

## 건습구식 칼로리미터를 이용한 공기조화기 성능측정상의 계측오차에 대한 실험적 연구

김 봉 훈<sup>†</sup>

대구대학교 자동차·산업·기계공학부

### An Experimental Study on the Measurement Error in the Performance Testing of Air Conditioners Using a Psychrometric Calorimeter

Bong-Hun Kim<sup>†</sup>

*Automotive, Industrial and Mechanical Engineering Department, Taegu University, Taegu 705-714, Korea*

*(Received February 15, 2002; revision received April 18, 2002)*

**ABSTRACT:** An experimental study using a psychrometric calorimeter was conducted to investigate the temperature and pressure measurement errors permitted for determining cooling capacity of an air conditioner. First, the instrument calibration was made in accordance with the related test methods and guidelines in order to accurately evaluate basic performance (cooling capacity and air flow rate). Secondly, a parametric study was performed to examine the effect of measurement error involved in temperature and pressure measuring instruments on the cooling capacity calculation.

From the results, it was found that the degree of accuracy for both temperature and pressure measurements played an important role on the error occurring in the determination of cooling capacity and needed to be maintained within a certain value to guarantee required accuracy of cooling capacity.

**Key words:** Psychrometric calorimeter(건습구식 칼로리미터), Air conditioner(공기조화기), Measurement error(측정오차), Calibration(교정), Cooling capacity(냉방능력)

#### 기 호 설 명

<p><math>A_n</math> : 노즐 면적 [<math>m^2</math>]</p> <p><math>C</math> : 노즐의 유량계수</p> <p><math>D_n</math> : 노즐의 직경 [<math>m</math>]</p> <p><math>h_{a1}</math> : 실내 흡입공기 엔탈피 [<math>kJ/kg</math>]</p> <p><math>h_{a2}</math> : 실내 토출공기 엔탈피 [<math>kJ/kg</math>]</p> <p><math>P_n</math> : 대기압 [<math>mmHg</math>]</p>	<p><math>\Delta P_n</math> : 노즐 전후의 정압차 [<math>mmAq</math>]</p> <p><math>q_c</math> : 냉방능력 [<math>W</math>]</p> <p><math>Q_m</math> : 풍량 [<math>m^3/min</math>]</p> <p><math>Re</math> : 레이놀즈수</p> <p><math>t_{a1}</math> : 실내기 입구공기 건구온도 [<math>^{\circ}C</math>]</p> <p><math>t_{a2}</math> : 실내기 출구공기 건구온도 [<math>^{\circ}C</math>]</p> <p><math>v_n</math> : 노즐 직전의 비체적 [<math>m^3/kg</math>]</p> <p><math>v_n'</math> : 노즐 직전의 건공기 비체적 [<math>m^3/kg</math>]</p> <p><math>V_n</math> : 노즐 통과유속 [<math>m/s</math>]</p> <p><math>V_{no}</math> : 노즐 유속가정치 [<math>m/s</math>]</p> <p><math>Y</math> : 팽창계수</p>
---	--

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-053-850-6682; fax: +82-053-850-6689

E-mail address: bhkim@taegu.ac.kr

## 그리스 문자

- $\alpha$  : 노즐 전후의 압력비  
 $\nu$  : 동점성 계수 [ $m^2/s$ ]  
 $\chi$  : 노즐 직전의 공기 절대습도 [ $kg/kg$ ]

## 하첨자

- 1 : 입구  
 2 : 출구  
 $a$  : 공기측  
 $m$  : 측정값  
 $n$  : 노즐  
 $s$  : 표준 또는 기준값

## 1. 서 론

공기조화기의 성능을 측정하는 데 있어서 정확성과 재현성을 유지하는 것은 제품 개발단계뿐만 아니라 양산작업을 할 경우의 품질보증 과정에서 중요한 사항으로 고려되어야 한다. 이러한 측면에서 볼 때 기존의 연구<sup>(1-2)</sup>들은 주로 온도, 압력 등의 측정 및 교정방법과 계측오차를 제시하는 것에 국한되었으며 성능측정상의 정확도 또는 재현성과 관련된 연구는 극히 부족한 실정이다.

본 연구에서는 가정용으로 널리 보급되고 있는 전기식 공기조화기의 시험기준 및 교정방법과 측정오차의 최소화를 통한 냉방능력 측정상의 허용오차에 대하여 연구하였다. 성능측정은 공기-엔탈피법을 적용한 건습구식 칼로리미터(Psychrometric Calorimeter)를 사용하여 실시하였다.

공기조화기의 성능은 제품 규격별로 냉방능력(Cooling Capacity)과 이 냉방능력값을 소비입력(Power Consumption)값으로 나누어 표시하는 에너지효율등급(Energy Efficiency Ratio, EER)으로 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 소비입력과 관련된 내용을 제외시키고 주로 냉방능력과 풍량을 고려한 온도, 습도 및 공기압력 등에 대하여 측정 및 분석을 실시하였다.

전기식 공조기의 성능을 측정 및 평가하기 위한 일반적인 시험조건은 KS C9306<sup>(3)</sup>(전기식 공기조화기)과 ANSI/ASHRAE 16<sup>(4)</sup>에 제시되어 있

으며, 냉방능력과 풍량에 대한 시험기준 및 계산방법은 KS B6369,<sup>(5)</sup> ANSI/ASHRAE 37,<sup>(6)</sup> JRA-TPO1<sup>(7)</sup>(일본냉동공조협회 표준성능시험세칙) 등에 명시되어 있다.

본 연구의 목적은 공기조화기의 성능에 영향을 미치는 칼로리미터의 각종 센서들(온도, 습도, 차압 등)의 계측특성과 이 센서들의 신호값을 받아서 성능을 계산하는 계산 프로그램을 종합적으로 분석함으로써 성능측정상의 정확도와 재현성을 측정오차의 최소화라는 관점에서 조사하고자 한다. 이를 위해서 성능계산에 영향을 미치는 각종 센서들을 교정하는 방법이 제시됨과 아울러 교정전과 후의 성능측정상의 오차를 비교 분석하여 여러 시험표준이 제시하는 시험조건상의 타당성을 검토하고자 한다. 또한 성능에 가장 큰 영향을 미치는 주요 변수들에 대하여 교정된 상태에서 변수분석을 실시하여 이들 변수들의 측정오차가 최종 냉방능력과 풍량에 어떠한 영향을 미치는가에 대해서도 조사하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

## 2.1 실험장치 구조

본 연구에 사용된 실험장치는 성능측정용 칼로리미터와 계측기 교정용 실험장치(세부내용은 3절 참조)로 구성된다. 건습구식 칼로리미터는 통상 두 개의 실내측 및 실외측 룸으로 구성되어 공기조화기의 실내기와 실외기가 각각 위치되도록 되어 있다.<sup>(6)</sup>

Fig. 1은 실내측 룸의 배치도를 나타내는데 크게 공조장치(HVAC Unit)와 풍량시험장치(Cord Tester)로 구성된다. 공조장치는 가열, 냉각 및 가습기능을 수행하여 샘플링장치(Sampling Manifold)와 건습구습도계(Psychrometer)에 의하여 실내를 지정된 온도 및 습도로 유지시킨다. 풍량시험장치는 실내기(Indoor Unit)의 토출측에 연결되어 실내기 입출구를 통한 온습도의 변화와 풍량을 측정한다. 실외측 룸에도 실내측과 동일하게 룸을 지정된 온도 및 습도로 유지시키는 공조장치와 습도계가 설치되어 있다.

풍량시험장치 내부에는 실내기 토출측 온도 및 습도를 측정하기 위하여 건구(Dry Bulb) 및 습구(Wet Bulb)로 구성된 건습구와 내부의 압력을 의

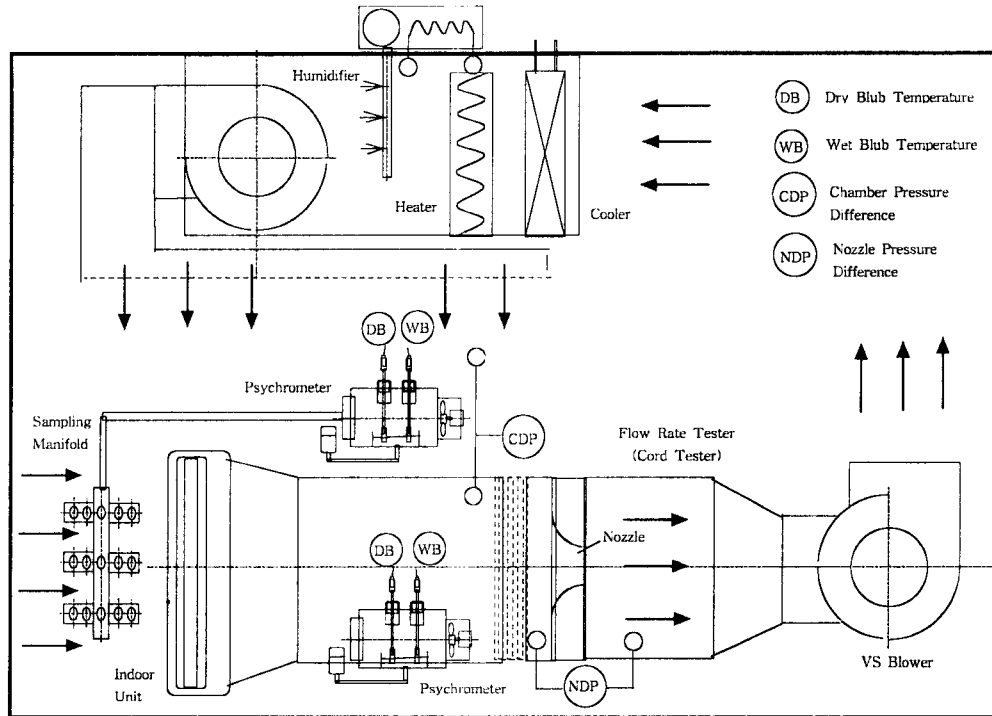


Fig. 1 A schematic diagram of test apparatus.

부와 동일하게 평형을 유지시킴으로써 정확한 풍량을 측정하기 위한 챔버차압(Chamber Pressure Difference) 센서가 가변속 송풍기(VS Blower)와 연결되어 센서에 의하여 측정되는 차압이 0이 되도록 풍동의 회전속도를 제어한다. 또한 노즐의 전후에는 노즐차압(Nozzle Pressure Difference) 센서가 부착되어 차압을 측정함으로써 풍량을 측정할 수 있도록 되어 있다.

냉방능력과 풍량을 계산하기 위하여 각종 센서들로부터 전달된 계측값은 데이터 기록장치(Hybrid Recorder)를 통하여 GPIB 통신으로 성능계산 프로그램이 작동되는 컴퓨터로 입력된다. Fig. 1에서 성능계산에 영향을 미치는 계측기는 공조 장치의 건습구 습도계에 부착된 건구 및 습구 온도센서, 풍량시험장치 내부에 설치된 건습구의 건구 및 습구 온도센서, 챔버차압센서, 노즐차압센서 등이며 데이터 기록장치와 연결되어 있다.

## 2.2 실험조건 및 방법

냉방능력 및 풍량측정상의 오차를 분석하기 위하여 실험은 크게 세 종류로 순차적으로 실시되

었다. 교정 전 실험을 먼저 실시하고 계측기 교정실험을 완료한 후에 교정 후 실험을 실시하여 교정 전후를 비교하였다. 이 상태에서 변수분석 실험을 진행하였다.

- (1) 교정 전후 비교실험(세부내용 5.1절 참조)
- (2) 계측기 교정실험(세부내용 3절 참조)
- (3) 변수분석실험(세부내용 5.2절 참조)

교정 전 실험에서는 항상 동일한 냉방능력을 갖는 공기조화기 표준시료를 교정되지 않은 칼로리미터에 장착하여 JIS 냉방표준조건<sup>(7)</sup>(실내조건은 건습구 27/19℃, 실외는 35/24℃)에서 냉방능력과 풍량을 측정한다. 표준시료는 냉방능력 기준으로 6평과 12평에 해당되는 분리형 공기조화기로 국내의 검교정을 거쳐서 냉방표준능력이 검증된 시료이다(세부내용은 Table 1 참조).

계측기 교정실험에서는 각종 계측센서의 정확도와 재현성을 시험하기 위하여 칼로리미터에 설치된 상태에서 기준 온도, 습도 및 차압을 가하였을 경우 데이터 수집장치에 기록되는 수치가 기준치와 일치되는 정도로부터 각 계측기의 측정 오차를 독립적으로 분석하였다.

교정 후 비교실험은 2단계의 교정실험을 통하

여 교정이 완료된 계측센서를 칼로리미터에 적용하고 앞에서 언급된 교정 전 실험과 동일한 공기조화기 시료와 시험조건에서 JIS 냉방표준 능력 실험을 실시하여 교정 전의 측정치와 측정오차를 비교한다.

변수분석실험에서는 칼로리미터의 계측 시스템이 교정된 상태에서 7평형 정도의 분리형 공기조화기를 사용하여 KS 냉방표준조건<sup>(5)</sup>(실내 조건은 건습구 27/19.5℃, 실외는 35/24℃)에서 특정 계측값, 즉 건구 및 습구온도 또는 노출차압 등을 개별적으로 가변시킨 경우 냉방능력과 풍량측정상의 측정오차를 분석하였다.

실험의 재현성을 확보하기 위하여 교정실험에서는 측정치의 변동이 지정된 수치(온도의 경우 0.01℃ 이하, 차압은 0.05 mmAq 이하)로 안정된 후에 3회 측정하여 평균값을 데이터로 수집하였다. 칼로리미터를 이용한 실험에서는 1시간 이상 운전하여 데이터 수집 프로그램에서 실내의 온도, 습도에 대한 안정판단을 실시하고 ASHRAE 기준<sup>(8)</sup>을 만족시켜야 냉방능력과 풍량이 측정된다. 그리고 정상상태에서 적산 평균 프로그램은 성능을 10분 단위로 5회 측정하며 각 회수별로 20구간 단위로 적산 평균하여 측정하였다.

### 3. 계측센서 교정

#### 3.1 온도센서

본 실험에서 사용한 온도센서는 JPt 100(A Class)이며 표준온도계는 Omega사의 DP251(-200~800℃)이고 0.01℃ 이하의 정밀도와 0.001℃의 분해능을 갖는다. 칼로리미터의 건습구 습도계로부터 분리된 6개의 온도센서들을 표준온도센서와

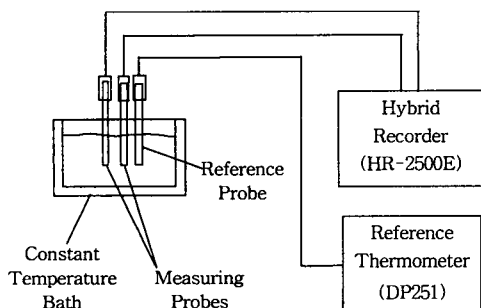


Fig. 2 A schematic diagram of temperature calibration apparatus.

같이 한 다발로 묶어서 Fig. 2와 같이 항온수조에 넣고 0℃부터 50℃까지 10℃ 간격으로 측정한다. 표준온도계와 측정용 온도센서들의 선형 상관식을 이용하여 기록계(Hybrid Recorder)의 출력 기울기와 스케일값을 입력하고 표준온도계의 측정치와 일치하도록 교정하였다.

#### 3.2 습도계

칼로리미터에 사용되는 습도계는 Fig. 3과 같이 건구 온도센서와 습구 온도센서로 구성된 건습구 습도계(Psychrometer)이다. 교정작업이 완료된 온도센서를 Fig. 1과 같이 실내측 룸(공조장치용 및 풍량시험장치용 건습구 습도계)과 실외측 룸의 공조장치용 건습구 습도계에 다시 장착시킨다. 공조장치를 작동시키고 실내의 습도를 상대습도기준으로 30~90% 사이를 가변시키고 건습구 습도계의 흡입측에 병렬로 연결된 노점식 표준습도계(General Eastern, 121.1H)를 이용하여 상대습도를 측정하였다. 측정범위는 상대습도 0~100%, 정밀도 0.1%, 분해능 0.01%이다. 건구 및 습구온도로부터 구한 상대습도(RH)와 노점온도계(Dew Point Sensor)의 상대습도를 비교하여 상대습도상의 편차를 교정한다. 온도센서 교정시와 동일한 방법으로 기록계의 보정기능을 이용하여 건습구 습도계의 측정값을 노점온도계의 상대습도 출력값과 동일하게 일치시키기 위하여 기록계의 출력 기울기와 스케일값을 조정한다. 습도를 측정할 때 영향을 미치는 요소로는 공기의 풍속(5 m/s 이상), 습구온도센서의 직경과 면봉(Wick)

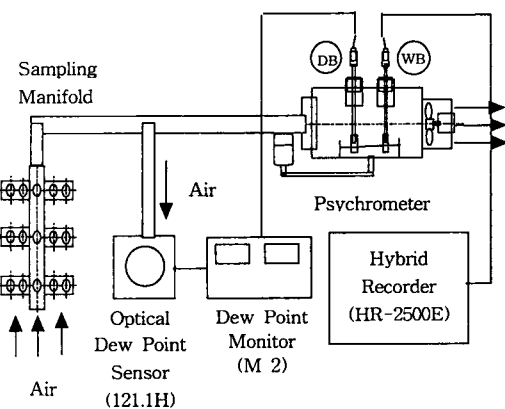


Fig. 3 A schematic diagram of humidity calibration apparatus.

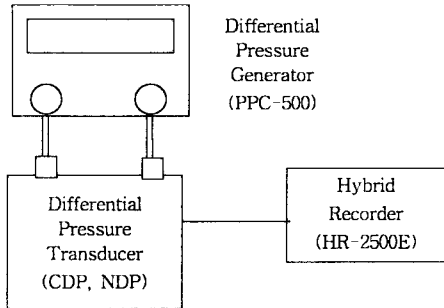


Fig. 4 A schematic diagram of pressure calibration apparatus.

의 형상 등으로 세부적인 요구 조건은 ANSI/ASHRAE 41.1<sup>(8)</sup>에 명시되어 있다.

### 3.3 압력센서

칼로리미터에 사용되는 차압센서는 Fig. 1과 같이 챔버 차압센서와 노즐 차압센서가 있다.<sup>(9)</sup> 챔버 차압센서는 가변송풍기의 조절장치에 연결되어 풍량시험장치 내부의 정압을 실내와 동일하게 PID 조절하여 풍량측정의 재현성을 유지시킨다. 노즐 차압센서를 이용하여 풍량을 계산하기 위한 노즐 전후의 압력강하량을 측정한다. 두 차압계를 교정하기 위하여 Fig. 4와 같이 표준차압발생기(Furness, PPC500)에 연결한다. 이 계기는 0.001~200 mmAq에서 0.01%의 정밀도와 0.0001 mmAq의 분해능을 갖는다. 챔버 차압계의 경우 -0.5~+0.5 mmAq까지 0.05 mmAq 간격으로, 노즐 차압계의 경우 -50~100 mmAq까지 10 mmAq 간격으로 측정된 후 표준압력계와 측정압력계의 상관관계식으로부터 기록계의 스케일값을 변경하고 측정값이 교정값과 일치하도록 보정하였다.

### 3.4 풍량측정 및 검증

노즐 차압의 크기에 따른 풍량의 변화를 측정하기 위하여 Fig. 5와 같이 실내기가 연결되었던 풍량측정장치(Cord Tester)의 흡입측을 개방시키고 가변송풍기의 출구에 2m의 원형 덕트(φ200)를 설치하였다. 가변송풍기의 회전수를 가변시켜서 노즐 차압을 증가시키면서 칼로리미터의 풍량 계산 프로그램을 적용하여 냉방표준조건에서의 풍량을 측정하였다. 이렇게 측정된 풍량을 검증하기 위하여 덕트의 출구에 피토폴(Pitot Tube φ1.6

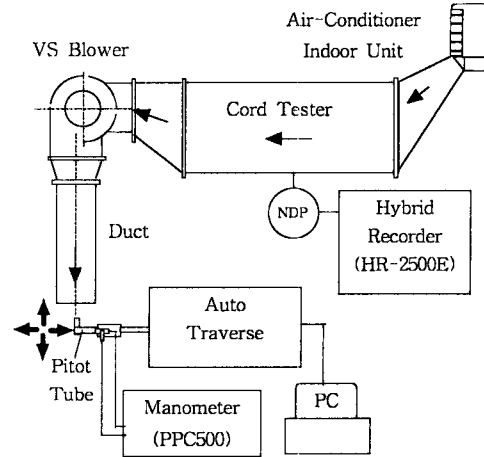


Fig. 5 A schematic diagram of flow rate calibration apparatus.

mm)을 위치시키고 ANSI/ASHRAE 51<sup>(10)</sup>의 풍량 측정기준에 따라서 마노미터(Furness, PPC500)와 이송장치(Auto Traverse)와 그리고 풍량적산 프로그램을 이용하여 측정된 풍량값과 비교하였다. 두 측정값 사이의 오차가 허용범위를 벗어나는 경우에는 노즐 차압을 측정하는 기록계의 출력 기울기 또는 스케일값을 조정하여 실제 풍량과 일치시킬 수 있다. 다른 방법으로는 풍량 계산 프로그램에 보정계수를 적용하여 직접적으로 풍량을 교정하는 방법도 있다.

### 4. 풍량 및 냉방능력 계산

다수의 노즐로 구성된 풍량시험장치(Cord Tester)를 사용하여 풍량을 측정하기 위한 시험기준은 KS B6369와 ANSI/ASHRAE 51, 그리고 JRA TP01(일본냉동공조협회의 표준성능시험방법 세칙) 등에 제시되어 있다. 이러한 시험기준들은 공통적으로 풍량측정시 챔버 차압을 지정된 수치 이하로 관리할 것을 요구하고 있으며 대부분 ±0.127 (ANSI/ASHRAE16)~±0.25 mmAq(KS B6369) 정도를 제시하고 있다. 또한 노즐 통과풍속을 지정된 수치(14~15 m/s) 이상으로 유지할 것을 명시하고 있다. 본 연구에 있어서 풍량시험시의 온도 및 습도조건은 냉방표준조건을 적용하였다. 냉방능력을 측정하기 위한 시험조건은 KS C9306에, 그리고 계산방법은 KS B6369와 JRA-TP01 등에 나타나 있다.

#### 4.1 풍량 계산

노즐을 조합하여 풍량을 측정하는 경우 풍량 ( $\text{m}^3/\text{min}$ )  $Q_m$ 은 다음과 같이 계산된다.<sup>(4,6)</sup>

$$Q_m = 60 \cdot Y \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta P_n \cdot v_n} \sum (C \cdot A_n) \quad (1)$$

여기서  $A_n$ 은 노즐 단면적( $\text{m}^2$ ),  $g$ 는 중력상수( $9.8 \text{ m/s}^2$ )이고,  $C$ 는 노즐의 유량계수를 나타내며

$$C = 1.0086 - \frac{7.006}{\sqrt{\text{Re}}} + \frac{135.9}{\text{Re}} \quad (2)$$

$$\text{Re} = \frac{V_{no} \cdot D_n}{\nu} \quad (3)$$

$V_{no}$ 는 노즐 유속의 가정치로 초기값은  $4.07\sqrt{\Delta P_n}$ 이다.

$v_n$ 은 노즐 직전의 공기의 비체적( $\text{m}^3/\text{kg}$ )이고

$$v_n = \frac{v_n'}{(1+x_n)} \quad (4)$$

$Y$ 는 팽창계수이며

$$Y = 0.452 + 0.548 \alpha \quad (5)$$

$$\alpha = 1 - \frac{\Delta P_n}{13.63 P_n} \quad (6)$$

새로운 노즐속도  $V_n$ ( $\text{m/s}$ )를 계산한 후

$$V_n = C\sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta P_n \cdot v_n} \quad (7)$$

$$\left| \frac{V_n - V_{no}}{V_n} \right| < 0.001 \quad (8)$$

수렴조건을 만족하지 않으면  $V_{no} = V_n$ 으로 하여 식(2)~(7)에 대하여 재계산을 행한다.

#### 4.2 냉방능력 계산

4.1절에서 계산된 풍량과 실내기 입출구간의 엔탈피 차이로부터 냉방능력( $\text{kW}$ )이 계산된다.

$$q_c = \frac{Q_m \cdot (h_{a1} - h_{a2})}{60 \cdot v_n (1 + x_n)} \quad (9)$$

여기서,  $h_{a1} - h_{a2}$ 는 엔탈피차( $\text{kJ/kg}$ )이며 실내기 입출구의 건구 및 습구온도를 습공기의 물성계산<sup>(11)</sup> 프로그램에 입력하여 계산된다.

### 5. 실험결과 및 고찰

#### 5.1 계측기 교정실험

Fig. 2에서 교정 전후에 발생하는 온도측정오차( $T_m - T_s$ )의 변화를 온도를  $0^\circ\text{C}$ 에서  $50^\circ\text{C}$ 까지 변화시키면서 조사하였다. 온도측정치 중에서도 습구온도의 측정오차가 건구온도보다 냉방능력에 더 많은 편차를 유발시키므로 Fig. 6과 같이 실내기 입출구의 습구온도 측정오차를 분석하였다.

교정 전 측정오차는 최대  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 에서 온도가 증가됨에 따라서 감소되어 최소  $\pm 0.05^\circ\text{C}$ 로 변화되는 경향을 보인다. 이는 KS B6369의 공기조화기 성능측정용 온도계에 대한 정밀도 요구수준인  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 를 만족시키고 있으나 ANSI/ASHRAE 41.1이 요구하는  $\pm 0.05^\circ\text{C}$  이내의 정밀도 수준에는 미치지 못하고 있다. 그러나 교정 후에는 전 온도영역에서 측정오차가  $\pm 0.05^\circ\text{C}$  이내로 계측센서의 특성에 기인한 잔존오차로 유지되고 있다.

Fig. 7에서는 교정 전후에 발생하는 노즐 차압 측정오차( $P_{dn} - P_{ds}$ )를 차압을  $-20 \text{ mmAq}$ 에서  $70 \text{ mmAq}$ 까지 변화시키면서 조사하였다. 교정 전에는 오차가  $-0.2 \text{ mmAq}$  이내이다. 이는 JRA-TP01에 제시된 요구사항인  $0.2 \text{ mmAq}$  이하를 만족시

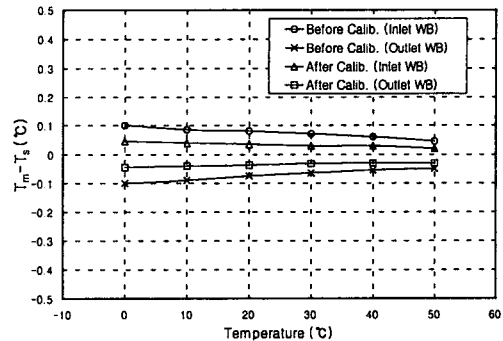


Fig. 6 Comparison of measurement error before and after temperature calibration.

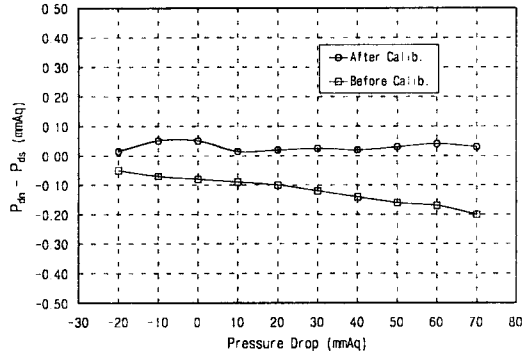


Fig. 7 Comparison of measurement error before and after pressure calibration.

키나 ANSI/ASHRAE 16이 요구하는 공기압력 측정계에 대한 요구정밀도인 0.127 mmAq 수준에는 부합되지 못한다. 한편 KS B6369에서는 노즐 차압 측정계의 정밀도를 측정값의 ±2% 이내로 제시되고 있어서 앞의 두 시험기준이 요구하는 수준보다 큰 오차를 허용하고 있다.

5.1 교정 전후 비교실험

공기조화기 표준시료를 교정 전후의 칼로리미터에 장착하여 JIS 냉방표준조건에서 식(1)과 식(9)를 적용하여 시험한 결과를 Table 1과 같이 비교하였다. 실내기 입구의 건구온도 및 습구온도, 즉 시험조건은 ±0.05℃ 이내로 유지됨으로써 허용오차(±0.5℃ 이내)를 만족시키나 실내기 출구의 건구 및 습구 온도측정에 있어서 큰 측정오차가 발생되었으며 또한 두 시료 모두 풍량시험장치 내부의 챔버 차압이 적정수준 이하로 관리되지 못함으로써 풍량 측정상에서도 오차가 있을

가능성이 크다고 볼 수 있다. KS B6369나 ANSI/ASHRAE 37에서는 챔버차압이 ±0.25 mmAq 이내로 최대한 실내의 정압과 일치된 상태에서 풍량 측정이 실시되어야 한다고 명시하고 있으나 본 실험을 통해서 볼 때 ACON-6 시료는 챔버차압이 0.03 mmAq인 경우 냉방능력은 0.7% 정도의 오차를 보이고, ACON-12 시료의 경우 챔버차압이 0.05 mmAq인 경우 냉방능력은 1.1%의 오차를 보였다. 따라서 챔버 차압이 ±0.05 mmAq를 벗어나는 경우 풍량 측정에 오차를 발생시킴으로써 냉방능력 측정상의 오차가 1% 이상으로 벗어날 가능성이 높다고 볼 수 있다. 냉방능력의 측면에서 보면 교정 전에는 ACON-6 시료의 경우 +3~4%, ACON-12는 +5% 정도로 오차를 보이나 교정 후에는 +1% 정도로 오차가 감소됨을 알 수 있다.

전기식 공기조화기의 제품인증 단계에서 적용되는 냉방능력상의 허용오차를 보면 KS B6369에서는 공시능력(Rated Capacity)의 92% 이상, 즉 6%이며 ANSI/ASHRAE 16에서는 4% 이내로 규정하고 있다. 그러나 이러한 기준은 냉방능력을 측정 및 검증하는 칼로리미터에 대해서는 더욱 엄격하게 적용되어야 하기 때문에 본 연구에서는 칼로리미터의 허용오차를 ±2% 이내로 냉방능력 측정상 재현성을 유지하기 위하여 각종 교정실험을 실시하였다.

5.2 변수 분석실험

Fig. 8은 칼로리미터의 각종 계측기들에 대한 교정작업이 완료된 상태에서 풍량측정장치 내부의 실내기 토출측에 설치된 건구 및 습구온도를

Table 1 Summary of calorimeter cooling tests after calibration

Test no.			ACON-6 (1884 kcal/h=2.191 kW)				ACON-12 (4057 kcal/h=4.718 kW)			
Calibration			Before		After		Before		After	
Capacity		%	103.7	104.5	100.7	100.1	105.3	105.6	101.1	101.3
Inlet	DB	℃	27.02	27.05	27.03	27.04	26.99	26.99	26.98	27.01
	WB	℃	19.00	18.98	19.00	18.99	19.07	19.05	18.98	19.05
Outlet	DB	℃	12.10	11.96	12.25	12.29	11.88	11.86	12.2	12.13
	WB	℃	10.83	10.72	11.13	11.21	10.99	10.96	11.25	11.38
Flow rate		m <sup>3</sup> /min	4.75	4.74	4.76	4.78	10.67	10.71	10.58	10.65
Pressure drop	Chamber	mmAq	-0.23	-0.21	-0.03	-0.02	-0.21	-0.20	0.05	0.01
	Nozzle	mmAq	26.62	26.52	26.68	26.93	59.28	59.73	58.28	60.08
Nozzle		mm	∅ 70				∅ 50/70			

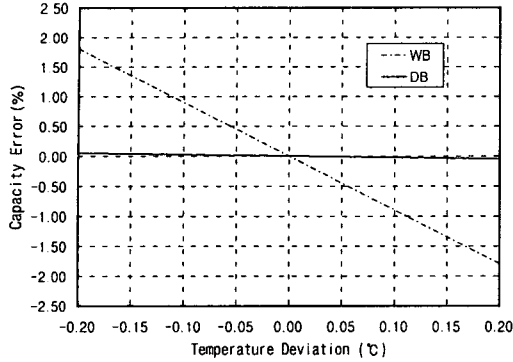


Fig. 8 Effect of temperature deviation on the capacity measurement error.

표준온도에서 벗어나게 가변시키면서 식(9)에 의하여 계산되는 냉방능력을 측정하였다. 표준온도에 대한 냉방능력을 기준으로 능력오차(%)를 온도편차의 함수로 나타내었다. 건구온도의 경우에는 온도측정상의 편차가 0.2°C로 증가되어도 식(9)의 입출구 공기의 엔탈피차가 극히 적어서 냉방능력 측정오차에는 큰 영향을 주지 못함을 알 수 있다. 그러나 습구온도의 경우에는 온도편차가 0.2°C로 증가되면 식(9)에서 공기의 엔탈피차에 있어서 큰 오차가 발생되어 결과적으로 냉방능력이 대략 1.8% 정도 변화되는 경향을 나타내었다. KS B6369의 정밀도인 0.1°C에 대해서는 1% 정도의 오차를 보이나 ANSI/ASHRAE 41.1의 요구정밀도인 0.05°C 편차에 대해서는 0.5% 이내의 오차를 보인다. 냉방능력에 영향을 주는 다른 변수들에 의한 오차를 고려할 경우 건구온도의 허용오차는 0.1°C 이내로 할 수 있으나 습구온도의 경우에는 0.05°C 이내로 유지할 필요가 있다.

Fig. 9에서는 Fig. 5의 풍량 측정결과를 노즐 차압(mmAq)의 함수로 나타내었다. 공칭 70 mm의 노즐과 50 및 70 mm의 두 노즐 조합에 대하여 노즐 차압을 20 mmAq에서 50 mmAq로 가변시키면서 칼로리미터의 풍량 계산 프로그램(식(1)~(8))에 의하여 계산된 풍량은 피토포관에 의하여 적산된 풍량과 비교하였다. 노즐차압이 증가될수록(즉, 노즐 풍속이 증가될수록) 두 풍량값 사이의 차이가 감소됨을 볼 수 있다. 노즐 차압이 50/70 노즐조합에 있어서 20 mmAq인 경우 두 풍량 간의 편차는 0.9%, 30 mmAq인 경우

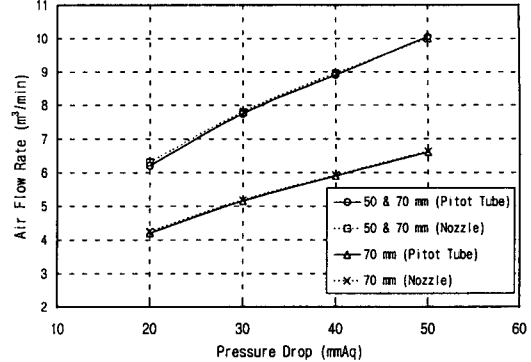


Fig. 9 Air flow rate calculated from nozzle pressure difference versus actual air flow rate measured by a pitot tube.

0.3% 정도이다. 편차를 0.5% 이내로 유지하기 위하여 KS C9306이나 ANSI/ASHRAE 16의 노즐 풍속에 대한 시험조건 15 m/s에 대응하여 노즐 차압 측면의 시험기준으로 노즐 차압 25 mmAq 이상이라는 기준을 제시할 수 있을 것으로 분석된다.

Fig. 10에서는 Fig. 8과 같은 방법으로 칼로리미터의 각종 계측기들에 대한 교정작업이 완료된 상태에서 노즐 차압을 표준값에서 벗어나게 가변시키면서 식(9)에 의하여 계산되는 냉방능력을 측정하였다. 표준차압에 대한 냉방능력을 기준으로 능력오차(%)를 차압 편차의 함수로 나타내었다. JRA-TP01의 노즐 차압 측정상에 요구되는 정밀도인 ±0.2 mmAq에 대한 능력오차는 대략 ±0.4% 정도이나 ANSI/ASHRAE 16에서 요구하는 ±0.125 mmAq에 대해서는 ±0.2%의 오차를 보여준다. 앞에서도 언급한 것처럼 다른 변수들에

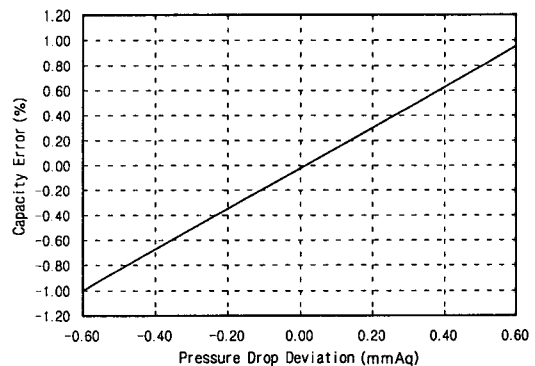


Fig. 10 Capacity error due to the nozzle pressure measurement error.



의한 오차를 고려하여 최종적인 냉방능력 측정오차가  $\pm 2.0\%$  이내로 관리되어 시험의 재현성을 유지하기 위해서는 ANSI/ASHRAE 16이 요구하는 정밀도를 만족시키는 것이 필요하다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 건습구식 칼로리미터에서 공조기의 성능 측정오차를 평가하기 위해 온도, 습도, 압력 및 유량 계측방법과 교정방법을 체계화(표준화)하고 이에 필요한 기준을 제시하였으며 각 계측기의 오차가 냉방능력 측정오차에 미치는 영향에 대하여 기술하였다.

건구온도의 측정오차가 냉방능력에 미치는 영향은 크지 않아서 KS B6369의  $0.1^\circ\text{C}$  허용편차가 적용될 수 있으나 습구온도의 경우에는 온도편차가  $0.2^\circ\text{C}$ 로 증가되면 대략 1.8% 정도의 오차를 발생시키므로 ANSI/ASHRAE 16의 기준에 따라서 허용 측정오차를  $0.05^\circ\text{C}$  이내로 유지하여야 한다. 풍량편차를 0.5% 이내로 유지하기 위하여 KS C9306이나 ANSI/ASHRAE 16의 노즐 풍속에 대한 시험조건 15 m/s에 대응하여 노즐 차압을 25 mmAq 이상을 유지할 필요가 있다.

노즐 차압 측정오차가 냉방능력에 미치는 영향을 분석해 볼 때 ANSI/ASHRAE 16에서 요구하는  $\pm 0.125 \text{ mmAq}$ 의 차압 편차에 대하여  $\pm 0.2\%$ 의 능력오차를 보여주었다. 다른 변수들에 의한 오차를 고려하여 최종적인 냉방능력 측정오차가  $\pm 2.0\%$  이내로 관리되어 시험의 재현성을 유지하기 위해서는 ANSI/ASHRAE 16이 요구하는  $\pm 0.125 \text{ mmAq}$  정도의 차압 측정상의 정밀도가 요구된다.

## 참고문헌

1. Kim, Y. I., Oh, M. D. and Han, D. Y., Measurement of temperature, humidity and pressure in refrigeration and air-conditioning, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 21, No. 5, pp. 402-441.
2. KOSEF, 1991, Performance test and evaluation of air conditioners and refrigeration equipment, Korea Science and Engineering Foundation.
3. KS, 1994, Electric air conditioners, KS C9306.
4. ASHRAE, 1988, Methods of testing for rating room air conditioners and packaged terminal air conditioners, ANSI/ASHRAE 16.
5. KS, 1985, Testing methods for unitary air conditioners, KS B6369.
6. ASHRAE, 1988, Methods of testing for rating unitary air conditioners and heat pump equipment, ANSI/ASHRAE 37.
7. JRA, 1994, Testing methods for package air conditioners, TP01-94.
8. ASHRAE, 1986, Standard methods for temperature measurement, ANSI/ASHRAE 41.1.
9. ASHRAE, 1989, Standard methods pressure measurement, ANSI/ASHRAE 41.3.
10. ASHRAE, 1975, Laboratory methods for testing fans for rating purposes, ANSI/ASHRAE 51.
11. ASHRAE, 1985, Fundamentals handbook, Ch. 6, pp. 1-16.