

[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol. 26, No. 3, 2006

기후 온난화의 영향에 의한 건물의 냉·난방에너지 수요량 예측

김지혜*, 서승직**

*인하대학교 대학원 건축학부 (jihye8212@hotmail.com)
**인하대학교 건축학부 교수(energeti@inha.ac.kr)

The Demand Expectation of Heating & Cooling Energy in Buildings According to Climate Warming

Kim, Ji-Hye*, Suh, Seung-Jik**

*Dept. of Architectural Engineering, Graduate School, Inha University (jihye8212@hanmail.net)
**Professor, Dep. of Architectural Engineering, Inha University (energeti@inha.ac.kr)

Abstract

The impacts of climate changes on building energy demand were investigated by means of the degree-days method. Future trends for the 21st century was assessed based on climate change scenarios with 7 global climate models(GCMs). We constructed hourly weather data from monthly temperatures by Trnsys 16. A procedure to estimate heating degree-days(HDD) and cooling degree-days(CDD) from monthly temperature data was developed and applied to three scenarios for Incheon. In the period 1995-2080, HDD would fall by up to 70%. A significant increase in cooling energy demand was found to occur between 1995-2004(70% based on CDD). During 1995-2080, CDD would increase by up to 120%. Our analysis shows widely varying shifts in future energy demand depending on season. Heating costs in winter will significantly decrease whereas more expensive electrical cooling energy will be needed.

Keywords : 기후 시나리오(climate scenarios), 도일법(degree-day method), 건물 에너지 수요량(building energy demand)

1. 서론

화석연료 등의 천연자원의 사용으로 인해 해마다 수십억 톤의 이산화탄소가 대기 중으로 방출되고 있다. 게다가, 메탄, 질소 산화물 등이 인간 활동에 의해 방출되고 있다. 이러한 대기 중 가스 농도의 증가는 지구 평균온도를 계속적으로 상승시키고 있다. 이러한 경향은 향후 계속될 것으로 예상되고 있다.

IPCC¹⁾는 1990년부터 2100년 사이에 지구 표면 온도가 1.4-5.8°C 상승할 것으로 예상하였고, 다양한 기후의 출현과 극한의 기후도 보다 빈번하게 나타날 것이라는 견해를 보였다. 난방기는 감소하는 반면, 혹서, 집중 호우와 같은 극한 기후의 빈도, 강도, 지속기간이 상당히 증가한다는 예측이다.

기후 인자는 건물 설계에 중요한 경계 조건이다. 건물의 에너지 수요량은 외부 경계 조건, 특히 주변온도에 상당한 영향을 받는다. 건물의 수명을 고려할 때, 이는 미래에 사용되어지는 것이기 때문에, 과거의 기상데이터가 아니라 미래 기후 변화를 반영한 기상데이터를 고려한 설계의 필요성이 요구되고 있다.

기후 변화와 관련하여 다양한 시나리오를 이용하여 지구 온난화로 인한 영향예측과 기후 변화 완화를 위한 정책연구가 폭 넓게 이루어지고 있다.(IPCC)

본 연구에서는 기후 시나리오를 우리나라에 적용하여 건물의 냉난방 에너지 수요량에 따른 지구 온난화의 영향을 이론적으로 분석하여 온난화에 대비한 기초 자료를 구축하고자 한다. 우선, 7개의 세계 기후 모델을 이용한 여러 기후 시나리오의 특징을 비교 분석하고, 기후 시나리오 데이터와 과거 데이터와 비교하였다. 그리고 냉·난방

도일법을 이용하여 두 데이터에 따른 건물 에너지 수요량을 예측하고 그 차이점을 비교 분석하였다.

2. 기후 시나리오

대기의 온실 가스 농도가 증가하면 지구 온도가 상승한다는 데는 의견을 같이하고 있지만, 지역적인 규모에서 기후가 어떻게 변화할 것인지를 판단, 추정하는 부분에 대해서는 아직 확실성이 많이 부족한 실정이다. 이러한 지역적인 규모에서 신뢰할 수 있는 미래 기후 변화 예측 방법이 아직 존재하지 않기 때문에, 이에 대한 대안의 방법으로는 있음직한 미래 기후를 다양하게 지정하는 방법이 있다. 이것을 “기후 시나리오”라고 한다. 즉, 수십 년, 수백 년 동안 미래가 어떻게 될 것인지에 대한 다양한 예측이다.

인간 활동에 의한 기후 변화는 인간과 자연계에 큰 영향을 미치게 되고 이는 사회, 경제적 발전 경향에 영향을 미친다. 발전 경향에 따라 온실 가스 농도와 방출량이 달라진다. 이는 다시 기후 변화 정도에 영향을 미친다. 기후 시나리오는 이와 같은 상호관계를 반영하여 작성되어야 하므로 인구, 경제상황, 토지용도, 에너지, 식량 등에 대하여 구체적으로 가정한 사회 경제 시나리오(socio-economic scenarios)와 이산화탄소, 오존과 같은 대기구성요소, 해수면 높이, 수자원, 토지구성요소 등에 대한 시나리오인 환경 시나리오(environmental scenarios)를 토대로 작성된다.

2.1 시나리오 비교 분석

IPCC의 DDC²⁾에서 제시하는 기후 시나리오에는 크게 IS92 시나리오(1992)와 IPCC SRES 시나리오(2000)가 있다. 두 기후 시나리오는 대기-해양-해빙 결합 세계기후모델(AOGCMs)³⁾을

1) Intergovernmental Panel on Climate Change
<http://www.ipcc.ch>.

2) Data Distribution Center

이용한 기후 변화 예측 시나리오이다. 그러나 그 목적과 GCMs를 선정하는 조건에는 차이가 있다.

우선 IS92시나리오는 온실 가스 농도의 변화만을 고려하거나, 황 에어로졸의 변화도 고려한 실험을 모두 수행했다. IPCC TGICA⁴⁾는 과거 데이터의 고려, 공공기관 데이터 통합 등을 고려하여 이를 만족하는 7개의 GCMs을 제시하였다.

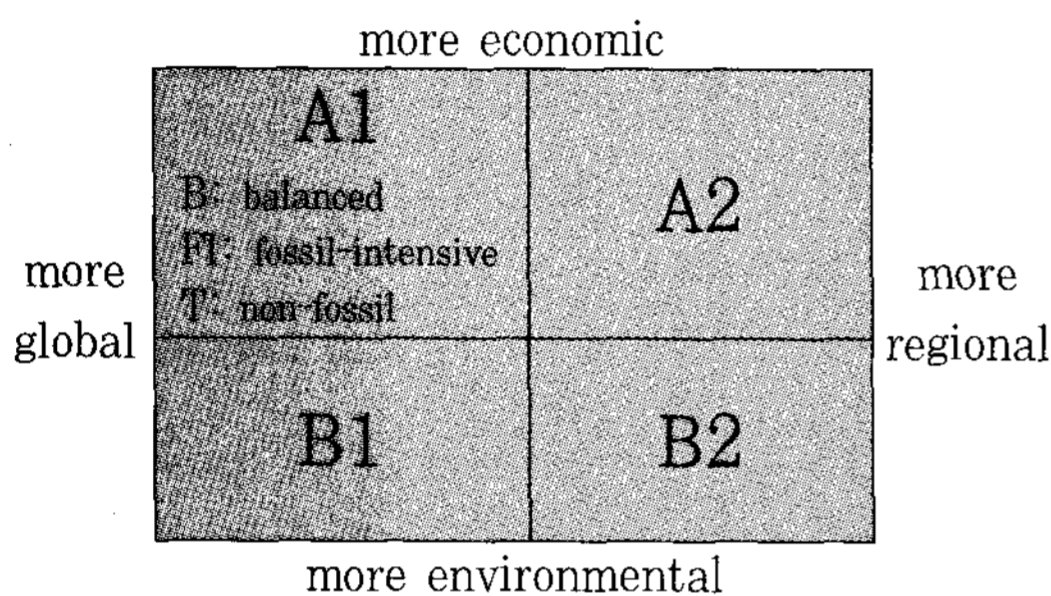


그림 1. IPCC SRES 지역 구분 기준

DDC의 주된 목표는 시나리오에 최신 기술의 모델 실험을 반영하고 최근의 GCM 결과들을 지역 사회에 이용 가능하도록 하는 것이다. 이것이 바로 IPCC SRES 시나리오이다. SRES 시나리오는 그림 1과 같이 다양한 사회적, 경제적, 기술적, 환경적, 정책적 측면에서의 개발을 보여주는 스토리라인에 의해 분류된다.

표 1. SRES Storyline 설명

	설명
A1	매우 급격한 경제성장, 세기 중간에 인구 최고점 도달, 지역간 사회·문화·경제의 교류 증대, 시장구조가 우세함
A2	독립적 사회, 지역특성 보존, 꾸준한 인구증가, 지역규모의 경제성장
B1	청정하고 효율적인 기술 사용, 물질이용의 감소, 사회·문화·경제·환경의 지속을 위한 지구적 해결에 관심, 세기 중간에 인구 최고점 도달
B2	지속성에 대한 지역적 해결, A1에 비해 인구증가율은 낮으나 꾸준한 인구증가, B1·A1에 비해 늦은 기술변화

3) 복잡한 대규모 대기 운동을 계산할 수 있는 수치모델

4) IPCC Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Analysis

3D 해양-대기 통합, 안정성을 위한 수 세기동안의 제어작업 수행, 최소 T40, R30이나 3°위도/경도 그리드 사용, CO₂, CH₄와 같은 명백한 온실 가스 고려 여부에 따라 표 2에 IS92와 같은 7가지 모델이 제시되었다. 각 모델의 특성에 따라 기후 변화 양상이 달라진다.

표 2. 세계 기후 모델(GCMs)

GCMs	특징
CCSR/NIES ⁵⁾	Spectral Model 대기 : T21 Resolution(약 5.6 x 5.6°) 20개의 수직층 해양 : 2.8° 수평 그리드 17개의 수직층
CGCM2 ⁶⁾	Spectral Model 대기 : T32 Resolution(약 3.75x 3.75°) 10개의 수직층 해양 : GFDL MOM1.1(약 1.8x 1.8°) 29개의 수직층
CSIRO-Mk2 ⁷⁾	Spectral Model 대기 : R21 Resolution(약 5.6 x 3.2°) 9개의 수직층 해양 : R21 Resolution (약 5.6 x 3.2°) 21개의 수직층
ECHAM4 ⁸⁾	Spectral Model 대기 : T42 Resolution (약 2.8 x 2.8°) 19개의 수직층 해양 : OPYC3 model
HadCM2 ⁹⁾	Grid Box Model Grid 96 x 73 (3.75 x 2.5°)
GFDL-R30 ¹⁰⁾	Spectral Model 대기 : R15 Resolution (약 7.5 x 4.5°) 9개의 수직층 해양 : R21 Resolution (약 3.7 x 4.5°) 12개의 수직층
NCAR-DOE ¹¹⁾	Spectral Model 대기 : R15 Resolution (약 7.5 x 4.5°) 9개의 수직층 해양 : 1 x 1°, 20개의 수직층

5) The Japanese Centre for Climate System Research

6) The Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis

7) The Australian Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation

8) The German Climate Research Centre Spectral Model

9) The UK Hadley Centre for Climate Prediction and Research

10) The US Geophysical Fluid Dynamics Laboratory

11) The National Centre for Atmospheric Research

2.2 시나리오 선정

위의 시나리오를 인천 지역에 맞는 조건을 찾아 선택하는 것은 중요한 문제이다. 우선 지역적인 규모를 고려한 SRES 시나리오를 선정하였다.

SRES 시나리오의 A그룹 스토리라인은 현재의 추세대로 사회변화가 진행되며 도시 환경문제에 대한 대응이 시급하지 않다는 가정 하에 작성되었고, B그룹은 도시 환경문제에 대한 대응이 시급하여 적극적으로 대응하는 상태를 가정하는 스토리라인이다. 본 연구에서는 도시 환경문제에 시급한 대응을 하지 않는, 현재 개발 경향에 따르는 A 시나리오에 대해 연구를 진행하였다. 그리고 표 3과 같이 A1B와 A1T는 데이터가 한 개의 모델에서만 주어졌기 때문에 본 연구에 적합하지 않아 제외하였다. 미래의 인천 지역은 화석 연료만 사용하는 지역으로 보기 어렵기 때문에 최종적으로 A2지역으로 선정하였다. 예비 분석 결과 7가지 모델 중 과거 10년 데이터가 실제 데이터와 가장 유사한 CCSR/NIES, CSIRO-Mk2, ECHAM4에 대해 연구를 수행하였다.

표 3. 모델별 시나리오 수

	A1B	A1T	A1FI	B1	A2	B2
CCSR/NIES	1	1	1	1	1	1
CGCM2	-	-	-	-	1	1
CSIRO-Mk2	-	-	1	1	1	1
ECHAM4	-	-	-	-	1	1
GFDL-R30	-	-	-	-	1	1
HadCM4	-	-	1	1	3	2
NCAR-DOE	-	-	-	-	1	1

2.3 기후 시나리오 적용 방법

기후 시나리오는 각각 모델이 설정한 간격의 그리드별 월평균 기온 데이터를 제공한다. 월별 기온 데이터로 냉난방도일을 계산하는 방법에는 여러 가지가 있다. 본 연구에서는 Trnsys 16을 통해 월 데이터를 시간별 데이터로 전환하여 일반적인 냉난방 도일식을 이용하는 방법을 수행하였다.

그림 2는 기상청에서 제공한 인천 지역의 2004년 시간별 데이터이고 그림 3은 시간별 데이터를 월 평균 데이터로 전환 시킨 후 다시 Trnsys 16을 통해 생성시킨 시간별 데이터이다. 생성된 데이터는 실제 관측데이터보다 변동 폭이 큰 것을 알 수 있다. 그러나 두 데이터의 표준편차는 5% 이내의 오차를 보이고 있다. 또한, 본 연구에서는 정확한 냉난방 도일 값을 산정하기 보다는 각 시나리오의 오랜 기간 동안의 변화 추세를 상대적으로 평가하는데 그 목적이 있으므로 결과의 정확도에 큰 영향을 미치지 않는다.

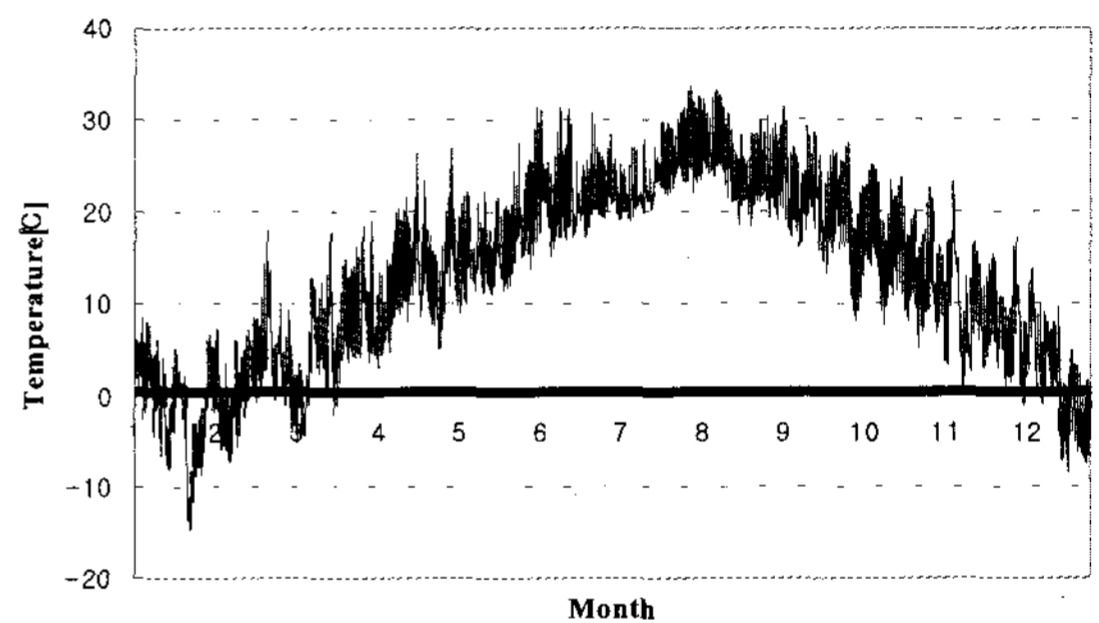


그림 2. 2004년 시간별 측정 데이터

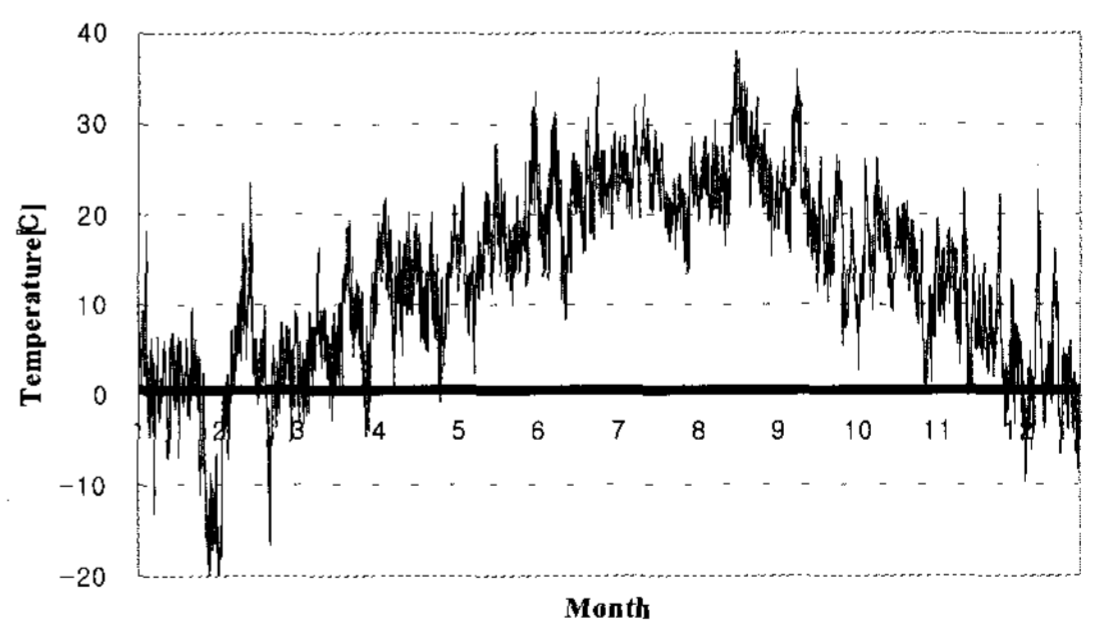


그림 3. 2004년 Trnsys16을 이용한 생성 데이터

2.4 기후 시나리오 데이터

그림 4는 1961-2005년의 실측 데이터와 앞에서 선정한 세 가지 모델을 이용한 시나리오의 연평균 기온분포이다. 세 시나리오가 온도 상승 속도나 상승폭에 차이를 보이고 있음을 알 수 있

다. 2080년의 연평균 기온은 CCSR/NIES는 2004년 대비 약 6.0°C, CSIRO-Mk2는 5.5°C, ECHAM4는 3.9°C 상승하였다. 상승폭은 CCSR/NIES가 가장 컸고, CSIRO-Mk2는 2020년까지 가장 급격한 변화를 보였다.

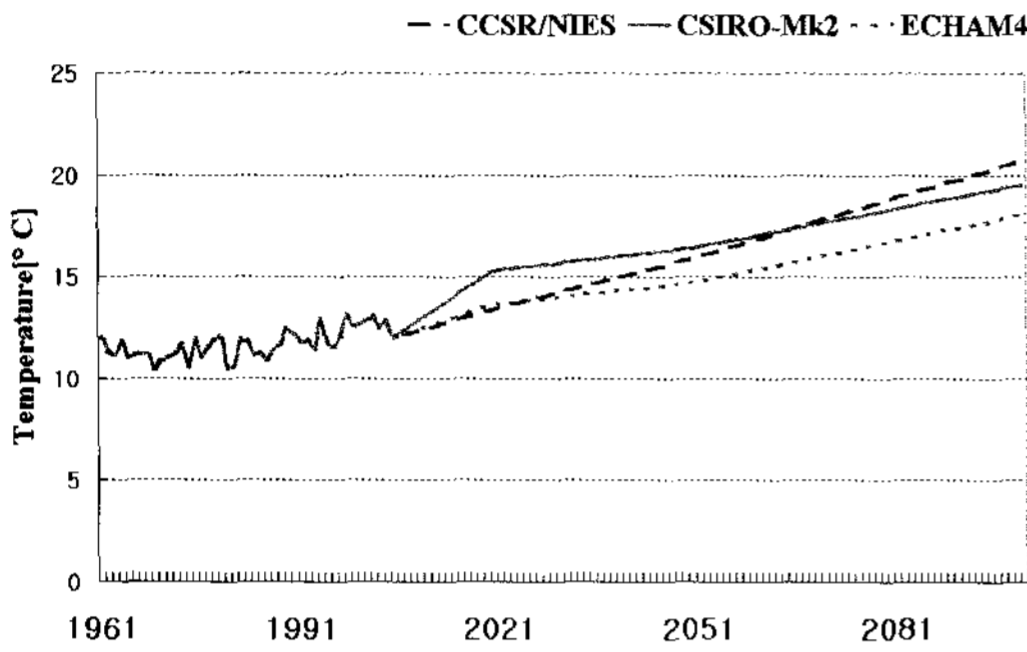


그림 4. 1961-2100년 모델별 연평균 온도 변화 경향

3. 냉·난방도일

냉난방 도일법(degree-day methods)은 주변 상태를 정상상태로 가정하여 부하 산정하는 방법으로, 간단하지만 신뢰할 만한 방법이다. 그러나 냉방기에는 일사나 재실자, 조명, 각종 기기 등의 내부 발열의 영향이 난방시보다 상당히 크기 때문에 정확도가 상대적으로 낮다. 그러므로 본 연구에서는 실내 열취득을 반영하는 평형점 온도(balance point temperature)로 외기 냉·난방기준 온도를 설정하였다.

난방 도일(heating degree-days, HDD)은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$HDD = m_k \sum_{k=1}^n (T_{rh} - T_{e,k}) \quad (1)$$

$$m_k = 1 \text{ day if } T_{e,k} \leq T_{rh}$$

$$m_k = 0 \text{ day if } T_{e,k} > T_{rh}$$

$T_{e,k}$: 일평균 외기 온도

T_{rh} : 외기 난방 기준 온도

k : 일 수

우리나라는 난방을 시작하는 외기 온도 즉, 외기 난방 설정 온도를 18°C로 지정하고 있다. 그러나 이 연구에서는 실내 발열을 고려한 평형점 온도 15°C를 외기 난방 설정 온도로 정하였다.

냉방도일(cooling degree-days, CDD)은 다음과 같이 정의된다.

$$CDD = m_k \sum_{k=1}^n (T_{e,k} - T_{rc}) \quad (2)$$

$$m_k = 1 \text{ day if } T_{e,k} \geq T_{rc}$$

$$m_k = 0 \text{ day if } T_{e,k} < T_{rc}$$

T_{rc} : 외기 냉방 기준 온도

우리나라에서는 아직 외기 냉방 설정 온도의 기준이 정해져 있지 않기 때문에, ASHRAE¹²⁾의 18.3°C를 참고하여 18°C를 외기 냉방 설정 온도로 정하였다.

4. 결과 및 분석

4.1 난방 도일(HDD)

지난 50년 동안 난방도일은 상당히 감소하였다. 그림 5에서 1961년부터 2100년까지의 A2 지역 세 가지 모델의 난방도일 변화경향을 알 수 있다. 최근 10년간 난방도일 감소량은 약 50년간의 10년당 감소량의 약 6배에 달한다. 난방도일은 21세기에 20세기보다 더 급격하게 감소할 것으로 예상된다.

12) ASHRAE Fundamentals Handbook 2001

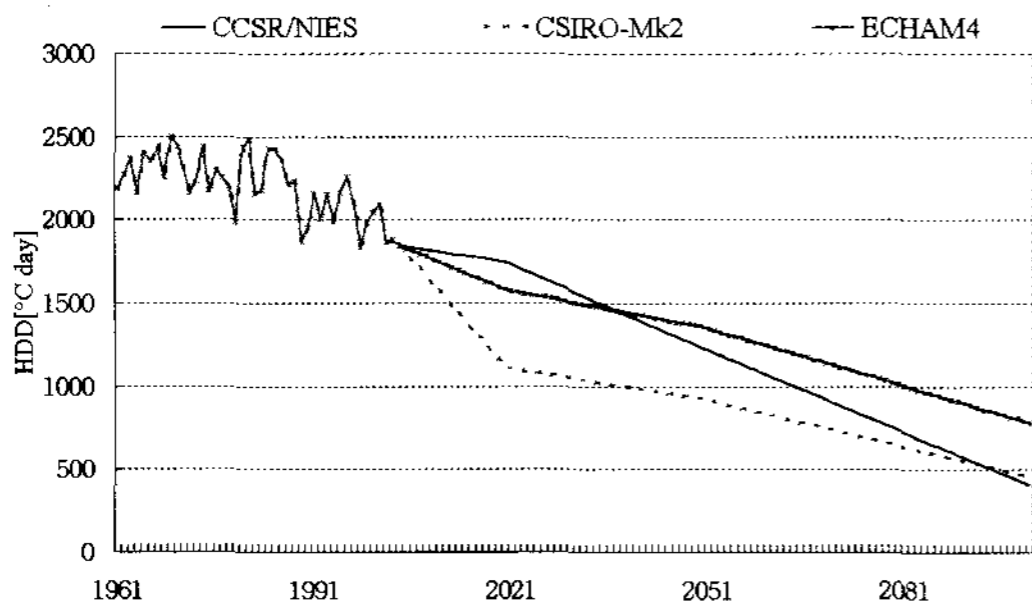


그림 5. 모델별 난방도일 변화 경향(°C·day)

그림 6은 최근 10년간 평균 난방도일값과 2020년, 2050년, 2080년의 세 시나리오의 난방도일 결과이다.

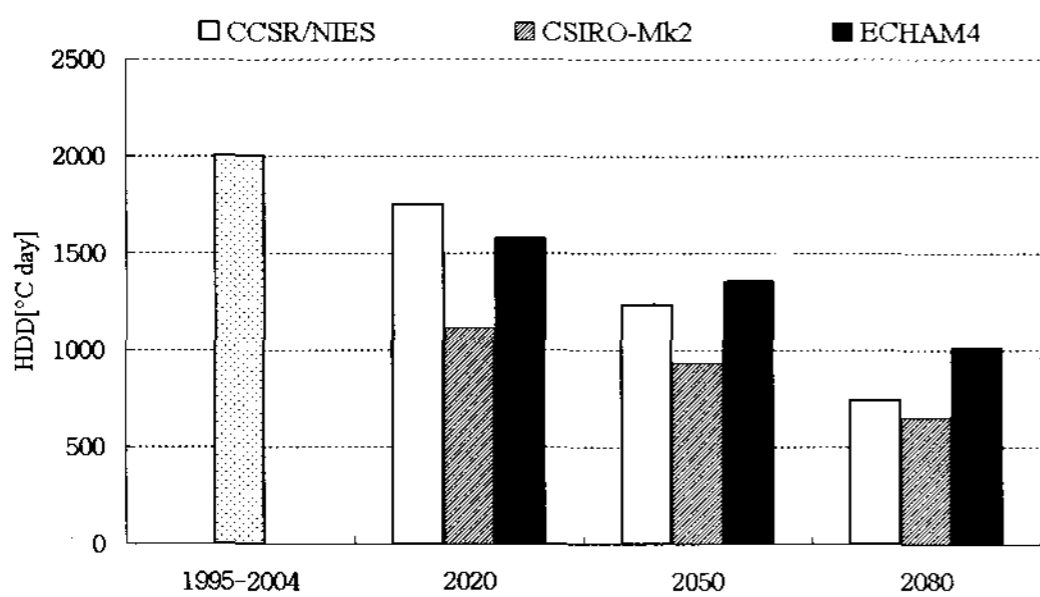


그림 6. 모델별 2020, 2050, 2080년 난방도일 [°C·day]

그림 7은 최근 10년 대비 난방도일 감소량을 나타낸 것이다. 세 모델의 평균 난방도일 감소율은 2020년은 약26%, 2050년은 약41%, 2080년은 약60%로 거의 일정하게 감소함을 알 수 있다.

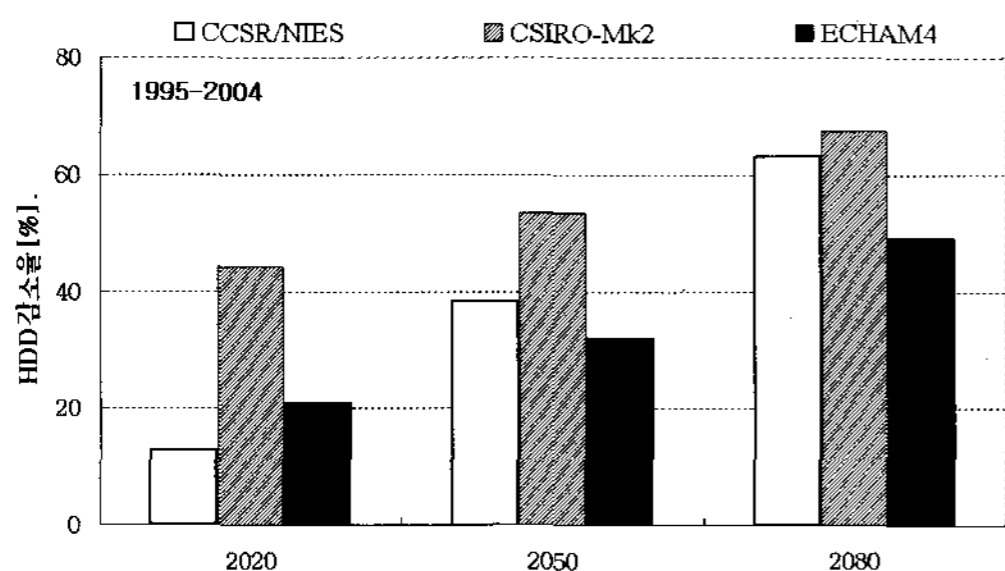


그림 7. 모델별 2020, 2050, 2080 난방도일 감소율(%)

4.2 냉방도일(CDD)

기준온도 18°C인 냉방도일의 1961-2004년 결과는 그림 8과 같다. 1961-2004년 냉방도일은 해마다의 편차가 크지만, 완만하게 지속적으로 증가하고 있다. 그러나 21세기의 세 기후 시나리오 오는 급격하게 증가하고 있다.

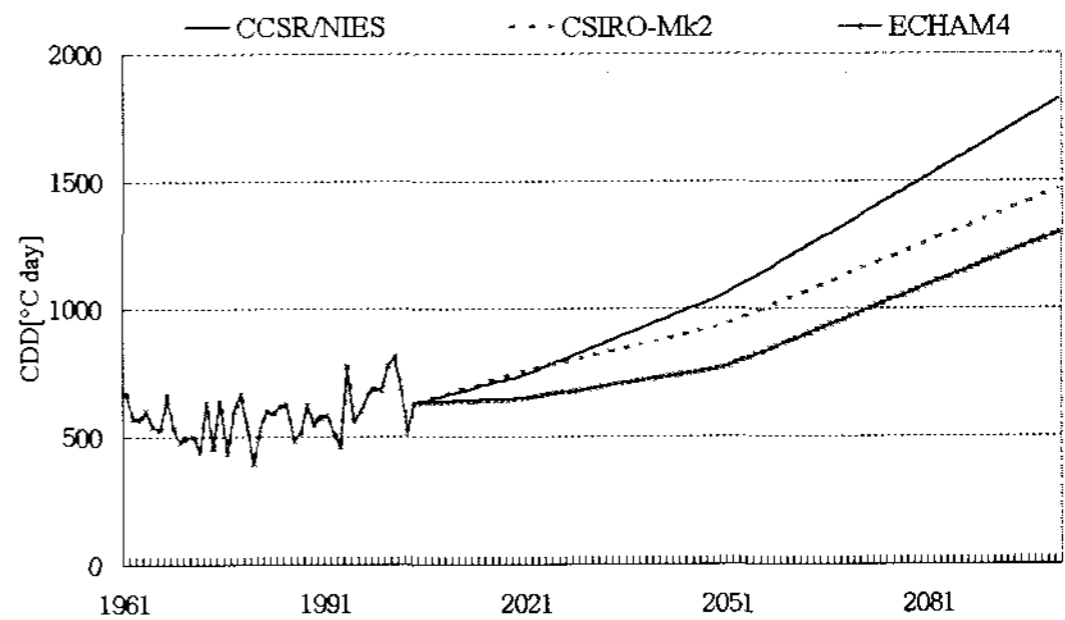


그림 8. 모델별 예상 냉방도일(°C·day)

최근 10년간 평균 냉방도일과 2020년, 2050년, 2080년의 세 가지 시나리오의 냉방도일은 그림 9와 같다. 모델 CCSR-NIES의 냉방도일은 다른 두 모델에 비해 증가폭이 큰 것을 알 수 있다.

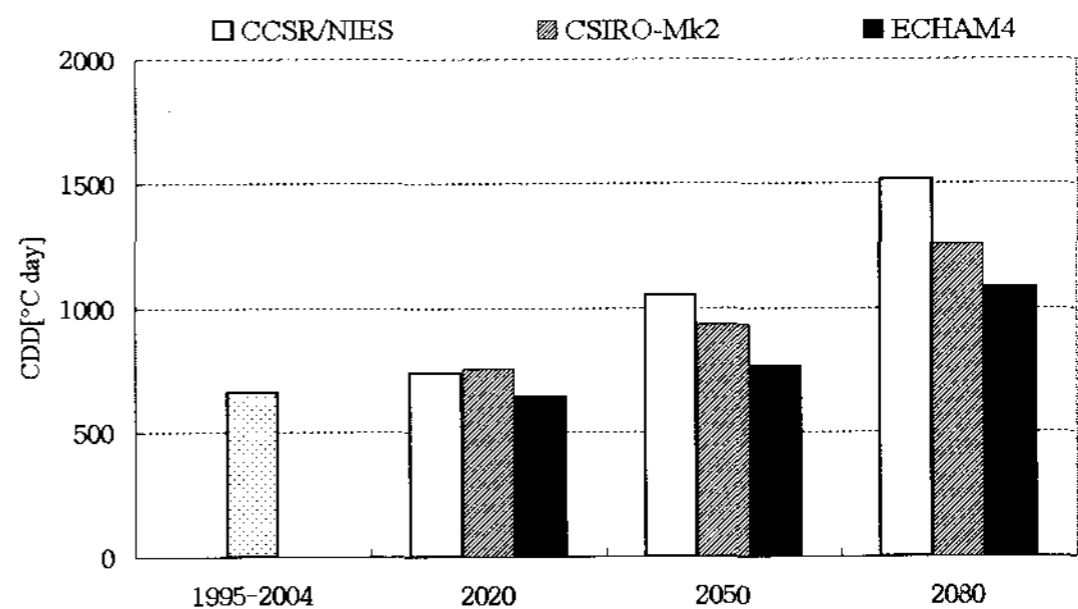


그림 9. 모델별 2020, 2050, 2080년 냉방도일 [°C·day]

그림 10은 최근 10년 대비 모델별 냉방도일 증가율이다. 2020년에는 완만하게 증가하지만 2050년 이후로 급격한 변화가 있음을 알 수 있다. 2080년의 CCSR/NIES의 결과값은 최근

10년 데이터에 대비하여 120%나 증가한 약 1,513[°C·day]이다. 이는 냉방 에너지 증가 추세는 시간이 지날수록 더 빨라진다는 것을 나타내고 있다.

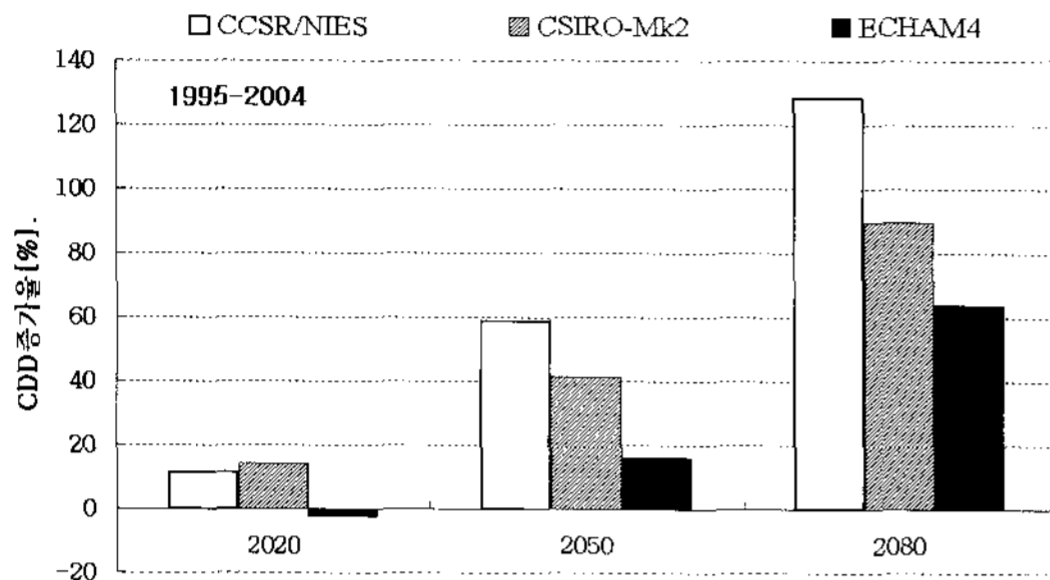


그림 10. 최근 10년 대비 모델별 2020, 2050, 2080 냉방도일 증가율(%)

5. 결 론

본 연구는 다양한 세계 기후 모델의 기후 예측 시나리오를 비교·분석하고, 그에 따른 냉·난방 에너지의 차이를 도일법으로 평가하였다. 미래 에너지 수요량이 매우 크게 변화하고 있음을 알 수 있었다. 주요 내용 및 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) IPCC SRES 시나리오의 A2지역에 대한 세 가지 모델(CCSR/NIES, CSIRO-Mk2, ECHAM4)을 분석한 결과, 2080년 예상 연평균 온도는 2004년에 비해 6.0°C, 5.5°C, 3.9°C 상승할 것으로 예측되었다.
- 2) 난방도일은 최근 10년 평균치에 비해 2020년에는 약26%, 2050년은 약41%, 2080년은 약60% 감소하였다. 세 모델 중에 연평균 온도는 모델 CCSR/NIES가 가장 높았지만,

난방도일은 CSIRO-Mk2가 가장 작았다.

- 3) 냉방도일은 최근 10년 평균치에 비해 2020년에는 약 8%, 2050년은 약 39%, 2080년은 약 94% 증가하였다. 특히, 모델 CCSR/NIES의 2080년 냉방도일 증가율은 128%였다.

후 기

이 논문은 인하대학교 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

1. Viorel Badescu, Elena Zamfir, Degree-days, degree-hours and ambient temperature bin data from monthly-average temperatures (Romania). *Energy Conversion Management* 1999;40:885-900.
2. Th. Frank, Climate change impacts on building heating and cooling energy demand in Switzerland. *Energy and Buildings* 2005;37:1175-85
3. M. Christenson, H. Manz, D. Gyalistras, Climate warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland. *Energy Conversion and Management* 2006;47:671-86
4. C. Cartalis, A. Synodinou, M. Proedrou, A. Tsangrassoulis, M. Santamouris, Modifications in energy demand in urban areas as a result of climate changes: An assessment for the southeast Mediterranean region. *Energy Conversion Management* 2001;42:1647-56