



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

격리 중환자실 인공호흡기 원격 모니터링
및 호흡 데이터 분석 시스템 개발

Development of a Remote Monitoring System
and a Respiratory Data Analysis System
of a Mechanical Ventilator
in an Isolated Intensive Care Unit

울 산 대 학 교 대 학 원

의 과 학 과

김 수 현

격리 중환자실 인공호흡기 원격 모니터링
및 호흡 데이터 분석 시스템 개발

지도교수 주세경

이 논문을 공학석사학위 논문으로 제출함

2024년 02월

울산대학교 대학원
의과학과
김수현

김수현의 공학석사학위 논문을 인준함

심사위원 허진원 인

심사위원 주세경 인

심사위원 황동현 인

울산대학교 대학원

2024년 02월

목 차

국문요약	V
그림 목차	VII
표 목차	VIII
식 목차	VIII
서론	1
1. 연구배경	1
2. 디지털 헬스케어	4
3. 의료기기 모니터링	6
연구 방법	9
1. 시스템 구조	9
2. 인공호흡기 호흡 데이터 추출	12
3. 인공호흡기 실시간 모니터링 시스템	17
4. 인공호흡기 호흡 데이터 분석 시스템	28
5. 추가 실험	35
시험 및 결과	39
1. 인공호흡기 실시간 원격 모니터링 결과	39
2. 카메라 모니터링 시스템 결과	42
3. 추가 실험 결과	47
고찰	49
결론	51
참고문헌	52
영문요약 (Abstract)	58

국문 요약

코로나바이러스감염증-19 (COVID-19)는 2019년 말 중국 우한에서 처음 보고되어, 전 세계적으로 광범위하게 확산하였다. COVID-19를 일으키는 코로나바이러스는 SARS-CoV-2라고 한다. 이 바이러스를 포함한 대부분 바이러스는 시간이 지남에 따라 진화하여 새로운 변이를 출현시키고, 이는 인류에게 엄청난 영향을 미치고 있다. COVID-19 이외에도 간염, 결핵, 바이러스성 출혈열, 동물 인플루엔자 인체감염증, 신종인플루엔자 등 다양한 감염병이 있다. 최근 이러한 바이러스의 감염으로 인한 환자들이 급격히 늘어나며 중증 환자의 비율도 증가하였다. COVID-19 감염은 무증상에서 사망에 이르기까지 다양한 임상 양상을 보이며, 초기에는 증상이 경미하다 갑작스럽게 중증으로 진행되는 경우가 있다. 또한, 경증 호흡기 감염부터 중증 폐렴, 급성호흡곤란증후군(acute respiratory distress syndrome, ARDS), 패혈증 및 패혈성 쇼크로 진행할 수 있다. 환자들의 병원 내 2차 감염 예방 및 감염병 확산을 방지하기 위해 격리된 입원 치료 시설에서의 치료가 필요하다.

격리 중환자실에서의 치료가 필요한 환자는 인공호흡기(ventilator), 체외막산화장치(extra-corporeal membrane oxygenation, ECMO), 환자 모니터 등의 여러 생명 유지 장치를 통해 집중치료가 필요하다. 또한, 격리된 중환자실(intensive care unit)에서 장비를 작동하고 모니터링하기 위한 전담 의료팀이 필요하다. 의료진은 감염 위험을 줄이기 위해 개인 보호 장비를 착용하고 격리 중환자실에서 환자들을 치료하고 상태를 확인해야 한다.

최근 의료 분야에서도 비대면 기술과 서비스가 급격히 성장하고 있다. 원격의료(Telemedicine)는 의료 서비스 공급자가 정보통신기술을 이용하여 다른 의료인이나 환자에게 의료기술 및 서비스를 제공하는 것을 말한다. 여기에는 원격으로 환자데이터를 모니터링하거나 로봇을 활용하여 다른 의료진들과의 협진을 통한 원격 수술, 원격으로 진료하고 처방하는 원격진료가 포함되어 있다. 원격의료 시스템을 활용한다면 시공간적 제약 해소할 수 있고, 환자의 의료 접근성을 높일 수 있다.

본 연구에서는 감염병 환자의 모니터링을 돕기 위한 격리 중환자실 원격 모니터링 시스템을 제안한다. 원격 모니터링 시스템은 인공호흡기 화면

모니터링 시스템, 인공호흡기 호흡 데이터 모니터링, 향후 데이터 분석시스템 세 가지 부분으로 구성된다. 이 시스템은 인공호흡기 조작 과정이나, 원격 로봇 이용과 같은 장애물이 있는 상황에서 인공호흡기 화면을 모니터링하고, 호흡 데이터를 수신 및 저장하며, 실시간 모니터링 및 데이터 분석을 제공할 수 있다. 제안된 원격 모니터링 시스템은 이전 연구와 비교하여, 두 대의 카메라 영상 재구성을 위한 영상 정합 알고리즘을 포함하며, 구조 유사도 지수(SSIM)와 피크 신호 대 잡음비(PSNR)를 사용하여 영상의 품질을 평가한다. 이 시스템은 장애물이 없는 경우 SSIM 0.948, PSNR 23.414dB의 결과를 보였다. 또한, 장애물이 있는 경우, SSIM 0.901과 PSNR 18.13dB로 인공호흡기 화면의 사각지대를 줄여 실시간 모니터링이 가능하다.

또한 본 연구의 원격 모니터링 시스템은 유선 및 무선 통신 모두와 호환되어 다양한 상황에서의 접근 가능성을 높이며, 두 대의 카메라를 사용하는 영상 모니터링과 실시간 데이터 모니터링을 동시에 사용하여 서로의 단점을 보완할 수 있다. 이 시스템에는 종합적인 데이터베이스와 분석 도구도 포함되어 있어 의료진이 인공호흡기 사용에 대한 데이터를 수집 및 분석하여 환자의 상태를 한눈에 볼 수 있다. 이 시스템을 구현함으로써 코로나19 팬데믹과 같은 상황에서 환자 상태를 실시간 모니터링하며 환자 치료에 도움을 줄 수 있으며, 의료진들의 부담을 감소시킬 수 있다.

그림 목차

- 그림 1 WHO 지역별 신규 발생 및 누적 COVID-19 사례 및 사망자 수
- 그림 2 Philips에서 제공하는 eICU 프로그램
- 그림 3 디지털 헬스케어 및 원격의료 구조도
- 그림 4 스마트 워치 및 건강 밴드
- 그림 5 GE 헬스케어 뮤럴
- 그림 6 필립스 바이오 스티커 센서
- 그림 7 전체 시스템 개요
- 그림 8 전체 시스템 구조
- 그림 9 인공호흡기 호흡 데이터 구조
- 그림 10 카메라 영상 처리 개요
- 그림 11 카메라 방사 왜곡 제거를 위한 내부 계수 계산
- 그림 12 역원근 변환
- 그림 13 역원근 변환을 통해 인공호흡기 스크린 화면만 추출한 결과
- 그림 14 영상 처리 결과
- 그림 15 인공호흡기 스크린과 데이터 모니터링 시스템 GUI 비교
- 그림 16 인공호흡기 데이터 모니터링 시스템 GUI
- 그림 17 인공호흡기 호흡 데이터와 영상 데이터 패킷 통신 구조
- 그림 18 인공호흡기 통합 모니터링 시스템 GUI
- 그림 19 인공호흡기 데이터 분석 시스템 첫 번째 탭 (Overview)
- 그림 20 인공호흡기 데이터 분석 시스템 두 번째 탭
(Respiratory mechanics)
- 그림 21 인공호흡기 데이터 분석 시스템 세 번째 탭 (Breath summary)
- 그림 22 인공호흡기 데이터 분석 시스템 네 번째 탭
(Setting & Alarm summary)
- 그림 23 인공호흡기에 부착한 카메라 위치

- 그림 24 2대의 카메라를 사용한 영상 처리 결과
- 그림 25 3대의 카메라를 사용한 영상 처리 결과
- 그림 26 4대의 카메라를 사용한 영상 처리 결과
- 그림 27 SSIM 점수에 따른 이미지 예시
- 그림 28 PSNR 점수에 따른 이미지 예시
- 그림 29 장애물이 없는 경우 영상 처리 결과
- 그림 30 장애물이 있는 경우 영상 처리 결과

표 목차

- 표1 인공호흡기에서 추출하는 호흡 데이터 리스트
- 표2 실시간 데이터 모니터링 가능한 호흡 데이터
- 표3 카메라와 장애물 박스 플롯으로 확인 가능한 호흡 데이터
- 표4 breath summary 탭에서 계산되는 인공호흡기 호흡 데이터
- 표5 setting & alarm summary 탭에서 계산되는 인공호흡기 세팅 데이터
- 표6 카메라 위치
- 표7 장애물 위치
- 표8 모델 베이스로 계산되어 모니터링하는 메타 데이터
- 표9 이전 연구와의 비교
- 표10 장애물이 없는 경우 영상 처리 결과
- 표11 장애물이 있는 경우 영상 처리 결과
- 표12 추가 실험 결과

식 목차

- 식 1 역원근 변환 (Inverse Transformation)
- 식 2 SSIM 계산
- 식 3 PSNR 계산

서론

1. 연구배경

지난 2019년 12월 중국에서 시작된 코로나바이러스감염증-19 (COVID-19)은 SARS-CoV-2 바이러스에 의해 발생하는 전염병이다. 코로나바이러스감염증-19 (COVID-19) 팬데믹은 전 세계적으로 사람들에게 영향을 미쳤으며, 현재까지 약 7억 7천만 건의 확인 사례가 발생하였다 [1]. 그림 1과 같이 현재까지도 백신 접종과 공중 보건 조치에도 불구하고, 새로운 돌연변이가 발견되면서 COVID-19 감염 건수는 계속해서 증가하였다 [2, 3]. 중증 COVID-19 환자는 호흡기 손상으로 인해 호흡 부전, 급성 호흡곤란 증후군, 패혈증, 패혈성 쇼크 등의 합병증 겪어 폐가 손상되어 호흡곤란을 겪는 경우가 많아, 인공호흡기는 그들에게 중요한 생명 유지 장치이다 [4-8]. 집중 치료가 필요한 환자의 경우, 상태 개선을 위해 기계식 환기 장치와 액세서리, 주입 펌프, 환자 모니터를 갖춘 중환자실 (ICU) 이 필수적이다 [9, 10].

WHO Region	New cases in last 28 days (%)	Change in new cases in last 28 days *	Cumulative cases (%)	New deaths in last 28 days (%)	Change in new deaths in last 28 days *	Cumulative deaths (%)
Western Pacific ¹	1 298 782 (92%)	52%	206 823 836 (27%)	1 092 (58%)	9%	416 682 (6%)
Europe	104 681 (7%)	39%	275 912 918 (36%)	682 (36%)	-43%	2 247 113 (32%)
South-East Asia	3 780 (<1%)	-48%	61 201 773 (8%)	54 (3%)	-51%	806 661 (12%)
Eastern Mediterranean	3 139 (<1%)	113%	23 388 656 (3%)	28 (1%)	33%	351 395 (5%)
Americas ⁵	1 122 (<1%)	NA ^y	193 210 684 (25%)	28 (1%)	NA	2 958 886 (43%)
Africa	746 (<1%)	-76%	9 547 082 (1%)	4 (<1%)	-73%	175 423 (3%)
Global	1 412 250 (100%)	38%	770 085 713 (100%)	1 888 (100%)	-50%	6 956 173 (100%)

그림 1 WHO 지역별 신규 발생 및 누적 COVID-19 사례 및 사망자 수 (2023년 8월 27일 기준)

*World Health Organization (WHO)

중환자실에서 생명 유지 시스템을 사용하는 것은 COVID-19 환자를 관리하고 상태를 개선하는 데 매우 중요하다 [11-13]. 그러나 격리된 중환자실에서 이러한 장치를 작동하려면 의료진이 감염 위험으로부터 자신을 보호하기 위해 개인 보호 장비 (Protective Personal Equipment)를 착용해야 한다 [14-16]. 또한, 환자 상태 모니터링 외에도 환자 모니터 (patient monitor)에서 제공하는 데이터 이외의 데이터를 모니터링하기 위해 격리 중환자실의 장비를 확인해야 한다. 그림 2는 Philips에서 제공하는 eICU 프로그램으로 의료 시설의 위치와 관계없이 중앙에서 통제하거나 관리할 수 있는 원격 중환자실 솔루션이다.

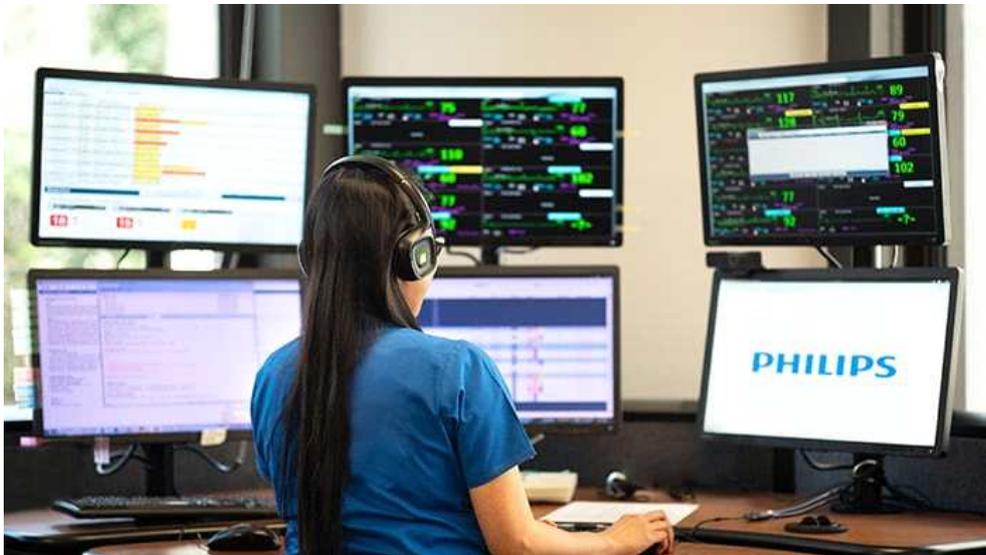


그림 2 Philips에서 제공하는 eICU 프로그램
*Philips

카메라 시스템을 사용한 이미지 처리 기술은 의료, 보안, 자율 주행 자동차 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 특히 의료 분야에서는 의료 이미지 진단, 모니터링 및 팔로우업, 인공지능을 활용한 진단 보조 등에 이미지 처리 기술이 사용되고 있다. 이 기술은 잡음 제거, 객체 감지, 이미지 레지스트레이션과 같은 다양한 기법을 포함하고 있다 [17]. 최근 의료 원격 모니터링 시스템에서는 원격 모니터링을 위해 카메라 시스템을 결합한 기술을 채택하고 있다 [18, 19]. 카메라 시스템을 이용한 원격 모니터링은 실시간 관찰 및 모니터링이 가능하며, 의료진이 접근하기 쉽고 감염 위험을 최소화할 수 있는 장점이 있어 환자의 상태와 의료기기 모니터링에 사용하기 적합하다.

본 연구에서는 격리 중환자실의 인공호흡기에 대한 원격 모니터링 시스템을 개발하는 것을 목표로 한다. 본 연구 시스템은 카메라를 사용하여 Maquet Servo-i 인공호흡기 (Getinge AB, Gothenburg, Sweden) 화면을 모니터링하고 Servo-i 인공호흡기에서 호흡 데이터를 실시간으로 수집하고 데이터를 저장 및 분석할 수 있는 시스템을 개발하려 한다. 그리고 더 나아가 이 시스템을 격리 중환자실에서 사용하는 다양한 의료기기에 적용할 수 있을 것이라 예상된다.

2. 디지털 헬스케어

비대면 진료에 대한 수요나 연구는 계속해서 증가해왔으며, COVID-19의 영향으로 그 수요는 기하 급증적으로 늘어났다. 또한, 코로나 펜데믹이 장기화되며 의료분야에서 변화가 생기며, 디지털 헬스케어 (Digital Healthcare)의 관심도 높아졌다 [20]. 디지털 헬스케어란 의료와 정보통신 기술 (ICT)을 융합한 맞춤형 의료 건강관리 서비스 산업이다. 그림 3과 같이 디지털 헬스케어는 모바일 헬스케어, 원격의료, 보건의료분석학, 디지털보건의료시스템 분야로 나눌 수 있다.

텔레헬스 (Telehealth)와 텔레메디신 (Telemedicine)은 의료비용을 절감하고 의료 리소스를 효율적으로 활용하는 데 큰 기여를 하였다 [21]. 텔레메디신 혹은 텔레헬스라고 일컬어지는 원격의료는 의료비용을 절감하고 의료 리소스를 효율적으로 활용하는 데 큰 기여를 하였다. 텔레헬스는 환자들에게 어디서나 의료 상담과 진료를 받을 수 있는 편리성을 제공한다. 이는 지리적 제약이나 이동의 문제로 인해 의료 서비스에 접근하기 어려운 환자들에게 특히 중요하다 [22]. 또한, 긴급한 의료 상황에서도 응급 의료 상담을 실시간으로 받을 수 있어 환자의 생명을 구하는 데 도움을 줄 수 있다.

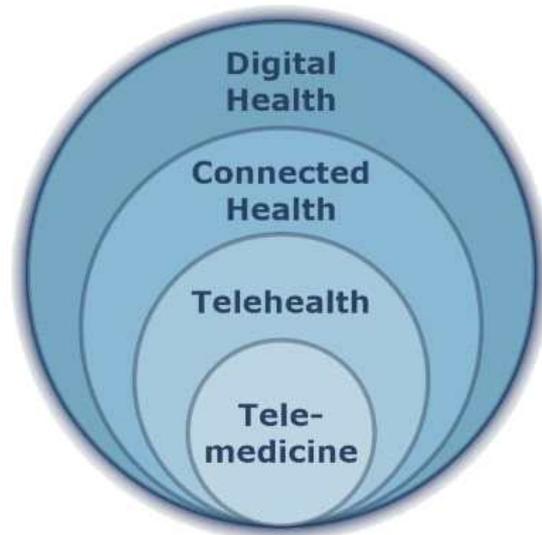


그림 3 디지털 헬스케어 및 원격 의료 구조도

*Ingenium Digital Health Advisors

텔레헬스는 환자와 의료 전문가 간의 의사소통 및 건강 정보 교환을 위한 디지털 플랫폼을 통한 원격 의료 서비스를 의미한다. 텔레헬스는 의료 진료뿐만 아니라, 보다 넓은 범위의 건강 및 의료 서비스를 다루며, 예방 관리, 건강 교육, 건강 모니터링 등이 포함된다 [23]. 또한, 환자의 건강과 웰빙을 중심으로 두며, 환자 스스로 건강 상태를 관리하고 개선하는 데 도움을 주는 서비스도 포함된다.

텔레메디슨은 주로 의료 진료와 진단을 중심으로 한 원격 의료 서비스이며, 의사와 환자 간의 원격 상담, 진단, 처방전 발행 등 의료 전문가와 환자 간의 의료 서비스에 적용된다. 의료진인 의사나 간호사와 같은 의료 전문가들이 특정 상황에서 환자를 원격으로 진료하고 모니터링하는 데 초점이 맞춰져 있다 [24].

디지털 헬스케어의 발전으로 인공지능 (Artificial Intelligence)와 빅데이터 분석 기술은 환자 데이터를 수집, 분석하고 진단을 개선하는 데 큰 역할을 할 것이다 [25].

3. 의료기기 모니터링

본 연구의 주된 목표는 의료기기 모니터링에 관한 것으로, 환자의 건강 상태를 실시간으로 관찰하고 모니터링하는 중요성에 대해 다룬다. 의료기기 모니터링은 환자의 건강 상태를 지속해서 추적하고 진단하는 데 필수적이며 다양한 의료기기 모니터링 기술들이 개발되고 있다.

의료기기 모니터링은 의료 기기를 사용하여 환자의 건강 상태를 실시간으로 모니터링하고, 의료 전문가나 환자 스스로에게 정보를 전달한다. 차세대 통신 기술인 5G와 사물인터넷 (IoT) 기술의 발전으로 의료기기 모니터링은 더욱 높은 대역폭과 낮은 지연성을 제공하며, 실시간 데이터 전송이 가능하게 한다 [26]. 그리고 스마트 웨어러블 디바이스인 스마트 워치, 건강 밴드 등이 개발되고 있으며 이러한 기기를 통해 심박수, 혈압, 활동량, 수면 등의 데이터를 모니터링할 수 있다 [27]. 이러한 데이터는 환자 자신이 확인 가능하며, 의료전문가의 도움을 받을 수 있다.



그림 4 스마트 워치 및 건강 밴드
*샤오미 미밴드

GE 헬스케어에서 디지털 원격 모니터링 솔루션인 ‘뮤럴 (Mural)’을 출시하였다. 그림 5와 같이 뮤럴은 다양한 의료기기로부터 수집된 환자의 기본 활력징후, 심전도, PACS (Picture Archiving and Communication System)와 같은 데이터를 실시간으로 통합적으로 제공한다. 단일 병원 내 여러 과나 여러 병원 간 감염 중증 응급환자를 실시간으로 원격 모니터링 할 수 있다. 코로나19 환자의 경우, 임상 원격 모니터링을 통하여 의료진이 코로나19 환자 대상 프로토콜을 이용할 수 있고, 격리 음압실 출입 전 환자의 폐 손상 및 활력징후를 파악하여 선제적으로 처치가 가능하다. 원격 모니터링을 통하여 의료진의 부담을 줄이고, 코로나바이러스 노출을 최소화할 수 있다고 말했다.



그림 5 GE 헬스케어 뮤럴
*GE Healthcare Mural Virtual Care Solution

또한, 필립스에서는 병원 밖 디지털 헬스케어 솔루션을 강조하였다. 그림 6의 바이오테이커 센서는 30일 동안 이용이 가능한 일회용 웨어러블 센서를 개발하였다. 작은 일회용 패치로 피부에 부착하면 체온, 심박, 호흡률, 자세, 활동 수준, 기침 등을 모니터링할 수 있다.



그림 6 필립스 바이오 스티커 센서
*Philips

의료기기 모니터링은 환자의 건강 상태를 지속적으로 추적하고 진단하는데 필수적인 기술이다. 본 연구를 통해 원격 모니터링을 격리 중환자실에서 사용할 수 있으며, 인공호흡기뿐만 아니라 다른 의료기기에도 적용할 수 있는 시스템을 제안한다. 이러한 시스템을 통해 의료진이 환자의 상태를 실시간으로 모니터링하고 필요한 의료 조치를 빠르게 취할 수 있도록 도와줄 것이라 기대된다.

연구 방법

1. 시스템 구조

인공호흡기는 중환자실 (ICU)에서 가장 일반적으로 사용되는 장비이며 이 중, 국내 점유율이 가장 높은 Maquet Servo-i 인공호흡기를 대상으로 시스템을 개발하였다. 그림 7과 같이 전체적인 시스템의 구조는 Maquet Servo-i 인공호흡기의 호흡 데이터와 영상 데이터를 수집하는 미니 PC와 격리 중환자실 외부에서 모니터링하는 서버 PC로 구성되어 있다.

본 연구에서는 인공호흡기 호흡 데이터 모니터링 시스템, 카메라 모니터링 시스템, 호흡 데이터 분석 시스템을 구현하였다. 카메라 영상 데이터와 환자 호흡 데이터가 포함된 데이터 패킷 전송은 TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) 통신으로 구현되었으며, 두 대의 카메라는 미니 PC와 USB (Universal Serial Bus)로, 인공호흡기는 RS232C (Recommend Standard 232C) to USB로 직접 연결되어 있다.

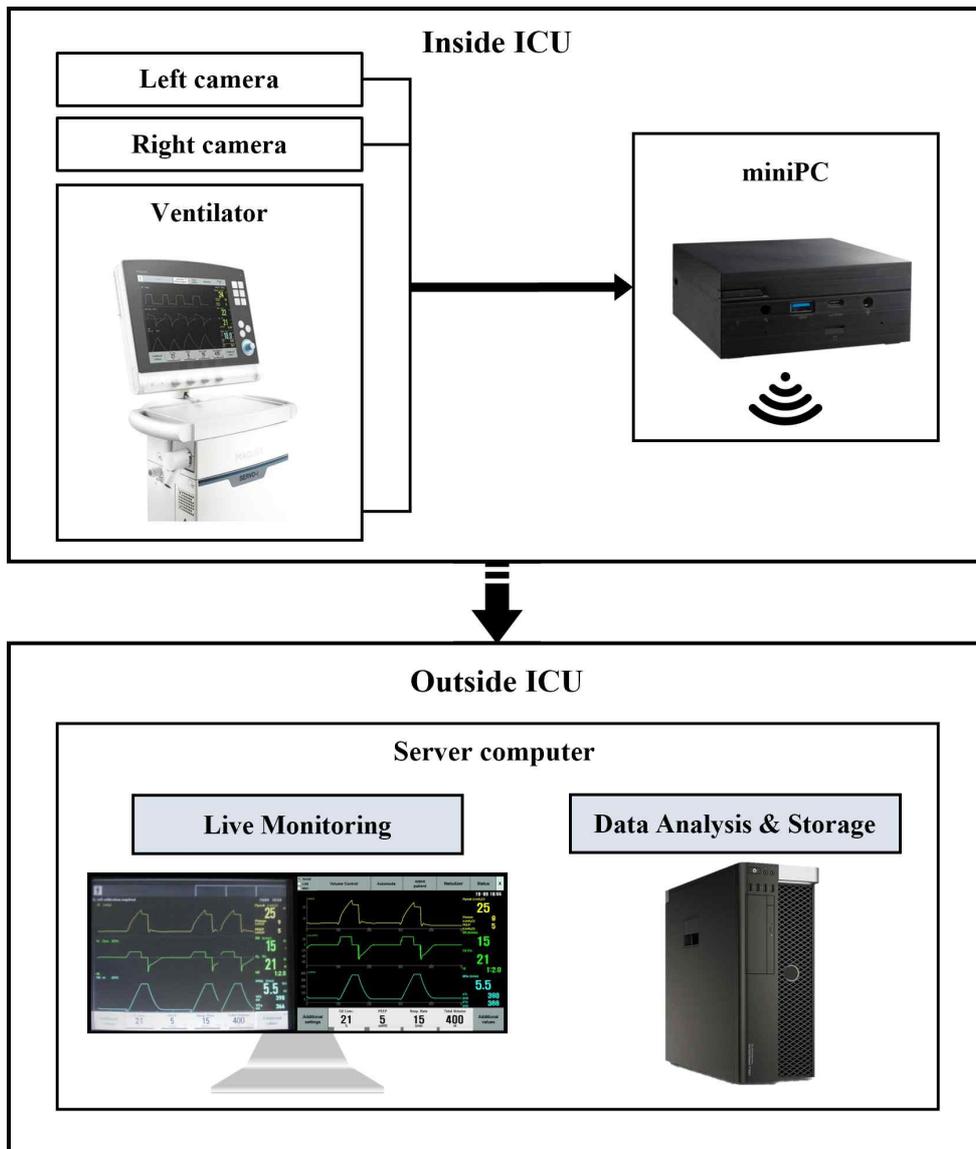


그림 7 전체 시스템 개요

그림 8과 같이 미니 PC에서 두 대의 카메라 영상 데이터 처리와 인공 호흡기 호흡 일시 데이터 수집을 하며, TCP/IP 통신을 통해 전송된 호흡 일시 데이터 처리는 서버 PC에서 이루어진다. 또한, 원격 모니터링을 위해 영상 데이터는 10FPS로 실시간으로 전송되며, 호흡 데이터 처리 후 데이터는 서버 PC에 저장되고 분석 시스템을 통해 환자의 호흡 상태 변화를 한 눈에 볼 수 있다.

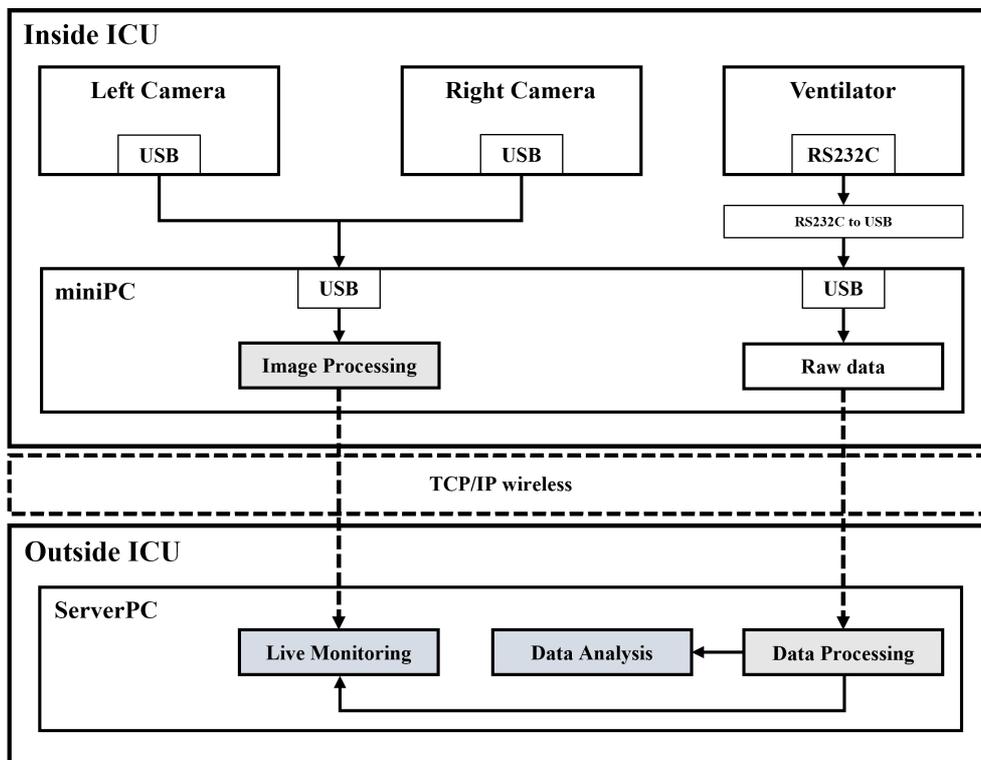


그림 8 전체 시스템 구조

2. 인공호흡기 호흡 데이터 추출

인공호흡기 원격 모니터링 시스템은 Python 3.9 프로그래밍 언어를 기반으로 개발되었다. Servo-i 인공호흡기의 경우 RS232C 직렬 인터페이스를 통해 외부 장비와 연결할 수 있다. 인공호흡기는 Baud rate 9600, 데이터 형식은 ASCII 또는 바이너리, 소프트웨어 핸드셰이크를 지원한다. 미니 PC는 PN51E1-B (ASUS) 모델을 사용하며 CPU는 32GB RAM을 탑재한 AMD Ryzen 75700U를 사용하였다. 서버 PC 사양은 CPU의 경우 32GB RAM을 탑재한 Intel(R) Core (TM) i7-6900K을 사용하였다. 미니 PC와 서버 PC는 TCP/IP 통신을 통해 연결되었다.

인공호흡기에서 원시 데이터를 수신하기 위해 시리얼 통신 시스템을 구축하였다. Maquet에서 제공하는 CIE (Computer Interface Emulator) 프로토콜을 통해 인공호흡기와 통신하였다. 인공호흡기에서 제공하는 데이터의 종류는 curve channel, breath channel, setting channel, alarm channel 4가지이다. curve channel은 연속적인 호흡 파형 데이터를 포함하며 50Hz (20ms)의 샘플링레이트를 갖고 있으며, breath channel은 숫자 형태의 환자의 호흡 데이터를 포함한다. 그리고 setting channel은 숫자 형태의 인공호흡기의 설정값을 나타내고, alarm channel은 숫자 및 문자 형태로 인공호흡기에서 발생한 알람 내용을 포함한다. 인공호흡기에서 최대 180개의 데이터를 추출할 수 있으나 데이터 트래픽 제한으로 인해 주요 채널 데이터인 79개만 추출하였다. 표1에 주요 인공호흡기 채널 데이터 리스트로, 주요 채널 선택은 숙련된 호흡기내과 전문의가 참여하였다.

Channel type	Channel name
Curve channel	Airway pressure Volume
Breath channel	Measured breath frequency Exp. tidal volume Insp. tidal volume Insp. minute volume Exp. minute volume Peak pressure Mean airway pressure Pause pressure End exp. pressure O ₂ concentration Insp. Resistance I:E ratio Ti (Insufflation time) NIV, Leakage fraction Elastance Ti/Ttot Total PEEP Spontaneous Breath frequency Work of Breathing, Ventilator Work of Breathing, Patient
Setting channel	CMV Frequency Pause Time SIMV Frequency Insp. Rise Time Pressure Control Level above PEEP Pressure Support Level above PEEP PEEP Ventilation Mode Insp./Exp. Pause Hold, Oxygen Breaths/Start Breaths CPAP Exp. minute vol. Upper alarm limit Exp. minute vol. Lower alarm limit Upper pressure limit Alarm mute/pre-mute Status O ₂ concentration Trigger sensitivity level below PEEP Trigger sensitivity level above PEEP I:E Ratio Tidal volume Backup RR Backup Ti in Seconds Insp. Time in seconds Insp. Rise Time, in seconds

	SIMV Breath duration Back-up Pressure Level Above PEEP Insp. flow Cycle off Fraction Level Breath frequency Upper alarm limit Breath frequency Lower alarm limit PEEP Lower alarm limit PEEP Upper alarm limit Exp. minute vol. Lower alarm limit Backup I:E Ratio
Alarm channel	O2 conc. too high-alarm O2 conc. too low-alarm Airway pressure alarm Upper pressure limit exceeded-alarm Exp. minute volume-alarm Apnea alarm/Backup ventilation Gas supply alarm Battery alarm Power Failure-alarm Mains Failure-alarm Barometer error-alarm High continuous pressure-alarm Overrange-alarm No patient Effort Leakage out of range Check tubing Breath frequency High Breath frequency Low PEEP Low PEEP High CPAP High CPAP Low Exp. Minute volume too high-alarm Exp. Minute volume too low-alarm Leakage fraction too high

표1 인공호흡기에서 추출하는 호흡 데이터 리스트
*호흡 데이터 분석에 사용되는 주요 채널 볼드체로 표기

그림 9와 같이, 인공호흡기 호흡 데이터는 curve channel 데이터를 연속적으로 수신하며 이벤트가 발생할 경우 breath channel, setting channel, alarm channel 데이터가 수신된다. 호흡 일시 데이터는 디코딩 후 서버 PC에서 데이터를 채널별로 분리한다. curve channel 데이터는 10진수 형태로 50Hz 속도로 수신되며, 하나의 호흡은 흡기, 정지, 호기로 이루어져 있어, 각각 정해진 데이터 헤더를 통해 구분한다.

인공호흡기 호흡 데이터는 각 채널 데이터별로 csv 파일로 서버 PC에 저장된다. curve channel의 데이터는 pressure, flow, volume 데이터가 각각 별도의 csv 파일로 저장되며, breath channel, setting channel, alarm channel은 각각 하나의 csv 파일로 저장된다.

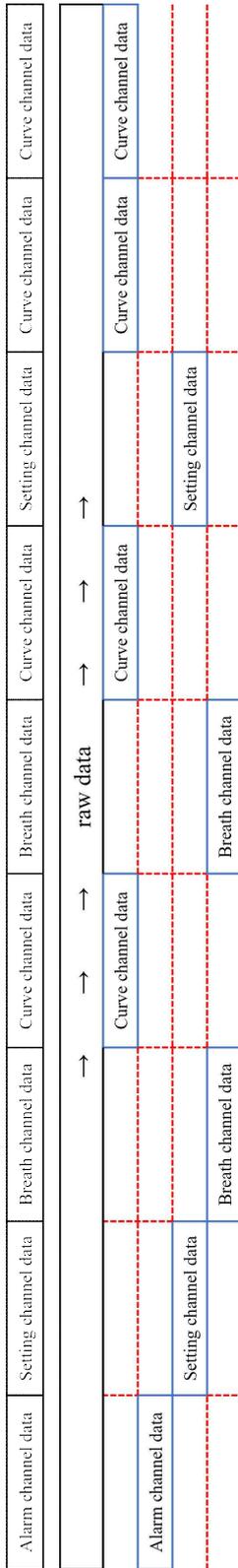


그림 9 인공호흡기 호흡 데이터 구조

3. 인공호흡기 실시간 모니터링 시스템

인공호흡기 실시간 모니터링 시스템은 2개의 시스템으로, 두 대의 카메라를 이용한 카메라 모니터링 시스템과 인공호흡기에서 추출한 호흡 데이터 모니터링 시스템으로 구성된다.

3.1 카메라 모니터링 시스템

카메라 모니터링 시스템은 인공호흡기 스크린을 두 대의 카메라를 통해 촬영한다. 의료진들의 인공호흡기 조작에 지장을 주지 않으며, 인공호흡기 스크린 전체를 촬영할 수 있도록 카메라는 하단 좌우에 설치하였다. 카메라는 낮은 가격의 저조도 광각 카메라 모듈인 Arducam을 사용하였으며, 1920X1080 해상도로 30FPS 촬영이 가능하다. 카메라에 사용되는 센서는 1/2.8" Sony IMX291 이미지 센서를 사용하였으며 화각은 100°이고 초점 범위는 3.3ft에서 무한대까지이다. 영상 처리는 그림 10과 같이 4단계로 이루어진다. 첫 번째 단계에서는 카메라 내부 방사 왜곡을 방지하기 위한 캘리브레이션을 진행하고, 두 번째 단계에서는 인공호흡기 스크린 화면만을 추출하기 위한 역원근 변환을 한다. 세 번째 단계에서는 알고리즘을 이용하여 이미지를 정합한다. 마지막으로 이미지 선명도 강화를 위한 필터를 사용한다.

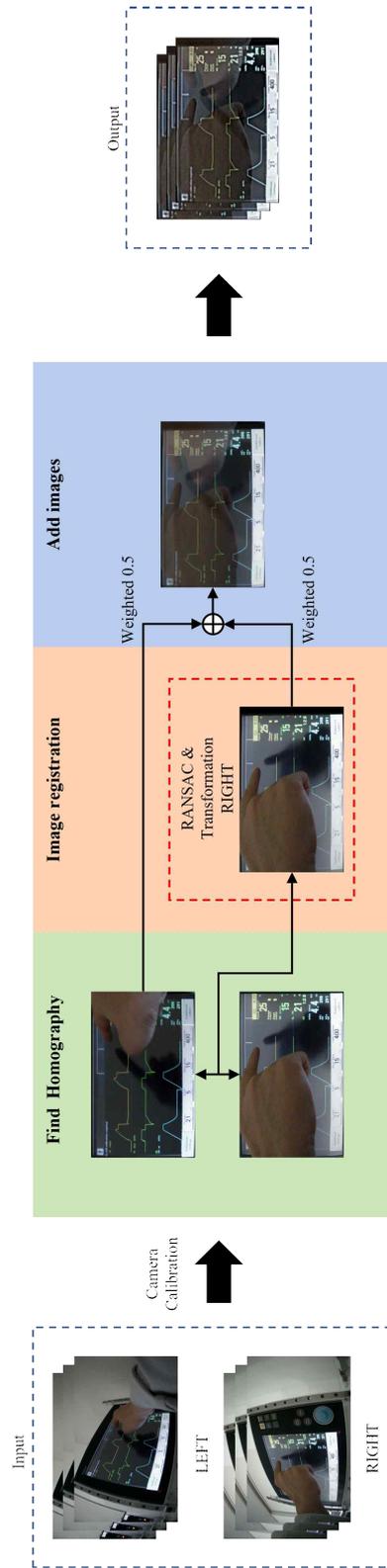


그림 10 카메라 영상 처리 개요

먼저 카메라의 자체 왜곡을 방지하기 위한 카메라 캘리브레이션을 진행한다. 카메라 렌즈로 인해 발생하는 방사형 왜곡을 수정하기 위해 여러 각도에서 촬영한 체커보드 이미지를 통해 카메라의 내부 계수와 외부 계수를 계산한다 [28]. 카메라 캘리브레이션 함수는 OpenCV에서 제공한다. 그림 11과 같이 왼쪽의 이미지는 카메라 캘리브레이션을 위해 체커보드를 다양한 각도에서 촬영한 이미지이며, 체커보드의 개수와 크기로 OpenCV 내부 함수를 통해 계산된다.

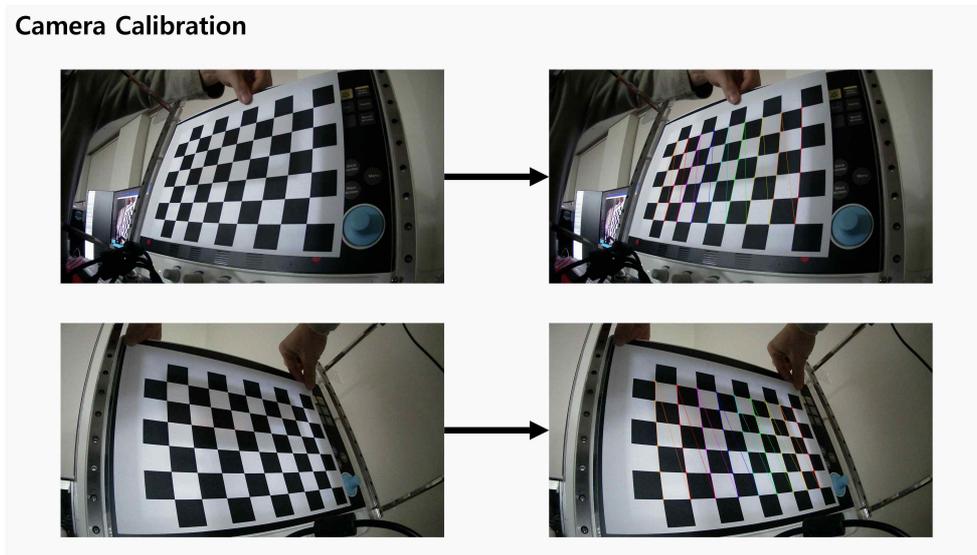


그림 11 카메라 방사 왜곡 제거를 위한 내부계수 계산

카메라가 촬영하는 영상은 인공호흡기 스크린이 아닌 다른 영역도 촬영되기 때문에 역원근 변환 (Inverse perspective transformation)을 사용해 필요한 인공호흡기 스크린만을 추출한다. 그림 12와 같이 원본 영상에서 인공호흡기 스크린 네 모서리를 식별하여 표시하고, 모서리 위치를 역원근 변환식을 적용한다. 그림 13과 같이 변환된 영상을 얻을 수 있다 [29]. 아래의 수식에서 (x, y) 는 원본 영상에서의 좌표이며, (x', y') 은 역원근 변환으로 이동된 좌표이다 [30].

$$w \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

수식 1 역원근 변환

Inverse perspective transformation

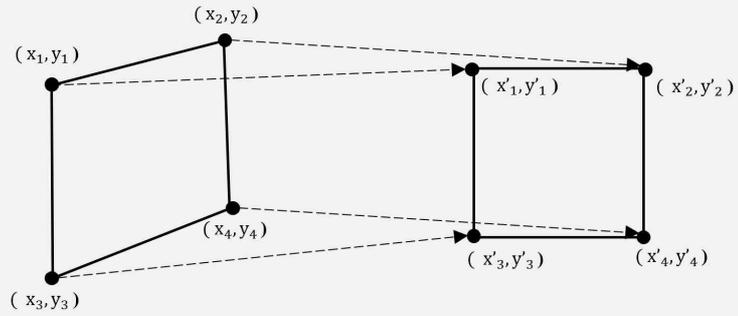


그림 12 역원근 변환

Inverse perspective transformation results

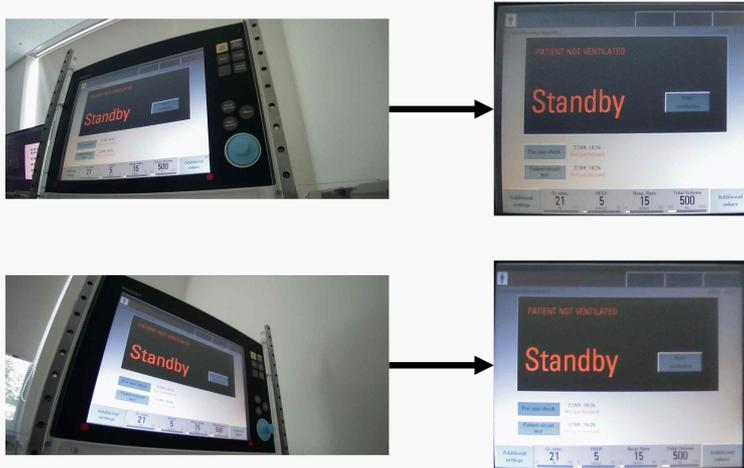


그림 13 역원근 변환을 통해 인공호흡기 스크린 화면만 추출한 결과

세 번째 단계에서는 영상 정합 (Image registration)을 통해 왼쪽 이미지와 오른쪽 이미지를 정렬하였다. 이미지 등록 방법으로 RANSAC (Random Sample Consensus) 알고리즘을 사용했다 [31]. RANSAC은 특정 임계값 이상의 데이터를 완전히 무시해 버리는 특징이 있어 이상치 (outlier)에 강한 알고리즘이다. 노이즈가 매우 크지만, 노이즈는 반영하지 않고 최대 데이터가 일치하는 이상적인 모델을 추출한다. 최소제곱법을 적용하여 두 이미지의 픽셀값을 분석하고 공통적인 특징을 식별했다. 변환된 행렬 계수는 이러한 특징을 기반으로 얻어져 서로 다른 지점의 특징 위치 간의 일관성을 보장한다.

마지막 단계는 각 픽셀값에 가중치 0.5를 곱하여 두 이미지를 결합하고 이미지의 선명도 강화를 위한 필터를 사용하였다. 인공호흡기 스크린 이미지를 동일하게 유지하며 장애물이 모호해지면서 정보 손실 문제를 부분적으로 해결하였다. 그림 14는 4단계의 영상 처리를 진행한 결과이며, 왼쪽의 두 영상을 결합하여 오른쪽의 영상을 보여준다. 단일 카메라로 촬영할 경우 빛 반사, 장애물, 사각지대 등의 이유로 데이터 손실이 커진다. 추가 실험 결과, 네 대의 카메라를 사용하는 경우 가장 높은 결과를 보였지만, 두 대의 카메라를 사용한 결과와 유사한 결과를 보여 두 대의 카메라로 진행하였다.

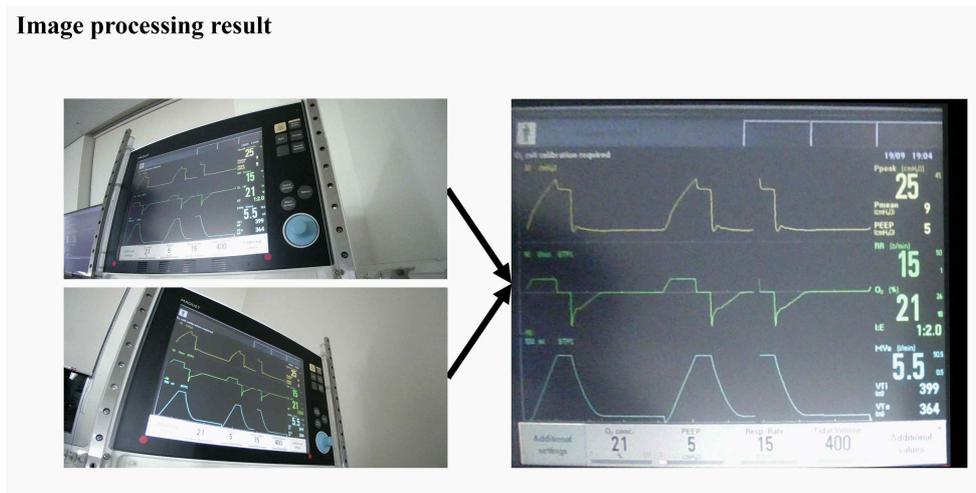


그림 14 영상 처리 결과

3.2 데이터 모니터링 시스템

인공호흡기 호흡 데이터 추출 후 서버 PC로 전달된 데이터를 실시간 데이터 모니터링 GUI (Graphic User Interface)에서 확인할 수 있다. 본 연구에서 사용된 Maquet 사의 Servo-i 인공호흡기의 스크린과 동일하게 디자인하여 의료진들이 사용할 때 혼동이 없도록 하였다. 그림 15와 같이 실제 인공호흡기 스크린 화면과 동일하게 제작한 GUI를 확인할 수 있다. 인공호흡기에서 모니터링이 가능한 16개의 데이터는 표2에 제시되어 있다.



그림 15 인공호흡기 스크린과 데이터 모니터링 시스템 GUI 비교

데이터 모니터링 시스템을 통해 표2에 제시된 채널 데이터를 실시간으로 모니터링할 수 있다. 이때 curve channel 중 pressure와 volume에 대한 값을 수신한다. flow 데이터는 volume 데이터의 변화량을 의미하므로 미분하여 계산된 값을 얻는다.

channel type	Live monitoring respiratory data
curve channel	Airway pressure
	Flow
	Volume
breath channel	Peak pressure
	Mean pressure
	Positive End-Expiratory Pressure (PEEP)
	Respiratory rate
	Oxygen concentration
	Inspiration to Expiration ratio
	Expiratory minute volume
	Inspiratory tidal volume
	Expiratory tidal volume
setting channel	Oxygen concentration
	Positive End-Expiratory Pressure (PEEP)
	Respiratory rate
	Tidal volume

표2 실시간 모니터링 가능한 호흡 데이터

그림 16은 데이터 모니터링 시스템 GUI로 실시간으로 수신되는 데이터를 출력한다. Curve channel인 pressure, flow, volume 데이터는 인공호흡기 sampling rate 과 동일한 50Hz로 출력하며, 슬라이딩 윈도우를 구현하여 데이터가 실시간으로 보이도록 하였다. 또한, breath channel, setting channel, alarm channel의 경우 인공호흡기에서 이벤트가 발생하였을 때, 수신되며 그때마다 값을 출력한다.



그림 16 인공호흡기 데이터 모니터링 시스템GUI

3.3 통합 모니터링 시스템

인공호흡기 호흡 데이터 모니터링과 카메라 모니터링을 동시에 진행하기 위하여 미니 PC에서 서버 PC로 데이터를 전송하기 위해 패킷 통신을 구현하였다. 인공호흡기와 두 대의 카메라는 미니 PC에 연결되어 있으며, 미니 PC에서 영상 처리를 할 때 버퍼에 쌓인 호흡 데이터와 영상 처리된 영상을 10FPS로 서버 PC에 패킷 형태로 전송된다. 패킷은 그림 17과 같이 영상 데이터 길이, 영상 데이터, 호흡 데이터 길이, 호흡 데이터로 구성된다. 영상 데이터는 JPEG 압축하여 base64 인코딩한 데이터가 패킷에 포함되며, 호흡 데이터는 인공호흡기에서 수신된 원시 데이터를 포함한다.

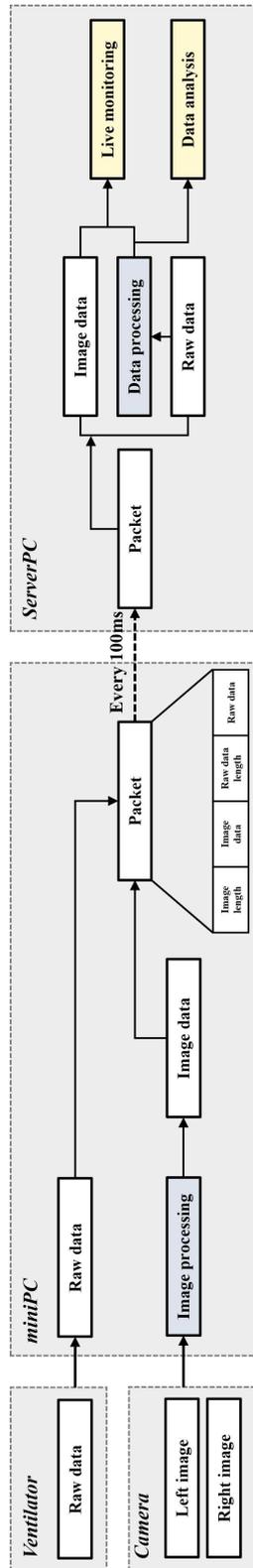


그림 17 인공호흡기 호흡 데이터와 영상 데이터 패킷 통신 구조

미니 PC로 전송된 영상 데이터는 디코딩 후 출력되며, 호흡 데이터는 CIE 프로토콜을 통해 계산되어 출력된다. 그림 18과 같이 왼쪽에는 카메라 모니터링 시스템과 오른쪽에는 데이터 모니터링 시스템을 통합하였다.



그림 18 인공호흡기 통합 모니터링 시스템 GUI

4. 인공호흡기 호흡 데이터 분석 시스템

실시간으로 수집된 호흡 데이터를 저장하고 분석하는 시스템을 개발하였다. 호흡 데이터 분석 시스템은 인공호흡기를 통해 실시간으로 수집된 데이터를 한눈에 확인할 수 있는 기능을 제공한다. 표1에 제시된 79개의 채널 데이터는 모두 csv 파일 형식으로 저장되며, 이 중 호흡기내과 임상 의가 선별한 주요 채널 데이터는 분석에 활용된다.

수집된 호흡 데이터는 서버 PC에 csv 파일 형식으로 저장된다. 이를 통해 환자들의 이전 호흡 데이터를 열람하고 분석할 수 있다. 주요 채널 데이터는 박스 플롯, 평균값, 최솟값, 최댓값 등을 계산하여 시각적으로 제공되어, 의료진이 환자의 호흡 상태를 평가하고 추세를 파악할 수 있다.

그림 19와 같이 첫 번째 탭에서는 전체 데이터를 스크롤바를 움직여 확인할 가능하며, 환자의 기본 정보를 확인할 수 있다. Load File 버튼을 통해 원하는 환자를 선택하고 Load Data 버튼을 통해 저장된 전체 데이터를 불러온다. 상단에 환자의 이름, 인공호흡기 데이터 수집 시각 및 환자 ID 정보가 있다. pressure curve, flow curve, volume curve와 peak pressure, mean pressure, PEEP, respiratory rate, O2 concentration, I:E ratio, expiratory minute volume, inspiratory tidal volume, expiratory tidal volume을 확인할 수 있다. 아래의 스크롤바를 움직여 전체 데이터를 한눈에 볼 수 있다. 환자의 상태가 좋지 않았을 때의 시각과 그때의 호흡 데이터를 모니터링할 수 있다.

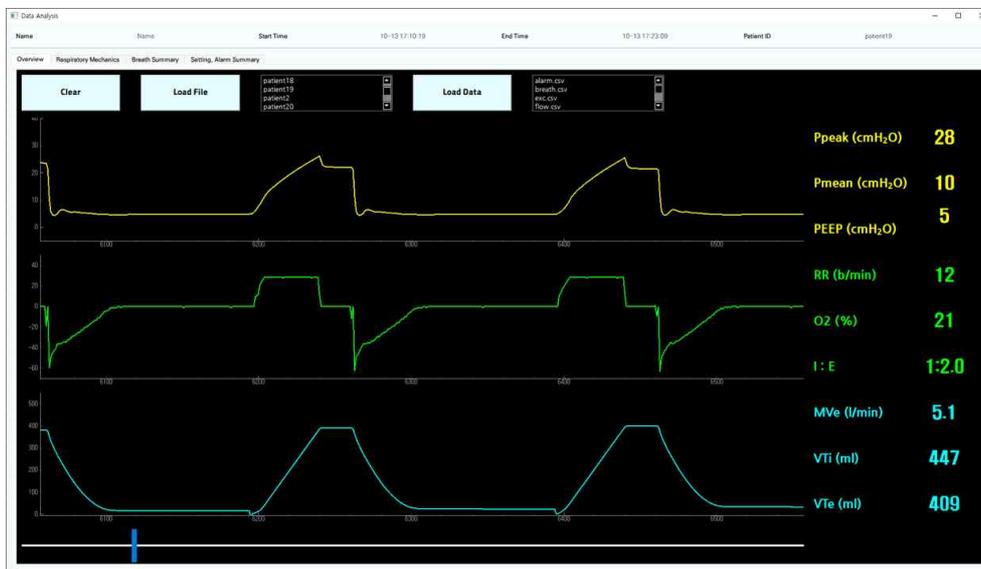


그림 19 인공호흡기 데이터 분석 시스템 첫 번째 탭 (Overview)

두 번째 탭은 호흡 역학을 박스 플롯 형태로 정리하였다. 그림 20과 같이 박스 플롯은 의료진이 선별한 호흡 데이터 중 8개의 주요 데이터를 한 눈에 확인할 수 있도록 박스 플롯 그래프 형식으로 나타내었다. 표3에 8개의 주요 데이터가 나타나 있다.

channel name
Measured breath frequency
Peak pressure
Mean airway pressure
Expiratory tidal volume
Inspiratory tidal volume
Expiratory minute volume
End expiratory pressure
Inspiratory minute volume

표3 박스 플롯으로 확인 가능한 호흡 데이터

박스 플롯은 통계적 데이터 분포를 시각적으로 표현하는 그래픽 기법이다. 데이터의 중심 경향, 분산, 그리고 이상치를 파악하는 데 사용된다. 박스 플롯은 박스와 박스 바깥의 선 (whisker)으로 구성된다. 박스 내부의 선은 중앙값을 나타내며, 박스는 1사분위수와 3사분위수로 결정된다. 이때 박스의 크기는 IQR (Inter Quartile Range)로 3사분위수에서 1사분위수를 뺀 값이 된다. 또한, 이상치는 점으로 보여 진다. 따라서 환자의 호흡 데이터의 특성을 빠르게 파악하는 데 유용하며, 이상치나 평균을 한 눈에 볼 수 있다.

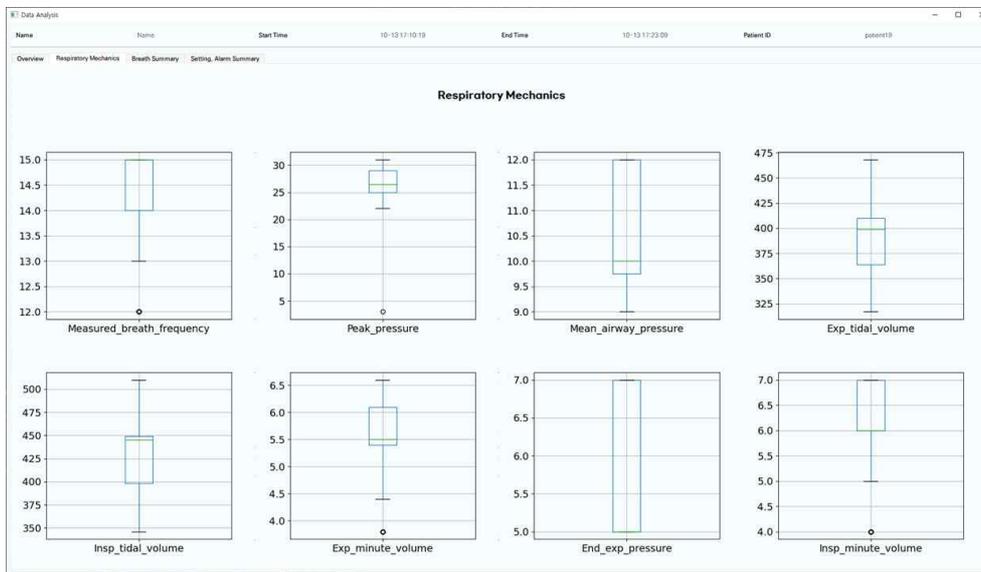


그림 20 인공호흡기 데이터 분석 시스템 두 번째 탭 (Respiratory mechanics)

그림 21은 세 번째 탭으로 환자의 호흡 데이터를 모니터링할 수 있다. 표 4에 제시된 주요 데이터 13개의 breath channel 데이터를 중앙값, IQR, 신뢰구간, 최솟값과 최댓값을 계산하였다.

channel name
Peak pressure
Mean airway pressure
End expiratory pressure
Expiratory tidal volume
Inspiratory tidal volume
Expiratory minute volume
Inspiratory minute volume
Respiratory rate
Oxygen concentration
Non invasive ventilation leakage
Inspiratory resistance
Total positive end expiratory pressure
Pause pressure

표4 breath summary 탭에서 계산되는 인공호흡기 호흡 데이터

	Peak pressure (cmH ₂ O)	Mean airway pressure (cmH ₂ O)	End expiratory pressure (cmH ₂ O)	Expiratory tidal volume (mL)	Inspiratory tidal volume (mL)	Expiratory minute volume (L/min)	Inspiratory minute volume (L/min)
Median	26.5	10.0	5.0	399.0	445.0	5.5	6.0
IQR	4.0	2.25	2.0	46.0	51.0	0.7	1.0
5 th - 95 th	22.0 - 29.0	9.0 - 12.0	5.0 - 7.0	319.0 - 435.0	349.0 - 482.4	3.8 - 6.2	4.0 - 7.0
Min - Max	3 - 31	9 - 12	5 - 7	317 - 468	346 - 510	3.8 - 6.6	4 - 7

	RR (breaths)	O ₂ Concentration (%)	NIV Leakage fraction (%)	Inspiratory Resistance (cmH ₂ O/L/s)	Total PEEP (cmH ₂ O)	Pause pressure (cmH ₂ O)
Median	15.0	21.0	-	8.0	-	23.0
IQR	1.0	0.0	-	8.0	-	21.0
5 th - 95 th	12.0 - 15.0	21.0 - 21.0	-	6.0	-	20.0
Min - Max	12 - 15	21 - 21	-	6	-	20

그림 21 인공호흡기 데이터 분석 시스템 세 번째 탭 (Breath summary)

마지막 탭인 그림 22는 인공호흡기의 알람 데이터와 인공호흡기 설정 데이터를 확인한다. 알람 데이터는 어떤 알람이 울렸는지와 그때의 시각을 히스토리 형태로 보여준다. 인공호흡기 설정 데이터는 의료진이 환자의 상태에 따라 인공호흡기를 설정을 바꿨을 때 수집된 데이터를 보여준다.

channel name
Oxygen concentration
Positive end expiratory pressure
Respiratory rate
Tidal volume
Pause time
Backup respiratory rate
Continuous positive airway pressure
Cycle off fraction level
Pressure control level above peep
Pressure support level above peep
Inspiratory rise time (%)
Inspiratory rise time (s)
Inspiratory time

표5 setting & alarm summary 탭에서 계산되는 인공호흡기 세팅 데이터

5. 추가 실험

본 연구에서 카메라 개수와 부착 위치에 따른 추가 실험을 진행하였다. 인공호흡기에서 의료진들이 기록하고 모니터링하는 데이터는 스크린 오른쪽에 주로 위치한다. 인공호흡기 조작에 의한 카메라의 위치 및 개수에 따른 차이를 알아보기 위해 비교를 진행하였다. 4대의 카메라를 인공호흡기 상단 좌우, 하단 좌우에 부착하고 스크린의 상단 좌우, 하단 좌우, 중심에 장애물이 있을 경우에 대한 실험을 진행하여 결과를 비교하였다.

그림 23과 같이 그래프에 위치한 회색 사각형은 카메라 설치 위치이며, 검은색 사각형은 인공호흡기 스크린을 의미한다. 인공호흡기 특성상 오른쪽에 버튼과 노브가 있어 왼쪽과 오른쪽 카메라 설치 위치에 차이가 있다. 아래의 표6에 인공호흡기 스크린의 중심을 원점으로 하여 mm 단위로 나타낸 각 카메라의 좌표이다. z축으로는 양의 방향으로 185mm 나와 있다.

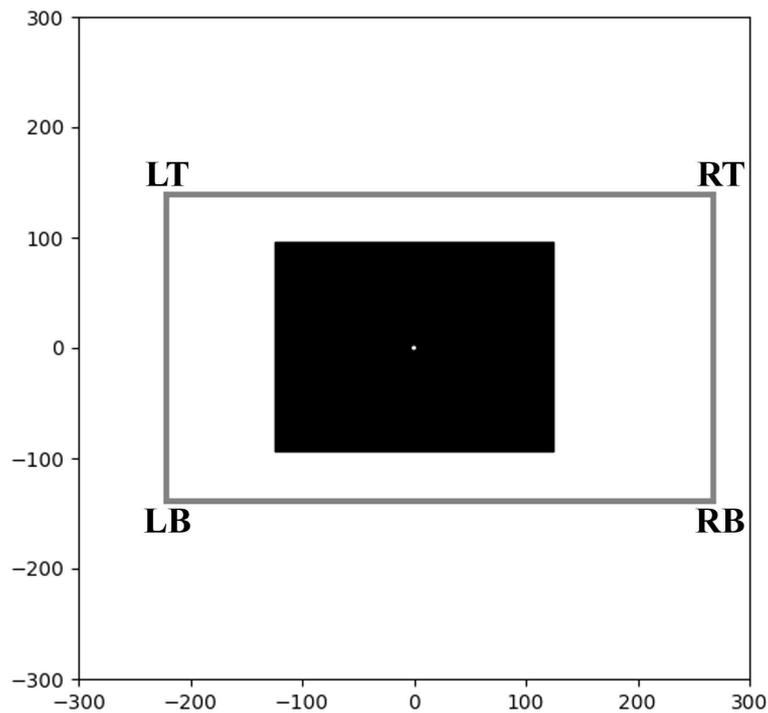


그림 23 인공호흡기 카메라 설치 위치

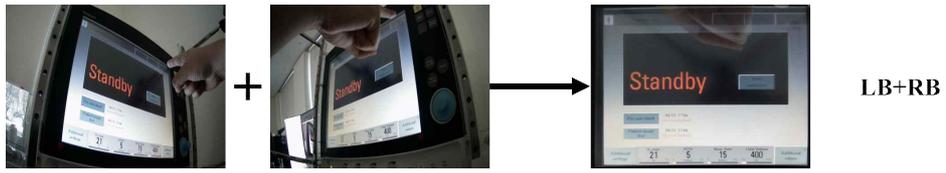
위치		(x, y, z) 좌표
LB	Left Bottom	(-220.75, 139.5, 185)
RB	Right Bottom	(-220.75, -139.5, 185)
LT	Left Top	(268.25, -139.5, 185)
RT	Right Top	(268.25, 139.5, 185)

표6 카메라 위치

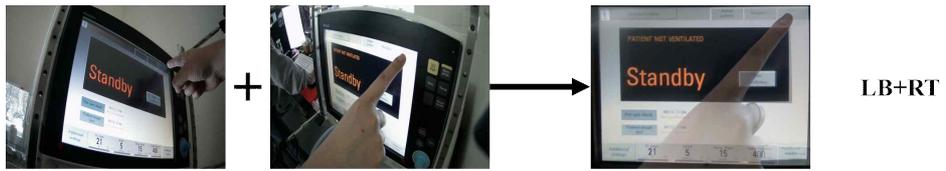
표7은 장애물 위치에 대한 설명이다. 그림 24, 25, 26은 인공호흡기 스크린 오른쪽에 수치 데이터가 표시되어 상단 우측에 장애물이 있을 경우의 카메라 개수와 부착 위치에 따른 결과이다.

위치	
LB	Left Bottom
RB	Right Bottom
M	Middle part
LT	Left Top
RT	Right Top

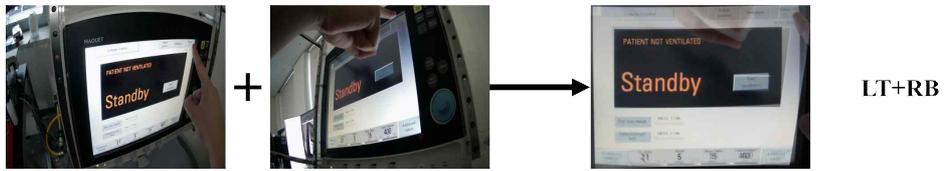
표7 장애물 위치



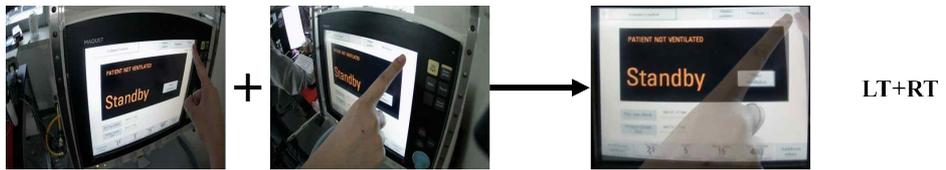
LB+RB



LB+RT



LT+RB



LT+RT

그림 24 2대의 카메라 사용한 영상 처리 결과

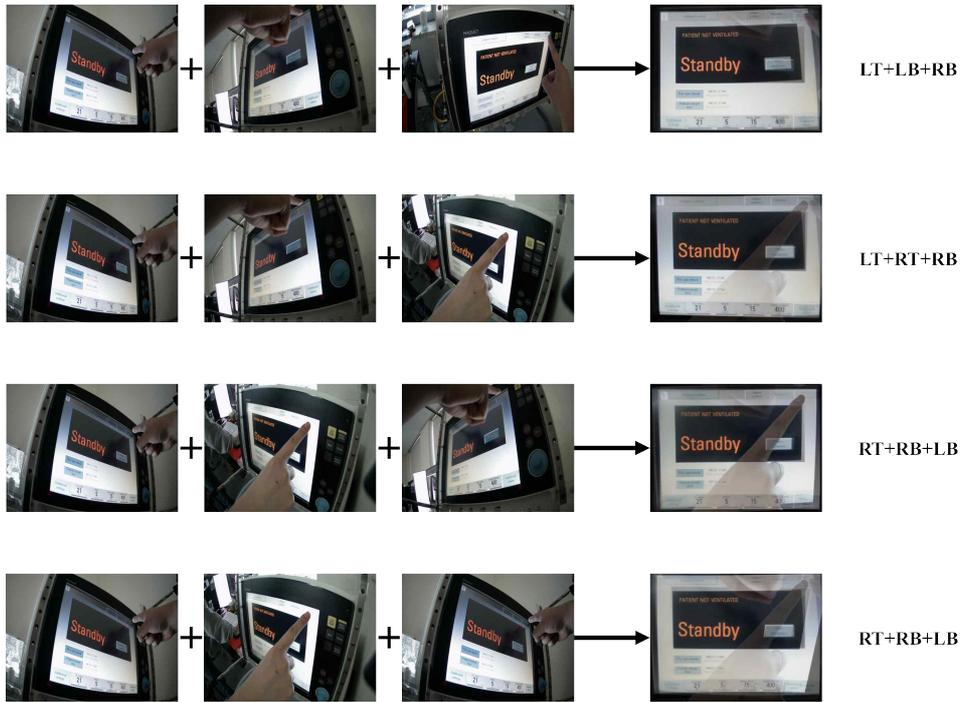


그림 25 3대의 카메라 사용한 영상 처리 결과

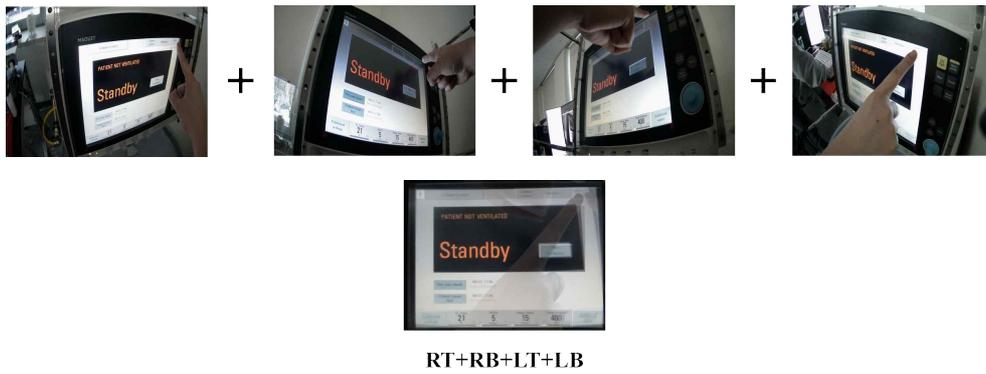


그림 26 4대의 카메라 사용한 영상 처리 결과

시험 및 결과

1. 인공호흡기 실시간 원격 모니터링 비교

본 연구는 인공호흡기 실시간 모니터링 시스템과 추후 환자의 데이터를 분석하는 시스템을 개발하였다. 시스템 평가를 위해 이전 연구와의 비교를 진행하였다.

Vagvolgyi et al.은 Maquet사의 Servo-u 인공호흡기인 터치 스크린형 인공호흡기를 대상으로 모니터링 시스템을 개발하였다 [32]. 터치 스크린 형으로 Servo-i 인공호흡기와 다르게 노브, 버튼이 없는 형태이다. 또한, 카메라 1대를 이용하여 인공호흡기 스크린 모니터링을 진행하였다.

Q.A. Ng et al.은 라즈베리 파이 싱글 보드 컴퓨터를 통해 Puritan Bennett PB980 인공호흡기 데이터 수집 시스템을 개발하였다 [33]. 실시간으로 압력과 유량 데이터를 연속적으로 수집하며, 압력과 유량 데이터를 모델 기반 메타 데이터를 계산하였다. 이때 계산하여 서버에 저장하는 데이터는 표8과 같다.

model-based meta data
Respiratory system elastance and resistance
Inspiration to Expiration ratio
Respiratory Rate
Minute Volume
Positive End-Expiratory Pressure
Peak Inspiratory Pressure
Tidal Volume

표8 모델 베이스로 계산되어 모니터링하는 메타 데이터

Szlavec et al.은 모델 기반 호흡 역학 실시간 계산을 가능하게 하는 CURE Soft 시스템을 개발하였다 [34]. CURE Soft 시스템은 데이터 수집 및 라이브 모니터링을 위해 RS-232 직렬 포트를 통해 Puritan Bennett PB840 인공호흡기와 통신하였다. Cure Soft에는 두 가지 작동 모드가 있으며, 온라인 모드에서는 실시간 모니터링 및 의사결정을 지원하며, 오프라인 모드에서는 사용자 교육, 감사 그리고 환자를 관리할 수 있다.

John et al.은 GE Datex S/5 시리즈의 마취 모니터 (GE Datex Ohmeda, Helsinki, Finland)에서 RS232 직렬 통신 포트를 사용하여 생리학적 데이터를 수집하였다 [35].

Seifert et al.은 원격 소아 중환자를 위한 인터페이스 도구의 프로토타입을 개발하였다 [36]. Pulmonetic 시스템 LTV 1200 인공호흡기 (Avante Health Solutions, Concord, USA)는 무선 셀룰러 인터페이스를 통해 가능하게 하여 보안된 무선 인터넷 연결을 통해 설정 및 성능 데이터에 실시간으로 액세스할 수 있도록 하였다. 의사와 호흡 치료사가 실시간 인공호흡기 데이터를 볼 수 있다.

Battista는 환자의 거주지에 배치된 가정용 인공호흡기 모니터링 장치를 위한 새로운 원격 모니터링 시스템을 제안하였다 [37]. 이 시스템은 다양한 임상 이벤트를 감지할 수 있다. 가정용 인공호흡기를 개발하여 호흡 데이터를 수집하고 스마트폰이나 웹 페이지를 통해 모니터링할 수 있다.

이외에도 Yang et al.은 YuMi 협력 로봇 (ABB, Switzerland)을 사용하여 원격 의료를 위한 음성 및 영상 회의 시스템을 개발하였다 [38]. Rehm et al.은 모바일 애플리케이션을 사용하여 시스템을 제조 및 모니터링한 반면, Seddik et al.은 아두이노 보드와 IP 카메라를 사용하여 시스템을 개발하였다 [39, 40].

표9에서 알 수 있듯이, 우리의 시스템은 이전 연구와 비교했을 때 카메라 모니터링 시스템, 데이터 수집 시스템, 실시간 데이터 모니터링 시스템, 데이터 분석 시스템의 네 가지 기능을 포함한다. 우리의 시스템은 의료 전문가들에게, 특히 COVID-19와 같은 제한된 시나리오에서, 이전 연구와 비교하였을 때 더 많은 기능을 제공할 수 있다.

제안된 모델은 카메라 모니터링 시스템과 실시간 데이터 모니터링 시스템을 결합하여 각 시스템의 한계를 효과적으로 해결함으로써 차별화하였다. 본 연구에서 개발한 시스템은 두 가지 기능을 모두 제공함으로써 포괄적인 솔루션을 제공한다. 또한 실시간 데이터 수집 및 분석을 위한 도구를 개발하여 의료 전문가의 즉각적인 통찰력을 향상시킬 수 있다. 따라서 본 시스템은 다른 연구에서 볼 수 있듯이 카메라 또는 데이터 모니터링에만 의존할 때 발생할 수 있는 잠재적 문제를 해결할 뿐만 아니라 이러한 문

제를 완화하기 위한 해결책을 제시한다.

	기기	카메라 사용 여부	데이터 수집 시스템	실시간 모니터링 시스템	데이터 분석 시스템
proposed system	Maquet Servo-i ventilator	✓	✓	✓	✓
Vagvolgyi et al. [32]	Maquet Servo-u ventilator	✓	-	✓	-
Ng et al. [33]	PB980 Ventilator	-	✓	✓	✓
Szlavec et al. [34]	PB840 Ventilator	-	✓	✓	✓
John et al. [35]	GE Datex S/5 series monitor	-	✓	-	✓
Seifert et al. [36]	Pulmonetic systems LTV 1200 Ventilator	-	✓	✓	✓
Battista [37]	Fabrication Machine Ventilation System	-	✓	✓	-
Yang et al. [38]	No devices	✓	-	✓	

표9 이전 연구와의 비교

2. 카메라 모니터링 시스템 결과

카메라 모니터링 시스템을 평가하기 위해서는 이미지 처리 평가에서 주로 사용되는 이미지 품질을 측정할 수 있는 평가지표를 사용하였다. Structural similarity index measure (SSIM) 과 Peak signal-to-noise ratio (PSNR) 점수를 통해 평가를 진행하였다 [41]. 그림 27은 SSIM 점수에 따른 이미지 예시이며, 값이 1에 가까울수록 이미지의 품질이 좋다. 그림 28은 PSNR 점수에 따른 이미지 예시이다. PSNR 점수가 클수록 손실량이 적고 이미지의 품질이 좋다는 것을 의미한다 [42].



그림 27 SSIM 점수에 따른 이미지 예시

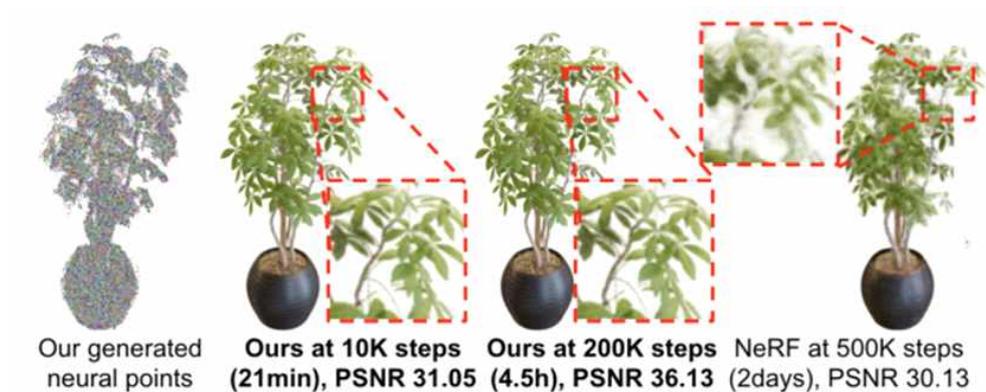


그림 28 PSNR 점수에 따른 이미지 예시

SSIM 점수는 영상의 품질과 왜곡 정도를 평하기 위한 지표로, 인간의 시각적 인식에 기반한다. 원본 이미지와 왜곡된 이미지 간의 구조적 유사성을 측정한다. SSIM 점수는 수식2와 같이 계산된다. 이때 μ 와 σ^2 은 두 영상의 픽셀값의 평균과 분산을 나타낸다. σ_{xy} 는 두 영상의 공분산을 나타내고, k_1 과 k_2 는 각각 0.01과 0.03의 값을 갖는다. SSIM 점수는 0부터 1까지의 범위를 가지며, 높은 SSIM 점수가 더 높은 유사성을 갖고 있다고 말한다. 따라서, 1에 가까운 값은 두 이미지가 매우 유사하다는 것을 말한다.

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)},$$

$$C_1 = (k_1L), C_2 = (k_2L), L = 2^{bit\ per\ pixel} - 1$$

수식 2 SSIM 계산

PSNR 점수는 원본 이미지와 왜곡된 이미지 간의 신호 대 잡음 비율을 나타낸다. 이미지 간의 평균 제곱 오차를 계산하고 이를 로그 스케일로 변환하여 나타낸다. 일반적으로 높은 PSNR 점수는 이미지나 영상이 왜곡되지 않았음을 의미한다. PSNR 점수는 수식3과 같이 계산된다. MAX 값은 원본 영상의 최대 픽셀값과 최소 픽셀값의 차이를 나타낸다. MSE 값은 원본 영상과 결합 영상의 픽셀 간 평균 제곱 오차를 계산한 값이다.

$$PSNR = 10\log_{10}\left(\frac{MAX^2}{MSE}\right)$$

수식 3 PSNR 계산

본 연구에서는 인공호흡기 조작 시 장애물에 의한 사각지대가 발생하는 경우에도 원격 모니터링을 할 수 있도록 장애물을 없애고, 인공호흡기 스크린을 모니터링하는 것이며, 이를 위해 두 가지 케이스로 나누어 실험을 진행하였다. 먼저, 그림 29과 같이 인공호흡기 스크린 화면을 촬영할 때 장애물 없이 왼쪽, 오른쪽 카메라에서 촬영한 영상과 두 영상을 결합한 영상을 비교한다. 그리고 그림 30과 같이 이전에 결합한 영상과 장애물이 있을 때 결합한 영상과 비교하였다. 표10은 장애물이 없는 경우, 표11은 장애물이 있는 경우에 대한 SSIM 점수와 PSNR 점수를 나타낸다. 장애물이 없는 경우, 결합한 영상의 SSIM 점수는 좌우 영상과 비교하여 원본 영상과 비교하여 각각 0.948과 0.932이다. 장애물이 있는 경우 좌우 영상은

0.841과 0.837의 SSIM 점수를 나타내어 장애물이 없는 경우와 비교하여 각각 0.107과 0.095의 차이를 나타낸다. 결합 영상은 0.901의 SSIM 점수를 나타내어 좌우에 장애물이 있는 영상과 비교하여 약 4.5%의 향상을 보였다.

장애물이 없는 경우 결합 영상의 PSNR 점수가 왼쪽 영상과 오른쪽 영상의 PSNR 점수와 비교하였을 때 각각 23.042, 23.414dB로 거의 유사하여 정상 화질을 확인할 수 있었다. 장애물이 있는 경우, 왼쪽 영상과 오른쪽 영상은 각각 15.736, 17.062dB의 PSNR 점수를 가지며 화질이 좋지 않음을 알 수 있다. 이 값들은 장애물이 없는 경우와 비교하였을 때 약 32.4%, 27.1% 낮은 값을 갖는다. 반면 사각지대를 최소화한 결합 영상은 PSNR 점수는 18.13으로 화질 개선을 보였다.

SSIM score		PSNR (dB)	
Left	Right	Left	Right
0.948	0.932	23.402	23.414

표10 장애물이 없는 경우 영상 처리 결과

SSIM score			PSNR (dB)		
Left	Right	Combined	Left	Right	Combined
0.841	0.847	0.901	15.736	17.062	18.130

표11 장애물이 있는 경우 영상 처리 결과

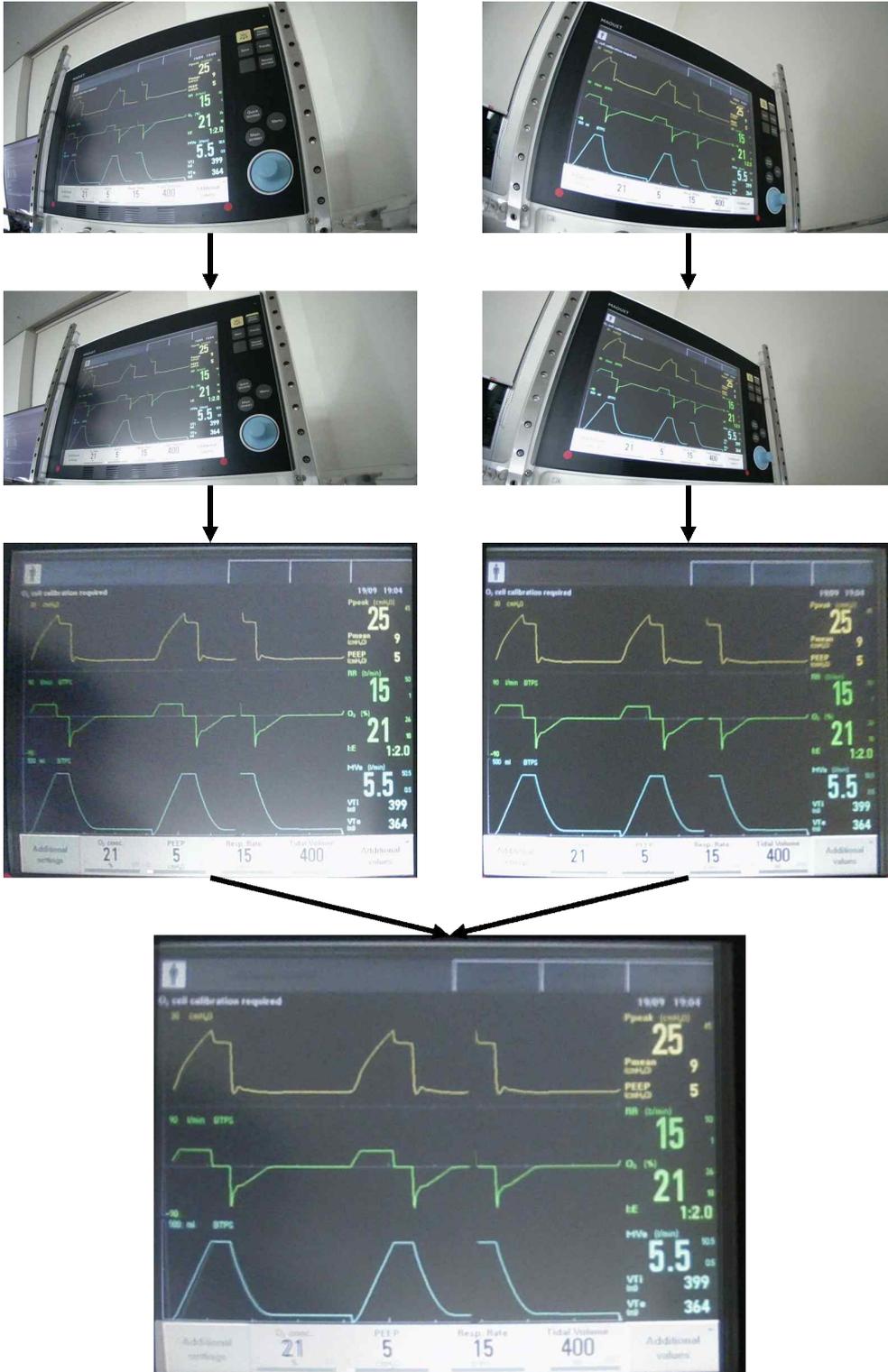


그림 29 장애물이 없는 경우 영상 처리 결과

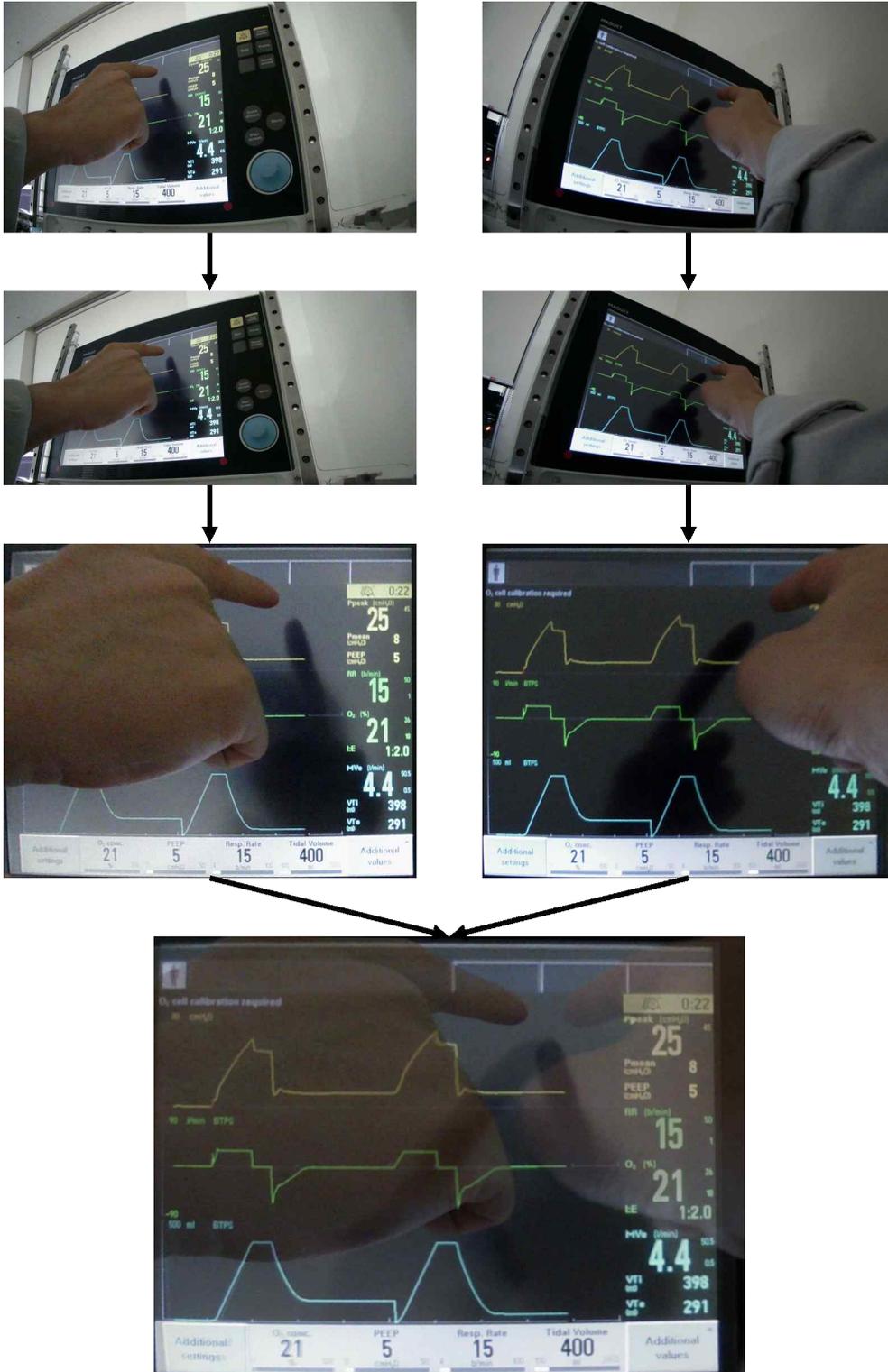


그림 30 장애물이 있는 경우 영상 처리 결과

3. 추가 실험 결과

4대의 카메라를 설치 후 총 9가지의 조합과 장애물의 위치는 5가지로 나누어 실험을 진행하였다. 표12와 같이 4대의 카메라를 모두 사용하였을 때 평균 SSIM 점수는 0.828, PSNR 점수는 16.956dB로 가장 좋은 결과를 보여준다. 본 연구에서 선택한 하단의 좌우 카메라를 사용하였을 때, SSIM 점수는 0.804, PSNR 점수는 16.202dB 두 번째로 좋은 결과를 보였다.

많은 카메라를 사용하였을 때 사각지대와 장애물을 없애 인공호흡기 스크린 정보 손실이 없지만, 의료진들이 실제 인공호흡기 조작 시 불편함과 비용을 고려하였을 때 2대의 카메라로 가장 좋은 성능을 얻은 'LB+RB'의 위치에 부착하여 사용하는 것이 더 효율적이다.

		Position of the obstacles					
Position of cameras	score	Right Top	Left Top	Middle Part	Right Bottom	Left Bottom	Average
LB+RB	PSNR	18.13	15.96	16.37	15.01	15.54	16.202
	SSIM	0.90	0.84	0.77	0.76	0.75	0.804
RT+LB	PSNR	12.12	16.10	14.13	15.90	14.25	14.500
	SSIM	0.72	0.85	0.72	0.81	0.75	0.770
LT+RB	PSNR	15.91	14.78	13.56	14.96	16.10	15.062
	SSIM	0.85	0.78	0.71	0.73	0.82	0.778
RT+LT	PSNR	12.00	12.66	15.81	15.35	15.55	14.274
	SSIM	0.71	0.70	0.75	0.82	0.81	0.758
LT+RT+RB	PSNR	14.63	14.32	12.18	11.96	15.55	13.728
	SSIM	0.75	0.75	0.72	0.71	0.84	0.754
LB+RT+RB	PSNR	14.71	16.10	12.13	12.96	13.01	13.782
	SSIM	0.77	0.85	0.79	0.73	0.75	0.778
LB+RB+LT	PSNR	17.10	15.98	18.30	15.53	16.40	16.662
	SSIM	0.85	0.75	0.86	0.76	0.80	0.804
LB+RT+LT	PSNR	17.68	16.69	15.69	16.60	13.45	16.022
	SSIM	0.83	0.71	0.81	0.82	0.73	0.780
LT+LB+RT+RB	PSNR	16.78	16.38	17.55	17.86	16.21	16.956
	SSIM	0.80	0.83	0.86	0.84	0.81	0.828

표12 추가 실험 결과

고찰

본 연구는 이전에 개발된 원격 모니터링 시스템의 장점을 활용하여 다양한 의료 환경에서 사용할 수 있는 유연한 시스템을 개발하는 것을 목표로 하였다. 개발된 시스템은 기본적으로 인공호흡기 모니터링에 제한되었지만, 멀티 모달 및 확장할 수 있는 구조로 구축되었다. 의료기기 데이터 통신 시스템이 가능한 경우와 그렇지 않은 경우에 대한 데이터 모니터링 시스템 또는 카메라 모니터링 시스템을 단일 시스템으로 구성할 수 있으며, 각 시스템에 제한 사항이 있는 경우 두 시스템을 개별적으로 설정할 수 있다. 환자의 데이터가 생명과 관계되어 있는 의료 환경 특성상 본 시스템은 유선 및 무선 통신 시스템을 모두 사용할 것을 제안하였다. 또한 의료진이 인공호흡기를 조작할 때, 손과 같은 장애물로 인해 발생하는 인공호흡기 스크린의 사각지대를 최소화하는 새로운 알고리즘을 사용하여 이미지를 재구성하고 장애물로 가려진 시야를 볼 수 있게 도와줄 수 있는 실시간 시스템을 개발하였다 [43].

그러나 개발된 시스템은 몇 가지 제한 사항이 있다. 첫째, 고해상도 비디오 이미지를 얻기 위해 FHD 1920x1080 해상도의 카메라를 사용하였다. 그러나 실시간 이미지 처리를 진행하기 때문에 해상도가 800x600으로 줄어들어 이미지의 선명도가 감소하였다. 이후 연구에서 향상된 이미지 처리 기술을 통해 이미지의 선명도를 향상시키는 것이 고려된다. 둘째, 인공호흡기는 샘플링 속도 제한의 구조적 문제로 데이터 손실이 발생하였으며, 이는 통신 환경과 관련된 것이 아닌 내부 CIE 프로토콜에서 알람 혹은 수치 데이터값의 급격한 변화 시 데이터 손실이 일어나는 구조로 추정되었다. 이 문제를 해결하기 위해 다양한 보정 알고리즘을 적용하고 정확한 데이터 손실률을 기록하여 저장된 데이터를 확인할 때 데이터 손실이 일어남을 인지할 수 있도록 해야 한다. 요약하자면, 우리가 개발한 시스템은 원격 모니터링 시스템에 유망한 기능을 갖추고 있으며, 이 문제가 다른 장비에서 발생하는 것인지 또는 인공호흡기를 모니터링하는 동안에만 발생하는 것인지 여부를 확인하기 위해 더 평가되어야 한다.

현재 인공호흡기의 데이터 모니터링은 환자 모니터를 통해 확인되며, 이는 수치 데이터를 이용하여 웨이브폼 데이터로 재구성된다. Servo-i 인공호흡기뿐만 아니라 Philips, Hamilton 등 다른 회사의 인공호흡기에 적용 가능한지에 대한 조사와 분석을 통해 현재 개발한 시스템을 적용할 수 있

는지 추후 연구가 필요하다. 그뿐만 아니라, 인공호흡기 이외에도 전동식 의약품 주입 펌프 (Infusion pump), 인공신장기 (CRRT), 인공심폐장치 (ECMO) 등에 원격 모니터링 시스템을 적용하는 방안을 고려해야 한다. 특히 전동식 의약품 주입 펌프의 경우, 설정된 값에 따라 약물이 주입되고 있는지에 확인하기 위한 카메라 모니터링 등, 의료기기에 맞춰 제안하는 시스템의 적용 가능성에 대한 연구가 계속되어야 한다.

결론

본 연구에서는 인공호흡기 스크린이 장애물로 인해 발생하는 사각지대를 두 대의 카메라로 효율적으로 최소화하고 인공호흡기 호흡 데이터를 실시간으로 모니터링할 수 있는 원격 모니터링 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 유선 및 무선 통신 시스템을 사용하여 다양한 의료 환경에 적용할 수 있으며, 환자의 상태를 모니터링하기 위해 데이터베이스를 통해 다양한 추후 분석 및 로그 확인을 수행할 수 있다. 통신 출력 포트가 없는 장치의 경우, 카메라 시스템을 사용하여 작동시킬 수 있지만, 통신 시스템을 포함하는 장비는 하나의 시스템으로 통합할 수 있다. 요약하자면, 우리가 개발한 시스템은 원격 모니터링 시스템에 유망한 기능을 갖추고 있으며, 이 문제가 다른 장비에서 발생하는 것인지 또는 인공호흡기를 모니터링하는 동안에만 발생하는 것인지 여부를 확인하기 위해 더 평가되어야 한다. 이 시스템은 다양한 의료 장비를 모니터링하는 데 광범위하게 활용될 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 향후 연구에서는 이 시스템을 인공호흡기에 적용하는 기술에 그치지 않고, 심장 보조 장치나 환자 모니터와 같은 다른 중요한 의료 장비를 모니터링하기 위해 확장하는 것을 계획하고 있다. 이러한 확장은 의료기기 및 장비 모니터링의 효율성과 정확성을 향상할 뿐 아니라 다양한 의료 분야에서 환자 치료 및 관리에 대한 효율 및 의료진들의 안전을 위한 기술로 발전할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] "Who Coronavirus Disease(Covid-19) Dashboard." 2020.
- [2] Lake, M. A. "What We Know So Far: Covid-19 Current Clinical Knowledge and Research." *Clinical Medicine* 20, no. 2 (Mar 2020): 124-27.
- [3] Pascarella, G., A. Strumia, C. Piliago, F. Bruno, R. Del Buono, F. Costa, S. Scarlata, and F. E. Agro. "Covid-19 Diagnosis and Management: A Comprehensive Review." *J Intern Med* 288, no. 2 (Aug 2020): 192-206.
- [4] Chen, Shaoqiu, Zitong Gao, Ling Hu, Yi Zuo, Yuanyuan Fu, Meilin Wei, Emory Zitello, Gang Huang, and Youping Deng. "Association of Septic Shock with Mortality in Hospitalized Covid-19 Patients in Wuhan, China." *Advances in virology* 2022 (2022).
- [5] Dondorp, Arjen M, Muhammad Hayat, Diptesh Aryal, Abi Beane, and Marcus J Schultz. "Respiratory Support in Covid-19 Patients, with a Focus on Resource-Limited Settings." *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 102, no. 6 (2020).
- [6] Fan, E., J. R. Beitler, L. Brochard, C. S. Calfee, N. D. Ferguson, A. S. Slutsky, and D. Brodie. "Covid-19-Associated Acute Respiratory Distress Syndrome: Is a Different Approach to Management Warranted?", *Lancet Respiratory Medicine* 8, no. 8 (Aug 2020): 816-21.
- [7] Montrief, Tim, Mark Ramzy, Brit Long, Michael Gottlieb, and Dan Hercz. "Covid-19 Respiratory Support in the Emergency Department Setting." *American journal of emergency medicine* 38, no. 10 (2020): 2160-68.
- [8] Iyengar, K., S. Bahl, Vaishya Raju, and A. Vaish. "Challenges and Solutions in Meeting up the Urgent Requirement of Ventilators for Covid-19 Patients." *Diabetes Metab Syndr* 14, no. 4 (Jul - Aug 2020): 499-501.

- [9] Garzotto, F., E. Ceresola, S. Panagiotakopoulou, G. Spina, F. Menotto, M. Benozzi, M. Casarotto, C. Lanera, M. G. Bonavina, D. Gregori, G. Meneghesso, and G. Opocher. "Covid-19: Ensuring Our Medical Equipment Can Meet the Challenge." *Expert Rev Med Devices* 17, no. 6 (Jun 2020): 483-89.
- [10] McEnery, Tom, Ciara Gough, and Richard W Costello. "Covid-19: Respiratory Support Outside the Intensive Care Unit." *The Lancet Respiratory Medicine* 8, no. 6 (2020): 538-39.
- [11] Garzotto, F., R. I. Comoretto, M. Ostermann, F. Nalesso, D. Gregori, M. G. Bonavina, G. Zanardo, and G. Meneghesso. "Preventing Infectious Diseases in Intensive Care Unit by Medical Devices Remote Control: Lessons from Covid-19." *J Crit Care* 61 (Feb 2021): 119-24.
- [12] Kipnis, E., D. Ramsingh, M. Bhargava, E. Dincer, M. Cannesson, A. Broccard, B. Vallet, K. Bendjelid, and R. Thibault. "Monitoring in the Intensive Care." *Crit Care Res Pract* 2012 (2012): 473507.
- [13] Poncette, A. S., L. Mosch, C. Spies, M. Schmieding, F. Schiefenhovel, H. Krampe, and F. Balzer. "Improvements in Patient Monitoring in the Intensive Care Unit: Survey Study." *J Med Internet Res* 22, no. 6 (Jun 19 2020): e19091.
- [14] Gan, W. H., J. W. Lim, and D. Koh. "Preventing Intra-Hospital Infection and Transmission of Coronavirus Disease 2019 in Health-Care Workers." *Saf Health Work* 11, no. 2 (Jun 2020): 241-43.
- [15] Tavakoli, Mahdi, Jay Carriere, and Ali Torabi. "Robotics, Smart Wearable Technologies, and Autonomous Intelligent Systems for Healthcare During the Covid-19 Pandemic: An Analysis of the State of the Art and Future Vision." *Advanced Intelligent Systems* 2, no. 7 (2020).
- [16] Vindrola-Padros, C., L. Andrews, A. Dowrick, N. Djellouli, H. Fillmore, E. Bautista Gonzalez, D. Javadi, S. Lewis-Jackson, L. Manby, L. Mitchinson, S. Mulcahy Symmons, S. Martin, N. Regenold, H. Robinson,

K. Sumray, G. Singleton, A. Syversen, S. Vanderslott, and G. Johnson. "Perceptions and Experiences of Healthcare Workers During the Covid-19 Pandemic in the Uk." *BMJ Open* 10, no. 11 (Nov 5 2020): e040503.

[17] Kirubakaran, B, and M Ilangkumaran. "Selection of Optimum Maintenance Strategy Based on Fahp Integrated with Gra-Topsis." *Annals of Operations Research* 245 (2016): 285-313.

[18] Bao, Kongjun, and Yaoxi Bao. "Image Processing Technology in Remote Monitoring and Intelligent Medical System." *Journal of Healthcare Engineering* 2021 (2021).

[19] Dalka, Piotr, Grzegorz Szwoch, Piotr Szczuko, and Andrzej Czyzewski. "Video Content Analysis in the Urban Area Telemonitoring System." *Multimedia Services in Intelligent Environments: Integrated Systems* (2010): 241-61.

[20] Kapoor, Aditya, Santanu Guha, Mrinal Kanti Das, Kewal C Goswami, and Rakesh Yadav. *Digital Healthcare: The Only Solution for Better Healthcare During Covid-19 Pandemic?* Vol. 72: Elsevier, 2020.

[21] Tuckson, Reed V, Margo Edmunds, and Michael L Hodgkins. "Telehealth." *New England Journal of Medicine* 377, no. 16 (2017): 1585-92.

[22] Dorsey, E Ray, and Eric J Topol. "State of Telehealth." *New England Journal of Medicine* 375, no. 2 (2016): 154-61.

[23] Weinstein, Ronald S, Ana Maria Lopez, Bellal A Joseph, Kristine A Erps, Michael Holcomb, Gail P Barker, and Elizabeth A Krupinski. "Telemedicine, Telehealth, and Mobile Health Applications That Work: Opportunities and Barriers." *The American journal of medicine* 127, no. 3 (2014): 183-87.

[24] Wootton, Richard. "Telemedicine." *Bmj* 323, no. 7312 (2001): 557-60.

[25] Agrawal, Raag, and Sudhakaran Prabakaran. "Big Data in Digital

Healthcare: Lessons Learnt and Recommendations for General Practice." *Heredity* 124, no. 4 (2020): 525-34.

[26] Moustafa, Hassnaa, Eve M Schooler, Gang Shen, and Sanjana Kamath. Remote Monitoring and Medical Devices Control in Ehealth. 2016 IEEE 12th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob): IEEE, 2016.

[27] Khan, Yasser, Aminy E Ostfeld, Claire M Lochner, Adrien Pierre, and Ana C Arias. "Monitoring of Vital Signs with Flexible and Wearable Medical Devices." *Advanced materials* 28, no. 22 (2016): 4373-95.

[28] Wang, J., F. Shi, J. Zhang, and Y. Liu. "A New Calibration Model of Camera Lens Distortion." *Pattern Recognition* 41, no. 2 (Feb 2008): 607-15.

[29] Mezirow, Jack. "Perspective Transformation." *Adult education* 28, no. 2 (1978): 100-10.

[30] Kim, Young Jung, and Jong Yun Lee. "Algorithm of a Perspective Transform-Based Pdf417 Barcode Recognition." *Wireless Personal Communications* 89, no. 3 (2016): 893-911.

[31] Derpanis, Konstantinos G. "Overview of the Ransac Algorithm." *Image Rochester NY* 4, no. 1 (2010): 2-3.

[32] Vagvolgyi, B. P., M. Khrenov, J. Cope, A. Deguet, P. Kazanzides, S. Manzoor, R. H. Taylor, and A. Krieger. "Telerobotic Operation of Intensive Care Unit Ventilators." *Front Robot AI* 8 (2021): 612964.

[33] Ng, Qing Arn, Yeong Shiong Chiew, Xin Wang, Chee Pin Tan, Mohd Basri Mat Nor, Nor Salwa Damanhuri, and J. Geoffrey Chase. "Network Data Acquisition and Monitoring System for Intensive Care Mechanical Ventilation Treatment." *IEEE Access* 9 (2021): 91859-73.

[34] Szlavecz, Akos, Yeong Shiong Chiew, Daniel Redmond, Alex Beatson, Daniel Glassenbury, Simon Corbett, Vincent Major, Christopher Pretty, Geoffrey M Shaw, and Balazs Benyo. "The Clinical Utilisation of

Respiratory Elastance Software (Cure Soft): A Bedside Software for Real-Time Respiratory Mechanics Monitoring and Mechanical Ventilation Management." *Biomedical engineering online* 13, no. 1 (2014): 1-14.

[35] Karippacheril, J. G., and T. Y. Ho. "Data Acquisition from S/5 Ge Datex Anesthesia Monitor Using Vscapture: An Open Source.Net/Mono Tool." *J Anaesthesiol Clin Pharmacol* 29, no. 3 (Jul 2013): 423-4.

[36] Seifert, Gregory J, Daniel S Hedin, Robert J Dahlstrom, and Gary D Havey. *Telemedicine Enabled Remote Critical Care Ventilator*. 2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology: IEEE, 2010.

[37] Battista, L. "A New System for Continuous and Remote Monitoring of Patients Receiving Home Mechanical Ventilation." *Review of Scientific Instruments* 87, no. 9 (2016).

[38] Yang, Geng, Honghao Lv, Zhiyu Zhang, Liu Yang, Jia Deng, Siqi You, Juan Du, and Huayong Yang. "Keep Healthcare Workers Safe: Application of Teleoperated Robot in Isolation Ward for Covid-19 Prevention and Control." *Chinese Journal of Mechanical Engineering* 33, no. 1 (2020).

[39] Rehm, G. B., S. H. Woo, X. L. Chen, B. T. Kuhn, I. Cortes-Puch, N. R. Anderson, J. Y. Adams, and C. N. Chuah. "Leveraging Iots and Machine Learning for Patient Diagnosis and Ventilation Management in the Intensive Care Unit." *IEEE Pervasive Comput* 19, no. 3 (Jul-Sep 2020): 68-78.

[40] Seddik, H., and A. M. Eldeib. "A Wireless Real-Time Remote Control and Tele-Monitoring System for Mechanical Ventilators." Paper presented at the 2016 8th Cairo International Biomedical Engineering Conference (Cibec), 2016.

[41] Hore, Alain, and Djemel Ziou. "Image Quality Metrics: Psnr Vs. Ssim." Paper presented at the 2010 20th international conference on pattern recognition, 2010.

[42] Xu, Qiangeng, Zexiang Xu, Julien Philip, Sai Bi, Zhixin Shu, Kalyan Sunkavalli, and Ulrich Neumann. *Point-Nerf: Point-Based Neural Radiance Fields*. Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2022.

[43] Song, C., G. Yang, S. Park, N. Jang, S. Jeon, S. R. Oh, and D. Hwang. "On the Design of Integrated Tele-Monitoring/Operation System for Therapeutic Devices in Isolation Intensive Care Unit." *Ieee Robotics and Automation Letters* 7, no. 4 (Oct 2022): 8705-12.

영문초록 (Abstract)

The COVID-19 pandemic and discovery of new mutant strains have a devastating impact worldwide. Patients with severe COVID-19 require various equipment, such as ventilators, infusion pumps, and patient monitors, and a dedicated medical team to operate and monitor the equipment in isolated intensive care units (ICUs). Medical staff must wear personal protective equipment to reduce the risk of infection. This study proposes a tele-monitoring system for isolation ICUs to assist in the monitoring of COVID-19 patients. The tele-monitoring system consists of three parts: medical-device panel image processing, transmission, and tele-monitoring. This system can monitor the ventilator screen with obstacles, receive and store data, and provide real-time monitoring and data analysis. The proposed tele-monitoring system is compared with previous studies, and the image combination algorithm for reconstruction is evaluated using structural similarity index (SSIM) and peak signal-to-noise ratio (PSNR). The system achieves an SSIM score of 0.948 in the left side and a PSNR of 23.414 dB in the right side with no obstacles. It also reduces blind spots, with an SSIM score of 0.901 and a PSNR score of 18.13 dB. The proposed tele-monitoring system is compatible with both wired and wireless communication, making it accessible in various situations. It uses camera and performs live data monitoring, and the two monitoring systems complement each other. The system also includes a comprehensive database and an analysis tool, allowing medical staff to collect and analyze data on ventilator use, providing them a quick, at-a-glance view of the patient's condition. With the implementation of this system, patient outcomes may be improved and the burden on medical professionals may be reduced during the COVID-19 pandemic-like situations.