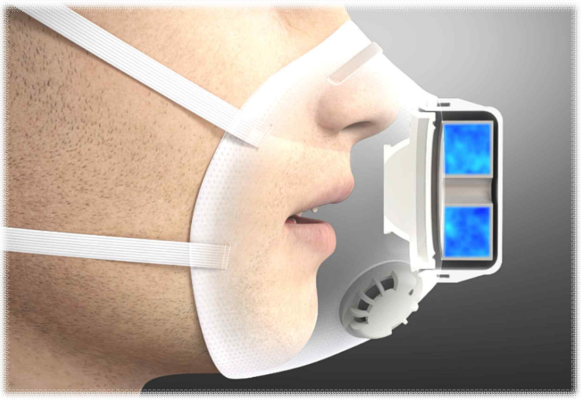
| 출품번호 |
| --- |
| 1052 |

# 제41회 전국학생과학발명품경진대회
# 학생작품지도논문연구대회

## 과학실험 기반의
## 학생중심 발명교육을 통한
## 『이너쿨링 마스크』 작품지도



2019. 7. 30.

| | |
| --- | --- |
| 출품교원 | |
| 지도학생 | |
| 출품분야 | 초 |

# 차 례


1. 서론 ····· 1
가. 지도의 필요성 ····· 1
나. 지도 동기 및 목적 ····· 1
다. 작품 요약 ····· 2
1) 작품제작 지도 과정 ····· 2
2) 최종 작품 ····· 2

2. 이론적 배경 ····· 3
가. 과학적 이론 지도 ····· 3
1) 원인 분석에 대한 과학적 이론 지도 ····· 3
가) 마스크 필터의 공기 투과성 감소 ····· 3
나) 날숨의 높은 온습도에 따른 불쾌지수 증가 ····· 4
2) 발명품 제작을 위한 과학적 이론 지도 ····· 5
가) 뉴턴의 냉각법칙(Newton's law of cooling) ····· 5
나) 대류열전달(convection heat transfer) ····· 5
다) 마스크 내부 공기 순환; 수평기압차의 원리(horizontal barometric difference) ····· 6
라) 제습의 원리(The principle of dehumidification) ····· 7
마) 공기흐름통제(Air flow control) ····· 7
나. 선행연구사례 조사 ····· 8

3. 지도 절차 및 작품 설계 ····· 9
가. 지도 절차 ····· 9
나. 작품 설계 ····· 9

4. 지도의 실제 ····· 10
가. 작품 제작 지도 과정 ····· 10
1) 1차 작품 지도 ····· 10
2) 2차 작품 지도 ····· 10
3) 3차 작품 지도 ····· 11
4) 4차 작품 지도 ····· 11
5) 5차(최종) 작품 지도 ····· 12
나. 효과성 검증 실험 지도 ····· 14
1) 효과 검증 실험 요약 ····· 14
2) 마스크 내부 온습도 측정 및 쿨링 지속력 비교 ····· 15
3) 마스크 내부 열 흐름 상태 분석 및 쿨링 효과 검증 ····· 16
4) 발명품 착용에 따른 주의 집중력 향상 효과 검증 ····· 17
5) 미세먼지 차단력 효과 검증 ····· 18

5. 제작 결과 및 결론 ····· 19

※ 참고 문헌 및 자료 ····· 20

# 1 서 론

## 가. 지도의 필요성

4차 산업혁명이 일어나는 현대의 사회에서는 아이디어 창출과 발명품 제작과 같은 지적 창조활동이 강조된다. 이에 학교 교육에서도 발명의 중요성을 강조함은 물론 체계적인 창의력 프로그램 만드는 것에 적극적인 대책을 마련하고 있다. 학생들은 일상생활에서 겪는 문제에 대한 호기심과 탐구심이 왕성하여 그것이 지적 동기가 되는 경우가 많지만 알맞은 시기에 적절한 교육을 받지 못하면 창조하려는 노력으로 이어지기 힘들다. 따라서 이러한 지적 호기심을 수용하여 창의력을 기를 수 있도록 초등학교 교육과정에서부터 발명 경험이 이루어져야 한다.

하지만 학교 및 영재 교육원에서 이루어지는 대부분의 발명교육은 단순한 과학체험, 즉석과제 해결하기 등 단기간의 체험 활동으로 끝나버리는 경우가 많다. 이에 반하여 학생발명품경진대회 참여는 장기간에 걸쳐 학생이 직접 발명 과정을 경험하고 아이디어의 창출에서부터 과학적 원리 탐구 및 발명품 제작 기술력 향상, 검증 실험을 통한 탐구력 함양, 학생의 자기 효능감 향상 등에 매우 크게 작용하기 때문에 발명지도에 중요한 의미를 가진다.

## 나. 지도 동기 및 목적

국민일보

**폭염 속 더 무서운 미세먼지, 마스크.. "쪄죽는다"**

박상은 조민아 기자 입력 2018.06.25. 04:05 댓글 35개

**이달 들어 절반 이상이 '나쁨'**

**야외활동 많은 환경미화원 사실상 마스크 착용 포기 상태**

서울숲공원 청소를 담당하는 김모(61)씨는 "마스크가 제공 돼도 쓰는 사람을 보지 못했다. 더운 날 마스크를 쓰면 지옥과 같은 상황이 펼쳐진다"며 "사실상 포기 상태"라고 했다.

요즘 가장 화두가 되고 있는 미세먼지는 세계보건기구(WTO)가 이미 1급 발암물질로 지정했을 정도로 위험한 대상이다. 하지만 이러한 위험성에도 불구하고 미세먼지 주의보가 내린 날 약 90% 사람들이 마스크를 쓰지 않는 것으로 나타났다. 따라서 그 원인을 분석해보고 그에 대한 해결책으로써 아래와 같은 목적을 가지고 본 발명품 제작에 대한 지도를 하고자 한다.

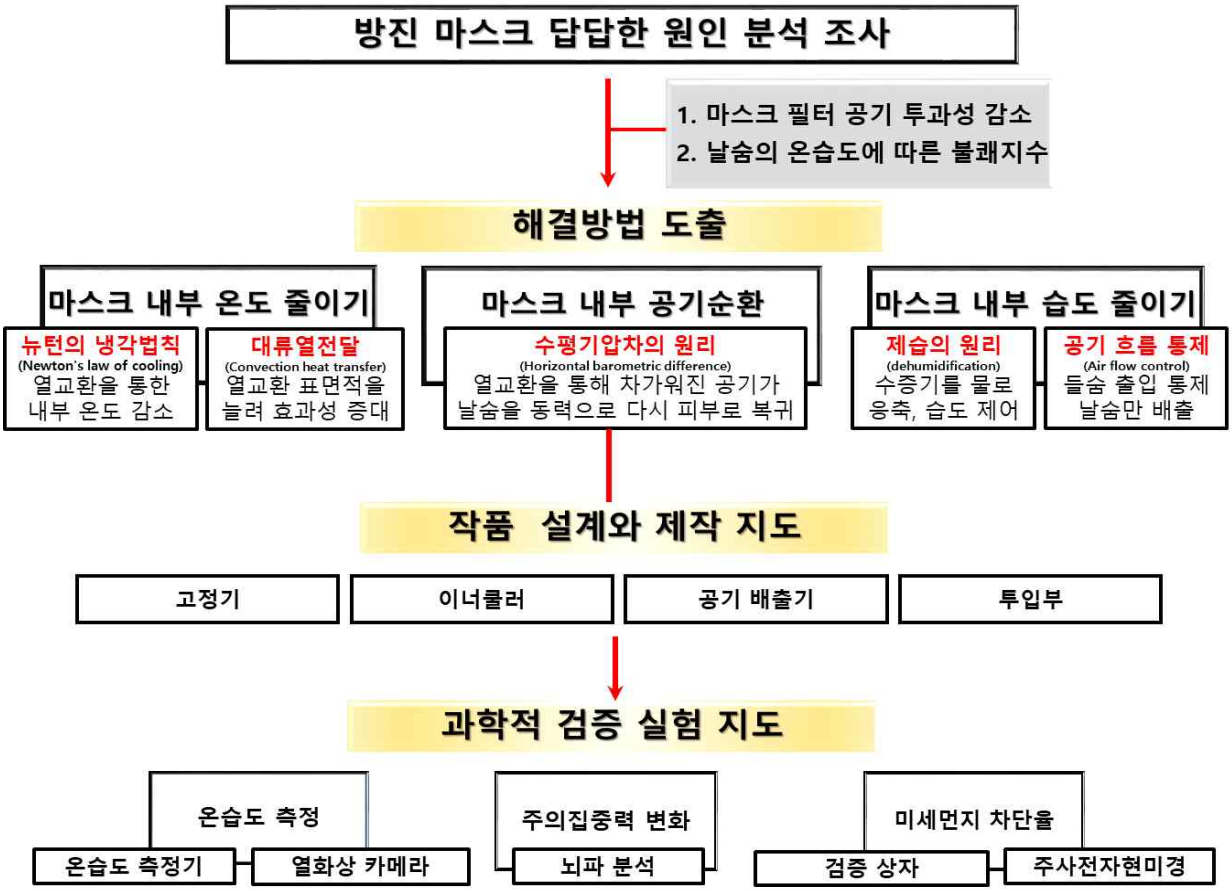
가. 사회적 문제인 미세먼지에 대한 대응책으로써 새로운 기능성 마스크를 제작하여 '우리 모두를 위한 발명'의 가치를 깨닫는다.

나. 제작된 마스크가 효과성이 있는지 다양한 과학적 실험을 해보고 발명품의 가치를 검증하는 과정을 통해 과학적 탐구력을 기른다.

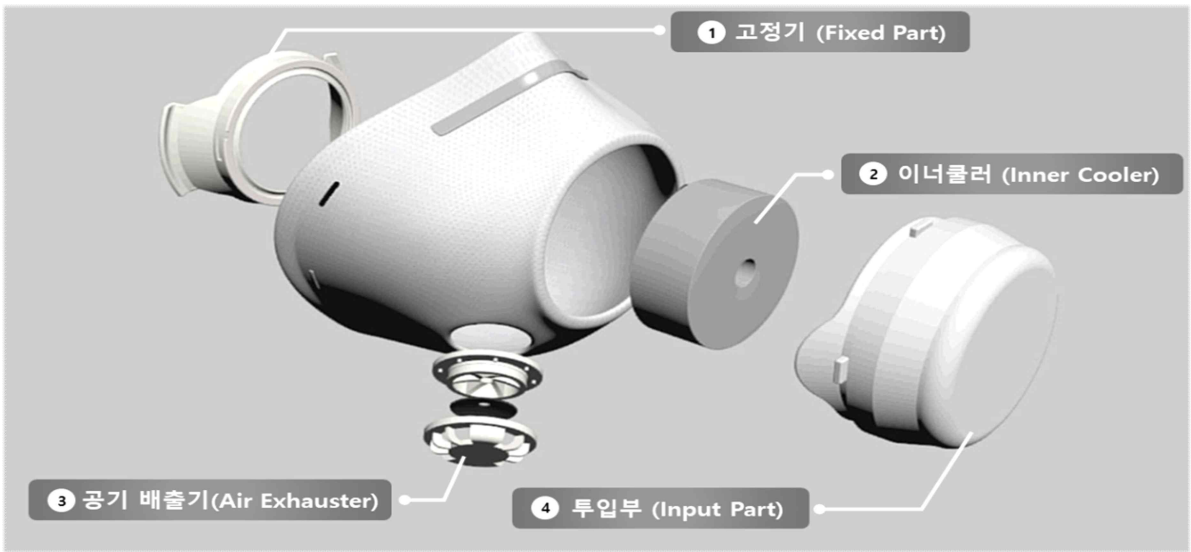
다. 문제 확인, 계획, 작품 제작, 수정, 효과 검증하는 일련의 과정을 통해 창의적 문제해결력을 기르고 발명가 마인드를 함양한다.

## 다. 작품 요약

### 1) 작품제작 지도 과정




### 2) 최종 작품



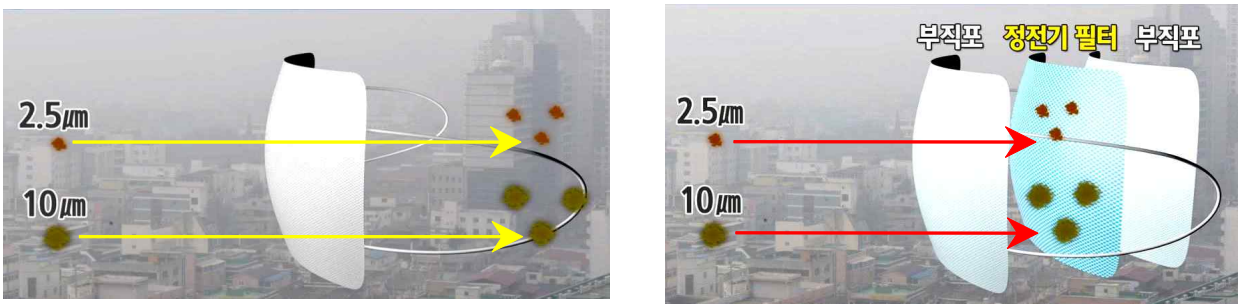
# 2 이론적 배경

## 가. 과학적 이론 지도

### 1) 원인 분석에 대한 과학적 이론 지도

#### 가) 마스크 필터의 공기 투과성 감소

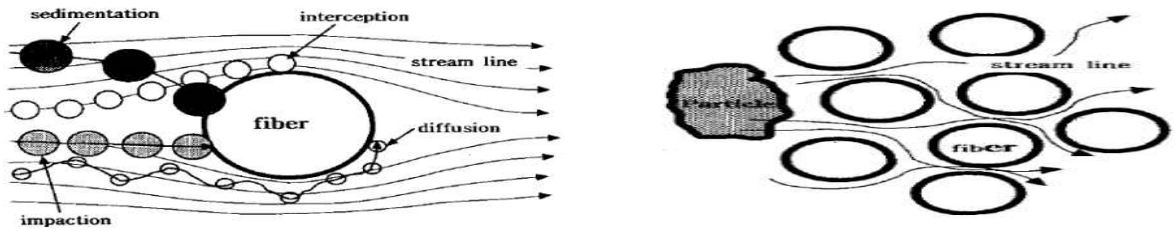
마스크는 사용 목적에 따라 크게 방한 목적의 **면 마스크**와 분진가루 차단목적의 **방진마스크**로 구분되는데, 초미세먼지와 미세분진을 효과적으로 차단하기 위해서는 여과 필터가 장착되어 있는 방진마스크를 사용해야한다. 하지만 바로 이 방진마스크가 답답함 발생의 주범이었다.




[그림 1] 일반마스크(왼쪽)와 방진마스크(오른쪽) 내부 모습

방진마스크의 에어로졸[1] 방어효과에 대해 연구한 한국환경위생학회지 논문(한돈희, 2001)에 따르면 성능이 좋은 필터는 압력강하가 낮은 동시에 미세분진의 포집효율이 높은 것으로 정의하고 있다. 즉, 좋은 마스크란 호흡이 상대적으로 편하면서(낮은 압력강하) 공기 중 섞여있는 오염물질을 효과적으로 차단(높은 포집효율)할 수 있는 것을 말한다.

하지만 필터 성능에 대해 연구한 한국산업보건학회지 논문(이헌용 외, 2017)에 따르면 필터내부의 섬유가 조밀할수록 공기의 흐름이나 공극이 줄어들어 상대적으로 호흡이 불편해지는 현상이 나타난다고 한다. 다시 말해, 미세먼지를 차단하는 효과가 좋은 방진마스크 일수록 섬유가 조밀하여 마스크 외부와 공기순환이 일어나지 못한다는 것이다.




[그림 2] 필터의 미세분진 차단 모습(왼쪽)과 필터 내부의 공기 이동 모습(오른쪽)

미세분진 차단을 위해서는 포집효율이 높은 방진마스크를 착용해야하지만 이로 인해 호흡에 의한 공기 배출이 힘들어지기 때문에 마스크를 착용했을 때 결국 답답함을 느끼게 된다.

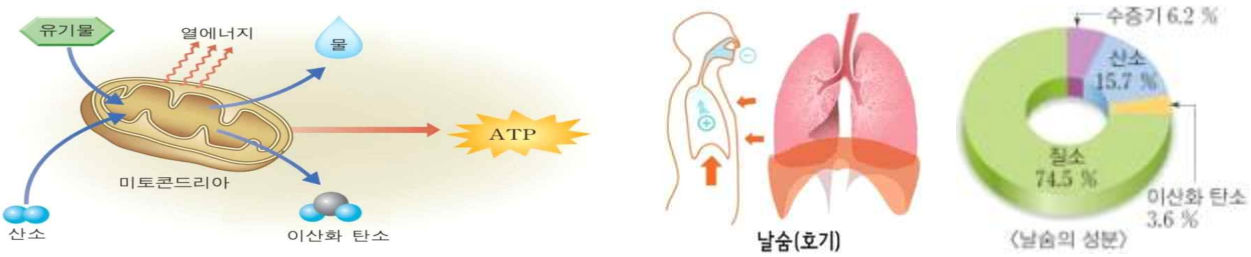
1) 에어로졸: 대기 혹은 작업장 공기 중에 떠 있는 모든 입자상 물질

나) 날숨의 높은 온습도에 따른 불쾌지수 증가

사람들은 모두 섭취한 영양분을 분해하여 에너지를 얻는 호흡을 하며 그 과정에서 영양분이 분해되어 **물**, 이산화탄소 그리고 **열**이 발생한다. 열의 일부는 ATP[2]로 합성되고 나머지는 열에너지 형태로 방출되어 체온을 높인다. 호흡 과정을 단순화시킨 반응식은 아래와 같다.

$C_6H_{12}O_6$ (고체) + 6 $O_2$ (기체) + 6 $H_2O$ (액체) → 6 $CO_2$ (기체) + **12 $H_2O$ (액체)** + **열** + 38 ATP

이러한 호흡과정에 따라 숨을 내 쉴 때 코와 입으로 수증기와 열이 배출된다. 하지만 방진마스크를 착용하게 되면 마스크 필터에 의해 공기배출이 어렵기 때문에 날숨에 의해 발생된 수증기와 열이 마스크 내부의 습도와 온도를 지속적으로 상승시킨다.




[그림 3] 호흡과정(왼쪽)과 날숨의 성분(오른쪽). (출처; wikipedia, respiration)

마스크 내부의 높은 습도와 온도는 체감기온인 불쾌지수를 증가시킨다. 불쾌지수(Discomfort Index)란 인간이 느끼는 불쾌감의 정도를 온도와 습도의 조합으로 나타낸 수치를 말한다. 아래의 불쾌지수 계산식을 보면 온도와 습도가 높아질수록 불쾌지수도 증가한다는 것을 알 수 있다. 즉, 마스크 착용 시 마스크 내부의 불쾌지수가 증가하면 답답함을 느끼게 되는 것이다.

**불쾌지수(DI)** = 1.8Ta − 0.55(1−RH)(1.8Ta −26) + 32 (Ta: 온도(℃), RH: 상대습도(%))

마스크 착용률 저조함의 주원인이었던 '덥고 답답한 느낌을 받는 이유'를 정리하면 **방진마스크 내부의 높은 온습도의 공기가 쉽게 밖으로 배출되지 못해 불쾌지수를 증가시키기 때문이다.** 이에 대한 해결책은 두 가지 방향으로 설정할 수 있다. 첫째, 방진마스크 필터의 압력강하를 높여(섬유의 조밀도를 낮춰) 공기투과성을 증가시킨다. 둘째, 날숨으로 인해 증가한 마스크 내부의 온도와 습도를 낮춘다.

하지만 두 가지 해결책 중 첫 번째 방안은 방진마스크의 본래 목적인 '미세먼지 차단력'을 감소시켜 마스크의 기능을 훼손하는 결과를 초래한다. 따라서 마스크 내부 공기 자체의 온도와 습도를 감소시키고 냉각된 공기의 순환을 지속한다면 불쾌지수를 감소시킬 수 있다고 판단된다.

2) ATP(adenosine triphosphate): 생명체에서 에너지를 생산, 소비하는 것을 연결해 주는 고에너지 화합물

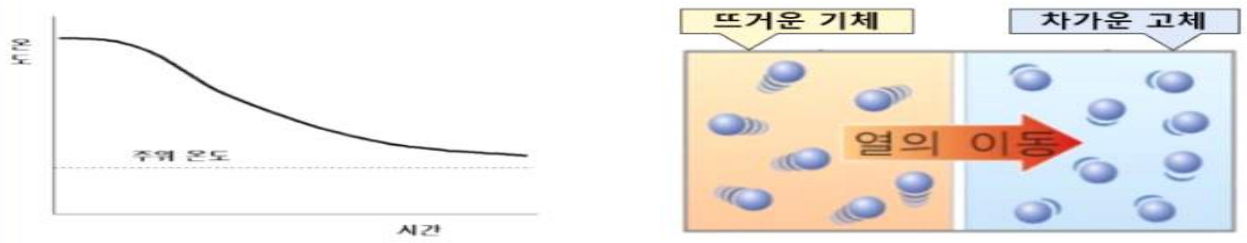
## 2) 발명품 제작을 위한 과학적 이론 지도

### 가) **뉴턴의 냉각법칙** (Newton's law of cooling)

마스크 내부 공기의 온도보다 차가운 물체를 마스크 속에 배치한다면 더운 공기와 차가운 물체간의 빠른 열교환으로 마스크 내부 온도를 감소시킬 수 있다고 생각하였다. 뉴턴의 냉각법칙(Newton's law of cooling)은 시간에 따른 물체의 온도변화가 물체와 주변 온도차에 비례한다는 이론이다. 즉, 물체의 온도가 주변 온도와 비교하여 더 큰 폭으로 낮은 온도를 유지할수록 냉각률이 향상되어 물체가 주변의 열을 더 빠른 속도로 빼앗을 수 있게 된다. 또한 온도차가 크면 클수록 물체가 열을 빼앗을 수 있는 지속시간이 길어진다.

$$\frac{dT}{dt} = -K(T - T_r)$$ (T=물체의 온도, t=시간, K=비례상수, Tr=주변 온도)

뉴턴의 냉각법칙을 마스크에 적용하면 다음과 같이 설명할 수 있다. 차가운 냉각제를 마스크 속에 넣고 내부 공기와의 온도차를 크게 만들면 시간에 따른 냉각제의 열 획득 정도가 커지게 된다. 즉, 차가운 냉각제가 마스크 내부 공기의 열에너지 손실을 일으켜 전체 온도를 감소시킨다. 또한 냉각제를 최대한 낮은 온도로 유지한다면 온도차의 폭이 커져 냉각제의 쿨링 지속시간도 연장할 수 있다.

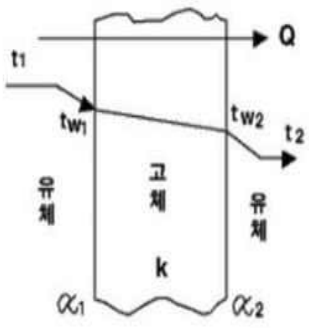



[그림 4] 뉴턴의 냉각법칙 그래프(왼쪽)와 공기와 냉각제 열교환 모습(오른쪽). (출처; wikipedia, 뉴턴의 냉각법칙)

### 나) **대류열전달** (convection heat transfer)

대류열전달(convection heat transfer)은 **유체와 고체의 표면 사이에서 열이 전달되는 현상**이다. 유체와 고체가 직접 접촉하는 경계층에서는 열전도가 일어나고 경계층 밖에서는 유체의 대류에 의해 열이 이동한다.

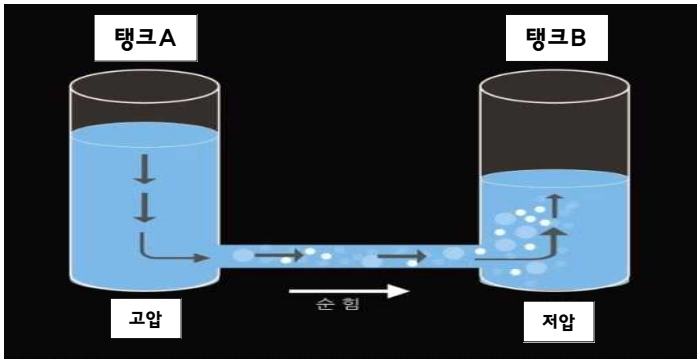
즉, 마스크 속 냉각제의 표면과 높은 온도의 공기가 접촉하면 공기의 열이 냉각제로 이동하며 마스크 내부의 온도를 감소시킨다. 이러한 원리에 따르면 냉각제와 공기가 접촉하는 표면적을 늘리고 마스크 내부에서 공기 순환이 원활하게 일어날 수 있도록 하는 구조가 필요하다고 판단된다.




[그림 5] 대류열전달 모식도

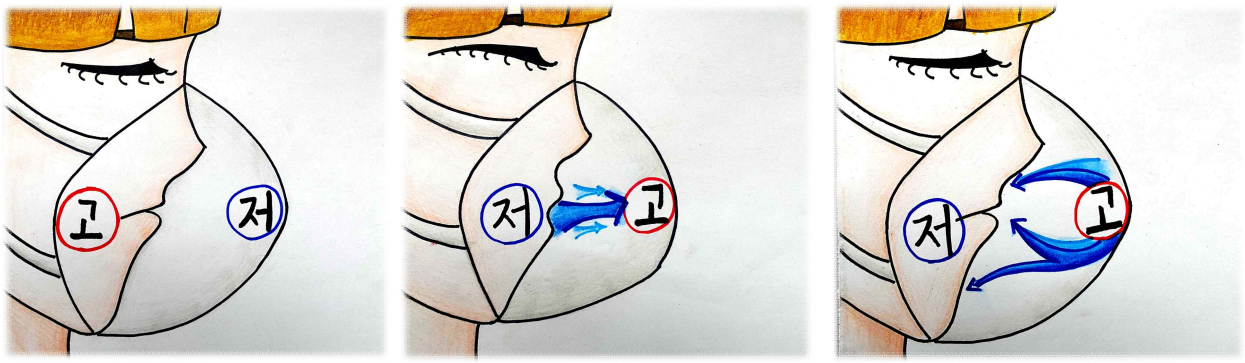
다) **마스크 내부 공기 순환; 수평기압차의 원리** (horizontal barometric difference)

마스크를 착용하고 호흡을 할 때 입에서 배출된 날숨의 공기는 수평기압차의 원리에 따라 자연스럽게 공기순환이 이루어진다. 수평기압차의 원리는 압력이 높은 지점에서 낮은 지점으로 이동하는 현상으로 [그림 8]과 같이 액체를 통해 쉽게 설명할 수 있다. 아래 그림에는 2개의 긴 탱크가 파이프로 연결되어 있으며 탱크 A가 B보다 물의 양이 더 많고 물의 무게에 비례하여 두 탱크 밑바닥의 수압도 탱크A가 탱크B보다 높다. 또한 모든 방향으로 균일하게 액체의 압력이 작용하므로 탱크A에서 탱크B 쪽 방향의 파이프 속 압력이 그 반대의 압력보다 크다. 이 힘이 물을 왼쪽방향에서 오른쪽 방향으로, 고압에서 저압으로 움직이게 한다. 압력차가 클수록 밀어내려는 힘은 더 강해지고 물의 이동속력 또한 더 빨라진다. 이 현상은 기체에도 적용되어 수평기압차에 의해 공기를 움직이게 한다.(이나정, 2016)




[그림 6] 액체로 설명하는 수평기압차의 원리 (출처; 기상청 블로그)

따라서 마스크를 착용하고 바람을 불면 마스크 내벽 쪽에 공기가 몰리면서 공기압이 높아지고 상대적으로 공기압이 낮은 방향(얼굴 방향)으로 다시 바람이 밀려 돌아오게 된다. 즉, 우리 몸에서 자연적으로 발생하는 날숨이 동력으로 작동하여 마스크 내부 공기는 자연스럽게 순환하게 되는 것이다.




[그림 7] 마스크 내부 공기순환 모식도

이러한 원리에 따라 마스크 내부에 냉각제를 설치하면 열교환을 통해 차가워진 공기가 날숨을 동력으로 삼아 다시 피부 쪽으로 돌아올 수 있음을 알 수 있다. 따라서 공기순환에 방해가 되는 요소들을 제거하고 공기통로를 확보할 수 있는 구조 설계가 필요하다고 판단된다.

라) **제습의 원리** (The principle of dehumidification)

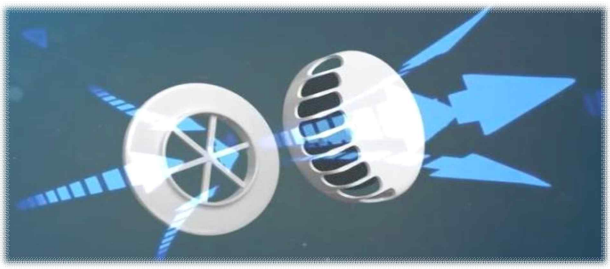
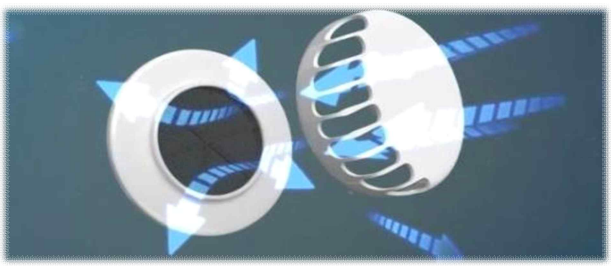
습도에는 절대습도와 상대습도가 있는데 불쾌지수를 구할 때 사용하는 것은 상대습도(RH: relative humidity)이다. 상대습도란 현재 온도의 포화수증기량[3]에 대한 대기 중의 수증기량을 말한다. 상대습도를 낮추기 위해서는 공기를 가열하여 포화수증기량을 늘리거나 공기 중의 습기를 직접 제거하는 방법이 있는데, 우리가 흔히 사용하는 냉각식 제습기는 [그림 10]와 같이 공기 중의 수증기를 물로 응축시켜 직접 습기를 제거하는 방법을 사용한다. 즉, 냉각장치를 이용해 공기의 온도를 이슬점[4]까지 낮추어 수증기를 물로 변화시킨다.

[그림 8] 제습기 내부의 제습과정의 단순화된 모식도

이러한 원리에 따라 마스크 내부의 높은 습도의 공기와 차가운 내부 냉각제가 만나면 공기의 온도가 이슬점에 도달하여 수증기가 물로 응결된다. 이러한 원리로 마스크 내부의 습기를 직접적으로 제거하면 상대습도를 낮출 수 있다고 판단된다.

마) **공기흐름통제** (Air flow control)

배기밸브는 실리콘 판이 부착된 일방향 날숨 밸브로 공기흡입 및 역류를 막아주는 실리콘 차단막이 존재해 들숨의 출입을 통제하고 날숨만 배출한다. 마스크 내부 온도에 대한 직접적인 조작 없이 단순히 일부 공기만 배출한다는 점에서 내부의 온도변화에는 영향을 미치지 못하지만 날숨의 수증기 배출에는 효과가 있다. 따라서 배기밸브 구조가 냉각제를 활용한 습도 감소 방법에 보조적인 도움을 줄 수 있을 것이라고 판단된다.

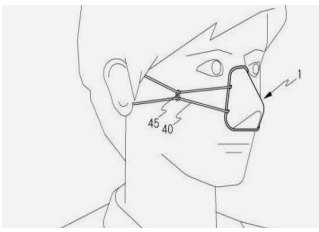
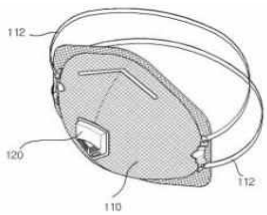
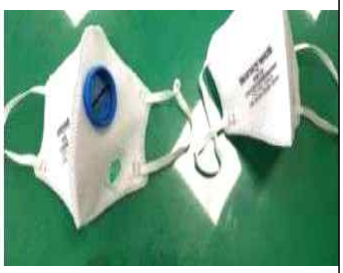
[그림 9] 배기밸브의 공기흐름 통제 모식도(오른쪽)

3) 포화수증기량: 공기가 최대한 품을 수 있는 수증기의 양
4) 이슬점: 공기가 포화되어 수증기가 물로 응결될 때의 온도

## 나. 선행연구사례 조사

본 발명품에 대한 선행 연구 사례조사를 위해 전문가의 도움을 받아서 조사범위를 넓히고 국립중앙과학관, 특허청, NDSL, 인터넷 등을 통해 연구사례를 조사하였다. 그 결과 **본 작품처럼 마스크 내부 온습도를 동시에 감소시키는 발명품 및 특허는 검색되지 않았다.**

| 조사 범위 | 한국 | 일본 | 미국 | 국제특허 | EP | 기타 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 조사 DB | ■ 국립중앙과학관DB ■ 특허청DB ■ 국가과학기술정보센터DB ■ WISDOMAIN ■ 인터넷 | | | | | |
| 검색식 | ▪ (마스크)*(먼지) ▪ (mask)*(dust) | | | | | |

| No. | 선행기술 | 주요내용 및 차이점 | 대표도면 |
|---|---|---|---|
| 1 | 특허출원<br>20-2014-0000142<br>코 마스크 | • 마스크 착용의 답답함을 해결하기 위해 코 주위만 감싼 코 마스크이다. ➔ 코를 통해서만 호흡이 가능해 입으로 숨을 쉬면 먼지를 차단하는 효과가 사라진다. **본 발명품은 코와 입으로 호흡할 때 먼지를 차단하는 동시에 내부 온습도를 줄여 쾌적하게 마스크를 착용할 수 있다.** |  |
| 2 | 특허출원<br>10-2010-0117382<br>방진 마스크 | • 마스크 내부의 별도 공간을 통해 날숨을 아래쪽으로 배출하여 김서림을 방지하는 마스크이다. ➔ **밸브가 날숨의 배출을 유도하여 마스크 내부의 습도를 감소시키는데 기여하지만 온도에는 큰 영향을 주지 못해 마스크 착용 시 덥고 답답하다.** |  |
| 3 | 제40회<br>전국학생과학<br>발명품경진대회<br>'탈부착 가능한<br>마스크용 숨구멍<br>키트' | • 숨구멍 키트를 탈부착 가능하도록 하여 숨구멍이 들숨은 완벽하게 차단하고 날숨은 저항 없이 배출하도록 하는 마스크이다. ➔ 기존에 있는 마스크 배기밸브를 변형하여 탈부착이 가능하게 하는데 초점을 두고 있다. **본 발명품은 밸브 및 내부 냉각제를 활용하여 마스크 내부 습도와 온도를 동시에 감소시킨다.** |  |
| 4 | 제26회<br>전국학생과학<br>발명품경진대회<br>'숨쉬기 편한<br>필터교환 청정공기<br>마스크' | • 스펀지 턱으로 공간을 확보하여 숨쉬기가 편하고 입김이 올라가는 것을 막아 김서림을 방지하는 마스크이다. ➔ **마스크 아래 공간을 확보해 마스크가 얼굴에 밀착되지 않는 것에 초점을 두고 있다. 마스크 내부의 온도와 습도를 조절하는 것과는 상관성이 떨어진다.** | |

# 3 지도 절차 및 작품 설계

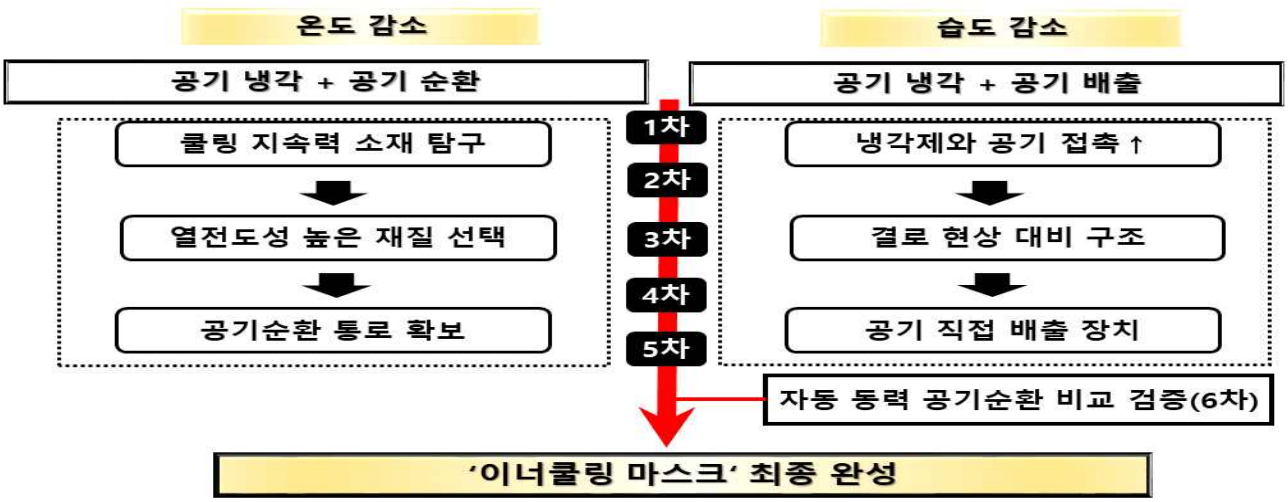
## 가. 지도 절차

1) 지도 기간 : 2018.11월 ~ 2019.8월

2) 지도 계획

| 단계 | 기간 | 지도 내용 |
|---|---|---|
| 아이디어 산출 | 2018.11월 ~ 2019.8월 | • 발명일기 작성, 발명품 개선 활동 |
| 선행 연구 조사 | 2019.2.6. ~ 2.28. | • 국립중앙과학관, 키프리스, NDSL, WISDOMAIN, 인터넷 검색<br>• 유사 작품들의 특징 검색 및 분석 |
| 작품 설계 | 2019.2.28. ~ 3.6. | • 발명품 설계<br>• 발명품 아이디어 구상 지도 |
| 1차 발명품 | 2019.3.7. | • 1차 발명품 제작, 아이디어 수정 |
| 2차 발명품 | 2019.3.25. | • 1차 발명품 문제점 개선 지도<br>• 2차 발명품 제작 |
| 3차 발명품 | 2019.4.5 | • 2차 발명품 문제점 개선 지도<br>• 3차 발명품 제작 |
| 4차 발명품 | 2019.4.19. | • 3차 발명품 문제점 개선 지도<br>• 4차 발명품 제작 |
| 도 대회 출품 | 2019.4.25. | • 작품설명서, 작품요약서, 발명품 설명 차트 작성 지도<br>• 발명품 수정 및 보완 출품 지도 |
| 5차 발명품<br>(최종 작품) | 2019.6.27. | • 4차 발명품 문제점 개선 지도<br>• 5차 발명품품(최종 작품) 제작 |
| 6차 발명품<br>(추가비교작품) | 2019.7.10 | • 6차 동력부 부착에 따른 추가비교작품 제작<br>• 최종작품과 비교 및 최종작품의 우수성 검증 |
| 최종작품 수정 보완 및 검증실험 | 2019.5월 ~ 8월 | • 전국대회 출품 대비 수정 보완 지도<br>• 검증 실험을 통한 작품의 효과성 검증 |

## 나. 작품 설계



# 4 지도의 실제

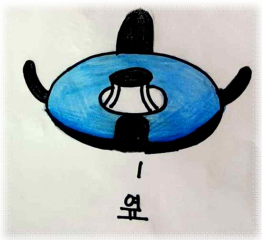
## 가. 작품 제작 지도 과정

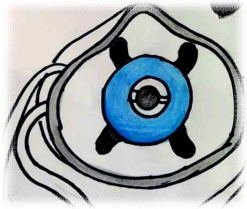
### 1) 1차 작품 지도

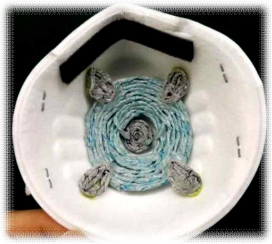
마스크 속에 부착하는 공기냉각제(이너쿨러)디자인의 최초 아이디어를 모형화 하였다.

**▣ 마스크 내부 부착형 이너쿨러 모형 최초 디자인**

- 마스크 내부 공간에 부착이 가능하며 공기를 냉각시킬 수 있는 형태로 디자인하기
- 마스킹 테이프를 이용하여 테이프가미 활동으로 부착형 이너쿨러 모형 제작







| 문제점 | 개선 아이디어 |
|---|---|
| **Q.** 이너쿨러를 납작하게 만들었음에도 마스크 착용 시 코와 입에 접촉되는 문제가 발생한다. | **A.** 마스크 외부에 돌출부를 만든다. |

### 2) 2차 작품 지도

마스크 외부에 돌출부를 만들고 부착형 이너쿨러에서 삽입형 이너쿨러로 교체하였다.

**▣ 외부 돌출부, 홉바형 이너쿨러 고정기 및 삽입형 이너쿨러 제작**

- 이너쿨러가 얼굴에 접촉되지 않는 형태의 외부 돌출부 디자인
- 결로현상 발생 시 얼굴에 물이 흐르는 것을 차단하기 위한 홉바형 고정기 제작
- 알루미늄을 이용하여 삽입형 이너쿨러 모형 제작 및 내부 SAP(고흡수성수지) 주입

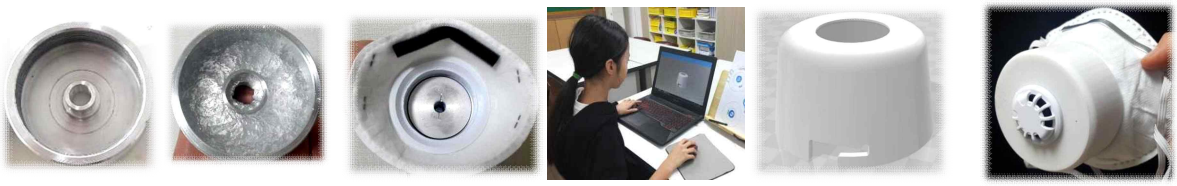
| 문제점 | 개선 아이디어 |
|---|---|
| **Q.1** 이너쿨러가 날숨의 온도를 낮춰주지만 공기순환을 방해하여 쿨링 지속력이 낮다.<br>**Q.2** 습기배출이 원활하지 않다. | **A.1** 이너쿨러를 도넛모양으로 제작하여 공기순환이 원활하도록 한다.<br>**A.2** 공기 배출기를 추가 설계한다. |

### 3) 3차 작품 지도

이너쿨러 쿨링 지속효과를 늘리기 위해 공기 순환이 원활히 되도록 도넛형 이너쿨러를 만들고 효율적인 습기제거를 돕기 위하여 공기 배출기를 부착하였다.

**▣ 도넛형 이너쿨러 제작 및 공기 배출기 부착**

- 도넛형 이너쿨러 제작 후 SAP 주입 및 마스크 결합
- 효과적인 습기제거를 위해 공기 배출기 제작 및 부착



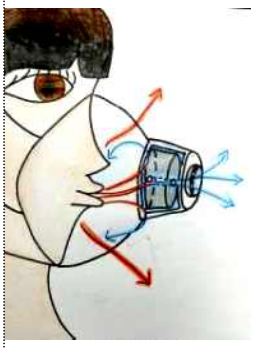
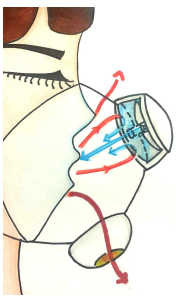
| 문제점 | 개선 아이디어 |
|---|---|
| **Q.** 냉각효과만 강조하다 보니 이너쿨러가 크고 무거워서 실용성이 떨어진다. | **A.** 이너쿨러의 크기를 줄이고 이에 맞게 외부 돌출부의 크기도 조절한다. |

### 4) 4차 작품 지도

마스크의 무게 감소와 디자인 개선을 위해 이너쿨러와 외부 돌출부를 축소하여 제작하였다.

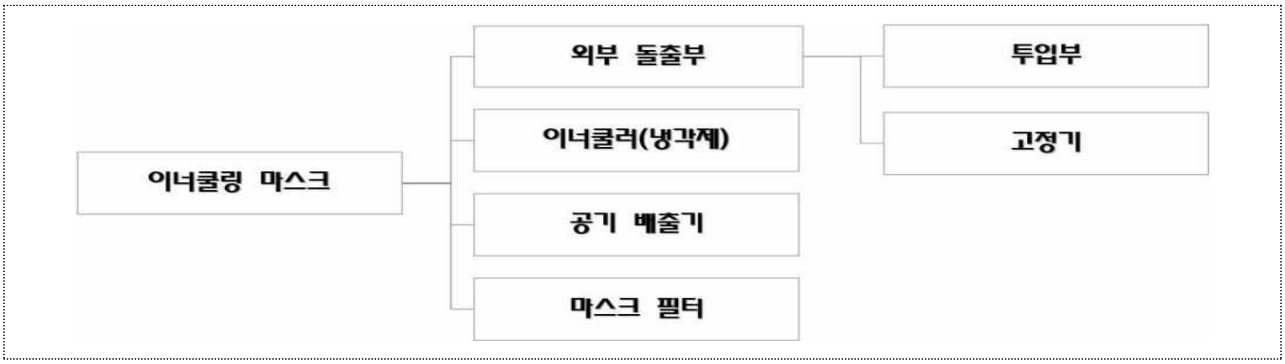
**▣ 외부 돌출부와 이너쿨러의 크기 및 디자인 수정**

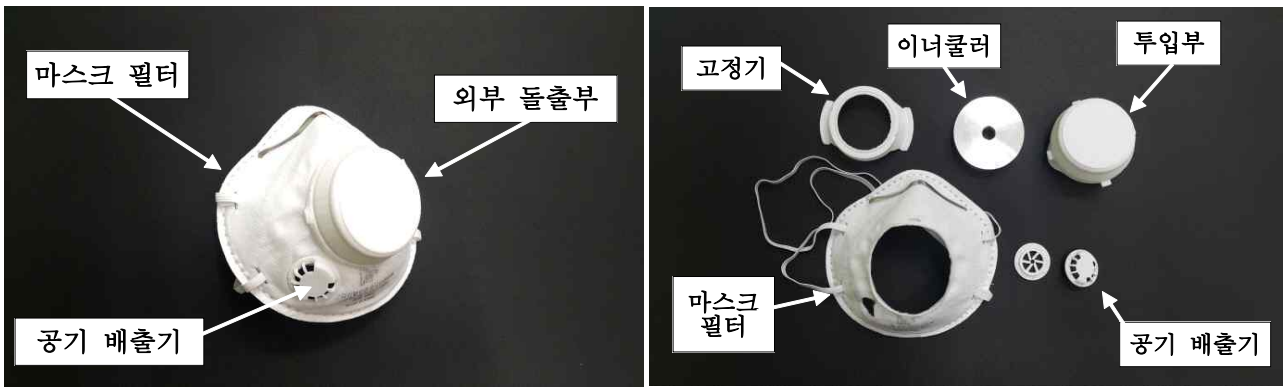
- 기능성과 심미성을 고려하여 외부 지름을 1/2로 축소하여 외부 돌출부 설계
- 이너쿨러의 부피를 줄이고 외벽 두께를 얇게 제작하여 무게 감소

| 문제점 | | 개선 아이디어 | |
|---|---|---|---|
| **Q.1** 불필요한 냉기 손실이 발생한다.<br><br>**Q.2** 이너쿨러가 앞표면에서만 열교환이 일어나 공기 냉각이 비효율적이다.<br><br>**Q.3** 마스크 필터와 결합이 쉽게 해체된다. |  | **A.1** 외부 돌출부와 공기 배출기의 위치를 분리한다.<br><br>**A.2** 이너쿨러의 열교환 면적을 넓힐 수 있도록 돌출부 내부 공기 통로를 추가 설계한다.<br><br>**A.3** 마스크를 걸 수 있는 부분을 설계한다. |  |

### 5) 5차(최종) 작품 지도

#### 가) 최종 작품의 구조



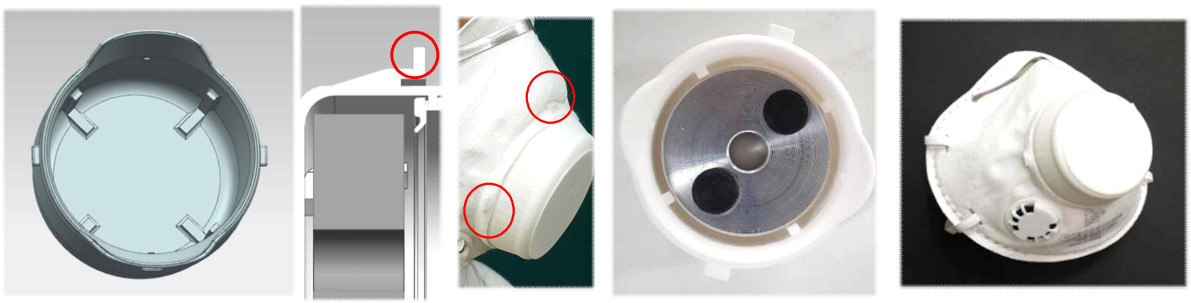

[그림 10] 이너쿨링 마스크 결합 사진(왼쪽)과 분해 사진(오른쪽)

#### 나) 작품의 부품 제작 지도

이너쿨러의 열교환 면적을 넓히기 위해 투입부 내부에 공기 통로를 확보하고 마스크 필터 결합의 견고함을 높이기 위해 마스크 필터 걸이를 추가 설계하였다.

**▣ 돌출부 내부 공기 통로 확보 및 마스크 필터 걸이 제작**

- 투입부 내부 공기통로 확보를 위한 L자형의 공기순환 기둥 설치
- 마스크 결합을 견고하게 하기 위해 마스크 필터 걸이 추가 설계
- 외부 돌출부와 공기 배출기 위치 분리

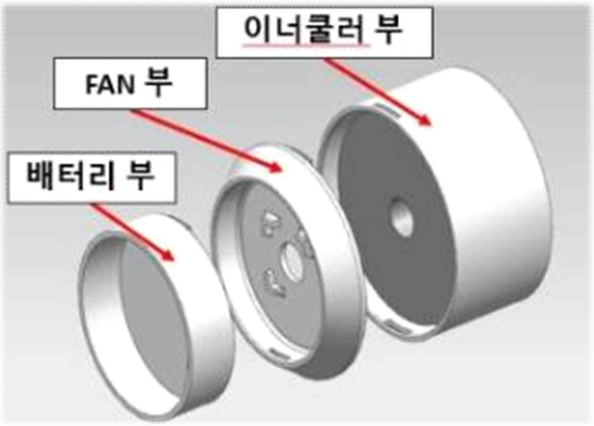


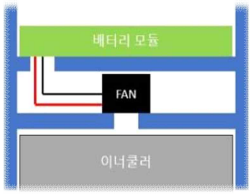
다) 추가 비교 작품 지도

자동 동력장치에 의한 내부 온습도 감소 효과성을 확인하기 위해 마스크 내부에 팬을 부착한 추가 작품을 제작하여 비교하였다. 그 결과 최종작품에 비하여 온습도 감소효과가 낮았고 다양한 부품의 주입으로 외형적으로도 부피가 커지고 소음이 심하여 실용성이 떨어졌다.

**▣ 투입부 내부에 팬을 부착**

- 이너쿨러의 두께를 축소하고 내부에 팬, 모듈, 리튬전지 부착

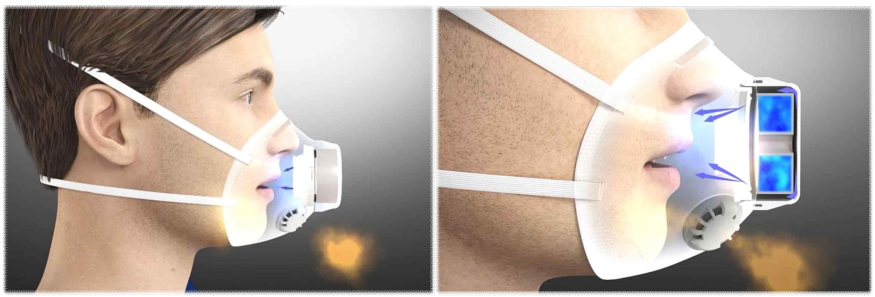


| 문제점 | 최종 마스크와 비교 결과 |
|---|---|
| ▪ 마이크로 팬을 부착해도 냉각효과 증가가 없었다.<br>▪ 팬에서 발생하는 열로 내부 온도가 증가하였다.<br>▪ 소음이 심했고 마스크 무게도 증가하였다.<br>▪ 배터리 모듈, 팬, 이너쿨러 삽입으로 마스크 외형의 돌출정도가 심해졌다.<br>▪ 배터리 충전으로 인한 전기사용이 필요하다. | ▪ 최종 작품의 냉각효과가 더 우수했다.<br>▪ 최종 작품의 무게가 더 가벼웠다.<br>▪ 최종작품은 소음이 없었다.<br>▪ 외형을 비교해볼 때 최종작품의 심미성이 더 뛰어났다.<br>▪ 최종작품은 추가적인 전기장치가 없어도 날숨을 동력으로 사용이 가능하다. |

라) 작품 영상 제작 지도

본 발명품은 눈에 보이지 않는 공기의 흐름으로 마스크 내부의 온도와 습도를 조절하는 발명품이다. 따라서 마스크 내부 공기흐름을 시각화하여 보여주기 위해 콘티 구성 및 그래픽 편집 과정을 거쳐 영상을 제작하였다.

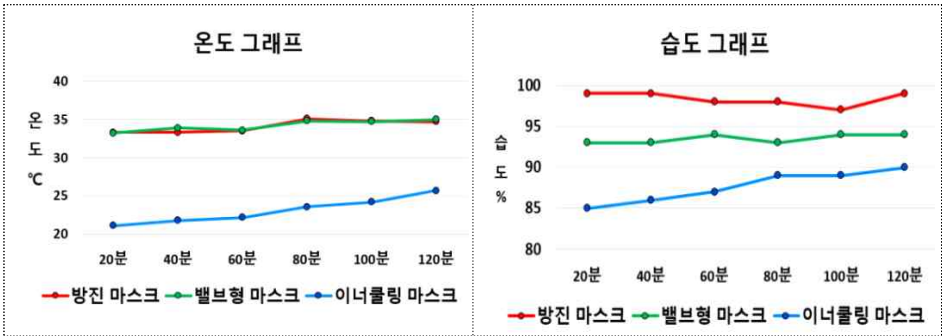


[그림 11] 이너쿨링 마스크 내부 공기 흐름 모식도

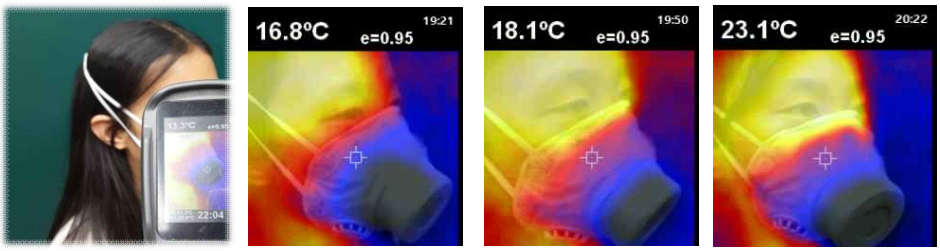
## 나. 효과성 검증 실험 지도

### 1) 효과 검증 실험 요약

① 마스크 내부 온습도 측정 **(온습도 측정기)**

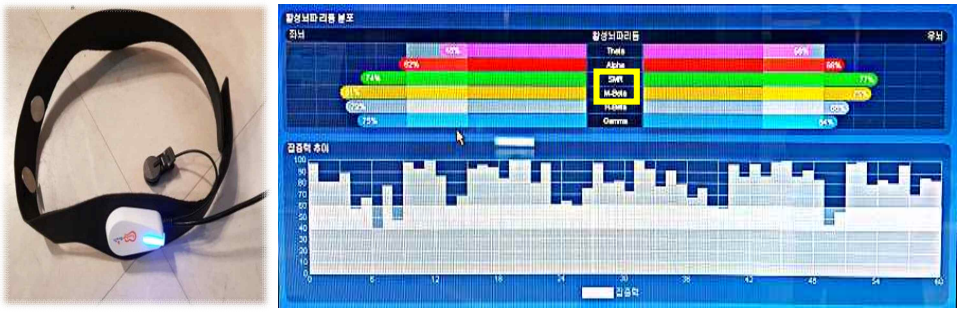



② 마스크 내부 열 흐름 상태 분석 **(열화상 카메라)**

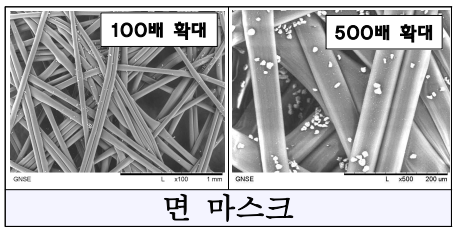


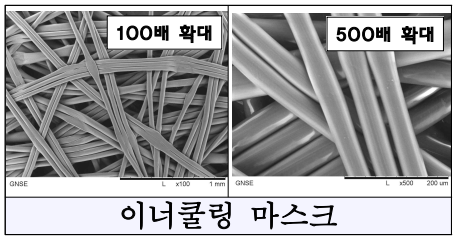

| 착용 시간 | 30분 | 60분 | 90분 |
|---|---|---|---|
| 온도 | 16.8 °c | 18.1 °c | 23.1 °c |

③ 주의 집중력 변화 검증 **(뇌파분석기)**



④ 미세먼지 차단력 검증 **(검증상자, SEM)**



## 2) 마스크 내부 온습도 측정 및 쿨링 지속력 비교

이너쿨러 기능에 따른 마스크 내부의 온습도 감소 효과성을 검증하기 위해 정밀 온습도 측정기를 활용하여 3종 마스크(방진 마스크, 밸브형 마스크, 이너쿨링 마스크)의 날숨에 따른 온습도 변화를 측정하여 효과성을 비교・검증해보았다.

| 지도 내용 | |
|---|---|
| 준비물 | 3종 마스크(방진 마스크, 밸브형 마스크, 이너쿨링 마스크), 정밀 온습도 측정기 |

▪ 실험 방법 지도

-3종의 마스크를 동일한 환경 및 시간동안 실험 진행한다.

-학생이 온습도 측정센서를 넣은 3종의 마스크를 착용하고 20분 간격으로 기록한다.

-측정된 온도와 습도를 그래프로 나타내어 온습도 변화를 시각화한다.

-기상청 홈페이지의 불쾌지수 계산기를 활용하여 각 온습도 수치를 불쾌지수로 환산한다.

-환산한 수치를 보고 본 발명품의 쿨링 지속 효과성을 해석한다.

▪ 실험에 필요한 이론 지도

-E.C.Thom(1957)에 의해 고안된 불쾌지수 계산법 (9/5)T - 0.55(1-RH)[(9/5)T -26) + 32 (T : 기온(℃), RH: 상대습도(%))에 의해 75 미만일 때 쾌적하다는 기준을 설정하고 마스크 착용 후 불쾌지수가 75에 도달할 때 까지를 '쿨링 지속 시간' 으로 정의한다.

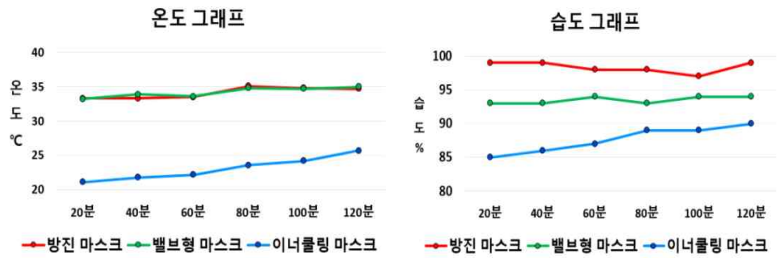
▪ 실험 시 주의사항

-온습도 측정기 센서를 손으로 잡지 않는다.

### 실험 결과

이너쿨링 마스크는 기존 두 종류의 마스크와 비교하여 평균적으로 온도는 10℃, 습도는 11% 낮게 측정, 불쾌지수는 평균 20만큼 낮게 산출되는 효과가 나타났다. 본 발명품은 온습도와 불쾌지수를 낮추는 효과로 쿨링 지속력이 약 1시간 50분가량 지속될 수 있었다.

| | 20분 | 40분 | 60분 | 80분 | 100분 | 120분 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 방진 마스크 | 91.75 | 91.75 | 91.92 | 94.77 | 94.03 | 94.25 |
| 밸브형 마스크 | 90.46 | 91.67 | 91.33 | 93.22 | 93.25 | 93.77 |
| **이너쿨링 마스크** | 68.99 | 68.99 | 70.96 | 73.48 | 74.49 | 77.14 |



### 3) 마스크 내부 열 흐름 상태 분석 및 쿨링 효과 검증

숨을 내쉴 때 마스크 내부의 열 흐름 상태를 시각화하기 위하여 3종의 마스크(일반 방진마스크, 밸브형 마스크, 이너쿨링 마스크)를 열화상 카메라로 촬영 해보았다. 이를 통해 3종의 마스크 내부의 시간에 따른 온도변화를 확인하여 이너쿨링 마스크의 쿨링 기능의 효과성을 검증하였다.

**지도 내용**

| 준비물 | 3종 마스크(방진 마스크, 밸브형 마스크, 이너쿨링 마스크), 열화상 카메라 |
|---|---|

▪ 실험 방법 지도

-3종의 마스크를 동일한 환경 및 시간동안 실험 진행한다.

-학생이 3종의 마스크를 착용하고 30분 간격으로 열화상 카메라로 촬영한다.

-열화상 카메라에 의해 촬영된 마스크 내부의 열분포를 파악 후 온도를 기록한다.

-3종의 마스크의 열분포를 비교 분석하여 본 발명품의 쿨링 효과성을 해석한다.

▪ 실험에 필요한 이론 지도

-열화상 카메라 특징: 일반적인 카메라는 사람의 눈과 같아서 우리가 보는 것과 비슷한 모습을 담아낸다. 하지만 열화상 카메라는 열을 추적•탐지하여 촬영하는 특수 장비로 장애물과 상관없이 물체의 온도 분포를 파악할 수 있다. 따라서 마스크로 가려진 내부의 열 흐름 상태를 알아보기 위한 가장 적합한 실험 도구이다.(Naver Blog)

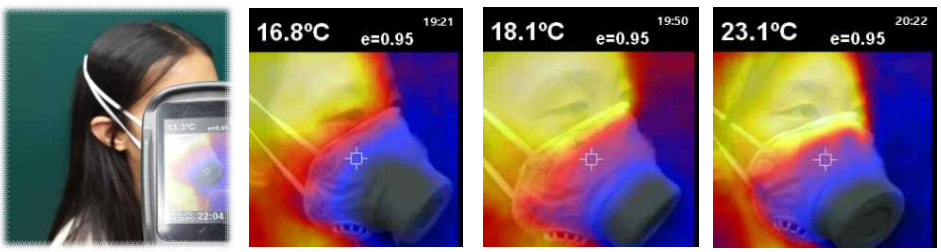
▪ 실험 시 주의사항

-열화상 카메라 초점을 잡을 때 마스크의 동일한 위치를 조준한다.

**실험 결과**

일반 방진마스크와 밸브형 마스크는 숨을 내 쉴 때 날숨의 더운 열기가 마스크 내부를 맴도는 모습이 촬영되었다. 반면 이너쿨링 마스크는 이너쿨러와 더운 공기가 활발하게 열교환이 일어나며 내부 온도를 낮추는 모습을 보이며 뛰어난 쿨링 효과성을 보였다.

| 마스크 종류 | 착용 시간에 따른 마스크 내부 온도 | | |
|---|---|---|---|
| | 30분 | 60분 | 90분 |
| 일반 방진마스크 | 33.1°c | 33.6°c | 34.2°c |
| 밸브형 마스크 | 32.8°c | 33.7°c | 34.5°c |
| 이너쿨링 마스크 | 16.8 °c | 18.1 °c | 23.1 °c |




| 착용 시간 | 30분 | 60분 | 90분 |
|---|---|---|---|

## 4) 발명품 착용에 따른 주의 집중력 향상 효과 검증

마스크를 필수적으로 써야하는 외부작업자 상당수가 마스크 착용을 하지 않는 이유를 여러 기사와 논문을 바탕으로 분석한 결과 덥고 답답한 마스크 착용으로 인한 집중력 감소로 '안전사고에 대한 위험성' 이 있다는 사실을 알았다. 따라서 본 발명품의 쿨링효과가 착용자의 주의집중력에 미치는 영향을 알아보기 위해 뇌파 분석 실험을 진행하였다.

### 지도 내용

| 준비물 | 2종 마스크(방진 마스크, 이너쿨링 마스크), 밴드형 뇌파센서 |
|---|---|

▪ 실험 방법 지도

-2종의 마스크를 동일한 환경에서 실험 진행한다.

-학생이 밴드형 뇌파센서와 2종의 마스크를 착용하고 실험을 진행한다.

-마스크별 주의집중력에 대한 결과 수치를 확인한다.

-6개의 활성뇌파 중 SMR파와 M-Beta파의 수치를 분석한다.

-분석된 수치를 보고 본 발명품의 주의집중력 향상에 미치는 영향을 해석한다.

▪ 실험에 필요한 이론 지도

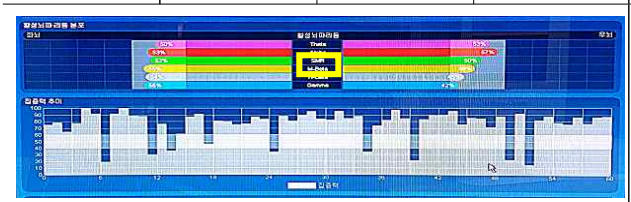
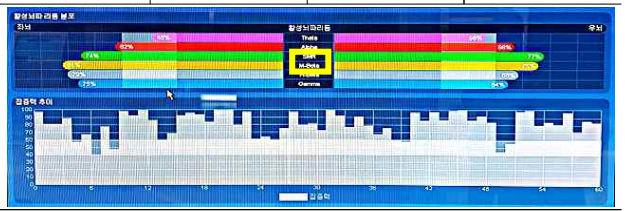
-Sterman(1977)에 의하면 6개의 활성 뇌파중 2개의 뇌파(SMR파, M-Beta파)를 통해 측정자의 주의 집중력을 확인할 수 있다. SMR(Sensory Motor Rhythm)파는 각성 준비상태 혹은 운동계 대기상태로 주의집중력을 나타내는 척도로 많이 사용되며 M-Beta파는 의식 활동, 정신 활동, 학습에 몰두한 상태일 때 많이 발생되는 뇌파이다.

▪ 실험 시 주의사항

-뇌파센서를 두피에 최대한 접촉할 수 있도록 견고하게 착용한다.

### 실험 결과

SMR파와 M-Beta파를 기준으로 실험 결과를 해석하면 일반 방진마스크에 비해 이너쿨링 마스크 착용 시 좌뇌, 우뇌 모두 SMR파와 M-Beta파의 수치가 20이상 상승하여 주의집중력 향상에 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

| 일반 방진마스크 | | | | 이너쿨링 마스크 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 좌뇌 | | 우뇌 | | 좌뇌 | | 우뇌 | |
| SMR파 | M-Beta파 | SMR파 | M-Beta파 | SMR파 | M-Beta파 | SMR파 | M-Beta파 |
| 52 | 55 | 50 | 48 | 74 | 81 | 77 | 75 |
|  | | | |  | | | |

### 5) 미세먼지 차단력 효과 검증

이너쿨링 마스크는 외부돌출부와 마스크 필터가 탈부착이 가능한 발명품이다. 따라서 부품 결합 후에도 미세먼지 차단력이 높게 유지되는지 확인 할 필요가 있었다. 이러한 이유로 추가 작품(검증상자)을 제작하고 주사전자현미경(SEM)을 활용하여 미세먼지 차단력 검증실험을 진행하였다.

| 지도 내용 | |
|---|---|
| 준비물 | 2종 마스크(면 마스크, 이너쿨링 마스크), 검증상자, 주사전자현미경(SEM) |

▪ 실험 방법 지도

-2종의 마스크를 검증상자 가운데 벽에 번갈아 설치하여 실험을 진행한다.
-검증상자 좌, 우측에 설치된 미세먼지 측정기를 통해 실시간 미세먼지 농도를 확인한다.
-1시간동안 실험을 진행한 후 각 구역별 미세먼지 농도를 기록한다.
-검증상자 우측에 배치된 포집 필터를 500배 확대하여 주사전자현미경으로 관찰한다.
-기록된 수치 및 관찰 내용을 바탕으로 본 발명품의 미세먼지 차단력을 검증한다.

▪ 실험에 필요한 이론 지도

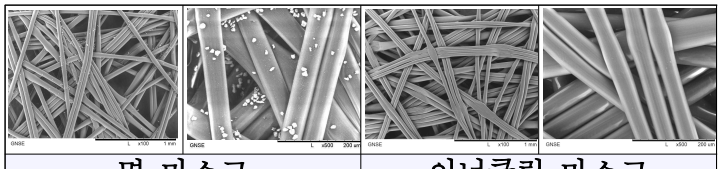
<검증상자 제작>
-밀폐된 환경 조성이 가능하고 실험과정을 쉽게 관찰할 수 있는 아크릴 재질로 제작
-가운데 벽을 기준으로 좌측은 미세먼지 구역, 우측은 마스크를 통과한 공기 측정 구역 설정
-좌측의 팬은 미세먼지 입자(5㎛~10㎛)와 유사한 토너가루 입자(6.5㎛~10㎛)를 흩날리는 역할
-우측의 팬은 좌측의 공기가 마스크를 통과하여 우측으로 유입하도록 하는 역할
-두 구역에 미세먼지 측정기 설치, 우측에 포집 필터 배치

<주사전자현미경>
-주사전자현미경(Scanning Electron Microscope)은 집중적인 전자빔으로 주사하여 표본의 상을 얻는 전자현미경의 한 종류로서 마스크를 통과한 눈에 보이지 않는 미세한 입자의 포집 상태를 상세히 확인하기 위해 적합한 실험 도구이다.

**실험 결과**

검증상자를 활용하여 1시간 동안 실험한 결과 면 마스크 실험에서는 '미세먼지 나쁨' 상태(미세먼지 수치:186)가 나타났고 이너쿨링 마스크 실험에서는 '미세먼지 좋음' 상태(미세먼지 수치:0)를 유지하였다.

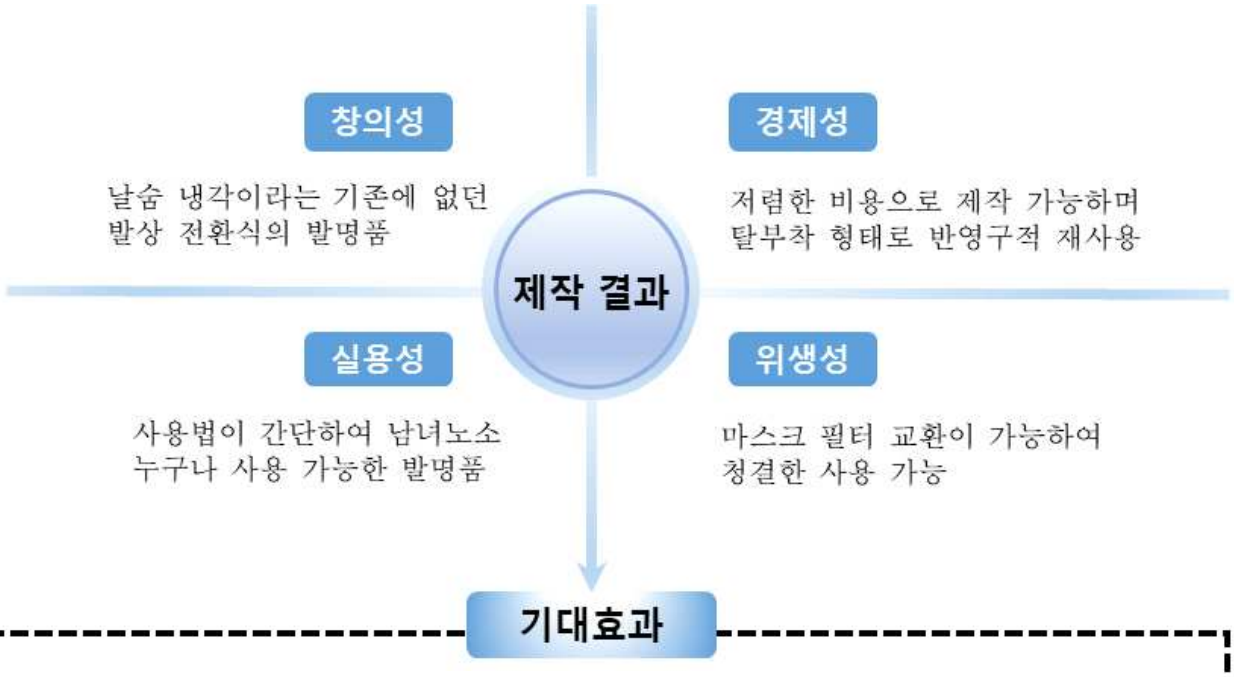
검증 상자의 우측(차단력 측정 구역)에 배치된 포집 필터를 각각 수집하여 주사전자현미경(SEM)으로 포집 필터를 500배까지 확대하여 관찰한 결과, 이너쿨링 마스크 실험의 포집 필터는 깨끗한 반면 면 마스크 실험의 포집필터에서는 많은 수의 미세먼지 입자가 확인되었다.



면 마스크 | 이너쿨링 마스크

# 5 제작 결과 및 결론

## 가. 제작 결과




본 작품은 과학적 이론을 바탕으로 만들어진 발명품으로 덥고 미세먼지 많은 날, 시민들의 마스크 착용률을 높이는데 기여하고 마스크를 필수적으로 착용해야하는 다양한 산업현장 및 직업군에서 활용 가능하다. 이를 통해 외부작업자들의 일 능률 및 주의 집중력을 강화시켜 안전사고율을 줄일 수 있으며, 전염병 예방 및 폐질환 환자들을 위한 보건 의료용으로도 활용 가능할 것이라 기대된다.

## 나. 결론

미세먼지는 요즘 가장 화두인 사회적 문제이다. 하지만 마스크 착용률이 너무나도 낮은 현실을 보면서 마스크 착용률 향상에 기여하기 위하여 본 발명품을 학생과 함께 제작하고 이를 체계적으로 지도하였다. 방진 마스크 본연의 기능인 미세먼지 차단을 확실히 함은 물론 마스크 내부의 불쾌지수를 낮춰주는 핵심기능을 추가하였다. 이렇게 사회적 문제를 해결하기 위한 과정에서 '우리 모두를 위한 발명'의 가치를 깨달을 수 있었고 마스크의 효과성 검증을 통해 과학적 탐구력을 기를 수 있었다. 또한 문제 확인, 계획, 작품 제작, 수정, 효과를 검증하는 일련의 과정에서 학생의 창의적 문제해결력을 기르고 발명가 마인드 함양이 충분히 이루어졌다고 생각한다. 여러 가지 문제를 해결하기 위해 학생과 함께 노력하면서 학생의 탐구력이 성장하는 모습, 자기효능감이 향상하는 모습을 지켜볼 때 지도교사로서 얻었던 보람과 자긍심에 대한 가치는 앞으로도 교직생활에서 잊지 못할 소중한 경험이 될 것 같다.

# 참고 문헌 및 자료

## <참고 문헌>


곽충신(2017). **미세먼지 위험지각과 마스크 착용 증진방안에 관한 연구**, 석사학위논문, 중앙대학교 대학원

김옥진 (2018). **미세먼지 장기 노출과 사망**, 박사학위논문, 서울대학교 대학원

배현주, 임유라, 간순영, 이종대 (2014). **초미세먼지로 인한 어린이 환경성 질환연구 정책보고서**, 한국환경정책·평가 연구원, 51-54

유경임 (2006). **초등학교 학생의 주의집중력에 영향을 미치는 요인분석**. 석사학위논문, 경인교육대학교 교육대학원.

윤존도, 양철웅, 김종렬, 이석훈 (2005). **주사전자현미경 분석과 x선 미세분석**, 청문각, 1-30

이예인, 김중경 (2019). **열화상 카메라로 측정한 피부온도 기반 한서감 추정법, 대한기계학회**, 399-406

이정엽 (2017). **각결막염, 허혈성 심질환, 뇌졸중으로 인한 응급실 방문과 미세먼지 농도 간의 관계**, 석사학위논문, 계명대학교 대학원

이헌용, 박지훈, 윤충식 (2017). **방진마스크 필터 교체와 성능 변화의 상관성 조사**, 한국산업보건학회지, 제27권 제 4호

이현정, 최유림, 전정윤 (2012). **실내 온도가 재실자의 주의집중력에 미치는 영향에 관한 연구**, 대한건축학회지,Vol.25 No.12[2009], 411-418(8쪽)

장안수 (2014). **미세먼지가 건강에 미치는 영향**, 대한의사협회지,Vol.57 No.9,[2014])[KCI등재]

한돈희 (2001). **방진마스크의 에어로졸 방어효과와 밀착정도**, 한국환경위생학회지, 제27권 제 2호

홍동주 (2017). **그림으로 알기 쉽게 풀이한 담배보다 해로운 미세먼지 이야기**, 단행본

Davidzon, M.I. (2012). **Newton's law of cooling and its interpretation**. *International journal of heat and mass transfer*, 5397-5402

Harlan-Ferlo, E, (2010). **Exhalation**. *ANGLICAN THEOLOGICAL REVIEW*, Vol.92 No.4, 0003-3286


## <참고 사이트>


국립중앙과학관 (http://www.science.go.kr), 특허정보검색서비스 (http://www.kipris.or.kr)
국제지식재산연수원 (http://iipti.kipo.go.kr), 위키백과(https://ko.wikipedia.org)
구글(https://www.google.co.k), 유튜브(https://www.youtube.com), 네이버(https://www.naver.com)
기상청 (http://www.kma.go.kr)


## <참고 기사 및 뉴스>


연합뉴스 인터넷 신문 (https://www.yna.co.kr/), 머니투데이 인터넷 신문(http://www.mt.co.kr/)
연합뉴스 TV (http://www.yonhapnewstv.co.kr/), YTN 뉴스 (https://www.ytn.co.kr)
KBS 뉴스 (news.kbs.co.kr), 채널A 뉴스(http://www.ichannela.com/news)
MBN 뉴스(http://www.mbn.co.kr), JTBC 뉴스 (http://news.jtbc.joins.com/)
국민일보 인터넷 신문 (http://www.kmib.co.kr)