

최근 우리 나라(북반부)에서 극단적인 기온지수변동

엄금철, 오현옥

최근 급속한 지구온난화에 의하여 초래되는 이상기상기후현상들이 보다 돌발적이고 우심하게 나타나고있는 현실은 일기예보부문에서 극단적인 일기현상들을 옳게 분석하기 위한 연구를 강화할것을 요구하고있다.

세계적으로 우리 나라를 비롯한 많은 나라와 지역들에서 지역적 및 전지구적범위에서의 기후변동을 해명하기 위한 연구결과[1-6]가 많이 발표되고있다.

논문에서는 최근 국제적인 기상기후연구기구들에서 지역의 기후변동분석에 리용할것을 권고하고있는 극단적인 기온지수를 리용하여 고찰한 최근 50여년간 우리 나라(북반부)지역에서의 기온변화특성에 대하여 서술하였다.

1. 선정된 극단적인 기온지수와 관측자료의 균일성보장

논문에서는 기후변화검출 및 감시전문가집단(ETCCDMI), 기후변화연구기구(CCI), 세계기후연구계획(WCRP)과 같은 연구중심들이 기후변화연구를 위하여 선정한 기온과 관련된 지수 15개와 우리 나라에서 극단적인 기온현상과 관련된 지수(TX35)를 추가적으로 선정하여 총 16개의 지수들을 선정하였다.[4] 그리고 지수들을 그 계산원리와 방법에 따라 극값지수, 절대지수, 상대지수로 구분하였다.(표 1)

표 1. 1961년-2018년간의 선정된 지수

약어	분류	지수	정의
TXa	극값지수	TX평균	TX의 월평균값
TNa		TN평균	TN의 월평균값
DTR		일변화범위	TX와 TN차의 월평균값
TXx		TX최대	TX의 월최고값
TNx		TN최대	TN의 월최고값
TXn		TX최소	TX의 월최저값
TNn		TN최소	TN의 월최저값
FD0	절대지수	서리일수	년중 $TN < 0^{\circ}\text{C}$ 인 일수
ID0		동결일수	년중 $TX < 0^{\circ}\text{C}$ 인 일수
SU25		여름일수	년중 $TX > 25^{\circ}\text{C}$ 인 일수
TR20		열대밤일수	년중 $TN > 20^{\circ}\text{C}$ 인 일수
TX35		고온일수(주의)	년중 $TX \geq 35^{\circ}\text{C}$ 인 일수
TX37		고온일수(1급)	년중 $TX \geq 37^{\circ}\text{C}$ 인 일수
TX39		고온일수(특급)	년중 $TX \geq 39^{\circ}\text{C}$ 인 일수
TN10p	상대지수	추운 밤	TN이 10분위수보다 작은 날수
TX10p	상대지수	추운 낮	TX이 10분위수보다 작은 날수
TN90p	상대지수	더운 밤	TN이 90분위수보다 큰 날수
TX90p	상대지수	더운 낮	TX이 90분위수보다 큰 날수

표 1에서 극값지수들은 $^{\circ}\text{C}/10\text{y}$ 의 단위로, 절대지수와 상대지수는 $\text{d}/10\text{y}$ 의 단위로 설정하였으며 TN지수는 일최저기온, TX는 일최고기온을 의미한다.

다음으로 관측된 기온자료들에 대한 균일성처리를 진행하였다.

균일성처리는 관측자료검사와 결측기간보간의 두 공정으로 진행하였다.

관측자료의 검사는 일관성검사와 특이값검사로 나누어 진행하였다. 일관성검사는 두 기상요소사이의 관계에서 모순이 없는가를 확인하고 만족되어야 할 관계(실례로 관측날자별기온 \leq 월최고기온, 최저기온 $-$ 일최고기온 $<0^{\circ}\text{C}$ 혹은 표준편차를 초과하지 않는 것, 강수량 ≥ 0 등)들에 기초하여 진행하였고 특이값검사는 비현실적인 기온관측자료를 검출하여 통계적특성량들로부터 특이값을 판단하고 처리하는 공정을 세우는 방법으로 진행하였다.

결측값인 경우에는 결측날자수에 따라 주변관측자료에 의한 결측보간공정으로 처리하였다. 결측자료에 대하여 3일이상 결측된 계열은 주변관측소자료와의 상관성을 검사하고 가장 상관성이 높은 관측소들에 대하여 기후계통과 지리적조건을 고려하여 관측소들을 재선발하고 차의 방법이나 비의 방법을 적용하여 계열유도를 진행하였다.

3일이하 결측자료에 대하여서는 관측계열의 변동경향을 선형적으로 분석하여 경향성에 따르는 보간값을 얻고 이 값을 주변관측소자료로부터 추정보간된 자료와의 평균값을 취하여 결측자료를 보간하였다. 관측자료의 균일성처리공정을 다음의 그림에 제시하였다.

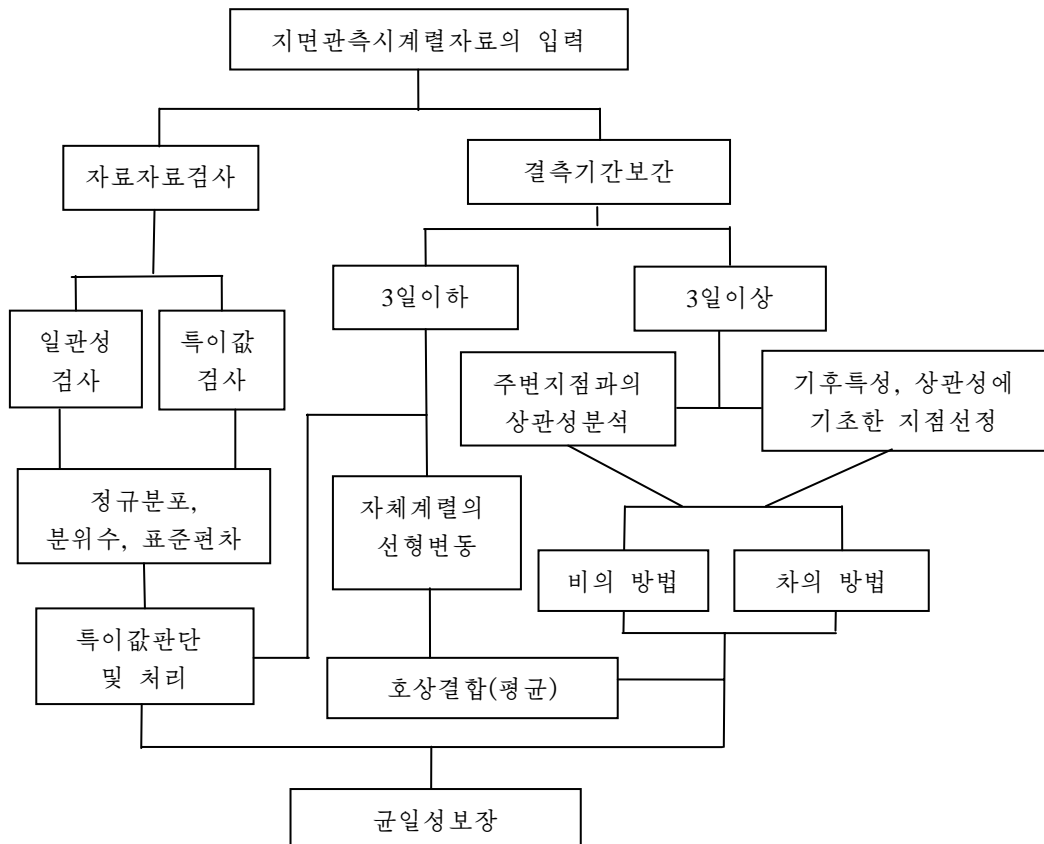


그림. 지면관측자료의 균일성처리공정도

2. 계 산 실 험

론문에서는 1961년—2018년기간을 연구기간으로 정하고 우의 공정에 따라 우리 나라 (북반부)의 37개의 지면기상관측소들의 기온관측자료의 균일성을 보장하였으며 Matlab와 통계프로그램 R Studio를 리용하여 계산실험을 진행하였다.

기온지수들의 선형변동성을 계산하는데 최소2제곱법과 함께 통계적분포검정으로서는 t -분포를 리용하였다. 선형변동성의 통계적유의성을 검정하는데 비파라미터검정법인 Kendall—tau법을 적용하였다. 분석하는 시간규모는 월별, 년별, 년대별로 설정하였다.

P 값이 0.05이하인 때 선형경향성은 95%유의수준을 만족한다고 평가하였다. 백분위수에 기초한 지수값들은 전체 표본량들의 값구간에 따르는 해당 백분위수값을 턱값으로 정하는 방법으로 결정하였다. 지수들의 분류에 따르는 변화경향은 다음의 표 2—4와 같다.

표 2. 극값지수들의 변화경향

약어	지수	변화경향/($^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{y})^{-1}$)	유의수준	P 값
TXa	TX평균	0.32	***	0.000 7
		0.28	***	0.000 5
		0.25	**	0.001 7
		0.31	*	0.035
TNa	TN평균	0.30	**	2.40×10^{-6}
		0.22	**	5.00×10^{-4}
		0.22	**	0.0047
		0.35	*	0.023
DTR	일변화범위	0.03	*	0.029
		0.06	유의성없음	0.154
		0.02	*	0.018
		-0.05	**	0.002
TXx	TX최대	0.44	**	0.003
		0.32	**	0.009
		0.24	*	0.011
		0.15	유의성없음	0.144
TNx	TN최대	0.28	*	0.016 2
		0.20	**	0.006
		0.20	*	0.0216
		0.12	유의성없음	0.242
TXn	TX최소	0.25	*	0.0191
		0.21	*	0.015 8
		0.22	유의성없음	0.104 1
		0.46	**	0.008 2
TNn	TN최소	0.33	**	0.009 7
		0.29	***	0.000 1
		0.22	**	0.002 1
		0.50	***	0.000 3

※ ***: 유의수준 99.9%이상, **: 99%이상, *: 95%이상, P 값은 Kendall—tau검정으로 계산, 이후 기호표시는 모두 같음.

표 3. 절대지수와 그 변화경향

락어	변화경향/(d · (10y) ⁻¹)	유의수준	P값
FD0	-2.22	***	4.704×10^{-5}
ID0	-2.34	**	0.001
SU25	4.10	***	2.355×10^{-8}
TR20	1.76	**	0.01
T35	10.64	***	8.605×10^{-4}

표 4. 상대지수와 그 변화경향

락어	변화경향/(d · (10y) ⁻¹)	유의수준	P값
TN10p	-0.696	**	0.002
TX10p	-0.680	**	0.002
TN90p	0.575	*	0.01
TX90p	1.041	***	7.072×10^{-7}

3. 결 과 분 석

극값지수는 모든 계절들에 대하여 증가경향을 보여준다. 특히 TXa, TNa지수들의 증가량이 그중 높았고 계절적으로 보면 겨울철의 TNn과 TXn, 봄철의 TXx가 각각 0.50°C/10y, 46°C/10y, 0.44°C/10y로 가장 높았고 TNx, TXx의 겨울철값이 각각 0.12°C/10y, 0.15°C/10y로 가장 낮았지만 유의하지 않다.

서리일수(FD0)와 동결일수(ID0)와 같은 추운 일기상태들의 년평균값들은 연구기간 그 감소경향이 매우 뚜렷하였으나 여름일수(SU25)와 열대밤일수(TR20)와 같은 더운 일기조건들은 모두 뚜렷한 증가경향을 보여주었다. 1960년대에 비하여 2010년대에 겨울철서리일수와 동결일수는 각각 약 7, 8일간 감소하였다.

또한 0°C이하의 일최저기온(TN)과 일최고기온(TX)의 감소률에서는 차이가 없었지만 25°C이상의 TX의 증가률(SU25)은 20°C이상의 TN의 증가률(TR20)의 2배이상에 달한다. 고온현상발생을 설명하는 TX35지수는 약 10d/10y의 속도로 매우 빨리 증가하였다. 이것은 주의급의 고온현상이 연간 평균 1d정도씩 증가하였다는것을 보여준다.

상대지수들인 TN10p, TX10p, TN90p, TX90p지수들의 시간적변동을 보면 계절극기온지수에 기초한 10분위수에 따르는 추운 낮과 추운 밤의 변화는 비례관계에 있으나 변화량의 크기에서는 추운 낮의 변화가 추운 밤의 변화보다 약간 작았다. 전국적으로 기상학적 겨울기간 추운 밤과 낮의 변화는 모두 약 -0.7d/10y으로 감소하였다. 이와 반대로 기상학적여름기간에 더운 밤과 더운 낮들은 각각 약 0.6d/10y, 1d/10y의 속도로 증가하였다.

기타 지수들도 계절별변화경향이 통계적으로 유의하지 않았다.

맺 는 말

극값지수의 변화에 대하여 보면 일최고평균기온, 일최저평균기온지수들의 증가량이 제일 높았고 계절적으로 보면 겨울철 일최저기온의 최저값과 일최고기온의 최저, 봄철 일최고기온의 최고값과 관련된 지수들은 모두 큰 규모의 증가를 보여주었지만 다른 기타 지수들의 겨울철감소경향은 통계적유의성이 뚜렷하지 않았다.

절대지수와 관련하여 추운 일기상태를 반영하는 지수들은 연구기간 그 감소경향이

매우 뚜렷하였고 더운 일기와 관련된 지수들은 명백한 증가경향을 보여주었다. 또한 고온지수들은 1960년대에 비하여 2010년대 발생일수가 2배~6배이상에 달하였다.

상대지수들을 보면 추운 밤일수와 추운 낮일수들은 뚜렷한 감소률을, 더운 밤일수와 더운 낮일수지수에 대하여서는 모두 명백한 증가률을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] L. V. Alexander et al.; Journal of Geophysical Research, 111, 3, 2006.
- [2] T. Ding et al.; Int J Climatol, 30, 1452, 2009.
- [3] D. R. Easterling et al.; Bull Am Meteorol Soc, 81, 417, 2000.
- [4] G. M. Griffiths et al.; International Journal of Climatology, 25, 1301, 2005.
- [5] A. Moberg et al.; International Journal of Climatology, 25, 1149, 2005.
- [6] https://doi.org/10.1007/s_00704-019-02820-0, 2019.

주체108(2019)년 10월 5일 원고접수

Recent Variation of the Extreme Temperature Indices in the Northern Half of Korea

Om Kum Chol, O Hyon Ok

In this paper, we described the research result on the change of the extreme value temperature during the period of 1961-2018 using the extreme temperature indices in the northern half of Korea.

Keywords: temperature, climate index