며 온도의 변화에 불균일은 수축의 불균일 같은 생산품의 결함을 초래 한다. 압력과 온도가 적절하지 않은 경우 미성형(short shot), Flash, Flow mark, 변형, Crack, 표면 흐림, Jetting 등의 문제점들이 발생하며 수많은 연구와 실험, CAE S/W(Moldflow, Capa, Moldex3D, Timon 등)를 통해 이러한 문제들을 해결하려고 노력하고 있다[9]. 현재 이와 관련된 연구로는 캐비티 내부 압력 측정에 의한 사출성형에서의 최적생산에 관한 연구를 하였고, 캐비티 내에 충전 시 캐비티 내 압력 변화를 연구하였다[10]. 본 연구에서는 캐비티 내부 압력의 직접측정이 가능한 KISTLER사의 압력센서 (Type 6157B)를 평가금형에 설치하였고, 제작한 압력측정키트를 이용하여 압력측정 결과를 확인할 수

있었다. 수지는 PA66-LGF를 사용하였다.

2. 실험

2.1. 시료

PA66/LGF인 제일모직의 MKD1015을 사용하여 진행하였으며 PA66에 Long Glass Fiber 50% 함유된 제품이다.

2.2. 사출성형기

사출성형을 위해 NE-220 사출 성형기를 사용 하였고, 성형기의 성능은 다음과 같다.

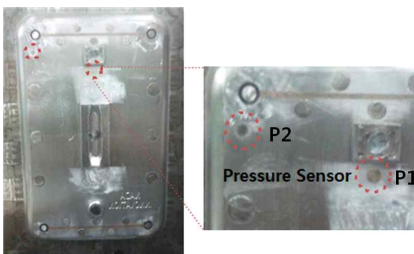
[표 1] Woojin Selex [NE-220]

NE-220		
사출 / Injection Unit		
스크류 직경	mm	50
스크류 압력	bar	2076.1
사출 용량	cm ³	510
사출률	cm ³ /sec	180
사출 스트로크	mm	260
스크류 회전수	rpm	200

2.3. 압력측정방법

평가금형을 이용하여 실제 사출성형 공정 중 캐비티 내 압력을 측정하고, 이를 CAE해석 결과의 압력 프로파일과 비교한다. 이때 일반적으로 CAE해석과 실험 결과가 일치하지 않으므로 새로운 점도 곡선을 추정하여 CAE 소프트웨어 D/B(data base)에 입력하여 다시 해석해서 실험결과와 비교하고, 이 두 데이터가 일치할 때까지 반복해서 수행한다.

[그림 1]과 같이 캐비티 내부에 KISTLER 압력센서를 설치하였으며, 압력 센서에서 측정된 전기적 신호를 시간에 따른 압력 프로파일 결과를 보기 위하여 휴대가 용이한 압력측정 키트를 제작하였다. 수지 충전 시 압력 센서에서 압력을 전기적 신호로 전환하고 압력센서에서 나온 전류(또는 전압) 신호를 증폭기에서 받아 신호를 증폭하여 A/D 변환기로 보내게 된다. A/D 변환기를 통하여 아날로그 신호를 컴퓨터에서 인식 가능한 디지털 신호로 변환하여 컴퓨터로 전송되고 모니터를 통하여 압력 프로파일을 출력하게 된다. 또한 사출성형은 [표 2]와 같은 조건으로 진행 하였다.



[그림 1] 금형 내 압력센서 위치

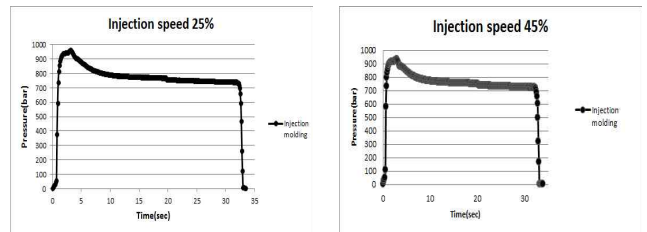
[표 2] 사출성형 조건

Injection Molding Condition		
Material	Cheil industry MKD1015 (PA66/LGF50%)	
Type	Case 1	Case 2
Injection S.	25%	45%
Melt Temp.	300 °C	
Mold Temp.	80 °C	
Injection P.	80 bar	
Cooling Time	20 sec	

3. 결과 및 고찰

3.1. 캐비티 내부 압력측정

사출성형을 진행한 결과 캐비티 금형 내의 게이트에 가까운 부분과 먼 부분의 압력을 측정 하게 되었다. [그림 2]는 사출성형 시 게이트 가까운 부분의 압력을 측정한 프로파일이다. 그 중 캐비티 내부에서 수지 흐름의 캐비티 내부에서의 점도를 결정 짓는 요인이 되기 때문에 초기 압력 프로파일을 중점으로 연구를 진행하였다.



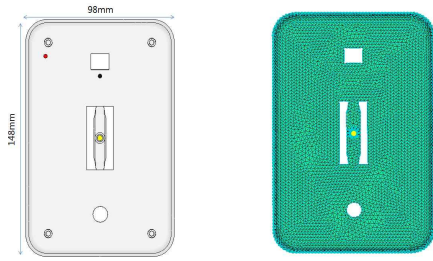
[그림 2] 사출성형에서 측정된 P1의 압력 프로파일

3.2. CAE 해석

실제 사출성형 공정 중 캐비티 내부 압력 프로파일과 CAE해석 압력 프로파일을 비교하기 위하여 상용화된 CAE해석 프로그램(Moldflow)을 사용하였다. CAE해석을 진행하기 위해 실제 사출된 제품과 같은 모양으로 [그림 3]과 같이 Mesh Modeling을 진행하였고, CAE해석을 실제 사출 조건과 같은 [표 3]과 같이 설정하여 해석을 진행하였다.

[표 3] CAE 해석 조건

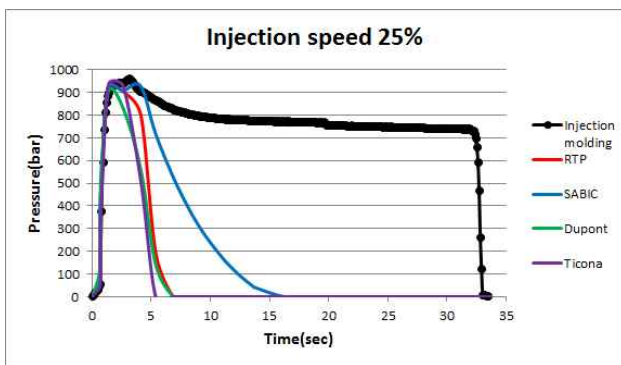
Injection Molding Condition		
Type	Case 1	Case 2
Injection S.	25%	45%
Melt Temp.	300 °C	
Mold Temp.	80 °C	
Injection P.	80 bar	
Cooling Time	20 sec	



[그림 3] Mesh Model

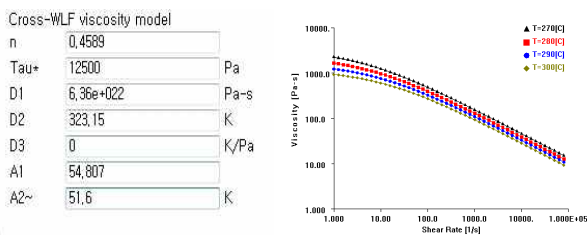
[그림 3]의 Modeling에서 보논바와 같이 elements 수는 21,396개이며, 캐비티 내부 센서의 위치와 동일 위치에 Point를 설정하고 Moldflow D/B에 있는 여러 회사의 데이터를 적용하여 CAE해석을 진행하였다.

[그림 4]와 같은 CAE해석 압력 프로파일 결과를 확인할 수 있다.



[그림 4] CAE해석을 통한 압력 프로파일

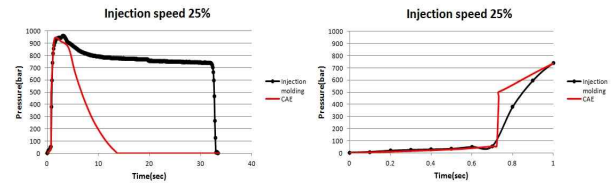
그 중 SABIC사의 Verton PDX-R-92238 레진이 본 연구의 프로파일과 가장 근접한 피크를 보였기 때문에 SABIC사의 레진을 선택하여 실험을 하게 되었으며 [그림 5]는 선택 레진의 점도 D/B이다.



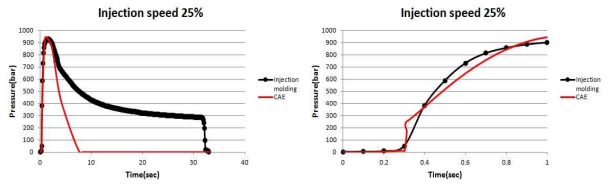
[그림 5] Verton PDX-R-92238의 parameter와 점도곡선 SABIC사의 D/B를 변경하여 캐비티 가까운 곳과 먼 곳의 압력 프로파일이 실제 사출을 통해 측정된 압력 프로파일과 일치하는 파라미터를 찾았다.

새로운 점도 곡선을 추정하는 것은 Cross-WLF Viscosity Model식의 파라미터들을 변경시켰다.

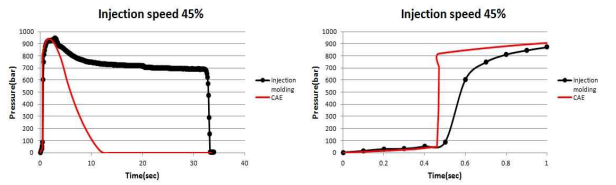
[그림 6]에서 [그림 9]는 변경한 파라미터를 통해 그린 비교 그래프이며 [그림 10]은 변경시킨 파라미터와 점도 곡선이다.



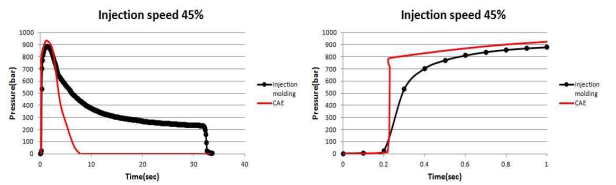
[그림 6] 사출속도 25%에서 P1의 압력 비교 프로파일



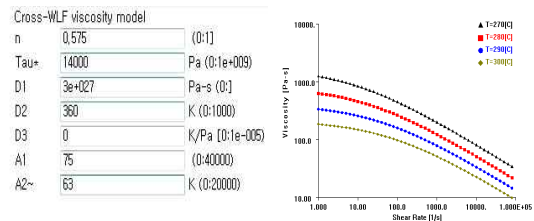
[그림 7] 사출속도 25%에서 P2의 압력 비교 프로파일



[그림 8] 사출속도 45%에서 P1의 압력 비교 프로파일



[그림 9] 사출속도 45%에서 P2의 압력 비교 프로파일

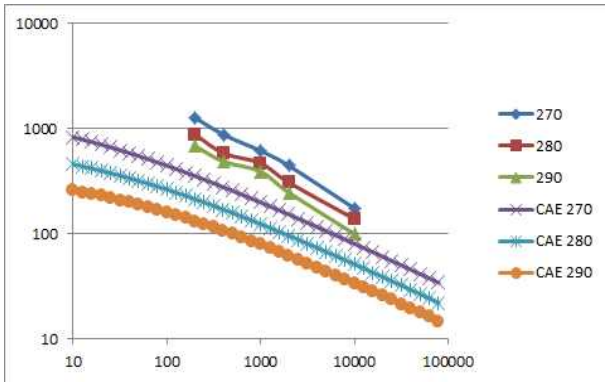


[그림 10] 변경시킨 파라미터와 그에 따른 점도곡선

4. 결론

본 연구에서는 사출성형 공정에서 금형 캐비티 내부에 KISTLER 압력 센서를 설치하여 캐비티 내부의 압력 공정상태 변화에 대한 연구를 진행하였다. Moldflow에 저장되어있는 기본 D/B인 SABIC사의 Verton PDX-R-92238의 Cross-WLF Viscosity Model 식의 파라미터들을 변경하여 CAE D/B에 입력 후 CAE 해석을 수행하고, 실제 캐비티 내의 압력 프로파일과 CAE 해석 압력프로파일을 비교한 결과 동일한 경향의 프로파일이 나타남을 알 수 있었다. 이때 Capillary Rheometer를 사용하여 측정된 점도곡선과 새로이 추정된 점도곡선을 비교한 결과 [그림 11]에서 나타나는 것과 같이 실제 측정된 점도

값보다 낮은 점도 그래프를 확인하였다.



[그림 11] 실제 측정된 점도곡선과 CAE해석을 통한 점도곡선

이처럼 기존 점도 측정방식이 아닌 사출성형 공정과 CAE 해석을 활용하여 새로운 점도 추정이 가능함을 확인 하였다. 앞으로 다양한 사출성형 조건과 폭넓은 수지 선정이 필요하다고 판단되며, CAE해석 시 새로운 점도를 추정하는데 있어서 D/B에 변화를 주어 빠르고 정확한 새로운 최적의 점도를 추정 할 수 있는 점도 추정 Process를 구축하는 것이 중요하다.

참고문헌

[1] 유중학, 김희송 “사출성형에서 캐비티 압력과 인장강도에 관한 연구” 한국 자동차 공학회 논문집 제 2권 제 6호, pp. 110~116

[2] D.Huilier, C. Lenfant, J. Terrisse and R. Deterre, "Modeling the packing stage in injection molding of thermoplastics", Polym. Eng. Sci.,28, pp.1637, 1988.

[3] D.Huilier, J Terrisse, M. E. de la Lande and A. Latrobe, "Modeling the packing cooling stage in injection molding of amorphous polymers", INtern, Polymer Processing III, 4, pp.184, 1988.

[4] Nguyen, K. T. and Kamal, M. R., " analysis of the packing Stage of a Viscoelastic Melt", Polymer Engineering and Science, 33, pp. 665-974, 1993.

[5] Pham, H. T., Bosnyak, C. P. and Schanobish, K., "Residual Stresses in Injection molded Polycarbonate Rectangular Bars", Polymer Engineering and Science, 33, pp.1634-1643, 1993.

[6] 진영준, “사출성형 공정에서 캐비티 내의 압력과 온도 변화에 관한 연구”, 서울산업대학교 대학원,

2004.

[7] Yoon, k. and Wang, k. k., "Birefringence Measurements of INjection Molded Disks", SPE ANTEC, pp.2221-2225, 1992.

[8] 김영균, “사출성형을 이용한 나노패턴을 갖는 백라이트 유닛(BLU)용 복합기능 도광판(Pirismless LGP) 제작 및 성형조건에 따른 전사성/광특성 평가”, 순천향대학교 대학원, 2008

[9] Wang, K. K., Shen, S. F., Cohen, C., Hieber, C. A., Rickestson, R. C., Wang, V. W. and Emerman, S., "Intergration of CAD/CAM for Injection Molded Plastic Part, CIMP Progress Report, No.12, pp.12-43, 1986.

[10] 이옥성 “캐비티 압력 측정에 의한 사출성형에서의 최적생산” Kistler Korea Co. LTD 키슬러 코리아