한국의 미래 냉방도일과 난방도일 변화 전망

이경미¹ · 백희정² · 조천호³

¹국립기상연구소 기후연구과 · ²국립기상연구소 응용기상연구과 · ³국립기상연구소 예보연구과
(2014년 1월 29일 접수, 2014년 2월 14일 수정, 2014년 2월 19일 게재 확정)

Future Projection of Changes in Cooling and Heating Degree Days in Korea

Kyoungmi Lee¹ · Hee-Jeong Baek² · ChunHo Cho³

¹Climate Research Division, National Institute of Meteorological Research

²Applied Meteorology Research Division, National Institute of Meteorological Research

³Forecast Research Division, National Institute of Meteorological Research

(Received 29 January 2014, Revised 14 February 2014, Accepted 19 February 2014)

Abstract : The geographical distributions of CDDs and HDDs in South Korea for the period 2000–2009 with 2050–2059 are studied by using daily mean temperature data with 1 km horizontal resolution estimated by MK (Modified Korean)-PRISM (Parameter-elevation Regressions an Independent Slopes Model) driven by the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) RCP (Representative Concentration Pathways)2.6/8.5. The HDD amounts in winter season decrease, declining from north to south and from the high mountain area to the coastal area. In summer season, the higher fuel consumption appears in urban areas, with much higher CDD amounts and for a longer period of time. In the mid-century under RCP2.6 (RCP8.5), HDDs are projected to decrease by 13% (16%) while CDDs are likely to increase by 36% (51%). The total length of cooling (heating) period in Korea is projected to increase (decrease) due to the advance (delay) of the beginning date and the delay (advance) of the end date. These results suggest that special attention should be paid to space cooling, since the cooling demand is expected to grow rapidly in most regions except for mountainous areas. The projection of future CDDs and HDDs will be useful for various energy projects and other environmental applications.

Key Words : climate change, cooling degree days, heating degree days, energy

주요어 : 기후변화, 냉방도일, 난방도일, 에너지

1. 서론

산업혁명 이후 화석연료의 지속적인 사용으로

온실기체가 증가하면서 지난 100년(1906~2005)간 지구 평균기온은 0.74℃ 상승하였고, 이는 생태계뿐만 아니라 에너지, 산업, 보건 등 다양한

분야에 영향을 미치고 있다(IPCC, 2007). 반면에 에너지 부문에서 방출되는 온실기체는 스스로 기후변화의 주요 원인이 되기도 한다. 즉, 에너지 소비는 기후변화에 영향을 받으면서 동시에 영향을 미치므로 에너지 수요에 대한 정보는 기후변화 영향 평가 및 대응을 위해 매우 중요하다고 할 수 있다.

난방도일(Heating Degree Day, HDD)과 냉방도일(Cooling Degree Day, CDD)은 건물을 난방하거나 냉방하는 데 필요한 에너지 수요를 반영하기 위한 정량적인 지표이며, 많은 연구자들이 에너지 수요에 대한 기후변화의 영향을 평가하기 위해 이용하고 있다(Matzarakis and Balafoutis, 2004; Christenson *et al.*, 2006). 이 두 지표는 근본적으로 일 년 혹은 한 달 등 특정기간에 대해 기준온도(base temperature, T_b)와 외부 기온 사이의 온도 차의 합으로 구하며, 여기서 기준온도는 편안한 상태를 유지하기 위해 난방이나 냉방 시스템을 가동할 필요가 없는 기온으로 정의된다(Hekkenberg *et al.*, 2009). 기온이 기준온도보다 낮으면 난방이 필요하고 기준온도보다 높으면 냉방이 필요하게 되며, 평균적인 기온상승은 난방을 위한 에너지 수요를 감소시키는 반면에 냉방을 위한 에너지 수요는 증가시킬 것이다.

국내에서 난방도일과 냉방도일은 지역별 기후 특성 분석이나 에너지 수요 예측을 위한 지표로써 분석되고 있다(Lee, 1980; Choi, 2005; Kim and Suh, 2006; Cho *et al.*, 2010). Lee(1980)는 합리적인 에너지 정책을 수립하는 데 기초자료를 제공하기 위하여 18℃를 기준온도로 우리나라 주요 도시의 난방도일을 산출하였으며, 각 지역별 기상관측 시작부터 1970년대까지 평균 난방도일이 제주 지역을 제외하고 2000~3000의 범위에 있음을 보였다. Choi(2005)는 18℃와 26℃를 기준온도로 하여 난방도일과 냉방도일의 시공간 분포를 분석

한 결과 1973~2002년 동안 냉방도일은 뚜렷한 변화 경향이 나타나지 않지만 난방도일의 경우 모든 지점에서 뚜렷한 감소 경향이 나타났음을 보였으며 이는 최저기온의 급격한 상승에 기인한 것으로 판단하였다. Kim and Suh(2006)은 실내 발열을 고려한 평형점 온도 15℃와 미국냉동공조학회의 기준을 참고한 18℃를 각각 난방도일과 냉방도일의 기준온도로 설정하여 계산 후 기온상승으로 인한 우리나라 건물의 냉·난방에너지 수요량을 예측하였으며, Cho *et al.*(2010)은 난방도일의 기준온도를 18~24℃까지 다양하게 설정하여 우리나라 주요 도시의 난방도일을 산정하였다. 또한 Choi *et al.*(2013)은 전 지구 및 지역규모 기후 모의를 통한 한반도 지역에 대한 기온 전망(18km) 자료를 이용하여 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 4차 평가보고서에 사용한 SRES(Special Report on Emission Scenario) 기후 변화 시나리오를 기반으로 우리나라의 미래(2046~2055년, 2091~2100년) 냉·난방도일을 분석한 결과, 21세기 말 난방도일은 현재 대비 8~25% 감소하고 냉방도일은 242~1448%까지 증가할 것으로 전망하였다. 그러나 이들 연구들은 모두 냉·난방도일의 기준온도를 국외 연구를 참조하여 설정하거나 국내 전력소비의 특성을 반영하지 않는 일반적인 임계값을 사용하고 있다.

냉방도일과 난방도일의 기준온도는 본질적으로 그 지역의 기후와 건물 등에 대한 정보를 담고 있으며(Krese *et al.*, 2012), 그 값에 따라 냉·난방도일이 다르게 계산된다. 기준온도를 정의하는 방법은 다양하나 크게는 전력소비 자료와 기온 자료의 관계 분석을 통해 전력소비가 증가하는 시점의 온도를 찾거나 냉·난방도일을 여러 기준온도를 통해 구한 뒤 전력소비와 가장 최적의 직선 관계를 나타내는 기준온도를 선정하는 방법이 일반적이다(Krese *et al.*, 2012). 최근에 Lee *et al.*(2014)은

지역별 전력소비량과 평균기온의 관계 분석을 통해 우리나라에 적합한 냉·난방도일의 기준온도가 14.7~19.4℃의 범위에 있음을 보였다.

이 연구에서는 새로운 기준온도를 적용하여 우리나라의 냉방도일과 난방도일의 변화를 전망하고자 하였다. 이를 위해 IPCC 5차 평가보고서에서 사용하는 대표농도경로(Representative Concentration Pathways, RCP) 기반 상세 기후변화 시나리오 자료를 이용하여 현재 대비 21세기 중반의 냉·난방도일의 공간 분포 변화를 분석하였다.

2. 연구자료 및 방법

이 연구에서 사용한 주요 자료는 기상청에서 제공하는 1km의 상세 기후변화 시나리오 자료 중 일평균기온 자료이다. 고해상도 상세 기후변화 시나리오는 지역기후모델을 통해 생산된 한반도(12.5km) 기후변화 시나리오를 바탕으로 통계적 상세화 과정을 통해 생산되었다(Kim *et al.*, 2012; 2013). 이는 관측자료(2000~2010)를 PRIDE 모델(PRISM based Downscaling Estimation Model)에 적용하여 생산한 1km 해상도의 관측격자 자료인 기후값에 12.5km 한반도 시나리오 자료에서 각 격자점별로 계절 변동을 제거한 편차를 더함으로써 모델 계통오차를 제거한 1km 격자형 시나리오 자료이다. PRIDE 모델은 기후를 결정하는 데 중요한 역할을 하는 DEM(Digital Elevation Model) 고도, 거리, 지향면(topographic facet), 해양도(coastal proximity)의 영향을 고려하여 고해상도 격자 자료를 산출하는 PRISM(Parameter-elevation Regression on Independent Slopes Model)을 우리나라 1km 격자에 적합하게 수정한 모델이다.

IPCC는 5차 평가보고서를 위해 최근 온실가스

농도 변화를 반영한 RCP를 새로운 시나리오로 사용하고 있다(NIMR, 2011). RCP2.6은 온실가스 배출을 당장 적극적으로 감축하는 경우, RCP4.5는 온실가스 저감 정책이 상당히 실현되는 경우, RCP6.0은 온실가스 저감 정책이 어느 정도 실현되는 경우, RCP8.5는 현재 추세로 저감없이 온실가스가 배출되는 경우를 나타낸다. 이 연구에서는 RCP 4개 중 RCP2.6과 RCP8.5를 이용하여 온실가스 배출을 적극적으로 감축하는 경우와 저감 없이 현재 추세로 배출하는 경우에 대해 현재(2000~2009년) 대비 2050년대(2050~2059년)의 변화를 분석하였다.

에너지 소비와 기온의 관계를 가장 잘 설명할 수 있는 방법 중 하나가 도일(degree days)의 개념을 적용하는 것이다. 난방도일과 냉방도일은 각각 일평균기온이 특정 임계값(A threshold temperature, T_{base})보다 낮은지 혹은 높은지를 나타내며, 주어진 온도에서의 난방 혹은 냉방 요구량을 의미한다. 그러므로 주어진 기간에 대한 난방도일과 냉방도일의 총 합계는 각각 추위와 더위에 대한 지표이며, 비교적 단순한 방법으로 한 지역의 기후를 설명할 수 있다. 난방도일과 냉방도일의 값이 크다는 것은 난방과 냉방을 위해 더 많은 전력소비가 요구된다는 것을 의미한다.

$$HDD = \sum_{j=1}^N (T_{base} - T_{mean})^+ \quad \text{Eq. (1)}$$

$$CDD = \sum_{j=1}^N (T_{mean} - T_{base})^+ \quad \text{Eq. (2)}$$

여기서 T_{mean} 은 일평균기온, T_{base} 는 기준온도, N은 주어진 기간 동안의 날 수이며, “+”는 양의 값일 경우에만 합계를 구한다는 것을 나타낸다.

기온과 전력소비량의 관계는 Figure 1과 같이 V자 형태의 두 개의 선형 함수로 표현된다(Hekkenberg *et al.*, 2009). 여기서 난방과 냉방 요구량에 대한 함수의 기울기 값인 α , β 와 기온 임계값

Figure 1. Temperature dependence pattern on a degree day approach (α = regional dependence of energy demand on cold stress, β = regional dependence of heat stress, T_{base} = threshold temperature between heating demand and cooling demand).

은 지역에 따라 다르다. Lee *et al.* (2014)은 난방을 위한 에너지 소비에서 냉방을 위한 에너지 소비로 전환되는 시점의 기온 임계값을 냉·난방도일의 기준온도로 정의하고, 35개 지역별 월별 상업 및 가정 전력소비량을 종속변수, 월평균 평균기온을 독립변수로 하여 구간별 회귀분석(Piecewise regression)을 시행한 뒤 전력소비량이 전환되는 기온 임계값을 추정하였다. 그 결과 각 지역별 적합한 냉·난방도일의 기준온도는 14.7~19.4℃의 범위로 나타났으며, 이 연구에서는 이의 평균값인 16.9℃를 우리나라의 냉·난방도일 기준온도로 정의하였다.

3. 냉방도일 변화 전망

냉방도일의 공간 분포는 여름철 냉방을 위해 필요한 에너지 요구량의 지역적 차이를 보여준다. 냉방도일의 평균값은 대체로 내륙 도시지역 및 제주 해안지역에서 주변 지역에 비해 높게 나타

나며, 기온이 낮은 산지지역에서 냉방 수요가 가장 적게 요구된다(Figure 2). 먼저 2000년대 현재의 냉방도일 분포를 보면 우리나라 평균 냉방도일은 686.0도일이며, 경북 내륙 및 남동해안 일부 지역, 서귀포 등에서 1100도일 이상의 가장 높은 값을 보이고 태백산지 및 제주 고산 지역에서 200도일 이하의 가장 낮은 냉방도일이 나타난다. 기상관측지점 위치의 격자값을 통해 주요 지역별 냉방도일 값을 비교해 보면, 관측지점 중 가장 높은 냉방도일을 보이는 서귀포의 현재 냉방도일은 1188.9도일로 대관령 230.9도일보다 5배 더 큰 값이다. 이는 여름철에 서귀포에서 살고 있는 거주자가 대관령에서 살고 있는 주민과 유사한 열적 쾌적함을 즐기기 위해서는 냉방을 위한 연료를 약 5배 이상 더 소비해야 한다는 것을 의미한다.

2050년대의 냉방도일 분포를 보면 지역별 분포 특성은 현재와 유사하며, 2000년대에 비해 냉방도일이 증가할 것으로 전망된다. RCP2.6에 따른 21세기 중반 우리나라 평균 냉방도일은 936.2도일(현재의 약 1.4배)이며, RCP8.5에 의한 값은

1035.1도일(현재의 약 1.5배)이다. 온실가스 배출을 감축하기 위해 적극적으로 노력하더라도 2050년대에는 현재보다 평균적으로 1.4배 이상 냉방을 위한 연료 소비가 증가할 것으로 전망된다.

Figure 3은 주요 도시별 냉방도일 변화 전망을 나타낸다. 2000년대 냉방도일을 보면 서울(877.1도일)이 인천(829.3도일)보다, 대구(1075.9도일) 및 광주(1009.9도일)가 부산(892.7도일)보다 더 크며, 이는 대체로 해안지역보다 내륙지역에서

현재 냉방 요구량이 더 크다는 것을 보여준다. 2050년대에는 주요 도시별로 온실가스 배출 감축이 적극적으로 이루어지는 경우 현재보다 냉방도일이 약 290~340도일, 저감없이 현재 추세로 배출되는 경우에는 현재보다 약 410~480도일까지 증가할 것으로 전망된다.

그림으로 제시되지는 않았으나 2000년대 5월의 냉방도일 분포를 보면 대도시, 경북 내륙 및 남해안 일부 지역에서만 60도일 이상의 상대적으로

Figure 2. Spatial distribution of annual cooling degree days (°CDays) for observation (2000~2009), RCP2.6 (2050~2059) and RCP8.5 (2050~2059).

Figure 3. Annual cooling degree days (°CDays) for six cities under the RCP2.6 and RCP8.5 in the 2050s.

높은 값을 보인다. 이를 바탕으로 이 연구에서는 60도일을 냉방이 요구되기 시작하는 기준으로 정의하였으며, Figure 4와 Figure 5는 각각 냉방기간의 시작일과 종료일의 현재와 미래 분포를 나타낸다. 현재와 미래의 냉방기간 시작일의 분포를 나타낸 Figure 4를 보면 냉방 수요의 시작이 대체로

내륙에서 먼저 나타나고 있으며, 특히 대구를 중심으로 한 경북 내륙에서 가장 이른다. 2000년대 우리나라에서는 평균적으로 6월 13일부터 냉방이 필요한 것으로 나타난다. 내륙지역에서는 대체로 150~160 줄리안 데이(Julian days, JD), 즉 6월 초순에 냉방 수요가 나타나는 반면에 태백산지

Figure 4. The same as in Figure 2, except for start of cooling period (Julian days).

Figure 5. The same as in Figure 2, except for end of cooling period (Julian days).

및 남부산지, 제주도 고산지역 등 산지지역에서는 180JD 이후, 즉 6월 하순 이후에 냉방 수요가 나타나기 시작한다. 주요 도시별로는 2000년대에 서울은 152JD(6월 1일), 인천 159JD(6월 8일), 대구 140JD(5월 20일), 광주 148JD(5월 28일), 부산 158JD(6월 7일), 서귀포 147JD(5월 27일)부터 냉방이 필요한 것으로 나타난다.

2050년대의 경우 RCP2.6에 따르면 평균 냉방 기간의 시작일은 6월 3일로 2000년대 현재보다 평균 약 10일 앞당겨질 것으로 전망되며, RCP8.5에 따르면 5월 31일로 약 13일 앞당겨질 것으로 전망된다. RCP2.6에 의한 2050년대 주요 도시별 냉방기간 시작일은 서울 144JD(5월 24일), 인천 151JD(5월 31일), 대구 135JD(5월 15일), 광주 139JD(5월 19일), 부산 146JD(5월 26일), 서귀포 131JD(5월 11일) 등이다. 반면에 RCP8.5에 의한 주요 도시별 냉방기간 시작일은 서울 143JD(5월 23일), 인천 148JD(5월 28일), 대구 130JD(5월 10일), 광주 139JD(5월 19일), 부산 143JD(5월 23일), 서귀포 126JD(5월 6일) 등이며, 서귀포에서 냉방의 시작시기가 가장 많이 앞당겨질 것으로 전망된다.

냉방기간 종료일의 분포를 보면 대체로 산지지역에서부터 냉방 수요가 종료되며, 대도시 및 남해안, 제주도 해안 지역에서 가장 늦게까지 냉방이 요구된다(Figure 5). 2000년대 우리나라의 평균 냉방기간 종료일은 9월 7일이며, 대부분 산지지역에서는 240JD, 즉 8월 하순 이후에는 냉방이 필요하지 않으나 대도시 및 남해안의 경우 260JD, 제주도는 270JD, 즉 9월 중순부터 하순까지도 냉방의 수요가 지속되는 것으로 나타난다. 주요 도시별 2000년대 평균 냉방기간 종료일은 서울 261JD(9월 18일), 인천 263JD(9월 20일), 대구 264JD(9월 21일), 광주 265JD(9월 22일), 부산 273JD(9월 30일), 서귀포 285JD(10월 12일)이다.

21세기 중반에는 RCP2.6에 의하면 평균적으로 9월 15일에 냉방이 필요한 기간이 종료되어 냉방기간 종료일이 현재보다 평균 약 8일 늦어질 것으로 전망된다. 주요 도시별로 서울은 267JD(9월 24일), 인천은 270JD(9월 27일), 대구와 광주는 273JD(9월 30일), 부산은 282JD(10월 9일), 서귀포는 295JD(10월 22일)까지 냉방 수요가 지속될 것으로 전망된다. 반면에 RCP8.5에 따르면 2050년대에는 평균 9월 19일까지 냉방이 필요할 것으로 전망되며, 주요 도시별 평균 냉방기간 종료일은 서울 270JD(9월 27일), 인천 274JD(10월 1일), 대구와 광주 278JD(10월 5일), 부산 288JD(10월 15일), 서귀포 302JD(10월 29일)로 전망된다.

Figure 6은 냉방의 수요가 나타나기 시작하는 시기부터 종료될 때까지인 냉방기간의 분포를 나타낸 것으로 대체로 대도시 및 남해안 일부 지역과 제주 해안 지역에서 길고 산지지역에서는 짧다. 2000년대 우리나라의 평균 냉방기간은 약 88일이며, 기온이 낮은 산지지역에서는 냉방이 필요한 시기가 70일 미만이나 경북 내륙 및 남해안, 제주도 일부 지역은 110일 이상의 분포를 보인다. 현재 서울의 평균 냉방기간은 111일, 인천 106일, 대구 126일, 광주 119일, 부산 117일, 서귀포 140일이며, 중부내륙과 제주도 간에는 거의 한 달가량 냉방 수요 기간의 차이를 보인다.

기후변화에 따른 미래 냉방기간의 분포를 보면 RCP2.6에 의해서는 2050년대 평균 냉방기간이 약 106일, RCP8.5에 의하면 약 113일로 현재보다 냉방기간이 증가할 것이며, 온실가스 저감을 위한 노력이 없을 경우 적극적으로 노력하는 경우보다 약 일주일 정도 냉방기간이 길어질 것으로 전망된다. RCP2.6에 의한 21세기 중반 주요 도시별 냉방기간은 서울 125일, 인천 122일, 대구 140일, 광주 136일, 부산 138일, 서귀포 166일로 전망되며, RCP8.5에 의하면 서울 129일, 인천 128일,

Figure 6. The same as in Figure 2, except for total length of cooling period (days).

대구 150일, 광주 142일, 부산 148일, 서귀포 178일로 전망된다. 현재에는 일부 대도시, 남해안 및 제주 해안 지역에서만 110일 이상의 냉방기간을 보이고 있으나 2050년대에는 사람들이 많이 거주하는 대부분의 내륙 및 해안 지역에서 냉방 수요가 110일 이상 지속될 것으로 보이며, 온실가스를 저감 없이 현재 추세로 배출하는 경우에 더 많이 증가할 것으로 전망된다.

4. 난방도일 변화 전망

난방도일의 공간 분포를 보면 대체로 기온이 낮은 산지지역에서 난방을 위한 에너지 수요가 크며, 내륙에서 해안으로 갈수록, 중부지역에서 남해안 및 제주도 지역으로 갈수록 난방 수요가 작아진다(Figure 7). 2000년대의 난방도일 분포를 보면 현재 태백산지 및 남부산지와 한라산 등에서 3000도일 이상으로 난방 수요가 큰 반면에 제주도 및 남해안과 남부 대도시 지역 등에서는 2000

도일 미만으로 작으며, 평균 우리나라 난방도일은 2672.0도일이다. 대관령의 난방도일은 3738.4도일이며, 이는 서귀포 1095.3도일의 3배가 넘는 값이다. 이는 난방기간 동안 대관령의 거주자가 서귀포의 주민과 유사한 열적 편안함을 느끼기 위해서는 3배 이상의 연료 소비가 더 필요하다는 것을 의미한다. 2050년대 난방도일 분포를 보면 2000년대보다 전 지역에서 난방도일이 감소할 것으로 전망된다. 2050년대 우리나라 평균 난방도일은 RCP2.6 시나리오에 따르면 2315.1도일, RCP8.5에 의하면 2239.4도일로 난방을 위한 에너지 수요량이 현재보다 각각 약 13%, 16% 감소할 것으로 전망된다.

Figure 8은 주요 도시별 난방도일 변화 전망을 나타낸 것이다. 2000년대 현재 서울의 난방도일은 2442.7도일, 인천 2355.4도일, 대구 1916.0도일, 광주 1959.5도일, 부산 1600.4도일, 서귀포 1095.3도일이며, 대체로 중부지역에서 남부로 갈수록 난방도일이 감소하는 경향이다. RCP2.6과 RCP8.5에 따른 2050년대 주요 도시별 난방도일

은 현재보다 각각 290~380도일, 350~410도일 감소할 것으로 전망된다.

월별 난방도일 분포를 보면 그림으로 제시되지는 않았으나 9월의 경우 일부 산지를 제외하고 전국적으로 20도일 이하의 난방도일 분포를 보였으며, 10월에는 약 120도일을 기준으로 대부분의 산지와 내륙지역이 구분되었다. 따라서 이 연구에서는 120도일을 난방이 요구되기 시작하는 기준으로 정의하였으며, Figure 9와 Figure 10은 각각 이 기준을 적용하여 계산한 난방기간의 시작일

과 종료일의 현재와 미래 분포를 나타낸 것이다. 난방기간 시작일의 분포를 나타낸 Figure 9를 보면 대체로 같은 위도대의 경우 산지에서 해안지역으로 갈수록 난방 시작일이 늦으며, 위도가 높을수록 이른다. 2000년대 우리나라 난방 수요는 평균적으로 10월 31일 경에 시작된다. 산지지역에서는 약 280~300JD, 즉 10월 중순경부터 난방이 요구되는 반면에 제주 해안지역에서는 11월 말경부터 난방이 필요한 것으로 나타난다. 주요 도시별로는 2000년대에 서울은 312JD(11월 8일), 인

Figure 7. The same as in Figure 2, except for annual heating degree days (°C days).

Figure 8. The same as in Figure 3, except for annual heating degree days (°C days).

Figure 9. The same as in Figure 2, except for start of heating period (Julian days).

천은 316JD(11월 12일), 대구와 광주는 319JD(11월 15일), 부산은 327JD(11월 23일), 서귀포는 340JD(12월 6일)에 난방 수요가 시작된다.

2050년대의 우리나라 평균 난방 시작일은 RCP2.6과 RCP8.5에 따라 각각 310JD(11월 6일)과 314JD(11월 10일)로 2000년대 현재보다 약 6~10일 늦어질 것으로 전망된다. 현재에는 남해안 일부 지역 및 제주도에서만 난방 시작일이 11월 15일 이후로 늦게 나타나지만 RCP8.5에 의하면 2050년대에는 서울 및 대구 등 대도시와 대부분 해안지역에서 기온 상승으로 11월 15일 이후 난방이 필요하게 될 것으로 전망된다. RCP2.6에 의한 2050년대 주요 도시별 난방기간의 시작일은 서울 317JD(11월 13일), 인천 320JD(11월 16일), 대구 322JD(11월 18일), 광주 324JD(11월 20일), 부산 333JD(11월 29일), 서귀포 352JD(12월 18일) 등이며, RCP8.5에 의하면 서울 321JD(11월 17일), 인천 324JD(11월 20일), 대구 328JD(11월 24일), 광주 329JD(11월 25일), 부산 337JD(12월 3일), 서귀포 352JD(12월 18일) 등에 난방 수요가 시작

될 것으로 전망된다.

Figure 10은 현재와 미래 난방기간 종료일의 분포를 나타낸 것이다. 대체로 제주, 남해안과 남부 내륙지역 및 대도시 지역에서 난방 수요의 종료가 주변 지역에 비해서 이르며, 고도가 높아질수록 더 늦게까지 난방이 필요한 것으로 나타난다. 2000년대 우리나라 평균 난방기간 종료일은 104JD(4월 14일)이며, 서귀포와 남해안 일부 지역과 대구의 경우 4월부터는 난방이 필요하지 않은 반면에 대관령 등 산지지역에서는 5월까지도 난방이 요구된다. 주요 도시별 2000년대 평균 난방기간 종료일은 서울 96JD(4월 6일), 인천 100JD(4월 10일), 대구 86JD(3월 27일), 광주와 부산 90JD(3월 31일), 서귀포 76JD(3월 17일)이다.

RCP2.6에 의하면 2050년대에는 평균적으로 98JD(4월 8일)에 난방의 수요가 종료되어 2000년대보다 평균 약 5일 앞당겨질 것으로 전망된다. 주요 도시별로는 서울 91JD(4월 1일), 인천 92JD(4월 2일), 대구 81JD(3월 22일), 광주 85JD(3월 26일), 부산 82JD(3월 23일), 서귀포 72JD(3

Figure 10. The same as in Figure 2, except for end of heating period (Julian days).

Figure 11. The same as in Figure 2, except for total length of heating period (days).

월 13일)까지 난방이 필요할 것으로 전망된다. RCP8.5에 의한 2050년대 평균 난방기간 종료일은 95JD(4월 5일)이며, 2000년대보다 평균 약 8일 앞당겨질 것으로 전망된다. 주요 도시별 평균 난방기간 종료일은 서울 88JD(3월 29일), 인천 90JD(3월 31일), 대구 77JD(3월 18일), 광주

83JD(3월 24일), 부산 79JD(3월 20일), 서귀포 67JD(3월 8일)이다.

난방기간의 시작일은 늦어지는 반면 종료일은 앞당겨지면서 총 난방기간은 감소할 것으로 전망된다(Figure 11). 2000년대 우리나라 평균 난방기간은 약 166일이며, 제주도, 남해안 및 대도시 지

역의 경우 140일 미만인 반면에 산지지역에서는 200일 이상의 분포를 보인다. 2000년대 주요 도시별 평균 냉방기간은 서울과 인천 151일, 대구 134일, 광주 138일, 부산 130일, 서귀포 103일 등으로 중부내륙과 제주도 간에 난방 수요 기간이 거의 한 달의 차이를 보인다.

RCP2.6과 RCP8.5에 의한 2050년대 우리나라 평균 난방기간은 각각 155일과 148일로 저감 없이 현재 추세로 온실가스를 배출할 경우 적극적으로 노력했을 경우보다 약 일주일 난방 수요 기간이 짧을 것으로 전망된다. RCP2.6에 의한 2050년대 중반 주요 도시별 난방기간은 서울 141일, 인천 139일, 대구 126일, 광주 128일, 부산 116일, 서귀포 87일로 전망되며, RCP8.5에 의하면 서울은 135일, 인천 132일, 대구 116일, 광주 121일, 부산 108일, 서귀포 82일 동안 난방이 필요할 것으로 전망된다.

5. 요약 및 결론

난방도일과 냉방도일은 지역의 에너지 수요량과 관련된 유용한 지표이다. 이 연구에서는 전력 소비량과 평균기온의 관계를 바탕으로 정의된 새로운 냉·난방도일의 기준온도를 적용하여 2000년대 대비 2050년대의 우리나라 냉방도일과 난방도일의 변화를 전망하였으며, 월별 냉·난방도일의 특성을 기반으로 냉·난방의 시작일과 종료일 및 기간 등의 변화도 분석하였다. 1km 상세 기후 변화 시나리오 자료를 이용하여 온실가스 배출을 적극적으로 감축하는 경우(RCP2.6)와 저감 없이 현재 추세로 배출하는 경우(RCP8.5)의 냉방도일과 난방도일 변화를 전망한 결과는 다음과 같다.

겨울철 난방도일은 위도 및 고도에 따른 기온 분포가 반영되어 산지에서 난방을 위한 에너지 수

요가 크고 남해안 및 제주도 지역으로 갈수록 작다. 반면에 여름철 냉방도일은 지형 외에도 도시화의 영향이 더 반영되어 도시 지역에서의 에너지 수요가 크다. 미래 냉·난방도일 전망 결과, RCP2.6(RCP8.5)에 의하면 현재 대비 2050년대에 난방을 위한 에너지 수요량은 약 13%(16%) 감소하고 냉방을 위한 에너지 수요량은 약 36%(51%) 증가할 것으로 전망된다. 우리나라 냉방 수요의 시작은 RCP2.6(RCP8.5)에 따라 평균적으로 10일(13일) 앞당겨지고 종료는 8일(12일) 늦어지면서 결과적으로 냉방기간은 18일(25일) 더 증가할 것으로 전망된다. 한편 RCP2.6(RCP8.5)에 따른 난방 에너지 수요의 경우 시작은 6일(10일) 늦어지고 종료는 5일(8일) 앞당겨지면서 난방기간은 11일(18일) 감소할 것으로 전망된다.

이 연구에서는 고해상도 기온 전망 자료를 이용하여 기후변화로 인해 미래 우리나라 난방에너지의 수요는 감소하고 냉방을 위한 에너지 수요는 증가할 것임을 확인할 수 있었다. 특히 대도시 지역을 중심으로 여름철 전력소비가 더 클 것으로 전망되므로 향후 도시 규모가 커짐에 따라 여름철 전력 관리가 더욱 중요할 것이다. 기후변화에 따른 우리나라 냉·난방도일 및 그 기간의 변화에 대한 정보는 향후 다양한 에너지 및 관련 환경 분야의 관리나 정책 마련 시 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

사사

이 연구는 국립기상연구소 주요 사업인 “NIMR-2012-B-2(기후변화 예측기술 지원 및 활용연구)”의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Cho, S. H., Kim, S. S., and Choi, C. Y., 2010, Study on the revision of HDD for 15 main cities of Korea, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 22, 436-441 (in Korean).
- Choi, J. Y., Song, C. K., Kim, D. R., Hong, S. C., Hong, Y. D., and Lee, J. B., 2013, Projection of future heating and cooling degree days over South Korea under the IPCC SRES Scenarios: An experiment with CCSM3 and MM5 models, *Climate Change Research*, 4(2), 141-158 (in Korean).
- Choi, Y., 2005, Temporal and spatial variability of heating and cooling degree days in South Korea, 1973-2002, *Journal of the Korean Geographical Society*, 40(5), 584-593.
- Christenson, M., Manz, H., and Gyalistras, D., 2006, Climate warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland, *Energy Conversion and Management*, 47, 671-686.
- Hekkenberg, M., Moll, H. C., and Schoot Uiterkamp, A. J. M., 2009, Dynamic temperature dependence patterns in future energy demand models in the context of climate change, *Energy*, 34, 1797-1806.
- IPCC, 2007, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, 996pp.
- Kim, J.-H. and Suh, S.-J., 2006, The demand expectation of heating & cooling energy in building according to climate warming, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, 26(3), 119-125 (in Korean).
- Kim, M.-K., Han, M.-S., Jang, D.-H., Baek, S.-G., Lee, W.-S., Kim, Y.-H., and Kim, S., 2012, Production technique of observation grid data of 1 km resolution, *Journal of Climate Research*, 7(1), 55-68 (in Korean).
- Kim, M.-K., Lee, D.-H., and Kim, J., 2013, Production and validation of daily grid data with 1 km resolution in South Korea, *Journal of Climate Research*, 8(1), 13-25 (in Korean).
- Krese, G., Prek, M., and Butala, V., 2012, Analysis of building electric energy consumption data using an improved cooling degree day method, *Journal of Mechanical Engineering*, 58, 107-114.
- Lee, H.-Y., 1980, Heating degree-day in major cities of Korea, *Geography*, 22, 10-22 (in Korean).
- Lee, K., Baek, H., and Cho, C., 2014, The estimation of base temperature for heating and cooling degree-days for South Korea, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 53, 300-309.
- Matzarakis, A. and Balaoutis, C., 2004, Heating degree-days over Greece as an index of energy consumption, *International Journal of Climatology*, 24, 1817-1828.
- NIMR, 2011, *National report on climate change 2011*, National Institute of Meteorological Research (in Korean).