사출성형 공정 캐비티 내 압력 측정과 CAE 해석을 활용한 점도 함수 추정

전강일[1], 임승현*, 노승규*, 김동학*
정보기술학과순천향대학교 나노화학공학과
e-mail : dhkim@sch.ac.kr

Kang-Il JEON[1], Seung-Hyun LIM*, Seung-Kyu NOH*, Dong-Hak Kim*
Department of chemical Engineering
Soonchunhyang University Asan 336-745, Korea

요 약

본 연구에서는 사출 성형에서 Cavity내의 압력을 측정하여 사출 성형기에서의 설정한 변수 즉, 사출 압력에 따라 Cavity내의 압력이 사출 공정동안 어떠한 추이를 나타내는지 관찰하였다. 이를 CAE 해석과 비교 분석하여 결과에 따른 점도 함수와의 관계를 알아보았다. 우선 Cavity의 압력을 측정하기 위하여 Cavity 내에 압력센서를 설치하고, 이를 시간에 따른 압력측정 결과를 보기 위하여 압력센서 시스템을 제작 하였다. 실제 사출성형하면서 Cavity 내 압력을 측정하고 CAE 해석 결과의 압력 변화와 비교한다. 이때 일반적으로 CAE 해석과 실험결과가 일치하지 않으므로 새로운 점도 곡선을 추정하여 CAE 소프트웨어 D/B(Data Base) 파일에 입력하여 다시 해석하고 실험 결과와 비교하여 압력 변화가 일치할 때까지 반복해서 수행한다. 이때 점도는 Power Law로 가정하여 D/B 파일에서 K와 n 값을 조절할 수 있고 일반적으로 n값은 Base Resin과 동일하므로 K값의 변화만을 고려하여 압력변화를 해석한다.

1. 서론

사출성형이란 고분자 용융체를 금형의 Cavity 내에 높은 압력과 온도를 가하여 채워 넣음으로서 Cavity의 형상과 동일한 형상을 생산하는 일련의 공정을 말한다. 사출성형을 이용한 제품들의 범위 또한 항공, 전기, 광학, 자동차, 건축 등 수많은 분야에 걸쳐서 생산되어지고 있다. 사출성형의 장점은 복잡한 형상의 성형, 자동화용이, 품질향상을 위한 성형요인의 다양성, 고효율의 대량생산, 다양한 표면상태, 단일공정의 제품생산, 다른 재료와 동시형성이 가능하다는 점 등이 있다. 이와 같이 많은 분야에서 널리 사용되고, 생산 되는 사출성형 제품들은 금형의 Cavity내에서 그 생산이 이루어지는데, 러너와 게이트를 통해 들어온 용융수지들이 충진, 보압, 냉각, 추출 순의 공정으로 제품을 생산하게 된다. 충진단계에서는 비정상상태의 압축성, 비등온유동이며 액체에서 고체로의 상변화를 겪게 된다. 충전단계는 주로 성형품의 외관에 영향을 주며 휨, 제품의 수축, 밀도분포 과 같은 제품의 미세구조, 특성, 품질에 결정적인 영향을 미친다. 냉각단계에서는 성형품의 치수와 기계적 성질에 영향을 미친다. 성형 조건은 성형과정 중 각 단계마다 성형품의 품질에 많은 영향을 미친다. 그러므로 각 단계에서 성형공정변수를 제어하는 것은 매우 중요하다.

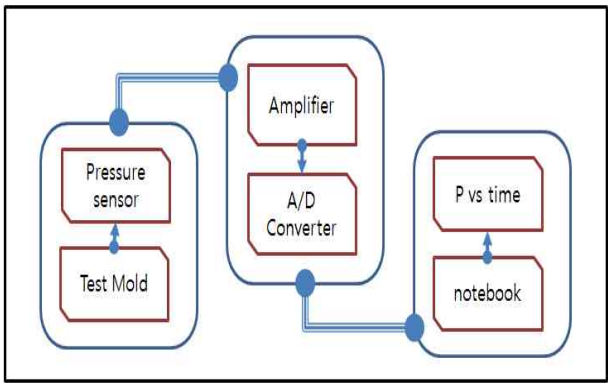
Cavity내에서 이루어지는 충진, 보압, 냉각의 공정에서 중요한 조건은 압력과 온도이다. 압력은 수지의 흐름에 영향을 미치며 온도의 변화에 불균일은 수축의 불균일 같은 생산품의 결함을 초래 한다., 압력과 온도가 적절하지 않는 경우 미성형(Short shot), Flash, Flow mark, 변형, Crack, 표면 흐림, Jetting 등의 문제점들이 발생하며 수많은 연구와 실험, CAE S/W(Moldflow , Maps-3D등)을 통해 이러한 문제들을 해결 하려고 노력하고 있다. 현재 이와 관련된 연구로는 Cavity 압력 측정에 의한 사출성형에서의 최적생산에 관한 연구[1]를 하였고, Cavity내

에 충진 시 Cavity내 압력변화를 연구[2] 하였다. 본 연구에서는 Cavity내 압력과 온도의 직접 측정이 가능한 Kistler 측정 장비인 Pressure Sensor(Type 6457BA)를 설치하여 제품이 성형되는 과정에서 Cavity내의 압력이 사출성형 제품에 어떠한 영향을 주는지 알기 위해 압력 변화를 측정하였다. 또한 실험으로 얻은 Data 와 CAE 해석을 통해 얻은 Data를 비교해 그 차이점에 대해 분석하였다.

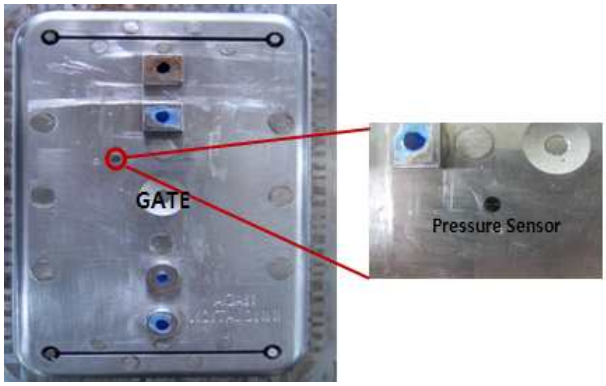
2. 실험장비 및 측정 방법

평가금형을 이용하여 실제 사출성형하면서 Cavity 내 압력을 측정하고, 이를 CAE해석 결과의 압력 변화와 비교한다. 이때 일반적으로 CAE해석과 실험 결과가 일치하지 않으므로 새로운 점도 곡선을 추정하여 CAE 소프트웨어 데이터베이스에 입력하여 다시 해석해서 실험결과와 비교하고, 이 둘의 Data가 일치할 때까지 반복해서 수행한다.

Cavity내 적당한 위치에 압력센서(Kistler)를 장착하여 수지 충전시의 압력을 전기적 신호로 전환한다. 압력센서에서 나온 전류(또는 전압) 신호를 받아서 증폭기에서 신호를 증폭하고 아날로그-디지털 변환기를 이용해서 컴퓨터에서 인식 가능한 디지털 신호로 변환한다. 컴퓨터에서는 디지털 신호를 받아서 시간에 따른 압력 Profile을 얻는다. 그림1. 은 실험 장치 계략도 이며, 그림2. 는 압력 측정 실험에 사용된 금형이며 압력 센서는 게이트 근접한 위치에 설치하였다. 이유는 게이트가 금형에서 최대 압력이 발생하는 곳이므로 공정에 대한 더 많은 정보를 얻을 수 있기 때문이다.



[그림 1] 실험 장치 계략도

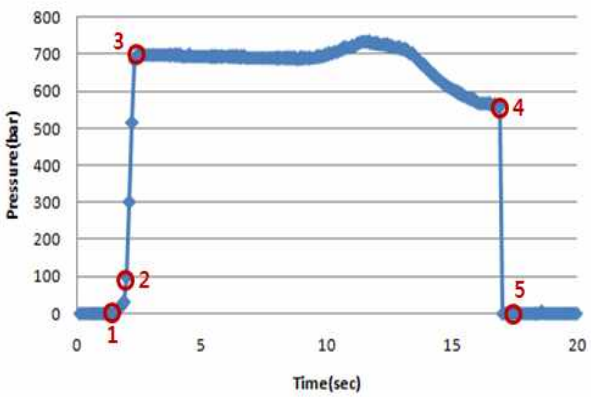


[그림 2] Mold

3. Injection & Analysis Results

3.1.1 Cavity 내의 압력

사출성형 공정시 그림과 같은 Cavity내 압력 변화 분포를 5단계로 볼 수 있다. 1~2 구간에서 충진이 시작되어 2~3 구간에서 Cavity내 압력이 높아지면서 Cavity내 충진이 완료된다. 그리고 3~4구간에서 보압으로 변화되어 서서히 압력이 감소하고 3~4 구간에서 냉각이 이루어지면서, 수지가 고화가 되어 압력이 떨어진다. 4~5 구간에서는 금형이 열리게 된다. 보압이 낮아지면 Cavity내 압력이 낮아지는 영향이 크므로 보압 설정에 주의해야 한다. 보압의 설정에 따라 성형품의 치수 및 기계적 성질에 영향을 주는 요인이다. 그림3. 는 수지온도 200℃에서 Cavity 내의 압력을 보여주고 있다. 압력 그래프에서 시간 단위는(sec)로 설정하였다.

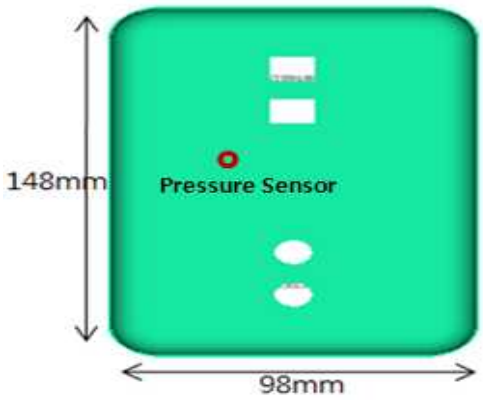


[그림 3] Cavity내 압력 Profile

3.2.1 Modeling & Condition

본 연구에서는 Cavity 내 압력 Simulation을 알아보기 위해 3D CAD Program을 이용하여 Model을 Design 한다. 그림4. 은 3D CAD Program 중 하나

인 NX UG 6.0 을 이용하여 Modeling 한 것이고 센서 위치를 동일하게 설정하였다. 수지는 PP(Samsung Total HF-700)이고 표.1 은 CAE Analysis Condition 을 나타낸다.



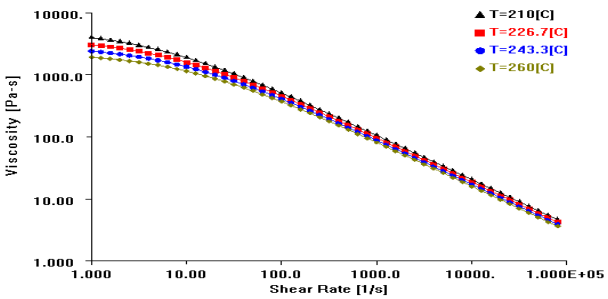
[그림 4] Model

[표 1] CAE Analysis Condition

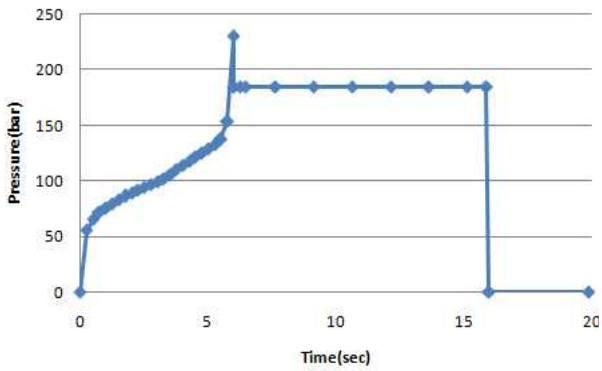
Inj. Time	Melt Temp.	Mold Temp.	P/F Switch over	Cooling Time
5sec	200℃	25℃	98%	20sec

3.2.2 CAE Analysis Results

Autodesk사의 Moldflow는 사출성형 해석 전용 프로그램으로서 2차원 해석뿐 아니라 관성 및 비등온 유동과 같은 실제적인 3차원 해석을 지원한다. 사출성형 과정에서 충전, 보압, 냉각 해석 및 사출성형 후 제품의 수축 및 휨 현상도 예측할 수 있으며 각 과정의 마지막에는 수지의 유동, 온도, 압력, 전단응력 등을 예측한다. 또한 압력이나 형체력 및 웰드라인, 에어트랩의 발생가능한 위치도 해석으로 예측 가능하다. 그림5. 는 Base Resin의 점도 그래프이고 210℃ 1/s 일 때 3975.5 Pa·s 이다. 성형해석 S/W 이용하여 Point별 압력분포를 볼 수 있는데 Moldflow의 기능을 이용하여 센서의 위치와 동일 위치에 Point를 설정하고 Point 압력 값을 그래프로 표현하였다. 그림6. 는 Cavity내 압력센서 위치의 압력 Profile이며 압력은 230bar이다.



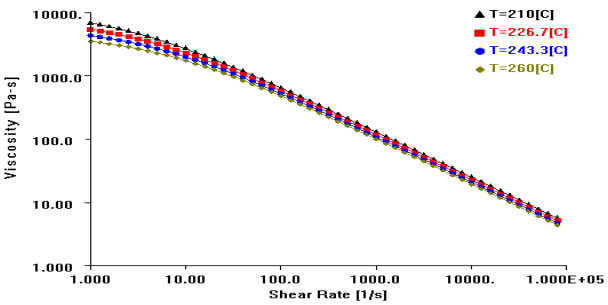
[그림 5] 점도 그래프 (1/s at 3975.5 Pa.s 210℃)



[그림 6] CAE Analysis Pressure Profile

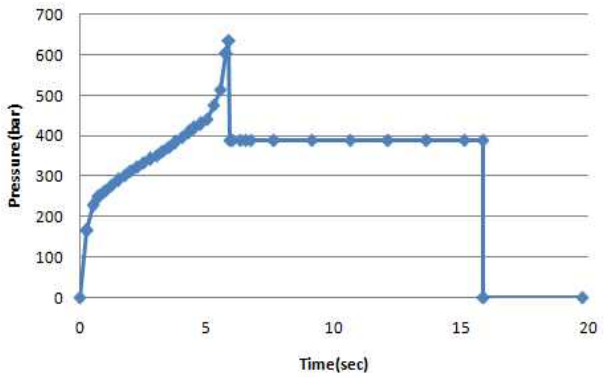
3.2.2 New Viscosity Curve

실제 사출성형 압력 Data와 CAE 해석 Data가 일치하지 않으므로 새로운 점도 곡선을 추정하여 CAE S/W 데이터베이스에 입력하고 다시 해석하여 실험결과와 비교하여 압력 Profile이 일치할 때까지 반복해서 수행하였다. 점도는 Power Law($\acute{\eta}=K\gamma^{n-1}$) 가정하면 D/B에서 K와 n값을 조절할 수 있고, 일반적으로 n값은 Base Resin과 동일하므로 K값의 변화만을 고려하여 D/B 에 입력 후 CAE해석을 다시 수행하며 실험결과와 해석결과가 일치할 때까지 반복한다. 그림7. 은 Base Resin의 K값을 변화한 점도 그래프이며 210℃ 1/s 일때 6806.5 Pa·s 이다.



[그림 7] 점도 그래프 (1/s at 6806.5 Pa.s 210℃)

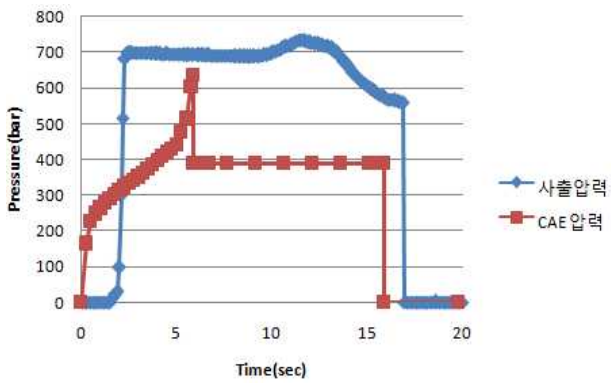
그림8. 은 점도 K값을 변화 후 압력 Profile 이며 Point 압력 값은 635bar 이다.



[그림 8] CAE Analysis Pressure Profile

4. Conclusion

본 연구에서는 사출 성형 공정에서 사출 금형 Cavity내에 Kistler 압력 센서를 설치하여 Cavity 내의 압력의 공정상태 변화에 대한 연구를 하였다. Base Resin의 점도 곡선 (Power Law($\acute{\eta}=K\gamma^{n-1}$)유체의 K,n)을 이용하여 K값을 변화시켜 CAE D/B에 입력 후 CAE 해석을 수행 하고 실제 사출 측정 압력 Data와 CAE 해석 결과를 비교한 결과 사출시 Cavity내 압력은 695bar , CAE 해석 Cavity내 압력은 635bar로 압력은 전반적으로 유사하게 나타났지만, 사출 압력 및 해석 결과 압력 Profile의 경향성에서는 많은 차이가 발생했다.



감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성 사업으로 수행된 연구결과임.

참고문헌

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

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