

인공신경망과 초음파를 이용한 사출성형품 물성 예측

김점곤, 유제혁, 김형수*, 이재욱
서강대학교 화학공학과 유변공정연구센터
단국대학교 화학공학과 유변공정연구센터*

Part Quality Prediction from ANN and Ultrasonic Wave in Injection Molding

J. G. Kim, J. H. Yoo, H. S. Kim*, J. W. Lee
Applied Rheology Center, Department of Chemical Engineering,
Sogang University
Applied Rheology Center, Department of Chemical Engineering,
Dankook University*

서론

사출성형공정은 고분자수지를 용융시킨 다음 가압하여 금형 내로 주입하고 냉각시키는 비등온의 사이클 공정으로써, 복잡한 형상의 제품을 대량생산할 수 있으므로 여러 가지 고분자 가공 공정들 가운데 가장 각광받는 공정이다. 그러나 사출성형품은 성형공정중에 금형 형상과 사출공정변수, 고분자 수지의 특성에 따라 다양한 형태의 열이력과 변형이력을 금형 내부에서 받게 되고, 그 결과 성형품 내부의 구조적인 양상이 현저히 달라지게 된다. 이러한 구조적인 변화는 사출성형품의 기계적 물성과 치수안정성에도 문제를 야기하게 된다.

따라서 사출물의 기계적 물성과 치수안정성을 실험에 의해 측정하지 않고 사출과 동시에 예측하고자 하는 많은 일들이 수행되어져 왔다. Kim [1] 등은 수치모사프로그램을 이용하여 사출물의 기계적 물성을 예측하고자 하였으며, Haussler [2] 등은 사출기의 사출조건과 측정된 압력을 이용하여 사출물의 치수안정성을 예측하였다. 그러나 일정한 사출조건으로 사출한 성형품일지라도 사출기 자체가 기계적 움직임을 함으로써 각각 성형품마다 다른 물성을 지닌 성형품을 만들게 된다. 따라서 사출 전 과정을 포괄할 수 있는 변수를 사출과 동시에 측정함으로써 성형품의 물성을 예측하는 것이 필수적이라고 하겠다.

본 연구에서는 사출과정을 포괄할 수 있는 변수로 초음파를 이용하였고, 초음파의 거동이 고분자 수지와 상관관계를 밝힘으로써 초음파가 사출성형품의 물성을 예측할 수 있는 가능성을 알아내고, 이들과 사출물의 물성과의 상관관계는 매우 비선형적이고 어떤 식도 아직 밝혀진 바가 없으므로 비선형 시스템을 관계 짓는 방법으로 인공신경망을 이용하였다.

이론

ANN 학습 알고리즘의 기본적인 구조는 Fig. 1과 같이 1개의 입력층과 다수개의 은닉층, 1개의 출력층으로 구성되어 있으며, 이들 각 층에는 입력과 출력에 대응하는 수만큼의 신경세포를 가질 수 있다 [3]. 또 각 처리요소층은 수신한 데이터에 대해 신경세포별 특성에 따라 독립적인 계산 -활성화 함수인 sigmoid 함수를 이용- 을 수행하여 그 결과를 신경망을 통하여 다음 층의 신경세포로 전송하며, 이와 같은 과정을 각 층별로 되풀이하여 진행하고, 출력층에도 달하면 출력값과 목표값을 비교하여 그 차의 제곱의 합을 최소화시키는 방향으

로 역전파시켜 연결가중치를 다시 조절하는 학습과정을 반복 수행하게 된다.

일반적인 고분자 수지는 가해지는 압력과 온도에 따라서 스스로 가지게 되는 부피가 동일한 질량에서 다르게 된다. 이러한 고분자 수지의 거동을 분석하기 위해 수 많은 수식이 만들어졌지만 그 중에서 Tait의 PVT 수식이 가장 널리 사용되어지며, 수식은 아래와 같다 [4].

$$V(P, T) = V(0, T) \left[1 - C \ln \left(1 + \frac{P}{B(T)} \right) \right] + V_i(T, P) \quad (1)$$

윗식에서 C는 무차원 변수로 대부분의 고분자는 0.0894의 값을 가진다. 고분자 상태에 따라서 다른 값을 가지는 변수들로, B(T)는 일반적으로 압력만의 함수로서 선형함수이며, V(0,P)는 압력이 대기압인 상태에서 온도변화에 따른 부피를 의미한다. 또한, 결정성 고분자 수지에 대해서는 결정화 온도에서 급격한 밀도의 변화를 가지므로 V_i 와 같은 부피의 변화를 보상하는 값이 첨가되어야하고, 이는 압력과 온도에 따른 함수이다.

초음파는 일반적으로 20KHz이상의 주파수를 가진 음파를 의미하며, 현재 초음파는 비파괴 검사에 있어서 가장 널리 사용되는 장치이다. 90년대에 들어와 고분자 성형품에 대해서도 이를 이용해서 성형품을 검사하기 시작하였으며, 특히 초음파의 속도는 아래와 같은 고분자수지의 밀도, 모듈러스와 상관관계를 가지고 있다.

$$V_i = \sqrt{\frac{\left(\frac{4}{3}G + K\right)}{\rho}} \quad (2)$$

실험

본 연구에서 사용된 수지는 결정성 수지로서 상용 시판되고 있는 폴리프로필렌(PP, SFR-170G, Honam Petro. Chem.)를 선정하여 사출실험을 수행하였다. 실험 전에 수지를 80°C에서 10시간동안 건조시킨 다음 실험에 사용하였다.

사출성형실험에는 L/D가 20 이고 지름이 25mm인 스크류가 부착된 25 ton, 2.08 ounce의 사출기(ABURG, Model 220M 250-75)를 사용하여 사출압, 사출 온도 및 유속 등의 성형조건을 다양하게 변화시키면서 시편을 제작하였다. 금형 온도 조절기(Regloplas 150K)를 사용하여 가열한 오일을 금형 내로 순환시켜 금형의 온도를 조절하였다. 또 각 성형조건에서 정상상태에 도달하였음을 확인한 다음 다른 사출조건의 사출을 수행하였다.

압력센서(KISTLER)에서 방출되는 pC 단위의 전기신호를 적절한 시간상수를 부여한 다음, 변위 증폭기를 사용하여 증폭하고, 이를 다시 LabView DAQ 시스템을 이용, 수신함으로써 사출공정 중의 캐비티압을 측정하였고, 사출기로부터 노즐의 위치와 사출기의 위치 신호를 동시에 측정하여 사출의 시작과 보압이 끝나는 시간을 설정하였다. 또한 초음파를 이용한 실험은 모세관 레오미터 하단에 자체 제작한 금형을 이용하여 PVT와의 상관관계를 밝혔다, 그리고 사출기 금형내부에 초음파센서를 양단에 부착하여 사출성형중의 초음파 거동은 transmission mode로 측정하였다.

결론

초음파에 의해서 얻어진 값이 고분자의 상태를 나타낼 수 있는가에 대한 검증은 위해서 먼저 PVT의 값과 비교하는 일을 가장 먼저 수행하였으며, Fig. 2는 일정한 압력에서 온도를 바꿔가며 측정된 고분자의 PVT 그림이다. 또한 Fig. 3은 자체 제작한 금형을 모세관 레오미터 하단에 장치하여 일정한 압력을 가하며 동일한 방법으로 초음파의 속도를 측정하여 도시한 그림으로 초음파 속도의 역수가 고분자의 비부피와 거의 동일한 양상을 가지고 있다는 것을 확인하였으며, 이것은 초음파가 고분자수지의 거의 모든 상태를 예측할 수 있음을 의미한다고 할 수 있다. 그러나 사출성형의 경우 온도의 감소 양상이 일정하지 않으므로 고분자 수지의 감온 속도에 따른 PVT 거동의 규칙성을 찾을 필요가 있고, 이를 위해 여러 가지 감온 속도로 PVT 실험을 수행하고 비교함으로써 모든 감온 속도를 포괄하는 수식을 만들어 낼 수 있었다. PVT 실험에서 나타나는 결정화 온도와 DSC 상의 결정화 온도를 비교한 것으로 거의 일치하는 경향을 볼 수 있다.

사출성형 과정중의 초음파 펄스의 연속적인 변화를 측정하고 이를 속도와 변위로 바꿔줌으로써 금형 내부의 연속적인 변화를 측정하였으며, Fig. 4는 연속적으로 변하는 초음파 펄스를 도시하였다. 또한 인공신경망을 학습시키기 위하여 먼저 사출하면서 얻은 초음파 속도와 변위 크기를 학습의 변수로 하여 18가지의 set을 전체 사출 실험범위를 포괄할 수 있도록 선택하여 학습과 검증을 위한 test set으로 사용하였다. 학습의 범위는 총 오차가 1%이내가 되도록 하였으며, 학습의 횟수, 학습변수, 모멘텀 변수와 잡음지수를 변화시키면서 최적의 학습을 시키는 조건을 찾도록 하였다. Fig 5는 이를 이용하여 실제 측정된 모듈러스의 값을 인공신경망에 의해서 예측한 값을 동시에 도시한 것이다.

감사의 글

본 연구는 유변공정연구센터의 지원을 받았으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. J. G. Kim, H-J. Park, and J. W. Lee, *K. J. Rheology*, **10**, 74 (1998).
2. J. Haussler and J. Wortberg, *ANTEC '96*, 537 (1996).
3. R. A. Jacobs, *Neural Networks*, **1**, 295 (1988).
4. H. H. Chiang, C. A. Hieber, and K. K. Wang, *Polym. Eng. Sci.*, **31**, 116 (1991)

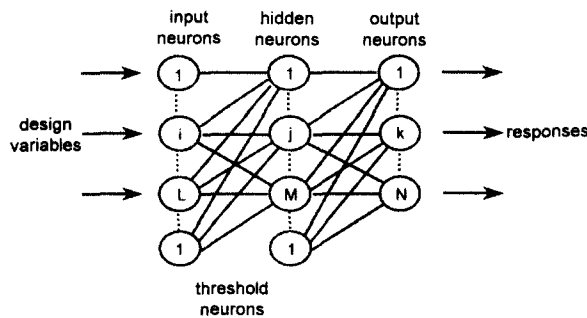


Fig. 1. The Schematic Structure of Artificial Neural Network

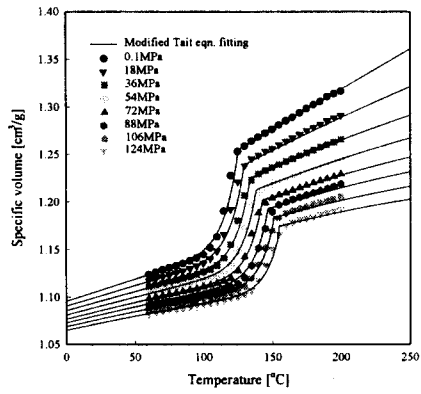


Fig. 2. Plot of PVT relationship.

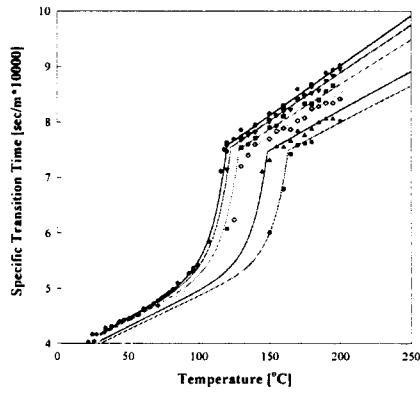


Fig. 3. Plot of Ultrasonic velocity on various pressure and temperature.

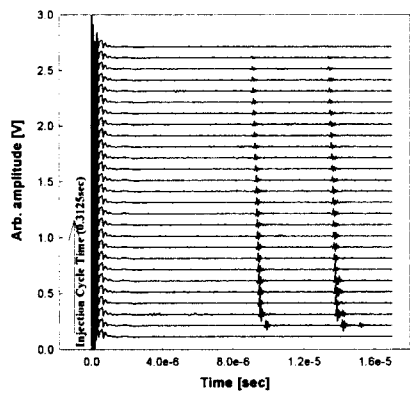


Fig. 4. Plot of ultrasonic pulse during injection molding cycle.

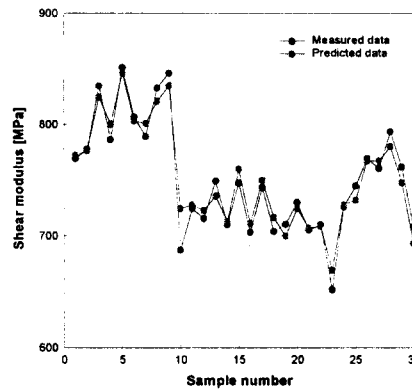


Fig. 5. Plot of predicted and measured data on shear modulus.