

서울과 여수지역에 HadCM3를 적용한 냉·난방도일의 변화량 분석

Analysis of the cooling and heating degree days in the Seoul and Yeosu, where HadCM3 is applied.

유 호 천* 노 경 환**
 Yoo, Ho Chun Noh, Kyoung Hwan

Abstract

To act and respond to the climate changes and to bring about power-saving in buildings, the changes in the atmospheric data in Korea are recorded and assessed.

For the two regions representative of Korea, the data obtained from HadCM3 and actual data are compared and analyzed so as to concretely evaluate and confirm the changes taking place in the cooling and heating degree days in Korea.

For the past 40 years, from 1996 to 2005, the number of heating degree days was on the decline and in the two representative regions, between 1980's and 1990's, the number of decrease in the heating degree days had been quite large. The number of cooling degree days showed a trend of increase since the 1970's and just as in the case of heating degree days, the extent of increase was quite large between the 1980's and the 1990's.

The results of comparison of the number of heating and cooling degree days, one obtained from the "Korea Meteorological Administration" and another from the HadCM3 data (E127.5,N37.5,E127.5,N35), which is one of the ways of predicting the climate, showed similar trends in the number of heating degree days in the Yeosu area. However, in the case of the number of heating degree days in Seoul and the number of cooling degree days both in Seoul and Yeosu, the differences in the number ranged from a minimum of 300 days to a maximum of 1500 days. This could be attributed to the grid points used in the HadCM3, the differences in the values of latitudes and longitudes of these two locations considered in this study, topographical differences, heat island effect caused by population density etc. and while using the HadCM3, these variables factors must be taken into consideration.

키워드: 냉방도일, 난방도일, HadCM3, 기후변화

Keywords : Cooling degree days(CDD), Heating degree days(HDD), Hadley Centre Model, Global warming

기호설명

HDD : 난방도일 (°Cday)
 CDD : 냉방도일 (°Cday)
 $\theta_{e,k}$: 일평균 외기온도 (°C)
 θ_{th} : 외기 난방 기준 온도 (°C)
 θ_{tc} : 외기 냉방 기준 온도 (°C)
 k : 일 수

1차 공약이행기간인 2012년까지 온실가스 저감의무를 가지는 부속서 I 국가에서는 제외되었다. 그러나 1차 공약이행기간 이후의 문제에 대하여 논의되고 있는 '포스트 교토의정서'에서는 한국을 포함한 다량의 온실가스를 배출하는 개발도상국들도 절감의무를 부여 받을 것이라는 의견이 지배적이다.

이에 따라서 국내의 에너지 소비량에서 큰 비중을 차지하는 건축분야의 에너지 절감에 대한 관심이 점차 증가하였으며 많은 연구가 실행되고 있다. 특히 건축물의 운영에 있어 에너지 절감을 위하여 현재 사용되는 시스템에 대한 효율의 극대화가 요구되고 있으며 각종 에너지 절약형 시스템 또한 연구되고 있는 실정이다. 이러한 연구는 현재시점에 대한 연구뿐만 아니라 앞서 제시한 미래의 대처에 대한 연구로의 방향도 함께 강조되어야 한다.

연구의 장기계획은 미래기후까지 예측해보고자하며 미래기후를 예측하고 있는 기후 시나리오인 HadCM3를 이

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

2005년 2월 교토의정서의 발효로 인하여 세계의 각국은 온실가스의 감축에 돌입하였다. 한국은 교토의정서의

* 교신저자, 울산대학교 건축대학 교수, 공학박사 (hcyoo@mail.ulsan.ac.kr)

** 울산대학교 건축대학 건축공학전공 석사과정 (n3423@naver.com)

용한 기상자료를 사용하여 기후변화를 파악하고자 한다. 연구방법으로는 우리나라의 실측자료는 여러 도시의 자료가 있으나 HadCM3에서는 세계를 특정한 그리드로 구분하여 자료를 도출하므로 본 연구에서도 서울과 여수지역을 연구대상 지역으로 냉·난방도일을 산출하여 지구온난화의 추세를 예측하기 위한 과거의 기상자료를 분석하는 기초연구이다.

2. 냉·난방도일법

냉난방 도일법(degree-day methods)은 주변 상태를 정상상태로 가정하여 건축물의 에너지 수요량을 산정하는 방법으로 간단하지만 효과적이고 정확한 방법이다.

본 연구에서는 기상청에서 제공받은 1966-2005년의 지구온도의 데이터를 이용하였으며 1966-1998년의 기간은 3시간에 한번 씩 측정된 자료이므로 이를 보간하여 일평균을 산출한 값을 사용하였다.

2.1 난방 도일(heating degree-days, HDD)

난방 도일이란 일평균 온도가 기준온도 이하의 날만 선정하여 기준온도에서 해당일의 일 평균 온도를 뺀 값을 일정기간 적산시킨 값을 말한다. 난방 도일이 크다는 것은 기후가 춥다는 것과 난방을 위해 연료비가 많이 드는 것을 의미한다. 따라서 산출된 자료는 작년 또는 원하는 기간의 난방도일과 비교하여 겨울철 난방기간 중 난방설계 및 에너지 수급정책 결정시 사용하게 된다.

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

$$m_k = 1 \text{ day if } \theta_{e,k} \leq \theta_{th}$$

$$m_k = 0 \text{ day if } \theta_{e,k} > \theta_{th}$$

일평균 외기 온도($\theta_{e,k}$)가 설정한 외기 난방 기준 온도(θ_{th})보다 낮을 경우 이 둘의 차를 합산하여 전체 난방도일 값을 산출한다. 반대로 일평균 외기 온도가 외기 난방 기준 온도보다 높을 경우에는 0으로 처리한다.

냉난방 도일의 기준온도를 정하는 방법은 어떤 명확한 기준이 정해진 것이 아니라 HDD의 경우 12-28℃, CDD의 경우 18-28℃범위 내에서 선정하여 산출하는 것이 일반적인 연구에서 행해지고 있으며 국내 상황에 적합하다고 판단되어지는 온도로 HDD는 15℃, CDD의 경우 18℃를 외기 기준온도로 정하였다.

2.2 냉방 도일(cooling degree-days, CDD)

냉방 도일이란 난방 도일과는 반대로 일평균 온도가 기준온도 이상의 날만 선정하여 해당 일의 일 평균 온도에서 기준온도를 뺀 값을 일정기간 적산시킨 값을 말한다. 냉방 도일이 크다는 것은 기후가 덥다는 것과 냉방을 위해 연료비가 많이 드는 것을 의미한다.

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

$$m_k = 1 \text{ day if } \theta_{e,k} \geq \theta_{th}$$

$$m_k = 0 \text{ day if } \theta_{e,k} < \theta_{th}$$

냉방도일은 일평균 외기온도가 냉방 기준 온도보다 높을 경우 이 둘의 차를 합산하여 전체 냉방도일 값을 산출하며 낮을 경우에는 0으로 처리한다.

3. HadCM3 (Hadley Center Model)

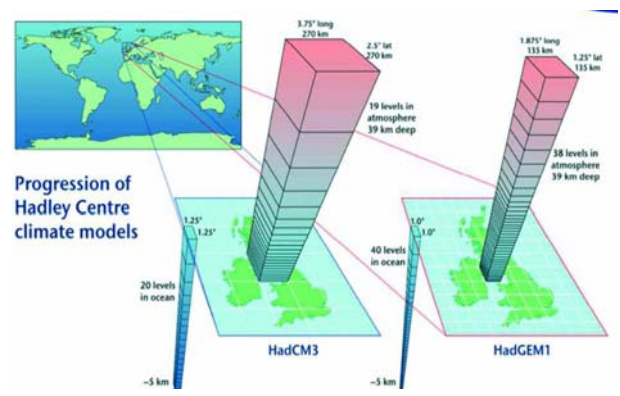


그림 1. HadCM3의 격자 및 레이어 개념

영국 Met Office Hadley Centre의 HadCM3(Hadley Centre Climate Model)는 물리적인 프로세스와 전 지구적인 상황을 통합 및 변화 상태를 함께 고려하여 개발된 고급의 기후 모델로서 바람, 수증기, 구름의 형태 등의 요소를 포함하고 있다. 온도, 습도, 풍속, 일사 등 각각의 일별 기후 요소들의 최대값, 최소값과 평균값은 그리드박스를 기초로 하여 세계의 다양한 영역에서 응용된다. 개개의 그리드 박스의 사이즈는 2.50°×3.75°이며 이러한 형태가 Hadley의 전반적인 3세대 순환 모형이다.

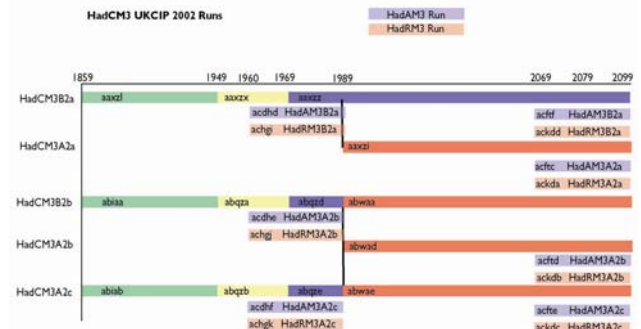


그림 2. 시나리오별 HadCM3의 기상자료 기간

HadCM3의 1년은 각 월이 30일로 전체 360일로 구성되어 있으며 현재 1860년에서 2099년까지의 데이터를 이용할 수 있고 본 연구에서는 1960년에서 2005년까지의 45년간의 자료를 사용 하였다.

현재 우리나라는 그림 3에서 흰색 원으로 표시된 두 개의 격자점이 있는데 한 점은 남부지방(N127.5, E35)에

나머지 한 점은 중부지방(N127.5, E37.5)에 위치한다. 이 두 개의 지점을 각각 가장 인접한 지역인 서울과 여수로 설정 하였다.

냉·난방도일을 산출하는데 있어 HadCM3 A2 기후 시나리오를 적용 하였다. 여기서 A2란 표 1에서와 같이 IPCC의 SRES Storyline의 지역구분을 기준으로 「독립적 사회, 지역특성 보존, 꾸준한 인구증가, 지역규모의 경제성장」의 수준을 만족하는 시나리오를 말한다. HadCM3 A2 시나리오를 적용한 두 지역이 미래의 실제적인 시나리오에 가장 근접하다고 사료되므로 앞으로 일어날 기후 변화에 대하여 분석하는데 가장 적합할 것으로 보인다.¹⁾



그림 3. HadCM3의 포인트 및 산출지역 선정

표 1. SRES Storyline 설명

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

4. 결과 및 분석

4.1 난방도일(HDD : heating degree-day)

그림 4는 기상청에서 제공하는 실제 관측데이터를 기반으로 1966년부터 2005년까지 40년간의 난방도일(기준온도 15℃)을 나타낸 그래프이다. 서울과 여수 두 지역 모두 시간이 흐를수록 난방도일이 감소하는 경향을 보여주고 있다. 서울의 경우 1960년대와 1970년대 사이의 변화

1) 이관호, 「건물 및 재생에너지에 관한 미래의 기후변화 예측」, 한국태양에너지 학회논문집, 28(1), pp57-64, 2008

량과 1980년대와 1990년대 사이의 변화량이 가장 큰 폭으로 감소하였다. 여수의 난방도일은 중부지방인 서울에 비하여 남쪽으로 많이 치우친 지리적 위치에 의해 서울의 절반정도로 나타났으며 서울과 마찬가지로 1980년대와 1990년대 사이의 감소량이 가장 두드러짐을 알 수 있었다.

그림 5와 7은 각각 서울지역과 여수지역의 난방도일을 10년 단위로 나누어 월별 평균값을 나타낸 그래프이다.

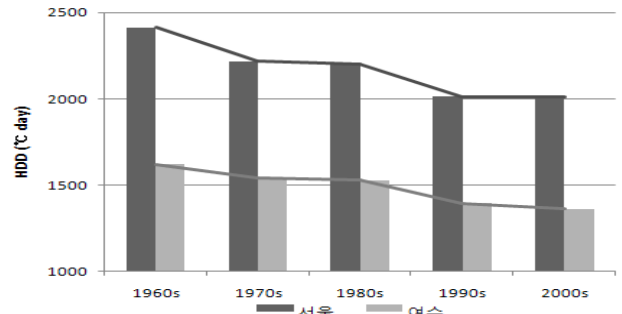


그림 4. 1966-2005년 HDD 실제 감소경향

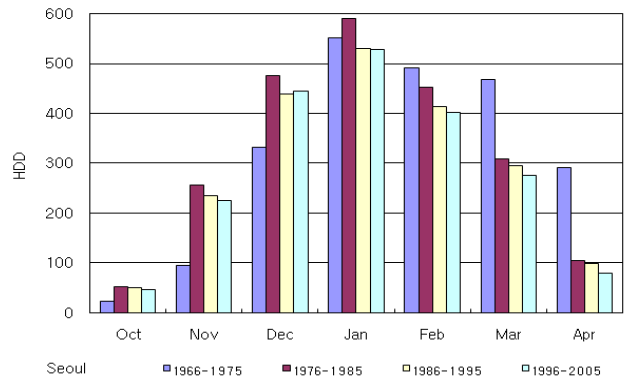


그림 5. 서울의 월별 난방도일 평균

서울지역 그림 5의 그래프를 통하여보면 특히 1966-1975년과 1976-1985년 사이의 기간에 값의 차이가 크게 변하고 있음을 알 수 있고 11월의 경우 160도일이 10년 사이에 증가하였고 12월은 140도일이 증가하였음을 알 수 있다. 또한 같은 기간의 3월과 4월에도 큰 차이를 보이는데 3월의 경우 160도일이 감소하였으며 4월은 무려 185도일이 감소하였음을 알 수 있다.

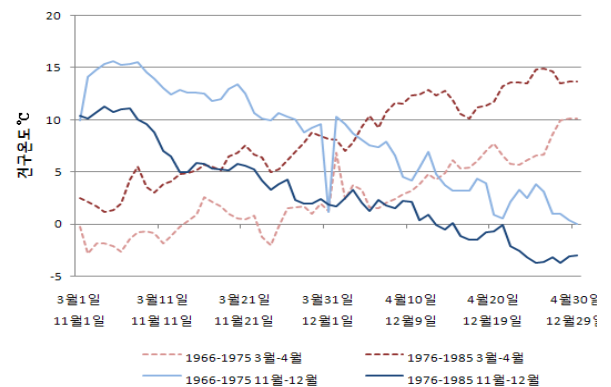


그림 6. 1966-1975년과 1976-1985년의 3-4월, 11-12월 일평균 건구온도의 비교

그림 6에서 서울지역의 경우 난방도일이 11월과 12월의 일평균기온이 10년 사이에 5℃ 정도의 차이를 가지고 떨어졌음을 알 수 있고 3월과 4월의 일평균기온은 10년 사이 5℃ 정도 오른 것으로 나타나고 있다. 1970년대 이전에는 4월까지도 겨울로 생각 되어졌으나 1970년대 이후에는 한달정도 앞당겨진 11월부터 3월까지로 볼 수 있는 것이다. 1976-1985년 이후로는 4월에 난방도일은 100도일 이하로 거의 난방이 필요 없는 기간으로 간주되기 시작했다.

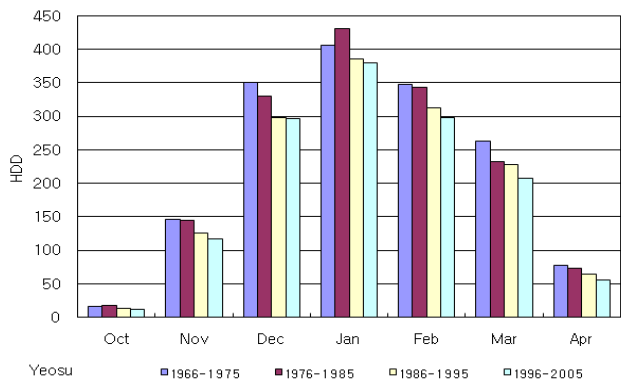


그림 7. 여수의 월별 난방도일 평균

여수지역의 경우 서울지역과는 다르게 큰 차이가 나는 기간 없이 거의 일정한 패턴으로 감소하는 난방도일을 보여주었고 있으며 다만 1월의 경우 1966-1975년과 1976-1985년 사이의 난방도일이 약 25도일의 증가를 보여주었다.

4.2 냉방도일(CDD : Cooling degree-day)

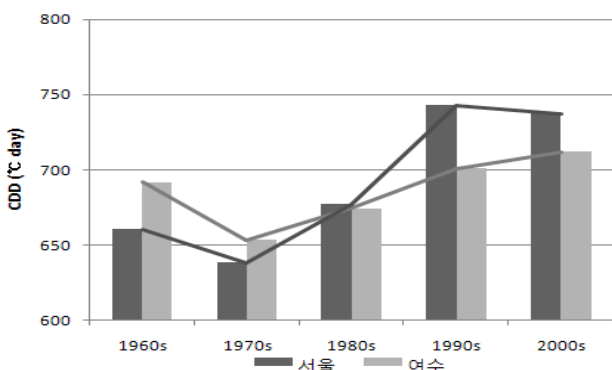


그림 8. 1966-2005년 CDD 변화량

그림 8은 기상청에서 제공하는 실제 관측데이터를 기반으로 1966년부터 2005년까지 40년간의 냉방도일(기준온도 18℃)을 나타낸 그래프이다. 서울과 여수 두 지역 모두 1960년대에 비해 1970년대의 냉방도일이 30~40도일 가량 감소하였지만 이후 70년대부터 2000년대까지는 계속 증가하는 추세를 보여주었다. 특히 서울의 냉방도일은 80년대에서 90년대로 넘어가는 시기의 평균값이 80도일의 증가를 보여주었다.

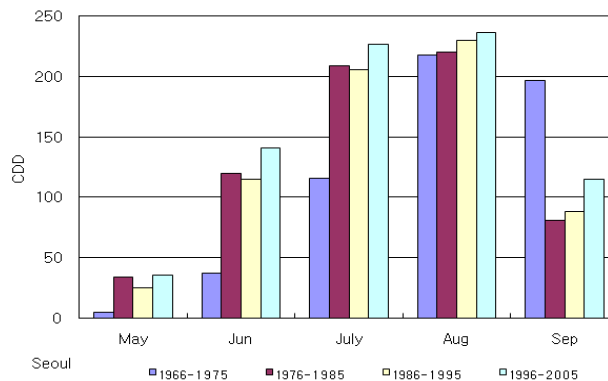


그림 9. 서울의 월별 냉방도일 변화량

그림 9와 11은 각각 서울지역과 여수지역의 난방도일을 10년 단위로 나누어 월별 평균값을 나타낸 그래프이다.

서울의 월별 냉방도일 변화량을 나타낸 그림 8을 보면 1966-1975년과 1976-1985년의 5월, 6월, 7월의 냉방도일의 차이가 각각 29, 82, 94도일의 차이를 내며 증가하였다. 8월은 각 기간별로 큰 변화 없이 시간이 흐를수록 적게는 2도일에서 많게는 10도일 가량의 증가를 보여주었으며 9월은 1966-1975년과 1976-1985년 사이에 116도일의 차이를 보이며 감소하였다가 이후 10년동안 7도일의 증가와 그 이후 10년동안 27도일의 증가를 보여주었다.

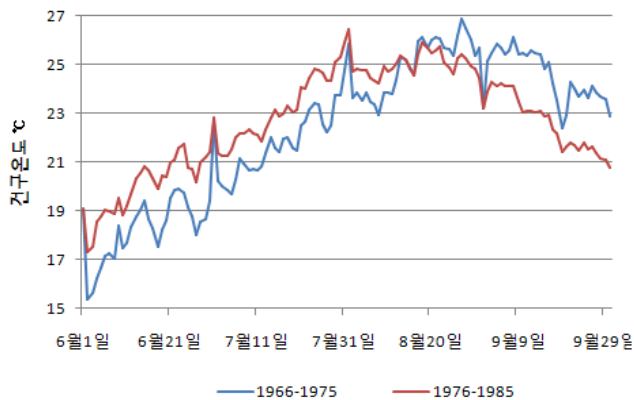


그림 10. 1966-1975년과 1976-1985년의 6월-8월 일평균 건구온도 비교

그림 10은 서울지역의 월별 냉방도일에서 차이가 크게 났던 1966-1975년과 1976-1985년의 6월에서 8월까지의 일평균 건구온도의 비교 그래프이다. 건구온도의 변화에서 보여주듯 8월 중순을 기점으로 건구온도가 차이가 나기 시작하는 것으로 보아 1966-1975년에 비해 1976-1985년 이후부터 여름의 냉방 대상 기간이 좀더 앞당겨졌음을 확인 할 수 있다.

여수지역의 경우 월별 냉방도일 변화량을 나타낸 그림 11의 그래프를 통해 지난 40년간 큰 변화가 크지 않음을 알 수 있다. 그중 1966-1975년과 1976-1985년 사이의 8월의 변화량이 253에서 234로 약 20도일의 감소를 보여주고 있으며 1986-1995년과 1996-2005년 사이의 9월 변화량은 120도일에서 142도일로 약 22도일의 증가를 나타내

며 서울지역의 월별 냉방도일 변화량에 비해서는 변화가 적은 것을 알 수 있다.

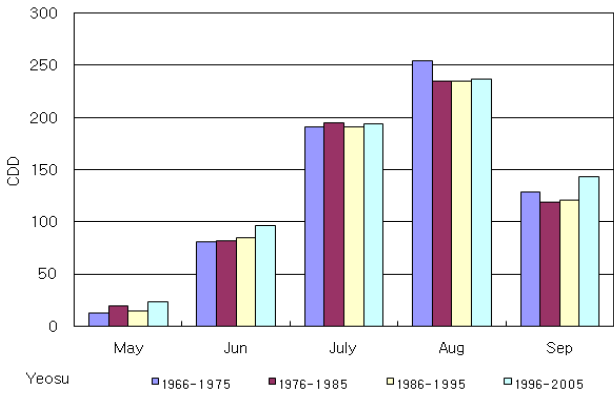


그림 11. 여수의 월별 냉방도일 변화량

4.3 기상청 데이터와 HadCM3 데이터의 비교

앞서 3장에서 설명한 기후모델인 HadCM3의 데이터와 HadCM3의 사용이 가능한 국내의 두 지점(E127.5, N37.5, E127.5, 35)의 유사지역으로 선정된 서울과 여수의 기상청 데이터로 산출한 냉·난방도일의 비교를 실시하였다. HadCM3는 1960년부터 2005년까지의 데이터를 두 지역 모두 사용 하였으며 기상청 데이터는 서울은 1961년부터 2005년까지의 데이터와 여수는 1966년부터 2005년까지의 데이터를 사용 하였다.

1) 난방도일의 비교

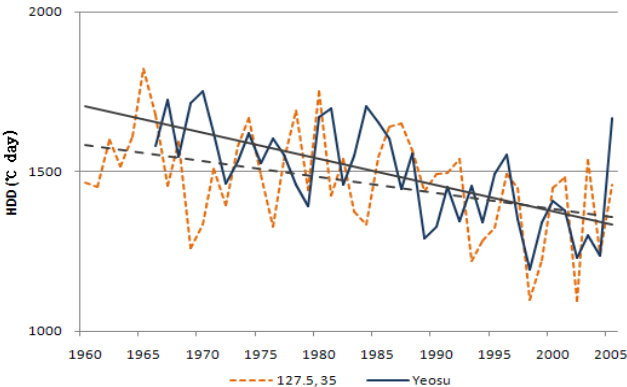


그림 12. 여수지역의 기상청데이터와 HadCm3의데이터 (127.5, 35)를 이용하여 산출한 난방도일 비교

그림 12는 여수지역의 기상청 데이터와 HadCM3의 E127.5, N35의 데이터의 난방도일의 비교 그래프이다. 실제 데이터와 HadCM3 데이터의 추세선이 유사함을 볼 수 있으며 1977년, 1988년, 2004년의 난방도일의 경우 20도일 이내의 차이만 보여주었다. 난방도일은 매우 비슷한 추세로 감소하는 결과를 보여주었으나 HadCM3의 데이터에 비해 실제 측정된 기상청의 데이터가 감소추세가 약간 더 급격하였음을 알 수 있다.

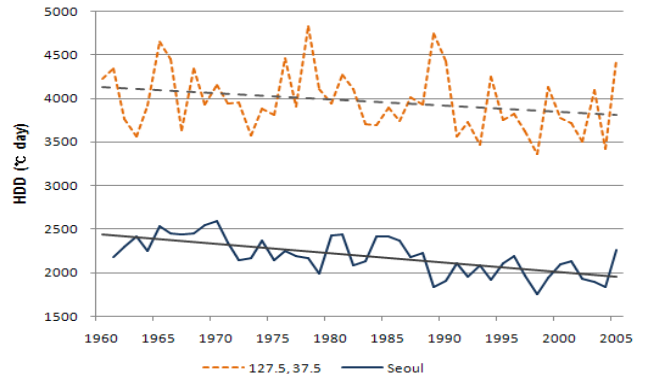


그림 13. 서울지역의 기상청데이터와 HadCm3데이터 (127.5, 37.5)를 이용하여 산출한 난방도일 비교

그림 13은 서울지역의 기상청 데이터와 HadCM3의 E127.5, N37.5의 데이터의 난방도일의 비교 그래프이다. 두 데이터로 산출한 난방도일의 추세선을 보면 비슷한 기울기로 감소하는 것을 보여준다. 그러나 HadCM3의 그래프가 기상청 데이터 그래프에 비하여 평균적으로 1500도일 정도가 더 많은 수준에 위치하고 있다는 것이다.

이러한 차이를 보이는 이유는 HadCM3의 값은 비도시 지역으로 HadCM3의 그리드박스가 위치한 N127.5, E37.5의 포인트는 부근이 산악으로 둘러싸인 분지지형 형태를 보이고 있지만, 서울의 경우 천만명의 인구가 생활하는 서울의 인공열과 인공시설물, 대기오염 등에 의해 서울지역의 기온이 상승한 열섬현상의 영향으로도 분석할 수 있다. 이러한 도시열섬현상은 특히 겨울철에 강하게 발생하므로 난방도일에서의 더욱 심각하게 나타난 것으로 보인다.

2) 냉방도일의 비교

그림 14는 여수지역의 기상청 데이터와 HadCM3의 E127.5, N35의 데이터의 냉방도일의 비교 그래프이다. 두 데이터는 평균 약 300도일 정도의 차이로 증가하는 추세를 보여 주면서 기상청 데이터와 HadCM3의 데이터간의 차이를 보여주고 있다.

그림 15는 서울지역의 기상청 데이터와 HadCM3의 E127.5, N37.5의 데이터를 이용한 냉방도일의 비교 그래프이다. 이 그래프의 두 데이터의 추세선을 통하여 유사한 추세로 냉방도일이 상승한다는 것을 보여준다. 기상청의 데이터로 산출한 냉방도일의 평균은 686도일로서 291도일의 평균을 보여주는 HadCM3의 데이터보다 약 400도일 가량 높게 나왔다.

실제측정 데이터와 HadCM3데이터로 산출한 냉난방도일을 비교한 결과 여수의 기상청데이터와 HadCM3의 E127.5, N35데이터의 난방도일을 제외한 나머지 비교는 적게는 약 300도일에서 많게는 약 1500도일의 차이를 보여주었다. 이러한 차이는 HadCM3가 제공하는 지점은 200km크기의 그리드를 기준으로 만든 것으로 전 지구적인 상황을 통합 및 국지적인 특성에 대한 고려가 부족하므로 그에 따른 열섬현상 등의 국부적인 반영이 적었음

을 알 수 있으며 0.5°크기의 그리드로 세밀화 된 기반의 기후데이터가 필요할 것으로 보인다. 그러나 변화추이와 지역특성 비교에는 유용한 것으로 사료되며 앞으로 HadCM3를 이용할 때 충분히 고려해야 할 사항으로 생각된다.

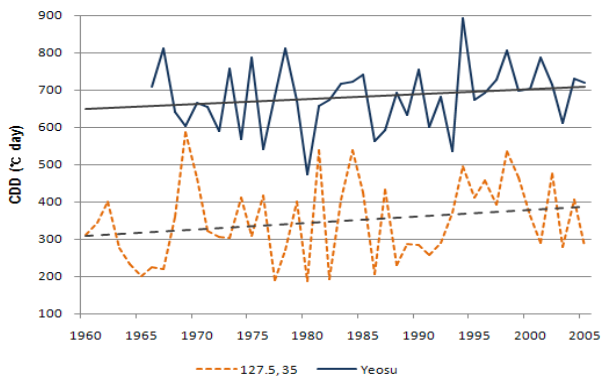


그림 14. 여수지역의 기상청데이터와 HadCm3데이터 (127.5, 35)를 이용하여 산출한 냉방도일의 비교

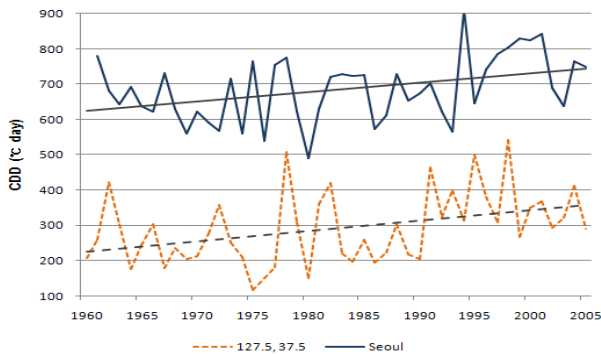


그림 15. 서울지역의 기상청데이터와 HadCm3데이터 (127.5, 37.5)를 이용하여 산출한 냉방도일의 비교

5. 결론

기상청에서 제공하는 데이터와 기후 시나리오 중 하나인 HadCM3 A2 시나리오를 이용하여 서울과 여수지역의 냉·난방 도일을 산출하여 비교해본 결과는 다음과 같다.

(1) 지난 1966년부터 2005년까지 40년간 난방도일(기준 온도 15°C)은 차츰 감소하는 추세를 보였으며 서울과 여수 두 지역 모두 특히 80년대와 90년대에 사이 난방부하의 감소량이 가장 컸음을 알 수 있었다.

(2) 같은 기간의 냉방도일(기준온도 18°C)은 70년대 이후 증가하는 추세를 보여주었으며 난방도일과 마찬가지로 80년대와 90년대 사이의 증가량이 가장 컸음을 알 수 있었다.

(3) 월별 냉난방도일의 분석 결과 서울지역의 경우 월별 난방도일의 비교에서 1966-1975년과 1976-1985년의 11월, 12월은 160도일의 증가와 3월과 4월은 약 170도일 가량 감소가 확인되었고 이는 해당기간 해당 월의 일평균기온이 10년 사이에 5°C정도의 떨어지고 오른 결과로 보여진다.

같은 기간 서울지역의 월별 냉방도일은 6월과 7월에

80~90도일이 증가 하였고 9월에는 116도일이 감소한 것으로 보아 여름철 냉방기간이 과거에 비해 많이 증가하고 있다는 것을 확인 할 수 있었다.

(4) 국내에서 실제로 측정된 기상청의 데이터와 기후 시나리오 중 하나인 HadCM3의 데이터(E127.5, N37.5, E127.5, N35)로 냉, 난방도일을 산출하여 비교해본 결과 여수지역의 난방도일은 두 데이터 모두 매우 유사한 형태를 보였으나 나머지 서울의 난방도일이나 두 지역의 냉방 도일은 서로 간에 적게는 300도일에서 많게는 1500도일의 차이를 보여주었는데 이는 HadCM3에서 지정하는 격자점과 본 연구에서 선정한 지역 간의 위, 경도 차이, 지형의 차이 및 인구밀도에 의한 열섬현상 등에 의한 차이로 생각되며 HadCM3의 이용 시 이러한 변수를 충분히 고려해야 할 것으로 보인다.

(5) 난방 도일의 감소와 냉방 도일의 증가추세를 바탕으로 지구온난화가 진행되고 있음을 기상청의 자료 및 기후시나리오를 통하여 확인 할 수 있었으며 앞으로의 난방도일의 감소 및 냉방 도일의 증가를 예측해 보고 건축물 냉난방 시스템의 성능 및 효율에 대한 후속 연구가 필요할 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-006-8888)

참고문헌

- H.C. Yoo et al, 「Climate Change Test Reference Years for South Korea」, 6th Meeting of the CIB W108-Climate Change and The Built Environment, 2007
- K.H. Lee, G.J.Levermore, 「Generation of typical weather data for future climate change for South Korea」, 6th Meeting of the CIB W108-Climate Change and The Built Environment, 2007
- 유호천 외, 「표준기상데이터 형식 분석 및 TRY 가중치 적용」, 한국태양에너지학회논문집, 27(4), pp.154-165, 2007
- 이관호, 「건물 및 재생에너지에 관한 미래의 기후변화 예측」, 한국태양에너지 학회논문집, 28(1), pp57-64, 2008
- 김지혜 외, 「기후 온난화의 영향에 의한 건물의 냉·난방에너지 수요량 예측」, 한국태양에너지학회 논문집, 26(3), pp.119-125, 2006
- M. Cristenson et al. 「Climate Warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland」, Energy Conversation and management, 47 pp.671-686, 2006
- A briefing from the Hadley Centre 「Climate change and the greenhouse effect」, 2005

투고(접수)일자: 2009년 6월 17일

심사일자: 2009년 6월 19일

게재확정일자: 2009년 8월 14일