

폐열회수 환기유닛의 인증시험 방법에 대한 오차분석

한 화택*, 추연복

*국민대학교 기계자동차공학부, 국민대학교 대학원

Uncertainty Analysis of Test Method for Heat Recovery Ventilators

H. Han* and Youn-bok Choo

*School of Mechanical and Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea
Graduate School, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

ABSTRACT : Twenty nine HRV models have been tested for last two years since the attestation system has been started by KARSE. It is the objective of the present study to analyze the performance test results. Uncertainty analysis has been conducted to find the effects of measured variables on the uncertainties of test results. The uncertainty of enthalpy is found to be affected by the uncertainty of wet bulb temperature significantly, but not by that of dry bulb temperature for the present range of parameters. The uncertainty of effective enthalpy efficiency is calculated to be 6%P for the cooling condition, and 3%P for the heating condition approximately. In order to reduce the uncertainty of the test results, the uncertainty of wet bulb temperature should be minimized and the indoor/outdoor test conditions should be modified so as to increase the enthalpy difference.

Key words : Uncertainty Analysis (불확실성의 해석), Heat recovery ventilator (폐열회수 환기유닛), Attestation Test (인증시험)

기 호 설 명

A : 노즐의 유동면적 [m^2]
 C : 농도 [ppm]
 C_p : 정압비열 [kJ/kg·K]
 h : 엔탈피 [kJ/kg]
 h_{fg} : 증발잠열 [kJ/kg]
 K : 노즐의 유출계수

n : 측정변수의 개수
 P : 압력 [Pa]
 Q : 급기량 [m^3/h]
 q : 누설량 [m^3/h]
 T : 온도 [$^{\circ}C$]
 W : 정격소비전력 [kW]
 X : 절대습도 [g/kg]
 x_i : 측정값
 Y : 결과값

†Corresponding author

Tel.: +82-2-910-4687; fax: +82-2-910-4839

E-mail address: hhan@kookmin.ac.kr

그리스 문자

β : 유동노즐의 축소면적비

ρ : 급기측 공기밀도[kg/m³]

하첨자

d : 건공기
w : 습공기
OA : 외기
RA : 환기
SA : 급기

1. 서론

건축물의 단열화 및 고기밀화가 진행됨에 따라 기존의 자연환기방식으로는 외부에서 신선외기의 도입이 부족하게 되어 실내공기의 오염문제가 대두 되었다. 이에 따라 환경부에서는 “다중이용시설 등의 실내공기질 관리법”⁽¹⁾을 제정하여 실내환경기준을 제시하여 환기설비의 필요성을 제시하였고, 건설교통부에서는 “건축물의 설비기준 등에 관한 규칙”⁽²⁾을 시행하여 건축물에 환기설비의 설치를 의무화 하고 있다.

환기설비의 설치가 의무화됨에 따라 환기설비의 차별화 및 기술발전을 위하여 환기설비의 인증이 필요하게 되었고, 환기설비의 인증은 에너지관리공단(KEMCO)에서 “고효율에너지기자재” 인증⁽³⁾을, 한국설비기술협회(KARSE)에서 “폐열회수 환기유닛”에 관한 인증⁽⁴⁾을 시행하고 있다.

인증기준은 설정온도와 설정온도의 오차범위를 가지고 있는데 이에 따라 같은 제품을 인증하는데 시험조건이 다르게 되고 인증결과의 오차도 발생 한다. 이러한 이유 때문에 Johnson et al.⁽⁶⁾은 폐열회수환기유닛을 실제로 가동하며 효율 측정 시 발생할 수 있는 오차를 분석하였고, Yee et al.⁽⁷⁾은 한국과 일본의 인증조건 차이를 비교하여 국내 기후조건에 대한 적합성을 검토하였다.

본 논문에서는 한국설비기술협회에서 시행하는 폐열회수 환기유닛의 인증⁽⁴⁾에 대하여 살펴보고 인증시험을 받은 29개 제품들의 평균값을 이용하여 시험조건에 따른 인증과정에서 발생할 수 있는 오차를 분석하고 에너지관리공단의 “고효율에너지기자재” 인증⁽³⁾ 기준과 비교하여 오차가 발생하는 주된 요인을 분석하여 향후 인증시험방법 개선에 필요한 기초 데이터를 제공할 것을 목적으로 하고 있다.

Table 1 Test condition of HRV by KARSE

	Indoor condition		Outdoor condition	
	T _{dry} (°C)	T _{wet} (°C)	T _{dry} (°C)	T _{wet} (°C)
Cooling	27±0.5	19.5±0.3	35±0.5	24±0.3
Heating	20±0.5	15±0.3	7±0.5	6±0.3

2. 인증시험 결과분석

한국설비기술협회에서 시행하는 “폐열회수환기유닛” 인증의 시험조건은 냉방기간과 난방기간을 구분하여 실내·외의 건·습구온도와 오차범위가 Table 1 과 같다.

2.1 구조

24개 회사에서 생산되고 있는 29개 제품을 분석해 본 결과 대부분 덕트형(96.6%)의 구조를 가지고 있고, 설치형태는 천정매립덕트형(76%), 천장형(13.8%), 상치형(3.4%), 벽걸이형(3.4%)의 분포를 보이고 있다. 또한 열교환기 방식으로는 판형(82.8%), 로터형(10.4%) 히트파이프형(3.4%), 동작상태는 정지형(86.2%)과 회전형(10.4%)의 분포를 보이고 있다.

2.2 성능

성능적인 면에서 시험 결과의 평균값으로 살펴 보면 풍량은 308.41 CMH, 전열교환효율은 34.10%(냉방)과 58.13%(난방), 소비전력은 220.9 W, 소음은 51.69 dB, 누설률은 4.88%를 보이고 있다.

유효전열교환효율의 경우 Fig. 1에서 냉방기간에 최대 46.70%에서 최소 20.15%의 분포(평균 30.55%)를 보이는데 반하여 난방기간에는 최대 71.10%에서 최소 36.95%의 분포(평균 56.00%)를 보이고 있다. 에너지계수는 Fig. 2에서 냉방기간 최대 6.07에서 최소 1.09의 분포(평균 2.57)를 보이는데 반하여 난방기간에는 최대 12.075에서 최소 3.265의 분포(평균 6.17)를 보이고 있다.

유효전열교환효율의 경우 20%이상, 에너지계수의 경우 2~3배 난방기간이 냉방기간 보다 더 높은 이유는 난방기간에는 폐열회수 환기유닛의 내부 장치의 발열에 의해 열이 공급되기 때문이다.

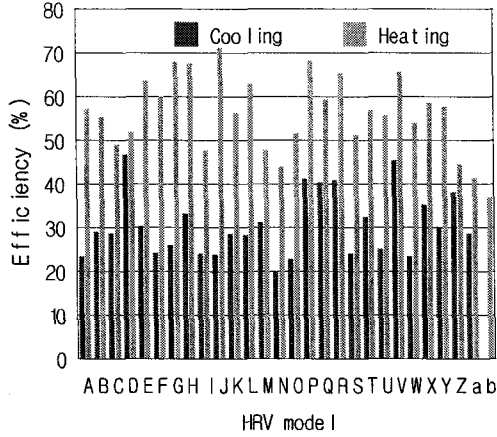


Fig. 1 Effective enthalpy efficiencies of the models tested by KARSE

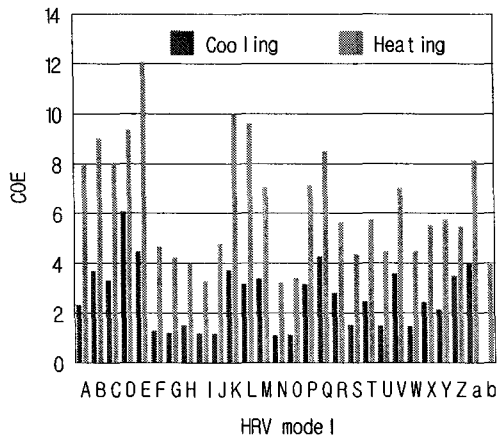


Fig. 2 Coefficients of energy of the models tested by KARSE

3. 인증시험 방법 오차 분석

인증시험 과정에 주어진 온도조건 중에 설정온도보다는 온도의 오차범위에 따라서 시험 결과에 차이가 발생할 수 있다. 따라서 오차범위가 제품의 효율에 미치는 영향을 살펴보고 적당한 기준을 살펴볼 필요가 있다.

오차분석이란 결과 값을 얻기 위하여 측정된 측정값들 각각이 가지고 있는 오차들이 결과 값에 영향을 끼치는 것을 알아보는 것이다. 결과 값을 Y , 측정값을 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$ 라고 할 때 각 측정값의 오차 $\Delta x_i (i=1, 2, \dots, n)$ 가 결과 값 Y 에 끼치는

영향을 분석한다.

각 측정값들이 결과 값에 미치는 영향들을 합산하는 방법은 최대가능오차 방법과 기대최고오차 방법이 있는데 본 논문에서는 기대최고오차 방법을 사용하였다. 기대최고오차 방법이란 아래 식에서 알 수 있듯이 각 측정값 오차에 의하여 발생한 오차를 제곱하여 합하고 이것의 제곱근을 구하여 추정하는 방법이다.

$$\frac{\Delta Y}{Y} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial Y}{\partial x_i} \frac{x_i}{Y} \frac{\Delta x_i}{x_i} \right)^2} \quad (1)$$

3.1 급기량(Q)의 불확실성

풍량시험은 KS A 0612 조임기구에 의한 유량 측정방법⁽⁵⁾에서 규정하고 있는 노즐법에 의해 급기량을 측정한다.

급기량은 다음 식과 같이 유출계수, 노즐양단의 압력차, 급기의 밀도, 그리고 노즐의 단면적과 수축면적비의 함수이다.

$$Q = KA \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho(1-\beta^2)}} \quad (2)$$

여기서 급기의 밀도, 그리고 노즐의 단면적과 수축면적비의 불확실성을 고려하지 않으면 급기량의 불확실성은 노즐전후의 압력차와 유출계수(K)에 의하여 결정된다. KS A 0612 조임기구에 의한 유량측정방법⁽⁵⁾에서는 노즐 전후의 압력차 측정상의 불확실성과 유출계수(K)의 불확실성을 각각 $\pm 2\%$, $0.8\% (\beta \leq 0.6)$ 으로 명시하고 있다. 명시된 압력차 측정상의 불확실성과 유출계수의 불확실성에 의하여 계산된 급기량의 불확실성은 1.28%이 된다.

3.2 누설률(η_q)의 불확실성

누설률 시험은 정격 풍량조건에서 각 덕트내의 이산화탄소 농도를 측정하여 이루어진다. 이산화탄소의 이행율법인 아래 식에 따라 누설률을 산출한다.

$$\eta_q = \frac{C_{SA} - C_{OA}}{C_{RA} - C_{OA}} \times 100 = \frac{q}{Q} \times 100 \quad (3)$$

이산화탄소 농도 측정장치의 불확실성을 5%로 가정할 때 누설률에 대한 불확실성은 7.1%로 계산된다.

3.3 엔탈피(h)의 불확실성

효율측정의 중요한 변수인 엔탈피는 다음 식에서 볼 수 있듯이 온도와 절대습도의 관계로 이루어진다.

$$h = C_{pd}T + X(h_{fg} + C_{pw}T) \quad (4)$$

절대습도는 아래 식에 따라 건·습구온도와 온도의 함수인 증기압⁽⁸⁾의 관계로 구할 수 있다.

$$w = \frac{C_{pd}(T_w - T_d) + \frac{0.62198P_w}{101325 - P_w}h_{fgw}}{h_{gd} - h_{fw}} \quad (5)$$

따라서 엔탈피의 불확실성을 측정하기 위해서는 건구온도와 습구온도의 오차에 의하여 발생하는 엔탈피의 불확실성을 살펴보아야 한다. Table 2의 두 번째 열의 값인 습구온도에 의한 엔탈피의 불확실성이 첫 번째 열의 건구온도에 의한 불확실성보다 절대적으로 높은 비율을 차지하고 있어서 건구온도의 영향은 무시할 수 있다. 세 번째 열의 값인 엔탈피의 불확실성이 습구온도에 의한 불확실성과 거의 일치하는 것으로 보아 엔탈피의 불확실성은 건구온도에 의해서는 영향을 받지 않는 것으로 볼 수 있다.

냉방기간의 엔탈피는 71.70±1.21 kJ/kg(외기), 55.45±1.00 kJ/kg(환기), 난방기간은 20.57±0.61 kJ/kg(외기), 41.86±0.84 kJ/kg(환기) 인데 냉·난방기간의 불확실성의 비율은 같지만 엔탈피 값의 차이 때문에 불확실성 값의 차이가 발생한다.

Table 2 Uncertainty analysis of enthalpy calculation

	$\frac{\Delta h}{h} \Big _{T_d}$	$\frac{\Delta h}{h} \Big _{T_w}$	$\frac{\Delta h}{h}$	$h(kJ/kg)$
Cooling	0.00029	0.01689	0.01689	71.70±1.21
	0.00031	0.01812	0.01812	55.45±1.00
Heating	0.00025	0.02975	0.02975	20.57±0.61
	0.00031	0.02010	0.02010	41.86±0.84

Table 3 Uncertainty analysis of enthalpy efficiency

	$\frac{\Delta \eta_h}{\eta_h} \Big _{h_{da}}$	$\frac{\Delta \eta_h}{\eta_h} \Big _{h_{sa}}$	$\frac{\Delta \eta_h}{\eta_h} \Big _{h_{ra}}$	$\frac{\Delta \eta_h}{\eta_h}$	$\eta_h(\%)$
Cooling	0.1440	0.0685	0.0618	0.1710	34.10±5.83%P
Heating	0.0207	0.0199	0.0395	0.0489	58.13±2.84%P

3.4 전열교환효율(η_h) 측정의 불확실성

거주자의 에너지 효율 측면에서 중요한 변수인 전열교환효율은 실내·외 공기의 엔탈피와 급기 엔탈피의 상대적인 비율을 이용하여 산출한다.

$$\eta_h = \frac{h_{OA} - h_{SA}}{h_{OA} - h_{RA}} \times 100 \quad (6)$$

전열교환효율 측정의 세 가지 요소인 외기, 급기, 환기 엔탈피에 의한 전열교환효율의 불확실성을 표시한 Table 3에서 볼 수 있듯이 전열교환효율의 불확실성은 엔탈피 값이 가장 큰 냉방기간의 외기와 난방기간의 환기에 가장 큰 영향을 받아 불확실성이 결정된다. 냉방기간의 전열교환효율은 34.10%±5.83%P, 난방기간의 전열교환효율은 58.13%±2.84%P 인데, 냉방기간의 불확실성이 난방기간의 불확실성보다 크게 나타난 이유는 엔탈피의 불확실성 측정 때와 마찬가지로 온도조건이 높기 때문이다. 냉방기간의 불확실성이 최대 11.66%P(28.27-39.93%)의 큰 차이를 보이고 있는데, 이는 같은 제품을 시험하더라도 시험조건 설정의 차이로 인하여 제품의 인증결과의 불확실성이 많은 차이를 보일 수 있음을 나타내고 있다.

3.5 유효전열교환효율(η_e) 측정의 불확실성

유효전열교환효율은 폐열회수환기유닛의 열교환장치의 성능을 나타내는 것으로 누설되는 공기를 제외한 급기와 배기 사이의 열교환 효율을 나타낸다. 유효전열교환효율은 다음 식에서 볼 수 있듯이 전열교환효율과 누설률의 함수이다.

$$\eta_e = \frac{\eta_h - \eta_q}{100 - \eta_q} \times 100 \quad (7)$$

Table 4 Uncertainty analysis of effective enthalpy efficiency

	$\frac{\Delta\eta_e}{\eta_e} \Big _{\eta_h}$	$\frac{\Delta\eta_e}{\eta_e} \Big _{\eta_c}$	$\frac{\Delta\eta_e}{\eta_e}$	$\eta_e(\%)$
Cooling	0.1996	0.0082	0.1998	30.72±6.14%P
Heating	0.0534	0.0029	0.0534	55.98±2.99%P

전열교환효율과 누설률에 의한 유효전열교환효율의 불확실성은 Table 4에서 알 수 있듯이 누설률 보다는 전열교환효율이 절대적으로 높은 비율을 차지하고 있어 누설률에 영향은 무시할 수 있다.

유효전열교환효율 또한 전열교환효율의 불확실성의 영향으로 냉방기간의 불확실성이 난방기간의 불확실성 보다 3%P 크게 나타남을 알 수 있다.

3.6 에너지 계수(COE) 측정의 불확실성

실제로 제품을 사용함에 있어서 중요한 지수인 에너지계수는 다음 식에서 알 수 있듯이 공급되는 전력량과 비교하여 급기에 회수된 에너지의 비율을 나타낸다.

$$COE = \frac{\rho\eta_e Q(h_{OA} - h_{RA})}{W} \quad (8)$$

에너지계수는 급기밀도, 유효전열교환효율, 급기량, 실내·외 엔탈피 차이와 전력량의 함수이다. 이중 급기밀도와 전력량의 불확실성은 고려하지 않았다.

Table 5에서 볼 수 있듯이 에너지계수의 불확실성에 가장 큰 영향을 끼치는 요소는 유효전열교환효율이고 상대적으로 급기량은 작은 영향을 끼치고 있다. 유효전열교환효율은 엔탈피의 불확실성에 영향을 받은 것이므로 에너지계수 또한 엔탈피 값의 불확실성이 큰 영향을 끼침을 보이고 있는 것이다.

에너지 계수는 냉방기간에는 2.20±0.49, 난방기간에는 5.58±0.41을 나타내고 있다. 전열교환효율이나 유효전열교환효율과 달리 냉방기간과 난방기간의 불확실성의 차이가 적게 나타나고 있다.

Table 5 Uncertainty analysis of coefficient of energy

	$\frac{\Delta COE}{COE} \Big _{\eta_h}$	$\frac{\Delta COE}{COE} \Big _{\eta_c}$	$\frac{\Delta COE}{COE} \Big _{\eta_{ex}}$	$\frac{\Delta COE}{COE} \Big _q$	$\frac{\Delta COE}{COE}$	COE
Cooling	0.1998	0.0745	0.0618	0.0128	0.2224	2.20±0.49
Heating	0.0534	0.0287	0.0395	0.0128	0.0735	5.58±0.41

이는 엔탈피의 불확실성의 경우와 반대로 냉·난방기간의 불확실성의 비율은 냉방기간이 난방기간에 비하여 매우 높지만 난방기간의 에너지계수 값이 냉방기간에 비하여 크기 때문에 에너지계수의 불확실성은 차이가 적게 나타났다.

3.7 KARSE와 KEMCO의 불확실성 비교

한국설비기술협회의 폐열회수환기유닛 인증과 에너지관리공단의 고효율에너지기자재 인증의 다른 시험조건에서 같은 제품의 인증결과의 불확실성이 어떤 차이를 보이는지 알아보았다. 에너지관리공단의 시험조건은 Table 6 과 같고, Fig. 3의 습공기선도에서 두 시험기준을 비교한 결과에서 볼 수 있듯이 에너지관리공단의 고효율에너지기자재 시험조건이 실내·외의 온도차가 더 크고 그에 따라 Table 7에 나타난 것처럼 실내·외의 엔탈피차이가 더 커서 유효전열교환효율은 대한설비기술협회의 인증 결과보다 에너지관리공단의 결과가 더욱 낮은 오차범위를 가지고 있는 것을 볼 수 있다.

Table 6 Test condition of HRV by KEMCO

	Indoor condition		Outdoor condition	
	T _{dry} (°C)	T _{wet} (°C)	T _{dry} (°C)	T _{wet} (°C)
Cooling	24±0.5	17±0.3	35±0.5	24±0.3
Heating	22±0.5	13.9±0.3	2±0.5	0.44±0.3

Table 7 Comparison of effective enthalpy efficiency uncertainties

		KARSE	KEMCO
		Cooling	$\Delta(h_{OA} - h_{RA})$ 16.25 kJ/kg
	η_e	6.13%P	4.07%P
Heating	$\Delta(h_{OA} - h_{RA})$	21.29 kJ/kg	28.60 kJ/kg
	η_e	2.99%P	2.07%P

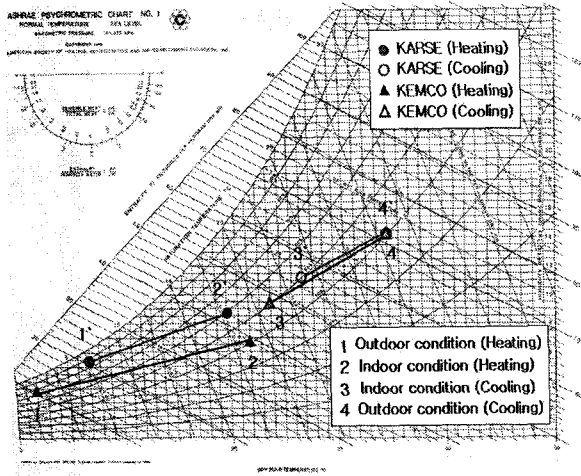


Fig 3 Comparison of test conditions between KARSE and KEMCO

4. 결론

환기설비 설치의 의무화 및 에너지절약을 위해서 폐열회수 환기유닛의 사용이 증가하며, 이에 따라 폐열회수 환기유닛의 차별화 및 기술발전을 위하여 인증이 요구되고 있다. 폐열회수 환기유닛의 인증시험 조건은 온도조건과 오차범위가 주어지는데, 같은 제품을 시험하더라도 오차범위에 따라 시험결과가 다르게 된다.

따라서 본 논문에서는 오차범위에 따른 시험결과와 불확실성을 살펴보았다. 전열교환효율은 냉방기간 5.83%P와 난방기간 2.84%P, 유효전열교환효율은 냉방기간 6.14%P와 난방기간 2.99%P, 에너지계수는 냉방기간 0.49와 난방기간 0.41의 불확실성을 보이고 있다.

이러한 불확실성이 나타나는 주된 원인은 엔탈피의 불확실성에 크게 관여하는 습구온도의 불확실성이다. 또한 한국설비기술협회와 에너지관리공단의 고효율에너지기자재 인증의 비교를 통하여 실내·외의 엔탈피 차이가 증가함에 따라 유효전열교환효율의 불확실성이 감소함을 볼 수 있다.

따라서 향후 인증시험방법의 개정이 필요할 경우, 불확실성을 줄이기 위해서는 습구온도 측정상의 불확실성을 줄이고, 실내·외의 온도차에 따른 엔탈피의 차이를 크게 유지하도록 하여야 할 것이다.

참고문헌

1. Statute 6911, Ministry of Environment.
2. Statute 497, Ministry of Construction Transportation.
3. Statute 2006-29, Ministry of Commerce, Industry and Energy.
4. KARSE B 0030-2003, Heat-Recovery Ventilators, Korea Association of Air Conditioning Refrigerating and Sanitary Engineers.
5. KS A 0612, Measurement of fluid flow by means of orifice plates, nozzles and venturi tubes inserted in circular cross-section conduits running full, Korean industrial standards.
6. Allan, B. J., Carey, J. S. and Robert, W.B., 1998, Uncertainty analysis in the testing of air-to-air heat/energy exchangers installed in buildings, ASHRAE transaction v.104 no.1 pt.B.
7. Yee, Jurng-Jae. Ihm, Pyeong-Chan. and Kim, Hwan-Yong., 2005, Sensitivity Analysis on KS and JIS Standard for Heat Recovery Ventilator.
8. Murphy, D. M. Koop, T., 2005, Review of the vapour pressures of ice and supercooled water for atmospheric applications, Quart. J. Royal Met. Soc, 608 Part B, 1539-1565.