

# 지그비 기반 실시간 인두기 상태 모니터링 플랫폼 개발

김래현\*, 오성현\*, 김정곤<sup>o</sup>

## Development of Zigbee Based Real-Time Soldering-Iron Device Status Monitoring Platform

Rae-Hyeon Kim\*, Sung-Hyun Oh\*, Jeong-Gon Kim<sup>o</sup>

요약

본 논문에서는 생산공정 라인에서 ICT(In-Circuit Tester) 공정을 거친 후 기능시험에 투입되는 PCB(Printed Circuit Board) 제품 중 불량제품 Re-work 시 사용하는 인두기의 상태를 측정하고 모니터링하는 시스템을 개발하였다. 인두기에서 발생하는 누설전류, 서지전압 그리고 인두 팁 온도 등의 데이터를 실시간 측정하고 이를 지그비 통신 인터페이스를 활용하여 전용 모니터링 소프트웨어로 전송하는 시스템을 구축하였다. 제안하는 개발 플랫폼 데이터 측정 성능을 객관적으로 비교 분석하기 위해 동일한 인두기를 사용하여 기존 인두기 테스터와 동일한 조건에서 성능분석을 진행하였다. 성능분석 결과 온도, 누설전류 그리고 서지전압의 측정 범위는 유사한 결과를 나타내었으며 측정 분해능에서는 서지 전압과 누설전류는 각각 제안하는 개발 플랫폼이 기존 인두기 테스터 대비 10배 향상된 결과를 보여주었다. 온도 측정 분해능에서는 제안하는 개발 플랫폼이 기존 인두기 테스터 대비 4배 향상된 결과를 나타냈다. 제안하는 개발 플랫폼은 기존 인두기 테스터에 적용되지 않았던 지그비 기반 실시간 무선 전송 기능이 적용되었으며 실제 효용성을 검증하기 위해 1:N 환경에서 브로드캐스팅 방식과 Polling-Ack 방식 두 가지 방식으로 구현하였다. 또한 모니터링 프로그램을 통해 각 방식의 지그비 노드 최대 동시 연결 개수, 서지 전압 데이터 동시 측정, 동시 연결 소요 시간 그리고 접속 유지 시간을 각각 비교하였다. Polling-Ack 통신 방식이 브로드캐스팅 통신 방식 대비 단위 주기 당 동시 노드 최대 연결 개수 및 서지전류 데이터 동시 측정 수가 증가하였으며 1:7 동시 연결 시 소요 시간이 감소하였다.

**Key Words** : Soldering-iron Tester, Zigbee, Monitoring Program, Broadcasting, Polling-Ack

### ABSTRACT

In this paper, we developed a system to measure and monitor the state of the Soldering-iron device used for re-work of defective products among printed circuit board(PCB) products put into functional tests after the in-circuit tester(ICT) process in the production line. A system was established that measures the leakage current, surge voltage, and tip temperature data generated by the iron in real time and transmits it to the dedicated monitoring S/W using the Zigbee communication interface. In order to objectively compare and analyze the data measurement performance of the proposed development platform, the same Soldering-iron device was used and the performance analysis was conducted under the same conditions as the existing Soldering-iron tester. As a result of the performance analysis, the measurement ranges of temperature, leakage

\* First Author : Tech University of Korea Department of Electronics Engineering, rhkim0314@tukorea.ac.kr, 학생회원

<sup>o</sup> Corresponding Author : Tech University of Korea Department of Electronics Engineering, jgkim@kpu.ac.kr, 종신회원

\* Tech University of Korea Department of Electronics Engineering, osh119@tukorea.ac.kr, 학생회원

논문번호 : 202208-188-D-RN, Received August 19, 2022; Revised October 28, 2022; Accepted November 8, 2022

current and surge voltage showed similar results, and in the measurement resolution, the development platform proposed by each of the surge voltage and leakage current showed 10 times improvement compared to the existing soldering-iron tester. In terms of temperature measurement resolution, the proposed development platform showed a 4 times improvement compared to the existing Soldering-iron tester. The proposed development platform applied the Zigbee based real-time wireless transmission function, which was not applied to the existing Soldering-iron tester, and was implemented in two ways: the broadcasting method and the polling-ack method in a 1:N environment to verify the actual effectiveness. In addition, the maximum number of simultaneous connections to ZigBee nodes of each method, simultaneous measurement of surge voltage data, time required for simultaneous connection, and connection maintenance time were compared through the monitoring program. Compared to the broadcasting communication method, the polling-ack communication method increases the maximum number of simultaneous node connections and the number of simultaneous measurements of surge current data per unit period, and reduces the time required for simultaneous connection when connecting 1:7.

### 1. 서론

현대 모든 전자 및 전기 산업에서 PCB(Printed Circuit Board) 상에 각종 IC(Integrated Circuit) 및 수동 소자(저항, 커패시터, 인덕터) 등의 부품을 결합하기 위해서는 표면 실장 기술이 필수적이다. 산업계 전반에 걸쳐 모든 제품이 소형화되는 추세이기 때문에 내부 소자의 크기도 점차적으로 작아지고 있다. PCB 상에 실장되는 소자 부품들 또한 날이 갈수록 소형화, 박판화되어가고 있으며 이에 따라 표면 실장 기술도 활성화되고 있는 추세이다<sup>[1]</sup>. 특히 CMOS (Complementary Metal - Oxide Semiconductor) 및 SMD(Surface Mounted Device) 타입의 소자나 부품으로 회로 설계 시 주변 회로에 퓨즈 등의 보호용 소자가 적용된다. 하지만 공장에서 제품 생산 시 수리나 납땜 작업 수행 시 인두기를 사용하게 되고 이 때 인두기에서 발생하는 누설전류, 서지전압, 정전기 그리고 인두 팁의 과열 등으로 인해 부품 및 소자가 파괴되는 경우가 매우 잦은 빈도로 발생한다. 따라서 공정에서 사용되는 전기 인두기는 지속적인 관리가 이루어져야 하며 비정상적인 인두기는 바로 교체가 이루어져야 한다.

그림 1은 전기 인두기로 PCB 기판 납땜 시 인두기에서 발생하는 누설전류로 인해 소자부품이 파괴되는 개념도이다. 전기 인두기의 상태를 정상이라고 판정하는 조건은 크게 6가지로 분류 가능하다. 첫 번째는 전기 인두 팁의 온도 안정이 신속하고 축적된 열량이 충분해야 할 것, 두 번째로 소비 전력이 작고 열 전달 효율이 양호할 것, 세 번째로 납땜 작업 시 설정 온도 대비 실제 출력 온도 저하가 적고 연속적인 부하가 가능

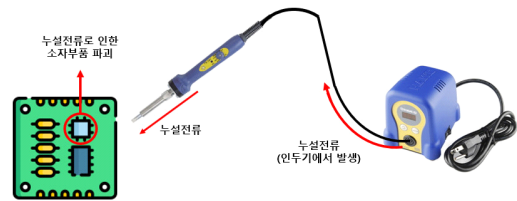


그림 1. 인두기 누설전류로 인한 PCB 소자 부품 파괴  
Fig. 1. Destruction of PCB components due to Soldering-iron device leakage current

할 것, 네번째로 주위 환경에 따른 인두 팁 발열 온도 편차가 일정할 것, 다섯 번째로 누설전류와 정전기가 적을 것, 마지막으로 부품이나 소자에 대한 자성의 영향이 적어야 할 것 등으로 정의할 수 있다<sup>[2]</sup>. 위에서 언급한 전기 인두기 정상 여부 판별 조건들 중, 가장 중요한 요소는 누설전류 발생치가 정상치 이하인지 여부와 누설전류 발생에 따른 서지전압 발생 여부 그리고 인두 팁의 일정한 온도 편차 유지 여부이다. 온도 제어가 가능한 전기 인두기는 아날로그 방식 인두기와 디지털 방식 인두기 등 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 최근에는 인두 팁 온도 편차가 적고 온도 저하가 심하지 않으면서 캘리브레이션이 용이한 디지털 인두기를 채택하고 있는 추세이다<sup>[3,4]</sup>. 기존 인두기에서 발생하는 누설전류, 서지전압, 인두 팁 온도 등의 상태정보를 획득하기 위한 장치로 가장 널리 보급되어 있는 장비로는 그림 2와 같이 일본 H 社 FG-101B 및 B 社 MCA-700 II 등이 있다.

기존 인두기 테스터 제품들은 획득한 인두기의 정보들을 실시간 확인할 수 있는 모니터링 기능을 제공하지 않는다. 사용자가 인두기의 상태 정보를 획득하기 위해서는 별도의 시리얼 통신 케이블을 PC에 연결



그림 2. 인두기 상태 측정을 위한 기존 인두기 테스터  
 Fig. 2. Classic soldering-Iron tester to measure the condition of the soldering-iron device

하여 RS-232 시리얼 데이터를 획득하거나 USB와 같은 별도의 메모리 장치를 부착하여 데이터를 획득해야 한다. 따라서 기존 시스템에서는 인두기를 사용하는 작업자가 인두기의 상태를 실시간 확인이 어려우며 인두기 팁을 테스터 제품에 물리적으로 접촉시켜 한시적인 인두기의 상태를 수동적으로 파악해야 한다. 또한 사용자는 기존 시스템을 사용 시 연속적인 인두기의 상태 이력을 파악하는 것이 어렵기 때문에 불량 인두기를 추적하여 교체하는 것이 용이하지 않다. 따라서 위 문제들을 개선하고 인두기의 상태를 실시간 파악하여 비정상적인 인두기를 조기 교체하고 생산 라인 내 Re-Work 효율을 향상시키기 위해서는 별도의 실시간 모니터링 시스템 도입이 필수적이다. 실시간 모니터링 시스템을 구현하기 위한 무선 인터페이스로는 Wi-Fi, Bluetooth, Rora 및 Zigbee 등이 존재한다<sup>5)</sup>. 이 같은 근거리 무선 인터페이스 중에서 지그비(Zigbee)는 비교적 전력 소모가 적다는 장점을 가지고 있고 이를 통해 가정이나 사무실, 스마트 홈 네트워크, 원격검침시스템, 주차 및 운송 인프라, 환경 모니터링 등 환경 및 에너지 그리고 산업 자동화 장비 모니터링 등의 분야로 확대되고 있는 추세이다<sup>6)</sup>. 또한 지그비는 다른 무선인터페이스들에 비해 전송속도는 250kbps로 상대적으로 느리지만 넓은 유효 통신 범위를 지원하고 네트워크 확장성이 매우 용이하여 저속의 데이터 통신을 통한 전력 효율을 중시하는 모니터링 시스템에서 주로 적용된다<sup>7)</sup>.

본 논문에서는 인두기 누설전류, 서지전압, 인두 온도 등 인두기 상태를 측정하는 인두기 테스터와 기존 시스템에서는 지원하지 않았던 지그비 통신 기반 데이터 송신 환경을 개발하였다. 또한 수신한 인두기 상태를 실시간 모니터링이 가능한 시스템을 개발하였다. 일반적으로 측정하는 인두기의 누설전류, 서지전압, 절연저항 그리고 온도 등의 측정 범위 및 측정 분해능 성능을 기존 시스템(HAKKO 社;FG-101B)과 개발 시스템에서 모두 비교하였다. 개발 시스템에서 제

공하는 지그비 통신 기반 무선 모니터링 기능은 별도의 유선케이블이나 메모리 장치가 없이도 인두기 상태 정보를 실시간 수집이 가능하며 이를 별도의 모니터링 소프트웨어로 확인이 가능하다는 장점이 있다. 또한 실시간으로 인두기 상태 정보를 수집하기 때문에 인두기의 사용 이력을 파악할 수 있으며 이를 통해 불량 인두기의 교체가 용이하다. 추가적으로 개발 시스템의 지그비 통신 무선 전송 성능을 비교하기 위해 인두기 상태 데이터 무선 전송 시 1:7 환경(지그비 리더기 1개, 인두기 테스터 7개)에서 브로드캐스팅 방식과 Polling-Ack 방식의 성능을 비교하였다. 이론적인 지그비 통신의 연결 노드 수는 2.4GHz 대역 기준 5MHz 대역폭 채널(노드)을 16개가 할당된다. 또한 최대 100m의 코디네이터와 노드 간 전송거리를 보장한다.

본 논문에서는 실제 지그비 통신 시 실제 실험과정에서 1:7 연결을 초과하여 노드가 추가 연결될 경우, 특정 노드의 데이터가 연속적으로 전송되는 현상과 지그비 리더기(코디네이터)와 개발 시스템에 장착된 지그비 통신 제어보드(노드)간 통신 시 특정 노드의 데이터가 차단되어 데이터 전송이 이루어지지 않는 통신 연결 상태 불량 현상이 빈번하게 발생하는 것을 확인하였다. 또한 이는 Polling-Ack 방식 대비 브로드캐스팅 방식에서 더욱 심화되는 것을 확인하였으며 지그비 리더기와 개발 시스템 지그비 통신 제어보드 간 통신거리가 LoS(Line of Sight) 환경 및 동일한 전송파워 적용 기준 80m를 초과 할 시 정상적인 지그비 통신 연결이 성립되지 않는 것을 확인하였다. 결과적으로 이를 통해 실제 지그비 통신 지원 단말 간 유효한 라우팅 연결 개수는 코디네이터 1개당 7개 노드이며 정상적인 통신 수행을 위한 최대 통신 유효 거리는 80m인 것을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 산업용 무선 통신 프로토콜인 지그비를 포함한 기존 여러 가지 무선 통신 프로토콜을 간략하게 살펴보고 3절에서 본 논문에서 구현한 지그비 기반 실시간 인두기 상태 데이터 모니터링 플랫폼 및 시스템 동작 절차를 살펴본다. 4절에서는 실험 테스트베드 환경, 개발 플랫폼 하드웨어, 소프트웨어 구조 그리고 실험 시나리오 등을 포함한 시스템 모델을 소개하고 테스트 결과 및 고찰을 수행한다. 마지막 5절에서 결론 및 기대효과를 제시한다.

## II. 지그비 개요

### 2.1 네트워크 토폴로지

지그비 무선 네트워크 통신은 Zigbee Alliance의 플랙시블 기술로 여러 IoT(Internet of Things) 기기에서 광범위하게 사용되고 있다. IEEE 802.15.4 표준의 물리 계층 및 매체 접근 제어를 바탕으로 한 지그비는 역할이 다른 노드를 이용하여 스타, 트리 또는 혼재된 Cluster 트리 그리고 메시의 네트워크 구성 형태를 가지며 산업용으로는 스타 또는 피어-투-피어(peer-to-peer), 두 가지 토폴로지 중 하나를 주로 많이 적용한다. 지그비 기반의 무선 장치는 868MHz, 915MHz 및 2.4GHz 주파수 대역에서 동작한다. 2.4GHz 무선 대역의 채널 대역폭은 250kbps이다<sup>8)</sup>.

그림 3은 지그비 네트워크에서 사용되는 네트워크 토폴로지를 나타낸 것이다. 지그비 네트워크의 통신모드는 주-종 방식을 기본으로 하는 구성 형태로 네트워크 안에서 하나의 기기를 코디네이터로 지정하고 코디네이터를 중심으로 나머지 노드들과 연계하여 PAN(Personal Area Network)을 구성한다.

또한, 이웃하는 PAN의 코디네이터들 사이에서도 통신할 수 있어 네트워크의 확장을 통해 대규모 네트워크의 구성도 가능하다. 낮은 전송속도를 보완해주고 실시간 데이터 전송이 필요한 경우를 지원하기 위해 선택적 GTS(Guaranteed Time Slots) 할당 작동이 가능하며, 통신에 필요한 대부분의 부하를 코디네이터에 집중시키고 상대적으로 종단기기의 기능 및 부하를 줄이므로 구현에 필요한 자원과 비용을 감소시켰다. 지그비는 좁은 통신영역과 적은 전력 소모를 기반으로 하는 무선통신의 특성을 가지고 있기 때문에 통신거리 및 구조물의 배치에 따라 통신 성공률의 변동성이 크다. 이를 해결하기 위해서는 통신효율이 떨어지는 곳에 중계 노드 등의 장치를 배치할 필요가 있다.

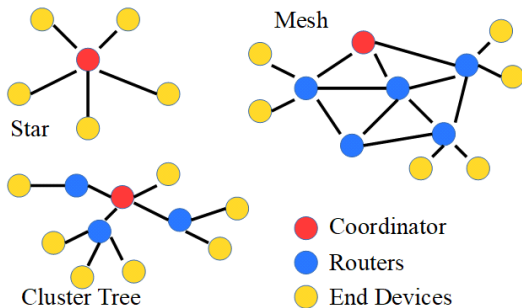


그림 3. 지그비 네트워크 토폴로지  
Fig. 3. Zigbee Network Topology

이때 다수의 코디네이터가 존재할 경우 데이터 전송의 동기화 같은 문제로 인하여 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 기반의 MAC(Medium Access Control) 통신에서 무선 유희상태를 위한 대기로 인해 전송 지연 등의 성능저하가 발생할 수 있다<sup>9)</sup>. 물리계층부터 상위 어플리케이션 계층까지의 모든 네트워크 스택을 정의하고 구현하고 있지만, 복잡하지 않고 가벼운 프로토콜 스택을 사용함으로써 상대적으로 낮은 수준의 프로세싱 파워와 메모리를 요구하기 때문에 저전력으로 운영된다. 일반적으로 수개월에서 수년간 IoT 기기의 사용이 가능하기 때문에 산업용으로 적합하다.

### 2.2 IEEE 802.15.4 표준

여러 다른 프로토콜에서도 채택되어 사용되고 있는 IEEE 802.15.4 표준의 물리 계층은 어플리케이션 계층에서 방대한 라이브러리를 제공하기 때문에 상호 호환성이나 개발 측면에서 편리하다는 장점이 있다. 따라서 이러한 장점은 여러 주요 회사들이 제품 개발을 위해 지그비를 사용하는 큰 이유로 작용한다. 또한, 이론적으로 6만개가 넘는 지그비 장치들이 하나의 네트워크에서 운용될 수 있어 네트워크 확장성의 용이함도 존재한다<sup>10),11)</sup>.

그림 4는 IEEE 802.15.4 MAC Frame 전체구조를 나타낸 것이다. MAC 헤더에서는 전송되는 프레임의 타입과 Address 필드의 포맷을 규정하고, 확인 필드를 제어한다. 페이로드에 실리는 데이터는 헤더에서 규정된 프레임 타입에 따르며, 최대 128 바이트까지 사용 가능하다. 센서 네트워크의 특성상 다수의 디바이스가 존재하기 때문에 MAC 프레임의 Address 필드에 의하여 각 디바이스들을 구분한다<sup>12)</sup>. 지그비 기반의 무선 센서 네트워크를 구성할 시 기본적으로 다수의 센서와 네트워크를 구성하고 Receiver로 동작하게 되는 싱크 노드가 있어야 하기 때문에 모든 디바이스에 고

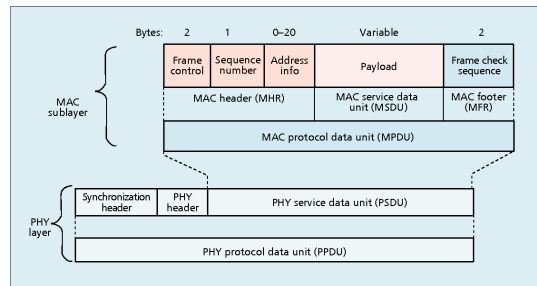


그림 4. IEEE 802.15.4 MAC 프레임 포맷  
Fig. 4. IEEE 802.15.4 MAC frame format



유 ID(Identifier)를 부여하였으며, 이러한 고유 ID는 네트워크 구성을 위한 브로드캐스팅이 이루어질 때, Address 필드에 위치하여 자신의 정보를 전송한다.

고유 ID 정보는 단말기에 수신된 데이터가 어떤 센서로부터 전송되어진 데이터라는 것을 판별 시 사용된다<sup>13)</sup>. IEEE 802.15.4는 여러 장치가 동일한 주파수 채널을 사용하기 위해서 두 가지 채널 액세스 메커니즘을 사용한다. 본 논문에서는 스타 토폴리지를 적용하여 개발 플랫폼 무선 인터페이스를 구현하였으며 7개의 종단 디바이스와 1개의 코디네이터 환경을 적용하였다.

### 2.3 지그비 통신 방식

본 하위 절에서는 제안 시스템에서 적용한 지그비의 통신 방식에 대해 설명하며 브로드캐스팅 방식과 Polling-Ack 방식으로 나누어 설명한다.

#### 2.3.1 브로드캐스팅 방식

그림 5는 브로드캐스팅 기반 통신 환경에서 코디네이터와 노드의 데이터 송수신을 위한 패킷 교환 절차를 나타낸 것이다. 비콘 기반의 채널 할당 경쟁이 없는 방식의 코디네이터는 특정 슬롯을 특정 노드에 할당하고 이를 GTS 방식이라고 한다. 할당된 GTS를 갖는 노드는 CSMA-CA 메커니즘으로 인한 채널 할당 경쟁을 거치지 않고 GTS 구간 동안 데이터 전송을 한다. GTS를 제공하기 위해서는 코디네이터는 비콘 메시지를 전송하여 네트워크의 모든 장치를 동기화한다.

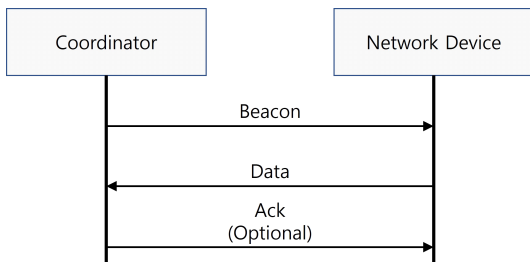


그림 5. 브로드캐스팅 방식의 패킷 교환 절차  
Fig. 5. Packet exchange process of broadcasting method

#### 2.3.2 Polling-Ack 방식

그림 6은 Polling Ack 방식 기반 통신 환경에서 코디네이터와 노드의 데이터 송수신을 위한 패킷 교환 절차를 나타낸 것이다. 위와 같이 경쟁 기반 채널 액세스에서의 노드는 CSMA-CA 방식을 사용한다. CSMA-CA 방식에서는 노드가 데이터를 전송하기 원하는 주기마다 먼저 다른 노드에서 채널을 사용하지

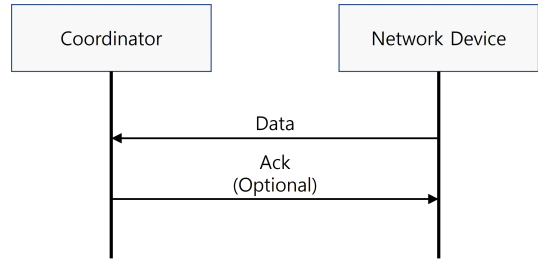


그림 6. Polling-Ack 방식의 패킷 교환 절차  
Fig. 6. Packet exchange process of Polling-Ack method

못하도록 CCA (Clear Channel Assessment)를 수행한 후 자체 신호 전송을 시작한다. 이 방식은 각 노드가 GTS 구간을 할당받지 않고 항상 데이터 통신을 위해 경쟁을 한다. 본 논문에서 제안하는 시스템에서는 모니터링 프로그램과 인두기 테스터들 간의 양방향으로 데이터 통신이 연속적으로 이루어져야 하기 때문에 두 가지 옵션을 적용하여 실험을 진행하였다. 첫 번째는 네트워크 환경을 비콘 비활성화 모드로 설정하고 노드가 데이터 전송을 위한 제어 패킷을 수신하기 위해 지속적으로 코디네이터를 Polling하는 Ack 신호를 전송하고 데이터를 전송하는 방식이다. 두 번째는 네트워크 환경을 비콘 활성화 방식으로 설정하고 코디네이터가 노드 측으로 데이터 요청을 트리거하기 위해 지속적으로 비콘을 전송하고 비콘을 수신한 각 노드는 동시에 데이터 전송을 수행하는 브로드캐스팅 방식이다.

## III. 제안하는 시스템

본 논문에서는 기존 인두기 검사장비 한계를 보완하기 위해 그림 7과 같이 인두기 상태를 측정하고 지그비 통신 모듈 활용 데이터를 송신하는 개발 인두기 테스터와 실시간 모니터링하는 PC(Personal Computer) 프로그램을 개발하였으며 성능 분석을 진행하였다. 실제 산업용 환경을 가정하여 인두기 테스터에서 측정된 인두기의 온도, 서지전압, 절연저항 등을 측정하고 측정 데이터를 전송하는 지그비 인터페이스의 네트워크 토폴리지를 스타 토폴리지로 적용하였다. 추가적으로 지그비 송수신 환경을 1:7로 구성하여 브로드캐스팅 방식과 Polling-Ack 방식을 각각 비교하였다. 제안하는 시스템에서 모니터링 PC 프로그램이 데이터 전송 요청을 하면 개발 인두기 테스터는 접촉 센서를 통해 인두기에서 발생하는 누설전류, 온도, 서지전압, 저항 등을 측정하고 이를 시리얼 통신으로 MCU(Micro Controller Unit)에 전송하게 된다.

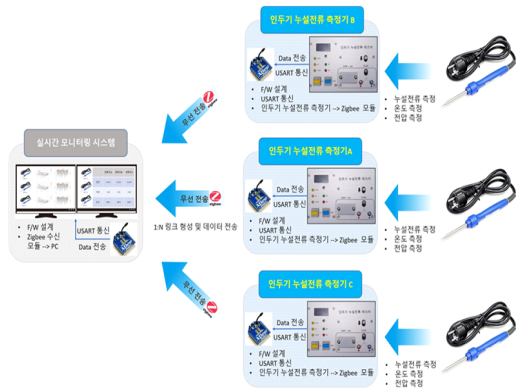


그림 7. 지그비 기반 실시간 인두기 상태 모니터링 시스템  
Fig. 7. Zigbee communication-based Soldering-Iron status Real-time monitoring system

MCU는 수집한 인두기 상태 데이터를 설정된 출력 모드에 따라 7-세그먼트로 출력하고 USART(Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter) 통신을 통해 지그비 송신 모듈로 전송한다. 다이플 안테나가 장착된 지그비 모듈은 수집한 인두기 상태 데이터를 모니터링 PC 프로그램으로 전송한다.

3.1 인두기 테스터 하드웨어 구조 및 기능 블록도

본 절에서는 개발된 인두기 테스터의 하드웨어 구조 및 기능 블록도에 대해 설명한다. 먼저, 그림 8은 개발 인두기 테스터 하드웨어를 나타낸 것이며 인두기 상태 데이터를 측정하고 이를 인두기 상태 출력부로 전송하는 측정부(8-③, ④), 수신한 인두기 상태 데이터를 7-세그먼트로 출력 및 지그비 통신에 기반하여 모니터링 PC 프로그램으로 전송하는 제어부(8-①, ②)로 구성된다. 제어부 내부를 살펴보면 구동 SMPS(Switched- Mode Power Supply) 파워(8-⑤)와 DIGI 社の 안테나가 포함된 XBEE pro 지그비 통신 모듈(8-⑦)이 결합된 제어 보드(8-⑥)를 확인할 수 있다. 지그비 통신을 위해 사용한 DIGI 社の XBEE Pro 지그비 모듈은 개발 제작 보드와 컨넥터 타입으로 물리적인 연결이 이루어져 있다. 서지전압 및 누설전류 측정은 전원이 인가된 인두 팁과 개발 장비 전압 및 저항 측정 센서 팁 간 접촉(8-③)을 통해 이루어진다. 이때, 전압 측정상태를 표시하는 LED(Light Emitting Diode)(8-②)가 점등된다.

그림 9는 개발 인두기 테스터의 인두기 상태 데이터를 측정하는 원리를 나타낸 것이다. 인두기 접지 상태 불량 시 교류 전원 성분이 발생하여 10~100[mVac] 사이의 전압 값이 7-세그먼트를 통해

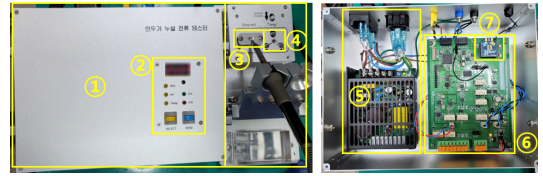


그림 8. 개발 인두기 테스터 하드웨어 및 내부  
Fig. 8. Development Soldering-iron tester hardware and inside

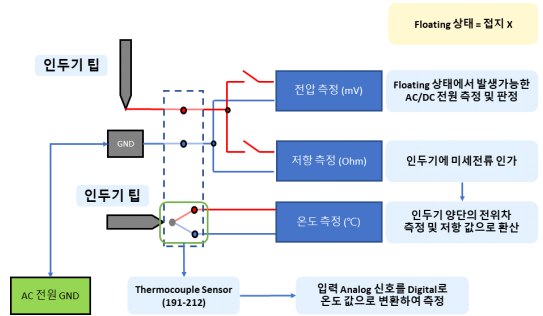


그림 9. 개발 인두기 테스터 하드웨어 및 내부  
Fig. 9. Development Soldering-iron tester hardware and inside

값이 출력되고, 접지 상태 양호 시, 10[mVac] 이하의 전압 값이 출력된다. 저항 측정은 개발 인두기 테스터 측정 센서 측에 미세전류를 흘리고 이 때 발생하는 인두기 양단의 전위차를 측정하여 저항값으로 환산하여 측정한다. 온도 측정은 개발 장비에 부착된 열전대 센서와 인두 팁이 접촉(8-④)되어 진행된다. 전압 측정, 저항 측정 그리고 온도 측정 모드 선택은 스위치(8-②)를 통해 이루어진다.

그림 10은 개발 인두기 상태 데이터 측정기를 나타낸 것이다. 인두 팁과 센서 접촉을 원활하게 지원하기 위해 별도 제작된 인두기 거치대는 10-①과 같다. 인두기 거치대 내부 공간으로 인두기를 삽입하면 인두 팁 온도 측정을 위한 온도센서 (10-②)와 인두기 서지

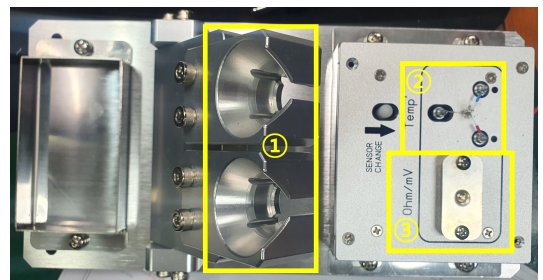


그림 10. 개발 인두기 상태 데이터 측정기  
Fig. 10. Developed Soldering-Iron Status Data Meter

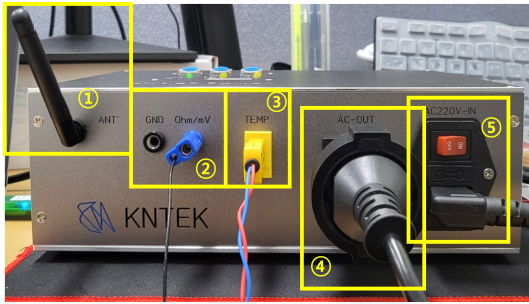


그림 11. 개발 인두기 테스터 I/O 포트  
Fig. 11. I/O port of developed Soldering-iron tester

전압 및 절연 저항 측정을 위한 센서 (10-③)와 접촉이 이루어진다.

그림 11은 개발 인두기 테스터의 모든 I/O(Input/Output) 포트를 나타낸 것이다. 11-①은 제어보드에서 모니터링 PC 프로그램으로 인두기 상태 데이터 전송 시 사용하는 지그비 안테나를 나타낸 것이다. 11-②는 서지 전압과 절연저항을 측정기로부터 시리얼통신을 통해 수집하기 위해 제작된 바나나잭 전용 포트이다. 11-③은 인두 팁의 온도 데이터를 수집하기 위해 별도 제작된 포트이고 11-⑤는 개발 인두기 테스터의 구동을 위해 인가되는 교류 220V 포트이고 별도로 전원 인가를 조절할 수 있는 스위치도 포함되어 있다. 11-④는 사용자의 편의성을 제공하기 위해 인두기 전원 공급을 위해 제작된 전원부이다. 인두기 뿐만 아니라 기타 장비의 전원 공급도 가능하다.

### 3.2 인두기 테스터 소프트웨어 구조 및 기능 블록도

그림 12는 개발 인두기 테스터에서 전송한 인두기 상태 데이터를 출력하고 통신 상태를 확인할 수 있는 실시간 인두기 상태 모니터링 PC 프로그램의 메인화면을 나타낸 것이다. 모니터링 PC 프로그램에서 Start 버튼(12-②)을 클릭하면 개발 인두기 테스터들에게 데이터 전송 명령어가 전송된다. Stop 버튼(12-②)을 클릭하면 모니터링 PC 프로그램과 개발 인두기 테스터의 통신이 종료되고 이에 따라 데이터 수신도 중지된다. 개발 인두기 테스터로부터 데이터를 수신하고 있는 상황이라도 Quit 버튼(12-②)을 클릭하면 데이터 통신이 종료되고 모니터링 PC 프로그램도 종료된다. 모니터링 PC 프로그램에서 Start 버튼을 클릭 후 데이터 통신이 시작되면 지그비 인터페이스를 통해 개발 인두기 테스터들이 전송한 인두기 상태 데이터를 수신하고 모니터링 PC 프로그램은 데이터 모니터링 윈도우(12-③)를 통해 각 인두기의 서지 전압, 절연저항,

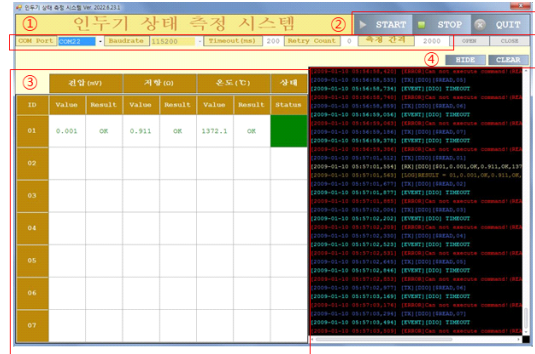


그림 12. 실시간 인두기 상태 모니터링 PC 프로그램 메인 화면  
Fig. 12. Real-time Soldering-Iron Tester Monitoring PC Program Main Screen

인두 팁 온도를 출력하게 되고 각 항목 출력 값이 정상 범주 내 값이면 OK라는 상태 값을 출력한다. 서지 전압, 절연 저항 그리고 인두 팁 온도의 상태가 모두 OK가 되어야 최종 인두기 판정 상태는 녹색 박스로 표현된다. 세가지 항목 중, 1개의 항목이라도 비정상일 경우 최종 인두기 판정 상태는 빨간색 박스로 표현된다. 12-④는 모니터링 PC 프로그램과 지그비 통신이 이루어지고 있는 모든 개발 인두기 테스터들의 통신 상태를 출력하는 윈도우이다. 모니터링 PC 프로그램과 개발 인두기 테스터의 1:N 연결 상태를 실시간으로 확인할 수 있으며 사용자의 설정에 따라 윈도우를 숨길 수도 있고 통신 상태 내역을 전부 초기화 할 수 있다. 12-①은 모니터링 PC 프로그램과 PC에 장착되어있는 지그비 리더기 간 통신 포트 설정, 보드울 설정, 개발 인두기 테스터로부터 수신하는 채널 할당 Ack 신호 유효 대기시간 그리고 데이터 측정 및 수집 주기를 설정 가능하다. 또한 개발 인두기 테스터가 채널 할당을 받지 못했을 때, 모니터링 PC 프로그램으로 재전송 가능한 요청 횟수도 설정할 수 있다.

그림 13은 개발 인두기 상태 모니터링 PC 프로그램과 개발 인두기 간 통신 절차를 나타낸 것이다.

모니터링 PC 프로그램이 활성화되고 통신을 위한 포트 설정, 데이터 통신 속도, 통신을 위한 대기 시간, 재전송 횟수 그리고 측정 간격 등을 설정하고 Start 버튼을 클릭하면 각 개발 인두기 테스터 측으로 동시에 수집 데이터 전송을 요청한다. 모니터링 PC 프로그램으로부터 데이터 전송을 요청받은 모든 개발 인두기 테스터들은 측정된 인두기 상태 데이터를 전송하기 위한 채널을 할당받기 위해 채널 할당 Ack 신호를 모니터링 PC 프로그램으로 전송한다. 채널 할당 Ack 신호를 수신한 모니터링 PC 프로그램은 Ack 신호를 요



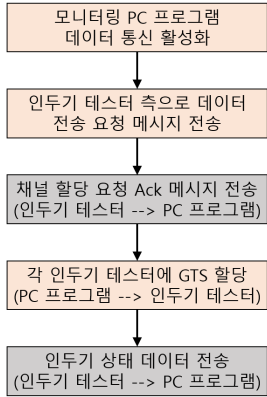


그림 13. 모니터링 PC 프로그램과 개발 인두기 테스터 통신 절차  
Fig. 13. Monitoring PC Program and Development Soldering-Iron Tester Communication Procedure

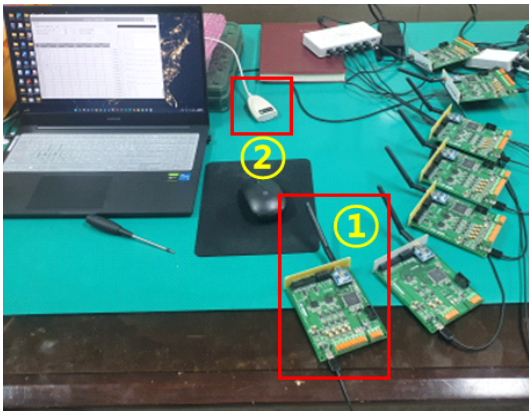


그림 14. 지그비 통신 1:7 연결 테스트  
Fig. 14. Soldering-Iron status data real-time monitoring PC program

청한 순서대로 각 개발 인두기 테스터들에게 GTS를 할당한다. GTS를 할당받은 개발 인두기 테스터들은 현재까지 측정한 인두기의 상태 데이터를 전송한다. 지그비 통신 연결 테스트를 그림 13과 같이 수행하여 지그비 통신 제어 보드 7개가 동시 접속된 것을 나타낸 것이다. 14-①은 단위 지그비 통신 제어 보드를 나타낸 것이며, 14-②는 모니터링 PC 프로그램 측 지그비 리더기를 나타낸 것이다.

그림 15는 모니터링 PC 프로그램을 보이며, 지그비 연결 상태를 모니터링한다. 환경설정(15-①)에서 각 지그비 통신 모듈마다 고유 PAN ID(3332)를 부여하고 Reference Voltage Read 값(5V) 및 Offset Volt Read 값(1V)을 설정한다. 이후, Ch1에서 7개의 모듈이 동시에 연결되는 것(15-②)을 확인할 수 있다. 15-③은 현재 연결된 지그비 모듈의 통신 연결 상태를 나

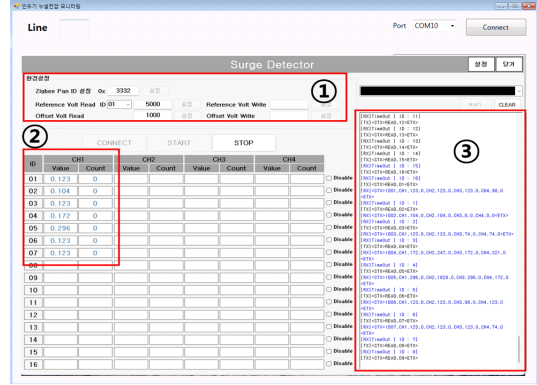


그림 15. 모니터링 PC 프로그램 지그비 연결 상태 모니터링 화면  
Fig. 15. Soldering-Iron status data real-time monitoring PC program

타낸 것이다. 지그비 모듈의 동시 연결 개수가 7개를 초과하면 지그비 제어 보드 자체는 인식이 가능하지만 측정 주기마다 연속적으로 데이터를 전송하지 못하는 지그비 제어 보드가 발생하고, 특정 지그비 제어 보드의 데이터만 전송되는 현상이 나타났다. 또한 동시 연결 개수가 증가할수록 지그비 제어 보드에서 전송한 데이터 일부가 소실되는 현상도 발생하였다.

#### IV. 실험 및 결과

##### 4.1 지그비 통신 모듈 파라미터 설정

그림 16은 개발 인두기 테스터 측정 거치대에서 인두기 상태 데이터를 수신한 후 모니터링 PC 프로그램으로 데이터를 전송하는 제어 보드(주케이엔텍社)의 지그비 통신을 위한 인터페이스 설정 과정이다. 제어 보드 입력 전원은 5Vdc, 2.0A 규격의 직류전원 장치를 사용하였다. 각 개발 인두기 테스터의 측정 채널 수는 4채널이며, 측정한 아날로그 형태의 인두기

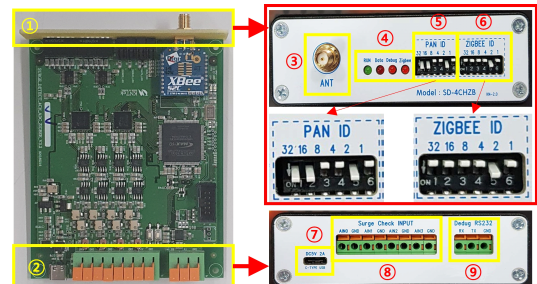


그림 16. 개발 인두기 테스터 제어 보드 지그비 인터페이스 설정  
Fig. 16. Development Soldering-Iron tester control board Zigbee interface setting

상태 데이터를 디지털로 변환하기 위한 ADC(Analog-to-Digital Converter) 분해능은 12bit로 설정하였다. ADC 샘플링 속도는 40Mbps로 설정되었고 서지전압 측정 범위는 0~50Vdc이다.

그림 17에서 본 실험에서 사용한 지그비 리더기는 IEEE 802.15.4 지그비 (2.4GHz~2.48535GHz) 주파수를 사용하며 USB 타입으로 PC에 연결된다. 제어 보드의 전면부(16-①)부를 살펴보면 16-③과 같이 2.4GHz Dipole 1/4 Wave 타입의 안테나를 부착할 수 있는 RP-SMA(Reverse Polarity-SubMiniature version A) 커넥터 포트가 있고 각 제어 보드를 구별하기 위해 지그비의 PAN ID 및 지그비 ID를 설정할 수 있도록 DIP(Dual-Inline Package) 스위치(16-⑤), 16-⑥) 형태로 구성하였다. 제어 보드의 PAN ID는 PC에 부착된 지그비 리더기의 PAN ID와 일치해야 하고 4자리 16진수 값이며 앞에 2자리는 33으로 고정되며 뒤의 2자리는 00~FF (0~255)이다. 그림 16과 같이 PC에 장착된 지그비 리더기와의 통신 보드율 115,200 bps를 적용하였다.

16-⑤를 참조하면 16진수 값이 32이므로 (11 0010) PAN ID = 3332 (16진수)로 설정되어있는 것을 확인할 수 있다. 지그비 ID는 1:N 동시 통신을 위해 리더기에서 각 제어 보드를 구분하기 위한 것이다. 좌측이 MSB(Most Significant Bit)이고 우측이 LSB(Least Significant Bit)이다. 스위치를 아래로 내리면 ON, 즉 해당 비트는 1로 설정된다. 지그비 ID는 십진수이며 0~255 구간 설정이 가능하다. 16-⑥을 참조하면 2의 자리가 1이므로 (00 0010) 지그비 ID = 2 가 되는 것을 확인할 수 있다. PAN ID나 지그비 ID를 변경 후에는 반드시 제어 보드 전원을 리셋 시켜주어야 변경된 조건이 적용된다. 16-④는 제어 보드의 동작 상태와 지그비 통신 상태를 확인할 수 있는 LED이다. 16-⑦은 USB-C(Universal Serial Bus Type C) 타입의 전원 장치이며 16-⑧은 개발 인두기 테스터 제어 보드에서 서지 전압을 측정할 인두기 측정 거치대와 연결



그림 17. 1:N 통신을 위해 PC에 장착된 지그비 리더기 (DIGI 社)  
Fig. 17. Zigbee Reader (DIGI Inc.) mounted on PC for 1:N communication

되는 유선 케이블을 장착하는 포트이다. 16-⑨는 제어 보드 디버깅을 위한 RS-232((Recommended Standard 232) 통신 포트이며 보드율은 115,200 bps로 설정하였다.

그림 18은 X-CTU 프로그램을 활용하여 개발 인두기 테스터와 모니터링 PC 프로그램 1:N 통신 시 데이터를 수신하는 PC 측 지그비 리더기의 파라미터를 설정한 화면이다. 지그비 모듈을 신규 추가하면 그림 19

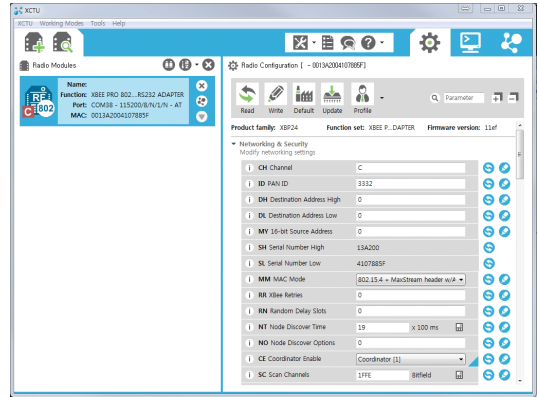


그림 18. 모니터링 PC 프로그램 측 지그비 리더기 환경설정용 XCTU 프로그램  
Fig. 18. XCTU Program for Zigbee Reader Configuration to Monitoring PC Program

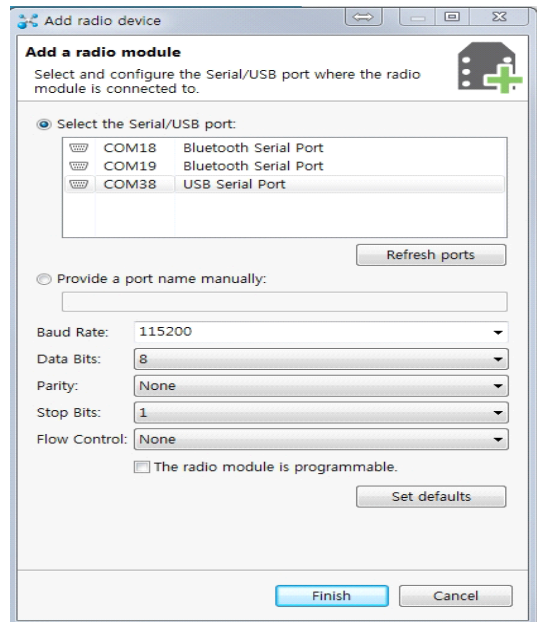


그림 19. 지그비 리더기 통신 포트 및 데이터 통신 파라미터 설정  
Fig. 19. Setting Zigbee Reader device Communication Port and Data Communication Parameters



와 같이 COM(COMMunication) 포트를 설정하는 기능과 보드웬, 1주기에 전송하는 데이터 비트, 패리티 비트 활성화 여부 그리고 개발 인두기 테스터와의 데이터 통신을 중지시키는 정지 비트 활성화 여부가 설정 가능하다.

그림 20은 지그비 리더기의 파라미터 설정이 완료되고 난 후 XCTU 프로그램에 연결된 모습이다. 그림 21은 최종 지그비 리더기 설정 화면으로 사용하고자 하는 PAN ID 및 노드의 형태 설정 그리고 보드 인터페이스 데이터율을 설정하는 화면이다. 각 항목을 선택하고 연결 아이콘을 클릭하여야 변경된 설정이 저장된다. 본 논문에서 진행한 실험에서는 개발 인두기 테스터와의 파라미터 설정을 동일하게 하였다.

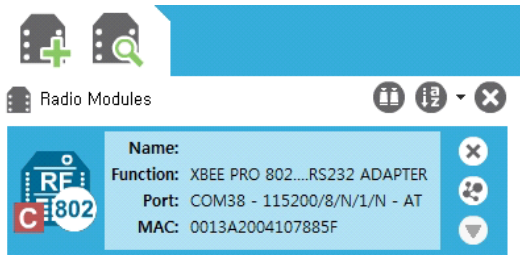


그림 20. 지그비 리더기가 X-CTU 프로그램에 연결된 모습  
Fig. 20. The Zigbee reader is connected to the X-CTU program

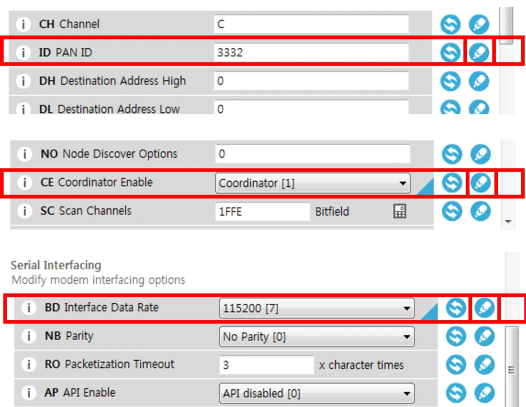


그림 21. 모니터링 PC 프로그램 측 지그비 리더기 환경설정(XCTU 프로그램)  
Fig. 21. Setting the Zigbee Reader Environment Variables on the Monitoring PC Program Side(XCTU program)

#### 4.2 실험 파라미터 및 환경

본 절에서는 제안한 시스템의 성능 평가를 위해 사용한 파라미터와 구성된 실험환경에 대해 설명한다. 그림 22는 제안하는 지그비 기반 실시간 인두기 상태

모니터링 플랫폼을 실험한 테스트베드이다. 테스트베드 환경은 주식회사 케이엔텍의 연구소, 생산실, 사무실 등 전 구역에서 그림 23과 같이 모니터링 PC 프로그램을 회사의 중앙에 위치시킨 후, 각 개발 인두기 테스터를 일정한 간격에 따라 배치시키고 진행하였다. 모든 제어 보드 지그비 모듈의 통신주파수는 2.4GHz를 적용하였고, 지그비 모듈 송출 파워는 100mW를 적용하였다. 모니터링 PC 프로그램과 개발 인두기 테스터 제어 보드의 지그비 모듈 동시 연결 개수를 거리에 따라 측정 및 분석하였다. 또한 위 과정을 통해 지그비 통신 최대 유효 커버리지를 도출하였다.

지그비 통신 제어보드 및 모니터링 PC 프로그램 간 1:7 연결 테스트를 위한 실험환경은 50m × 100m LoS(Line of Sight) 환경으로 설정하였으며 배치 간격은 10 ~ 15m로 설정하였다.



그림 22. 지그비 기반 실시간 인두기 상태 모니터링 실험 환경  
Fig. 22. Zigbee-based real-time soldering-iron state monitoring testbed

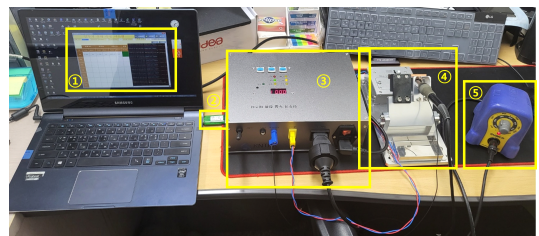


그림 23. 개발 인두기 테스터 플랫폼 배치도  
Fig. 23. Development Soldering-iron tester platform layout

#### 4.3 지그비 기반 인두기 테스터 측정 실험 결과

표 1과 같이 인두기 상태 데이터 측정 범위는 모두 유사한 구간을 나타냈다. 서지전압과 절연저항 측정 분해능은 개발 인두기 테스터가 기존 장비 대비 10배 향상된 측정 성능을 나타냈고 온도 측정은 개발 인두기 테스터가 4배 향상된 측정 분해능을 보여주었다. 표 2는 지그비 통신 방식에 따른 서지전압 동시 측정

표 1. 인두기 검사장비 측정 성능 비교 결과 (HAKKO 社 vs 개발 인두기 테스터)

Table 1. Comparison result of measuring performance of the soldering-iron tester (HAKKO Vs developed inspection equipment)

측정 데이터		개발 검사장비	HAKKO 社
서지 전압 [mVac]	측정 범위	0~100 [mVac]	0~99.9 [mVac]
	분해능	0.01 [mVac]	0.1 [mVac]
절연 저항 [Ω]	측정 범위	0~100 [Ω]	0~99.9 [mVac]
	분해능	0.01 [Ω]	0.1 [Ω]
온도 [°C]	측정 범위	0~700 [°C]	0~700 [°C]
	분해능	0.25 [°C]	1 [°C]

표 2. 데이터 송수신 방식 별 지그비 연결 성능  
Table 2. Zigbee connection performance by data transmission and receiving method

데이터 전송방식	서지 동시측정	노드 동시 연결 개수	동시 연결 소요 시간	접속 유지시간
브로드캐스팅	2 ~ 4	1:4	20s	120s
Polling-Ack	7	1:7	7s	연결 지속

수와 단위 주기 노드 최대 연결 개수, 지그비 모듈 7개가 동시에 지그비 리더기에 연결되는 소요시간 그리고 1:7 동시 접속이 유지되는 시간을 나타낸 것이다.

실험을 통해 측정된 각 지그비 통신 모듈 유효 측정 커버리지는 최대 80m이다. 80 ~ 100m 구간에서는 지그비 모듈의 동시 연결 개수가 7개를 초과하면 지그비 제어 보드는 인식이 가능하지만 측정주기마다 연속적으로 데이터를 전송하지 못하는 지그비 제어 보드가 발생하고, 특정 지그비 제어 보드의 데이터만 전송되는 새도우잉 현상이 나타났다. 브로드캐스팅 방식은 모든 지그비 통신 제어 보드에서 데이터 수신 여부와 상관없이 1초 간격으로 PC 프로그램 측으로 측정 데이터를 동시에 전송하는 방식이고 Polling-Ack 방식은 PC 프로그램 측에서 데이터 전송 요청 Read 명령을 전송하면 명령을 수신한 지그비 통신 제어 보드는 현재까지 측정된 데이터를 500ms마다 전송하는 방식이다. Polling-Ack 방식이 브로드캐스팅 방식 대비 단위 주기 동시 노드 최대 연결 개수 및 서지 데이터 동시 측정 수가 더 높은 것을 확인하였다. 또한 1:7 연결에 소요되는 시간 역시 브로드캐스팅 방식에 비해 감소한 것을 확인하였고 1:7 연결이 유지되는 접속 유지 시간 역시 지그비 모듈의 전원이 차단되지 않는

이상 지속적으로 나타나는 것을 확인하였다. 브로드캐스팅 방식의 경우 모든 지그비 제어 보드가 1초 간격으로 동시에 측정 데이터를 전송하기 때문에 패킷 충돌이 빈번하게 발생하여 1주기 당 데이터 동시 측정 수 및 노드 연결 개수가 최대 4개로 제한된다. 반면 Polling-Ack 방식의 경우 PC 프로그램과 각 지그비 노드가 개별적인 Ack 신호 교환을 통해 채널 할당이 이루어지고 패킷 충돌이 상대적으로 감소하기 때문에 1주기 당 데이터 동시 측정 수 및 연결 개수가 증가한다.

## V. 결론 및 추후 연구 방향

본 논문에서 제안하는 시스템은 기존 기술 대비 서지전압 및 절연저항 측정 분해능 성능에서 10배 우수한 성능을 보였으며, 온도 측정 분해능 성능에서는 4배 우수한 성능을 나타내었다. 또한 지그비 통신시 브로드캐스팅 방식과 Polling-Ack 방식의 비교를 통해 안정적인 1:7 노드 동시 연결 및 데이터 전송기법을 구현하였고 이를 통해 모니터링 시스템의 효율성을 검증하였다. 본 논문의 실험 결과 LoS 테스트베드 환경에서 실제적인 지그비 연결 노드 수가 1:7을 초과하는 경우 특정 노드에서 데이터가 전송되지 않는 차단 현상 및 통신 연결이 불안정해지는 현상이 발생하였다. 향후, 본 논문에서 기존지그비 통신 시 적용한 데이터 전송 방식인 브로드캐스팅 방식 및 Polling-Ack 방식 대비 비콘 기반 각 노드 별 GTS 타임슬롯을 별도로 할당하여 코디네이터와 각 노드가 미리 정해진 타임슬롯 구간동안 순차적으로 데이터 통신을 수행하는 방식인 TDMA(Time Division Multiple Access) 기법을 적용하여 데이터 통신 시 유효한 1개의 코디네이터 당 연결되는 최대 노드 라우트 수를 도출 및 검증하고 LoS 뿐만 아니라 실내 구조가 복잡한 NLOS(Non Line Of Sight) 환경에서 비교하고자 한다. 또한 추가적으로 AI(Artificial Intelligence) 알고리즘을 적용하여 실시간 수집되는 인두기 상태 데이터를 지속적으로 학습하고 인두기 예상 교체 주기 또는 PCB 제품 별 적정 구동 기능을 추천하는 시스템을 구현하여 생산 라인 공정의 Re-work 효율을 높이는 방안을 연구하고자 한다.

## References

- [1] K. S. Oh, "Development of digital solder station based on PID controller," *J. KAIS*, vol. 11, no. 3, pp. 866-872, Mar. 2010.

<https://doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.3.866>

[2] Y. K. An and D. H. Yoon, "Design and fabrication of the digital iron using the micro-processor," *J. IEEK SC*, vol. 38, no. 5, pp. 33-41, Sep. 2001.

[3] J. H. Hwang, Y. Y. Qian, Y. H. Jiang, and Q. L. Wang, "A dislocation model of shear fatigue damage and life prediction of SMT solder joints under thermal cycles," *Microelectronics and Reliability*, vol. 33, no. 4, pp. 535-542, Mar. 1993.  
(<https://doi.org/10.1109/33.159885>)

[4] M. Gronalt, M. Grunow, H. O. Günther, and R. Zeller, "A heuristic for component switching on SMT placement machines," *Int. J. Production Econ.*, vol. 53, no. 2, pp. 181-190, Nov. 1997.  
([https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(97\)00119-9](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(97)00119-9))

[5] J. H. Yoon, S. G. Jang, J. M. Jung, and B. J. Ko, "Implementation of the integrated monitoring system for improvement of production environment," *J. Adv. Navig. Technol.*, vol. 23, no. 5, pp. 481-486, Oct. 2019.  
(<https://doi.org/10.12673/jant.2019.23.5.481>)

[6] J. H. Ju and S. K. Na, "Implementation of leakage monitoring system using ZigBee," *J. Adv. Navig. Technol.*, vol. 21, no. 1, pp. 107-112, Feb. 2017.  
(<https://doi.org/10.12673/jant.2017.21.1.107>)

[7] Y. H. Park, H. K. Lee, M. K. Seo, and J. Kim, "A study on the application of real-time environment monitoring system in underground mines using Zigbee technology," *Tunnel & Underground Space*, vol. 29, no. 2, pp. 108-123, Mar. 2019.  
(<https://doi.org/10.7474/TUS.2019.29.2.108>)

[8] ZigBee Alliance, *ZigBee 2007 Specification*, 2007.

[9] S. J. Woo and B. D. Shin, "Grouping algorithms of zigbee nodes for efficient data transmission to long range," *The Trans. KIEE*, vol. 61, no. 4, pp. 632-638, Apr. 2012.  
(<https://doi.org/10.5370/KIEE.2012.61.4.632>)

[10] ZigBee Alliance, *ZIGBEE SPECIFICATION*, 2008.

[11] ZigBee Alliance, *ZigBee Light Link Standard*, Version 1.0, ZigBee Document 11-0037-10, 2012.

[12] ZigBee Alliance: <http://www.zigbee.org>

[13] "*IEEE Std. 802.15.4-2003*," IEEE Computer Society, 2003.

김 래 현 (Rae-Hyeon Kim)



2014년 2월 : 한국공학대학교 전자공학과 졸업 (학사)  
2017년 2월 : 한국공학대학교 신기술융합학과 (석사)  
2021년 3월~현재 : 한국공학대학교 IT반도체융합공학과 (박사과정)

<관심분야> 실내위치추위, 인공지능, VLC 통신  
[ORCID:0000-0003-4219-6729]

오 성 현 (Sung-Hyun Oh)



2019년 2월 : 남서울대학교 전자공학과 졸업 (학사)  
2021년 2월 : 한국공학대학교 전자공학과 졸업 (석사)  
2021년 3월~현재 : 한국공학대학교 정보통신학과 박사과정

<관심분야> 실내위치추위, 인공지능, 5G 이동통신  
[ORCID:0000-0002-1974-8612]

김 정 곤 (Jeong-Gon Kim)



1991년 2월: KAIST 전기 및 전  
자공학과 졸업 (학사)

1993년 2월: KAIST 전기 및 전  
자공학과 졸업 (석사)

1998년 2월: KAIST 전기 및 전  
자공학과 졸업 (박사)

1998년 6월~1999년 5월: 하와

이주립대학교 전자공학과 Post Doc.

1999년 7월~2001년 3월: LG텔레콤 선임연구원

2001년 4월~2003년 2월: 삼성전자 통신연구소 표준  
연구팀 책임연구원

2010년 3월~2011년 2월: 미국 USC 전기공학과  
Visiting Scholar

2018년 3월~2019년 2월: 미국 산호세 주립대학교 글  
로벌 책임교수

2003년 3월~현재: 한국공학대학교 전자공학부 교수  
<관심분야> 5G이동통신, 간섭제거, 무선자원할당  
VLC, 위치추위, 기지국 협력통신, UDN AI, 협업로  
봇, WPAN, WBAN 설계 및 응용분야

[ORCID:0000-0002-9349-2846]