

## 산업용냉각기의 온도제어방식



윤 정 인  
Jung-In Yoon  
· 부경대학교 교수  
· E-mail: yoonji@pknu.ac.kr



최 광 환  
Kwan-Hwan Choi  
· 부경대학교 교수  
· E-mail: choikh@pknu.ac.kr



백 승 문  
Seung-Moon Baek  
· 부경대학교 대학원  
· E-mail: hottock77@empal.com

### 1. 서 론

어떤 물체나 공간의 열을 인위적으로 빼앗아 주위의 온도보다 낮은 온도로 유지하고, 또 그 저온을 일정하게 유지하는 것을 냉동이라 말한다. 하지만 뜨거운 음료를 식힌다든지, 자동차의 라디에이터를 식히는 것과 같이 주위의 상온보다 높은 온도의 물체를 주위의 상온까지 온도를 내리는 것은 냉동이라고 말하기 보다는 냉각이라고 하는 것이 합리적이다. 이러한 냉동의 원리를 이용해 작업 공정 중에 부하 열이 많이 발생하는 공작기계, 반도체 장비, 레이저 장비, 의료장비 등 첨단산업 장비에 냉열을 공급해 발생하는 열을 제거 시킴으로써 제품의 생산성을 향상과 생산 제품품의 불량률 예방하는 것은 매우 중요하다. 또한 생산 공정이 점차 고속화, 자동화가 되어가고 있는 현실에서 최근의 산업기계 또한

고속화, 고정밀화, 고기능화가 요구되고 있다. 이에 따라 산업기계에서의 가공시간 및 가공공정을 단축하기 위한 기술개발이 활발하게 이루어져 왔다. 그러나 산업기계의 고속화는 필연적으로 구동장치계에 열을 발생시키고, 이 열은 공작기계부품의 열 변형을 초래하여 그 결과로 가공 정밀도 및 기계 신뢰성에 큰 저해요인으로 작용하고 있다. 따라서 공작기계 분야에서는 고속가공에 의한 수축과 팽창(열변형)을 최소화하기 위하여 오일냉각기나 수냉각기를 사용하고 있다. 오일냉각기는 공작기계의 구동부(스핀들 헤드, 스크류, 기어박스, 절삭유 탱크 등)의 유압작동유나 절삭유를 일정한 원하는 온도로 유지시켜 주는 것으로 열변형을 최소화 하여 가공정밀도를 향상시켜주고 고속가공을 가능하기 위해 정밀 온도 제어가 가능한 냉각기의 필요성이 요구가 되고 있다.

하지만 기존의 산업용 냉각기에 적용되어 왔던 제어방식은 On-Off 방식으로 운전되는 정속운전 냉각기가 대부분이다. 이는 시간에 따라 연속적으로 변하는 부하에 적절히 대응하지 못하며, 계속 반복되는 시동 및 정지 운전으로 인한 소비전력의 증가와 정밀한 온도 제어가 되지 못하고 있다. 시중에 판매중인 산업용 냉각기는 온도제어방법에 따라 On-Off 제어방식, 핫가스 바이패스 제어방식, 인버터 제어방식 냉각기로 크게 3가지로 분류할 수 있다. 이에 시중에 판매중인 산업용 냉각기의 온도제어방법에 대한 정보 제공 목적으로 제어방식별 특징을 서로 비교하여 살펴보고자 한다.

## 2. 온도제어방식에 따른 특징

### 2.1 On-Off 제어방식

기존의 산업용 냉각기에 적용되어왔던 제어방식은 On-Off 방식으로 운전되는 정속 운전 냉각기가 대부분이다. On-Off 방식은 설정한 온도에 도달하게 되면 냉각기 내의 압축기 기동이 Off하고, 설정한 온도보다 온도가 올라가는 경우 다시 압축기 기동이 On이 되어 온도를 유지시키는 방식이다. 이와 같이 설정온도에 대하여 측정온도의 높고 낮음에 의해 On/Off를 행하는 제어방식이다. 작동방법이 가장 단순하여 제품의 가격이 제일 저렴하기 때문에 현재 가장 널리 채용되어 사용되고 있다. 단순한 On/Off 제어방식의 제어 조작량은 0%와 100% 사이를 Fig. 1과 같이 왕래하므로 조작량의 변화 폭이 너무 크고, 실제 목표값에 대해 목표값의 부근에서 On/Off 반복 제어하는 방식이다. 그림 2는 On-Off 제어방식을 적용한 산업용 냉각기의 외관 및 내부 사진을 나타낸 그림이다.

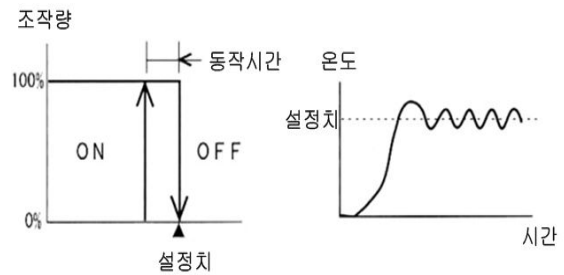


Fig. 1 On-Off Control

### 2.2 핫가스 바이패스 제어방식

핫가스 바이패스 제어방식은 고온 고압의 냉매 일부를 흡입 측으로 바이패스 시켜 온도를



Fig. 2 The appearance and inner picture of industrial cooler of on-off control method

제어하는 방식이다. 핫가스 바이패스 밸브의 개도를 조정하는 방법에는 크게 두 가지 방법이 있다. 피냉각유체의 온도가 일정 온도 이하가 되면 자동으로 핫가스 바이패스 밸브가 열리면서 압축기 흡입관으로 핫가스를 바이패스 시켜 압축기의 운전을 멈추지 않고 증발기의 열교환량을 줄이는 방법과 바이패스 밸브 출구 압력이 일정 압력 이하가 되면 자동적으로 밸브가 열리면서 압축기 흡입관으로 핫가스를 바이패스 시켜 흡입 압력을 일정하게 유지시키면서 압축기의 운전을 지속하면서 증발기의 교환량 열량을 줄여 피냉각 유체의 온도를 제어하는 방법이다. Fig. 3은 핫가스 바이패스

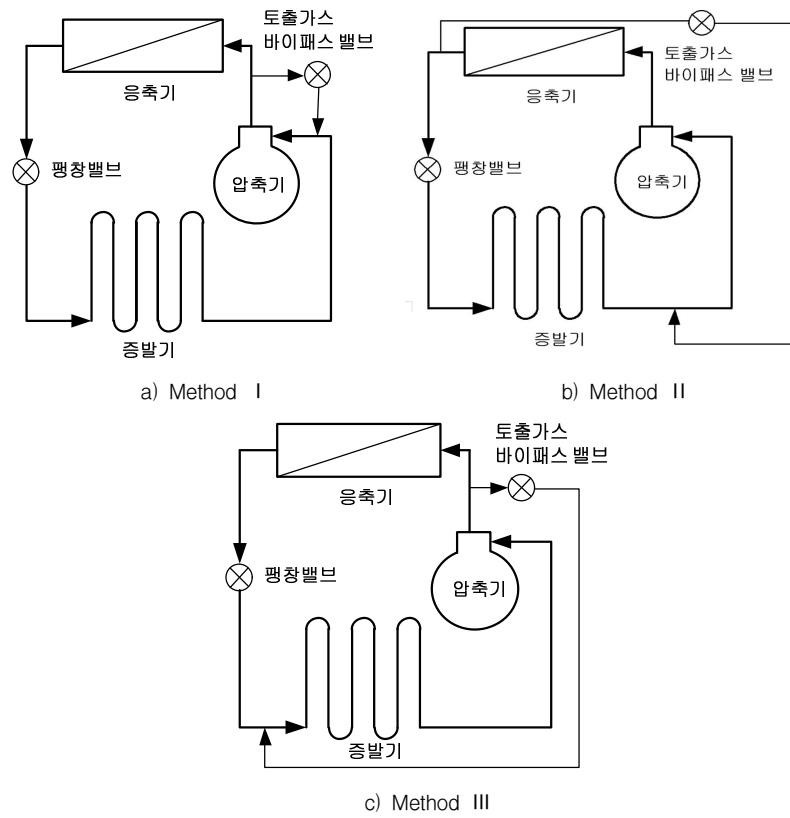
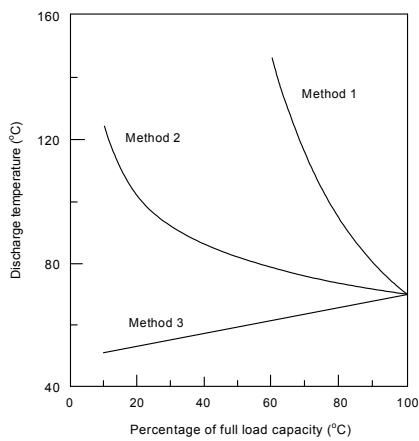
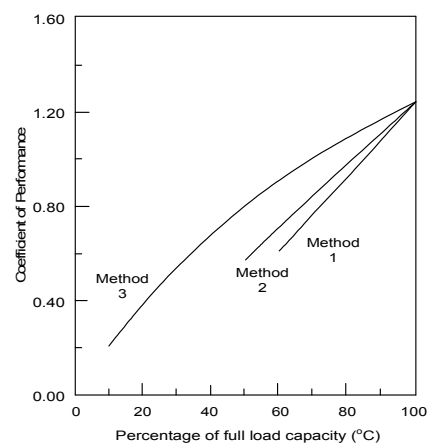


Fig. 3 Types of hotgas-bypass type Control



(a) The comparison of the discharge temperature of compressor classified as the type of hotgas- bypass



(b) The comparison of COP classified as the type of hotgas-bypass

Fig. 4 The outlet temperature and COP classified as the three types of discharge gas - bypass<sup>3,4)</sup>

밸브의 개도를 조정하는 방법 중에 3가지를 나타내고 있다. 첫 번째(Method I)로 압축기의 토출 측에서 고온고압의 기체를 압축기의 흡입 측으로 주입시키는 방법, 두 번째(Method II)로는 응축기의 토출 측에서 냉매일부를 압축기 흡입측으로 주입하는 방법이 있다. 세 번째(Method III)로 압축기의 토출 측에서 고온고압의 기체를 증발기의 입구측으로 팽창기에서 토출되는 냉매와 혼합하여 주입되는 방법이 있다. 이 중 Yaqub 등의 연구에서 Fig. 4와 같이 Discharge temperature, COP측면에서 세 번째(Method III) 방법이 가장 좋은 Discharge temperature, COP 값이 나타나는 것을 볼 수 있다. 세 번째 방법인 압축기 토출 측의 고온고압의 기체를 증발기 입구 측으로 보내어 제어하는 방식이 가장 좋은 성능을 가지고 있기 때문에 현재 시중에 판매되고 있는 핫가스 바이패스제어방식 냉각기는 세 번째 방법으로 가장 많이 채용되고 있다.

## 2.2 인버터 제어방식

최근 일본을 비롯한 선진 각국에서는 냉동공조장치의 다기능화 고효율화 고성능화 및 에너지 절약의 차원에서 인버터 제어를 시스템에 적용한 연구가 활발히 진행중에 있으며, 국내에서는 이에 대한 연구가 서서히 진행되고 있다. 인버터는 Fig. 5와 같이 3상의 교류전원을 직류로 변환하는 컨버터부와 그 직류로부터 가변 전압, 가변 주파수의 교류를 만들어 내는 인버터부로 구성되며 압축기의 모터의 회전수를 제어한다. 따라서 인버터 제어방식은 대용량 소용량에 관계없이 능력을 가변적으로 조절할 수 있다. 이를 산업용냉각기에 적용시킨 것이 인버터 회로에 의한 가변속 압축기를 사용한 인버터제어 산업용냉각기이다. 가변속 압축기를 사용한 냉각기는 부하에 따

라 압축기 회전속도를 조절하여 부하에 적절히 대응하며, 부하가 크게 변하지 않는 조건일 때는 설정온도 근처에서 회전속도를 감소시켜 정지되지 않고 계속 운전할 수 있도록 제어하므로, 시동 및 정지 시 발생하는 기동토크에 의한 소비전력 증가를 줄여 절전 성능이 크게 개선될 수 있다. 인버터 제어시스템은 설정 온도와 현재의 온도와의 차이, 기존 온도편차와 현재의 온도편차값, 대기 온도 값 등을 입력변수로 하여 상관관계에 따라 출력치를 차등하여 인버터에 4~20mA로 인가한다. 입력변수의 상관관계는 부하의 특성에 따라 달라지며 다양한 테스트를 통한 시행착오법으로 퍼지제어를 구성하며, 가능한 압축기를 정지시키지 않는 회로로 구성된다. Fig. 5는 인버터 압축기의 구동로직을 나타낸 그림이다.

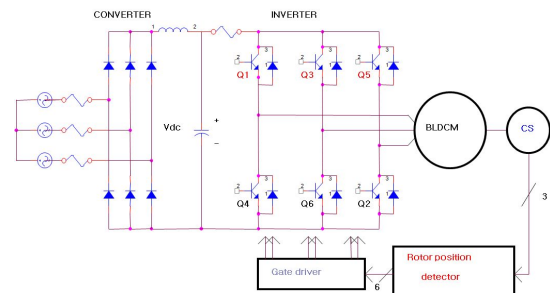


Fig. 5 The drive logic of inverter compressor

인버터 제어방식의 장점은 열부하의 변동에 능동에 대체하여 온도의 정밀도를 높일 수 있으며, PID제어와 비교하여 동일 혹은 그 이상의 제어로직 구성이 가능하며, 부하가 많지 않을 때 저속 운전으로 소음이 감소하고, 최대 부하를 고속 운전점에 맞춰 압축기를 설계함으로써 최적 설계가 가능하다는 장점이 있다. 하지만 타 방식에 비해 컨트롤러 및 회전수 조절이 가능한 인버터용 압축기의 가격이 고가인 점이 단점이다. 이 방식은 최근 공작기

계, 반도체 장비, 레이저 장비, 의료장비 등의 정밀한 온도제어가 필요한 냉각기에 많이 채용되어 사용되고 있다.

### 3. 제어방식 변화에 따른 특성 비교

실제로 동작기계를 직접 부착시켜 가동하는 실험은 현실적으로 어려운 점과 실험에 따른 위험부담이 크다. 따라서 동작기계의 가동조건 변화에 따른 변수가 너무 많기 때문에 동작기계의 부하를 담당하기 위한 부하조절이 가능한 히터를 설치한 모의실험을 실시하였다. 그리고 냉각기에서 냉각되어 배출되는 피냉각유체의 온도를 25℃로 세팅하고, 동일용량의 3kW급 On-Off 제어 냉각기와 토출가스 바이패스 제어 냉각기 및 인버터 제어 냉각기의 특성비교를 위한 테스트를 실시하여 실험값 비교를 통해 각 제어방식 변화에 따른 특성을 비교해 보고자 한다.

Fig. 6은 On-Off 제어 시스템을 가지는 냉각기에 가해지는 냉각 부하별 냉각기 출구 온도 변화를 나타낸 그림이다. On-Off제어방식은 최저 온도와 최고온도와의 편차가 크며, 부하가 커질수록 최저 온도와 최고 온도차가 커진다. 그 이유로는 냉각기는 압축기와 냉각 시스템의 회로를 보호하기 위해서 일반적으로 압축기의 작동이 멈춘 후에 3분 동안 작동을 강제적으로 멈추는 보호 회로를 가진다. 이 때문에 냉각기 출구의 냉수 온도가 냉각기 작동 온도를 초과 하였더라도 냉각기는 정지 후 3분 동안 작동을 못하게 되어 있다. 이러한 이유로 인하여 부하가 커질수록 유체의 온도는 3분 동안 빠르게 상승하고 온도편차가 커지게 되는 것이다. Fig. 6에서와 같이 부하의 크기가 1 kW에서 2kW, 3kW로 부하가 커질수록 구동 주기가 커지게 된다. 부하가 클수록 3분

정지 기간 동안 유체의 온도는 상승하고 이것을 목표 온도까지 냉각 시키는데 많은 시간이 소요 되므로 부하의 크기가 커질수록 On-Off 주기는 길어지는 특성을 가진다. 이 방식은 실제 현장에서의 급격한 부하 변동에 의하여  $\pm 3 \sim 7^{\circ}\text{C}$ 까지 차이가 난다. 이것은 곧 생산품의 질 저하로 이어지게 된다.

Fig. 7은 핫가스 바이패스 제어 냉각기의 시간의 변화에 따른 온도변화를 나타낸 그래프이다. 핫가스 바이패스 제어 냉각기의 냉각수

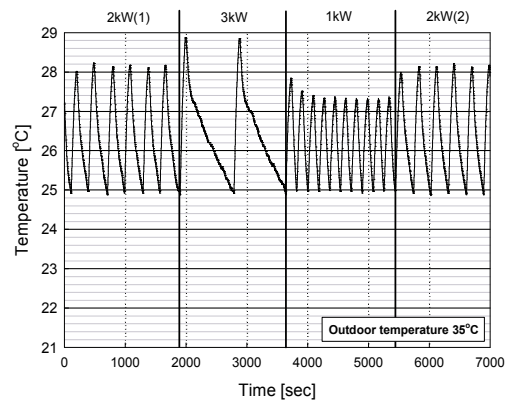


Fig. 6 The outlet temperature change of On-Off control type cooler

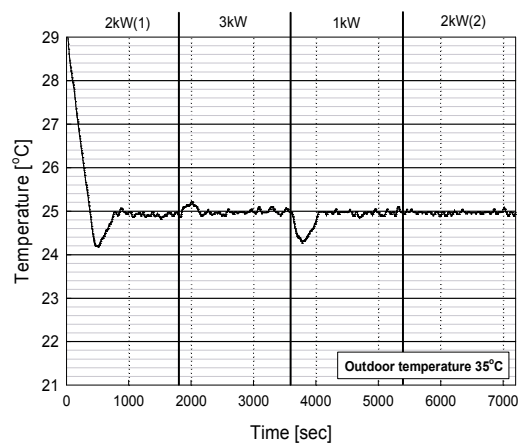


Fig. 7 The temperature change of hot-gas-bypass control cooler along with time variation

출구 온도는 최대 25.12℃에서 최소 24.78℃로 온도편차가 ±0.2℃로, 부하변동에 따른 온도편차가 On-Off 제어 냉각기에 비해 정밀한 온도 제어가 가능함을 알 수 있다. Fig. 8은 인버터 제어 냉각기의 시간의 변화에 따른 온도변화를 나타낸 그래프이다. 인버터 제어 냉각기의 온도 편차는 최대 25.11℃에서 최소 24.91℃로 온도 편차 ±0.1℃로 유지가 가능함을 알 수 있다.

Fig. 6~8에서 있듯이 On-Off 제어 냉각기의 경우 출구 온도가 급격하게 변경되는 것을 볼 수 있으며, 핫가스 바이패스 냉각기의 경우 온도제어가 정상상태에서는 ±0.2℃ 범위에 들지만 급격한 외란이 발생하는 경우에는 온도제어가 양호하지 못한 것을 알 수 있다. Fig. 8은 인버터 제어 냉각기의 시간의 변화에 따른 온도변화를 나타낸 그래프이다. 그리고 인버터 제어 냉각기의 경우 급격한 외란이 발생하더라도 온도가 매우 정밀하게 제어되고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 9는 냉각기 제어방식별 압축기 평균 적산전력량 비교를 나타낸 그래프이다. On-Off 제어 방식 냉각기의 온도조절은 단순히 설정 온도 이하가 되면 작동을 멈추는 것으로 온도 조절을 대신한다.

따라서 낮은 부하에서는 압축기의 기동이 멈추는 시간과 횟수가 많아지게 되는데, 이로 인해 소비되는 전력량이 작아지게 된다. 1kW 부하에서 On-off 제어 방식 냉각기를 기준으로 핫가스 바이패스 방식 냉각기는 약 50%이상 전력소비가 많으며, 인버터 제어 냉각기는 On-off 제어 방식 냉각기에 비해 약 10%이상의 전력소비 절감이 있음이 확인 된다. 그리고 2kW 부하에서 On-off 제어 방식 냉각기를 기준으로 핫가스 바이패스 방식 냉각기는 평균 19% 전력소비가 많은 것으로 파악되었으며, 인버터 제어 냉각기는 15%정도 전력소비가 적은 것으로 확인된다. 그리고 3kW 부하에서 On-off 제어 방식 냉각기와 핫가스 바이패스 방식 냉각기는 평균 전력소비가 같은 것으로 파악되었으며, 인버터 제어 냉각기는 정격주파수 이상으로 구동되기 때문에 10%정도 전력 소비가 많은 것으로 확인된다. 위 결과로 인버터 제어 냉각기 사용시 주로 사용되는 부분 부하인 2kW에서 기존 On-off 제어 방식 냉각기에 비해 전력소비량이 15% 절감이 가능하다.

#### 4. 결 론

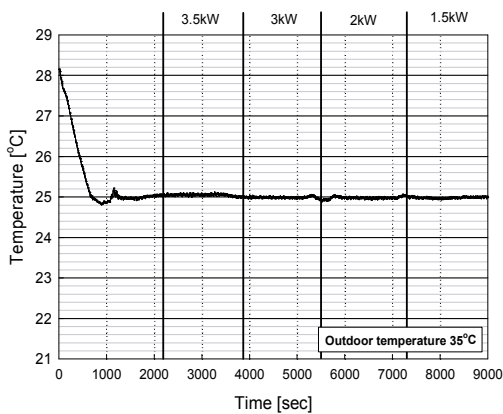


Fig. 8 The temperature change of inverter control cooler along with time variation

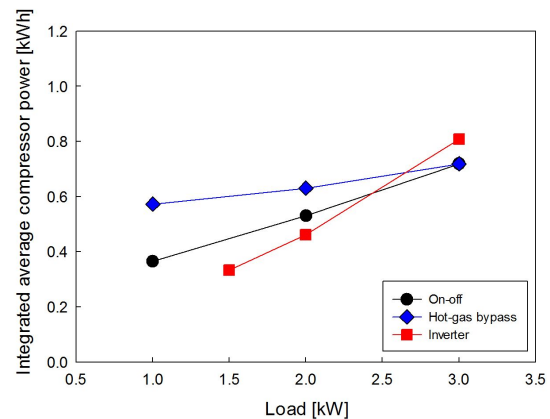


Fig. 9 The integrating watt of compressor classified as control type at cooler

이상으로 산업용 냉각기의 대표적인 3가지 온도제어 방식에 대해 살펴보았다. 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

핫가스 바이패스에 의한 정밀온도 제어 산업용 냉각기는 기존 On-Off 제어 냉각기와 비교해서 냉각능력이 감소하지 않으면서, 정상상태에서  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 의 정밀한 온도를 제어 가능하다. 핫가스 바이패스 제어 냉각기는 On-Off 제어 냉각기에 비해 온도 정밀도는 높지만, 소비전력은 다소 높다. 그리고 인버터에 의한 정밀온도 제어 산업용 냉각기는 정상상태에서만 뿐만 아니라 외란이 발생하는 조건에서도  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 의 정밀도로 온도를 제어가 가능해 온도 제어성이 우수할 뿐만 아니라 외란시에도 안정적인 제어 성능을 보여 주며 에너지 소비가 우수하다. 마지막으로 최근 우리나라는 국가적인 전력수급 위기로 정부에서는 전력사용량을 15%이상 의무감축하도록 유도하고 있다. 우리나라 전체 에너지 사용량 중에서 산업용 전력사용이 53.2%로 절반이상을 차지하고 있다. 따라서 이러한 점을 고려하여 전력 절감이 가능하고 좀 더 정밀한 온도제어가 가능한 산업용 냉각기를 선택한다면, 에너지 절약적인 차원뿐만 아니라 생산되는 제품의 품질을 향상시킬 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

1. S. W. Lee and C. W. Lee, "Assessment capability of oil cooler with hot-gas," Korean society for precision engineering, no. 6, pp. 459-460, 2007.
2. J. S. Byun, J. H. Lee and D. J. Chang, "Frost retardation of an air-source heat pump by the hot gas bypass method," International Journal of Refrigeration, 31, pp. 328-334, 2008.
3. Yaqub. M, Zubair S. M., Khan S. H., "Second-law-based thermodynamic analysis of hot-gas by pass, capacity-control schemes for refrigeration and air-conditioning systems," Energy-The International Journal 20(6), pp. 483-493, 1995.
4. Yaqub. M, Zubair S. M., Jameel-ur-Rehman Khan., "Performance evaluation of hot-gas bypass capacity control scheme for refrigeration and air-conditioning systems," Energy, 25, pp. 543-561, 2000.
5. J. H. Choi, S. M. Baek, C. G. Moon, S. K. Jeong, and J. I. Yoon, "Performance Characteristics of Water Cooler Controlled Capacity Using Hot-Gas Bypass," IIR Korea, The 3rd Korean Congress of Refrigeration pp.125-128, 2009.
6. Korea Machine Tool Manufacturers Association, <http://www.komma.org/>
7. D. S. Yang, G. b. Lee and M. S. Kim, Y. M. Cho, "A Study on the Capacity Modulation of a Variable Speed Vapor Compression System using Superheat at the Compressor Discharge," Proceedings of the SAREK 2004 Winter Annual Conference, p. 99, 2004.
8. Hua, Li, J. I. Yoon, S. K. Jeong, "Dynamic Characteristics of Refrigeration System for Control Evaporator Superheat and Compressor Capacity", The Korean Society for Power System Engineering, KSPSE The 2004 Spring Conference, pp. 170-174, 2004.
9. Sun Chul Kim, Dae Sun Hong and Won Jee Chung, "Temperature Control for an Oil Cooler System Using PID Control with Fuzzy Logic", Transactions of Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol.13, No.4, pp.87-94, 2004.
10. 윤정인, 정밀 온도 제어를 위한 산업용 냉각기 개발, 기계소재, 에너지 환경 기계시스템사업 기술지원 보고서, 2011.