

# 캘리포니아 표준테스트 방법을 사용한 전기냉방기기의 가스냉방기기 대체에 따른 편익비용분석

## Benefit-Cost Analysis in Accordance with Replacement of Electrical Cooling System by Gas Cooling System using the California Standard Test

박래준<sup>†</sup> · 송경빈\* · 원종률\*\*  
(Rae-Jun Park · Kyung-Bin Song · Jong-Ryul Won)

**Abstract** - There are some efforts to improve the performance of electrical heat pump(EHP) and replace it with an alternative cooling equipment such as gas engine-driven heat pump(GHP), a gas cooling equipment, in order to solve the problem of summer electricity supply through reducing the summer electricity peak. This paper analyzes cost-benefit in accordance with replacement of electrical cooling system by gas cooling system using California standard test and sensitivity analysis of some scenarios.

**Key Words** : California standard test, Gas cooling system, Electrical Heat Pump(EHP), Gas engine-driven Heat Pump(GHP), Cost-benefit analysis

### 1. 서론

전 세계적으로 경제성장에 따라 에너지수요는 지속적으로 증가되고 있고, 특히 80년대 이후부터 국민경제 성장에 따른 생활수준 향상으로 여름철 냉방 에너지수요는 연간 20% 정도 증가하였으며, 향후에는 약 30%의 급격한 증가가 예상된다.[1] 냉방부하 특성상 여름철 낮 시간에 집중적으로 발생하여 공급예비율을 악화 시키는 요인으로 작용하고 하계 첨두수요를 발생시켜 추가적인 발전기 건설로 인한 비용을 발생시킨다.[1] 냉방 에너지원으로는 크게 전력에너지와 가스에너지가 있으며 가스요금의 지속적인 인상과 전기요금 상승 억제 정책으로 인하여 상대적으로 에너지 가격이 저렴한 전력에너지로 냉방에너지 수요가 선호되고 있다. 가스 요금은 지속적으로 인상되어 2005년 대비 2010년 12월에 약 40% 이상 인상되었지만 전기는 정부 정책에 따라 산업용의 경우 원가 이하로 판매되고 있고 인상폭도 미미한 실정이다. 하계 냉방수요를 현재 선호되고 있는 전기에너지에서 가스에너지로 이동시킬 경우, 첨두부하 삭감으로 인한 발전 설비 건설 회피비용과 같은 국가적 차원에서의 이익이 기대된다. 따라서 현재 전체 냉방에너지 중 가스냉방이 차지하고 있는 비율을 증가시키기 위한 정책적 지원이 국가 주무 부처에 의해 이루어지고 있다. 2000년부터 현재까지 가스냉방 지원제도를 시행하여 가스냉방 설치장려금과 가스냉방

설계장려금을 지급하고 있으며, 과거에는 가스공사의 자체자금으로 지원하던 것을 2010년부터는 전력산업 기반기금에서부터 지원받아 시행 중에 있다. 따라서 현재 사용하는 전기 에너지를 가스에너지로 대체할 경우 국가적 관점의 이익과 소비자 관점에서의 이익을 분석할 필요가 있다. 본 논문에서는 전기냉방기기인 축냉식 냉방기와 Electric Heat Pump (EHP)를 가스냉방기기로 대체할 때의 비용효과와 이해주체별 편익을 캘리포니아 표준테스트 방법을 사용하여 분석하고, 각종 시나리오별 민감도를 산출하여 제시하였다. 본 연구결과의 편익비용분석으로 가스냉방기기의 적정 보조금 지원 수준을 결정할 수 있다.

### 2. 비교대상 냉방기기 기준 및 특성

국내 비주거용 건물에 사용되는 중앙집중식 냉방설비의 냉방기기 규모는 약 30RT(Ton of Refrigeration) 이상으로서 전기에너지를 사용하는 냉방기기는 압축식 냉방기와 축열식 냉방기기로 압축식 냉방기기는 스크류냉동기, 터보냉동기가 주로 사용되고 축열식 냉방기기는 빙축열시스템 냉방기기가 사용된다. 또한 가스에너지를 사용하는 냉방기기는 가스나 경유 등을 직접 연소시켜 냉수나 온수를 만들어내는 흡수식 냉온수기를 사용한다. 최근 국내 건축물의 냉방시설은 전기 압축식 냉동기에서 가스 흡수식 냉온수기와 빙축열시스템으로 대체되는 추세에 있으며, 근래에 들어서는 가정용에 대한 냉방수요가 본격화되면서 관련기술의 개발과 함께 소형제품의 개발도 활발하며, 최근 본격적인 보급단계에 들어선 가스엔진 히트펌프(Gas engine-driven Heat Pump, GHP)의 경우 학교, 중소형 건축물에 많이 설치되고 있는 추세이다[1]. 가스에너지를 사용하는 냉방기기는 사용되는 용량에 따라 30RT 초과급과 30RT 미만급으로 구분하며 30RT 초과급은 주로 중앙냉방식으로 200RT이상

<sup>†</sup> Corresponding Author : School of Electrical Engineering, Soongsil University

E-mail : rejuni@ssu.ac.kr

\* School of Electrical Engineering, Doctor of Engineering, Soongsil University

\*\* Department of Electrical and Electronic Engineering, Anyang University,

Received : September 11, 2012; Accepted : November 21, 2012

서 3000RT급의 흡수식 냉방기기를 사용하고 30RT미만은 주로 개별냉방식으로 평균 16RT급의 GHP를 주로 설치하고 있다. 따라서 가스에너지를 사용하는 냉방기기의 비교대상 기준으로는 30RT미만의 소형은 EHP, 30RT이상의 중대형은 축냉식 냉방설비로부터 전력부분의 에너지를 이전시키는 것이라고 볼 수 있다. 냉방용량별 비교대상 기준을 표 1에 정리하여 제시한다.

표 1 냉방용량별 비교대상

Table 1 Comparison equipment system by refrigerating capacity

대상 냉방용량	가스에너지 냉방기기(COP)	비교대상 전기에너지 냉방기기(COP)
16 RT	GHP(1.3)	EHP(3.7)
20 RT	GHP(1.3)	EHP(3.7)
200 RT	흡수식(1.25)	EHP 복수구성(3.7), 터보냉동기(5.0)
500 RT	흡수식(1.25)	터보냉동기(5.0)
1,000 RT	흡수식(1.25)	축냉식(5.0)

냉방기기의 에너지 이전을 통한 편익비용분석을 위해서는 가스냉방기기가 전기냉방기기를 대체하는 경우 전력사용량 감소분을 계산하여 전력사용량 감소분에 따른 비용편익 효과를 도출하여야 한다. 가스에너지를 사용하는 냉방기기와 전기에너지를 사용하는 냉방기기는 소비하는 에너지가 다르기 때문에 냉방기기의 성능계수(Coefficient of Performance, COP)를 사용하여 냉방기기 대체에 따른 전력사용량 감소분을 계산하였다.

냉동기의 성적계수 COP란 냉동사이클의 능력을 나타내는 수치로서 소요일의 열당량과 냉동능력의 비를 말한다. 냉동기의 동작원리는 외부로부터 일(W)을 받아 저온구역 T2의 물체로부터 열량 Q2를 취하여, 고온구역 T1으로 열량 Q1을 배출하게 된다. 결국 Q1-Q2에 상당하는 열량을 소비하게 되므로, 이론적 냉동사이클의 성적계수에서 일(W)의 에너지는 열량 Q2를 제거하는데 필요한 것이지만 일(W)의 에너지 일부가 열량 Q2로 변환되는 것은 아니다. 따라서 같은 의미로부터 효율이라는 말을 사용하지 않고 일반적으로 성적계수라는 말을 사용하고 있다[2]. 따라서 가스냉방기기와 전기냉방기기의 성적계수를 비교하면 일(W)에 대하여 Q1-Q2에 상당하는 소비하는 열량의 비율을 비교할 수 있으므로 에너지소비량 개념에서부터 대체효과를 비교할 수 있다. 식 (1)의 COP의 정의로부터 가스냉방기기의 에너지소비량과 전기냉방기기의 에너지소비량은 식 (2)와 같이 계산할 수 있으므로 가스냉방이 전기냉방을 대체하는 경우 RT 당 전력사용량 감소분은 식 (3)과 같이 계산할 수 있다[1].

$$COP의 정의 = \frac{냉방능력(kcal)}{소비에너지(kcal)} \tag{1}$$

$$가스냉방기기의 COP = \frac{냉방능력(kcal)}{가스소비량(Nm^3) \times 발열량(10,400kcal/Nm^3)}$$

$$전기냉방기기의 COP = \frac{냉방능력(kcal)}{전력소비량(kWh) \times 860(kcal/kWh)} \tag{2}$$

$$\frac{전력사용량감소분(kWh)}{가스냉방기기 COP \times 10,400} \times RT \text{당 연간 가스사용량}(Nm^3/RT) = \frac{전기냉방기기 COP \times 860}{전기냉방기기 COP \times 860} \tag{3}$$

전기냉방기기의 가스냉방기기 대체에 따른 비용효과와 이해주체별 편익 분석을 위해서 국내외 냉방기기의 평균 COP를 기기별 카다로그를 기준으로 조사 및 정리하여 비교, 분석하였다[1].

냉방기기의 성능계수인 COP는 클수록 냉방 효율이 좋다는 것을 의미한다. 냉방기기별 성능계수를 비교한 결과를 그림 1에 제시하였으며 국내 A사의 원심식(터보) 냉동기가 2.24로 가장 냉방 효율이 좋은 것으로 조사되었다. 국내 A사와 B사의 전기히트펌프(EHP)의 평균 COP는 1.70으로 국내 A사와 해외 C사의 가스엔진히트펌프(GHP)의 평균 전환 COP인 1.33보다 약 0.37 높은 것으로 조사되었다[1].

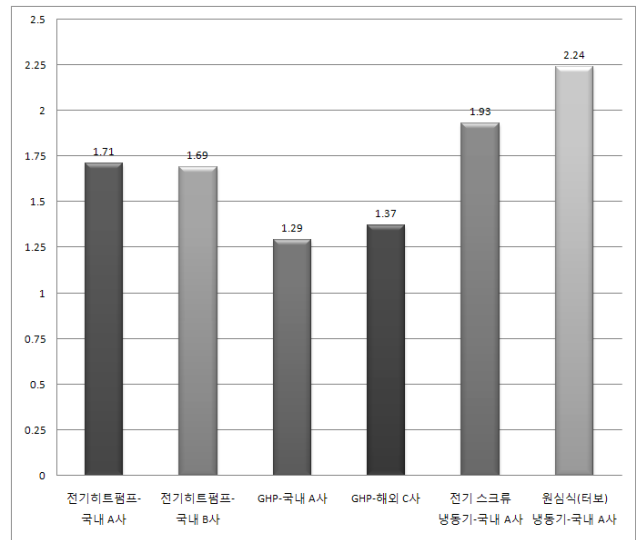


그림 1 냉방기기 평균 COP 비교

Fig. 1 Comparison of average COP by cooling equipment system

### 3. 캘리포니아 표준테스트를 이용한 편익비용분석

캘리포니아 표준테스트는 현재 미국을 비롯한 여러 선진국들에서 오래전부터 편익비용분석에 일반적으로 사용되어 신뢰성이 있다고 알려진 방법이다[3]. 현재 수요관리 자원의 비용효과 분석에 널리 사용되는 캘리포니아 표준테스트(California Standard Practice Test)에는 4가지 지표(P, UC, RIM, TRC)가 있으며 이들 테스트의 편익(Benefit)과 비용(Cost)의 비율(Benefit-Cost Ratio : BCR, B/C)이 1이상인 것을 적정한 지원금 기준으로 삼고 있다.

참여자 테스트(Participant Test : P-test) : 참여자 테스트는 프로그램에 참여하는 수용가의 관점에서 수요관리 프로그램 참가에 따른 정량적인 비용과 편익을 측정하는 것이다.

수용가영향도 테스트(Rate Impact Measure Test : RIM-test) : 수용가 영향도 테스트는 프로그램의 요금에 대한 영향도를 측정하는 것이다. 유틸리티의 총수입의 변화와

프로그램을 제공함으로써 인해 유틸리티에 발생하는 총비용의 차이를 측정한다. 수입에 의한 변화와 총비용의 변화에 따라 결정되는 요금수준은 프로그램에 의해 변화되므로 수용가영향도 테스트는 요금수준의 관점에서 프로그램을 평가하는 것이다.

프로그램관리자(또는 유틸리티) 비용 테스트(Program Administrator(Utility) Cost Test : PAC or UC-test) : 유틸리티 비용 테스트(UC-test)는 프로그램을 수행하는데 소요되는 유틸리티의 총비용에서의 변화를 측정하는 것이다. 따라서 이 테스트는 유틸리티의 총비용 측면에서 프로그램을 평가하는 것이다.

총 자원 비용 테스트 (Total Resource Cost Test : TRC-test) : 총 자원 비용 테스트는 유틸리티와 전체 요금 납부자의 관점에서 프로그램의 종합적인 효과로서 전체 순자원 비용을 측정하는 것으로, 유틸리티와 참여자로부터 발생하는 편익을 포함한 전체 편익과 유틸리티와 참여자에게서 나타나는 전체 비용으로 평가하는 것이다.

### 3.1 편익비용 분석을 위한 세부기준

캘리포니아 표준테스트를 통한 편익비용분석에서 모든 프로젝트의 경제성 평가는 현금 흐름(Cash Flow)에 기초한다. 현금의 흐름은 자금의 유입(편익)과 유출(지출)의 차로 나타낼 수 있다. 또한 경제성 평가는 돈의 시간가치(Time Value of Money)를 고려해야 한다. 할인 경제성 평가기준(Discounted Criteria)은 화폐의 시간가치 및 현금흐름을 고려하는 경제성 평가기준으로 순현재가치(Net Present Value : NPV), 현재가치 비율(Present Value Ratio : PVR), 등가연간가치(Equivalent Annual Value : EAV), 편익-비용 비율(Benefit-Cost Ratio : BCR), 내부수익률(Rate of Return : ROR)등이 있다[1]. 이러한 평가기준을 통하여 프로그램의 비용효과를 분석할 수 있으며 본 논문에서는 순현재가치와 편익-비용 비율을 사용하여 경제성 평가를 분석한다. 순현재가치(NPV)란 프로그램 편익의 현재가치로 할인된 값에서 프로그램 비용의 현재가치로 할인된 값을 뺀 것을 말하고, 순현재가치가 0이상이면 프로그램이 비용효과적이라 한다. 편익-비용 비율(BCR)은 프로그램 편익의 현재가치를 프로그램 비용의 현재가치로 나눈 것을 말하고, 편익-비용 비율이 1이상이면 프로그램이 비용효과적이라 한다[1].

가스냉방기기를 통하여 전기냉방기기를 대체 할 때의 캘리포니아 표준테스트를 사용한 편익비용분석을 하기 위한 가스냉방기기의 비교대상기준은 표 1에서 나타낸 것과 같으며 분석에 사용하는 기기들의 표준 사용환경조건 및 가격등을 조사를 통해 얻어 이를 기초 입력 자료로 활용하였다. 가스냉방기기의 경우 가스냉방으로부터 생기는 회피비용이 전력회사에 크게 발생하기 때문에 전력회사와 가스회사가 모두 관련된다. 따라서 비용효과 분석 시 원칙적으로는 이들 모두를 고려하여야 한다. 실제로 대부분의 회피비용은 하계 첨두 전력수요를 억제하는 효과에서 나타난다. 전력회사는 첨두 발전설비인 LNG 발전 설비를 억제하는 효과를 가지며, 가스회사는 하계 저장설비의 회피효과를 가지게 된다. 하지만 가스 저장설비의 경우 동계에 다시 가스수요를 재창출하며 그 수치가 발전설비 회피비용에 비해 약 2%수

준에 지나지 않아 이 효과는 여기에서는 무시한다. 따라서 본 논문에서는 편익-비용 효과 분석 시 관련 유틸리티를 전력회사의 관점만 보는 경우로 한정하여 분석한다.

### 3.2 편익비용 분석을 위한 입력자료

앞서 언급한 것과 같이 분석 대상 가스냉방 설비는 GHP와 흡수식 냉온수기 2종류로 구분한다. 분석에 사용할 냉방 설비는 단위용량에 따라 구분하며 그 결과는 표 1에 나타내었다. 이는 도시가스사의 자문을 받아 결정하였으며 각 용량에 대한 비교대상 전기냉방기기와 성능계수(COP)값은 기기별 조사된 결과의 평균값을 사용하였다[1]. 냉방기기의 성능계수를 사용하여 가스냉방기기가 전기냉방기기를 대체하는 경우의 전력사용량 감소분의 계산방법은 식 (3)과 같은 방법을 사용하였다. 식 (3)에서 RT당 연간 가스사용량의 경우 도시가스사 및 설비회사 자료를 참고한 결과 GHP는  $0.211(Nm^3/RT\cdot h)$ , 500시간 기준 연간  $105.5(Nm^3/RT)$ 이고 흡수식은  $0.229(Nm^3/RT\cdot h)$ , 500시간 기준 연간  $114.5(Nm^3/RT)$ 이다. 도시가스사 자료를 참조하여 조사된 냉방의 평균 설치비용은 다음 표 2와 같다. 여기서 축냉식 냉방기의 경우 지원금을 고려한 결과이다[1]. 할인율은 6.0%를 이용하였다.

표 2 용량별 냉방설비 평균 설치비용[1]

Table 2 Average installation cost of cooling equipment system by refrigerating capacity

용량	가스냉방기기		전기냉방기기	
	기기명	비용 (원/RT)	기기명	비용 (원/RT)
16RT	GHP	2,207,000	EHP	1,665,000
20RT	GHP	2,116,000	EHP	1,566,700
200RT	흡수식	819,400	EHP	486,850
			터보냉동기	850,000
500RT	흡수식	590,600	터보냉동기	578,000
1,000RT	흡수식	623,000	축냉식냉동기	830,000

편익비용 분석을 위한 입력자료 중 가스요금의 경우 도시가스 냉방용 소매요금 자료를 참조하였다. 가스냉방의 에너지원인 냉방용 도시가스 요금의 경우 지역별로 차이가 있으나 대부분의 가스냉방이 수도권에 집중적으로 설치되어 운영되므로 서울특별시, 경기도, 인천광역시의 지역별 냉방용 가스요금을 평균하여 적용한 냉방용 도시가스 평균요금인  $445.2(\text{원}/Nm^3)$ 을 사용하였다. 또한 입력자료 중 전기요금의 경우 일반용 평균 전기요금  $98.0(\text{원}/kWh)$ , 일반용 평균 기본요금  $5,580(\text{원}/\text{계약전력kW})$ , 심야전력요금  $44.2(\text{원}/kWh)$ 를 사용하였다[4]. 기타 입력 자료로는 기기수명인 GHP 15년, 흡수식 15년과 축냉방 냉방설비는 부분축열로 가정하여 축열률 45%를 적용하였다.

### 3.3 가스냉방기기 대체에 따른 편익비용 효과 분석

가스냉방기기를 보급함에 따라 관련되는 이익 주체는 캘리포니아 표준테스트에서 참여자, 비참여자, 유틸리티, 국가 4가지로 구분한다. 가스냉방기기 대체에 따른 설치효과는 표 3과 같은 캘리포니아 표준테스트의 4가지 테스트의 편익/비용 요소들을 사용하여 각 테스트의 BCR 비율을 분석해 표현 할 수 있다. 캘리포니아 표준테스트를 사용한 편익비용 효과분석에 사용되는 요소들은 대체되는 가스냉방기기의 용량별로 다르게 적용되므로 편익비용 분석도 용량별로 다르게 나타난다. 참여자관점에서 바라본 용량별 편익비용 분석 결과는 표 4부터 표 7과 같다. 표 4에서 나타난 소용량 16RT 단일설비의 경우 대상 가스냉방 설비는 단일기기로 GHP이며 비교대상 전기냉방기기는 EHP이다. 현재 지원단가는 20만원/RT이다. COP가 높은 기기는 상대적으로 기기 가격이 높고 COP가 낮은 기기는 상대적으로 기기 가격이 낮다. 하지만 가격의 차이가 효율의 차이를 상쇄할 정도로 아직은 고효율 기기의 가격이 높다. 따라서 COP가 1.35이상인 고효율 GHP보다 상대적으로 효율이 낮은 COP가 1.25인

**표 3** 가스냉방의 캘리포니아 테스트 편익/비용 요소  
**Table 3** The california standard test benefit/cost element of gas cooling system

	비용	편익
P Test	1.가스냉방 가스사용금액 2.초기 투자비-전기냉방 (EHP)투자비	1.보조금 2.전기요금 절감액
RIM Test	1.보조금 2.전력회사 수입감소분	1.첨두발전(LNG)회피 비용(설비+에너지 회피) 2. 가스회사 수입증가
PAC(UC) Test	1.보조금	1.첨두발전(LNG)회피 비용(설비+에너지 회피)
TRC Test	1.초기 투자비-전기냉방 (EHP)투자비	1.첨두발전(LNG)회피 비용(설비+에너지 회피)

**표 4** 16RT 소용량 단일설비의 편익/비용 분석  
**Table 4** The benefit-cost analysis of 16RT small-single facility

대상기기	GHP (16RT 1대)
비교기기	EHP(COP 3.7)동급 1대
수명기간 동안 가스운전비용(원) =A	7,736,656
수명기간 동안 전기요금절감이익(원) =B	9,907,275
비교기기 대비 설치비차이(원) =C	8,672,000
현재 지원단가(원/RT)	200,000
현재 총 지원금(원) =D	3,200,000
현재 지원금 시 수용가 총 이익(원) =B+D	13,107,275
현재 지원금 시 수용가 총 비용(원) =A+C	16,408,656
총 발전회피비용(설비+운전비) (원)	41,113,254
수용가 편익/비용 비율	0.80

냉방기기의 p-test 편익비용비율이 더 좋게 나타난다. 본 분석에서는 GHP의 COP는 1.3을 기준으로 분석하였다.

20RT 설비는 16RT설비에 비해 사용되는 빈도는 낮지만 일부 설치되어 사용되고 있으므로 분석에 포함하였다. 그 결과는 표 5와 같다. 마찬가지로 COP는 1.3을 기준으로 분석하였으며 비교대상 냉방기기는 EHP이다. 전기요금절감에는 기본요금절감액(평균기본요금 5,580원/kW적용)도 포함되었으며, 이는 냉방시 3개월간을 대상으로 하였으며, 절감전력에 기본요금을 곱하여 사용하였다.

**표 5** 20RT 소용량 단일설비의 편익/비용 분석  
**Table 5** The benefit-cost analysis of 20RT small-single facility

대상기기	GHP (20RT 1대)
비교기기	EHP(COP 3.7)동급 1대
수명기간 동안 가스운전비용(원) =A	9,670,820
수명기간 동안 전기요금절감이익(원) =B	12,384,094
비교기기 대비 설치비차이(원) =C	10,984,500
현재 지원단가(원/RT)	200,000
현재 총 지원금(원) =D	4,000,000
현재 지원금 시 수용가 총 이익(원) =B+D	16,384,094
현재 지원금 시 수용가 총 비용(원) =A+C	20,655,320
총 발전회피비용(설비+운전비) (원)	47,473,425
수용가 편익/비용 비율	0.79

중용량 200RT 단일설비의 경우 대상 가스냉방설비는 단일기기로 흡수식 냉온수기이며 비교대상 전기냉방기기는 EHP와 터보냉동기 두 가지 이다. 과거에는 터보냉동기가 주류를 이루었으나 현재는 대부분 EHP로 대체되고 있는 추세이다. 터보냉동기만 보면 편익비용비율이 1이상으로 흡수식 냉온수기가 불리하지 않으나, EHP의 경우 참여자 관점에서의 편익비용 비율이 0.78로 불리하여 지원금의 상향이 필요한 것으로 분석되었다. 분석에 사용된 흡수식 냉방기기의 경우 COP는 1.25를 기준으로 분석하였다. 분석 결과는 표 6에 나타내었다.

500RT 단일설비의 중용량 및 1,000RT 단일설비인 대용량 냉방기기의 경우 대상 가스냉방설비는 단일기기로 흡수식 냉온수기이며, 비교대상 냉방기기는 500RT 터보냉동기와 1,000RT 축냉식 냉방기이다. 앞서 분석한 결과와 마찬가지로 터보냉동기만 본다면 편익비용비율이 1이상으로 흡수식 냉온수기가 불리하지 않다. 또한 축냉식 설비의 경우 설치비의 차이가 매우 많이 발생하여 단일 기기로 비교할 경우 흡수식이 유리한 것으로 나타났다.

유틸리티 관점에서의 편익비용 효과와 국가적 관점에서의 편익 비용 효과는 지원 대상 냉방설비에 따라 구분하여 분석하여 16RT급 GHP를 보급하는 경우와 200RT급 흡수식 냉온수기를 보급하는 경우로 구분하여 분석하였다.

표 8에서 제시한 것과 같이 16RT GHP를 보급하는 경우 유틸리티(특히 전력회사)는 1대를 보급을 하기 위해 단위금액을 지원 시 12.85원의 편익이 발생하며, 국가적으로도 1대 설치하는 투자비당 4.74원의 편익이 발생함을 알 수 있다.

**표 6** 200RT 증용량 단일설비의 편익/비용 분석  
**Table 6** The benefit-cost analysis of 200RT medium-single facility

대상기기	흡수식 (200RT 1대)
비교기기	터보냉동기 (COP 5.0) 등급 1대
수명기간 동안 가스운전비용(원) =A	104,958,185
수명기간 동안 전기요금절감이익(원) =B	103,239,805
비교기기 대비 설치비차이(원) =C	-6,120,000
현재 지원단가(원/RT)	약 26,000
현재 총 지원금(원) =D	5,200,000
현재 지원금 시 수용가 총 이익(원) =B+D	108,439,805
현재 지원금 시 수용가 총 비용(원) =A+C	98,838,185
수용가 편익/비용 비율	1.1
비교기기	EHP 여러대로 구성
수명기간 동안 가스운전비용(원) =A	104,958,185
수명기간 동안 전기요금절감이익(원) =B	103,239,805
비교기기 대비 설치비차이(원) =C	66,510,000
현재 지원단가(원/RT)	약 26,000
현재 총 지원금(원) =D	5,200,000
현재 지원금 시 수용가 총 이익(원) =B+D	132,981,455
현재 지원금 시 수용가 총 비용(원) =A+C	171,468,185
총 발전회피비용(설비+운전비) (원)	496,596,819
수용가 편익/비용 비율	0.78

즉, GHP 16RT를 1대 설치하여 전기냉방기(EHP)와의 투자비 차액 8,672,000원을 소비하면, 국가적으로는 이의 4.74배인 41,113천원의 편익이 발생하며, 전력회사는 GHP 16RT를 1대 지원(3,200,000원)하면 이의 12.85배인 41,113천원의 편익이 발생하는 것으로 나타났다.

표 9에서 제시한 것과 같이 200RT 흡수식 냉온수기를 보급하는 경우 유틸리티(특히 전력회사)는 1대를 보급을 하기 위해 단위금액 지원 시 95.5원의 편익이 발생하며, 국가적으로도 1대 설치하는 투자비당 7.47원의 편익이 발생함을 알 수 있다. 즉, 흡수식 200RT를 1대 설치하여 전기냉방기(EHP)와의 투자비 차액 66,510,000원을 소비하면, 국가적으로는 이의 7.47배인 496,597천원의 편익이 발생하며, 전력회사는 흡수식 200RT를 1대 지원(5,200,000원)하면 이의 95.5배인 496,597천원의 편익이 발생하는 것으로 나타났다.

2010년 지원 수준인 GHP에 25억원, 흡수식에 9억원을 보조금으로 지원했다면, 유틸리티 관점에서나 국가적으로 총 1,181억원(GHP 321억+흡수식 860억)의 발전설비 회피효과가 발생하는 것으로 나타났다. 또한 GHP 16RT의 경우 1대당 14.67kW, 흡수식 200RT 1대당 174.83kW의 첨두수요억제 효과가 있는 것으로 나타났다.

**표 7** 500RT 증용량 단일설비와 1000RT 대용량 단일설비의 편익/비용 분석

**Table 7** The benefit-cost analysis of 500RT medium-single facility and 1000RT Large-single facility

대상기기	흡수식 (500RT 1대)
비교기기	터보냉동기 (COP 5.0) 등급 1대
수명기간 동안 가스운전비용(원) =A	262,395,462
수명기간 동안 전기요금절감이익(원) =B	258,099,512
비교기기 대비 설치비차이(원) =C	6,289,890
현재 지원단가(원/RT)	약 26,000
현재 총 지원금(원) =D	13,000,000
현재 지원금 시 수용가 총 이익(원) =B+D	271,099,512
현재 지원금 시 수용가 총 비용(원) =A+C	268,685,352
수용가 이익/비용 비율	1.01
대상기기	흡수식 (1000RT 1대)
비교기기	축냉식 (주간 COP 3.0) 등급 1대
수명기간 동안 가스운전비용(원) =A	524,790,924
수명기간 동안 전기요금절감이익(원) =B	562,364,052
비교기기 대비 설치비차이(원) =C (축냉 지원금도 고려)	-209,062,000
현재 지원단가(원/RT)	약 26,000
현재 총 지원금(원) =D	26,000,000
현재 지원금 시 수용가 총 이익(원) =B+D	588,364,052
현재 지원금 시 수용가 총 비용(원) =A+C	315,728,924
수용가 이익/비용 비율	1.86

**표 8** GHP(16RT) 1대보급시 편익/비용 분석 결과

**Table 8** The result of benefit-cost analysis in accordance with supply of 1 unit GHP(16RT)

P-Test	Benefit	13,107,275 원
	Cost	16,408,656 원
	B/C	0.8
	회수기간	26년
RIM-Test	Benefit	48,849,910 원
	Cost	13,107,275 원
	B/C	3.73
PAC(UC)-Test(전력)	Benefit	41,113,254 원
	Cost	3,200,000 원
	B/C	12.85
TRC-Test	Benefit	41,113,254 원
	Cost	8,672,000 원
	B/C	4.74

**표 9** 흡수식(200RT) 1대보급시 편익/비용 분석 결과  
**Table 9** The result of benefit-cost analysis in accordance with supply of 1 unit absorption chiller (200RT)

P-Test	Benefit	132,981,455 원
	Cost	171,468,185 원
	B/C	0.78
	회수기간	27.7년
RIM-Test	Benefit	601,555,004 원
	Cost	132,981,455 원
	B/C	4.52
PAC(UC)-Test(전력)	Benefit	496,596,819 원
	Cost	5,200,000 원
	B/C	95.5
TRC-Test	Benefit	496,596,819 원
	Cost	66,510,000 원
	B/C	7.47

유틸리티 관점에서의 편익은 하절기에 전기냉방 대신에 가스냉방을 사용하여 첨두전력을 억제함으로써 첨두발전기(LNG발전)설비의 건설회피로 발생한다. 이를 구체적으로 산식으로 정리하면 다음과 같다. 이는 실제 가스냉방기기의 소모전력을 기준으로 작성한 것이다.

$$\begin{aligned} \text{첨두발전설비 회피비용} = & \\ & [\text{전기냉방용량}(kW) - \text{가스냉방소모전력}(kW)] \\ & \times \text{설비회피비용단가}(233,096\text{원}/kW) \end{aligned} \quad (4)$$

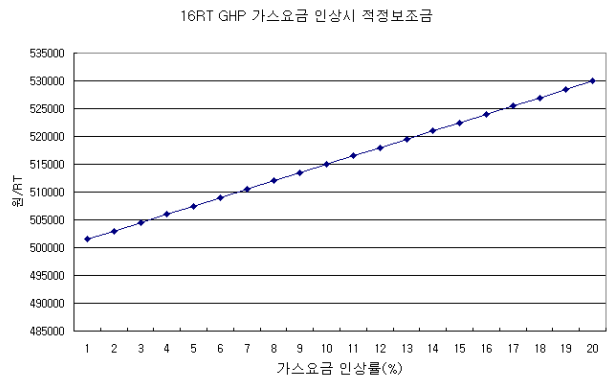
한편 1차에너지 관점에서 발전효율과 COP를 모두 고려하였을 때의 전기냉방과 가스냉방과의 에너지측면에서의 비용차이를 분석하였다. 16RT급을 예시로 동일한 냉방용량을 기준으로 하여 연간 냉방시 필요한 가스소모량을 추적하여 비교하는 방법을 사용하였다. GHP의 가스소모량은 연간 가스소모량 105.5(Nm<sup>3</sup>/RT)에 16RT를 곱한 것이며, EHP의 대체 전력소모량은 식 (3)에서와 같이 계산 할 수 있다. 에너지측면에서는 현재 발전효율을 39%로 가정한 결과 EHP가 COP가 3.7로 높아 조금 더 유리한 것으로 나타났다. 그러나 이를 연간가스사용량 차이로 보면 1,739,712(kcal)로, 이를 10,400으로 나누어 가스량으로 보면 연간 약 167Nm<sup>3</sup>이다. 이를 금액으로 환산하기 위해서 가스공사 홈페이지의 가스 적용원가 660원/7Nm<sup>3</sup>를 곱하면 연간 110,405원으로 추산되어 발전 설비회피비용인 연간 41,113,254원보다 훨씬 작음을 알 수 있다. 따라서 가스냉방이 EHP에 비해 국가적으로 훨씬 유리한 기기로 나타났다.

**4. 보조금 지급 시나리오별 민감도 분석**

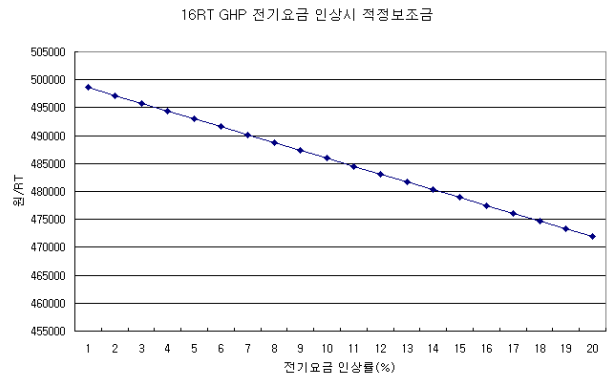
가스냉방기기의 보조금에 영향을 주는 인자는 가격과 비용요소, 그리고 기기효율이다. 가격에는 전기요금과 가스요금이 있으며, 비용에는 설치비가 있다. 효율은 기기의 COP를 나타낸다. 일반적으로 COP만 오르면 효율이 좋아져 기기별 보조금을 낮추게 될 여지가 존재한다. 그러나 현실적으로 COP가 높은 기기는 기기 가격이 비싸 설치비용이 오르게 되어 오히려 보조금을 높여주어야 한다. COP의 변동

은 기기 설치비용과 연관이 있으며 그 기준이 모호하므로 본 분석에서는 생략한다. 따라서 분석에서는 전기요금과 가스요금의 인상에 대한 민감도를 GHP의 대표용량인 16RT급에 대해서, 흡수식에서는 EHP를 비교대상으로 하는 200RT급에 대해서만 분석한다. 요금 변동에 대한 적정 보조금 민감도는 P-test의 편익/비용 비율이 1이 되도록 하는 등식을 이용하는 방법과 적정 회수기간(4년이내)의 등식을 이용하는 방법이 있다. 앞서 분석한 참여자 관점에서의 편익비용 분석에서 GHP 냉방설비 대체 시 편익비용비율을 1로 만들고 회수기간이 4년 이내로 만드는 평균 보조금은 500,000원/RT로 선정 할 수 있으며, 흡수식 냉방기기의 경우 290,000원/RT로 선정 할 수 있다. 이때의 회수기간은 16RT GHP의 경우 3.19년으로 계산되며 이를 적용한 16RT GHP의 요금 변동에 따른 민감도는 다음과 같다.

분석 환경이 보조금 500,000원/RT 및 회수기간 3.19년, 가스요금 445.2원/7Nm<sup>3</sup>, 전기요금 98원/kWh일 때, 가스요금이 1원/7Nm<sup>3</sup> 인상될 때의 보조금 변동분은 계산결과 약 336원/RT의 보조금 인상요인이 발생하는 것으로 나타났다. 또한 전기요금이 1원/kWh 인상될 때는 -1,434원/kWh의 보조금 인상요인(즉 인하)이 발생하는 것으로 나타났다. 이를 앞에서 제시된 적정보조금인 500,000원/RT를 기준으로 가스요금과 전기요금이 1~20%까지 인상될 때의 적정보조금을 그림 2와 그림 3에 나타내었다.



**그림 2** 16RT GHP - 가스요금 인상 시 보조금 민감도  
**Fig. 2** 16RT GHP - The sensitivity of subsidy by increase of gas rates



**그림 3** 16RT GHP - 전기요금 인상 시 보조금 민감도  
**Fig. 3** 16RT GHP - The sensitivity of subsidy by increase of Electricity rates

200RT 흡수식 냉온수기의 참여자 관점에서의 편익비용비율이 1이상이고 회수기간이 4년 이내로 되도록 하는 적정보조금은 평균 290,000원/RT로 산정되었으며 이때 회수기간은 3.84년이다. 따라서 분석환경이 보조금 290,000원/RT 및 회수기간 3.84년, 가스요금 445.2원/7Nm<sup>3</sup>, 전기요금 98원/kWh일 때, 가스요금이 1원/7Nm<sup>3</sup> 인상될 때의 보조금 변동분은 계산결과 약 440원/RT의 보조금 인상요인이 발생하는 것으로 나타났다. 전기요금이 1원/kWh 인상될 때는 -1,796원/kWh의 보조금 인상요인(즉 인하)이 발생하는 것으로 나타났다. 이를 앞에서 제시된 적정보조금인 290,000원/RT를 기준으로 가스요금과 전기요금이 1~20%까지 인상될 때의 적정보조금을 그림 4와 그림 5에 나타내었다.

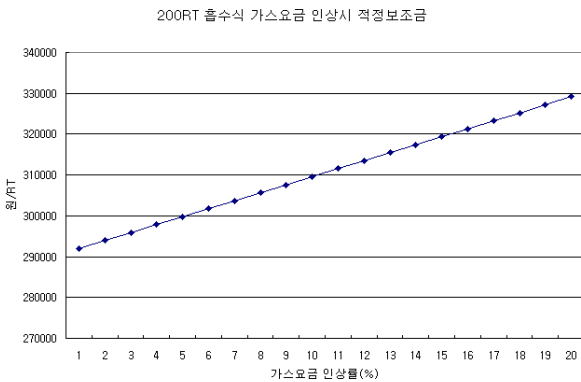


그림 4 200RT 흡수식 - 가스요금 인상 시 보조금 민감도  
Fig. 4 200RT absorption chiller - The sensitivity of subsidy by increase of Gas rates

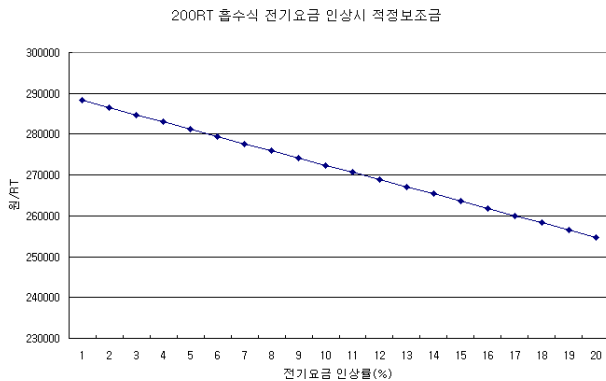


그림 5 200RT 흡수식 - 전기요금 인상 시 보조금 민감도  
Fig. 5 200RT absorption chiller - The sensitivity of subsidy by increase of Electricity rates

GHP와 흡수식 냉방기기에 대해 제시된 지원금 수준인 500,000원/RT와 290,000원/RT일 때 유틸리티와 국가적 관점에서 편익비용 효과를 분석하면 표 10에 제시한 것과 같이 16RT GHP의 보급을 지원하는 경우 유틸리티(특히 전력회사)는 1대 보급을 하기 위해 단위 금액 지원 시 5.14원의 편익이 발생하는 것으로 나타났다. 즉, GHP 16RT를 1대 설치하도록 8,000,000원을 지원하면 이의 5.14배인 41,113,000원의 편익이 발생하는 것이다. 또한 표 11에 제시 한 것과 같이

200RT 흡수식 냉온수기의 보급을 지원하는 경우 유틸리티는 1대를 보급하기 위해 단위금액 지원 시 8.56원의 편익이 발생하는 것으로 나타났다. 즉, 흡수식 200RT를 1대 설치하도록 58,000,000원을 지원하면 이의 8.56배인 496,597,000원의 편익이 발생하는 것이다.

표 10 제시된 지원금에 대한 GHP(16RT) 1대보급시 편익/비용 분석 결과

Table 10 The result of benefit-cost analysis in accordance with supply of 1 unit GHP(16RT) - proposed subsidy case

P-Test	Benefit	17,907,275 원
	Cost	16,408,656 원
	B/C	1.1
	회수기간	3.2년
RIM-Test	Benefit	48,849,910 원
	Cost	17,907,275 원
	B/C	2.73
PAC(UC)-Test(전력)	Benefit	41,113,254 원
	Cost	8,000,000 원
	B/C	5.14
TRC-Test	Benefit	41,113,254 원
	Cost	8,672,000 원
	B/C	4.74

표 11 제시된 지원금에 대한 흡수식(200RT) 1대보급시 편익/비용 분석 결과

Table 11 The result of benefit-cost analysis in accordance with supply of 1 unit absorption chiller(200RT) - proposed subsidy case

P-Test	Benefit	185,781,455 원
	Cost	171,468,185 원
	B/C	1.08
	회수기간	3.84년
RIM-Test	Benefit	601,555,004 원
	Cost	185,781,455 원
	B/C	3.24
PAC(UC)-Test(전력)	Benefit	496,596,819 원
	Cost	58,000,000 원
	B/C	8.56
TRC-Test	Benefit	496,596,819 원
	Cost	66,510,000 원
	B/C	7.47

## 5. 결론

가스냉방기기를 통한 하계 냉방 전력수요의 대체를 위하여 전기냉방기기를 가스냉방기기로 대체 할 때의 이혜주체별 편익비용 효과를 캘리포니아 표준테스트를 통하여 분석하였다. 전기냉방기기를 가스냉방기기로 대체 할 때의 편익비용 효과를 분석하기 위하여 대상 가스 냉방기기로 GHP와 흡수식 냉온수기를 선정하였으며 비교 대상 냉방기기로 EHP, 터보냉동기, 축냉식 냉방기기를 선정하여 냉방기기의 용량별로 참여자와 유틸리티, 국가적 관점에서의 편익비용

효과를 분석하였다. 또한 대상 가스냉방기기와 비교대상 전기냉방기기의 보급 및 기술현황을 기반으로 조사 자료를 정리하여 입력자료로 활용하였다. 참여자 관점에서 편익비용 비율과 회수기간을 고려한 적절한 지원 수준을 제시하였으며 그 결과 현재의 200,000원/RT의 지원수준에서는 소비자의 편익이 발생하지 못하고 회수기간도 매우 긴 것으로 나타나, 이를 대폭 인상하여야 하는 것으로 나타났다. 결과를 보면 평균적으로 약 500,000원/RT 수준까지 보조금을 인상하여야 하는 것으로 나타났다. 200RT급 흡수식 냉온수기를 기준으로 보면, 기존의 터보냉동기에 비해서는 비용효과면에서 유리하나 최근 폭발적으로 보급이 확대되고 있는 EHP에 비해서는 현재의 평균 26,000원/RT의 지원수준에서는 소비자의 편익이 발생하지 못하고 회수기간도 매우 긴 것으로 나타나, 이를 대폭 인상하여야 하는 것으로 나타났다. 결과를 보면 평균적으로 약 290,000원/RT수준까지 보조금을 인상하여야 하는 것으로 나타났다.

또한 전기 및 가스 요금 변화에 따른 보조금 변동 민감도를 분석한 결과 16RT GHP에서는 가스요금 1원/7Nm<sup>3</sup> 인상될 때의 보조금 변동분은 계산결과 약 336원/RT의 보조금 인상요인이 발생하는 것으로 나타났다. 또한 전기요금 1원/kWh 인상될 때는 -1,434원/kWh의 보조금 인상요인(즉 인하)이 발생하는 것으로 나타났다. 200RT 흡수식 냉온수기에서는 가스요금 1원/7Nm<sup>3</sup> 인상될 때의 보조금 변동분은 계산결과 약 440원/RT의 보조금 인상요인이 발생하는 것으로 나타났다. 또한 전기요금 1원/kWh 인상될 때는 -1,796원/kWh의 보조금 인상요인(즉 인하)이 발생하는 것으로 나타났다.

유틸리티와 국가적 관점에서의 편익비용효과는 16RT GHP 설치 지원을 위한 단위금액 지원시 12.85원의 편익이 발생하며, 국가적으로도 1대 설치하는 투자비당 4.74원의 편익이 발생함을 알 수 있다. 또한 제시된 지원금 수준인 500,000원/RT에서 분석하여 보면, 유틸리티(특히 전력회사)는 1대 보급을 하기 위해 단위 금액 지원시 5.14원의 편익이 발생하는 것으로 나타났다. 200RT 흡수식 냉온수기의 설치 지원을 위한 단위금액 지원시 95.5원의 편익이 발생하며, 국가적으로도 1대 설치하는 투자비당 7.47원의 편익이 발생함을 알 수 있다. 제시된 지원금 수준인 290,000원/RT에서 분석하여 보면, 유틸리티(특히 전력회사)는 1대 보급을 하기 위해 단위금액 지원시 8.56원의 편익이 발생하는 것으로 나타났다. 본 논문에서 제시된 가스냉방기기 보조금 지급 시나리오별 민감도는 정책적으로 가스냉방기기의 지원금 수준을 결정하는 중요 자료로 이용될 것이다.

**감사의 글**

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No. 20114010203110)입니다.

**References**

[1] KEMCO, "A Study of gas cooling subsidy standards", 2011.08  
 [2] Jang hye-rim, "A study on performance analysis of refrigerator system using screw and screw inverter compressor", 2007 chonnam national university thesis for a degree  
 [3] CPUC, CALIFORNIA STANDARD PRACTICE MANUAL, 2001. 10  
 [4] KEPCO Cyber-branch, "Power tariff", <http://cyber.kepco.co.kr/cyber/index.html>  
 [5] KOGAS, "Gas cooling support system", [http://www.kogas.or.kr/kogas\\_kr/html/customer/customer\\_06.jsp](http://www.kogas.or.kr/kogas_kr/html/customer/customer_06.jsp)

**저 자 소 개**



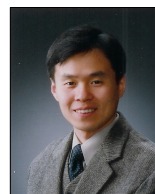
**박래준 (朴來駿)**

1986년 2월 11일생. 2010년 숭실대전기과 졸업. 현재 숭실대학교 대학원 전기과 석사과정.  
 Tel : 02-817-5622  
 E-mail : rejuni@ssu.ac.kr



**송경빈 (宋敬彬)**

1963년 9월 15일생. 1986년 연세대전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 텍사스 A&M전기공학과 졸업(공학박). 현재 숭실대학교 전기공학부 부교수.  
 Tel : 02-820-0648  
 E-mail : kbsong@ssu.ac.kr



**원종률 (元鍾律)**

1969년 7월 21일생. 1993년 서울대 전기공학과(학사). 1995년 서울대 전기공학과 석사. 1998년 서울대 전기공학부 박사. 1998~2002년 한전 전력연구원 선임연구원. 2002~현재 안양대학교 전기전자공학과 교수