

퍼지 알고리즘을 이용한 금형 온도 지적생성 시스템에 관한 연구

강성남 · 허용정*

한국기술교육대 대학원 기계공학과, *한국기술교육대 메카트로닉스공학부

A Study on Intelligent Generator of Mold Temperature Using Fuzzy Algorithm to Prevent Short Shot

Seong-Nam Kang and Yong-Jeong Huh*

Mech. Eng. Dept., KUT, *Mech. Eng. Dept., KUT

초 록: 사출성형공정에서 미성형은 가장 빈번하게 발생하는 성형불량중의 하나이다. 이러한 미성형을 해결하기 위해 가장 경제적인 효율적인 방법은 공정조건을 개선하는 일이다. 그러나 대부분의 경우 사출 전문가의 오랜 기간 축적된 경험과 지식에 의존하기 때문에 여러 번의 시행착오를 겪어야 한다. 따라서 본 논문에서는 퍼지 알고리즘을 기반으로 하여 시스템에 적합한 공정조건을 찾는데 있어 시행착오를 줄이고, 또한 비전문가도 쉽게 적용할 수 있는 지능형 공정조건 생성 시스템을 제안하였다.

Abstract: A short shot is an incomplete molded part caused by insufficient material injection into the mold. Remedial actions to control the process conditions can be taken by injection molding experts based on their knowledge and experiences. However, it is very difficult for non-experts to avoid short shot by finding the proper process conditions such as mold temperature, melt temperature and filling time. In this paper, an intelligent generator of optimal process conditions based upon fuzzy logic algorithm is proposed so that trial and error can be minimized and non-experts as well as experts can also find the optimal process conditions.

Key Words: Fuzzy logic algorithm, Short shot, Injection molding, Melt temperature, Mold temperature

1. 서 론

Jan과 O'Brien¹⁾ 등은 사출성형의 구성요소를 플라스틱 수지, 사출금형, 사출 성형기, 공정조건을 네 가지로 분류하였다. 이 네 가지 요소가 복합적으로 결부되어 여러 가지 사출성형 불량을 유발한다. 사출성형제품에 주로 발생하는 성형불량의 종류는 약 20여가지 정도이며 그 중 가장 빈번하게 발생하는 불량 중 하나가 미성형이다²⁾.

미성형은 수지 점도가 높거나 유동경로가 너무 제한적이거나 혹은 용융 수지가 일찍 고화되어 금형내에 수지가 완전히 충전되지 않고 냉각 및 고화되는 현상을 말한다³⁾. 보편적으로 사출 전문가는 미성형의 해결을 위해 용융수지 온도, 금형 온도, 사출압력과 같은 공정조건을 조절하게 된다.

그러나 대부분의 경우 사출 전문가의 오랜 기간 축적된 경험과 지식에 의존하기 때문에 여러 번의 시행착오를 겪어야 하고, 설령 시행착오에 의해 미성형 해결을 위한 보편적인 공정조건을 얻는다 할지라도 새로운 제품이나 작업환경에서는 또다시 그 조건에 적합한 공정조건을 찾아야 하는 문제점을 갖는다⁴⁾. 이러한 문제해결방법은 많은 시간을 소비할뿐더러 전문가가 아니면 불가능하다.

따라서 본 논문에서는 정량적으로 표현하기 힘들고 수학적 모델링이 불가능한 전문가의 경험적 지식을 퍼지 논리 알고리즘을 이용하여 표현하였다. 실제 현장에서 미성형이 발생한 제품을 대상으로 CAE 소프트웨어인 C-Mold⁵⁾를 이용하여 사출성형해석을 수행하고 미성형을 해결할 수 있는 공정조건을 찾는 퍼지논리 알고리즘을 구성하였다.

2. 사출성형 해석모델 및 공정조건

2.1. 해석모델

본 연구에서는 CAE 프로그램인 C-Mold를 이용하여 사출성형 해석을 수행하였다. 해석 모델은 실제현장에서 미성형이 발생한 Fig. 1에 도시되어 있는 핸드폰 플립 커버이다. 3차원 형상 모델링을 위해서는 기하학적 모델러가 필요한데 사출성형제품은 제품의 크기에 비하여 두께가 대단히 얇기 때문에 서피스 모델러(surface modeler)를 사용한다.

2.2. 공정조건

시뮬레이션상의 고분자 재료 및 공정조건은 Table 1과 같이 실제 현장에서 사용한 것과 동일하게 하여 해석을 수행하였다. Table 1에서 충전시간 및 용융수지 온도는 변수로 설정하여 이 두 가지 공정조건에 대해서 퍼지논리 알고리즘이 강건성을 갖도록 하였다.

3. 퍼지논리 알고리즘

3.1. 전체 시스템의 구성

퍼지논리 알고리즘을 적용한 전체 시스템의 구성은 Fig. 2와 같다. C-Mold를 이용하여 성형해석을 수행할 때 충전시간, 용융수지 온도 및 금형 온도가 입력되면 그 값에 대해 충전해석을 수행하여 e 와 \dot{e} 값을 얻게 된다.

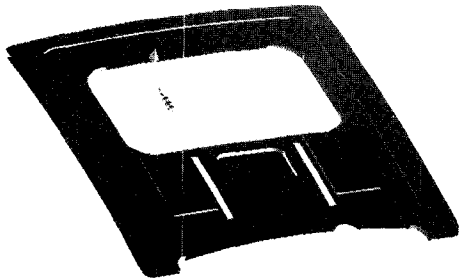


Fig. 1. Mobile phone flip cover.

Table 1. Process conditions

Resin name	ABS MAGNUM 3404
Injection pressure	120 MPa
Packing pressure	100 MPa
Gate type/number	Side gate/2
Melt temperature	Variable (200~280°C)
Fill time	Variable (0.16~0.28 sec)
Mold temperature	Output variable

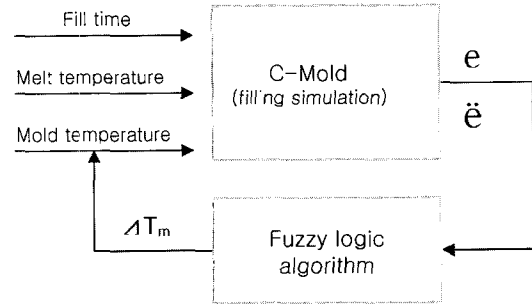


Fig 2. Schematic diagram of fuzzy logic algorithm application.

이 두 값을 퍼지논리 알고리즘에 입력하게되면 출력 값으로 ΔT_m 을 얻게된다.

Fig. 2에서 e , \dot{e} 및 ΔT_m 의 의미는 다음과 같다.

e : $\Delta\%$ Volume (미성형 체적 %)

\dot{e} : $\Delta\%$ Volume / Fill Time

\ddot{e} : $\dot{e}(i-1) - \dot{e}(i)$

ΔT_m : Δ Mold Temperature

ΔT_m 을 기존의 금형 온도에 더하여 이를 다시 C-Mold에 입력하고 성형해석을 수행한다. 즉 C-Mold에 입력되는 금형온도는 다음 식과 같이 된다.

$$T_m = T_m(i-1) + \Delta T_m(i) \quad (1)$$

여기서 T_m 은 금형온도, i 는 simulation iteration number를 나타낸다.

위의 과정을 미성형이 발생하지 않는 최저의 금형 온도를 찾을 때까지 반복하게 된다. 이는 실제 현장에서 미성형이 발생했을 경우 전문가의 문제해결 방법과 동일하다.

3.2. 퍼지논리 알고리즘

퍼지 논리 알고리즘은 기본적으로 다음과 같이 4가지 요소로 구성되어 있다.

- ① 퍼지화기(fuzzifier)
- ② 퍼지 규칙베이스(fuzzy rule base)
- ③ 퍼지 추론기(fuzzy inference engine)
- ④ 비퍼지화기(defuzzifier)

이를 바탕으로 본 연구에서의 퍼지논리 알고리즘은 다음과 같은 단계로 설계되었다.

[단계 1] 퍼지 입출력 변수 결정:

- 퍼지논리 알고리즘의 입력변수(전건부)

e : $\Delta\%$ Volume

\ddot{e} : $\dot{e}(i-1) - \dot{e}(i)$

- 퍼지논리 알고리즘의 출력변수(후건부)

ΔT_m : Δ Mold Temperature

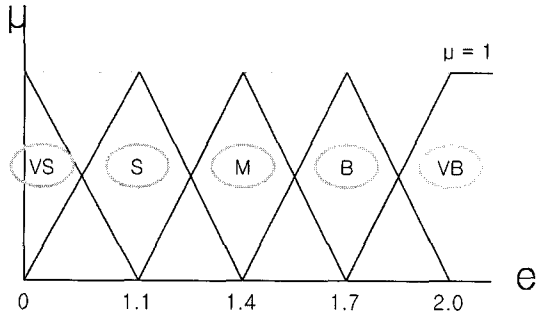


Fig. 3. Membership function of e .

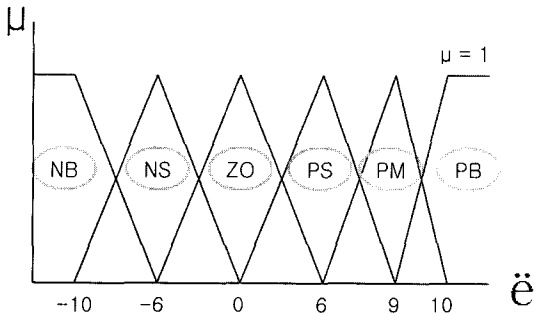


Fig. 4. Membership function of z .

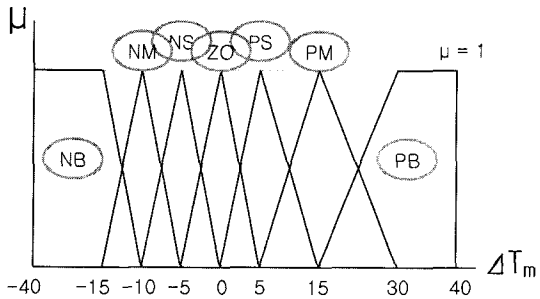


Fig. 5. Membership function of ΔT_m .

[단계 2] 퍼지 소속함수 형태 결정:

소속함수의 형태는 종형과 삼각형, 그리고 싱글 톤 등이 있는데, 본 연구에서는 입출력 변수에 다음과 같은 소속함수의 형태를 취하였다.

여기서 퍼지 변수는 다음과 같은 퍼지 값을 갖는다.

- VS : Very Small
- M : Medium
- VB : Very Big
- NM : Negative Medium
- ZO : Zero
- PM : Positive Medium
- S : Small
- B : Big
- NB : Negative Big
- NS : Negative Small
- PS : Positive Small
- PB : Positive Big

Table 2. Fuzzy rule base

ΔT_m	z					
	NB	NS	ZO	PS	PM	PB
VS	ZO	ZO	ZO	NS	NM	NB
S	PS	PS	PS	PS	PS	PM
e	M	PM	PM	PS	PS	PM
B	PB	PM	PM	PM	PM	PB
VB	PB	PB	PM	PB	PB	PB

[단계 3] IF~THEN~에 의한 퍼지 규칙의 구성:

입력 퍼지 변수가 결정되고, 그 변수의 개수가 결정되면 Table 2와 같이 입력공간이 정의된다. 이 중에서 시스템의 특성을 고려해서 입력변수 영역을 나누어 그에 따라 제어규칙을 결정하게 된다.

[단계 4] 추론 및 비퍼지화 방법의 결정:

퍼지제어에서 추론방식은 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 Mamdani^{6,7)}가 제안한 Max-Min법을 사용하였다. 비퍼지화 방법으로 식 (2)와 같이 가장 합리적이고 널리 쓰이는 무게중심법을 사용하였다.

$$u_0 = \frac{\sum_{j=1}^n \mu(u_j) \cdot u_j}{\sum_{j=1}^n \mu(u_j)} \quad (2)$$

여기서 u_0 는 비퍼지화된 ΔT_m 이고, $\mu(u_j)$ 는 추론 결과의 소속함수이다. 그리고 n 은 양자화 레벨의 개수를 나타낸다.

4. 퍼지논리 알고리즘의 평가 및 결과

C-Mold에서 Table 3과 같이 10개의 서로 다른 공정조건(fill time & melt temperature)으로 성형해석을 수행하였다. 각 공정조건에서 경험에 의해 성형해석을 수행하여 미성형을 해결하는 공정조건(금형온도)을 찾아냈다. 그리고 동일한 조건에서 퍼지논리 알고리즘을 이용하여 공정조건을 찾아내고 이 두 값을 비교하였다. 10개의 성형해석 케이스중에 case 03~05에 대한 결과가 Fig. 6~8에 도시되어 있다.

본 논문에서 제안된 퍼지논리 알고리즘은 현장 전문가의 평균적인 시행착오 횟수를 통계낸 결과에 의해 기준을 설정하였다. 이 기준을 적용하여 퍼지논리 알고리즘에 의한 최적의 금형 온도를 찾을 때까지의 iteration 횟수를 평가하였다.

Table 3. Simulation cases: Fill time and melt temperature are variables

Number of cases	Fill time (sec.)	Melt temperature (°C)
01	0.17	250
02	0.18	250
03	0.19	250
04	0.20	250
05	0.21	280
06	0.22	250
07	0.23	280
08	0.24	280
09	0.24	240
10	0.25	280

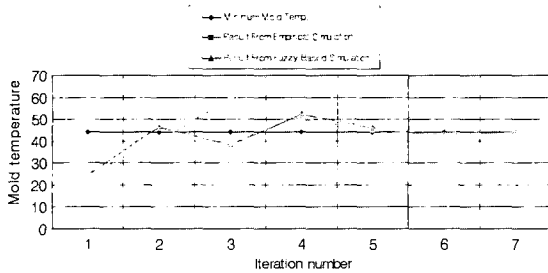


Fig. 6. Results of case 03 (F.T.: 0.19 sec & M.T.: 250°C).

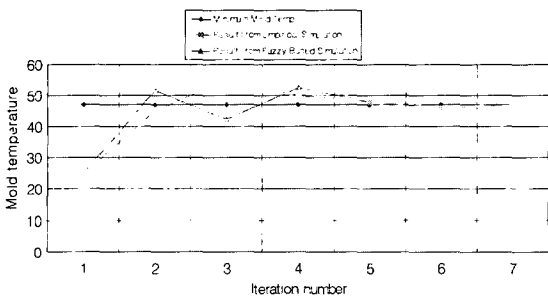


Fig. 7. Results of case 04 (F.T.: 0.20 sec & M.T.: 250°C).

Fig. 6을 보면 경험에 의한 시뮬레이션에서는 7번만에 미성형을 해결하기위한 최저 금형온도를 찾아냈고 퍼지논리 알고리즘을 이용한 시뮬레이션에서는 5회로 시뮬레이션 회수를 2회 줄였다. 그리고 최저 금형온도와 오차는 +2.16°C이다.

Fig. 7에서는 퍼지논리 알고리즘을 이용하여 시뮬레이션 회수를 2회 줄였고 오차는 +0.9°C로서 매우 정확한 값을 얻었음을 알 수 있다.

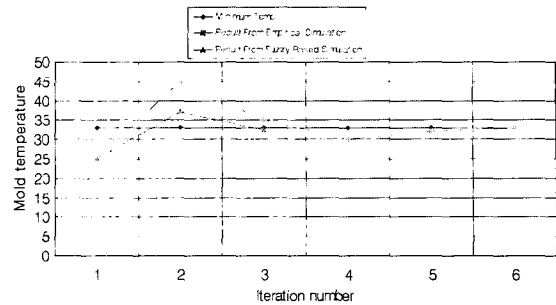


Fig. 8. Results of case 05 (F.T.: 0.21 sec & M.T.: 280°C).

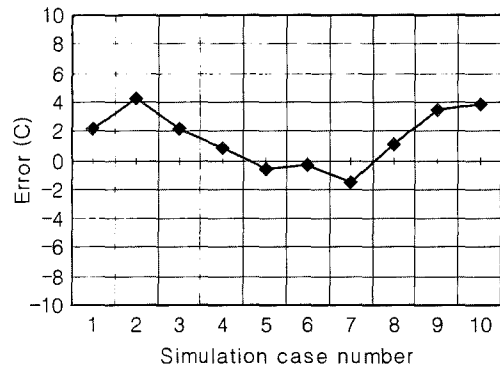


Fig. 9. Mold temperature error range.

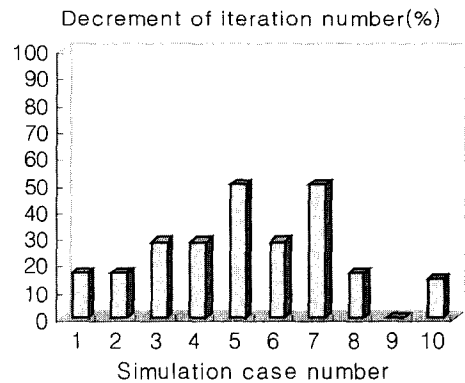


Fig. 10. Iteration number decrement %.

Fig. 8을 보면 퍼지논리 알고리즘을 이용하여 시뮬레이션 회수를 반으로 현저히 줄어들었고, 오차는 -0.58°C로서 미세하지만 좀 더 낮은 금형온도에서 미성형을 해결할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 9는 10개의 시뮬레이션 케이스에 대해 미성형을 해결하기위한 최저 금형온도와 퍼지논리 알고리즘을 이용하여 얻은 금형온도와 오차를 보여준다.

Fig. 10은 전문가의 경험에 의한 문제 해결방법에 비해 퍼지논리 알고리즘을 이용하여 시뮬레이션 했을 때

줄어든 시행착오 횟수를 백분율로 보여주고 있다. 실제적으로 전문가의 경험에 의한 문제 해결방법에 비해 시행착오 횟수를 평균 1.6회 정도 줄일 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 기존의 사출전문가에게 의존해온 문제 해결방법을 개선하기 위해 전문가의 경험적 지식을 규칙 베이스화하여 미성형을 쉽게 해결할 수 있는 공정조건을 찾을 수 있는 퍼지논리 알고리즘을 제안하였다.

본 연구에서 제시한 퍼지논리 알고리즘은 다음과 같은 특징을 보여주고 있다.

① 기존의 전문가의 경험에 의한 문제 해결방법에 비해 시행착오 횟수를 평균 1.6회 정도 줄일 수 있었다.

② 퍼지논리 알고리즘에 의해 찾은 최저 금형 온도의 오차가 5°C 이내로 충분히 타당성이 있고 실용적인 금형 온도값을 얻을 수 있었다.

③ 오랜 현장경험이 없는 비전문가도 퍼지논리 알고리즘을 이용하여 쉽게 미성형 해결을 위해 필요한 최저 금형온도를 찾을 수 있다.

④ 공정조건을 결정하는데 있어서 퍼지논리 알고리즘을 이용함으로써 추후 학습능력을 갖는 신경망 이론과

융합하여 기능이 향상된 제어기의 개발이 쉬워진다.

참고문헌

1. T. C. Jan, K. T. O'Brien, "Architecture of an Expert System for Injection Molding Problems", Annual Technical Conference in Society of Plastic Engineers '91, 431-443 (1991).
2. Nguyen, L.T., Danker, A., Santhiran, N. and Shervin, C.R., "Flow Modeling of Wire Sweep during Molding of Integrated Circuits", ASME Winter Annual Meeting, Nov. 8-13 (1992).
3. Turng, L.S., C-Mold Design Guide, AC Technology (1994).
4. Rosato, D.V. and Rosato, D.V., Injection Molding Handbook, Van Nostrand Reinhold Company inc. (1986).
5. Sang-Gook Kim, Nam P. Suh, "Knowledge Based Synthesis for Injection Molding", Robotics & Computer Integrated Manufacturing, 3(2), 181-186 (1987).
6. L. A. Zadeh, "Fuzzy Sets." Inf. Control 8, 338-353 (1965).
7. L. A. Zadeh, "Fuzzy logic." IEEE. Computer Mag., 83-93, Apr. (1988).