

IoT 기반 유해 가스 환경 제어 시스템 개발

김철훈* · 류대현* · 최태완**

Development of IoT-based Hazardous Gas Environment Control System

Chul-Hoon Kim* · Dae-Hyun Ryu* · Tae-Wan Choi**

요약

본 연구에서는 산업 현장에서의 유해 가스로 인한 재해를 예방하기 위해 IoT(Internet of Things) 기술을 활용한 실시간 모니터링 시스템을 개발하고 그 성능을 평가하였다. 개발된 시스템은 유해 가스를 실시간으로 감지하고 신속한 경보를 발령하여 98% 이상의 데이터 정확도와 3초 미만의 반응 시간을 달성하였다. 시스템은 센서 노드, 중앙 처리 장치, 사용자 인터페이스로 구성되며, 클라우드 기반 원격 감시 및 관제 프로그램을 통해 작업 환경과 작업자 상태를 실시간으로 모니터링한다. 본 연구는 산업 현장의 안전 관리를 효과적으로 수행할 수 있는 새로운 접근 방식을 제시하였으며, 향후 다중 가스 감지 기능의 개선, AI 기반의 예측 모델 개발, 보안 강화 등을 통해 더욱 발전된 모니터링 시스템으로 진화할 것으로 기대된다.

ABSTRACT

This study developed and evaluated a real-time monitoring system utilizing IoT technology to prevent disasters caused by hazardous gases in industrial settings. The developed system detects harmful gases in real-time and issues prompt alerts, achieving over 98% data accuracy and response times under 3 seconds. The system consists of sensor nodes, a central processing unit, and a user interface, monitoring the work environment and worker status in real-time through a cloud-based remote surveillance and control program. Performance evaluation results show that this system presents a new approach for effectively managing safety in industrial sites. Future developments are expected to include improvements in multi-gas detection capabilities, development of AI-based prediction models, and enhanced security measures, evolving into a more advanced monitoring system.

키워드

Disaster Prevention, Hazardous Gas Monitoring, Industrial Safety Management, IoT-based System, Real-time Data Processing

재해 예방, 유해 가스 모니터링, 산업 안전 관리, IoT 기반 시스템, 실시간 데이터 처리

1. 서론

산업 현장에서의 안전 관리, 특히 유해 가스와의 관

련된 위험 관리의 중요성이 지속적으로 증대되고 있다. 국내외 산업 안전 관리 기관들은 위험한 가스 환경에서의 작업을 수행할 때 엄격한 규정을 시행하고

* 한세대학교 IT학부(dhryu@hansei.ac.kr)

** 교신저자: 경상국립대학교 메카트로닉스공학부

• 접수일: 2024. 08. 14

• 수정완료일: 2024. 09. 12

• 게재확정일: 2024. 10. 12

• Received: Aug. 14, 2024, Revised: Sep. 12, 2024, Accepted: Oct. 12, 2024

• Corresponding Author: Tae-Wan Choi

Dept. of Mechatronics Eng., Gyeongsang National University

Email: twchoi@gnu.ac.kr

있으나, 현행 시스템은 여전히 중대한 한계를 갖고 있다. 작업자들이 위험을 인지하고 경고를 받을 시점에는 이미 유해 가스에 노출되어 있어 적절한 대응이 어려운 상황이 빈번히 발생하고 있다. 이러한 문제는 작업자의 안전과 생명을 직접적으로 위협하며, 산업 현장의 안전 관리 체계에 대한 근본적인 개선의 필요성을 제기한다.

본 연구는 이러한 문제인식을 바탕으로 IoT 기술을 활용한 유해 가스 환경 제어 시스템 개발을 목표로 한다. 본 시스템의 주된 목적은 산업 현장에서의 유해 가스 노출 위험을 최소화하고, 실시간 모니터링과 즉각적인 대응을 통해 작업자의 안전을 보장하며 재해를 예방하는 것이다. 이를 위해 본 연구는 다음과 같은 범위를 포괄한다: (1) IoT 기반 모니터링 시스템의 구조적 설계, (2) 실시간 데이터 처리와 분석, (3) 실제 산업 현장 적용 및 성능 평가, (4) 사용자 친화적 인터페이스 구축이다.

제안된 시스템은 휴대용 가스 미터, 신호중계AP, 서버통신AP(Access Point), 관제시스템을 통합하여 구성된다. 이 시스템은 블루투스 통신을 통해 가스 미터의 측정 데이터와 상황 정보를 실시간으로 수집하며, 이 데이터는 서버통신AP를 통해 관제시스템으로 전달된다. 서버통신AP는 최대 63개의 신호중계AP를 연결할 수 있으며, LTE 모델을 통해 측정 데이터를 관제시스템으로 전송한다. 또한, 관리자용 스마트폰 애플리케이션을 통해 외부에서 작업 환경과 작업자 상태를 실시간으로 모니터링 할 수 있다. 이러한 구조는 긴급 상황 발생 시 신속한 대응을 가능케 하며, 유해 가스 환경에서의 작업자 안전 강화에 크게 기여할 것으로 기대된다.

본 연구에서 제안하는 IoT 기반 유해 가스 모니터링 시스템은 기존 시스템의 한계를 극복하고, 산업 현장의 다양한 요구사항을 충족시키는 포괄적인 해결책을 제시한다. 이는 산업 안전 관리의 효율성을 향상시키고, 유해 가스 노출로 인한 재해 사고를 효과적으로 예방할 수 있을 것으로 기대된다. 더불어, 본 연구는 산업 안전 분야에서 IoT 기술의 활용 가능성을 확장하고, 향후 관련 연구의 발전 방향을 제시하는 중요한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 유해 가스 모니터링 시스템과 관련된 선행 연구 및 기존

기술을 검토한다. 제3장에서는 제안된 IoT 기반 유해 가스 모니터링 시스템의 설계 및 구현 방법을 상세히 기술한다. 제4장에서는 구현된 시스템의 성능 평가 및 분석 결과를 제시한다. 마지막으로 제5장에서는 본 연구의 결론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

II. 관련 연구

최근 몇 년간 IoT와 센서 기술의 발전으로 재난 및 비상 관리 시스템이 크게 향상되었다. Arslan 등은 비상 및 재난 관리를 위한 무선 센서와 IoT 기반 시스템에 대한 포괄적인 리뷰(review)를 제공했다. 이 연구는 재난 감지, 모니터링, 조기 경보 시스템에서의 IoT 기술의 중요성을 강조했다[1].

유해 가스 감지는 재난 예방의 중요한 측면이다. Jeon 등은 고온 검출기를 사용한 유해 가스 농도 측정 연구를 수행했으며[2], Bang 등은 IoT를 활용한 유무선 결합 가스 센서 시스템을 제안했다. 이러한 연구들은 실시간 모니터링과 신속한 대응의 중요성을 보여준다[3].

열화상 카메라를 이용한 가스 감지 시스템도 주목 받고 있다. Lee 등은 IR 열화상 카메라를 이용한 가스 감지 시스템 설계를 제안했다. 이 접근법은 비접촉식 감지를 가능하게 하여 위험한 환경에서의 안전성을 높일 수 있다[4].

오픈소스 하드웨어와 클라우드 서비스를 활용한 IoT 플랫폼 개발도 활발히 진행되고 있다. Jeon 등은 재난 예방을 위한 원격 모니터링에 오픈소스 하드웨어 모듈을 적용했다[5]. Ryu는 오픈소스 하드웨어 기반의 IoT 게이트웨이와 클라우드 서비스 기반의 개방형 IoT 플랫폼을 개발했다[6, 7]. 또한 Ryu와 Choi는 산업용 IoT를 위한 소형 스마트 디바이스 개발 연구를 수행했다[8, 9].

Kim은 산업 현장에서의 유해 가스로 인한 재해를 예방하기 위해 IoT 기술을 활용한 실시간 모니터링 시스템을 개발하였는데, 센서 노드, 중앙 처리 장치, 사용자 인터페이스로 구성되어, 클라우드 기반 원격 감시 및 관제 프로그램을 통해 작업 환경과 작업자 상태를 실시간으로 모니터링한다[10]. 이 연구에서는 산업 현장의 안전 관리를 효과적으로 수행할 수 있는

새로운 접근 방식을 제시하였다.

이러한 연구들은 IoT, 센서 기술, 오픈소스 하드웨어, 클라우드 컴퓨팅 등의 첨단 기술을 재난 관리와 예방에 적용하는 추세를 보여준다. 실시간 모니터링, 조기 경보 시스템, 원격 제어 등의 기능을 통해 재난 대응 능력을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 향후 연구에서는 이러한 기술들의 통합과 실제 환경에서의 적용, 그리고 데이터의 신뢰성과 보안 강화에 중점을 둘 것으로 예상된다[11].

III. 시스템 설계 및 구현

3.1 시스템 개요

본 연구에서 개발한 IoT 기반 유해 가스 모니터링 및 긴급 대응 시스템은 산업 현장에서 발생할 수 있는 유해 가스 누출을 실시간으로 감지하고 대응하기 위해 설계되었다. 이 시스템은 작업자의 안전을 보장하고 재해를 예방하는 것을 주요 목적으로 한다.

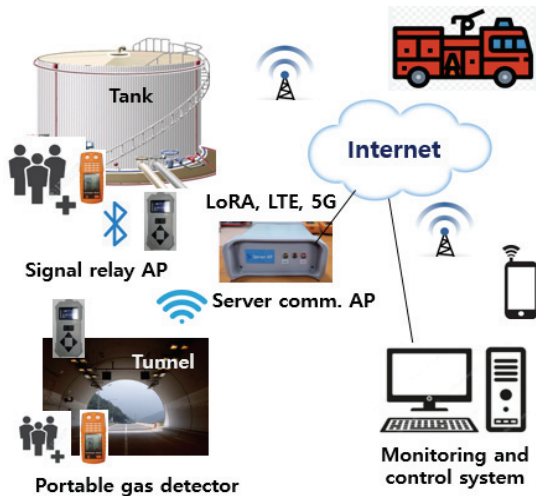


그림 1. 전체 시스템 개념도
Fig. 1 Total system concept

시스템은 크게 세 가지의 주요 구성 요소로 이루어져 있다:

(1) 센서 노드: 다양한 유형의 가스 센서와 환경 센서를 포함하며, 실시간으로 산업 현장의 가스 농도와 환경 데이터를 수집한다.

(2) 신호중계AP, 서버통신AP, 관제시스템: 수집된 데이터를 분석하고 처리하여 위험 상황을 판단한다.

(3) 사용자 인터페이스(UI): 작업자와 관리자가 모니터링 결과를 확인하고 위험 상황에 대한 알림을 받을 수 있도록 한다.

전체 시스템의 개념도를 그림 1에 나타내었다. 본 시스템은 산업 현장의 다양한 요구사항과 환경 조건을 고려하여 설계되었다. 센서 노드는 저전력 소모 설계를 통해 배터리로 장기간 작동이 가능하며, 강력한 암호화 기술을 적용하여 데이터의 안전성을 보장한다. 중앙 처리 장치는 고성능 컴퓨팅 기술과 AI 기반 알고리즘을 활용하여 대량의 데이터를 신속하게 처리하고 위험 상황을 정확히 예측한다.

3.2 시스템 구현

3.2.1 데이터 수집 및 처리

시스템의 핵심 기능인 실시간 데이터 스트리밍 및 처리는 신호중계AP와 서버통신AP를 통해 구현된다. 휴대용 가스측정장치와 연동되는 신호중계AP는 유해 가스 환경에서 측정된 데이터를 실시간으로 외부로 중계한다. 서버통신AP는 최대 63개의 신호중계AP와 연결되며, 내장된 광대역 통신모뎀(LTE)을 통해 측정 데이터를 관제시스템으로 전송한다. 가스측정장치는 기성품(GFM400)을 사용하였으며 신호중계AP와 서버통신AP는 본연구에서 자체적으로 개발하였다.

클라우드 기반 원격 감시 및 관제프로그램은 이 데이터를 처리하여 작업자의 상태를 실시간으로 모니터링 한다. 시스템은 유해 가스 작업 환경 로그데이터, 작업시간, 작업이력, 작업내용 등의 중요 정보를 실시간으로 관리하며, 비상 상황 발생 시 적절한 알람과 경보를 발생시킨다. 그림 2에 데이터 수집 및 처리 과정을 나타내었다.

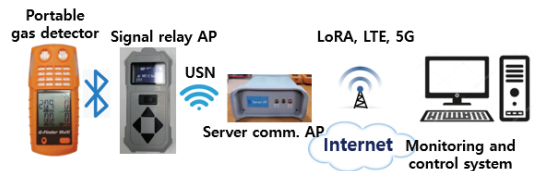


그림 2. 데이터 수집 및 처리 과정
Fig. 2 Data collection and processing

3.2.2 사용자 인터페이스

시스템의 사용자 인터페이스는 관리자와 작업자가 모니터링 데이터를 쉽게 조회할 수 있도록 설계하였다. 네이버 클라우드를 기반으로 개발한 클라우드 기반 원격 감시 및 관제프로그램의 UI는 유해 가스 모니터링 정보, 작업자 상태, 로그 데이터 등을 직관적으로 확인할 수 있는 다양한 시각화 도구를 제공한다. 이를 통해 사용자는 작업장의 실시간 상태를 파악하고 비상 상황 발생 시 신속하게 대응할 수 있다.(그림 3)

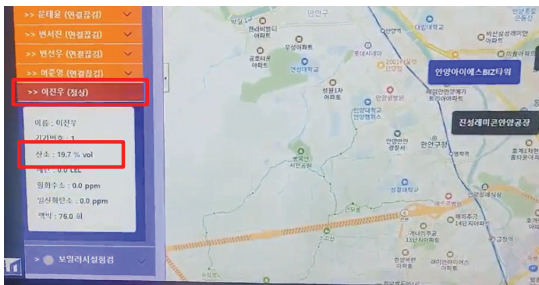


그림 3. 사용자 인터페이스
Fig. 3 User interface

3.2.3 안전 경고 및 긴급 대응 프로토콜

시스템에는 안전 경고 및 긴급 대응 프로토콜이 내장되어 있다. 유해 가스 농도가 기준치를 초과하거나 작업자의 건강 상태에 이상 징후가 발생하는 경우, 시스템은 자동으로 관리자에게 알람을 발생시킨다. 이러한 알람은 스마트폰 애플리케이션을 통해 실시간으로 전달되며, 관리자는 즉시 필요한 대응 조치를 취할 수 있다. 그림 4에 본 연구에서 개발한 스마트폰 애플리케이션의 UI를 나타내었다.

긴급상황 발생 시, 시스템은 소방, 경찰 등의 외부 기관과 자동으로 연결되어 신속한 구조 요청을 지원한다. 이러한 통합 안전 경고 및 긴급 대응 프로토콜은 작업 환경의 위험 요소를 최소화하고, 재해 발생 시 신속한 대처를 가능하게 함으로써 작업자의 안전을 효과적으로 보장한다.

시스템의 작동 과정은 다음과 같다:

- (1) 데이터 수집 및 분석: 유해 가스 농도와 작업자 상태의 데이터를 실시간으로 수집하고 분석한다.
- (2) 경고 발생: 분석 결과에 위험 상황이 감지되면 자동으로 경보를 발생시킨다.

(3) 알람 전달: 발생한 경보를 관리자와 작업자에게 즉시 알람으로 전달한다.

(4) 긴급 대응 프로토콜 실행: 사전에 설정된 프로토콜에 따라 외부 기관과 연결하거나 필요한 조치를 안내한다.

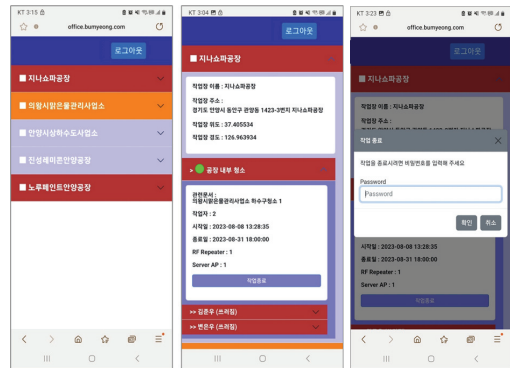


그림 4. 스마트폰 UI
Fig. 4 User interface of smartphone

이러한 체계적인 안전 관리 시스템은 유해 가스 노출이나 기타 작업장 내 위험 상황에 대한 신속한 대응을 가능하게 하며, 작업 환경의 안전을 개선하고 작업자의 생명과 건강을 보호하는데 기여한다. 본 시스템의 구현은 산업 현장에서의 안전 관리 및 재해 예방에 중요한 진보를 의미하며, 기술적 발전을 통한 작업 환경의 안전성 향상에 대한 기대를 충족시킨다.

IV. 시험 및 평가

본 연구에서 개발된 유해 가스 환경 작업자의 재해 사고 방지를 위한 실시간 모니터링 시스템의 성능을 평가하기 위해 체계적이고 포괄적인 평가 방법론을 적용하였다. 평가는 테스트 환경 구축, 평가 기준 설정, 데이터 수집 및 분석, 그리고 결과 해석의 단계로 구성되었다.

테스트 환경은 실제 산업 현장을 모사하여 다양한 유해 가스 노출 시나리오를 재현할 수 있도록 설계되었다. 이 환경에서는 유해 가스의 종류, 농도, 노출 시간 등을 조절할 수 있으며, 온도와 습도 등의 환경 변수도 그림 5와 같이 조절 가능하도록 하였다.

평가 기준은 데이터 통신 성공율, 반응 시간, 시스템 안정성, 사용자 인터페이스의 용이성 등을 포함하였다. 이러한 기준을 바탕으로 시스템의 성능을 다각도로 평가하였다.

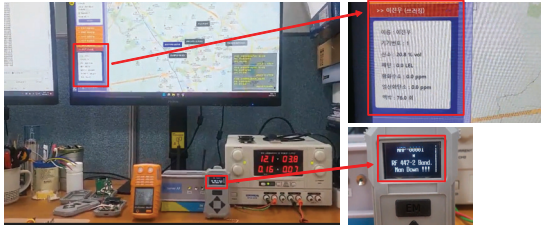


그림 5. 시험 환경

Fig. 5 Test enviroment

실험 결과, 본 시스템은 우수한 성능을 보여주었다. 데이터 통신 성공율은 휴대형 가스측정기와 신호중계 AP 유닛 간 통신 시 발생할 수 있는 통신 에러의 정도를 시험하는 것이며, 휴대용 가스측정기에서 총 100회의 데이터를 전송하고 신호 중계 AP 유닛에서 데이터를 수신하는 성공율을 시험하였다. 시험 결과 데이터 통신 성공율은 평균 98.5%의 높은 정확도를 달성하였으며, 가장 낮은 경우에도 95% 이상의 정확도를 유지하였다.

반응 시간 측면에서는 평균 3초의 신속한 반응 시간을 보였다. 이는 유해 가스 농도가 안전 기준을 초과했을 때, 시스템이 신속하게 경보를 발생시킬 수 있음을 의미하며, 산업 현장에서의 빠른 대응을 가능케 한다.

시스템 안정성 평가를 위해 일주일간 연속 운영을 실시한 결과, 시스템은 성능 저하 없이 안정적으로 작동하며 지속적으로 데이터를 처리하고 분석할 수 있음을 확인하였다.

이러한 실험 결과는 본 연구에서 개발된 실시간 모니터링 시스템이 산업 현장에서의 유해 가스 모니터링 및 재해 예방에 효과적으로 활용될 수 있음을 시사한다. 높은 데이터 정확도와 신속한 반응 시간, 그리고 안정적인 장기 운영 능력은 작업자의 안전을 크게 향상시킬 수 있는 핵심 요소이다.

그러나 본 연구의 한계점도 존재한다. 테스트 환경이 실제 산업 현장의 모든 복잡성을 완벽하게 재현하

지는 못했을 가능성이 있으며, 다양한 극한 상황에서의 시스템 성능은 추가적인 검증이 필요할 수 있다. 또한, 사용자 인터페이스의 용이성에 대한 더 깊이 있는 평가와 개선이 요구될 수 있다.

V. 결 론

본 연구는 유해 가스 환경에서 작업자의 재해 사고 방지를 위한 IoT 기반 실시간 모니터링 시스템을 개발하고 그 성능을 평가하였다. 개발된 시스템은 유해 가스를 실시간으로 감지하고, 신속한 경보 발령과 대응 조치를 가능하게 하는 것을 목적으로 한다.

성능 평가 결과, 시스템은 98% 이상의 높은 데이터 통신 성공율과 3초 미만의 신속한 반응 시간을 달성하였다. 이는 산업 현장에서 유해 가스로 인한 재해를 효과적으로 예방할 수 있는 능력을 입증한다. 또한, 사용자 친화적인 인터페이스를 제공하여 관리자와 작업자가 쉽게 시스템을 사용하고 유해 가스 노출 상황을 신속하게 파악할 수 있도록 하였다.

본 연구의 의의는 IoT 기술을 적용하여 산업 현장의 유해 가스 모니터링 방법에 혁신을 가져왔다는 데 있다. 이는 기존의 모니터링 방법을 크게 개선하고, 산업 현장에서의 안전 관리를 보다 효과적으로 수행할 수 있는 새로운 접근 방식을 제시한다.

향후 연구에서는 더 다양한 산업 환경과 극한 상황에서의 시스템 성능 평가, 사용자 경험 개선을 위한 추가적인 연구, 그리고 인공지능 기술을 활용한 예측 모델 개발 등이 필요할 것으로 보인다. 이를 통해 시스템의 성능과 활용도를 더욱 높일 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] M. Arslan, C. Roxin, C. Cruz, and D. Ginhac, "A Review of Wireless Sensors and IoT-Based Systems for Emergency and Disaster Management," *IEEE Sensors Journal*, vol. 21, no. 2, Jan. 2021, pp. 1172-1188. DOI: 10.7753/IJCATR0202.1011
- [2] S. Jeon, J. Park, Y. Mo, H. Yang, and H. An, "A study on the measurement of a harmful gas concentration by high temperature

- detector," *In Proc. Conference of The Korean Institute of Gas 2017*, May 2017, pp. 212-212.
- [3] Y. Bang and K. Kang "System of gas sensor for combining wire and wireless using Internet of Things," *Journal of Korea Safety Management & Science*, vol. 17, no. 4, 2015, pp. 297-304.
DOI:10.12812/ksms.2015.17.4.297
- [4] M. Lee, Y. Park, K. Jung, S. Hwang, Y. Kim, and J. Choi, "Design of Gas Detection System using IR Thermal Imaging Camera," *In Proc. Conference of The Institute of Electronics and Information Engineers*, Apr. 2013, pp. 165-166.
- [5] K. Jin, E. Lee, and S. Lee, "Open-Source Hardware Module Application for Remote Monitoring of Disaster Prevention," *J. of Sensor Science and Technology*, vol. 24, no. 5, 2015, pp. 299-305.
- [6] D. Ryu, "Development of IoT Gateway based on Open Source H/W," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 9, Sept. 2015, pp. 1066-1070.
<http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2015.10.9.1065>
- [7] D. Ryu and T. Choi, "Development of Open IoT platform based on Open Source Hardware & Cloud Service," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 5, Mar. 2016, pp. 485-490.
<http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2016.11.5.485>
- [8] D. Ryu and T. Choi, "Development of the Compact Smart Device for Industrial IoT," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 4, Aug. 2018, pp. 751-756.
<http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2018.13.4.751>
- [9] D. Ryu, Y. Kang, and T. Choi, "Development of IoT-based Can Compactor/PET Bottle Crusher Management System", *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 18, no. 6, Dec. 2023, pp. 1239-1244.
<http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2023.18.6.1239>
- [10] C. Kim, "A research of a real-time monitoring and emergency response system to prevent disasters for workers in hazardous gas environments," Master's Thesis, Dept. of IT, Hansei Univ., Korea, 2024.
- [11] K. Min, S. Lee, Y. Choi, Y. Hong, C. Lee, and Y. Ko, "IoT-based Smart Tunnel Accident

Alert System", *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 19, no. 4, Aug. 2024, pp. 753-762.
<http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2024.19.4.753>

저자 소개

김철훈(Chul-Hoon Kim)



2024년 8월 : 한세대학교 대학원
IT융합학과 졸업(석사)
2024년 현재 한세대학교 대학원
IT융합학과 박사과정

1994년 9월 - 1999년 9월 : 유니모테크놀로지
2018년 7월 - 현재 주식회사 부명 대표이사
※ 관심분야 : IoT, M2M, 정보보호, 신호처리

유대현(Dae-Hyun Ryu)



1983년 부산대학교 전기기계공학과
졸업(공학사)
1985년 부산대학교 대학원 전자
공학과 졸업(공학석사)

1997년 부산대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학
박사)
1987년 - 1998년 2월 전자통신연구원 선임연구원
1998년 3월 - 현재 한세대학교 IT 학부 교수
※ 관심분야 : IoT, M2M, 정보보호, 영상처리

최태완(Tae-Wan Choi)



1983년 2월 : 부산대학교 대학원 전
자공학과 졸업 (공학석사)
1996년 2월 : 부산대학교 대학원 전
자공학과 졸업 (공학박사)

1984년 12월 - 1991년 2월 : (주)LG전자 디지털어플
라이언스연구소 선임연구원
1997년 3월 - 현재 : 경상국립대학교 IT공과대학 메
카트로닉스공학부 교수
※ 관심분야 : 신호처리, 정보통신, 영상처리,
Computer Vision, IoT