

대한민국 40년간의 기온변동추이와 표준기상데이터 비교분석

유호천*, 강현구 **

*울산대학교 건축학부 교수 **울산대학교 건축학부 대학원

Comparative Analysis of Temperature Change Trend and Standard Meteorological Data in Korea over 40 Years

Yoo, Ho-Chun*, Kang, Hyun-Gu**

*School of Architecture, University of Ulsan, **School of Architecture Graduate School, University of Ulsan, Korea

Abstract

Extreme weather events and the contamination of global environments caused by global warming are becoming severe. A lot of computer simulations for use in evaluating the function of building energy to reduce energy consumption in a building are being developed and supplied. It is essential to use standard meteorological data of each region for the evaluation of building energy using such computer simulations. This study analyzed the temperature trend over the 40 years (1996-2005) since the nation began the weather forecast and conducted comparative analysis on some kinds of standard meteorological data currently being used. As for the nation's climatic change over the 40 years, its average temperature had risen about 1.7°C, and the number of cooling degree days had increased about 25 while that of heating degree days had decreased about 40. As a result of analyzing the 4 kinds of standard meteorological data currently being used, it was confirmed that there is a difference between the value of meteorological data for DOE being used unofficially and the other 3 values, and the remaining 2 data which was prepared based on Korea Meteorological Administration showed a value similar to that of standard meteorological data provided by Korea Solar Energy Society. It is pointed out as a problem that the meteorological data for DOE, the unofficial data currently being used, showed a distribution of temperatures lower than other meteorological data and the omission of the amount of solar radiation.

키 워 드 : 지구온난화, 표준기상데이터, 건구온도, 일사량

Keywords : global warming, standard meteorological data, drybulb temperature, solar radiation

1. 서 론

최근 국제사회에서 무분별한 개발과 성장에 의한 환경 오염으로 지구환경 및 인류사회에 크고 작은 문제점들이 발생하고 있다. 그 중 가장 큰 문제로 대두되고 있는 것이 기후변화이다. 기상청의 보고에 의하면 19세기 후반 이후 전 지구 평균기온은 $0.6 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 상승하였다. 그리고 그 대부분은 1910년~1945년, 1976년~2000년에 발생하였다. 계절적으로 볼 때 겨울이 짧아지고 여름철이 길어지는 경향을 보이고 있으며, 폭설과 가뭄, 국지성 호우, 황사, 삼한사온의 변화 등에 의해 생태적 피해까지

나타나고 있다. 이는 경제, 사회, 산업, 문화 전 분야에 영향을 미친다.

기후에 큰 영향을 미치는 건축분야의 경우 건축물이 소비하는 에너지를 예측하고, 에너지를 절약할 수 있는 친환경 설계에 관한 연구 및 건물에너지 성능평가용 시뮬레이션이 개발되어 보급되고 있다.

국내의 경우는 건물에너지 분석용 시간별 표준기상데이터가 몇 개의 지역만으로 한정되어 있어 전 지역에 대한 지역별 표준기상데이터의 정립이 요구되고 있다. 이로 인하여 기상조건이 건물에 미치는 영향과 기간에너지 소비량 등의 평가를 상호 비교 검토하는데 여러 가지 어려움이 따르고 있으며, 기상데이터의 출처 및 시뮬레이션 신뢰성 문제가 대두될 때 마다 자주 논란거리가 되고 있다.

본 연구는 1966년부터 2005년까지 기상청에서 측정

교신저자

성명 : 유호천

전화 : +82-52-259-2274

E-mail : hcyoo@mail.ulsan.ac.kr

접수일 : 2010년 05월 27일

채택일 : 2010년 06월 25일

된 40년간의 온도변화 특성에 대해 분석하고, 기 발표된 여러 표준기상데이터 비교를 위해 1986년부터 2005년까지의 기상청에서 측정된 데이터로 작성한 한국태양에너지학회에서 작성한 표준기상데이터와 ASHRAE 제공 IWECC 자료, TRANSYS에서 제공하는 TMY2 자료 그리고 2000년대 초 까지 사용 되던 비공인 기상 자료인 DOE용을 비교 분석하였다.

2. 연구동향 및 연구방법

국내에서 기후변화에 대한 연구를 정리하면 다음 표 1과 같다. 기후변화에 관한 연구는 주로 1990년대 후반부터 진행되어져 왔다. 국내 표준기상데이터의 연구는 1984년 김두천의 동적 열부하계산용 서울의 표준기상데이터」를 시초로 일본 공기조화·위생공학회가 제안한 HASP /ACLD-8001의 입력양식에 관한 연구를 시작하였고 1989년 김효경 등은 국내지역을 대상으로 표준기상데이터의 통계지역을 확대하였다[1]. 그러나 대한설비공학회는 더 이상의 기상데이터를 제공하지 못하고 2009년에 이르러 지난 20년간의 기상데이터를 기반으로 한국태양에너지학회에서 ISO TRY기반으로 11개 지역의 표준기상데이터를 제공하고 있다.

표 1. 국내의 기후관련 연구동향

연도	저자	주제
1984	김두천	동적 열부하계산용 서울의 표준기상데이터
1989	김효경 외	국내 표준기상자료
1996	김두천 외	건물의 공조부하계산용 표준전산 프로그램 개발 및 기상자료의 표준화 연구
2003	윤종호	건물에너지 성능평가를 위한 표준기상자료의 국내의 현황
2006	최원기 외	TRANSYS 제공 우리나라 TMY2자료의 신뢰성 평가
2007	김환용 외	냉·난방 부하계산을 위한 전국 17개 도시의 표준기상데이터 및 TAC 맵 작성
2007	유호천외	건물에너지 성능평가용 서울 울산 표준기상데이터에 관한 연구
2008	유호천외	서울지역의 표준기상데이터 산출방법론 비교
2009	유호천 외	대한민국의 지역별 표준기상데이터 비교 분석

위의 4종류의 표준기상데이터(ISO TRY, IWECC, TMY2, 비공인자료인 DOE용)를 사용하였으며 여러 기

상요소 중 건구온도와 일사량데이터를 기상데이터 별로 누적분포함수(CDF)와 MBE(Mean Bias Error), RMSE(Root Mean Squares for Error), t-Statistic 을 이용하여 검토하였다.

4종류의 표준기상데이터 중 DOE용으로 사용되고 있는 기상데이터는 대한설비공학회에서 90년대에 제공하였으나 여러 가지 이유로 현재는 기상데이터의 제공을 철회하고 있어 여러 연구자들이 비공인자료로 사용되고 있다.

현재 기상청에서는 울산의 일사데이터는 측정하지 않고 있기 때문에 ISO TRY의 경우 운량을 이용하여 산출된 일사데이터를 사용하였다.

다음의 표 2는 기상데이터 종류와 요소의 유무를 나타낸 것이다.

표 35. 기상데이터 종류별 요소

지역	데이터	ISO TRY	IWECC	TMY2	비공인 자료
인천	건구온도	○	○	○	○
	일사량	○	○	○	×
광주	건구온도	○	○	○	○
	일사량	○	○	○	×
강릉	건구온도	○	○	○	×
	일사량	○	○	○	×
울산	건구온도	○	○	○	×
	일사량	●	○	○	×

ISO TRY : DOE, VE 등 기초자료 TMY2 : TRANSYS
 IWECC : Energy-plus, esp-r 비공인자료 : 2000년 이전 자료
 ○ : 데이터 유 × : 데이터 무
 ● : 운량을 이용한 산출된 데이터

3. 대한민국의 40년간 기온변화 추이

기후변화는 복잡한 현상이기 때문에 이를 과학적으로 입증할만한 구체적 증거는 많지 않다. 대부분의 국제 과학 기구들은 대기 중 인간에 의해 만들어진 가스의 축적이 궁극적으로는 지구의 표면온도를 상승시키고 기후를 심각하게 변화시킨다고 한다. IPCC의 배출 시나리오를 따랐을 경우 이산화탄소가 두 배로 증가하면 한반도 기온은 1.0 ~ 4.0℃ 범위로 상승하여 기온변화의 최 적 값은 2.0℃를 넘게 되며, 21세기 중반에는 뚜렷한 기온변화가 나타날 것임을 보였다. 또한 관측 자료에서

는 1974년부터 97년까지 24년간 연평균기온이 0.96℃ 상승하였다.

기온상승으로 인하여 열대야 및 서리일수도 기상환경 변화에 영향을 미쳤다. 열대야는 여름철 최저기온인 25℃ 이상 되는 열대와 같은 밤이 나타나는 현상으로 1990년대 후반으로 갈수록 열대야 일수가 한 달 넘게 나타나는 경우가 나타났으며 이로 인해 불쾌지수 증가와 수면의 어려움으로 여름철 생활환경의 악화를 보였다. 서리일수의 경우 처음 나타나는 날이 늦어지는 것보다 마지막 서리가 나타나는 날이 점점 빨라지면서 190일 정도에서 150일 정도로 서리일수가 한 달 이상 앞당겨졌다.

강수량 역시 증가경향을 보였으며 1970년대 이후 장마의 형태가 변하면서 장마이후의 집중호우가 증가하고 특히 6월에서 9월의 여름계절에 강수량 변동성이 커졌음을 보인 연구결과들이 있다[2].

3.1 기온변화

그림 1은 기상청에서 제공한 우리나라의 7개의 광역시를 중심으로 1966년부터 2005년까지의 40년간의 평균 건구온도를 나타낸 것이다.

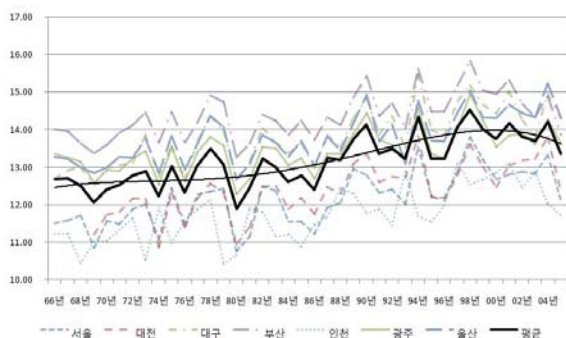


그림 44. 40년간 평균 건구온도 그래프

그래프 및 추세선의 분석 결과 건구온도가 오르는 것을 알 수가 있으며 지난 40년간 평균기온은 약 1.7℃ 상승하였으며 1980년 이후에 기온이 가파르게 오르는 것을 알 수 있다. 이 변화는 7개의 지역 모두 유사하게 나타났다.

3.2 냉난방도일 변화

기온의 상승으로 인하여 인간의 생활환경 변화도 바뀌었다. 본연구에서 사용한 냉난방도일은 기준온도 18℃와 26℃의 기온에서 그날의 일평균기온을 뺀 값을 일정

기간 적산시킨 값이며, 여름철 및 겨울철 냉난방기간 중 냉난방설계 및 에너지 수급정책 결정시 사용하게 된다.

그림 2, 3에서와 같이 냉방도일의 상승에 비해서 난방도일의 감소가 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 냉방일수는 지난 40년간 약 25일정도 증가한 반면 난방일수는 40일 정도 감소한 것을 알 수 있었다. 이것은 여름철보다 겨울철의 기온상승이 반영된 것으로 판단된다.

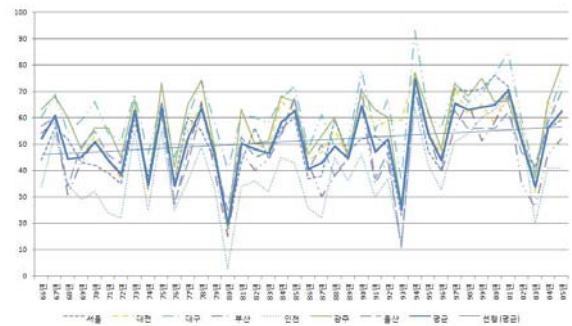


그림 45. 냉방도일(CDD)의 변화(66~05년)

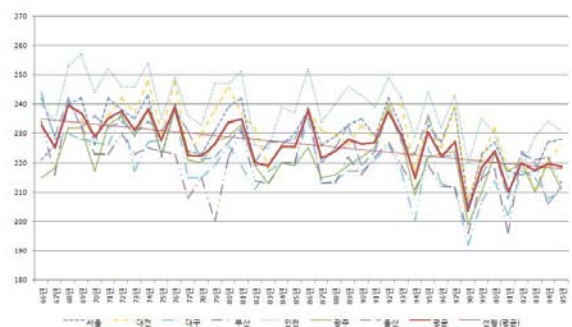


그림 46. 난방도일(HDD)의 변화(66~05년)

4. 기발표된 표준기상데이터의 비교

4.1 표준기상데이터 출처

여러 종류의 표준기상데이터의 값을 서로 비교하기 위해 몇 종류의 표준기상데이터를 선정하였다. 그 첫째는 1986년부터 2005년까지의 기상청의 20년 자료를 TRY(Test reference year)기반으로 만든 한국태양에너지 학회 제공 표준기상데이터이다. 둘째는 미국 에너지 지국(U.S. Department of Energy)의 주관으로 개발된 Energy plus 프로그램에 사용되는 표준기상데이터(IWEC), 셋째는 TRNSYS에서 제공하고 있는 표준기상데이터(TMY2), 그리고 넷째는 2000년대 초까지 사용되어온 비공인자료 DOE용 표준기상데이터를 비교 대상으로 하였다.

미국 에너지국에서 제공 되고 있는 기상데이터는 인천, 강릉, 광주, 울산 4개의 지역이며 4지역 모두 IWEC (International Weather for Energy Calculations)를 기반으로 만든 데이터이다.

TRNSYS에서 제공 되고 있는 기상데이터는 TMY2 기반으로 만들어진 데이터이며, 비공인자료인 DOE용 기상데이터는 1992년 김두천님의 자료를 근간으로 대한설비공학회에서 작성한 기상데이터를 수정 보완하여 실무에서 사용하고 있는 기상데이터이다.

4.1.1 ISO TRY

국제기준인 prEN ISO15927-4[3]는 냉난방 장치의 연간 에너지 요구량을 평가하기 위한 표준 방법(ISO TRY)을 1970년 중반 NCDC(미국 국립기상데이터 센터)에 의해 제안 되었다. 장기간의 기상관측 기록으로부터 기준 연도의 구성을 위한 방법을 규정하고 있으며, 이 방법은 덴마크식 선택법을 기초로 하고 있다. 시뮬레이션 프로그램에 직접 사용될 기상자료파일을 구성하는 기상요소는 건구온도, 법선면 직달일사량, 수평면 확산일사량, 절대습도, 상대습도, 노점온도, 수증기압, 풍속 등이 있다.

4.1.2 IWEC

미국 냉난방공조학회(American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, ASHRAE)가 미국국립기상센터(the National Climatic Data Center, Asheville, NC)의 자료를 이용하여 에너지 계산을 위한 국제 기상년 개발 프로젝트로 수행하였다. 이 프로젝트를 통한 자료는 2001년 3월에 완성되어 북미를 포함한 세계 70개국의 227지역의 대표 기상년의 실시간 데이터를 포함하고 있다. 건구온도와 일사에 가중치가 편중되어 태양과 관련된 에너지 분석에는 효과 적이지만, 다른 기상요소들의 변수들은 보증할 수 가 없기 때문에 풍력과 같은 재생에너지 성능예측을 위한 시뮬레이션 프로그램에 적용하는 것은 정확한 결과 값을 예측 할 수 없다.

4.1.3 TMY2

TMY2의 표준기상데이터는 30년간의 데이터를 통해 각각의 대표월을 찾아 12개월을 조합하여 상정한다. 대표월의 선택은 TMY에서 사용된 Sandia 방법이 적용된다. 통계 처리 될 기상요소로는 TMY의 경우 최대, 최소,

평균 건구온도와 노점온도, 최대, 평균 풍속, 수평면전일사량의 총 9개의 기상항목이며, TMY2는 TMY의 기상항목에 법선면 직달일사량을 추가한 10개의 기상항목이다.

4.2 기상데이터 비교

4.2.1 누적분포함수(CFD)를 이용한 데이터 비교

분석을 위해 20년간(86-05년)의 데이터를 함수로 나타내기 위해 총 통계기간의 모든 값을 오름차순으로 정리한 후 CFD 함수식을 이용하여 장기 누적 분포함수를 계산하였다[3][4].

$$\Phi(p, m, i) = \frac{K(i)}{N+1} \quad (1)$$

여기서, $K(i)$: 총 통계기간 데이터의 일평균 i 값 순위
 N : 총 통계기간의 데이터의 일수

총 통계기간의 데이터를 실측된 일사와 산출된 일사의 데이터의 비교를 위해 표준기상데이터의 일사량 값을 오름차순으로 정리한 후 단기 누적분포함수를 계산하였다.

$$F(p, y, m, i) = \frac{J(i)}{n+1} \quad (2)$$

여기서, $J(i)$: 기상데이터의 일평균 i 값 순위
 n : 기상데이터의 일수

기상청에서 측정된 20년간의 장기누적분포함수와 각 기상데이터의 1년간의 단기누적분포함수를 이용하여 계산되어진 건구온도 데이터와 일사량 데이터의 그래프는 다음 그림 4와 그림 5와 같이 나타난다.

건구온도의 누적분포함수(CDF)경우 데이터의 단기누적 분포함수가 실제 기상청에서 측정된 20년간의 장기누적 분포함수에 근접함을 보였으며 4지역 모두 경우 세 개의 데이터 모두 장기분포함수에 아주 근접한 모습을 보여주고 있다. 반면 인천, 광주의 DOE에 제공되는 기상데이터는 나머지 3개 데이터보다 낮은 분포가 나타나는 것을 알 수 있다.

일사량의 누적분포함수(CDF) 경우 약간식의 오차는 있으나 3개 데이터 모두 20년간의 장기누적 분포함수에 근접함을 보였다. 운량을 이용하여 산출된 일사를 사용한 울산의 경우에는 다른 지역들 보다 데이터들 간의

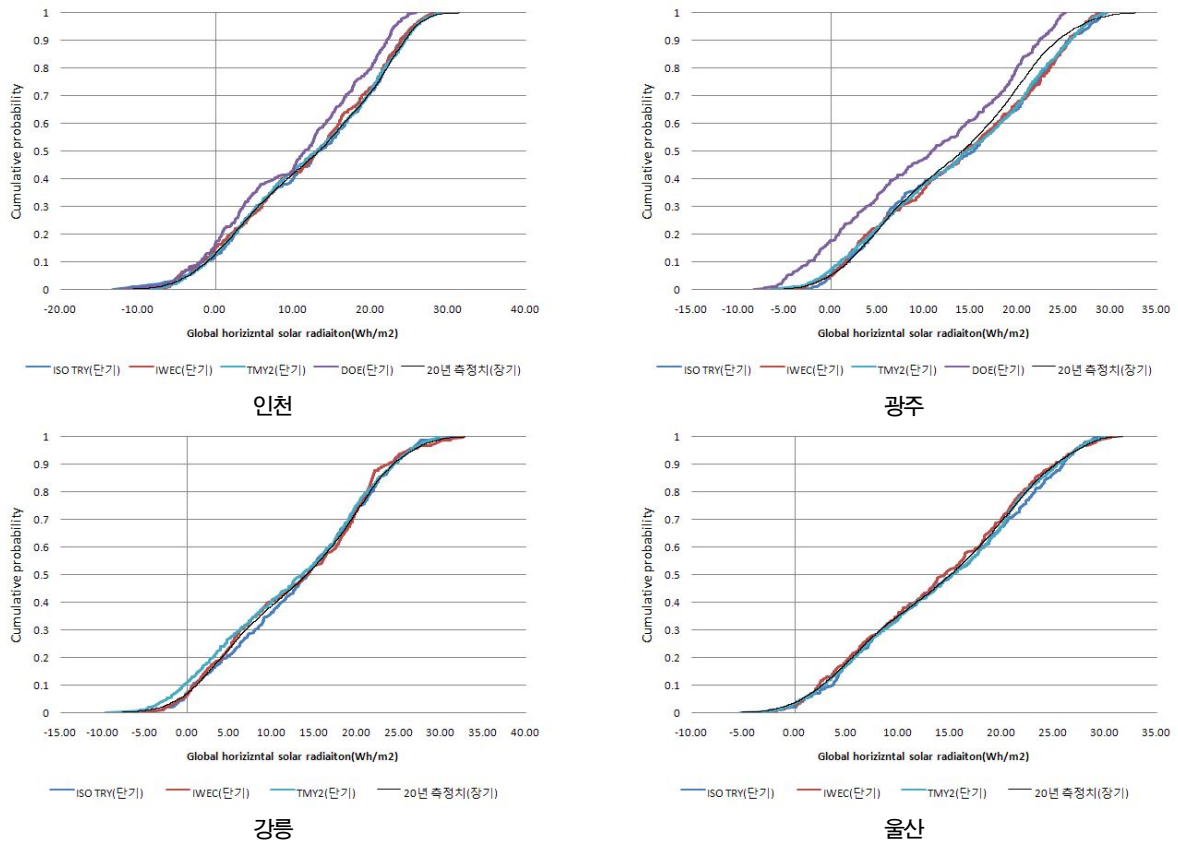


그림 4. 기상데이터별 건구온도 CDF 비교

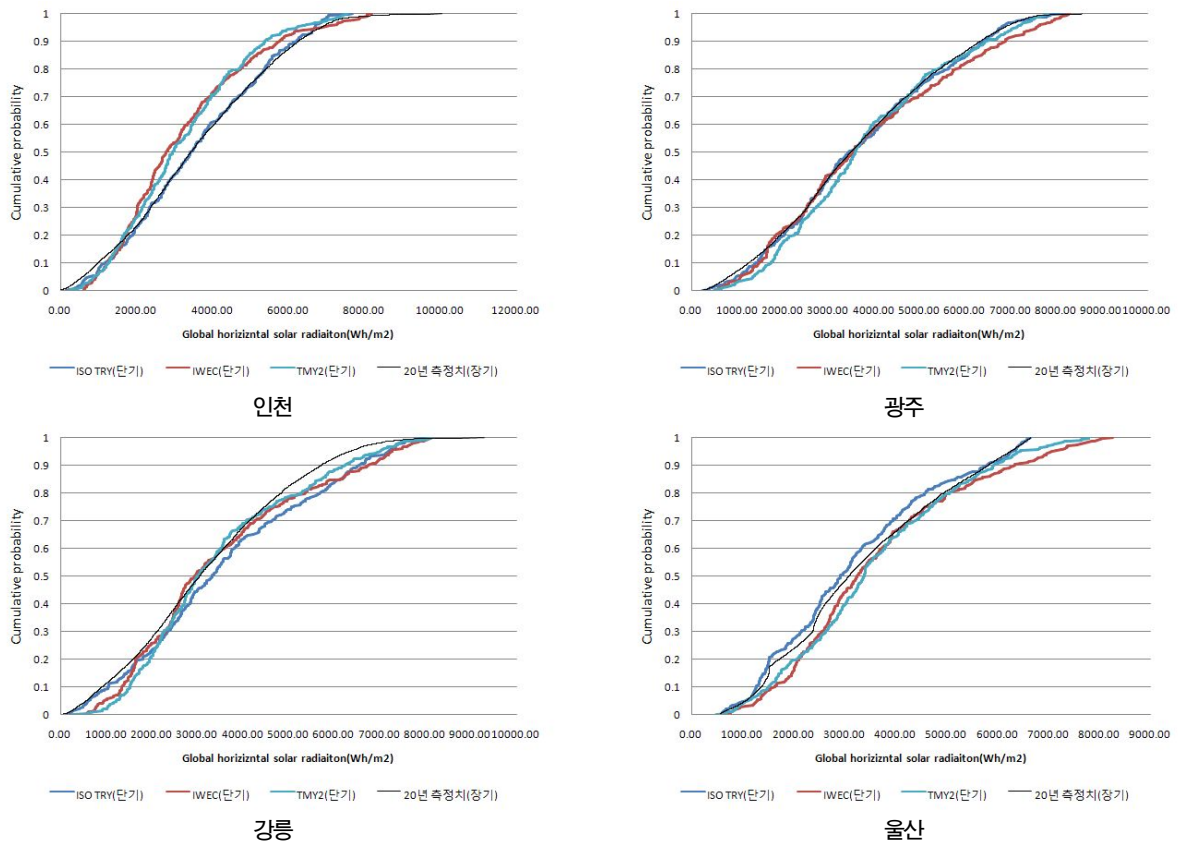


그림 5. 기상데이터별 일사량 CDF 비교

분포의 차이가 나타나는 것을 알 수 있다.

4.2.2. MBE, RMSE, t-Statistic통한 비교

정확한 비교를 위해 MBE(Mean Bias Error), RMSE (Root Mean Squares for Error), t-Statistic을 이용하여 검토하였다[6].

MBE는 계산되어진 데이터와 측정된 실제 데이터 간의 편차를 비교하기 위해서 상관관계의 장기 성능에 관한 정보를 제공하고 있다. 따라서 장기적인 데이터를 비교하기엔 적합할 것으로 판단되며 가상 이상적인 값은 0이다.

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (H_{pred,i} - H_{obs,i})}{n} \quad (3)$$

여기서,

$H_{pred,i}$: 측정되거나 계산되어진 기상데이터의
i번째 값
 $H_{obs,i}$: 20년치 평균 기상데이터의 i번째 값
n : 데이터의 양

RMSE는 오차 제곱의 평균의 제곱근으로 나타낸다. 이는 예측모형을 선택하거나 비교할 때 판단의 기준으로 사용되어지며 RMSE의 값이 최소가 되는 0이 되는 모형을 최적의 예측모형으로 선택되어진다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_{pred,i} - H_{obs,i})^2}{n}} \quad (4)$$

여기서,

$H_{pred,i}$: 측정되거나 계산되어진 기상데이터의
i번째 값
 $H_{obs,i}$: 20년치 평균 기상데이터의 i번째 값
n : 데이터의 양

t-Statistic는 실측치와 예측치의 효율적 오차분석을 위한 것으로 t값이 작을수록 적합 성능의 우수함을 나타낸다. t-Statistic 계산식은 기존 MBE와 RMSE를 동시에 포함하기 때문에 각각 계산 시 무시되었던 결과의 흠여짐 정도도 고려할 수 있는 장점이 있다.

$$t = \sqrt{\frac{(n-1)MBE^2}{RMSE^2 - MBE^2}} \quad (5)$$

여기서, n : 데이터의 양

다음의 표 3, 4는 4지역을 표준기상데이터 종류별로 건구온도와 일사량 데이터를 MBE, RMSE 그리고 t-Statistic의 t값을 나타낸 것이다.

건구온도의 경우 MBE는 4지역 모두 DOE용으로 제공되는 데이터를 제외한 모든 데이터가 0에 근사한 값을 보이며 기상청에서 측정된 값과 유사한 값을 나타내었다. RMSE 역시 DOE용으로 제공되는 데이터를 제외한 모든 데이터가 모두 비슷한 분포를 나타나는 것을 알 수 있다. t-Statistic의 t값의 경우 0~4의 값을 나타내었으나 DOE용으로 제공되는 데이터의 경우 12~14의 값으로 매우 큰 오차를 나타나는 것을 알 수 있다.

표 3. 건구온도 데이터 비교

지역	데이터	MSE	RMSE	t - statistic
인천	ISO TRY	-0.079	2.839	0.529
	IWEC	-0.363	2.639	2.646
	TMY2	-0.110	2.809	0.746
	DOE	-1.962	3.510	12.858
광주	ISO TRY	0.653	2.829	4.529
	IWEC	0.570	2.779	4.000
	TMY2	0.458	3.118	2.834
	DOE	-2.964	4.087	20.097
강릉	ISO TRY	0.160	3.393	0.898
	IWEC	-0.144	2.915	0.941
	TMY2	-0.644	3.487	3.588
	DOE	×	×	×
울산	ISO TRY	0.367	2.491	2.842
	IWEC	-0.209	2.297	1.742
	TMY2	0.169	2.754	1.174
	DOE	×	×	×

표 4. 일사량 데이터 비교

지역	데이터	MSE	RMSE	t - statistic
인천	ISO TRY	-0.011	5.232	0.041
	IWEC	-1.303	5.227	4.910
	TMY2	-1.374	5.127	5.308
광주	ISO TRY	0.197	5.280	0.714
	IWEC	0.671	5.901	2.184
	TMY2	0.586	5.027	2.238
강릉	ISO TRY	1.343	6.076	4.323
	IWEC	1.025	6.183	3.206
	TMY2	0.909	5.611	3.132
울산	ISO TRY	-0.590	4.941	2.296
	IWEC	1.003	5.384	3.617
	TMY2	0.810	5.429	2.879

일사량의 경우 MBE는 4지역 모두 데이터가 0~±1.3의 분포값을 보이며 기상청에서 측정된 값과 유사

한 값을 나타내었다. RMSE의 경우 분포가 4~5정도로 모든 데이터가 유사한 분포를 나타내는 것을 알 수 있다. t-Statistic의 t값의 경우 0~5의 값을 나타내었으나 인천, 광주, 대구의 경우 ISO TRY의 0에 근접하는 값을 보여준다.

5. 결 론

1966년부터 2005년까지 기상청에서 측정된 40년간의 온도변화 특성에 대해 분석한 값과 1986년부터 2005년까지 20년 동안 기상청에서 측정된 인천, 광주, 강릉, 울산 건구온도 및 일사량 데이터와 현재 사용되고 있는 표준기상데이터의 건구온도 및 일사량데이터를 대상으로 실시된 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 냉방도일의 경우 냉방도일의 상승에 비해서 난방도일의 감소가 크게 나타나는 것을 알 수 있으며 냉방일수는 지난 40년간 약 25일정도 증가한 반면 난방일수는 40일 정도 감소한 것을 알 수 있었다. 이것은 여름철보다 겨울철의 기온상승이 반영된 것으로 판단된다.
 - (2) 건구온도데이터는 비공인자료인 DOE용으로 제공되는 데이터를 제외한 3개의 데이터 모두 MBE, RMSE, t-Statistic이 기상청에서 측정된 값에 유사하게 나타난다.
 - (3) 일사량데이터는 3개의 데이터 모두 MBE, RMSE, t-Statistic이 기상청에서 측정된 값에 유사하게 나타난다.
 - (4) ISOTRY, IWEC, TMY2, 비공인자료인 DOE용 등 4 종류의 기상데이터 중 비공인자료인 DOE용으로 제공되는 기상데이터의 경우 건구온도가 다른 기상데이터보다 낮은 온도분포를 나타내고 있으며, 일사량데이터의 누락 등으로 시뮬레이션 프로그램에 사용하기에는 적합하지 않다고 판단된다.
- 향후 한반도 여러 지역을 중심으로 기상자료를 장기,

중기, 단기 기간으로 보다 충분한 자료를 대상으로 지속적인 연구가 필요하다.

후 기

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

참고문헌

1. 유호천 외, 「건물 에너지 성능평가용 서울·울산 표준기상데이터에 관한 연구」, 한국건축환경설비학회 논문집, 1(1), pp. 23-29, 2007
2. 연세대학교 산업협력단, 「국제환경현안 대응·대책 기술」, 한반도 및 동아시아 기후변화 추세분석 및 원인규명, 환경부, 2008
3. International Standard ISO 15972-4, Hygro-thermal performance of buildings Calculation and presentation of climatic data-Part 4: Hourly data for assessing the annual energy use for heating and cooling, 2005
4. 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
5. 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
6. 유호천 외, 「TRY 방법론에 의한 표준일사데이터 평가」, 한국생태환경건축학회논문집, 7(6), pp. 23-28, 2007