

## 퍼지 제어를 이용한 원료 정량 추출 시스템

임영철, 박종건, °정현철, 류영재, 위석오  
전남대학교 전기공학과

### Feeding Rate Control System Using Fuzzy Controller

Y.C. Lim, J.K. Park, °H.C. Jung, Y.J. Ryoo, S.O. Wi  
Chonnam National University

**Abstract** - In this paper, a system to control feeding rate by fuzzy controller was developed and tested in the various raw material of the powder grain state. The designed fuzzy controller, for feeding rate control system is proved robust performance under parameter variation and load disturbance effect which is caused by the kind and quantity of various raw material.

#### 1. 서 론

대부분의 공정에서 생산되는 제품은 일반적으로 여러 가지 원료로 구성되어 있고, 각각의 원료는 일정한 비율을 혼합되어진다. 현재의 원료추출공정은 분말상의 원료를 취급하는 관계로 분진등이 타공정에 비해 많이 발생하고, 수작업에 의한 계량으로 인한 제품의 질을 확보하기 어렵기 때문에 자동화할 필요성이 있다. 따라서 본 연구에서는 제품 생산공정 중에서 제품의 질을 결정하는데 중요한 역할을 하는 원료 무게 측정 공정을 대상으로 하여 퍼지 제어 기법과 PC-인터페이스를 이용하여 자동화하는 원료 정량 추출 시스템을 개발하는 연구를 수행하였다.

제어 시스템의 목적은 시스템의 안정성을 유지하면서, 외란이 존재하거나, 파라미터가 변동하는 경우에도 최적의 추종 성능을 보장하는 것이라고 할 수 있다[1]. 이런 관점에서 파라미터 동조나 설계의 간편성 때문에 PID 제어가 산업 플랜트의 제어에서 가장 잘 정립되어 있고 광범위하게 사용되는 방법으로 각광을 받고 있다. 그러나 플랜트와 선형적인 관계를 가지는 기존의 PID 제어기는 제어환경 및 파라미터의 변화에 민감하며, 복잡하거나 비선형적인 플랜트에서는 좋은 결과를 기대할 수 없다.

이에 반해 퍼지 제어기는 복잡한 수학적 모델링보다는 전문가의 지식이나 경험을 바탕으로 제어규칙을 생성하고 퍼지추론에 의해 제어입력값을 얻어내는 제어기이다. 이러한 퍼지제어기는 전문가의 지식을 기반으로 하며 수학적 모델링이 불가능하거나 비선형 특성을 갖는 계통의 제어에서 우수한 성능을 보여준다[1-5].

따라서 본 연구에서는 원료 추출 공정의 복잡한 수학적 모델링이 필요없고, 특성이 다른 다양한 원료에 변화에 따른 부하변동에 적응력이 우수한 퍼지 제어 알고리즘을 설계하여, 원료를 추출하는 데 사용되는 DC 서보 모터의 제어에 적용하였다.

#### 2. 퍼지 제어기의 설계

퍼지제어는 인간의 판단성, 애매성에 기초하여 불확실한 제어 대상의 모델링으로부터 전문가의 지식을 바탕으로 제어알고리즘을 If-Then형식으로 표현되는 논리적 언어 형태의 제어이다.

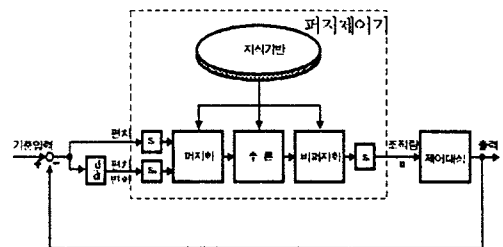


그림 1 퍼지 제어기 구성도

퍼지제어기는 입력변수류 양자화하는 입력부분, 규칙을 추론하는 추론부분, 추론된 값을 비퍼지화하는 출력부분으로 구성된다. 그림 1은 프로세서를 제어하는 퍼지 제어기의 구성도를 나타낸다.

### 2.1 멤버십 함수와 양자화

제어규칙의 전건부 변수로는 한 샘플링 구간에서의 기준설정치와 출력 차이인 오차 E와 오차의 변화분 CE(Change of Error)를 사용하고, 후건부 변수로는 조작량 U의 변화분 CU를 사용한다.

규칙에서 사용되는 언어적 변수들의 애배함을 0과 1이라는 기존의 논리체계와는 다르게 0에서 1까지의 범위내에서 정량적으로 표현하기 위하여 멤버십 함수를 사용한다.

양자화 방법에는 양자화하는 단계의 범위에 따라 선형양자화와 비선형 양자화로 나누어진다. 본 연구에서는 상승시간의 개선과 설정치 근처에서의 원활하고 정밀한 제어를 위해서는 양자화 단계를 적게 사용하면서 범위를 넓혀주는 비선형 양자화 방법을 사용하였다.

### 2.2 지식기반과 추론

퍼지 제어에 있어서 지식기반은 퍼지제어 규칙에 의해 표현된다. 표 1은 본 논문에서 사용한 퍼지 제어규칙이다.

표 1 퍼지 제어규칙

E CE	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB
NM	NB	NB	NB	NM	NM	ZO	PM
NS	NB	NB	NM	NS	ZO	PS	PM
ZO	NB	NB	NS	ZO	PS	PM	PB
PS	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB
PM	NM	ZO	PM	PM	PB	PB	PB
PB	PB	PB	PB	PB	PB	PB	PB

제어규칙의 퍼지변수와 멤버십함수를 지정한 후 전건부의 오차와 오차변화량이 주어지면 추론과 비퍼지화 과정을 거쳐 퍼지제어값 CU를 얻는다.

퍼지 추론과정은 E와 CE 각각에 부여된 언어변수에 대한 멤버십 함수를 사용하여 각 규칙표에 의거하여 E와 CE에 대한 제어입력의 멤버십 함수를 구하는 과정이다.

추론법에는 Max-Min법과 Max-Product법 이외에 여러 가지 방법이 있다. 본 논문에서는 Max-Min법을 사용했다.

### 2.3 비퍼지화

앞에서 구한 제어입력의 멤버십 함수를 사용하여 제어할 실제 제어 입력을 구하는 것으로, 본 논문에서는 가장 널리 쓰이고 있는 무게 중심법을 사용하였다.

### 3. 정량 원료 추출 장치의 구성

그림 2는 제작된 정량 원료 추출 장치의 전체 시스템의 구성도이다.

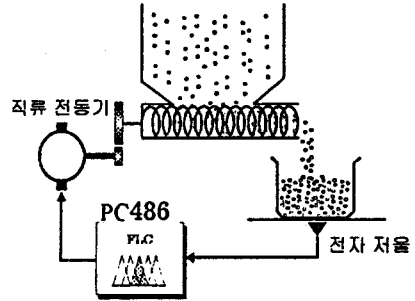


그림 2 전체 시스템 구성도

제작된 시스템은 퍼지 제어기의 출력값을 전력 증폭한 후 정격 24V인 DC 모터의 입력전압으로 사용하였다. 스크류는 분말 상태의 입자의 토출이 용이하도록 제작된 것을 이용하였다. 또한 무게 측정을 위해서 전자 저울이 쓰여진다.

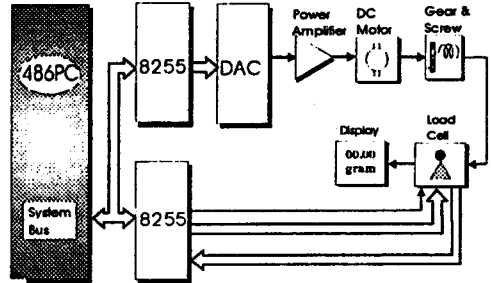


그림 3 하드웨어 구성도

정량 원료 추출 시스템에 대한 하드웨어 구성은 그림 3과 같다. IBM PC-486(66MHz)와 제어 언어는 비주얼 C++ 컴파일러를 사용하였으며 컴퓨터 시스템과 제어기와의 인터페이스는 범용 프로그래머블 I/O 인터페이스 소자인 8255 2개를 사용하여 구현하였다.

### 4. 부하 특성 및 실험결과

본 연구에서 사용된 원료는 분말상태의 입자의 특성은 표 2와 같이 분말의 밀도, 직경이 분말의 종류에 따라 다르다.

표 2 분말 입자 상태의 부하 특성

특성 종류	밀도 <sup>1)</sup>	평균 직경 <sup>2)</sup>	볼함내 <sup>3)</sup>
분말 입자 A	870.5	1.5	3.87
분말 입자 B	662.3	0.8	2.79
분말 입자 C	540.7	2.0	2.17

- 1) 단위 [g / 1000ml]
- 2) 분말입자 1개의 평균 직경[mm]
- 3) 분말 원료 용기에 분말 3000ml가 있을 때 모터의 볼함내[V]

이로 인하여 사용된 모터의 축에 걸리는 부하는 원료의 변화에 따라 다르게 된다. 그림 4는 본 연구에서 사용된 정격 전압 24V DC 모터에 20초 동안 12V 전압을 인가할 때 부하에 따른 토출된 원료의 무게를 나타낸 것이다.

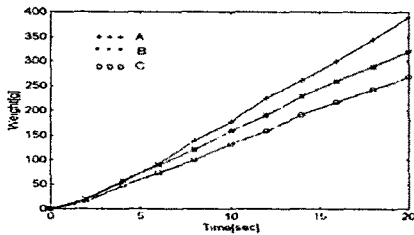


그림 4 부하에 따른 토출량

본 연구에서 분말 입자 원료를 DC 모터에 의해 회전하는 스크류를 제어하여 임의의 원료에 대해서도  $\pm 1g$ 의 정확도의 측정 데이터를 얻을 수 있었다. 그림 5에서 그림 7까지의 실험결과에서 정상 상태의 오차가 없이 설정치에 도달하는 것을 관찰할 수 있다.

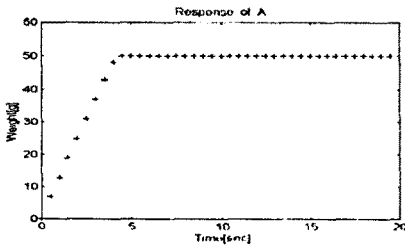


그림 5 원료 A의 실험 결과

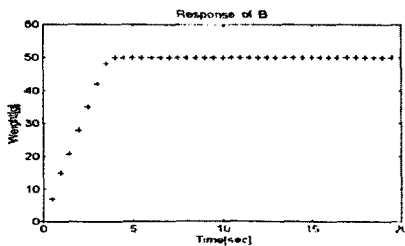


그림 6 원료 B의 실험 결과

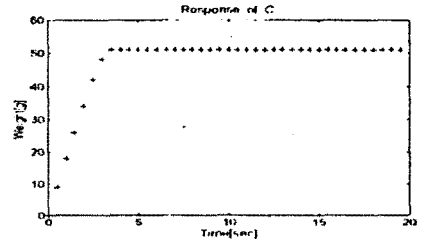


그림 7 원료 C의 실험 결과

## 5. 결 론

본 연구에서는 분말 입자상태인 원료의 무게를 전자 저울로 측정하고, 제어 방식으로는 퍼지 제어 기법을 이용하였다. 따라서 원료 정량 추출 공정에 대한 복잡한 수학적 모델링이 필요없었으며 다양한 원료의 특성에 따라 야기되는 파라미터 변화와 부하 변동에 대한 강건한 소용량 정량 원료 추출 시스템을 개발할 수 있었다.

제안된 장치는 실험 결과 다양한 분말 입자 상태의 원료에 대해서 측정오차 범위의 측정 결과물을 얻을 수 있었으며, 본 연구에서 설계된 퍼지 제어가 부하변동이나 파라미터 변화에 대해 강건함이 입증되었다. 따라서 본 제어기는 분말상의 원료를 취급하는 원료혼합공정에서 원료량을 자동 정밀 추출하고 제측하는데 적용가능할 것으로 기대된다.

## [참 고 문 헌]

- [1] M. Morari, E. Zafirov, *Robust process control*, Prentice-Hall, 1989
- [2] Y. F. Li and C. C. Lau, "Development of fuzzy algorithms for servo systems", *IEEE Control Systems Magazine*, April, pp. 65-71, 1989.
- [3] C. C. Lee, "Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller - Part I and II", *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.* vol 20, pp. 404-435, 1995.
- [4] E. H. Mamdani, "Application of fuzzy algorithm for simple synanic plant", *IEE, Proc.* vol 21, no. 12, pp. 1585-1588, 1974.
- [5] T. J. Procyk and E. H. Mamdani, "Application of fuzzy control systems to industrial processes", *Automatica.* vol 13, pp. 235-242, 1977.