

꽃가루의 인체에 미치는 영향과 공기청정기에 의한 제거효과

- 국외 연구자료 소개 -

○ 이명화 | 한국생산기술연구원 환경에너지본부
신임연구원
E-mail : myonghwa@kitech.re.kr

우리나라에서는 현재까지 의사들만이 꽃가루를 연구의 대상으로 삼아 꽃가루와 알레르기 질환(화분증)과의 상관관계 등을 밝히는데 초점을 맞추고 있다. 또한 국내에서는 꽃가루가 커다란 사회문제로 대두되지 않아서인지 이들에 대한 기초자료(꽃가루의 동력학적인 특성)도 확보하기 어려운 상황이다.

이에 꽃가루가 사회문제화되고 있는 일본의 자료를 참고로 하여 꽃가루에 의한 화분증의 실태와 공기청정기의 꽃가루 제거효과에 대한 연구결과를 기술정보로서 소개해, 향후 꽃가루 문제 대응에 도움이 되었으면 한다. 전자인 화분증의 실태에 대하여는 일본에어로졸학회의 학회지인 「에어로졸연구」의 제20권 1호(Kitamura, T., Shiomori, T., Fujimura, T. and Suzuki, H., "Allergy(1) Nasal Allergy by Pollen", Journal of Aerosol Research, 20(1), pp. 54-57, 2005)를 참고로 하였으며, 후자인 꽃가루의 제어에 관해서는 일본건축학회환경계논문집 제 596호(Kiyosawa, H., Nozaki, A. and Yoshizawa, S., "Studies on Performance of Domestic Air Cleaners for Indoor Air Pollutants and Prediction of Indoor Concentration (Part 2)", J. Environ. Eng., AIJ, 596, pp. 29-35, 2005)를 참고로 한 것임을 밝힌다.

1. 서론

화분증이라는 것은 꽃가루에 의해 일어나는 알레

르기성 질환을 말하여, 재채기, 콧물, 코막힘 현상을 일으키는 알레르기성 비염과 눈 가려움증, 눈물을 흘리게 하는 알레르기성 결막염 및 천식이나 아토피성 피부염을 유발하기도 한다. 예전에는 일본에 화분증이라는 것이 존재하지 않았지만, 현재는 60종류 이상의 꽃가루가 원인물질이라고 보고되고 있다. 지역별 차이는 있지만, 일본에서 가장 높은 비율을 차지하는 것은 삼나무 화분증이며, 전체 화분증의 80%를 차지하고 있다. 삼나무 화분증의 시도별 분포상황을 살펴보면, 태평양 쪽에서의 발병율이 높고, 오키나와와 북해도 등의 고위도 또는 저위도 지역에서는 낮은 것으로 보고되고 있다¹⁾.

삼나무 화분증은 1970년대 후반부터 일본 전국적으로 발병자가 증가하였고, 사회문제화 되었다. 그 커다란 요인으로서 전쟁후의 산림정책을 들 수 있다. 즉, 전쟁직후 건축자재를 확보하기 위하여 성장 이 빠른 삼나무를 대량으로 심었으나, 30년이 경과 되어 꽃가루를 날리는 연령에 달한 삼나무가 1970년대 후반에 대량으로 꽃가루를 비산시켰을 뿐만 아니라 이것이 발병율을 높인 원인이 되었다.

게다가 외국산의 값싼 목재가 수입되게 됨에 따라 국내산 삼나무의 수요가 저하하여 삼나무의 관리가 되지 않은 것이 원인이기도 하다. 화분증 증가의 원인으로서는 이러한 직접적인 원인 이외에도 도시의 콘크리트화에 따른 꽃가루의 재비산, 식생활의

변화, 감염증의 감소, 항생물질 과다사용에 의한 장내세균종의 변화, 기생충 감소, 스트레스 증가 등이 간접적인 원인이라고 생각할 수 있다.

또한 대기오염에 의한 영향, 특히 디젤배기가스와의 관련이 주목받고 있다²⁾. 디젤배기가스에 포함되어 있는 미립자가 삼나무에 대한 IgE항체의 생산을 증가시켜 삼나무 꽃가루에 대하여 과민성을 증가시킨다는 보고도 있다.

이러한 화분증에 대응하기 위해서는 알레르겐(알레르기 유발물질)으로부터 피하거나 노출을 줄이는 것이 최선이지만, 꽃가루가 건물의 개구부에서 들어오거나 또는 사람이나 물건에 부착하여 실내로 유입되는 등 어떠한 경로에 의해서든 실내로 유입되게 된다^{3), 4)}.

이러한 화분증 환자의 실내 꽃가루 노출을 줄이는 하나의 방법이 가정용 공기청정기이다. 한편, 가정용 공기청정기는 원래 실내 담배연기의 제거 등을 주목적으로 개발되었으며, 1~수 μ m 정도의 입자제거로 그 성능이 평가되고 있다. 그러나 꽃가루 입자의 초기상태는 10~30 μ m 로 크지만, 응집의 정도 및 파쇄정도에 따라 공기역학적인 크기가 완전히 달라지므로 그 거동도 초기상태와 현저히 다를 가능성이 있다. 따라서 종래 시험방법(JIS 시험입자)의 결과에 따라 입자경 분포의 차이만으로 확장판단하는 것은 불가능하므로 실제 꽃가루를 이용하여 그 성상을 명확히 하는 것이 필요하다.

따라서, 여기에서는 화분증, 특히 삼나무 꽃가루와 알레르기성 비염과의 상관관계 및 공기청정기의 꽃가루 제거특성에 초점을 맞추어 설명하고자 한다.

2. 꽃가루의 조사법 및 비산예보

2.1 대기중 꽃가루 조사법

대기중을 부유하는 꽃가루의 종류와 양을 조사하는 수단으로서 여러 가지 관측장치가 고안되어 있지만, 꽃가루를 포집하는 원리에서 중력법(자유낙하하는 꽃가루를 포집)과 체적법(일정량의 공기를 흡인하여 꽃가루를 포집)의 두 가지로 크게 나눌 수 있

다. 현재 일본에서는 중력법의 「Durham형 포집기」(Fig. 1)로 불리는 간편한 장치가 가장 많이 보급되어 있다. 2장의 금속원판 사이에 바세린 등을 바른 슬라이드글라스를 올려놓고 부착한 꽃가루를 식별하기 위하여 염색하고, 광학현미경으로 18×18 mm의 범위를 측정하여 1cm²당 꽃가루의 수를 계측한다.

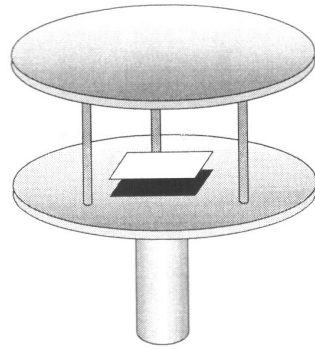


Fig. 1. Durham pollen sampling device. This sampling device spread most in Japan. Pollen dropping naturally sticks to the slide glass which Vaseline is painted with.

2.2 꽃가루 비산예보

꽃가루 비산예보는 크게 ①시즌 중의 꽃가루 총비산량 예보, ②꽃가루 비산개시 시기의 예측, ③매일 꽃가루 비산량 예보의 3가지로 분류된다. ①꽃가루 비산총량의 예측은 환자에게 있어 가장 중요한 정보이다. 삼나무의 수컷은 7월초에 꽃가루로 분화하고 10월까지 성숙한다. 꽃가루 분화시기에 높은 온도, 다량의 일조량, 적은 강우량은 꽃가루를 많이 발생하게끔 한다. 이러한 이유로 예측하고자 하는 해의 전년 7월의 기상조건 데이터를 예측에 이용하는 방안이 검토되어 왔다. 게다가 최근에는 11월의 삼나무 꽃가루의 중량, 크기, 한 송이에 맺어지는 꽃가루의 수 등을 인자로 하여 중회귀식으로 예측하는 것도 검토되고 있다.

② 비산개시일은 Durham형 꽃가루 포집기로 1개/cm²이상 관측된 최초의 날이라고 보는 것이 일반적

이다. 항 알레르기제의 예방적 시즌 전 투여를 하는데 있어, 비산개시일의 예측은 대단히 중요하다. 일반적으로 식물의 개화에는 전년도의 기온이 크게 영향을 미치기 때문에, 삼나무 꽃가루에 있어서는 종래의 1월 1일부터 최고기온의 적산치를 사용하여 비산개시일을 예측하여 왔다. 최근에는 정확도를 높이기 위하여 삼나무가 휴면상태에 들어간 가을의 기온도 포함하여 예측하도록 하고 있다.

③ 매일의 꽃가루 비산량은 삼림분포, 기상데이터, 비산수 데이터를 이용하여 예측한다⁹⁾. 최근에는 실시간으로 꽃가루의 비산상황을 파악할 수 있는 꽃가루 자동계측기가 개발되어 있고, 일본의 정부기관인 환경성은 2002년부터 관동지역 등의 도시부 및 산간부에 꽃가루 자동계측기를 설치하고 화분증과 대기오염물질과의 관계 해명 및 증상의 경감 등 국민의 건강유지를 위해 「환경성 꽃가루 관측예측 시스템」의 구축을 시작하였다. 실시간 꽃가루 비산상황의 정보제공을 위해 개발에 박차를 가하고 있다.

3. 화분증 발병 메커니즘

화분증은 IgE항체와 알레르겐과의 반응에 의한 순간적인 반응으로, 전형적인 I형 알레르기이다. 알레르겐이 흡입성 꽃가루에 유래한다고 하는 특수성 이외에 그 발병기작은 다른 I형 알레르기와 동일하다.

3.1 코의 구조와 상관관계

흡입공기로부터 먼지를 제거하는 기능은 가운, 가습 기능과 함께 코의 중요한 기능 중의 하나이다. 코로 흡입된 5 μ m이상의 입자는 거의 상부(코, 후두부) 점막에 부착하고, 기관기관지에는 들어가지 않는다. 알레르기성 비염에 의한 대표적인 화분증 원인물질인 삼나무 꽃가루의 경우, 그 입자경이 25~60 μ m이며, 코의 내부에 대부분 침착된다.

즉 코 내부로 유입된 꽃가루는 좁은 코의 통로를 지나면서 코의 점막부분(Mucous Blanket)에 거의 모두가 제거되기 때문에 꽃가루에 의한 알레르기 증상은

은 코 내부의 증상으로 가장 현저히 표출된다. 점액층에 침착된 꽃가루는 대부분이 코 점막 상피세포의 선모운동에 의해 코 바깥으로 배출되지만, 남은 꽃가루는 코의 점막에 부착하여 항원성분이 코 점막내로 침투한다.

3.2 감작에서 발병까지

꽃가루가 체내에 들어가면 마크로파지(대식세포)가 이물질로 간주한다. 이물질로 간주되면 II형 헬퍼 T세포(Th2)와 꽃가루 항원(Cry1, Cry2)이 결합하여 복합체를 형성한다. 복합체가 형성되면 T세포는 꽃가루 항원의 정보를 동일한 림파구의 B세포에 전달하고, B세포는 꽃가루 항원과 반응하는 항체(항원 특이적 IgE항체)를 만들어낸다. 만들어진 항원 특이적 IgE항체는 기도점막에 분포하는 호염기성세포(비만세포와 호염기구) 막표면에 결합한다. 이 결합은 세포막표면에 붙어 있는 IgE의 Fc부분에 대한 고친화성 수용체를 삽입하는 것으로 대단히 강한 결합이다.

이렇게 비만세포와 호염기구에 IgE항체가 결합한 단계를 항원에 대한 「감작이 성립하였다」라고 말한다. 다시 말해서, 알레르기 반응의 준비가 완료된 상태라는 것이다.

감작양성자의 코점막에 항원이 들어오고, 항원성분이 코점막내의 비만세포에 접촉하면 비만세포표면의 IgE항체와 반응하여 히스타민, 로이코트리엔을 주성분으로 하는 많은 화학전달물질이 방출된다. 히스타민은 지각신경인 삼차신경말단을 자극하여 그 작용이 재채기를 일으킬 뿐만 아니라 부교감신경을 자극하여 점막부에서 콧물을 생기게 한다. 또한 방출된 화학전달물질은 직접 혈관을 자극하여 혈관 확장 및 코막힘 현상 등을 일으키게 한다. 이러한 반응을 Early Phase Reaction이라 부른다. 또한 항원폭로후 6~10시간 후에는 호산구침윤을 중심으로 한 Late Phase Reaction이 일어난다. Late Phase Reaction은 Th2 림파구에서 만들어진 사이토카인(IL-4, IL-5)과 호산구활성화 인자 등에 의해 활성화호산구를 중심으로 한 여러 가지 염증세포가 침윤하는 것에 의

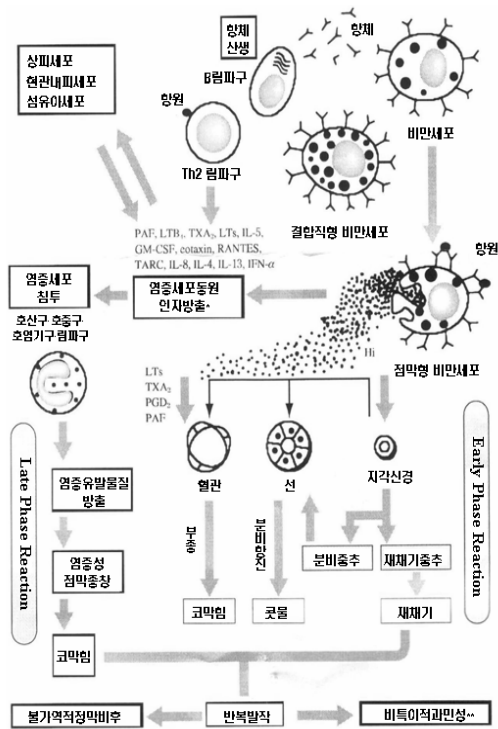


Fig. 2. Mechanisms of allergic rhinitis. Hi : histamin, IL : interleukin, IFN- α : Interferon- α , PAF : platelet activating factor, LTs : leukotriene, GM-CSF : granular leukocyte/ macrophage colony stimulating factor, PGD₂ : prostaglandin D₂, TXA₂ : thromboxane A₂, RANTES : regulated upon activation normal T expressed, TARC : thymus and activation-regulated chemokine, (From the 1st Nasu teach-in record collection, 1996 One part rearrangement).

해 생긴다. 특히 호산구에서 만들어진 펩티드(LTs)에 의해 비점막증상이 생기고, 이는 만성 코막힘의 원인이 된다(Fig. 2).

4. 화분증의 검사 및 치료

알레르기 검사에는 알레르기인지 아닌지를 조사하는 검사와 알레르기의 원인을 조사하는 검사가 있

다. 전자의 방법으로는 문진, 비경검사, X선검사, 혈액-코물속의 호산구검사, 혈청IgE검사 등이 있고, 후자에는 피부단자검사, 특이적 혈청IgE 항체검사, 유발검사 등이 있다. 특이적 혈청 IgE항체검사는 혈액 중의 미량 IgE항체를 측정하고 알레르기의 원인을 조사하는 검사로, 1회의 채혈로 많은 항체를 조사할 수 있는 이점이 있다. 방사선동위원소를 이용한 RAST법이나 효소를 이용한 ELISA법 등 몇 가지 방법이 더 있고, 현재는 이러한 방법들로 90%이상의 진단율을 얻고 있다.

화분증의 치료방법으로는 항원회피법, 약물치료 및 특이적 면역요법이 있다. 화분증 치료의 첫 번째 방안이 항원회피법인데, 환자의 병특성을 명확히 파악하고 치료에 자신이 참가하고 있다는 것을 인식하도록 하는 차원에서 중요하다. 2002년도판 알레르기 진료 가이드라인에는 구체적인 꽃가루 회피방법으로서 ①꽃가루정보에 주의한다, ②비산이 많은 시기에는 외출을 삼간다, ③비산이 많은 시기에는 창문과 문을 닫아 놓는다, ④비산이 많은 시기에는 외출시 마스크 및 안경을 착용한다, ⑤외출시 모직물 등의 착용은 피한다, ⑥집에 돌아와서는 청결에 유의한다, ⑦청소를 자주 한다 의 7가지 항목을 제시하고 있다.

비록 주의를 한다고는 하나 의도적이지 않게 꽃가루가 실내로 유입되게 된다. 다음 절에는 실내로 유입된 꽃가루에 대하여, 시판되고 있는 공기청정기의 꽃가루 제거특성을 살펴해보도록 하겠다.

두 번째는 약물치료법인데, 약제는 통년성 알레르기와 거의 동일하게 선택되지만(Table 1), 화분증에 유효한 치료법으로서 꽃가루 비산개시 약 2주전부터 투약을 개시하는 방법(예방적 치료법, 초기요법)이 제안되어 있다. 제 2세대 항히스타민제 또는 유리억제제를 예년의 증상정도에 따라 선택하여 꽃가루 비산종료시까지 계속해서 복용함으로써 높은 효과를 얻을 수 있다.

세 번째 방안인 특이적 면역요법은 병을 일으키는 항원을 소량 피부에 주사하고, 환자가 대량의 항원에 대응할 수 있게 하는 방법으로서 항원특이적 감작요법이라고도 한다. 통년성 알레르기에 비해

Table 1. 통년성 알레르기성 비염의 치료

상 태 증 상	가 벼 움	중 간		중 증	
		재채기, 콧물	코막힘	재채기, 콧물	코막힘
치 료 법	① 제 2세대 항히스타민제 ② 유리억제제	① 제 2세대 항히스타민제 ② 유리억제제 ③ 국소스테로이드제	① LTs 제 ② TXA2 제 ③ 국소스테로이드제	국소 스테로이드제 + 제 2세대 항히스타민제	국소 스테로이드제 + LTs제 또는 TXA ₂ 제 필요에 따라 혈관수축제를 치료개시 5~7일간에 한해 이용
	①, ②중 하나	①, ②, ③의 어느 한가지 필요에 따라 ①또는 ②에 ③을 병용함	①, ②, ③의 어느 한가지 필요에 따라 ①또는 ②에 ③을 병용함	특이적 면역요법 코막힘증에서 코의 형태변형을 유발할 경우에는 수술	

화분증에서는 치료효과가 낮지만, 향후 근본적인 치료법으로 기대되고 있다.

기재되어 있는 것으로부터 제거방식과 필터의 차이를 고려하여 임의로 선택하였다.

5. 공기청정기의 꽃가루 제거성능

대상오염물질, 풍량, 필터의 구조 등의 사양을 Table 2에 보여주고 있다. 또한 필터는 신품을 사용하였으며, 입경분포 측정에는 광산란형 입자계수기(KC-01C, Rion Co. Ltd.), 온습도계는 SATO사의 SK-100THP를 사용하였다.

5.1 테스트실의 개요

실험은 Fig. 3에 나타난 동북문화원대학 인공 기상실내의 대형환경제어챔버에서 수행하였다.

본 실험은 온도 28±1[°C], 습도 50±1[%], 환기회수 0.05±0.01[1/h], 기류속도 0.2~0.4 [m/s]의 조건에서 행하여졌으며, 송풍량, 환기풍량은 일정하다.

본 연구에서는 실험챔버내의 확산상태를 일정하게 하기 위해 확산팬을 설치하였고, 실내기류는 건축물 위생법에 의한 기류속도규정치[0.5 m/s 이하]로 제어하였다.

5.2 측정방법

측정대상으로 한 가정용 공기청정기는 2002년 제조된 제품으로 카탈로그 상에 꽃가루 제거 기능이라

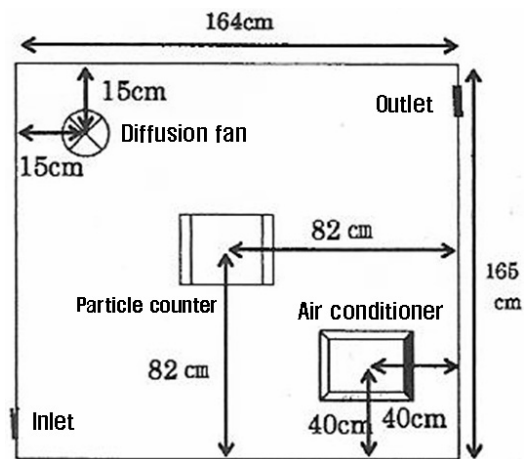


Fig. 3. Layout of a test room.

5.3 실험방법

5.3.1 실험대상물질

실험에 사용한 삼나무 꽃가루 입자는 꽃가루의 수술에 봉투를 씌워, 방출직후 직접 채취한 것이다. 실험에 사용한 삼나무 꽃가루입자의 광학현미경 사진을 Fig. 4에 나타내었다.

삼나무 꽃가루 입자의 직경은 10~30 μ m의 범위이지만⁶⁾, 일반적으로 이 입경범위의 입자는 실내에서 중력에 의해 쉽게 낙하할 뿐만 아니라 가정용 공기청정기에 의해서도 쉽게 제거될 수 있을 것으로 생각되어진다. 그렇지만 꽃가루 입자는 여러가지 상황에서 깨질 가능성이 있고, 또한 삼나무 꽃가루 입자의 표면에는 Ubish Body라고 불리는 직경 0.3 μ m 이상의 미립자가 산재하여 이 미립자에도 삼나무 꽃가루의 항원(Cryj 1)이 발견되어, 알레르겐물질로서 중요시되고 있다⁷⁾. 따라서 본 연구에서는 형태학적인 입경이 30 μ m이지만, 대상입경을 0.3 μ m이상으로 삼았다. 또한 꽃가루 입자는 물질적 변화를 일으키

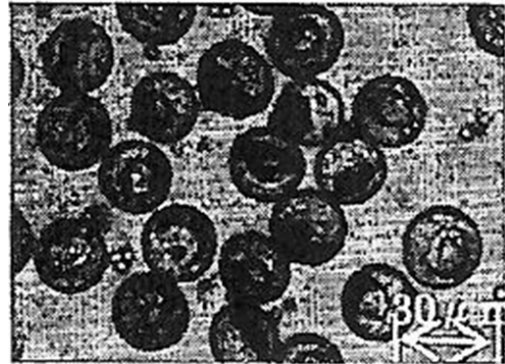


Fig. 4. Microscope image of cedar pollen particles

지 않는 것으로 간주했다.

5.3.2 실험순서

가정용 공기청정기의 꽃가루입자에 대한 성능시험법은 정해져 있지 않다. 그래서 본 연구에서는 다음의 순서에 의해 실험을 수행하였다.

- (1) 실험챔버내에 공기청정기, 파티클카운트, 확

Table 2. 가정용 공기청정기의 특성

	풍량[m ³ /h]				외형치수[cm]			토출구		흡입구		풍속	필터구조	제거원리	적용바닥면적(조)	제조년
								면적	위치	면적	위치					
	급속	강	표준	약	높이	폭	깊이	cm ²	cm	cm ²	cm					
AC1	248	156	72	36	808	360	260	415	16	278	23	3.0	Pre-filter+활성탄필터+플라즈마 ULPA필터	플라즈마 방식+필터여과	~24	2002
AC2	258	180	120	78	554	415	234	111	3	117	32	2.7	Pre-filter+항균필터+집진필터+탈취필터+(제올라이트&활성탄)	플라즈마 방식+필터여과	~20	2002
AC3	240	180	102	30	572	415	201	82	8	293	48	4.5	Pre-filter+재생활성탄필터+항균필터+ULPA필터	제균이온+필터청정	~19	2002
AC4	240	162	108	36	666	270	320	55	8	234	48	4.4	Pre-filter+살균효소필터+활성탄필터	플라즈마 방식+필터여과	~18	2002
AC5	-	110	95	75	450	410	220	264	23	341	13	2.0	Pre-filter+ULPA필터+활성탄필터	필터청정	-	2002

산팬을 설치한다. 각각의 설치위치를 Fig.3에 나타내었다.

- (2) 챔버내를 수시간 환기한 후, 챔버내의 온습도를 조절한다.
- (3) 챔버내의 공기청정기와 환기장치를 운전하고, 파티클카운터로 챔버내의 부유입자상물질 배경농도의 저감상태를 확인한다. 그 후 공기청정기·환기장치를 정지시킨다.
- (4) 일정량의 실험대상물질 0.1g을 확산팬 앞에서 일정하게 분산시킨다.
- (5) 실내를 확산팬으로 확산시킨다. 면풍속은 약 2.5 m/s이다.
- (6) 챔버내 교반 후 확산팬을 정지시키고, 광산란형 입자계측기를 운전한다.
- (7) 부유입자상물질(꽃가루 입자)을 광산란형 입자계측기로 측정하고, 공기청정기를 운전하지 않는 기간(기기비운전기간)의 대상부유입자상물질 농도를 측정한다.
- (8) 일정시간 후, 공기청정기를 운전하는 기간(기운전기간)에 대한 실내 부유입자상물질농도를 15분동안 측정한다.
- (9) 실험종료 후, 챔버내를 깨끗이 한다.
- (10) (2)로 돌아가 반복한다.

이상의 순서로 5종류의 가정용 공기청정기에 대하여 삼나무 꽃가루입자와 JIS시험입자에 대하여 공기청정기의 운전조건을 「강」으로 하여 실험을 수행하였다.

본 실험에서는 실험챔버내에 팬을 사용하여 확산이 일정하도록 하였다. 실제 실내에서 방 전체의 기류상황은 공조 또는 정지상태의 기류조건에다 공기청정기의 기류에 의한 확산혼합이 더해진 상태가 된다. 따라서 공기청정기의 성능에는 청정기의 정화성능 뿐만 아니라 어느 정도까지 확산혼합을 할 것인지가 영향을 미친다. 방의 크기 및 설치위치 등의 영향은 추후 새로이 검토할 필요가 있다.

5.4 가정용 공기청정기의 오염물질제거 성능의 평가법

공기청정기의 청정능력을 방의 환기량을 기준으로 한 것이 상당환기량 Q_{eq} [m^3/h]이다. 본 연구에서는 상당환기량 Q_{eq} [m^3/h]을 이용하여 가정용 공기청정기의 부유입자상물질 제거성능을 평가하였다. 공기청정기 사용실에 있어서 정화성능, 즉 상당환기회수 N 은, Tracer gas 농도감쇄법에 의해 다음과 같은 식으로 구하여진다.

$$N = 2.303 \times \frac{1}{t} \times \log \left\{ \frac{(C_1 - C_0)}{(C_t - C_0)} \right\} \quad (1)$$

여기에서, t : 측정시간 [h]

C_1 : 측정개시시의 대상오염물질농도 [$개/m^3$]

C_t : t 시간후의 대상오염물질농도 [$개/m^3$]

C_0 : 외기중의 대상오염물질농도 [$개/m^3$]

5.5 실험결과 및 고찰

5.5.1 JIS 시험입자와 꽃가루 입자의 입경분포

Fig. 5에 JIS시험입자와 꽃가루 입자의 입경별 누계개수를 나타내었다. JIS시험입자와 꽃가루 입자를 비교하면, Fig. 5에 의한 꽃가루 입자 쪽이 JIS입자보다도 개수가 명확히 크게 나타나고 있다. 이것에 의해 꽃가루 입자는 실험에 사용한 JIS시험입자에 비

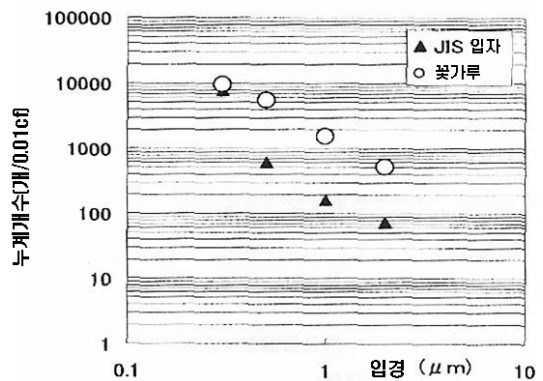


Fig. 5. JIS입자와 꽃가루 입자의 누계개수

Table 3. 가정용 공기청정기의 상당환기량, Qeq [m³/h]

기기	입경 [μm]	꽃가루 입자			JIS시험입자
		팬 비운전시		팬 운전시	팬 비운전시
		3회 평균	표준편차	3회 평균	3회 평균
AC1	0.3	19.1	3.45	31.2	18.2
	0.5	18.7	2.43	31.7	43.5
	1.0	20.5	5.95	33.4	30.6
	2.0	22.0	2.42	44.5	27.3
	5.0				12.1
AC2	0.3	67.2	15.9	52.9	34.5
	0.5	63.8	12.5	121.0	52.6
	1.0	66.2	21.0	31.7	39.7
	2.0	61.1	32.0	29.6	46.4
	5.0				
AC3	0.3	180.0	10.0	66.9	19.3
	0.5	213.0	32.5	111.0	18.1
	1.0	166.0	40.6	168.0	15.9
	2.0	143.0	32.9	259.0	18.6
	5.0				
AC4	0.3	87.9	24.0	118.0	25.4
	0.5	84.8	27.0	96.6	27.4
	1.0	109.0	39.6	111.0	36.6
	2.0	149.0	95.3	105.0	32.8
	5.0				
AC5	0.3	1.96	2.77		
	0.5	13.4	13.1		
	1.0	2.52	2.45	2.95	
	2.0	6.40	4.53		
	5.0				

해 보다 부유성이 높다고 생각할 수 있다. 본 결과에서, 가정용 공기청정기에 대한 알레르겐물질로서의 꽃가루입자 제거성능을 보면, 부유 가능성이 높은 미립자를 대상으로 한 시험을 행할 필요성이 있다고 사료된다.

5.5.2 가정용 공기청정기의 오염물질 제거성능

실험에 의해 얻어진 부유입자상물질농도의 경시 변화를 횡축에 시간[*min*], 종축에 챔버의 부유입자상물질의 농도를 대수치로 나타내 최소자승법을 적

용하면 직선으로 나타난다. 그 측정치를 (1)식에 대입하여 상당환기회수(1/h)를 구했다. 게다가 구하여진 상당환기회수와 챔버의 용적[m³]에 의해 상당환기량[m³/h]을 산출하여 평균치를 구했다. 각 기기에 대한 입경별 상당환기량의 산출결과를 Table 3에 나타내었다.

여기에서 상당환기회수를 산출하기 어려웠던 것은 사선으로 나타내었다. Table 3 중의 팬운전시는 확산팬을 일정하게 계속 운전한 경우의 꽃가루 입자에 대한 상당환기량이다. 또한 JIS시험입자는 팬의

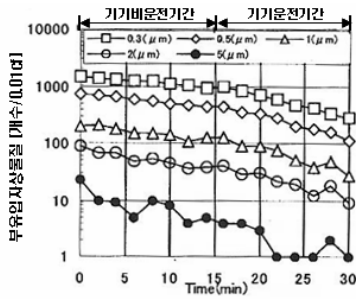


Fig. 6. AC1의 꽃가루 입자 농도 변화

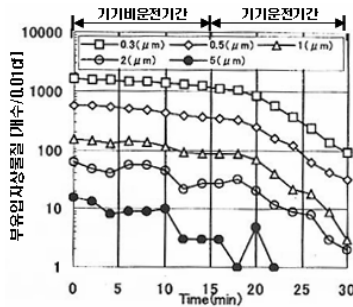


Fig. 7. AC2의 꽃가루 입자 농도 변화

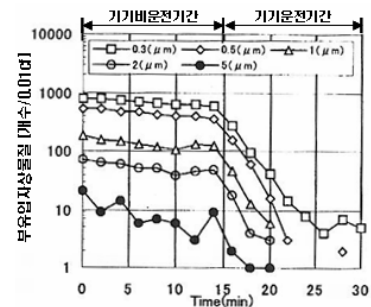


Fig. 8. AC3의 꽃가루 입자 농도 변화

비운전시의 평균 상당환기량이다. 꽃가루 입자에 대한 기기별 상당환기량을 비교하면, AC3이 가장 큰 값을 나타내고, 이어서 AC4, AC2, AC1이고 AC5가 가장 작은 값을 나타내었다. 이것은 기기의 풍량을 「강」으로 설정한 경우의 풍량의 크기순서와 거의 일치했다.

다시 설명하면, AC3은 다른 기기에 비해 상당히 큰 제거성능을 보여, 상당환기량은 5 μ m 입자를 빼면 확산팬 비운전시에 143.2~213.0 [m³/h], 확산팬 운전 시에는 66.94~259.2 [m³/h]였다. 반대로 AC5는 거의 제거성능이 없었으며, 상당환기량은 1.957~13.43 [m³/h]로 나타났고, 기기비운전시간과 기기운전시간에서의 감쇄에 차이가 없었다. 이것은 타기종과 비교하여 풍량이 적었기 때문인 것으로 생각되어진다.

상시 일정한 확산팬을 계속해서 운전한 경우와 정지한 경우를 비교하면, AC1, AC4는 상시 일정한 확산팬을 운전한 경우에 상당환기량은 증가하고 있지만, AC2, AC3은 감소하는 경향이 있다.

상당환기량이 증가한 것에 대해서는 일정한 확산팬을 운전하는 것에 있어 실내의 기류가 증가하고 그 기류에 의해 공기청정기에 도달하는 공기량이 많아지기 때문인 것으로 생각되어진다.

그러나 결과적으로 실내의 확산성을 증대시키는 것에 의해 제거효율을 높이는 것이 가능하다는 것을 보여준다.

다음에는 Table 3의 기기별 JIS시험입자에 대한 상당환기량을 비교하면, 기종에 따른 차는 거의 없고 어느 기종에서도 약 20~50 [m³/h]의 범위를 나

타내었다. JIS 시험입자와 꽃가루 입자에 대한 상당환기량을 비교하면, AC3, AC4에 있어서 차이가 크고, 특히 AC3는 꽃가루 입자의 경우가 상당환기량에서 10배 이상 큰 결과를 보였다. 이것은 꽃가루 입자의 입자밀도가 JIS시험분체보다 작기 때문인 것으로 생각되어진다.

5.5.3 꽃가루 입자에 대한 제거성능

기기비운전시간과 기기운전시간에 있어서, AC1, AC2, AC3기종에 대한 꽃가루입자농도의 경시변화를 그림 6에서 그림 8에 나타내었다. 종축의 부유입자상물질은 0.01[cf]중의 개수농도[개/0.01cf]를 나타낸 것이다.

Fig. 6에서 Fig. 8을 살펴보면, 어느 기종에서도 기기 비운전시간에서 서서히 감소하는 경향을 보인다. 이것은 주로 낙하와 침착에 의한 감쇄라고 생각되어진다. 또한 기기운전시간에 있어서의 감쇄는 기기의 성능에 따라 크게 달라지는 결과를 보였다.

Fig. 8의 AC3에 있어서는 0.3 μ m를 뺀 나머지 입경에서 공기정화기를 운전후 6분만에 입자농도가 거의 10 [개/0.01cf]이하로 감소하여 큰 제거성능을 보였다.

5 μ m의 입자는 확산팬 운전시, 비운전시와 같이 공기청정기 운전개시 5분정도에서 어떠한 기종에서도 0[개/0.01cf]을 보였다.

또한 실험개시후 30분의 꽃가루 농도는 초기농도와 비교하여 AC1에서는 20%이하, AC2~AC4에서는 6%이하까지 감소하였다.

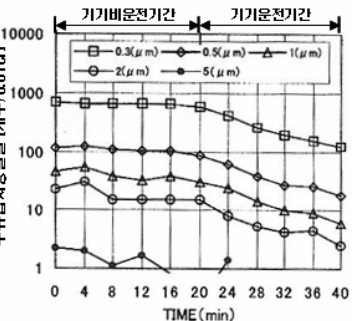
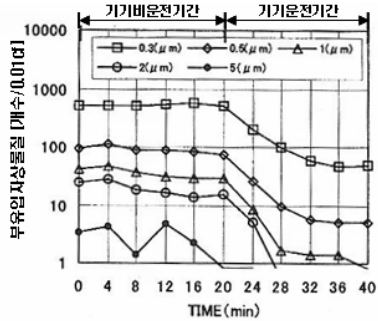
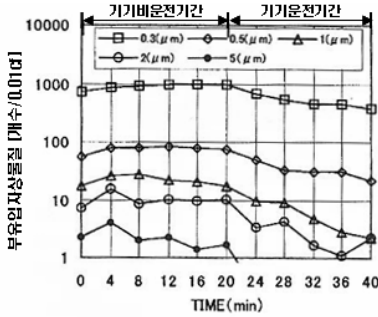


Fig. 9. AC1의 JIS시험입자 농도변화 Fig. 10. AC2의 JIS시험입자 농도변화 Fig. 11. AC3의 JIS시험입자 농도변화

5.5.4 JIS시험입자에 대한 제거성능

기기비운전기간과 기기운전기간에 있어서 AC1, AC2, AC3기종의 JIS시험입자 농도의 경시변화를 Fig. 9에서 Fig. 11에 나타내었다. Fig. 9에서 Fig. 11을 보면, 기기비운전기간의 감소는 0.3 μ m, 0.5 μ m의 작은 입경에서는 거의 차이가 없지만, 1 μ m, 2 μ m, 5 μ m로 입자가 커질수록 다소 감소경향을 보였다.

Fig. 8과 Fig. 11의 AC3기종에 의한 JIS시험입자와 꽃가루 입자의 감소경향을 비교하면, Fig. 8의 꽃가루 입자는 기기운전기간에 있어서 급격히 감소하고 있는 것에 비해, JIS시험입자에서는 완만한 감소를 보이고 있다. 이것으로부터 JIS시험입자와 꽃가루 입자에서는 제거성능에 차이가 있다는 것을 명확히 알 수 있다.

5.6 실내 공기청정기에 의한 꽃가루 제거에 관한 이론적 검증

실내의 공기오염대책으로서, 어떠한 메카니즘에서 오염물질농도가 성립하는지를 명확히 할 필요가 있다. 여기에서는 가정용 공기청정기 사용실내에서 대상물질을 꽃가루 입자로 한 경우의 실내농도구성에 대하여 이론적 검토를 하였다.

실내에서의 오염물질농도의 물질수지는 어떤 임의의 시각 t[h]에서 실내부유 입자상물질농도를 C [개/m³]라고 하면, 미소시간 dt [h]에서 실내부유입자상물질농도의 변화 dc [개/m³]는 다음의 식 (2)와 같이 표시된다.

$$\frac{dt}{R}(M+QC_0-QC-V_t \cdot S \cdot C-aAC-Q_{eq}C)=dc \quad (2)$$

- 여기에서, M : 오염물질 발생량 [개/h]
- Q : 실환기량 [m³/h]
- C₀ : 외기농도 [m³/h]
- Q_{eq} : 공기청정기의 상당환기량 [m³/h]
- V_t : 낙하속도 [m/h]
- S : 바닥 면적 [m²]
- a : 침착속도 [m/h]
- A : 실내에서의 전 침착면적 [m²]
- R : 실용적 [m³]

t=0일 때, 측정개시시의 실내오염물질농도 C₁[개/m³], C=C₁으로 하여 (2)식을 풀면, 다음의 실내농도예측식 (3)을 얻게 된다.

$$C = C_1 \cdot e^{\frac{Q+V_tS+aA+Q_{eq}}{R}t} + \frac{M+QC_0}{Q+V_tS+aA+Q_{eq}} \left(1 - e^{\frac{Q+V_tS+aA+Q_{eq}}{R}t}\right) \quad (3)$$

다만, 여기에서는 아래와 같이 가정한다.

- ① 꽃가루 입자는 순식간에 실내에 일정하게 확산한다.
 - ② 송풍량, 환기풍량은 일정하다.
 - ③ 꽃가루 입자는 물질적 변화를 하지 않는다.
- 일반적으로 꽃가루 입자는 실내발생이 없는 경우가 많기 때문에 (3)식에 실내발생량 M=0을 대입하면, (4)식이 얻어진다.

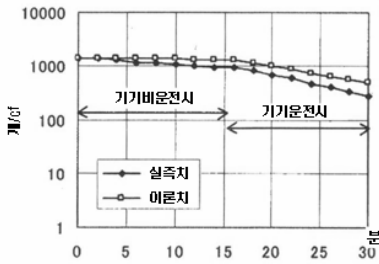


Fig. 12. AC1의 0.3 μ m 실측치와 이론치

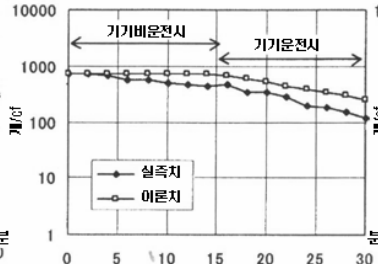


Fig. 13. AC1의 0.5 μ m 실측치와 이론치

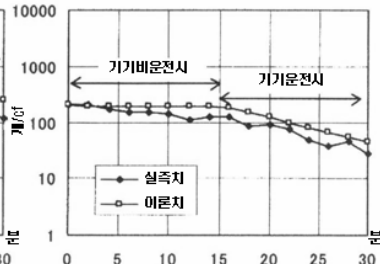


Fig. 14. AC1의 1 μ m 실측치와 이론치

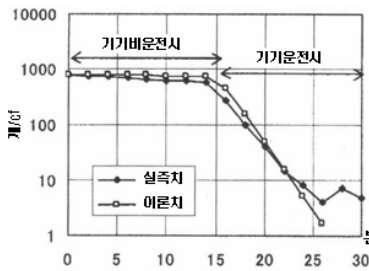


Fig. 15. AC3의 0.3 μ m 실측치와 이론치

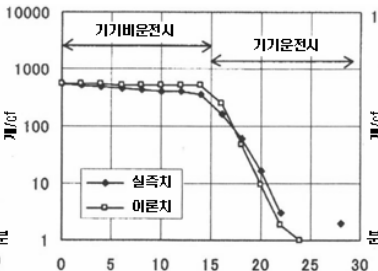


Fig. 16. AC3의 0.5 μ m 실측치와 이론치

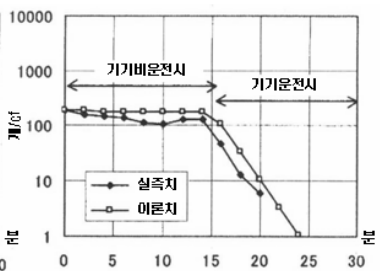


Fig. 17. AC3의 1 μ m 실측치와 이론치

$$C = C_1 \cdot e^{\frac{Q + V_t S + aA + Q_{eq}}{R} t} + \frac{QC_0}{Q + V_t S + aA + Q_{eq}} (1 - e^{\frac{Q + V_t S + aA + Q_{eq}}{R} t}) \quad (4)$$

여기에서,

$$\frac{Q + V_t S + aA + Q_{eq}}{R} = \frac{Q}{R} + \frac{V_t S}{R} + \frac{aA}{R} + \frac{Q_{eq}}{R} = n_1 + n_2 + n_3 + n_4 = N \quad (5)$$

라고 하면, N은 공기청정기 사용실에 있어서 정화 성능을 나타낸다. (5)식에 있어서 n_1 은 환기에 의한 감쇄, n_2 는 낙하에 의한 감쇄, n_3 는 침착에 의한 감쇄, n_4 는 공기청정기에 의한 감쇄를 의미한다. 더욱이, 여기에서는 실험챔버의 바닥면에 낙하한 꽃가루입자를 「낙하에 의한 감쇄」, 천정면, 벽면에 부착한 꽃가루 입자를 「침착에 의한 감쇄」로 정의한다.

낙하속도 V_t [cm/s]는 층류층의 평행속도가 성립한다고 하면, 다음의 식으로 표현된다.

$$V_t = \frac{\rho \cdot g \cdot d_p^2}{18\mu} \quad (6)$$

여기에서, ρ : 입자밀도 [g/cm³]
 g : 중력가속도 [cm/s²]
 d_p : 입자 직경 [cm]
 μ : 점성계수 [g/cm/s]

본 연구에서는 大橋 등의 연구에서 사용한 꽃가루 입자밀도 $\rho = 0.14$ [g/cm³]에 의해 낙하속도 V_t 를 식 (6)으로 계산하여 농도예측을 하였다.

5.7 꽃가루 입자의 실내농도예측치와 실측치와의 비교

실험에 의해 얻어진 상당환기량 Q_{eq} [m³/h]를 식 (4)에 대입하여 꽃가루 입자의 실내농도를 예측하였다. 공기청정기 사용실에서 실내농도가 감쇄하는 요인으로는 ①환기, ②자유낙하, ③침착, ④공기청정기에 의한 제거가 있다. 다만, 여기에서는 침착에 의

한 감쇄는 없다고 가정하였다. AC1, AC3의 기종에 대하여, 이론식에 의해 얻어진 실내 꽃가루 농도에 측치와 입경이 0.3 μ m, 0.5 μ m, 1.0 μ m 각각의 입자에 대하여 실측치를 비교한 결과를 Fig. 12에서 Fig. 17에 나타내었다. 검토의 결과, 공기청정기 비운전기간, 운전기간 모두 예측치와 실측치간에 비교적 일치하는 경향을 보였다. 특히, 실험에 의해 얻어진 상당한 기량이 가장 큰 AC3 기종에서 예측치와 실측치가 가장 잘 일치하는 결과를 얻었다.

공기청정기 비운전기간의 이론치에서는 낙하환기(자연환기)에 의한 감쇄를 고려하고 있으나, 이론치에 있어서 차이는 나타나지 않았다. 이 원인은 낙하속도산출에 밀도를, 大橋 등이 사용한 0.14를 사용했기 때문에 V_g값이 대단히 작았다는 점, 또한 실험중에 환기설비를 정지시켰기 때문에 Q값도 대단히 작았기 때문인 것으로 생각된다. 더욱이 공기청정기 비운전기간에 이론치의 감쇄는 초기치의 5% 정도였다.

여기에서 공기청정기 비운전기간에는 어느 기종에서도 입경이 커짐에 따라 실측치와의 차이가 커지는데, 이는 이론치에서 고려하지 않았던 꽃가루 입자의 침착 메카니즘에 의한 영향이 아닌가 생각된다.

기기비운전기간 및 기기운전기간에 있어서 이론치와 실측치의 상관계수는 0.3 μ m, 0.5 μ m, 1.0 μ m에서는 0.72~0.96, AC5를 제외하면 0.82~0.96으로 높은 상관을 얻을 수 있었다. 이상을 결과를 조합하면, 꽃가루 입자의 제거에는 공기청정기가 효과적이라 판단할 수 있다.

- 참고문헌 -

1. Nakamura, A., Asai, T., Yoshida, K., Baba, K. and Nakae, K., "Allergic Rhinitis Epidemiology in Japan", *J. Otolaryngology Jpn.*, 105, 215~224 (2002).
2. Nonaka, R. Fan, G. and Takenaka, H., "Influence of diesel exhaust particles (DEP) in Japanese cedar pollinosis model of mouse", *JJIAO.*, 18, 30~31 (2000).
3. Kiyosawa, H. and Yoshizawa S., "Intrusion of Airborne Pollen into Indoor Environment and Exposure Dose: Study on the control of indoor pollen exposure Part 1", *Journal of architecture, planning and environmental engineering. Transactions of AIJ*, No. 548, pp. 63~68 (2001).
4. Kiyosawa, H. and Yoshizawa S., "Brought-In Pollen into Indoor Environment by Residents' Activities : Study on the control of indoor pollen exposure Part2", *Journal of architecture, planning and environmental engineering. Transactions of AIJ*, No. 558, pp. 37~42 (2002).
5. Ogasawara, H., "Kafunhisanyohou", *Biarerugifurontia*, 4(3), pp.20~24 (2004).
6. 大橋えり, 大岡龍三, 吉田伸治, "スギ花粉による室内空気汚染(2)ースギ花粉粒子の粒径重量の実測を空気力学特性についてー" *日本建築学会大会学術梗概集D-2*, pp.939~940 (2001).
7. 新田裕史 "スギ林とスギ花粉" '国立環境研究所ニュース' Vol.12, No.3, p.10.