

에너지원별 냉방기기 에너지 소비 및 운영현황 분석

강 용 태*, 김 민 수*

경희대학교 기계·산업시스템 공학부, 서울대학교 기계항공 공학부

Analysis of the Operation Conditions and Energy Consumption for Each Energy Source

Yong Tae Kang[†], Min Soo Kim^{*}

[†] School of Mechanical Engineering, Kyung Hee University, Kyunggi-Do, 449-710, Korea

^{*} School of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University, Seoul, 151-742, Korea

ABSTRACT: The objectives of this study are to analyze of energy consumption and operation conditions of each cooling system for gas and electric driven systems, and to compare operating cost for five different cooling systems: ice storage system, system air-condition, turbo chiller as the electric driven cooling systems, and absorption chiller and Gas driven Heat Pump (GHP) as the gas driven cooling systems. The sample designs are carried out based on the types of business, capacity, installation region and year.

Key words: Cooling system(냉방시스템), GHP(Gas engine-driven Heat Pump), EHP(Electronic heat pump), Ice storage system(빙축열 시스템), Absorption system(흡수식 시스템), Economical efficiency(경제성)

1. 서 론

에너지의 안정적 공급은 경제성장에 필수적인 요소로서 경제성장에 따라 에너지 수요는 지속적으로 증가 되어 왔다. 최근 전력수요의 경우 여름철 냉방수요의 꾸준한 증가는 하절기 주간에 순간 피크전력을 장시간 발생시킴에 따라 전력 공급의 부담으로 작용되어 왔고, 이에 따른 추가적인 화력 발전소 가동은 국가 전체적인 에너지 이용 효율을 저해하는 요인 중 하나로 작용되고 있다. 반면, 가스 수요의 경우 동절기와 하절기의 가스 수요차가 극심하여 계절적인 수요 변동에 따른 에너지 수급의 합리화 방안을 모색 하여야 한다.⁽¹⁾

국가적 에너지이용의 합리화차원에서 천연가스 냉방의 중요성이 부각되고 있으나 보급촉진을 위한 문제점 도출 및 에너지원별 냉방기기의 경제성 분석을 위한 실태조사 자료가 부족한 실정이다. 따라서 경제성장과 함께 지속적으로 증가하는

하계 냉방전력수요를 분담하고, 계절별 천연가스 수요평준화를 위한 천연가스 냉방기기의 보급촉진 정책을 수립하기 위하여, 에너지원별 냉방기기에 대한 실태조사를 수행하고 각 냉방기기에 대한 경제성을 비교분석할 필요가 있다.

이를 위하여 본 연구에서는 국가에너지 수요 평준화 및 에너지 이용 효율 향상을 위하여 에너지원별 냉방기기에 대한 실태 조사를 수행하고 각 냉방기기에 대한 경제성을 분석하고자 한다.

2. 연구의 필요성

2.1 가스냉방 보급 필요성

80년대 이후부터 급격한 생활수준 향상으로 여름철 냉방 에너지수요는 연간 20% 정도 증가하여 오고 있으며, 이러한 경향은 지구 온난화의 영향으로 더욱 가속될 것으로 예상된다. 최근 5년간 하계 최대 전력 부하를 보면 지구 온난화에 의하여 2007년의 하절기 최대전력이 큰 폭으로 증가

Table 1 최근 5년간 하계 최대 전력 부하 및 냉방부하

구분	'02	'03	'04	'05	'06	'07
냉방부하(천kW) (전년 대비 증가율, %)	8,910 (3.6)	9,003 (1.0)	10,250 (13.9)	11,359 (10.8)	13,000 (14.4)	14,680 (12.9)
최대전력(천kW) (전년 대비 증가율, %)	45,773 (6.1)	47,385 (3.5)	51,264 (8.2)	54,631 (6.6)	58,994 (8.0)	62,285 (5.6)
냉방부하비중(%)	19.5	19.0	20.0	20.8	22.0	23.6

(전년 대비 5.6%)한 반면, 동절기 최대전력은 비교적 낮은 (전년대비 5.3%) 증가에 그친 것을 알 수 있다. 냉방부하는 특성상 여름철 낮 시간에 집중적으로 발생하여 공급예비율과 부하율을 악화시키는 요인으로 작용하는데 Table 1을 보면 최대 전력 중 냉방부하가 차지하는 비중이 지구온난화 및 쾌적한 환경에 대한 요구 등으로 인하여 해마다 증가하는 것을 알 수 있다.

따라서 하절기 전력 수요의 급증과 가스 수요의 동고하저 현상을 동시에 해결할 수 있는 효과적인 방안으로 여름철 가스냉방의 보급 확대를 생각할 수 있다. 천연가스 냉방 보급 확대의 궁극적 목표는 전력-가스간의 상호보완적 역할 및 에너지 이용합리화를 통한 국가경쟁력 제고에 있다. 전력사업 측면에서도 하절기 냉방에 의한 전력 피크 수요를 해소할 수 있어 전력예비율 하락에 따른 전력수급 불안을 해소하는 것은 물론 하절기 냉방 부하를 해소하기 위한 발전소 건설비용을 절감할 수 있고 송배전 설비의 효율적 운영을 통해 전력요금 인하 효과를 기대할 수도 있다. 또한 가스냉방의 주요기기의 수입대체효과가 가능하여 가스냉방의 주요기기인 대형 및 소형 흡수식 냉동기와 GHP 개발에 의한 수출효과 및 수입대체효과 막대할 것으로 판단된다.

2.2 에너지원별 냉방기기 효율 검토

전기와 가스를 각각 냉방 에너지원으로 사용할 경우 1차 에너지로부터 최종단계의 기기효율을

Table 2 전기냉방과 가스냉방에 의한 연료 소비 비교(발전 방식별)

냉방 방식	가스냉방 COP 1.0	가스냉방 COP 1.2	복합발전 전기냉방	LNG 화력발전 전기냉방
상대적 연료소비	100% (기준)	83.3%	88.7%	124.6%

고려한 전 과정 효율을 검토하여 냉방 방식별 에너지 효율을 검토하여야 한다. 우선 1차 에너지원으로부터 비교를 위하여 전력의 경우 단속운전이 용이한 화력발전을 기준으로 하여 복합 화력의 경우로 하였으며, 이때 사용연료는 LNG로 한정한다.

냉방기기의 효율은 대표적인 효율을 정하기 어렵기 때문에 전기 냉방기기의 평균 효율인 COP 3.0 및 흡수식 냉방기기는 COP 1.0를 기준으로 적용하며, 기기 방식별 효율(1차 에너지변환 효율 × 기기효율)을 계산하고 이를 동일 냉방능력기준으로 투입하여 에너지효율을 비교 하면 Table 2와 같다. Table 2에서와 같이 전기 냉방에 의한 냉방에너지 공급은 LNG복합의 경우 가스냉방 방식보다 1차 에너지(열량기준)를 11.3% 작게 사용하는 결과이며, LNG 화력으로 발전하는 경우는 25% 정도 더 사용한다.

가스 냉방의 COP가 1.2인 경우 가스 방식은 다른 냉방 수단 보다 연료 소비가 적어 효율면에서 유리하나 냉방 기기의 운용 효율을 1차 에너지 관점에서 분석하는 과정에서 전기 이용률을 계산하기 위하여 1차 에너지원이 LNG일 경우 그에 따른 발전 효율 및 송배전 손실을 고려한다면 Table 3에 나타난 것과 같이 약 34.5%이다. 가스 냉방과 전기 냉방의 냉방방식 차이에 따른 연료 소비 차이는 약 19%이며 에너지의 효율적 이용 관점에서는 가스냉방이 전기 냉방에 비해 부족하며, 에너지 이용의 경제성이 확보되기 위해서는 성능 개선이 필요하며 그 수준은 기기 효율인 COP 기준으로 약 1.23이상이어야 함을 알 수 있다.

3. 에너지원별 냉방기기 표본설계

3.1 표본설계의 목적

통계조사 특히 대규모의 표본조사의 효율성과 신뢰수준을 높이기 위하여 우선 과학적이고 합리적인 표본추출이 이루어져야 하며 이에 따른 적

Table 3 냉방수단별 성능계수(COP) 참고도

구분	1차 에너지원		→	전환에너지		→	최종이용	이용 COP		
								공급효율	이용단	종합
전기	LNG	→ (발전기)	전력	→	냉풍	34.5%	3.0~4.5	1.04	~1.55	
			(에어컨/EHP/터보식/축냉식)							
가스	LNG	→ (GHP/흡수식)			냉풍	-	1.0~1.2	1.00	~1.20	

Table 4 표본설계 모집단 선정 기준

구분	세부 분류	
에너지원별	전기 구동식	빙축열시스템, 시스템에어컨, 터보냉동기
	가스 구동식	흡수식 시스템, GHP
업종별	가정용	단독, 다세대, 아파트
	산업용	제조업, 섬유/종이출판, 석유/화학 및 기타
	상업용	사무실, 보조 및 사회복지, 도/소매업 등
용량별	150RT급 이하	
	150RT급 이상 - 150RT급 이하	
	300RT급 이상	
지역별	수도권	
	중부권	
	남부권	

절한 추정방법을 선택해야 한다.

본 표본설계는 주어진 조사비용 하에서 최적의 표본크기를 산정, 조사의 효율성과 정도를 제고시키고, 에너지원별 각 냉방기기들의 보급 및 에너지소비현황 실태조사, 각 냉방기기들의 경제성 및 운용현황 조사 분석이 가능하도록 표본 설계하는데 목적이 있다.

3.2 모집단 선정

본 연구에서는 다섯종류의 냉방기기에 대한 경제성 비교분석을 목적으로 하고 있다. 따라서 기본적으로 모집단을 정의하는데 있어서 모든 냉방기기 설치대수를 전체 모집단으로 하고, 각 냉방기기를 하나의 층화집단으로 간주할 수 있다.

각 기기별 설치대수는 현재 표본으로 추출해서

활용 가능하다고 판단되는 데이터베이스에 근거해서 선정하였다.

3.3 표본수 결정

본 연구에서는 두 가지의 관점을 절충한 다음과 같은 방법에 의하여 최종 표본수를 결정하기로 하였다.

우선 전체 표본수는 전체 냉방기기를 하나의 모집단 단위로 보는 관점에서 결정하는 것으로 한다. 따라서 전체 표본수는 신뢰수준 95%, 오차의 한계 5%로 설정하여 계산되는 377개 이상으로 설정하였다. 그리고 각 층화별 표본수는 각 냉방기기를 독립적인 모집단으로 정의하는 관점을 견지하되 현실적 상황을 고려하여 전체 모집단을 설정할 때 사용한 통계적 신뢰도보다는 보다 완화된 기준을 채택하기로 한다. 따라서 층화별 표본수는 신뢰수준 90%, 오차의 한계 10%로 설정하여 계산하여 최종 표본수로 채택하기로 하였다. 설문조사의 상황을 고려하여 분배과정에서 다음과 같은 원칙을 설정하였다.

- 1) 설문결과의 이상값(outlier)이 층화셀의 대푯값이 되는 상황을 최소화 방지하기 위하여 각 층화셀별 표본수는 최소 2개 이상으로 설정하기로 한다.
- 2) 실제로 표본을 추출할 때에 5배수의 대체표본수를 확보하기 위해서 층화셀의 모집단 수가 10개 이상인 셀에 대해서만 표본조사를 실시하는 것으로 한다.

층화셀 별 표본 배분 조정과정을 마친 결과 본 연구의 최종 냉방기기별 최종 표본설계 결과를 Table 4에 나타내었다. 각 냉방기기별로 모집단을 선정할 경우 신뢰수준 90%, 오차한계 12%로

Table 5 냉방기기별 모집단과 응답수

냉방기기	모집단	응답수 (신뢰수준 95%, 오차한계 7%)
빙축열	506	43
터보냉동기	4150	46
흡수식	4060	59
GHP	370	58
합 계	9086	206

산정되었다. 에어컨의 경우 시스템 에어컨을 포함한 벽걸이형도 포함되어 층화집단을 대표하기 어려운 것으로 판단되어 제외 시켰다.

4. 각 냉방기기별 운전현황 실태조사

4.1 각 냉방기기별 현장 측정 및 조사

냉방기기별 하절기 가동률 및 동시사용률 실태를 조사하여 건물의 용도 및 면적 별 냉방기기의 시간별 부하률 과 동시사용률, 연간 사용일수 가동시간을 조사하여 냉방기기별 에너지 소비현황 하절기 에너지수급 영향분석을 하고자 하였다. 그리고 국내에 설치된 냉방기기를 대상으로 현장조사 진단을 통해 냉방기기 사용 실태 및 냉방성능을 측정하고, 현장 조사를 통한 만족도와 불만사항을 조사하여 냉방기기 보급 및 운전의 효율을 상승시키고 모든 냉방기기 국산화를 위한 기초자료와 이를 위한 정책적 지원방안 및 향후 냉방기기 기술개발 방향을 제시하고자 한다. 또한 냉방기기별로 문제점을 도출하여 향후 정책제도 개선에 반영할 수 있도록 하였다.

또한 각 냉방기기별 현장 측정 조사 방법은 다음과 같다.

- (1) 현장측정 설치 업소에서 가스 소비량 및 전력량 측정 그리고 장치의 입출구 온도 측정을 통하여 실제 운전효율 및 성능측정.
- (2) 현장측정 조사를 통하여 기기 사용 전후의 에너지사용료 부가상황조사를 통해 에너지 절감 상황분석.
- (3) 업종별로 현장측정 설치 업소를 선정하였으며, 현장조사 진단을 통하여 실제 냉방

운전에 실태 파악 및 분석.

- (4) 기기 설치 업소를 대상으로 설문조사를 의뢰하여, 기기별 운영실태의 파악 및 분석과 만족도 조사.

4.2 각 냉방기기별 운전실태 및 문제점

본 연구에서 에너지원별 현장 측정을 통해 발견된 문제점과 그 해결방안을 다음과 같이 제시하였다.

- (1) 전기식 히트펌프/시스템 에어컨
실외기의 경우 설치 지침서 제작 및 낙뢰방지기의 설치가 필요하며 실내기의 경우 주기적인 관리가 필요하며 사용형태에 따른 진동 및 소음 발생문제를 해결하기 위한 설계가 요구된다.
- (2) 터보냉동기
안정적인 전력을 확보 할 수 있도록 냉방 전력비를 적절하게 관리 될 수 있는 정책이 필요하며, 다른 냉동기기에 비하여 큰 소음과 진동에 대처하기 위해 기관실의 차음 시설 법적 강화가 필요하다고 사료된다.
- (3) 빙축열 시스템
축열조 관리가 좀더 세밀히 요구 되며 실제 심야전력만으로는 일일 냉방운전이 불가능함으로 심야전력사용시간의 조정이 필요하다.
- (4) 흡수식 냉온수기
대부분 법적 용량 이상으로 제작, 설치되어 운전상의 어려움은 없으나 작동유체의 누설될 경우 부식에 의한 손상에 대비한 준비가 요구된다.
- (5) 가스엔진 구동형 히트펌프
법적 용량을 20RT 미만으로 관리하는 것이 필요하며 대부분의 부품을 수입에 의존하고 있으므로 국산화가 절실히 요구된다.

5. 냉방기기 보급 및 에너지 소비 현황

5.1 각 냉방기기별 보급 현황

각 냉방기기의 용량별 보급 현황은 Table 6에 나타 내었다.

5.2 각 냉방기기별 잔존율

정확한 잔존율을 구하기 위해서는 총 보급대수에서 폐기되는 대수를 제외고 실제로 운전되는

Table 6 용량별 냉방기기 보급 현황

시스템 에어컨	20RT 미만	20-40RT	40-60RT	60RT 이상	계	
	24 (50.0%)	13 (26.5%)	8 (16.3%)	4 (8.2%)	49	
냉동기	100RT 미만	100-300RT	300-500RT	500RT 이상	계	
	40 (38.5%)	29 (27.9%)	4 (3.8%)	31 (29.8%)	104	
빙축열	100RT 이하	100-200 RT	200-300 RT	300-800 RT	800RT 이상	계
	12 (18.8%)	14 (21.9%)	16 (25%)	14 (21.9%)	8 (12.5%)	64
흡수식	100RT 미만	100-300RT	300-500RT	500RT 이상	계	
	4 (3.5%)	64 (54.7%)	19 (16.2%)	30 (25.6%)	117	
GHP	100RT 미만	100-250RT	250-400RT	400RT 이상	계	
	60 (57.1%)	26 (24.8%)	13 (12.4%)	6 (5.7%)	105	

Table 7 냉방기기별 잔존율

냉동기	사용연수 (년)	0~5년	6~10년	11~15년	15년이상	잔존률
	보급대수 (대)	47	17	26	14	
	보급비율 (%)	45.2%	16.3%	25%	13.5%	86.5%
빙축열	사용연수 (년)	0~5년	6~10년	11~15년	15년이상	잔존률
	보급대수 (대)	4	22	5	1	
	보급비율 (%)	12.5	68.8	15.6	3.1	96.9%
흡수식	사용연수 (년)	0~5년	6~10년	11~15년	15년이상	잔존률
	보급대수 (대)	22	47	39	9	
	보급비율 (%)	18.8%	40.2%	33.3%	7.7%	92.3%
GHP	사용연수 (년)	0~5년	6~10년	11~15년	15년이상	잔존률
	보급대수 (대)	105	0	0	0	
	보급비율 (%)	100%	0%	0%	0%	100%

기기의 비율을 구해야 한다. 따라서 본 연구에서는 잔존률의 정의를 아래와 같이 정의 한다.

잔존률 = 현재 운전중인 각 냉방기기중 평균수명 이하의 기기 보급비율

각 냉방기기들의 잔존률은 Table 7과 같이 조사 되었다.

Table 8 냉방기기별 하절기 가동률

구분	5월	6월	7월	8월	9월	10월
시스템 에어컨	16.7% (5)	33.3% (10)	73.3% (22)	66.7% (20)	40% (12)	3.3% (1)
냉동기	66.7% (20)	80% (22)	83.3% (25)	86.7% (26)	70% (21)	96.7% (29)
빙축열	55% (16.5)	71% (21.3)	86.7% (26)	87% (26.1)	68.3% (20.5)	-
흡수식	53.3% (16)	71% (21.3)	88.3% (26.5)	90% (27)	67.7% (20.3)	41.7% (12.5)

5.3 냉방기기별 가동률

냉방기기별 하절기 월별 평균 냉방기 일일 사용시간은 다음 Table 8과 같다. 냉방기기 사용률은 7월, 8월에 가장 많은 것으로 나타났으며, 시스템 에어컨의 경우 8월 보다 7월의 사용률이 많은 이유는 설치가 많은 학교가 방학을 하기 때문으로 판단된다. 냉동기의 경우 일반 냉방이 아닌 제조업종 등에서 공조의 목적이 아닌 생산이나 저장 등의 용도로 사용되는 경우가 많기 때문에 비교적 높은 사용률을 나타내고 있다.

5.4 하절기 전력 수급 영향 분석

냉방 면적이 증가할수록 연간 냉방 비용이 증가하고 있고, 냉방기기 사용시간의 차이에 따른 영향으로 인해 같은 냉방 면적에서도 에너지 사용의 차이가 크게 나타나고 있다. 냉동기의 경우 동일한 냉방면적에 가스과 전기를 동시에 사용하는 곳이 많았기에 동일한 냉방면적에서 가스사용량과 전기사용량을 함께 표로 나타냈다.

냉방면적이 중용량이 요구되는 곳에서는 전력요금 비중이 큰 것으로 나타나고 있는데 이는 대용량으로 갈수록 흡수식 등의 가스냉방 비율이 많이 보급되어 가스 사용이 많이 보급화 되어 있는 반면이 중용량에서는 여전히 전력의존도가 높기 때문이라고 판단된다.

6. 각 냉방 기기별 경제성 분석

경제성 분석은 다음과 같이 초기 투자비와 유

Table 9 냉방기기별 하절기 사용량

	냉동기 용량(RT)	사용량
시스템 에어컨	1,338	9,604,963 (kWh)
냉동기	50,529.26	453,790,160 (kWh)
빙축열	-	5,281,334 (kWh)
흡수식	38,250	22,140,938 (Nm ³)
GHP	14,664	4,553,750 (Nm ³)

지관리비로 분류한다.

(1) 초기 투자비

- 장비 비, 설치 공사비, 수전 설비, 지원금, 세제지원

(2) 유지관리비

- 기본 전력 요금, 에너지 사용료(전력, 가스), 공간사용료, 인건비, 보험료, 수선비

경제성 분석은 정부 지원금 적용/미적용에 따른 개별/중앙 방식의 경제성을 Table 10에 나타내었다. 동일 투자비용에서 가스 냉방 방식 기기의 경우 전기 냉방 방식 보다 경제성이 더 크게 나타났으며 지원금 적용 시 최대 약 연간 1100만원 이상을 절감할 수 있는 것으로 분석 되었다. 그러나 본 연구의 결과는 개별방식의 경우 3층 건물 (30RT 급 전체 연면적 950m²), 중앙방식의 경우 5층 건물 (300RT급 전체 연면적 9500m²)을 기준으로 하여 비교한 것으로 건물 냉방용량과 업종 및 지원금 액수 등에 따라 경제성 비교 분석 결과는 다를 수 있음을 밝힌다.

Table 10 지원금 적용/미적용 경우의 개별/중앙방식 경제성 비교

		지원금 적용 시 연간 균등비용(원)	지원금 미적용 시 연간 균등 비용(원)
개별방식	EHP	17,349,542	17,349,542
	GHP	13,911,301	14,209,360
차액 (GHP - EHP)		3,438,241	3,140,182
중앙방식	흡수식	82,592,460	83,039,728
	냉동기	94,060,157	94,060,157
	빙축열	90,747,552	101,477,675
차액 (냉동기 - 흡수식)		11,467,697	11,020,429
차액 (빙축열 - 흡수식)		8,155,092	18,437,947

7. 결 론

냉방기기의 보급 확대는 가스 수요관리와 전력 수요관리에 모두 효과가 있다. 특히 가스 냉방 보급 확대는 국민 경제적 관점에서 발전소 및 송배전 설비투자 절감시키는 효과를 주며 장기 전력수급 기본 계획에 설정된 가스냉방 보급 목표를 달성할 경우 2017년까지 3조 4천 억원의 편익이 발생하는 것으로 분석 되었다. 천연가스 부하관리에 의한 냉방에너지 분담은 가스 뿐 아니라 전력 수요 관리에도 도움을 줌으로 보급 확대할 수 있는 방안이 필요할 것으로 기대 된다.

후 기

본 연구는 에너지관리공단 용역과제 “에너지원별 냉방기기 경제성 비교분석, 연구기간 : 2007.11.11 - 2008.11.10”의 지원으로 수행되었다.

참고 문헌

1. Kim, M. S., 2007, Study on support policy and plan to stimulate diffusion manner of air-conditioning system (ice storage type, gas type), Korea energy management corporation.
2. 산업자원부 에너지관리공단, 2006, 국가에너지 종합분석 보고서(가정/상업 부문)
3. 산업자원부 에너지관리공단, 2006, 산업부문 에너지 소비량 표본 조사 및 분석 보고서(광업/제조업 부문)