

대기 중 알레르기 화분(꽃가루) 농도 예보제 개발

Development of Pollen Concentration Prediction Models

오 재 원 | 한양의대 소아과/대한소아알레르기호흡기학회 화분연구회 | Jae - Won Oh, MD

Departments of Pediatrics, Hanyang University College of Medicine

Korean Academy of Pediatric Allergy and Respiratory Diseases, Committee of Pollen Study

E-mail : jaewonoh@hanyang.ac.kr

J Korean Med Assoc 2009; 52(6): 579 - 591

Abstract

Air-borne pollen is known as one of the major causal agents to respiratory allergic reactions. The daily number of pollen grains was monitored using Burkard volumetric spore traps at eight locations including Seoul and Jeju during 1997-2005. Pollen grains were observed throughout the year especially from February to November. They showed similar distribution patterns of species among locations except Jeju, where Japanese cedar vegetation is uniquely found. The peak seasons for pollen grains from trees, grasses, and weeds were from March to May, May to September, and August to October. Tree pollens were mainly composed of pine, oak, alder, and birch. Weed pollens were mainly from Japanese hop, sagebrush, and ragweed. The diameter of pollen grains, which has a typical range of 20~60 μm , has close relationship with allergenicity. The allergenicity of trees and weed pollens is higher than that of grass pollens in general. Daily fluctuations in the amount of pollens have to do with a variety of meteorological factors such as temperature, rainfall, and the duration of sunshine. Temperature and rainfall are especially decisive in determining pollen concentrations. Ten weather elements that are thought to affect the concentration of pollens are used to develop equations for the pollen forecasts. Predictive equations for each pollen species and month are developed based on statistical analyses using observed data during the last 5 years in Seoul through a co-work with the Committee of Pollen Study in Korean Academy of Pediatric Allergy and Respiratory Diseases and National Institute of Meteorological Research.

Keywords: Allergy; Pollen; Prediction model

핵심용어: 알레르기; 화분(꽃가루); 화분예보제

서론

화분(꽃가루)은 천식이나 알레르기비염과 같은 호흡기 알레르기 뿐만 아니라 아토피피부염을 일으키거나 악화시키는 주요 원인으로 알려져 있다(1, 2). 1819년 John Bostock에 의해 화분이 인체에 질병을 일으킬 수 있다고 발

표한 이후, 1960년대 말부터 미국과 유럽 각지에서 공중화분에 대한 역학적 연구가 계속되어 발표되어 왔으며(3~5), 1980년대 이래 공중화분과 알레르기 질환 및 호흡기 질환과의 연관성에 대한 연구가 많이 보고되고 있고, 이를 근거로 화분의 추출물을 이용하여 임상적으로 피부시험, 혈청의 특이 면역글로부린 E 등을 검사하고 면역치료 등에 이용하

고 있다(6~8). 전국에 서울을 비롯한 총 8개 지역에 화분채 집기를 설치하여 자료를 수집한 결과 화분은 2월부터 11월 까지 겨울을 제외한 연중 계속적으로 관측되고 있다. 그리고 그 종류별 분포 또한 지역별로 유사하게 나타나고 있으나 일부 지역의 경우 지역별 특성이 고려된 화분 분포를 보였다. 그 종류에 따라 수목류는 3~5월, 잔디류는 5~9월, 잡초류는 8~10월에 주로 관측되고 있다(9).

수목류의 경우 소나무, 참나무, 오리나무, 자작나무 등이 주를 이루었으며, 잡초류의 경우 환삼덩굴, 쑥, 돼지풀이 주를 이루었다. 수목류는 전 지역에서 농도가 매우 높게 나타나고 있으나 알레르기 유발 가능성은 잡초류가 더 높게 나타난다. 화분 농도의 변화는 기온, 강수, 일조 시간 등과 같은 기상요소와 긴밀한 관계가 있으며, 특히 기온과 강수는 화분 농도를 결정짓는데 중요하게 작용된다(10).

최근 국내에서 보고된 역학조사에 따르면 소아에서도 천식이나 알레르기비염, 아토피피부염 등이 매년 증가하고 있는 추세이다(11). 이전의 보고에서 청소년 이상 연령에서 발병률이 더 높은 것으로 보고되고 있었으나 최근 이러한 질환이 어린 연령에서도 서서히 증가되고 있다. 최근에는 계절성 알레르기비염이나 알레르기성 결막염도 증가되고 있어서 화분 등에 대한 실외 알레르겐에 대한 조사도 절실하게 요구되고 있는데 1997년부터 대한소아알레르기 호흡기학회 화분연구회 주관으로 전국 화분 분포에 대해 조사를 꾸준히 실시하고 있다.

화분 농도가 기상요소에 큰 영향을 받는다는 것은 이미 잘 알려진 사실이다. 화분 농도를 예측하여 알레르기 질환을 겪는 환자들에게 유용한 정보를 제공하기 위해 국외에서는 화분 농도와 기상요소와의 관련성 연구를 수행해 오고 있다(12). 또한, 여러 학자들에 의해 기상요소를 이용한 꽃가루 시작, 절정, 종료기간 등에 대한 예측식이 연구되었으며(13~16), 통계적 방법을 이용한 단기간의 예측모델 뿐만 아니라 장기간의 예측모델에 대한 연구도 수행되어 왔다(17).

화분으로 인한 알레르기 환자들의 피해를 최소화 하고 건강을 보호하기 위해 본 연구에서는 1997~2005년까지 관측된 화분농도의 종별, 월별 분포 분석 및 화분 종류에 따른 알레르기 유발 가능성 정도를 분석하였으며, 기후 온난화 현

상으로 화분의 분포가 변화되고 있어 이전 자료를 단지 평균치를 계산하여 예상치로 개발하는 것은 한계가 있고 이를 좀 더 통계적으로 의미를 갖기 위해 다양한 기후 요소들을 이용하여 예보식을 개발에 대한 필요성이 대두되었다.

이에 대한소아알레르기호흡기학회 화분연구회는 국립기상연구소와 공동으로 기상에 따른 화분 농도 예보식 개발을 위해 꽃가루 농도에 영향을 줄 것으로 판단되는 10가지 이상의 기상요소를 선별하고 서울지역의 과거 8년간의 관측 자료를 이용하여 다변량 통계자료 분석기법에 의한 종별·월별 예보식을 개발하였다.

화분 농도 분포 특성

1. 국내 꽃가루 농도 분포

국내에서는 2월부터 11월까지 1월과 12월을 제외한 연중 꽃가루가 관측되고 있다. 종류별로 그 관측시기를 살펴보면 수목류는 3월부터 5월, 잔디류는 5월부터 9월, 그리고 잡초류는 8월부터 10월의 기간에 집중적으로 관측된다(Figure 1). 각 화분 종류별로 그 농도를 살펴보면 수목류의 경우 소나무, 참나무, 오리나무, 자작나무 등이 주를 이루는데 이중 약 70% 정도는 소나무 꽃가루가 차지하고 있다. 잡초류의 경우에는 환삼덩굴, 쑥, 돼지풀이 주를 이루고 있으며 이들 식물이 전체 잡초류의 약 90% 정도를 차지한다(Figure 2).

지역적인 분포를 살펴보면 수목류의 경우 대부분의 지역에서 소나무가 차지하는 비율이 가장 높게 나타나고 있다. 화분 종류별로 10일 이동 평균된 자료를 보면 수목류가 잔디나 잡초류에 비해 그 농도가 높게 나타나고 있으며, 특히 5월 중순 소나무의 농도가 매우 높게 나타나고 있다. 소나무 이외에 참나무, 자작나무 등도 4~5월 기간에 그 농도가 높게 나타나고 있다. 한편 제주에서는 곱향나무(Juniper) 농도가 다른 7개 지역에 비해 상대적으로 높은 분포가 나타나고 있다. 잡초류의 경우 수목류와 마찬가지로 전 지역에서 유사한 분포를 보이고 있으나 제주에서는 마디풀과의 수영(common sorrel)이 타 지역의 경우보다 높게 나타나는 데, 이는 내륙과 분리된 제주의 지역적 특성이 반영된 것으로 판단된다.

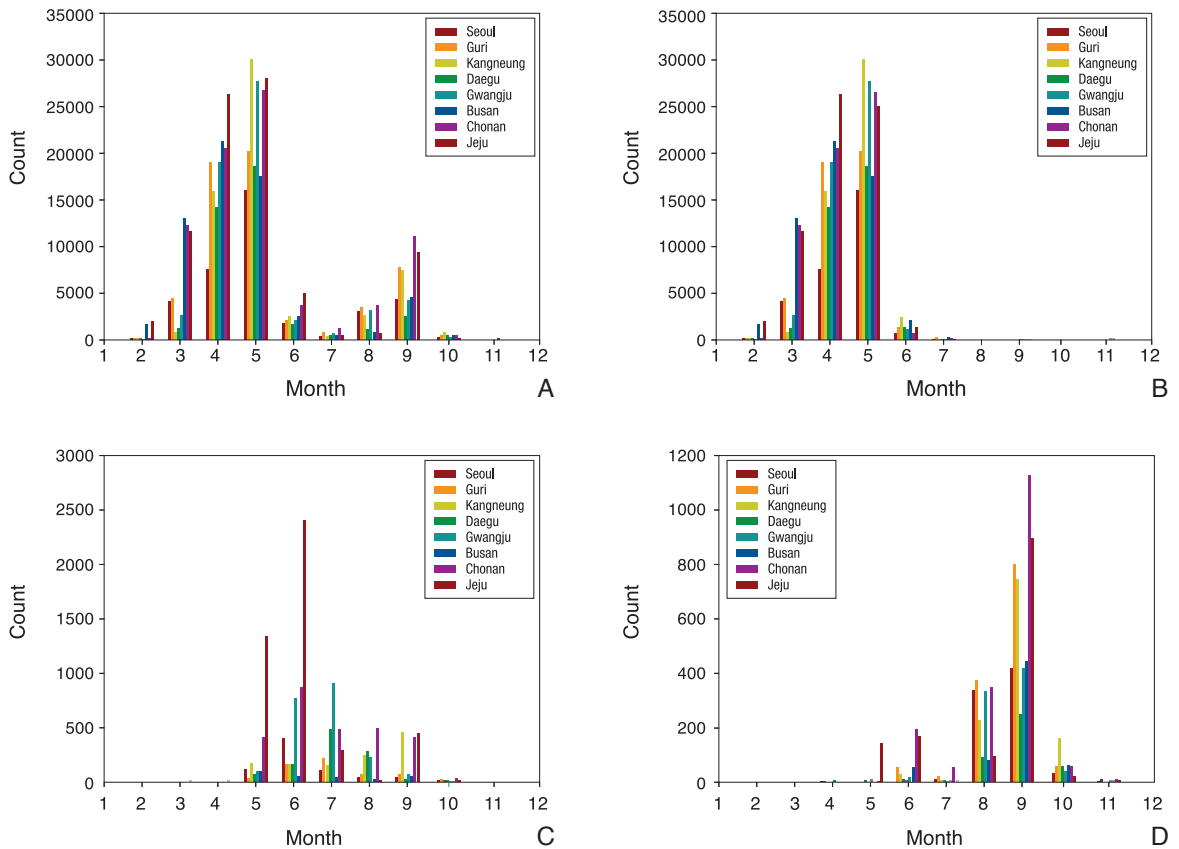


Figure 1. Monthly distribution of pollen counts: (A) all, (B) trees, (C) grasses, and (D) weeds.

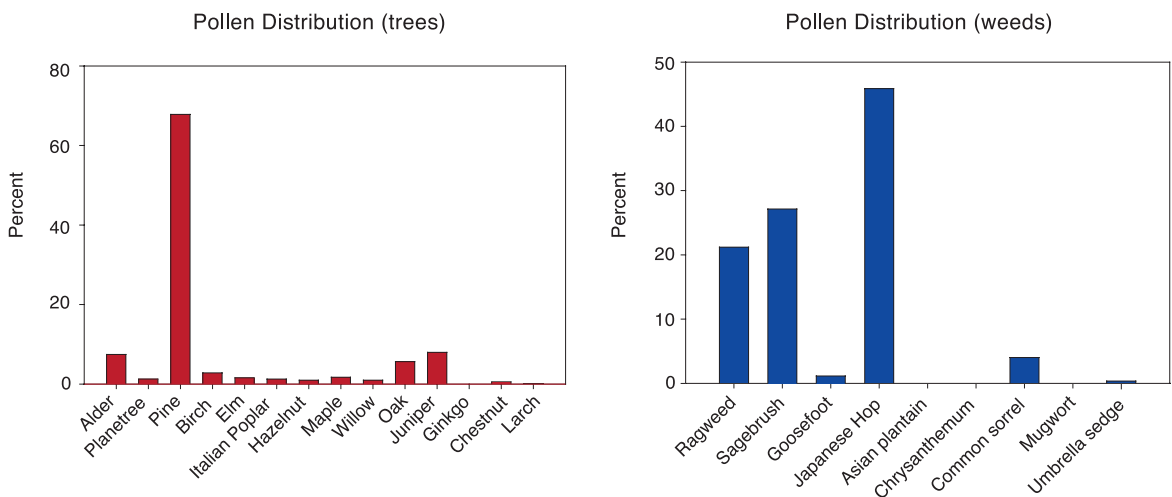


Figure 2. Distribution of pollen counts of individual trees and weeds species (1998~2002).

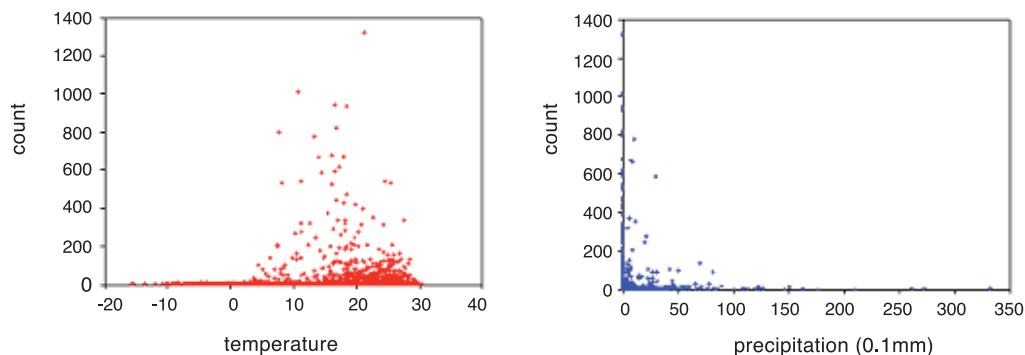


Figure 3. Distribution of daily pollen counts according to temperature and precipitation in Seoul (1997~2002).

Table 1. Variation of pollen counts depending on meteorological factors

Date	Pollen count	Temperature	Precipitation	Windspeed
5.10	112	14.9	10.5	2.6
5.11	716	17.3	0	2.0
5.12	164	16.9	13.5	1.5
5.13	2,412	15.9	1.5	2.9
5.14	548	19.7	0	1.8
5.15	80	15.9	0.5	1.8

Table 2. Risk index of allergenicity for pollen counts from American pollen network of American Academy of Asthma, Allergy and Clinical Immunology

Species	Pollen count (grains/m ³)	Allergenicity
Trees	0~14	very low
	15~99	low
	100~499	high
	> 500	very high
Grasses	0~4	very low
	5~9	low
	10~199	high
	> 200	very high
Weeds	0~9	very low
	10~49	low
	50~299	high
	> 300	very high

분포를 살펴보면 주로 10~30℃ 사이에 꽃가루 농도가 집중되는 것을 볼 수 있는데 이러한 온도 분포는 식생이 성장하기에 적합한 온도를 나타내기도 한다. 강수의 경우에는 무강수일에 집중적으로 나타나고 있으나(Figure 3), 특히하게 강수일에 화분 농도가 나타나는 것을 볼 수 있다(Table 1). 이러한 경향은 강수 지속시간이 짧고 강수 이후 대기 중으로 수증기가 증발할 때 지표면에 떨어졌던 가벼운 화분 입자가 대기 중으로 부양하면서 그 농도가 갑자기 증가하게 되는 것으로 사료된다. 한 예로 2004년 5월 13일의 예는 03UTC까지 강수 현상이 발생한 것으로 이후 고기압의 영향을 받아 맑은 날씨가 지속되면서 지표면의 수증기가 증발하게 되어 이로 인해 화분 농도가 증가하였음을 알 수 있다(Figure 4).

화분 농도 예보 산출식 개발

1. 자료 및 분석방법

본 연구에서는 화분 농도 예보 산출식 개발을 위해 앞서 설명한 온도와 강수 이외에 화분 농도 변화에 영향을 줄 것

2. 기상에 따른 화분 농도 분포

화분 농도의 변화는 기온, 강수량 등 기상 요소의 변화와 밀접한 관계가 있다. 특히, 기온과 강수는 꽃가루 농도를 결정짓는데 가장 중요한 역할로 작용한다. 온도에 따른 화분의

Table 3. Meteorological factors used in regression analyses for pine pollen counts

Month	Year	Meteorological factor
Apr	2002	AccumT*, PRE
	2003	DR*, RT*, HUM*, AccumT, PRE
	2005	RT, WIND, HUM, DR, PRE
May	2002	AccumT, AS, MeanT*, MaxT*, DR
	2003	MeanT*, WIND*
	2004	AS, PRE, HUM, MeanT*, AccumT, RT*, MaxT, MinT
	2005	AccumT*, HUM*, MeanT

Variables are MeanT: daily mean temperature, PRE: daily rainfall, WIND: average wind speed, HUM: daily relative humidity, MaxT: daily maximum temperature, MinT: daily minimum temperature, DR: daily temperature range, RT: continued rainfall hours, AS: accumulated sunshine hours, and AccumT: accumulated mean temperature
*: significant at 95% confidence interval

Table 4. Meteorological factors used in regression analyses for tree pollen counts except pine

Month	Year	Meteorological factor
Apr	2002	PRE*, HUM*, AccumT
	2003	DR, AS
	2004	MinT*, AccumT*, HUM, RT, WIND
	2005	RT, AS, MinT*, AccumT, WIND, PRE, MaxT
May	2002	RT*, AccumT*, PRE, AS
	2003	DR, WIND*, MaxT
	2004	AS*, PRE
	2005	AccumT*

Table 5. Meteorological factors used in regression analyses for weed pollen counts

Month	Year	Meteorological factor
Sep	1997	AccumT*, HUM*, MaxT
	2002	AccumT*, AS
	2003	MeaT, AccumT, PRE, WIND, MaxT, RT, HUM, AS
	2004	MeanT, AS*, RT*, AccumT
Oct	1997	AccumT*, WIND*, AS
	2002	AccumT*, RT, MinT, AS
	2003	RT*, AS, PRE
	2004	DR, WIND

로 생각되는 일별 기상요소들을 총 10가지(평균기온, 강수량, 평균풍속, 평균습도, 최고기온, 최저기온, 일교차, 강수지속시간, 7일 누적일조시간, 적산온도)로 선별하여 종별·월별 화분 농도 예보 산출식을 개발하였다. 자료의 특성상 분석지역은 서울지역으로 한정하며, 소나무와 소나무 이외 수목류의 경우 4월과 5월 그리고 잡초류의 경우, 9월과 10월

로 분류하여 산출식을 개발하였다 (Table 3~5).

또한, 분석방법으로 다중회귀분석, 군집분석, 판별분석을 사용하였다. 회귀분석(regression analysis)은 불확실한 상황 하에서 나타나는 현상을 설명하고 예측하는 문제를 정확하고 과학적인 통계기법으로 분석하고자 하는 방법으로 본질적으로 독립변수라 불리는 하나 또는 둘 이상의 변량들에 기초하여 종속변수에 미치는 영향력의 크기를 알아보고자 하는 분석 기법이라 할 수 있다. 군집분석(Cluster Analysis)은 연구대상이 되는 N개의 객체들이 p개의 변수에 의해 관찰되어 크기($N \times p$)인 자료행렬이 주어졌을 때, 각 객체의 관찰값에 대응되는 p차원 벡터를 p차원 공간에서의 한 점으로 생각하여 같은 군집에 속한 객체들 간에는 밀접한 유사성(similarity)이 서로 다른 군집에 속하는 객체들 사이에는 비유사성(dis-similarity)이 존재한다는 원칙하에 연구대상 객체들을 분류하는 탐색적 다변량 통계자료 분석기법이다.

판별분석(discriminant analysis)은 소속집단이 알려져 있는 기존의 자료에서 판별 기준을 유도하고, 유도되어진 판별 기준을 이용하여 소속집단이 알려져 있지 않은 객체들의 소속

집단을 분류하는데 그 목적이 있어 예측치 개발에 유용한 분석법이 될 수 있다.

2. 예보 산출식 분석 결과

먼저 각각의 연도별로 회귀식을 산출하여 전 해의 산출식이 다음 해에 어떻게 적용되는지를 살펴보기 위해 최근 3년

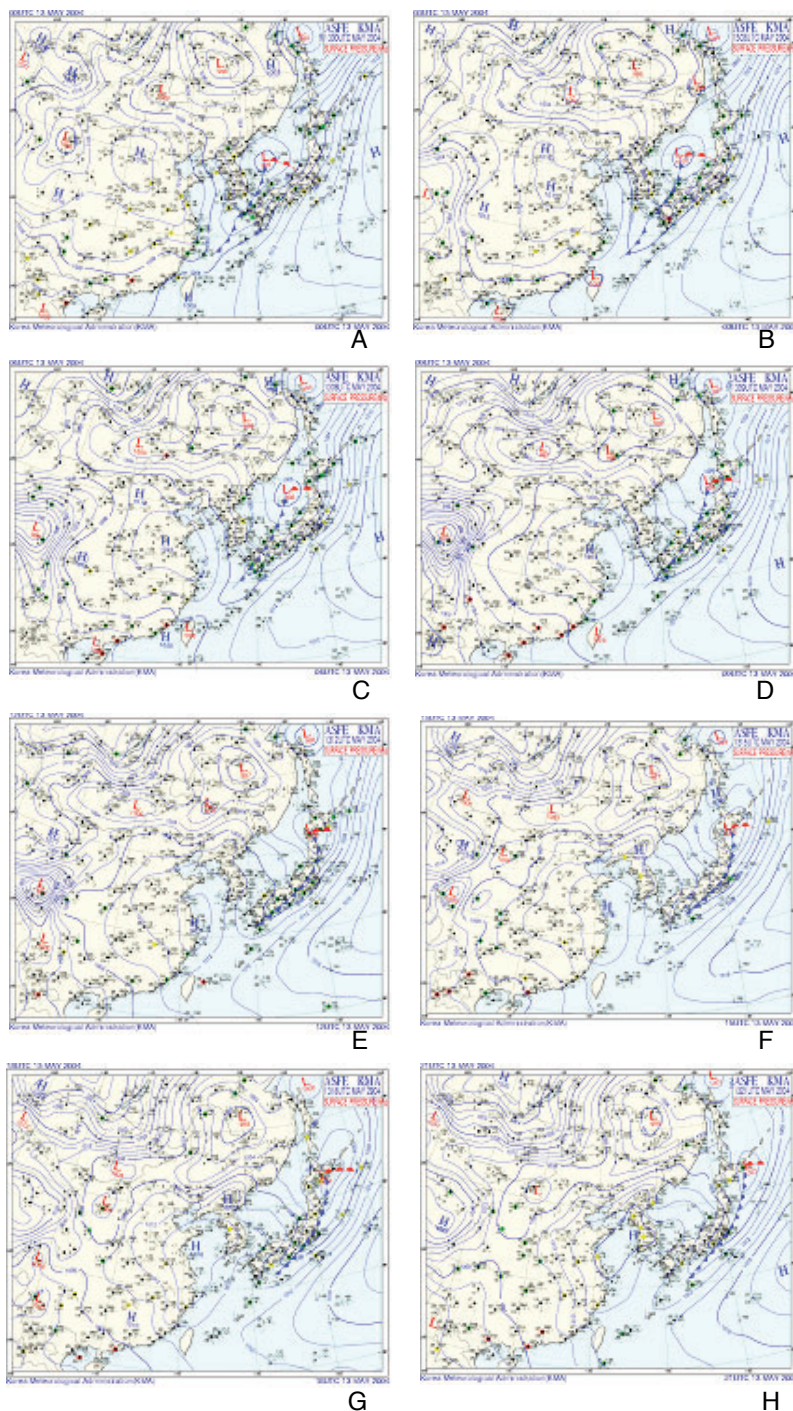


Figure 4. Surface weather chart at (A) 00UTC, (B) 03UTC, (C) 06UTC, (D) 09UTC, (E) 12UTC, (F) 15UTC, (G) 18UTC and (H) 21UTC 13 May 2004.

(2002~2005) 동안의 자료에 대해 각 연도별 다중회귀분석을 실시하였다. 분석결과 Table 3~5에서 볼 수 있듯이 화분 농도는 매년 각기 다른 기상요소에 영향을 받는 것으로 나타나, 전 해의 산출식만으로 당 해의 농도값을 예측해 내는데 다소 어려움이 있는 것으로 나타났다.

이러한 결과를 바탕으로 과거 3년간(2001~2003, 2002~2004)의 자료를 활용한 예보 산출식을 구한 후(Table 6), 산출식 검증을 위해 2004년(잡초류)과 2005년(수목류)의 기상자료를 적용해 보았다. 그 결과 소나무의 경우 관측값과 예측값의 정확도가 4월에 72.7%와 5월에 23.8%로 나타났으며, 소나무 이외 수목류의 경우 4월에 77.3%, 5월에 47.6%로 그리고 잡초류의 경우 9월에 40.7%, 10월에 74.2%로 나타났다(Figure 6~8). 다중회귀분석 결과 각각의 종별로 4월과 10월의 경우 그 정확도가 높게 나타났으나, 화분 농도가 높고 그 분포가 집중된 5월과 9월의 정확도는 상대적으로 떨어져 이 기간에서 유형의 세분화에 따른 예보 산출식 개발의 필요성이 대두되어, 군집분석과 관별분석을 통한 재분석을 실시하였다.

K-평균 군집분석방법을 이용하여 수목류와 잡초류의 5월과 9월 자료에 대한 군집분석을 실시한 결과 Table 7~9에서와 같이 소나무의 경우 4가지의 군집으로 소나무

Table 6. Regression models for daily pollen counts of the trees (pine and except pine) in April and May, and weeds in September and October

Pollen	Regression model		R ²	P
Pine	Apr.	$1.609848 - 0.328230 \times \text{WIND} + 0.001628 \times \text{AS}$	0.474	0.02
	May	$1.577870 - 0.013258 \times \text{AS} + 0.117365 \times \text{MeanT} - 0.001257 \times \text{Accum T}$	0.495	0.00
Trees except pine	Apr.	$0.494386 + 0.002296 \times \text{AccumT} - 0.009812 \times \text{PRE} - 0.012852 \times \text{AS} + 0.047051 \times \text{MeanT}$	0.693	0.00
	May	$0.427347 + 0.042282 \times \text{MeanT} - 0.020994 \times \text{RT} + 0.005922 \times \text{HUM}$	0.439	0.01
Weeds	Sep.	$3.105090 - 0.000521 \times \text{AccumT} - 0.011980 \times \text{AS} + 0.036886 \times \text{DR} + 0.025268 \times \text{PRE}$	0.450	0.09
	Oct.	$5.419920 - 0.001308 \times \text{AccumT} + 0.023948 \times \text{MinT} - 0.044073 \times \text{RT} + 0.008469 \times \text{HUM}$	0.743	0.00

Variables are MeanT: daily mean temperature, PRE: daily rainfall, WIND: average wind speed, HUM: daily relative humidity, MaxT: daily maximum temperature, MinT: daily minimum temperature, DR: daily temperature range, RT: continued rainfall hours, AS: accumulated sunshine hours, and AccumT: accumulated mean temperature

Table 7. Clusters for daily pine pollen counts observed in May based on cluster analyses

Variables	Cluster 1		Cluster 2		Cluster 3		Cluster 4	
	Mean	Std.	Mean	Std.	Mean	Std.	Mean	Std.
MeanT	17.7000	1.3996	20.5958	1.4710	14.6143	1.7865	17.5083	1.5347
Precipitation	.5000	1.5435	2.083E-02	.1021	10.8571	7.0399	2.9167	5.0083
Wind	2.0389	.3928	2.0458	.5741	2.2571	.8304	2.9583	.9568
Humidity	58.2778	12.7994	52.4833	6.9805	86.7857	6.3017	74.4083	5.9560
MaxT	23.6889	1.9816	26.4792	1.6785	16.6000	2.4886	22.0583	2.4422
MinT	12.1056	1.4538	15.1625	1.3051	12.4000	1.6462	14.3083	1.1673
Daily range	11.5833	2.1236	11.3167	1.5319	4.2000	1.9807	7.7500	1.6545
Raintime	1.0006	2.5152	.1104	.5409	14.4671	4.6982	4.3833	4.1030
Sunshine	35.8944	9.5453	42.8458	15.3968	29.8143	8.7152	29.0750	12.7911
AccumT	838.1333	103.7194	1064.4083	131.9240	844.9286	132.7706	982.7250	154.7553
Cluster Count	18		24		7		12	

Table 8. Clusters for daily tree pollen counts except pine observed in May based on cluster analyses

Variables	Cluster 1		Cluster 2		Cluster 3	
	Mean	Std.	Mean	Std.	Mean	Std.
MeanT	15.3615	1.7419	17.8826	1.2242	20.6654	1.4792
Precipitation	8.4231	7.0233	.2174	.7359	.2308	.8274
Wind	2.4692	.8004	2.0913	.3813	2.2462	.9100
Humidity	80.8077	10.1861	60.6391	12.4727	54.8308	9.9201
MaxT	18.1385	2.7391	23.7348	1.6945	26.3654	1.6169
MinT	12.8385	1.5284	12.6304	1.5426	15.5654	1.7722
Daily range	5.3000	2.1339	11.1043	2.2237	10.8000	2.2514
Raintime	10.8885	5.7627	.6157	1.6733	.7623	2.2060
Sunshine	27.1769	7.8083	33.5435	10.0699	43.5846	15.1210
AccumT	866.0231	106.0416	872.9435	115.5075	1082.8885	142.3718
Cluster Count	13		23		26	

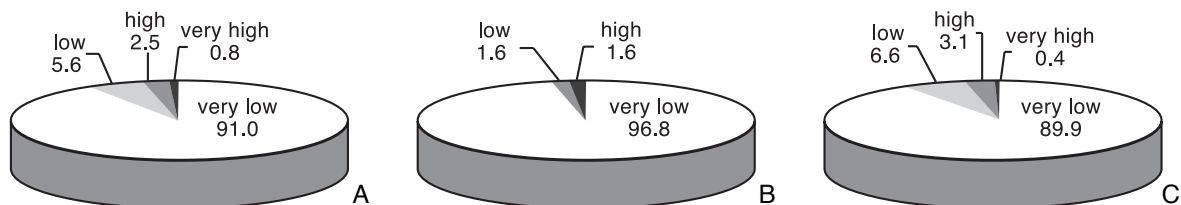


Figure 5. Distribution of allergenicity for (A) trees, (B) grasses, and (C) weeds based on daily observed pollen counts in Seoul (1997~2002).

이외의 경우는 3가지 그리고 잡초류의 경우 3가지의 군집으로 분류되었다.

군집분석에서 선별된 인자의 화분 농도 분류에 대한 정확성을 검토하고자 수목류와 잡초류에 대해 판별분석을 실시한 결과 소나무는 96.7%, 소나무 이외 수목류는 96.2% 그리고 잡초류의 경우 98.6%가 바르게 분류되어 사용된 인자가 꽃가루 농도의 유형을 분류하는데 매우 유의함을 확인할 수 있었다(Table 10~12).

앞서 분석된 결과를 토대로 수목류와 잡초류에 대한 각각의 군집별 산출식을 다중회귀분석을 통해 재생산한 후 (Table 13), 관측자료(2002~2004)를 산출식에 적용하여 그 결과를 동 기간의 관측값과 비교해본 결과 각각의 클러스터별로 소나무의 경우 66.7%, 62.5%, 85.7%, 41.7%가 바르게 분류되었으며(Table 14), 소나무 이외 수목류의 경우 76.9%, 78.3%, 73.1%가 바르게 분류되어졌다 (Table 15).

또한 잡초류의 경우 48.5%, 100%, 54.8%가 바르게 분류되어졌다(Table 16). 꽃가루 농도 예보 산출식을 검증하기 위해 2005년 꽃가루 농도 자료에 대한 예측값을 생산해 낸 결과 소나무의 경우 42.9%(Table 17), 소나무 이외의 경우 57.1%(Table 18) 그리고 잡초류의 경우 46.7% (Table 19)가 관측값과 예측값이 일치하는 것으로 나타나, 다중회귀식만을 적용한 결과에 비해 군집분석을 통한 회귀식 적용결과가 보다 향상된 것으로 나타났다. 또한 소나무의 경우 예측값이 관측값에 비해 다소 낮게 소나무 이외와 잡초류의 경우 다소 높게 예측되는 경향을 보이고 있으며, 이러한 경향은 향후 완성될 예정인 꽃가루 농도 위험수준을 통해 문제점이 해결될 것이라 사료된다.

고 찰

지구 온난화 현상은 산업화 시대 이후 세계적으로 점차적으로 급증하게 된 자동차와 공장 등 석유 에너지의 사용의 증가와 무분별한 토지 개발 등으로 인한 지구의 황폐화 현상으로 이차적으로 일어나게 된 지구의 재앙이다(18, 19). 특히 기후 온난화에 직접적으로 영향을 미치는 이산화탄소와 오존 등에 대한 연구가 증가하고 있는데 CO₂ 증가는 인간의 생리학적, 병리학적인 변화에도 중요한 영향을 미치게 되며 인간 건강과 밀접한 관계가 있는 식물의 생리학적 변화도 유도하게 된다(20). 이러한 현실에서 화분의 변동은 더욱 더 심하게 일어날 것으로 예상하고 있으며 이러한 기후의 급변에 따라 알레르기 화분의 증가로 인하여 알레르기 질환도 급증할 것으로 예상할 수 있어 대기 중 알레르기 화분 농도 예보제 개발은 이제는 필수적인 요소가 되었다.

대한소아알레르기 호흡기학회 화분연구회에서는 전국 8개 지역에서 관측된 화분 농도 자료를 이용하여 화분 농도 분포 특성과 알레르기 발현성을 조사·분석하였으며 결과적으로 수목류, 잔디류, 잡초류의 화분 농도는 전국적으로 연중 유사한 분포를 보이고 있으며 수목류는 3~5월, 잔디류는 5~9월 그리고 잡초류는 8~10월에 주로 발생하는 것으로 나타났다. 8개 지역의 농도 분포 또한 전국적으로 유사한 분포를 보이고 있으나 일부 지역의 경우 지역적 특성이 고려된 화분 농도 분포를 보였다. 수목류 중 소나무의 농도는 전 지역에서 가장 높게 나타나고 있으나, 소나무 화분으로 인한 알레르기 유발 가능성은 다른 종류의 화분에 비해 매우 낮다. 반면 자작나무, 느릅나무 등과 같은 수목류와 돼지풀 등과 같은 잡초류는 그 발생량은 적으나 알레르기를 유

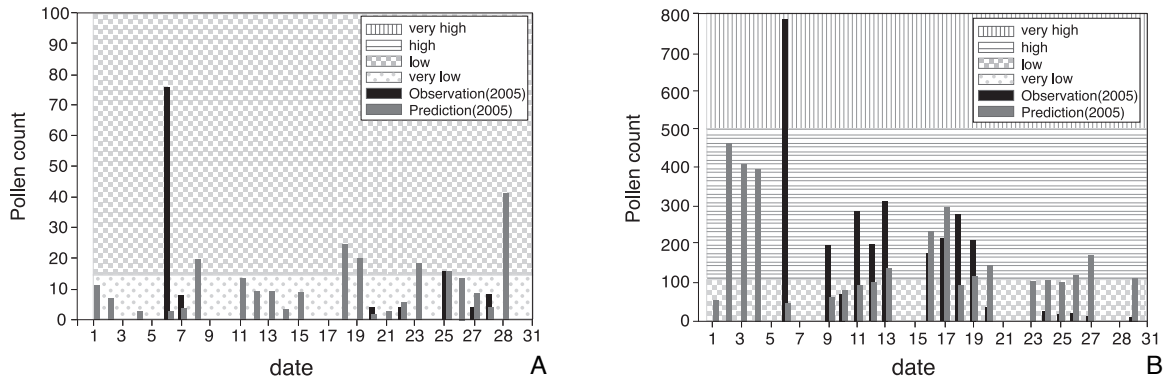


Figure 6. Observed (blue) and predicted (pink) pine pollen counts in Seoul (A: April and B: May 2005).

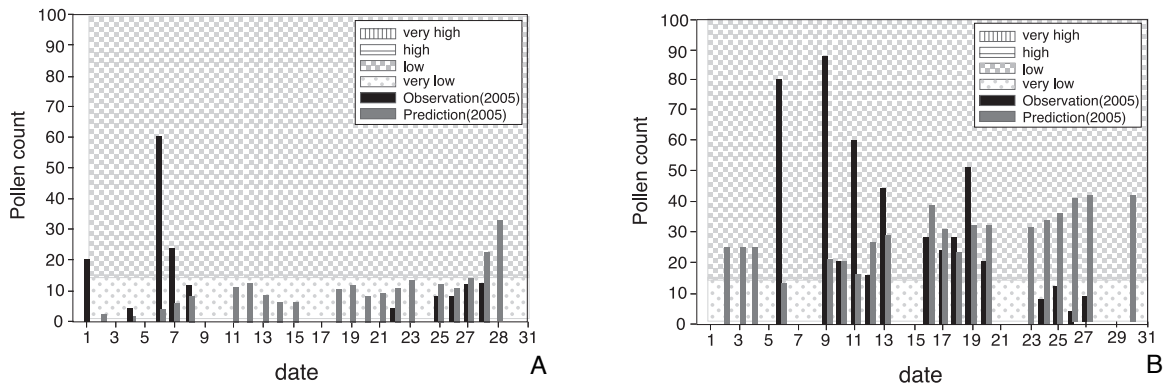


Figure 7. Observed (blue) and predicted (pink) tree except pine pollen counts in Seoul (A: April and B: May 2005).

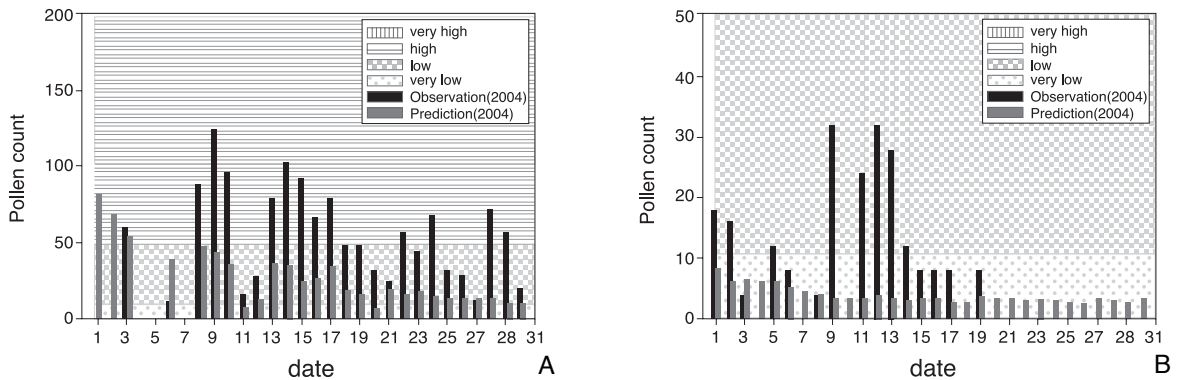


Figure 8. Observed (blue) and predicted (pink) weed pollen counts in Seoul (A: September and B: October 2004).

Table 9. Clusters for daily tree pollen counts except pine observed in May based on cluster analyses

Variables	Cluster 1		Cluster 2		Cluster 3	
	Mean	Std.	Mean	Std.	Mean	Std.
MeanT	20.2788	1.1900	18.4000	1.5281	23.3710	1.3382
Precipitation	1.7758	4.5488	35.7000	18.8600	3.5484	9.5659
Wind	1.5424	.4437	2.3600	1.8257	1.9548	.8710
Humidity	65.4485	8.2360	86.0800	2.4386	70.7677	10.1954
MaxT	24.9758	1.8989	21.8200	1.2911	27.6000	1.9107
MinT	16.1515	1.3196	16.0200	1.0208	19.8355	1.6082
Daily range	8.8242	2.3137	5.8000	.8888	7.7645	2.0086
RainTime	.7461	1.4812	15.7420	2.9838	1.9335	2.7937
Sunshine	35.8152	9.9977	23.5000	14.0005	22.3355	13.5783
AccumT	3956.4152	108.2692	3630.5400	191.7676	3624.1032	126.4101
Cluster Count	33		5		31	

Table 10. Results from Discriminant analyses for pine pollen counts

Cluster group		Predicted group				Total
		1	2	3	4	
Count (%)	1	17 (94.4)	1 (5.6)	0	0	18
	2	1 (4.2)	23 (95.8)	0	0	24
	3	0	0	7 (100)	0	7
	4	0	0	0	12 (100)	12

Table 11. Results from Discriminant analyses for tree pollen counts except pine

Cluster group		Predicted group			Total
		1	2	3	
Count (%)	1	12 (92.3)	1 (7.7)	0	13
	2	0	23 (100)	0	23
	3	0	1 (3.8)	25 (96.2)	26

Table 12. Results from Discriminant analyses for weed pollen counts

Cluster group		Predicted group			Total
		1	2	3	
Count (%)	1	32 (97.0)	0	1 (3.0)	33
	2	0	5 (100)	0	5
	3	0	0	31 (100)	31

Table 13. Daily allergenicity models for pine and the other trees in May and for weeds in September

Pollen	Cluster	Regression model	R ²	P
Pine	1	1.925318 - 0.008858 × AS + 0.069458 × RT + 0.022064 × HUM - 0.450859 × WIND	0.61	0.01
	2	- 0.894559 + 0.314224 × MeanT - 0.002260 × AccumT - 0.083394 × DR	0.69	0.00
	3	1.982743 - 0.103875 × RT + 0.077967 × PRE + 0.002173 × AccumT - 0.077289 × MeanT - 0.078673 × WIND	0.99	0.03
	4	2.938907 - 0.033750 × AS	0.38	0.03
Tree except pine	1	3.734477 - 0.039974 × RT - 0.032431 × AS + 0.074371 × WIND - 0.000864 × AccumT + 0.022925 × PRE - 0.037523 × MaxT	0.78	0.13
	2	1.544558 + 0.005103 × HUM - 0.209519 × PRE - 0.010390 × AS + 0.0056975 × RT	0.45	0.04
	3	- 0.031770 + 0.102436 × MaxT - 0.000941 × AccumT	0.50	0.00
Weed	1	4.668491 - 0.001345 × AccumT + 0.215592 × MeanT - 0.094537 × MaxT	0.38	0.01
	2	- 8.12693 + 0.00217 × AccumT + 0.07439 × MeanT	0.99	0.10
	3	4.619065 - 0.213817 × MeanT + 0.076789 × MaxT	0.38	0.00

Table 14. Observed and predicted daily allergenicity by pine pollen counts for each cluster group in 2002~2004

Cluster 1					Cluster 1			
Pre. Obs.	very low	low	high	very high	very low	low	high	very high
very low	0	1	0	0	0	1	1	0
low	0	4	3	0	1	5	3	0
high	0	0	8	0	0	1	5	1
very high	0	0	2	0	0	0	1	5

Cluster 3					Cluster 4			
Pre. Obs.	very low	low	high	very high	very low	low	high	very high
very low	0	0	0	0	1	0	0	0
low	0	3	0	0	0	2	3	0
high	0	1	3	0	0	2	2	0
very high	0	0	0	0	0	0	2	0

Table 15. Observed and predicted daily allergenicity by tree pollen counts except pine for each cluster group in 2002~2004

Cluster 1				
Pre. Obs.	very low	low	high	very high
very low	3	1	0	0
low	1	7	0	0
high	0	1	0	0
very high	0	0	0	0

Cluster 2				
Pre. Obs.	very low	low	high	very high
very low	1	5	0	0
low	0	17	0	0
high	0	0	0	0
very high	0	0	0	0

Cluster 3				
Pre. Obs.	very low	low	high	very high
very low	0	4	0	0
low	0	17	0	0
high	0	3	2	0
very high	0	0	0	0

Table 16. Observed and predicted daily allergenicity by weed pollen counts for each cluster group in 2002~2004

Cluster 1				
Pre. Obs.	very low	low	high	very high
very low	1	11	0	0
low	0	14	1	0
high	0	5	1	0
very high	0	0	0	0

Cluster 2				
Pre. Obs.	very low	low	high	very high
very low	2	0	0	0
low	0	3	0	0
high	0	0	0	0
very high	0	0	0	0

Cluster 3				
Pre. Obs.	very low	low	high	very high
very low	0	2	3	0
low	0	4	5	0
high	0	4	13	0
very high	0	0	0	0

Table 17. Validation results of the daily allergenicity models for pine pollen counts in 2005

Pre. Obs.	very low	low	high	very high
very low	3	2	1	1
low	1	4	0	0
high	0	5	2	1
very high	0	1	0	0

Table 18. Validation results of the daily allergenicity models for tree pollen counts except pine in 2005

Pre. Obs.	very low	low	high	very high
very low	2	8	0	0
low	1	10	0	0
high	0	0	0	0
very high	0	0	0	0

발할 가능성은 매우 높아 화분알레르기 환자에게는 특히 주의해야할 식물로 나타났다.

화분 알레르기 위험기준별로 화분 종류별 농도 분포를 살펴보면 수목류, 잔디류, 잡초류 모두 90% 이상이 위험이 없는 것으로 나타나고 있다. 이러한 구분에 사용된 위험기준은 미국의 기준을 참조한 것으로 국내의 알레르기 환자에 대한 영향도와는 다를 수 있기 때문에 보다 더 정확한 위험도 정보를 제공하기 위해서는 국내 환자에 맞는 위험기준을 설정하는 것이 앞으로 추가 연구되어야 한다.

화분 농도 변화는 기온, 강수, 일조 시간 등 다양한 기상 요소와 긴밀한 관계가 있다. 기상 요소와 꽃가루 농도와 다중회귀식을 산출해 본 결과 매년 각기 다른 기상 요소가 꽃가루 농도 변화에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히, 기온과 강수 요소는 꽃가루 농도를 결정하는데 주요 원인으로 작용한다. 꽃가루 농도 예보식 개발을 위해 화분 농도에 영향을 줄 것으로 판단되는 10가지 기상요소를 선별하여 다변량 통계자료 분석방법을 활용한 종별 그리고 월별 농도 예보식을 개발하였다.

결 론

현재 개발되고 있는 화분 농도 예보식의 정확도를 높이기

Table 19. Validation results of the daily allergenicity models for weed pollen counts in 2005

Pre. Obs.	very low	low	high	very high
very low	0	3	1	0
low	0	8	9	0
high	0	3	6	0
very high	0	0	0	0

위해선 관측 자료의 연속성 확보가 무엇보다 필요하며, 향후 지속적인 예보 산출식 개선과 유관 기관과의 긴밀한 협력을 통해 보다 정확한 예보 지수를 개발하도록 노력할 것이다.

* 감사의 글

본 연구는 대한소아알레르기 호흡기학회와 국립기상연구소의 용역 연구과제를 수행함으로써 가능하게 되었다. 특히 대한소아알레르기 호흡기학회 화분연구회의 대구파티마 병원 소아청소년과 강임주 선생님, 부산성모병원 소아청소년과 김성원 선생님, 광주보훈병원 소아청소년과 국명희 선생님, 강릉 아산병원 소아청소년과 김봉성 선생님, 고려의대 소아청소년과 정지태 교수, 한양의대 소아청소년과 이하백 교수와 국립기상연구소 응용기상연구실의 최영진 과장, 박기준 연구사, 김규량 연구관, 김현에 주무관의 아낌없는 성원과 협조에 의하여 가능하였다.

참고문헌

1. Lewis WH, Vinay P, Zenger VE. Airborne and allergenic pollen of North America. The Johns Hopkins University Press, Baltimore & London, 1983.
2. Esch RE, Bush RK. Aerobiology of outdoor allergens. In Adkinson NF Jr, Yunginger JW, Busse VWW, Bochner BS, Holgate ST, Simons FER, Middleton's allergy principles and practice. 6th ed. St. Louis: Mosby, 2003: 529-555.
3. Taylor G, Walker J, Backley CH. 1820-1900: A detailed description of the astonishing achievement of Backley in describing the causes of hay fever. Clin Allergy 1973; 3: 103-108.
4. Lewis W, Imber W. Allergy epidemiology in the St. Louis,

- Missouri Area II, grasses. *Ann Allergy* 1975; 35: 42-50.
5. Anderson JH. Allergenic airborne pollen and spores in Anchorage, Alaska. *Ann Allergy* 1985; 54: 390-399.
 6. Potter PC, Cadman A. Pollen allergy in South Africa. *Clin Exp Allergy* 1996; 26: 1347-1354.
 7. Esch RE, Bush RK. Aerobiology of outdoor allergens. In Adkinson NF Jr, Yunginger JW, Busse WW, Bochner BS, Holgate ST, Simons FER, Middleton's allergy principles and practice. 6th ed. St. Louis: Mosby, 2003: 529-555.
 8. Solomon WR, Weber RW, Dolen WK. Common allergenic pollen and fungi. Bierman CW, Pearlman DS, Shapiro GG, Busse WW. Allergy, asthma and immunology from infancy to adulthood. 3rd ed, Philadelphia, WB Saunders, 1996: 93-114.
 9. Oh JW. Characteristics and distribution of airborne pollen and mold. *J Pediatr Allergy Respir Dis* 1998; 8: 1-15.
 10. Oh JW, Lee HL, Kim JS, Lee KI, Kang IJ, Kim SW, HB Lee. Aerobiological study of pollen and mold in the 10 states of Korea. *Pediatr Allergy Respir Dis (Korea)* 2000; 10: 22-33.
 11. Oh JW, Pyun BY, Choung JT, Ahn KM, Kim CH, Song SW, Son JA, Lee SY, Lee SI. Epidemiological change of atopic dermatitis and food allergy in school-aged children in Korea between 1995 and 2000. *J Korean Med Sci* 2004; 19: 716-723.
 12. Vázquez L M, Galán C, Domínguez-Vilches E. Influence of meteorological parameters on olea pollen concentrations in Cordoba (South-Western Spain), *Int J Biometeorol*, 2003; 48: 83-90.
 13. Emberlin J, Savage M, Jones S. Annual variations in grass pollen seasons in London 1961-1990: trends and forecast models. *Clinic Exp Allergy* 1993; 23: 911-918.
 14. Frenguelli G, Bricchi E. The use of phenoclimatic model for forecasting the pollination of some arboreal taxa, *Aero-biologia* 1998; 14: 39-44.
 15. Galán C, Cari-anos P, García-Mozo H, Alcázar P, Domínguez-Vilches E. A model for forecasting *Olea europaea* L. airborne pollen in the South-West Andalusia, Spain, *Int J Biometeorol* 2001; 45: 59-63.
 16. Garchia-Mozo H, Galán C, Gomez-Casero MT, Domínguez-Vilches E, 2000: A comparative study of different temperature accumulation methods for predicting the start of the *Quercus* pollen season in Córdoba (South West Spain), *Grana* 2000; 39: 194-199.
 17. Smith M, Emberlin J. 2006: A 30-day-ahead forecast model for grass pollen in north London, United Kingdom. *Int J Biometeorol* 2006; 50: 233-242.
 18. Beggs PJ. Impacts of climate change on aeroallergens: past and future. *Clin Exp Allergy* 2004; 34: 1507-1513.
 19. Ziska LH, Gebhard DE, Frenz DA, Faulkner S, Singer BD, Straka JG. Cities as harbingers of climate change: common ragweed, urbanization, and public health. *J Allergy Clin Immunol* 2003; 111: 290-295.
 20. Wayne P, Foster S, Conolly J, Bazzaz, Epstein P: Production of allergenic pollen by ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) is increased in CO₂-enriched atmospheres. *Ann Allergy Asthma Immunol* 2002; 88: 279-282.



Peer Reviewers' Commentary

꽃가루가 천식, 알레르기 비염, 아토피 피부염을 발생시키거나 악화시키는 중요 인자로 알려지고 있으나, 꽃가루의 지역적 분포는 국가에 따라 매우 다르기 때문에 외국의 자료를 국내에 그대로 적용하기에는 많은 어려움이 있다. 그러나 꽃가루를 장기적으로 채집하고 분석하는 일이 쉽지 않아 세계적으로도 이런 작업이 꾸준히 이루어지고 있는 나라는 드물며, 특히 아시아 지역에서는 거의 연구가 이루어지고 있지 못한 상태이다. 본 논문은 장기간의 채집과 분석을 통한 자료이며, 특히 외국의 자료와는 달리 기상 요소와의 관련성을 분석해 국내에 적용할 수 있는 예보지수를 개발한 최초의 논문으로 여겨진다. 대기 중의 꽃가루 분포를 그 수로만 발표하는 것은 건강의 지표로 사용하기 곤란한 여러 가지 문제점이 있는데, 이를 다양한 변수를 적용하여 실제로 환자의 증상에 영향을 미칠 지수를 개발한 점은 주목할 만하다. 향후에 새로 개발된 예보 방정식과 실제 측정치 사이의 통계적 유의성에 대한 검증을 통해 충분한 신뢰성 확보시 국민건강 향상에 크게 기여할 수 있는 지표를 개발한 연구로 높이 평가할 만하다.

[정리: 편집위원회]