

광주지역 기온변화 예측과 CO₂, CO, 상대습도와의 상관성분석

The Prediction of Ambient Temperature and the Correlation Analysis for Carbon Dioxide, Carbon Monoxide and Relative Humidity in Gwangju

이대행[†] · 정원삼 · 이세행 · 박강수 · 김난희 · 김도술 · 백계진 · 박종태
 Dae-haeng Lee[†] · Won-sam Jeong · Se-haeng Lee · Kang-soo Park
 Nan-hee Kim · Do-sool Kim · Ke-jin Paik · Jong-tae Park

광주광역시보건환경연구원 환경연구부

Department of Environment Research, Public Health and Environmental Institute of Gwangju, Gwangju 502-243, Korea

(2009년 5월 26일 접수, 2009년 11월 12일 채택)

ABSTRACT : The ambient temperature and concentration of carbon dioxide in Gwangju and the reducing method of temperature, air pollutants were investigated using the atmospheric data in Gwangju. Average ambient temperature (T_{a_ave}) was 13.5°C during 1961 to 2008. The temperature was predicted as increasing of about 2.7°C in 2108 after 100 years using the trend line of regression equation. Carbon dioxide was 370.7 and 391.4 ppm at Anmyundo, in 1999 and 2008, respectively, showing proportionally increased as ambient temperature. The temperature at Gwangju, 14.2°C during 1997 to 2008, was a little higher than at neighboring counties as Naju, Damyang, Hwasoon, and Jangsung. In Gwangju, Spring will start in mid-January of 2108, Summer in mid-May, Autumn in mid-October, and Winter in last-December. The average relative humidity in the air (RH_{a_ave}) was gradually decreased as the temperature inversely increased. The average CO₂ was 457 ppm, which is 65.6 ppm higher than that in Anmyundo, Korean background area of CO₂ in 2008. Carbon dioxide showed positive correlation, both of them, with carbon monoxide (0.87) and relative humidity (0.48).

Key words : Ambient temperature, Carbon dioxide, Carbon monoxide, Relative humidity, Global warming

요약 : 광주지역 기상자료를 이용하여 기온변화를 예측하고, 광주지역의 이산화탄소, 일산화탄소, 상대습도의 상관성연구를 실시하였다. 2008년까지 48년간 광주지역 전체 평균기온은 13.5°C이며, 2108년까지 100년간 2.7°C정도 증가할 것으로 예측되었다. 안면도지역에서 이산화탄소 연평균 농도는 1999년과 2008년에 각각 370.7 ppm과 391.4 ppm으로서 기온의 증가에 영향을 주었다. 1997년부터 2008년까지 광주의 평균기온은 14.2°C로 나주, 담양, 화순, 장성지역 보다 훨씬 높았다. 2108년경 광주의 봄 시작일은 1월 중순 이전, 여름의 시작일은 5월 중순, 가을의 시작일은 10월 중순, 겨울의 시작일은 12월 말경으로 전망되었다. 48년간 평균상대습도는 71.3%로 7월이 가장 높았으며, 해가 지날수록 감소하여 연도와의 반대현상을 보여주었다. CO₂와 CO는 양의 상관도(0.87)를 보여주었고, 조사기간 중 CO₂ 평균 농도는 457 ppm으로 우리나라 배경농도인 안면도의 397.3 ppm(2008)에서 보다 65.6 ppm이나 높았다. CO₂는 CO(0.87)와 상대습도(0.48) 모두에 대하여 양의 상관성을 보여주었다.

주제어 : 기온, 이산화탄소, 일산화탄소, 상대습도, 지구온난화

1. 서론

최근 기후변화 대응을 위한 정부간 협약(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)에 의하면, 지난 12년(1995~2006년)중 11번이 1850년 이래 전 지구 표면기온의 측기 기록에서 가장 더웠던 해에 속한다 했고 최근 평균 기온은 급격히 증가하고 있다.^{1~2)} 이러한 기온 상승의 원인은 대기 중 온실가스(CO₂, CH₄, 아산화질소(N₂O) 등)와 에어로졸, 토지 피복도(land cover), 그리고 태양복사량의 변화로 지구 온

실가스 배출량은 1970년부터 2004년 사이에는 70%나 증가하였는데, 특히 온실가스 중 가장 큰 비중을 차지하는 것이 이산화탄소(CO₂)로서 전체 기여도의 55%를 차지하고 있다.³⁾ 지구온난화는 인간들의 생활과 생태환경 변화에 많은 영향을 주고, 기온증가로 인한 도시 열섬효과는 우리의 삶을 더욱 각박하게 만들고 많은 에너지의 사용으로 인해 지구온난화를 가속화시킴으로써 악순환을 반복하게 된다.⁴⁾ 광주광역시(35.1728°N, 126.8916°E)는 동서남북이 무등산, 어등산, 금당산, 병풍산과 삼각산 등으로 둘러싸여 있고 남서쪽이

[†] Corresponding author : E-mail : ldh0928@korea.kr Tel : +82-(0)62-380-1891 Fax : +82-(0)62-380-1889

터진 분지를 이루고 있으며, 기후는 초여름과 늦여름에도 무더운 날씨를 보이는 서해안형에 가까운 특성을 가지고 있다. 광주외의 바람길 통로로서 광주천, 영산강 등이 있긴 하지만 지속적으로 증가하는 아파트 단지과 대형 건물들로 인해 바람의 이동이 억제되면서 평균기온이 급격히 상승하고 있다.⁵⁾ 지구의 평균기온은 온실가스의 증가에 따라 영향을 받고, 국립기상연구소에서 한반도 기후변화예측을 위해 IPCC SRES A1B 시나리오 (화석 및 비화석 자원간의 균형이 이루어진 상태에서 온실가스가 배출된다고 가정하고 2050년에 정점에 도달한 후에 2100년 CO₂ 예측 값이 720 ppm에 도달할 것으로 예상되는 시나리오)에 따른 시나리오 자료를 MM5^① (전구통합모델인 ECHO-G^②로부터 산출된 전지구 기후변화 시나리오를 입력 자료로 한 지역기후모델) 모델에 입력하여 기후변화 장기 시나리오를 모의한 결과에 따라 구한 30년 (1971~2000) 평균대비 21세기말 한반도 기온은 4℃ 상승, 강수량은 20% 증가하고 극한 저온현상 빈도 감소, 극한 고온현상 빈도 증가로 호우 빈도도 증가할 것으로 예측하였다.^{6~12)}

우리나라에 대한 기후변화 예측에 대한 연구는 되어 있으나, 기온 조사자료를 바탕으로 광주지역에 대한 향후 기온예측이나 통계학적인 검정에 의한 비교자료가 부족하며, 지구온난화를 해결하기 위해 이산화탄소 등의 온실가스 발생량을 줄이거나, 대체에너지 개발, 수목에 의한 기온저감, 우수천에 의한 기온저감과 물의 증발에 의한 기온의 저감 방법 등의 적용 가능한 방법 등이 최근에 연구되어 오고 있는데, 광주지역의 기온과 온실가스 및 습도와와의 상관성 연구 및 계절변화 등에 대한 연구가 미미한 실정이다.^{13~16)}

따라서 본 연구에서는 광주시의 최근 48년간(1961년~2008년)의 기상변화 자료를 바탕으로 향후 기온변화를 엑셀프로그램을 이용하여 추정하고 회귀분석에 의해 자료를 검정하며, 국립기상연구소에서 SRES A1B 온실가스 배출시나리오 기후예측모델을 이용하여 구한 2100년까지 100년간의 광주지역 기온변화 예측 값을 상호 비교분석하였다(기상청 자

료제공). 우리나라 배경대기 관측소인 안면도(충남 태안군 안면읍 소재) 지점에서의 이산화탄소 농도변화를 비교분석하여 온실효과의 기온증가에 대한 영향을 비교하였다¹⁷⁾. 또한, 광주와 인근 지역의 기온변화를 비교분석하고, 광주지역에서 이산화탄소, 일산화탄소, 상대습도의 농도변화 및 상관성 조사 등의 연구를 수행하여 지구온난화와 열섬효과 해결에 참고 자료로 활용하고자 하였다.^{18~23)}

2. 재료 및 방법

2.1. 회귀분석

광주지역의 1961년부터 2008년까지 48년간의 월별 평균기온, 최고기온, 최저기온, 그리고 상대습도의 변화 자료를 이용하여 엑셀 프로그램으로 회귀분석을 실시하여 월별 기온과의 상관식을 도출하였다. 단회귀분석에서 목적변수는 기온이나 상대습도이고, 설명변수는 연도이다. 특히 월별 평균기온 변화 추세선의 기울기, 결정계수, 검정통계량과 유의성 검정의 통계학적 분석을 실시하여 예측결과의 신뢰성을 확보하고자 하였다. 월별 평균기온 추세선을 이용하여 100년 후의 광주지역 온도변화를 예측하고, 국립기상연구소에서 SRES A1B 온실가스 배출시나리오 기후예측모델을 이용하여 구한 2100년까지 100년간 광주지역 기온변화 예측 값을 상호 비교하였다. 또한 월별 평균기온, 최대기온, 최소기온의 추세선 기울기 값으로부터 2차식을 구하여 상수 값으로부터 기온증가의 의미를 설명하였다. 온실가스에 대한 중요성이 최근에 부각되고 있지만 광주지역에 대한 이산화탄소 농도 조사자료가 없어서 우리나라 이산화탄소 배경농도 지점인 충남 태안군 안면도 지점(대표값)에서 1999년부터 2008년까지 측정된 월별 이산화탄소 농도자료를 이용하여 2050년과 2100년의 우리나라 대표지점에서 이산화탄소 농도를 예측하고 기온 증가에 주는 영향을 비교분석하였다. 또한 광주지역의 월별 습도변화 자료를 분석하여 습도와 기온과의 상관성

Table 1. Ambient quality analyzer used in this study

Items	Measuring Method	Analyzer (Country)
Temperature	Temperature sensor	Ambient Metone Lab (USA)
		Bottom Kimoto DL-6100 (Japan)
Relative humidity	Humidity sensor	Metone Lab (USA)
Rainfall	15 min collected	WatchDog 700 (USA)
Total suspended particulate	High Volume Air Sampler	Kimoto 120-FT (Japan)
	Low Volume Air Sampler	Airmetrics PAS 201 (USA)
Carbon dioxide	Nondisperse Infrared	Metrosonics AQ-502 (USA)
Carbon monoxide	Nondisperse Infrared	Ecotech, AU/ML9830A (USA)

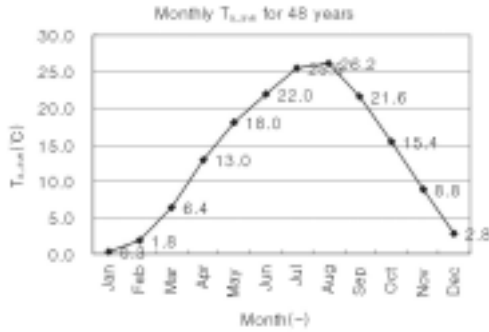


Fig. 1. Variation of monthly $T_{a,ave}$ for 48 years in Gwangju.



Fig. 2. Variation of monthly $T_{a,ave}$ for 5 years mean value.

을 분석하였고, 광주 주변지역의 기온과 강우량을 비교 분석하였다.

2.2. 연구방법

광주광역시 주월동 지점(남구 주월동 493-13)에서 2008년 11월 18일부터 12월 2일까지 이산화탄소와 일산화탄소 농도 변화와 상관성을 조사하였다. 또한 이산화탄소 (CO₂)와 상대습도와의 상관성을 조사하기 위해 2008년 10월 2일부터 10월 9일까지 165시간 동안 광주광역시 보건환경연구원에 측정장비를 설치하여 이산화탄소와 상대습도 농도를 측정하였다. 기상청 조사자료를 활용하여 광주지역과 인근지역의 기온과 강우량 결과를 비교분석하였고, 2008년 7월 10일부터 9월 13일까지 연구원 옥상에서 기온, 상대습도, 강우량 변화를 측정하여 비교분석하였다.

본 연구에 사용된 측정 장비는 Table 1과 같다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 광주지역의 기온변화

광주지역의 1961년부터 2008년까지 48년간 전체 평균기온은 13.5°C이며 최고기온 평균은 18.7°C, 최저기온 평균은 9.2°C이었다. 월별 평균기온($T_{a,ave}$) 분포를 보면 8월이 26.2°C로 가장 기온이 높고, 7월 > 6월 > 9월 > 5월 > 10월 > 4월 > 11월 > 3월 > 12월 > 2월 > 1월 (0.3°C) 순으로 낮아졌다. 우리의 일상에서 고정된 계절 구분에 따르면 기온이 가장 높은 6~8월은 여름에 해당하고, 가장 낮은 12~2월은 겨울에 해당한다.²⁴⁾ 월별 평균기온 분포를 살펴보면 7월과 8월을 중심으로 가우스 분포와 유사한 대칭분포를 보여 지면온도의 분포와 유사한 경향을 보였다(Fig. 1).⁵⁾

48년간 5년 평균기온의 변화를 비교하면 1963년부터 1988년까지 5년 평균기온이 13.0~13.3°C이었으나 1999년부터

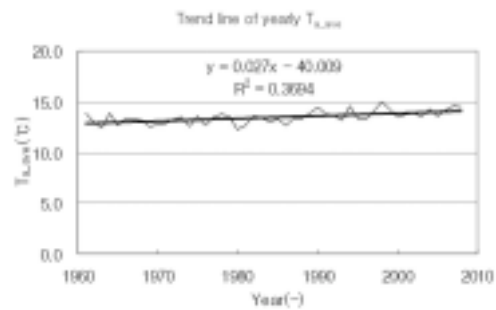


Fig. 3. Trend line on yearly variation of $T_{a,ave}$ in Gwangju.

2008년까지 5년 평균기온이 13.8~14.2°C로 급격하게 증가하고 있는 것을 볼 수 있다. 또한 48년 전 기간 중 5년 평균기온의 변화를 월별로 살펴보면 1월이 -2.2~1.4°C(차이 3.6), 2월이 0.4~3.1°C(차이 2.7), 3월이 4.8~7.5°C(차이 2.7)로 증가현상이 뚜렷함을 보여주었고, 5월이 18.5~17.4°C(차이 1.1), 4월과 6~8월의 최대값과 최소값의 차이가 모두 1.6°C로서 기온 증가속도가 다소 완만함을 확인할 수 있었다(Table 2, Fig. 2).

3.2. 회귀분석과 기온증가 예측

광주지역의 최근 48년간 경년 평균기온 변화는 연도가 증가할수록 기온이 점차 증가추세이고, 추정된 직선 회귀식은 $y = 0.027x - 40.009$ 이며 기울기는 0.027이다 (Fig. 3). 회귀식에서 목적변수 y 는 년도별 평균기온($T_{a,ave}$)이고, 설명변수 x 는 연도(year)이다. 연평균 기온자료를 엑셀프로그램을 이용하여 구한 분산분석표에 의하면 검정통계량 F 값에 대한 p 값 4.62×10^{-6} 은 유의수준 $\alpha=0.05$ 보다 작으므로 가정된 직선 모형이 적합하다고 할 수 있다. 결정계수 R^2 의 값이 0.369로서 총변동량 중에서 추정된 회귀직선에 의하여 설명되는 변동량은 약 37%가 된다고 할 수 있다. 월별 평균기온 변화의 분산분석표에 의하면, 검정통계량 F 값에 대한 p 값이 7월, 8월, 12월만 제외하고는 유의수준 $\alpha=0.05$ 보다 작으므로 가정

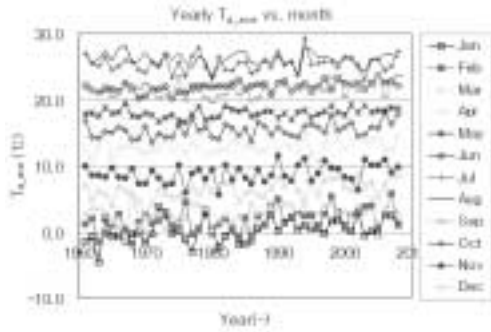


Fig. 4. Variation of yearly $T_{a,ave}$ vs. month in Gwangju.

된 직선 모형이 적합하다고 할 수 있다. 7월과 8월의 경우는 년도에 따른 기온의 증가폭이 거의 없기 때문이고, 12월의 경우는 p 값이 0.0794로서 유의수준 $\alpha=0.1$ 을 만족하였다(Table 3, Fig. 4). 따라서 48년간 연평균 광주지역의 기온 중에서 하절기인 7월과 8월의 회귀식만 제외하고는 대부분이 95% 신뢰구간에서 유의하여 2108년까지의 기온변화 예측을 위한 추정식으로 사용하였다.²⁵⁾

48년간 월별 평균기온변화의 기울기를 살펴보면, 동절기인 2월과 3월이 각각 0.0530, 0.0506으로서 가장 커서 매년 온도의 증가 속도가 매우 빠름을 보여주고 있고, 하절기인 7월과 8월은 각각 0.0050, -0.0079로서 거의 0에 근접하고 있어 매년 온도 증가가 거의 없음을 보여준다(Table 4). 연중 연도별 기온의 최대, 평균, 최소값에 대한 추정식 기울기는 각각 0.0303, 0.0270, 0.0256으로서 최대기온의 증가속도가 가장 빠름을 보여준다.

연도별 평균기온의 추정식으로부터 산출한 향후 연중 평균기온을 살펴보면, 2061년과 2108년에는 각각 15.51, 16.80 °C로서 1961년 이후 100년 뒤에는 2.67°C, 2008년의 100년 뒤인 2108년에는 2.70°C가 증가하는 것으로 나타났다(Table 4). 이는 IPCC의 통계에서 지난 100년간 지구 평균기온 증가치인 0.74°C보다 광주지역 기온이 거의 3.6배 정도 높은 값이다. 그 이유는 광주지역이 인구증가와 도시화로 인해 자동차와 냉난방 에너지 사용량증가, 아파트와 대형 건물의 증가, 분지형태의 지형특성 등의 영향으로 대기순환

Table 2. Monthly 5-years $T_{a,ave}$ in Gwangju

unit : °C

5 year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
61~63	-2.2	0.6	6.1	12.1	17.8	21.6	25.9	26.3	21.6	15.1	9.1	3.3
64~68	-0.2	0.4	5.8	13.1	18.4	21.8	25.6	27.0	21.4	15.1	8.8	2.1
69~73	0.9	2.0	4.8	12.6	17.4	21.2	25.4	26.1	21.2	14.6	7.8	1.8
74~78	-0.7	1.3	5.9	12.8	17.6	21.3	25.5	26.1	21.6	15.6	8.4	2.9
79~83	0.1	1.4	7.1	12.5	17.8	22.1	24.8	25.4	20.8	15.3	8.2	2.0
84~88	-0.7	0.8	5.5	12.7	18.1	22.3	25.2	26.3	21.0	15.4	8.4	2.6
89~93	1.4	3.1	7.3	13.0	17.7	21.9	25.3	25.6	21.8	14.9	9.3	3.8
94~98	0.8	2.7	6.8	13.4	18.2	22.2	26.4	27.0	21.9	16.2	9.7	3.4
99~03	1.1	2.6	7.5	13.7	18.4	22.5	25.2	25.5	22.0	15.4	8.7	3.2
04~08	1.2	2.8	7.4	13.4	18.5	22.8	25.8	26.5	22.4	16.8	10.0	3.2
Max	1.4	3.1	7.5	13.7	18.5	22.8	26.4	27.0	22.4	16.8	10.0	3.8
Min	-2.2	0.4	4.8	12.1	17.4	21.2	24.8	25.4	20.8	14.6	7.8	1.8
Differ.	3.6	2.7	2.6	1.6	1.1	1.6	1.6	1.6	1.6	2.2	2.2	2.0

Table 3. Compatibility assessment by regression analysis

Classification	Regression analysis			Analysis of variance		
	Multiple Corr. factor	R^2	Adjusted R^2	numberF	p -value	
Jan	0.4003	0.1603	0.1420	48	8.778	0.0048
Feb	0.4303	0.1851	0.1674	48	10.450	0.0023
Mar	0.5469	0.2991	0.2839	48	19.633	5.76×10^{-5}
Apr	0.2840	0.0807	0.0607	48	4.037	0.0504
May	0.3089	0.0954	0.0757	48	4.851	0.0327
Jun	0.5461	0.2982	0.2829	48	19.546	5.95×10^{-5}
Jul	0.0575	0.0033	-0.0184	48	0.1525	<u>0.6980</u>
Aug	0.1016	0.0103	-0.0112	48	0.4802	<u>0.4918</u>
Sep	0.2840	0.0806	0.0606	48	4.034	0.05050
ct	0.3859	0.1489	0.1304	48	8.049	0.0068
Nov	0.2851	0.0813	0.0613	48	4.071	0.0495
Dec	0.2557	0.0654	0.0451	48	3.219	<u>0.0794</u>
Year	0.6077	0.3694	0.3557	48	26.947	4.62×10^{-6}

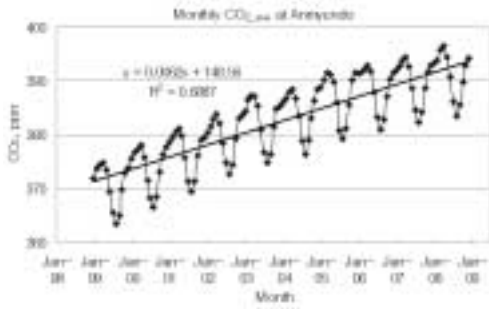


Fig. 5. Monthly variation of CO_{2_ave} in Anmyundo (Korean representative site).

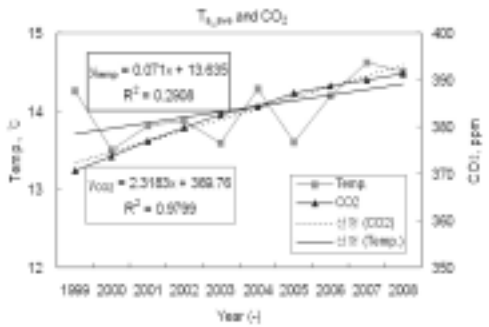


Fig. 6. Comparison of Yearly CO_{2_ave} in Anmyundo and yearly Ta_{ave} in Gwangju.

기능이 상실되어 기온 저감효과가 줄어든 것이 주원인인 것으로 판단된다. 반면에, SRES A1B 온실가스 배출시나리오 기후예측모델에 의해 2100년에 예측된 100년간의 증가 값 4.05°C보다는 0.67배 정도로 낮은 값이다.^{1,3)} 이는 향후 온실가스인 이산화탄소 등의 농도가 2008년 11월 현재 397.3 ppm(안면도) 에서 2100년에 720 ppm까지 지수함수적으로 증가한다는 가정 하에 예측한 값이기 때문에 선형적으로 증가한다는 추정식에서 구한 값보다 높은 것이다. 온실가스 저감을 위한 노력이 교토협약 등의 국제간의 협약과 다국적 참

여에 의해 얼마나 다소간 실효성을 거둘 것으로 기대는 하지만 온실가스는 점차 증가하게 될 것이고 최근까지의 100년간 2.7°C 증가한 이상으로 온실가스에 의한 기온 증가는 확실해 보인다.

3.3. 우리나라의 이산화탄소 농도변화

지구온난화의 주요물질인 이산화탄소(CO₂)는 지구온난화 기여도가 55%에 해당되는 주요한 물질로서 화석연료의 사용과 사람이나 동물의 호흡작용에 의해 주로 발생한다. 우리나라의 경우는 1998년에 무안기상대 온실가스 관측업무가 안면도로 이전·통합되면서 자료관리가 이루어지고 있으며, 본 연구에 사용된 자료는 1999년 1월부터 2008년 12월까지 조사된 자료를 바탕으로 분석하였다¹⁷⁾. 1999년도의 이산화탄소 연평균 농도는 370.7 ppm이고, 2007년은 390 ppm, 2008년은 391.4 ppm으로서 지속적으로 증가하고 있고, 지난 10년간 이산화탄소 평균 농도 증가는 연 2.3 ppm이었다. 자료를 바탕으로 구한 상관식은 $y = 2.3183x - 4262.2$ ($R^2 = 0.98$)로서, 목적변수 y 는 연도별 이산화탄소 평균농도(CO_{2_ave}), 설명변수 x 는 연도(year)이다. 상관식을 이용하여 2050년과 2100년에 예상되는 이산화탄소 농도를 구하면 각각 490.3 ppm과 606.2 ppm 이었다. 자료의 조사기간이 10년으로 추정식으로 사용하기에는 다소 미흡하고, 선형 추정식에 의한 예측으로 다소 정확성은 떨어지나 장래 기온의 증가에 이산화탄소의 증가가 영향을 주는 것은 분명하다 할 수 있다. (Table 5, Fig. 5~6)

3.4. 광주 인근지역의 기온, 강우량 변화

광주 인근지역에서 1997년 2월부터 2008년 8월까지 평균 기온을 비교하면, 광주가 14.2°C로 가장 높고, 나주가 14.1°C,

Table 4. Prediction of monthly Ta_{ave} using the regression equation in Gwangju

Classification	Slope (-)	1961 (°C)	2008 (°C)	2060 (°C)	2108 (°C)	Temp. diff. (2008-1961)	Temp. diff. (2060-1961)	Temp. diff. (2108-2008)
Jan	0.0479	-0.76	1.49	3.98	6.28	2.25	4.74	4.79
Feb	0.0530	0.61	3.10	5.86	8.40	2.49	5.25	5.30
Mar	0.0506	5.22	7.60	10.23	12.66	2.38	5.01	5.06
Apr	0.0238	12.45	13.57	14.81	15.95	1.12	2.36	2.38
May	0.0155	17.59	18.32	19.13	19.87	0.73	1.53	1.55
Jun	0.0290	21.22	22.59	24.09	25.49	1.36	2.87	2.90
Jul	0.0050	25.40	25.64	25.90	26.14	0.24	0.50	0.50
Aug	-0.0079	26.36	25.99	25.58	25.20	-0.37	-0.78	-0.79
Sep	0.0212	21.05	22.05	23.15	24.17	1.00	2.10	2.12
Oct	0.0305	14.80	16.24	17.82	19.29	1.43	3.02	3.05
Nov	0.0278	8.13	9.44	10.88	12.22	1.31	2.75	2.78
Dec	0.0270	1.99	3.26	4.67	5.96	1.27	2.68	2.70
Year	0.0270	12.84	14.11	15.51	16.80	1.27	2.67	2.70

담양이 13.6℃, 화순이 13.5℃, 장성이 13.3℃ 순이었다. 이는 광주지방 평년 (1971~2000) 연평균기온인 13.5℃보다 0.6℃나 높은 것으로써 최근의 온도증가 속도가 빨라지고 있음을 보여준다. 동일 기간 중 월중 최고기온 평균은 광주가 2006년 8월에 31.8℃이었고, 나주가 2006년 8월 28.1℃, 화순이 2006년 8월 27.3℃, 장성이 2007년 8월 27.2℃, 담양이 2004년 8월 27.0℃로 조사되었다. 광주지역의 최고기온이 높은 것은 도시화현상과 열섬현상에 따른 영향으로 판단된다(기상청 자료제공).

동일 기간 중의 월별 평균 강우량은 광주가 127.3 mm로 가장 높고, 장성이 122.8 mm, 담양이 120.7 mm, 화순이 119.0 mm, 나주가 116.7 mm 순으로 조사되었다. 광주의 경우는 기온과 강우량이 연관성이 있는 것처럼 보이나, 강우량의 경우는 산이나 강 등의 지형과 기압의 영향을 많이 받으므로 기온과 직접 연관된다고 보기에는 객관성이 부족하다 본

다. 그러나 강우로 인한 기온 저감효과는 있어서 물의 증발열을 이용한 기온저감 연구가 필요하다 하겠다. 기간 중 월별 평균 강우량이 가장 높은 지역과 시기는 화순에서 2002년 8월에 800 mm로 가장 많았고, 광주지역에서도 화순과 같이 2002년 8월에 584 mm로 가장 많았다.

3.5. 광주의 계절변화 전망

이병설이 제시한 계절구분 임계치를 참고하면, 봄의 시작일로 일 최저기온 0℃ 이상, 일 평균기온 5℃ 이상, 여름의 시작일로 일 평균기온 20℃ 이상, 일 최고기온 25℃ 이상, 가을의 시작일은 일 평균기온 20℃ 이하, 일 최고기온 25℃ 이하, 겨울의 시작일은 일 최저기온 0℃ 이하, 일 평균기온 5℃ 이하로 정의하였다.²⁴⁾ 추정된 월 평균기온, 월 최고기온, 월 최소기온 자료를 근거로 할 때, 봄 시작일은 2044년 경에는 2월중순, 2060년경에 2월초, 2080년경에는 1월중

Table 5. Monthly variation of CO₂ in Anmyundo (Korean representative site) (unit : ppm)

Year Month	Year									
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Jan	371.9	375.6	378.6	380.3	384.5	385.9	388.9	391.4	392.1	393.3
Feb	373.6	376.7	379.6	381.5	386.5	386.8	390.2	391.7	392.9	393.9
Mar	374.4	377.4	380.6	382.8	387.3	387.8	391.5	392.3	393.9	395.7
Apr	374.8	378	381.2	383.8	387.1	388.5	391.2	392.9	394.4	396.6
May	373.5	375.7	379.8	382.1	385.4	386.8	389.9	391.8	392.6	394.5
Jun	369.5	371.6	375.7	378.5	380.9	383.4	386	387.9	388.7	390.7
Jul	365.6	368.3	371.4	374.8	376.7	378.9	380.8	383.2	384.6	386.2
Aug	363.5	366.6	369.5	372.7	374.8	376.4	379.2	380.9	382.4	383.5
Sep	365	368.5	371.3	374.4	376.3	379.1	381.1	382.9	384.3	385.6
Oct	369.8	373	376.1	379.3	381.5	383.1	385.5	387.2	388.7	389.8
Nov	372.9	376.3	379.1	383.1	384.9	386.3	390.2	390.3	391.7	392.8
Dec	373.8	377.7	379.4	383.7	385.1	388.4	391.6	391.5	392.9	394.3
Year	370.7	373.8	376.9	379.8	382.6	384.3	387.2	388.7	389.9	391.4
differ.	3.1	3.1	2.9	2.8	1.7	2.9	1.5	1.3	1.5	

Table 6. Prediction of monthly T_{a,min} & T_{a,max} using the regression equation in Gwangju

Classification	T _{a,min} (°C)					T _{a,max} (°C)				
	Slope	1961	2008	2060	2108	Slope	1961	2008	2060	2108
Jan	0.0457	-4.45	-2.31	0.12	<u>2.26</u>	0.055	3.62	6.20	9.06	11.70
Feb	0.0372	-3.31	-1.56	<u>0.41</u>	2.16	0.053	0.61	3.10	5.86	8.40
Mar	0.0455	<u>0.35</u>	2.48	4.90	7.03	0.0566	10.96	13.62	16.57	19.28
Apr	0.0088	7.32	7.74	8.20	8.62	0.0485	17.99	20.27	22.80	<u>25.12</u>
May	0.0191	12.34	13.24	14.25	15.15	0.0178	23.61	24.44	<u>25.37</u>	26.22
Jun	0.0374	16.83	18.59	20.57	22.33	0.0223	26.55	27.60	28.76	29.83
Jul	0.0047	22.32	22.54	22.79	23.01	0.0104	29.27	29.76	30.30	30.80
Aug	-0.0036	22.76	22.59	22.40	22.23	-0.0136	30.96	30.32	29.62	28.96
Sep	0.0281	6.79	18.10	19.59	20.90	0.016	<u>26.39</u>	27.14	27.98	28.74
Oct	0.037	9.59	11.33	13.29	15.03	0.025	20.89	22.07	23.37	<u>24.57</u>
Nov	0.0212	3.84	4.83	5.96	6.95	0.0353	13.46	15.12	16.95	18.65
Dec	0.0257	-1.71	-0.50	<u>0.86</u>	2.07	0.0378	6.85	8.63	10.59	12.41
Year	0.0256	8.55	9.76	11.11	12.31	0.0303	17.60	19.02	20.60	22.06

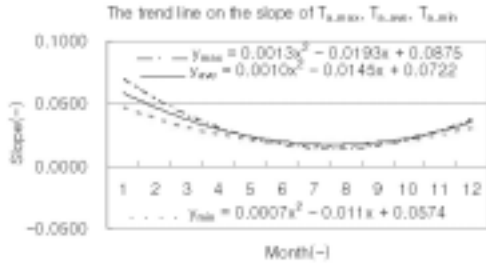


Fig. 7. Trend line on the slope value of monthly $T_{a,max}$, $T_{a,ave}$ and $T_{a,min}$ in Gwangju.

순, 2108년경에는 1월 초순경이 되고, 여름의 시작일은 2060년경에 5월말, 2108년경에는 5월 중순이 되고, 가을의 시작일은 2060년경에 9월말, 2108년경에는 10월 중순이 되고, 겨울의 시작일은 2072년경에 12월 중순, 2108년경에는 12월 말이 되어 이 시기에 광주의 겨울이 1개월 미만으로 짧아질 것으로 전망된다(Table 4, 6). 이는 권영아 등이 A1B 시나리오에 의해 광주의 근처에 대해 조사한 자료와 비교하면, 계절의 시작점이 2090년에 봄은 1월 28일 이전으로 본 연구의 전망치보다 약간 이르고, 여름이 5월 12일경으로 유사하며, 가을이 10월 14일경으로 유사한데, 겨울은 1월 23일 이후로서 본 연구의 전망치와 상당한 차이를 보여주고 있다.²⁶⁾ 이는 A1B 시나리오는 이산화탄소의 농도가 2100년에 720 ppm까지 높아진다는 지구온난화의 가설에 따르고 있기 때문에 해석되고, 본 연구에서 단순회귀식에 의해 추정된 값과 A1B 시나리오의 지수함수적으로 증가한다는 추정치와의 차이로 판단된다. 이는 기온이 이산화탄소와 밀접하게 관련이 있어 이산화탄소 농도 증가속도가 빨라지면 비례적으로 계절의 변화속도도 빨라진다는 것을 의미한다. 겨울철이 점차 줄어들고 봄이 빨라지고 가을이 늦춰지고 여름이 길어지면, 구교속 등이 기온변화에 따른 도시화효과에서 제시한 바와 같이 겨울철 최대, 최저기온의 증가가 도시화에 기인한다고 볼 때 광주지역은 도시화효과와 영향을 받았다고 할 수 있다.^{10,27)}

48년간 월별 평균기온과 년도와의 상관식을 구하여 1차 추세선식의 기울기 값을 월별로 표시하여 2차 추세선식을 구하면 $y = 0.001x^2 - 0.0145x + 0.0722$ 이다. 여기서 목적변수인 y 는 1차식의 기울기 이고, 설명변수인 x 는 월이다. 8월을 최저점으로 하여 대칭적인 (symmetric) 구조를 보여주고 있고, 1~3월은 기울기 값이 매우 높고 특히 2월의 기울기가 가장 높아 늦겨울이 봄으로 가는 속도가 매우 빠름을 알 수 있다. 특히 연중 최고기온의 2차 상수 값(0.0013)이 가장 커서 증가속도가 가장 크고, 다음이 평균기온(0.001), 최저기온(0.0007) 순으로 조사되었다(Fig. 7).



Fig. 8. Variation of monthly $RH_{a,ave}$ for 48 years in Gwangju.

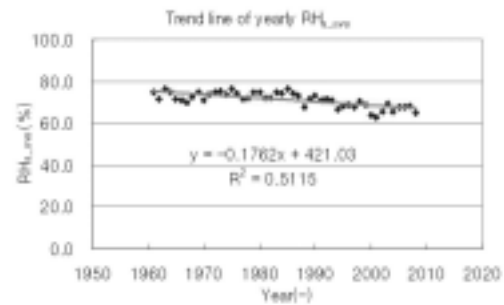


Fig. 9. Trend line on the variation of yearly $RH_{a,ave}$ in Gwangju.

3.6. 광주지역의 상대습도 변화

광주지역의 48년간 전체 평균상대습도는 71.3%이며, 월별 평균상대습도는 7월이 80.3%로 가장 높고 산불이 가장 많이 일어나는 3월이 64.6%로 가장 낮았다. 월별 평균상대습도 분포를 높은 순으로 정리하면 7월 > 8월 > 9월 > 6월 > 12월 > 11월 > 10월 > 1월 > 5월 > 2월 > 4월 > 3월과 같다(Fig. 8). 7~9월에는 장마와 태풍 등의 영향으로 습도가 높아지게 되고, 겨울철에는 낮은 강수량으로 점차 습도가 감소하게 되며, 겨울 가뭄과 낮은 강수량으로 인해 봄철에는 사계 중 가장 낮은 습도를 보이게 된다. 광주지역의 평균상대습도는 연도가 증가할수록 점차 감소추세를 보이고, 추세선 식은 $y = -0.1762x + 421.03$ 이다(Fig. 9). 여기서, y 는 연도별 평균상대습도($RH_{a,ave}$), x 는 년도이다. 이는 기온이 증가함에 따라 포화증기량이 증가하고 상대습도 (=현재수증기량/포화수증기량×100%)는 포화수증기량에 반비례하기 때문에 감소하는 것으로 자연현상과 일치하는 것이다.

3.7. 광주지역 CO₂, CO, 상대습도의 상관성조사

기온의 증가는 온실가스의 증가와 직접적으로 연관이 있으므로, 광주시 남구 주월동에 위치한 대기측정소에 측정장비를 설치하여 2008년 11월 18일부터 12월 2일까지 이산화탄소와 일산화탄소 농도를 측정하였다. CO₂가 증가함에 따라

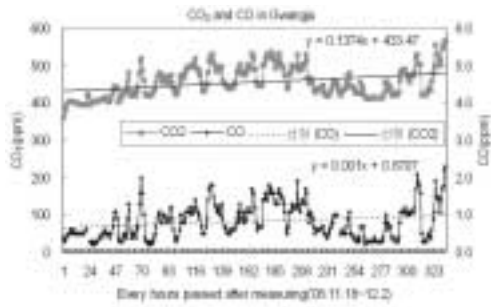


Fig. 10. Concentration of CO₂ and CO at Juweol area in Gwangju.

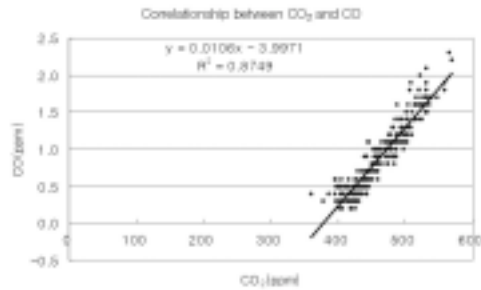


Fig. 11. Correlation between CO₂ and CO at Juweol area in Gwangju.

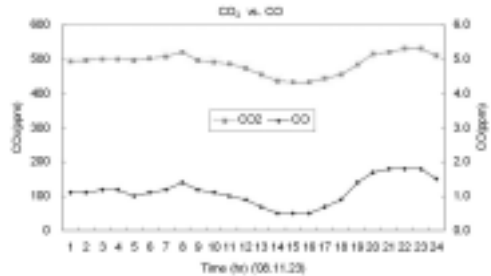


Fig. 12. Variation of hourly CO₂ and CO at Juweol area in Gwangju.

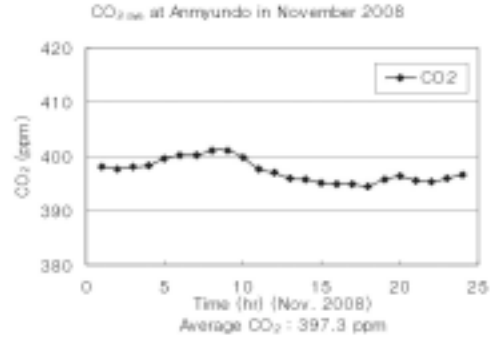


Fig. 13. Variation of hourly CO₂ at Anmyundo in Korea (Nov. 2008).

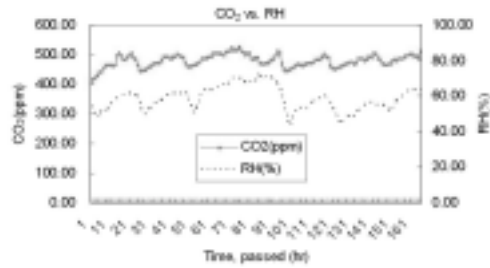


Fig. 14. Concentration of CO₂ and RH at HERI of Gwangju.

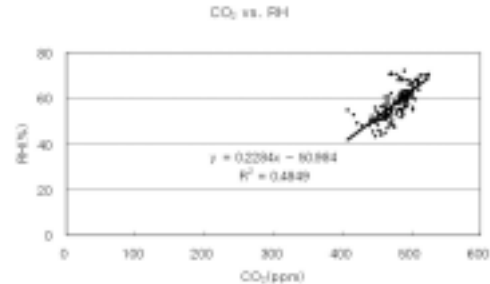


Fig. 15. Correlation between CO₂ and RH at HERI of Gwangju.

CO도 비례적으로 증가하고, 상관식은 $y = 0.0106x - 3.9971$ 으로 두 항목간의 상관계수는 0.87로서 양의 상관성이 매우 높았다 (Fig. 10~11). 조사기간 중 CO₂ 평균농도는 457 ppm이고, CO 평균농도는 0.8 ppm이었다. 이는 우리나라 CO₂ 배경농도인 안면도 지역의 391.4 ppm (2008년)보다 65.6 ppm이나 높은 수치이다. 11월 23일 하루 중 시간별 CO₂와 CO의 농도변화를 살펴보면, 새벽에는 큰 변화가 없다가 오전 8시까지 증가한 후 계속 감소하여 16시에 최저 농도를 보이다가 다시 상승하여 23시에 최고점을 나타낸 후 감소하게 되는데, 이는 기상청의 지구대기감시보고서에서 조사한 7시에 최대농도, 17시에 최소농도인 결과와 유사하였다(Fig. 12).²⁸⁾ 주간에 CO₂ 농도가 감소하는 것은 식물의 광합성이 활발하게 진행되어 이산화탄소가 소비되었기 때문이고, 야간에는 식물의 호흡작용과 사람의 활동증가로 CO₂ 농도가 높아

지다가 사람의 활동이 감소하는 자정 이후 변화가 거의 없다가 다시 사람의 활동이 증가하는 오전 7시경에 약간 증가했다 감소하는 것으로 나타났다. 우리나라 CO₂ 배경농도 지역인 안면도에서 2008년 11월 중 측정된 CO₂의 1일 시간별 평균농도 변화를 살펴보면, 18시에 최저농도를 보인 후 조금씩 증가하면서 익일 아침까지 이어지고 익일 8시경에 최고점을 나타내었다(Fig. 13). CO₂와 상대습도와의 상관성을 조사하기 위해 2008. 10. 2일부터 10. 9일까지 165시간동안 광주보건환경연구원(HERI, health and environmental research institute) 옥상에서 CO₂와 상대습도를 조사한 결과, 두 항목간에는 상관계수가 0.48로서 양의 상관성을 보여주었다(Fig. 14~15). 이 기간 중의 CO₂ 평균농도는 479 ppm으로 주월동 지역에서 측정된 값 457 ppm보다는 다소 높았다. 상대습도는 평균 59.4%로서 광주지역에서 2008년까지 48년간 측정

된 10월중 평균 상대습도 70.4%보다는 낮게 조사되었다.

쾌적한 대기 생활환경을 위해 기온을 저감하는 것은 우리의 당면 과제이고, 이를 위해 이산화탄소를 저감하는 일련의 노력이 필요하다. 주변에서 손쉽게 할 수 있는 방법으로 습도가 높아질수록 기온이 저감하게 되므로 옥상이나 아스팔트에 물을 뿌려 증발열로 기온을 저감하는 연구 등이 필요하다고 본다.

4. 결론

기상연구소에서 조사한 광주지역 기온자료를 이용하여 기온변화를 예측하고, 광주지역의 이산화탄소, 일산화탄소, 상대습도 등의 상관성에 대한 조사연구를 수행한 결과는 다음과 같다.

1. 2008년까지 48년간 광주지역 전체 평균기온은 13.5℃이며, 추세선 식에서 구한 2108년(100년간)의 광주기온이 2.7℃정도 증가할 것으로 예측되었다. 이는 지역기후 모델 A1B 시나리오에 의해 2100년까지 증가한다는 4.05℃의 0.67배에 이른다. 또한 하절기인 8월에 기온이 가장 높고 연도별 기온 증가가 가장 낮은 반면, 동절기인 1~3월은 기온 증가가 가장 높았다.
2. 안면도지역에서 이산화탄소 연평균 농도는 1999년에 370.7 ppm, 2008년에 391.4 ppm으로서 기온의 증가와 함께 지속적으로 증가하고 있고, 10년간 연평균 농도 증가는 2.3 ppm이었다. 또한 1997년 2월부터 2008년 8월까지 광주의 연평균기온은 14.2℃로 가장 높았고, 나주가 14.1℃, 담양이 13.6℃, 화순이 13.5℃, 장성이 13.3℃ 순이었으며, 광주의 월중 최고기온은 2006년 8월에 31.8℃ 이었다.
3. 계절구분 임계치를 기준하여 구한 2108년경 광주의 봄 시작일은 1월 중순 이전, 여름의 시작일은 5월 중순, 가을의 시작일은 10월 중순, 겨울의 시작일은 12월 말경이 되어 겨울의 범위가 1개월 미만으로 짧아질 것으로 전망되었다.
4. 광주지역의 48년간 전체 연평균 상대습도는 71.3%이며, 상대습도 분포는 7월 > 8월 > 9월 > 6월 > 12월 > 11월 > 10월 > 1월 > 5월 > 2월 > 4월 > 3월 순으로 높았다. 상대습도는 연도가 증가할수록 감소추세를 보여 기온과 반대현상을 보여주었다.
5. 광주시 주월동 지역에서 CO₂와 CO 농도를 비교한 결

과, CO₂와 CO는 양의 상관도(0.87)를 보여주었고, 조사 기간 중 CO₂ 평균 농도는 457 ppm으로 우리나라 배경농도인 안면도의 391.4 ppm(2008)에서 보다 65.6 ppm이나 높았다. 연구원에서 시간별로 측정한 CO₂ 농도는 오전 8시와 23시에 최고점을, 18시에 최저점을 나타내었고, CO₂와 상대습도는 양의 상관성(0.48)을 보여주었다.

KSEE

사 사

본 연구 수행을 위해 광주지방기상청에서 광주지역 기상자료 제공에 협조해 주셨으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 기상청, 기후변화 2007 과학적 근거(2008).
2. IPCC, *Climate change 2001: The scientific basis, Contribution of working group 1 to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change* WMO/UNEP, Published for IPCC, Houghton, J. T. et al, Cambridge university, UK(2001).
3. 기상청, 기후변화 2007 종합보고서(2008).
4. 환경부, 한반도 기후변화 영향평가 및 적응프로그램 마련: 기후변화로 인한 건강피해 가능성 조사 및 피해 저감정책 방향에 관한 연구 (2003).
5. 광주지방기상청, *광주지방의 기후특성*(2002).
6. 환경부, 한반도 및 동아시아 기후변화 추세분석 및 원인규명 (2008).
7. 국립기상연구소, 기후변화 협약 대응 지역기후시나리오 활용기술 개발(I), 국립기상연구소 연구보고서, MR050C03, 408(2005).
8. 국립기상연구소, 기후변화 협약 대응 지역기후시나리오 활용기술개발(II), 국립기상연구소 연구보고서, MR060C42, 611(2006).
9. 국립기상연구소, 기후변화 협약 대응 지역기후시나리오 활용기술개발(III), 국립기상연구소 연구보고서, MR070C70, 559(2007).
10. Kwon, Y. A., Kwon, W. T., Boo, K. O., and Choi, Y. E., "Future Projections on Subtropical Climate Regions over South Korea using SRES A1B Data," *J. Korean Geographical Soci.*, **42**(3), 355~367(2007).
11. 차유미, 이효신, 문자연, 권원태, 부경은, "ECHO-G/S를 활용한 미래 동아시아 기후 전망," *대기지*, **17**, 55~68(2007).
12. Kwon, Y. A., Kwon, W. T., and Boo, K. O., "Future Projections

- on the Change of Onset Date and Duration of natural Seasons using SRES A1B Data in South Korea," *J. Korean Geographical Soc.*, **42**(6), 835~850(2007).
13. 김수봉, 김해동, "도시의 수목이 기온의 조절에 미치는 영향," 한국조경학회지, **30**(3), 25~34(2002).
 14. 김규량, 권태현, 김연희, 구해정, 최병철, "청계천 복원에 따른 온·습도의 시공간적 변화 관측," 기상학회, 국립기상연구소 응용기상연구팀, 1~2(2006).
 15. 김수봉, 정응호, 김기호, "대구광역시 중구의 가로수 및 열섬 모자이크 현황 분석," 한국환경과학회지, **15**(4), 325~332(2006).
 16. 김근기, 화석연료의 고갈과 지구온난화의 해결을 위한 대체에너지의 개발과 전망: 지속가능한 건물냉방 방안을 중심으로, 석사학위논문, 한국외국어대학교(2008).
 17. 기상청, 쉽게 이해하고 간편하게 활용하는 Climate Change Handbook, 22~23(2009).
 18. 안지숙, 김해동, 김상우, "대구의 토지이용도 유형에 따른 여름철 도시열섬포텐셜 추정연구," 한국환경과학회지, **16**(1), 65~71(2007).
 19. 도후조, 이정민, 나정화, "도시 지표면 온도분포 특성 및 열섬완화방안," 한국환경과학회지, **16**(5), 611~622(2007).
 20. 차재규, 정응호, 류지원, 김대옥, "도시열섬완화를 위한 녹지네트워크 및 바람길 구축," 한국지리정보학회지, **10**(1), 102~112(2007).
 21. 안지숙, 김해동, "대구지역의 기상조건에 따른 도시열섬강도의 계절별 변화특성," 한국환경과학회지, **15**(6), 527~532(2006).
 22. Kim, J. Y., Lee, D. G., Park, I. S., Choi, B. C., and Kim, J. S., "Influence of Heat Waves on Daily Mortality in South Korea," *Atmosphere*, **16**(4), 269~278(2006).
 23. 이정민, 도후조, 나정화, 김수봉, 정응호, 다항목 평가기법의 적용을 통한 열섬효과의 평가, 한국환경과학회지, **14**(11), 1005~1014(2005).
 24. 이병설, "우리나라의 자연계절에 관한 연구," 지리학, **14**(2), 1~11(1979).
 25. 배현웅, 엑셀을 이용한 통계학의 기초와 활용 기법, 교우사, pp.273~278(2007).
 26. Kwon, Y. A., Kwon, W. T., and Boo, K. O., "Future Projections on the Spatial Distribution of Onset Date and Duration of natural Seasons using SRES A1B Data in South Korea," *J. Korean Geographical Society*, **43**(1), 36~51(2008).
 27. Koo, G. S., Boo, K. O., and Kwon, W. T., "The Estimation of Urbanization Effect in Global Warming over Korea using Daily Maximum and Minimum Temperatures," *Atmosphere*, **17**(2), 185~193(2007).
 28. 기상청, 기상청 지구대기감시보고서, pp.1~17(2006).