

2018 강남서초학생탐구발표대회

탐구보고서

미세먼지 환기필터로서 삼베의
가능성에 대한 실험 연구

출품번호

출품 부문

환 경

2018. 8. 30.

- 목 차 -

I. 탐구 동기 및 목적	1
1. 탐구 동기	1
2. 탐구 목적	1
II. 선행 연구 분석 및 이론적 배경	2
1. 이론적 배경	2
1) 미세먼지의 정의	2
2) 미세먼지의 위해성과 차단방법	2
3) 실내 공기 질 관리방법	3
2. 선행 연구	4
3. 탐구의 독창성	4
III. 탐구 절차 및 방법	5
1. 탐구 문제 및 가설	5
2. 탐구 절차	5
3. 준비물	5
4. 탐구 방법	8
IV. 탐구 결과	14
탐구 1. 미세먼지 발생 정도 관찰	14
탐구 2. 미세먼지 측정기를 통한 측정값의 비교	15
탐구 3. 망의 종류에 따른 미세먼지 거름의 정도 비교	19
탐구 4. 망에 정전기를 발생시킬 때 미세먼지 거름의 정도 비교	21
탐구 5. 망의 종류에 따른 바람 통과율 비교	23
V. 결론 및 제언	24
1. 결론	24
2. 제언	25
3. 느낀 점과 아쉬운 점	25
VI. 참고문헌	26

- 표 목차 -

<표 1> 창문 필터 세부사항	7
<표 2> 필터 현미경 관찰	7
<표 3> 미세먼지 측정기 상세정보	8
<표 4> 실험 설계도 : 미세먼지 차단 정도 측정	11
<표 5> 실험 설계도 : 미세먼지 차단 정도 측정(정전기 발생시)	12
<표 6> 실험 설계도 : 공기투과율	13
<표 7> 수조 속의 미세먼지 측정 결과 : 공기투과율	14
<표 8> 미세먼지 측정값	16
<표 9> 미세먼지 측정값(필터)	19
<표 10> 필터별 거름 수치(%)	20
<표 11> 미세먼지 측정값(필터+정전기)	21
<표 12> 필터별 거름 수치(%)	22
<표 13> 필터별 바람통과율	23

- 그림 목차 -

<그림 1> 미세먼지 크기	14
<그림 2> 미세먼지 현미경 사진	15
<그림 3> 측정기A와 측정기B의 결과 비교	16
<그림 4> 측정기A를 먼지 발생원에 더 가까이 놓을 경우	17
<그림 5> 측정기B를 먼지 발생원에 더 가까이 놓을 경우	17
<그림 6> 탐구1과 탐구2의 결과를 모두 합한 그래프	18

I. 탐구 동기와 목적

1. 탐구 동기

미세먼지와 황사가 심한 날씨에는 실내의 공기를 생각하기 전에 건강에 치명적으로 알려진 미세먼지를 피하기 위해서 창문을 열지 않는 상황이다. 하지만 밀폐된 실내 공기가 미세먼지보다 더 해로울 수 있다. 2014년 세계보건기구(WHO)에 따르면, 공기 오염으로 사망하는 사람은 전 세계적으로 700만 명에 달하며, 이 중 약 61%는 다른 아닌 ‘실내 공기’로 사망하는 것으로 밝혀졌다. 이에 미세먼지를 차단하면서 동시에 실내 환기를 시킬 수 있는 방법을 찾기 위해 실험을 설계하고 결과를 활용하여 환기창문의 구조에 대해 연구해 보고자 하였다.

2. 탐구 목적

실내는 공간이 협소해 오염 물질의 밀도가 실외보다 높다. 공기가 정체되어 있기 때문에 이를 흡입할 확률도 높고, 실내에 있는 먼지를 비롯해 불을 이용하여 요리를 할 때 발생하는 일산화탄소, 벽지나 가구에서 나오는 포름알데히드 등 수백 가지의 물질이 실내 공기를 오염시킨다. 실내 공기 오염의 주범으로 들 수 있는 물질로 ‘이산화탄소’가 있다. 한정된 공간에서 호흡을 하면, 산소가 소비되고 이산화탄소가 늘어나 자연스레 공기 질이 나빠진다. 오염된 실내 공기 질을 개선시키는 가장 좋은 방법은 외부의 산소를 안으로 들어올 수 있는 환기이다. 미세먼지 때문에 무조건 창문을 닫고 공기청정기를 사용하는 경우가 많은데 공기청정기는 이산화탄소를 감소시키는 기능이 없고, 고여 있는 공기를 재활용하는 것에 가깝다고 한다.

그래서 미세먼지 농도가 ‘나쁨’ 수준일 때를 제외하고는 환기를 통해 새로운 산소를 공급하는 것이 필요하다. 장기간 환기시키지 않으면 실내공기가 이산화탄소의 증가나 산소의 부족으로 인해 탁해진다. 외부 대기가 미세먼지나 황사로 오염되어 있을 때에는 최소한의 환기는 해야 한다.

또, 미세먼지가 나쁨일 때는 무조건 창문을 닫아 미세먼지 유입을 막는 것이 제일 좋은 방법이지만, 고성능 해파 필터가 장착된 환기 청정기를 사용하는 방법도 대안으로 제시되고 있다. 본 연구에서는 미세먼지 제거에 효율적이면서 통풍이 잘 되어 실내 공기 질을 관리할 수 있는 방법을 찾아보고자 한다.

탐구 목적1. 시중에 사용되고 있는 미세먼지 차단 창문망의 성능을 시험해본다.

탐구 목적2. 미세먼지 차단 창문망의 환기 가능 정도를 시험해본다.

탐구 목적3. 미세먼지 차단과 환기 성능이 좋은 창문망으로 가능한 소재를 주변에서 찾아본다.

II. 선행 연구 고찰 및 이론적 배경

1. 이론적 배경

1) 미세먼지의 정의

미세먼지(fine particle)란 학술문헌상으로 실내공기 중 이중모델(bimodel)에 의하여 $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 이하의 입자상 물질로 정의하고, 보다 큰 입자상 물질(coarse particle)은 $20 \mu\text{m}$ 이상의 영역으로 표현된다. 미래창조과학부나 환경부에서 미세먼지는 PM10 (particle matter, aerodynamic equivalent diameter (AED)가 $10 \mu\text{m}$ 이하)과 PM2.5 (particle matter, aerodynamic equivalent diameter (AED)가 $2.5 \mu\text{m}$ 이하)를 초미세먼지로 규정한 바 있고 미세분진이란 단어와 혼용하여 사용하기 도 한다. 미세먼지는 대부분 각종 산업에서의 공정과 연료의 연소 특히 자동차의 연료연소와 같은 인위적인 발생원에 의해 주로 배출된다. 인위적인 발생원에 의해 배출되는 미세먼지는 대부분 직경이 작은 편이고, 이때 배출되는 미세먼지는 표면에 각종 유해물질이 붙어있다. 미세먼지의 크기분포는 약 $0.005 \sim 500 \mu\text{m}$ 사이에 분포되어있다. 이러한 미세먼지는 화학적으로 보면 크게 이온성분, 탄소성분, 금속성분 등으로 이루어져 있으며, 화학적 조성을 조사하여 발생원을 역 추적하여 미세먼지 저감 방안 도출에 활용하고 있다. 거주용 건물에서 발생하는 미세먼지의 발생원은 취사 및 흡연 등에 의해 발생되는데, 이 입자들은 대부분이 입자크기가 작기 때문에 PM2.5의 농도가 일반 수준보다 최대 30배까지 높아지는 것으로 보고되고 있다. 또한 실외에서 유입되는 미세먼지는 크게 문과 창호의 틈으로 유입되는 미세먼지와 2004년에 시행된 실내공기질 관리법에 의해 설치된 전열교환기를 통해 유입되는 미세먼지로 나뉘며, 이때 유입되는 미세먼지의 입경은 $0.1 \mu\text{m}$ 보다 작다. 미세먼지 중 PM2.5는 점막에서 걸러지지 않고 호흡기계 특히 폐에 깊숙이 침투하고, 폐포에 쉽게 흡착될 수 있어 인체에 미치는 영향이 매우 크고, 심한 경우 폐암을 유발하기 때문에 2013년 WHO에서는 미세먼지를 1급 발암물질로 규정하였다.

2) 미세먼지의 위해성과 차단방법

먼지는 대기 중에 떠다니거나 흩날려 내려오는 입자상 물질을 말한다. 이 먼지를 입자의 크기에 따라 분류하게 되고 입자 크기가 $10 \mu\text{m}$ 이하로 작은 것들을 미세먼지라고 한다. 크기에 따라서 PM 10, PM 2.5라고 부르고 있다. 미세먼지를 이루는 성분은 그 미세먼지가 발생한 지역이나 계절, 기상 조건 등에 따라 달라질 수 있다. 대개 자연적/인위적 발생원으로 나누게 되는데, 자연적인 발생원은 흙먼지나 식물의 꽃가루, 바닷물에서 생기는 소금 등이 있고, 인위적인 것은 매연, 자동차 배기가스, 건설현장 등에서 발생하는 날림먼지, 공장 내 분말 형태의 원

자제나 가루성분, 소각장의 연기 등이 있다.

대부분 우리가 흡입하는 먼지는 코털이나 기관지 점막에 걸러져 배출된다. 반면 크기가 작은 PM10이나 PM 2.5는 머리카락 굵기의 1/5-1/7 정도인 10 μ m 이하로 매우 작기 때문에 우리 몸 속으로 스며들 수 있다. 외부 물질이 우리 몸으로 들어왔기 때문에 그것을 제거하기 위한 염증 반응이 나타나, 기도, 폐, 심혈관계, 뇌 등 우리 몸의 각 기관에 영향을 미치게 된다. WHO에서 발암물질로 지정을 한 만큼 모두에게 나쁠 수 있다만, 당연히 노인이나 유아, 임산부, 심장, 순환기, 호흡기 질환 환자들은 건강한 성인에 비해서 더 영향을 많이 받을 수 있기 때문에 각별히 주의가 필요하다. 흡입을 통해 우리 몸에 미세먼지가 들어오기 때문에 외부와 접촉이 있는 장기의 질환을 먼저 생각해 볼 수 있다. 알레르기 비염이나 기관지염, 폐기종 천식의 발생이나 악화가 발생할 수 있고, 알레르기 결막염이나 각막염도 발생 할 수 있다. 미세먼지는 크기가 작아 폐포를 통해 혈관에 침투해 염증을 일으킬 수 있고 이로 인해 협심증 뇌졸중으로까지 이어질 수 있다. 뿐만 아니라 대기 오염에 의해 우리가 먹는 농작물과 생태계에도 피해를 줄 수 있다.

3) 실내 공기질 관리

실내 환경 재질자의 건강과 평안에 영향을 주는 공기 질로 정의할 수 있으며 일상 생활에서 건축물 내부의 공기 질이라고 간략히 정의한다. 보통 도시인의 경우 1일 24시간 중 85% 이상을 다양한 실내공간에서 생활하는 것으로 보고되고 있으며 여기서 실내 환경이란 단순히 사무실이나 일반 가정을 가리키는 것이 아니라, 실내 작업장, 공공건물, 병원, 지하시설물, 상가, 교통수단 등 광범위하기 때문에 이처럼 다양한 실내공간이 오염되었을 경우, 장기간 실내에서 생활하는 사람은 인체에 큰 영향을 받을 수 있다. 지금까지의 대기오염의 연구는 실외환경에 맞추어져왔다. 인체 건강 및 위생에 치명적인 문제가 되는 오염물질이 없는 것으로 생각되어졌기 때문이라고 할 수 있다. 하지만 실외의 심각한 대기오염이 실내의 공기질에도 영향을 주는 상황이 되어, 함께 연구되어야 한다고 생각한다. 실내 공기질의 중요성은 다음의 이유로 중요하다.

- ① 인간의 생활 중 대략 80% 이상을 실내에서 보낸다.
- ② 대기오염(실외공기오염)과 달리 실내공기는 한정된 공간에서 인공 설비를 통해 오염된 공기가 계속 순환하면서 그 농도가 인체에 영향을 끼친다.
- ③ 우리 주변의 새로운 건축자재와 생활용품에서 예기치 못한 오염물질이 나온다.
- ④ 에너지 절감에 따른 건물의 밀폐화로 실내에 머무르는 사람들이 건강과 관련된 증상을 호소하는 경우가 잦아진다.

또, 우리나라의 실내공기질 규제에서 미세먼지에 대한 기준은 총량에 대한 기준으로 위해성이 가장 큰 0.3~1 μ m 입자의 질량은 전체 질량의 4%미만으로 총량규제는 실제로 위해성 여부를 진단하는데 문제가 있고 이미 선진국에서는 입자의 크기별 개수로 규제를 하고 있다.

2. 선행 연구

-미세먼지 제거에 관한 연구

강소운, 박해민(2015)은 물의 응집력이 미세먼지를 모으는데 효과가 있음을 밝혔고, 물을 사용하기 전에 미세먼지가 (+)나 (-)의 극성을 가진다면 물과 서로 당기는 힘이 생겨 더욱 잘 흡착된다고 실험을 통해 증명하였다.

유미(2008)는 온도가 높으면 대기먼지도 많아지고, 습도가 낮으면 대기먼지도 적어진다는 것을 밝혀내고, 바람과 대기먼지는 관계가 없음을 보였다. 여러 번의 실험 끝에 황사에 효과가 있을 것으로 예측되는 창호지와 옥수수 수염으로 만든 마스크와 초극세사 재질과 부직포로 만든 마스크를 제작해보았다.

김현수(2010)는 학교 내의 부유 물질 및 미세먼지의 실태를 파악하여, HEPA필터를 이용한 실내 미세먼지, 부유 세균 제거에 관한 연구를 진행하였다.

-실내 공기 질에 관한 연구

김연홍(2012)은 환풍기가 설치된 방향이 항상 건물의 위쪽에만 형성되는 점에서 착안하여, 환풍기를 어느 위치에 설치하였을 때 환기의 효율이 향상되는지 탐구하였다. 환기 측정 실험을 하기 위하여 아크릴 상자를 자체 제작하여, 환풍구의 흡입구와 배출구 위치에 따른 환풍 정도를 측정하는 실험을 통하여 환풍기의 효율성을 검증해 보았다.

3. 탐구의 독창성

지금까지의 대부분 선행연구에서는 미세먼지의 발생과 차단이 가능한 물질들을 밝히는 연구가 이루어졌고, 상품으로 출시되어 있는 제품들도 다양하였다. 이에 한걸음 더 나아가 미세먼지가 가득한 상황 속에서 실외공기를 차단하는 방법만이 최선이 아니라 적절한 환기가 이루어지는 환기가능한 창문망에 관한 연구를 시도하였다는 점이 다른 연구와 차별성을 갖는다. 삼베라는 새로운 소재를 사용하여 친환경적인 필터로서 환기와 미세먼지 차단의 가능성을 발견해 보고자 하였다.

III. 탐구 절차 및 방법

1. 탐구 문제 및 가설

- 1) 연소를 통한 미세먼지의 발생(실험 공간 설계) 정도는 어떠한가?
- 2) 두 대의 미세먼지 측정기는 동일한 상황에서 측정 오차를 보이지 않는가?
- 3) 기존의 창문망은 미세먼지를 차단하여 깨끗한 실내 공기 질을 유지하는 기능이 있는가?
- 4) 미세먼지를 차단 기능을 높이기 위해 창문망에 추가할 수 있는 효과적인 방법은 무엇이 있을까?
- 5) 5가지 창문망 중 통기성이 가장 높은 소재는 어떠한 종류일까?
- 6) 실내의 공기를 쾌적하게 유지하면서 미세먼지를 차단할 수 있는 창문필터로서 삼베가 이용될 수 있을까?

2. 탐구 절차

날짜	탐구 내용
8.8	탐구1. 미세먼지 발생 관찰
8.10	탐구2. 미세먼지 측정기를 통한 측정값의 비교
8.11	탐구3. 망의 종류에 따른 미세먼지 거름의 정도 비교
8.13	탐구4. 망에 정전기를 발생시킬 때 미세먼지 거름의 정도 비교
8.15	탐구5. 망의 종류에 따른 바람 통과율 비교

3. 준비물

- 시중에서 판매되는 60L의 리빙박스 2개
- 향, 양초, 솜, 성냥
- 미니선풍기, 프로펠러 외
- 정전기 실험 지팡이 : 지팡이 손잡이에 부착된 스위치를 눌러주면 지팡이 속에 내장된 소형 발전기가 지팡이 끝부분에 정전기를 발생시키는 장치이다.



1) 창문 필터 종류

여기에 사용한 소재로는 일반방충망, 미세방충망, 미세먼지 제거 창문필터, 프리필터, 삼베 5가지이다. 이 외에도 미세한 입자를 제거할 수 있는 필터로 가습기나 공기청정기 외에도 청소기, 무균실 등 많은 용도로 사용되고 있는 HEPA필터(High Efficiency Particulate Air)가 있다. 미세먼지나 세균을 99.7% 이상 제거할 수 있어 세균이나 먼지에 의해 오염되는 것을 방지해준다. 하지만 초기 실험 설계에 포함되었던 HEPA필터는 위의 5가지 필터에 비해 이미 기존 공기청정기에서 미세먼지 제거 기능이 좋은 것으로 알려져 널리 사용하고 있어 제외하고 시작하였다. 현재까지는 미세먼지 차단과 공기 질을 유지하기 위해서는 환기 후 공기청정 시스템 이용하는 방안만이 알려져 있다.



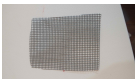
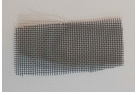
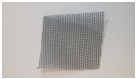



<공기청정기 내의 필터 기능들>

- (1) 일반방충망 : 사전적 정의로 공기의 유통을 위한 개구부(開口部)에서 곤충류나 쥐, 벌레 등의 침입을 방지하기 위해서 치는 눈이 촘촘한 그물로서, 페인트 칠한 철 · 황동 · 구리 · 스테인리스 · 사란(Saran) 등으로 만들어진다.
- (2) 미세방충망 (촘촘망) : 일반방충망보다 훨씬 촘촘하게 만들어져 바람이 불면 정전기를 일으키고 이 정전기가 대기먼지를 잡아주는 역할을 하게 제작되었다.
- (3) 미세먼지 제거 창문필터 : 나노섬유라는 특수섬유재질로 만들어져서 미세먼지가 흡착되고, 시원하게 환기할 수 있도록 만들어졌다. (나노섬유 : 원료인 고분자물질에 고전압 전기장을 걸면, 원료물질 내부에서 전기적 반발력이 생겨 분자들이 뭉치고 나노 크기의 실타래 형태로 갈라진다. 전기장이 강할수록 가늘게 찢어지기 때문에 1~1,000 나노미터의 가늘기로 실이 뽑아진다. 이렇게 뽑은 실을 일일이 짜서 천을 만드는 것은 아니고, 함께 모으기만 하면 서로 얽혀 천이 된다. 부피에 비해 표면적이 엄청나게 크기 때문에 필터용으로 쓰면 탁월한 여과효과를 볼 수 있다.)
- (4) 프리필터 : 일반적으로 공기청정기에서 동물의 털, 큰 먼지 등을 걸러주는 필터이다. 가장 바깥쪽에 위치한 필터로서, HEPA/탈취 필터 등의 고성능 필터를 보호하고 수명을 늘려

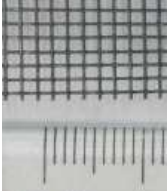
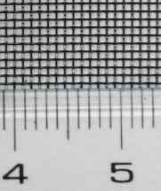
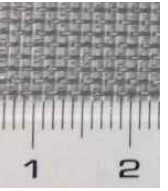


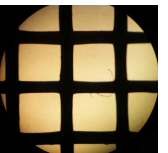
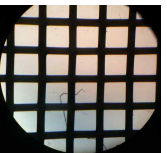

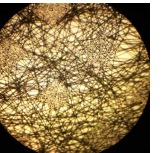
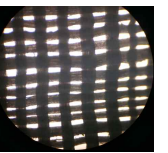
주는 역할을 한다.

- (5) 삼베 : 삼으로 짠 천으로, 삼 껍질의 안쪽에 있는 섬유를 이용하여 짜는데, 수분을 빨리 흡수·배출하고 자외선을 차단하며 곰팡이를 억제하는 항균성과 항독성이 있다. 또한 견고성과 내구성이 뛰어나 직물용 이외에 로프·그물·타이어 등을 만드는 데도 사용한다.

<표 1> 창문 필터 세부사항

종 류	사 진	사용 유지	수 명	미세먼지 차단정도 (세부성능 참고)
일반 방충망		물청소가 가능	5년 전후	미세먼지 차단 불가
쭈쭈망 : 정전기식 필터		물청소가 가능	외부손상시까지 사용가능	58%
미세먼지 창문필터		자연청소(빗물)이나 물청소가 가능	외부손상시까지 사용가능	미세먼지 차단율 80%
프리필터		물청소가 가능	반영구적으로 사용가능	50%
해파필터 (실험 제외)		종이재질로 물청소 불가능	기본 360시간 정도 사용하고 교체해야 함	0.3 마이크로 정도 입자 99.97% 여과율
삼베		물에 강한 소재	내구성이 뛰어나	측정 해본적 없음

<표 2> 필터 현미경

	일반망	쭈쭈망	미세먼지망	필터	삼베
틈새 간격					
현미경 사진					

2) 미세먼지측정기

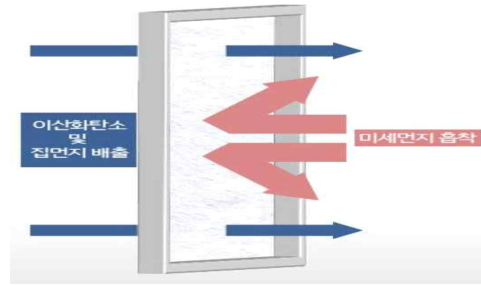


<표 3> 미세먼지 측정기 상세정보

구분		특징
PM2.5	측정영역	0~999 ug/m3
	해상도	1 ug/m3
	정확도	± 10%
PM10	측정영역	0~999 ug/m3
	해상도	1 ug/m3
	정확도	± 10%
CO ₂ 농도	측정영역	0~9999 ppm
	해상도	1 ppm
	정확도	± 50 ppm / ±5%
온도	측정영역	-40℃ ~ 80℃
	해상도	0.1℃
	정확도	±0.5℃
습도	측정영역	0~100% RH
	해상도	0.1% RH
	정확도	±31% RH

4. 탐구 방법

이번 연구에서는 미세먼지 차단과 환기를 위한 창문망의 이상적인 구성은 아래의 그림과 같다. 기존에 판매되는 제품들에서도 두 가지 기능 모두를 위해 설계하고 실험했다고는 하지만, 사실상 광고에만 그치고, 사용 후기는 그다지 좋지 않다. 미세먼지 차단은 공기 구멍이 작아야 하고, 통풍은 공기구멍이 커야 하는 모순된 결과를 보여주기 때문에 이 두 가지 기능을 절충하는 최선의 결과를 보여주는 연구는 아직 없다. 실제 우리 주변에는 화학 제품으로 만든 창문 필터만이 가득하다.



이 실험에서는 기존 제품들과는 차별성을 가진 천연섬유인 삼베의 기능을 비교해 보고, 그 가능성을 찾아보고자 하였다.

탐구 1. 미세먼지 발생 관찰

미세먼지를 발생시키기 위해 솜과 성냥 등을 태워서 사용하였다. 이때 발생한 연기가 정말로 미세먼지가 맞는지 확인해보았다.

☞ 탐구과정

- ① 수조 안에 미세먼지 측정기를 넣는다.
- ② 증발접시에 솜을 잘라 넣고 불을 붙인다.
- ③ 수조 뚜껑을 닫고 미세먼지의 양을 잰다.
- ④ 솜 대신 양초나 성냥, 향을 넣어 태울 때 미세먼지의 양을 잰다.
- ⑤ 다시 증발접시에 솜을 넣고 불을 붙인다.
- ⑥ 받침 유리를 물티슈로 닦고 물기가 마르기 전에 연기 위에 갖다 댄다.
- ⑦ 현미경으로 관찰한다.



탐구 2. 미세먼지 측정기를 통한 측정값의 비교

탐구에서 두 개의 미세먼지 측정기를 사용하였다. 그런데 두 측정기에서 측정한 미세먼지 농도가 조금씩 달랐다. 그래서 두 측정기의 측정값이 어떤 상관관계가 있는지 살펴보았다.

☞ 탐구과정


- ① 60L 박스의 바닥 한쪽에 구멍을 낸다.
- ② 구멍 안쪽으로 측정기의 탐침을 넣는다.
- ③ 측정기와 박스 사이에 틈새가 없도록 글루건으로 밀폐시킨다.
- ④ 두 박스를 세로로 세워 입구를 서로 마주보게 붙인다.
- ⑤ 증발접시 안에 가로 5cm 세로 5cm로 자른 탈지면을 넣고 성냥으로 불을 붙인 즉시 박스 안에 넣는다.
- ⑥ 두 박스를 집게로 집어서 입구가 서로 완전히 붙게 한다.
- ⑦ 측정기를 작동시켜 발생한 미세먼지 양을 측정한다.
- ⑧ 증발접시의 위치를 바꿔가면서 여러 번 측정해본다.



탐구 3. 망의 종류에 따른 미세먼지 거름의 정도 비교

방충망 재료들이 얼마나 미세먼지를 걸러주는지 알아보았다. 앞의 실험에서 사용했던 두 박스 사이에 망을 설치하고 박스의 한쪽에 미세먼지를 발생시킨 후, 양쪽의 측정기에서 측정된 미세먼지 측정값을 비교하였다.

<표 4> 실험 설계도 : 미세먼지 차단 정도 측정

투과율 측정 측정기 설치	창문 필터	미세먼지 발생 측정기 설치
		
	실험 재료 5가지	

☞ 탐구과정

- ① 측정기가 설치된 한 박스의 입구를 망으로 막는다.
- ② 측정기가 설치된 두 박스를 세로로 세워 입구를 서로 마주보게 붙인다.
- ③ 한 박스에 미세먼지를 발생시킨다. (이 박스를 ‘집 바깥’이라고 가정하고, 그 반대쪽에 있는 박스를 ‘집안’이라고 가정한다.)
- ④ 두 박스를 집게로 집어서 입구가 서로 완전히 붙게 한다.
- ⑤ 측정기를 작동시켜 발생한 미세먼지 양을 측정한다.
- ⑥ 미세먼지 발생 증발접시의 위치를 다른 박스로 옮겨 다시 해본다.



탐구 4. 땅에 정전기를 발생시킬 때 미세먼지 거름의 정도 비교

미세먼지를 걸러주는 필터는 정전기를 이용한다. 방충망 재료에 정전기 발생 장치를 연결하여 정전기를 발생시킬 때 방충망 재료들이 얼마나 미세먼지를 걸러주는지 알아보았다.

<표 5> 실험 설계도 : 미세먼지 차단 정도 측정(정전기 발생시)

투과율 측정 측정기 설치	창문 필터	정 전 기 발 생	미세먼지 발생 측정기 설치
			
	실험 재료		

☞ 탐구과정

- ① 앞의 실험과 같이 방충망 재료들을 박스 가운데에 놓고 미세먼지를 발생시킨다.
- ② 이때 땅에 정전기 발생장치를 붙이고 정전기를 발생시킨다.
- ③ 앞의 실험처럼 미세먼지 양을 측정한다.



탐구 5. 망의 종류에 따른 바람 통과율 비교

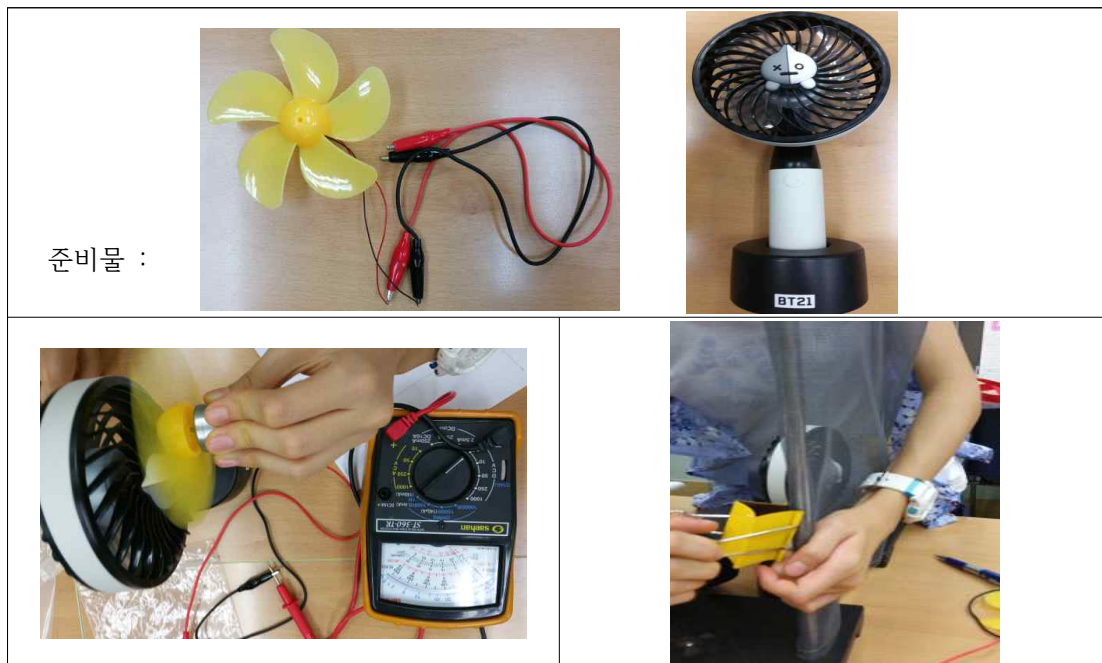
<표 6> 실험 설계도 : 공기 투과율

바람 발생 (선풍기)	창문 필터	프로펠러 설치 - 전압 측정
		
	실험 재료	

방충망은 바람이 잘 통해야 한다. 그래서 여러 가지 방충망 재료들이 얼마나 바람을 잘 통과 시키는지 살펴보았다.

☞ 탐구과정

- ① 바람개비에 테스트기를 연결한다.
- ② 바람개비를 핸드선풍기 앞에 놓고 선풍기를 작동시킨다.
- ③ 선풍기를 1단부터 3단까지 올리면서 테스트기에 나타난 전압을 측정한다.
- ④ 스탠드 두 개를 20cm~30cm 떨어뜨려 세운다.
- ⑤ 스탠드 기둥 사이에 망을 놓는다.
- ⑥ 망 뒤에 선풍기를 놓고, 망 앞에 바람개비를 놓아 테스트기 전압을 측정한다.

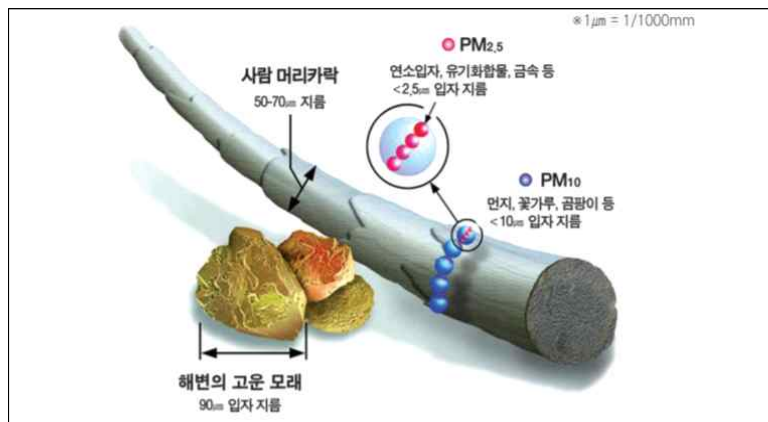


IV. 탐구 결과

탐구 1. 미세먼지 발생 측정

막힌 수조안에서 향, 성냥, 숨, 양초를 연소를 시킨 후 미세먼지를 측정해보았다. 측정범위를 PM₁₀, PM_{2.5}로 나누어 실험하였다.

일반적으로 50 μ m를 먼지로 보고, 미세먼지는 다시 지름이 10 μ m이하인 PM₁₀과 지름이 2.5 μ m이하인 PM_{2.5}로 나눈다. PM₁₀이 사람의 머리카락 지름(50~70 μ m)보다 약 1/5~1/7 정도로 작은 크기라면, PM_{2.5}는 머리카락의 약 1/20~1/30에 불과할 정도로 매우 작다.



<그림 1> 미세먼지 크기

아래의 결과 4가지 재료 중에서 숨을 사용할 때 미세먼지가 가장 많이 발생하였다. 또, PM₁₀에서 뿐만 아니라 PM_{2.5}에서도 숨의 연소시 미세먼지가 가장 많이 발생하였다. 나머지 재료에 비해 숨이 타오르는 정도가 제일 활발해 보였다.

<표 7> 수조 속의 미세먼지 측정결과

먼지 발생원	측정범위	측정기1	측정기2
향 1cm	PM2.5	735	1438
	PM10	945	1349
향 2cm 1회	PM2.5	603	1137
	PM10	793	1089
향 2cm 2회	PM2.5	624	1129
	PM10	818	1085

성냥 1개	PM2.5	2119	3000
	PM10	2536	2931
성냥 2개 1회	PM2.5	645	2610
	PM10	1303	3277
성냥 2개 2회	PM2.5	1525	2614
	PM10	2460	3322
양초 1회	PM2.5	1145	2597
	PM10	1709	2561
양초 2회	PM2.5	158	301
	PM10	533	630
숨 1회	PM2.5	2108	2532
	PM10	2582	2947
숨 2회	PM2.5	2174	3000
	PM10	2360	3063
숨 3회	PM2.5	2233	3000
	PM10	2431	3017

아래의 그림은 미세먼지를 눈으로 확인하고 싶어서 발생하는 연기를 투명유리에 담아 현미경으로 관찰한 것이다.



<그림 2> 미세먼지 현미경 사진

눈금은 현미경에 사용하는 마이크로미터를 400배 확대한 사진이다. 눈금 한 간격이 10 μ m (0.01mm)인데 숨을 태울 때 나온 미세먼지를 보면 10 μ m보다 훨씬 작은 것이 확인 된다. 숨이 타고 남은 재의 크기도 10 μ m보다 더 작다. 이때 나온 먼지는 50 μ m가 넘기도 한다.

실제 문닫고 요리할 때 실내 미세먼지가 60배 증가하여 실외에서 들어오는 미세먼지보다 훨씬 위험하다는 사실을 확인해볼 수 있었다. 향후 <탐구3>과 <탐구4>에서 미세먼지 발생 상황을 이와 동일하게 설계하였다.

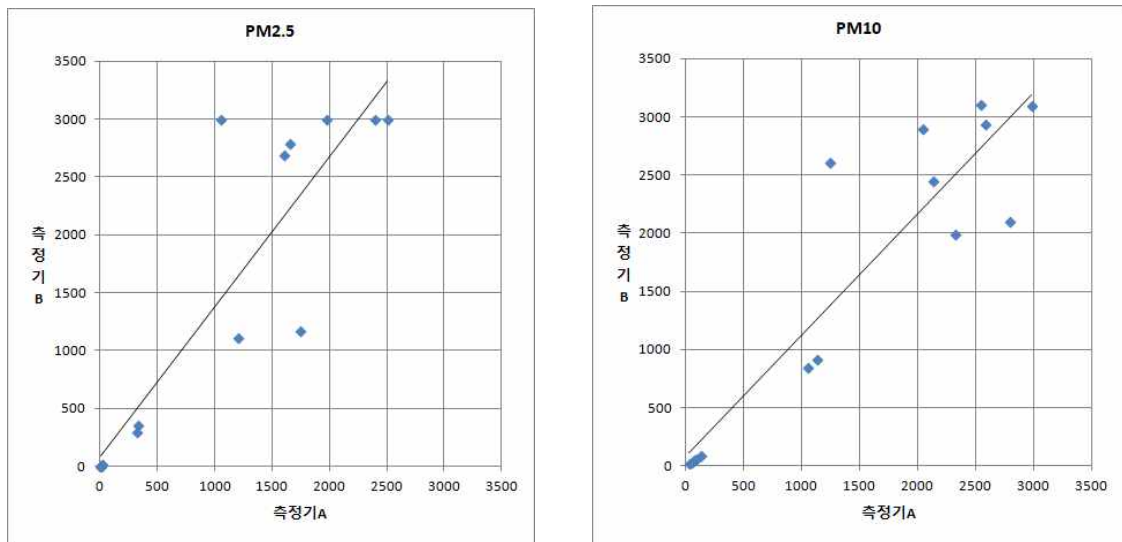
탐구 2. 두 대의 미세먼지 측정기를 통한 측정값의 비교

이 실험은 이후 사용될 두 대의 미세먼지 측정기의 오차 유무를 확인하기 위해서 진행하였다.

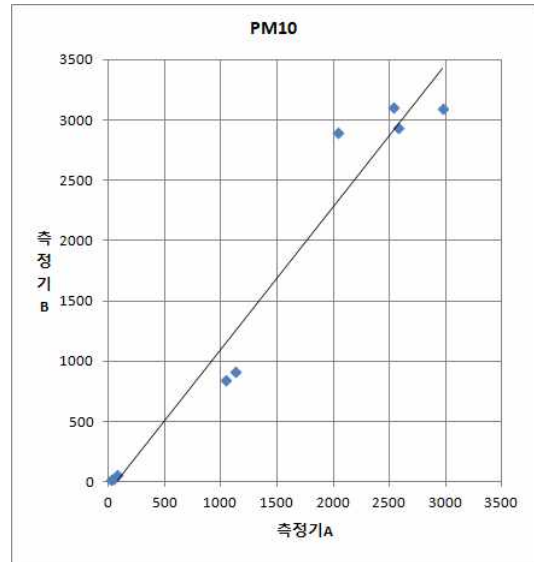
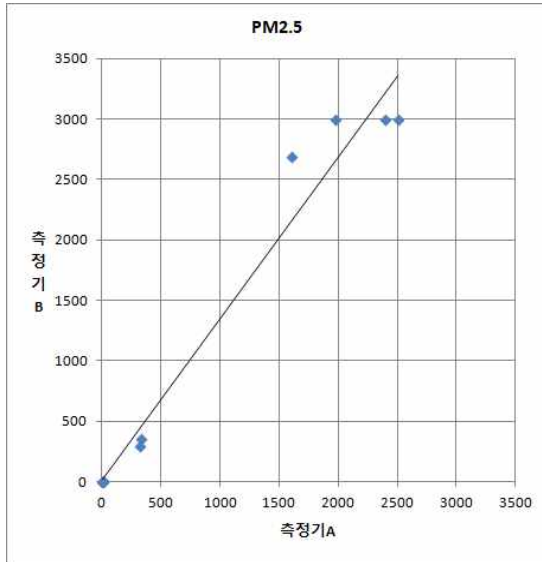
<표 8> 미세먼지 측정값 (필터)

횟수	측정기	측정 범위	먼지 발생전	발생 직후	1분 후
1	A	PM2.5	5	327	323
		PM10	29	1127	1042
	B	PM2.5	6	360	303
		PM10	27	918	848
2	A	PM2.5	7	2502	1973
		PM10	41	2973	2038
	B	PM2.5	8	3000	3000
		PM10	35	3105	2901
3	A	PM2.5	12	1659	1049
		PM10	66	2128	1236
	B	PM2.5	13	2792	3000
		PM10	52	2453	2618
4	A	PM2.5	14	1605	2401
		PM10	81	2576	2533
	B	PM2.5	18	2699	3000
		PM10	66	2947	3107
5	A	PM2.5	21	1204	1749
		PM10	121	2316	2784
	B	PM2.5	25	1118	1175
		PM10	95	1994	2106

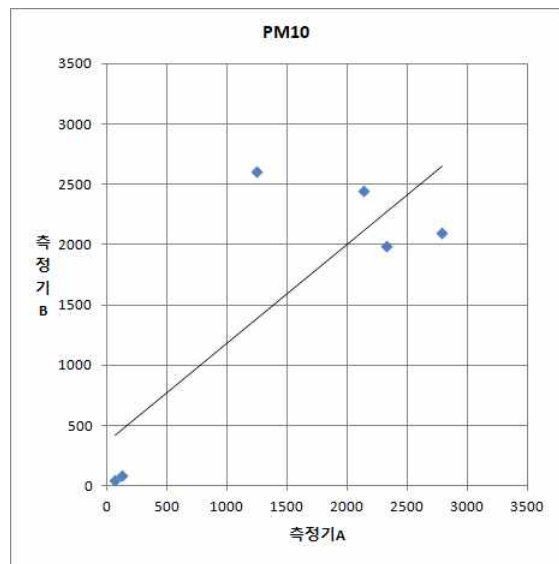
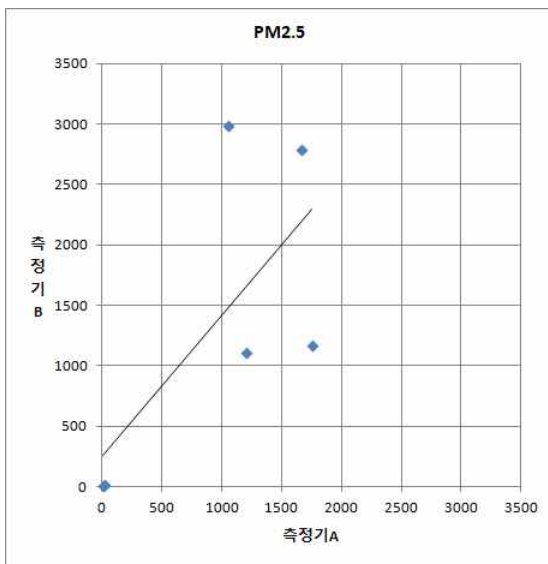
다음은 측정기A와 측정기B의 측정값들 사이의 상관관계를 나타낸 그래프이다.



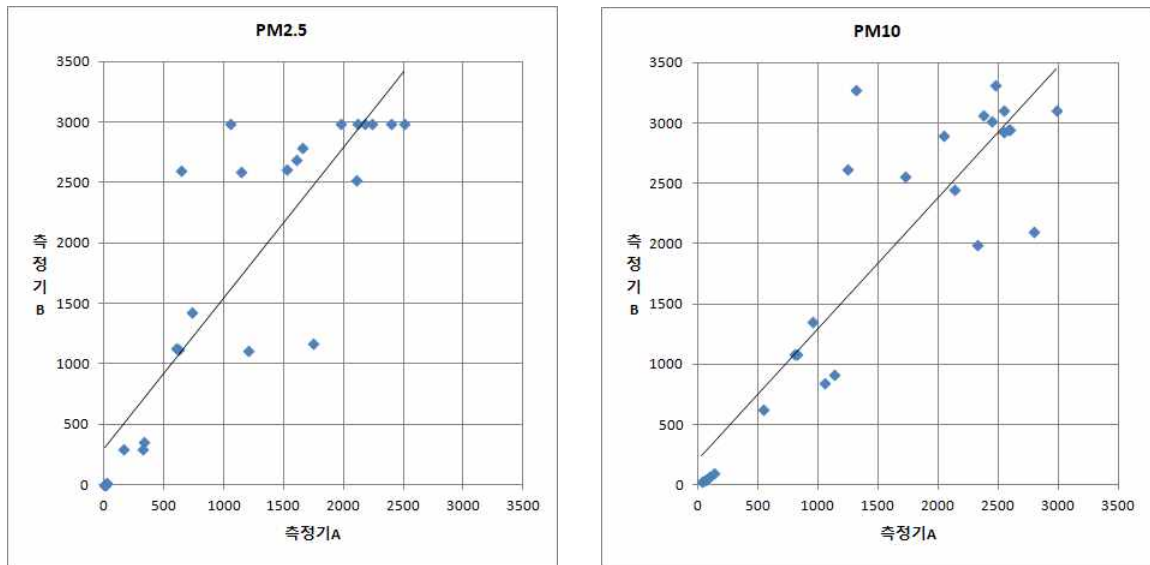
<그림 3> 측정기A와 측정기B의 결과 비교



<그림 4> 측정기A를 먼지 발생원에 더 가까이 놓을 경우



<그림 5> 측정기B를 먼지 발생원에 더 가까이 놓을 경우



<그림 6> 탐구1과 탐구2의 결과를 모두 합한 그래프

위의 실험들 결과 측정기A와 측정기B의 값은 서로 정확한 값으로 일치하지 않고, 측정기B가 측정기A보다 더 높은 값을 나타낸다. 대체로 두 값이 비례관계에 있기는 하지만, 측정기A 쪽에 미세먼지 발생원을 가까이 둘 때 더 비슷한 값을 나타낸다. 따라서 이하 연구에서는 측정기값이 일치될 수 있도록 측정기B보다 측정기A를 더 가까이 두고 실험하였다.

탐구 3. 망의 종류에 따른 미세먼지 거름의 정도 비교

(미세먼지 발생원이 있는 쪽이 ‘밖’, 없는 쪽이 ‘안’)

<표 9> 미세먼지 측정값 (필터)

종류		위치	측정기	측정 범위	먼지발생전	발생 직후	1분 후
일반망	1회	밖	A	PM2.5	12	1562	943
				PM10	75	1769	1171
		안	B	PM2.5	13	2428	2330
				PM10	54	2276	2066
	2회	밖	B	PM2.5	21	3000	3000
				PM10	80	2768	2732
		안	A	PM2.5	21	2068	1946
				PM10	118	2705	2106
츄츄망	1회	밖	A	PM2.5	14	2407	1369
				PM10	82	2712	1589
		안	B	PM2.5	14	3000	3000
				PM10	58	2766	2737
	2회	밖	B	PM2.5	16	2040	3000
				PM10	66	2576	2870
		안	A	PM2.5	17	2283	2783
				PM10	96	2926	2794
미세먼지망	1회	밖	A	PM2.5	5	972	1084
				PM10	29	1152	1320
		안	B	PM2.5	4	3000	3000
				PM10	19	2846	2803
	2회	밖	B	PM2.5	18	2705	3000
				PM10	72	3131	3038
		안	A	PM2.5	19	1009	1175
				PM10	106	2227	2365
프리필터	1회	밖	A	PM2.5	11	1428	1401
				PM10	61	2349	2398
		안	B	PM2.5	10	89	220
				PM10	41	332	616
	2회	밖	B	PM2.5	6	3000	3000
				PM10	26	3056	2997
		안	A	PM2.5	7	581	2322
				PM10	41	1752	2578
삼배	1회	밖	A	PM2.5	3	1343	2876
				PM10	16	2163	2934
		안	B	PM2.5	3	434	330
				PM10	13	1146	890
	2회	밖	B	PM2.5	5	3000	3000
				PM10	19	2813	2681
		안	A	PM2.5	6	46	2043
				PM10	37	241	2580

<표 10> 필터별 거름 수치(%)

종류	바깥 측정기	측정 범위	먼지 발생 직후 거름%	1분 후 최종 거름%
일반망	A	PM2.5	-55%	-147%
		PM10	-29%	-76%
	B	PM2.5	31%	35%
		PM10	2%	23%
츄츄망	A	PM2.5	-25%	-119%
		PM10	-2%	-72%
	B	PM2.5	-12%	7%
		PM10	-14%	3%
미세먼지망	A	PM2.5	-209%	-177%
		PM10	-147%	-112%
	B	PM2.5	63%	61%
		PM10	29%	22%
프리필터	A	PM2.5	94%	84%
		PM10	86%	74%
	B	PM2.5	81%	23%
		PM10	43%	14%
삼베	A	PM2.5	68%	89%
		PM10	47%	70%
	B	PM2.5	98%	32%
		PM10	91%	4%

<표 10>에서 거름 %는 망이 얼마나 미세먼지를 걸러내 주는지를 나타낸 값이다. 거름 % 계산 방법은 (바깥 측정값 - 안쪽 측정값) / 바깥 측정값 × 100 (%)으로 구하였다. 그 결과, 일반망과 츄츄망, 미세먼지망은 미세먼지를 거의 걸러주지 못하였다. 음수(-)%가 나오는 경우가 있는데 이것은 바깥 측정값보다 안쪽 측정값이 더 크게 나온 경우이다. 츄츄망과 미세먼지망은 기능성임에도 불구하고 차단되지 않음을 볼 수 있었다. 대신 프리필터와 삼베는 미세먼지를 걸러주는 효과가 이 실험에서 드러났다.

탐구 4. 땅에 정전기를 발생시킬 때 미세먼지 거름의 정도 비교

<표 11> 미세먼지 측정값 (필터+정전기)

종류		위치	측정기	측정 범위	먼지발생전	발생 직후	1분 후
일반망	1회	밖	A	PM2.5	9	1786	1650
				PM10	35	1626	1518
		안	B	PM2.5	10	861	794
				PM10	58	1093	1020
	2회	밖	B	PM2.5	23	1736	1717
				PM10	121	2608	2503
		안	A	PM2.5	23	735	757
				PM10	88	1474	1470
춤춤망	1회	밖	A	PM2.5	8	1053	1033
				PM10	49	1299	1219
		안	B	PM2.5	8	3000	3000
				PM10	33	2855	2655
	2회	밖	B	PM2.5	25	3000	3000
				PM10	83	3078	3165
		안	A	PM2.5	15	1129	2503
				PM10	79	2078	3027
미세먼지망	1회	밖	A	PM2.5	15	2861	2498
				PM10	79	2973	2583
		안	B	PM2.5	20	252	251
				PM10	66	711	725
	2회	밖	B	PM2.5	12	2580	2826
				PM10	68	2737	2953
		안	A	PM2.5	10	114	452
				PM10	40	442	1120
프리필터	1회	밖	A	PM2.5	6	3000	3000
				PM10	13	3423	3256
		안	B	PM2.5	6	2491	2956
				PM10	25	3243	3543
	2회	밖	B	PM2.5	6	1060	3000
				PM10	32	2578	3266
		안	A	PM2.5	6	275	385
				PM10	25	817	990
삼베	1회	밖	A	PM2.5	3	1449	1030
				PM10	20	1760	1198
		안	B	PM2.5	3	10	1898
				PM10	12	47	2485
	2회	밖	B	PM2.5	3	3000	3000
				PM10	12	3825	3531
		안	A	PM2.5	3	413	526
				PM10	20	1256	1500

필터의 조건은 일정 크기 이상의 입자는 거르고 그 이하 입자는 통과시키는 것인데, 천연소재로 일정크기를 구성하는 것은 비용이 많이 들기 때문이다. 최근에는 먼지가 전하를 띄는 성질을 이용하여 고압 전류가 흐르는 금속 망에 공기를 통과시켜 먼지를 제거하는 방식을 사용하고, 일반적인 필터는 그냥 아주 큰 입자의 먼지만을 거른다. <표 12>에서는 삼베를 비롯한 미세먼지망 등 효과를 보이는 망이 나타났다.

<표 12> 필터별 거름 수치(%)

종류	바깥 측정기	측정 범위	먼지 발생 직후 거름%	1분 후 최종 거름%
일반망	A	PM2.5	52%	52%
		PM10	33%	33%
	B	PM2.5	58%	56%
		PM10	43%	41%
쭈쭈망	A	PM2.5	-185%	-190%
		PM10	-120%	-118%
	B	PM2.5	62%	17%
		PM10	32%	4%
미세먼지망	A	PM2.5	91%	90%
		PM10	76%	72%
	B	PM2.5	96%	84%
		PM10	84%	62%
프리필터	A	PM2.5	17%	1%
		PM10	5%	-9%
	B	PM2.5	74%	87%
		PM10	68%	70%
삼베	A	PM2.5	99%	-84%
		PM10	97%	-107%
	B	PM2.5	86%	82%
		PM10	67%	58%

모든 실험은 측정값의 오차를 확인하기 위해 모두 2회씩 실시하였다. <탐구 3>에서 효과를 보이지 못했던 일반망과 미세먼지망이 정전기를 발생시킬 때는 미세먼지를 걸러주는 효과가 나타났다. 일반망보다는 미세먼지망의 거름 효과가 더 좋았고, 프리필터와 삼베도 측정기 B에서는 거름의 효능을 보여주었다.

탐구 5. 망의 종류에 따른 바람 통과율 비교

<탐구 5>에서는 미니선풍기의 바람의 세기 순서대로 1단, 2단, 3단 바람을 필터에 통과시켜 통과된 바람의 강도를 측정하기 위해 반대편에서 통과된 바람으로 돌아가는 프로펠러의 전압수를 측정해보았다.

<표 13> 필터별 바람통과율

종류	전압수 (V)					
	1단 세기		2단 세기		3단 세기	
일반망	1회	0	1회	0.20	1회	0.30
	2회	0	2회	0.20	2회	0.30
	3회	0	3회	0.17	3회	0.33
	평균	0	평균	0.19	평균	0.31
춤춤망	1회	0	1회	0.10	1회	0.36
	2회	0	2회	0.15	2회	0.35
	3회	0	3회	0.15	3회	0.37
	평균	0	평균	0.13	평균	0.36
미세먼지망	1회	0	1회	0	1회	0
	2회	0	2회	0	2회	0
	3회	0	3회	0	3회	0
	평균	0	평균	0	평균	0
프리필터	1회	0	1회	0	1회	0
	2회	0	2회	0	2회	0
	3회	0	3회	0	3회	0
	평균	0	평균	0	평균	0
삼베	1회	0	1회	0	1회	0
	2회	0	2회	0	2회	0
	3회	0	3회	0	3회	0
	평균	0	평균	0	평균	0

바람의 통과율에 유의한 값을 보이는 필터는 일반망과 춤춤망 두가지였다. 바람의 세기가 1단인 경우에는 모두 반응을 보이지 않았고, 2단부터 결과를 보여주었고, 바람의 세기가 세질수록 일반망보다 통기성을 가진 제작된 춤춤망에서 좋은 결과를 보여주었다. 나머지 미세먼지망과 프리필터, 삼베는 바람을 통과시키는 실험에서는 의미 있는 값을 보여주지 못했다.

V. 결론 및 제언

1. 결 론

미세먼지, 초미세먼지가 극성을 부리던 올해 봄이 생각난다. 이젠 미세먼지 마스크를 항상 가방에 가지고 다니게 되었고, 이 먼지가 호흡기를 통해 들어왔을 때 치명적이라는 무서운 뉴스를 들으면서 우리 생활과는 분리해서 생각할 수 없는 상황임을 깨닫고 있다. 이번 주제를 정하면서 그동안 많은 연구들이 이루어지고, 또 제품을 만들기 위해 연구한 많은 분들이 있었구나를 알게 되었지만 그럼에도 불구하고 실내외에서 깨끗한 공기를 유지할 수 있는 완벽한 방법은 없음을 확인하게 되었다. 미세먼지 방지망을 설치함으로써 사용하지 않을 때보다는 좀 더 나은 공기 질이 될 수 있다라는 사실에 조금 안심할 뿐, 절대적인 해결책은 아니었고, 주기적인 환기가 필요하며, 공기 질을 관리하는 기술이 앞으로 더 개발되어야 한다는 생각도 들었다.

① <탐구 1>과 <탐구 2>는 실험을 위해 일정 공간속에서 미세먼지를 발생시키고, 미세먼지 측정기의 신뢰성을 확인하는 과정이었다. 성냥, 향, 양초, 숨을 태웠을 때 모두 미세먼지가 발생하였고, 같은 시간동안 숨이 가장 많은 미세먼지를 발생시켰다.

② <탐구 3>은 미세먼지 차단 효과를 비교해 볼 수 있는 5가지 재료에 대한 실험이었다. 미세먼지 방지와 통기성이 좋다고 홍보가 되어 있는 차단망 촘촘망과 미세먼지망이 포함되었다. 또 공기청정기 내부에 포함되어 있는 프리필터와 통풍에 효과가 좋은 섬유로 알려진 삼베를 선택하여 비교 실험하였다. 삼베를 이 실험에 포함시킨 가장 큰 이유는 통기성이 좋은 천연섬유라는 점이 있기 때문이다. <탐구 3>의 결과 촘촘망과 미세먼지망은 기능성임에도 불구하고 차단되지 않았고, 대신 프리필터와 삼베는 미세먼지를 걸러주는 효과가 이 실험에서 드러났다.

③ <탐구 4>에서는 미세먼지 차단망의 결과가 좋지 않음을 고려하여 효과에 영향을 주는 요인을 생각해보다가 정전기가 있을 때 잘 걸려진다는 사실을 알고 정전기 실험을 추가해보았다. 과연 삼베에 정전기를 함께 주었을 때, 그 효과가 어떨지 예측하면서 시작하였다. 그 결과 일반망보다는 미세먼지망의 거름 효과가 더 좋았고, 프리필터와 삼베도 측정기 B에서는 거름의 효능을 보여주었다.

④ <탐구 5>에서는 통기성을 측정하고자 바람을 주면서 통과율을 보았다. 그 결과 방충망과 미세먼지망과 프리필터, 삼베는 바람을 통과시키는 실험에서는 의미 있는 값을 보여주지 못했다. 일반망에서는 바람이 잘 통하였고, 바람의 세기가 강해질수록 촘촘망에서도 바람이 통하게 되었다. 먼지의 거름에 상관없이 통기성이 좋은 사이즈의 구멍을 가지고 있는 일반망일 경우

환기가 제일 잘 될 것으로 보이고, 미세먼지를 막기 위해 구멍의 사이즈를 줄인 촘촘망에서는 바람이 통과하지만 일반망보다는 약한 모습이며, PM2.5 사이즈의 먼지를 걸러내기 위한 기능이 추가된 미세먼지 차단망은 통풍이 잘 되지 않았다. 삼베의 경우에도 촘촘한 조직으로 바람이 통과되지 않았다.

2. 제 언

환기가 잘 되려면 입자 구멍이 커야 하고, 미세먼지의 차단을 위해서는 입자 구멍이 작아야 하는 서로 모순된 가정으로 시작하였다. 본문의 5가지 실험만을 통해 충분히 그 절충 방안을 찾아내는 데는 무리가 있었지만, 화학섬유가 아닌 천연섬유의 가능성을 조금은 발견한 거 같아 기쁘다. 통기성이 좋지 않은 점은 삼베나 모시 등의 구성조직을 수정하여 재실험해보면 이상적인 결과가 나오지 않을까 한다. 또, 이 실험에 이어 앞으로는 실제 공기청정기 시스템처럼 창문에도 미세먼지 필터와 환기 필터 두 가지를 동시에 설치하여 시간대별로 작동하거나, 외부 미세먼지 측정 결과 데이터를 이용하여 순간적으로 작동할 수 있는 스마트한 창문을 설계해보려고 한다.

3. 느낀 점과 아쉬운 점

언제나 탐구실험 작업은 궁금한 질문에 대해 예상되지 않은 결론을 생각하며, 막연하게 실험을 해보는 두려움과 즐거움을 동시에 느끼게 된다. 처음에는 의미 있는 결론이 나올지 궁금하고, 실험을 하다보면 혹시 나오지 않더라도 내 실험결과가 다른 사람들에게 도움이 되는 작업이 될 수도 있겠다는 생각이 들었다. 의미가 있는 데이터가 나오게 되면 다음 단계의 의문이 또 생길 수 있는 흥미로운 일이 생긴 것이고, 이것이 과학을 탐구하는 기쁨이라고 생각하게 되었다. 독서를 통해 세상을 이해하는 것처럼 실험실습은 느끼고 감탄하게, 때론 허탈하게 세상 지식에 직접 부딪치게 해주는 즐거운 작업이다.

가장 아쉬운 점은 장시간동안 실내외 측정기를 설치 계획하지 못하고, 작은 수조 속에서 짧은 시간 안에 해야 했던 점이였다. 따라서 통기성에 좋은 조건들을 더 찾아내지 못해 아쉽고, 기회가 된다면 이런 한계점이 없이 충분한 시간을 가지고 실험에 다시 임해보고 싶다.

마지막으로 작년에 탐구하였던 「미세플라스틱과 해양오염에 관한 연구」의 연속으로 올해는 대기오염에 관한 주제를 선정하였다. 환경관련 주제는 과학 분야를 공부하면서 현재 가장 어두운 미래를 보이는 분야라고 생각한다. 더 살기 좋은 환경의 세상을 만들기 위해 연구는 열심히 진행되어 가고 산업은 빠른 속도로 발전하고 있지만 환경오염을 멈출 수 있는 기술은 역부족이라는 생각이 든다. 과거 500년, 1000년 전의 깨끗한 지구로 돌아갈 수 없다면 지금부터라도 그 심각성을 함께 인식하고 노력했으면 좋겠다.

VI. 참고 문헌

실내 공기질에 관한 연구

- 김연홍. 2012. 환풍기의 위치에 따라 실내 공기의 흐름은 어떻게 변할까? 제58회 전국과학전람회 물리부문 수상작
- 양일호. 2011. (프리스틀리가 들려주는) 산소와 이산화탄소 이야기. (주) 자음과모음

미세먼지 제거에 관한 연구

- 장현진, 장희진. 2008. 황사의 습격, 어떻게 막을 것인가? 제54회 전국과학전람회 환경부문 학생작품지도논문연구대회 수상작
- 김현수. 2010. 학교 미세먼지에 관한 연구 지도. 제56회 전국과학전람회 화학부문 지도논문연구대회 수상작
- 강소윤, 박해민. 2015. 정전기와 물이 나가신다, 미세먼지 길을 비켜라! 제61회 전국과학전람회 환경부문 수상작
- 환경부. 2016. (바로 알면 보인다) 미세먼지, 도대체 뭘까?
[<http://www.me.go.kr/issue/finedust/ebook.pdf>]