

## 사출성형기의 사출온도에 대한 측정 불확도 추정

정현석\*, 유중학<sup>+</sup>

(Manuscript received: Sep, 7, 2012 / Revised: Nov, 13, 2012 / Accepted: Nov, 13, 2012)

### Measurement Uncertainty Estimation of Injection Temperature in Injection Molding Machine

Hyun-Suk Jung\*, Joong-Hak Yoo<sup>+</sup>

#### Abstract

The performance of injection molding machine's control system, such as reproducibility, repeatability, etc, is widely studied nowadays. Since screw stroke, injection cylinder body pressure and barrel temperature are the most important terms of injection unit, interval linearity and repeatability to each parameter are analyzed here. Barrel temperature is analyzed according to the repeatability of the thermocouple at 150°C, 210°C, 300°C using a precise oven. The result temperature is within  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ . Through the reliability evaluation of the most important terms of injection unit, the method of evaluating the linearity and repeatability is proposed and verified.

**Key Words :** Injection molding machine(사출성형기), Injection temperature(사출온도), Reproducibility(재현성), Uncertainty(불확도)

### 1. 서론

1946년 미국의 James Watson Hendry는 사출 속도를 정밀 제어하여 성형품을 생산하는 스크루 방식의 사출성형기를 제조하였다. 1970년에는 복잡한 제품의 신속한 냉각을 위해서 가스 사출성형 공정이 개발되었다. 이것은 사출 성형품의 생산시간과 비용 그리고 중량을 줄이는데 기여하였다. 국가간의 경쟁력이 치열해지고 플라스틱 제품의 고급화와 고부가 가치화가 절실하게 요구됨에 따라 사출성형품의 품질수준도 더욱 높아지고 있다. 최근에는 자동차, 휴대폰 시장을 중심으로 플라스틱 제품의 활용이 점차 증가하고 있는 추세이다.

그에 따른 플라스틱 산업발전의 핵심기반인 사출성형기의 성능향상은 필수적이다. 제품 설계자가 의도 한대로의 품질을 보증

하기 위해서는 고성능 정밀 사출성형기의 중요 기능부에 대한 정도검사 평가기술이 필요하다. 사출성형기의 여러 기능 중 배럴온도는 사출성형품 표면의 제팅, 탄점, 플래시 등에 직접적인 영향을 미치는 중요한 인자이다. 그러므로 사출성형 시 스크루 설계와 배럴의 온도제어<sup>(1)</sup>는 사출성형품의 품질향상을 위한 핵심기술이라 할 수 있다. 배럴의 온도제어에 관련된 연구를 살펴보면 Jung과 Yoo<sup>(2-4)</sup>는 사출성형기의 사출측 중요 기능부에 대한 실험적 연구를 통하여 사출온도 변화에 따른 배럴의 온도분포를 해석하여 제어 성능을 높이기 위한 실험 및 개선안을 제안하였다.

Lyu와 Choi<sup>(5)</sup> 등은 ASTM 규격에 따른 형상을 제작하여 금형 내 캐비티와 게이트의 치수를 비교하여 사출온도, 사출속도 변화에 따른 사출성형품 표면의 젓팅결함에 대한 현상을 이론적 해석과 기초실험을 통하여 검증하였다. Lee<sup>(6-7)</sup>는 사출온도

\* 한국기술교육대학교 대학원 메카트로닉스공학과  
주소: 330-708 충남 천안시 동남구 병천면 충절로 1800

+ 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

✉ Corresponding Author E-mail: junghs@engel.co.kr

평가 시 계측기 및 온도, 습도 등 주변 환경에 따른 동작기계 및 계측장비에 대한 불확도 평가에 대하여 발표하였다. 본 연구에서는 사출온도 150℃, 210℃, 300℃에 대한 반복성 평가를 실시하여 얻어진 데이터를 분석하여 사출온도변화에 따른 영향을 확인하고자 한다. 또한 사출온도 평가 시 측정결과에 영향을 주는 측정 불확도(uncertainty of measurement)를 추정하여 측정값의 신뢰범위를 도출하고자 한다.

## 2. 이론적 배경 및 측정 불확도

### 2.1 이론적 배경

밴드히터(band heater)는 발열선을 운모로 절연하고 외부를 내열금속과 아연도강판 등으로 제작한 것이며, 열용량이 작기 때문에 온도제어에 대하여 민감하게 반응한다. 형태로는 원통형, 사각형 히터가 있으며 전원부분 위치를 다양하게 할 수 있다. 리드형, 볼트형 등으로 분리되며, 밴드로 둘러싸인 구조로 되어있다.

Fig. 1에는 사출성형기, 압축기 등에 사용되는 세라믹 밴드히터의 구조를 나타내었다.

배럴은 외주면을 감싸주는 원통형 세라믹 밴드히터가 열을 공급하여 일부는 플라스틱수지를 가소화시키고, 나머지는 배럴과 밴드히터 외주면의 접촉 공기와 호퍼쪽으로 방출되는 구조이다. 이를 수식으로 표현하면 히터를 통해 공급되는 열  $Q$ 는 수지가 흡수하는 열  $Q_{polymer}$ 와 대기 중으로 방출되는 대류열  $Q_{air}$ , 호퍼쪽의  $Q_{hopper}$ 와 노즐쪽  $Q_{nozzle}$ 로 각각 전도되어 흘러나가는 열의 합으로 표시되며 관계는 식 (1)<sup>(8)</sup> 과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} Q_{hopper} &= Q_{heater} + Q_{air} + Q_{polymer} + Q_{nozzle} \\ Q_{air} &= hA_s(\Delta T_1) \\ Q_{hopper} &= RA_c(\Delta T_2 / L) \\ Q_{polymer} &= HW \end{aligned} \quad (1)$$

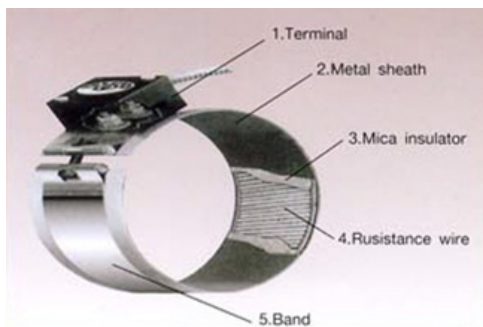


Fig. 1 Construction of band heater

여기서,  $h$ 는 대기의 열전도계수,  $A_s$ 는 배럴과 히터의 외주면적이며,  $R$ 은 배럴의 열전달계수이다.  $\Delta T_1$ 은 배럴히터 표면적과 대기와의 온도차이며,  $A_c$ 는 배럴의 단면적,  $L$ 은 배럴시작점과 호퍼 중심까지의 거리를 의미한다.  $\Delta T_2$ 는 배럴시작 평균온도와 호퍼까지의 거리,  $H$ 는 단위질량 수지를 가소화시키는데 필요한 열이며, 사이클당 최대 사출량은  $W$ 로 정의하였다.

### 2.2 측정 불확도

측정 불확도<sup>(9)</sup>란 참값이 존재하는 범위를 나타내는 추정값을 의미한다. 일반적으로 유한한 측정을  $n$ 번 측정된 대표값으로 산술평균값을 취하며, 식 (2)와 같이 구해진다<sup>(10)</sup>.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2)$$

측정을 무한히 반복하면 측정결과의 분포함수는 정규분포에 근사해지지만 실제 측정에 있어서는 유한한 측정을 행하기 때문에 표본평균이 모평균과 일치하지 않는다. 모평균과 참값을 정확하게 알 수는 없지만 참값이 표본평균의 어떤 범위 내에 일정한 확률로 존재한다고 추정할 수 있으며, 이 때의 범위를 불확도라고 정의한다. 온도측정기를 이용하여 사출온도를 측정할 때 나타나는 오차로는 계기오차, 환경오차, 개인오차 등이 대표적이며, 이는 측정 불확도에 영향을 미치는 주요 요인이다. 측정 불확도를 평가하기 위해서는 측정 불확도를 일으키는 요인을 확정해야 한다. 확장 표준불확도는 여러번 반복측정으로 얻어지는 값에 대해 평균값 및 평균과 얼마나 떨어져 있는가를 나타내는 정도 즉 산포의 정도를 나타내는 추정 표준편차  $s$ 를 계산할 수 있다. 이들 평균치의 추정 불확도는  $n$ 개의 독립된 반복 관측값으로부터 추정되는 입력량  $x_i$ 에 대하여 식 (3)과 같이 정의되어진다<sup>(11)</sup>.

$$v = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

합성 표준불확도는 연속적인 측정의 통계적인 분석과는 달리 다른 수단에 의해 불확도를 구하는 방법이다. 이 때의 표준불확도 값은 모든 정보에 근거한 과학적인 판단에 의해 표준불확도로 평가한다. 확장불확도는 확장 표준불확도 또는 합성 표준불확도 평가법에 따라 계산된다. 각각의 표준불확도는 “제공합의 제공근법”에 따라 유효하게 합성하는 것이 가능하다. 확장불확도는 측정량의 합리적인 추정값이 이루는 분포의 대부분을 포함될 것으로 기대되는 측정결과 주위의 의미 있는 구간을 정의하는 양으로 표시한다.

### 3. 실험 장치 및 방법

본 실험은 사출압력 330bar, 형체력 150ton 유압식 사출성형기(VC330/150, Engel Co.)를 실험대상으로 선정하였다. 계측 장비는 접촉식 온도교정기(QE1008, Fluke Co.)로 정확도는 0.001℃이다. 실험방법은 배럴 감지부에 장착된 J 열전대를 접촉식 온도교정기의 감지부에 삽입하여, 기준값과 열전대에서 감지되어 나타난 데이터를 비교하였다. 일반적으로 플라스틱 수지는 150~350℃ 구간에서 용융된다. 그러나 본 실험에서는 자동차, IT산업 및 일반 생활용품 등에 주로 사용되는 PA, PC, POM, PBT 등의 플라스틱 수지 용융온도가 190~300℃ 구간에 존재하므로 실험온도를 150℃, 210℃, 300℃로 선정하였다. 사출온도 평가를 위한 실험 장치는 Fig. 2에 나타내었으며, 측정 장비의 설치가 완료되면 1분 간격으로 열전대의 온도변화를 30회 이상 측정하여 각 배럴구간에 대한 온도변화를 확인하였다.

150℃ 실험이 끝난 뒤에는 접촉식 온도교정기의 온도를 210℃, 300℃로 설정하였으며, 동일한 방법으로 각각의 온도변화 시 발생하는 평균값과 산포의 변화를 살펴보았다.

### 4. 결과 및 고찰

사출온도에 대한 평가는 KS B 6389에서 정의한 ±5℃를 적용하였다.

Fig. 3은 사출온도 150℃ 발생 시 적외선 열화상 계측기(V50, Gilwoo, Co)를 이용하여 배럴의 각 구간별 온도분포 상태를 나타내었다. 식 (1)에서 나타난 것과 같이 대기 층으로 36~69℃ 대류열로 방출되었으며, 69~85℃ 열이 호퍼쪽으로 전달되는 것을 확인하였다. 계량부와 압축부는 85~120℃ 열이 전달되었으며, 용융된 수지가 금형으로 전달되는 노즐부에는 134~150℃ 열이 집중되는 것을 알 수 있었다.



Fig. 2 Experimental device for injection temperature

Fig. 4는 사출온도 150℃에 대한 결과를 나타내었다. 실험을 통하여 평균값 150.04℃ 표준편차 0.12, 데이터간의 산포가 평균치를 기준으로 좌, 우 대칭의 종모양의 정규분포 상태로 존재하였다. 이는 일정한 범위 내에서 어떠한 실수 값을 취할 수 있는 연속확률분포 중에서 가장 널리 활용되고 있는 정규분포 형태를 유지하기 위함이다.

Fig. 5는 사출온도 210℃에 대한 실험결과이다. 실험을 통하여 데이터의 차이는 -0.2~0.4℃구간에 존재하며, 평균값은

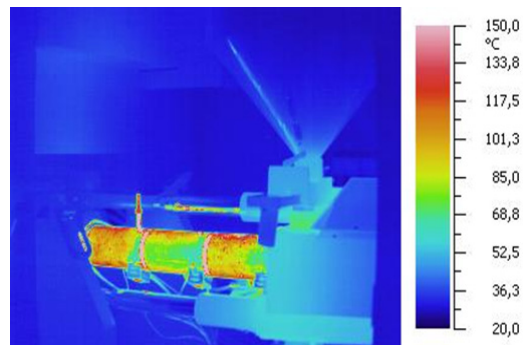
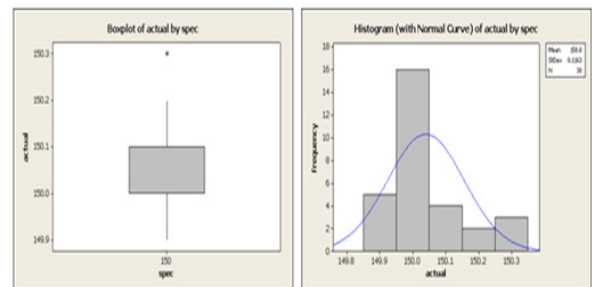


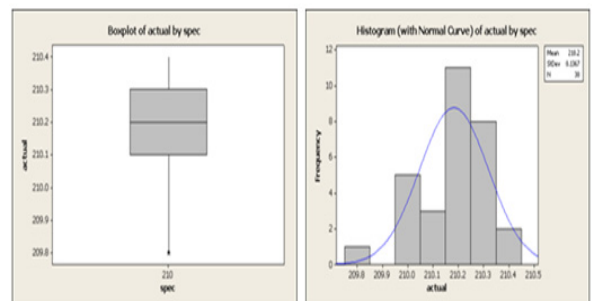
Fig. 3 Thermal analysis of 150℃



Descriptive Statistics: actual

Variable	spec	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
actual	150	30	0	150.04	0.0212	0.116	149.90	150.00	150.00	150.10

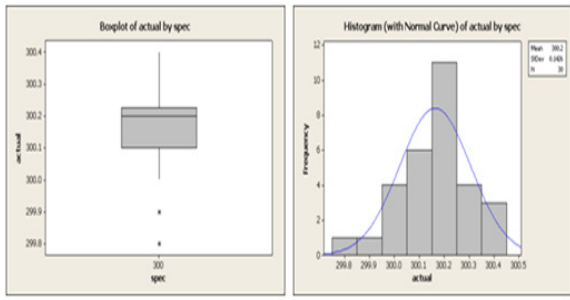
Fig. 4 Measurement results of injection temperature(150℃)



Descriptive Statistics: actual

Variable	spec	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
actual	210	30	0	210.18	0.0250	0.137	209.80	210.10	210.20	210.30

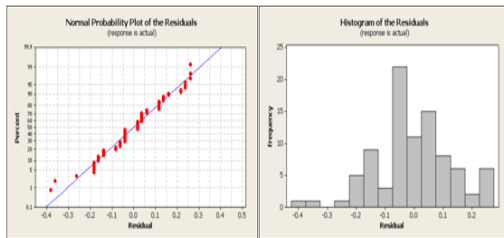
Fig. 5 Measurement results of injection temperature(210℃)



Descriptive Statistics: actual

Variable	spec	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
actual	300	30	0	300.16	0.0260	0.143	299.80	300.10	300.20	300.23

Fig. 6 Measurement results of injection temperature(300°C)



One-way ANOVA: actual versus aspect

Source	DF	SS	MS	F	P
aspect	2	342506.4	171253.2	9780542.71	0.000
Error	87	1.5	0.0		
Total	89	342507.9			

S = 0.1323 R-Sq = 100.00% R-Sq(adj) = 100.00%

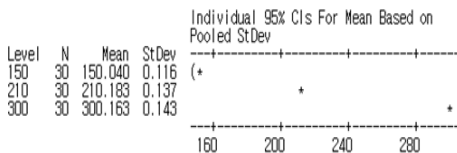


Fig. 7 Analysis results of one way ANOVA

210.18°C 표준 편차 0.131임을 알 수 있었다. 표본의 통계량이 평균값을 기준으로 상한치와 하한치에 일정하게 존재하고 있으며, 평균을 중심으로 좌, 우 대칭인 정규분포 형태를 형성하는 것으로 판단되었다.

Fig. 6은 사출온도 300°C에 대한 실험 결과이다. 실험을 통해 데이터의 차이는 -0.2~0.4°C구간에 존재하는 것을 알 수 있다. 평균값은 300.16°C, 표준편차는 0.14이며, 실험을 통하여 얻어진 데이터들이 평균값을 기준으로 좌, 우 대칭인 정규분포 형태를 보여준다. 온도변화에 따른 데이터간의 정규성 관계를 확인하기 위하여 분산분석을 통해 데이터 간의 관계를 분석하였다. 각각의 표본 통계량을 이용하여 관리공차 ±5°C를 기준으로 집단간 표준편차의 크기에 대한 가설검정을 실시하였다. 1단계로 표본의 통계량에는 변화가 없을 것이라는 귀무가설  $H_0$ 와 차이가 발생 할 것이라는 대립가설  $H_1$ 을 세웠다. 2단계는 유의수준  $\alpha$ 을 5%로 설정하였다. 3단계로 각 표본의 통계량을 계산하였으며, 4단계로 검정 통계량 P값을 계산하였다. 가설검정 마지막 5단계는 귀무가설에 대한 판정을 실시하였다.

가설검정 결과 Fig. 7과 같이 300°C, 210°C, 100°C 순으로 영향이 가는 것으로 판단되었다. 검정 통계량 P값이 0에 근접한 상태로  $P \leq 0.05$  이므로, 신뢰구간 95% 수준 내에서 온도 변화에 따라 유의수준의 차가 크며, 각 집단간의 차가 발생하는 것으로 나타났다. 그러므로 온도가 증가하여도 표본 통계량에는 변화가 없을 것이라는 귀무가설을 기각하고 온도변화에 따라 표본 통계량이 신뢰구간 밖에 존재하는 대립가설을 채택하였다.

사출 온도 평가 시 나타난 합성 표준불확도 및 확장 불확도에 대한 결과는 Table 1에 나타내었다. 사출온도 평가에 있어서 결과의 분산에 크게 영향을 주는 불확도의 요인은 측정기 교정에서의 불확도 등 측정기에서 발생하는 요인과 측정자에 의해 발생하는 요인 및 반복 측정에서 발생하는 요인으로 대별 할 수 있다. 측정기의 교정 불확도는 측정기 의 교정검사 성적서로부터 입수한 불확도를 적용하는 것이 일반적이다. 정밀온도 계측기의 교정 불확도 ( $U_{kd}$ )는 계측기 교정검사 성적서에 기재된 확장 불확도  $0.0018^\circ\text{C}$  ( $k=2$ )로 부터,  $U_{kd}=0.0018^\circ\text{C}/2=0.0009^\circ\text{C}$ 이다. 또한 측정용 게이지의 직 각도, 평면도에 기인하는 불확도 ( $U_{ks}$ )는 수입검사 및 정기 검사 시의 관리범위로서 편차 0.020mm 이하로 설정하였으며, 직사각형 분포로 산출 할 수 있다. 평가방법은 정밀오븐 을 정반위에 장착하여 각

Table 1 Uncertainty analysis results of injection temperature

Symbol	Uncertainty factor	Value	Probability distribution	Calculation	Sensitivity coefficient	Standard uncertainty
$U_{kd}$	Oven calibration	0.018	Normal distribution	2	1	0.0009
$U_{ks}$	Gage control range	0.020	Rectangle	$2\sqrt{3}$	1	0.00577
$U_s$	Repetitive measurement	0.131	Normal distribution	1	1	0.131
$U_c$	Combined standard uncertainty					0.0063
$U$	Expanded uncertainty ( $k=2$ )					0.013

각의 사출온도를 측정하고,  $U_{ks}=0.020/2\sqrt{3}=0.00577\text{mm}$ 로 나타났다. 반복측정은 사출온도 평가결과의 분산 평가 시는 최소 10회 이상 측정을 원칙으로 한다. 측정 작업 중에 포함되는 불확도의 요인으로 사출온도를 감지하는 열전대에 부착하여, 측정위치, 열전대를 오븐에 삽입 시의 각도, 눈금 읽는 법 등을 설정하였다. 사출온도 150~300°C 평가 시 측정자 및 측정자의 반복측정에 기인하는 불확도( $U_s$ )는 반복측정의 표준편차인 0.12, 0.13, 0.143으로부터  $U_s=0.131$ 임을 구할 수 있다.

### 5. 결론

본 연구는 유압식 사출성형기 배럴부의 사출온도에 대한 측정 평균값 및 편차를 분석하였다. 실험을 통하여 주변환경, 측정기, 작업자 등으로 인하여 발생한 불확도를 추정하였으며, 본 실험을 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 사출온도 평가 시 관리공차  $\pm 5^\circ\text{C}$  구간 범위 내에서 각 구간 별 차이는  $0.04\sim 0.16^\circ\text{C}$ 로 0.8~3.2%의 정도가 발생한 것을 알 수 있었다.
- (2) 사출온도 300°C, 200°C, 150°C 순으로 표준편차가 0.143, 0.137, 0.116으로 작게 영향을 미치는 것으로 판단되었으며, 신뢰구간 95% 수준 내에서 온도 변화가 상승함에 따라 유의수준의 차가 크다는 것을 확인하였다.
- (3) 사출온도 평가결과의 분산에 영향을 주는 불확도 요인 중 측정자 및 반복측정에 기인하는 불확도는  $0.13^\circ\text{C}$ , 계측기에 대한 확장불확도  $0.0009^\circ\text{C}$ , 합성 표준불확도는  $0.0063^\circ\text{C}$  내에 존재하는 것을 확인하였다.

### References

- (1) Choi, D. Y., and Ko, Y. B., 2000, "A Study on Contact Dynamic Characteristics of Screw and Barrels in Injection Molding Machine," *Journal of the Korean Society of Tribologist and Lubrication Engineering Autumn Conference*, pp. 212~220.
- (2) Jung, H. S., and Yoo, J. H., 2007, "An Experimental Study on Credibility Test of Hydraulic Injection Molding Machine," *Journal of the Korean Society for*

- Precision Engineering Autumn Conference*, pp. 471~472.
- (3) Jung, H. S., and Yoo, J. H., 2008, "An Experimental Study on Tie Bar Elongation Test of Toggle Type Injection Molding Machine," *Journal of the Korean Society for Precision Engineering Autumn Conference*, pp. 599~600.
- (4) Jung, H. S., and Yoo, J. H., 2010, "Uncertainty Evaluation for the Determination of Injection Temperature in Injection Molding Machine," *Journal of the KSDME Summer Conference*, pp. 8~12.
- (5) Kim, S. W., and Park, J. H., Lyu, M. Y., Jin, Y. J., and Kim, D., 2004, "Variation of Temperature and Pressure in the Cavity for Operational Conditional of Injection Molding," *Proceedings of the JTMP autumn annual meeting*, pp. 70~74.
- (6) Lee, G. T., Oh, S. L., and Kim, J. K., 2005, "A Study on Measurement Uncertainty of 3-dimensional Coordinate Measuring Machine used for Inspection of Precision Machined Parts" *Journal of the KSMTE*, Vol. 14, No. 2, pp. 55~61.
- (7) Lee, G. T., Lee, D. J., Yoon, Y. S., Park, H. C., and Oh, J. M., 1999, "A Study on Measurement Uncertainty of Theodolite System," *Journal of the KSMTE Spring Conference*, No. 1, pp. 229~233.
- (8) Jung, S. W., Lee, Y. B., Yun, S. J., and Hwang, C. J., 2002, "Improvement of Heat Control Performance in Injection Molding Machine," *LG Cable Technical Review*, No. 1, pp. 84~89.
- (9) Kim, W. K. Kwon, S. T., and Kim, J. N., 2003, "A Study on Estimation Uncertainty of Measurement in Mechanical Characteristic Exam for Plastic Materials," *Korean Society for Railway Autumn Conference*, pp. 301~306.
- (10) Jung, M. S., 1999, "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement," *KRISS*, pp. 17~40.
- (11) Lim, J. S., and Yang, S. H., "Standard Calibration Procedure of Coordinate Measuring Machines," *KASTO*, pp. 14~42.