

퍼지논리에 의한 최적 성형조건 결정 시스템에 관한 연구

강성남* · 허용정**

A Study on the Determination System of Process Conditions for Moldability by Using Fuzzy Logic

Seong-Nam Kang* and Yong-Jeong Huh**

요 약 사출성형에서 제품의 최종 품질에 영향을 미치는 중요한 인자들 중의 하나는 사출압력이다. 전통적으로 현장의 사출전문가는 오래된 현장 경험을 바탕으로 사출압력을 결정한다. 그러나 비전문가에게는 제품의 크기, 형상 그리고 사출공정의 전반적인 과정을 고려한 적절한 사출압을 결정하기가 쉽지 않다. 본 연구에서는 퍼지 논리(fuzzy logic)를 이용하여 제품 도면에 나와 있는 제품두께와 유동길이를 알면 쉽게 초기 사출압을 결정할 수 있도록 전문가의 경험을 규칙베이스화 하였다. 규칙베이스를 구성하기 위해서 현장 전문가들을 인터뷰하고 설문조사를 한 후 기술적인 문서를 작성하여야 하지만 본 연구에서는 사출성형 해석 프로그램인 C-Mold를 이용하여 수 차례의 시뮬레이션을 반복 수행하여 규칙베이스를 구성하였다.

Abstract A short shot is a molded part that is incomplete because insufficient material was injected into the mold. Any factors that increase the resistance of polymer melt to flow or prohibit delivery of sufficient material into the cavity can cause a short shot. Inappropriate injection pressure is one of the most common factors which cause a short shot. Conventionally, domain experts in injection molding decide and modify the pressure based on their experience. It is difficult for a non-expert to decide the pressure properly with the considerations such as a part dimension, shape, and other processing variables. In this study, fuzzy algorithm is proposed to standardize the empirical determination of the pressure so that not only the experts but also non-experts can find the appropriate injection pressure easily. To acquire the more accurate results, domain experts should be interviewed and then technical documents which are collected from the experts should be restored in the fuzzy rule base. But in this study, simulations have been done by using C-MOLD to settle the rule base because it takes much time and also it's difficult to meet and interview the experts.

Key Words : Injection molding, Fuzzy logic, Short shot, Flow length, C-MOLD

1. 서 론

사출성형제품은 Figure 1에서 보여주는 바와 같이 제품설계로부터 검사단계를 거쳐 생산되며, 모든 단계가 사출성형제품의 품질과 생산성에 직접적으로 영향을 미친다. 따라서 사출성형제품의 제조과정은 사출성형에 관한 광범위한 지식을 필요로 하며 성형성과 제품의 기계적 성능을 검토하고, 또한 미성형(Short Shot), 웰드라인(Weld Line), 싱크마크(Sink Mark), 변형(Warpage), 플래쉬(Flash) 등과 같은 결함 발생 가능성을 종합적으로 고려해야 한다.

Jan과 O'Brien 등은 사출성형의 구성요소를 플라스틱 수지, 사출금형, 사출 성형기, 공정조건의 네가지로 분

류하였다[1]. 이 네 가지 요소가 복합적으로 결부되어 여러 가지 사출성형 불량률 유발한다. 사출성형제품에 주로 발생하는 성형불량의 종류는 약 20여가지 정도이며 그중 가장 빈번하게 발생하는 불량 중 하나가 미성형이다[2].

미성형은 유동경로가 너무 제한적이거나, 용융수지가 일찍 고화되거나, 사출압력이 불충분할 때 일어난다[3]. 따라서 사출 전문가가 캐비티 수, 런너, 게이트, 수지의 종류, 유동길이, 제품의 두께 등을 다각적으로 고려하여

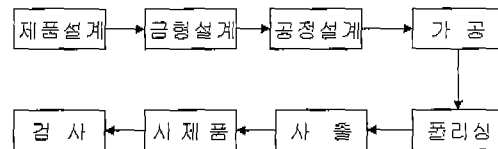


Figure 1. Product cycle of injection molded part

*한국기술교육대학교 기계공학과 대학원

**한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

사출압을 결정하게 된다. 이러한 이유로 오랜 현장 경험이 없는 비전문가가 사출압을 결정하기가 쉽지 않아서 전문가의 경험과 지식에 거의 전적으로 의존하고 있다[4].

이러한 문제점을 부분적으로 보완하기 위해 C-MOLD/MOLD FLOW와 같은 사출성형 해석 프로그램이 이용되고 있으며, 금형을 수정하고 재설계와 재가공을 반복하는 시행착오를 줄일 수 있다는 점에서 이러한 소프트웨어는 상당한 의미가 있다고 할 수 있다. 그러나 이러한 CAE 프로그램에서도 몇번의 시행착오를 통해 가장 최적의 사출압을 결정하게 되므로 전문가의 경험적 요소가 필요하게 된다.

이와 같은 전문가의 경험과 지식은 수학적 모델링이 불가능하므로 본 연구에서는 퍼지 논리를 응용하여 비전문가도 쉽게 적절한 사출압을 결정할 수 있는 퍼지논리 의사결정 시스템을 구축하였다.

2. 관련 이론

1965년 미국의 버클리 대학의 자데(L.A.Zadeh) 교수가 발표한 퍼지집합(fuzzy set) 이론은 불분명한 수량적 정보를 다루는 수학적 기법의 일종으로 인간의 주관, 즉 사고나 판단의 애매 모호한 정보를 효과적으로 처리할 수 있는 부적합성의 논리(principle of incompatibility)이다. 퍼지논리는 기존의 논리 체계보다 훨씬 더 인간의 사고방식과 언어체계에 유사한 논리이다. 이러한 퍼지논리는 정량적으로 표현하기 힘든 전문가의 경험적 지식을, 퍼지 소속함수와 퍼지 규칙베이스의 형태로 구성하여 언어적 제어전략(linguistic control strategy)을 효과적으로 구현할 수 있는 특징이 있다[5-6].

퍼지논리 알고리즘은 기본적으로 다음과 같이 4가지 단계로 구성되어 있다.

- 퍼지화 단계
 - 입력변수에 대한 값을 결정한다.
 - 입력된 값을 전체집합위의 값들로 퍼지 사상시킨다.
 - 측정된 값을 퍼지화하는 함수를 이용하여 적당한 언어값으로 변환한다.
- 규칙 베이스 구축 단계

IF/THEN 형식의 규칙을 만들어 규칙 베이스를 구축한다. 규칙 베이스는 퍼지제어에서 사용되는 언어적 제어규칙과 모호한 데이터를 다룰 수 있게 정의를 해야 한다. 언어 제어규칙들의 집합에 의하여 해당 분야의 전문가들이 갖는 제어 목표와 제어 정책들을 특성화시켜야 한다.

- 의사 결정단계

구축된 지식베이스를 참조하면서 퍼지화된 입력값을 추론의 합성규칙과 퍼지 함축을 이용하여 결론적 퍼지

집합으로 추론한다.

- 비퍼지화 단계

출력된 제어값은 퍼지집합이고 이것을 제어대상에 적용하기 위해서는 하나의 값으로 계산하는 비퍼지화 과정이 필요하며 다음과 같은 절차로 수행된다.

- 출력변수에 할당된 값을 전체집합위의 값들로 퍼지 사상시킨다.
 - 추론된 퍼지 제어값을 하나의 값으로 비퍼지화한다.
- 이때 비퍼지화 방법으로는 최대표준법, 최대 평균법, 면적 중심법, 무게중심법 등이 있다.

3. 퍼지논리 의사결정시스템 구성

본 연구에서는 이러한 퍼지이론을 도입, C++을 이용하여 사출압을 결정할 수 있는 퍼지논리 의사결정시스템을 구현해 봄으로써 변수가 많은 사출성형에서 제품의 품질을 향상시킬 수 있는 가능성을 모색하고자 한다. 현재 사출제품의 두께는 경량화, 재료비 절감, 생산성 향상을 위해서 1 mm 이내로 점점 얇아지고 있다. 두께가 얇은 제품일수록 사출압은 제품의 품질에 크게 영향을 미치므로 적절한 사출압을 결정하는 것은 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 제품의 두께 범위를 0.5~5 mm로 하여 얇은 두께에서의 사출압도 쉽게 결정할 수 있도록 하였다. 그리고 유동길이는 소형의 사출성형제품을 기준으로 하여 10~80 mm로 제한하였고, 그 외에 기본적인 설정은 아래와 같이 셋팅되었다.

- ▷ 형상 : 사각평판
- ▷ 수지 : LG Chem ABS
- ▷ 금형재료 : Tool Steel A-5
- ▷ 사출기 : Sumitomo SG-25/C50S/6
- ▷ 게이트 : Point type, 평판의 중앙에 위치 고정
- ▷ 사출온도 : 240°C
- ▷ 제품두께 : 0.5 mm~5 mm
- ▷ 유동길이 : 10 mm ~80 mm

Figure 2와 Figure 3은 퍼지논리를 이용하여 사출압을 결정하는 전체시스템의 구성과 퍼지로직의 흐름도를 보여준다.

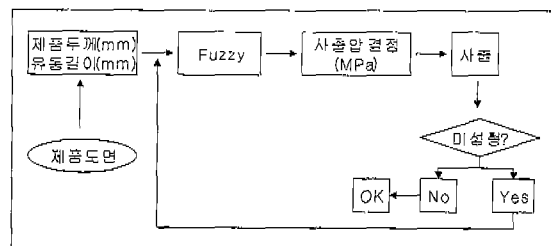


Figure 2. Schematic diagram of the decision making system

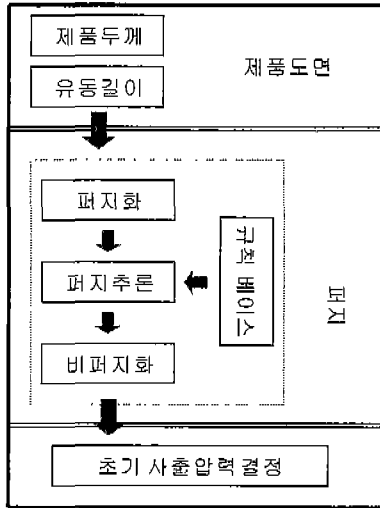


Figure 3. Flow chart of the fuzzy logic

제품 도면을 보고 제품의 두께와 유동길이를 파악하여 퍼지로그에 입력하게 되면 가장 적합한 사출압을 찾아주며 그 사출압을 이용해 실제 성형해석을 하고 미성형이 있으면 다시 사출압을 보정하게 된다.

3.1 퍼지화기(Fuzzifier)

본 연구에서는 제품의 두께와 유동길이에 대한 사출압력을 제어하는 것이 목적이므로 퍼지제어기의 입력변수를 제품의 두께와 유동길이로 하고, 출력변수는 미성형이 발생하지 않게 하기 위한 사출압력으로 하였다. 각 변수의 소속함수는 C-Mold에 의한 시뮬레이션을 통하여 Figure 4-6와 같이 결정하였다. 이때 제품두께, 유동길이, 사출압력에 대한 언어변수의 정의는 다음과 같다.

$T = \{S, M, B\}$ (여기서, S : Small, M : Medium, B : Big)

3.2 퍼지 규칙베이스 및 퍼지 추론

본 연구의 퍼지 추론 규칙은 IF-THEN 형식의 퍼지

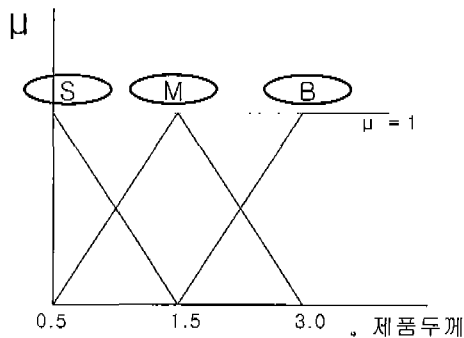


Figure 4. Membership function of the part thickness

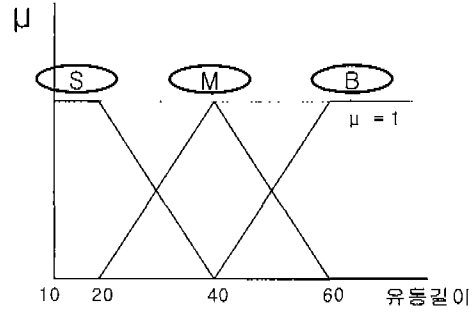


Figure 5. Membership function of the flow length

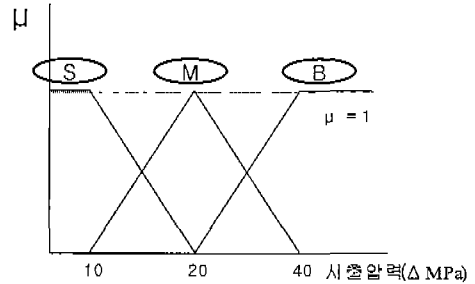


Figure 6. Membership function of the injection pressure

조건문으로 구성되어 있으며, 여기서는 『2입력 1출력 퍼지시스템』의 경우로 규칙베이스는 식 (1)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 R_1 &: \text{If } x_1 \text{ is } A_1 \text{ and } y_1 \text{ is } B_1 \text{ Then } z_1 \text{ is } C_1 \\
 R_2 &: \text{If } x_2 \text{ is } A_2 \text{ and } y_2 \text{ is } B_2 \text{ Then } z_2 \text{ is } C_2 \\
 R_n &: \text{If } x_n \text{ is } A_n \text{ and } y_n \text{ is } B_n \text{ Then } z_n \text{ is } C_n
 \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 전건부의 x_n 은 제품의 두께를 말하며, y_n 은 유동길이를 나타낸다. 그리고 후건부의 Z_n 은 사출압력을 나타낸다.

위의 입출력 관계에 따라 제어규칙을 만들면 Table 1과 같다.

퍼지 추론 방법은 크게 직접법과 간접법의 두 종류로 구분할 수 있으며, 본 연구에서는 직접법인 Mamdani의 Max-Min 추론방법을 이용한다. 식 (1)과 같은 n개의 퍼지제어 규칙이 퍼지추론을 통하여 식(2)와 같이 입력은 A_i, B_i 이고 추론결과는 C_i 가 된다.

Table 1. Rule base

	유동길이	S	M	B
제품 두께	S	M	B	B
	M	S	M	M
	B	S	S	S

Table 2. Simulation cases for evaluation of fuzzy logic

CASE	제품두께 (mm)	유동길이 (mm)	퍼지 사출압 (MPa)	실제사출압 (MPa)
CASE1_1	0.5	80	65.9	63.89
CASE1_2	0.5	50	47.2	46.12
CASE1_3	0.5	25	39.54	37.64
CASE2_1	2	80	30.85	32.75
CASE2_2	2	50	16.25	18.35
CASE2_3	2	25	12.57	12.61
CASE3_1	4	80	12.23	8.73
CASE3_2	4	50	11.96	6.23
CASE3_3	4	25	9.42	5.73

$$C_i = R \cdot (A_i \times B_i) = \text{Max } x, y [R(x, y, z) \wedge A_i(x) \wedge B_i(y)] \quad (2)$$

3.3 비퍼지화(Defuzzification)

비퍼지화는 소속함수로 표현되는 퍼지량을 실제 값(Crisp)으로 전환하는 것을 말한다. 대표적인 비퍼지화 방법으로 최대법, 최대평균법, 무게중심법 등이 있는데 본 연구에서는 가장 합리적인 해를 구할 수 있는 무게중심법을 적용하였다.

$$u_o = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_c(\mu_i) \mu_i}{\sum_{i=1}^n \mu_c(\mu_i)} \quad (3)$$

이 무게 중심법은 식 (3)에 의해 구해진 영역의 무게 중심을 구해서 출력 값으로 사용하된다.

4. 퍼지 시스템의 평가

퍼지 이론을 적용하여 C++로 프로그래밍한 의사결정 시스템의 정확도를 보다 면밀히 검증하기 위해서는 가급적 많은 case를 시뮬레이션 해보고 그 결과를 C++로 프로그래밍하여 얻은 사출압과 비교 및 검증하여야 한다. 그러나 case가 많아지면 컴퓨터 시뮬레이션 시간이 너무 많이 소요되므로 사출압 결정 프로그램의 타당성을 검증할 수 있는 범위 내에서 Table 2와 같이 9개의 case에 대하여 시뮬레이션을 실행하였다. Table 2에서 퍼지 사출압이란 C++로 프로그래밍하여 얻은 사출압력을 말한다. 시뮬레이션을 통해 얻은 실제 사출압력과 퍼지 사출압력을 비교해 보면 실제 사출압을 기준으로 퍼지

사출압력의 오차가 ±5 MPa 이내의 사출압력이 퍼지 제어기에 의해 출력됨을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 사출성형에 있어서 빈번하게 발생하는 성형불량 중에서 미성형을 방지하기 위해 필요로 하는 최소한의 압력을 결정하는데 있어, 사출 전문가의 경험과 지식을 퍼지이론을 응용하여 모델링 함으로써 사출성형의 비전문가도 쉽게 제품의 두께와 유동길이에 따라 적합한 사출압력을 찾을 수 있도록 하고자 했다. 본 연구에서는 현장 전문가의 경험과 지식 대신에 C-MOLD를 이용하여 여러 차례 시뮬레이션을 통해 최대한 현장 전문가의 경험과 근접하게 퍼지의 규칙 베이스를 구성하였다.

그 결과 Table 2에서 보듯이 CASE 2는 실제 사출압력보다 작은 값이 출력되어 미성형이 발생하였고 그 외에는 실제 사출압력보다 적절히 큰 값으로서 미성형을 방지할 수 있는 사출압력이 출력되었다. 따라서 미성형이 발생했을 때, 사출압력을 보정해 줄 수 있는 퍼지 시스템을 추가할 필요가 있다. 두께가 4 mm인 CASE 3에서는 미성형을 방지하기 위해 필요한 최소 사출압력보다 필요이상으로 큰 사출압력이 나왔다. 그 이유는 Figure 4를 보면 제품 두께의 언어변수를 small, medium, big 세 개로 하여 3 mm 이상은 Big으로 하였는데, 이 언어변수를 다섯 개 정도로 하여 그 영역을 좀 더 세밀하게 나누면 결과 값이 좀 더 정확하게 나올 것으로 판단된다.

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, 1991, pp. 431-443.
- [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] Sang-Gook Kim, Nam P. Suh, "Knowledge Based Synthesis for Injection Molding", Robotics & Computer Integrated Manufacturing, Vol. 3, No. 2, pp. 181-186, 1987.
- [5] L. A. Zadeh, "Fuzzy Sets." Inf. Control Vol. 8, pp. 338-353, 1965.
- [6] L. A. Zadeh, "Fuzzy logic." IEEE. Computer Mag., pp. 83-93, Apr. 1988.