

# 퍼지 적용 PID제어를 이용한 오일쿨러 시스템의 온도제어

김순철\*, 홍대선<sup>+</sup>, 정원지<sup>+</sup>  
(논문접수일 2004. 2. 20, 심사완료일 2004. 5. 3.)

## Temperature Control for an Oil Cooler System Using PID Control with Fuzzy Logic

Sun Chul Kim\*, Dae Sun Hong<sup>+</sup>, Won Jee Chung<sup>+</sup>

### Abstract

Recently, technical trend in machine tools is focused on enhancing of speed, accuracy and reliability. The high speed usually results in thermal displacement and structural deformation. To minimize the thermal effect, precision machine tools adopt a high precision cooling system. This study proposes a temperature control for an oil cooler system using PID control with fuzzy logic. In the cooler system, refrigerant flow rate is controlled by rotational speed of a compressor, and outlet oil temperature is selected as the control variable. The fuzzy control rules iteratively correct PID parameters to minimize the error and difference between the outlet temperature and the reference temperature. Here, ambient temperature is used as the reference one. To show the effectiveness of the proposed method, a series of experiments are conducted for an oil cooler system of machine tools, and the results are compared with the ones of a conventional PID control. The experimental results show that the proposed method has advantages of faster response and smaller overshoot.

**Key Words :** PID Control(비례-적분-미분 제어), Fuzzy Control(퍼지제어), Oil Cooler(오일냉각기)

## 1. 서론

현대식 생산시스템에서는 과거에는 생각할 수 없었던 높은 절연속 속도와 이송속도가 가공장비 내에서 빈번히 발생되어 공작물과 가공위치에서 상당한 발열이 야기되며, 또한 고속이송에 따른 안내면에서의 마찰로 발열이 구조물에

전달되어 구조물은 심하게 열변형을 일으킨다. 공작기계의 고속화 기술로 인해 구동장치 계에 열을 발생시키고, 이 발열들은 공작기계 구조물에 퍼지면서 불균일한 온도 분포를 생성시키고 공작기계 부품의 열변형을 초래하여 그 결과로 가공정밀도 및 기계 신뢰성에 큰 저해요인이 되고 있다<sup>(1)</sup>.

\* 경남정보대학 전자정보계열 (kschul@kit.ac.kr)  
주소: 617-701 부산시 사상구 주례2동 167번지  
<sup>+</sup> 창원대학교 기계설계공학과

이와 같은 동작기계 내에서 불규칙한 발열을 억제하기 위한 방법으로 동작기계의 고속운동부위인 주축과 볼 스크루, 그리고 가이드 웨이(guide way)등의 냉각을 위한 오일쿨러의 부하가 요구된다. 일반적으로 동작기계의 냉각은 주축에서 발열량의 변화에 관계없이 오일탱크의 일정한 저온오일을 주축에 공급함으로써 주축의 온도를 어느 범위 내에서 유지하는 방법을 현장에서 사용하고 있다. 그러나 이러한 냉각방법은 주축의 온도를 일정하게 유지하지 못하고 주축의 부하조건에 따라서 온도가 상승 또는 하강하여 구조물의 열변형이 발생하는 문제점이 있다. 동작기계 주축은 운전조건에 따라 발열이 급격하게 변화되기 때문에 이에 따른 냉각오일의 온도를 최적상태로 조절하여 주축을 통과하는 냉각오일이 발열상황에 따라 능동적으로 냉각될 수 있는 온도 제어가 매우 중요한 요소라 할 수 있다<sup>(2)</sup>. 기존의 동작기계 냉각용 오일쿨러(oil cooler)에 적용되어왔던 제어방식은 온 오프(on-off)방식으로 운전되는 단속운전 오일쿨러가 대부분이다<sup>(2)</sup>. 이는 시간에 따라 연속적으로 변하는 부하에 적절히 대응하지 못하며, 반복되는 시동 및 정지 운전으로 인한 소비전력의 증가 및 전자부품의 고장으로 운전비용을 가중시킨다. 따라서 동작기계 내의 발열을 억제하기 위한 방법으로 오일쿨러 압축기의 가변속 제어가 필요하다. 현재 국내에서도 가 변속 냉방 및 냉동장치 시스템의 압축기 회전속도 변화에 따른 용량조절 특성에 대한 연구와 전자팽창밸브의 성능 및 특성에 관한 연구<sup>(3)</sup> 등이 활발히 진행되고 있다. 그러나 동작기계용 오일쿨러 시스템에 대한 연구는 미약한 실정으로, 현재 오일쿨러 시스템의 제어방식은 온 오프(on-off)제어와 PID제어방식으로 냉각유의 온도를 제어하고 있다. 그러나 이 방식들은 오일의 온도특성으로 응답성이 늦고, 오버슛으로 인해 안정화 시간이 오래 걸린다. 본 연구에서는 동작기계 냉각장치인 오일쿨러 시스템의 냉각유 오일온도를 제어하기 위해 비례이득, 적분이득 대한 퍼지 제어규칙(fuzzy control rule)을 다르게 설계함으로써, 실시간으로 제어상수를 교정하는 퍼지 로직 적용 비례-적분-미분(PID)제어기를 제안한다. 또한 오일쿨러의 제어성능을 개선하기 위해 총 냉매유량은 인버터를 이용한 가 변속 밀폐형 압축기를 이용하여 조절하고, 전자팽창밸브의 개도에 따라 증발기로 유입되는 공급냉매의 유량을 제어하여 동작기계 주축 냉각유인 2차 유체 냉각기의 출구온도편차의 감소와 설정온도에 대한 응답성을 단축하고자 한다. 본 연구에서 제안한 퍼지온도 제어기를 이용하여 실제 산업용 오일 냉각기를 대상으로 온도제어실험을 수행하고, 실험한 결과 본 연구에서 제안하는 방법이 Ziegler- Nichols PID 튜닝법

을 사용한 PID제어보다 응답성이 빠르고 정상상태에서 안정된 제어가 이루어지는 것을 알 수 있었다.

## 2. 오일쿨러 제어시스템

### 2.1 실험장치

오일쿨러 시스템은 기본적으로 압축식 냉방장치의 구조와 동일하며 본 연구에서 수행한 동작기계용 오일쿨러와 제어 시스템의 개략도를 Fig. 1에 나타낸다. Fig. 1에 나타나 있듯이 오일쿨러 시스템의 동작사이클은 저압의 기상냉매를 압축하여 고온, 고압상태의 기체로 만드는 압축기(compressor), 이 기체를 냉각시켜 고압의 액체로 만드는 응축기(condenser), 압력을 떨어뜨려 저온, 저압의 냉매로 만드는 팽창밸브(expansion valve), 열을 다시 흡수시켜 저압의 기체로 만드는 증발기(evaporator)로 이루어진다.

본 연구에서는 동작기계 대신 2차 유체 즉 동작기계 냉각유의 온도조절을 위한 발열장치로 1kW 전기가열기를 제작하여 사용하였고, Fig. 2는 동작기계 냉각유의 오일 순환회로와 발열장치의 구성도이다.

실험장치에 사용된 압축기는 회전수의 변화가 가능하고, 저 진동, 고 압축비인 밀폐식 로터리 타입으로 압축기 구동을 위한 전동기는 3상 유도 전동기를 사용한다. 인버터는 전원단자대와 제어단자대로 구성되어 있으며, 1.5kW의 용량을 가진다. 사용한 모터는 1,750rpm, 1마력 정격출력이며, 인버터 제어전압은 0~10V이다. 열 교환기의 관은 내경 9.6mm, 외경 11mm로 제작되었다.

응축기의 직관부 사이에는 U자 모양의 동관 이음새로 연결하고, 증발기는 동관의 바깥부분에 나선형 구조로 제작을

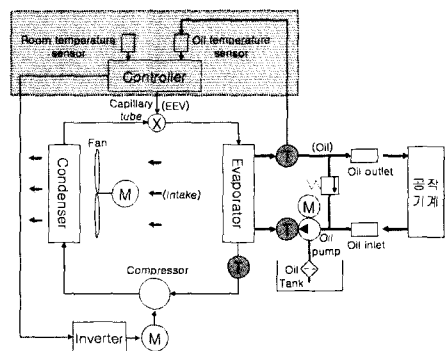


Fig. 1 A schematic diagram for oil cooler system and controller

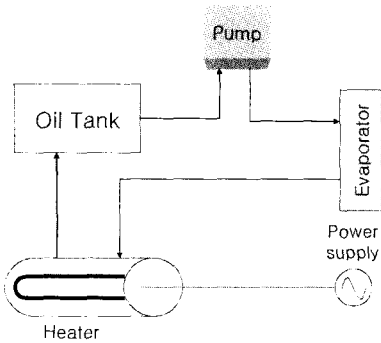


Fig. 2 A schematic diagram for cooling oil cycle

한다. 공작기계의 발열에 의한 오일온도를 제어하기 위해서는 가 변속 압축기 이외에 유량을 조절할 수 있는 장치가 필요하다. 팽창장치로 모세관을 사용한다면 저렴하다는 이 점은 있지만 모세관의 경우에 용량을 조절하기가 힘든 단점이 있다. 본 연구에서는 실험조건에 따라 유량과 압력의 제어가 용이한 팽창밸브장치(expansion valve device)를 사용한다.

## 2.2 실험방법

본 실험에서는 실험조건에 따라 유량과 압력의 제어가 용이한 미터링 밸브를 팽창밸브장치로 사용하였고, 마이크로 프로세서를 이용해서 자동으로 개도 조절이 가능하도록 스테핑 모터를 부착하였다. 50ms의 주기를 스테핑 모터 구동용 회로에 인가하여 원하는 시간동안 컴퓨터 프로그램에서 지속시간(time duration)을 주면 원하는 펄스 개수가 출력되어 스테핑 모터가 필요한 만큼 회전하도록 한다. 가변속 모터를 PC로 제어하기 위해, PC에서 출력되는 신호를 디지털-아날로그(digital-analog)변환기를 이용하여 직류전압으로 변환하고, 인버터의 입력으로 주어 압축기의 회전수를 제어할 수 있도록 한다. 오일의 온도를 측정하기 위해서 밀봉된 T형 관을 사용하여 오일쿨러의 2차유체인 냉각오일의 입구 및 출구, 외기 온도를 측정한다. 측정된 온도의 데이터는 모두 전압형태의 신호로 바꾸기 위해 변환기 회로를 거친 후 인터페이스 보드를 통해 컴퓨터로 전달된다. 측정된 오일의 출구온도는 제어프로그램에 의해 연산되어 인터페이스 보드를 통해 오일쿨러의 압축기 및 팽창밸브로 제어신호를 보내 인버터 및 스테핑 모터를 제어하게 된다.

## 3. 제어기 설계

### 3.1 PID 제어기 설계

PID제어기는 적용이 간편하고 안정성이 우수하여 공정 제어에서 전통적으로 많이 사용되는 방법으로 공조기거나 열 시스템에도 많이 사용되고 있다<sup>(3,4)</sup>. PID제어기에서 적분제어요소는 정상상태응답을 개선시키는 역할을 한다. 그리고 미분제어요소는 오차신호의 크기가 커지기 전에 오차신호의 변화율에 비례하는 제어 입력량을 계산하여 제어하므로 시스템의 안정도를 증가시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 미분제어요소는 정상상태응답에 직접적으로 영향을 주지는 못하지만, 시스템의 감쇠효과를 주기 때문에 시스템 계인을 증가시킬 수 있게 되어 그 결과 정상상태 응답특성을 향상시키는 효과도 있다. PID제어방법에는 속도형태(velocity type)와 위치형태(position type)가 있는데, 위치형태로 표시된 식은 다음과 같다<sup>(4)</sup>.

$$u(t) = K_p [e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d e'(t)] \quad (1)$$

$$U_k = K_p e_k + K_i \sum e_k \Delta t + K_d \frac{\Delta e_k}{\Delta t} \quad (2)$$

$$U_{k-1} = K_p e_{k-1} + K_i \sum e_{k-1} \Delta t + K_d \frac{\Delta e_{k-1}}{\Delta t} \quad (3)$$

여기서  $U_k$ 와  $e_k$ 는 각각  $k$  순간에서의 제어기의 출력과 오차를 나타내며,  $K_p, K_i, K_d$ 는 PID제어기의 파라미터를 나타내는 비례, 적분, 미분상수이다. 시스템으로의 입력값( $U_k$ )을 보내 줄 때는 오차를 다음 식과 같이 적분과 미분항을 차분화된 형태로 고친 속도형태의 식을 사용한다<sup>(4)</sup>. 본 연구에서 오일쿨러의 냉매유량을 조절하기 위해 사용한 PID 제어기의 개념도를 Fig. 3에 나타내었다.

$$U_k = K_p (e_k - e_{k-1}) + K_i e_k T_s + \frac{K_d}{T_s} (e_k - 2e_{k-1} + e_{k-2}) \quad (4)$$

이때  $T_s$ 는 지연시간으로서 식 (3)과 (4)에서  $\Delta t$ 에 해당한다.

실험시 PID제어기를 프로그램으로 구현할 때  $\Delta t$ 는 제어기 상에서 한번 출력을 내보내는 주기인 샘플링 시간(Sampling time)으로서 본 실험에서는 40ms의 값을 가진다.

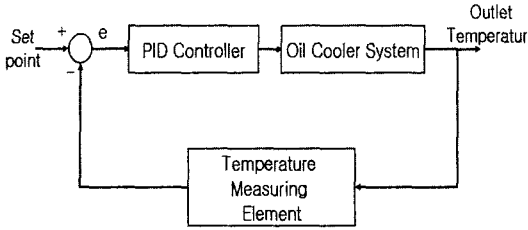


Fig. 3 Block diagram of compressor speed control

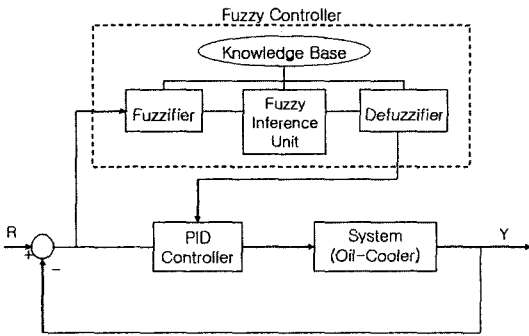


Fig. 4 Block diagram of the PID controller with fuzzy logic

### 3. 2 퍼지로직 적용 비례-적분-미분(PID) 제어기 설계

PID제어기가 갖는 중요한 문제점은 운전 중 제어대상 특성이 변할 경우와 운전자가 PID 파라미터 조정에 익숙하지 못할 경우 등 많은 경우에 만족할 만한 제어성능을 얻을 수 없다는 사실이다. 본 연구에서는 제어대상 특성변화 및 부하 외란에 대해 적응성을 갖도록 PID제어기의 파라미터를 실시간으로 교정하는 퍼지 로직 적용 PID제어기를 설계하여 실험한다. 퍼지로직 적용 PID제어기의 개념도는 Fig. 4에 나타낸다. Fig. 4에서와 같이 퍼지제어 과정은 크게 퍼지화, 퍼지추론, 비퍼지화의 세부분으로 나눌 수 있다.

퍼지제어는 퍼지화를 통해 제어시스템에서 측정된 크리스프(crisp)한 입력 값인 냉각유 온도오차와 오차변화율을 각각의 언어값과 소속함수로 바꾸어 주고 퍼지추론을 수행하여 결과를 추론하며 이를 비퍼지화하여 다시 크리스프한 값으로 전환시킨다. PID와 같은 기존제어기와 비교할 때 퍼지제어는 숙련자의 경험적 지식과 조작행위를 모델링하여 각각의 상황에 따라 자체적으로 제어규칙을 작성하기 때문에 기존의 제어알고리즘으로 분석하기에 복잡한 시스템의 경우나 시스템에 대한 정보가 정성적인 경우에 적합하다. 또한 근사 추론과정이 필요하고 제어기가 복잡한 반면,

제어규칙의 변경이 용이하고 강인(robust)한 특성이 있다<sup>(5)</sup>. PID제어기의 성능을 높이기 위한 제어기에는 자기동조 퍼지-PID제어기, 병렬구조 PID퍼지제어기, 퍼지감독 PID 제어기가 있다. 자기동조 퍼지-PID제어기법은 퍼지-PI 혹은 퍼지-PD 제어기에 대한 규칙과 제어기 출력의 증가 분에 곱해지는 이득(increment gain)에 대한 규칙이 따로 있어서 구현하기가 복잡하며 외란에 대한 설정치(set point)의 추종성이 상대적으로 떨어지는 단점이 있다. 병렬구조 PID퍼지 제어기는 오차와 오차 변화량의 값에 따라서 퍼지 제어기와 PID제어기를 교대로 사용하는 제어기로서 오차가 적을 때는 PID를 쓰므로 기존의 PID제어 결과와 큰 차이가 없다<sup>(5,6)</sup>. 퍼지감독(fuzzy supervisor) PID제어기는 제어기의 전체구조를 식(1)과 같이 두고 제어기의 이득들을 퍼지감독에 의해 증감시키는 제어기로서 PID제어기보다 설정치 추종성이 향상되는 장점이 있다. 본 연구에서는 Tzafestas<sup>(8)</sup>가 제안한 퍼지감독 PID제어 알고리즘을 도입해서 오일쿨러 압축기 제어를 통해 2차유체 출구온도를 최적으로 제어하도록 설계하였다.

Tzafestas는 Macvicar-Whelan<sup>(6)</sup>의 논리를 이용하여 직접적인 퍼지제어 방식인 퍼지제어 행렬을 PID제어기의 이득들을 조절하는데 이용하였다. 즉 오버슈트(overshoot)이 발생했을 때는 적분이득을 조금 줄이고 정상상태에서 미세한 진동이 발생했을 때는 미분이득(derivative gain)을 조금 증가시킨다. 오버슈트의 진폭이 클 때는 비례이득(proportional gain)을 감소시킴으로써 과도 상태(transient state)에서의 시스템 응답특성을 향상시킬 수 있음을 보였다<sup>(6,7,9)</sup>. 그러나 하나의 퍼지 제어행렬로 세 개의 이득을 변화시킴으로써 오버슈트가 일어나는 경우에 빨리 수렴할 수 없는 단점을 가지고 있다. 본 연구에서는 이러한 단점을 해결하기 위하여 비례이득, 적분이득 대한 퍼지 제어규칙(fuzzy control rule)을 다르게 설계한다. 퍼지입력으로는 설정온도와 차이 값인 오차(error)와 오차변화율을 사용한다. 2차 유체인 냉각유의 시정수가 크기 때문에 열을 가하고 반응하는데 걸리는 시간이 길다. 따라서 2차 유체 출구온도의 오차 폭과 오차 변화율이 클 때는 비례이득과 적분이득을 함께 증가시키고, 오차변화가 작을 때는 비례이득과 적분이득을 함께 감소시킨다. 오버슈트가 발생한 영역에는 적분이득을 감소시킴으로써 출력이 빨리 수렴할 수 있게 한다. 퍼지로직을 이용한 비례-적분-미분(PID) 제어에서는 각 경우의 오차(error)와 미분오차(derivative error)에 따라 퍼지추론을 통해  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ 가 얻어진다. 따라서 실시간으로 비례-적분-미분

(PID) 제어기의 제어상수  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  값을 갱신하며 제어를 수행한다. Fig. 5에는 압축기 제어를 위해 2차 유체 인 출구오일의 온도오차 소속도 함수를, Fig. 6에는 압축기 제어를 위한 출구오일의 온도오차변화율에 대한 소속도 함수를 나타내었다. 이때 오차와 오차변화율의 식은 다음과 같다.

$$e_k = T_{reference} - T_{measured} \quad (5)$$

$$\Delta e_k = e_k - e_{k-1} \quad (6)$$

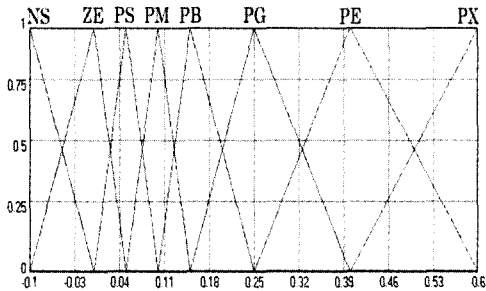


Fig. 5 Membership function for  $e_k$  of outlet temperature

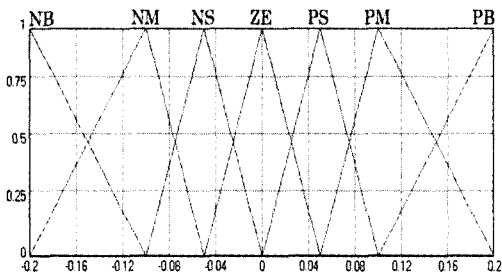


Fig. 6 Membership function for  $\Delta e_k$  of outlet temperature

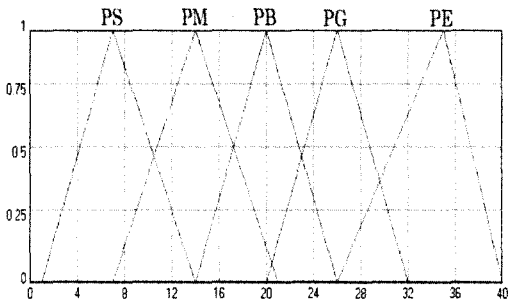


Fig. 7 Membership function for  $K_p$

여기서  $e_k$ 는 냉각유의 기준온도와 출구에서 측정된 냉각유온도의 오차이다.  $\Delta e_k$ 는 오차변화율을 나타낸다.

얻어진 소속함수를 이용하여 퍼지추론의 결과를 비퍼지화 하였으며 비퍼지화 방법은 무게중심법을 사용하였다. 그리고  $K_p$ ,  $K_i$ 의 퍼지제어 규칙을 Table 1과 Table 2에 나타내며, Fig. 7은  $K_p$ 값에 대한 퍼지제어 규칙을 Fig. 8은  $K_i$ 에 대한 퍼지제어 규칙을 나타낸다.

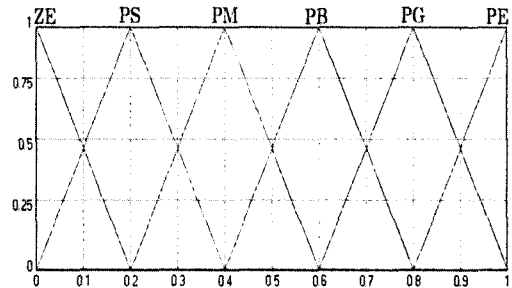


Fig. 8 Membership function for  $K_i$

Table 1 Fuzzy control rule of  $K_p$

Kp		Parameter(E)							
		NS	ZE	PS	PM	PB	PG	PE	PX
Parameter ( $\Delta E$ )	NB	PS	PS	PS	PS	PM	PB	PG	PE
	NM	PS	PS	PS	PM	PB	PG	PE	PE
	NS	PS	PS	PM	PB	PG	PE	PE	PE
	ZE	PS	PM	PB	PG	PE	PE	PE	PE
	PS	PB	PB	PE	PE	PE	PE	PE	PE
	PM	PG	PE	PE	PE	PE	PE	PE	PE
	PB	PE	PE	PE	PE	PE	PE	PE	PE

Table 2 Fuzzy control rule of  $K_i$

Ki		Parameter(E)							
		NS	ZE	PS	PM	PB	PG	PE	PX
Parameter ( $\Delta E$ )	NB	ZE	ZE	ZE	PM	PB	PG	PG	PE
	NM	ZE	ZE	PS	PB	PG	PG	PE	PE
	NS	ZE	PS	PB	PG	PG	PE	PE	PE
	ZE	PS	PB	PG	PG	PE	PE	PE	PE
	PS	PM	PG	PG	PE	PE	PE	PE	PE
	PM	PG	PE	PE	PE	PE	PE	PE	PE
	PB	PE	PE	PE	PE	PE	PE	PE	PE

#### 4. 실험결과 및 고찰

제안된 퍼지로지 적용 PID제어기 성능을 검증하기 위하여 공작기계용 오일쿨러 시스템에 적용하여 실험을 수행하였다. 실험에서는 직접적으로 제어하고자 하는 2차 유체 출구온도를 압축기의 제어변수로 정하고 팽창밸브는 부하의 증가에 따라 높아지는 압축기의 속도에 비례하여 개도를 증가시켜 유량을 조절하였다. Fig. 9는 외부 히터에서 1kW로 오일을 지속적으로 가열했을 때 2차 유체인 오일의 입구, 출구온도를 나타낸 것이다. 시간이 경과하면서 두 곡선의 온도차의 증가는 냉각능력이 커지고 있음을 알 수 있고, 히터의 전원을 차단한 상태에서는 역으로 온도차이가 감소하고 있음을 알 수 있다. 현재 현장에서 사용되고 있는 오일쿨러의 오일온도 제어 방법은 기준이 되는 온도를 정해놓고 기준온도 보다 높아지면 즉 오차가 발생하면 오일쿨러의 압

축기를 가동시켜 2차 유체인 오일을 냉각시키고 기준온도와 같거나 낮으면 냉각기의 압축기를 정지시켜 오일만 순환시키는 온 오프(on-off)제어방법이다. Fig. 10은 기준온도를 28°로 결정하고, 초기 오일온도는 31°에서 시작하여 지속적인 발열상태를 유지한 채 온 오프(on-off)제어실험을 수행한 후 실시간으로 저장된 결과를 나타낸 것이다. Fig. 10에서 볼 수 있듯이 기준온도에 도달시간은 600sec이며 기준온도보다  $\pm 0.5^\circ$ 편차를 보이며, 기준온도에 도달 후부터는 설정온도보다  $-0.4^\circ$  이하의 온도여 편차를 보인다. Fig. 11은 PID제어를 통해 기준온도 28°에 대해 실험을 수행한 후 결과를 나타낸 것이다. 기준온도에 도달시간은 450sec이며 기준온도보다  $\pm 0.35^\circ$ 편차를 보인다. Fig. 12는 온 오프제어 및 PID제어와 동일한 조건에서 퍼지적용 PID제어를 통해 기준온도 28°에 대해 실험을 수행한 후 실시간으로 저장된 출구온도 오차결과를 나타낸 것이다. 실험결과

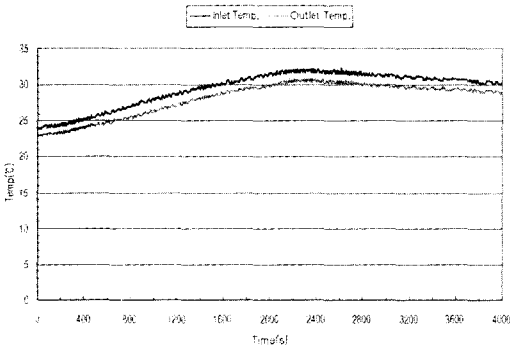


Fig. 9 Variation of inlet and outlet oil temperature when heater is on

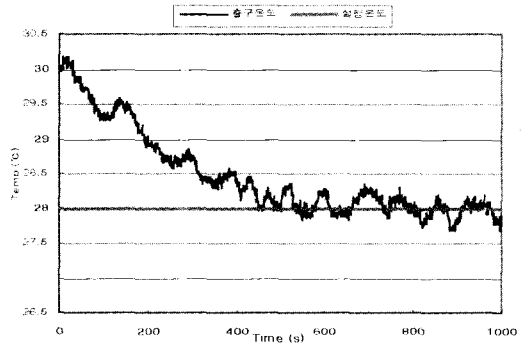


Fig. 11 Outlet oil temperature using a PID control

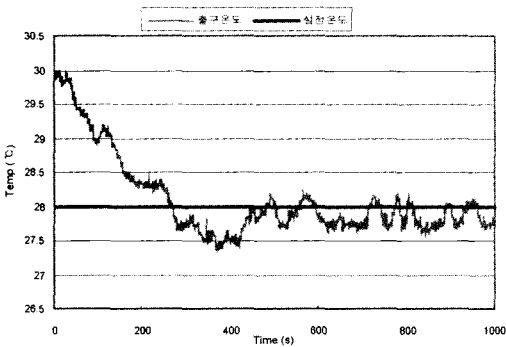


Fig. 10 Outlet oil temperature using an on-off control

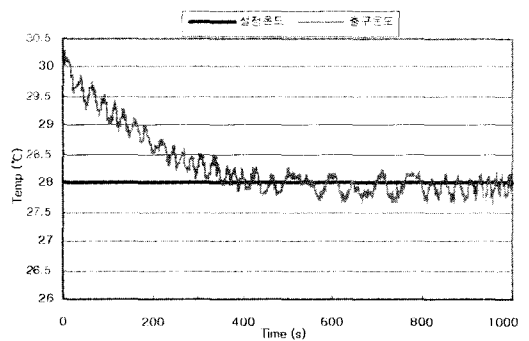


Fig. 12 Outlet oil temperature using a PID control with fuzzy-logic

를 살펴보면 설정온도에 도달시간은 400sec이며, 기준온도에서 온도오차는  $\pm 0.2^{\circ}$ 로 오버슈트가 적고 안정적인 제어 성능을 보이고 있다. Fig. 13은 온 오프제어 및 PID제어, 퍼지 적용 PID제어에 대한 냉각성능을 출구오일의 온도오차 형태로 나타내었다. Fig. 13에서 볼 수 있듯이 본 연구에서 제안된 퍼지적용 PID제어가 가장 빠른 응답특성과 정상상태에서 오버슈트가 없는 안정적인 제어가 이루어지고 있는 것을 볼 수 있었다.

Fig. 14는 온 오프(on-off)제어시 제어기의 출력신호에 대한 인버터 동작상태를 나타낸 것이다. Fig. 14에서처럼 오일의 출구온도오차에 따라 인버터의 출력은 온 오프(on-off)동작을 반복하는 것을 알 수 있다. 이는 연속적으로 변하는 부하에 적절히 대응하지 못하고 시동 및 정지운전으로 인한 소비전력증가와 전자부품의 고장원인이 된다. Fig. 15는 퍼지적용 PID제어를 통해 압축기 구동 인버터제어에 대한 동작출력전압을 나타낸다. Fig. 15에서 볼 수 있듯이 설정온도에 도달한 후부터는 인버터동작은 지속적으로

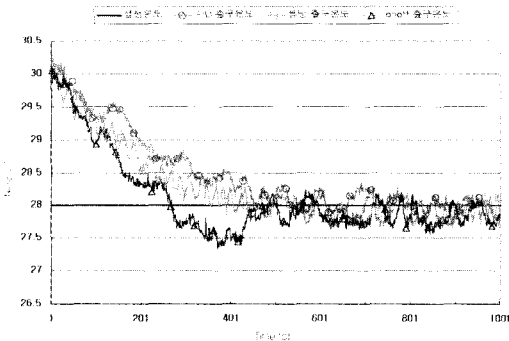


Fig. 13 Comparison of Outlet oil temperature among using three control methods

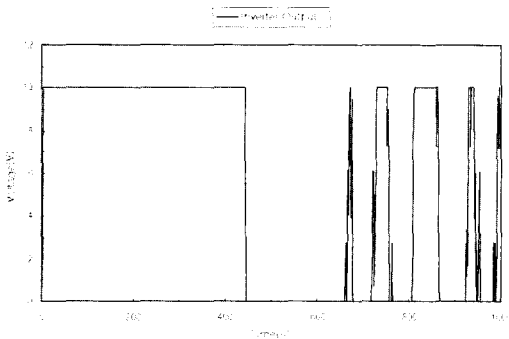


Fig. 14 Inverter output voltage using an on-off control

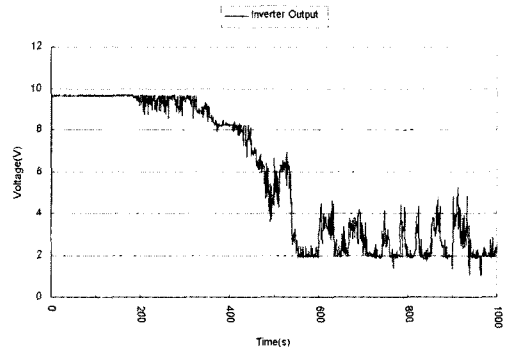


Fig. 15 Inverter output voltage using a PID control with fuzzy-logic

전되는 것을 볼 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 공작기계 냉각장치인 오일쿨러 시스템의 냉각유 오일 온도제어를 위한 퍼지적용 PID제어 알고리즘을 제시하고 오일쿨러의 특성과 제어성능을 실험적으로 고찰하였다. 본 연구에서는 기존의 PID제어방식보다 강한 퍼지로직을 이용하여 PID제어기의 제어상수를 실시간으로 변화시키는 퍼지적용 PID제어를 이용하여 오일쿨러의 2차 유체인 냉각유의 온도제어를 수행하였다. 본 연구에서 제안된 퍼지적용 PID제어는 각각의 비례이득, 적분이득에 대한 퍼지 제어규칙을 다르게 설계하여 2차 유체인 오일의 출구온도를 제어한 결과 고정된 제어상수를 갖는 PID제어와 비교해 볼 때 빠른 응답특성과 정상상태에서 오버슈트가 없는 안정적인 제어결과를 나타내었고, 정상상태에서의 온도평균오차는  $0.2^{\circ}\text{C}$ 로 31%정도 개선된 것을 볼 수 있어 제어성능이 우수한 제어기임을 입증하였다. 모터의 가변속 운전으로 종래의 오일쿨러 제어방식인 온 오프(on-off)제어와 퍼지로직을 이용한 PID제어기와 비교해 볼 때 에너지 소비를 줄일 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서 제안한 퍼지 적용 PID제어방법은 공작기계의 고속화 및 초정밀가공에 사용할 수 있는 고정온도 제어용 오일쿨러 시스템에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

## 후 기

본 논문은 한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술

연구센터의 지원에 의한 것입니다.

## 참 고 문 헌

- (1) Lim, Y. C., and Kim, J. K., 2002, "A study on thermal specific of operational spindle system of machine tool," *Proceedings of KSMTE*, Fall Conference, pp. 498~503.
- (2) Lee, J. J., Choi, D. B., Park, H. K., and Kwak, S. J., 2001, "Characteristics Analysis and Compensation of Thermal Deformation for Machine Tools with respect to Operating Conditions," *Transactions of KSMTE*, Vol. 10, No. 4, pp. 70~75.
- (3) Kim, K. H., and Han, D. Y., 2000, "Fuzzy Defrost Control of the Multi-Type Heat Pump System," *Korean J. Air-Cond. Ref. Eng.*, Vol. 12, No. 8, pp. 711~716.
- (4) Jung, D. S., Kim, M. C., Kim, M. S., and Lee, W. Y., 2000, "Capacity Modulation of a Multi-Type Heat Pump System Using PID Control," *Korean J. Air-Cond. Ref. Eng.*, Vol. 10, No. 5, pp. 466~475.
- (5) Ketata, R., De Geest, D., and Titli, A., 1955, "Fuzzy controller design, evaluation, parallel and hierarchical combination with a PID controller," *FUZZY Sets and Systems*, vol. 71, pp. 113~129.
- (6) Macvicar-Whelan, P. J., 1976, "Fuzzy sets for the man-machine interaction," *Journal of Man-Machine Studies*, vol. 8, pp. 687~697.
- (7) Kim, J. W., and Kim, S. W., 2000, "Design of Fuzzy-PI controllers for the gas turbine system," *Journal of Control, Automation and Systems Engineering*, Vol. 6, No. 11.
- (8) Tzafestas, S., 1990, "Incremental fuzzy expert PID control," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 37, No. 5.
- (9) Wang, L.-X., 1997, *A Course in fuzzy systems and control*, Prentice Hall.
- (10) Huang, S., and Nelson, R. M., 1994, "Rule development and adjustment strategies of a Fuzzy logic controller for an HVAC system part two-experiment," *ASHRAE Trans.*, Vol. 100, Pt.1, pp. 851~856.