



# 결과보고서

교과목명	기계자동화 캡스톤디자인			
과제명	흡후드 백드래프트 개선			
팀명	클로버			
지도교수 (과제 책임자)	소속	기계전자공학부	성명	윤주일
저작권	저작자 표시(CC BY)			

## ○ 팀원현황

직책	성명	소속학과
팀장	박선욱	기계전자공학부
팀원	이성환	기계전자공학부
팀원	서정빈	기계전자공학부

  

5학년 0명	4학년 3명	3학년 0명	2학년 0명	1학년 0명	총 3명
--------	--------	--------	--------	--------	------

## ○ 과제소개

과제개요	<p>본 과제는 기존 흡 후드 시스템에서 발생하는 유해 가스 역류(백드래프트) 현상을 능동적으로 차단하기 위한 '센서 피드백 기반 PID 알고리즘 제어 시스템'의 설계 및 구현을 다룬다.</p> <p>기존 기계식 댐퍼 방식의 응답 지연을 극복하기 위해, 제어 장치를 통해 밀리초(ms) 단위의 반응을 가진 능동형 제어 시스템을 제안하고, 이를 위해 1/2 스케일의 축소 모형을 유체역학적 상사 법칙에 따라 제작하였다. 해당 축소 모형에 하부 블로워 팬을 이용한 푸시-풀(Push-Pull) 기류와 측면 팬을 활용한 코안다(Coanda) 효과를 융합 적용하여 개구부 전면에 내부를 향하는 즉각적인 기류 장벽을 형성하는 메커니즘을 적용했다. 해당 메커니즘을 디지털 온습도 센서로 실시간 감지 및 아두이노와 파이썬을 통한 PID 제어를 통해 외란 발생 시 즉각적으로 팬 출력을 조절하여 연구원의 호흡기 노출을 최소화 하는 것을 목표로 한 종합설계 프로젝트다.</p>
과제목표 및 필요성	<p>화학 및 바이오 첨단 과학기술의 발전으로, 연구실 내 유해 물질 취급이 지속적으로 증가하면서 연구 환경의 안전성을 확보하는 것이 중요해지고 있다.</p> <p>특히 '연구실 안전환경 조성에 관한 법률'이 강화됨에 따라 작업자를 보호하는 대표적인 기구인 흡후드의 역할이 커지고 있다.</p> <p>그러나 실제 연구 환경에서는 실험자의 이동이나 새시의 개폐 등 빈번한 외란으로 인해 개구부 전면에서 국소적 저압 와류 구역이 순간적으로 형성되어, 유해 물질이 신체를 타고 분출되는 백드래프트 현상이 발생한</p>

	<p>다. 이를 제어하기 위해 쓰이는 널리 쓰이는 풍량 조절 시스템은 기계식 댐퍼 기반 변풍량 시스템이나, 기계적 응답 지연(3~5초)을 동반하기 때문에 급격한 외란에 실시간 방어하는 데에 구조적 한계가 존재한다. 따라서 본 과제는 기존의 응답 지연 문제를 밀리초 단위로 단축하고, 유해 가스의 역류를 빠르게 방지하여 연구원의 호흡기 노출을 최소화하는 고속 응답 능동형 기류 제어 시스템을 개발하는 것을 목표로 한다.</p>																																								
<p><b>과제내용</b></p>	<p>본 설계는 기하학적 상사, 레이놀즈 수 일치 조건에 기반하여 실제 흡후드의 1/2 스케일 축소 작동 모형을 직접 설계 및 제작하였다. 기존 논문과 법적 기준에 맞춘 내부 지배 환경을 설정한 이후 물리적 기류 장벽 형성을 위해 하부 블로워 팬(기류 분사)과 벽면 밀착 크로스 팬을 배치하였다. 이를 통해 상부에 위치한 주 배기력을 보완하는 푸시-풀 메커니즘과, 구석에 발생하는 유동 데드존을 소거하는 코안다 효과를 유도하였다. 제어 측면에서 초음파 미스트를 유해 물질 추적체로 설정하고, 새시 전면부 하단 및 작업자의 호흡기 영역에 고정밀 디지털 온도도 센서를 다축으로 배치하였다. 두 센서에 감지된 오차(습도 누출량)를 바탕으로 아두이노에서 측정된 값을 메인 pc가 파이썬 프로그래밍을 통해 PID 연산을 수행하며, 계산된 수치에 따라 팬을 제어하는 아두이노에 값을 전달 및 팬의 속도를 제어하여, 정상 상태에서는 출력을 최소화하여 과도한 출력으로 인한 난류 형성을 억제하고, 외란이 발생하면 빠르게 급가속하는 능동형 피드백 제어 루프를 구현했다.</p>																																								
<p><b>과제결과</b></p>	<p>결과물 사진에 첨부된 1/2 축소형 능동 제어 흡후드 실물을 바탕으로, 외란 시나리오에 따른 기류 제어 성능 및 안전성 검증을 진행 및 완료했다. 실험은 일반적 유출 상황(신체의 이동 및 내부 움직임)을 가정한 케이스 1과 극단적 유출 상황(보관 용기 파손 등 대량 유출)인 케이스 2로 나누어 진행했다. 첨부된 결과 도표와 같이 다양한 PID 제어계수(Kp, Ki, Kd)를 튜닝하여 성능을 분석한 결과, 오차에 대한 반응 속도를 올리기 위해 비례 게인(Kp)을 7.0으로, 잔류 편차를 없애기 위해 적분 게인(Ki)을 0.5로, 오버슈트로 인한 역류를 억제하기 위해 미분 게인(Kd)을 1.5로 설정한 조합이 이상적인 제어 성능을 보였다. 이 최적 설계값을 적용했을 때, 즉각적으로 감소를 이끌어 내는 기류 방어막이 형성되며, 두 케이스 모두에서 안정적인 정착 시간을 보이며 오차가 수렴되는 결과를 보여 증명했다.</p>																																								
<p><b>활용방안 및 기대효과</b></p>	<p>이번 설계물은 호흡기 노출 최소화라는 공학 안전의 핵심 가치를 실현하며, 대학 및 산업체 연구실의 유해 가스 취급 공정 개선에 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 특히 동일한 문제를 해결한 기존의 기성 장비는 기존 설비 대비 높은 도입 비용 및 기존 장비의 폐기 비용으로 인해 도입이 어려우나, 해당 장비는 기존 장비에 추가적으로 부착하는 구조를 통해 오픈 소스 플랫폼과 상용 부품을 이용하여 쉽게 접근할 수 있는 설계이다. 환경적 측면에서도 상시 구동되지 않고 적재적소에 가변 구동하여 전력 소비를 감소시키고, 실험실 환경을 개선할 수 있다. 향후 현장별 센서 장비 구성 및 시나리오 기준치 규격화가 추가로 이루어지면, 더 넓은 흡후드 시스템에 적용할 수 있으리라 기대된다.</p>																																								
<p><b>결과물 사진</b></p>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div data-bbox="354 1485 887 1910"> </div> <div data-bbox="922 1565 1455 1832"> <table border="1"> <caption>PID 제어 계수별 정착시간 (T<sub>s</sub>) 추이 그래프 (평균선형)</caption> <thead> <tr> <th>실험 순서</th> <th>실험 조건 (Kp, Ki, Kd)</th> <th>수렴시간 (T<sub>s1</sub>) (초)</th> <th>수렴시간 (T<sub>s2</sub>) (초)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>실험 1</td> <td>(3.0, 2.0, 1.0)</td> <td>31.64</td> <td>77.29</td> </tr> <tr> <td>실험 2</td> <td>(5.0, 2.0, 1.0)</td> <td>14.45</td> <td>64.91</td> </tr> <tr> <td>실험 3</td> <td>(7.0, 2.0, 1.0)</td> <td>28.74</td> <td>18.15</td> </tr> <tr> <td>실험 4</td> <td>(7.0, 0.5, 1.5) (Best)</td> <td>15.15</td> <td>15.15</td> </tr> <tr> <td>실험 5</td> <td>(1.0, 0.5, 5.0)</td> <td>62.71</td> <td>38.54</td> </tr> <tr> <td>실험 6</td> <td>(7.0, 1.0, 1.0)</td> <td>68.46</td> <td>22.45</td> </tr> <tr> <td>실험 7</td> <td>(7.0, 3.0, 0.0)</td> <td>21.21</td> <td>30.54</td> </tr> <tr> <td>실험 8</td> <td>(7.0, 1.0, 10.0)</td> <td>30.54</td> <td>30.54</td> </tr> <tr> <td>실험 9</td> <td>(10.0, 0.5, 5.0)</td> <td>30.54</td> <td>30.54</td> </tr> </tbody> </table> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div data-bbox="354 1944 533 1977"> <p>최종 결과물 사진</p> </div> <div data-bbox="922 1944 1329 1977"> <p>PID 제어기 수치에 따른 정착시간 변화</p> </div> </div>	실험 순서	실험 조건 (Kp, Ki, Kd)	수렴시간 (T <sub>s1</sub> ) (초)	수렴시간 (T <sub>s2</sub> ) (초)	실험 1	(3.0, 2.0, 1.0)	31.64	77.29	실험 2	(5.0, 2.0, 1.0)	14.45	64.91	실험 3	(7.0, 2.0, 1.0)	28.74	18.15	실험 4	(7.0, 0.5, 1.5) (Best)	15.15	15.15	실험 5	(1.0, 0.5, 5.0)	62.71	38.54	실험 6	(7.0, 1.0, 1.0)	68.46	22.45	실험 7	(7.0, 3.0, 0.0)	21.21	30.54	실험 8	(7.0, 1.0, 10.0)	30.54	30.54	실험 9	(10.0, 0.5, 5.0)	30.54	30.54
실험 순서	실험 조건 (Kp, Ki, Kd)	수렴시간 (T <sub>s1</sub> ) (초)	수렴시간 (T <sub>s2</sub> ) (초)																																						
실험 1	(3.0, 2.0, 1.0)	31.64	77.29																																						
실험 2	(5.0, 2.0, 1.0)	14.45	64.91																																						
실험 3	(7.0, 2.0, 1.0)	28.74	18.15																																						
실험 4	(7.0, 0.5, 1.5) (Best)	15.15	15.15																																						
실험 5	(1.0, 0.5, 5.0)	62.71	38.54																																						
실험 6	(7.0, 1.0, 1.0)	68.46	22.45																																						
실험 7	(7.0, 3.0, 0.0)	21.21	30.54																																						
실험 8	(7.0, 1.0, 10.0)	30.54	30.54																																						
실험 9	(10.0, 0.5, 5.0)	30.54	30.54																																						

**위와 같이 캡스톤디자인 교과목 결과보고서를 제출합니다.**

2026. 07. 06

신청인(팀장): 박선욱 (**박선욱**) / 지도교수: 윤주일 (인)

자료 (홈우드 백드래프트 개선)은 한성대학교 캡스톤디자인 수업 결과물로서 (클로버)에 의해 창작되었으며 크리에이티브 커먼즈 라이선스 (저작자 표시(CC BY)) 4.0에 따라 이용할 수 있습니다.