

지능제어를 이용한 집진장치용 필터 유지보수 자동화 시스템 개발

박정훈\* 홍성훈\*, 서강민\*\*, 강문성\*  
\* 정주대학교 전자공학과, \*\*주성대학

Development of Automatic Maintenance and Repair System for Dust Collecting Filter using Intelligent Control

Park Jung-Hoon, Hong Sung-Hoon, Seo Kang-Myun, Kang Moon-Sung  
Dept. of Electronic Eng. Chongju Univ., Juseong College

**Abstract** - In this study, an intelligent solenoid valve controller has been developed for automatic maintaining of filters in a dust collecting system. This controller has automatic controllability of solenoid valves' ON/OFF time depending on the clogging status of filters, and then it can extend the filters' lifetimes, decrease the power consumption, and make effective operation of the system possible. This controllability has been executed by the fuzzy theory that utilizes the workers' experimental knowledges, the control expert's knowledges and the differential pressures between the inlets and outlets measured by the sensors.

1. 서 론

산업이 발달하면서 발생하는 오염물질로 인해 대기환경 문제가 날로 심각해지고 있으며, 대기오염물질 중에서 산업체에서 가장 많이 배출되는 것이 분진이다. 여과포 집진장치의 경우 오염물질이나 분진을 여과시키기 위해 여러 개의 필터를 사용하며 여과과정에서 분진 등으로 인해 필터가 막히게 되는데, 이 때 solenoid valve를 이용해 강한 압력의 공기를 역방향으로 각각의 필터에 일정시간간격을 두고 순차적으로 불어줌으로써 필터에 쌓인 분진 등을 제거하고 있다.<sup>[1-3]</sup>

그러나, 기존 방식에서는 필터의 막힘상태와 무관하게 일정시간간격으로 공기를 불어주는 동작을 계속하게 되어 에너지 낭비를 초래할 뿐 아니라 유지보수가 원활하게 수행되지 못해 대기오염을 가중시키는 물론 필터의 수명단축 등의 문제점이 발생하고 있다. 또한 valve controller의 actuator부분인 TRIAC 또는 solenoid valve의 파손시 경보기능이 전혀 없고, 필터의 교체시기를 알 수 있도록 필터 전·후면의 압력차를 표시하는 마노메타도 valve controller와는 별개로 따로 분리되어 있는 아날로그 형식으로 단순 표시장치에 불과할 뿐 아니라, 대부분 수입에 의존하기 때문에 가격도 비싸다.

본 논문에서는 이러한 문제점들을 개선하기 위해서 지능제어를 이용한 solenoid valve controller를 개발함으로써 필터 유지보수의 자동화는 물론 효율적인 운전이 가능하도록 하였다. 개발된 solenoid valve controller의 제어 알고리즘은 압력센서를 이용하여 필터의 막힘 정도에 따른 압력차와 압력차변화량을 측정하여 정량화하고, 숙련된 작업자의 경험적 지식과 제어전문가의 지식을 rule-base화하여 퍼지추론을 통해 최적성능을 유지하기 위한 ON/OFF시간을 결정하는 방식으로 구성되어 있다. 또한, 변류기(Current Transformer)를 사용하여 TRIAC이나 solenoid valve 등 시스템의 상태를 지속적으로 감시함으로써 이상발생시 작업자에게 경보로써 전달, 신속한 대처를 할 수 있게 하여 시스템의 수명연장 및 효율적인 운전이 가능하도록 한다. 그리고 기존의 아날로그형 마노메타 대신 압력센서를 이용하여 디지털

형식으로 압력차를 표시함으로써 쉽게 압력차를 파악할 수 있고 필터의 교체시기도 정확하게 알 수 있게 하였다. 이러한 기능들을 집진장치에 이용함으로써 기존의 제품보다 우수하고, 저렴하며, 사용이 편리한 집진장치용 필터 유지보수 자동화 시스템을 개발하였다.

2. Fuzzy제어 알고리즘

집진장치 성능의 최적화를 위해 필터의 막힘정도에 따라 solenoid valve controller의 ON/OFF시간을 자동으로 조정할 수 있도록 하는 제어알고리즘은 지능제어기법인 퍼지이론을 이용하였다.

2.1 입출력 변수 및 소속함수

제어 알고리즘에 사용할 입·출력변수는 오차량과 압력차변화량, ON시간, OFF시간이다. 입·출력변수에 대해 정의된 소속함수와 제어규칙을 이용하여 퍼지추론을 하고 새로운 출력값을 얻게 된다.

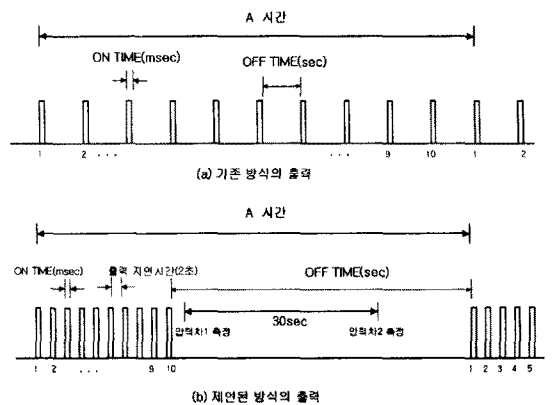


그림 1. 오차량 및 압력차변화량 측정방법

입력변수인 오차량 및 압력차변화량의 측정방법을 그림 1.에 나타내었다. 그림 1. (b)에서 첫 번째는 마지막 valve의 ON동작이 끝난 뒤 2초 후에 압력차를 측정하여 압력차1로 하고, 30초 후에 측정한 압력차를 압력차2로 하였다. 압력차1은 필터 전·후면의 현재 압력차를 표시하기 위해 디스플레이 장치로 출력되고, 필터의 교체시기를 결정하는 값으로 사용된다. 입력변수로 사용되는 오차량(e)은 압력차1(dp1)과 기준값(ref)의 차이이다. 압력차변화량(cdp)은 압력차2(dp2)와 압력차1(dp1)의 차이이고, OFF시간 중 30초 동안에 변화한 압력차로, 유입되는 분진양의 많고 적음을 나타낸다.

$$e = dp1 - ref \tag{1}$$

$$cdp = dp2 - dp1 \tag{2}$$

출력변수는 ON/OFF시간으로 하였고, 입력변수에 따라 각각의 값이 결정된다. 이 두 값은 입력변수에 대해서로 반비례적으로 증감한다. 입·출력변수에 대한 소속함수는 삼각형 형태로 그림 2.에 나타내었다.

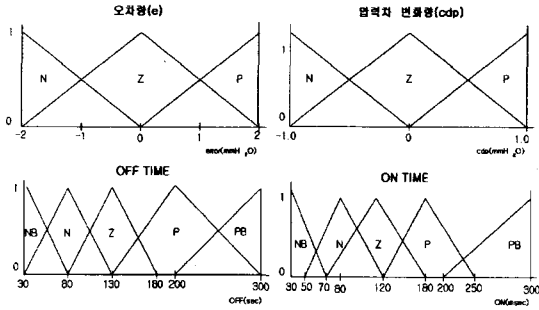


그림 2. 입·출력변수의 소속함수

### 2.2 제어규칙 및 추론

제어규칙은 ON시간, OFF시간 각각 9개씩이다. 이 규칙들은 숙련자의 경험과 여러 가지 정보를 바탕으로 만들어졌으며, 표 1.에 나타내었다.

퍼지 추론방법은 Mamdani의 Max-Min방법을 이용하였고, 출력값을 얻기 위한 비퍼지화 방법으로 무게중심법(Center of Gravity)을 사용하였다<sup>[4]</sup>.

표 1. 퍼지 제어규칙

e \ cdp	N	Z	P
N	NB	N	Z
Z	N	Z	P
P	Z	P	PB

e \ cdp	N	Z	P
N	PB	P	Z
Z	P	Z	N
P	Z	N	NB

(a) ON TIME

(b) OFF TIME

### 3. Hardware 설계 및 제작

그림 3.에 solenoid valve controller의 전체 구성도를 나타내었다.

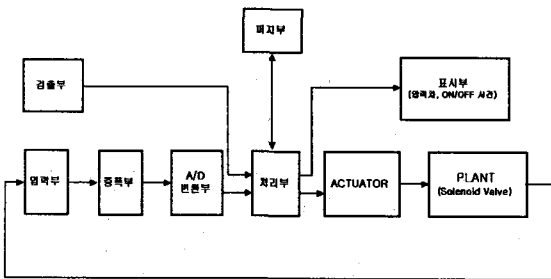


그림 3. Solenoid valve controller의 구성도

그림 3.에서 입력부는 필터의 전·후면 압력차를 측정하기 위한 부분으로 차압센서를 사용하였다. 센서로부터의 출력신호를 측정하고자 하는 압력값 범위를 맞추기 위해 op-amp를 사용하여 증폭하였고, 아날로그 신호를  $\mu$ -controller에서 인식할 수 있는 디지털 신호로 변환하기 위해 12-bit의 분해능을 가진 ICL7109를 사용하였으며, 압력차를 1 scale당 0.1mmH<sub>2</sub>O로 하였다.

검출부에서는 solenoid valve ON/OFF 동작시 외부의 영향(과전압 등)이나, 부품의 노화로 TRIAC이나 solenoid valve가 파손되는데 이것을 감지하기 위하여 변류기(CT)를 이용하여 ON 출력시 1차측의 전류 흐름으로 2차측에 유도되는 전류를 감지하여 파손여부를 판단하게 된다.

퍼지 제어 알고리즘 구현을 위해 C-언어로 시뮬레이션하여 얻은 데이터를 look-up table로 만들어  $\mu$ -controller에 탑재하였다.

처리부의 기능은 A/D 변환부와 검출부로부터의 입력을 8-bit  $\mu$ -controller (PIC16C74A)에서 연산하여 Actuator와 Display장치, 경보장치로 출력을 내보낸다. A/D 변환부로부터 입력받은 압력차를 가지고 오차량과 압력차변화량을 계산하고 퍼지부의 look-up table을 이용하여 출력신호를 actuator부분인 TRIAC으로 보내도록 하였으며 검출부로부터의 입력을 판단하여 부품이 파손된 경우에는 경보장치인 buzzer를 작동시킨다. 그리고 현재 압력차와 ON시간, OFF시간을 디스플레이장치인 FND에 표시하도록 하였다. 실제 제작한 solenoid valve controller를 그림 4.에 나타내었다.

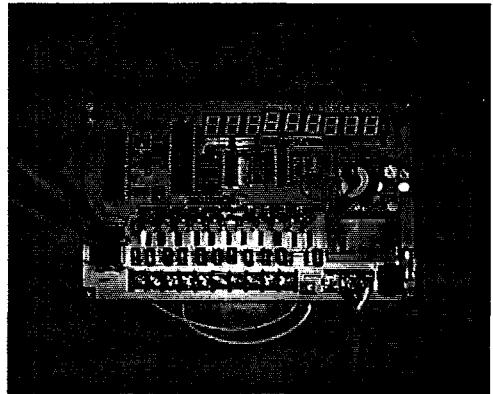


그림 4. 제작한 solenoid valve controller

### 4. 실험 및 고찰

개발된 solenoid valve controller의 성능을 평가하기 위하여 기존 제품과 비교실험 하였다. 실험에 사용된 분진은 쌀겨이고 1시간동안에 똑같은 양의 분진을 투입하여 압력차 변화량과 ON/OFF시간을 측정하였다. 기존 valve controller의 ON/OFF시간은 각각 150 msec, 15sec로 설정하였다. 실험에서 사용한 solenoid valve controller는 본 논문에서 제작한 것과 기존의 제품이며 집진장치는 현재 시중에 나와있는 제품으로 충격기류 탈진방식(pulse-jet cleaning)이다. 크기는 65 cm×67cm×188cm이고, solenoid valve는 3개, 필터는 6개가 부착되어 있어 하나의 valve로 두 개의 필터를 동시에 탈진한다. 필터에 쌓인 분진을 탈진하기 위한 압축공기를 만들어 내기 위하여 용량이 10kg/cm<sup>2</sup>인 air compressor를 사용하였으며 탈진 압력을 5kg/cm<sup>2</sup>로 하였다. 송풍기는 3마력의 AC 3상모터이고, 집진장치의 배출구에서 장치내부의 공기를 빨아들여 밖으로 배출한다.

표 2.에 실험결과를 나타내었다. 초기압력차와 최종압력차, 평균압력차는 약간의 차이가 있지만 이것은 계측오차를 감안하면 거의 같은 성능을 나타내는 것으로 볼 수 있다. ON시간도 마찬가지로 평균값과 비교했을 때 큰 차이가 없었다. OFF시간의 경우는 두 valve controller의 출력방식이 틀리기 때문에 기존 valve controller의 OFF시간을 제작한 valve controller에

서 사용한 방법에 맞게 변환하면 45sec 가 된다. 이것을 제작한 valve controller와 비교하면 기존 valve controller에 비해 두 배 이상 길어졌음을 알 수 있다. 이와 같이 OFF시간이 늘어났음에도 불구하고 압력차 변화량이 거의 동일하며 필터의 탈진횟수도 크게 줄어 들었으므로 필터의 수명이 연장될 수 있음을 알 수 있다.

압축공기를 불어넣기 위해 사용하는 air compressor의 경우 기존 valve controller에서처럼 고정된 OFF시간으로 탈진동작을 했을 경우 실험하는 동안 계속해서 작동을 하였지만, 제작한 valve controller의 경우는 look-up table의 최소 OFF시간이 길기 때문에 탈진압력을 충분히 유지할 수 있고 OFF시간동안 압력이 다 차면 작동이 멈추기 때문에 장시간 사용했을 경우 사용 전력량에서도 많은 차이가 있음을 알 수 있었다.

표 2. 실험결과

평가항목	기존 valve controller	제작한 valve controller
초기 압력차 (mmH <sub>2</sub> O)	16	15
최종 압력차 (mmH <sub>2</sub> O)	16	16
평균압력차 (mmH <sub>2</sub> O)	15.62	15.45
ON시간평균값 (msec)	150	148.94
OFF시간 평균값 (sec)	15	118.77
탈진횟수	247	93

그림 5는 기존의 valve controller에 의한 압력차 변화를 나타내며, 그림 6과 그림 7은 본 논문에서 개발한 valve controller를 가지고 실험한 결과이다. 실험결과에서처럼 압력차의 변화는 거의 같았지만, 탈진횟수에서 많은 차이가 났다.

그리고, FND에 표시되는 압력차의 정확성을 확인하기 위해 상용 디지털 압력계측기 중에서 압력범위가 0~3PSI이고  $\pm 0.1\%$  FS의 정밀도를 가진 Druck社의 DPI 705에 의한 측정값과 비교한 결과 측정된 압력차의 표시값이 서로 일치하였고, 압력차 외에 ON/OFF시간도 함께 표시함으로써 시스템의 동작상태를 한눈에 볼 수 있었다. 또한, 변류기를 이용한 이상 검출부의 성능을 평가하기 위해 solenoid valve의 출력단자를 개방시킨 후 ON출력신호를 내보내는 시험과 OFF출력신호 solenoid valve에 전압을 인위적으로 인가해 전류를 흐르게 하는 시험을 해본 결과 두 경우 모두 이상 발생 경보를 울렸으며, 이로부터 이상검출 기능도 대단히 우수함을 확인할 수 있었다.

## 5. 결론

본 논문에서는 현재 대부분의 산업현장에서 대기오염 방지를 위해 사용되고 있는 집진장치 중에서 충격기류방식의 여과포 집진장치를 효과적으로 제어, 유지하기 위한 지능제어 알고리즘을 이용하여 필터 유지보수 자동화시스템을 개발하였다.

개발된 valve controller는 필터의 막힘 정도에 따라 ON/OFF시간을 자동으로 조절함으로써, 기존 valve controller에 비해 사용이 편리하고 필터의 수명을 연장시킬 수 있으며 에너지 절약에도 큰 효과가 있을 것이다. 또한, 변류기를 사용하여 시스템 상태를 지속적으로 감시함으로써 이상발생시 사용자에게 전달, 신속한 대처를 할 수 있게 하여 시스템의 수명연장 및 효율적인 운전이 가능하도록 하였다.

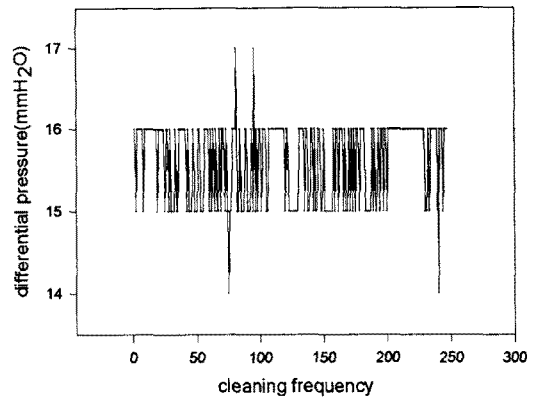


그림 5. 기존 valve controller의 압력차

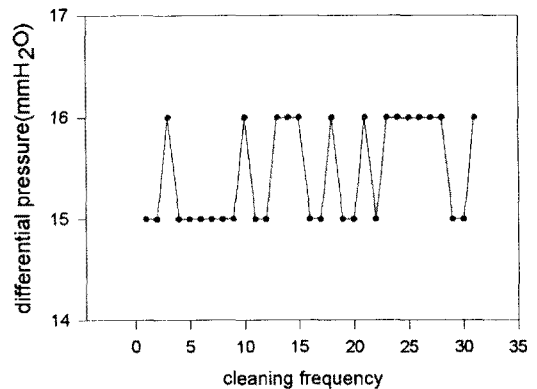


그림 6. 제작한 valve controller의 압력차

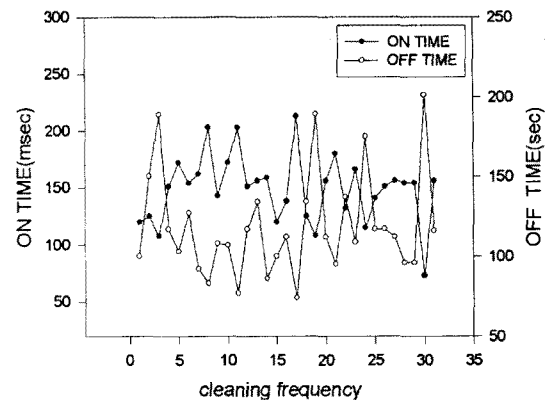


그림 7. 제작한 valve controller의 ON/OFF시간

## [참 고 문 헌]

- [1] 孫宰翼, "大氣汚染防止를 위한 粉塵制御技術 (I)", 韓國에너지技術研究所, 1992, pp.52-108
- [2] 井伊谷綱一 外, "BAG FILTER HANDBOOK", 日本粉體工業協會編, 1977, 511p
- [3] R. M. Bethea, "Air Pollution Control Technology", Van Nostrand Reinhold Co., New York, pp.154-204
- [4] 강문성, "Fuzzy 온도 제어장치 개발", 청주대학교 부설 산업과학연구소, 1997