우리나라의 온량지수·한랭지수 변화에 관한 연구

김혜영¹·유성태¹·이명훈¹·김기송¹·신현탁²·김병도¹

¹대구수목원 · ²국립수목원 산림자원 보존과

(2015년 6월 9일 접수, 2015년 6월 22일 수정, 2015년 6월 25일 게재 확정)

A Study on the Change of Warmth Index · Coldness Index in Korea

Hea-Young Kim¹ · Sung-Tae Yu¹ · Myung-Hoon Yi¹ · Gi-Song Kim¹ · Hyun-Tak Shin² · Byung-Do Kim¹

¹Daegu Arboretum

²Plant Conservation Division, Korea National Arboretum

(Received 9 June 2015, Revised 22 June 2015, Accepted 25 June 2015)

Abstract : This study analyzed a variation in warmth index and coldness index in South Korea for the past 40 years (1974-2013) and its spatial distribution (2004-2013). To this end, monthly average temperature data in 62 meteorological observation points and 583 meteorological observation points for prevention against disasters in South Korea were used. According to the observed area, the warmth index in general ranged from 56.84(°C-month) to 144.49(°C-month) or so. And an analysis showed that the coldness index ranged from -43.94(°C-month) to 0(°C-month). And overall average warmth index was 104.22(°C-month) and overall average coldness index was -14.42(°C-month). In almost all observation points, these indices tended to increase, and their increase rate was high in an inland urban area in particular. With regard to the spatial distribution, an analysis showed that it was the lowest in the some mountainous areas of Taebaek mountains lying across Gangwon province and around the peak of Mount Halla. And it was high in southwest coastal area including Mokpo, Jeju Island, some areas in the east coast and south coast, and Yeongnam inland regions including Daegu, and so on. It is thought that the above can be utilized as baseline data for explaining the fact such as the productivity of agricultural products, plant phenology, and a change in plant habitat due to climate change.

Key Words : Warmth Index, Coldness Index, Kriging, Climate Change

주요어 : 온량지수, 한랭지수, 크리깅, 기후변화

1. 서론

산업혁명 이후 급속한 화석연료 사용의 증가로 온실가스와 대기 오염물질의 농도가 증가하여 발

생한 지구온난화는 가뭄, 태풍, 홍수 등의 이상기후 현상 및 빙하면적의 감소 등으로 인한 해수면 상승 등 지구의 자연생태계 전반에 걸쳐 변화를 가져올 뿐만 아니라 수자원 관리의 불안정, 산업 환

경, 보건, 주거환경과 식량안보 등 사회·경제적인 차원에서 광범위한 영향을 미치게 되었다. 기후변화에 관한 정부간 협의체 제5차 평가보고서(IPCC, 2014)에서는 1880~2012년까지의 기간 동안 0.85℃의 지구 표면 온난화가 나타났으며, 지난 1400년간의 지구 표면 온도에 대한 평가가 가능한 북반구의 경우, 1983~2012년의 30년은 지난 1400년 중 가장 따뜻한 기간이었을 가능성이 높은 것으로 보고하고 있다. 최근의 이러한 기온상승은 과거의 자연적인 변화에 비해 100배 빠르게 진행되고 있으며, 한반도의 기온도 지난 20세기 동안 지속적으로 상승하고 있다는 사실이 다양한 연구에서 밝혀지고 있다(Kang and Rho, 1985; Lee and Kang, 1997; Jung *et al.*, 2002; Ha *et al.*, 2004).

그러나 우리나라는 좁은 국토 면적에도 불구하고 남북방향으로 긴 반도에 위치하여 대륙성기후와 해양의 기후적 영향을 동시에 받을 뿐만 아니라 발달한 여러 산맥들은 지형적 특성과 지리적 위치 등을 달리하기 때문에 지역별로 다양한 기온 특성을 나타나게 한다. 따라서 최근에는 이러한 기후변화 특성을 다양한 측면에서 밝혀내기 위한 여러 연구가 수행되고 있다. 특히 기온을 이용하여 식물의 공간적인 분포를 설명하는 방법 중의 하나(Kira, 1945)인 온량지수와 한랭지수는 자연적인 산림식생대 분포 및 공간적인 이동을 이해하기 위해 사용되는 방법 중 하나로(Yim and Kira, 1975) 그 분포도 작성의 필요성이 증대되고 있다.

이와 관련하여 Yim and Lee(1975)는 산림대의 경계는 온량지수보다는 한랭지수의 등치선이 더 연관이 있는 것으로 해석을 하였으며, Kim and Sung(1986)은 1970년 1월에서 1983년 12월까지 상록활엽수가 주로 자생하는 26개 남해연안지방의 온량지수와 한랭지수의 범위는 각각 100~118℃와 -4~-14℃ 정도인 것으로 보고를 하였다. 가까운 미래에는 난온대 상록활엽수림대가 서해안을 따라

김제평야와 익산만경평야, 충남 내륙 방면으로 넓게 퍼져 북상하고, 동해 해안선을 따라 좁게 길게 북상할 것으로 추정하였다(Park *et al.*, 2010). 또한 Park *et al.*(2012)는 남한에서 온량 및 한랭지수의 시계열 추세와 인구와의 관계 분석에서 인구 상승 추세가 강하거나 평균인구가 높은 지역은 온량지수 상승 추세가 강한 반면, 온량지수 하락 추세를 경험할 때는 그 강도가 다른 지역에 비해 약하다고 보고하였다.

그러나 지금까지의 온량·한랭지수에 관한 연구들은 너무 오래된 과거의 자료이거나 일부지역만을 토대로 분석이 이루어졌으며, 기후온난화가 급격하게 이루어지고 있는 최근 40년에 대한 연구는 많이 이루어지고 있지 못하다. 또한 1900년대 초부터 지금까지 오랫동안 관측이 계속 이루어지고 있는 일부 도시에 관한 연구도 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 온량·한랭지수의 분석을 통하여 지역별로 최근 40년간의 이들 지수의 변화량은 물론 변화추세를 파악하고 아울러, 장기간 관측이 이루어지고 있는 일부 도시에 대해서는 과거와 최근 40년간의 변화량을 상호 비교하여 분석하였다. 또한 가장 가까운 최근 10년(2004~2013년)의 온량·한랭지수의 공간적 분포를 분석하여 구분하였다.

2. 재료 및 연구방법

연구지역은 남한 전체를 대상으로 하며, 기상청 국가기후데이터센터에서 제공하는 583개 지점의 월평균 기온자료를 조사 분석한 후, 1974년 1월부터 2013년 12월까지 40년 동안 비교 가능한 62개 지역(Table 1)을 기본적으로 선정하였다. 기후특성의 설명력을 잃지 않으면서 시계열 추세를 파악할 수 있을 만큼의 자료를 확보하기 위해 10년

이동구간을 사용(Park *et al.*, 2012)하였으며, 이 10년 이동구간을 기준으로 각각의 관측지점에 대한 온량지수(WI; Warmth Index)와 한랭지수(CI; Coldness Index)의 평균값을 이용하여 분석하였다. 1930년대 이전부터 장기간 관측이 이루어지고 있는 인천, 부산, 목포, 서울, 대구, 강릉, 전주, 제주 등의 8개 지상관측점은 별도로 그 변화량과 추세

를 자세하게 비교 고찰하였다.

기후변화 지표로 사용된 온량지수와 한랭지수는 Kira(1945)의 방법을 사용하였으며, 아래의 식으로 산정하였다.

$$WI = \sum_1^n (t-5) : t > 5^{\circ}\text{C} \quad (t: \text{월평균기온})$$

$$CI = -\sum_1^n (t-5) : t < 5^{\circ}\text{C} \quad (t: \text{월평균기온})$$

Table 1. Location of Weather stations used in this study.

Station	Lat, (°)	Lon, (°)	Alt, (m)	Station	Lat, (°)	Lon, (°)	Alt, (m)
ANDONG	36,57304	128,70726	139,39	JECHEON	37,15927	128,19430	263,61
BOEUN	36,48759	127,73412	174,99	JEJU	33,51411	126,52968	20,45
BORYEONG	36,32721	126,55741	15,49	JEONGEUP	35,56317	126,86611	44,58
BUAN	35,72954	126,71655	11,96	JEONJU	35,82150	127,15496	53,40
BUSAN	35,10468	129,03203	69,56	JINJU	35,20845	128,11911	21,32
BUYEO	36,27236	126,92081	11,33	MIRYANG	35,49148	128,74410	11,21
CHEONAN	36,77962	127,12127	21,30	MOKPO	34,81689	126,38121	38,00
CHEONGJU	36,63924	127,44066	57,16	MUNGYEONG	36,62727	128,14877	170,61
CHUNCHEON	37,90256	127,73570	77,71	NAMHAE	34,81663	127,92641	44,95
CHUNGJU	36,97038	127,95266	115,12	NAMWON	35,40536	127,33303	90,29
CHUPUNGNYEONG	36,22023	127,99457	244,73	POHANG	36,03259	129,37962	2,28
DAEGU	35,88515	128,61903	64,08	SANCHEONG	35,41299	127,87910	138,07
DAEGWANNYEONG	37,68692	128,75870	842,52	SEOGWIPO	33,24612	126,56533	50,40
DAEJEON	36,37200	127,37212	68,94	SEONGSAN	33,38682	126,88039	18,40
GANGHWA	37,70739	126,44634	47,01	SEOSAN	36,77661	126,49391	28,91
GANGNEUNG	37,75147	128,89098	26,04	SEOUL	37,57141	126,96579	85,50
GEOCHANG	35,67121	127,91101	221,40	SOKCHO	38,25085	128,56471	18,06
GEOJE	34,88818	128,60452	46,27	SUNCHEON	35,07498	127,23911	74,40
GEUMSAN	36,10562	127,48175	170,35	SUWON	37,27230	126,98530	34,06
GOHEUNG	34,61824	127,27571	53,12	TONGYEONG	34,84546	128,43560	32,67
GUMI	36,13055	128,32054	48,88	UISEONG	36,35611	128,68863	81,81
GUNSAN	35,99296	126,70570	25,57	ULJIN	36,99176	129,41278	50,00
GWANGJU	35,17294	126,89158	72,38	ULLEUNG	37,48129	130,89864	222,80
HAENAM	34,55359	126,56897	13,01	ULSAN	35,56014	129,32027	34,57
HAPCHEON	35,56503	128,16986	33,10	WANDO	34,39587	126,70184	35,24
HONGCHEON	37,68360	127,88042	140,92	WONJU	37,33756	127,94660	148,64
ICHEON	37,26398	127,48420	78,01	YANGPYEONG	37,48857	127,49447	47,98
IMSIL	35,61227	127,28556	247,87	YEONGCHEON	35,97743	128,95142	93,60
INCHEON	37,47759	126,62436	68,15	YEONGDEOK	36,53331	129,40936	42,12
INJE	38,05987	128,16713	200,16	YEONGJU	36,87188	128,51695	210,79
JANGHEUNG	34,68875	126,91949	45,02	YEOSU	34,73929	127,74064	64,64

이들 지수의 공간적 분포를 분석하기 위해서는 보다 많은 AWS의 자료가 요구되지만 초국가통신망의 개설과 데이터 로거의 교체 등 자료수집체계가 개선되면서 자료의 품질이 안정되기 시작한 1998년 이후의 AWS 자료만 사용이 가능(Song *et al.*, 2001)하였기 때문에, 공간적 분포는 가장 최근인 2004년부터 2013년까지의 10년 동안을 분석하였다. 이 기간 동안에는 583개의 모든 관측지점의 월평균기온 자료를 이용하였으며, 각 지수에 대해 미관측 지역까지 공간보간(Spatial interpolation)을 실시하여 지도를 작성하였고, 이때 다른 보간 기법에 비해 비교적 정확성이 높은 것으로 분석된 GIS의 공간보간 기법 중 하나인 크리깅(Kriging)을 활용하였다.

3. 결과 및 고찰

1) 주요 8개 도시의 연도별 온량·한랭지수의 변화

이 연구에서는 온량·한랭지수의 장기간에 걸친 시계열 분석을 위해 우리나라에서 현대적 기상관측이 시작된 이래로 2013년까지 90년 이상의 기온 관측 자료를 보유하고 있는 8개 관측지점을 선정하였으며, 이들 자료를 근거로 온량·한랭지수의 변화를 분석하였다.

관측기간 중 온량지수가 가장 높은 곳과 낮은 곳은 제주와 인천으로 그 평균값은 각각 122.98(°C·month)와 97.10(°C·month)이었으며, 한랭지수가 가장 높은 곳과 낮은 곳은 제주와 서울로 그 평균값은 각각 -0.77(°C·month)와 -21.94(°C·month)로 이는 각 관측지점의 위도적 특징이 대체적으로 잘 반영된 것으로 판단된다. 연도별 평균 온량·한랭지수는 모든 관측지점에서 장기적으로 증가하는 경향이 뚜렷한 것으로 분석되었다

(Figure 1).

온량·한랭지수 변화의 기준 연도인 1974년을 기준으로 그 전과 후의 온량·한랭 지수의 평균값을 비교해 본 결과, 온량지수는 인천이 94.75에서 101.04, 서울이 97.52에서 106.40, 강릉이 98.67에서 106.06, 대구가 105.82에서 117.07, 부산이 109.58에서 118.33, 전주가 104.30에서 111.25, 목포가 108.38에서 112.22, 제주는 118.33에서 128.79로 모두 상승하였으며 대구와 제주가 11.25와 10.46으로 상승폭이 크게 나타났다. 한랭지수의 경우 인천이 -23.21에서 -17.25, 서울은 -24.57에서 -17.86, 강릉은 -14.02에서 -9.81, 대구는 -15.04에서 -9.55, 부산은 -5.72에서 -3.41, 전주는 -15.61에서 -12.51, 목포는 -8.50에서 -6.81, 제주는 -1.03에서 -0.44로 모두 상승하였고 특히 서울과 인천이 각각 6.71, 6.46으로 많이 상승하였다. 또한 내륙에 위치해 있는 서울, 대구, 전주가 해안에 위치해 있는 도시들보다 상대적으로 온량·한랭지수의 상승이 컸으며, 특히 한랭지수는 남쪽지방보다 북쪽지방의 증가가 커서 점차 북쪽지방의 겨울도 따뜻해지고 있는 것으로 판단이 된다.

2) 우리나라 지상관측지점별 온량·한랭지수의 변화

우리나라 지상관측지점의 최근 온량지수는 40년(1974~2013년) 동안의 자료를 10년 단위로 구분하여 평균치를 계산하였고 그 결과값을 Table 2에 나타내었다. Table 2에서와 같이 안동을 비롯한 우리나라 62개 지상관측지점에서 1974년 1월부터 2013년 12월까지 40년 동안 관측된 지역별 온량지수를 정리하면 대체로 56.84에서 144.49 내외에 이르며, 10년간의 평균은 각각 101.67(1974~1983년), 101.91(1984~1993년), 105.43(1994~2003년), 107.86(2004~2013년)으로 점차적으로 증가

Figure 1. Time series of yearly WI and CI at Incheon, Seoul, Gangneung, Daegu, Busan, Jeonju, Mokpo and Jeju.

Table 2. Changes in the average warmth index of the 62 weather stations.

Station	1974~ 1983	1984~ 1993	1994~ 2003	2004~ 2013	Station	1974~ 1983	1984~ 1993	1994~ 2003	2004~ 2013
ANDONG	99.48	97.21	101.26	103.82	JECHEON	89.41	89.01	88.61	90.82
BOEUN	91.43	90.58	92.86	95.76	JEJU	123.62	125.77	132.60	133.18
BORYEONG	97.53	99.21	104.52	105.45	JEONGEUP	104.39	106.63	109.12	113.68
BUAN	100.64	101.39	104.34	109.15	JEONJU	107.67	107.70	113.72	115.92
BUSAN	114.44	116.01	121.70	121.17	JINJU	108.26	105.26	109.94	112.64
BUYEO	99.73	99.02	104.05	106.01	MIRYANG	106.62	107.20	110.18	115.21
CHEONAN	97.20	98.47	100.18	103.72	MOKPO	110.69	111.37	114.06	112.76
CHEONGJU	100.04	102.53	108.57	112.89	MUNGYEONG	102.51	97.78	97.20	98.39
CHUNCHEON	93.86	95.33	98.06	99.63	NAMHAE	112.05	113.71	114.66	118.19
CHUNGJU	96.51	97.85	97.98	102.42	NAMWON	102.08	102.66	102.50	104.78
CHUPUNGNYEONG	97.09	95.25	98.44	97.92	POHANG	109.55	112.56	118.42	119.86
DAEGU	111.61	113.71	119.77	123.18	SANCHEONG	104.20	102.30	103.60	109.03
DAEGWANNYEONG	60.00	56.84	61.89	64.98	SEOGWIPO	130.98	134.43	143.41	144.49
DAEJEON	101.87	105.15	109.42	110.01	SEONGSAN	121.33	123.41	125.95	127.52
GANGHWA	92.96	93.13	94.50	96.26	SEOSAN	97.97	97.25	100.84	100.73
GANGNEUNG	102.90	103.15	108.83	109.36	SEOUL	102.73	103.41	110.13	109.32
GEOCHANG	94.12	92.67	96.29	101.28	SOKCHO	96.10	94.45	98.51	101.68
GEOJE	110.07	112.98	112.72	117.55	SUNCHEON	101.16	103.08	103.63	106.72
GEUMSAN	96.77	96.26	97.02	100.34	SUWON	96.15	98.25	106.25	107.60
GOHEUNG	110.20	109.78	109.21	112.75	TONGYEONG	113.92	114.58	118.39	117.71
GUMI	100.60	98.90	107.71	110.81	UISEONG	96.42	93.67	95.98	101.29
GUNSAN	103.38	103.46	107.62	107.45	ULJIN	97.57	96.74	101.23	100.98
GWANGJU	109.42	111.01	115.30	119.07	ULLEUNG	94.37	94.43	98.24	98.79
HAENAM	107.55	107.11	109.06	110.84	ULSAN	110.11	111.01	116.74	118.18
HAPCHEON	105.87	103.43	107.41	113.80	WANDO	110.44	113.23	113.05	116.10
HONGCHEON	89.76	88.04	92.61	97.20	WONJU	92.15	94.33	100.22	104.73
ICHEON	95.25	97.57	99.21	100.53	YANGPYEONG	93.50	93.70	99.76	102.15
IMSIL	90.93	90.89	91.82	96.35	YEONGCHEON	101.35	99.16	104.43	106.21
INCHEON	96.46	97.87	105.17	104.67	YEONGDEOK	102.10	100.51	100.64	108.32
INJE	85.26	85.93	88.23	90.53	YEONGJU	94.95	92.38	96.72	98.39
JANGHEUNG	103.34	104.73	103.91	110.08	YEOSU	112.73	113.22	118.57	117.21

하는 경향을 보이고 있다. 특히 높은 온량지수를 보인 지점으로는 서귀포(138.33), 제주(128.79), 성산(124.55) 등의 제주도 지역과 부산(118.33), 대구(117.07)였으며, 낮은 지점은 대관령(60.93), 인제(87.49), 제천(89.46), 홍천(91.90) 그리고 임실(92.50) 등이었다.

40년 동안 온량지수의 변동이 큰 관측지역으로

는 서귀포(13.51), 청주(12.85), 원주(12.58), 대구(11.57) 그리고 수원(11.45) 등지로 서귀포를 제외하고는 대부분 내륙에 위치하고 있는 도시지역이다. 한편 40년 동안 온량지수의 변동이 적었던 지역으로는 제천(2.21), 남원(2.70), 추풍령(3.19), 강화도(3.30), 그리고 목포(3.37)이다. 특히 문경은 이 기간 동안 유일하게 온량지수가 감소한 지역으

Table 3. Changes in the average coldness index of the 62 weather stations.

Station	1974~ 1983	1984~ 1993	1994~ 2003	2004~ 2013	Station	1974~ 1983	1984~ 1993	1994~ 2003	2004~ 2013
ANDONG	-20.68	-18.60	-16.80	-17.30	JEJU	-0.66	-0.72	-0.10	-0.29
BOEUN	-25.09	-23.34	-20.67	-21.48	JECHEON	-29.49	-27.39	-27.97	-28.05
BORYEONG	-16.47	-14.96	-11.77	-13.33	JEONGEUP	-14.65	-12.66	-11.24	-12.51
BUAN	-15.23	-13.46	-11.71	-12.98	JEONJU	-14.46	-12.89	-10.79	-11.88
BUSAN	-4.91	-3.46	-1.83	-3.42	JINJU	-11.58	-11.10	-10.36	-10.85
BUYEO	-18.58	-16.98	-15.96	-16.45	MIRYANG	-12.98	-11.82	-9.50	-10.65
CHEONAN	-21.41	-19.42	-18.72	-18.59	MOKPO	-7.57	-6.17	-5.39	-8.10
CHEONGJU	-21.96	-18.71	-15.73	-15.79	MUNGYEONG	-17.74	-16.91	-16.13	-17.60
CHUNCHEON	-25.98	-24.57	-23.60	-24.74	NAMHAE	-7.41	-5.85	-4.49	-6.20
CHUNGJU	-25.53	-22.06	-21.76	-21.50	NAMWON	-17.20	-15.06	-15.67	-16.56
CHUPUNGNYEONG	-18.59	-17.40	-16.36	-17.50	POHANG	-8.54	-6.04	-4.29	-5.79
DAEGU	-12.36	-9.67	-7.58	-8.60	SANCHEONG	-12.44	-11.77	-9.86	-10.72
DAEGWANNYEONG	-43.94	-42.71	-38.86	-39.81	SEOGWIPO	-0.15	-0.21	0.00	-0.10
DAEJEON	-18.90	-15.36	-13.72	-14.93	SEONGSAN	-1.06	-0.93	-0.43	-0.57
GANGHWA	-24.47	-22.48	-20.54	-22.49	SEOSAN	-18.20	-17.32	-16.95	-17.27
GANGNEUNG	-11.53	-9.97	-8.25	-9.47	SEOUL	-20.00	-18.30	-15.34	-17.80
GEOCHANG	-18.14	-16.90	-15.69	-15.78	SOKCHO	-12.64	-12.13	-10.73	-11.53
GEOJE	-6.85	-5.24	-4.29	-4.61	SUNCHEON	-14.16	-12.85	-11.95	-12.26
GEUMSAN	-21.21	-19.31	-18.65	-19.46	SUWON	-24.07	-20.02	-17.29	-18.09
GOHEUNG	-8.68	-7.89	-6.42	-7.25	TONGYEONG	-5.04	-3.75	-2.88	-4.00
GUMI	-17.70	-16.59	-13.02	-13.53	UISEONG	-23.05	-22.58	-21.69	-20.40
GUNSAN	-13.77	-12.40	-10.97	-13.31	ULJIN	-9.86	-8.76	-7.01	-8.14
GWANGJU	-11.52	-9.51	-8.20	-8.95	ULLEUNG	-9.56	-8.12	-7.04	-7.95
HAENAM	-9.22	-7.91	-7.00	-8.72	ULSAN	-8.05	-6.10	-4.19	-5.68
HAPCHEON	-14.31	-13.21	-10.97	-11.78	WANDO	-5.65	-3.30	-3.82	-5.84
HONGCHEON	-30.30	-29.79	-27.16	-26.66	WONJU	-28.58	-25.18	-21.78	-20.75
ICHEON	-24.95	-22.44	-19.67	-21.98	YANGPYEONG	-27.65	-25.43	-21.95	-21.29
IMSIL	-23.13	-20.64	-20.14	-20.32	YEONGCHEON	-15.69	-14.67	-13.24	-13.66
INCHEON	-19.87	-18.23	-15.07	-15.84	YEONGDEOK	-10.74	-9.53	-8.18	-8.68
INJE	-28.80	-27.98	-26.02	-26.80	YEONGJU	-22.42	-21.70	-18.25	-18.54
JANGHEUNG	-11.54	-9.83	-9.42	-9.03	YEOSU	-6.58	-5.04	-3.07	-4.91

로 아마도 석탄산업의 사양과 그로 인한 인구감소 등의 원인이 복합적으로 영향을 끼친 것으로 판단된다. 또한 조사기간 동안 평균온량지수보다 높은 분포를 보인 곳은 24곳으로 서울, 대전, 대구, 울산, 광주, 부산 등의 대도시이거나 통영, 목포, 여수, 완도, 해남, 진주, 거제, 남해 그리고 제주 등 남해연안을 중심으로 위치하고 있는 곳이 대부분

이었다.

온량지수와 마찬가지로 최근 40년 동안의 한랭지수를 분석하여 보면(Table 3), 전체적인 범위는 -43.94에서 0이며, 10년간의 평균은 각각 -16.19(1974~1983), -14.60(1984~1993), -13.03(1994~2003), -13.86(2004~2013)으로 온량지수와는 달리 1994년에서 2003년간의 10년이 가장 높

았다.

높은 한랭지수를 보인 관측지점으로는 온량지수와 유사한 서귀포(-0.12), 제주(-0.44), 성산(-0.75) 등의 제주도 지역과 부산(-3.41), 통영(-3.92) 등의 경남 남해 해안 지역 등이었다. 반면 한랭지수가 낮은 관측지점은 대관령(-41.33), 홍천(-28.48), 제천(-28.23), 인제(-27.40) 그리고 춘천(-24.72) 등으로 제천을 제외하고는 강원도 지방이 대부분을 차지하고 있다.

이 조사기간의 한랭지수 변화를 살펴보면 원주(7.83), 수원(6.78), 양평(6.36), 청주(6.23) 그리고 대관령(5.08) 등 주로 경기도와 강원도 지역의 관측지점에서 변화량이 높았다. 그러나 서귀포(0.21), 제주(0.62), 성산(0.63) 등의 제주도 지역과 진주(1.22), 서산(1.25) 등의 남부지역 및 서해안 일부지역은 한랭지수의 변화가 제한적이었다.

3) 가장 최근 10년(2004~2013년) 동안의 온량·한랭지수의 공간적 분포

2004년부터 2013년까지 10년 동안의 온량·한랭지수 평균값의 공간적 분포를 Figure 2에 나타내었다. 먼저 온량지수의 공간적 분포를 살펴보면 구

룡령(59.14), 미시령(64.11), 대관령(64.98), 삽당령(66.40), 임남(61.88), 용평(66.06) 등 백두대간의 근간을 이루는 강원도 지역의 태백산맥을 중심으로 60~70의 분포를 보였다. 또한 제주도 한라산의 윗세오름(52.10), 진달래밭(56.92)도 온량지수가 아주 낮은 지역으로 분석되었다.

태백, 해안, 봉평, 임계, 내면, 진부, 하장, 면은 등의 강원도 일부지역을 포함하는 고도가 높은 산간지역과 무등산, 가야산, 계룡산, 그리고 제주도의 어리목 등 15곳이 70~80의 분포를 보였다. 80~90의 공간적 분포는 정선, 원통, 평창 등의 강원도 일부지역과 봉화를 포함하는 경북 북부 일부지역, 광릉 등 경기도 북부 일부지역과 뱀사골, 지리산, 속리산, 팔공산 등의 중·남부의 높은 산지지역 등 41곳이다.

90~100의 공간적 분포는 영월, 인제, 홍천, 양구, 화천 등의 강원도 일부지역과 강화도, 백령도, 영종도 등의 서해안 일부 섬지역, 연천, 포천, 남양주 등의 경기도 북부지역, 제천, 보은, 단양, 영동, 추풍령, 영주, 문경, 청송, 영양 등의 충북과 경북의 일부 지역, 임실, 장수, 무주, 진안 등의 전북의 일부지역 등 135곳을 포함한다. 100~110의

Figure 2. Spatial Distribution of WI and CI from 2004 to 2013 in Korea.

공간적 분포는 속초, 강릉, 동해 등 강원도 영동지역과 서울, 인천, 수원 등의 경기도 수도권 지역, 태안, 서산, 보령, 당진 등의 서해안 일부지역, 울진, 영덕, 상주, 안동, 경주, 거창, 산청 등의 영남권 일부지역과 보성, 남원, 영광, 순창 등의 호남권 일부지역 등 188곳이다. 110~120의 공간적 분포는 하의도, 선유도, 나로도, 조도, 홍도, 완도 등의 서·남해의 섬들과 무안, 구례, 나주, 함평, 영암 등의 전라남도 일부지역과 포항, 진해, 사천, 고성, 울산 등 146곳이며, 120~130의 공간적 분포는 대구, 창원, 부산, 삼천포의 남부 영남권 일부지역과 광양, 순천, 여수 등의 전남 일부지역, 보길도, 거문도, 매물도, 옥지도 등의 남해안 섬들을 포함하는 36곳, 제주도의 일부지역은 130℃을 초과한다.

한랭지수의 공간적 분포를 살펴보면, 온량지수 60~70과 유사하게 강원도 임남(-51.35), 구룡령(-43.26), 용평(-41.37), 미시령(-40.96), 강원도 내면(-40.29) 등 강원도의 백두대간을 중심으로 고도가 높은 일부지역 8곳이 -40 이하의 낮은 분포를 보이고 있다. 그 외 대부분의 강원도 지역과 포천, 광릉, 연천 등의 경기도 북부지역, 제천과 봉화를 중심으로 충북과 경북 북부 일부지역, 계룡산을 중심으로 충남일부 지역 그리고 지리산 지역과 제주도의 고산지역 등이 -30 내외의 범주에 포함되었다. 한랭지수가 가장 높은 -10~0 범주에 속하는 지역으로는 제주도와 가거도, 흑산도, 보길도, 완도 등을 포함한 서남해안의 대부분 섬들과 순천, 여수, 목포, 광양, 고흥 등의 전라남도 일부지역, 그리고 부산, 통영, 창원, 울산, 포항, 영덕, 울진, 동해, 강릉을 포함한 남해와 동해안 일부지역과 울릉도 등 152곳이다.

4) WI - CI값의 분석

WI-CI값은 기온의 교차값과 대륙성 기후의 특

성을 나타내는 것으로(Kim, 1964), 전체적으로 99.55~144.59 범위에 있으며, 1994년과 2013년 사이에 그 값이 다소 증가하였다(Figure 3). 10년 조사기간별 평균값을 살펴보면 117.85(1974~1983년), 116.52(1984~1993년), 118.47(1994~2003년), 121.72(2004~2013년)이다.

1974~1983년 기간에는 울릉도, 대관령, 울진, 속초 4곳이 110℃ 이하로 분석되었으며, 110~120의 값을 가진 곳은 40곳이었으며, 120~130은 17곳, 130 이상인 곳은 서귀포 1곳이었다. 1984~1993년 기간에는 대관령, 울릉도, 울진, 속초, 거창 5곳이 110 이하로 분석되었으며, 110~120의 값을 가진 곳은 47곳이었으며, 120~130은 9곳, 130 이상인 곳은 서귀포 1곳이었다. 1994~2003년 기간에는 대관령, 울릉도, 울진, 영덕, 속초 5곳이 110 이하로 분석되었으며, 110~120의 값을 가진 곳은 34곳이었으며, 120~130은 21곳, 130 이상인 곳은 서귀포, 제주 2곳이었다. 2004~2013년 기간에는 대관령, 울릉도, 울진 3곳이 110 이하로 분석되었으며, 110~120의 값을 가진 곳은 20곳이었으며, 120~130은 36곳, 130℃ 이상인 곳은 서귀포, 제주, 대구 3곳이었다.

전체적으로 110~120의 온화한 해양성 기후를 나타내는 지점은 강화, 서산, 보령, 장흥, 해남, 속초, 강릉, 울진, 영덕 등 주로 연안을 중심으로 좁은 지역에 위치를 하고 있으며, 그 수는 점차적으로 감소하고 있다.

4. 토의 및 결론

본 연구에서는 기본적으로 우리나라 기상청의 62개 지상관측지점에서 1974년 1월부터 2013년 12월까지 40년 동안 관측된 월평균기온의 평균

Figure 3. Difference of the relation between WI and CI for 40 years (1974~2013).

치를 각각 산정하고, 이를 통하여 온량지수 및 한랭지수의 시·공간에 따른 변화를 비교·분석하였다. 관측된 지역별 온량지수는 대체로 56.84에서 144.49 내외에 이르며, 한랭지수는 -43.94에서 0 범위에 있는 것으로 분석되었으며, 평균 온량지수는 104.22, 한랭지수의 전체 평균값은 -14.42 이었다.

관측연수가 많은 주요 8개 도시의 연도별 평균 온량·한랭지수의 시계열 분석에서 장기적으로 이들 지수가 증가를 하고 있는 것처럼 나머지 다른 관측지점들도 대부분 증가하는 경향을 보이고 있으며, 특히 서울, 대전, 대구, 울산, 광주와 같은 대도시 지역의 상승률이 대체적으로 높았다. 이와 같은 결과는 도시화의 영향이 연평균 기온 상승에 기여하고 특히 겨울철 최저기온 상승에 기여한다 (Mohsin and Gough, 2010)고 한 연구결과와 유사하다.

다만 문경은 유일하게 온량지수가 감소한 것으로 나타났으며 제천, 남원, 추풍령, 강화 등은 상대적으로 다른 관측지점들보다 온량·한랭지수의 상승이 경미했던 것으로 분석되었다. 이는 이들 지역이 도시지역에서 멀리 떨어진 곳에 위치를 하고 있어 상대적으로 도시화 효과에 따른 온난화가 느리게 진행되고 있기 때문으로 추정된다.

또한 내륙에 위치를 하고 있는 관측지점이 연안에 위치를 하고 있는 관측지점들보다 상대적으로 온량·한랭지수의 상승률이 큰 것으로 분석이 되었다. 이는 한반도 주변 해양 표면수온의 영향으로 인하여, 연안지방의 기온 연변화는 내륙지방보다 연교차가 작고 위상이 지연되기 때문이다 (Kang, 1984).

특히 한랭지수는 남쪽보다 북쪽에 위치해 있는 관측지점에서 그 증가속도가 큰 것으로 보아 점차 북쪽지방의 겨울이 따뜻해지고 있는 것으로 판단된다. 또한 비슷한 위도상에 위치하고 있는 강

화도(96.26, -22.49)와 강릉(109.36, -9.47), 서산(100.73, -17.27)과 울진(100.98, -8.14)의 온량·한랭지수를 각각 비교해 보면, 동해안에 위치하고 있는 강릉, 울진이 온량지수는 13.1, 0.25, 한랭지수는 13.02, 9.13 높은 것으로 분석되어 동해안이 서해안보다 더 따뜻한 것으로 나타났다.

지상관측소와 더불어 방재기상관측 지점의 기온자료를 활용할 수 있었던 가장 최근의 10년(2004~2013년) 동안의 온량·한랭지수의 공간적 분포는 강원도를 가로지르는 태백산맥의 일부 고산지역과 한라산 정상부근이 가장 낮은 곳으로 분석되었다. 높은 곳으로는 목포를 포함하는 남서해안지역과 제주도, 남해안과 동해안 일부지역, 그리고 대구를 포함하는 영남 내륙지역 등으로 온량지수와 한랭지수의 관계는 온량지수가 높은 곳에서 한랭지수도 대체적으로 높은 경향을 보였다.

다만 방재기상관측지점의 기온자료가 불충분하여 과거의 온량·한랭지수의 공간적 분포와 최근의 공간적 분포를 서로 비교·분석을 할 수 없었던 부분은 이 연구의 한계점이라 할 수 있다. 그러나 향후 더 많은 기온자료가 계속적으로 누적되면 좀 더 상세한 공간적 변화상에 대한 연구도 가능해질 것으로 사료된다.

사사

본 논문은 2015년 기후변화 취약산림식물종 보전·적응사업의 연구비에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

- Ha, K. J., Ha, E. H., Yoo, C. S., and Jeon, E. H., 2004, Temperature Trends and Extreme Climate since 1909 at Big Four Cities of Korea, *Asia-Pacific*

- Journal of Atmospheric Sciences*, 40(1), 1-16.
- IPCC, 2014, Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jung, H. S., Choi, Y., and Oh, J. H., 2002, Recent trends in temperature and precipitation over South Korea, *International Journal of Climatology*, 22(11), 1327-1337.
- Kang, Y. Q., 1984, Influence of Sea Surface Temperature on the Annual Variation of Air Temperature in Korea, *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 20(2), 73-81.
- Kang, Y. Q. and Rho, C. S., 1985, Annual and Interannual Fluctuations of Air Temperature in Korea during the Past 30 Years(1954-1983), *J. of Korean Met. Society*, 21(3), 1-10.
- Kim, I. H. and Sung, J. S., 1986, The Index of Warmth and Coldness of South Coast in Korea, *Journal of Natural Science*, 2, 75-81.
- Kim, Y. O., 1964, A study of continental air temperature in Korea, *J. Kor. Cult. Res. Inst.*, 5, 225-234.
- Kira, T., 1945, A new classification of climate in eastern Asia as the basis for agricultural geography. Hort. Inst., Kyoto Univ., Kyoto.
- Lee, M. I. and Kang, I. S., 1997, Temperature Variability and Warming Trend in Korea Associated with Global Warming, *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 33(3), 429-443.
- Mohsin, T. and Gough, W. A., 2010, Trend analysis of long-term temperature time series in the Greater Toronto Area(GTA), *Theoretical and Applied Climatology*, 101(3-4), 311-327.
- Park, J. C., Jung, I. W., Chang, H. J., and Jang, D. H., 2012, Relationship between Population and Changes in Warmth and Coldness Indices in South Korea, *Journal of Climate Research*, 7(3), 210-225.
- Park, J. C., Yang, K. C., and Jang, D. H., 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.
- Song, B. H., Kim, M. J., and Suh, A. S., 2001, A Study on the One-minute Rainfall Data Observed in South Korea, *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 37(1), 39-52.
- Yim, K. B. and Lee, S. W., 1975, Temperature Factor in Silvicultural View Point in Korea -Especially on Warmth and Cold Index-, *Journal of Korean Forest Society*, 25(1), 1-12.
- Yim, Y. J. and Kira, T., 1975, Distribution of forest vegetation and climate in the Korean peninsula, *Japanese Journal of Ecology*, 25(2), 32-43.
- National Climate Data Service System, <http://sts.kma.go.kr/jsp/home/contents/main/main.do>

책임 편집: 이경미

영문 교열: 조창현