

에어컨의 냉방기간 에너지 효율 산출을 위한 실험적 연구

Experimental Study on the Cooling Seasonal Performance Factor of Room Air-conditioner

이 홍 원*, 문 정 호*, 배 영 돈*, 박 종 철*
H. W. Lee*, J. H. Moon*, Y. D. Bae*, J. C. Park*

Key Words : SEER(기간 에너지 효율), CSPF(냉방 기간 에너지 효율), Inverter Aircon
(회전수 제어형 에어컨), Non Inverter Aircon(정속단 압축기 에어컨)

ABSTRACT

In most cases, EER(Energy Efficiency Ratio) is available to present energy efficiency of air-conditioners. But, EER is not adapt to measure energy efficiency at actual life environment because it is based on fixed temperature and humidity conditions. To overcome this disadvantage, there is need to introduce SEER(Seasonal Energy Efficiency Ratio) established at time varient temperature and humidity conditions.

In this paper, SEER measurement method and conditions based on actual life environment of the country is introduced, and discussed SEER value about two air-conditioner type, that is, non inverter air-conditioner and inverter air-conditioner. As a result of, inverter air-conditioner was superior to non inverter air-conditioner at cooling seasonal energy efficiency.

기호설명

BLc(tj)	: 온도 tj에서의 건물부하 (W)
C _D	: 효율저하계수(Degradation Coefficient)
CLF	: 냉방부하계수(Cooling Load Factor)
COP _c	: 성적계수
CSPF(Cooling Seasonal Performance Factor) :	냉방 기간에너지효율

EER(Energy Efficiency Ratio) : 표준 온, 습도 조건에서의 에너지효율

N _j	: 냉방을 필요로 하는 각온도의 발생 시간 (h)
P _c (tj)	: 냉방기간중에 발생하는 온도 tj에서, 그 시간내에 건물을 냉방하는데 필요한 소비전력량 (Wh)
P _c (tj)	: 온도 tj에서 냉방운전했을 때의 냉방소비전력 (W)

- PLF(tj) : 부분부하율(Part Load Factor)
 X(tj) : 온도 tj 때의 건물부하와 에어컨을
 온도 tj에서 냉방운전할 때의 냉방능
 력과의 비
 $\Phi_{cr}(tj)$: 냉방기간 중 발생하는 온도 tj에 대
 해서 그 시간내에 건물을 냉방하기
 위해 필요한 열량 (Wh)
 $\dot{\Phi}_{cr}(tj)$: 온도 tj에서 냉방운전했을 때의 냉
 방능력 (W)

〈하 첨 자〉

- c1, cr1, 1 : 에어컨의 최소능력운전에 관련된
 값
 c12, cr12, 12 : 에어컨의 건물부하에 부응하는
 능력운전에 관련된 값
 c2, cr2, 2 : 에어컨의 최대능력운전에 관련된
 값
 j : 온도구분

1. 서 론

인간의 쾌적한 환경에 대한 욕구가 커짐에 따라 에어컨이 개발 보급되고 있으며, 향후에도 수요가 점차 증가 추세에 있음을 주지의 사실이다.

실내공기의 온도, 습도 및 기류, 청결도등을 제어하여 쾌적한 상태를 유지시켜줌을 목적으로 하는 에어컨⁽¹⁾은 그 기능의 우수성이 인정되는 반면, 비교적 많은 에너지를 필요로 한다는 것이 단점이다. 이에 학계 및 산업체에서는 에너지 효율 향상에 초점을 맞추어 에너지 절약, 고효율 에어컨의 개발에 많은 노력을 기울이고 있다.

에어컨의 에너지 효율을 표시하는 단위에는 EER(Energy Efficiency Ratio)⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾ 및 SEER(Seasonal Energy Efficiency Ratio)⁽²⁾⁽³⁾ 등이 있으나, 현재에는 EER이 많이 적용되고 있다. 그러나, EER은 표준 온습도 조건에서 측정한 값으로 수시로 온습도 조건이 변하는 실제 생활환경에서의 에너지 효율측정방법으로는 적합하지가 못하다. 그러므로, 보다 실제환경에서의

에너지 효율측정에 적합한 것은 시간에 따라 가변하는 온습도 조건에 의해 측정되는 SEER이며, 그러한 SEER의 규격에 대한 연구가 절실히 필요하다.

현재 에어컨은 압축기의 제어방식에 따라 정속단 압축기 에어컨(non inverter 에어컨)과 회전수 제어형 에어컨(inverter 에어컨)으로 크게 구분되어 진다⁽²⁾. 정속단 압축기 에어컨이라 함은 ON-OFF 제어방식으로 압축기를 제어하여 그 회전수를 정속운전 하는 것으로 압축기의 회전수를 가변시킬 수 없다. 이에 반해, 회전수 제어형 에어컨은 inverter 제어기술을 압축기 제어에 도입하여 압축기의 회전수를 연속적으로 가변할 수 있다. 즉, 압축기의 냉방능력을 일정범위내에서 자유자재로 가변시킬 수 있다⁽⁵⁾.

이에 본 논문의 목적은 SEER 측정방법을 도입하여 에너지 효율 측면에서의 정속단 압축기 에어컨과 회전수 제어형 에어컨간의 차이를 비교, 검토코자 한다. 또한, 현재 SEER에 대한 국내규격이 없으므로, 본 논문에서는 국내의 생활환경 조건에 적합한 SEER 측정방법도 제안코자 한다.

2. 이론 해석

2.1 에어컨의 에너지효율 산출방법

에어컨의 에너지 효율을 표시하는 단위에는 크게 두가지가 사용된다.

첫째로는 EER(Energy Efficiency Ratio)로서, KS(C 9306)⁽⁴⁾ 규격에서 정의해 놓은 표준 온습도 조건에서 실현하여 얻어진 냉방능력을 에어컨이 소비한 총 소비전력값으로 나눈 값을 말한다.

즉,

$$EER = \frac{\text{냉방능력(kcal/h)}}{\text{소비전력(W)}} \quad (1)$$

로 나타낸다.

둘째로는 CSPF(Cooling Seasonal Performance Factor)로서, 에어컨을 실제 냉방 사용조건에서 일정기간 사용했을 때의 기간에너지효율을 나타

내는 단위이다. 이는 일정기간동안 에어컨이 발휘하는 총냉방능력을 에어컨이 소비한 총 소비전력으로 나눈값을 말한다.

즉,

$$\text{CSPF} = \frac{\text{총냉방능력(kcal/h)}}{\text{총소비전력(W)}} = \frac{\sum_{j=1}^n \Phi_a(t_j)}{\sum_{j=1}^n P_c(t_j)}$$

.....(2)

로 나타낸다.

여기서, 온도구분은 n개의 단계로 나누어진다.

2.2 냉방기간에너지효율(CSPF) 산출을 위한 실험방법

냉방기간에너지효율은 식(2)와 같이 실사용 조건에서 일정기간동안에어컨을 운전하여 산출하는 방법이나, 실제로는 이러한 방법으로 냉방기간 에너지효율을 산출하는 것은 어려울 뿐만 아니라 측정값의 정확도도 상당한 차이가 발생할 수 있다.

본논문에서는 일정한 실험장치를 갖춘 실험실에서 에어컨의 총냉방능력을 측정하여 CSPF를 산출하는 방식을 적용하였다.

실험방법은 JIS C 9612⁽²⁾ 부속서 3의 에어컨의 기간 에너지 효율 산정을 위한 실험과 산출방법 및 ASHARE 116의⁽³⁾ Method for seasonal efficiency of unitary Air-conditioners를 참조하였으며, 각실험에 따른 실험조건은 Table 1과 Table 2와 같다.

각실험에 따른 구체적인 실험방법은 아래와 같다.

(1) 냉방능력실험(capacity test)

냉방능력실험은 Table 1 및 Table 2에 따라 행한다. 즉, 회전수 제어형에 있어서 냉방 최소 능력을 측정하는 경우는 에어컨의 써머스타트의 저항치를 변경하는 것 등으로 회전수를 고정하여 행하고, 나머지 실험도 그 상태를 유지한다.

(2) 냉방저온실험(low temp. test)

냉방저온실험은 에어컨의 조작스위치 등을 냉방능력이 최대로 되게 한 상태로 정격전압 및 정격주파수 하에 Table 1 및 Table 2의 냉방저

온실험 조건에서 운전하여 평형에 도달한 때부터 1시간 이상 운전한 후, 10분 간격으로 하여 1시간 동안 측정하는 규정된 측정방법 및 계산식에 따라서 냉방능력 및 소비전력을 산출한다.

(3) 냉방저습실험(low humid. test)

냉방저습실험은 에어컨의 조작스위치 등을 냉방능력이 최대로 되는 상태에서 정격전압 및 정격주파수 하에서 Table 1 및 Table 2의 냉방저습 실험 조건에서 운전하여 평형에 도달한 때부터 1시간 이상 운전한 후, 10분 간격으로 하여 1시간동안 측정하는 규정된 측정방법 및 계산법으로 냉방능력과 소비전력 및 COP를 산출한다.

(4) 냉방단속실험(ON-OFF cyclic test)

냉방단속실험은 냉방저습실험을 계속한 후 Table 1 및 Table 2의 냉방단속실험조건에서 단속운전을 다음의 각 항의 조건으로 하여 규정된 측정방법 및 계산방법으로 냉방능력과 소비전력 및 COP를 산출한다.

① 실내온도 조정장치에 의해 에어컨의 단속 운전을 1시간 이상 반복하여 평형에 도달한 후 단속운전 3 사이클을 연속하여 측정하여 그 사이클의 냉방능력의 값을 1시간당으로 산출한다.

② 단속운전의 시간은 운전 7분, 정지 5분으로 하며, 사이클은 운전 개시에서부터 다음의 운전개시까지로 한다.

③ 측정간격은 10초 이내로 한다.

위의 실험을 통해 얻은 변수에 의해 에어컨의 냉방기간에너지효율(CSPF)이 산출되며, CSPF는 압축기속단에 따라 정속단 압축기 에어컨의 경우와 회전수 제어형 에어컨의 경우로 분류하여 계산한다.

2.3 에어컨의 CSPF 산출이론

2.3.1 정속단 압축기 에어컨 (non-inverter 에어컨)

정속단 압축기 에어컨의 냉방기간에너지효율(CSPF)은 아래와 같은 식에 의해 구해진다.

Table 1. Experimental condition on the non inverter air-conditioner

NO.	TEST	TEST CONDITION				MEASURED PARAMETER	
		INDOOR		OUTDOOR			
		D. B.	W. B.	D. B.	W. B.		
1	CAPACITY	27	19	35	24	Φ_{α} P_c	
1	LOW TEMP.	27	19	29	19	$\Phi_{\alpha(29)}$ $P_{c(29)}$	
3	LOW HUMID.	27	Below 16	29	—	$\Phi_{\alpha(dry)}$ $COP_{c(dry)}$	
4	ON-OFF CYCLIC	27	Below 16	29	—	$\Phi_{\alpha(cyc)}$ $COP_{c(cyc)}$	

* D. B. : Dry Bulb Temperature

W. B. : Wet Bulb Temperature

Table 2. Experimental condition on the inverter air-conditioner

NO.	TEST	TEST CONDITION				MEASURED PARAMETER	
		INDOOR		OUTDOOR			
		D. B.	W. B.	D. B.	W. B.		
1	CAPACITY	27	19	35	24	$\Phi_{\alpha 2}$ P_{c2} $\Phi_{\alpha 1}$ P_{c1}	
2	LOW TEMP.	27	19	29	19	$\Phi_{\alpha 2(29)}$ $P_{c2(29)}$ $\Phi_{\alpha 1(29)}$ $P_{c1(29)}$	
3	LOW HUMID. (1)	27	Below 16	29	—	$\Phi_{\alpha 1(dry)}$ $P_{c1(dry)}$ $COP_{c1(dry)}$	
4	LOW HUMID. (2)	27	19	tb	—	$P_{c2(tb)}$	
4		27	19	ta	—	$P_{c1(tb)}$	
5	ON-OFF CYCLIC	27	Below 16	29	—	$\Phi_{\alpha 1(cyc)}$ $P_{c1(cyc)}$ $COP_{c1(cyc)}$	

* D. B. : Dry Bulb Temperature

W. B. : Wet Bulb Temperature

$$CSPF = \frac{\sum_{j=1}^{15} \Phi_{cr}(t_j)}{\sum_{j=1}^{15} P_c(t_j)} \quad \dots \dots \dots (3)$$

여기서, $\Phi_{cr}(t_j)$ 는 냉방기간중 발생하는 온도 t_j 에 대해서 그 시간내에 건물을 냉방하기위해 필요한 열량으로서 아래식에 의하여 구해진다.

$$\Phi_{cr}(t_j) = X(t_j) \cdot \dot{\Phi}_{cr}(t_j) \cdot N_j \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$X(t_j) = BLc(t_j) / \dot{\Phi}_{cr}(t_j) \quad \dots \dots \dots (5)$$

단, $BLc(t_j) \geq \dot{\Phi}_{cr}(t_j)$ 때는 $X(t_j) = 1$

$$BLc(t_j) = \Phi_{cr} \cdot \frac{(t_j - 23)}{(33 - 23)} \quad \dots \dots \dots (6)$$

$$\dot{\Phi}_{cr}(t_j) = \Phi_{cr} + \left[\frac{\Phi_{cr(29)} - \Phi_{cr}}{35 - 29} \right] \cdot (35 - j - 23) \quad \dots \dots \dots (7)$$

또한, $P_c(t_j)$ 는 냉방기간중에 발생하는 온도에서, 그 시간내에 건물을 냉방하는데 필요한 소비전력량으로서 아래식에 의해 구해진다.

$$P_c(t_j) = X(t_j) \cdot \dot{P}_c(t_j) \cdot N_j / PLF(t_j) \quad \dots \dots \dots (8)$$

$$\dot{P}_c(t_j) = P_c + \left[\frac{P_{c(29)} - P_c}{35 - 29} \right] \cdot (35 - j - 23) \quad \dots \dots \dots (9)$$

$\dot{\Phi}_{cr}(t_j)$ 및 $\dot{P}_c(t_j)$ 는 각각 외기온도 t_j 에서의 에어컨의 냉방능력 및 소비전력으로서 건물부

하인 $BLc(t_j)$ 와의 관계는 Fig. 1에 의한다.

또한, Φ_{cr} , $\Phi_{cr(29)}$ 및 P_c , $P_{c(29)}$ 는 Table 1에 의한 실험을 통해 얻어진다.

여기서, N_j 는 냉방사용기간중에 냉방을 필요로 하는 각 온도의 발생시간으로 Table 3에 의해 구해지며, j 는 온도구분으로서 1에서부터 15까지의 단계이다.

단속운전시의 성적계수와 연속운전시의 성적계수와의 비율을 나타내는 PLF는 아래와 같다.

$$PLF(t_j) = 1 - C_D \cdot [1 - X(t_j)] \quad \dots \dots \dots (10)$$

단속운전을 행할시 발생하는 효율의 저하를 나타내는 C_D 는 아래와 같다.

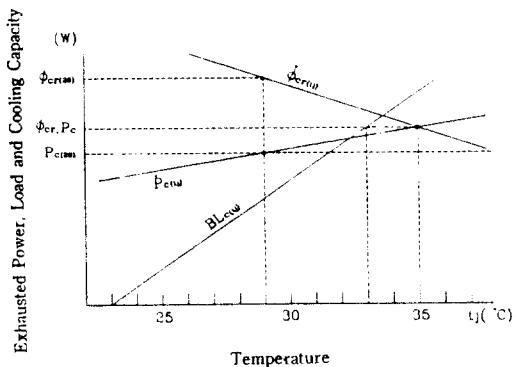


Fig. 1 Relation of building load and cooling capacity for outer temperature.

Table 3. Temperature occurrence time to be required cooling at cooling period

TEMP. BIN (j)	TEMP.(°C) (tj)	OCCURANCE TIME(h) (Nj)	TEMP.BIN (j)	TEMP.(°C) (tj)	OCCURANCE TIME(h) (Nj)
1	24	69	9	32	29
2	25	76	10	33	19
3	26	85	11	34	10
4	27	82	12	35	7
5	28	66	13	36	3
6	29	53	14	37	2
7	30	47	15	38	1
8	31	39		SUM	*588

* SUM of occurance time = $\frac{\text{Total time}(12348 \text{ Hour})}{\text{cities}(7) \times \text{years}(3)} = 588 \text{ Hour}$

$$C_D = \frac{1 - \frac{\Phi_{cr(cyc)} / P_{c(cyc)}}{\Phi_{cr(dry)} / P_{c(dry)}}}{1 - \frac{\Phi_{cr(cyc)} / P_{c(cyc)}}{\Phi_{cr(dry)} / P_{c(dry)}}} = \frac{1 - COP_{c(cyc)} / COP_{c(dry)}}{1 - CLF} \quad (11)$$

여기서, $\Phi_{cr(cyc)}$, $P_{c(cyc)}$, $\Phi_{cr(dry)}$, $P_{c(dry)}$, $COP_{c(cyc)}$ 및 $COP_{c(dry)}$ 는 Table 1에 의한 실험을 통해 얻어진다.

또한, CLF는 냉방부하계수로서 단속운전시 실내에서 제거된 열량과 연속운전시 제거된 열량과의 비율이다.

Fig. 1은 정속단 압축기 에어컨의 경우에 외기온도 tj에 따른 에어컨의 냉방능력 $\dot{\Phi}_{cr}(tj)$, 소비전력 $P_c(tj)$ 과 건물부하 $BL_c(tj)$ 와의 관계를 나타낸것으로서, X축은 외기온도를 나타내며, Y축은 외기온도에 따른 에어컨의 냉방능력, 소비전력 및 건물부하를 (W)로 나타낸 것이다.

Φ_{cr} 및 P_c 는 외기온도 35°C(냉방능력실험조건) 시의 에어컨의 냉방능력 및 소비전력을 나타내며, $\Phi_{cr(29)}$ 및 $P_{c(29)}$ 는 외기온도 29°C(냉방저온실험조건) 시의 에어컨의 냉방능력 및 소비전력을 나타낸다.

건물부하 $BL_c(tj)$ 는 외기온도 23°C일 때 일반적으로 냉방이 불필요하므로 ZERO로 산정하였으며, 외기온도 33°C일 때는 에어컨의 냉방능력 Φ_{cr} 과 동일한 부하를 나타내며, 그사이는 외기온도와 비례함으로 직선으로 표시하였다.

2.3.2 회전수 제어형 에어컨(inverter 에어컨)

회전수 제어형 에어컨의 냉방기간에너지효율(CSPF)은 아래와 같은 식에 의해 구해진다.

$$CSPF = \frac{\sum_{j=1}^n \Phi_{cr1}(tj) + \sum_{j=n+1}^{10} \Phi_{cr12}(tj) + \sum_{j=11}^{15} \Phi_{cr2}(tj)}{\sum_{j=1}^n P_{cl1}(tj) + \sum_{j=n+1}^{10} P_{cl12}(tj) + \sum_{j=11}^{15} P_{cl2}(tj)} \quad (12)$$

첫째로, $\Phi_{cr1}(tj)$ 는 냉방기간중에 발생하는 온도 tj에서 그 시간내에 건물을 에어컨이 최소능력으로 냉방하기 위해 요구되는 열량으로서 아

래와 같은 식으로 나타낸다

$$\dot{\Phi}_{cr1}(tj) = X_1(tj) \cdot \dot{\phi}_{cr1}(tj) \cdot N_j \quad (13)$$

$$X_1(tj) = BL_c(tj) / \dot{\phi}_{cr1}(tj) \quad (14)$$

단, $X_1(tj)$ 는 $BL_c(tj) \leq \dot{\phi}_{cr1}(tj)$

$$BL_c(tj) = \dot{\phi}_{cr2} \cdot \frac{(tj - 23)}{(33 - 23)} \quad (15)$$

$$\dot{\phi}_{cr1}(tj) = \dot{\phi}_{cr1} + \left[\frac{\dot{\phi}_{cr1(29)} - \dot{\phi}_{cr1}}{35 - 29} \right] \cdot (35 - j - 23) \quad (16)$$

또한 $P_{cl1}(tj)$ 는 냉방기간중에 발생하는 온도 tj에서 그 시간내에 건물을 에어컨이 최소능력 운전으로 냉방하기 위해 요구되는 소비전력량으로서 아래와 같은 식으로 나타낸다.

$$P_{cl1}(tj) = X(tj) \cdot \dot{P}_{cl1}(tj) \cdot N_j / PLF(tj) \quad (17)$$

$$\dot{P}_{cl1}(tj) = P_{cl1} + \left[\frac{P_{cl1(29)} - P_{cl1}}{35 - 29} \right] \cdot (35 - j - 23) \quad (18)$$

$\dot{\phi}_{cr1}(tj)$ 및 $\dot{P}_{cl1}(tj)$ 는 외기온도 tj에서 에어컨을 최소능력운전으로 운전시의 에어컨의 냉방능력 및 소비전력으로서 건물부하인 $BL_c(tj)$ 와의 관계는 Fig. 2에 의한다. 이때, $\dot{\phi}_{cr1}$, $\dot{\phi}_{cr1(29)}$, P_{cl1} 및 $P_{cl1(29)}$ 는 Table 2에 의한 실험을 통해 얻어진다. 또한, N_j 는 냉방을 필요로 하는 각 온도의 발생시간으로서 Table 3에 의해 구해지며, j는 온도구분으로서 1, 2, 3, ..., n 까지이다.

Fig. 2은 회전수 제어형 에어컨의 경우 외기온도 tj에 따른 에어컨의 냉방능력, 소비전력 및 건물부하와의 관계를 그래프로 나타낸것이다.

즉, X축에서 tj는 외기온도를, j는 온도구분으로서 1에서 15까지 나타내고, Y축은 외기온도에 의한 에어컨의 냉방능력, 소비전력과 건물부하를 (W)로 나타낸 것이다.

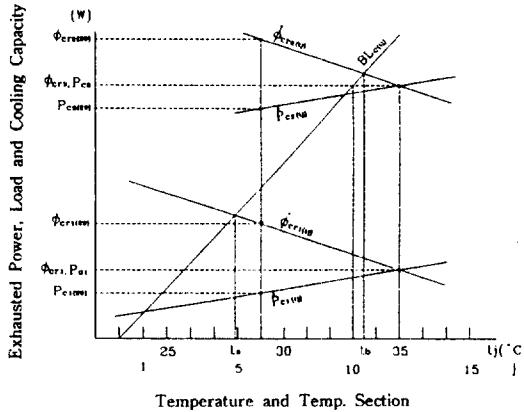


Fig. 2 Relation of building load and cooling capacity for outer temperature.

$\dot{\Phi}_{c2}(t_j)$ 및 $\dot{P}_{c2}(t_j)$ 곡선은 에어컨이 최대능력으로 운전시의 냉방능력과 소비전력이고, $\dot{\Phi}_{c1}(t_j)$ 및 $\dot{P}_{c1}(t_j)$ 곡선은 에어컨이 최소능력으로 운전시의 냉방능력과 소비전력이고, $BL_c(t_j)$ 곡선은 건물부하를 나타낸다.

이때, $\dot{\Phi}_{c1}$ 및 \dot{P}_{c1} 는 에어컨이 최소능력으로 운전시의 외기온도 35°C (냉방능력실험 조건)에서의 냉방능력 및 소비전력이고, $\dot{\Phi}_{c2(29)}$ 및 $\dot{P}_{c2(29)}$ 는 에어컨이 최소능력으로 운전시의 외기온도 29°C (냉방저온실험 조건)에서의 냉방능력 및 소비전력이다.

또한, $\dot{\Phi}_{c2}$ 및 \dot{P}_{c2} 는 에어컨이 최대능력으로 운전시의 외기온도 35°C (냉방능력실험 조건)에서의 냉방능력, 소비전력이고, $\dot{\Phi}_{c2(29)}$ 및 $\dot{P}_{c2(29)}$ 는 에어컨이 최대능력으로 운전시의 외기온도 29°C (냉방저온실험 조건)에서의 냉방능력 및 소비전력이다.

단속운전시의 성적계수와 연속운전시의 성적계수와의 비율을 나타내는 PLF는 아래와 같다.

$$PLF(t_j) = 1 - C_D \cdot [1 - X_1(t_j)] \quad \dots \dots \dots (19)$$

또한, 단속운전을 행할시 발생하는 효율의 저하를 나타내는 C_D 는 아래와 같다.

$$C_D = \frac{1 - \frac{\dot{\Phi}_{c1(cyc)} / P_{c1(cyc)}}{\dot{\Phi}_{c1(dry)} / P_{c1(dry)}}}{1 - \frac{\dot{\Phi}_{c1(cyc)} / \dot{\Phi}_{c1(dry)}}{}}$$

$$= \frac{1 - COP_{c1(cyc)} / COP_{c1(dry)}}{1 - CLF_1} \quad \dots \dots \dots (20)$$

여기서, $\dot{\Phi}_{c1(cyc)}$, $P_{c1(cyc)}$, $\dot{\Phi}_{c1(dry)}$, $P_{c1(dry)}$, $COP_{c1(cyc)}$ 및 $COP_{c1(dry)}$ 는 Table 2에 의한 실험을 통해 얻어진다.

둘째로, $\dot{\Phi}_{c12}(t_j)$ 는 냉방기간중에 발생하는 온도 t_j 에서 그 시간내에 건물을 에어컨이 건물부하에 부응하는 능력운전으로 냉방하기 위해 필요한 열량으로서 아래와 같은 식에 의해 구해진다.

$$\dot{\Phi}_{c12}(t_j) = \dot{\Phi}_{c12}(t_j) \cdot N_j \quad \dots \dots \dots (21)$$

단, $BL_c(t_j)$ 는

$$\dot{\Phi}_{c1}(t_j) \leq BL_c(t_j) \leq \dot{\Phi}_{c2}(t_j)$$

여기서, $\dot{\Phi}_{c12}(t_j) = BL_c(t_j)$

또한, $P_{c12}(t_j)$ 는 냉방기간중에 발생하는 온도 t_j 에서, 그시간내에 건물을 에어컨이 건물부하에 부응하는 능력운전으로 냉방하기 위해 필요한 소비전력량으로서 아래와 같은 식에 의해 구해진다.

$$P_{c12}(t_j) = \dot{P}_{c12}(t_j) \cdot N_j \quad \dots \dots \dots (22)$$

$$\dot{P}_{c12}(t_j) = P_{c2}(tb) - \left[\frac{P_{c2}(tb) - P_{c1}(ta)}{tb - ta} \right] \cdot (tb - t_j) \quad \dots \dots \dots (23)$$

$\dot{\Phi}_{c12}(t_j)$ 및 $\dot{P}_{c12}(t_j)$ 는 외기온도 t_j 에서 에어컨이 건물부하에 부응하는 능력운전으로 운전시의 에어컨의 냉방능력 및 소비전력으로서 건물부하인 $BL_c(t_j)$ 와의 관계는 Fig. 2에 의한다.

여기서, j 는 온도구분으로서 $n+1, n+2, \dots, 9, 10$ 까지이다.

그리고, $P_{c2}(tb)$ 는 온도 tb 에 대한 냉방소비전력이며, $p_{c1}(ta)$ 는 온도 ta 에 대한 냉방소비전력이다.

온도 tb는 Fig.2에서와 같이 에어컨이 최대능력으로 운전할 때의 냉방능력곡선 $\dot{\Phi}_{cr2}(tj)$ 와 건물부하 곡선 $BL_c(tj)$ 이 일치하는 외기온도로서 아래와 같은 식에 의해 구해진다.

$$tb = \frac{-76 \cdot \dot{\Phi}_{cr2} + 175 \cdot \dot{\Phi}_{cr2(29)}}{5 \cdot \dot{\Phi}_{cr2(29)} - 2 \cdot \dot{\Phi}_{cr2}} \quad \dots \dots \dots (24)$$

또한, 온도 ta는 에어컨이 최소능력운전으로 운전할 때의 냉방능력곡선 $\dot{\Phi}_{cr1}(tj)$ 와 건물부하 곡선인 $BL_c(tj)$ 가 일치하는 외기온도로서 아래와 같은 식에 의해 구해진다.

$$ta = \frac{69 \cdot \dot{\Phi}_{cr2} + 175 \cdot \dot{\Phi}_{cr1(29)} - 145 \cdot \dot{\Phi}_{cr1}}{3 \cdot \dot{\Phi}_{cr2} + 5 \cdot \dot{\Phi}_{cr1(29)} - 5 \cdot \dot{\Phi}_{cr1}} \quad \dots \dots \dots (25)$$

여기서, ta와 tb를 구하는 과정은 부록에 상세히 설명하였다.

셋째로, $\dot{\Phi}_{cr2}(tj)$ 는 냉방기간중에 발생하는 온도 tj에서 그 시간내에 건물을 에어컨이 최대능력운전으로 냉방하기 위해 필요한 열량으로서 아래와 같은 식에 의해 구해진다.

$$\dot{\Phi}_{cr2}(tj) = \dot{\Phi}_{cr2}(tj) \cdot N_j \quad \dots \dots \dots (26)$$

$$\dot{\Phi}_{cr2(tj)} = \dot{\Phi}_{cr2} + \left[\frac{\dot{\Phi}_{cr2(29)} - \dot{\Phi}_{cr2}}{35 - 29} \right] \cdot (35 - j - 23) \quad \dots \dots \dots (27)$$

또한, $P_{cr}(tj)$ 는 냉방기간중에 발생하는 온도 tj에서 그 시간내에 건물을 에어컨이 최대능력운전으로 냉방하기 위해 필요한 소비전력량으로서 아래와 같은 식에 의해 구해진다.

$$P_{cr}(tj) = P_{cr(tj)} \cdot N_j \quad \dots \dots \dots (28)$$

$$P_{cr(tj)} = P_{cr} + \left[\frac{P_{cr(29)} - P_{cr}}{35 - 29} \right] \cdot (35 - j - 23) \quad \dots \dots \dots (29)$$

여기서, j는 온도구분으로써 11, 12, ..., 14, 15 까지이다.

$\dot{\Phi}_{cr2}(tj)$ 및 $P_{cr}(tj)$ 는 외기온도 tj에서 에어컨을 최대능력운전으로 운전시의 에어컨의 냉방능력 및 소비전력으로서 건물부하인 $BL_c(tj)$ 와의 관계는 Fig.2에 의한다.

3. 실험해석

3.1 실험 조건

기간 에너지 효율을 산출하기 위해서는 먼저 냉방을 필요로 하는 기간과 외기온도가 어느정도인지 산출할 필요가 있다. 더 세분하면 냉방을 필요로 하는 기간내에서 외기온도별로 사용시간을 산출해야 한다.

본 논문에서 국내에서의 냉방을 필요로 하는 외기온도별 사용가능시간은 Table 3과 같다.

Table 3에서 년간 냉방가능시간은 Table 4의 7개 지역의 3년간 누적시간인 총시간을 한 지역 및 1년을 기준으로 하여 산출한 시간이다.

또한, 각 외기온도 (tj)별 냉방가능시간(Nj)은 Table 4의 총시간에 대한 각 온도별 냉방가능시간의 비율을 산출하여 년간 냉방가능시간에 대한 동일비율로 산정한 것이다.

Table 4는 Table 3을 산출하기 위한 기초 데이터로서 이의 작성기준은 다음과 같다.

- 냉방을 필요로 하는 외기온도는 24°C 이상으로 함.

- 냉방기간은 비교적 외기온도가 높은 7월, 8월의 2개월을 기준함.

- 국내 주요지역(7개 지역)의 3년간('89, '90, '91)의 기상 데이터를 기준으로 하여 평균치를 산출함.

실험기기는 현재 국내에 많이 보급되어 있는 분리형 에어컨으로서 정속단 압축기 에어컨인 9평형 룸에어컨(정격냉방력=3550 kcal/h)과 최근에 개발되어 보급되는 회전수 제어형 에어컨인 9평형 룸에어컨(정격냉방력=3550 kcal/h, 냉방능력범위=2000~3700 kcal/h)을 선정하였다.

3.2 실험 장치

Table 4. Temperature maintenance time for national principal cities (7)

TEMP. BIN (j)	TEMP. (°C)	MAINTENANCE TIME (h)							SUM	* RATIO (%)
		SEOUL	PUSAN	DAEGU	TAEJON	INCHON	MOKPO	KANGNUNG		
1	24	168	208	120	216	304	216	224	1456	11.8
2	25	268	212	180	184	364	224	168	1600	12.9
3	26	348	240	204	236	296	232	228	1784	14.4
4	27	248	260	220	244	244	288	220	1724	13.9
5	28	224	216	264	244	140	212	96	1396	11.3
6	29	132	188	188	196	124	164	124	1116	9.0
7	30	176	128	152	156	132	156	104	1004	8.1
8	31	108	156	124	136	64	152	84	824	6.7
9	32	104	56	124	116	44	76	68	588	4.7
10	33	24	40	152	68	28	44	44	400	3.2
11	34	36	36	44	44	4	32	36	232	1.8
12	35	16	4	40	32	4	32	8	136	1.2
13	36	4	0	20	16	0	4	4	48	0.5
14	37	0	0	20	8	0	0	0	28	0.3
15	38	0	0	12	8	0	0	0	12	0.2
SUM		1856	1744	1864	1896	1748	1832	1408	12348	100.0

$$* \text{ RATIO} = \frac{\text{Temperature maintenance time}}{\text{Total time(12348 Hour)}}$$

3.2.1 구성

Fig. 3과 같은 일명 사이크로형 칼로리메타라고도 부르는 실험장치를 이용하여 실험기기를 실현하였다. 크게, 실내측 실험실, 실외측 실험실 및 실험장치를 운전, 제어하는 제어 부분으로 구성되어 있다.

실내측 실험실에는 실내측 실험실내의 온, 습도를 제어할 수 있는 공기조화장치, 실험기기의 실내기로 부터 흡입 및 축출하는 공기의 온, 습도를 측정하는 온도측정기와 축출풍량을 측정하는 풍량측정장치로 되어있으며, 실외측 실험실에는 실외측 실험실내의 온, 습도를 제어하는 공기조화장치 등으로 구성되어 있다.

3.2.2 측정방법

실험기기의 실내기를 실내측 실험실에, 실험기기의 실외기를 실외측 실험실에 설치하고, 냉매배관 및 배선을 연결한다. 그리고, 실내기의

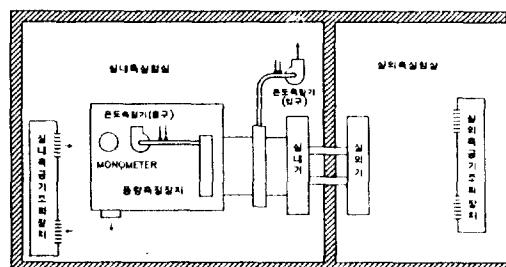


Fig. 3 Schematic diagram of the experimental equipment

공기 출구에 duct를 설치한 후 실험기기를 Table 1 및 Table 2의 실험조건에 의해 실험을 행한다.

냉방능력은 실험기기의 실내기에서 흡입 및 축출하는 공기의 온, 습도 및 풍량을 측정하며 공기 엔탈피법을 이용하여 산출하게 되며, 소비전력은 실험기기에서 소비되는 전력을 실험장치의 계측기로부터 산출한다.

이상의 실험장치는 JIS C9612⁽²⁾의 부속서 1의
실험장치에 준한다.

4. 실험결과 및 고찰

Table 1과 Table 2의 실험조건 및 측정항목에 의거하여 실험을 하고, 구해진 데이터에 의해식(3), 식(12)의 냉방 기간 에너지 효율(CSPF) 산출식 및 Table 3의 냉방기간중 냉방을 필요로 하는 각온도별 발생시간에 의해 누적냉방능력과 누적소비전력량을 산출하였다. 온도별 냉방능력과 소비전력량값은 Table 5과 Table 6과 같다. 이상의 실험 데이터를 통해 두가지 기종의 에어컨에 대한 냉방 기간 에너지 효율(CSPF)를 계산하면 아래식과 같다. 식 (30)은 정속단 압축기 에어컨에 대한 계산식이며, 식 (31)은 회전수 제어형 에어컨에 대한 계산식이다.

$$\text{CSPF} = \frac{\sum_{j=1}^{15} \Phi_c(t_j)}{\sum_{j=1}^{15} P_c(t_j)} = \frac{1095148}{424994} = 2.577$$

$$\text{CSPF} = \frac{\sum_{j=1}^n \Phi_{cr1}(t_j) + \sum_{j=n+1}^{10} \Phi_{cr12}(t_j) + \sum_{j=11}^{15} \Phi_{cr2}(t_j)}{\sum_{j=1}^n P_{c1}(t_j) + \sum_{j=n+1}^{10} P_{c12}(t_j) + \sum_{j=11}^{15} P_{c2}(t_j)}$$

$$= \frac{1153263}{347116} = 3.322 \dots \dots \dots \quad (31)$$

따라서, 두가지 기종의 에어컨에 대한 냉방 기간에너지효율(CSPF)를 비교하면 Table 7과 같다.

산출된 냉방 기간 에너지 효율 (CSPF)은 정속단 압축기 에어컨이 2.577이고, 회전수 제어형 에어컨이 3.322이다. 이상으로 본 실험을 통해 다음과 같은 결과를 알 수 있다.

첫째, 누적냉방능력은 정속단 압축기 에어컨과 회전수 제어형 에어컨이 별 차이가 없다는 것이다. 이는 일정기간동안 일정건물을 냉방하는데 있어서 냉방부하는 동일하는 이론적 측면과도 부합된다고 할 수 있다.

Table 5. CSPF calculation on the non inverter air-conditioner

Table 6. CSPF calculation on the inverter air-conditioner

j	온도(tj)	N _j	X(tj)	$\Phi_c(tj)$	$\Phi_a(tj)$	BL(tj)	P(tj)	P _c (tj)	PLF(tj)
1	24	69	0.14	2876	28686	416	596	6572	0.90
2	25	76	0.29	2836	63192	831	611	14782	0.92
3	26	85	0.45	2795	106014	1247	626	25303	0.94
4	27	82	0.60	2754	136363	1663	641	33191	0.96
5	28	66	0.77	2714	137194	2079	656	34036	0.97
6	29	53	0.93	2673	132205	2494	671	33413	0.99
7	30	47	1.00	2910	136778	2910	847	39810	1.00
8	31	39	1.00	3326	129711	3326	1136	44303	1.00
9	32	29	1.00	3742	108508	3742	1425	41324	1.00
10	33	19	1.00	4157	78991	4157	1714	32565	1.00
11	34	10	—	4194	41939	4573	1788	17878	—
12	35	7	—	4157	29102	4989	1818	12727	—
13	36	3	—	4121	12363	5405	1849	5546	—
14	37	2	—	4084	8169	5820	1879	3758	—
15	38	1	—	4048	4048	6236	1909	1909	—
SUM	588			1153263				347116	
				C _D = 0.1120					

Table 7. Performance comparison between non inverter air-conditioner and inverter air-conditioner

	NON INVERTER AIR-CONDITIONER ①	INVERTER AIR-CONDITIONER ②	[②/①] × 100
SUM of Cooling Capacity (Wh)	1095148	1153263	105.3 %
SUM of Exhausted Power (Wh)	424993	347116	81.7 %
CSPF	2.577	3.322	128.9 %

둘째, 누적냉방능력이 비슷함에도 불구하고, 누적소비전력량은 정속단압축기 에어컨에 비해 회전수 제어형 에어컨이 매우 적음을 알 수 있다. 즉, 기간 에너지 효율(SEER) 측면에서는 회전수 제어형 에어컨이 대단히 높게 나타남을 알 수 있다.

셋째, 표준조건에서 측정하여 산출한 EER 값 보다 냉방 기간 에너지 효율(CSPF)이 상승함을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 국내 환경조건에 적합하도록 기간 에너지 효율의 산출방법 및 조건을 규정하고, 이를 근거로 하여 정속단 압축기 에어컨 (non inverter 에어컨)과 회전수 제어형 에어컨 (inverter 에어컨)의 기간 에너지 효율을 산출하여 각각의 성능 비교 및 냉방 기간 에너지 효율 (CSPF)을 비교, 검토해 보았다.

이상의 실험으로 회전수 제어형 에어컨의 에너지절약 효과를 기간 에너지 효율 산출을 통해 확인할 수 있었다.

즉, 회전수 제어형 에어컨은 압축기 모터에 주파수를 변화시킨 전원을 공급하여 모터의 회전수를 변화시킴으로써 냉방(또는 난방)부하에 따라 주파수 영역안에서 자동적으로 냉방(또는 난방)능력의 제어가 가능하다.

다시 말하면, 낮은 부하에서는 낮은 주파수로 운전되므로 저주파수에서 높은 EER을 가져온다.

또한, 압축기의 ON-OFF 횟수가 극히 적기 때문에, ON-OFF 운전시에 수반되는 에너지 손실을 절감할 수 있다.

일반 에어컨인 정속단 압축기 에어컨은 압축기를 ON-OFF 제어에 의해 실내 설정온도를 유지시킴으로써 실온의 변화폭이 비교적 커거나, 회전수 제어형 에어컨은 주파수 제어를 통해 실온과 설정온도차에 따라 냉방(또는 난방)능력을 적절히 변화시켜 실내 설정온도를 유지시켜 줌으로써 실온의 변화폭이 매우 적어 폐적성 향상도 도모할 수 있음을 알 수 있다.

이와같은 장점때문에 현재 일본에서는 인버터 에어컨이 많이 보급되고 있으며, 국내에서도 에너지 절약 상품으로 인식되어 개발, 시판중에 있다.

마지막으로 에어컨의 에너지 효율을 표시하는 지표로서 EER 뿐만 아니라 실제 생활환경에 적합한 냉방 기간 에너지 효율(CSPF)도 조기 검토되어야 한다고 사려된다.

부 록

(1) tb 온도 산출

tb 온도는 에어컨이 최대능력으로 운전하는 영역에서 Fig. 2의 외기온도 tj에 대한 에어컨의 냉방능력 곡선 $\Phi_{cr2}(tj)$ 와 건물부하 곡선 $BLc(tj)$ 가 교차하는 외기온도를 일컫는다.

따라서, tb 온도는 $BLc(tj)=\Phi_{cr2}(tj)$ 가 성립되므로, 식 (15)과 식 (27)에 의해

$$\Phi_{cr2} \cdot \frac{(tj-23)}{(33-23)} = \Phi_{cr2} + \left[\frac{\Phi_{cr2(29)} - \Phi_{cr2}}{35-29} \right]$$

$$\cdot (35-j-23)$$

여기서, $j=tb-23$, $tj=tb$ 이므로

$$\Phi_{cr2} \cdot \frac{(tb-23)}{(33-23)} = \Phi_{cr2} + \left[\frac{\Phi_{cr2(29)} - \Phi_{cr2}}{35-29} \right]$$

$$\cdot (35-tb+23-23)$$

윗식을 정리하면

$$tb \cdot (5 \cdot \Phi_{cr2(29)} - 2 \cdot \Phi_{cr2}) = 175 \cdot \Phi_{cr2(29)} - 76 \cdot \Phi_{cr2}$$

그러므로,

$$tb = \frac{-76 \cdot \Phi_{cr2} + 175 \cdot \Phi_{cr2(29)}}{5 \cdot \Phi_{cr2(29)} - 2 \cdot \Phi_{cr2}}$$

(2) ta 온도 산출

ta 온도는 에어컨이 최소능력으로 운전하는 영역에서 Fig. 2의 외기온도 tj에 대한 에어컨의 냉방능력 곡선 $\Phi_{cr1}(tj)$ 와 건물부하 곡선 $BLc(tj)$ 가 교차하는 외기온도를 일컫는다.

따라서, tb 온도는 $BLc(tj)=\Phi_{cr1}(tj)$ 가 성립되므로, 식 (15)과 식 (16)에 의해

$$\Phi_{cr2} \cdot \frac{(tj-23)}{(33-23)} = \Phi_{cr1} + \left[\frac{\Phi_{cr1(29)} - \Phi_{cr1}}{35-29} \right]$$

$$\cdot (35-j-23)$$

여기서, $j=ta-23$, $tj=ta$ 이므로

$$\Phi_{cr2} \cdot \frac{(ta-23)}{(33-23)} = \Phi_{cr1} + \left[\frac{\Phi_{cr1(29)} - \Phi_{cr1}}{35-29} \right]$$

$$\cdot (35-ta+23-23)$$

윗식을 정리하면

$$ta \cdot (3 \cdot \Phi_{cr2} + 5 \cdot \Phi_{cr1(29)} - 5 \cdot \Phi_{cr1}) = 69 \cdot \Phi_{cr2} + 175 \cdot \Phi_{cr1(29)} - 145 \cdot \Phi_{cr1}$$

그러므로,

$$ta = \frac{69 \cdot \Phi_{cr2} + 175 \cdot \Phi_{cr1(29)} - 145 \cdot \Phi_{cr1}}{3 \cdot \Phi_{cr2} + 5 \cdot \Phi_{cr1(29)} - 5 \cdot \Phi_{cr1}}$$

참 고 문 헌

1. 김교두 편저, 1986, “표준공기조화”, 도서출판 금탑, pp.61~84.
2. JIS C9612, 1989, “Room Air Conditioners”, pp. 36~79.
3. ASHRAE Standard 116, 1983, “Methods of Testing for Seasonal Efficiency of Unitary Air Conditioners and Heat Pumps”, pp.22~36.
4. KS C9306, 1983, “전기 공조기”, pp.1~21.
5. 일본냉동공조공업회, 1991, “냉동공조 실무 테스트”, pp.57~64.
6. 한국 기상청의 3년('89, '90, '91)간 하절기 기상데이터