

# 대한기계학회 주선

## 제12회 전국학생설계경진대회(2022년)

# 설계 최종 보고서

참가부	대학부 ( O )				
참가분야	공모주제 ( ) / 자유주제 ( O )				
참가팀명	드론녀석들				
설계제목	실시간 대기 환경 모니터링이 가능한 드론용 샘플링 및 센서 시스템 개발				
지도교수/교사	(소속) 홍익대학교 기계시스템디자인공학과 교수 (성명) 서정환				
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	이경호	홍익대학교 기계시스템디자인공 학과			

## 참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	강성복	홍익대학교 기계시스템디자인공학과 / 4학년	
2	이경호	홍익대학교 기계시스템디자인공학과 / 4학년	
3	이종구	홍익대학교 기계시스템디자인공학과 / 4학년	
4	한정운	홍익대학교 기계시스템디자인공학과 / 4학년	

# 설계 요약문

참가분야	공모주제 ( ) / 자유주제 ( O )
참가팀명	드론녀석들
설계제목	실시간 대기 환경 모니터링이 가능한 드론용 샘플링 및 센서 시스템 개발
대표자명	이경호
요약문	<p>오늘날 환경의 질에 대한 모니터링 시스템과 정보의 수요가 크게 증가하고 있다. 측정장비의 선택성과 정밀도 뿐만 아니라, 측정자의 건강과 고정형 센서의 효율성 문제를 해결하기 위해 이동체와 융합하고 있다. Vehicle형태나 수중 동물 형상을 본딴 로봇들이 측정자가 직접 가기 위험한 장소나 위험물질을 사용하는 장소에서의 환경 모니터링에 이용되고 있다. 하지만 이러한 형태의 로봇들도 이동성에 한계가 존재하여 드론과 융합하고자 한다.</p> <p>세계적인 무인기 시장은 가장 빠른 성장을 보이며 안전분야, 수송분야, 공공분야, 국방분야 등에 이용되고 있다. 화학물질 검출 센서의 종류로는 전기화학식, 반도체식, 광학식 등의 센서가 있다. 광학식 센서는 전기화학식 센서, 반도체식 센서와는 다르게 화학물질과 직접적으로 접촉하지 않아도 검출이 가능하다. 하지만 수신기와 송신기의 정확한 위상을 유지해야 하고 진동과 장애물에 영향을 많이 받기 때문에 드론에 융합하기엔 어려움이 있다. 따라서 전기화학식 센서를 이용한 측정 시스템을 설계하여 검출하고자 한다.</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>본 과제의 설계 과정은 다음과 같다.</p> <p>샘플링 및 센싱에 대한 물질로는 VOCs로 선택했고 자체 제작 드론용 센서 시스템에 주안점을 두고 드론은 기존 상용 드론을 활용하여 고정된 외부 환경에서 실험, 검증한다.</p> <p>드론을 이용한 환경 모니터링이 가능하다면 대기오염물질에 대한 단속과 감시가 효과적으로 이루어지고, 산업현장 종사자들의 작업환경을 개선하고, 대기환경을 지도화하여 모니터링이 가능해진다는 기대효과를 가지고 있다.</p>

# 실시간 대기 환경 모니터링이 가능한 드론용 샘플링 및 센서 시스템 개발

이경호\*† · 강성복\* · 이종구\* · 한정운\*  
\* 홍익대학교 기계·시스템디자인공학부

## Development of a sampling and sensor system for drones that can monitor the atmospheric environment in real time

Kyung Ho Lee\*† , Sung Bok Kang \* , Jong Koo Lee \* , Jeong Woon Han \*

\* Dept. of Mechanical System Design Engineering, Hongik Univ

(Received July 1, 2022 ; Revised July 1, 2022 ; Accepted July 1, 2022)

**Key Words:** Activated Carbon(활성탄), Adsorption(흡착), Desorption(탈착), Drone(드론), Electrochemical Sensors(전기화학식 센서), Environmental Monitoring(환경 모니터링), Inhalation(흡입), Propeller Flow(프로펠러 유동), Vibration(진동), Volatile Organic Compounds(VOCs 휘발성 유기 화합물)

**초록:** 본 설계 주제는 드론을 이용한 대기환경 모니터링 시스템 설계이다. 오늘날 환경재해 발생 빈도가 급증하고 피해 규모가 커짐에 따라 환경 모니터링에 대한 관심이 커지고 있지만 측정자의 건강에 대한 문제와 고정형 센서의 효율 문제로 인해 이동체를 이용한 모니터링이 주목받고 있다. 현재 연구되고 있는 Vehicle, 동물형 이동체 시스템은 안전, 지형 등의 제한사항이 있고 고도 별 측정이 어려워 드론을 이용하여 이를 해결하고자 한다. 드론을 이동체로 선정하며 드론 주변에는 프로펠러로 인한 강한 유동이 존재해 이를 극복하고 측정을 할 수 있는 시스템 설계가 본 설계의 목표이다. 설계는 유동이 약해지는 구간을 찾고, 측정 오차를 줄이기 위해 활성탄의 흡, 탈착을 이용한 가스 센싱 시스템을 설계하였다.

**Abstract:** The theme of this design is the design of an atmospheric environment monitoring system using drones. Today, as the frequency of environmental disasters increases and the scale of damage increases, interest in environmental monitoring is growing, but monitoring using mobile devices is drawing attention due to problems with the health of measureers and efficiency of fixed sensors. The Vehicle and Animal-type mobile system currently being studied has limitations such as safety and topography, and it is difficult to measure by altitude, so it is intended to solve this problem using a drone. The goal of this design is to design a system that selects a drone as a moving object and has strong flow due to propellers around the drone, which can overcome and measure it. The design found the section where the flow weakened and designed a gas sensing system using adsorption and desorption of activated carbon to reduce the measurement error.

## 1. 서론

### 1.1 이동체를 이용한 환경 모니터링의 필요성

오늘날 기후변화, 도시화, 산업화 등에 따라 환경재해 발생 빈도가 급증하고 그 피해 규모가 커짐에

† Corresponding Author, koacopy3585@naver.com

따라 환경의 질에 대한 효과적인 측정/감시/관리를 위한 환경 모니터링 시스템의 필요성이 크게 증가했다. 또한 삶의 질에 대한 요구가 높아지고, 환경에 대한 정보의 수요가 크게 증가하고 있다. 이에 따라 환경 모니터링 기술의 발전이 요구되고 있다(1). 환경 모니터링에 사용되는 센서로는 전기화학식, 반도체식, 광학식 및 바이오센서 등이 있고, 사람이 직접 센서를 들고 측정하거나 원하는 장소에 설치하여 원격으로 측정하고 있다(2).

그러나 최근 측정자의 건강상의 문제와 투입 인력대비 효율성이 상당히 떨어지는 문제점이 계속 대두되고 있다. 고정형 센서는 설치 시 비용과 이동, 유지보수에 어려움이 있다. 이러한 문제로 인해 이동체를 이용한 환경 모니터링 기술이 주목받고 있다(3).

## 1.2 관련 사례 조사 및 한계점

이동체를 이용한 환경 모니터링의 필요성이 증가하며 관련 연구가 진행되고 있다. 이와 관련된 연구 사례로는 '원전 환경 모니터링 로봇', 'Essex Robotic Fish' 등이 있다. 원전 환경 모니터링 로봇은 일본 후쿠시마 사고와 같은 재난 시 로봇을 투입하여 방사선량, 온도, 습도 등과 같은 환경물질을 모니터링 하는 로봇이다(4). 사람이 직접 가기 위험한 곳에 주행 가능한 로봇을 이용해 사고환경상황을 전달받고 있다. 영국에서 개발되고 있는 Essex Robotic Fish는 강물이나 바닷속 오염도를 측정하는 목적을 가지고 있다(5).

이러한 Vehicle 형태나 동물 형상을 본 딴 로봇은 대기 오염물질이 주로 배출되고 있는 소각장, 굴뚝 등으로 오염물질을 대기중에 배출하는 것을 감지 및 규제하기엔 한계가 있다(6). 또한 산업현장에 이용되는 발암물질 보관시설의 계단이나 지형적 한계로 인해 문제가 되고 있다. 뿐만 아니라 대기 중 오염물질의 물질적 특성에 의해 고도에 따라 농도가 달라지는데 이러한 고도 별 모니터링이 불가능 하다(7). 하지만 이동체로 드론을 이용한다면 앞서 관련사례에 이용되는 로봇의 한계를 보완하고 단시간에 광범위하게 실시간으로 모니터링이 가능할 것이라 생각한다.

## 1.3 드론을 이동체로 이용한 대기 환경 모니터링

### 1.3.1 드론의 시장성 조사

국방기술품질원은 국내 무인기 시장은 세계 7위권의 기술 경쟁력을 보유하고 있다고 평가하고 있다. 또한 2022년까지 연평균 22%의 성장률을 예상하고 있다. 뿐만 아니라 세계적으로는 2016년 64억 달러 규모에서 2023년에는 2배 정도인 124억을 예상하는 만큼 항공 업계의 신 시장 중 안전분야, 수송 및 공공분야, 국방분야 등에 이용되며 가장 빠른 성장을 보이고 있다. 이렇듯 이동체로 드론을 이용하는 기술은 가장 주목받고 있는 기술이다. 하지만 환경 모니터링 기술과는 융합되지 않고 있다(8).

### 1.3.2 현재 측정 센서의 한계

드론이 환경 모니터링 기술과 융합되지 못하고 있는 이유는 다음과 같다. 현재 환경 모니터링에 사용되는 센서로는 전기화학식, 반도체식, 광학식 및 바이오센서 등이 있지만 드론을 이동체로 이용하기엔 한계가 존재한다(9).

LIBS, OPGD 등 광학식으로 레이저를 이용하는 광학센서는 수신부에서 나온 빛을 송신부에서 분석하여 파장의 변화를 읽어 수신부와 송신부사이의 대기 성분을 분석하는 방식이다(10). 따라서 수신부와 송신부의 위상이 정확하게 일치해야 하고 빛이 지나가는 통로엔 장애물이 없어야 하며 진동에 매우 민감하다. 또한 렌즈에 부착되는 이물질에 대한 이슈와 레이저를 이용하면서 배터리 소모량이 많고 무게에 대한 한계가 존재한다. 이와 같은 한계로 인해 드론에 이용하기 힘들다.

전기화학센서와 반도체 센서를 이용한 측정은 센서 내부 금속 표면에 부착되는 Gas입자로 인해 달라지는 저항과 전압을 분석하여 측정하는 방식이다. 따라서 정밀한 측정이 가능하고 전력소모량이 적으며 센서의 무게 또한 가볍다. 하지만 화학물질과 센서의 직접적인 접촉시간이 필요하다. 만약 드론에 이용

할 경우 비행 시 프로펠러에 의해 발생하는 기류가 대기중의 화학물질이 센서와의 접촉을 방해하게 된다.

### 1.3.3 드론에 이용할 측정방식 선정과 설계 방향

드론을 이동체로 이용할 경우 가장 큰 고려사항은 Payload이다. 드론은 비행체이기 때문에 전체 시스템의 무게가 비행여부를 결정한다. 만일 전체 시스템의 무게가 Payload를 초과할 경우 비행하지 못하며 무게가 무거워질수록 프로펠러를 돌리는 모터의 필요동력이 증가하기 때문에 비행시간이 짧아지게 된다. 따라서 드론에 사용할 측정방식은 전력소모량이 적고 무게가 가벼운 전기화학센서를 이용한 측정방식을 선정했다. 설계방향은 기존 문제점인 대기중의 화학물질이 센서까지 도달하게 하기 위해 기류와 대기 중 화학물질 도달 여부에 대한 연구를 진행하고 전기화학센서 측정값의 Noise를 줄여 측정값의 정확도와 신뢰도를 높이는 설계를 진행하고자 한다.

## 2. 시스템 설계를 위한 프로그램 해석과 실험

### 2.1 드론의 기류와 Gas도달여부에 대한 프로그램 해석과 실험

#### 2.1.1 드론의 기류와 Gas도달여부에 대한 Ansys Fluent Simulation

기존 문제점에 대한 해석을 위해 Ansys Fluent를 이용하여 드론의 프로펠러 유동 조건에서 외부의 Gas 도달여부를 확인하였다. Ansys Fluent 해석은 전체 검사체적은 드론의 유동에 지면에 닿고 다시 올라와 영향을 주는 것을 막기 위해 4x4x4m로 설정하였다. 검사체적 윗면에 실제 드론 사이즈를 참고하여 Inlet1을 만들고 조건을 설정하였다. 프로펠러 유동인 Inlet1 조건은 드론의 무게와 프로펠러의 항력을 비교한 이론적 계산을 진행했다.

$$\sum F_y = Mg - F_{thrust}, \text{ Hovering 상태 일 경우 } \sum F_y = 0$$

$$F_{thrust} = 4F_{propeller}$$

$$F_{propeller} = \dot{m}v$$

$$= \rho Qv$$

$$= \rho v^2 A$$

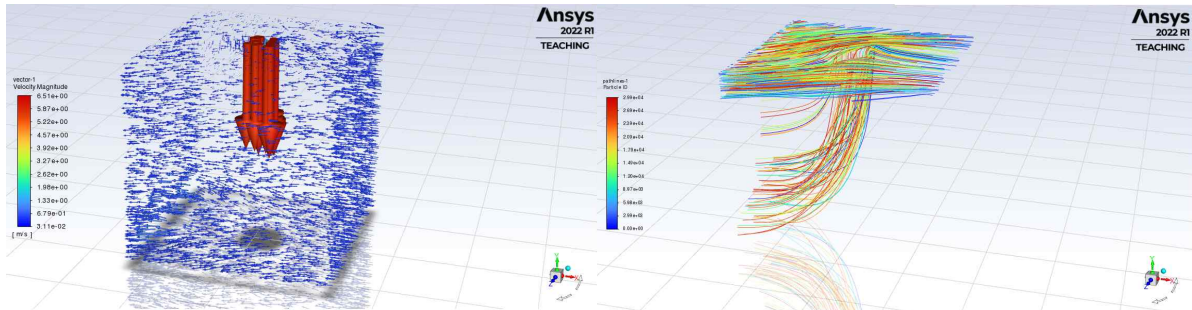
$$A = \frac{\pi}{4} d^2$$

$$M = 0.9\text{kg}, g = 9.81\text{m/s}^2, \rho = 1.225\text{kg/m}^3, d = 0.25\text{m}$$

계산 결과  $v = 6.06\text{m/s}$  (Inlet1), 프로펠러 유동은 회전하고 있기 때문에 Swirl 상수는 1로 입력하여 회전유동으로 해석을 진행하였다. 밖에서 불어오는 Gas 유동인 Inlet2는 검사체적 네 옆면 중 한 면을 선택하여 Inlet2 속도  $0.5\text{m/s}$ 로 입력하였다. Inlet1과 Inlet2 모두 Fluent Table에 있는 Air로 설정하였다. 특히 프로펠러 유동에 의한 Gas 유동의 추적 해석이 필요로 하므로 Scalar Transport Equation을 만들어 Inlet1은 1, Inlet2는 0으로 입력하여 Scalar값이 0인 기체의 유동 해석을 진행하였다.

Table 1 Inputs for Ansys Fluent Analysis

Time	Transient
Viscous Model	k-e Standard
Fluid	Air (1.225kg/m <sup>3</sup> )
V <sub>Propeller</sub>	6.06m/s
V <sub>Gas</sub>	0.5m/s



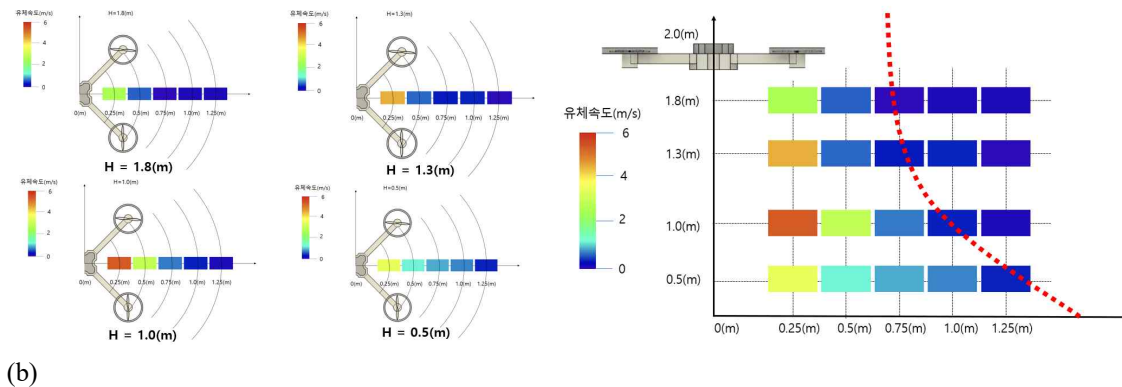
(a) (b)

Fig. 1 Ansys Fluent Simulation

Ansys Fluent 프로그램 해석 결과 Fig. 1(a)에서 볼 수 있듯이 대기 중의 Gas 유동을 속도벡터로 보면 드론에 도달하지 못하고 위쪽 혹은 측면으로 돌아 나가는 것을 볼 수 있다. 특히 Fig. 1(b)의 드론의 20cm하단 부분의 Gas 유동의 Path-line을 보면 프로펠러 유동에 의해 하강하여 드론에 도달하지 못하는 것을 볼 수 있다.

### 2.1.2 드론의 기류와 Gas도달여부에 대한 실험 진행

Fluent Simulation 이후 Gas 도달 Boundary를 설정하기 위해 우선 드론 주변 유속 측정 실험을 진행했다. 실험에 사용한 드론은 S500 Quadcopter이고 유속을 측정하기 위한 풍속계는 YATO WT87A 풍속계를 이용하여 주변 유동이 없는 실내에서 실험을 진행했다. 실험조건은 드론은 유동이 지면과 벽에 영향을 받지 않도록 지면으로부터 2m 높이에서 Hovering 상태일 때, 풍속계의 위치를 드론 중심으로부터 측면으로 0.25m/0.5m/0.75m/1m, 지면으로부터 연직으로 0.5m/1m/1.3m/1.8m 높이에서 각각 유속 측정을 진행했다.



(b)

Fig. 2 Propeller Wind Speed Measurement Experiment of Drone

측정 결과는 Fig. 2와 같다. 드론 중심으로부터 연직으로 멀어질수록 유속이 존재하는 범위가 증가하였고 유속이 없는 최소범위는 반경 0.75m로 측정되었다. Fig. 2(b)에서 빨간색 점선으로 표현된 범위 왼쪽은 유속이 존재하는 구역이고 오른쪽이 유속이 존재하지 않는 구역이다.

이후 앞서 측정한 드론 주변 유속과 Gas 도달 여부의 상관관계를 증명하기 위해 VOCs Gas와 Total VOCs Electrochemical Sensor를 이용하여 실험을 진행하였다. VOCs Gas는 연초를 태운 후 나오는 Gas를 이용하였고 Total VOCs Electrochemical Sensor는 GSBT11-P110을 이용하였다. 실험조건은 실내에서 드론

이 지면으로부터 2m 높이에서 Hovering 상태일 때 VOCs Gas를 드론쪽으로 분사하고 Total VOCs 센서를 높이 1.8m, 측면거리(0.25m/0.5m/0.75m)를 바꿔가며 측정값을 비교하였다.

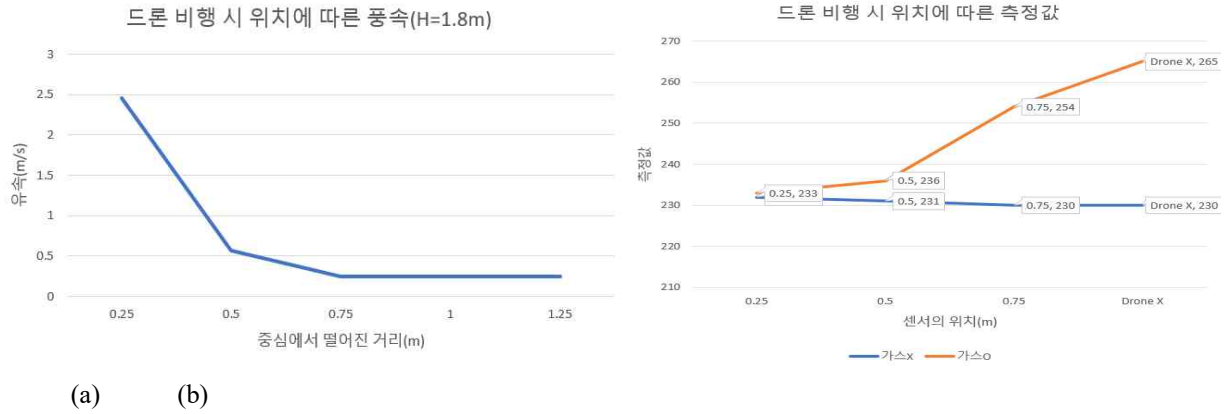


Fig. 3 Gas Reachability Measurement Experiment

1.8m에서 드론의 풍속과 GSBT11-P110 센서의 측정값은 Fig. 3과 같다. 유속이 존재하는 0-0.5m 범위에 선 센서 측정값의 변화가 Gas를 분사하지 않았을 때와 거의 차이가 없고 유속이 존재하지 않는 0.75m부터 센서 측정값의 변화가 크게 나타났다. 따라서 프로펠러로 인한 드론 유속이 존재하는 곳은 Gas가 도달하지 못하고 유속이 존재하지 않는 0.75m까지 Gas가 도달한다는 결과를 얻었다. 이러한 결과를 바탕으로 드론 중심으로부터 연직 아래로 0.2m, 수평 0.75m에 도달하는 Gas를 측정하는 시스템을 설계하고자 하였다.

## 2.2 AI Pipe와 Total VOCs 센서를 이용한 시스템 설계 및 실험

### 2.2.1 AI Pipe와 Total VOCs 센서 시스템 설계

드론 중심으로부터 연직 아래로 0.2m, 수평 0.75m에 도달하는 Gas를 측정하는 시스템을 설계할 때, 만약 센서를 해당 위치에 위치시키면 센서가 외부에 노출되어 측정하고자 하는 위치까지 이동 중 불필요한 입자들이 다량 흡착되게 된다. 이 경우 측정하고자 하는 위치에서 센서 측정 시 센서의 정확도가 매우 떨어지게 된다. 또한 흡착을 방지하기 위해 Packaging을 하여도 드론 중심으로부터 0.75m 떨어져 있기 때문에 이동 또는 Hovering 시 발생하는 진동의 영향으로 인해 센서의 측정값이 매우 불규칙하게 측정된다. 따라서 센서는 중심에 위치하고, Gas의 이동통로인 0.75m 배관을 해당 위치에 위치시켜 센서의 측정값의 정확도를 높이고자 하였다.

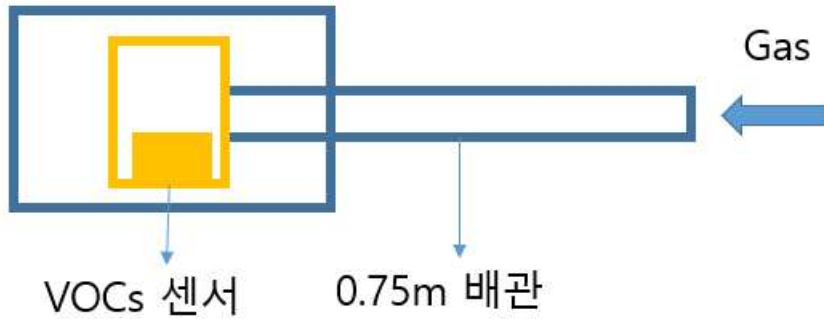


Fig. 4 System Design Diagram with Pipes and Sensors

시스템의 설계도는 Fig. 4와 같다. 배관은 Gas가 센서로 이동 시 배관에 흡착되게 되면 측정값의 오차가 발생하기 때문에 흡착율이 낮은 금속 재질로 선정하였다. 선정된 금속은 Al으로 드론의 Payload를 고려하여 시스템 경량화를 위해 가장 가벼운 것을 선택했고 직경 7mm, 두께 0.5mm인 Pipe를 사용하였다. 측정을 위한 센서는 앞선 실험에서 사용한 Total VOCs Electrochemical Sensor인 GSBT11-P110을 사용하였다.

### 2.2.2 Al Pipe와 Total VOCs 센서 시스템 실험

앞서 설계한 시스템의 작동성을 보기 위해 실험을 진행했다. 실험은 실내에서 2m높이에 위치한 Hovering 상태의 드론쪽으로 전자담배에서 나오는 VOCs Gas를 분사할 때와 분사하지 않을 때 센서의 측정값을 비교하였다.



Fig. 5 System Experiments with Pipes and Sensors

실험은 총 5번 진행했으며 각 실험 전 VOCs 측정 센서는 탈착을 하고 실내를 환기를 시킨 뒤 진행했다. 실험결과는 Fig. 5 와 같다. Gas를 분사하는 경우 측정값은 242-243으로 측정되었고 분사하지 않는 경우 측정값은 242-244로 측정되었다. 두 실험 비교 결과 Gas를 분사하는 경우와 분사하지 않는 경우 측정값의 차이가 없어 0.75m 길이의 Al pipe 끝까지 도달하지 못하는 것을 확인하였다. 따라서 시스템에 흡입기를 추가하여 흡입기를 통해 외부 대기 중 Gas를 센서까지 도달하도록 하였다.



## 2.3 흡입기를 추가한 시스템 설계 및 해석, 실험

### 2.3.1 흡입기를 추가한 시스템 설계

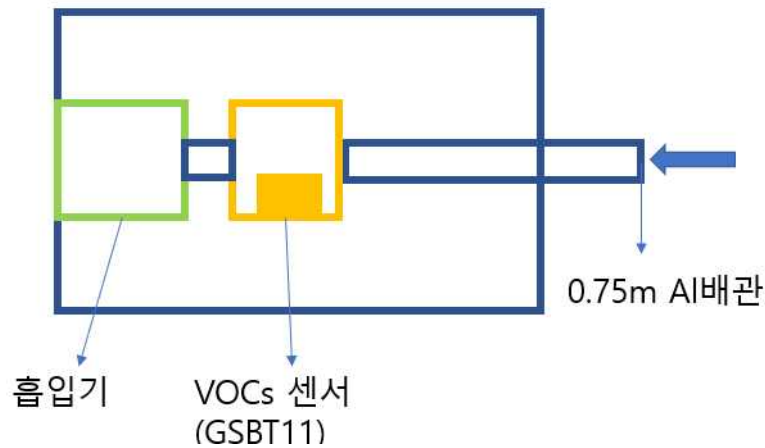


Fig. 6 System Design Diagram with Inhaler

흡입기를 추가한 시스템의 설계도는 Fig. 6과 같다. 대기 중의 Gas입자 흡입을 위한 흡입기는 흡입력을 고려하여 Max. vacuum<-375mmHg, Pressure>600mmHg 인 SC6002PM을 사용하였다. 이외에도 흡입기는 드론에 부착해야 하기 때문에 시스템의 크기와 무게를 고려하여 선정하였다. 흡입기 내부엔 모터로 이물질이 들어오는 것을 막기 위해 필터가 존재하기 때문에 측정하고자 하는 VOCs Gas 입자가 필터에 흡착될 수 있다. 따라서 흡입기를 추가한 시스템 설계 시 흡입기의 위치를 측정하고자 하는 VOCs Gas 입자가 필터에 흡착되는 것을 막기 위해 센서의 뒷부분에 위치하도록 설계하였다.

### 2.3.2 흡입기를 추가한 시스템 해석

흡입기 추가 시 센서 주변 입자의 속도와 압력은 센서의 측정값에 오차를 발생시키기 때문에 Ansys Fluent를 이용하여 센서 주변 입자의 속도와 압력을 해석하였다. 해석은 앞서 설계한 설계도를 바탕으로 난류 유동 해석을 위해 Viscous Model은 k-e으로 기체는 Fluent Table의 Air로 설정하였다. Inlet은 0.75m 배관 입구로 0 Pa(gauge)을 입력했고 Outlet은 센서 뒤쪽에 부착된 흡입기의 입구로 흡입기의 체적유량과 단면적을 고려하여 계산한 결과 평균속도인 6.496m/s를 입력하여 해석을 진행하였다.

Table 2 Inputs for Ansys Fluent Analysis

Time	Standard
Viscous Model	k-e Standard
Fluid	Air (1.225kg/m <sup>3</sup> )
Inlet	0Pa (gauge)
Outlet	6.496m/s

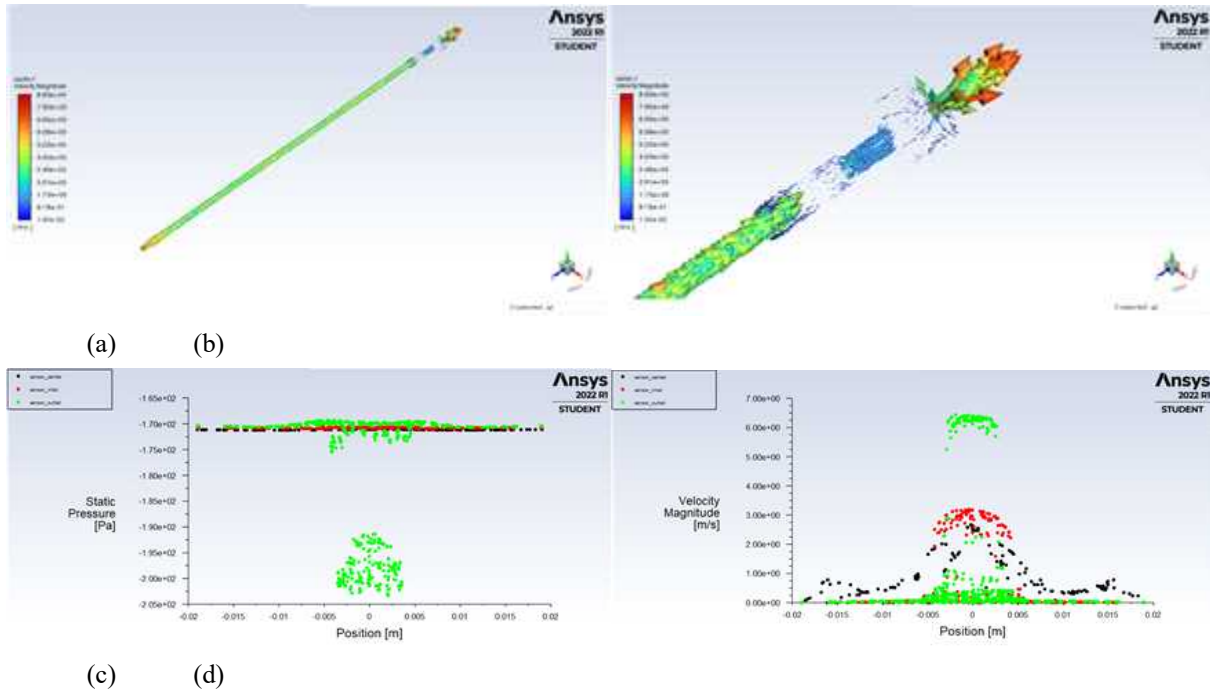


Fig. 7 Ansys Fluent Simulation

Ansys Fluent Simulation 결과는 Fig. 7과 같다. Fig. 7(c) 해석 결과 센서가 위치한 곳의 압력은  $-1.715e+2$  Pa (Static Pressure) 로 나왔고, Fig. 7(d) 해석 결과 센서가 위치한 곳의 Gas 입자의 속도는 1~2m/s로 해석되었다. 따라서 센서 주변은 압력이 낮은 상태이고, Gas 입자는 속도가 존재한다.

### 2.3.3 흡입기를 추가한 시스템 실험

Ansys Fluent Simulation 결과를 바탕으로 Gas 입자의 속도와 주변 압력이 센서의 측정값에 영향을 주는 지 확인하기 위해 실내에서 2m 높이에 위치한 Hovering 상태의 드론쪽으로 전자담배에서 나오는 VOCs Gas를 분사할 때와 분사하지 않을 때 센서의 측정값을 비교하였다.



Fig. 8 Experiment with systems with additional inhalers

실험은 총 5번 진행했으며 각 실험 전 VOCs 측정 센서는 탈착, 주변은 환기하며 진행했다. 실험결과

Gas가 흡입기로 인해 흡입이 되며 0.75m Al Pipe를 통과하여 센서가 위치한 곳까지 도달하였으나 센서 주변의 낮은 압력과 Gas입자의 속도로 인해 전기화학식 센서 내부 금속표면에 접촉하지 못해 Noise가 발생했다. 이를 보완하고자 활성탄을 이용하여 Gas입자를 포집하고 흡입기의 작동을 중지한 뒤 측정하는 추가 설계를 진행하였다.

## 2.4 활성탄의 흡/탈착을 이용한 시스템 설계 및 실험

### 2.4.1 활성탄의 흡/탈착을 이용한 시스템 설계

활성탄은 대기 중의 Gas입자를 물리, 화학적으로 흡착한다. 따라서 현재 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs)을 제조 및 사용하는 화학공장, 도장공장 등 다양한 산업공정에서 다량 배출되는 VOCs 저감에 필터로써 이용되고 있다. 일반적인 활성탄 탈착 방법으로는 흡/탈착 시 온도 차이를 이용한 열 탈착(Temperature Swing Adsorption, TSA) 재생방식과 흡착/탈착간 압력차를 이용한 감압 탈착((Vacuum Swing Adsorption, VSA) 재생 방식이 있다(11). 이 중 VSA 방식은 시스템을 진공상태로 만들어 줘야 해서 열을 이용하는 TSA 방식으로 VOCs Gas 입자를 탈착하는 방식을 선택하였다. 따라서 흡입기로 흡입한 VOCs Gas 입자를 활성탄으로 흡착한 뒤 TSA 방식으로 탈착하여 흡입기가 꺼진 상태에서 낮은 농도의 Gas를 검출함으로써 센서의 측정값의 Noise를 줄이고자 하였다.

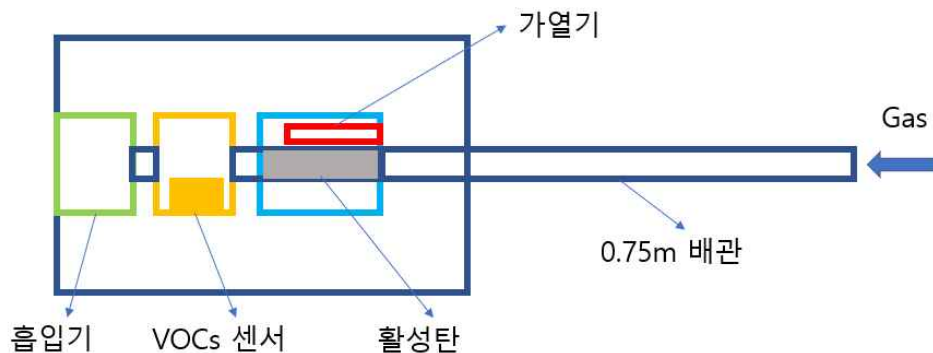


Fig. 9 System Design Diagram with activated carbon added

활성탄과 Heater를 추가한 시스템의 설계도는 Fig. 9와 같다. 활성탄은 3ml의 Al 용기에 담아 파이프와 연결하였고 TSA 방식을 위한 Heater는 크기가 작고 온도 상승이 빠른 PVC Heater를 사용하였다. PVC Heater는 활성탄 측면으로 위치시켰다. 활성탄 뒤쪽으론 측정을 위한 센서와 흡입기를 위치시켰다.

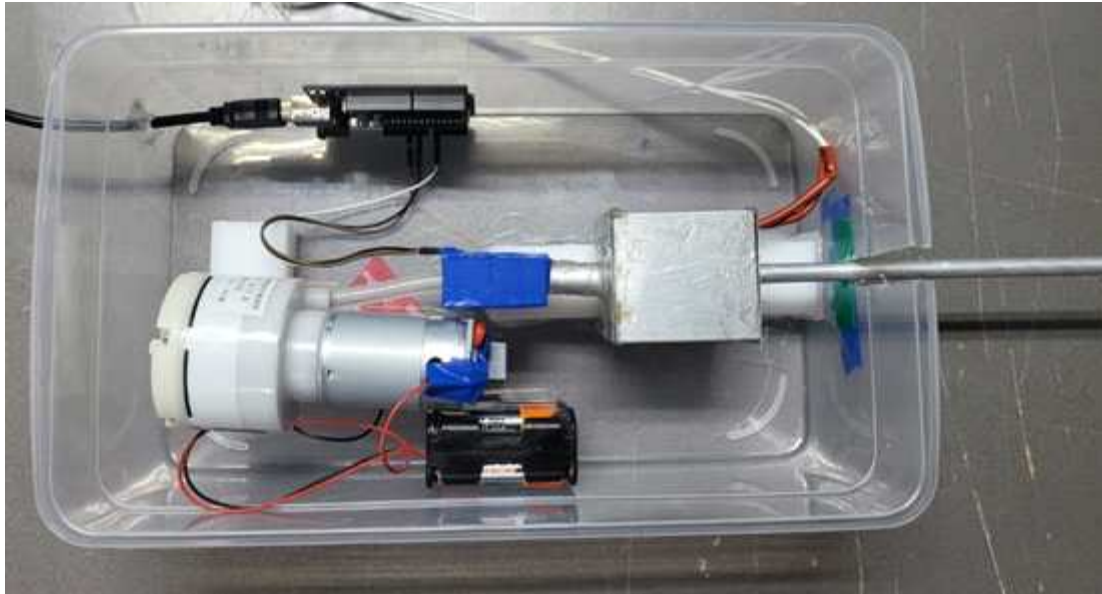


Fig. 10 Photographs designed based on a system design

앞의 고안한 설계도를 바탕으로 설계를 진행한 사진은 Fig. 10과 같다.

#### 2.4.2 활성탄의 흡/탈착을 이용한 시스템 측정 과정

##### 설계한 시스템의 Gas 검출 과정

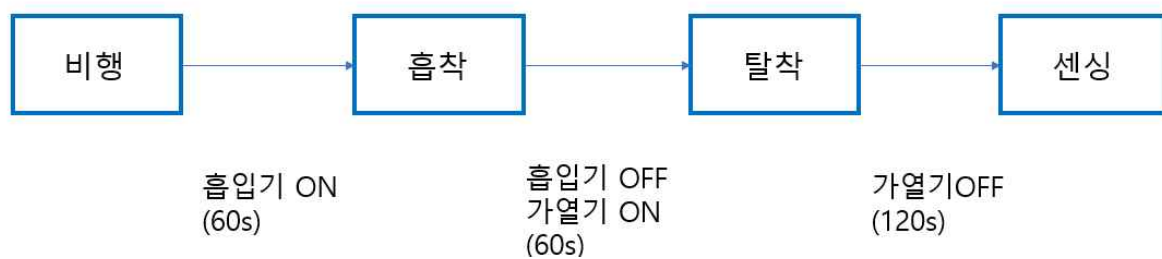


Fig. 11 Gas detection process of the designed system

활성탄의 흡/탈착을 이용한 대기 환경 모니터링의 전체 과정은 Fig. 11과 같다. 우선 Drone이 모니터링 하고자 하는 목표 위치로 비행 후 흡입기로 60초 정도 Gas를 흡입한다. 이때 흡입된 Gas입자는 활성탄에 흡착되게 된다. 이후 흡입기는 작동을 멈춘 뒤 PVC 가열기를 60s 동안 작동시켜 활성탄의 온도를 약 150도까지 높인다. 이때 활성탄의 온도가 올라가 흡착율이 감소하여 Gas입자들이 열 탈착이 되어 센서 주변으로 확산된다. 이후 센서가 확산되는 Gas 입자를 측정한다.

#### 2.4.3 활성탄의 흡/탈착을 이용한 시스템 측정 실험

앞선 모니터링 과정에 대한 실험을 진행했다. 실내에서 2m높이에 위치한 Hovering 상태의 Drone쪽으로 전자담배에서 나오는 VOCs Gas를 분사할 때와 분사하지 않을 때 센서의 측정값을 비교하는 실험을 진행하였다

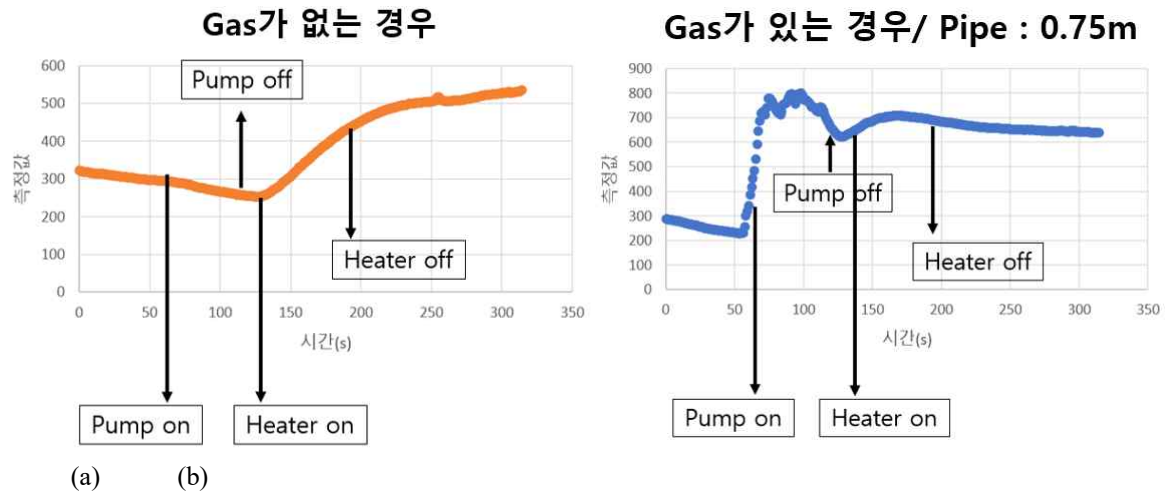
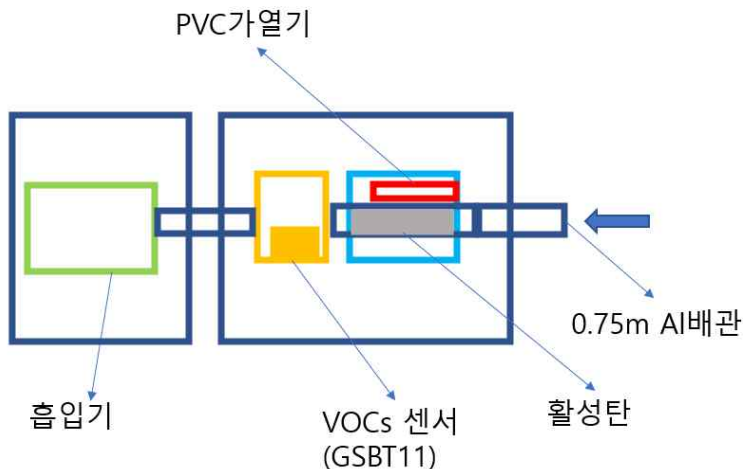


Fig. 12 Experiments on the designed gas detection process

실험 결과는 Fig. 12와 같다. 실험결과 Fig. 12(a) Gas를 분사하지 않을 때에는 초기값은 400으로 실험 장소의 대기 상태이다. Pump On 이후 센서 주변의 대기 중 기체 입자가 낮은 압력과 유속으로 인해 센서 표면에 부착되지 못해 측정값이 300으로 감소한다. 이후 PVC 가열기를 작동시켜 활성탄 내 Gas 입자 탈착을 진행할 때 측정값은 500으로 증가하는데 이는 활성탄의 Gas 입자가 검출되는 것이 아닌 알루미늄 시스템을 밀폐하기 위한 에폭시 본드 가열로 인해 나오는 Gas에 의한 것이다. Fig. 12(b) VOCs Gas를 분사하였을 때 초기값은 400으로 실험장소의 대기 상태이며 Pump On 이후 측정값은 700으로 분사된 Gas입자가 센서까지 도달하여 검출되는 것을 볼 수 있다. 하지만 센서 주변의 낮은 압력과 유속으로 인해 Gas 입자가 센서에 부착되지 못해 측정값이 점차 감소하게 된다. 이후 PVC 가열기를 작동시키면 활성탄에 흡착된 Gas입자들이 탈착이 되고 센서가 위치한 곳까지 확산되어 측정값이 다시 600으로 증가한다. 결과적으로 활성탄을 추가한 시스템은 Heater off 이후 그래프에서 볼 수 있듯이 탈착 이후 Gas 입자를 검출하여서 센서의 Noise가 감소하여 그래프가 수렴하는 형태를 확인할 수 있다.[본문단락 스타일]

### 3. 시스템 하우징 및 실험 결과 분석

#### 3.1 시스템 하우징



(a)



(b)

Fig. 13 Housing Design and Actually Designed Picture

앞서 설계한 시스템을 드론에 부착하기 위한 하우징 설계도와 설계 사진은 Fig. 13과 같다. 하우징 시 흡입기의 진동이 센서가 위치한 곳까지 전달되어 측정값에 Noise가 발생하는 것을 줄이기 위해 센서와 흡입기를 분리하여 Housing 이후 Drone과 고정하고 센서와 흡입기는 고무호스를 이용하여 연결하였다. 이때 연결 호스는 센서 뒤쪽 부분이기 때문에 Gas입자의 흡착율을 고려하지 않아도 되어 진동 전달을 최소화할 수 있는 고무호스로 연결하였다. 센서와 활성탄 시스템 연결은 활성탄 가열 시 센서 주변 온도가 올라가 측정값의 오차를 발생시키는 것을 방지하기 위해 센서와 활성탄 사이의 거리를 두고 AI Pipe로 연결하여 설계하였다.

### 3.2 제작한 시스템 실험 결과 비교

제작한 전체 시스템을 가지고 프로젝트 초기에 가정된 배관 길이 0.25m/0.5m/0.75m일 때의 측정값 비교 실험을 진행하였다. 실험은 실내에서 2m 높이의 Hovering 상태의 Drone 쪽으로 전자담배에서 나오는 VOCs Gas를 분사하며 센서의 측정값을 비교하는 실험을 진행하였다.

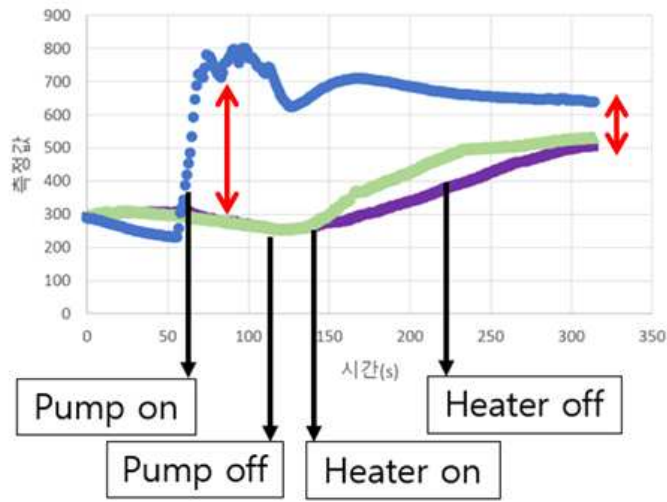
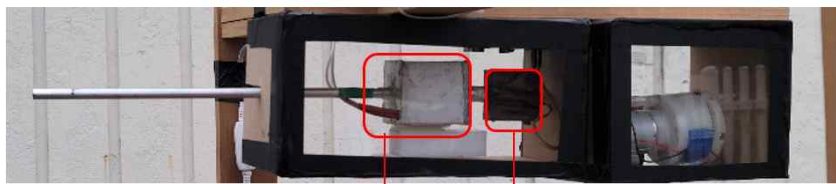


Fig. 14 Experiments according to length of 0.25m/0.5m/0.75m

실험결과는 Fig. 14와 같다. 실험 결과 0.25m, 0.5m는 Gas를 분사하지 않았을 때와 측정값이 유사하여 VOCs Gas가 검출이 되지 않는 것을 확인할 수 있다. 따라서 Drone의 프로펠러 유동에 의해 Gas가 도달하지 못하며 흡입기를 추가한 이후에도 Gas입자의 흡입이 불가능한 것을 확인할 수 있다. 0.75m일 땐 측정하고자 하는 Gas 검출이 가능하며 활성탄 탈착에 의한 VOCs Gas 측정값이 수렴하며 Noise가 감소한 것을 확인할 수 있다.

### 3.3 설계 시스템 온도 측정과 무게 측정

설계한 시스템에서 전기화학식 센서의 측정값에 영향을 줄 수 있는 온도 변수를 고려하기 위한 측정 실험을 진행했다.



	시간(s)	활성탄 T(°C)	Sensor T(°C)
Heater On	0	26.9	28.8
Heater Off	60	83.1	30
~	90	105.8	30.1
~	120	130	30.9

Fig. 15 Temperature measurement of the system

활성탄이 위치한 부분과 센서가 위치한 부분의 PVC Heater가열 시 온도 측정 결과는 Fig. 15와 같다. 측정결과 활성탄이 위치한 부분은 초기온도 26.9도에서 60초 동안 가열 이후 90초일 때 온도는 105.8도, 120초 일 땐 130도까지 증가했다. 센서가 위치한 부분은 초기온도는 28.8도이고 60초 동안 가열 이후 90

초일 때 30도, 120초 일 뎀 30.9도로 온도가 오르지 않는 것을 확인할 수 있다. 따라서 활성탄 탈착을 위해 PVC가열기가 작동 시에도 센서의 측정값에 영향을 주지 않는 것을 확인할 수 있다.

추가로 이전 실험 모두 실내에서 진행하면서 드론을 고정시켜 진행하였다. 이때 고정은 프로펠러 유동의 방해가 주지 않도록 드론 중심에 봉을 연결하여 진행하였다. 이에 따라 비행 조건을 검토하기 위해 설계한 시스템의 무게를 측정하였다.

Table 3 Measure the weight of each system

System	Weight (g)
Drone	980
AI Pipe	10
Sensor System	120
Pump and Battery	500
Total	1610

측정결과 설계에 사용한 드론의 Payload는 2kg, 드론의 배터리 포함 전체 무게는 980g이다. 따라서 흡입기와 배터리, 센서와 활성탄 시스템을 추가한 무게는 총1610g으로 PVC시스템의 무게가 390g을 초과하지 않는다면 Payload를 만족하여 비행이 가능하다.

#### 4. 결 론

본 설계는 드론을 이용한 실시간 대기 환경 모니터링 시스템을 설계하는 것을 목표로 진행하였다. 설계 초반에 설정했던 드론의 프로펠러의 유속으로 인해 측정하고자 하는 대기 중의 Gas가 드론쪽으로 도달하지 못한다는 것을 Ansys Fluent 프로그램 해석과 실험적으로 확인하며 이후 설계를 진행했다. 설계는 파이프와 센서로 이루어진 시스템부터 시작하여 실험적으로 한계점을 파악하고 분석하여 드론의 Payload 내에서 시스템을 추가하며 진행했다. 결과적으로 파이프와 흡입기를 이용해 0.75m까지 도달한 대기 중의 Gas를 흡입하고 활성탄으로 흡/탈착하여 전기화학식 센서로 측정하는 시스템을 설계하였다. 전기화학식 센서 측정값에 영향을 주는 진동, 온도, 압력, 기체 입자의 속도를 고려하여 Noise를 감소하고자 하였고 전체 시스템의 무게 또한 드론의 Payload를 넘지 않으며 비행이 가능할 것으로 예상된다. 본 설계에서 제작한 드론과 드론용 모니터링 시스템의 활용방안 및 기대효과로는 기존 고정형 센서의 효율성 문제를 극복할 수 있다. 또한 공장 굴뚝 등의 인위적인 원인에 대한 대기오염원을 시간, 공간의 제약없이 모니터링하여 효과적인 단속과 감시가 가능할 것이다. 뿐만 아니라 고도에 따른 오염물질 분포와 이동 경로를 데이터화 하여 AI러닝을 통해 대기 환경 모델링이 가능해지며 사람이 오염물질에 직접 노출되는 것을 방지하여 관련 종사자와 안전 Boundary설정 및 확보, 작업자들의 작업 환경을 개선하는데 이용될 수 있다. 뿐만 아니라 기존 고정형 센서의 효율성 문제를 극복할 수 있다.

#### 후 기

드론에 대한 유동 해석을 위해 Fluent 프로그램에 대한 숙련도를 높일 수 있었다. 또한 실험에 의해 산출된 데이터를 보다 쉽게 전달하는데 노력을 기울였다. 드론과 VOCs센서 모두 숙련도가 있는 분야는 아니었지만 관련 자료들과 참고문헌을 바탕으로 실험과 프로토타이핑을 진행할 수 있었다. 마지막으로 담당 지도교수님의 열성적인 지도와 지원 덕분에 프로젝트를 마무리 할 수 있어 감사의 인사를 전하고 싶다.



## 참고문헌

- (1) 안대명, 이창한. 2016, 환경모니터링 기술. 한국정보통신학회논문지. 17권, 2호. 31~37p
- (2) 김우현. 2017. 환경모니터링 기술과 시장발전. 지속가능한산업발전. 20권, 1호. 1~11p
- (3) Park, M., Kim, H., Cho, J., Lulu, A., & Shin, D. 2017. Mobile Sensor Velocity Optimization for Chemical Detection and Response in Chemical Plant Fence Monitoring. *Journal of the Korean Institute of Gas*, 21(2), 41-49. <https://doi.org/10.7842/KIGAS.2017.21.2.41>
- (4) 원전 환경 모니터링 로봇. 2014. 첨단기공(주). 원전정비작업로봇.
- (5) 류영선, 장인훈, 양기훈, 전명재, 라디우스. 2014. 해양 환경 모니터링을 위한 수중로봇 기반기술 연구. 한국생산기술연구원. <https://doi.org/10.23000/TRKO201400012255>
- (6) 김종순, 문태훈. 2013. 오염물질배출업소 감시·단속권한의 지방위임 효과에 대한 연구. *한국행정학회*, 47(4), 231-25.
- (7) Young-in Kim, Sungkwan Ku, Changhwan Park. 2018. Flow Analysis and Flight Experiment for Optimum Height of Weather Data Sensor. *The Journal of Korea Navigation Institute*, 22(6), 551-556.
- (8) 정호진. 상용 드론 시장의 현황과 전망. 2017. 산업통상자원부.
- (9) 윤정호, 손승우, 전형진, 유재진, 김동우. 2018. 드론을 이용한 대기환경 조사기법 분석과 적용을 위한 기초연구. 한국환경정책평가연구원
- (10) 강우관. 2011. 레이저 유도 플라즈마 분광분석법(LIBS)을 활용한 원소분석, *NICE*, 29(4), 460-64.
- (11) Yong-woo Jeon, Mi-Jin Jeon. 2018. An Experimental Study on Field Application of On-site Activated Carbon Regeneration using the Low Temperature Vacuum Swing Adsorption Process. *KSWM(Korea Society of Waste Management)*. doi: 10.9786/kswm.2018.35.6.499