

# 퍼지제어를 이용한 공작 기계용 오일 쿨러의 핫가스 바이패스방식 정밀 온도 제어에 관한 연구

## A Study on a Precision Temperature Control of Oil Coolers with Hot-gas Bypass Manner for Machine Tools Based on Fuzzy Control

이 상 윤\*  
Sang-Yun Lee\*

### 요 약

최근 공작기계 분야에서 가공속도와 가공정밀도 같은 시스템 성능이 한층 요구되고 있다. 특히 가공속도가 증가함에 따라 공작기계와 수가공 분야의 공작물 가공 부위에 유해한 열 발생을 초래하게 된다. 이 열은 가공 정밀도를 저하시키는 주된 원인으로 작용한다. 따라서 온도를 제어하는 오일쿨러는 공작기계에서 필수적이다. 일반적으로 두 가지 대표적인 제어기법인 핫가스 바이패스방식과 압축기 가변속 제어 방식이 오일쿨러에 채택 되었다. 본 논문에서는 공작기계에 사용하는 핫가스 바이패스 오일쿨러의 정밀한 온도특성을 얻기 위한 퍼지 제어기의 설계와 구현 방법을 다룬다. 출구 오일온도를 설정값과 실내온도로 잘 유지하도록 전자팽창밸브의 개도 각도를 제어하였다. 특히, 퍼지 제어기는 갑작스러운 외란에 의한 온도변화를 억제하는 기능을 포함하고 있다. 몇 가지 실험을 통하여 제안한 방법으로 목표 온도를  $\pm 0.22^{\circ}\text{C}$  정상상태 오차 이내로 제어할 수 있었다.

### ABSTRACT

Recently, the needs of system performances such as working speed and processing accuracy in machine tools have been increased. Especially, the working speed increment generates harmful heat at both moving part of the machine tools and handicrafts. The heat is a main drawback to progress accuracy of the processing. Hence, a oil cooler to control temperature is inevitable for the machine tools. In general, two representative control schemes, hot-gas bypass and variable speed control of a compressor, have been adopted in the oil cooler system. This paper deals with design and implementation method of fuzzy controller for obtaining precise temperature characteristic of HB oil cooler system in machine tools. The opening angle of an electronic expansion valve are controlled to keep reference value and room temperature of temperature at oil outlet. Especially, the fuzzy controller is added to suppress temperature fluctuation under abrupt disturbances. Through some experiments, the suggested method can control the target temperature within steady state error of  $\pm 0.22^{\circ}\text{C}$ .

**Keywords** : Machine tool, Oil cooler, Compressor variable speed control, PID control, Compressor, Hot-gas bypass, Electronic expansion valve

### I. 서 론

생산 공정이 점차 고속화, 자동화, 인공지능화가 되어가고 있는 현실에서 최근의 공작기계는 고속화, 고정밀화, 고기능화가 요구되고 있다. 이에 따라 공작기계에서의 가공시간 및 가공공정을 단축하기 위한 기술개발이 활발하게 이루어지고 있다. 이러한 연구개발의 결과로 현재 국제시장에서 요구되는 공작기계 고속화기술의

범위는 주축속도 20,000rpm이상, 그리고 이송속도 120m/min 이상으로 되어 있다. 그러나 이러한 공작기계의 고속화는 필연적으로 구동장치 계에 열을 발생 시키고, 이 열은 공작기계부품의 열 변형을 초래하여 그 결과로 가동 정밀도 및 기계 신뢰성에 큰 저해 요인 되고 있다. 따라서 최근의 공작기계는 고속운동부위인 주축과 볼 스크루(ball screw) 그리고 안내면(guide way)등의 냉각을 위한 오일쿨러(oil cooler)의 부착이 보편적으로 이루어지고 있다.[1]

오일쿨러에 가장 널리 사용되고 있는 제어는 압축기의 on/off (릴레이) 제어 방식이다.[2][3] 이 방식은 정교한 온도 제어가 어렵고, 빈번한 기동 및 정지 동작으로 소비전력이 증가하며, 압축기의

\* 경남대학교

투고 일자 : 2013. 7. 3 수정완료일자 : 2013. 7. 30

게재확정일자 : 2013. 8. 1

수명이 단축되는 단점이 있다. 보다 정밀한 온도 제어 방식으로는 핫가스 바이패스(hot-gas bypass; HB) 방식과 압축기 가변속 제어 방식이 있다.[2][3] 기존 오일쿨러에 비해 압축기 가변속 제어 방식 오일쿨러는 부하변동에 따라 어느 정도 용량을 맞추어 운전할 수 있다. 그리고 정밀제어 실현이 가능하나, 경부하시에는 개폐 운전과 유사하게 작동하는 특성이 있으며, 고온에서 제어성능이 다소 떨어진다. 초기 가동시 워밍업 시간이 긴 단점이 있어서 가격 대비 고객의 만족도가 떨어지는 것으로 보고되고 있다. 이러한 단점을 보완하여 정밀하게 온도를 제어하기 위해서는 기본 냉각 기능 이외에 과냉각된 오일을 가열하는 기능이 추가되어야 한다. 오일이 일정온도가 되도록 가열하는 기능에서는 가변속 제어가 다소 취약하다. 이러한 압축기 가변속 제어형 오일쿨러의 단점을 보완하여 보다 정밀한 온도제어를 가능하게 하면서 에너지를 절감할 수 있는 방법으로 HB 방식의 오일쿨러가 제안 되고 있다.[1]

오일쿨러의 압축기 회전수나 팽창밸브를 제어하기 위한 제어 알고리즘으로는 간단하면서도 효과가 좋은 특성을 가지고 있어서 산업공정, 산업현장제어에서 가장 널리 사용되고 있는 PID(Proportional-Integral-Derivative) 제어방식을 일반적으로 도입한다. 그러나 PID제어가 시간지연이 큰 시스템에 적합하지 못하다는 점과, 각각의 제어가 각 영역간의 상호 작용을 고려하지 못하고 있다는 점 등으로 인하여, 효율적인 온도제어가 이루어지지 않고 있다.[1]

시스템의 특성이 시간에 따라 변화하는 경우 PID 제어에서는 때때로 파라미터의 재조정을 해야 하지만, 퍼지제어는 그럴 필요가 없다.

본 연구에서는 HB 방식 오일쿨러의 전자팽창밸브(Electronic Expansion Valve; EEV) 제어에 퍼지제어 기법을 사용함으로써, 기존의 온도제어 시스템이 갖는 문제점을 극복하고자 한다. 그리고 퍼지제어의 유효성을 실험으로 확인하였다. 퍼지제어 방식은 실제적인 제어를 위해 공정의 세세한 부분까지 표현할 수 있는 상세 모델이 필요 없다.

## II. 핫가스 바이패스 방식 오일쿨러의 동작원리

오일쿨러의 사이클은 저압의 기상 냉매를 압축하여 고온, 고압 상태의 기체로 만드는 압축기(compressor)가 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. 오일쿨러 시스템은 기본적으로 압축식 냉방장치의 구조와 동일하며 기본 구성요소를 그림 1에 나타내었다.[1][4]

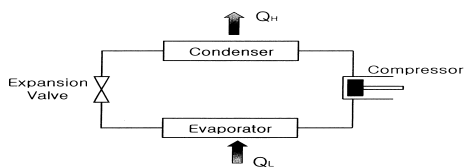


그림 1. 압축식 냉방장치의 구조  
Fig. 1. Schematic diagram of compression refrigeration

그림 2와 같이 정속으로 작동하는 압축기가 적용된 오일쿨러는 부하의 변화에 맞추려면, 필요 이상의 큰 용량으로 설계 되어야 하나, 그림3과 같이 압축기를 가 변속하거나 EEV를 사용하면 오일쿨러는 높은 부하에서 압축기의 회전속도를 증가시켜거나 EEV의 개도 각도를 조절함으로써 냉각능력을 보상한다. 또한 부하가 감소 하였을 때에는 저속으로 운전을 하기 때문에 개폐운전(on/off control)에 비해 에너지 절감 효과를 얻을 수 있고, 정밀 온도제어가 가능하다.

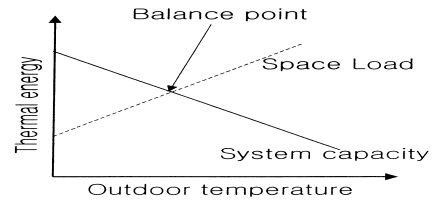


그림 2. 정속으로 작동하는 압축기의 외부 온도에 대한 부하와 용량 사이의 관계  
Fig. 2. Space load and system capacity vs. outdoor temperature of compressor that operate with the fixed speed

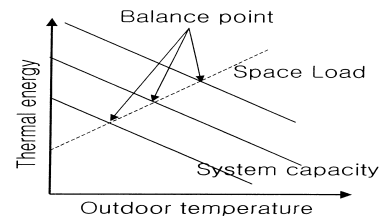


그림 3. 가변속으로 작동하는 압축기와 EEV의 외부 온도에 대한 부하와 용량사이의 관계  
Fig. 3. Space load and system capacity vs. outdoor temperature for a variable speed compressor and EEV

HB 오일쿨러의 냉각 원리는 그림 4와 같다.

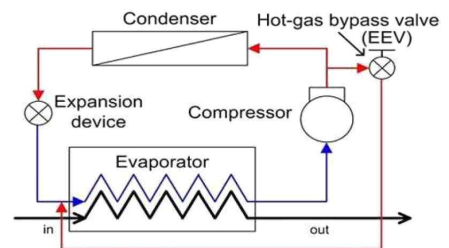


그림 4. HB 오일쿨러의 원리  
Fig. 4. Schematic diagram of oil cooler with HB

기체 상태의 냉매가 압축기에 의해 압축되어 고온, 고압의 가스 상태로 되었다가 응축기를 통과하면서 송풍팬에 의해 냉각된다. 이때 냉각된 고온 압축가스는 기체상태에서 액체로 변환된다. 하지만 이 과정에서 여전히 압력은 높은 상태임으로 EEV를 이용해 압력을 감소시키고 증발하기 쉬운 조건, 즉 압력과 온도는 비례하므로 원하는 증발온도로 설정한다. 압력이 낮아진 액체냉매

는 열교환기에서 공작기계의 구동부로부터 나온 뜨거운 오일의 열을 흡수하여 다시 기계상태가 되어 압축기에 의해 압축되는 형태로 순환된다.[1, 2]

냉매가 열교환기에서 열을 흡수할 때 계속해서 냉각을 하면 오일이 과냉각되어 공작기계의 구동부에 악영향을 미치게 되어 오히려 가공정도 등이 나빠지는 결과를 초래할 수 있다 이를 방지하기 위해서는 오일이 과냉각되지 않고 일정하게 유지할 필요가 있는데 압축기를 통과한 고온의 핫가스(hot gas)를 바이패스(by pass) 시켜 냉매에 혼합시킴으로서 온도를 일정하게 하는 것이 HB 방식의 오일쿨러의 원리이다. [1]

### III. HB 오일 쿨러용 퍼지 제어기 설계

HB 방식 오일쿨러의 퍼지제어 개념도를 그림 5에 나타내었다.

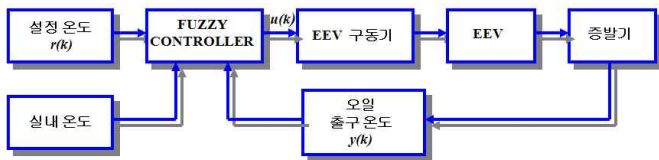


그림 5. HB 방식 오일 쿨러의 퍼지 제어시스템 개념도  
Fig. 5. Schematic diagram of Fuzzy control system for oil cooler with HB

그림 5에서  $r(k)$ 는 설정온도,  $u(k)$ 는 퍼지 제어기 출력인 동시에 EEV의 구동신호 그리고  $y(k)$ 는 오일 출구온도를 나타낸다.

HB 방식 오일쿨러로 온도를 정밀하게 제어를 하기위해, EEV를 퍼지제어를 사용하여 냉매의 질량유량을 조절, 분배한다.

HB 방식 오일쿨러는 동작온도의 변화에 따른 EEV와 오일 출구온도 사이의 비선형성이 매우 높을 뿐만 아니라 작동유의 온도 상승으로 인한 점도 변화, 작동유의 압축성 및 누설, 마찰 특성들과 같은 불확실한 시스템 파라미터를 많이 내포하고 있다. 또한 온도변화가 심한 곳에 주로 사용되기 때문에, 작동 중에 받는 부하 변화가 크고 예측이 불가능한 큰 외란을 받게 되는 경우가 빈번하다. 이러한 이유로 제어대상에 대한 작업자의 경험이나 전문가의 언어적인 표현을 쉽게 제어기와 결합시킬 수 있는 장점을 가지고 있으며, 파라미터 변동이나 외부 외란에 크게 영향을 받지 않는 강인한 제어기의 특성을 지니고 있는 퍼지 제어기를 사용한다. 퍼지제어는 제어하고자하는 대상 시스템에 대한 숙련자의 지식과 인간의 사고방식과 유사한 논리 체계인 퍼지논리(fuzzy logic)에 기초하여 이루어진다.[4]

퍼지 제어기의 출력은 EEV의 개도 각도를 조절하고, 조절된 각도에 비례하는 냉매량에 의해 오일의 출구온도가 출력이다.

HB 방식 오일쿨러용 퍼지제어기는 정규화된 오차와 오차 변화량을 사용하여 오일쿨러 즉 플랜트 응답에 따라 입력과 출력의 적절한 스케일 계수를 조정하는 퍼지제어기를 사용한다. 정규화된 오차를 출력 소속함수의 중심과 폭에 곱해 출력 범위를 재조정하고, 플랜트 응답에 의해 입력의 스케일 계수를 결정한다.

그림 6은 본 오일쿨러에서 사용한 퍼지 제어기 구조를 나타내고 있다. 퍼지제어기는 입력 스케일 계수 조절부, 퍼지화기

(fuzzifier), 퍼지 추론(fuzzy reasoning), 비퍼지화기(defuzzifier), 출력 스케일 계수 조절부로 구성되어 있다.[5, 6, 7]

그림 6에서  $r(k)$ 는 그림 5의 설정온도를 의미하고, 그림 6의  $y(k)$ 는 그림 5의 오일 출구온도를 나타내며, 그림 6의  $u(k)$ 는 퍼지 제어기 출력인 동시에 EEV의 구동신호를 의미한다. 그리고 그림 6에서 플랜트는 HB 방식 오일쿨러의 EEV 및 온도센서를 의미한다.

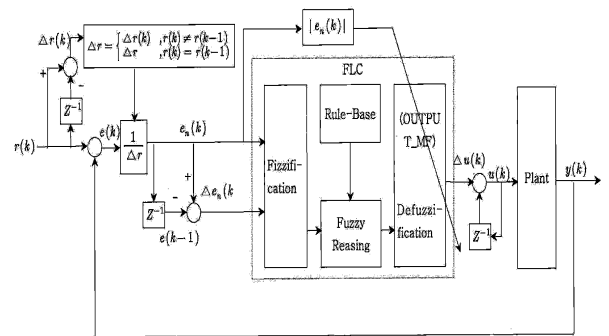


그림 6. HB 방식 오일 쿨러의 퍼지 제어기  
Fig. 6. The fuzzy controller of oil cooler with HB

제어기의 오차  $e(k)$ 와 오차 변화량  $\Delta e(k)$ 의 정규화(Normalizer)는 두 가지 경우로 나누어 생각할 수 있다. 첫 번째 설정치가 바뀌지 않고 과거의 설정치  $r(k-1)$ 가 현재의 설정치  $r(k)$ 을 유지할 때 과거의  $\Delta r$ 을 그대로 유지한다. 두 번째는 설정치가 변화하여 과거의 설정치  $r(k-1)$ 와 현재의 설정치가 같지 않을 때는  $\Delta r$ 을  $r(k) - r(k-1)$ 으로 바꾸어준다. 식(1)과 같이 설정치의 변화량  $\Delta r$ 을 계산한 다음 식(2)에 적용한다. 식(2)는 오차  $e(k)$ 를 설정치의 변화량으로 정규화 한다.[6, 7]

$$\Delta r = \begin{cases} r(k) - r(k-1), & r(k) \neq r(k-1) \\ \Delta r, & r(k) = r(k-1) \end{cases} \quad (1)$$

$$e(k) = \frac{r(k) - y(k)}{\Delta r} \quad (2)$$

입력변수인 오차와 오차 변화량에 대한 퍼지집합과 언어변수는 "NB", "NM", "NS", "ZE", "PS", "PM", "PB"로 각각 7개씩 정하였다. 입출력 변수들의 언어값의 종류는 제어규칙의 수와 제어기 성능에 큰 영향을 미친다. 언어값의 수가 많으면 제어성능을 향상시킬 수 있으나 제어기의 계산량이 많아지는 단점이 있다.

입력 소속함수의 모양은 여러 가지 형태를 생각할 수 있으나 비선형 중형 소속함수를 사용하였다. 그리고 출력 소속함수는 선형 중형 소속함수를 사용하고 비퍼지화 소속함수의 중심에  $|e(k)|$ 를 곱하여 사용하였다. 본 퍼지 제어기에서 사용한 퍼지추론과 비퍼지화는 식(3)으로 주어지고,  $\Delta u(k)$ 는 식(4)과 같다.

$$\begin{aligned}
 du &= \frac{\sum_{i=1}^m \tau_i y_i^*}{\sum_{i=1}^m \tau_i} \\
 &= \frac{\sum_{i=1}^m y_i^* \left[ \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{u_j - x_{ij}^*}{\sigma_{ij}}\right)^2\right) \right]}{\sum_{i=1}^m \left[ \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{u_j - x_{ij}^*}{\sigma_{ij}}\right)^2\right) \right]} \\
 &= \sum_{i=1}^m v_i y_i^*
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

$$\Delta u(k) = du \tag{4}$$

여기서,  $x_{ij}^*$ ,  $\sigma_{ij}$ ,  $y_i^*$ 는 각각 가우스 함수의 중심, 가우스 함수의 폭, 결론부 퍼지집합의 비퍼지화된 퍼지제어기의 출력값을 나타낸다. 식(4)을 이용하여 다시 정리하면 식(5)와 같이 표현된다.[5, 6, 7]

$$u(k) = u(k-1) + du \tag{5}$$

#### IV. HB 오일 쿨러용 퍼지 제어기 구현

HB 오일쿨러용 퍼지 제어기의 구성도는 그림 7과 같다.

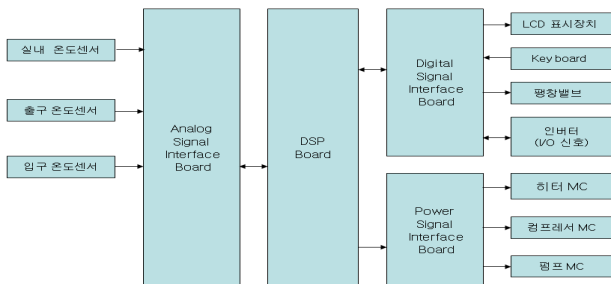


그림 7. HB 오일쿨러용 퍼지제어 시스템

Fig. 7. The fuzzy control system of oil cooler with HB

퍼지제어 시스템의 동작은 입력 신호로 실내 온도센서, 출구 온도센서, 입구 온도센서 신호를 받아들여 퍼지제어 알고리즘을 수행하고 그 결과로 팽창밸브 개도각도를 조절한다. 제어기의 동작상태는 LCD 표시 장치로 나타내고 설정 정보는 키보드의 스위치를 사용하여 입력한다.

퍼지 제어시스템의 제어 알고리즘은 DSP Board에서 수행하고 시스템의 운영을 담당하며 사용자가 요구하는 온도를 설정하거나 시스템의 최대 사용온도, 유량 등의 변수들을 설정하고 시스템의 운전을 담당하는 부분이다. 퍼지 알고리즘의 구현도 DSP 보드 부분이 담당한다. 실험에서의 DSP 보드는 DSP33\_PLUSE를 사용하였다.[9]

퍼지 제어시스템에서 사용하는 입력 신호인 실내 온도센서, 오일출구 온도센서, 오일입구 온도센서의 DSP 보드로의 신호 인터페이스 회로를 그림 8에 나타내었다. 이 회로의 기능은 온도센서로 사용하는 서미스터의 온도에 대한 저항 변화량을 전압으로 변환시켜 온도 정보를 DSP 보드로 전달하는 역할을 한다. 사용한 서미스터 온도센서는 502AT-2로 공칭저항은 5kΩ이다.[1]

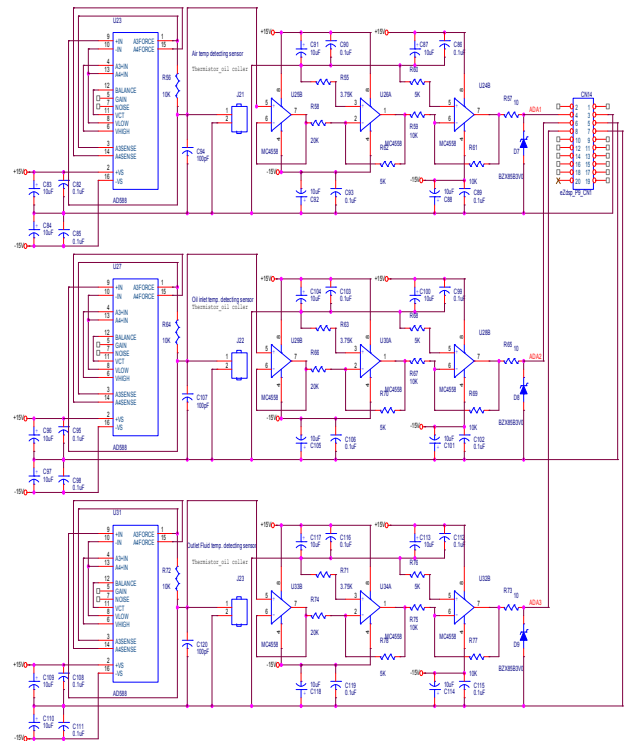


그림 8. 실내온도 및 오일온도 인터페이스 회로

Fig. 8. The interface circuit of room temperature and oil temperature

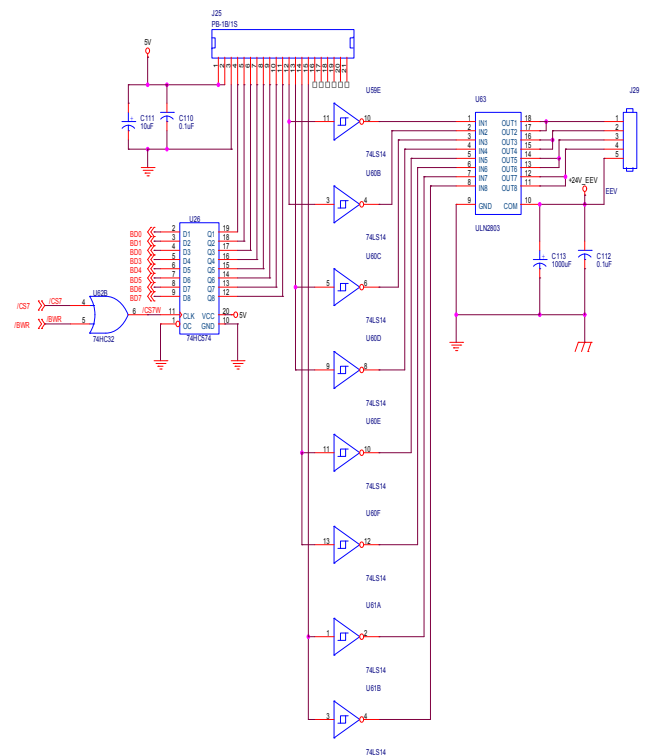


그림 9. EEV 제어기와 구동기 회로도

Fig. 9. The circuit of EEV controller and driver

그림 9는 EEV를 제어하는 마이크로프로세서(PB-1B/1S)와 구동 회로도를 나타낸다. DSP 보드에서 퍼지제어 알고리즘에서 계산된 제어신호로 EEV를 구동하는 부분이다.

사용된 EEV의 사양은 표 2와 같다.[1]

표 2. EEV의 사양  
Table 2. The specification of EEV

항목	사양
모델	EKV30D83
최대압력	4.41MPa
설계압력	2.94MPa
동작온도	-30℃ ~ +60℃
여자속도	31.25pps
사용전압	DC 42V±10%
직류저항	184±12Ω

### V. 실험 및 결과고찰

실험에서 사용한 오일쿨러의 구조는 그림 10과 같다.[10] 그리고 온도 제어 특성을 그림 11에 나타내었다.[10]

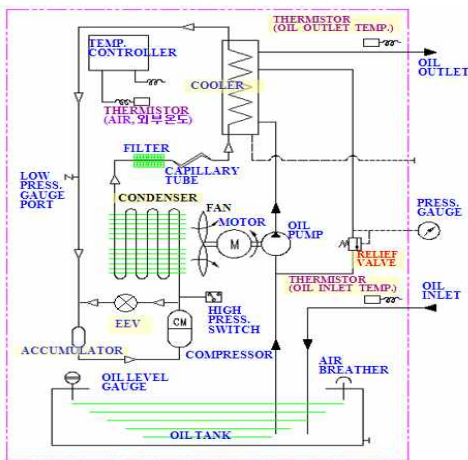


그림 10. 오일쿨러의 구조  
Fig. 10. Block diagram of HB oil cooler system

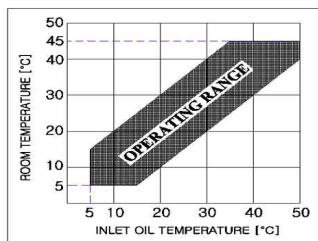


그림 11. 오일쿨러의 온도특성  
Fig. 11. A temperature characteristic of oil cooler

오일쿨러의 냉동 사이클은 저압의 기상냉매 → 압축기 (compressor) → 콘덴서(condenser) → 모세관 → 증발기 (evaporator) → 응축기(accumulator) → 기상냉매의 순서로 이루어진다. 그림 12에서 점선으로 표시한 부분이다.[10]

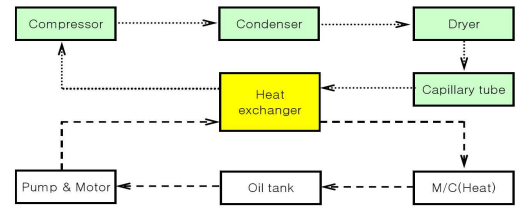


그림 12. 오일쿨러의 냉동 사이클(점선)과 냉각오일 순환시스템  
Fig. 12. Refrigeration circulation system(dot line) and cooling oil circulation system(solid line)

그림 12에서 절삭유의 순환순서는 오일탱크 → 오일펌프 → 열교환기(오일쿨러의 증발기) → M/C(Heat) → 오일탱크의 순서로 이루어진다. 히터에서 가열된 고온 절삭유는 오일탱크로 들어가고, 오일탱크의 고온 절삭유는 펌프에 의해서 증발기로 공급되고, 증발기에서 냉각된 절삭유는 다시 히터로 공급된다.[10]

실험에 사용한 오일쿨러의 냉매로 R-134a를 사용하였고, 열교환기 즉 증발기의 2차 유체로는 공작기계용 절삭유를 사용하였다. 오일쿨러 실험장치는 압축기와 EEV, 응축기, 증발기로 구성된 냉매회로와 냉매와 열 교환을 하는 절삭유 순환회로, 절삭유에 온도 부하를 조절하기 위한 히터(heat) 그리고 퍼지 제어시스템으로 구성된다. 절삭유 온도와 각종 데이터 그리고 오일쿨러의 매개변수 조작은 PC에 설치된 RealDSP 프로그램을 사용하였다.

실험장치의 구성은 그림 13과 같이 된다. 그림 13에서 굵은실선은 절삭유의 흐름을 의미하고, 가는 실선은 전기신호를 나타낸다. 실험장치의 모습을 그림 14, 15, 16에 나타내었다.

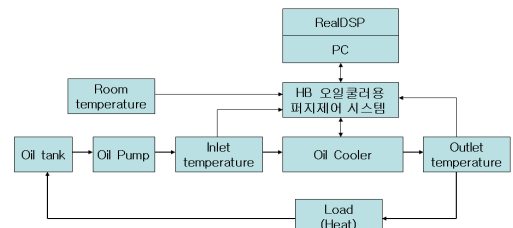


그림 13. HB 오일쿨러 실험 시스템  
Fig. 13. Experimental apparatus of HB oil cooler system.

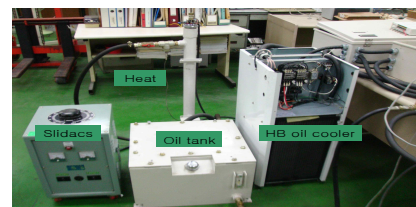


그림 14. 슬라이다스, 오일탱크, HB 오일쿨러 그리고 히터의 모습.

Fig.14. The image of slidacs, oil tank, HB oil cooler and heat



그림15. PC, 전력 제어부 그리고 퍼지 제어시스템의 모습.

Fig.15. The image of PC, distribution panel and fuzzy control system

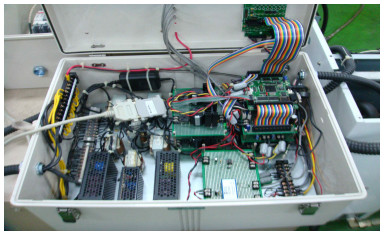


그림16. 퍼지 제어시스템의 내부 모습

Fig.16. The interior image of fuzzy control system

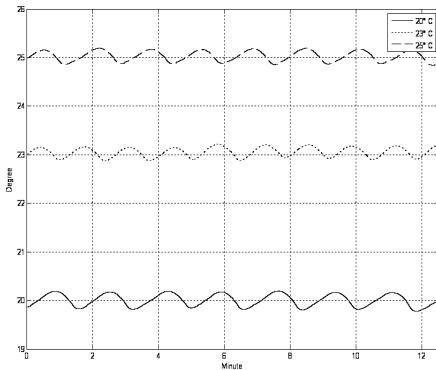


그림 17. 설정온도 20℃, 23℃ 그리고 25℃일 때의 출구 오일온도

Fig. 17. The outlet oil temperature of when the reference temperature is 20℃, 23℃ and 25℃

실험은 먼저 오일쿨러의 오일펌프를 구동시켜 절삭유의 온도를 높이기 위해 히터를 통과 시켜 순환시킨다. 그리고 히터 온도제어기에 부하온도(50℃)를 설정하고, 히터를 동작시킨다. 절삭유의 온도가 히터에서 설정한 온도에 도달한 후 온도 제어 실험을 시작한다. 실험은 PC에서 퍼지 제어 알고리즘을 작성하고 컴파일한 후 오일쿨러 퍼지 제어시스템에 프로그램을 전송하여 제어를 구성한다. 그리고 설정온도를 20℃, 23℃, 25℃ 그리고 실내온도 동기 제어실험을 실시하였다.

첫 번째 실시한 실험은 오일 온도를 20℃로 설정하고 오일쿨러의 오일출구포트(oil outlet port)에서 서미스터 온도센서를 연결

하여 온도 변화를 관측하였다. 그림 17은 출구 오일온도가 안정된 후 온도의 변화를 관측한 결과이다. 설정온도와 오차평균 -0.0034℃ 차이가 났다.

두 번째 실험은 23℃로 설정하고 실험을 하였는데 설정치와 오차평균 -0.0533℃ 차이가 나타났다.

세 번째 실험은 25℃로 설정하였고 오차평균은 -0.0282℃를 유지 하였다.

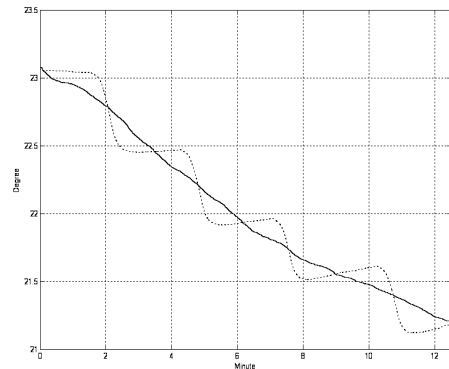


그림 18. 실내온도 동기 실험시 출구 오일온도  
Fig. 18. The outlet oil temperature of when turning experiments at room temperature

그리고 네 번째 실험은 설정온도를 실내 온도로 하여 오일쿨러가 실온에 동기되는 실험을 하였다. 그 결과를 그림 18에 나타내었다.

네 가지 실험결과를 분석한 내용을 표 3에 보였다.

표 3. 실험결과 분석

Table 3. A analysis of experiment result.

설정온도	20℃	23℃	25℃	실온
최소온도	19.78℃	22.88℃	24.84℃	21.12℃
최대온도	20.19℃	23.21℃	25.19℃	23.06℃
평균온도	20.00℃	23.05℃	25.03℃	22.03℃
최소오차	-0.1924℃	-0.2138℃	-0.1930℃	-0.1716℃
최대오차	0.2216℃	0.1214℃	0.1558℃	0.2191℃
오차평균	-0.0034℃	-0.0533℃	-0.0282℃	0.0054℃
오차의 크기	0.4140℃	0.3353℃	0.3488℃	0.3907℃

네 번의 실험결과를 분석한 표 3에서 고정온도 제어의 경우는 오차평균이 “-” 방향을 가지고, 실온 동기제어는 “+” 방향을 갖는다. 퍼지제어 규칙이 설정온도 보다 낮게 동작하는 것으로 판단된다. 최소오차 항목에서 최소온도는 -0.2138℃ 이고, 최대오차 온도에서는 0.2216℃로서 제안한 제어방식은 ±0.22℃의 온도특성을 갖는 것을 확인 할 수 있다.

기존의 시장에서 판매되고 있는 국내의 제품의 성능과 이전에 연구되었던 제어기[10] 그리고 제안한 제어방식을 사용한 오일쿨러의 성능을 표 4에 비교하였다.

표 4. 실험결과 비교  
Table 4. Experiment result comparison

	Daikin	IROC-40AT	참고문헌[10] 실험결과	실험결과
온도성능	±0.1℃	±1℃	±0.45℃	±0.22℃
냉각능력	9200kcal/h	1000kcal/h	1000kcal/h	1000kcal/h
제어방식	PID	On/Off	PID	퍼지제어
구동방식	인버터	Relay	위상각 전력 조정	EEV

퍼지제어 방식을 도입함으로써 이전에 연구되었던 PID 위상각 전력조정기 방식보다는 50% 성능개선을 보였다.

### VI. 결 론

본 연구는 HB 오일쿨러의 EEV를 제어하는데 퍼지제어 방식을 사용하여 실험장치를 구성하고 실험을 행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) EEV를 제어해서 압축기를 통과한 고온의 가스를 바이패스시켜 냉매에 혼합시킴으로서 온도를 일정하게 유지한다.
- (2) 실내온도 동기실험을 통하여 갑작스러운 외란 즉, 설정온도의 연속적인 변화에도 오일출구 온도가 잘 추종함을 확인하였다.
- (3) 판매되는 고정밀 오일쿨러보다 성능은 다소 떨어지지만 기존의 on/off(릴레이) 구동방식이나 PID 위상각 전력조정기 방식보다 보다는 우수함을 알 수 있었다.
- (4) 공작기계의 정밀 가공이 요구되는 추세에 맞추어 고정도 온도 제어가 가능한 공작기계용 오일쿨러의 제어기 개발이 가능함을 확인 하였다.

### 참 고 문 헌

[1] 대우종합기계(주)부설 공작기계 연구소, “고강성 미세이송 및 고속 주축 기술개발”, 과학 기술부, pp277-292, 2003.

[2] 정석권, 변종영, 김상호, 윤정인, “PI와 피드포워드 제어를 이용한 공작기계용 오일쿨러의 핫가스 바이패스 방식 정밀 온도 제어,” 설비공학논문집, 제23권 제2호, pp. 111-119, 2011.

[3] 이승우, 염한길, 박종길, “Hot Gas를 이용한 오일쿨러의 성능평가,” 한국정밀공학회지, 제26권 제3호, pp. 73-80, 2009.

[4] 일립나노텍, “지능형 유압유니트와 오일냉각기 복합장치 개발”, 중소기업청, pp6-25, 2007.

[5] 정동화, “P-I-D 제어기의 이득 동조를 위한 퍼지제어계통 설계”, 경남대학교, 석사학위논문, pp 12-15, 2004.

[6] 신위재, “Fuzzy PID제어기설계 및 구현,” 신호처리.시스템학회논문지, 제6권 2호, pp89-94, 2005.

[7] 이상윤, 신위재, “스케일 계수를 자동조정하는 퍼지제어

기설계에 관한연구,”신호처리.시스템학회논문지 제3권 4호, pp42-48, 2005.

[8]. 리얼시스, “DSP33plus 보드 설명서, 리얼시스, pp1-84, 2003.

[9]. J.Michael Jacob, “Industrial Control Electronics Applications and Design”, Ptrentice-Hall, pp279-315, 1989.

[10] 이상윤, “ON/OFF 제어방식 오일쿨러의 정밀온도 제어에 관한 연구,” 신호처리.시스템학회논문지 제14권 2호, pp130-135, 2013.



이 상 윤 (Sang-Yun Lee)

正會員

1986년 2월 금오공대 전자공학과 (공학사)  
1991년 2월 금오공대 전자공학과 (공학석사)  
1998년8월 경남대학교 전자공학과(공학박사)  
2005년 1월 ~ 2006년 2월 이상윤지도사  
사무소 대표

2006년 9월 ~ 2012년 3월 경남대학교 기계공학부 강의전담  
2012년 4월 ~ 현재 경남대학교 기계공학부 조교수  
※주관심분야 : 자동제어, 유공압, DSP 응용분야