

멀티에어컨의 부분부하성능 평가에 관한 연구

박 윤 철*

A Study on Part Load Evaluation of Multi Air Conditioner

Youn-Cheol Park*

ABSTRACT

Although, COP or EER was used as a performance evaluation parameter in refrigeration and air conditioning area, most of countries use the seasonal energy efficiency ratio(SEER) as it's energy efficiency performance. An integrated part load value(IPLV) is another parameter that is used in chiller system. The IPLV is a parameter which indicates a part load performance of the system that runs at ordinary operating conditions. In this article, the difference between the SEER and IPLV is discussed briefly and presented a IPLV calculation result in a multi-type air conditioning system.

Key Words : Integrated part load value(IPLV), multi air conditioner, seasonal energy efficiency ratio(SEER), standard

1. 서 론

냉동공조 분야에서 시스템의 성능을 평가하는 방법으로 EER 혹은 COP를 사용하고 있으나 공조기가 사용되는 연간 운전의 관점에서 미국에서 성능평가인자로 주로 사용되는 것은 계절에너지효율비인 SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio)이다[1,2]. SEER은 유니터리 제품에 주로 적용되었던 성능평가방법으로써 외기온도에 대하여 온도 빈을 만들고 난방 혹은 냉방계절 중에 빈 온도가 발생하는 시간에 대하여 가중치를 부여하는 방법으로 성능을 평가하였다. 이때

시스템의 성능은 정격조건에서의 성능을 건물냉방 혹은 난방부하비와 비례하는 값을 사용하였다.

1986년에 개발되어 주로 칠러 등에 사용되는 IPLV (Integrated Part Load Value)는 1992년과 1998년에 두 번의 수정을 거치면서 실제운전에 가까운 운전조건과 부분부하의 가중치를 반영하여 오늘에 이르고 있다.

최근에 널리 보급되고 있는 멀티에어컨에 있어서 시스템의 성능평가방안에 대한 많은 연구가 진행 중에 있으며, SEER 혹은 HSPF와 같이 계절성능을 나타내는 인자나 혹은 칠러에 적용되었던 IPLV와 같이 부분부하 성능을 나타내는 인자 등에 대한 충분한 검토가 이루어져야 할 시점이다. 멀티에어컨의 경우에는 난방 혹은 냉방이 필요한 외기 온도의 발생 빈도를 기준으로 만들어진 SEER에 대하여 온도빈과 더불어 시스템의 운전시간까지 고려한 적분부분부하계

* 제주대학교 기계·에너지·생산공학부, 첨단기술연구소
Faculty of Mechanical, Energy & Production Eng., Cheju Nat'l Univ., Res. Inst. of Adv. Tech.

수(IPLV, Integrated Part Load Value)를 시스템의 정격운전성능에 더불어 비 정격상태에서의 운전 성능을 나타내는 변수로 고려할 수 있다. 멀티형 에어컨 디셔너 시스템의 용량이 증대되고 시스템이 칠러를 대체하는 수요입을 감안하면 ARI Standard 550/590 [3]의 적분부분부하계수 IPLV를 계절성능의 표현방법으로 적용하는 것에 타당성이 높다고 볼 수 있다. 이것은 계절성능을 나타내는 SEER의 경우에도 실제적으로는 냉방 혹은 난방계절 중에 시스템이 부분부하상태에서 운전되는 영향을 고려한 부분부하 성능을 나타내는 인자임을 감안하면 멀티에어컨의 부분부하에서의 성능평가를 위한 하나의 중요한 변수가 될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 멀티에어컨이 정격조건이외에서 운전될 경우에 시스템의 성능을 평가할 수 있는 방안에 대하여 평가방법과 새로이 도입되고 있는 IPLV의 계산방법을 ARI와 중국규격[4]을 중심으로 살펴보고, 임의의 멀티에어컨에 대한 정량적인 IPLV의 평가결과를 제시하고자 한다.

II. SEER과 IPLV

2.1. 도입배경

부분부하 운전의 관점에서 기존의 SEER 혹은 HSPF 개념으로는 운전형태가 다양한 멀티형 제품의 계절성능을 정확히 표현할 수 없다.

일본과 같이 습도가 높아서 년중 시스템을 운전하는 지역에서는 대부분의 시스템의 운전 빈도가 시스템의 용량이 낮은 영역(인버터의 경우에 낮은 주파수)에서 운전되나 한국과 같이 연중 짧은 기간동안 외기 온도가 높을 때 잠시 사용하는 운전형태를 보이는 지역의 경우에는 낮은 용량대의 시스템의 효율보다는 시스템이 전부하 상태로 운전되는 높은 용량대의 운전조건에서 시스템의 효율이 높은 제품이 유리하다.

IPLV(Integrated Part Load Value)는 에어컨디셔너가 운전되는 기간동안 시스템이 전부하로 운전되는 경우보다는 부분부하로 운전되는 경우가 많으므로 부분부하의 성능과 시스템의 운전시간을 사용하여 가중

치를 부여하여 시스템의 계절성능을 표현하는 방법이다. 현재 기간에너지 소비효율의 계산에 IPLV를 도입하는 것은 시스템의 사용상태에서의 시스템의 에너지 소비의 효율계산 방법을 설정하기 위한 작업이다. 기존의 규격에서는 이러한 기간에너지 소비효율은 부분부하에서 효율적인 제품개발을 촉진하기 위하여 중간능력측정을 추가하기도 하였으나 이를 실현하기 위한 실험방법 등이 현실적으로 어려운 면이 존재하였다.

또한 이전의 규격에서는 기간에너지소비효율(SEER)의 계산방법을 부속서로 설정하였으나, 1999년에 개정된 JIS C 9612와 KS C 9306의 경우에는 이를 참고 항목으로 규격에 부기하여 향후 규격으로의 검토가능성을 예고하고 있으며, KS C 9306에서는 부속서 5항에서 규정하던 기간에너지소비효율을 최근의 기술발전추이 및 소비자 요구사항, 환경친화성 등을 고려하여 부속서 5(참고)로 규정하고 있다.

이전의 규격들을 살펴보면 유니터리 제품에서의 부분부하개념은 SEER을 통하여 구현하였고, 칠러의 경우에는 IPLV를 사용하였다.

2.2. IPLV의 검토 (ARI 210/240중심으로)

IPLV는 1986년도에 개발되었으며, 그동안 칠러의 연간 실제운전형태를 반영하고자 두 번의 개정을 거쳤다. 1998년도에 개정된 규격은 성능실험조건(rating conditions)과 부분부하 가중치(part load weighting)를 수정하였으며, 각 지역별, 시스템의 용도별로 컴퓨터에 의한 해석결과를 통하여 광범위한 자료를 사용하였다.

IPLV는 하나의 변수이지만 새로운 규격들은 광범위한 운전조건에서 성능실험을 수행한다. IPLV는 하나의 칠러에서의 평균값을 나타내기 때문에 설치환경에 따라서 달라지는 성능을 평가하지는 못하기 때문에 기상자료, 건물이 특성, 칠러의 개수, 운전시간, Economizer, 보조장치에 의한 부하(펌프, 냉각탑 등) 등을 고려한 복잡한 계산을 통해서만 전체적인 성능을 평가할 수 있을 것이다.

Table 1에 나타낸 바와 같이 초기의 IPLV는 1개 도시의 기상자료를 사용하고 사무실빌딩의 부하특성

Table 1. Basic of IPLV calculation

1992 STANDARD	1998 STANDARD
ASHRAE temperature bin method used	ASHRAE temperature bin method used
Atlanta weather data	Averaged weather data from 29 cities across the U.S.
Chiller operation 12 hrs/day, 5 day/week	Weighted average of chiller operation above & below 12.8℃ OADB
Weighting of part load points determined by straight averaging of hours	Weighting of part load points determined by straight averaging of ton-hours
Building load profile varying linearly with ambient & MCWB down to 10℃ OADB, no chiller load Below 10℃ OADB, no chiller load	Building load profile varying linearly with ambient & MCWB down to 10℃ OADB; & a 38% average internal load Below 10℃ OADB, load flattens to 20% minimum average internal load

및 운전시간을 고려하여 12.8℃이하에서의 이코노마이저 이용 등의 경우에 적용된 것이었다.

반면에 새로운 IPLV는 미국 29개 도시(1967년부터 1992년까지 25년동안 80%의 chiller가 판매된 지역)의 기상자료를 가장 평균한 값을 사용하며, DOE의 연구결과를 바탕으로 빌딩의 형태에 따른 가중치를 부여하였고, DOE와 BOMA 연구결과를 바탕으로 여러 가지 운전형태(이코노마이저적의 유무 등)에 따른 가중치 부여하였다.

1992년도 초기 IPLV는 시간에 따라서 직선적으로 가중치 부여하였으나, 새로운 IPLV는 Ton-hour를 기준으로 가중치 부여, 칠러가 대부분의 운전이 설계점에서 벗어나서 운전되는 점을 고려하였다. 여기서 탈 설계점은 칠러가 Full 부하로 운전되는 상태와 설계 냉각수온도/외기온도에서 운전되지 않는 모든 경우이다.

가장 큰 특징은 Table 2에 나타낸 바와 같이 full 부하운전상태의 가중치가 1992년에는 17%이던 것을 1998년에는 1%를 적용한 것이다. 또한 응축기로 들어가는 냉각수 혹은 냉각공기의 온도가 29개 도시의 기상자료와 냉각탑 catalog 및 공냉 응축기 제조사들의 자료로부터 결정하여 규격에 반영하였다.

Table 2. Weighting of part load points

%LOAD	1992 STANDARD	1998 STANDARD
100%	17%	1%
75%	39%	42%
50%	33%	45%
25%	11%	12%

이에 따라서 IPLV값을 계산하는 식은 다음과 같이 1992년도의 규격과 1998년도의 규격에서 차이를 가지고 있다.

$$1992 \text{ Standard : IPLV} = 0.17A + 0.39B + 0.33C + 0.11D \quad (1)$$

$$1998 \text{ Standard : IPLV} = 0.01A + 0.42B + 0.45C + 0.12D \quad (2)$$

여기서,

A = EER or COP at 100% capacity

B = EER or COP at 75% capacity

C = EER or COP at 50% capacity

D = EER or COP at 25% capacity 이다.

Table 3은 IPLV를 측정하기 위한 각 부하비에서 성능실험 조건을 나타내고 있다.

2.3. IPLV의 계산

IPLV의 개념의 도입에 있어서 ARI 210/240에 설명된 가정은 다음과 같으며, 국내에서도 아래에 설명된 가정을 어떠한 형태로 도입할 것인가에 대한 연구가 필요하다.

- 1) 에너지 계산에 있어서 수정빈법을 사용
- 2) 기상자료는 미국 29개 도시(80%의 칠러가 판매된)의 25년간의 평균값사용
- 3) 빌딩의 형태는 DOE의 연구결과를 기준으로 여러 가지 운전형태에 대하여 가중 평균치를 사용
- 4) 운전시간도 DOE의 연구결과를 바탕으로 가중 평균치를 사용

Table 3. Test conditions

% LOAD	1992 STANDARD			1998 STANDARD		
	WC °F ECWT	AC °F EDB	EC °F EWB	WC °F ECWT	AC °F EDB	EC °F EWB
100%	29.4	35.0	23.9	29.4	35.0	23.9
75%	26.0	29.4	20.4	23.9	26.7	20.4
50%	22.5	23.9	17.0	18.3	18.3	17.0
25%	19.0	18.3	13.5	18.3	12.8	13.5

- 5) DOE의 연구결과를 바탕으로 이코노마이저의 사용하는 빌딩과 사용하지 않는 빌딩에 대하여 가중평균
- 6) 부하선은 외기온도에 비례
- 7) A지점은 100%의 부하일 경우이며, 나머지는 시간톤(ton hours)의 분포에 따라 DOE의 연구결과로 결정

이와 더불어 IPLV의 결정에 있어서 100%, 75%, 50% 및 25%의 정해진 온도조건에서의 성능자료가 있어야 한다. 하지만 시스템의 제어 로직으로 인하여 정확한 %의 온도에서 시스템의 성능을 측정할 수 없을 경우에는 직선적인 변화를 하는 부하에 대한 효율 선도를 사용하여 구한다. 이때 외삽법은 사용하지 않는다. 예를 들어 최소 부하가 주어진 규격의 부하(25%, 50% 및 75%)보다 작을 경우에는 즉, 측정가능한 부분부하가 33%일 경우에는 50%의 부하에서의 효율을 얻을 수 있으나 25%의 효율은 구할 수 없다.

만약 시스템이 25%, 50% 및 75%의 용량에서 언로딩되지 않을 경우에는 시스템을 최소의 스텝의 언로딩상태로 운전해야 하며, 이때 외기온도는 표 3의 25%, 50% 및 75%에 해당하는 온도로 설정한 후 식(3)에 의하여 계산한다.

$$EER = \frac{Btu/h_{measured}}{C_D \times Watts_{measured}} \quad (3)$$

여기서,

$$C_D = (-0.13 \cdot LF) + 1.13 \quad (4)$$

$$LF = \frac{\left(\frac{\%Load}{100}\right) \cdot (full\ load\ unit \cap acity)}{(part\ load\ unit \cap acity)} \quad (5)$$

이다.

여기서 %Load는 75%, 50% 및 25%등의 표준정격성능에서의 부하의 비이다. 부분부하에서의 시스템의 용량은 최소 언로딩 스텝을 사용한 위와 같은 방법으로 측정하거나 계산한다.

III. 결과 및 고찰

KS C 9306에서 규정되어 있는 계절성능을 임의의 3RT급 에어컨에 대하여 간이 계산을 수행하여 기존의 시스템의 부분부하성능을 평가하던 방법과 새로이 제안된 IPLV를 계산하여 상대적인 값을 비교하였다. 이를 통하여 개념적으로 시스템의 성능이 어느 정도의 성능을 나타내는지 파악되었던 SEER 값과 새로운 IPLV의 값의 정성적인 차이를 파악 할 수 있을 것이다.

Table 4. Test condition and performance of the model system

Test Condition		Capacity (W)	Power (W)	COP
Indoor (DBT/WBT)	Outdoor (DBT/WBT)			
27/19.5	35/24.0	11,000	3,700	2.973
27/19.5	29/19	11,100	3,300	3.364

Table 5. System performance at each load%

Load %	EER
100	2.973
75	3.254
50	3.434
25	3.636

Table 6. Regional air conditioner operating hours

Region	Hours over 24°C during cooling season															
	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	
Seoul	168	268	348	248	224	132	176	108	104	24	36	16	4	0	0	
Busan	208	212	240	260	216	188	128	156	56	40	36	4	0	0	0	
Daegu	120	180	204	220	264	188	152	124	124	152	44	40	20	20	12	
Dajeon	216	184	236	244	244	196	156	136	116	68	44	32	16	8	0	
Incheon	304	364	296	244	140	124	132	64	44	28	4	4	0	0	0	
Mokpo	216	224	232	288	212	164	156	152	76	44	32	32	4	0	0	
Gangrong	224	168	228	220	96	124	104	84	68	44	36	8	4	0	0	
Total	1456	1600	1784	1724	1396	1116	1004	824	588	400	232	136	48	28	12	
Average(hour)	208	229	255	246	199	159	143	118	84	57	33	19	7	4	2	

본 연구에서 가정된 시스템은 3RT급의 시스템으로 시스템의 성능을 기존의 실험 자료를 참고하여 Table 4와 같이 가정하였다(실제실험값과의 차이는 ±5%임). 이와 같은 시스템의 성능을 기준으로 각 부분부하에서의 EER을 계산하면 Table 5와 같은 결과를 얻을 수 있다.

먼저 시간톤을 계산하기 위한 온도자료는 Table 6에 나타낸 바와 같다. 24°C 이상의 외기온도 발생시간은 우리나라의 경우 1989년 7월 1일부터 1991년 8월

31일까지 3년동안 기상청 기후 자료를 근거로 에어컨 디셔너를 사용하는 기간동안(7월 11일~8월 31일) 및 사용하는 시간대(오전 11시~오후 11시)에서 냉방을 필요로 하는 온도(24°C)이상 유지되는 온도별 시간을 조사한 것이다[3].

Table 7은 기존의 SEER의 계산방법을 사용하여 시스템의 성능을 평가한 것으로써 최종 SEER은 10.3이다.

반면에 IPLV에 있어서는 Table 8에 나타낸 바와

Table 7. Calculation sheet for SEER

BIN No.	Temp. (°C)	hour (Hr)	Building Load(W)	Capacity(W)	Power (W)	CLF	PLF	Cooling Capacity(kWh)	Watt-hour (kWh)	COP
1	24	208	1100.0	11183.3	2966.7	0.098	0.775	228.80	78.36	3.7697
2	25	229	2200.0	11166.7	3033.3	0.197	0.799	502.86	170.91	3.6813
3	26	255	3300.0	11150.0	3100.0	0.296	0.824	841.03	283.78	3.5968
4	27	246	4400.0	11133.3	3166.7	0.395	0.849	1083.66	363.13	3.5158
5	28	199	5500.0	11116.7	3233.3	0.495	0.874	1096.86	365.15	3.4381
6	29	159	6600.0	11100.0	3300.0	0.595	0.899	1052.23	348.11	3.3636
7	30	143	7700.0	11083.3	3366.7	0.695	0.924	1104.40	363.19	3.2921
8	31	118	8800.0	11066.7	3433.3	0.795	0.949	1035.89	338.72	3.2233
9	32	84	9900.0	11050.0	3500.0	0.896	0.974	831.60	270.44	3.1571
10	33	57	11000.0	11033.3	3566.7	0.997	0.999	628.57	203.35	3.0935
11	34	33	12100.0	11016.7	3633.3	1.000	1.000	365.12	120.42	3.0321
12	35	19	13200.0	11000.0	3700.0	1.000	1.000	213.71	71.89	2.9730
13	36	7	14300.0	10983.3	3766.7	1.000	1.000	76.88	26.37	2.9159
14	37	4	15400.0	10966.7	3833.3	1.000	1.000	43.87	15.33	2.8609
15	38	2	16500.0	10950.0	3900.0	1.000	1.000	21.90	7.80	2.8077

Table 8. Calculation sheet for IPLV

Outdoor Temp	Total Hours	DBH	Ton-hr	cooling Load(%)	Min Bin		Low Bin		Peak Bin		Design Bin	
24	208	4992	17	8	4992	17	0	0	0	0	0	0
25	229	5714	38	17	5714	38	0	0	0	0	0	0
26	255	6626	64	25	6626	64	0	0	0	0	0	0
27	246	6650	82	33	0	0	6650	82	0	0	0	0
28	199	5584	83	42	0	0	5584	83	0	0	0	0
29	159	4623	80	50	0	0	4623	80	0	0	0	0
30	143	4303	84	58	0	0	4303	84	0	0	0	0
31	118	3649	78	67	0	0	0	0	3649	78	0	0
32	84	2688	63	75	0	0	0	0	2688	63	0	0
33	57	1886	48	83	0	0	0	0	1886	48	0	0
34	33	1127	30	92	0	0	0	0	1127	30	0	0
35	19	680	19	100	0	0	0	0	0	0	680	19
Total	1751	48,522	687		17333	119	14510	246	3013	78	680	19
Weighting						25.73%		53.23%		16.84%		4.2%

같이 ARI 210/240에서 제시한 바와 같이 4개의 온도 bin을 기준으로 최소bin, 낮은bin, 피크bin 및 정격온도bin 등으로 구분하였을 경우에 대한 Weighting값을 결정하였다.

이와 같은 방법으로 가중계수를 구하였을 때 IPLV에 대한 상관식은 다음 식 (6)과 같다.

$$IPLV = 0.042A + 0.1684B + 0.5323C + 0.2573D \quad (6)$$

각 load%에서의 성능은 비례식을 사용하고 각 %에 대하여 내삽법을 사용하여 계산한 결과는 Table 6과 같으며, 식(6)으로부터 계산된 IPLV는 3.436이다.

IV. 결 론

본 연구는 최근에 멀티에어컨의 규격제정에서 도출된 부분부하 성능평가에 있어서 기존의 SEER과 칠러에서 사용되던 IPLV의 부분부하 평가방안의 차이점과 IPLV의 도출과정에 대하여 간략하게 소개하였으며, 이를 통하여 임의의 3RT급 에어컨에 대하여 계절성능과 부분부하 성능을 계산하여 제시하였다.

참고문헌

- 1) ARI standard 210/240, Unitary air conditioning and air source heat pump equipment, ARI, 2003
- 2) ASHRAE standard 116, Method of testing for seasonal efficiency of unitary air conditioners and heat pumps, ASHRAE, 1995
- 3) ARI standard 550/590, Standard for water chilling packages using the vapor compression cycle, ARI, 1998
- 4) GB/T standard 18837-2002, "Multi-connected air condition (heat pump) unit, 중화인민공화국국가표준, 2002