일별 꽃가루농도에 대한 기상영향

이혜림¹ · 김규랑^{1*} · 최영진¹ · 오재원²

¹국립기상연구소 응용기상연구과, ²한양대학교 의과대학
(2012년 3월 13일 접수; 2012년 8월 28일 수정; 2012년 9월 7일 수락)

Meteorological Impact on Daily Concentration of Pollens in Korea

Hye-Rim Lee¹, Kyu Rang Kim^{1*}, Young-Jean Choi¹ and Jae-Won Oh²

¹Meteorological Application Research Laboratory, National Institute of Meteorological Research, KMA, Korea

²Department of Pediatrics, College of Medicine, Hanyang University, Korea

(Received March 13, 2012; Revised August 28, 2012; Accepted September 7, 2012)

ABSTRACT

There has been increasing number of patients with asthma, rhinitis, and conjunctivitis due to the atmospheric pollution and global warming. In this study, we investigated daily observed number of pollens to establish a standardized method for the impact analysis of the climate changes on the number of daily pollens in Korea. Daily observed allergenic pollens of trees, weeds, and pine were analyzed during the period of 1998 to 2010 (except 2006) in Seoul, Busan, Daegu, Gwangju, Gangneung, and Jeju. They increased in large cities including Seoul during the last 12 years and the long-term trend may continue in the future. Daily concentration or amount of pollens was highly correlated with weather variables. Positive correlation was found between air temperature and the pollens although different relationships existed for different locations. Chill days were utilized to estimate the length of the flowering or pollen period. The pollen period of trees was shorter in the field when the winter temperature was low. This approach may be utilized to determine the quantitative change in length of the pollen season in the future.

Key words: Pollen, Meteorological factor, Long-term trend, correlation, Chill days, Flowering period

I. 서 론

주 5일제 근무의 보편화와 여가활동 시간의 증가에 따라 건강에 대한 관심이 커지고 있다. 또한 여가활동으로 실외활동을 즐기는 사람이 많아지면서 과거에 비해 꽃가루로 인한 알레르기 환자가 점차 늘어나고 있다. 유년기의 천식과 알레르기 연구에서는 독일 어린이의 40%가 꽃가루 알레르기에 민감하며(Riedinger *et al.*, 2002), 유럽에서는 성인의 약 20%가 알레르기 비염을 앓고 있다(Bauchau and Durham, 2004). 꽃가루는 봄과 가을에 걸쳐 알레르기성 비염, 기관지 천

식, 알레르기성 결막염 등 각종 알레르기 관련 질병의 원인이 되고 있다. 꽃가루 알레르기는 꽃가루가 원인 항원으로 작용하여 알레르기 질환을 일으키는 것으로 바람에 의하여 화분이 전파되며 생산량이 많고 작고 가벼우며, 공기주머니 등을 가져 잘 날아 다닐 수 있는 향기 없는 수목류, 잔디, 잡초 등이 알레르기의 주된 원인이 된다(Park *et al.*, 2008).

전 세계적으로 꽃가루에 대한 연구는 1960년대 말부터 시작되어 1980년 이후 꽃가루와 알레르기 질환과의 연관성에 대해 활발한 연구가 진행되었다(Hiroshi *et al.*, 1983; Kaufman and Ranck, 1988).

* Corresponding Author : Kyu Rang Kim
(krk9@korea.kr)

최근에는 다음과 같이 다양한 통계방법을 이용하여 기상요소에 따른 꽃가루농도의 변화를 예측하는 연구가 많이 수행되었다. 꽃가루 알레르기 환자와 의사에게 대기 중 꽃가루의 농도를 다중회귀모형으로 예측하여 꽃가루 농도를 제공하거나(Laaidi, 2001), 분위수회귀식(Makra and Matyasovzky, 2011)과 1차 자기회귀모형(Matyasovzky and Makra, 2011)을 이용하여 돼지풀 농도를 예측 및 평가하였다. 또한 인공신경망모형(Artificial neural network model)으로 폴란드 자카나무 꽃가루의 평균개수를 예측하였다(Puc, 2012). 기상요소와 꽃가루 농도의 관계를 규명하기 위하여 기온, 강수량, 습도와외의 상관관계를 분석하였다(Gioulekas *et al.*, 2004; Stennett and Beggs, 2004; Green *et al.*, 2004; Makra *et al.*, 2006). 한편 개화기간의 변화를 보기 위하여 꽃가루의 개화시작과 종료를 꽃가루 농도의 일정한 비율(개화: 5%, 종료: 95%)에 도달하는 날로 계산하여 그 변화를 살펴보았다(Sabariego *et al.*, 2012).

현재 기상청에서는 우리나라에서 관찰되는 주요 꽃가루와 알레르기 유발성을 고려한 국내 알레르기 위험도를 제공하기 위하여 기상과 의학계의 다학제적인 협력연구를 수행하고 있다. 서울, 부산, 대구, 광주, 강릉, 제주 지역의 꽃가루 달력을 작성하였으며(Park *et al.*, 2008; Oh *et al.*, 2011), 기상요소를 이용한 다중회귀모형 예보식으로 봄철 수목류와 가을철 잡초류 꽃가루수와 그에 따른 알레르기 위험도를 예측하여 서비스하고 있다. 또한 예측자료를 제공하는 지점을 확대하기 위하여 일별 꽃가루 농도 관측 지점을 전국 12개로 확대하고 관측 및 분석하고 있다. 기후변화에 따른 알레르기 유발성 꽃가루의 인체에 대한 영향이 어떻게 변화할 것인가는 온실가스 증가와 평균 기온의 상승이 꽃가루의 양과 알레르기 유발성에 어떤 역할을 하는가를 밝힘으로써 평가할 수 있다. 예상되는 양적 변화는 지구 온난화에 따라 식물의 개화기가 앞당겨지고 꽃이 피어있는 기간도 더 길어지게 되어 알레르기 꽃가루에 노출되는 기간이 더 길어지게 되는 것이다. 질적 변화는 온실가스 및 오염물질의 증가로 알레르기 반응이 더 자극됨으로써 알레르기 질환 자체가 급증하게 되는 요인으로 작용할 수 있다는 것이다(Beggs, 2004). IPCC 4차 종합평가보고서에 의하면 향후 20년간 0.2°C/10년의 온난화가 전망되며, 장기적으로 21세기 말 기온은 20세기 말 대비 최대 6.4°C, 해수면은 최

대 59cm 상승이 전망되었다. 그리고 기후변화 완화 정책과 연관된 지속가능발전수단에 의해 전 세계의 온실가스 배출량은 수십 년 동안 계속해서 증가할 것으로 예상되었다(IPCC, 2007). 그러므로 기후변화에 대비한 기상영향에 따른 꽃가루의 변화특성연구가 필요하다.

본 연구의 목적은 다음과 같이 세 가지 측면에서 꽃가루에 대한 기상조건의 영향을 알아보는 것이다. 첫째, 관측된 꽃가루 농도 변화의 장기적인 경향성을 살펴보았다. 둘째, 꽃가루 농도와 기상요소의 관련성과 꽃가루 농도의 분포를 살펴보았다. 마지막으로 수종에 따른 꽃가루 관측시기를 통한 개화일수와 저온누적도의 관계식을 도출하여 꽃가루의 주요 위해 요소인 개화일수를 예측 하고자 하였다.

II. 분석자료와 연구방법

꽃가루 농도는 기상청에서 1997년 이후 전국 7개 지점(서울, 구리, 강릉, 대구, 광주, 부산, 제주)에서 대한소아알레르기호흡기학회와 함께 공동 관측하였다. 꽃가루는 Burkard trap 채집기를 이용하여 7일 간격으로 수집하여 한양대학교 의과대학 구리병원에서 판독하였다(Park *et al.*, 2008). 관측된 꽃가루 종류는 소나무를 포함한 수목류 15종과 잡초류 8종이다. 꽃가루 농도의 장기적인 변동을 분석하고자 X-11 자기회귀 누적이동평균과정(X-11 Auto Regressive Integrated Moving Average: X-11 ARIMA)의 장기추세분석방법을 사용하였다. X-11 자기회귀 누적이동평균과정은 계절조정(seasonal adjustment)에서 많이 사용되는 이동평균법과 같이 시계열 자체가 가지고 있는 추세나 계절성, 불규칙한 성분을 분해하는 방법으로 이동평균과정에서 자료의 양끝에서 결측값이 생기는 단점을 보완한 방법이다(Cho and Sohn, 2009). 관측된 일별 꽃가루 농도는 소나무, 소나무를 제외한 수목류, 잡초류, 총 꽃가루 농도 월별 합으로 4가지의 경우로 구분하여 분석하였다. 분석기간은 꽃가루 농도의 결측이 많이 발생한 2006년을 제외한 1998~2010년이다. 소나무는 알레르기 유발성은 낮은 것으로 평가되나 우리나라의 주된 수종이며, 가장 많은 꽃가루를 발생시킬 때 문에 수목류와 분리하여 분석에 포함하였다.

기상요소에 따른 꽃가루 농도 분포를 파악하기 위하여 꽃가루 주요 개화시기에 따라 수목류 4, 5월, 잡초류 9, 10월로 구분하여 기상요소와 상관분석을 실시

Table 1. Long-term trend coefficients of daily pollens observed at six locations based on X11-ARIMA analysis

Sites	Pine	Trees (without Pine)	Weeds	Total
Seoul	1194.972**	389.36**	282.407*	1578.44**
Busan	4971.54**	121.64	-4672.55	950.73
Daegu	689.79**	450.04**	494.94*	1413.75**
Gwangju	745.845**	746.75**	326.251**	1476.80**
Gangneung	-416.19	21.37	-16075	-645.18
Jeju	821.95	714.51**	1514.89*	1325.24

** : $p < 0.05$, * $p < 0.1$

하였다. 수목류와 잡초류의 시기를 분류한 것은 주로 수목류는 봄철, 잡초류는 가을철에 집중적으로 발생하기 때문이다(Park *et al.*, 2008). 분석에 사용된 기상 요소는 평균기온, 적산온도, 최저기온, 최고기온, 일교차, 강수량, 습도, 강수량, 강수지속시간, 7일 일조시간, 풍속이다.

수종에 따른 꽃가루의 개화기간과 저온누적도(Chill days)의 관계를 분석하는 것은 식물의 휴면시계모형(dormancy clock model)과 발육율모형(development rate model)에 근거하여(Kim *et al.*, 2009) 회귀모형을 구축하였다. 수종은 상대적으로 꽃가루 농도가 높은 소나무, 참나무, 돼지풀을 대상으로 개화기간을 산출하고, 회귀모형을 통하여 개화기간을 예측하고자 하였다. 개화기간은 1년을 주기로, 전체 꽃가루 농도의 10%가 관측되는 날과 90%가 관측되는 날의 차이로부터 계산하였다. 꽃가루 개화시기와 개화종료시기의 선택을 10% 수준으로 정한 것은 꽃가루가 대체적으로 많이 발생하는 기간을 보다 안정적으로 판정하기 위함이다. 아울러 꽃가루 개화 종료 후 이미 발생한 꽃가루가 바람에 의해 이동되어 관측될 수 있는 가능성이 존재하므로 한국의 알레르기 꽃가루 위험도에 의하여 '조심' 이상의 꽃가루 농도가 관찰되는 시기가 고려된 것이다. '조심' 이상의 꽃가루 농도는 소나무 500개 이상, 참나무 50개 이상, 돼지풀 20개 이상 등으로 수종별 알레르기 위험 꽃가루 농도가 각기 다르다(National Institute of Meteorological Research, 2008). 저온누적도는 당해 꽃가루가 발생하기 전 해 겨울의 영하기온을 누적하여 계산하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 꽃가루 장기추세

총 12년간(1998~2010년) 장기추세성분의 결과는

Table 1에 요약하였고 유의수준 0.1에서 꽃가루 장기 추세의 계수를 나타낸다. 이는 1년이 지났을 때 증가하거나 감소하는 꽃가루 농도를 의미한다.

서울, 대구, 광주 지역은 모든 종류의 꽃가루 농도가 증가하였음을 알 수 있다. 서울의 경우 1년이 지나면, 전체 꽃가루 1578, 수목류 389, 소나무 1195, 잡초류 282개가 증가하였다. 부산지역의 경우, 소나무는 다른 지역에 비해 증가하였으나 수목류와 잡초류는 증가하거나 감소하는 경향을 보이지 않았다. 강릉지역은 모든 꽃가루의 농도가 증가하거나 감소하는 추세를 보이지 않았다. 제주지역은 전체 꽃가루 농도, 소나무, 수목류는 장기적으로 증가하지 않으나 수목류, 잡초류가 증가하였다. 6개 지역의 꽃가루 장기추세분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다. 부산을 제외한 서울, 대구, 광주와 같은 도시에서는 장기적으로 꽃가루가 증가하는 추세이며, 기존 식생분포와 관계없이 잘 자라는 잡초류는 제주에서도 증가하였다. 이로부터 앞으로도 알레르기를 유발하는 꽃가루는 계속 증가할 것이라고 판단할 수 있다. Fig. 1은 지역별 전체 꽃가루의 장기추세를 선형적으로 표현한 것이다.

3.2. 기상요소와 꽃가루 농도의 관계

기상조건에 따라 식물의 개화시기가 결정되고 꽃가루의 농도가 크게 영향을 받으므로 기상요소와 꽃가루 농도의 관계는 매우 중요하다. 상관분석결과, 유의수준 0.1에서 소나무와 소나무를 제외한 수목류의 경우, 4월은 기온(평균기온, 적산온도, 최저기온, 최고기온)과 양의 상관관계가 있으며(Table 2), 5월은 기온과 상관관계가 있으나 4월과 반대로 음의 상관관계를 가진다. 이는 꽃가루의 농도는 4월에 증가하다가 5월에 꽃이 지면서 꽃가루는 점차 감소하나 기온은 계속 증가하기 때문이다(Table 3). 가을철 잡초류의 경우, 평균기온, 최고기온, 최저기온에 따라 꽃가루의 양이 증가하나

Fig. 1. Monthly total number of pollens and long-term trend in six sites: Seoul, Busan, Daegu, Gwangju, Gangneung, and Jeju.

적산온도에 따라 감소한다. 이는 평균기온이 낮아져도 적산온도는 증가하므로, 적산온도와 꽃가루 농도의 음의 상관관계는 평균기온과 꽃가루 상관관계와 같은 의미로 해석할 수 있다. 지역적인 차이로 강릉 지역을 제외한 모든 지역에서 기온과 꽃가루의 농도는 상관관계가 있으며, 다른 기상요소에 있어서는 지역별로 다른 경향을 보였다. 또한 수종별로 비교하였을 때, 9월의 잡초류는 수목류보다 기온의 상관관계가 높으며 7월 일조시간과도 관계가 높았다. 소나무의 경우는 다른 기

온 요소에 비해 적산온도에 큰 상관관계를 보였다.

양의 상관관계가 가장 높은 평균기온과 6개 지역 꽃가루의 분포는 소나무 15~20°C, 수목류 5~15°C, 잡초는 20~25°C에서 꽃가루가 많이 분포하였다(Fig. 2). 그에 비해 7월 누적일조시간은 수종의 차이 없이 30~60시간에 주로 많은 꽃가루 농도가 분포하였다(Fig. 3). 이로부터 꽃가루의 농도는 온도에 직접적으로 영향을 받음을 알 수 있으며 일조시간은 온도보다는 간접적으로 영향을 준 것으로 판단된다.

Table 2. The correlation coefficients between daily observed pollens and ten meteorological factors on April (Pine and Tree) and September (Weeds) in Seoul, Busan, Daegu, Gwangju, Gangneung, and Jeju

Sites	Pine					Trees (without Pine)					Weeds							
	Seoul	Busan	Daegu	Gwang-ju	Gang-neung	Jeju	Seoul	Busan	Daegu	Gwang-ju	Gang-neung	Jeju	Seoul	Busan	Daegu	Gwang-ju	Gang-neung	Jeju
T1	0.10*	0.00	0.13**	0.21***	0.10**	0.09	0.23***	0.13**	0.15**	0.01*	0.05	0.00	0.22***	0.21***	0.15**	0.18***	0.08	0.14**
T2	0.26***	0.22***	0.33***	0.38***	0.30***	0.41	0.23***	0.36***	0.27***	0.08	0.28***	0.01	-0.25***	-0.14**	-0.14**	-0.04	0.03	-0.15**
T3	0.09*	-0.00	0.08	0.14**	0.08	0.04	0.22***	0.06	0.16**	0.12**	0.04	-0.02	0.19**	0.19***	0.16**	0.19***	0.11**	0.07
T4	0.07	0.02	0.13**	0.17**	0.10*	0.12	0.19***	0.17**	0.09	0.04	0.07	0.02	0.21***	0.20***	0.11**	0.12**	0.02	0.14**
T5	0.05	-0.02	-0.01	-0.01	0.01	-0.08	0.12**	-0.14**	0.11**	0.09	-0.02	-0.05	-0.01	0.01	0.06	0.09*	0.11**	-0.08
HM	0.03	0.03	0.17**	0.06	0.03	-0.06	-0.12**	0.2*	0.06	-0.13**	0.03	0.00	-0.03	0.02	-0.16**	-0.08	-0.08	0.06
WS	0.00	-0.03	-0.05	0.19***	-0.06	0.06	-0.05	-0.01	-0.14**	0.08	-0.15**	-0.04	0.05	-0.07	0.03	-0.08	0.04	-0.07
RN	0.00	-0.01	0.12**	-0.02	-0.01	-0.06	-0.02	0.22***	-0.01	-0.09	-0.05	-0.05	-0.08	-0.03	-0.06	-0.05	-0.03	-0.02
RT	0.01	0.01	0.11**	0.03	-0.04	-0.09*	-0.03	0.14**	0.04	-0.11**	-0.01	-0.07	-0.09*	-0.11**	-0.12**	-0.06	-0.03	0.00
SH	-0.03	0.00	-0.08	-0.16**	0.05	0.07	0.15**	-0.15**	-0.11**	-0.06	0.16**	-0.06	0.09*	0.26***	0.15**	0.10*	0.18***	-0.05

T1: Mean temperature, T2: Accumulated temperature, T3: Maximum temperature, T4: Minimum temperature, T5: Daily temperature range, HM: Humidity, WS: Wind speed, Rain: Rainfall, RT: Rainfall time, SH: 7-day sunshine hours. ***p<0.001, **p<0.05, *p<0.1

Table 3. The correlation coefficients between daily observed pollens and ten meteorological factors on May (Pine, and Tree) and October (Weeds) in Seoul, Busan, Daegu, Gwangju, Gangneung, and Jeju

Sites	Pine					Trees (without Pine)					Weeds							
	Seoul	Busan	Daegu	Gwang-ju	Gang-neung	Jeju	Seoul	Busan	Daegu	Gwang-ju	Gang-neung	Jeju	Seoul	Busan	Daegu	Gwang-ju	Gang-neung	Jeju
T1	0.02	-0.06	-0.01	-0.16**	-0.05	-0.19***	-0.09*	-0.10*	0.06	0.00	-0.03	-0.15**	0.22***	0.17***	0.24***	0.15**	0.11**	0.18**
T2	-0.17**	-0.27***	-0.33***	-0.31***	0.00	-0.32***	-0.33***	-0.29***	-0.30***	-0.28***	-0.04	-0.32***	-0.26***	-0.18***	-0.13**	-0.10*	-0.22***	-0.25***
T3	0.04	-0.02	0.05	-0.09*	-0.05	-0.12**	-0.07	-0.07	0.06	0.05	-0.03	-0.05	0.20***	0.14**	0.18***	0.16**	0.11**	0.18**
T4	-0.00	-0.09*	-0.09*	-0.09	-0.06	-0.23***	-0.09*	-0.08	-0.02	-0.01	-0.03	-0.25***	0.24***	0.17**	0.26***	0.11**	0.08	0.16**
T5	0.04	0.06	0.12**	-0.02	-0.02	0.06	-0.01	-0.02	0.08	0.05	-0.01	0.15**	-0.07	-0.06	-0.10**	0.08	0.04	0.03
HM	-0.06	-0.07	-0.09*	0.02	0.01	-0.09	-0.04	0.00	-0.06	-0.04	0.03	-0.18***	0.00	0.07	0.09*	-0.05	-0.07	-0.03
WS	-0.01	-0.01	-0.11**	-0.01	-0.03	-0.05	0.10**	-0.02	-0.19***	0.10*	-0.05	-0.05	0.10**	-0.07	-0.01	-0.13**	0.12**	-0.10
RN	-0.04	-0.07	-0.07	0.05	-0.05	-0.07	-0.08*	-0.01	0.01	-0.02	-0.03	-0.05	-0.03	-0.02	0.12**	-0.04	-0.02	0.02
RT	-0.05	-0.10*	-0.08	0.03	-0.02	-0.12**	-0.10**	0.01	-0.02	-0.06	0.02	-0.09*	-0.03	-0.01	0.07	-0.05	-0.04	-0.02
SH	-0.04	0.13**	0.06	-0.08	-0.09	0.09	-0.02	-0.05	-0.03	0.05	0.05	0.10*	-0.12**	0.02	-0.05	0.07	-0.06	-0.06

T1: Mean temperature, T2: Accumulated temperature, T3: Maximum temperature, T4: Minimum temperature, T5: Daily temperature range, HM: Humidity, WS: Wind speed, Rain: Rainfall, RT: Rainfall time, SH: 7-day sunshine hours. ***p<0.001, **p<0.05, *p<0.1

Fig. 2. The scatter plot of the number of monthly pollens by mean temperature of the six locations for Pine, Trees, and Weeds.

3.3. 저온누적도를 이용한 개화기간변화 예측

저온누적도는 식물 성장에 큰 영향을 주는 기상요소로 저온요구도와 밀접한 관계가 있다. 저온요구도는 휴면아를 휴면에서 깨어나게 할 수 있는 저온 및 시간의 관계로 넓은 지역에서 낮은 기온이 충분히 만족될 경우 지역간 차이가 해소됨으로써 개화기간이 짧게 집중될 수 있다. 이러한 특징을 바탕으로 개화기간과 저온누적도의 회귀모형을 통하여 꽃가루의 개화일수를 시험적으로 예측하였다. 개화일수는 평균적으로 소나

무 25일, 참나무 23일, 돼지풀 50일로 수목류가 잡초류보다 짧다. 사용된 단순회귀모형은 모형의 가정을 만족하기 위하여 저온누적도와 꽃가루 농도 자료에 로그변환을 하였다.

저온누적도를 통한 개화일수의 예측식은 수목류와 관계가 있었으나 잡초류는 관계가 없었다. 이것은 잡초류가 저온요구도와 관계없이 기온의 조건이 유지되면 계속 꽃이 개화하므로 날씨가 갑자기 추워지지 않는 경우를 제외하면, 개화가 유지되기 때문인 것으로

Fig. 3. The same as Fig. 4, but for 7-day sunshine hours.

판단할 수 있다. 참나무의 경우, 로그를 취한 저온누적도가 1°C 낮아질 때 개화기간은 2.3배 줄어들어 27일에서 18일로 짧아졌다. 소나무의 개화기간은 참나무보다 조금 짧은 24일에서 17일로 감소함을 알 수 있다(Fig. 4). 즉 이 관계식에서 수목류는 겨울에 추운 날씨가 계속되어 저온누적도가 커지면, 꽃이 피는 개화기간이 줄어든다는 것을 설명할 수 있다. 이 모형의 설명력은 참나무 $R^2 = 0.075$, 소나무 $R^2 = 0.066$ 으로 매우 낮으나, 저온누적도와 알레르기 꽃가루 개

화기간의 관계가 설명이 가능하다는 데 의의가 있다. 앞으로 또 다른 생물계절학의 특성을 반영하여 알레르기 꽃가루의 개화기간을 예측한다면, 더 높은 예측력을 기대할 수 있다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 최근 12년간 관측된 꽃가루 농도를 이용하여 한국의 알레르기를 일으키는 꽃가루 농도 특

Fig. 4. The relation between chill days and the flowering period for Pine and Quercus.

성을 분석하고 기상요소를 통한 개화기간의 예측식을 개발하였다. 대도시에서의 꽃가루 농도는 장기적으로 점점 증가 할 것으로 판단되며, 기후변화에 따른 꽃가루 농도의 증가추세 지속성을 감시 및 진단할 필요가 있다. 한국의 꽃가루 농도와 기상요소는 매우 큰 관계가 있으며 수종에 따라 비슷한 기상조건에 도달 하였을 때 꽃가루 농도가 증가한다고 결론지을 수 있다.

개화기간과 저온누적도의 관계를 통하여 개화일수 예측식을 도출하여 충분히 추운 날씨로부터 저온요구도가 만족되면, 그에 따라 꽃가루 관측기간이 줄어드는 것을 확인하였다. 보통 과수는 가을에 휴면을 시작하여 서서히 깊은 휴면상태로 되는데 특정한 온도시간(thermal time)을 경험하면 이듬해 봄에 휴면에서 완전히 깨어난다. 즉, 일정한 저온요구도에 먼저 이르게 되면 식물의 발아와 개화가 빨라지며 이를 통하여 개화기간을 예측할 수 있다. Kwon *et al.*(2005)은 포도 품종인 Campbell Early와 Kyobo의 내생휴면타파를 위한 저온요구도를 정량화하였고, Jung *et al.*(2005)은 1955년부터 2004년 남한 전역 기상관서의 생물계절관측자료를 통하여 휴면시계모형에 근거한 벚꽃 개화모형의 신뢰성을 검증하였다. 이러한 농작물이나 특정 식물의 개화모형 개발뿐만 아니라 알레르기 꽃가루의 개화기간 예측모형을 개발함으로써 알레르기 꽃가루에 대한 피해를 줄이는 국가적인 정책을 제시할 수 있다. 더불어 개화기간 예측 결과와 함께 꽃가루 농도에 영향을 미치는 기상요소를 이용한 확률적인 꽃가루 분석

모형을 개발할 수 있다.

앞으로 기후변화의 적응능력이 낮은 사람들에게 대해 각종 전염병 및 알레르기 질환이 확산되면, 기후변화의 부정적인 영향을 감소하기 위한 적응조치가 요구될 것이다. 이 적응능력에 부응하고자 알레르기 유발 꽃가루 변화의 영향평가에 관한 표준화된 체계 구축이 필요하다. 본 연구에서 모든 꽃가루 변화특성을 통계학적인 방법으로 적용하여 단순화하는 데에는 어려움이 있으나, 알레르기 꽃가루 영향평가 시스템을 구축하기 위하여 꽃가루의 특성을 분석 하는 것은 큰 의의가 있다. 이를 위하여 생물계절학과 관련한 전반적인 자료의 확보와 대기 중의 꽃가루 확산과 같은 복잡한 과정을 반영한 연구가 함께 이루어져야 할 것이다.

적 요

세계적으로 기후변화에 의한 온난화 현상과 대기오염증가와 아울러 알레르기 유발성 꽃가루의 증가로 천식, 비염, 결막염 등 알레르기 질환 환자가 급증하고 있다. 본 연구에서는 꽃가루 농도의 변화에 따른 영향을 체계적으로 표준화하기 위하여 한국의 꽃가루 특성을 분석하였다. 관측된 꽃가루는 1998~2010년(단, 2006년은 제외)의 알레르기를 일으키는 소나무, 수목류(소나무 제외), 잡초류를 서울, 부산, 대구, 광주, 강릉, 제주지역을 중심으로 분석하였다. 꽃가루는 지난 12년간 서울을 포함한 대도시 지역에서는 장기적으로 증가하고 있으며, 앞으로도 장기적으로 증가할 것으로 판단된다. 꽃가루 농도와 기상요소는 매우 높은 상관관계가 있으며 특히 기온과 양의 상관관계를 가진다. 지역별로는 꽃가루 농도와 기상요소는 서로 다른 상관관계를 가진다. 꽃가루농도에 영향을 주는 기상요소 중 저온누적도와와의 관계를 이용하여 꽃가루 개화기간의 예측식을 도출하였다. 분석결과로부터 수목류의 경우, 충분히 낮은 기온이 만족되면, 개화기간이 줄어드는 결론을 얻었다. 이 모형에 의한 결과로부터 알레르기 유발 꽃가루의 유행시기변화를 생물계절모형으로 예측가능함을 판단할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 기상청 국립기상연구소의 “생명산업기상기술개발연구” 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Bauchau, V., and S. R. Durham, 2004: Prevalence and rate of diagnosis of allergic rhinitis in Europe. *European Respiratory Journal* **24**, 758-764.
- Beggs, P. J., 2004: Impacts of climate change on aeroallergens: past and future. *Clinical and experimental allergy* **34**, 1507-1513.
- Cho, S. S., and Y. S. Sohn, 2009: *The time series using SAS/ETS*. Yulbok Publishing Co., 143-149pp.
- Hiroshi, Y., S. Takaharu, and S. Takao, 1983: Isolation and particle characteristic of the major allergen from Japanese cedar (*Cryptomeria Japonica*) pollen. *Journal of Allergy Clinic Immunology* **71**, 77-86.
- Gioulekas, D., C. Balafoutis, A. Damialis, D. Papakosta, G. Gioulekas, D. Patakas, 2004: Fifteen years' record of airborne allergenic pollen and meteorological parameters in Thessaloniki, Greece. *International Journal of Biometeorology* **48**(3), 128-136.
- Green, B. J., M. Dettmann, E. Yli-Panula, S. Rutherford, R. Simpson, 2004: Atmospheric Poaceae pollen frequencies and associations with meteorological parameters in Brisbane, Australia: a 5-year record, 1994-1999. *International Journal of Biometeorology* **48**(4), 172-178.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report, Contribution of working groups I, II, and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, ISBN 92-9169-122-4.
- Jung, J. E., E. Y. Kwon, U. Chung, and J. I. Yun, 2005: Predicting cherry flowering date using a plant phenology model. *Korea Journal of Agriculture and Forest Meteorology* **7**(2), 148-155. (In Korean with English abstract)
- Kaufman, H. S., and K. Ranck, 1988: Antigen recognition in Filipinos, Japanese, Chinese, and Caucasians. *Annals of allergy* **60**, 53-56.
- Kim, S. O., J. H. Kim, U. Chung, S. H. Kim, G. H. Park, and J. I. Yun, 2009: Quantification of temperature effects on flowering date determination in Niitaka pear. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **11**(2), 61-71. (In Korean with English abstract)
- Kwon, E. Y., G. C. Song, and J. I. Yun, 2005: Prediction of dormancy release and bud burst in Korean grapevine cultivars using daily temperature data. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **7**(3), 185-191. (In Korean with English abstract)
- Laaïdi, M., 2001: Forecasting the start of the pollen season of Poaceae: evaluation of some methods based on meteorological factors. *International Journal of Biometeorology* **45**, 1-7.
- Makra, L., M. Juhász, J. Mika, A. Bartzokas, R. Béczi, and Z. Sümeghy, 2006: An objective classification system of air mass types for Szeged, Hungary, with special attention to plant pollen levels. *International Journal of Biometeorology* **50**, 403-421.
- Makra, L., and I. Matyasovszky, 2011: Assessment of the daily ragweed pollen concentration with previous-day meteorological variables using regression and quantile regression analysis for Szeged, Hungary. *Aerobiologia* **27**, 247-259.
- Matyasovszky, I., and L. Makra, 2011: Autoregressive modeling of daily ragweed pollen concentrations for Szeged in Hungary. *Theoretical and Applied Climatology* **104**, 277-283.
- National Institute of Meteorological Research (NIMR), 2008: Advanced Research on Industrial Meteorology (I). National Institute of Meteorological Research, Seoul, 190pp.
- Oh, J. W., H. B. Lee, I. J. Kang, S. W. Kim, K. S. Park, M. H. Kook, B. S. Kim, H. S. Baek, J. H. Kim, J. K. Kim, D. J. Lee, K. R. Kim, and Y. J. Choi, 2011: The Revised edition of Korean Calendar for allergenic pollens. *Allergy Asthma and Immunology Research* Published online in 2011 September 3 pISSN 2092-7355/eISSN 2092-7363.
- Park, K. J., H. A. Kim, K. R. Kim, J. W. Oh, S. Y. Lee, and Y. J. Choi, 2008: Characteristics of regional distribution of pollen concentration in Korean Peninsula. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **10**(4), 167-176. (In Korean with English abstract)
- Puc, M., 2012: Artificial neural network model of the relationship between Betula pollen and meteorological factors in Szczecin (Poland). *International Journal of Biometeorology* **56**(2), 395-401.
- Riedinger, F., J. Kuehr, E. Stranuch, H. Schulz, G. Ihorst, and J. Forster, 2002: Natural history of hay fever and pollen sensitization, and doctors' diagnosis of hay fever and pollen asthma in German schoolchildren. *Allergy* **57**, 488-492.
- Sabariego, S., P. Cuesta, F. Fernández-González, and R. Pérez-Badia, 2012: Models for forecasting airborne Cupressaceae pollen levels in central Spain. *International Journal of Biometeorology* **56**(2), 253-258.
- Stennett P. J., and P. J. Beggs, 2004: Pollen in the atmosphere of Sydney, Australia, and relationships with meteorological parameters. *Grana* **43**(4), 209-216.