

클러스터 분석을 통한 종관기단분류 및 서울에서의 일 사망률과의 관련성 연구

김지영^{1,*} · 이대근¹ · 최병철¹ · 박일수²

¹기상청 기상연구소 응용기상연구실

²환경부 국립환경과학원 지구환경연구소

(2006년 11월 17일 접수; 2007년 1월 24일 승인)

Synoptic Air Mass Classification Using Cluster Analysis and Relation to Daily Mortality in Seoul, South Korea

Jiyoung Kim^{1,*}, Dae-Geun Lee¹, Byoung-Cheol Choi¹ and Il-Soo Park²

¹Applied Meteorology Research Laboratory, Meteorological Research Institute, Korea
Meteorological Administration, Seoul 156-720, KOREA

²National Institute of Environmental Research, Ministry of Environment, Incheon 404-708, KOREA

(Manuscript received 17 November 2006; in final form 24 January 2007)

Abstract

In order to investigate the impacts of heat wave on human health, cluster analysis of meteorological elements (e.g., temperature, dewpoint, sea level pressure, visibility, cloud amount, and wind components) for identifying offensive synoptic air masses is employed. Meteorological data at Seoul during the past 30 years are used. The daily death data at Seoul are also employed. Occurrence frequency of heat waves which is defined by daily maximum temperature greater than the threshold temperature (i.e., 31.2°C) was analyzed. The result shows that the frequency and duration of heat waves at Seoul are increasing during the past 30 years. In addition, the increasing trend of the frequency and duration clearly appears in late spring and early autumn as well as summer. Factor analysis shows that 65.1% of the total variance can be explained by 4 components which are linearly independent. Eight clusters (or synoptic air masses) were classified and found to be optimal for representing the summertime air masses at Seoul, Korea. The results exhibit that cluster-mean values of meteorological variables of an offensive air mass (or cluster) are closely correlated with the observed and standardized deaths.

Key words: climate and human mortality, cluster analysis, threshold temperature, synoptic climatology, heat wave

1. 서 론

기후나 기상현상이 인간의 건강에 미치는 영향에 대한 관심이 점차 증가하고 있다 (건강보험심사평가원, 2004; Kalkstein and Green, 1997; Campbell-Lendrum,

et al., 2002; Kim *et al.*, 2006a, b). 기후와 건강과의 관련성에 대한 여러 연구 중 더위 또는 추위가 사망률에 미치는 영향에 관한 연구가 심도 있게 연구되어 왔다 (기상연구소, 2005; 김지영 등, 2006; Kalkstein and Davis, 1989; Changnon *et al.*, 1996; Davis *et al.*, 2002; Kysely, 2002 and 2004; Kysely and Huth, 2004). 특히, 기후예측 모델에서 생산된 미래기후 예측 시나리오에 의하면 폭염의 발생빈도, 강도, 지속 시간이 21세기 후반에는 더욱 커질 것으로 예상된 바 있고 (Meehl and Tebaldi, 2004; Stott *et al.*, 2004), 그에 따른 인명 피해도 미래에는 더욱 커질 것으로 예상되고 있다. 따라서 앞으로 닥쳐올 폭염으로 인한 막대한 사

*Corresponding Author: Dr. Jiyoung Kim, Applied Meteorology Research Laboratory, Meteorological Research Institute, Korea, Meteorological Administration, Seoul 156-720, Korea.
Phone : +82-2-846-2850, Fax : +82-2-846-2851
E-mail: jykim@metri.re.kr

회경제적 피해를 줄이기 위해 철저한 폭염 대책을 수립하는 것이 중요하다 (Kalkstein, 1991; Kalkstein *et al.*, 1996; Kunkel *et al.*, 1999; WHO, 2003; Ebi *et al.*, 2004).

전 세계적으로 볼 때 지금까지 다수의 폭염 사례가 보고된 바가 있다 (UNEP, 2004). 특히, 2003년 유럽에서 발생한 기록적인 폭염으로 인해 약 3만 5천명의 인명피해가 나타난 바 있고, 2006년도에도 전 세계적으로 다수의 폭염 사례가 보고된 바 있다 (Pascal *et al.*, 2006; 김지영 등, 2006). 폭염에 대한 피해는 아시아 지역도 예외가 아니어서 중국과 일본 등 한반도 주변 국가에서 폭염이 보건에 미치는 영향에 대한 연구 사례가 있으며 (Sun *et al.*, 1994; Nakai *et al.*, 1999; Tan *et al.*, 2004), 우리나라에서도 폭염이 보건에 미치는 영향에 관한 연구가 2000년 이후에 꾸준히 수행되어 왔다 (환경부, 2003; 기상연구소, 2005; 최광용 등 2005; 이대근, 2006; 김지영 등, 2006).

실제로 폭염에 따른 인명 피해는 폭염 발생의 시기 (예를들어, 여름의 초기, 중기, 말기 등), 발생 지역의 국지 기후 특성, 폭염의 강도 및 지속시간 (예를들어,

임계온도 이상이 연속된 날수 및 적산 온도 등), 거주민의 폭염에 대한 기후적응 (acclimation) 정도, 가옥 구조 및 주거 특성, 의복지수 등에 따라 크게 달라질 수 있다. 선행연구 결과에 의하면 늦여름보다는 초여름일수록, 저위도 보다는 중·고위도일수록, 그리고 폭염의 강도가 강하고 지속 시간이 길어질수록 폭염으로 인한 인명 피해가 커지는 것으로 알려져 있다 (Pascal *et al.*, 2006).

폭염에 따른 인명 피해를 사전에 예측함으로써 폭염에 효과적으로 대처하기 위하여 현재 미국의 16개 지방자치단체, 캐나다 토론토, 이탈리아의 9개 시, 중국 상해 등에서는 고온건강 감시경보 시스템 (Heat Health Watch Warning System, 이하 HHWWS)을 개발하여 사용하고 있다 (Sheridan and Kalkstein, 2004; Tan *et al.*, 2004). 특히, HHWWS는 세계기상기구 (WMO), 세계보건기구 (WHO), 유엔 환경계획 (UNEP)의 시범 사업으로 수행된 것으로 현재까지 개발된 고온경보 시스템 중 가장 앞서있는 접근방법으로 알려져 있다 (UNEP, 2004). Fig. 1은 HHWWS의 구조를 보여주는 흐름도이다. 예측된 기상 자료를 이용하여 종관기

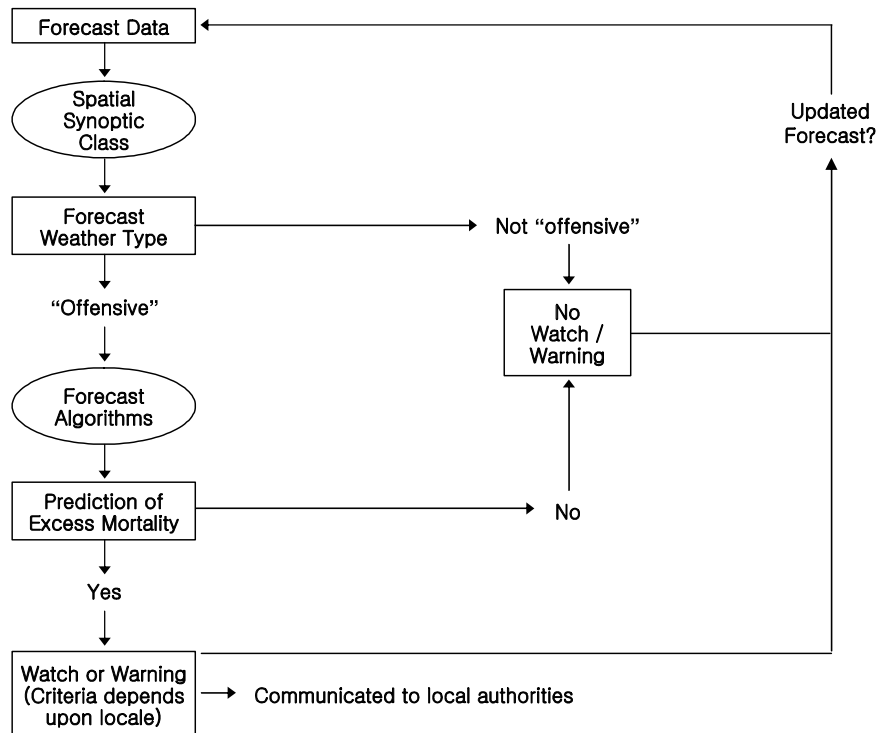


Fig. 1. Flow chart for explaining the Heat Health Watch Warning System (Sheridan and Kalkstein, 2004).

단 분류를 하고, 일기 유형에 대한 예측 결과에 따라 폭염 유발 가능성이 있는가를 판단하게 된다. 이때 가능성이 없으면 시스템이 종료되지만 가능성이 있다고 판단되면 예측 알고리즘을 적용하여 초과 사망자 수 (excess deaths)를 예측하게 된다. 이때 초과 사망자가 있다고 예측될 때 감시 또는 경보가 발령되고 관계당국에 결과를 통보하게 된다. 이 연구는 한국에 적합한 HHWS 시스템 구축의 일환으로 클러스터 분석법을 이용하여 종관기단을 분류하고 각 클러스터 별 기단 특성과 사망자 수의 관련성을 조사 (즉, 초과 사망자 예측식 개발을 위한 알고리즘 개발 단계에 해당)하기 위하여 수행하였다.

2. 자료

일 사망자 자료는 통계청에서 1년 단위로 작성·발간하는 1993년부터 2004년까지 12년간의 사망원인 통계 자료를 이용하였다. 사망원인 통계는 사망자 개개인의 나이, 성별, 지역 (시군구로 지역 구분)을 구분하여 이루어지며, 사망원인은 세계보건기구 (World Health Organization, 이하 WHO)의 권고에 따른 국제사인분류 기준, 즉 ICD (International Classification of Diseases)-10th revision (2003) 에 따라 분류되어 있다. 우리나라의 주요 대도시 중 인구규모가 가장 크고, 폭염에도 취약한 것으로 알려진(김지영 등, 2006) 서울을 대상으로 분석

하였다. 기상청의 기후자료 데이터베이스에 수록된 기상관측 자료를 사용하였다. 서울의 송월동 관측소에서 1일 8회 관측된 기온, 이슬점, 해면기압, 시정, 전운량, 바람 (동서풍속 및 남북풍속) 자료를 사용하였다.

3. 결과

3.1 최근 30년간 서울의 폭염 발생 빈도와 지속성의 변동 추세

폭염 발생에 대한 장기간 변동 추세를 파악하기 위하여 기상청의 서울관측소에서 1971년부터 2000년까지 관측한 일 최고 기온 자료를 분석하였다. 폭염 발생을 정의하기위해 김지영 등 (2006)이 이중-위상 선형 회귀분석법 (two-phase linear regression method)을 이용해 산정한 서울의 임계온도 (일 최고기온 기준)인 31.2°C를 기준값으로 사용하였다. 즉, 일 최고기온이 임계온도 이상인 날을 폭염 발생일로 간주하여 최근 30년간의 기후자료를 이용하여 매 10년 동안의 변화를 분석하였으며, 그 결과를 Table 1과 2에 제시하였다. Table 1은 폭염 발생빈도의 경년 및 월별 변화를 나타낸 것으로서 1971년부터 2000년까지 30년 동안 서울에서 총 577회 (또는 일)의 폭염이 발생하였다. 그 중 1971년부터 1980년까지는 162회, 1981년부터 1990년까지는 179회, 1991년부터 2000년까지는 236회가 발

Table 1. Monthly occurrence frequency (in days and %) when daily maximum temperature is over the threshold temperature (i.e., 31.2°C) at Seoul during 1971-2000.

Year\Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Sum
1971-1980	0	0	0	0	2	10	67	82	1	0	0	0	162
1981-1990	0	0	0	0	2	14	58	104	1	0	0	0	179
1991-2000	0	0	0	0	3	30	78	108	17	0	0	0	236
1971-2000	0	0	0	0	7	54	203	294	19	0	0	0	577
Frequency (%)	0	0	0	0	1.2	9.3	35.2	51.0	3.3	0	0	0	100

Table 2. Monthly occurrence frequency (in days and %) of two consecutive days when daily maximum temperature is over the threshold temperature (i.e., 31.2°C) at Seoul during 1971-2000.

Year\Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Sum
1971-1980	0	0	0	0	0	4	39	53	0	0	0	0	96
1981-1990	0	0	0	0	0	6	29	73	0	0	0	0	108
1991-2000	0	0	0	0	0	15	49	81	10	0	0	0	155
1971-2000	0	0	0	0	0	25	117	207	10	0	0	0	359
Frequency (%)	0	0	0	0	0	7.0	32.6	57.7	2.7	0	0	0	100

생함으로써 시간의 경과에 따라 폭염발생 일수가 증가하는 추세에 있음을 알 수 있다. 또한 1970년대 보다 1990년대에 폭염의 발생 빈도가 45.7% 증가했음을 보여주고 있다. 월 별 발생빈도를 보면 여름철인 6월, 7월, 8월에 전체의 95.5%가 집중되어 있으며, 여름철 중에도 8월이 51%로 가장 높은 빈도를 보였다. 그러나 폭염으로 인한 사망자 피해는 늦여름 보다 오히려 초여름에 더 큰 것으로 보고되고 있는데 (Kunkel *et al.*, 1996), 이는 늦여름의 경우 이미 인체나 사회적 환경이 더위에 어느 정도 적응되어 있기 때문이다. 따라서 8월 이전에 발생한 폭염에 대해서도 주목할 필요가 있다. 시간에 따른 월별 폭염 발생 빈도의 변화를 살펴보면 1980년대의 7월을 제외하고는 시간에 따라 대체로 증가의 경향을 보여주고 있다. 특히, 1990년대에 들어서는 9월에서 폭염의 발생 빈도가 종전에 비해 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 최근 들어 늦더위가 더 심해지고 있다는 것을 시사한다.

Table 2에는 2일 이상 폭염이 지속된 날의 수를 나타낸 것이다. 예를 들어, 어느 해의 8월 1일부터 3일까지 임계기온 이상의 일 최고기온이 기록되었으면 연속된 날의 수는 2로 산정하였다. 이러한 폭염의 지속성 또한 Table 1과 비슷한 결과를 보여 주었다. 특히 월별 지속성의 빈도는 8월이 57.7%로 가장 높게 나타났다. 위에서 살펴 본 바와 같이 최근 30년간에 나타난 서울 지역 폭염의 장기간 변화 경향은 지구온난화 등에 의한 기후변화로 인하여 폭염의 빈도와 지속시간이 증가하고 있다는 선행 연구결과 (예로, Cubasch *et al.*, 2001; Karl and Trenberth, 2003; Meehl and Tebaldi, 2004) 와도 대체로 일치한다.

3.2 기상요소의 인자 분석 결과

폭염과 관련성이 높은 기상요소들의 특성을 파악하기 위하여 1일 8회 (0000, 0300, 0600, 0900, 1200, 1500, 1800, 2100LST) 관측된 기상요소, 즉 기온, 이슬점, 해면기압, 시정, 전운량, 바람의 동서 및 남북성분 (이들 바람성분은 풍향과 풍속 관측 값을 벡터 분석하여 계산함)을 가지고 인자 분석 (factor analysis)을 수행하였다. 인자분석을 통하여 어느 시간대의 어떠한 기상변수들이 공통적인 특성을 가지고 변화하는가를 이해할 수 있고, 이는 HHWWS의 구축 시 변수 선정과 사망자와의 관련성 분석에 중요한 참고 자료로 활용된다. 인자 분석을 위하여 통계분석 패키지 Statistica

Ver. 5.5를 사용하였다. 인자 분석은 원래의 자료 행렬을 선형적으로 독립되고 설명되어지는 분산 (variance)의 양에 따라 새로운 형태의 성분으로 고쳐 쓰는 분석 기법이다 (Kutzbach, 1967; Kalkstein *et al.*, 1987). 본 연구에서 사용한 인자 분석에서는 배리맥스 (varimax) 회전 기법을 사용하여 성분들에 의해 설명된 분산 값을 최대화 하였다. 이 연구에서는 고유치 (eigenvalue)가 1 이상일 때 성분 (component)이 유의한 것으로 간주하였는데, 이는 그 성분이 원래의 변수들 중 최소한 하나 정도와 같은 양의 정보를 가지고 있다는 의미를 내포하고 있다. 몇 개의 성분 수가 적절한가에 대해서는 여러 가지의 다양한 의견들이 있지만 (North *et al.*, 1982), 이 연구에서는 4개의 성분을 통하여 전체 분산의 약 65%를 설명할 수 있었다 (Kalkstein *et al.*, 1987).

Table 3은 서울에 대하여 1991년부터 2004년까지 인자 분석의 결과를 보여 준다. 성분 1, 2, 3, 4 등 네 개의 성분에 대한 고유치는 각각 12.95, 10.44, 7.58, 5.48로 나타났다. 각각의 성분 1, 2, 3, 4로 설명 가능한 분산 값은 각각 23.13, 18.64, 13.54, 9.78%로서 네 개의 성분으로 설명 가능한 총 설명력은 65.09%로 나타났다. 성분 1은 기온과 이슬점에서 부하 (loading)가 높게 나타나 열적 및 수분의 변화를 잘 나타내고 있다. 성분 1에 대한 기온과 이슬점의 부하에서는 각 변수 별 일변화에 의한 영향 또한 잘 나타나고 있다. 성분 2는 낮 시간 (1200, 1500, 1800LST) 동안의 기온, 오후 시간대 (1500, 1800, 2100LST)의 시정, 전운량 등에서 부하가 높게 나타났다. 성분 3은 동서 및 남북 풍속의 변화와 관련이 깊은 것으로 나타났고, 성분 4는 해면기압에 대하여 높은 부하를 나타내었다.

3.3 군집 분석 결과

기단의 특성을 설명할 수 있는 종관적 일기 유형을 객관적인 방법으로 군집화하고, 그 특성을 살펴보기 위하여 군집 분석 (cluster analysis)을 사용한다 (Kalkstein *et al.*, 1987; Kalkstein, 2003). 일반적으로 군집화를 위해서 와드법 (Ward's method), 평균 연결법 (average linkage method), 중심법 (centroid method) 등이 널리 사용된다 (Kalkstein *et al.*, 1987). 자료의 형태에 따라 군집화 방법의 적용이 달라질 수 있는데, 이 연구에서는 군집 분석을 위하여 위에서 언급된 세 가지 방법 중 Kalkstein 등(1987)에서 추천한 평균연결법을 이용하여 군집 분석을 수행하였다. 군집 분석을 위하여 통계

Table 3. Four-component factor loadings generated by factor analysis (Bold loadings are > 0.6) at Seoul during the summertime of 1991-2004.

Elements	Hour (LST)	Components			
		1	2	3	4
Air temperature	0000	0.858	0.361	-0.002	0.090
	0300	0.908	0.082	-0.041	-0.023
	0600	0.931	0.032	-0.012	-0.047
	0900	0.803	0.443	-0.019	0.081
	1200	0.581	0.657	0.038	0.171
	1500	0.475	0.714	0.073	0.211
	1800	0.559	0.702	0.054	0.160
	2100	0.774	0.505	-0.015	0.114
Dewpoint	0000	0.893	-0.130	0.110	-0.041
	0300	0.897	-0.137	0.099	-0.106
	0600	0.915	-0.147	0.110	-0.099
	0900	0.921	-0.151	0.102	-0.088
	1200	0.895	-0.205	0.038	-0.103
	1500	0.876	-0.235	-0.002	-0.105
	1800	0.895	-0.204	0.010	-0.073
	2100	0.900	-0.147	0.054	-0.046
Surface pressure	0000	-0.085	0.155	0.065	0.893
	0300	-0.022	0.062	-0.088	0.912
	0600	-0.033	0.103	-0.054	0.947
	0900	-0.032	0.105	-0.033	0.972
	1200	-0.021	0.078	-0.013	0.984
	1500	-0.024	0.050	0.011	0.983
	1800	-0.033	0.063	0.032	0.967
	2100	-0.058	0.118	0.049	0.935
Visibility	0000	-0.135	0.582	-0.363	0.070
	0300	-0.113	0.445	-0.297	0.141
	0600	-0.110	0.505	-0.407	0.099
	0900	-0.090	0.546	-0.444	0.062
	1200	-0.046	0.573	-0.415	0.044
	1500	-0.060	0.618	-0.334	0.037
	1800	-0.087	0.640	-0.282	0.048
	2100	-0.131	0.621	-0.309	0.055
Total cloud amount	0000	0.156	-0.645	-0.074	-0.134
	0300	0.125	-0.586	-0.003	-0.226
	0600	0.154	-0.664	0.046	-0.181
	0900	0.167	-0.738	0.028	-0.189
	1200	0.195	-0.754	-0.050	-0.144
	1500	0.202	-0.729	-0.151	-0.144
	1800	0.163	-0.697	-0.186	-0.093
	2100	0.122	-0.705	-0.113	-0.115
West scalar (U)	0000	0.002	-0.022	0.717	-0.091
	0300	0.087	-0.119	0.715	0.017
	0600	0.095	-0.101	0.722	0.002
	0900	0.036	-0.097	0.763	-0.011
	1200	0.027	0.025	0.805	0.037
	1500	-0.009	0.113	0.806	0.080
	1800	-0.026	0.150	0.787	0.088
	2100	-0.047	0.128	0.786	0.011
South scalar (V)	0000	0.144	-0.089	0.500	-0.184
	0300	0.187	-0.177	0.585	-0.046
	0600	0.182	-0.135	0.626	-0.056
	0900	0.130	-0.122	0.660	-0.038
	1200	0.155	-0.053	0.571	-0.014
	1500	0.128	-0.086	0.475	-0.061
	1800	0.063	-0.098	0.419	-0.137
	2100	0.066	-0.083	0.457	-0.156
Eigenvalue		12.95	10.44	7.58	5.48
Explained variance (%)		23.13	18.64	13.54	9.78
Cumulative variance explained (%)		23.13	41.77	55.31	65.09

패키지 SAS (version 9.1)를 사용하였다.

기온의 일 최대와 최소가 나타나는 시점인 0600LST와 1500LST에서의 기상관측 자료 (기온, 이슬점, 전운량, 풍속, 해면 기압)를 사용하여 군집 분석을 수행하였다. 군집 분석을 통하여 나타난 결과와 일 사망자 수와의 관련 특성을 분석하기 위하여, 연령별 및 성별로 표준화된 일 사망자 수 자료 산출이 가능한 1993년부터 2004년까지 여름철 (6, 7, 8월)의 자료를 사용하였다. Table 4는 각 클러스터 별 발생 빈도와 기상요소의 특성을 나타낸 것이다. SAS 프로그램에서 나타난 최적의 클러스터 수는 8개로 나타났다. 클러스터 1이 전체의 31%를 차지하여 가장 빈도가 높았고, 클러스터 8이 23%, 클러스터 4가 18%로 높은 출현 빈도를 보였다. 클러스터 2는 1회 나타나 출현 빈도가 1% 미만으로서 무시할 수 있을 정도로 빈도가 낮았다 (Kysely and Huth, 2004). 특히, 폭염 유발과 관련성이 가장 높은 것으로 나타난 클러스터 4는 1500LST의 클러스터 평균기온이 31.4°C로 가장 높았으며, 0600LST의 클러스터 평균기온은 25.1°C로서 열대야 (즉, 일 최저기온이 25°C인 경우) 보다 높은 기온 값을 나타내었다. 그리고 클러스터 4의 전운량 (10을 기준)은 7, 풍속은 2.9 m/s, 해면기압은 1005.6 hPa인 것으로 나타났다. 또한, 평균 이슬점온도가 22.5°C로서 평균습도는 약 59%를 나타내었다. 이와 같은 결과를 볼 때 클러스터 4는 Kalkstein (2003)에 의해 구분된 MT+ (Moist Tropical Plus) 기단의 성질과 비슷한 것으로 해석된다. 클러스터 5는 클러스터 평균 15시 기온이 28.7°C 06시 기온이 17.7°C, 습도 33%, 전운량 4, 풍속 2.6 m/s, 해면기압 1010.5 hPa 등으로 나타나 클러스터 4보다는 기온

이 약간 낮고 건조한 기단 특성을 보여 DT (Dry Tropical) 기단의 특성을 나타내었다. 클러스터 8은 클러스터 평균한 15시 기온이 28.4°C, 06시 기온이 23.3°C, 습도가 64%, 운량이 8, 풍속 2.3 m/s, 해면기압 1009.8 hPa 등으로서 Kalkstein (2003)에서의 MT (Moist Tropical) 기단의 특성을 보이는 것으로 해석되었다. 클러스터 1은 15시 기온이 27.7°C, 06시 기온이 20.4°C, 습도 54%, 운량 7, 풍속 2.6 m/s, 해면기압 1005.6 hPa 등으로서 DM (Dry Moderate) 기단의 특성과 유사하였다. 위에서 언급한 클러스터 1, 4, 5, 8은 대체로 여름철의 고온 현상과 관련이 있는 기상학적 특성을 가지는 것으로 사료된다. Fig.2는 서울에서 1993년부터 2004년까지 여름

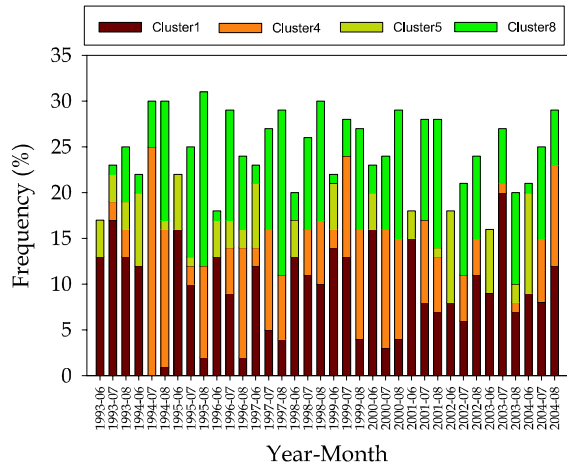


Fig. 2. Monthly occurrence frequency of relatively offensive clusters (cluster 1, 4, 5, and 8) at Seoul, South Korea during the summertime (June, July, and August) of 1993-2004.

Table 4. Frequency and mean characteristics of synoptic air masses classified by statistical cluster analysis in Seoul during the summertime of 1993-2004. The frequency (in days and percent) of each cluster during the study period are also shown. In the table, TCA, WS, and SLP indicate total cloud amount, wind speed, and sea level pressure, respectively. The most offensive air mass (i.e., cluster 4) is shaded in gray color. In the table, cluster 2 can be disregarded due to its very low frequency of occurrence.

Cluster	Freq.(%)	0600 LST			1500 LST		
		T(°C)	T(°C)	Td(°C)	TCA	WS (m/s)	SLP (hPa)
1	337 (31)	20.4	27.7	17.7	7	2.6	1005.6
2	1 (0)	16.1	16.7	15.0	10	2.0	977.8
3	33 (3)	18.4	20.6	15.8	9	2.8	1001.0
4	199 (18)	25.1	31.4	22.5	7	2.9	1005.6
5	89 (8)	17.7	28.7	11.0	4	2.6	1010.5
6	97 (9)	18.4	22.8	16.1	9	2.5	1009.6
7	94 (9)	22.0	24.9	20.5	9	3.0	999.0
8	254 (23)	23.3	28.4	21.1	8	2.3	1009.8

철에 대하여 클러스터 1, 4, 5, 8이 나타난 빈도를 나타낸 것이다. 기록적인 폭염이 발생했던 1994년 7월에 클러스터 4의 발생빈도가 31일 중 25일 (약 81%를 차지)로 가장 높게 나타났다. 이는 클러스터 4가 특히 극심한 폭염 유발과 깊은 관련성을 지니고 있음을 시사하는 결과이다.

1994년 7월과 8월의 각 날에 대한 각 클러스터의 분포, 일 최고 및 최저기온, 사망자수의 분포 등을 Fig. 3a와 b에 각각 제시하였다. 그림에 나타난 바와 같이 1994년 7월 중순과 하순에 클러스터 4가 연속적으로 나타났음을 보여 주고 있다. 또한 이러한 특성은 8월 중순 (16일)까지 계속되어 나타났다. 서울에서 가장 기록적인 폭염이 발생했던 1994년 7월 24일에는 서울의 일 최고기온이 38.4°C로서 역대 기상관측사상 최고치를 기록하였으며 (이 수치는 현재 서울의 일 최고기온

극값에 해당), 기온 극값이 나타난 1일 후에 최고 사망자가 발생한 것으로 나타났다 (김지영 등, 2006).

Table 5는 각 클러스터가 해당하는 날에 대한 평균 사망자 수를 연령별 (고령자의 구분 기준인 65세 이상과 미만), 성별 (남, 여), 실제 및 표준화 사망자, 인구 십만명당 사망률 등으로 나타낸 결과이다. 앞서 살펴본 바와 같이 클러스터 4가 인구 십만명당 사망률이 111.6으로 가장 높았다. 또한 클러스터 5와 8도 약간 높은 표준화 사망률을 나타내었다. 그러나 클러스터 6의 경우 인구 십만명당 표준화 사망률이 102.5로 가장 낮게 나타났다.

본 연구에서는 서울에서의 기상관측 자료를 군집 분석하여 기단의 특성을 객관적으로 분류하고 각 군집에 해당하는 날의 일 사망자 특성과의 상호관계를 연구함으로써 기단의 특성에 따른 사망자 수를 살펴보았

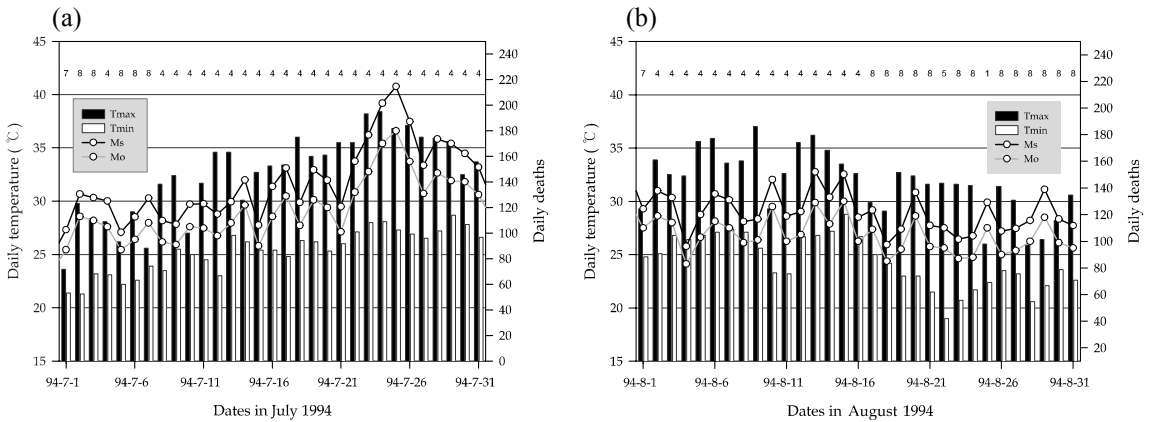


Fig. 3. Daily variation of maximum and minimum temperatures with observed and standardized deaths (expressed as Mo and Ms in the figure) at Seoul in (a) July and (b) August 1994. The number written the upper part of each figure indicate cluster number on each corresponding day.

Table 5. Deaths (or mortality) characteristics according to synoptic air masses classified by statistical cluster analysis in Seoul during the summertime of 1993-2004. Characteristics by each cluster are shown by ages, sex and observed and standardized deaths (including mortality). The standardized mortality was estimated as deaths per 10 million people, using the standard population (9,853,972) in Seoul on 31 December 2000. Occurrence frequency of the cluster 2 was less than 1%. Therefore, results about the cluster 2 maybe negligible.

Clusters	1	2	3	4	5	6	7	8
Those over 65	53	58	52	57	55	54	53	53
Those under 65	44	57	43	47	44	44	44	46
Male	54	70	54	57	55	54	54	55
Female	44	45	41	47	45	44	43	45
Deaths (observed)	98	115	95	104	99	98	96	99
Deaths (standard.)	103	139	103	110	104	101	99	104
Mortal. (standard.)	104.5	141.1	104.5	111.6	105.5	102.5	105.5	105.5

다. 그러나, 실제로 종관 기상 및 기후학적으로 기단이 라는 것은 비슷한 성질을 가진 대규모의 공기덩이를 의미한다. 따라서 향후에는 한 지점에서의 기상 및 기후학적인 특성이 아닌 종관적인 시공간 규모에서의 기단의 종류와 특성을 정의 및 파악하고, 또한 분류된 기단의 시간적 변화 양상에 따른 생명기상학적인 관련성 연구를 병행할 필요가 있다 (Sheridan and Kalkstein, 2004).

4. 결론 및 토의

군집분석 방법을 이용하여 서울에서 여름철 기단의 특성을 8개로 군집 분석하였으며, 각 기단의 특성과 일 사망자 수와의 관련성을 조사하였다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 1971년부터 2000년까지 최근 30년간에 대하여 일최고온도 (즉, 일 최고기온이 31.2°C)를 기준으로 한 서울에서의 폭염 발생빈도와 지속시간의 시간적 변화 경향을 분석한 결과 최근으로 올수록 여름철 폭염의 발생빈도와 지속시간이 증가하는 것으로 나타났다. 특히, 1990년대 이후에는 늦봄과 초가을에도 폭염이 발생하는 것으로 나타났다.

둘째, 인자 분석 방법을 통하여 원래의 기상 자료 행렬을 선형적으로 독립시켜 설명할 수 있는 분산 (variance)의 양에 따라 새로운 형태의 성분으로 표현하였을 때 4개의 성분을 통하여 전체 분산의 약 65%를 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 그 중 성분 1은 기온과 이슬점에서 부하 (loading)가 높게 나타나 열적 및 수분의 변화를 잘 나타내었고, 성분 2는 낮 시간대의 기온과 오후 시간대의 시정, 전운량 등에서 부하가 높게 나타났으며, 성분 3은 동서 및 남북 풍속의 변화, 성분 4는 해면기압에 대해 높은 부하를 나타내었다.

셋째, 평균연결법 (average linkage method)을 이용하여 서울에서의 기상관측 요소를 군집분석하고 각 군집 별 사망자 특성을 조사한 결과 4개의 군집이 폭염 유발과 관련이 있는 것으로 나타났고, 특히 군집 4에서 기온이 가장 높고 일 사망자 수도 가장 많게 나타나 폭염의 기상학적 요소를 가장 잘 나타내는 것으로 조사되었다.

넷째, 기록적인 폭염이 나타난 1994년 7월과 8월에 대하여 각 날짜별 군집 분류된 기단의 종류와 일 사망자 수, 관측된 기온 분포 등을 조사한 결과 폭염 기간 동안 군집 4가 지속적으로 유지되었음을 알 수 있었다.

향후에는 종관 규모로 기단의 공간적 특성을 분류할 수 있는 방법을 개발하고, 각 기단의 시간적 변동성을 여러 지점에서 생산된 생명기상 자료와 연계하여 연구할 필요가 있을 것으로 생각된다.

사 사

이 연구는 기상연구소의 주요사업 “생명기상기술개발연구” (과제번호: metri-2007-B-7)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 건강보험심사평가원, 2004: 보건기상정보 산출기술 개발 (1): 기상변화에 따른 건강예보 시스템 개발. 2004년 기상청 용역연구과제 결과보고서, 112 pp.
- 기상연구소, 2005: 생명기상기술개발연구(I). 기상연구소 주요사업 1차년도 최종보고서 (MR050A10), 168 pp.
- 김지영, 이대근, 박일수, 최병철, 김정식, 2006: 한반도에서 여름철 폭염이 일 사망률에 미치는 영향. *대기*, **16**, 269-278.
- 이대근, 2006: 한반도 일 사망률에 영향을 미치는 기상요소의 특성과 상관성에 관한 연구. 인제대학교 대학원 이학석사 학위논문, 83 pp.
- 최광용, 최종남, 권호장, 2005: 높은 체감온도가 서울의 여름철 질병 사망자 증가에 미치는 영향, 1991-2000. *예방의학회지*, **38**, 283-290.
- 환경부, 2003: 한반도 기후변화 영향평가 및 적응 프로그램 마련- 기후변화로 인한 건강 피해 가능성 조사 및 피해 저감 정책 방향에 관한 연구. No.11-1480000-000685-01, 119-131.
- Campbell-Lendrum, D. H., P. Wilkinson, K. Kuhn, R. S. Kovats, A. Haines, B. Menne, and T. W., Parr, 2002: *Environmental Change, Climate and Health - Issues and Research Methods*. P. Martens and A. J. McMichael, Eds., Cambridge University Press, 253-289.
- Changnon, S. A., K. E. Kunkel, and B. C. Reinke, 1996: Impact and responses to the 1995 heat wave: A call to action. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 1496-1506.
- Cubasch, U., and Coauthors, 2001: *The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. J. T. Houghton et al., Eds., Cambridge Univ. Press, 525-582.
- Davis, R. E., P. C. Knappenberger, W. M. Novicoff, and P. J. Michaels, 2002: Decadal changes in heat-related human mortality in the eastern United States. *Climate Res.*, **22**, 175-184.
- Ebi, K. L., T. J. Teisberg, L. S. Kalkstein, L. Robinson, and R. F. Weiher, 2004: Heat watch/warning systems save lives: Estimated costs and benefits for Philadelphia

- 1995-1998. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **85**, 1067-1073.
- Kalkstein, L. S., 1991: A new approach to evaluate the impact of climate on human mortality. *Environ. Health Persp.*, **96**, 145-150.
- _____, 2003: Heat and health: methodological considerations for warning system development. Presented at the *Public Weather Program Leader's Meeting*, Minneapolis, MN, June 24, 2003.
- _____, and R. E. Davis, 1989: Weather and human mortality: An evaluation of demographic and interregional responses in the United States. *Ann. Assoc. Amer. Geog.*, **79**, 44-64.
- _____, and J.S. Greene, 1997: An evaluation of climate/mortality relationship in large U. S. cities and the possible impacts of a climate change. *Environ. Health Persp.*, **105**, 84-93.
- _____, P.F. Jamason, J.S. Greene, J. Libby, and L. Robinson, 1996: The Philadelphia hot weather. health watch warning system: Development and application, summer 1995. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 1519-1528.
- _____, G. Tan, and J. A. Skindlov, 1987: An evaluation of three clustering procedures for use in synoptic climatological classification. *J. Climate Appl. Meteor.*, **26**, 717-730.
- Karl, T. R., and K. E. Trenberth, 2003: Modern global climate change. *Science*, **302**, 1719-1723.
- Kim, J., I.-S. Park, J.-C. Nam, J.-S. Kim, and D.-G. Lee, 2006a: Studies on human biometeorology in KMA/METRI: status and perspectives. *Proc. 6th METRI-IAP Joint Research Workshop*, May 23-24, 2006, Jeju, Korea.
- _____, _____, D.-G. Lee, and S.-Y. Bang, 2006b: Heat-related mortality in major cities of South Korea during 1991-2004. *Proc. 6th Conf. of the European Meteorological Society/6th European Conf. on Applied Climatology*, Ljublanja, Slovenia, 4-8 September 2006.
- Kunkel, K. E., S. A. Changnon, B. C. Reinke, and R. W. Arritt, 1996: The July 1995 heat wave in the Midwest: A climatic perspective and critical weather factor. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 1507-1518.
- _____, R. A. Pielke, Jr., and S. A. Changnon, 1999: Temporal fluctuation in weather and climate extremes that cause economic and human health impacts: A review. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **80**, 1077-1098.
- Kutzbach, J. E., 1967: Empirical eigenvectors of sea-level pressure, surface temperature, and precipitation complexes over North America. *J. Appl. Meteor.*, **6**, 791-802.
- Kysely, J., 2002: Temporal fluctuations in heat waves at Prague-Klementinum, the Czech Republic, from 1901-1997, and their relationships to atmospheric circulation. *Int. J. Climatol.*, **22**, 33-50.
- _____, 2004: Mortality and displaced mortality during heat waves in the Czech Republic. *Int. J. Biometeor.*, **49**, 91-97.
- _____, and R. Huth, 2004: Heat-related mortality in the Czech Republic examined through synoptic and 'traditional' approaches. *Climate Res.*, **25**, 265-274.
- Meehl, G. A., and C. Tebaldi, 2004: More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science*, **305**, 994-997.
- Nakai, S., T. Itoh, and T. Morimoto, 1999: Deaths from heat-stroke in Japan: 1968-1994. *Int. J. Biometeor.*, **43**, 124-127.
- North, G. R., T. L. Bell, and R. F. Cahalan, 1982: Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions. *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 699-706.
- Pascal, M., and Coauthors, 2006: France's heat health watch warning system. *Int. J. Biometeor.*, **50**, 144-153.
- Sheridan, S. C., and L. S. Kalkstein, 2004: Progress in heat watch-warning system technology. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **85**, 1931-1941.
- Stott, P. A., D. A. Stone, and M. R. Allen, 2004: Human contribution to the European heatwave of 2003. *Nature*, **432**, 610-614.
- Sun, L. Y., J. Ren, and S. Z. Xu, 1994: The impact of heat wave on mortality of residents in hot area (in Chinese). *Meteor. Monogr.*, **20**, 54-57.
- Tan, J., L. S. Kalkstein, J. Huang, S. Lin, H. Yin, and D. Shao, 2004: An operational heat health warning system in Shanghai. *Int. J. Biometeor.*, **48**, 157-162.
- UNEP, 2004: *Impacts of summer 2003 heat wave in Europe*. United Nations environment programme early warning and emerging environmental threats report. [Available online at <http://www.grid.unep.ch/product/publication/earlywarning.php>]
- WHO, 2003: Heat waves: impacts and responses. WHO Briefing Note for the 53rd Session of the WHO Regional Committee for Europe, 12 pp.