

퍼지 신경망을 이용한 성형성 평가 시스템에 관한 연구

강성남*(한국기술교육대 대학원 기계공학과), 허용정(한국기술교육대 메카트로닉스공학부)
조현찬(한국기술교육대 정보기술공학부)

A Study on Moldability Evaluation System in Injection Molding Based on Fuzzy Neural Network

S. N. Kang(Mech. Eng. Dept., KUT), Y. J. Huh(Mech. Eng. Dept., KUT),
H. C. Cho(I.T. Eng. Dept., KUT)

ABSTRACT

In order to predict the moldability of a injection molded part, a simulation of filling is needed. Especially when short shot is predicted by CAE simulation in the filling stage, there are mainly three ways to solve the problem. Modification of gate and runner, replacement of plastic resin, and adjustment of process conditions are the main ways. Among them, adjustment of process conditions is the most economic way in cost and time since the mold doesn't need to be modified at all. But it is difficult to adjust the process conditions appropriately in no times since it requires an empirical knowledge of injection molding.

In this paper, a fuzzy neural network(FNN) based upon injection molding process is proposed to evaluate moldability in filling stage and also to solve the problem in case of short shot. An adequate mold temperature is generated through the fuzzy neural network where fill time and melt temperature are taken into considerations because process conditions affect each other.

Key Words : Fuzzy Neural Network (퍼지 신경망), BP algorithm(BP 알고리즘), Injection Molding (사출성형), CAE (Computer Aided Engineering), Process Condition (공정 조건), C-Mold

1. 서론

최근 눈부신 디지털 컴퓨터 이용 기술은 전통적인 생산공정의 자동화를 유발시켰으며, 데이터 레벨(CAD, CAM)에서 단위설비 레벨(NC, CNC)에 이르기까지 자동화의 결과로 많은 생산성의 향상을 가져왔다. 따라서, 자동화 본래의 목적이 어느 정도 달성된 것도 사실이며, 향후 이러한 생산성의 향상은 지식 레벨에서의 의사결정 자동화 여부에 따라 크게 좌우될 것이다⁽¹⁾. 의사결정의 자동화는 필연적으로 생산과 관련된 공정의 모델링 작업을 수반하게 된다. 즉, 공정의 정확한 이해를 바탕으로 입출력 변수 사이의 관계를 모델링 해야 한다. 이와 같은 의사결정의 자동화가 필요한 대표적인 공정중의 하나가 사출성형공정이다⁽²⁾.

그러나 사출성형 공정의 완벽한 이해는 아직도

불가능하며 공정조건과 제품 품질과의 정확한 관계를 확립하기가 어렵다. 이와 같은 이유로 아직까지 사출성형제품의 설계 및 제조는 전문가의 축적된 경험에 많이 의존하고 있다. Jan과 O'Brien 등은 사출성형의 구성요소를 플라스틱 수지, 사출금형, 사출 성형기, 공정조건의 네 가지로 분류하였고⁽³⁾, 이 네 가지 요소가 복합적으로 결부되어 여러 가지 사출성형 불량을 유발한다고 하였다. 사출성형제품에 주로 발생하는 성형불량의 종류는 약 20여가지 정도이며 그 중 가장 빈번하게 발생하는 불량 중 하나가 미성형이다⁽⁴⁾.

이러한 성형성을 예측하기 위하여 C-Mold, Mold Flow와 같은 사출성형해석용 CAE 소프트웨어들이 많이 쓰이고 있다. 미성형을 해결하기 위한 방법으로 게이트와 런너의 크기 및 위치를 수정하거나, 플라스틱 수지 종류를 바꾸어 보거나, 혹은 충전시간,

사출압력, 용융수지 및 금형 온도와 같은 공정조건을 적절하게 조절한다. 공정조건을 적절하게 조절하는 작업은 금형의 수명을 피할 수 있기 때문에 매우 경제적이고 효과적인 방법이다. 그러나 이는 수학적 모델링이 불가능한 전문가의 오랜 기간 축적된 경험적 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 갖는다⁽⁵⁾. 최근에 이와 같이 인간의 애매한 경험적 지식을 표현할 수 있는 퍼지(fuzzy) 이론이 많은 분야에서 적용되고 있다. 그러나 퍼지논리 알고리즘은 소속함수와 규칙베이스가 매우 주관적으로 결정되기 때문에 전문가의 도움이 전적으로 필요하거나 실제로 구성하기 어려운 경우가 많다. 또한 규칙 베이스의 구성은 많은 시간 소비와 제어규칙의 최적화 문제가 제시된다⁽⁶⁾.

따라서 본 논문에서는 사출성형해석에서 발생하는 미성형에 중점을 두어 이를 해결하기 위한 방법으로 퍼지논리 알고리즘에 신경망을 융합함으로써 미성형을 보상해 줄 수 있는 최적의 공정조건을 찾는 퍼지 신경망(Fuzzy Neural Network)을 구성하였다. 신경망을 통해 퍼지 소속함수와 규칙을 학습시키고 최적의 규칙과 입출력 소속함수를 결정할 수 있도록 하였고, 또한 실제 현장에서 미성형이 발생한 제품의 사례연구를 통하여 실제 적용 가능성을 검토하였다.

2. 퍼지 신경망(FNN)의 구조

2.1 퍼지 이론과 신경회로망의 융합

퍼지논리는 언어적 제어의 특징과 논리성(logicality)의 이점을 갖는 반면에 신경망은 학습능력과 오차 보간 능력의 장점을 갖고 있다. 이런 장점들은 서로 상호 보완적이며 이들의 융합(fusion)은 좀더 인간의 사고 능력에 가까운 알고리즘의 구현을 가능하게 한다⁽⁷⁾.

퍼지 논리와 신경망의 융합은 두 이론의 유사한 특성들을 이용해 새로운 퍼지 신경망 모델을 구성하는 방식이라고 할 수 있다. 일반적으로 두 이론은 다음의 유사한 특성을 갖는다.

첫째로, Fig. 1(a), (b)에서 보는 바와 같이 신경망의 활성화 함수의 출력 특성과 퍼지 이론의 소속함수의 특성이 유사하다.

둘째로, Fig. 2(a), (b)에서 보는 바와 같이 신경망을 구성하는 뉴런의 곱 및 덧셈 연산과 퍼지 추론에서의 max-min 연산 기능이 유사하다.

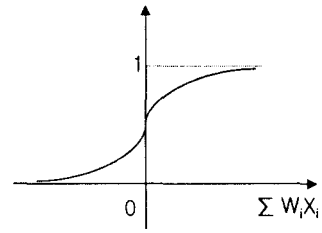


Fig. 1(a) Sigmoid function of neural network.

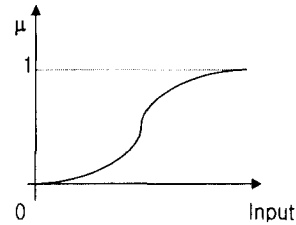


Fig. 1(b) Membership function of fuzzy logic.

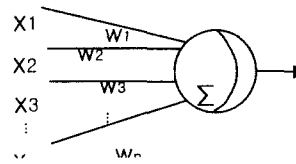


Fig. 2(a) Product · Sum operation of neuron.

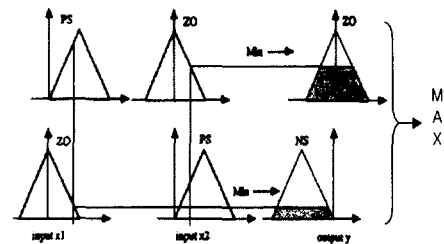


Fig. 2(b) Max-min operation of fuzzy inference.

위와 같은 두 이론의 유사성을 이용하여 퍼지 논리에 신경회로망의 학습 능력을 부여하게 되는 것이다.

2.2 전체 시스템의 구성

본 문에서 퍼지 신경망을 적용한 전체 시스템의

구성이 Fig. 3에 나타나 있다. Fig. 3에서 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

충전시간, 용융수지 온도 및 금형 온도를 C-Mold에 입력하여 성형해석을 수행하면 미성형 발생했을 경우 전체 체적에 대한 미성형 체적 e 와 \dot{e} 값을 얻게 된다. 이 두 값이 Estimator에 입력되어 여기서 출력되는 금형 온도 ΔT_m 으로 퍼지 신경망의 학습을 하게 된다. 여기서 Estimator는 입력 e 와 \dot{e} 에 대해 미성형을 보상해 줄 수 있는 ΔT_m 값을 찾을 수 있도록 경험적인 적선의 방정식 삽입되어 있다. 실제로 사출성형 공정은 매우 복잡하고 비선형적이어서 이 적선의 방정식 자체가 오차를 가지고 있다. 그러나 이 오차는 신경망의 학습에 의해 그 오차를 감소시키는 방향으로 연결 강도(synapse weight)를 조정해 주어 원하는 출력을 얻을 수 있다.

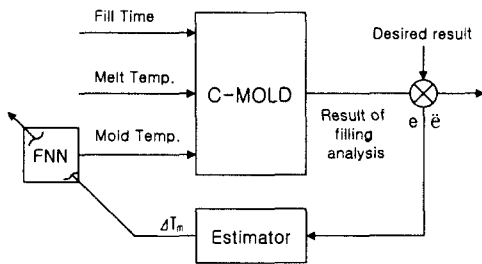


Fig. 3 Schematic diagram of fuzzy neural network application.

Fig. 4에서는 Table 1의 퍼지 규칙 베이스와 Max-Min 추론 방법을 신경망으로 표현한 퍼지 신경망의 구조를 보여주고 있다. 학습방법으로는 오차역전파(Error back-propagation) 방법을 사용하고 있다.

Table 1 Fuzzy rule base.

ΔT_m		\dot{e}					
		NB	NS	ZO	PS	PM	PB
e	VS	ZO	ZO	ZO	NS	NM	NB
	S	PS	PS	PS	PS	PS	PM
	M	PM	PM	PS	PS	PM	PM
	B	PB	PM	PM	PM	PM	PB
	VB	PB	PB	PM	PB	PB	PB

e 와 \dot{e} 값이 FNN에 입력되면 각각의 퍼지 집합에 가중치를 가지고 두 번째 뉴런 층으로 입력되는데, 이 값이 퍼지의 소속 값을 나타내게 된다. 세 번째 뉴런 층에서는 입력된 소속 값을 Min 연산하게 되고 이 값을 출력 값으로 해서 네 번째 뉴런 층으로 보내

게 된다. 이를 같은 제어 동작(control action)을 갖는 뉴런을 묶어서 5번째 뉴런 층으로 보내고 5번째 뉴런 층에서는 입력 값들을 Max 연산하여 출력하게 된다. 5번째 층에서 출력된 값들을 모두 합산하고 이를 비퍼지화 시켜서 출력 값 y , 즉 ΔT_m 을 얻게 된다.

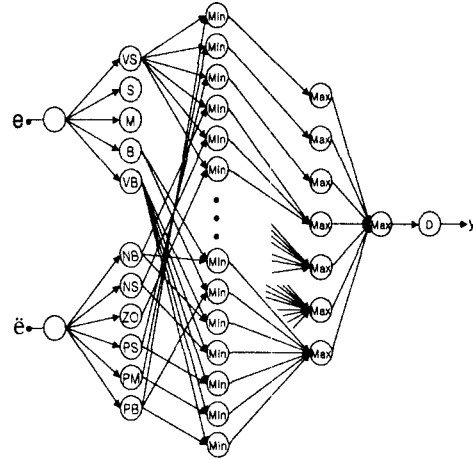


Fig. 4 Structure of Fuzzy neural network.

3. 사례연구

사례연구로는 춘계학술대회에서 발표한 모델을 동일하게 적용시켰다. 이에 따라 퍼지 신경망에 의해 나온 결과와 퍼지논리 알고리즘에 의한 결과를 비교해 볼 수 있다.

3.1 해석모델

본 연구에서는 CAE 프로그램인 C-Mold를 이용하여 사출성형 해석을 수행하였다. 해석 모델은 실제현장에서 미성형이 발생한 Fig. 5에 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.

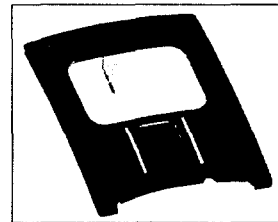


Fig. 5(a) Surface model of the mobile phone flip cover.

Fig. 5(a)는 Pro/E를 이용한 서피스 모델이고, Fig 5(b)는 C-Mold를 이용해서 메쉬(mesh)를 생성한 FEM 모델이다.

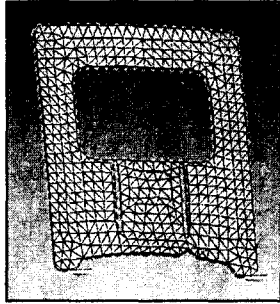


Fig. 5(b) FEM model of the mobile phone flip cover.

3.2 공정조건

시뮬레이션상의 고분자 재료 및 공정조건은 Table 2와 같이 실제 현장에서 사용한 것과 동일하게 하여 해석을 수행하였다.

Table 2 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℃)
Fill time	Variable (0.16~0.28sec)
Mold temperature	Output variable

4. 결론

본 연구에서는 기존의 사출전문가에게 의존해온 문제해결방법을 개선하기 위해 전문가의 경험적 지식을 규칙 베이스화하여 퍼지로 구성하고 신경망을 적용하여 학습을 통해 미성형을 쉽게 해결할 수 있는 공정조건을 찾는 퍼지 신경망 알고리즘을 제안하였다.

현재 본 논문에서 제안한 퍼지 신경망에 대한 평가를 위해 여러 조건에 대한 simulation을 수행 중이며, 그 결과를 춘계학술대회에서 발표한 '사출성형용 지능형 미성형방지 최적조건 생성 시스템 연구'와 비교할 예정이다.

참고문헌

1. Yerramreddy, S. Lu S, C.Y. and Arnold, K.F., "Developing Empirical Models from Observational Data Using Artificial Neural Networks", J. of Intelligent Manufacturing, Vol. 4, pp. 33-41, 1993.
2. Actis Dato, M. DiDio, L. and Godlo, C., "A CIM Concept for Injection Molding", Kunst-stoffe German Plastics, Vol. 78, No. 3, pp. 9-11, 1988.
3. 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, pp. 431-443, 1991.
4. 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.
5. Sang-Gook Kim, Nam P. Suh, "Knowledge Based Synthesis for Injection Molding", Robotics & Computer Integrated Manufacturing, Vol. 3, No. 2, pp. 181-186, 1987.
6. Jac다 M. Zurada, Introduction to Artificial Neural Systems., West Publishing Company, pp. 163-235, 1992.
7. C. T. Lin, C. S. George Lee, "Neural-Network_Based Fuzzy Logic Control and Decision System", IEEE Transaction on Computers, Vol 40, No. 12, pp. 1320-1336, December, 1991.