

COVID-19 팬데믹에 따른 스마트 호흡보호구의 필요성과 머신러닝 기법을 이용한 공기노출 예측/분류에 관한 연구

정화민¹, 김태엽^{2*}, 박철우²

¹서강대학교 정보통신대학원, ²유한회사 에어하이진

A Study on the Necessity of Smart Respiratory Protection Equipment and Prediction/Classification of Air Exposure using Machine Learning Techniques in Response to the COVID-19 Pandemic

HwaMin Jeong¹, TaeYeop Kim^{2*}, ChulWoo Park²

¹Graduate School of Information & Technology / Sogang University

²Airhygiene Limited Liability Company

요약 COVID-19 팬데믹으로 인해 스마트 기술을 활용한 호흡 보호 장비의 수요가 증가하고 있다. 스마트 기술을 적용한 호흡 보호 장비는 사용자의 호흡을 보호하면서, 환경 오염물질을 제거하거나 감지하는 등 다양한 기능을 수행할 수 있고, 이러한 장비는 COVID-19 뿐만 아니라 다른 전염병 예방을 위해서도 유용하게 사용되고 있다. 본 연구는 COVID-19와 같은 감염병 대응에 더욱 효과적으로 사용될 수 있는 스마트 호흡보호구의 필요성과 스마트워치, IoT 기술, 머신러닝 기술 등의 접목도 꼭 필요하다고 주장한다. 또한, 머신러닝 기법의 의사결정트리와 SVM(Support Vector Machine)을 적용하여 국내 A사의 전면형 스마트 호흡보호구의 호흡데이터를 이용한 스마트 호흡보호구의 공기 노출을 예측하고 분류하는 예측모델을 구축하였다. 의사결정 트리는 97.24%의 분류 정확도를 달성했으며 서포터 벡터 머신은 96.24%의 정확도로 나타났다. 머신러닝 기법의 활용은 호흡기 감염병을 예방하기 위한 스마트 호흡 보호 장비의 호흡유출 감지 및 분류에 활용될 수 있어, 이를 활용한 스마트 호흡보호구를 더욱 발전시킴으로써 전 세계적인 전염병 문제를 해결하는 데 중요한 역할을 할 것으로 사료된다.

Abstract Due to the COVID-19 pandemic, there is a growing demand for respiratory protective equipment that incorporates smart technology. Such equipment not only safeguards users' breathing but offers various functions, including the removal or detection of environmental contaminants. This equipment is beneficial for preventing not only the spread of COVID-19 but other infectious diseases as well. This study emphasizes the necessity for smart respirators that can more effectively address the spread of infectious diseases like COVID-19, and contends that the integration of smartwatches, IoT technology, and machine learning is crucial. Furthermore, decision tree (DT) and support vector machine (SVM) models (both of them machine learning techniques) were employed to construct a model to predict and classify air processed through smart respirators by using data from Company A's full-face smart respirators. The DT achieved a classification accuracy of 97.24%, while the SVM reached 96.24%. The application of machine learning techniques can facilitate detection and classification of leaks in smart respiratory protective equipment, thus helping to prevent the spread of infectious respiratory diseases. Consequently, further development of smart respirators using these techniques is anticipated to play a significant role in addressing global infectious disease issues.

Keywords : COVID-19 Pandemic, Respiratory Protection, Smart Technology, Infectious Disease, Machine Learning

본 논문은 감염병방역기술개발사업단의 호흡보호구형 IOT 호흡감시기 개발 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Tae-Yeop Kim(Airhygiene LLC.)

email: airhygiene@naver.com

Received February 28, 2023

Revised March 21, 2023

Accepted April 7, 2023

Published April 30, 2023

1. 서론

2020년부터 지금까지 COVID-19 팬데믹은 세계적인 대규모 감염병 발생으로 인해 인류의 건강과 생명에 큰 위협을 주고 있으며, 전 세계적으로 많은 사람이 마스크, 손 세정제 및 사회적 거리 두기와 같은 예방 조치를 하고 있다. 그러나, COVID-19의 전파 방식은 공기 중의 바이러스 입자로 인한 호흡기 감염이기 때문에 호흡 보호 장비가 필수적이다. 이에 따라, 전 세계적으로 호흡 보호 장비에 대한 수요가 급증하였고 스마트 기술이 적용된 다양한 호흡 보호 장비가 개발되어 사용되고 있다. 구체적인 사례로 미국의 경우, BioIntelliSense는 생체 감지 센서를 사용하여 COVID-19 감염 증상을 모니터링하는 스마트 패치를 활용하고 있다. 일본의 경우 AirXs라는 실시간 공기 질 측정, 미세 먼지 필터링, 박테리아 제거 기능을 갖춘 스마트 마스크의 사례도 있다. 국내의 경우, LG PuriCare Wearable Air Purifier는 마스크처럼 착용하여 공기를 정화하는 장치로 의료 전문가와 일반인이 사용하였고, Airfitme의 얼굴 전면형 스마트 호흡보호구도 사용자의 착용 데이터를 분석하여 부가서비스를 제공하는 제품이다.

본 연구는 COVID-19 팬데믹 같은 대규모 감염병에 대한 예방 및 대처에 매우 유용한 스마트 호흡보호구의 사용 필요성과 머신러닝 기법을 이용한 스마트 호흡보호구의 공기노출 예측/분류의 정확도를 측정한다. 그리고, 이러한 기술과 제품들이 개인 및 공공기관에서 사용되고 적극적으로 보급될 필요가 있고 보다 높은 수준의 스마트 기술과 장비가 개발되어 COVID-19와 같은 감염병 대응에 더욱 효과적으로 사용될 수 있도록 하는 기초연구의 목적이 있다. 서론에 이어 본론 부분에서는 이론적 고찰과 국내·외 스마트 호흡보호구의 종류 및 선행연구에 대하여 논하였다. 연구방법과 결론 부분에서는 머신러닝을 이용한 스마트 호흡보호구의 호흡유출 예측, 분류에 관한 정확도 분석결과를 제시하였다.

2. 본론

2.1 이론적 고찰

2.1.1 호흡보호구와 스마트 호흡보호구

기존 호흡보호구는 미국 OSHA(Occupational Safety and Health Administration)기준에 따라 Level A~D 까지 나누어지는데 그 특성은 다음과 같다. Level A는

“가장 높은 보호 수준을 제공하며, 호흡, 피부, 눈 등 모든 부위를 보호” 한다. Level B는 “호흡 보호를 위해 사용되며, 먼지, 가스, 증기, 미생물 등을 거의 완벽하게 차단”하며, Level C는 “호흡 보호를 위해 사용되며, 공기 중에 있는 입자 일부를 차단”할 수 있다. Level D는 “가장 낮은 보호 수준을 제공”하며, 호흡 보호는 제공하지 않는데, 이러한 보호구는 먼지나 간접적인 접촉 등을 방지하기 위해 사용한다. 기존 호흡보호구의 문제점은 편의성의 문제로 입 냄새와 침 냄새가 착용 시간에 비례하여 누적되며, 고글 안에서 김서림이 발생하고, 식음료 공급 및 휴식을 위한 탈용 불편, 착탈 시 사용자의 피부 자극과 상처 존재 가능성이 있다.

Table 1. Characteristics of each level of respirator

Level	Characteristics	Picture
Level A	provides the highest level of protection and protects all areas including breathing, skin and eyes	
Level B	used for respiratory protection and almost completely blocks dust, gas, steam, microorganisms, etc	
Level C	used for respiratory protection and blocks some of the particles in the air	
Level D	provides the lowest level of protection and does not provide respiratory protection. These protective equipment are used to prevent dust or indirect contact	

스마트 호흡 보호구는 효과적인 호흡 보호를 위해 설계된 고급 기술 제품으로 COVID-19 같은 호흡기 질환으로 인한 감염 위험이 커지면서 이전보다 더 많은 관심을 받게 되었다. 이러한 보호구는 실내 및 실외에서 활동하는 사람들에게 안전한 호흡을 보장하는 데 중요한 역할을 한다. 스마트 호흡 보호구는 주로 고급 필터와 환기 시스템, 화학 물질 및 유해 물질 감지기, 기온 및 습도 센서 등의 센서 기술을 사용하여 제작된다. 이러한 기술들은 사람들이 유해 물질에 노출될 가능성이 큰 시나리오에서 신속하고 효과적으로 대응할 수 있도록 한다. 이러한 스마트 호흡 보호구의 발전과 함께, 인공지능 및 머신러닝 기술도 적용되고 있으며, 이를 통해 각종 센서 데이터를 분석하고, 환경 상황 및 사용자의 상황에 따라 최적의 보호 기능을 제공할 수 있다.

2.2 선행연구

COVID-19 대유행으로 인해 전 세계적으로 호흡 보호 장비에 대한 수요가 급증하고 있고 이에 관한 학술적 연구도 활발히 이루어지고 있다. 윤유식 등의 연구에서는 COVID-19 대응 공기청정 시스템 기술 동향과 시장 전망에 대해 다루고 있으며[1] 스마트 호흡보호구와 관련된 기술적 측면을 강조하였다. Su, Y., Li, Y., & Sun, L.의 연구에서는 공공 교통에서 COVID-19 감염 위험을 줄이기 위한 스마트 헬멧 기술을 제안했으며[2], 스마트 호흡보호구를 착용하지 않고도 대중교통을 이용하면서 안전을 보장할 수 있는 기술적 대안을 제시하였다. Lee, S., Lee, S., & Kim, S.의 연구는 IoT 기술을 활용한 스마트 마스크를 개발하여 대규모 유행병 감염 예방 및 관리에 활용 가능성을 탐구하였으며[3], 스마트 마스크는 호흡기 질환 및 확산 예방을 위한 중요한 역할을 할 수 있고, 이를 위해 IoT 기술을 적용하여 스마트 호흡보호구의 활용 가능성에 관하여 연구하였다. Chen, X., Chen, Z., Azzi, M., & Li, Y.의 연구는 오존 및 폼알데하이드를 줄이기 위한 지능형 호흡 마스크를 제안하기도 하였다[4]. Hwang, J., Choi, J., & Park, H.의 연구는 COVID-19 감염자의 호흡 상태를 실시간으로 모니터링 하기 위한 웨어러블 호흡 모니터링 시스템에 대하여 연구하였다[5]. 이와 같이 국내뿐만 아니라 해외에서도 스마트 호흡보호구의 연구는 활발히 이루어지고 있다. Covid-19 팬데믹이 지속하는 상황에서 스마트 기술이 적용된 호흡보호구는 보다 안전한 호흡 보호를 제공할 수 있는 중요한 역할을 한다고 할 수 있다.

Table 2. Characteristics of smart respirator

Item	Characteristics	Picture
AIRPOP ACTIVE+	Smart mask with real-time air quality and breathing status monitoring	
ATMOBLUE	supplies purified air in real time as you breathe by filtering fine dust, viruses and germs in the air	
IG PuriCare Wearable Air Purifier	built-in air filter and Bluetooth microphone, sensor automatically adjusts according to user's breathing volume	
O2 Curve	supplies purified air when you breathe by filtering dust, viruses and germs larger than 2.7um in size	

Nightingale	Pressure/Illumination/Movement Improvement of comfort in the mask interlocked with cough / smart watch, analysis and prediction of fatigue	
-------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

3. 연구방법

3.1 스마트 호흡보호구

스마트 마스크의 경우 호흡 상태를 모니터링하는 기능이 있으며, 이를 통해 마스크 착용자의 호흡량, 호흡 속도, 호흡 패턴 등을 측정할 수 있다. 본 연구에서는 전면형 마스크 형태인 국내 에어피트미 사의 나이팅게일 스마트 전면보호마스크를 기준으로 활동 시 공기 노출에 대한 실험을 진행하였다. 실험을 위한 데이터는 아래 전체 프레임 워크에서 실시간 호흡 이벤트를 IOT 기반으로 수집한 시계열 데이터로 수집하고 분석하였다.

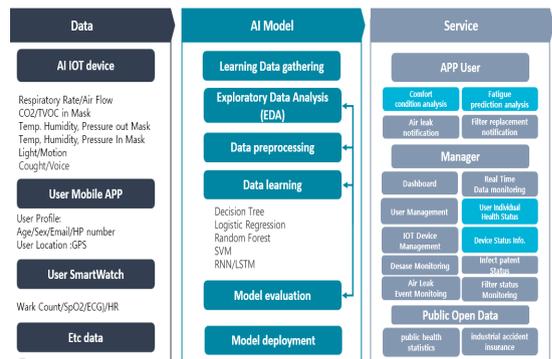
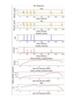


Fig. 1. Framework for data analysis

분석에 사용된 머신러닝 알고리즘으로는 의사결정트리(Decision Tree), 서포트벡터머신(SVM)으로 분석하고 예측/분류 정확도를 비교하는 방식으로 실험하였다. 학습데이터를 수집하기 위하여 공기 자동누설 밸브를 부착하고, 데이터의 라벨링이 자동화될 수 있도록 진행하였다. 최종 2만 7천여 건의 호흡 데이터를 수집, 공기누출 상황을 재현하기 위한 자동누설 밸브를 부착하고 라벨링을 자동화하였다.

Table 3. Data collection method

Item	method	Picture
Data collecting device	Respiration data collection using iot device and positive airway pressure device	

Data collecting	Respiration time series data collection using IoT and Bluetooth	
Data visualization	Graph of respiratory time series data	
Data monitoring	Dashboard to check labeled data	

3.2 데이터 분석 및 결과

데이터 분석을 위하여 학습용 데이터 80%, 평가용 데이터 20%로 나누고 Python 3.8버전 기준 스파이더(Spyder)에서 분석하였다. 스파이더(Spyder)는 Anaconda 배포본에 포함된 통합개발환경(IDE)으로 에디터와 콘솔을 지원하기 때문에 디버깅 작업을 편하게 수행할 수 있는 장점과 프로젝트, 헬프, 변수 보기(variable explorer) 등 다양한 편의 기능을 제공하기 때문에 본 연구에서 분석 도구로 사용하였다. 본 논문에서 머신러닝 알고리즘을 사용한 이유는 스마트 호흡보호구의 공기 노출을 예측하고 분류하기 위해서이다. 의사결정트리와 서포트벡터머신(SVM)모델을 사용하여 예측모델을 구축하였으며 정확도를 높이고 과적합(overfitting)을 방지하고자 10-fold cross-validation을 통해 모델을 평가하였다.

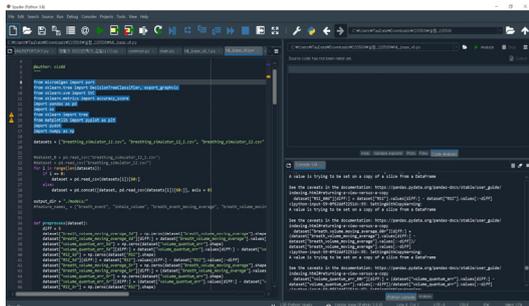


Fig. 2. Python code screen on Spyder program

머신러닝모델을 기반으로 하는 데이터 분석에 사용한 파이썬 라이브러리들은 아래와 같다. scikit-learn 패키지에서 DecisionTreeClassifier 모델을 불러오고 의사결정트리를 이용한 분류 모델을 실행하고 서포트벡터모델(SVM) 불러왔고, scikit-learn 라이브러리에서 제공하는 Grid SearchCV 모듈을 사용하였다.

```
from micromlgen import port
from sklearn.tree import DecisionTreeClassifier, export_graphviz
from sklearn.svm import SVC
from sklearn.metrics import accuracy_score
import pandas as pd
import os
from sklearn import tree
from matplotlib import pyplot as plt
import pydot
import numpy as np
```

Fig. 3. Python library code of analysis

의사결정트리와 서포트벡터머신(SVM)은 머신러닝 알고리즘의 일종으로 결정 트리에서 각각의 노드는 데이터의 특징에 대한 질문을 제시하고, 말단 노드(리프 노드)에서는 최종 결과를 제공한다. 서포트벡터머신(SVM)은 데이터 포인트를 분류하는 데 사용되는 알고리즘으로 이 알고리즘은 두 개 이상의 클래스 사이의 마진(즉, 클래스 사이의 거리)을 최대화하는 초평면을 찾는 것을 목표로 한다. 의사결정트리와 서포트벡터머신(SVM)은 다양한 실제 문제를 해결하기 위해 사용되며, 예측 모델링, 패턴 인식, 이미지 처리 및 텍스트 분류와 같은 영역에서 널리 사용된다. 본 연구에서는 스마트 호흡보호구의 공기노출을 예측, 분류하는 목적으로 사용하였다.

데이터 분석결과, 서포트벡터머신(SVM)의 분류 정확도는 96.24%로 나타났고, 의사결정트리의 분류 정확도는 97.24%로 나타나 본 연구에서는 의사결정트리가 조금 더 높은 분류 정확도를 가지는 것으로 나타났다. 이와 관련, Kang et al.의 연구에서는 밀착성 및 호흡 저항력을 갖춘 스마트 호흡보호구에 대한 설계 및 성능 평가 결과를 보고하고 있고[6], Kim et al.의 연구에서는 다양한 종류의 스마트 호흡보호구에 대한 공기 정화 성능을 실험적으로 평가하고, COVID-19 예방에 활용 가능성을 연구하였다[7]. 또한, Lee, S., Lee, S., & Kim, S.의 연구에서도 IoT 기술을 활용한 스마트 마스크를 개발하여 대규모 유행병 감염 예방 및 관리에 활용 가능성을 연구한 바[8], 스마트 마스크는 호흡기 질환 및 확산 예방을 위한 중요한 역할을 IoT 기술을 적용하여 스마트 호흡보호구의 활용 가능성이 있다고 하였다.

4. 결론

COVID-19 팬데믹은 전 세계적으로 대규모 감염병 발생으로 인해 인류의 건강과 생명에 큰 위협을 주고 있고, 이에 따라 전 세계적으로 많은 사람이 마스크, 손 세정제 및 사회적 거리 두기와 같은 예방 조치를 취하고 있다. 그러나 COVID-19의 전파 방식은 공기 중의 바이러스

스 입자로 인한 호흡기 감염이기 때문에 호흡 보호 장비가 필수적이며, 스마트 기술이 적용된 다양한 호흡 보호 장비가 개발되어 사용되고 있다. 이러한 스마트 호흡 보호구는 COVID-19 대응에 유용한 도구이며, 다른 전염병 예방에도 적용할 수 있다. 최근의 연구에서와 같이 스마트 기술과 머신러닝 기법을 이용한 스마트 호흡보호구는 호흡기 감염병 예방 및 대처에 매우 유용하며, 이러한 장비는 호흡 유출 감지 및 분류, 환자 모니터링, 확산 예측, 감염병 대응과 같은 기능을 수행할 수 있다.

본 연구는 성과로는 첫째, 스마트 호흡 보호 장비의 공기 노출 예측과 분류를 위해 머신러닝 기법인 의사결정트리와 서포트벡터머신(SVM) 모델을 사용하여 예측 모델을 구축하였다. 결과적으로 의사결정트리의 분류 정확도는 97.24%로, 서포트벡터머신(SVM)의 96.24%보다 약간 높게 나타났다. 이러한 머신러닝 모델의 결과는 스마트 호흡보호구 장비를 선택하거나 제조하는데 매우 중요한 역할을 할 수 있고 제조사는 장비의 성능을 개선하고자 사용자에게 더 나은 보호를 제공할 방법을 찾을 수 있을 것이다. 둘째, COVID-19와 같은 감염병에 대응하기 위해 스마트 기술과 장비의 개발과 활용이 점점 더 중요해지고 필요하다는 인식을 하게 한 점이다. 스마트 호흡보호장비는 호흡 감염병 예방과 대응에 매우 유용하며, IoT 기술을 활용하여 실시간 환경 정보 분석을 통한 감염병 확산 예방이 가능하다는 것이다. 따라서 COVID-19와 같은 감염병에 대응하기 위해 더욱 효과적으로 활용할 수 있는 고급 스마트 기술과 장비 개발에 관한 지속적인 연구와 기술 개발이 필요하다. 이러한 기술과 제품이 개인, 병원 및 공공 기관에서 활발하게 활용되고 보급될 필요가 있다고 할 수 있다. 본 연구의 한계점은 다양한 스마트 호흡보호구의 실제 데이터를 다양하게 확보하지 못하고 일부 스마트 호흡보호구의 호흡 데이터만으로 분석하여 일반화하기에는 한계가 있으나 많은 연구에서 스마트 호흡보호구의 활용과 필요성이 대두되고 있고 기술적 발전이 지속되고 있다.

References

[1] Y. S. Yun, S. J. Jeong, S. J. Kang, & K. Y. Lee, (2020). Technology trends and market prospects for air purifying systems in response to COVID-19. *Journal of the Korea Information and Communications Society*, 24(5), 1214-1223.

[2] Su, Y., Li, Y., & Sun, L. (2020). Smart helmet for

reducing the risk of COVID-19 infection in public transportation. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 21(8), 3473-3480.

[3] S. Lee, S. Lee, & S. Kim, (2020). Implementation of IoT-based smart masks for epidemic monitoring and management. *Sensors*, 20(19), 5598.

[4] Chen, X., Chen, Z., Azzi, M., & Li, Y. (2020). An intelligent respiratory face mask for reducing PM2. 5, Ozone and formaldehyde. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(4), 2524-2534.

[5] J. Hwang, J. Choi, & H. Park, (2021). Wearable Respiratory Monitoring System Based on a Piezoresistive Sensor for COVID-19. *Sensors*, 21(9), 3092.

[6] Kang et al. (2021): "Design and performance evaluation of smart respirators with fit and breathability features", *Journal of Hazardous Materials*, Volume 401, 15 January 2021, 123386.

[7] Kim et al. (2021): "Experimental evaluation of air purification performance for various types of smart respiratory protection devices", *Building and Environment*, Volume 195, 15 February 2021, 107721.

[8] S. Lee, S. Lee, & S. Kim, (2020). Implementation of IoT-based smart masks for epidemic monitoring and management. *Sensors*, 20(19), 5598.

정 화 민(Hwa-Min Jeong)

[정회원]



- 2009년 8월 : 서강대학교 대학원 MIS전공 (박사)
- 2018년 9월 ~ 현재 : 서강대학교 정보통신대학원 데이터사이언스 & AI전공 겸임교수

- 2019년 2월 ~ 현재 : 타우데이터 주식회사 대표이사 (인공지능 특히 다수 보유, 인공지능 기반 쇼핑몰 상품구매 예측, 머신러닝기반 산업기술 유출예측 시스템, 인공지능 기반 수면의 질 향상을 위한 음원제공, 정확도가 향상된 AI기반 추가예측플랫폼 등)
- 2022년 12월 : 과학기술정보통신부 장관상 대상 수상(인공지능 창업부분)

<관심분야>

바이오 헬스케어 빅데이터, 통계분석, 머신러닝, 인공지능, ICT교육/창업, 정보보안 등

김 태 엽(Tae-Yeop Kim)

[정회원]



- 1995년 2월 : 서울대학교 농업생명과학대학 원예전공 (학사)
- 1997년 11월 : 제1회 매경 증기청 대학창업경진대회 수상 (서울대 웹쿨팁 팀장)
- 1998년 6월 ~ 2002년 7월 : 서울대학교 공학연구소 보조연구원
- 2015년 3월 : 홍익대학교 스마트도시과학경영대학원 도시건축 전공 (중퇴)
- 2023년 ~ 현재 : 한국환경정책학회 이사
- 2023년 ~ 현재 : 한국지역개발학회 총무위원 이사
- 2020년 6월 ~ 현재 : 유한회사 에어하이진 대표

<관심분야>

대기환경 오염 미세먼지 및 에어로졸 대응 헬스케어 기구 설계 및 IOT 정보통신, 빅데이터, 통계분석, 머신러닝, 인공지능

박 철 우(Chul-Woo Park)

[정회원]



- 2015년 3월 ~ 2020년 8월 : 중앙대학교 창의ICT 공과대학 디지털 이미징 공학과 (공학사)
- 2019년 10월 : 우주전파재난 예측 AI 경진대회 개인 2위
- 2022년 3월 ~ 2022년 5월 : 유한회사 에어하이진 머신러닝 연구원

<관심분야>

빅데이터, 컴퓨터비전, 자연어 처리, 챗봇, 바이오테크