ORIGINAL ARTICLE

최근 37년간 우리나라 주요도시의 고온일을 대상으로 한 상대습도의 경년변화

박명희 · 이준수 · 서영상 · 한인성 · 배현균¹⁾ · 김해동^{1)*}

국립수산과학원 수산해양종합정보과, ¹⁾계명대학교 지구환경학과

Long-term Relative Humidity Changes on High Temperature Days of Major Cities in Korea for the Recent 37 Years

Myung-Hee Park, Joon-Soo Lee, Young-Sang Suh, In-Seng Han, Hyun-Gun Hae¹⁾,
Hae-Dong Kim^{1)*}

*Fishery and Ocen Information Division, National Fisheries Research and Development Institute,
Busan 619-705, Korea*

¹⁾*The Department of Global Environment, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea*

Abstract

The study selected 10 regions among major Korean cities. Then the study classified the yearly change of relative humidity of those regions for 37 years based on 1996 (from 1974 to 2011) aimed at high temperature days, and examined them by stage regarding daily maximum temperature. For large cities and small cities, in general relative humidity had been likely to increase at high temperatures of 30 °C or over before 1996, whereas it has decreased since 1996. For suburban areas, relative humidity had been prone to diminish before 1996, whereas it has been likely to either increase since 1996 or rarely some of the cities have not shown any change.

The increasing tendency of relative humidity before 1996 in large cities and small cities is believed to be because of an increase of the latent heat of vaporization by the supply of steam from cooling towers established in downtown areas. Meanwhile, the decreasing tendency from 1996 is concluded to be caused by the change from counter-current circular cooling towers, which produce a great quantity of steam including arsenic acid, to cross-flow cooling towers, which produce hardly any steam containing arsenic acid. This change was in accordance with the modification and pursuit of an urban planning law that ordered cooling towers that had been installed on rooftops be installed in the basement of buildings in consideration of a "Green network creation" project by the Ministry of Environment, urban beautification, concerns since 1996 over building collapses, and according to an argument that steam containing arsenic acid could be harmful to human health owing to chemicals contained in the water in the cooling tower in summer.

Key words : High temperature days, Relative humidity

Received 28 May, 2013; Revised 26 August, 2013;

Accepted 26 August, 2013

*Corresponding author : Hae-Dong Kim, The Department of Global Environment, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
Phone: +82-53-580-5930
E-mail: khd@kmu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

최근 들어 도시화에 따른 대기환경 변화를 이해하기 위해 기후 요소별로 다양한 분석들이 시도되고 있다. 도시기후의 특징으로 가장 잘 알려진 것이 도시 기온의 상승현상인데, 관측과 이론 측면에서 많은 수의 논문과 보고가 발표되었다. 다음으로 알려진 것이 도시건조화이지만, 습도자료 부족과 그 변화가 우리생활에 기온만큼 잘 감지되지 않기 때문에 이것에 관한 포괄적인 연구는 적다. 습도 중에서도 상대습도는 우리의 일상생활 특히 보건에 밀접히 관련되어 있으며, 일반적으로 대도시에서 도시화로 인한 상대습도의 건조 경향은 주변의 전원지역에 비하여 뚜렷하게 나타난다(Um 등, 1997; Park and Kim, 2011). 그러나 대기 중의 수증기량으로 보면 시간대별로 볼 때 도심에서 더 높게 나타나는 경우가 있음이 이미 보고되었다(Ackerman, 1987).

도시습도의 장기적인 변화에 관한 연구에는 상대습도의 관측 값에 대한 경년변화 분석이 많다. 그러나 이러한 변화에는 자연적인 변화와 인위적인 변화가 복합되어 있으며, 관측 값의 변화만으로 인간 활동의 영향을 추측하기는 어렵다.

또한 도시의 특성 중 하나는 상대습도의 감소이다. 이는 도심이 교외에 비해 수증기량이 적고 기온이 높다는 것을 의미한다(Ackerman, 1987; Adebayo, 1991; Deosthali 등, 2000; Hage, 1975; Jauregui and Tejada, 1997; Kim, 2003; Park and Kim, 2007). 뿐만 아니라 상대습도는 기온의 영향을 받고 있어 도시기후의 연구에서는 절대적인 습기 양을 나타내는 변수인 수증기압을 사용하거나(Ackerman, 1987; Adebayo, 1991), 절대습도를 사용(Chandler, 1967; Hage, 1975) 하기도 한다. 이들의 연구에서 대기 중에 포함된 수증기가 도심에서 반드시 적지 않다는 것을 확인하였다(Um

등, 1997). 일본의 대도시인 동경의 경우도 상대습도 감소경향은 최근에는 거의 정체한 것으로 알려졌으나(Omoto 등, 1994; Fujibe, 2002), 도심의 상업 지구에서는 여름철 낮 동안에 다량의 수증기가 방출되는 것으로 알려져 있다. Kanda 등(1997)은 8월에 동경의 긴자에서 실시한 관측에 의하면, 빌딩옥상에서의 하루 동안 잠열 변화는 200 W/m^2 전후였으며, 이는 현열과 거의 비슷한 값이다. 이러한 잠열의 대부분은 빌딩의 냉방에 사용되는 냉각탑으로부터 발생한 것으로 추정되었다. 위의 결과를 통해서 보면 기온이 높은 날의 한 낮에는 냉각탑으로부터 수증기 배출이 많아져 도심의 습도가 높아질 가능성이 있다. 이 가능성은 최근 관심이 높아진 도시지역의 호우의 영향을 미칠 수 있다는 면에서 관심이 높은 문제다(Fujibe, 1988).

따라서 본 연구에서는 우리나라의 인구규모를 바탕으로 10개의 대상지점을 선정하고 도시별로 구분하여 고온일에 대한 상대습도의 경년변화를 조사하였다.

2. 자료 및 분석 방법

일반적으로 도시의 상대습도 경년변화를 평가하기 위해서는 가능한 장기간의 자료가 필요하다(Kim 등, 1999). 그러나 우리나라의 기상관측 역사는 비교적 짧아 장기간의 자료를 이용할 수 있는 관측지점의 수는 많지 않다. 본 연구에서는 결측치가 없이 연속관측이 이루어진 10개 관측지점의 1974년부터 2011년까지 37년간 일최고기온, 강수량, 일조시간, 상대습도 자료를 사용하였다(Table 1). 고온일 선정을 위하여 강수량이 없고, 일조시간이 6시간 이상인 날을 대상일로 선정하였다. 기온자료는 일최고기온을 사용하였으며, 이를 바탕으로 대상일을 $21^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$, $30^\circ\text{C} \sim 33^\circ\text{C}$, $33^\circ\text{C} \sim 36^\circ\text{C}$, 36°C 이상으로 구분하여 나타내었다. 그

Table 1. Definition of urban and rural stations

Definition	Total Population	Defined Station
Large urban	Total population > 1million	Seoul, Busan, Daegu, Gwangju (4)
Smaller urban	1million > Total population > 5hundred thousand	Jeonju, Jeju, Pohang (3)
Rural	5hundred thousand > Total population	Mokpo, Gangneun, Yangpyeong (3)

중 36℃이상의 사례일수가 약 1% 미만으로 극히 적어 본 연구에서는 적용하지 않았다. 또한 본 연구에서 일 최고기온을 사용한 이유는 일 최저기온에 비해 도시화에 의한 영향이 작기 때문이다.

본 연구를 위해 사용된 10개 관측지점은 대도시와 소도시, 시골(이하 교외도시로 표기함)로 구분하였으며, 각 관측지점의 위치는 Fig. 1에 제시하였다. 도시의 구분은 통계청의 2010년 인구자료를 기준으로 인구수가 100만 이상인 경우(대도시), 50만 이상인 경우(소도시), 50만 이하(시골)로 구분하였다.

Fig. 1. Climatological surface stations in Korea. Symbols marking locations of urban and rural stations are as indicated in the figure legend. Refer to Table 1.

다음은 기온대별로 구분하여 각 지점별의 연간 고온일수를 제시하였다(Table 2). 먼저 대도시의 고온일수를 살펴보면 대구(4663일)가 가장 높았으며, 다음으로 광주(4316일), 부산(4215일), 서울(4005일) 순으로 나타났다. 소都市는 전주(4259일), 포항(4206일), 제주(3202일), 교외도시는 양평(4301일)이 가장 높았고, 다음으로 목포(4170일), 강릉(3729일) 순으로 나타났다. 이를 통해서 도시 규모에 따른 높은 고온일수를 나타내는 지점은 대부분 내륙에 위치하고, 낮은 지점은 비교적 연안에 가깝게 위치해 있음을 알 수 있었다.

Table 3은 기온에 따른 월별 고온일수의 분포를 나타내었다. 도시규모별 일 최고기온 33~36℃(33℃ 이상 36℃미만)의 월별 고온일수를 살펴보면, 대도시의 경우는 대구(약 87%)를 제외하고는 약 94% 이상이 7월과 8월에 분포하였다. 이는 Fujibe(2002)의 동경도심의 고온일 습도의 경년변화를 살펴본 논문의 결과인 일 최고기온 33~36℃의 날이 7월과 8월에 92%를 차지하는 결과와 잘 일치하고 있다. 또한 소도시의 경우는 포항(약 86%)을 제외하고는 약 95% 이상이 7월과 8월에 분포하였다. 반면 교외도시의 경우는 양평(약 90%)을 제외하고는 85~90% 사이의 값을 7월과 8월에 나타내었다.

Table 2. High temperature days of each points due to daily maximum temperature

Point	Temperature(℃)	Temperature(℃)				Total
		21-30℃	30-33℃	33-36℃	36℃-	
Large urban	Seoul	3,190	667	142	6	4,005
	Busan	3,625	543	47	0	4,215
	Daegu	3,259	849	480	75	4,663
	Gwangju	3,263	846	199	8	4,316
Smaller urban	Jeonju	3,121	817	309	12	4,259
	Jeju	2,521	576	103	2	3,202
	Pohang	3,227	567	371	41	4,206
	Mokpo	3,227	567	371	5	4,170
Rural	Gangneung	2,979	488	243	19	3,729
	Yangpyeong	3,295	800	203	3	4,301

Table 3. High temperature days of each points due to monthly

a) Large urban

Point	Temp. (°C)	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Seoul	21-30℃	0	0	1	207	669	620	309	259	727	398	14	0
	30-33℃	0	0	0	0	12	116	196	290	53	0	0	0
	33-36℃	0	0	0	0	0	8	56	78	0	0	0	0
Busan	21-30℃	0	0	3	122	515	613	226	81	491	671	82	0
	30-33℃	0	0	0	0	0	0	166	338	39	0	0	0
	33-36℃	0	0	0	0	1	0	10	34	2	0	0	0
Daegu	21-30℃	0	2	32	396	676	458	192	230	670	603	54	0
	30-33℃	0	0	0	4	79	254	209	215	87	1	0	0
	33-36℃	0	0	0	0	9	44	211	201	15	0	0	0
Gwangju	21-30℃	0	0	18	306	713	580	232	173	676	565	53	0
	30-33℃	0	0	0	0	18	130	273	334	89	2	0	0
	33-36℃	0	0	0	0	1	6	84	105	3	0	0	0

b) Small urban

	Temp. (°C)	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Jeonju	21-30℃	0	1	17	306	693	535	191	155	659	564	42	0
	30-33℃	0	0	0	3	30	171	231	283	99	0	0	0
	33-36℃	0	0	0	0	0	5	145	155	4	0	0	0
Jeju	21-30℃	2	3	9	86	388	602	382	358	691	460	48	3
	30-33℃	0	0	0	0	0	26	257	262	31	1	0	0
	33-36℃	0	0	0	0	0	3	52	46	2	0	0	0
Pohang	21-30℃	0	4	23	268	536	545	299	349	665	538	63	0
	30-33℃	0	0	0	6	48	98	172	191	51	1	0	0
	33-36℃	0	0	0	0	4	34	172	148	13	0	0	0

c) Rural

	Temp. (°C)	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Mokpo	21-30℃	0	4	23	268	536	545	299	349	665	538	63	0
	30-33℃	0	0	0	6	48	98	172	191	51	1	0	0
	33-36℃	0	0	0	0	4	34	172	148	13	0	0	0
Gang-neung	21-30℃	0	1	19	246	518	522	281	338	655	399	46	0
	30-33℃	0	0	0	3	53	88	171	144	28	1	0	0
	33-36℃	0	0	0	0	7	26	104	100	6	0	0	0
Yang-pyenong	21-30℃	0	0	6	321	732	585	266	240	736	409	14	0
	30-33℃	0	0	0	1	25	171	250	290	63	0	0	0
	33-36℃	0	0	0	0	0	20	78	105	0	0	0	0

3. 결과

3.1. 고온일의 주요 기후인자의 연평균 장기변화 경향

고온일을 대상으로 인구수에 따라 도시를 구분하고, 연평균 일최고기온의 경년변화를 제시하였다(Fig. 2). 먼저 대도시의 경우 지난 37년간 분지지형의 특성을 지닌 대구가 약 0.9°C 증가하여 가장 높았으며, 다음으로 서울과 광주는 약 0.6°C 상승하였다. 반면 연안에 위치한 부산은 약 0.2°C 상승하여 대구에 비해 4배 이상 낮은 기온 상승을 나타내었다. 소도시의 경우는 포항이 약 0.8°C 상승하였으며, 이는 제주(약 0.4°C)의 2배, 전주(약 0.2°C)에 비해 4배 이상 기온이 상승하였다. 이처럼 대구와 포항의 일최고기온 증가경향이 다른 지역에 비해 높게 나타나는 이유는 두 지역의 기상관측지점이 다른 지역의 기상관측지점에 비해 비교적 도시의 중심에 위치해 있기 때문이다. 교외도시의 경우는 기온상승은 대구와 같이 분지지형의 특성을 지닌 양평이 약 0.8°C 상승하여 가장 높았고, 다음으로 강릉(약 0.4°C), 목포(약 0.3°C) 순이었다.

다음은 고온일의 기온구분에 따른 상대습도의 변화를 파악하기 위해 앞서 도시구분에 따른 고온일의 연

평균 상대습도 변화를 살펴보았다(Fig. 3). 일반적으로 연평균 상대습도는 산업이 발전하고 도시화가 가속화됨에 따라 녹지면적의 감소에 의해 상대적으로 전 지역에서 감소하는 것으로 알려져 있다. 대도시의 경우는 서울, 광주, 대구는 지난 37년간 약 9% 감소하였고, 부산은 약 5%로 다른 대도시들에 비해 낮은 감소를 나타내었다. 이러한 원인으로 Kim 등(2001)에 따르면 부산은 풍향의 변화로 인한 해풍의 빈도가 증가함에 따라 거대한 수역(바다)로부터 습기가 공급되기 때문으로 평가하였다. 소도시의 경우 제주(약 11%), 전주(약 8%), 포항(약 3%) 순으로 감소하였다. 교외도시의 경우는 강릉이 약 7% 감소한 것을 제외하고는 양평(약 2%) 순이었으며, 목포는 지난 37년간 고온일의 연평균 상대습도 변화가 거의 없었다. 상대습도는 기온의 영향을 받기 때문에 기후연구에 있어서 대기 중의 수증기량과 포화수증기량의 비로 나타내는데, 지역적 하락 값이 중요하지 않더라도 상대습도가 지속적으로 떨어지는 것은 눈여겨 볼만한 사항이다.

Fig. 2. Long-term changes of daily maximum temperature on high temperature days of major cities in Korea.

Fig. 3. Long-term changes of relative humidity on high temperature days of major cities in Korea.

3.2. 고온일의 기온분포에 따른 상대습도 변화

고온일의 기온분포에 따른 상대습도 변화를 알아보기 위해 도시 규모별로 구분하여 Fig. 4~Fig. 6에 제시하였다. 기온은 $21^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$, $30^{\circ}\text{C} \sim 33^{\circ}\text{C}$, $33^{\circ}\text{C} \sim 36^{\circ}\text{C}$ 로 3단계로 구분하고, 상대습도 변화는 우리나라에서 “그린네트워킹화”를 추진한 1996년을 기준으로 전후로 나누어 살펴보고자 한다.

먼저 대도시(Fig. 4)의 경우 지난 22년간(1974년부터 1995년까지)의 상대습도 변화는 서울(Fig. 4(a)), 대구(Fig. 4(c)), 광주(Fig. 4(d))의 경우 $33^{\circ}\text{C} \sim 36^{\circ}\text{C}$ 의 고온일 때 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 부산(Fig. 4(b))은 다른 지역에 비해 낮은 기온분포인 $30^{\circ}\text{C} \sim 33^{\circ}\text{C}$ 에서 뚜렷한 증가경향을 나타내었다. 반면 1996년 이후 15년간(1996년부터 2011년까지)은 광주를 제외하고는 전 지역에서 기온구분에 상관없이 상대습도의 감소경향을 나타내었다. 광주(Fig. 4(d))는 1996년 이전과 같이 $33^{\circ}\text{C} \sim 36^{\circ}\text{C}$ 의 고온일 때 상대습도가 여전히 증가하는 경향을 나타내었다.

다음 소도시(Fig. 5)의 경우 1996년 이전에는 제주(Fig. 5(b))는 $30^{\circ}\text{C} \sim 33^{\circ}\text{C}$ 에서는 거의 변화가 없었으

며, 다른 기온분포에서는 감소하는 경향을 뚜렷하게 나타냈다. 그 외의 2개(전주(Fig. 5(a)), 포항(Fig. 5(c)))지역에서는 1996년 이전의 경우 $33^{\circ}\text{C} \sim 36^{\circ}\text{C}$ 의 고온일 때 증가하는 경향을 나타내었다. 반면 1996년 이후의 경우는 제주를 모든 기온분포에서 감소경향을 나타내었고, 포항은 $21^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 를 제외하고 뚜렷한 증가경향을 나타내었다. 1996년 이전의 대도시와 소도시에서 고온($33^{\circ}\text{C} \sim 36^{\circ}\text{C}$)일 때 상대습도의 증가는 Fujibe(2002)의 연구결과인 동경 도심에서 일중 기온이 가장 높은 $33^{\circ}\text{C} \sim 36^{\circ}\text{C}$ 에 상대습도가 증가하는 것과 잘 일치한다. 증가원인 역시 동경과 같이 도심 내 설치된 냉각탑에서의 수증기 공급에 의한 증발잠열의 증가 때문으로 판단된다. 그러나 1995년 이후에는 도시규모와 기온에 구분 없이 상대습도가 감소하였는데, 이러한 원인은 1995년 이후 환경부의 “그린네트워킹화” 사업과 더불어 도시미관과 건물의 붕괴를 우려하여 옥상에 설치된 냉각탑을 건물의 지하에 설치하도록 도시계획법을 수정하고 추진하였기 때문이다. 뿐만 아니라 여름철 냉각탑수에 포함된 약품으로 인해 비산된 수증기가 인체에 유해할 수 있다는 지적에 의한 수증기의 비산이 많은 대형류형 원형 냉각탑에

Fig. 4. Long-term changes of annual mean relative humidity for each temperature distribution on high temperature days of large urban cities.

(a) Jeonju

(b) Jeju

(c) Pohang

Fig. 5. Long-term changes of annual mean relative humidity for each temperature distribution on high temperature days of smaller urban cities.

Fig. 6. Long-term changes of annual mean relative humidity for each temperature distribution on high temperature days of rural cities.

서 수증기의 비산이 거의 없는 직교류형 냉각탑으로 교체가 이루어져 일본의 동경과는 달리 상대습도가 감소한 것으로 판단된다.

교외도시(Fig. 6)의 경우 목포(Fig. 6(a))는 1996년 이전에는 전 기온분포에서 감소경향을 나타내었고, 1996년 이후에는 증가경향을 나타내었다. 강릉(Fig. 6(b))은 1996년 이전에는 21℃~30℃ 분포에서 상대습도의 감소경향이 가장 뚜렷하게 나타났고, 다른 기온분포에서는 미미한 감소경향을 나타내었다. 반면 1996년 이후에는 33℃~36℃의 분포에서 대도시의 1996년 이전과 같은 증가경향을 나타내었다. 다음으로 양평(Fig. 6(c))은 교외도시의 다른 도시와는 달리 1996년 이전에 21℃~30℃의 낮은 기온분포에서 상대습도가 증가하는 경향을 나타내었으며, 다른 기온분포에서는 거의 변화를 나타내지 않았다. 그러나 1996년 이후부터 모든 기온분포에서 상대습도의 감소경향을 나타내고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 고온일의 기온구분(3단계 : 21℃~30℃, 30℃~33℃, 33℃~36℃)에 따른 상대습도의 변화를 파악하기 위하여 결측치가 없이 연속관측이 이루어진 10개 지점의 인구수를 기준으로 대도시, 소도시, 교외도시로 구분하였다. 또한 10개 지점의 37년간(1974년~2011년) 일최고기온, 강수량, 일조시간을 이용하여 고온일로 선정하고, 기온분포에 따른 상대습도의 변화를 조사하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

첫째, 고온일을 대상으로 기후요소의 장기변화 경향을 살펴보면, 먼저 연평균 일최고기온은 대도시는 대구, 서울, 광주, 부산, 소도시는 포항, 제주, 전주 순으로 높았다. 대구와 포항은 타 지역에 비해 기상관측 지점이 비교적 도시의 중심에 위치해 있다는 사실도 기온 상승경향이 타 지역보다 높게 나타난 것에 영향을 미쳤을 것으로 추정된다. 규모가 작은 도시로는 양평, 강릉, 목포 순으로 높게 나타났다.

둘째, 연평균 상대습도는 대도시의 경우는 서울, 광주, 대구, 부산 순으로 빠르게 감소하였다. 소도시는 제주, 전주, 포항, 교외도시는 강릉, 양평, 목포 순이었

으며, 목포는 상대습도의 변화가 거의 없었다. 목포를 제외한 거의 모든 지역에서 건조화 경향이 확인되었는데, 이는 산업이 발전하고 도시화가 가속화됨에 따라 증발원(녹지면적)이 감소하고 기온이 상승하여 상대습도가 감소한다는 Hujibe(2002)의 지적과도 잘 일치하는 결과이다.

셋째, 고온일의 기온분포에 따른 상대습도 변화 경향은 먼저 대도시는 1996년 이전에는 30℃이상의 고온에서 증가하는 경향을, 1996년 이후는 광주를 제외하고는 전 기온분포에서 감소경향을 나타내었다. 반면에 소도시는 1996년 이전에는 제주를 제외한 전 지점에서 33℃~36℃의 고온일 때 증가경향을 나타내었다. 반면 1996년 이후에는 제주의 경우 전 기온분포에서 감소경향을, 포항은 21℃~30℃를 제외하고 증가경향을 나타내었다. 교외도시 경우 목포는 1996년 이전에는 전 기온분포에서 감소경향을, 1996년 이후에는 증가경향을 나타내었다. 강릉은 1996년 이전에는 21℃~30℃ 분포에서 뚜렷한 감소경향을, 다른 기온분포에서는 거의 변화가 없었다. 반면 1996년 이후에는 대도시와 마찬가지로 33℃~36℃의 분포에서 증가경향을 나타내었다. 양평은 1996년 이전에 21℃~30℃의 기온분포에서 상대습도가 증가하는 경향을 나타내었고, 다른 기온분포에서는 거의 변화가 없었다. 그러나 1996년 이후에는 기온분포와 관계없이 감소경향을 나타내었다.

1996년 이전의 대도시와 소도시에서 33℃~36℃일 때의 상대습도 증가경향은 Fujibe(2002)가 밝힌, 동경 도심에서 일중 기온이 매우 높은 33℃~36℃ 구간에서 나타난 상대습도가 증가경향과 잘 일치한다. 이온도 구간에서 상대습도가 증가한 것은 Hujibe(2002)가 지적하였듯이 도심 내 설치된 냉각탑에서의 수증기 공급 증가에 의한 증발잠열의 증가에 큰 원인이 있었을 것으로 판단된다. 반면 1996년 이후에는 그러한 경향이 사라졌는데, 이는 도시규모와 기온에 무관하게 상대습도가 감소한 원인은 1996년 이후 환경부의 “그린네트워크화” 사업과 더불어 도시미관과 건물의 붕괴를 우려하여 옥상에 설치된 냉각탑을 건물의 지하에 설치하도록 도시계획법을 수정하고 추진하였기 때문이다. 뿐만 아니라 여름철 냉각탑수에 포함된 약품으로 인해 비산된 수증기가 인체에 유해할 수 있다는

지적에 의한 수증기의 비산이 많은 대항류형 원형 냉각탑에서 수증기의 비산이 거의 없는 직교류형 냉각탑으로 교체가 이루어져 일본의 동경과는 달리 냉각탑에서 실외로 배출된 수증기량이 급감한 것이 상대습도 감소에 영향을 미쳤을 것으로 추정된다.

본 연구에서는 우리나라 도시별 고온일의 상대변화 경향을 제시하고 원인으로 판단되는 요인만을 제시하여 원인의 판단성과 정확성을 제시하는 데에는 미치지 못했다. 따라서 이러한 변화의 원인을 정확하게 파악하기 위해 향후 도시규모별 토지피복변화에 따른 증발량, 인위적 수증기 배출원인 냉각탑의 유형별 시설현황, 기상요소들(수증기압, 운량, 풍향, 풍속)을 이용한 대기 중 수증기량에 의한 증발잠열의 변화량 등의 연구를 후속 연구로 추진하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 국립수산물과학원 첨단 해양탐사 시스템 활용 한반도 주변 해양변동 조사 및 운영(RP-2013-ME-066)사업의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Ackerman, B., 1987, Climatology of Chicago area urban-rural differences in humidity, *J. Climate Appl. Meteor.*, 26, 427-430.
- Adebayo, Y. R., 1991, Day-time effects of urbanization on relative humidity and vapour pressure in a tropical city, *Theor. Appl. Climatol.*, 43, 17-30.
- Chandler, T. J., 1967, Absolute and relative humidities in towns. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 48, 394-399.
- Deosthali, V., 2000, Impact of rapid urban growth on heat and moisture islands in Pune city, India, *Atmos. Environ.*, 34, 2745-2754.
- Fujibe, F., 1988, Weekday-weekend differences of urban climates Part3 : Temperature and wind fields around Tokyo and Osaka, *J. Meteor. Soc. Japan*, 66, 377-385.
- Fujibe, F., 2002, Long-term humidity change on hot days in the central part of Tokyo, *J. Meteor. Soc. Japan*, 49(6), 473-476.
- Hage, K. D., 1975, Urban-rural humidity differences, *J. Appl. Meteor.*, 14, 1277-1283.
- Jauregui, E., Tejeda, A., 1997, Urban-rural humidity contrasts in Mexico City, *Int. J. Climatol.*, 17, 187-196.
- Kanda M., Takayanagi Y., Yokoyama H., Moriwaki R., 1997, Field observation of the heat balance in an urban area, *J. Japan Soc. Hydrol & Water Resour.*, 10(4), 329-336.
- Kim, H. D., 2003, Study on the long-term change of urban climate in Daegu, *J. of the Environmental Sciences*, 12(7), 697-704.
- Kim, M. K., Kang, I. S., Kwak, C. H., 1999, The estimation of urban warming amounts due to urbanization in Korea for the recent 40 years, *J. Korean Meteor. Soc.*, 35(1), 118-126.
- Kim, J. B., Kang, S. M., Doe, G. Y., Lee, H. S., 2001, A study on climate change in Busan area, *Proceedings on the Korea institute of ecological architecture and environment conferences*, 1, 271-276.
- Omoto, Y., Hamotani, K., Um, H. H., 1994, Recent Changes in Trends of humidity of Japanese cities, *J. Japan Soc. Hydrol & Water Resour.*, 7(2), 106-113.
- Park, M. H., Kim, H. D., 2007, A study on the characteristics of urban dryness in Daegu, *J. of the Environmental Sciences*, 16(2), 171-178.
- Park, M. H., Kim, H. D., 2011, Evaluation of mitigation effect of Upo-swamp on the air temperature variation with nighttime cooling rate, *J. of the Environmental Sciences*, 20(3), 309-319.
- Um, H. H., Ha, K. J., Moon, S. E., 1997, The Urban Effect on the Change of Relative Humidity in Seoul, 33(1), *J. Korean Meteor. Soc.*, 127-135.