

유압식 사출 성형기 신뢰성 평가에 관한 실험적 연구 An Experimental Study on Credibility Test of Hydraulic Injection Molding Machine

*정현석¹, #유중학²

*H. S. Jung¹, #J. H. Yoo(jhyoo@kut.ac.kr)²

¹ 한국엔젤기계주, ² 한국기술교육대학교

Key words : Screw Stroke, Injection Pressure, Barrel Temperature, Reliability Test, Linearity, Repeatability

1. 서론

플라스틱 사출 성형(injection molding) 기술은 발전하였지만, 대다수 사출성형을 전문적으로 하는 업체는 제품 특성에 맞는 최적의 조건을 찾는 데, 경험을 가진 현장 기술자에 의해 의존하는 현실이다. 즉 눈으로 확인할 수 없는 많은 조건들로 인해서 제품 특성에 맞는 사출 성형기의 최적 조건을 찾기란 어렵기 때문에 많은 경험을 필요로 한다. 최근에는 사출 성형 제품들이 초정밀, 소형화, 대량화의 추세로 사출성형 산업 현장의 개념이 바뀌고 있다. 그러므로 어느 때보다 공작기계의 신뢰성 평가⁽¹⁾에 대한 중요성이 재인식되기 시작하였다.

2. 신뢰성 평가의 목적

사출 성형기에 대한 신뢰성 평가의 의미는 설계자가 의도한 품질보증의 신뢰도 평가 및 활용⁽²⁾ 하는 것이다. 그러므로 신뢰성 평가를 통하여 각 중요 기능부의 편차를 확인하고, 그 편차에 대한 범위를 줄여 나가는 활동을 하는 것이 진정한 신뢰성 평가의 의미이다. 현업에서 사출 성형품 생산을 위한 사출 공정은 수지, 온도 제어시스템⁽³⁾ 갖춘 금형과 사출 성형기에 의해서 제품 품질이 좌우된다. 그러므로 사출 성형기의 중요부의 신뢰성(재현성, 반복성, 선형성) 평가는 소비자가 요구하는 최종 제품의 품질달성을 위해 아주 중요하게 인식되고 있으며, 주기적인 신뢰성 평가를 필요로 하고 있다. 사출 성형기를 사용하는 현업에서는 정기적인 신뢰성 평가를 통하여 최종적으로 고객 만족의 효과를 얻을 수 있어야 하며, 또한 품질을 보증하는 것은 한번 요구된 품질에 일치한 상태를 지속적으로 관리 및 유지 하는 것이다. Fig. 1은 사출 성형기의 각 중요 부위에 대하여 신뢰성 평가 항목을 표시하였으며, 사출 성형기의 신뢰성 평가에 대한 정의는 KSB 6389에 정의되어 있다.

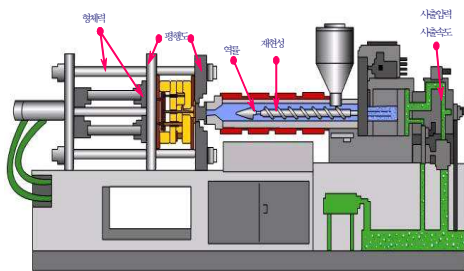


Fig. 1 Injection molding m/c reliability test point

사출 성형기 신뢰성 평가 항목 중 사출 성형에 직접적인 영향을 주는 사출속도, 사출압력, 사출온도에 대한 신뢰성 평가를 실시하였다. 사출속도는 용융재료를 cavity내로 충전하기 위한 screw 속도를 나타내며 성형품의 외관 품질을 결정하는데 중요한 역할을 하는 기능이다. 사출압력은 screw 선단 부에서 용융재료에 작용하는 압력으로서 cavity 내의 금형 내압을 제어하여 성형품의 치수 및 응력을 결정하는 중요 기능부이다. 사출 온도 감지기(thermocouple)는 사출을 위한 수지 용융점에 대한 중요한 역할 중의 하나로 수지를 예열하고 용융된 수지의 점도를 유지하는 역할의 기능을 가지고 있다.

3. 신뢰성 평가 실험

사출 성형기 신뢰성 평가는 Fig. 2와 같은 개념에 의해서 신뢰성 평가를 실시하였다. 평가에 사용된 정밀 계측 장비로는 사출 온도 측정을 위한 oven, 사출 압력을 측정하는 압력 게이지, 사출 길이를 측정하기 위한 depth vernier calipers가 사용되었다. 사출 성형기의 시간 변화에 따른 안정성 평가를 위하여 사출 성형기에 금형을 장착 후 HDPE(high density polyethylene, 고정밀수지)를 hopper에 삽입 후 약 1시간 정도 시사출을 실행한 후 신뢰성 평가를 수행하였다.

스크류 거리에 대한 신뢰성 평가를 위하여 200mm depth v/c를 injection cylinder body piston rod 상면에 움직이지 않도록 고정하였으며, 계측장비의 설치가 완료되면 injection rod을 앞으로 최대 전진 시킨 후 depth v/c의 0점 조정 button을 눌러 0점이 되도록 조정하였다. 전진과 후진 선형성에 대한 신뢰성 평가를 수행하기 위하여, 0~200mm 구간을 10등분 한 20mm 간격으로 기계를 동작하면서 실제 측정기에 나타난 값을 비교하여 기록하였다. 평가 시 각 구간별 발생 한 편차는 사출 성형기 화면에 입력한 값과 평가에 사용된 계측장비 눈금에 나타난 값에 대한 차이이다.

사출 압력에 대한 신뢰성 평가를 위하여 0~500bar까지 측정 가능한 압력게이지를 injection cylinder body 상면에 있는 압력부에 장착하였다. 장비 설치가 완료되면 기계의 보압을 15.4bar로 입력한다. 사출 압력 선형성 평가는 0~154bar 구간을 10등분한 15.4bar간격으로 기계를 작동하여 화면에 입력한 data값과 압력게이지에 표시된 측정 값을 비교하여 편차를 구하였다. 평가 시 각 구간에서 발생 하는 편차는 사출 성형기 화면에 입력한 값-측정기에 나타난 값으로 계산된다.

사출온도 신뢰성 평가는 digital oven을 이용하여 배럴히터 상면에 있는 thermocouple 3군데를 비교하는 신뢰성 평가이다. 일반적인 플라스틱 수지의 특성상 150℃~300℃ 구간에서 용융되므로, 150℃와 300℃에 대하여 신뢰성 평가 대상 항목으로 선정하였다. 장비 설치가 완료되면 oven의 사출 온도를 150℃로 조정 한 뒤 thermocouple 3군데를 oven 감지부에 삽입 한다. 1분 간격으로 10분간 10번 3군데의 열전대의 온도변화를 check하여, 시간 변화에 따른 사출 성형기의 배럴 구간에 대하여 온도 변화를 확인하였다. 이때 편차(bar)는 측정기 값-사출 성형기 화면에 나타난 값이다.

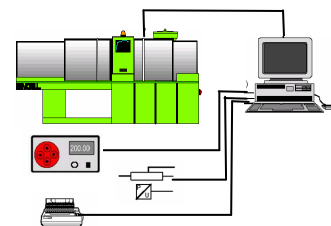


Fig. 2 Schematic diagram of system development process

4. 신뢰성 실험 결과

Fig. 3 과 4 는 스크류 거리에 대한 전진과 후진 상태의 신뢰성 평가에 대한 결과를 그래프로 나타내었다.

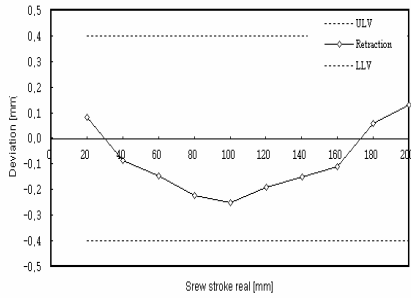


Fig. 3 Screw forward linearity

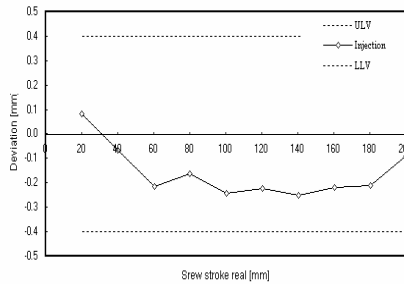


Fig. 4 Screw backward linearity

스크류 거리에 대한 선형성 평가 시 전진과 후진에 대한 공차는 maker에서 권장하는 $\pm 0.2\%$ 를 적용하였다. 그러므로 상한과 하한에 대한 공차 계산은 $200\text{mm} \times 0.2/100\%$ 이므로 $\pm 0.4\text{mm}$ 를 적용하였다. 전진 선형성 편차에 대한 그래프 검토 결과 $-0.26 \sim -0.12\text{mm}$ 구간 내에 존재하였으며, 후진 선형성 평가에 대한 그래프 검토 결과는 $-0.26 \sim -0.08\text{mm}$ 구간 내에 존재하였다. Fig. 5는 사출압력에 대한 선형성 평가에 대한 결과를 그래프로 나타내었다.

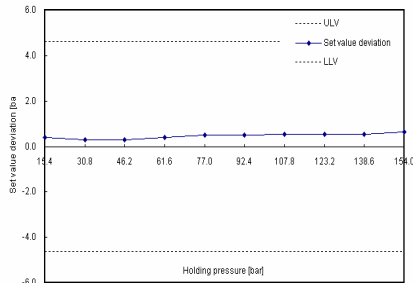


Fig. 5 Holding pressure linearity

사출 압력 선형성 평가에 대한 공차는 maker에서 권장하는 공차인 $\pm 3\%$ 를 적용하였다. 상한과 하한에 대한 공차 계산은 $150\text{bar} \times 3/100\%$ 이므로 $\pm 4.6\text{bar}$ 를 적용하였다. 사출압력 선형성에 대한 신뢰성 평가에 대한 편차 검토결과 $0.29\text{bar} \sim 0.63\text{bar}$ 구간 내에 존재하는 것을 확인하였다. Fig. 6과 7는 저온과 고온의 사출온도의 선형성 평가에 대한 결과를 그래프로 나타내었다.

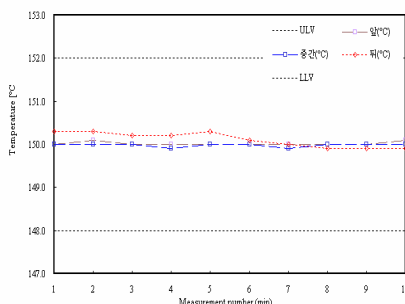


Fig. 6 Low temperature linearity (set-up:150°C)

열전대 low temperature에 대한 공차는 maker에서 권장 하는 공차 $\pm 2^\circ\text{C}$ 를 적용하였다. 관리한계는 $148^\circ\text{C} \sim 152^\circ\text{C}$ 구간을

상한과 하한 구간으로 설정하였으며, 평가에 대한 편차를 검토한 결과 3군데 모두의 열전대에서 $-0.1^\circ\text{C} \sim 0.3^\circ\text{C}$ 구간 내에 존재하고 있는 것을 알 수 있었다.

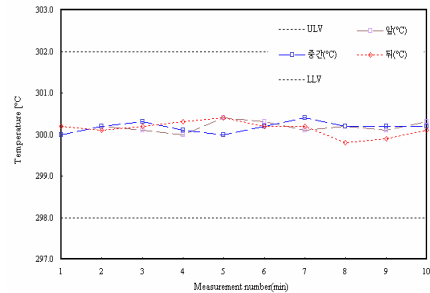


Fig. 7 High temperature linearity (set-up:300°C)

열전대의 고온 설정은 300°C 로 설정하였으며, 사출 성형기에 data를 입력하였다, 이때 적용되는 공차는 maker에서 권장하는 $\pm 2^\circ\text{C}$ 를 적용하였으며, $298^\circ\text{C} \sim 302^\circ\text{C}$ 구간을 상한과 하한 구간으로 설정하였다. 평가 결과는 3군데 열전대에서 편차가 $-0.2 \sim 0.4^\circ\text{C}$ 구간 내에 존재하는 것을 확인하였다.

5. 결론

유압식 사출 성형기의 여러 기능부 중 제품 성형에 직접적인 영향을 주는 사출 속도, 사출 압력, 사출 온도에 대하여 depth v/c를 이용하여 스크류 거리를 평가하였으며, 압력계지를 사용하여 injection cylinder부의 사출 압력에 대한 신뢰성 평가를 실시하였다. 그리고 digital oven을 활용하여 사출 성형기에 조립된 열전대의 온도 변화에 대한 신뢰성 평가를 수행 하였으며, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 스크류 거리에 대한 신뢰성 평가를 통하여 선형성 편차는 전진 시에는 $-0.26 \sim -0.12\text{mm}$, 후진 시에는 $-0.26 \sim -0.08\text{mm}$ 구간 내에서 존재 하였으며, 제조사에서 권장하는 $\pm 0.2\%$ 공차 이내에서 상한과 하한의 관리 한계를 벗어나는 점이 없었다.
- 2) 사출 압력에 대한 선형성 평가 결과, 30.8bar 구간은 0.29bar , 150bar 에서는 0.63bar 로 평가 구간 증가에 따라 각 구간별 편차도 점차 증가하였으나, 제조사에서 권장하는 $\pm 4.6\text{bar}$ 공차 이내에 평가 data가 존재하는 것을 확인하였다.
- 3) 사출 온도에 대한 신뢰성 평가 결과에서, 저온에서는 $-0.1 \sim 0.3^\circ\text{C}$ 구간 내 존재하였으며, 평균값은 150.04°C , 표준편차 0.12 , 공정능력지수(Cpk) 값은 5.62 이다. 고온에서는 $-0.20 \sim 0.4^\circ\text{C}$ 구간 내에 존재하였으며, 평균 값은 300.16°C , 표준편차 0.14 , 공정능력 지수 값은 4.29 이다. 저온과 고온 두 공정 모두 공정능력이 매우 우수한 것으로 판단되었다.

6. 참고문헌

1. J.K. Kang, S.W. Lee, J.Y. Song, H.Y. Park, J.H. Hwang, H.Y. Lee, C.H. Lee, H.S. Lee "Reliability Evaluation System for Advanced Mother Machine", 한국정밀공학회2000 추계학술대회, pp 991-994, 2000
2. S.W. Lee, J.Y. Song, J.H. Hwang, H.Y. Lee & H.Y. Park "Method and Application of Reliability Evaluation for Core Units of Machine Tools", 한국정밀공학회2001 추계학술대회, pp 43-46, 2001
3. 임채복, "사출금형온도 자동 컨트롤 시스템," 중소기업기술혁신개발 사업 중간보고서, pp61-64, 1998