



## 천연가스냉방의 경제성 분석 연구

†김기호

한국산업기술대학교

(2013년 1월 28일 접수, 2013년 2월 22일 수정, 2013년 2월 22일 채택)

### A Study on Economic Analysis of Natural Gas Cooling

†Ki-Ho Kim

Dept. of Energy Economics and Policy, Korea Polytechnic University

(Received January 28, 2013; Revised February 22, 2013; Accepted February 22, 2013)

#### 요약

한반도의 지구 온난화는 세계에서 가장 빠른 속도로 진행되고 있고, 이상기후 현상도 날로 심화되고 있다. 따라서 하절기의 폭서와 동절기의 혹한으로 인한 전력수요가 급증함에 따라 우리나라의 전력 공급상황은 매우 어려운 상황에 있다. 현재 천연가스는 현존하는 화석연료 중 온실가스 배출이 가장 적어서 공급이 확산되고 있다. 천연가스냉방은 전력피크 완화는 물론, 발전소 추가 건설비용의 절감, 천연가스 저장설비의 효율적 운영 및 분산형 전원으로서의 역할수행도 가능한 장점이 있다. 따라서 본 연구는 전력 부하관리의 대안으로서 천연가스냉방의 경제성을 분석하였다.

**Abstract** - The global warming of the Korean Peninsula proceeds most rapidly in the world and its abnormal climate is more deepening. In the result of the surged electricity consumption by intense heat of summer and severe cold of winter, electricity supply and demand status is in hard situation. Currently, the supply of natural gas is increased because natural gas has the lowest greenhouse-gas emissions among the existed fossil fuel. Natural gas cooling has a lot of advantage such as decreasing electricity peak, reducing construction expenses in additional power plant, operating natural gas storage facilities efficiently, and playing a role as distributed generations. Therefore, this study analyzes the economic feasibilities of gas cooling as an alternative for electric power load management.

**Key words** : natural gas cooling, natural gas, electricity peak load, economic analysis

#### 1. 서론

기후변화로 인한 이상기온이 날로 증가하고 있으며, 세계적으로 이상기후의 발생 빈도도 확대되고 있다. 지구 온난화의 부작용은 한반도의 생태환경 변화는 물론, 산업분야에서도 산업지도를 바꾸는 등 다양한 영향을 끼치고 있다. 아울러 태풍, 한파, 지진, 낙뢰, 안개 등 동하절기 구분이 없는 이상 기후 현상으로 인한 피해 사례가 속출하고 있으며, 본 논문의 관심 분야인 하절기와 동절기의 최대 전력사용량은 해마다 갱신되고 있다. 따라서 본 연구의 목적

은 국내의 에너지 소비구조 특성과 냉난방 시장현황을 분석한 후 이를 기초로, 전력피크 부하관리의 대안으로 부각되는 천연가스 냉방의 경제적 편익을 분석함으로써 국가 경제적으로 바람직한 에너지 정책 방안을 제시하는데 있다.

천연가스 냉방에 관한 선행연구들은 대부분 2000년 이후에 나타나고 있으며, 연구자들도 학계와 산업계 및 연구기관 등 다양한 분포를 보이고 있다. 주요 선행연구의 내용을 비교·분석하면 Table 1과 같다.

이와 같이 2000년 이후 국내에서 시행된 선행연구들은 대부분 특정분야로 한정되어 있으며, 전력산업과 가스산업의 구조적 문제를 다루지 않았다. 또한 가스냉방에 대한 실증데이터가 부족한 것으로 분석되었다.

†Corresponding author: khkim5001@naver.com

Copyright © 2013 by The Korean Institute of Gas

**Table 1.** Comparison of precedent study for natural gas cooling

저 자	제 목	주요 내용
원종률 등[1]	축냉식 냉방 및 가스흡수식 냉방시스템의 회피비용 분석	미국 전력회사와 에너지위원회의 캘리포니아 표준테스트방식을 이용한 전력 회피비용 산정
김용찬·조금남 [2]	국내외 가스냉방 지원제도 분석	국내외 주요국의 가스냉방 지원제도 분석 및 보급 활성화를 위한 정책방안 제시
윤원철·손양훈 [3]	GHP와 EHP의 경제성 및 동계 전력피크 대응방안	냉난방기별 경제성 분석 등 실증연구를 통하여 가격왜곡의 문제점과 자원배분에 관한 정책대안 제시
한정옥 등[4]	가스냉방 보급확대에 관한 연구	2024년까지 총냉방부하를 20%로 설정하고, 가스냉방의 발전설비 투자 회피비용을 산정

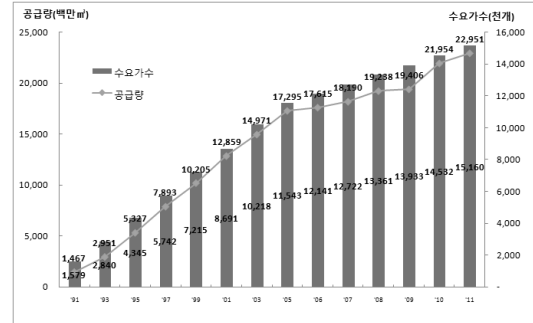
따라서 본 연구는 위와 같은 문제점을 토대로 우리나라 에너지산업의 전반적 이해부터 출발하였고, 가스공급사의 가스냉방 실증 데이터를 활용하였다. 아울러 전력부문의 온실가스 배출계수는 총발전량과 화력발전량에 대한 연구내용을 경제성 분석에 반영한 점이 기존 연구와의 차이점이다.

## II. 우리나라의 에너지 소비구조 특성

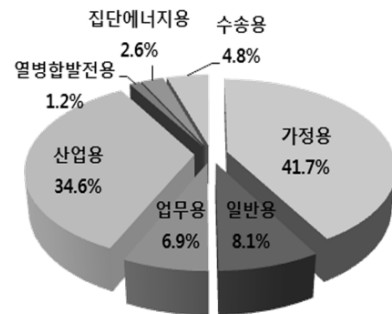
### 2.1. 에너지 소비구조

국내 1차 에너지 소비는 수입 의존도와 석유 의존도(40%)가 매우 높은 특성을 갖고 있다. 그리고 수출이 차지하는 비중이 높은 자동차, 조선, 석유화학 등 주력산업들이 에너지를 많이 사용하는 에너지 다소비구조를 가지고 있다. 따라서 국내 경제성장률과 에너지 소비 증가율은 비례관계에 있다.

1차 에너지원별 소비구조에서 1990년대 이후 줄어들던 석탄은 발전연료의 증가로 2000년 이후 증가 추세로 돌아 섰으며, 최근에는 약 30%의 구성비를 보이고 있다. 천연가스는 범용성, 청정성 및 경제성 등의 장점으로 사용량이 계속 증가하고 있으며, 2011년 말 현재 1차 에너지원별 구성비는 17.2%이다[5]. 한편, 천연가스는 셰일가스의 영향으로 2035년까지 어떤 시나리오의 경우에도 사용량이 늘어나는 유일한 에너지원으로 전망된다[6,7]. 또한 원전 축소의 영향으로 천연가스 수요는 증가할 것으로 보인다[8]. 따라서 우리나라도 원전정책 변화에 따라 천연가스 구성비는 계속 증가할 것으로 전망된다.



**Fig. 1.** City gas industry growth[10].



**Fig. 2.** Component ratio of city gas supply[10].

### 2.2. 천연가스산업과 공급현황

우리나라의 도시가스사업은 LPG를 원료로 하여 1980년 강남지역에서부터 공급을 시작하였으며, 1986년 말에는 평택화력발전소, 1987년 초에는 수도권에 LNG를 공급하였다. 사업초기에는 주로 발전용 위주로 공급되었다. 이후 전국배관망 등 인프라가 구축되면서 1995년 이후에는 도시가스용이 발전용을 앞지르게 되었다. 연간 도입물량은 2011년을 기준으로 약 33,974천톤에 이르며, 최근의 추이를 보면 도시가스 용이 약 55~60%를 차지하고 있다[9].

도시가스용은 가정용이 총공급량의 41.7%를 차지하고, 소비자는 1,430만 세대에 이른다. 본 논문의 관심분야인 산업용(업무용과 일반용)은 총공급량의 15%로 연간 34억 m³를 공급하고 있다[10].

### 2.3. 국내 온실가스 배출현황

우리나라는 수출주도형 및 에너지 다소비구조의 산업구조로 인해 경제성장과 더불어 온실가스 배출량이 해마다 증가하고 있다. 2009년을 기준으로 우리나라의 온실가스 배출량은 515.5 CO2 백만톤으로 세계 9위에 위치한다[11].

### III. 천연가스냉방의 시장분석

#### 3.1. 전력시장의 냉난방 부하 현황

전력수요는 사용의 편리성과 함께 정부의 요금억제 정책으로 해마다 늘어나고 있다. 국민 1인당 전력소비량은 1981년에 915 kWh에서 2010년에는 8,883 kWh로, 9.7배나 증가하였다. 전력수요 증가는 필연적으로 공급설비의 증설을 필요로 하였으며, 11,029 MW에 불과하던 1981년의 발전설비가 2010년에는 약 7.3배가 증가한 80,424 MW로 늘어났다. 최대전력(peak load)도 1981년 6,144 MW에서 2010년에는 71,308 MW로, 무려 11.6배나 증가하였다[12].

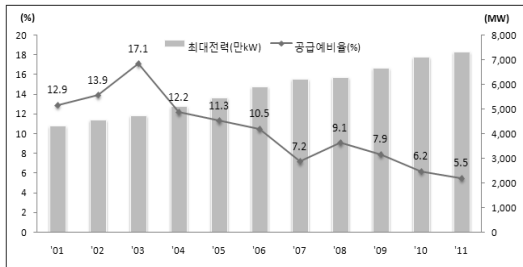


Fig. 3. Trend of maximum electric power[12]

#### 3.2. 전력피크와 냉난방 수요분석

전력피크는 발전설비의 지속적인 증설에도 불구하고, 수요급증과 기후변화로 인하여 매우 불안한 수준을 유지하고 있다. 전력 최대수요는 꾸준히 증가하여 2010년에는 70,000 MW를 넘어섰다.

기후변화 영향으로 인해 동절기의 혹한과 하절기의 혹서가 계속되면서 난방 및 냉방수요는 “W자” 형태의 수요를 보이고 있다. Table 2와 Fig. 4에서와 같이 하절기 전력피크가 동절기로 이동하고 있다. 냉방부하 비중은 20%에서 22%까지 완만하게 증가하는 반면, 난방부하 비중은 16%대에서 25%까지 급속도로 증가하고 있다.

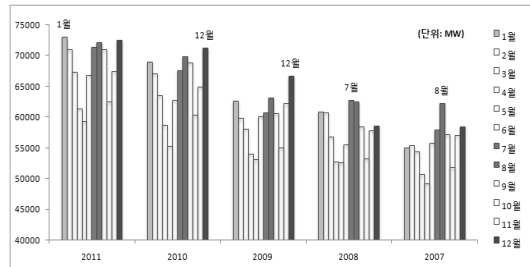


Fig. 4. Monthly progress of peak load.

Table 3. Gas cooling supply[10]

구 분		'07	'08	'09	'10	'11
가스냉방 비율(%)		9.9	11.4	12.2	10.3	11.3
설치건물 (개소)	신규	854	649	401	326	354
	누적	11,352	12,001	12,402	12,728	13,082
보급용량 (천RT)	신규	203	184	121	125	142
	누적	3,136	3,319	3,440	3,565	3,707

Table 2. Trend of cooling and heating loads[12]

(만kW)		'07	'08	'09	'10	'11
최대 부하	발생월	8월	8월	12월	12월	1월
	하절기	6,229	6,251	6,321	6,989	7,219
	동절기	5,847	5,864	6,680	7,131	7,314
냉방부하		1,431	1,314	1,278	1,539	1,610
난방부하		1,097	1,341	1,415	1,675	1,858
냉방부하비중		23.0%	21.0%	20.2%	22.0%	22.0%
난방부하비중		18.0%	22.9%	21.2%	23.5%	25.4%

### 3.3. 천연가스냉방 보급현황

우리나라의 천연가스냉방은 2011년 말을 기준으로, 누적 보급용량이 3,707천RT(refrigeration ton, 냉방톤)에 불과하고, 냉방부하 비율은 매년 20%를 넘는 등 매우 높은 양상을 보이고 있다. 그러나 전체 냉방중 천연가스냉방이 차지하는 비중은 10% 수준에 불과하여 기후 및 에너지 이용조건이 유사한 일본(23.3%)의 절반 수준에 머물고 있다[13,14].

천연가스냉방 보급이 부진한 이유는 여러 가지 요인이 있으나, 전력요금의 왜곡에서 오는 부작용이 가장 큰 것으로 분석된다. 동절기에 전력피크가 발생하는 원인으로 원가이하로 공급되는 전력요금에 기인한다. Table 2에서와 같이 우리나라의 최대전력부하 중 전기난방 부하는 1,858만 kW로, 25.4%를 차지한다. EHP(electric heat pump)와 전기온풍기, 전기히터 등 전열기구 사용의 급증이 전력피크를 더욱 가중시키고 있음을 반증한다[15]. 우리나라의 전력요금은 원전 위주의 전원구성을 가지고 있는 프랑스보다도 낮은 실정이며, 2011년 현재 한전의 원가회수율은 87.4%에 머물고 있다.

### 3.4. 천연가스냉방기기 시장현황

한편, 천연가스냉방기기 중 GHP(gas engine heat pump)는 LG전자 1개사만 생산하여 공급하고 있다. 대부분 일본의 GHP 제품(안마, 산요, 아이신)을 수입하여 국내 에너지관련 기업 혹은 기기제작사에서 판매를 대행(삼성전자, 삼천리ES, LG전자, 린나이SE)하고 있다. 2010년까지 국산화 비율은 15%에 불과하여 공급확대시 기술개발을 통한 국산화비율을 높이는 과제가 남아 있다. 흡수식은 대부분이 국내에서 생산(신성엔지니어링, 삼중테크, LG전자, 센츄리 등)하고 있으며, 일본에서 생산된 일부제품은 GS그린텍과 린나이SE에서 수입하여 판매하고 있다. 천연가스냉방기기는 냉난방이 모두 가능한 반면, 전기냉방기기는 EHP만 냉난방공조가 가능하다.

## IV. 천연가스냉방의 경제성 분석

### 4.1. 경제성 분석방법 및 대안설정

천연가스냉방의 경제성 분석에 필요한 입력자료는 먼저 천연가스부문과 전력부문으로 나누고, 발생 가능한 항목을 나열한 후 계량화 등 비교 가능성을 분석하였다. 양 냉난방방식의 경제성 분석에는 직접 비교가 가능하고, 계량화 등 차별화가 가능한 함수만 고려하였다. 차별성이 명확하지 않거나 대안간 상호상쇄될 수 있는 함수들은 제외하였다. 또한 고용창출효과나 해당기업의 수익 증가 등은 사업환경 변화

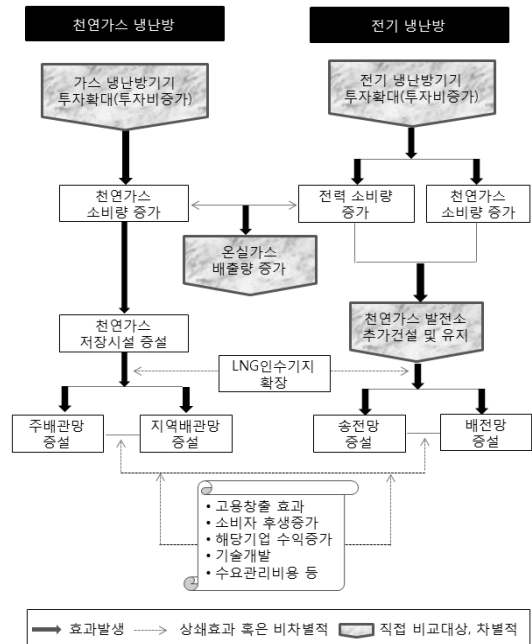


Fig. 5. Economic analysis method.

에 따라 산출결과가 상이하게 나타나므로, 가능한 객관성을 높이고자 비교분석 대상에서 제외하였다.

입력자료의 객관성과 형평성 문제에 대해 논란이 많은 편익의 산정은 신중한 접근이 필요하다. 양 대안 모두 인과관계의 범위를 한정하기가 어려운 편익(불편익)들은 최대한 분석대상에서 제외하였다.

따라서 본 연구는 큰 범주에서 투자비와 편익을 나누고, 편익에는 발전설비 대체편익과 환경편익으로 구성하였다. 전력대체효과도 가스냉방을 하므로 인하여 추가적으로 전력냉방에 필요한 발전설비를 건설하지 않아도 되는 부분만 고려하였다. 환경편익의 경우에도 양 시스템에서 배출하는 온실가스만 국제가로 환산하여 경제성을 분석하였다. 다만, 발전부분 온실가스배출계수 및 냉난방시스템의 성능계수(Coefficient of Performance, COP)는 경제성 분석결과에 상당한 영향을 미치므로, 세부적으로 검토하였다.

### 4.2. 경제성 분석과정

**Step 1.** 먼저 경제성 분석의 시발점인 양 설비의 투자비를 산정하였다. 그러나 냉난방기 시장에서의 전체 투자비 자료는 현실적으로 구하기 어렵다. 대신 천연가스 냉난방의 용량별 실적 데이터와 표준투

자비(제조사별 제품소개서 참조)를 근간으로 총투자비를 산출하였다. 천연가스냉난방기와 관련한 통계자료는 한국도시가스협회와 냉동공조협회의 자료를 참조하였다. 도시가스 공급량 중에서 가스냉방은 비록 1.6%에 그치지만 회사별로 보급대수 및 총용량은 관리가 되고 있다. 본 연구에서는 용량별로 전국의 모든 도시가스회사 협조를 통하여 용량별 실적 데이터를 입수할 수 있었다. 한편, 전기 냉난방기는 가스냉난방의 대체효과를 반영한 대응치를 구하고, 같은 방식으로 투자비를 산출하였다. 산출된 양 대안의 투자비차액에 자본회수계수(A/P, 5%, 15) 곱하여 연간 편익을 산출하였다.

**Step 2.** 가스냉방의 전력대체효과를 분석하고, 전력대체효과에 상응하는 발전설비의 추가 건설비용(회피비용)을 산정하였다. 아울러 추가 건설이 필요한 발전설비를 운영하기 위한 인건비와 수선비를 합하여 총전력대체비용을 산정하였다. 전력대체효과는 현재까지 보급된 천연가스 냉난방 공조기를 RT 등급별로 분류하여 전기공조기를 대응시킨 다음, 양 설비의 전력사용량 차(정격용량)를 구하여 산출하였다. 발전회피비용은 전력대체효과×LNG 복합화력건설단가×(A/P, i%, n)로 산정하되, 건설단가는 최근 완공된 영월복합화력 건설비를 준용하였다. 인건비와 수선비는 전력대체효과에 상당한 발전소를 추가운영 하는데 필요한 비용을 계상하였다.

**Step 3.** 환경편익을 산정하였다. 환경편익은 전력과 천연가스의 온실가스 배출계수를 반영하여 배출량을 산정하였고, ETS 국제 거래가를 반영하였다. 이때, 발전부문의 전력배출계수는 논란이 많기 때문에 총발전기준과 화력발전기준을 모두 검토하였다. 전력거래소가 공시하는 국가온실가스배출계수에는 연료연소에 의한 순전력생산량 기준의 전력배출계수는 별도로 제시되지 않고 있다. 즉, 수력이나 원자력 등 온실가스 배출이 없는 비화력발전소는 제외하고, 순수한 화력발전소 부문만 반영한 배출계수는 표시되지 않는다. 따라서 본 연구에서는 화력발전만 계산했을 경우의 온실가스배출계수도 별도로 산정하여 함께 검토하였다.

같은 맥락에서 양 시스템의 성능계수도 현재 사용하는 COP와 전환 COP(1차 에너지를 이용한 발전과 송전 및 배전단계의 손실분이 반영된 전기냉난방 시스템의 성능계수)를 반영, 상호 조합하여 모두 4가지의 경우를 분석하였다.

**Step 4.** 마지막 단계로 양 대안에서 도출된 투자비와 전력대체비용 및 편익의 연간등가를 합산하여 경제성분석 결과를 도출하였다.

Table 4. Result of economic analysis

(억원)	세부기준	기준안 (천연가스 냉난방)	비교안 (전기냉난방)		
I. 투자비	투자비	1,546	1,177		
	차액	-369			
	자본회수 계수	0.0963 (A/P,5%,15)			
	차액의 연가	-36			
II. 전력 대체 편익	1. 전력대체효과 (MW)	2,698			
	2. 발전 회피 비용	LNG복합화 력 건설단가 (억원/MW)	7.263		
		자본회수 계수	0.0651 (A/P,5%,30)		
		회피비용	1,276		
	3. 인 건비	205명/천MW, 62백만원/인	343		
	4. 수 선비	투자비의 2%	392		
소계 (2+3+4)		2,011			
III. 환경편익 (발전량과 COP 적용기준 조합으로 4개의 대안 구성)	(대안1)	(대안2)	(대안3)	(대안4)	
	총발 전+현 행 COP	총발전 + 전환 COP	화력 발전+ 현행 COP	화력 발전+ 전환 COP	
		-35	64	10	180
IV. 총계 (연간 총편익) ( I + II + III: 1~4 대안)		1,940	2,039	1,985	2,155

4.3. 경제성 분석결과

양 시스템의 투자비와 전력대체편익 및 환경편익을 고려하여 경제성 분석을 한 결과, 기준안(천연가스 냉난방)은 비교안(전기냉난방)에 비해 연간 최소 1,940 억원에서 최대 2,155억원의 편익이 발생하는 것으로 분석되었다.

시스템별 투자비는 전기냉난방이 우위에 있으나, 전력대체효과에 따른 높은 전력대체비용으로 인해 가스냉난방의 경제성이 월등히 높은 결과가 도출되었다. 환경편익이 비교적 적은 이유는 아직까지 우리나라의 가스냉방 시장규모가 작기 때문이다. 2011

년말 기준으로 가스냉방 보급용량은 3,707천 RT에 불과하다. 또한 기후변화협약의 담보상태로 온실가스 국제거래가격이 지속적으로 하락함에 따라 환경편익은 적게 나타나고 있다.

#### 4.4. 정책 변수

양 시스템의 경제성 평가결과는 투자비와 전력대체효과 못지않게 다양한 정책변수의 영향이 매우 크게 작용할 수 있다. 에너지원별 가격정책(전기: 원가 이하의 공급구조, 가스: 원료비 손실분 등)은 시장에 직접적인 영향을 미칠 수 있다. 원전 축소와 같은 에너지믹스정책은 일본의 예[13]와 같이 천연가스냉방 전환을 촉진시킬 수 있다. 이외에 기술개발과 정책지원도 앞으로는 양 시스템의 경제성 판단시 충분히 고려해야할 요소이다.

### V. 결 론

#### 5.1. 연구결과의 요약

최근 우리나라는 매년 전력대란을 우려하고 있다. 한반도를 둘러싼 이상기후는 폭설과 한파를 동반하여 동절기에도 전력피크가 발생하는 상시 전력부족 사태에 있다. 기후변화와 전력수급 문제는 밀접한 관계가 있기 때문에 전력을 대신할 수 있는 대체 냉난방 시스템의 구축이 에너지정책의 주요 과제로 부상하고 있다. 따라서 전기에 버금가는 전국적 인프라를 갖고 있는 천연가스 냉난방시스템은 전력피크부하관리는 물론, 도시가스산업에도 긍정적 파급효과를 줄 수 있기 때문에 가장 검증된 에너지공급시스템으로 판단된다.

경제성 분석결과, 투자비는 기준안(천연가스냉방, 1,546억원 투자)에 비해 비교안(전기냉방)은 1,177억원이 투자되어 369억원이 절감되었다. 이를 자본회수계수를 이용하여 연가를 계산하면, 전기냉방이 연간 36억원 경제적이다.

전력대체비용의 경우에는 천연가스냉난방을 함으로써 2,698 MW의 전력대체효과가 발생하였다. 이를 연월 LNG복합화력 건설단가(7.263억원/MW)로 환산하면, 천연가스냉난방이 연간 1,276억원 경제적인 것으로 분석되었다. 아울러 전력대체효과에 상응하는 규모의 발전소 운영에 필요한 인건비는 연간 343억원, 수선비는 연간 392억원으로 분석되어 전력대체비용은 총 2,011억원으로 나타났다.

환경편익은 전력배출계수와 COP 적용기준별로 4개의 대안이 구성된 결과, 대안1(총발전량기준+현행 COP)을 제외하고는 천연가스냉난방이 전기냉난방보다 모두 경제적인 것으로 분석되었다.

경제성 분석의 최종결과인 연간 총편익은 투자비와 전력대체편익 및 환경편익을 모두 합산한 것으로, 환경편익의 대안구성에 따라 천연가스냉난방이 전기냉난방에 비해 연간 최소 1,940억원에서 최대 2,155억원까지 경제적인 것으로 분석되었다.

#### 5.2. 시사점 및 향후 연구과제

국가경제적인 측면에서 냉난방시스템을 설계할 경우에는 기본적으로 경제성 확보가 가능해야 한다. 본 연구에서 가스냉난방의 경제성은 충분히 검증되었으나, 시장에서는 아래와 같은 여건들이 경제성 판단에 지대한 영향을 미칠 것으로 본다. 따라서 이를 뒷받침하고, 천연가스냉난방시스템 보급을 촉진시킬 수 있는 정부의 정책적 지원도 뒤따라야 하겠다.

(1) 효율이 높은 국산 천연가스 냉난방기기의 개발이 우선되어야 한다. 천연가스냉난방기기 제조는 부품, 엔진, 냉매, 유지보수 등 전후방효과는 물론, 수입대체효과와 중동지역 등 수출 전망도 밝은 만큼 기술개발에 대한 정책적 지원이 필요하다.

(2) 시스템의 전환이 용이해야 한다. 시스템 전환은 시스템의 기술발전 정도와 설비구축 기간 등이 중요한 결정요소이다. 시스템 전환시에는 에너지의 안정적 공급이 매우 중요하므로, 해당 기술력이 충분히 입증되어야만 한다. 또한 시스템 전환이 발전소 건설기간에 비해 단기간에 가능해야만 한다. 이 점은 경박단소한 분산형전원의 필요성과 연계된다.

(3) 전력피크는 Fig. 4와 같이 동하절기에 모두 발생하는 만큼, 전력부하관리정책은 냉난방부하를 모두 고려해야 한다. 따라서 냉난방이 모두 가능한 천연가스냉방기기는 전기냉방기기에 비해 유용성이 매우 높다.

(4) 전환비용 등 소비자의 수용성 측면에서 요금 이 적정하고 합리적인 수준에서 결정되어야 한다. 에너지 요금에 대한 지나친 규제는 시장 왜곡을 더욱 심화시킬 수 있다. 규제기관이 요금에 대한 명확한 시그널을 시장에 보낼 때 소비자는 합리적인 의사결정으로 에너지를 절약하고, 공급자는 서비스를 증진시키는 선순환이 확산될 수 있기 때문이다.

### 참고문헌

- [1] Won, J. R., Hwang, S. W., and Kim, J. H., "Avoided Cost Analysis on the Thermal Storage Cooling and Gas Absorption Cooling System", KIEE, Workshop Journal, 201-207, (2009)
- [2] Kim, Y. C. and Cho, K. N., "Analysis on the Domestic and Abroad Policies and Regulation for the

- Gas Cooling System*", SAREK, *Workshop Journal*, 201-207, (2009)
- [3] Yun, W. C. and Sonn, Y.H., "*The Economics of GHP and EHP and Countermeasures to Alleviate Winter Electricity Peaks*", *KREA*, **20**(2), 381-398, (2011)
- [4] Han, J. O., Chae, J. M., Choi, K. S., and Hong, S. H., "*Study on The Supplying effect of Gas Air Conditioning Systems*", *KIGAS*, **15**(3), 19-25, (2011)
- [5] KEEL, *Yearbook of Energy Statistics 2011*, (2012)
- [6] EIA, *Annual Energy Review 2011*, (2012)
- [7] IEA, *Medium-Term Gas Market Report 2012*, ( 2012)
- [8] IEA, *International Energy Outlook 2012*, (2012)
- [9] KOGAS, *Annual Report*, (2012)
- [10] KCGA, *Annual City Gas Statistics*, (2012)
- [11] IEA, *CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion*, (2011)
- [12] KPX, *Electricity Market Trends & Analysis*, (2012)
- [13] 日本ガス協會, *2030年に向けた天然ガスの普及拡大* (2011)
- [14] Tokyo Gas, *The Tokyo Gas Group's Vision for Energy and the Future*, (2011)
- [15] KEMCO, *Electric Heating Apparatus of Supply Status and Demand Management*, (2011)