

기후 변화가 대기 중 알레르겐과 소아알레르기 질환에 미치는 영향

양 현 중¹ · 전 유 훈¹ · 민 택 기¹ · 손 부 순² · 박 관 준³ · 문 중 윤³ · 편 복 양^{*} | ¹순천향대학교 의과대학 소아과학교실, ²순천향대학교 환경보건학과, ³순천향대학교 건강도시 및 건강영향평가연구소

The impact of climate change on aeroallergen and pediatric allergic diseases

Hyeon Jong Yang, MD¹ · You Hoon Jeon, MD¹ · Taek Ki Min, MD¹ · Bu Soon Son, PhD² · Kwan Jun Park³ · Jong Youn Moon MD³ · Bok Yang Pyun, MD^{*}

¹Department of Pediatrics, Pediatric Allergy and Respiratory Center, Soonchunhyang University Hospital, Seoul, Korea, ²Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University, Asan, ³Research Institute for Healthy Cities and Health Impact Assessment, Soonchunhyang University, Cheonan, Korea

*Corresponding author: Bok Yang Pyun, E-mail: bypyun@schmc.ac.kr

Received August 8, 2011 · Accepted August 22, 2011

The etiology of allergic diseases has been considered multi-factorial, comprising genetic, epigenetic, developmental, and environmental factors, as well as their complex interactions. The rising prevalence of allergic disease in recent decades could be explained by changes in environmental factors rather than genetic factors. Climate change has many significant impacts on aeroallergens such as pollen and mold. Therefore, climate changes are considered to be a key environmental factor affecting not only the prevalence but also the severity of allergic disease. In addition, these environmental factors might be more important for young children than for adults. While the concept that environmental factors including climate change would affect the characteristics of allergic disease is generally accepted, it is not enough to explain the mechanisms of the increase in the prevalence and severity of allergic diseases. Nevertheless, evidence exists that climate change has spurred changes in aeroallergens such as pollen and outdoor fungi, and that these changes are associated with the increased incidence of pediatric allergic disease.

Keywords: Aeroallergen; Allergic disease; Climate change; Prevalence

서 론

최근 30년간 전 세계적으로 천식과 알레르기비염을 포함한 알레르기 질환의 유병률이 가파르게 증가하고 있다. 그러나 가파른 유병률 증가의 원인은 아직도 불분명하

다. 어떠한 질환의 발현에 있어 개체의 유전적 감수성이 매우 중요하나 유전자의 변화만으로는 최근의 가파른 유병률의 상승을 설명할 수 없으며, 산업화에 의한 대기오염의 증가, 서구화에 의한 식습관 및 주거 환경의 변화, 위생가설 등의 환경 변화가 주된 원인으로 주목 받고 있다. 따라서 최

근에 대두되고 있는 epigenetic mechanism은 태내 혹은 생의 초반기에 작용하는 유전자와 환경간의 상호 작용이 알레르기질환의 발현에 주된 역할을 할 것으로 설명하고 있으나 아직 정확한 기전은 밝혀지지 않고 있다[1].

환경변화의 핵심 요건 중의 하나인 기후변화에 관한 정부간 패널 4차 보고서(IPCC, The Intergovernmental Panel on Climate Change 4th Report)에 의하면 지구 기후가 온난화되고 있는 것은 명백하며, 그 원인은 인간 활동에 의한 것일 확률이 95% 이상이라고 보고하였다. 그 중 주 원인은 1750년 이후 급속히 증가하고 있는 대기 중 온실 가스(이산화탄소, 메탄, 이산화 질소 등)의 농도 증가로 규명하고 있으며, 대기 중 이산화탄소 농도는 산업화 이전의 280 ppm에서 2009년에는 386.3 ppm로 급증하였고, 이로 인해 지난 100년간 지구 표면의 평균 기온은 0.7℃ 이상 증가하였으며 향후 100년간 그 이상 증가 할 것으로 예측되고 있다[2]. 대기 중 온실 가스 농도의 증가로 발생한 기후변화는 온도와 습도, 강수량을 변화시키고 이상 기후(엘리뇨, 이상 고온 및 저온, 뇌우)의 빈도를 증가시킨다. 우리나라 역시 지난 100년간 기온이 1.7℃ 상승하였고, 호우 일수 및 강수량이 증가하고 있다.

기후의 변화는 천식, 알레르기비염, 아토피피부염, 결막염 등 알레르기 질환의 유병률의 증가에 직간접적으로 영향을 미치게 되며, 그 기전으로 대기 오염에 의한 직, 간접적인 위험 요인의 증가, 기온 상승에 의한 화분이나 곰팡이 항원의 대기 중 농도 증가 및 노출 기간의 증가, 극단적인 이상 기후에 따른 영향 등이 대두되고 있다[3].

2010년에 소아 및 청소년을 대상으로 시행된 3차 한국 ISAAC (International Study of Asthma and Allergies in Childhood, Phase III) 유병률 조사 결과 천식증상 유병률은 정제된 양상을 보이지만 알레르기비결막염 증상 유병률은 6-7세 연령에서는 18.9%, 그리고 13-14세 연령에서는 19.2%로 1995년과 2000년에 비해 크게 증가한 양상을 보이며 농촌 지역에서의 유병률이 도시 지역보다 낮은 것으로 보고되었다[4]. 이렇듯 증상의 중증도는 성인과 소아 모두 환경에 의한 영향을 받게 되지만, 유병률의 상승은 유소아기부터의 환경변화가 주된 역할을 하게 될 것으로 생각된다.

따라서 환경의 변화가 호흡기 알레르기질환에 미치는 영향을 이해하는 것이 매우 중요하나, 성인에 비해 특히 소아에서는 환경변화가 미치는 영향에 대한 고찰이 미흡하여 본 지면을 통해 최근 문헌들을 고찰해 보고자 한다.

기후변화와 화분

집먼지진드기나 실내 진균류 같은 실내 항원에 비해 화분이나 실외 진균류 같은 실외 항원은 호흡기 알레르기질환의 계절성 악화를 일으키는 주 원인 중 하나이다. 미국환경보호국(US Environmental Protection Agency)에서는 최근 기후 변화는 수목류, 목초류, 잡초류의 성장과 분포에 영향을 미칠 수 있을 뿐만 아니라 화분의 생성, 분포, 분산, 그리고 항원성을 증가시킬 수 있으며, 이러한 변화들이 알레르기 질환의 유병률을 증가시키고 증상을 악화시킬 수 있다고 보고 하였다[5]. 기후 변화가 공기 중 화분 변화에 미치는 영향을 입증하기 위한 많은 연구들이 진행되었고, 기온 상승과 대기 오염 물질이 공기 중 화분 변화에 관계가 있음을 보고 하였다(Table 1).

화분 중 생산량이 많고 작고 가벼우며 공기 중에 잘 비산될 수 있는 풍매화가 호흡기 알레르기질환을 일으키는 주 원인이며, 풍매화는 특성상 기온과 강수량에 의해 개화 시기 및 기간이 조절되고, 바람과 뇌우에 의해 분산 범위가 결정되는 등 기후의 영향을 많이 받게 된다. 기후 변화로 인한 기온 상승과 강수량 증가로 식물 성장과 번식이 촉진되어[6] 대기중의 화분 농도가 증가하며 배출 기간도 길어지고 있다[7]. 개화 시기는 월 평균 기온에 의해 결정되며 기온이 상승함에 따라 개화 시기가 앞당겨져, 대기 중 화분이 나타나는 시기가 빨라지고 있으며 그 기간도 길어지고 있다[7-10].

평균 기온의 상승으로 인해 수목류(tree pollen) [11,12]와 잡초류(weed), 목초류(grass) 화분 생성이 증가되고, 대기 중 이산화탄소 농도 상승 또한 잡초류[3]의 성장을 촉진시키고, 개화 시기를 앞 당기며, 항원성을 증가시킨다. 잡초류 중 돼지풀(ragweed)은 기온 상승뿐만 아니라 이산화탄소 농도[13,14]와 밀접한 연관이 있음이 밝혀졌다.

이산화탄소 농도나 기온의 상승은 화분양의 증가뿐만 아

Table 1. The impacts of climate change on the level of atmospheric pollen characteristics

Country	Pollen studied	Period studied	Results	Factor
Central North America [7]	Ragweed	1995-2009	Length of pollen season ↑	Temp ↑
Finland [11]	Birch	1974-2004	Pollen concentration ↑ Early start of pollen season	Temp ↑
Switzerland [12]	Birch	1969-2006	1°C ↑ : 2.5 days early start of pollen Pollen concentration ↑	Temp ↑
USA [13]	Ragweed	2000-2001	CO ₂ was 30% higher and temperature was 2°C higher in urban area Early flowering, Pollen concentration ↑	Temp ↑ CO ₂ ↑
USA [14]	Ragweed	Experiment	Pollen concentration ↑	CO ₂ ↑
North West Europe [14]	Birch	1982-1999	Early start of pollen season	Temp ↑
Japan [9]	Japanese cedar	1983-2003	Early start of pollen season	Temp ↑
Netherlands [10]	14 plants	1969-2000	Ash, 3 days; Elm, 9 days; Birch, 10 days; Elder, 15 days; Elm, 22 days early start of pollen season	Temp ↑
USA [15]	Ragweed (<i>Amb a 1</i>)	Experiment	Allergenicity, 1.8 and 1.6 times ↑	CO ₂ ↑
Austria [16]	Birch (<i>Bet v 1a</i>)	Experiment	Allergenicity ↑	Temp ↑

Temp: temperature.

나라 화분의 항원성에도 변화를 초래한다. 대기 중 증가된 이산화탄소 농도는 돼지풀의 항원성을 증가시키며 여러 연구에서 보고되었다. 산업화 이전, 현재, 그리고 21세기 중반의 예상 이산화탄소 농도가 돼지풀의 주 항원인 Amb a 1의 항원성에 미치는 영향을 연구한 실험실 연구에서 과거에 비해 현재의 이산화탄소 농도에서 Amb a 1 농도가 1.8배 높았고, 현재에 비해 21세기 중반에는 1.6배 더 증가함을 보고하였다[15]. 기온 상승도 자작나무의 주 항원인 Bet v 1a의 항원성과 관련이 있음이 보고되었다[16]. 평균 기온을 1.0-2.5°C 정도 다르게 재배한 자작나무 화분의 항원성을 측정 한 결과, 높은 온도에서 재배된 자작나무의 화분이 더 강한 자작나무 특이 IgE 항체 결합력을 보였다[17].

기후변화와 진균

기후변화는 화분뿐 만 아니라 실내 외 주요 알레르기 항원 중 하나인 진균의 성장과 분산에도 큰 영향을 미친다. 진

균은 포자를 형성하여 공기 중에 비산함으로써 생식하는 특성을 보이므로 화분과 마찬가지로 기온, 강수량, 그리고 바람의 직접적인 영향을 받게 된다. *Alternaria*와 *Cladosporium*은 가장 중요한 실외 진균 항원이며 대기 중 농도가 100 spores/m³ 이상이 되면 알레르기증상을 유발하는 것으로 알려져 있다[18]. 화분 연구가 활발히 진행된 것에 비해 진균 연구는 상대적으로 부족하지만, 기온과 습도는 *Alternaria*의 성장과 포자 농도, 비산 시기, 그리고 항원성을 결정하는 가장 중요한 인자이다(Table 2).

산업화 이전인 19세기 초 300 ppm 이던 이산화탄소 농도에서 현재 400 ppm인 이산화탄소 농도를 감안하여, 2025년 500 ppm, 그리고 2040년 600 ppm (PICC 2007예측치)의 이산화탄소 농도에서의 *Alternaria*의 포자 농

도, 생성 시기, 그리고 알레르기 항원성을 측정 한 실험실 연구 결과, 이산화탄소 농도가 300 ppm일 때에 비해 500 ppm에서는 포자의 생성과 *Alternaria* 항원의 농도가 모두 2배 가량 증가하였고, 600 ppm에서는 모두 3배 가량 증가함을 보고하였다[19]. 1970년대에서 1998년까지 기온과 *Alternaria Alternate* 과의 관계를 분석한 영국 논문에서는 포자 농도와 포자 발생 시기, 그리고 기간 모두 기온과 밀접한 연관이 있음을 보고하였다[20]. 1997년에서 1998년 사이에 미국에서 발생한 엘니뇨 현상에 의한 고온 다습한 환경에서 포자 농도가 증가함이 보고되었다[21].

화분과 진균이 소아 호흡기 알레르기질환에 미치는 영향

기후변화에 의한 화분과 진균 포자의 대기 중 농도, 기간, 분포, 그리고 항원성의 증가는 호흡기 알레르기 질환의 발현 및 증상 악화에 중요한 원인으로 받아들여지고 있다. 영유

Table 2. The impacts of climate change on the level of atmospheric pollen characteristics

Country	Pollen studied	Period studied	Results	Factor
USA [19]	<i>Alternaria alternata</i>	Experiment	<i>A. alternata</i> spore: 3 times ↑ <i>A. alternata</i> antigen: 2 times ↑	CO ₂ ↑
UK [20]	<i>Alternaria</i>	1970-1998	Spore concentration ↑ Early start of season Duration ↑	Temp ↑
USA [21]	Molds	1997-1998	Mold concentration ↑ Maximum mold count 2-3 mo occurred earlier	El Niño
Turkey [25]	<i>Alternaria</i>	2006-2007	Strong correlation with temperature ($r=0.626$)	Temp ↑
Turkey [27]	<i>Alternaria Cladosporium</i>	2005-2006	Spore concentration ↑	Temp ↑
Portugal [31]	<i>Cladosporium Alternaria</i>	2005-2007	Spore concentration ↑	Temp ↑ Humidity ↑
Spain [32]	<i>Alternaria</i>	2005-2007	Spore concentration ↑	Temp ↑

Temp, temperature.

아기에 화분이나 진균에 대한 노출 기회가 증가하게 되면 감작률이 증가하게 되고, 새로운 화분이나 진균에 대한 감작 또한 증가하게 되며, 필연적으로 천식과 알레르기비염과 같은 호흡기 알레르기질환의 유병률도 증가하게 된다[22]. 뿐만 아니라 대기 중 농도의 증가 및 항원성의 증가로 호흡기 알레르기질환의 발생뿐 만 아니라 잦은 악화와 조절 실패의 원인이 될 수 있다[15,23].

호주에서 *Alternaria*에 감작된 소아들을 대상으로 시행한 연구에서 고 농도의 *Alternaria* 노출이 기관지과민성, 천명, 속효성 기관지 확장제 사용 횟수를 유의하게 증가시켜 천식의 중증도를 악화 시킨다고 보고하였고[24], Turkey에서 *Alternaria*에 감작된 25명의 소아를 대상으로 *Alternaria*포자 농도가 폐기능, 그리고 천식 약제 복용에 미치는 영향을 연구한 결과, 실외 *Alternaria* 포자 농도는 천식 약제 복용을 증가시키고 폐기능을 감소시킨다고 보고하였다[25]. 또한 미국 연구에서도 대기 중 진균 포자가 1,000 spores/cubic 증가 할 때마다 천식 관련 사망률이 1.2배 증가 한다고 보고 하였다[26]. 터키에서 4세에서 13세 사이의 천식 또는 알레르기비염을 지닌 소아를 대상으로 시행한 연구에서 실외 포자 농도가 폐기능의 악화뿐만 아니라 알레르기비염 증상의 악화에도 관련함을 보고하였다[27]. 비록 실외 진균 농도가 감작

률을 증가시킨다는 증거는 아직 없으나, 천식 및 알레르기비염의 악화에 관여한다는 증거들이 꾸준히 제시되고 있다.

화분의 경우 스웨덴에서 시행한 화분 노출 시기와 노출 강도, 그리고 감작률의 차이를 비교하기 위해 시행한 연구 결과, 노출 시기가 매우 중요한 인자임을 보고하였다. 생후 3개월 이내에 고농도의 자작나무 화분에 노출된 군과 태내에서 노출된 군이 생후 1세경에 노출된 군보다 4세에 시행한 피부반응 검사에서 자작나무 화분에 대한 더 높은 감작률을 보였고(odds ratio [OR]: 2.4, 95% confidence interval [CI]: 1.2-4.6; OR: 1.7, 95% CI: 0.7-4.1),

그 중 생후 3개월 이내에 직접 노출된 군에서 가장 높은 감작률을 보였다[28,29]. 그러나 같은 연구에서 화분 보다는 엄마의 화분알레르기가 더 중요한 위험 인자라고 보고하였다[30]. 이는 epigenetic mechanism에 의하여 항원에 대한 노출 강도뿐만 아니라 노출 시기가 중요하며, 여기에 개체의 유전적 감수성 또한 중요함을 보여주는 의미 있는 결과이다[1].

1980년 중반 이후 전세계적으로 보고된 환경의 변화와 소아알레르기 질환의 연관성을 보고한 논문들에 의하면 영유아기 초기부터의 공기 중 알레르겐 노출, 기온 변화에 따른 소아 천식을 비롯한 호흡기 알레르기 질환의 유병률, 중증도 및 기도 과민성에 미치는 영향은 꽤 큰 것으로 보고되고 있다(Table 3).

기후변화가 실외 항원에 미치는 영향에 관한 국내 연구 현황

기후변화가 알레르기질환에 미치는 중요성에 대한 인식이 아직 부족하여 활발한 연구가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 다만 Kim 등[33]이 천식 환자들을 대상으로 1980년대 중반과 1990년대 초반의 흡입성 알레르겐에 대한 감작률을 비교한 국내 연구 결과 수목화분은 8.8%에서 19%로, 잡초

Table 3. The impacts of climate change on the allergic respiratory disease of children

Country	Subjects	Period studied	Outcome	Pollen/mold studied
Australia [24]	School children	1997-1999	Higher odds (1.26, 1.14-1.39) for airway hyperresponsiveness	<i>Alternaria</i>
Turkey [25]	7.5-14.5 yr children sensitized with <i>Alternaria</i>	2006-2007	Strong negative correlation with lung function (PEF: $r = -0.613$; FEF 25-75: $r = -0.914$) Strong positive correlation with asthma medication score ($r = 0.599$)	<i>Alternaria</i>
USA [26]	5-34 yr of age	1985-1989	Higher odds (1.2; 1.07-1.34) for asthma-related mortality	<i>Mold</i>
Turkey [27]	4-13 yr of aged 29 children with asthma or allergic rhinitis	2005-2006	Strong negative correlation with PEF (morning: $r = -0.714$, evening: $r = -0.720$) Strong positive correlation with allergic rhinitis score ($r = 0.877$)	<i>Cladosporium</i> <i>Alternaria</i>
Sweden [28]	First 3 mo of life	1992-1994	Higher odds (2.4) for positive skin prick test at 4-5 yr of age	<i>Birch</i>
Sweden [29]	Exposure in utero	1992-1994	Higher odds (1.7) for positive skin prick test at 4-5 yr of age	<i>Birch</i>
USA [37]	Birth cohort	1999-2000	Higher odds (3.1; 1.3-7.4) for early wheezing at 24 mo of age	<i>Tree</i> <i>Mold</i>
Canada [38]	Children	1994-2004	Asthma ER visit ↑	<i>Grass</i>

PEF, peak expiratory flow; FEF, forced expiratory volume; ER, emergency department.

화분은 25.6%에서 40.9%로 감작률이 증가하였고, 그 중 자작나무는 2.2%에서 8.1%로 돼지풀은 8.4%에서 22.1%로 유의한 증가를 보임을 2001년도에 보고하였고, 대한소아알레르기 호흡기학회 산하의 화분연구회와 기상청 간의 공동 연구를 통해 한국 화분 농도 예보 시스템을 구축하여 전국의 화분 농도의 변화를 관찰하고 10가지 기상요소(평균기온, 강수량, 평균풍속, 평균습도, 최고기온, 최저기온, 일교차, 강수지속시간, 7일 누적일조시간, 적산온도)를 이용하여 화분 예고를 실시하고 있다[34]. 이에 따르면 전국적으로 측정된 화분 농도는 연중 유사한 분포를 보이고 있었으며 수목류는 3-5월, 목초류는 5-9월, 그리고 잡초류는 8-10월에 절정을 이루는 것으로 관측되었다. 수목류 중에서는 소나무, 참나무, 오리나무, 자작나무가 주를 이루었고 잡초류의 경우 환삼덩굴, 쭉, 돼지풀이 주를 이루었다.

실외 흡입 항원 연구의 한계

기후 변화가 흡입 항원, 그리고 호흡기 알레르기 질환에 미치는 영향을 알기 위해서는 단면적인 분석으로는 어려우며, 통일된 감시 체계 및 다년에 걸친 자료의 축적이 필수적

이다. 또한 기후 변화가 미치는 영향은 단순하지가 않으며, 천식 같은 알레르기질환은 원인은 매우 복잡하여 쉽게 현재까지의 단순한 연구설계로는 정확한 인과 관계를 규명하기 어렵다[35,36].

예방 및 대책

지구의 기후는 변하고 있다. 이상 고온 과 저온의 반복, 강수량이 증가된 지역과 감소된 지역, 그리고 전반적인 지구 온난화의 영향으로 전세계 또는 지역별로 인류의 건강에 큰 영향을 미치게 되었다. 지면을 통해 고찰한 기후 변화가 실외 항원에 미치는 영향, 그리고 그로 인한 호흡기 알레르기 질환의 부담 증가는 현재가 끝이 아니라 앞으로 점점 더 심해 질 것으로 예측된다. 이에 대응하기 위해 최근 기후변화에 관한 정부간 패널을 통해 탄소 배출 규제 등의 정부간의 노력이 진행되고 있으며, 국내에서도 환경 친화적 도시 설계, 도시 내 녹지화/조경 사업, 실내/외 환경 개선을 위한 첨단 건축 설계 등의 방법을 통해 예방 및 대책에 나서고 있다. 본 지면에서는 임상들이 관여 할 수 있고, 관여하여야 하는 2차 예방법에 대해 기술하고자 한다.

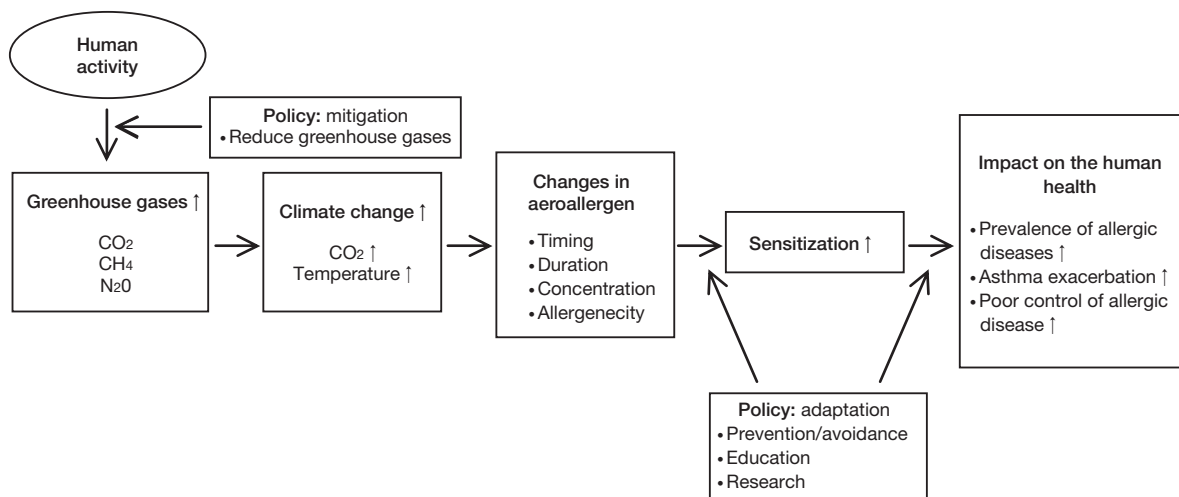


Figure 1. Impacts of climate change on aeroallergens and human health, and prevention/adaptation.

1. 대기 중 화분, 진균 농도 측정 및 예보

전 세계적으로 이의 중요성이 강조되어 지속적인 관측 센터의 증설 및 시설 개량이 이루어지고 있다. 특히 실질적 활용을 위해서는 각 지역별 농도 측정 및 예보의 필요성이 대두되고 있다[39]. 국내에서도 대한소아알레르기 호흡기학회 산하의 화분 연구회와 기상청간의 공동 연구를 통해 한국 화분 농도 예보 시스템을 구축하였다[32]. 호흡기 알레르기 질환의 예방 및 조절이 실제 임상에서 가능하려면 국가 전체뿐 만 아니라 지역 단위의 정확한 예보가 필수적일 것이다.

2. 환자, 보호자, 의사 교육

기후 변화가 인체에 미치는 영향은 과거보다 현재, 현재보다 미래가 더 심각 할 것으로 예측된다. 따라서 이에 대한 교육이 필요하다. 예를 들어 Asthma Action Plan이나 화분 알레르기 환자들에게서의 예방법 등의 교육에 좀 더 힘써야 할 것이다.

3. 연구

본 고찰을 통해 국내 연구가 외국에 비해 턱없이 부족함을 알 수 있었다. 다가올 미래의 재난에 대비하기 위해서는 보건 의료 정책의 수립과 적용에 임상 의사의 전문적인 의견

이 필수적이며 이를 뒷받침하기 위해서는 기초와 임상 연구 모두 좀 더 활발히 이루어 져야 한다(Figure 1).

결론

지난 100년간의 인간활동의 결과로 심각한 대기 오염이 발생하여 연쇄적으로 기후, 실내의 흡입성 항원, 그리고 호흡기 알레르기질환에 심각한 문제들이 발생하였다. 더욱더 문제인 것은 현재보다 미래에 더 심각해 질 것이라는 점이다. 이미 전세계적으로 기후변화가 인체에 미치는 부정적인 문제점들이 부각되어 적극적으로 보건정책에 반영하고 있으며, 국내에서도 그런 움직임이 발생하고 있다. 보다 효율적이고 효과적인 정책 수립을 위해서는 임상 의사의 적극적인 개입이 필요하며 이를 위해서는 이를 뒷받침 할 수 있는 광범위한 연구가 필수적일 것이다.

핵심용어: 대기알레르겐; 알레르기질환; 기후변화; 유병률

REFERENCES

1. Miller RL, Ho SM. Environmental epigenetics and asthma: current concepts and call for studies. *Am J Respir Crit Care Med* 2008;177:567-573.
2. The Core Writing Team, Pachauri RK, Reisinger A, editors.

- 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. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change; 2008. 104 p.
3. Beggs PJ. Adaptation to impacts of climate change on aeroallergens and allergic respiratory diseases. *Int J Environ Res Public Health* 2010;7:3006-3021.
 4. Ahn K, Kim J, Kwon HJ, Chae Y, Hahm MI, Lee KJ, Park YM, Lee SY, Han M, Kim WK. The prevalence of symptoms of asthma, allergic rhinoconjunctivitis, and eczema in Korean children: Nationwide cross-sectional survey using complex sampling design. *J Korean Med Assoc* 2011;54:769-778.
 5. US Environmental Protection Agency. Endangerment and cause or contribute findings for greenhouse gases under section 202(a) of the Clean Air Act. Volume 9: Endangerment finding [Internet]. US Environmental Protection Agency; [cited 2011 Jul 20]. Available from: http://www.epa.gov/climatechange/endangerment/downloads/EndangermentFinding_Health.pdf.
 6. Beggs PJ. Impacts of climate change on aeroallergens: past and future. *Clin Exp Allergy* 2004;34:1507-1513.
 7. Ziska L, Knowlton K, Rogers C, Dalan D, Tierney N, Elder MA, Filley W, Shropshire J, Ford LB, Hedberg C, Fleetwood P, Hovanky KT, Kavanaugh T, Fulford G, Vrtis RF, Patz JA, Portnoy J, Coates F, Bielory L, Frenz D. Recent warming by latitude associated with increased length of ragweed pollen season in central North America. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2011;108:4248-4251.
 8. Emberlin J, Detandt M, Gehrig R, Jaeger S, Noland N, Rantio-Lehtimäki A. Responses in the start of *Betula* (birch) pollen seasons to recent changes in spring temperatures across Europe. *Int J Biometeorol* 2002;46:159-170.
 9. Teranishi H, Katoh T, Kenda K, Hayashi S. Global warming and the earlier start of the Japanese-cedar (*Cryptomeria japonica*) pollen season in Toyama, Japan. *Aerobiologia* 2006;22:90-94.
 10. van Vliet AJ, Overeem A, De Groot RS, Jacobs AF, Spijksma FT. The influence of temperature and climate change on the timing of pollen release in the Netherlands. *Int J Climatol* 2002;22:1757-1767.
 11. Yli-Panula E, Fekedulegn DB, Green BJ, Ranta H. Analysis of airborne *betula* pollen in Finland; a 31-year perspective. *Int J Environ Res Public Health* 2009;6:1706-1723.
 12. Frei T, Gassner E. Climate change and its impact on birch pollen quantities and the start of the pollen season an example from Switzerland for the period 1969-2006. *Int J Biometeorol* 2008;52:667-674.
 13. 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.
 14. Rogers CA, Wayne PM, Macklin EA, Muilenberg ML, Wagner CJ, Epstein PR, Bazzaz FA. Interaction of the onset of spring and elevated atmospheric CO₂ on ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) pollen production. *Environ Health Perspect* 2006; 114:865-869.
 15. Singer BD, Ziska LH, Frenz DA, Gebhard DE, Straka JG. Increasing ambient CO₂ content in common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) pollen as a function of rising atmospheric CO₂ concentration. *Funct Plant Biol* 2005;32:667-670.
 16. Tashpulatov AS, Clement P, Akimcheva SA, Belogradova KA, Barinova I, Rakhmawaty FD, Heberle-Bors E, Touraev A. A model system to study the environment-dependent expression of the Bet v 1a gene encoding the major birch pollen allergen. *Int Arch Allergy Immunol* 2004;134:1-9.
 17. Hjelmroos M, Schumacher MJ, Van Hage-Hamsten M. Heterogeneity of pollen proteins within individual *Betula pendula* trees. *Int Arch Allergy Immunol* 1995;108:368-376.
 18. Green BJ, Tovey ER, Sercombe JK, Blachere FM, Beezhold DH, Schmechel D. Airborne fungal fragments and allergenicity. *Med Mycol* 2006;44 Suppl 1:S245-S255.
 19. Wolf J, O'Neill NR, Rogers CA, Muilenberg ML, Ziska LH. Elevated atmospheric carbon dioxide concentrations amplify *Alternaria alternata* sporulation and total antigen production. *Environ Health Perspect* 2010;118:1223-1228.
 20. Corden JM, Millington WM. The long-term trends and seasonal variation of the aeroallergen *Alternaria* in Derby, UK. *Aerobiologia* 2001;17:127-136.
 21. Freye HB, King J, Litwin CM. Variations of pollen and mold concentrations in 1998 during the strong El Niño event of 1997-1998 and their impact on clinical exacerbations of allergic rhinitis, asthma, and sinusitis. *Allergy Asthma Proc* 2001; 22:239-247.
 22. D'Amato G, Cecchi L, Bonini S, Nunes C, Annesi-Maesano I, Behrendt H, Liccardi G, Popov T, van Cauwenberge P. Allergenic pollen and pollen allergy in Europe. *Allergy* 2007;62:976-990.
 23. Cecchi L, D'Amato G, Ayres JG, Galan C, Forastiere F, Forsberg B, Gerritsen J, Nunes C, Behrendt H, Akdis C, Dahl R, Annesi-Maesano I. Projections of the effects of climate change on allergic asthma: the contribution of aerobiology. *Allergy* 2010;65:1073-1081.
 24. Downs SH, Mitakakis TZ, Marks GB, Car NG, Belousova EG, Leüppi JD, Xuan W, Downie SR, Tobias A, Peat JK. Clinical importance of *Alternaria* exposure in children. *Am J Respir Crit Care Med* 2001;164:455-459.
 25. Kilic M, Ufuk Altintas D, Yilmaz M, Guneşer Kendirli S, Bingol Karakoc G, Taskin E, Ceter T, Pinar NM. The effects of meteorological factors and *Alternaria* spore concentrations on children sensitised to *Alternaria*. *Allergol Immunopathol (Madr)* 2010;38:122-128.

26. Targonski PV, Persky VW, Ramekrishnan V. Effect of environmental molds on risk of death from asthma during the pollen season. *J Allergy Clin Immunol* 1995;95:955-961.
27. Inal A, Karakoc GB, Altintas DU, Pinar M, Ceter T, Yilmaz M, Kendirli SG. Effect of outdoor fungus concentrations on symptom severity of children with asthma and/or rhinitis monosensitized to molds. *Asian Pac J Allergy Immunol* 2008;26:11-17.
28. Kihlstrom A, Lilja G, Pershagen G, Hedlin G. Exposure to birch pollen in infancy and development of atopic disease in childhood. *J Allergy Clin Immunol* 2002;110:78-84.
29. Kihlstrom A, Lilja G, Pershagen G, Hedlin G. Exposure to high doses of birch pollen during pregnancy, and risk of sensitization and atopic disease in the child. *Allergy* 2003;58:871-877.
30. Kihlstrom A, Lilja G, Pershagen G, Hedlin G. Maternal pollen allergy may be more important than birch pollen exposure during pregnancy for atopic airway disease in the child. *Pediatr Allergy Immunol* 2004;15:497-505.
31. Oliveira M, Ribeiro H, Delgado JL, Abreu I. The effects of meteorological factors on airborne fungal spore concentration in two areas differing in urbanisation level. *Int J Biometeorol* 2009;53:61-73.
32. Reyes ES, de la Cruz DR, Merino ME, Sanchez JS. Meteorological and agricultural effects on airborne *Alternaria* and *Cladosporium* spores and clinical aspects in Valladolid (Spain). *Ann Agric Environ Med* 2009;16:53-61.
33. Kim CW, Lee JH, Jung HW, Choi SR, Cheong JW, Park JW, Hong CS. Changing patterns of skin reactivity to inhalant allergens in asthmatic patients. *J Asthma Allergy Clin Immunol* 2001;21:205-215.
34. Oh JW. Development of pollen concentration prediction models. *J Korean Med Assoc* 2009;52:579-591.
35. Peden D, Reed CE. Environmental and occupational allergies. *J Allergy Clin Immunol* 2010;125(2 Suppl 2):S150-S160.
36. Heinrich J. Influence of indoor factors in dwellings on the development of childhood asthma. *Int J Hyg Environ Health* 2011;214:1-25.
37. Harley KG, Macher JM, Lipsett M, Duramad P, Holland NT, Prager SS, Ferber J, Bradman A, Eskenazi B, Tager IB. Fungi and pollen exposure in the first months of life and risk of early childhood wheezing. *Thorax* 2009;64:353-358.
38. Heguy L, Garneau M, Goldberg MS, Raphoz M, Guay F, Valois MF. Associations between grass and weed pollen and emergency department visits for asthma among children in Montreal. *Environ Res* 2008;106:203-211.
39. Kinney PL. Climate change, air quality, and human health. *Am J Prev Med* 2008;35:459-467.



Peer Reviewers' Commentary

기후변화가 건강에 영향을 미치는 요인 중 주목 받고 있는 분야는 폭염, 매개체에 의한 전염병, 알레르기 질환이다. 각 나라와 WHO는 이 분야를 가장 많이 연구하고 있고 저감대책에 집중하고 있다. 알레르기 질환은 기후변화로 인한 수목 종류의 변화로 새로운 알러젠의 출현, 알레르겐의 감작성 증가, 화수분의 양과 기간의 증가 등으로 계속 증가하고 있어 많은 연구와 대책수립이 요구되는 분야이다. 이 논문은 기후변화가 화분과 진균에 미치는 영향, 화분과 진균의 변화가 소아호흡기 알레르기질환에 미치는 영향과 예방대책을 연구한 논문으로 이 분야를 연구하는 연구자와 알레르기 환자를 진료하는 의사에게 도움이 될 것이다. 아울러 기후변화가 알레르기 질환에 미치는 영향에 대한 기전과 동향에도 도움이 될 것으로 판단된다.

[정리:편집위원회]