

STEAM R&E 결과 보고서

과 제 명	교차 계단 여과 방식 아가미 구조를 모방한 자동차 매연 속 미세먼지 포집 장치 개발		
소속학교	인천과학예술영재학교		
책임지도교사	윤덕한	공동지도교사	
참여학생	김수빈, 이호진, 송민석		

1. 과제 개요

□ 연구목적

본 연구는 소용돌이 교차 계단 여과 방식 물고기의 아가미 구조를 모방하여 자동차 배기관 내부에 내장된 미세먼지 포집장치를 제작하여 에너지 절감효과와 함께 효율적인 미세먼지 포집 효과를 얻는 것이다. 세부적인 연구 목적은 아래와 같다.

첫째, 소용돌이 교차계단 여과 방식 물고기 아가미의 유기물 포획 구조를 모방한 미세먼지 포집장치를 modeling, 시뮬레이션 과정을 통하여 제작하고 성능 평가 과정을 통해 미세먼지 포집 성능의 향상을 확인함으로써 자동차 매연 속 미세먼지에 의한 대기오염을 예방할 수 있는 가능성을 제시한다.

둘째, Solid works, Flow design 프로그램을 이용해 자동차 매연 속 유체 유동을 분석하고 제조한 미세먼지 포집장치를 이용하여 자동차 매연 속 미세먼지 제거 효율을 측정한다.

셋째, 미세먼지 포집장치는 자동차 배기관에 탈부착 될 수 있도록 제작하여 손쉽게 이용될 수 있도록 하고 미세먼지 제거과정에서 배기구가 막힐 염려가 없이 안심하고 사용될 수 있도록 개발한다.

□ 연구내용

연구 1. 교차 계단 여과 방식 아가미와 자동차 배기관 구조 분석

- (1) 소용돌이 교차 계단 여과 방식 어류(틸라피아)의 아가미 구조 분석
- (2) 자동차 배기관 내부 구조 분석

연구 2. 소용돌이 교차 계단 여과 방식 아가미 구조를 모방한 미세먼지 포집장치 Modeling

- (1) 소용돌이 교차 계단 여과 방식 필터 모형 제작
- (2) Flow design을 통한 필터 시뮬레이션
- (3) 로다민 염료를 통한 필터 내부에서의 유체흐름 분석
- (4) 소용돌이 교차 계단 여과 아가미 구조를 모방한 자동차 미세먼지 포집장치 제작

연구 3. Flow Design을 통한 미세먼지 포집장치 내의 유체 및 미세먼지 흐름 분석

- (1) 미세먼지 포집장치 모형 내의 유체 및 미세먼지 유동 시뮬레이션
- (2) 미세먼지 포집장치 모형의 유체 흐름 개선도 평가

연구 4. Prototype 미세먼지 포집 장치 제작 및 성능 평가

- (1) Prototype 미세먼지 포집 장치 제작
- (2) 틸라피아 아가미 구조를 모방한 미세먼지 포집 장치의 미세먼지 포집 효과 분석

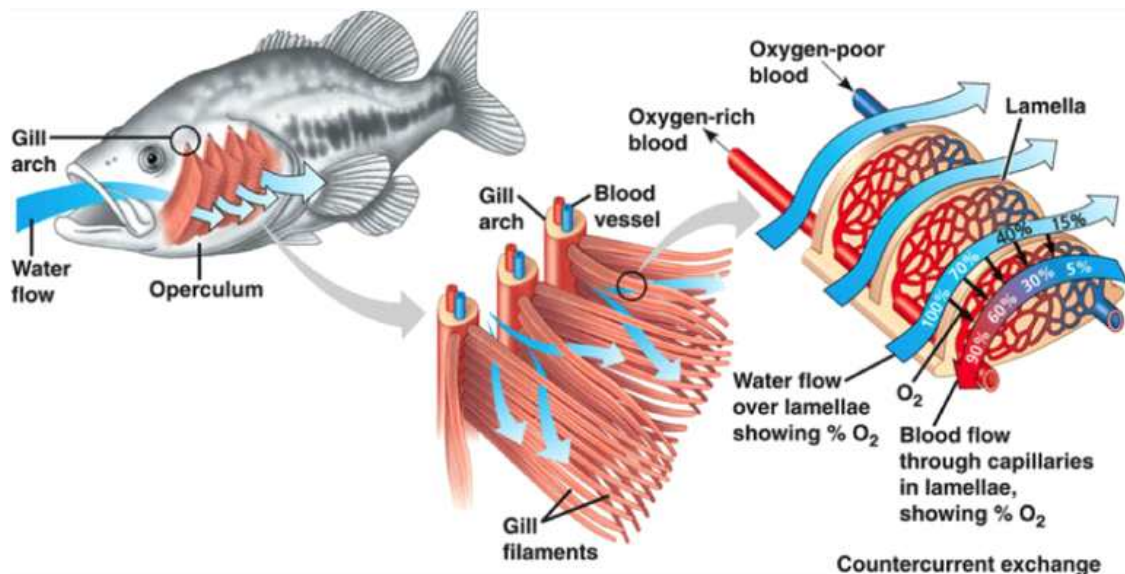
2. 과제 수행 내용

□ 이론적 배경 및 선행 연구

1. 어류의 아가미 구조

가. 일반 어류 아가미 구조

어류의 아가미는 크게 새파, 새궁, 새엽(새판)으로 이루어져 있다. 새궁은 새엽과 새파를 지지하는 역할을 하는데 새궁에는 수많은 빗 모양의 새엽이 발달해 있고 이 새엽에는 그물 모양으로 모세혈관이 분포하는 무수히 많은 작은 새판이 발달해 있다. 어류가 입을 통해 흡입한 물이 아가미를 지나가게 되고 새엽 사이를 통과하면서 혈관과의 기체 교환이 이루어진다. 새파는 흡입한 물에 들어있는 이물질을 걸러내는 필터 역할을 한다.

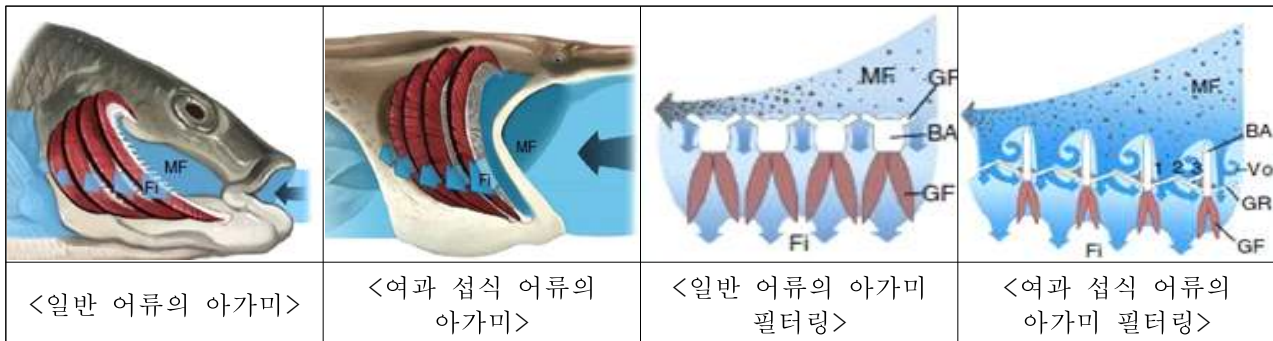


<아가미 호흡 방법>

나. 여과섭식어류 아가미 구조

주걱철갑상어(paddle fish; *Polyodon spathula*)와 돌묵상어(basking sharks; *Cetorhinus maximus*) 등의 여과섭식어류이자 돌진섭식어류는 입을 완전히 연 채 수영하면서 물이 아가미갈퀴 사이로 빠져나가는 동안 동물성 플랑크톤을 가두어 놓는 방식으로 먹이를 섭취한다. 이들의 아가미 새파는 한 곳으로 모이는 구조를 가지고 있고, 다른 어류들과는 다른 방식의 립과 홈의 배열을 가지고 있다. 이 배열에서 물고기 입 안의 물의 주류는 아가미 새파 사이의 깊은 홈에 의해 다공성 아가미갈퀴로부터 분리된다. 다른 어류들과 달리 여과섭식어류의 아가미는 립 간에 높이 차가 있는데 이 아가미의 홈 종형비(홈의 너비 w 를 이웃한 립들의 높이 h 로 나눈 것)는 3, 4보다 작다. 이러한 립을 d형 립이라고 한다. d형 립 사이에 전단층이 생기면서 상호작용이 집중적이고 지속적인 소용돌이를 형성하게 된다. 이때, 이 소용돌이는 두 립 사이의 기공이 없는

흙 전체에서 나타나게 되며 이러한 필터링 방식을 소용돌이형 교차 계단 필터링이라고 한다. 이 소용돌이로 인해 아가미로 들어오는 이물질이 립 사이의 3번 부분에 밀집하게 되고, 이로 인해 여과섭식어류의 아가미는 물이 아가미를 통과하면서 아가미굽이 사이의 구멍의 크기보다 작은 크기의 이물질을 걸러낼 수 있게 된다.



2. 멤브레인 필터의 특성과 응용

입자 크기에 따라 달라지는 여과 공정에 따라 필터를 나눌 수 있다. 먼저, 미세 여과(microfiltration)와 초미세 여과(ultrafiltration)가 있다. 미세여과는 0.05~10 μ m 크기 범위의 입자를 분리할 수 있지만 초미세 여과는 0.001~0.1 μ m 범위의 미립자를 분리해낸다. 미세 여과는 초순수 제조, 제약 산업 등에서 사용되고 있고 초미세 여과는 화학이나 생화학을 비롯한 여러 응용산업에서 널리 사용되고 있다. 이온 크기까지도 분리해내는 투석법(dialysis)이 있으며 이를 응용해서 투석법을 반대로 한 역삼투압 방식(reverse osmosis)도 있다. 기체나 액체 정화용으로 사용되는 필터로는 멤브레인 필터, 섬유 필터, 뉴클리어포어 필터와 같이 3가지 주요 형태가 있다. 멤브레인 필터는 0.2mm 이하의 매우 얇은 두께로 이루어져 있으며 미세 포어들이 서로 연결되어 있는 구조이다. 필터가 포어 직경과 같은 크기의 입자를 99.99999%까지 여과할 수 있는 효율이어서 초순수 기체 및 액체 생산이 가능하다. 주로 폴리머 재질을 필터에 사용하며 디스크, 카트리지, 시스템 형태로 상업화되어 있다. 멤브레인 필터는 디스크나 카트리지 형태로 상품화 되어있다. 주된 응용분야는 반도체 공정이나 TFT-LCD 공정에 사용되는 초순수 기체 및 케미칼 정제용, 정수기 및 수질 오염 제거용 등이 있다. 카트리지 필터의 구조를 살펴보면 유체 흐름이 바깥쪽에서 내부로 흐르면서 절곡된 필터에 의해 입자가 분리되는 것을 볼 수 있다. 카트리지 필터란 여과재의 천의 형태가 끈이 매어져 있는 원통으로 되어 있는 여과기를 말한다. 이때, 이 끈이 매어져 있는 원통의 여과재를 카트리지라고 한다. 이 카트리지는 일반적으로 1회용이다. 카트리지 필터는 필터 처리 용량이 400L 이상 되는 여과 고정에 사용되고 일반적으로 스테인리스 스틸 재질의 카트리지 하우징 내에 고정되어 사용된다.

□ 연구주제의 선정

연구 주제를 선정하기 위해서 진행했던 세미나의 목표는 과학만이 아닌 수학, 예술, 공학 등 다양한 학문이 통합되는 연구 주제 선정이었다. 과학이라는 하나의 학문보다 다양한 학문이 통합될 때 현실성 있고 실현가능성이 높은 연구를 할 수 있을 것이라고 생각하였기 때문이다.

연구 주제를 선정하는 과정에서 실생활에 도움이 될 수 있는 연구 주제인지에 대해 많은 고민을 하였다. 또한 생명과학 한 분야만이 아닌 공학, 수학, 예술 등 다양한 분야가 융합되며 고등학교 수준의 교과 지식이 적용될 수 있는 주제를 선정하고자 노력하였다. 이러한 조건을 모두 충족시키는

주제를 선정하기 위하여 많은 세미나 활동을 통해 STEAM R&E 주제로서 ‘교차 계단 여과 방식 아가미 구조를 모방한 자동차 매연 속 미세먼지 포집 장치 개발’을 최종 연구 주제로 선정하게 되었다. 논의를 진행하는 과정에서 자동차 배기가스의 문제점이 크다는 사실뿐만 아니라 가스 속 미세먼지도 커다란 환경오염 요인이라는 사실을 알게 되었다. 문제는 배기가스 속의 미세먼지를 얼마나 제거하느냐가 문제점으로 생각되었다. 이는 미세먼지 포집장치의 성능에 따라 좌우되는 문제였고 포집장치의 유체 흐름을 개선시켜 효율을 증가시킨다면 미세먼지에 대한 문제를 해결할 수 있을 것이라고 생각하였다. 유체 흐름을 방해하지 않으면서 작은 입자까지 거를 수 있는 소용돌이 교차 계단 여과 방식 물고기 아가미 구조가 미세먼지 포집장치의 성능을 높이는 데에 가장 적합한 구조라고 생각하여 이를 모방하여 미세먼지 포집장치의 구조를 설계하는 것을 연구의 목적으로 하였다. 연구의 원활한 진행을 위해 연구 소주제에 대해서 역할 분담을 하여 적극적인 연구 참여와 연구 능률이 높아지도록 하였다. 주기적인 세미나를 통해서 연구에 대한 정보를 공유하였으며 서로가 연구에 대해서 깊은 이해를 할 수 있도록 하였다. 또한 STEAM 요소를 추출하여 세부 연구 활동 내용을 설정하였고 연구자문 교수님과의 많은 의견 교류와 자문을 통해서 즉각적인 피드백이 진행될 수 있도록 하였다.

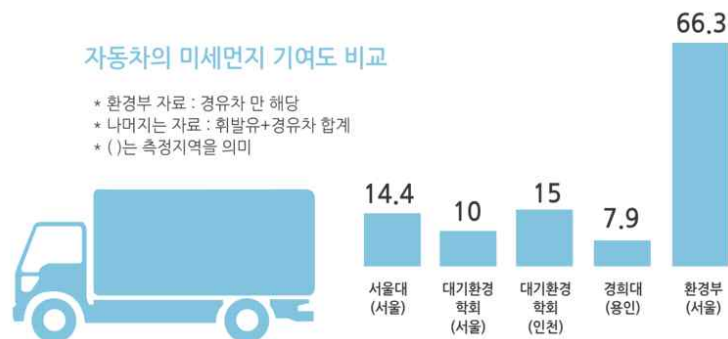


fig 1. 자동차의 미세먼지 기여도

□ 연구 활동 및 과정

1. 연구 1 : 교차 계단 여과 방식 물고기 아가미와 자동차 배기관 소음기 구조 비교 분석

가. 소용돌이 교차 계단 여과 방식 어류(틸라피아)의 아가미 구조 분석

1) 여과섭식어류(틸라피아) 해부

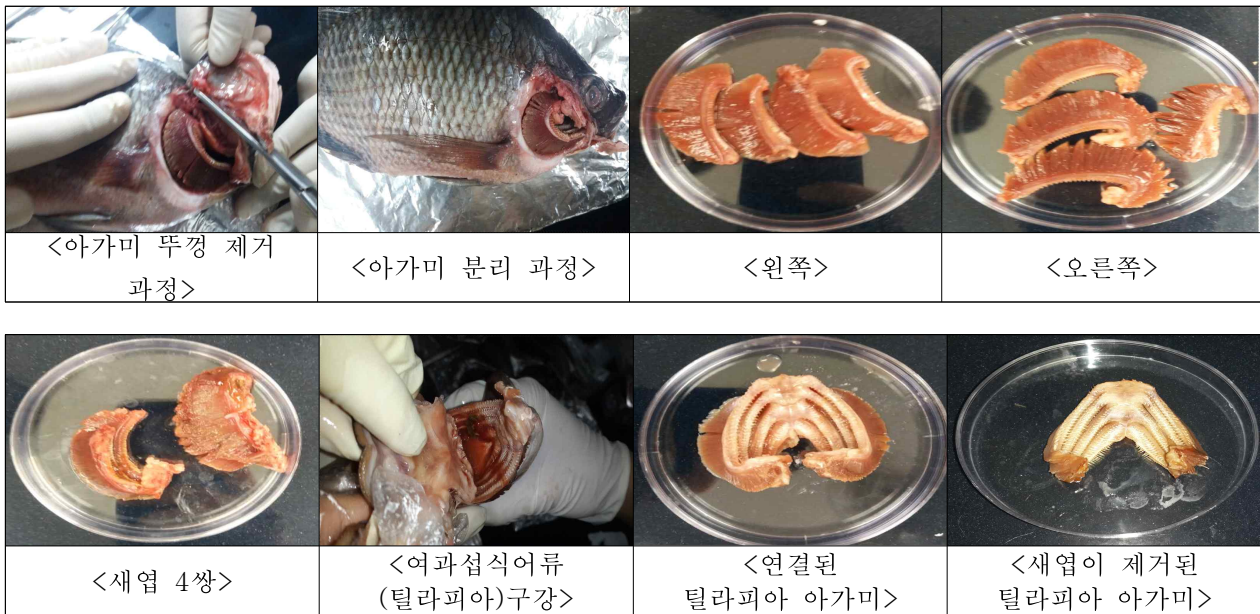
- 가) 냉동된 틸라피아 4마리를 상온에서 2시간, 수조에서 1시간 30분 동안 해동시킨다.
- 나) 해동된 틸라피아 1마리를 꺼내 아가미를 해부한다. 해부용 가위와 집게를 이용해 좌우의 아가미 뚜껑을 잘라낸다. 해부용 가위와 집게로 턱 부분에서 눈 위쪽까지 공간을 확보하고 아가미를 분리하여 꺼낸다. 아가미 새엽을 새궁과 새파를 포함하여 한 개씩, 총 8개로 분리 한다.
- 다) 다른 틸라피아 1마리를 꺼내서 가)~나)의 방법으로 해부하고 아가미를 꺼낸다. (단, 아가미 새엽 4쌍을 모두 따로 잘라내지 않고 좌우만 분리한다.)

2) 여과섭식어류(틸라피아) 아가미 구조 분석

- 가) 틸라피아 1마리는 구강 구조 분석을 위해 구강 부분을 매스로 잘라낸다. 또 다른 틸라피아는 아가미에서 새엽을 잘라내고 새궁과 새파만 얻는다. 이 아가미들을 증류수로 씻고 각각 따로 페트리 접시 위에 올려놓은 후 상온에서 10분 정도 건조시키고 뚜껑

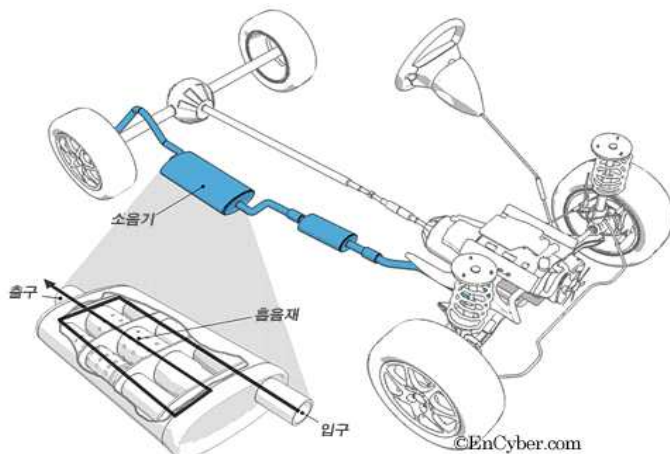
을 닫고 냉장 보관한다.

- 다) 아가미의 홈 너비, 립 높이를 측정하여 홈 종횡비를 산출하여 아가미의 구조가 d형 Rib과 k형 Rib 중 어떤 유형인지를 파악한다.



나. 자동차 배기관 내부 구조 분석

- 1) 자동차 폐차장에서 자동차 배기관을 구입하여 내부를 절단하여 구조를 확인한다.
- 2) 머플러(소음기)와 배기관 끝 사이에 교차 계단 여과 방식 아가미 구조를 모방한 미세먼지 포집장치를 넣고 탈부착이 가능한지 여부를 확인한다.



연구 2. 소용돌이 교차 계단 여과 방식 아가미 구조를 모방한 미세먼지 포집장치 Modeling

가. 소용돌이 교차 계단 여과 방식 필터 모형 제작

- 1) 소용돌이 교차 계단 여과 방식 필터 모형 디자인
 - 가) 여과섭식어류가 물을 받아들일 때의 모양을 참고하여 필터의 입구 부분을 디자인한다.
 - 나) 물고기가 입을 완전히 벌린 모양인 원형과 입을 절반정도 벌린 모양인 타원형, 공학적으로

로 안정한 사각형 모양을 디자인한다.

다) 필터의 아가미에서 측정한 홈 너비와 립 높이를 고려하고 아가미 입구와 뒷부분의 크기를 고려하여 d형 Rib의 필터를 Solid works를 이용해 디자인한다.

2) 소용돌이 교차 계단 여과 방식 필터 모형 산물에서 사포와 서페이서를 이용해 3d printing 산물의 잔재나 서포터 부분을 제거한다. 줄칼이나 벤치 집게를 이용하여서 잔재를 완벽히 처리한다.

나. Flow design을 통한 필터 시뮬레이션

1) Flow design을 통해 제작한 세 종류 필터에서 소용돌이(와류)가 발생되는지 시뮬레이션 한다.

2) Flow design을 이용해 항력을 분석한다. $c_d = \frac{2F_d}{\rho u^2 A}$ 를 통해 그래프를 그린다.

drag coefficient : 항력 계수(c_d)

drag force : 물체에 가해지는 힘(F_d)

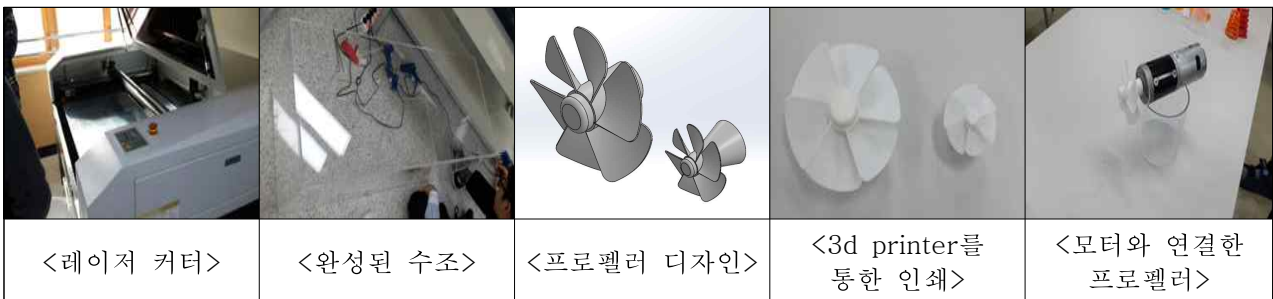
다. 로다민 염료를 통한 필터 내부에서의 유체흐름 분석

1) 유체흐름 장치 설계 및 제작

가) 제작한 세 종류 필터의 성능을 알아보기 위해 일정한 유속이 발생되고 필터를 고정시켜 관찰할 수 있는 장치를 제작한다.

나) 아크릴 판을 레이저 커터로 잘라 계획한 크기(0.45m×1m×0.6m)에 맞게 여러 개의 판으로 자른 후, 글루건을 이용하여 모서리들을 연결해 수조를 만든다.

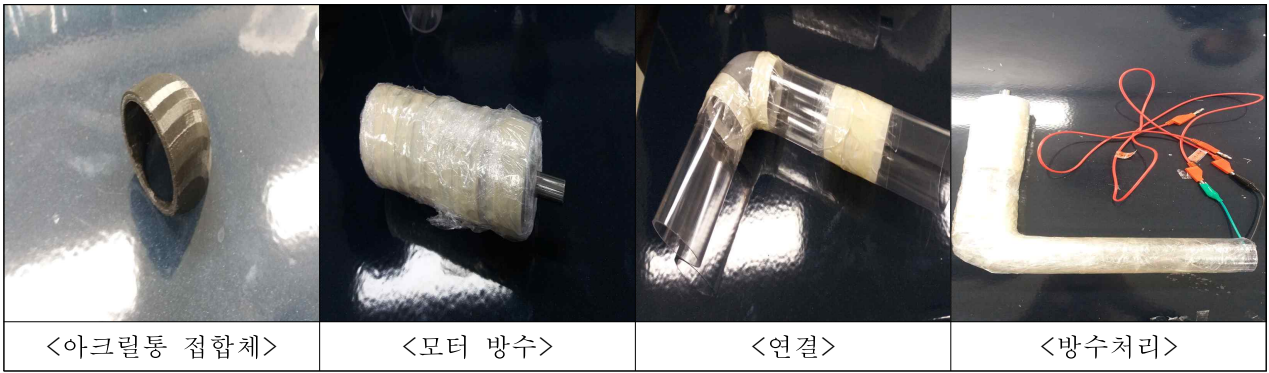
다) 프로펠러를 직경 4cm인 것과 8cm인 것 2개로 나누어 디자인한다. 프로펠러는 날개 하나를 로프트로 사용해 원형 패턴으로 일정 간격마다 날개가 있게 디자인 한다.



라) 3d printer를 이용해 아크릴 원통을 연결할 수 있는 90° 구부러져있는 모형의 아크릴통 접합체를 제작한다.

마) 12v 모터 방수 시스템을 구축한다. 방수처리하는 물라스틱, 글루건, 테이프로 구성한다.

바) 모터와 아크릴통, 3d printer로 인쇄한 아크릴통 접합체를 연결하고 방수처리를 한다.



2) 필터에서의 유체 흐름 실험

- 가) 프로펠러와 유량을 만들어내는 모터와 연결하고 수조에 물을 채운 다음 모터를 물에 담근다. 그 후 모터 앞에 제작한 필터들을 순차적으로 놓아서 실험을 진행한다.
- 나) 150ml 물과 로다민 염료 분말 3g을 섞어 0.02몰랄 농도의 로다민 염료 수용액을 제작한다. 설치한 유체흐름 장치에 각각의 모양(원, 타원, 사각형)별로 필터를 설치한다.
- 다) 주사기를 통해 로다민 염료 수용액을 주기적으로 1ml씩 흘려 보내준다.
- 라) 각각의 모터의 모양과 수용액을 흘려보내주는 위치, 모터의 출력 등의 변인에 따라 결과를 분석한다.



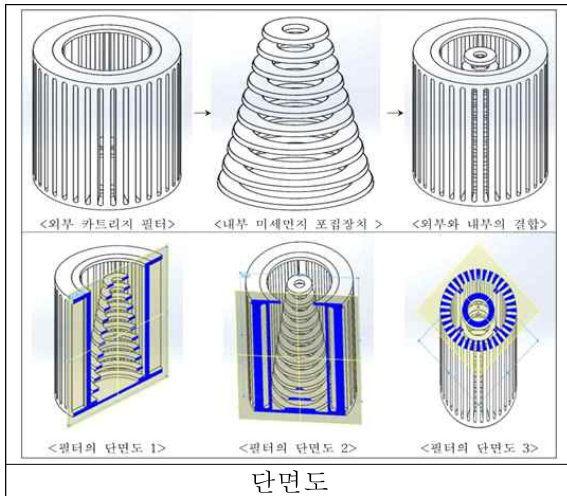
- 마) 모터의 출력, 필터 입구 모양, 소용돌이가 생기는 립의 위치에 따라서 실험을 진행하고 소용돌이 관찰 성공 횟수를 통해 비교 분석한다.
- 바) 모터의 출력에 따른 소용돌이 관찰 성공 횟수를 측정한다. 필터 구멍의 모양, 필터 지름(8cm), 로다민 염료 수용액의 농도(0.02몰랄 농도)를 일정하게 통제한다.
- 사) 필터 입구 모양에 따른 소용돌이 관찰 성공 횟수를 측정한다. 모터의 출력(5v), 필터 전신의 지름(8cm), 립의 위치, 로다민 염료 수용액의 농도(0.02몰랄 농도)를 일정하게 통제한다.

나. 소용돌이 교차 계단 여과 아가미 구조를 모방한 자동차 미세먼지 포집장치 제작

- 가) 앞선 실험들을 통해 얻은 결과를 바탕으로 가장 적합한 내부 모양을 선택한다.
- 나) 선택한 필터링 모델을 3D 프린터로 제작한다.

연구 3. Flow Design을 통한 미세먼지 포집장치 내의 유체 및 미세먼지 흐름 분석

- 가. 미세먼지 포집장치 모형 내의 유체 및 미세먼지 유동 시뮬레이션
 - 가) 간단한 모델로 디자인한다.
 - 나) 미세먼지 포집장치를 카트리지 내부에 들어갈 수 있도록 구조와 크기를 변경한다.



나. 미세먼지 포집장치 모형의 유체 흐름 개선도 평가

연구 4. Prototype 미세먼지 포집 장치 제작 및 성능 평가

(1) prototype 미세먼지 포집 장치 제작

가) 제작한 prototype의 설계도를 3D 프린터를 이용해 제작한다.

나) 제작한 prototype의 성능을 파악하기 위해 자동차 배기관과 유사한 환경의 실험환경을 조성한다.

다) 자동차 배기관과 구경이 같은 아크릴 관에 prototype을 넣고 양 옆에 미세먼지 측정기를 배치한다.

라) 왼쪽에는 먹가루를 넣은 뒤 선풍기를 통해 먹가루를 흩날리게 한다.

마) 오른쪽에서는 먹가루를 흡입할 수 있도록 청소기를 준비하여 실험을 진행한다.



(2) 틸라피아 아가미 구조를 모방한 미세먼지 포집 장치의 미세먼지 포집 효과 분석

가) 가장 두꺼운 두께의 모형으로 실험을 여러 번 반복한다.

나) 실험을 동영상으로 촬영하여 측정기의 변화를 관찰, 기록한다.

다) 중간 두께의 모형으로 실험을 여러 번 반복한다.

라) 실험을 동영상으로 촬영하여 측정기의 변화를 관찰, 기록한다.

3. 연구 결과

□ 연구 결과

연구 1. 교차 계단 여과 방식 아가미와 자동차 배기관 구조 비교 분석

가. 소용돌이 교차 계단 여과 방식 어류(틸라피아)의 아가미 구조 분석

1) 소용돌이 교차 계단 여과 방식 어류(틸라피아)의 아가미의 구조를 분석한 결과는 다음과 같다.

종	홈 너비	립 높이	중형비
틸라피아	0.5mm	1.4mm	2.8

2) 중형비가 4보다 작은 d형 Rib 이어서 소용돌이(와류)가 발생할 것으로 예상된다.

나. 자동차 배기관 소음기 내부 구조 분석

자동차 폐차장에서 구입한 자동차 배기관의 구조를 확인하여 머플러(소음기)와 배기관 끝 사이에 미세먼지 포집장치를 설치하는 것이 가장 적합하다 판단하였다. 그 뒤 탈부착 가능 여부를 살펴본 결과, 일정량 이상의 충격이 가해지지 않는다면 충분히 고정할 수 있다고 예상하였다.

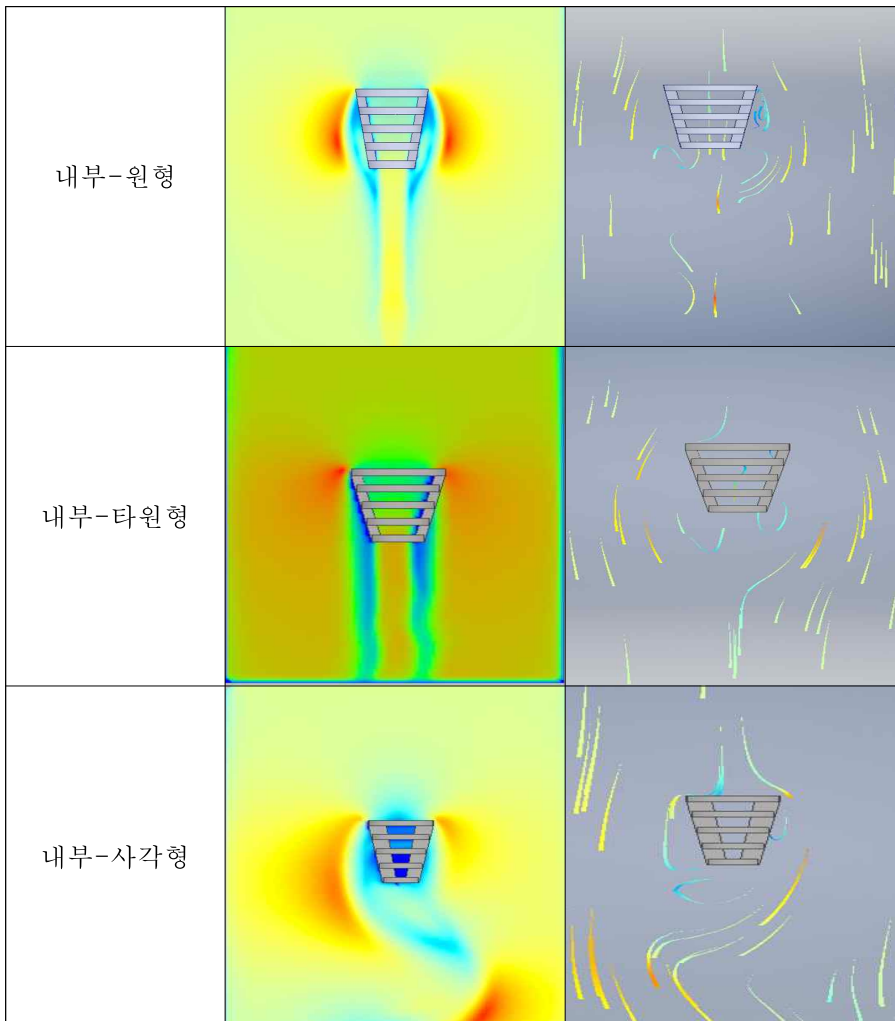
연구 2. 소용돌이 교차 계단 여과 방식 아가미 구조를 모방한 미세먼지 포집장치 Modeling

가. 소용돌이 교차 계단 여과 방식 필터 모형 제작

- 1) 틸라피아의 아가미에서 측정한 홈 너비와 립 높이를 고려하고 아가미 입구와 뒷부분의 크기를 고려하여 d형 Rib의 필터를 디자인하였다. 물고기가 입을 완전히 벌린 모양인 원형과 입을 절반정도 벌린 모양인 타원형, 그리고 비교해 보기 위하여 공학적으로 안정한 사각형 모양을 이용하여 디자인하였다.
- 2) 소용돌이 교차 계단 여과 방식 필터 모형을 3D printing으로 제작하였다.

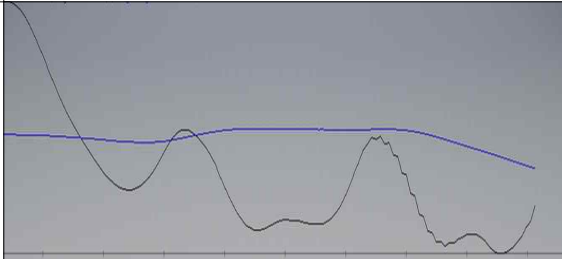
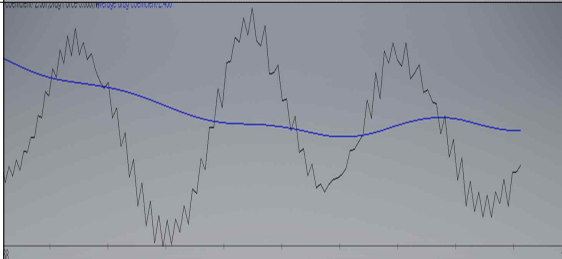
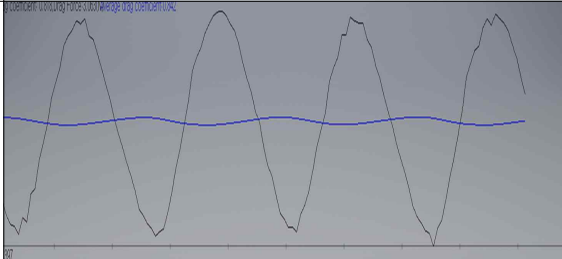
나. Flow design을 통한 필터 시뮬레이션

- 1) Flow Design을 이용하여 xyz 공간에서 유체흐름을 모양별로 분석한 결과 아가미 새궁 위치에서 소용돌이가 발생하는 것을 확인 할 수 있었다. 파란색은 느린 유속을 빨간색은 높은 유속을 나타낸다. (유속 : 0~18m/s)



Flow Design으로 미세먼지 포집 장치 모델을 분석한 결과 타원형 보다는 사각형과 원형 구멍을 가진 미세먼지 포집 장치에서 와류가 좀 더 발생되기 쉬운 조건을 가지고 있었으나, 사각형 모양은 구멍 모양이 사각형이라 d형 Rib 형태가 잘 잡히지 않고 그냥 단순히 물의 흐름이 역동적일 뿐이고 원형 모양 미세먼지 포집 장치는 원의 특성상 단면으로 보았을 때 립 골격 구조의 두께가 일정하므로 d형 Rib 구조가 어느 부분에서나 같게 나타나 교차-계단 흐름의 소용돌이가 더 잘 관찰되었다.

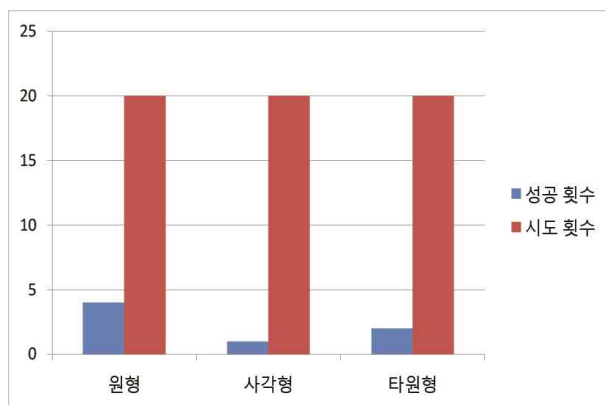
2) Flow design에서 측정된 항력 그래프는 다음과 같다.

구분	그래프	(c_d 평균)	F_d	u
내부-원형		1.421	2,550	0~18m/s
내부-타원형		2.458	5,666	0~18m/s
내부-사각형		0.842	3,063	0~18m/s

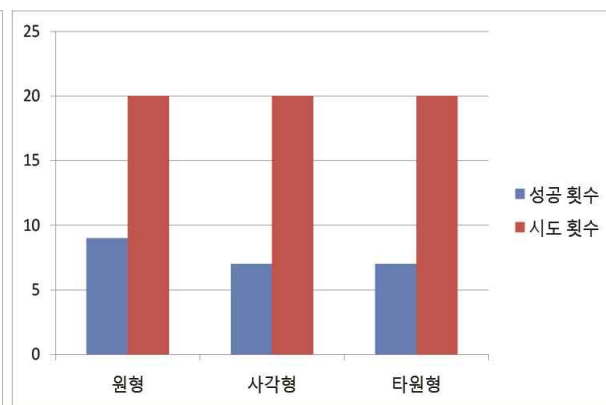
drag force는 내부-타원형이 가장 높게 나타났는데 이는 내부-타원형에서 여러 가지 저항요소가 많다고 판단된다. 내부-타원형에 비해 내부-사각형이나 내부-원형은 drag force가 비교적 작았고 또한 이물질들을 걸러내는데 이용되는 핵심요소인 소용돌이가 많이 발생하였다.

다. 로다민 염료를 통한 필터 내부에서의 유체흐름 분석

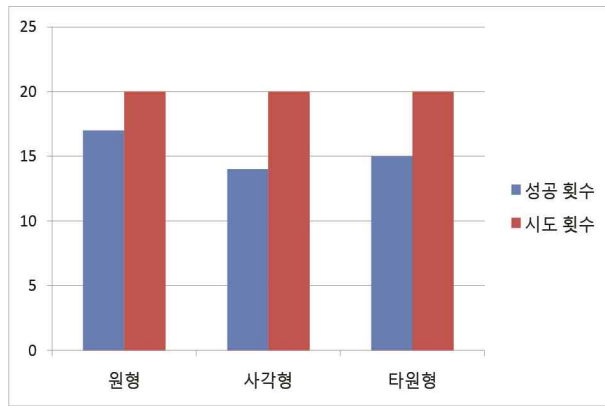
1) 모터 출력에 따른 소용돌이(와류) 발생 횟수



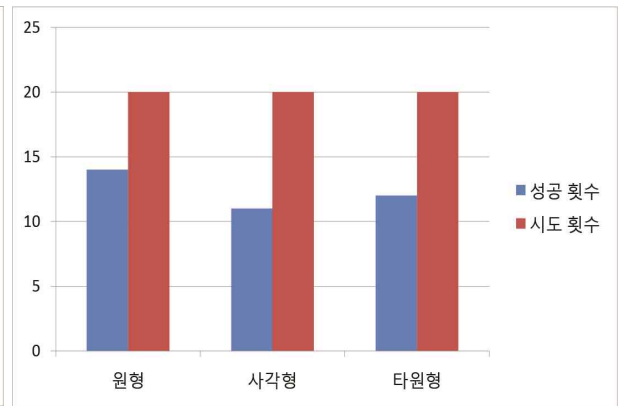
모터출력 12V



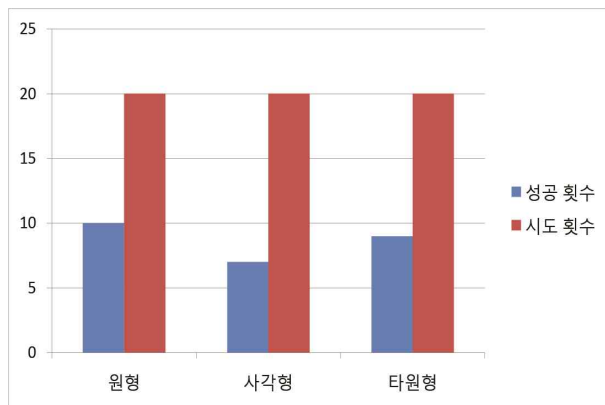
모터출력 8V



모터출력 5V



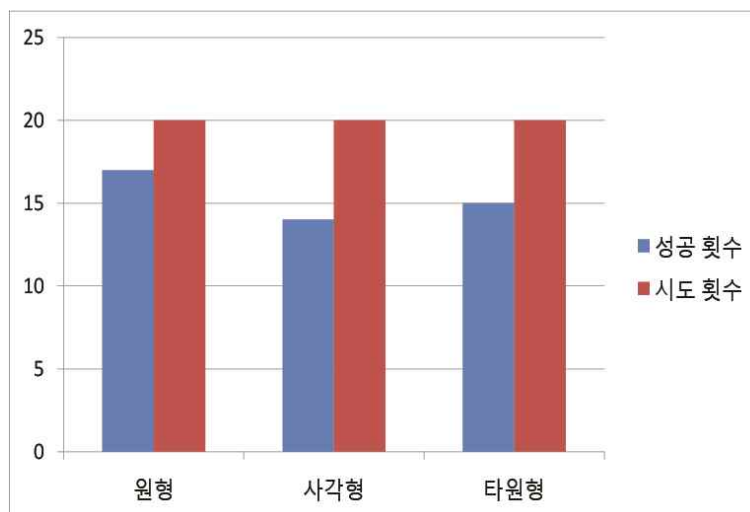
모터출력 4V



모터출력 3V

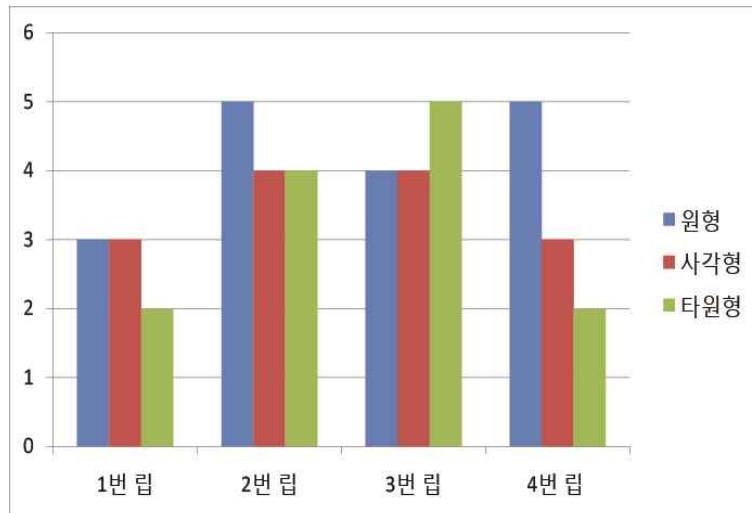
모터 출력에 따른 소용돌이(와류) 발생 횟수 조사에서 소용돌이 발생 시 성공 횟수는 5V에서 가장 잘 발생하였다. 이후 실험에서 변인에 다른 유체흐름 분석은 모터 출력을 5V로 하여 진행하였다.

2) 필터 구멍 모양에 따른 소용돌이(와류) 발생 횟수



필터 구멍 모양에 따른 소용돌이(와류) 발생 횟수 조사에서 성공 횟수는 필터 입구 모양이 원형인 경우에 가장 많았다. 교차 계단 필터링에 적합한 소용돌이는 육안 관찰에서 원형에서 가장 잘 생성되는 것을 확인하였다.

3) 립의 위치(로다민 염료를 떨어뜨리는 위치)에 따른 소용돌이(와류) 발생 횟수

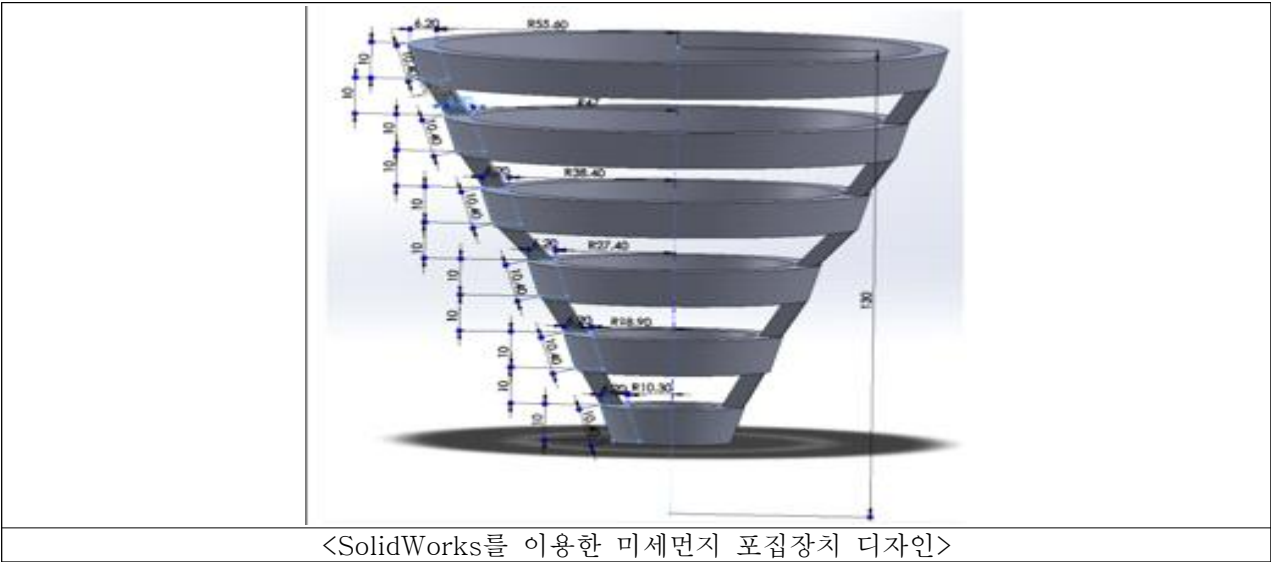


립의 위치(로다민 염료를 떨어뜨리는 위치)에 따른 소용돌이(와류) 발생 횟수 조사에서 2번, 3번 등 중앙에 있는 부분은 성공 횟수가 높으며 양 쪽 끝 부분 립에서는 소용돌이 관찰이 비교적 적었다. 하지만 원형 모양에서는 큰 차이가 없었으며 마지막 립인 4번 립에서의 횟수도 그리 큰 차이가 나지 않는 것을 알 수 있었다. flow design과는 달리 원형 모양의 필터에서 소용돌이 관찰이 가장 많이 확인되었으며 끝 쪽 립의 성공 횟수와 중앙 부분의 성공 횟수의 차이도 큰 차이가 나지 않는다는 것을 알 수 있었다. 사각형 모양은 종횡비 차이가 위치에 따라 달라져 와류가 좀 더 역동적으로 발생하지만 교차 계단 필터링의 소용돌이는 D형 립의 형태를 모든 부분에서 잘 유지할 수 있는 원형 모양에서 잘 일어난다는 것을 알 수 있다.

연구 2. 소용돌이 교차 계단 여과 방식 아가미 구조를 모방한 미세먼지 포집장치 Modeling

가. 소용돌이 교차 계단 여과 방식 필터 모형 제작

SolidWorks program을 이용하여 디자인한 미세먼지 포집장치를 3D 프린터를 이용해 제작한다.



나. 소용돌이 교차 계단 여과 아가미 구조를 모방한 자동차 미세먼지 포집장치 제작



연구 3. Flow Design을 통한 미세먼지 포집장치 내의 유체 및 미세먼지 흐름 분석

- (1) 간단한 미세먼지 포집장치 디자인 및 미세먼지 유동 시뮬레이션
- (2) 카트리지 내부에 들어갈 수 있도록 미세먼지 포집장치 모형의 구조와 크기 변경

연구 4. prototype 미세먼지 포집 장치 제작 및 성능 평가

- (1) prototype 미세먼지 포집 장치 제작
- (2) 티라피아 아가미 구조를 모방한 미세먼지 포집 장치의 미세먼지 포집 효과 분석

좌	우	좌	우
22	16	82	80
38	42	61	65
78	45	75	72
44	34	45	18
23	21	18	9
<p style="text-align: center;"><가장 두꺼운 두께의 모형></p>		<p style="text-align: center;"><중간 두께의 모형></p>	

먹가루를 선풍기와 진공청소기를 이용해 날리면 첫 번째 미세먼지 측정기를 통과하면서 미세

먼지 농도가 증가하게 된다. 그 후로 중앙에 있는 미세먼지 필터 모형을 일부는 통과하고 일부는 걸러지게 되는데 2번째, 오른쪽에 있는 미세먼지 측정기의 농도는 증가하다가 금세 농도가 빠른 속도로 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 이러한 실험 결과에서 미세먼지(먹가루)가 중앙에서 걸러지는 것을 파악할 수 있었으며, 모형의 두께에 따라서 미세먼지(먹가루)가 걸러지는 정도가 달라진다는 것을 볼 수 있었다.

□ 결론 및 제언

우리 연구팀은 미세먼지를 필터링 하기 위한 장치를 제작하기 위하여 여과섭식어류의 아가미 구조에서 아이디어를 얻었고, 여과섭식어류의 아가미 구조에서 이물질이 걸러지는 원리에 대한 논문을 공부한 뒤 연구를 추진했다. 본 연구의 미세먼지 포집 장치는 여과 섭식 어류의 필터링 원리인 교차 계단 흐름 방식을 생체모방 하여 만들어졌기 때문에 미세먼지 포집 장치가 갖는 구멍의 크기보다 더 작은 미세 물질들도 포집할 수 있다. 따라서 기존 필터보다 마이크로 사이즈의 미세물질을 걸러낼 수 있을 것이라는 예상을 하였다. 그리고 여러 시행착오를 통해 여과 섭식어류의 아가미 구조를 적용, 모방한 장치를 제작했으며 이는 성공적인 효과를 나타내었다. 우리의 연구는 소용돌이 교차 계단 여과 방식 물고기의 아가미 구조를 모방하여 미세먼지 포집 장치의 성능을 개선하여 미세먼지를 거를 수 있는 장치를 만들었다는 점에서 미세먼지 포집 장치의 새로운 패러다임을 만들었다는 점에 의의를 두고 있으며, 제작 과정이 용이하고 비용이 많이 들지 않는 구조로 실생활에 사용하기 적합하다. 또한 효율의 증가를 위해 자동차 배기관에 미세먼지 포집장치를 성공적으로 부착시켰다. 뿐만 아니라 여러 가지 공정 과정 등 유체흐름 개선이 요구되는 분야에 충분히 적용이 가능하다. 우리 연구에서는 미세먼지 포집장치의 프로토타입에서는 먹가루를 활용하여 실험을 하였고, 예상하는 결과를 보였다. 다만 실제 미세먼지 포집 장치에서는 필터링 해야 하는 입자의 크기가 달라지고, 정전기적 인력 등 다른 변수들 또한 고려해야 하기 때문에 메쉬의 소재를 바꾸는 등 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다. 뿐만 아니라 소용돌이 교차계단 여과 방식 물고기의 아가미 구조가 유체 흐름이나 다른 조건에 영향을 주는지, 또한 자동차 배기관 뿐 만이 아니라 자동차의 다른 구조들에 있어서도 이와 같은 생체 모방을 적용한다면 어떤 영향을 끼칠 수 있을 지에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

4. 참고문헌

- [1] “석회석 분체를 이용한 녹조 제거” 허재훈, 최영훈, 안지환, 한국세라믹학회, 2015
- [2] “담수조류의 대량번식에 따른 피해를 최소화하기 위한 녹조제거기 개발” 한재호 외 6명, 한국해양환경 에너지학회, 2000
- [3] “유기농업 생태계로부터 담수 녹조류 분리 및 형태적 동정” 김민정 외 8명, 한국유기농업학회, 2014
- [4] “물고기 아가미의 유체역학” 박근환, 김원정, 김호영, 대한기계학회, 2013
- [5] “미세 입자 제거 기술” 김경태, 최진영, 환경입자제어연구실

- [6] “멤브레인 필터의 특성과 응용” 이재근, 대한설비공학회, 1997
- [7] “원심 오일필터 유동 해석을 통한 필터링 효율 분석” 방광현 외 3명, 한국마린엔지니어링 학회, 2009
- [8] “역삼투막의 전처리를 위한 정밀여과막의 평가” 홍성호, 오석환, 전재홍, 한국청정기술학회, 2001
- [9] “용사법과 레이저 용접을 이용한 복합소재 미세필터 연구” 송인규 외 4명, 대한용접 접합학회, 2010
- [10] “플라즈마 용사를 이용한 복합세라믹 미세필터 연구” 송인규 외 3명, 대한기계학회, 2011
- [11] “전기방사에 의해 제조한 PAN 나노섬유 공기필터 성능평가” 김경철 외 5명, 대한기계 학회, 2015
- [12] “국내 가정용 정수기 필터의 특성 분석에 관한 연구” 조재익, 김길태, 안영철, 한국마린 엔지니어링학회, 2013
- [13] “Fish mouths as engineering structures for vortical cross-step filtration” S. Laurie Sanderson, Erin Roberts, Jillian Lineburg & Hannah Brooks, 2016
- [14] “담수조류의 대량번식에 따른 피해를 최소화하기 위한 녹조제거기 개발” 한재호 외 6명, 한국해양환경 에너지학회, 2000

5. 학생별 연구 참여율

성 명	연구 참여 내용	참여율
김수빈	소용돌이 교차 계단 여과 방식 어류(틸라피아)의 아가미 구조 분석 소용돌이 교차 계단 여과 방식 필터 모형 제작 실험 설계와 3D 프린팅을 통한 모형 제작	40%
이호진	소용돌이 교차 계단 여과 방식 어류(틸라피아)의 아가미 구조 분석 소용돌이 교차 계단 여과 방식 필터 모형 제작 연구에 필요한 이론적인 배경과 자료 수집	30%
송민석	소용돌이 교차 계단 여과 방식 어류(틸라피아)의 아가미 구조 분석 소용돌이 교차 계단 여과 방식 필터 모형 제작 실험 준비 및 실험 결과 정리	30%

6. 참여 인력 향후 계획

성 명	연구 계획
김수빈	소용돌이 교차 계단 여과 방식 아가미 구조를 모방한 미세먼지 포집장치 Modeling - 소용돌이 교차 계단 여과 방식 필터 모형 제작 - 소용돌이 교차 계단 여과 아가미 구조를 모방한 자동차 미세먼지 포집장치 제작
이호진	Flow Design을 통한 미세먼지 포집장치 내의 유체 및 미세먼지 흐름 분석 - 미세먼지 포집장치 모형 내의 유체 및 미세먼지 유동 시뮬레이션 - 미세먼지 포집장치 모형의 유체 흐름 개선도 평가
송민석	Prototype 미세먼지 포집 장치 제작 및 성능 평가 - Prototype 미세먼지 포집 장치 제작 - 티라피아 아가미 구조를 모방한 미세먼지 포집 장치의 미세먼지 포집 효과 분석