

복수캐비티 금형의 충전균형조절을 위한 수지도달시점 측정기술 개발 Development of Resin-Arrival Time Measurement Technique for Filling Balance of Multiple-Cavity Mold

*#이병욱¹, 이은진¹, 이영주¹, 차백순², 박형필²

*#B. O. Rhee¹ (rhex@ajou.ac.kr), E. J. Lee², Y. J. Lee¹, B. S. Cha², H. P. Park²

¹아주대학교 기계공학부, ²한국생산기술연구원 정밀금형팀

Key words : Injection molding, Filling balance, Multi-cavity mold, Resin-arrival time

1. 서론

복수 캐비티 금형은 하나의 금형을 이용하여 여러 개의 제품을 성형함으로써 높은 생산성을 제공한다는 장점에 선택되고 있다. 그러나, 이와 같은 장점과 함께 충전 균형을 쉽게 달성할 수 없는 단점은 복수 캐비티 금형의 보급과 활용에 큰 걸림돌이 되어 왔다. 충전 균형을 갖추지 못한 복수 캐비티 금형에서는 각 캐비티에서 성형되는 수지의 이력이 동일하지 않기 때문에 복수 캐비티 금형의 주요 장점인 높은 생산성을 달성할 수 없게 된다.

충전균형을 저해하는 요인은 다양하게 밝혀져 왔다. 그 중에서도 가장 널리 알려져 있는 것은 러너 내부에서 전단 가열에 의해 발생한 고온층이 분기점에서 편심 현상을 일으키며 균등하게 분기되지 못하는 현상이다[1]. 이 원인에 의한 충전 불균형을 해결하는 방법이 개발되어 보급되고는 있으나 아직 국내에서는 널리 알려져 있지 않다. 다른 요인으로서 금형 가공의 오차와 금형 온도 분포의 불균형 등이 있다. 종래에는 이러한 충전 불균형이 발생하였을 때 금형을 수정하여 균형을 맞추는 방법으로 대처하여 왔다.

최근 들어 충전 불균형 문제가 발생하는 금형에 간단한 장치를 설치하여 충전 균형을 달성할 수 있는 방법이 저자들에게 의해 제시되었다[2, 3]. 발표된 기술은, 각 캐비티 충전 말단부위에 표면온도센서를 설치하고 각 센서에서 발생한 온도 신호의 변화를 측정하여 충전 불균형 차이를 측정 한 후 게이트 전방에 설치된 러너 밸브를 조절하여 각 캐비티로 유입되는 유량을 조절하는 방법으로 충전 균형을 달성하는 기술이다. 러너 밸브를 이용한 충전 균형 장치는 이미 패밀리 금형과 복수 캐비티에 적용한 실험을 통해 충전 균형 조절의 용이성과 정확성이 확인되었다[4].

러너 밸브를 이용하여 충전 균형을 확인하기 위한 실험에서는 러너 밸브의 조절을 수동으로 수행하였다. 매 사이클마다 측정된 표면온도센서의 온도 신호 변화를 금형 내 수지 유동에 대한 이해를 가진 작업자가 판단하여 충전 불균형 정도를 파악하여야 했다. 그러나, 금형 내 수지 유동에 대한 이해가 없는 단순 작업자는 온도 신호를 보고 손쉽게 충전 균형에 대한 판단을 내리기가 어렵다. 따라서 단순 작업자도 손쉽게 충전 균형 조절장치를 이용할 수 있도록 하기 위해서는 작업자의 간섭이 없는 자동화된 충전 균형 조절 장치가 개발되어야 한다. 충전 균형 조절장치의 자동화를 위해서는 수지도달시점 판단을 자동화할 필요가 있다. 각 캐비티에 도달하는 수지의 차이 시간을 될 수 있는 대로 정확하게 인식하여야 이를 기초로 결정되는 충전 균형 조절값의 정확성이 높아질 것이다. 본 연구에서는 러너 밸브를 이용한 충전 균형 조절장치의 자동화를 위해 수지도달시점을 과학적인 근거를 가지고 보다 정확하게 결정할 수 있는 방법을 개발하였다.

2. 금형 내 표면온도센서의 온도 신호 변화

열전대를 사용하는 표면온도센서는 금형과 전기적으로 절연되어 있지 않아 작업장 주변에서 발생하는 다양한 전자기파에 의해 발생하는 전기적인 잡음에 그대로 노출되어 있다. 일반적으로 온도 신호에 전기적인 잡음이 섞이지 않

도록 하기 위해서는 신호 연결선을 금속으로 둘러싸고 이를 큰 대전체에 접속하여 정전차폐를 시키는 방법을 사용하며 이는 신호 연결선을 통해 유입되는 전기적인 잡음을 방지하는 목적에는 충분한 효과가 있다. 그러나, 금형과 전기적으로 연결된 온도 센서를 통해 유입되는 전기적인 잡음은 제거하기가 쉽지는 않다. 특히 금형이 설치된 사출성형기 전원이 충분히 큰 용량으로 접지되어 있지 않은 경우, 유압 솔레노이드 작동과 같이 급격한 전류의 상승이나 전기적인 충격이 발생하며 이는 사출성형기의 몸체와 금형을 통해 손쉽게 표면온도센서로 유입된다. 실제로 표면온도센서에서 측정된 온도 신호는 간헐적으로 사출성형기의 주요 작동부가 작동하는 시점에서 큰 전기적인 잡음을 포함하고 있다.

수지가 금형 내부로 빠르게 충전되어 들어올 때 금형 내부에 남아 있는 공기는 충전 말단부위에 설치된 공기 배출구를 통해 빠져 나가도록 되어 있다. 그러나, 공기 배출구는 수지가 흐르지 못하도록 매우 작은 크기로 제한되어 설계된다. 수지가 금형에 충전될 때, 수지 선단의 공간에 있던 공기는 작은 공기 배출구를 통해 충분한 속도로 빠져나가지 못하게 되면서 단열 압축되는 현상이 발생한다. 단열 압축에 의한 공기 온도의 상승은 표면온도센서에서 측정되는 온도가 작은 폭으로 상승하도록 한다. 그림 1에서는 전기적인 잡음과 수지 선단 공기의 단열 압축에 의한 온도 상승이 복합적으로 포함된 표면온도센서의 온도 신호를 나타낸다.

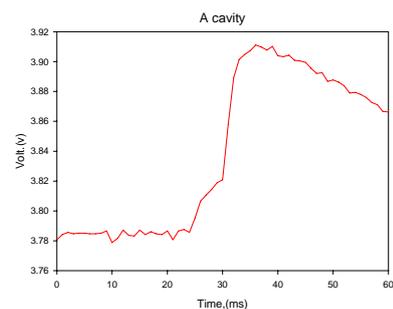


Fig. 1. Typical temperature curve obtained from resin-touch sensor in the injection mold

3. 수지도달시점 결정법

표면온도센서에서 측정된 온도 신호를 이용하여 수지도달시점을 결정하는 가장 기본적인 방법은 육안 식별법이다. 이는 많은 경험과 지식을 가진 기술자만이 가능한 방법이다. 수지가 표면온도센서에 닿음에 따라 수지의 열량이 표면온도센서를 통해 금형으로 전달되며 표면온도센서의 온도는 급격하게 상승하게 된다. 이런 변화를 나타내는 온도 신호에서는 그림 2에 나타난 것과 같이 급격한 온도 상승 선을 연장하여 기저온도선과 교차하는 시점을 찾아 그 점을 수지도달시점으로 인식하는 방법이 가장 기본적인 방법으로서 타당하다고 인정된다.

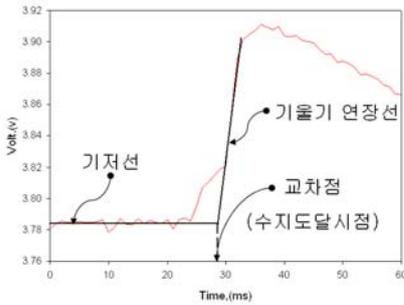


Fig. 2. Basic method to determine the resin-arrival time from the temperature signal

수지도달시점을 자동적으로 결정하기 위한 가장 손쉬운 방법은 온도 신호값이 특정한 경계값을 넘어서는 시점으로 결정하는 방법이다. 디지털 신호를 다루는 응용 분야에서 일반적으로 사용하는 방법으로서, 특정한 경계값을 설정하고 이를 넘어서는 시간을 특정점으로 인정한다. 그러나, 이 방법은 설정된 경계값에 따라 수지도달시점이 변하는 문제점을 가지고 있다. 특히 표면온도센서에서 측정된 온도 신호와 같이 전기적인 잡음을 가지고 있거나 단열 압축에 의한 공기 온도 상승이 포함된 경우에는 경계값에 따른 수지도달시점의 변화가 크게 나타난다. 또한 작업장의 환경과 금형 상태에 따라 위의 오차 유발 요인이 선별적으로 포함되는 경우, 작업자가 일일이 경계값을 조절해 주어야 정확한 수지도달시점을 얻을 수 있는 문제점이 있다.

열전달 이론에 의하면 일정한 초기 온도를 가진 물체의 한쪽 벽면에 높은 온도의 물체가 닿은 후 접촉면 온도의 시간에 따른 상승은 오차 함수(Error Function)를 따른다[5]. 표면온도센서에서 측정된 온도 신호를 오차 함수로 근사하여 수지도달시점을 구한다면 과학적인 근거를 가지고 가장 정확한 방법으로 수지도달시점을 결정할 수 있을 것이다. 그러나, 오차 함수는 적분 형태의 함수로서 즉각적인 계산을 통해 값을 구하는 용도에 사용하기 어려운 특징이 있다. 따라서 즉각적인 값을 용이하게 구하여 사용할 수 있는 함수를 사용하여 오차 함수를 대체하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 다양한 근사 함수 중 본 연구 목적에 가장 알맞은 Sigmoid 함수를 사용하였다.

Sigmoid 함수는 S 자 함수라고도 부르며 통계분석에서 정규분포의 누적값을 표시하는 용도로도 사용된다. 본 연구에서는 Sigmoid 함수의 여러 형태 중 다음과 같은 형태를 가진 함수를 사용하였다. 위의 함수에 나타난 각 계수는 그림 3에 설명되어 있다.

$$f(x) = y_0 + \frac{A}{1 + e^{-\frac{x-x_0}{B}}}$$

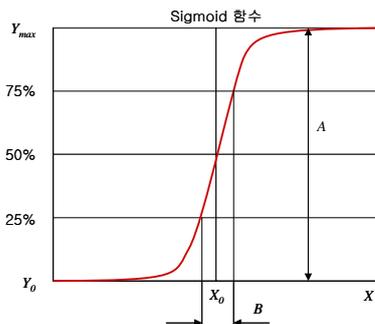


Fig. 3. Meaning of the coefficients in the sigmoid function used in this research

4. 온도 신호의 근사

표면온도센서에서 측정된 온도 신호를 Sigmoid 함수로 근사할 때 주의할 점은 온도 상승선이 근사 함수의 중앙 기울기와 가장 근접하게 일치되도록 샘플링 범위를 결정해 주어야 하는 점이다. 본 연구에서는 온도 신호의 최대값을 경계로 전방 자료 범위를 적절하게 조절하였을 때, 자료 범위가 좁을수록 중앙 기울기 선에 최대한 가깝게 근사됨을 알았다. 최대값 후방 자료 범위를 증가하면 온도가 최대값을 정점으로 감소하는 현상 때문에 최대값보다 낮은 값으로 근사되는 것을 알았다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이 전방과 후방 자료 범위를 모두 가능한 최소한으로 설정하는 것이 바람직하다는 결론을 얻었으나, 샘플링 자료 범위가 너무 작은 경우 기저온도선이 상승하는 문제점이 있었다.

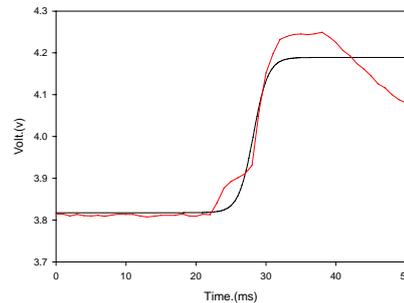


Fig. 4. Result of approximation with 50 sampling points

5. 결론

본 연구에서는 복수 캐비티의 충전 균형 조절장치를 자동화하기 위해 표면온도센서에서 측정된 온도 신호를 근거로 수지도달시점을 자동으로 결정하기 위한 기술을 개발하였다. 오차 함수와 유사한 거동을 보이는 Sigmoid 함수를 이용하여 온도 신호를 근사하고 근사된 Sigmoid 함수의 특징을 활용하여 성공적으로 수지도달시점 결정을 자동화 하였다.

후기

본 연구는 지식 경제부와 한국산업 기술재단의 전략기술 인력 양성사업과 한국생산기술 연구원의 생산기술연구 사업으로 수행된 연구 결과 이며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. J. Beaumont and J. Young, 'Mold Filling Imbalances in Geometrically Balanced Runner Systems', *Journal of Injection Molding Technology*, **1**, 3, pp 133-135, 1997
2. H. P. Park, B. O. Rhee & B. S. Cha, 'Variable-runner system for family mold filling balance', *Solid State Phenomena*, **116-117**, pp. 96-101, 2006
3. H. P. Park, B. S. Cha, J. K. Kang & B. O. Rhee, 'The filling balance of LDPE/ABS/PA6,6 resin', *한국소성가공학회 제 4 회 금형가공심포지엄 논문집*, pp. 193-202, 2006
4. K. I. Choi, H. P. Park, B. S. Cha, B. O. Rhee, & B. H. Koo, 'Effect of rheological Characteristics of resin on the performance of the runner valve in family-mold', *Proceedings of SPE ANTEC2008*, Milwaukee, WI, pp.455-458, 2008
5. H. S. Carslaw and J. C. Jaeger, *Conduction of Heat in Solids*, Oxford, 1959