

복수 캐비티 충전 균형 조절을 위한 자동 런너 밸브 조절기 개발

이영주¹ · 이은진¹ · 박형필^{1,2} · 차백순² · 이병욱^{1*}

Development of Automatic Runner-Valve Actuator for The Filling Balance of Multi Cavity

Y. J. Lee, E. J. Lee, H. P. Park, B. S. Cha, B. O. Rhee

Abstract

The runner-valve is an effective solution for the filling balance of the multi cavity molds. Automation of the runner-valve system is necessary for more efficient and accurate control of the filling balance. We designed an automatic runner-valve actuator for the automation and characterized the actuator by experiment. We obtained a linear relationship between motor-driving time and the height of the runner-valve. However, the motor-driving times for upward and downward directions were different due to the frictional characteristics of the actuators. Also we obtained the motor-driving times for backlashes of the 4 actuators. The results were used to formulate the relationship between the resin-arrival time and the flow rate change of the runner-valve with the theoretical equation that was derived in the previous research.

Key Words : Injection molding, Multi cavity, Automation, Filling balance, Runner-Valve

1. 서론

복수 캐비티 금형은 사출 공정에 있어서 많은 장점을 가지고 있다. 하지만 복수 캐비티의 특징인 충전 불균형으로 인한 높은 불량률의 발생으로 후작업의 필요와 원가 상승을 야기시켜 복수 캐비티의 장점을 충분히 활용 못하고 있는 실정이다. 충전 불균형 해소 문제는 그 중요성이 인정되어 여러 가지 방법으로 해소해 보려는 시도가 있었다. 효과적인 방법의 하나로서 런너 밸브가 고안되었다[1]. 충전 불균형은 캐비티 간의 충전 속도 차이에서 발생한다. 런너 밸브는 런너의 단면적을 변하게 하여 유량의 변화를 발생함으로써 충전 균형을 조절하도록 고안되었다. 선행연구[2,3]에서는 런너 밸브의 효과를 실험적, 계산적

방법으로 입증하였다.

런너 밸브의 목적인 조건의 변화에 따른 충전 균형 조절을 위해 충전 불균형의 정량적 판단이 중요시 된다. 선행연구[2,3]에서는 이를 위하여 충전 시간 차이를 통하여 충전 불균형을 판단하였고 수동적인 방법으로 런너 밸브를 조절하여 충전 균형을 달성하였다. 충전 시간 차이는 온도 센서에서 측정되는 온도가 급격히 상승하는 점을 이용하여 판단하였다. 그러나, 작업자가 직관적으로 충전 순서를 판단하고 런너 밸브를 조절하는 데는 정확한 판단과 정량적인 조절에 어려움이 있었다[4]. 작업자의 지식과 경험에 따라 조절에 오류가 발생할 확률도 높아 비효율적이며, 금형의 구조적인 면에 있어서도, 조절 장치를 금형 외부로 노출 시킴에 따라 설치와 안전에 관한 문제를 발생할 우려가 있다. 또한 작업자가 런너 밸브 조

1. 아주대학교 기계공학부

2. 한국생산기술연구원 금형-성형기술연구부

* 아주대학교 기계공학부, rhex@ajou.ac.kr

절을 위해 금형을 여닫고 사출 현장에 상주해야 하는 불편함이 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 런너 밸브 시스템이 자동화 되어져야 할 필요성이 높다. 충전 불균형이 자동적으로 측정되고 판단된 후 자동제어 시스템에 의해 런너 밸브를 조절하도록 하는 시스템을 개발하기 위해서는 밸브 조절기의 개발이 필수적이며 이에 대한 설계와 제작 그리고 특성 분석이 필요하다. 본 연구에서는 런너 밸브 시스템 자동화를 위한 밸브 조절기를 개발하고 이에 대한 특성을 분석하였다.

2. 실험 장치 개발

2.1 실험 금형

실험 금형에 이용된 금형은 4개의 캐비티를 가진 복수 캐비티 금형으로 제작되었다. Fig 1.에서 보여지는 바와 같이 각 캐비티는 인서트 블록 형식으로 위치의 교환이 가능하게 설계 되었다. 캐비티의 크기가 가장 큰 기준 캐비티를 기준으로 100% 캐비티 2개 각각 80%와 90%의 크기의 캐비티가 한 개씩 위치하였다.

2.2 센서 위치와 측정 방법

각 캐비티의 충전 말단부에 해당하는 위치에 직경 1mm의 온도 센서를 각 캐비티에 배치하였다(Fig 2.). 수지가 온도 센서에 접촉한 시간을 측정하고 각 센서에서 측정된 시간을 비교하여 시간차를 계산함으로써 충전 시간 차이를 도출하였다.

2.3 런너 밸브 조절기 설계, 기구 설계

실험에 사용된 금형의 캐비티가 40mm X 20mm 이하인 소형 금형 이다. 실험의 필요성뿐만 아니라 런너 밸브가 실험 금형보다 소형 금형에 적용이 되었던 점을 고려 하여 조절기를 소형화 하였다. 런너 밸브 조절기는 Fig 3.과 같이 전기 모터, 감속기, 축이음, 이송나사 그리고 핀으로 구성 된다.

3. 런너 밸브 조절기 특성과 교정

3.1 런너 밸브 조절기 기능과 특징

런너 밸브는 직경의 변화에 따라 런너의 유량을 변하게 하여 충전 시간을 조절 하는 장치이다.

런너 밸브 시스템에 있어서 런너 밸브 조절기는 제어를 수동이 아닌 자동으로 제어하기 위하여 런너 밸브의 직경을 자동으로 조절 하는 장치로서 충전 불균형 조절을 직접적으로 관여하는 장치이다.

실험에 사용된 런너 밸브 조절기의 소형화로 인하여 장치의 위치를 측정 하여 제어기에 피드백을 주는 기능을 설치할 공간이 없었다. 장치를 정밀 조작하고 원하는 상태로 조절하기 위하여 장치의 동작 특성을 정밀하게 측정할 필요가 있다. 장치의 동작 상태의 예측과 정밀 조작을 위하여 특성 분석을 위한 실험을 진행하였다.

3.2 런너 밸브 조절기의 특성 분석

3.2.1 시간 - 거리 특성

런너 밸브 조절기의 가장 기본적인 특성은 조절 시간에 따른 조절량의 관계이다. 이를 위해 전압과 전류를 고정된 채로 작동 시간의 변화하고 이에 따라 변화하는 런너 밸브의 높이의 변화를 측정하였다. 제어 시스템을 단순하게 하기 위해 전류와 전압은 고정하였고 시간만을 제어 변수로 설정하였다.

측정은 Fig 4.과 같이 측정 시작점으로부터 일정한 측정 범위를 설정하여 측정 범위 내에서 고정된 시간 값에 대한 각 이동 거리를 측정 하였다. 1set에 대하여 동일 방향으로 전진 하며 측정 하였으며 설정된 측정 범위에 해당하는 측정치를 1set로 하였다. 그 결과로 각 set 별로 40~45회의 결과값을 정리하였다. 이때, 측정기기로 사용된 다이얼 게이지의 측정 오차가 결과의 표준 편차보다 크기 때문에 결과에 대한 검증을 위하여 반복 실험 하였다. 결과는 Fig 5.와 같이 각 set의 평균값들의 결과가 신뢰도가 높은 형태로 측정 되었다. 이를 통하여 조절기 제어의 재현성의 확인과 제어 방법이 모색 되었다. 관찰된 조절기의 특성으로서 런너 밸브 핀이 상승하는 운동과 하강하는 운동이 각각 다른 특성을 보였다.

작동 시간에 따른 조절량의 선형성을 검사하기 위해 작동 시간을 변화 하면서 실험을 하였다. 시간-거리에 따른 결과는 Fig 6.와 같다. 편차 값이 크게 나타난 1.8초의 결과값을 고려 한다면 동작 시간에 따른 조절량은 선형적이었다. 동작 시간의 변화에 따라서 조절량에 오차가 발생하는 원인은 모터의 전력 차단 시 전류 하강에 지연이 발생하

고 있는 현상이 원인으로 판단된다. 그러나 이런 현상은 모터 제어 회로의 변경으로 개선 가능한 것으로 판단한다.

전력 차단에 따른 전류 하강 지연이 동일하다고 한다면 1회 조작 시간이 길수록 1set에서의 전류 하강 지연 현상이 차지하는 시간이 상대적으로 감소하므로 시간-거리 관계가 선형적으로 변화한다.

3.2.2 백래시 특성

모터와 기어 어셈블리를 이용하는 기구에서 백래시 문제는 항상 고려해야 할 사항이다. 장치 설계시 백래시를 최소화 하기 위한 고려를 하였으나 실제 작동 결과 백래시의 값이 적지 않게 나타남을 발견하였다. 런너 밸브 핀의 정확한 위치 결정을 위하여 백래시가 발생하는 현상과 그 특성을 관찰 하였다. 예비 실험을 통하여 백래시가 3~4초 이내의 동작 시간 범위에서 발생한다는 것을 알 수 있었다.

기준 위치에서 백래시가 발생 하도록 유도한 상태로 반대방향의 조절을 통하여 계산된 조절량과 실제 측정된 조절량의 차이를 비교 하였다. 동작 시간에 따른 시간-전류의 관계는 Fig 7.의 아래 그림과 같이 나타난다. 전압이 일정 하다고 가정 하면 모터에 공급된 에너지는 그래프의 면적과 비례한다. 만약 백래시가 발생하지 않는 상태에서는 t0의 설정을 하면 지연 함수를 고려 하고도 아래 그래프의 면적과 같은 결과가 나온다. 하지만 백래시가 발생한 경우 실제 이동한 거리는 t1의 조절을 하였을 때의 면적과 같은 양만 이동하게 된다. 이때 두 함수 간의 면적을 비교하여 S(t0) - S(t1)의 관계에서 백래시에 소모 되는 모터 동작 시간을 구하였다.

3.2.3 조절기 특성 적용

앞선 두 실험을 통하여 동작 시간에 따른 런너 밸브 위치 결정을 할 수 있었다. 하지만 각 캐비티별로 설치된 각 조절기 모터 특성 차이, 감속기 차이, 가공 오차에 의한 마찰 특성 등에 의해 각 캐비티 별로 미세한 특성의 차이가 발생 하였다. 런너 밸브 특성 분석 실험은 4개의 조절기에 대하여 각각 측정 되었다. 이를 통해 각 조절기의 제어를 위한 특성을 분석하였다.

런너 밸브를 이용한 충전 균형 제어에서 제어하고자 하는 변수는 충전 시간 차이이며 이를 위

해 조절하는 변수는 모터 작동 시간이다. 충전 시간 차이는 각 캐비티로 공급되는 유량 차이에 의해 발생하므로 모터의 동작 시간과 각 런너 밸브의 유량 간의 관계를 나타내는 관계식이 필요하다. 이러한 문제 해결을 위하여 선행 연구에서 직경과 유량의 관계를 이론적으로 밝힌바 있다[3]. 이 관계는 다음과 같다.

$$Q_r = \frac{Q_v}{Q_t} = \left(\frac{L_{1A}}{L_{12} + L_{23}/R_r^{1+3n} + L_{34}} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

런너 밸브를 통과하는 유량은 직경비에 의하여 결정된다. 본 실험을 통하여 이 직경비를 조절 할 수 있는 방안을 마련하였고 설계 단계에서 고려 하였던 직경 조절 방법에 대한 결과를 도출 하였다.

4. 결론

복수 캐비티 금형의 충전 균형 문제를 해결할 수 있는 효과적인 장치인 런너 밸브는 보다 정확하고 효과적인 충전 균형 조절을 위해 자동화 되어야 한다. 본 연구에서는 자동 런너 밸브 시스템 개발을 위한 밸브 조절기 설계, 제작 한 후 특성 분석을 위한 실험을 진행하였다. 실험 결과 모터의 동작 시간에 따른 런너 밸브 조절량은 선형적이었으며 상승 방향과 하강 방향에서 다른 특성을 나타냈다. 조절 기준 거리 0.5mm 조절 시에 각 캐비티 별로 하강 방향 운동 기준 각 1.1~1.2 초 사이의 동작 시간이 필요하였다. 각 런너 밸브 별로 관찰된 백래시 보정을 위한 동작 시간은 3.5~4.0초 사이에서 일정하였다. 이와 같이 구해진 백래시 보정 상수를 각 런너 밸브에 적용하여 밸브 조절을 교정하는 방안을 마련하였다. 실험을 통한 자료는 선행연구에서 제시한 런너 단면적 변화에 따른 유량 변화식을 적용하여 충전 시간 차이를 유량 변화로 연결시킬 수 있는 기초적인 자료를 마련하였다.

사 사

본 연구는 지식 경제부와 한국산업 기술재단의 전략기술 인력양성사업의 지원으로 진행되었으며 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 박형필, 차백순, 강중근, 이병욱, '가변러너를 이용한 LDPE/ABS/PA66 resin using variable-runner system', 2006년 대한기계학회 추계학술대회,(2006), pp1100-1105
- [2] B. O. Rhee, H. P. Park, K. I. Choi and B. S. Cha, 'Development of a Runner Valve for the Runner Balance Adjustment in Multi-Cavity Injection Mold', Conference proceeding of UKC2008, (2008)
- [3] 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', Conference proceeding of SPE ANTEC2008, (2008), pp.455-458
- [4] 이은진, '복수 캐비티 금형의 충전 균형 조절을 위한 수지도달시점 측정기술에 관한 연구, 아주대학교 석사 학위 논문,(2009)

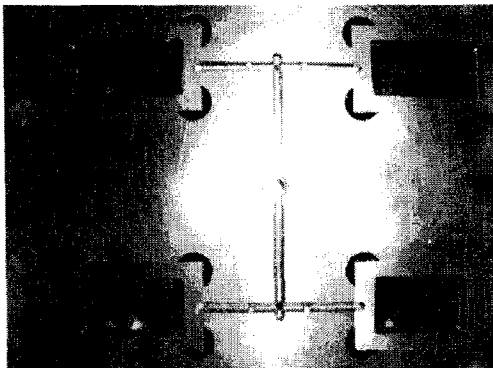


Fig. 1 Photo of the test mold with 4-cavity insert block

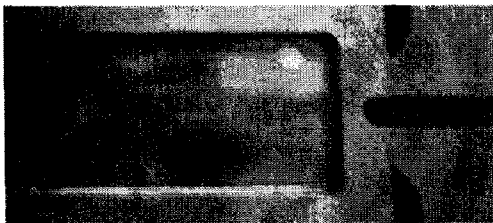


Fig. 2 Temperature sensor position

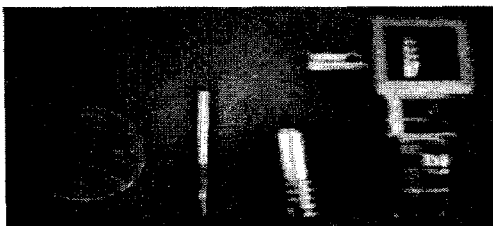


Fig. 3 Parts of runner-valve actuator

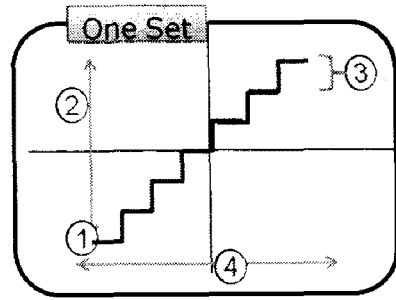


Fig. 4 Experiment plan to calibrate runner-valve actuator

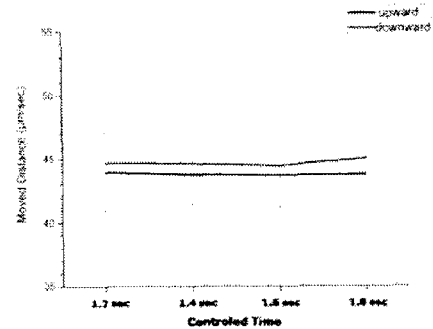


Fig. 5 Height change of runner-valve pin for 1 second

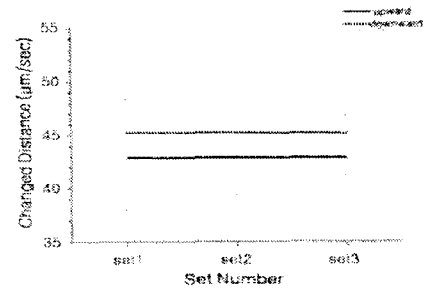


Fig. 6 Height Changes by control time durations

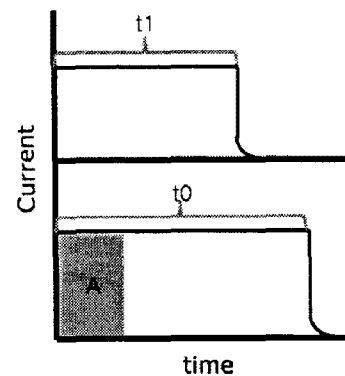


Fig. 7 Time-Current graph for the same height change with(t_0) and without (t_1)