

기후변화시나리오를 이용한 우리나라의 기후지대 변화 연구

김용석 · 심교문* · 정명표 · 최인태 · 강기경

국립농업과학원 농업환경부 기후변화생태과

(2017년 1월 11일 접수; 2017년 3월 24일 수정; 2017년 5월 18일 수락)

Study on the Change of Climate Zone in South Korea by the Climate Change Scenarios

Yongseok Kim, Kyo-Moon Shim*, Myung-Pyo Jung, In-Tae Choi and Ki-Keong Kang

National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju, 55365, Korea

(Received January 11, 2017; Revised March 24, 2017; Accepted May 18, 2017)

ABSTRACT

In this study, we were carried out the classification of Korea's climate zone. Köppen climate classification and Warmth Index were used for classification of climate zone and we have predicted how the climate zone will be changed during the 21st century. Especially, Köppen climate classification is one of the most widely used method in the world. The climate data used monthly climate normal data (1981-2010) and future climate data (2051-2060 and 2091-2100) by considering RCP 8.5 scenarios, which was made from geospatial climate models at 1km grid cell estimated. In conclusion, the temperature will rise steadily and the climate zone will be simplified in the future as a result.

Key words: Köppen climate classification, Warmth index, RCP 8.5 scenarios, Climate zone

I. 서 론

인류는 오랜 경험을 통하여 기후환경에 적절하게 적응하면서 고유문화를 만들어 왔다. 지역별로 나타나는 기후 특성에 따라서 가옥의 형태와 농작물의 종류, 재배 방식 등의 차이가 발생한다. 그러므로 비슷한 특성을 지니는 유형에 의하여 기후지대를 구분하는 것은 기후와 주민생활 및 그 밖의 자연환경의 관계를 파악하는 데 유용하다(Lee, 2010).

기후는 항상 변화하고 있기 때문에 미래에는 현재와 다른 기후 특성이 나타날 수 있다. 한반도 기후변화 전망 보고서(Jung *et al.*, 2012)에 의하면 남한에 대한 지난 30년간(1981~2010년) 평균 기온의 변화를 분석한 결과

10년마다 0.36°C씩 상승하는 추세가 나타났으며, 강수량도 10년마다 54.28mm씩 증가하는 추세가 나타났다. 그리고, 현재 추세로 온실가스가 저감 없이 계속 배출되는 경우를 가정한 RCP 8.5 시나리오대로라면 21세기 중반 이후 온난화가 가속화되어 현재(1981~2010년)에 비해 21세기 후반기(2071~2100년)에는 평균기온이 5.3°C 상승할 것으로 전망하고 있다(Fig. 1). 이것은 머지 않아 남한의 많은 지역들이 아열대 기후지대로 변할 것임을 시사한다. 그렇기 때문에 최근의 기후 자료뿐만 아니라 미래의 예측된 기후 자료를 이용하여 우리나라의 지역별 기후 특성이 어떻게 변하게 될 지 예측해 보는 것이 필요할 것이다.

현재 기후지대 구분을 위해서 여러 방법으로 연구가



* Corresponding Author : Kyo-Moon Shim
(kmsim@korea.kr)

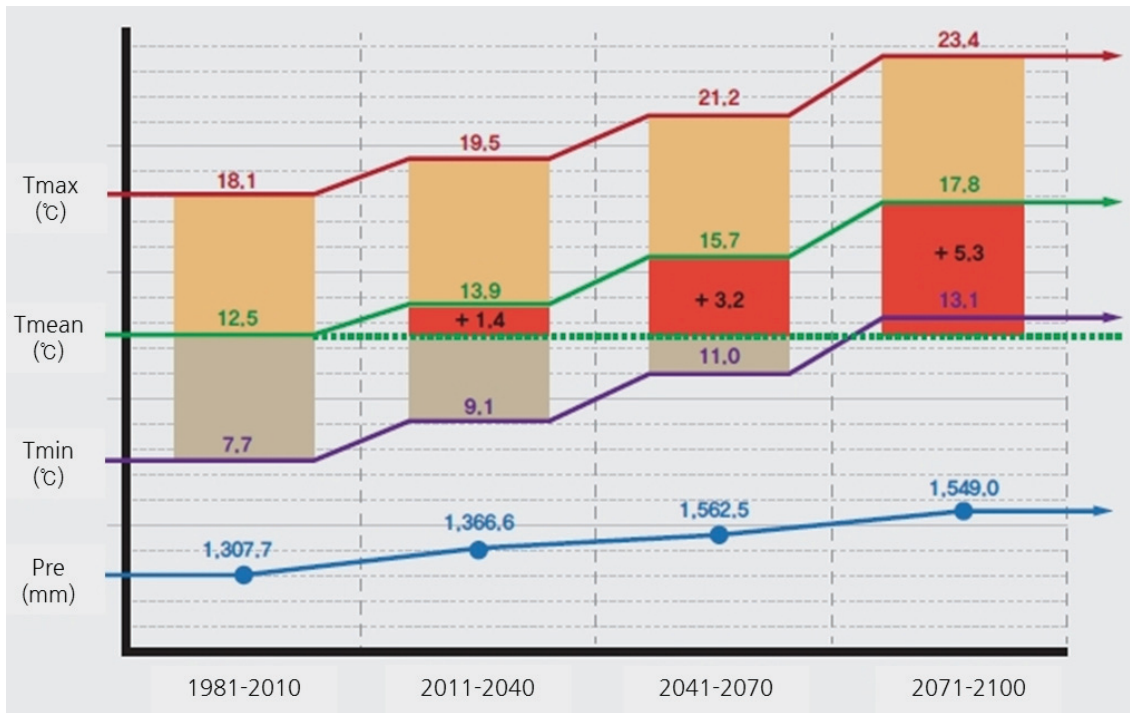


Fig 1. Change of temperature and precipitation by RCP 8.5 in South Korea. monthly climate normal data(1981 ~2010) and future climate data(2011 ~2040, 2041 ~2070 and 2071 ~2100) by considering RCP 8.5 scenarios; Tmax: maximum temperature, Tmean: mean temperature, Tmin: minimum temperature, Pre: precipitation (Jung *et al.*, 2012).

수행되고 있으며, 대표적인 것이 식생의 분포를 기준한 쾨펜(Köppen)의 기후 구분에 관한 연구(Ackerman, 1941; Kesseli, 1942; Kottek *et al.*, 2006; Alvares *et al.*, 2013)이다. 그리고, 온량지수를 이용한 기후지대 연구(Yim and Kira, 1975; Park *et al.*, 2010; Kong *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2015)와 군집분석과 같은 통계적 방법으로도 연구(Park and Moon, 1998; Park *et al.*, 2009)가 수행되고 있다.

그렇지만, 기존의 연구들은 대부분 지점별 기후자료를 이용하거나 큰 규모의 격자형 기후자료를 이용한 것이 대부분이라서 우리나라의 복잡한 지형으로 인해 발생하는 기후 특성을 반영하기에는 어려움이 있다. 특히, 지점별 기후자료를 이용할 경우 남한에 존재하는 기상 관측지점의 약 87%가 300m 이하에 분포하고 있고 대도시 위주로 지리적인 편중도 심하여 해발고도의 차이에 의한 다양한 기후형태를 파악하기 힘들다(Hong *et al.*, 2007).

그래서, 본 연구에서는 온량지수와 쾨펜의 기후 구분을 기준으로 전 지역의 모든 지점에 대한 30년 평년 기후

자료가 나타난 전자기후도를 이용하여 기후지대를 구분하고, 아울러 RCP 8.5 기후변화 시나리오를 바탕으로 미래에 우리나라 기후지대의 변화에 대하여 알아보았다.

II. 재료 및 방법

기후지대 구분을 위한 기후자료는 월별 평년기후도(1980 ~2010년)와 RCP 8.5 시나리오를 바탕으로 제작된 기후도(2051 ~2060년, 2091 ~2100년)로서 농촌진흥청 미래 상세 전자기후도 제공 시스템(www.agdcm.kr)에서 기온의 경우 30m 격자형태로, 강수량의 경우 270m 격자형태로 제공을 받았다. 각 기후자료는 기후지대 구분을 위한 계산 규모를 축소하기 위해 1km의 격자 형태로 다시 제작하였다. 제공된 기후도는 Yun(2010)이 제시한 소기후 모형을 이용하여 제작되었으며, 여러 지형 및 지리적 특징이 반영된 우리나라 모든 지역의 기후값이 격자형으로 나타나 있다. 이러한 기후도를 바탕으로 온량지수와 쾨펜의 기후 구분 기준을 적용하여 기후지대를 구분하는 연구를 수행하였다.

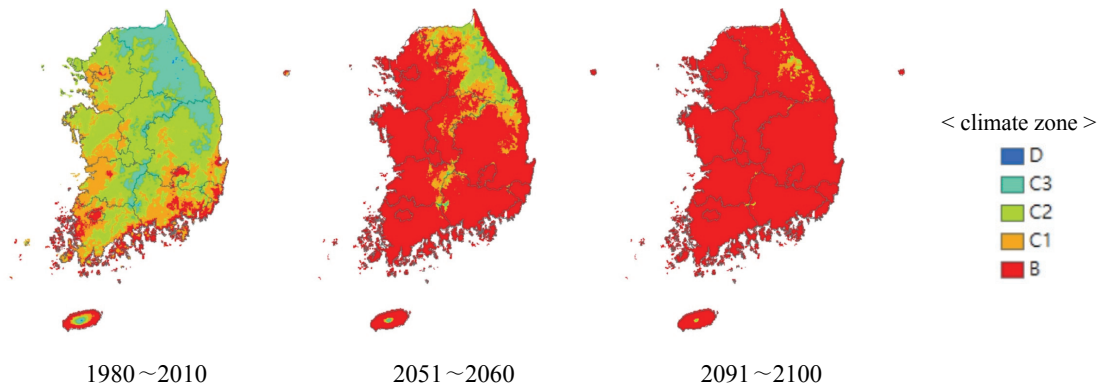


Fig 2. Climate zone classification by warmth index. D: subpolar zone, C3: northern cool temperate zone, C2: central cool temperate zone, C1: southern cool temperate zone, B: warm temperate zone.

온량지수는 식물의 성장을 위한 기준 온도를 5°C로 정하고 월평균기온이 5°C이상인 값을 1년 동안 합산한 수치를 나타낸다. 이렇게 계산된 온량지수를 이용하여 Fig. 2에서와 같이 온량지수 55미만을 아한대(D)로 구분하고, 온량지수 55~85을 북부 냉온대(C3), 온량지수 85~100을 중부 냉온대(C2), 온량지수 100~110을 남부 냉온대(C1), 온량지수 110이상을 난온대(B)로 구분하였다(Yim and Kira, 1975; Park *et al.*, 2010; Kong *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2015).

쾨펜의 기후지대 구분 기준은 독일의 기상학자 쾨펜이 고안한 기후지대 구분 방법으로 세계의 식생 분포의 기준에 따라 설정되었고, 그 기후특성을 알파벳 기호로 나타낸 것이다(Kottek *et al.*, 2006; Lee, 2010). 기후지대 구분을 위한 기준월로서 최한월은 1월, 최난월은 8월, 겨울철 최건월은 1월, 겨울철 최습윤월은 12월, 여름철 최건월은 6월, 여름철 최습윤월은 8월로 각각 정하였다.

III. 결 과

온량지수를 이용하여 기후지대를 구분한 결과는 Fig. 2와 같이 나타났다. 연대별로 1980~2010년도에는 태백산맥 및 지리산 일대의 일부 고산 지역이 아한대의 기후를 나타냈으며, 북부 냉온대는 태백산맥을 따라 인근 지역이 여기에 속하였다. 중부 냉온대는 중부내륙지역을 중심으로 다소 지대가 높은 지역이며, 남부 냉온대는 지대가 낮은 내륙과 서해안과 동해안 남부, 남해안 인근의 평야지대를 포함하였다. 난온대는 극히 적은 지역이지만 제주도의 해안지대와 남부지방의 주요 대도시들이 포함되었다. 그렇지만 RCP 8.5 시나리오에 의하면 2051~2060년대로 가면서 아한대지역은 완전히 사라지고 태백산맥 인근지역만이 고도에 따라 남부 냉온대, 중부 냉온대, 북부 냉온대의 기후를 나타내며, 다른 대부분의 지역이 난온대에 속하게 된다. 2090~2100년대로 들어

Table 1. Detail subdivision of Köppen climate classification

1st	2nd	3rd	Criteria
C			$-3\text{ }^{\circ}\text{C} < T_{\text{cold}} < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$
D			$T_{\text{cold}} \leq -3\text{ }^{\circ}\text{C}$
	w		$P_{\text{wdry}} < P_{\text{swet}} / 10$
	s		$P_{\text{sdry}} < 40\text{ mm}$ and $P_{\text{sdry}} < P_{\text{wwet}} / 3$
	f		not s or w
		a	$T_{\text{hot}} \geq 22\text{ }^{\circ}\text{C}$
		b	T_{hot} not a and $T_{\text{mon}10} \geq 4\text{ }^{\circ}\text{C}$
		c	T_{hot} not a, b and $1 \leq T_{\text{mon}10} < 4\text{ }^{\circ}\text{C}$

* T_{cold} : average temperature of coldest month, T_{hot} : average temperature of hottest month, P_{wdry} : average precipitation of driest month in winter half of year, P_{swet} : average precipitation of wettest month in summer half of year, P_{sdry} : average precipitation of driest month in summer half of year, P_{wwet} : average precipitation of wettest month in winter half of year, T_{hot} : average temperature of hottest month, $T_{\text{mon}10}$: number of months with average temperatures over 10 °C

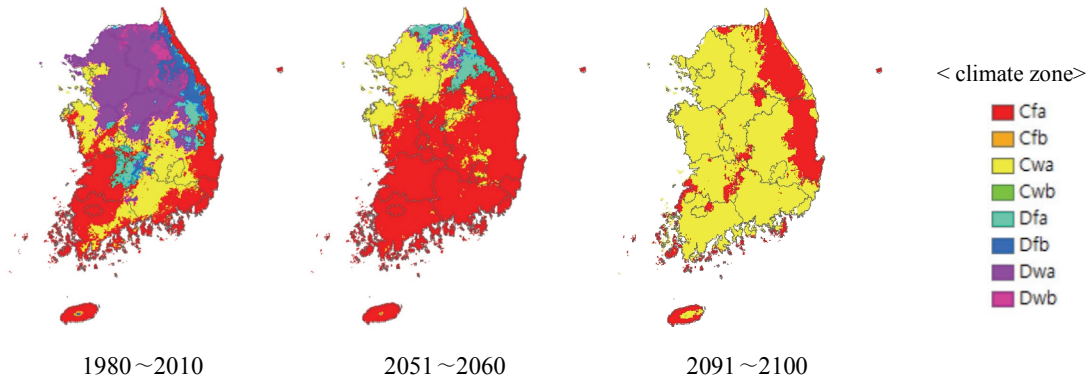


Fig 3. Climate zone classification by Köppen climate classification. C: mild temperate, D: Cold temperate, f: fully humid, w: dry winter, a: hot summer, b: warm summer.

서면 더욱 변화가 크게 나타나 극히 일부 지역을 제외하고는 남한 전체가 난온대에 속하게 될 것으로 예상된다.

코펜의 기후지대 구분에서 남한에 해당하는 기후특성을 나타내는 기호를 살펴보면, C는 온화한 중위도 기후를 나타내고 D는 한랭한 중위도 기후를 나타낸다. 그리고 s는 건조한 여름, w는 건조한 겨울, f는 연중 습윤한 기후를 각각 나타내며, a는 뜨거운 여름, b는 고온의 여름, c는 시원한 여름이 나타나는 기후를 나타낸다(Table 1). 남한에는 주로 온난 습윤 기후인 Cfa 지대와 온난 하계 다우 기후인 Cwa 지대, 한랭 습윤 기후인 Dfa 및 Dfb 지대, 한랭 하계 다우 기후인 Dwa 및 Dwb 지대가 나타나고 있다.

코펜의 기후지대 구분을 위한 조건에 해당하는 기준월의 특징을 살펴보면, 1월과 8월의 평균기온은 2091~2100년대까지 꾸준히 증가하는 추세이지만, 강수량의 경우 2051~2060년대에 6월 강수량이 소폭 증가하며, 2091~2100년에는 8월 강수량이 증가하는 경향이 나타난다(Table 2).

Fig. 3과 같이 각 연대별로 기후자료를 이용하여 기후지대를 구분한 결과, 1981~2010년의 평년 기준으로는 온난 습윤한 기후인 Cfa와 Cwa 지대, 대륙성 한랭 습윤한 기후인 Dfa, Dfb, Dwa, Dwb 지대가 주로 나타났다. 각 기후별 특성이 나타나는 면적을 살펴보면, Cfa(온난 습윤) 지대가 36%를 차지하며, Dwa(한랭 동계 건조) 지대는 28%, Cwa(온난 동계 건조) 지대는 22%, Dfa(한랭 습윤) 지대는 5%를 차지하는 것으로 나타났다. 지역별로는 제주도와 전라도의 대부분 지역, 경상도의 동부지역, 남해안지역, 강원도 동부해안지역이 Cfa 지대에 속하였고, Dwa 지대에는 경기도와 충청북도의 대부분 지역과 강원도 서부지역이 속하였다. 그리고 경상도의 소백산맥 지역과 충청남도의 일부 지역, 서울과 인천 일대는 Cwa 지대에 속하였다.

2051~2060년대를 기준으로 기후지대를 구분한 결과, 남한 전체 면적에서 Cfa 지대는 73%, Cwa 지대는 19%, Dfa 지대는 5%, Dwa 지대는 2%를 차지하였다. 지역별로는 제주도와 전라도, 경상도, 충청도 거의 대부분

Table 2. Range of climate factors of Köppen climate classification

Climate Factors	Month	Period		
		1980~2010	2051~2060	2091~2100
Tcold(°C)	January	-10.0~7.3	-6.3~9.9	-3.4~12.6
Thot(°C)	August	15.9~28.5	17.8~32.1	20.1~34.4
Pwdry(mm)	January	1.2~11.4	0.8~11.0	0.1~15.4
Pswet(mm)	December	1.1~12.9	0.6~12.9	1.7~12.9
Psdry(mm)	June	8.0~39.2	11.8~68.9	5.3~56.3
Pwwet(mm)	August	15.7~73.1	12.6~76.3	13.5~104.3

* Tcold : average temperature of coldest month, Thot: average temperature of hottest month, Pwdry: average precipitation of driest month in winter half of year, Pswet: average precipitation of wettest month in summer half of year, Psdry: average precipitation of driest month in summer half of year, Pwwet: average precipitation of wettest month in winter half of year

분 지역과 강원도의 남부지역과 동부해안지역이 Cfa 지대에 속하였다. 그리고, Cwa 지대에는 경기도의 대부분 지역과 강원도 서부 일부 지역 및 충청남도 태안반도를 포함한 일부 지역이 속하였다.

2091~2100년을 기준으로 기후지대를 구분한 결과, 남한의 전체 면적에서 Cwa 지대는 75%를, 전체 면적에서 Cfa 지대는 25%를 차지하였다. 지역별로는 한라산 일대를 제외한 제주도 지역과 강원도와 경상도의 태백산맥을 중심으로 하는 지역이 Cfa 지대에 속하였다.

이와 같이 2090년대 이후에는 우리나라에서는 한랭한 기후지대(D)가 사라질 것이며, 여름철이 아주 더워질 것이다. Cfa 지대는 1980~2010년대에 비해 2051~2060년대에 급격히 증가하였다가 2091~2100년대에는 강원도 산간지역 중심으로만 나타나고, Cwa 지대는 1980~2010년대에 비해 2051~2060년대에 북쪽으로 이동하여 경기도 일원에서만 나타나지만 2091~2100년대에는 강원도, 경상북도를 제외한 대부분의 지역을 차지하게 될 것이다.

본 연구에서 온량지수와 괴펜의 기후지대 구분 방법을 통해서 남한의 기후지대의 변화를 살펴본 결과 21세기 후반으로 갈수록 남한의 기후특성이 단순해져서 지역마다 기후의 차이가 뚜렷하게 나타나지 않을 것으로 예상된다. 특히, 기온만이 고려된 온량지수에 의한 기후지대 구분에서는 현재 남부 일부 지역에서만 나타나는 난온대 기후가 21세기 후반에는 강원도의 고산지를 제외한 전국에 나타날 것으로 예상된다. 기온과 강수량을 함께 고려한 괴펜의 기후지대 구분에 의하면 기온은 꾸준히 올라갈 것으로 예상되지만 강수량은 시대에 따라 달라져 21세기 중반에는 연중 습윤하고 여름철에 아주 기온이 높은 Cfa의 기후특성이 남한의 중부와 남부지역에 넓게 나타날 것이지만 21세기 후반이 될수록 태백산맥을 중심으로 겨울철에 눈이 많이 내려 연중 강수량이 풍부한 Cfb의 기후특성이 나타나고 그 외 지역에서는 여름철 대비 겨울철에 강우가 적은 Cwa의 기후특성이 나타날 것으로 예상된다.

IV. 고 찰

본 연구에서 활용된 RCP 8.5 기후변화 시나리오를 바탕으로 한 기후자료를 살펴보면, 기온은 2100년까지 꾸준히 상승할 것으로 예측되어 1980~2010년의 평년기후자료를 이용한 기후지대 구분 결과에 존재했던 한랭한 기후지대가 2091~2100년대에는 완전히 사라질 것

으로 예상되고, 지역별로 다양했던 기후형태가 21세기 후반으로 갈수록 단순화 될 것으로 예상된다. 강수량의 변화와 관련해서는 1980~2010년에 비해 2051~2060년대에 연중 강수가 고르게 내리는 지역이 증가하지만 2091~2100년대에는 여름철에 집중호우가 증가하는 지역이 늘어날 것으로 예상할 수 있다.

그렇지만, 이번 연구에서는 급격하게 기후변화가 일어날 것을 전제로 한 RCP 8.5 기후변화 시나리오만을 이용하였기 때문에 다소 극단적인 결과를 나타냈다고 볼 수 있다. 그렇기 때문에 RCP 4.5 기후변화 시나리오와 같은 다소 완화된 기후변화 시나리오를 바탕으로 한 기후지대의 변화도 함께 연구하게 된다면 미래의 기후변화에 따른 대책 수립에 활용도가 높아질 수 있을 것이다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ01000702)의 지원에 의해 이루어진 것임

적 요

본 연구에서는 RCP 8.5 기후변화 시나리오를 바탕으로 온량지수와 괴펜의 기후구분을 통한 우리나라의 기후지대 변화를 살펴 보았다. 그 결과, 온량지수에 의한 기후지대를 구분하였을 경우 21세기 후반으로 갈수록 기온이 증가하여 전국적으로 난온대의 기후특성이 나타날 것으로 예상되었으며, 괴펜의 기후지대 구분에서는 기온의 꾸준한 증가와 강수량의 연중 빈도 차이에 의해 Cfa와 Cwa의 기후특성이 주로 나타날 것으로 예상된다.

REFERENCES

- Ackerman, E. A. 1941: The Köppen classification of climates in North America. *American Geographical Society* **31**(1), 105-111.
- Alvares, C. A., J. L. Stape, P. C. Sentelhas, M. Gonçalves, J. Leonardo, and G. Sparovek, 2013: Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* **22**, 711-728.
- Hong, K. O., M. S. Suh, D. K. Rha, D. H. Chang, C. S. Kim, and M. K. Kim, 2007: Estimation of high resolution gridded temperature using GIS and PRISM. *Journal of Korean Meteorological Society* **17**(3), 255-268. (in Korean with English abstract)

- Park, C. Y., Y. E. Choi, J. Y. Moon, and W. T. Yun, 2009: Classification of climate zones in South Korea considering both air temperature and rainfall. *Journal of Korean Association of Professional Geographers* **44**(1), 1-16. (in Korean with English abstract)
- Jung, H.S., T.Y. Kim, D.S. Moon, T.W. Huh, C.H. Shin, Y.M. Lee, Y.E. Choi, J.I. Kwon, H.S. Lee, S.H. Jeon, S.L. Cho, M.K. Kim, S. Kim, J.W. Kim, J. Sang, D.H. Lee, M.I. Lee, D.M. Kim, and H.L. Kim, 2012: The Korean Peninsula climate change prospect report. *Korea Meteorological Administration. Korea*, 10-13.
- Kesseli, J. E., 1942: The climates of California according to the Köppen classification. *American Geographical Society* **32**(3), 476-480.
- Kim, H. Y., S. T. Yu, M. H. Yi, G. S. Kim, H. T. Shin, and B. D. Kim, 2015: A study on the change of warmth index · coldness index in Korea. *Journal of Climate Research* **10**(2), 153-164. (in Korean with English abstract)
- Kong, S. J., J. H. Shin, and K. C. Yang, 2013: The study of adaptable plant species according to warmth index using RCP 8.5 scenarios in Cheonan-Si. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* **16**(3), 19-30. (in Korean with English abstract)
- Kottek, M., J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, and F. Rubel, 2006: World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *American Geographical Society* **15**, 259-263.
- Lee, S., 2010: *Climatology*, Purungil, 275pp.
- Park, H. W., and B. C. Moon, 1998: Classification of climatic region in Korea using GIS. *Journal of Korean Association of Professional Geographers* **33**(1), 17-40. (in Korean with English abstract)
- Park, J. C., K. C. Yang, and D. H. Jang, 2010: The movement of evergreen broad-leaved forest zone in the warm temperate region due to climate change in South Korea. *Journal of Climate Research* **5**(1), 29-41. (in Korean with English abstract)
- RDA, 2013: Digital Agro-Climatic Map Database for Impact Assessment of Climate Change on Agriculture. <http://www.agdem.kr> (2016. 7. 7.)
- Yun, J. I., 2010: Agroclimatic maps augmented by a GIS technology. *Journal of Korean Agricultural and Forest Meteorology* **12**(1), 63-73. (in Korean with English abstract)
- Yim, Y. J., and T. Kira, 1975: Distribution of forest vegetation and climate in the Korean Peninsula.: I. Distribution of some indices of thermal climate. *Japanese Journal of Ecology* **25**, 77-88.