

# 전력선 통신 기반 전관 방송시스템의 펌웨어와 UI

김석\* · 김대익\*\*

Firmware and UI for Power Line Communication Based Public Address System

Seok Kim\* · Dae-Ik Kim\*\*

## 요 약

전관방송 시스템은 위급상황 및 비상상황에서도 누구나 손쉬운 조작과 운영, 그리고 장비의 안정적 동작이 우선시되어야 한다. 본 논문에서는 전력선 통신 기반 전관방송 시스템 사용자에게 편리성과 효율성을 제공하기 위해, 전관방송 시스템의 PLC(Power Line Communication) 제어기와 UI(User Interface) 그리고 PLC 제어기와 PLC 스피커 간의 통신을 제어하기 위한 펌웨어를 구현하였고, 사용자가 컴퓨터 화면에서 손쉽게 사용할 수 있도록 UI 소프트웨어를 개발하였다.

## ABSTRACT

The public address system should be easily operated and managed by the users, and guaranteed to serve stable working in an emergency and a crisis. In this paper, to provide power line communication based public address system users with convenience and efficiency, we implement a firmware to control communication between a PLC(: Power Line Communication) controller of the public address system and UI(: User Interface) and between a PLC controller of the public address system and PLC speakers, and develop a UI software.

## 키워드

Firmware, PA Controller, Power Line Communication, Public Address, User Interface  
펌웨어, PA 제어기, 전력선 통신, 전관 방송, 사용자 인터페이스

## 1. 서 론

전력선 통신(Power line communication, PLC)은 전력선을 통하여 흐르는 상용주파수 50/60 Hz의 저주파 전력신호에 수십 MHz까지의 고주파 신호를 실어 음성과 문자데이터, 영상 등을 전송하는 통신기술이다 [1-2].

차세대 정보통신 기술로써 각광받고 있는 PLC 기

술은 주로 홈 네트워크 분야[3-5]에서 관심을 갖고 적용하고 있으나, 전력량계 모니터링 시스템[6-7], 음향 시스템[1-2, 8] 등의 우리생활에 필수적인 분야에도 적용되어 연구가 진행 중에 있다.

음향 시스템의 한 분야인 전관방송(Public address, PA) 시스템은 학교, 관공서, 대형빌딩, 항만, 공항 등의 구내방송을 위한 시스템으로서 구내 안내방송은 물론 화재와 같은 긴급 상황 발생 시 비상 방송용으

\* 건양대학교 의공학부 교수(kims@konyang.ac.kr)

\*\* 교신저자 : 전남대학교 전기전자통신컴퓨터공학부

· 접수일 : 2018. 09. 29

· 수정완료일 : 2018. 12. 07

· 게재확정일 : 2019. 02. 15

· Received : Sep. 29, 2018, Revised : Dec. 07, 2018, Accepted : Feb. 15, 2019

· Corresponding Author : Dae-Ik Kim

School of Electrical, Electronic Communication, and Computer Engr.,

Chonnam National University.

Email : daeik@jnu.ac.kr

로 사용된다[9]. 전력을 공급하는 전력선을 매개로, 음성과 데이터를 주파수 신호에 실어 통신하는 기술인 전력선통신 기술을 이용하여 기존 아날로그 전관방송을 대체하는 PLC 기반 전관방송 시스템을 [10]에서 구현하였다. 이 시스템은 하나의 스피커 선로에 스피커 구동에 필요한 전력과 다채널 오디오 및 제어/모니터링 용 데이터 통신을 제공하며, PLC 기반 PA 제어기와 PLC 기반 스피커로 구성되어 있다.

본 논문에서는 [10]에서 개발한 전관방송 시스템을 안정적이고 효율적이며 편리하게 사용할 수 있도록 전관방송 시스템의 PLC 제어기와 UI 그리고 PLC 제어기와 PLC 스피커 간의 통신을 제어하기 위한 펌웨어를 구현하고, 시스템 사용자가 시스템 제어용 컴퓨터에서 직관적으로 편리하게 사용할 수 있도록 UI 소프트웨어를 개발한다.

II장에서는 PLC 기반 전관방송 시스템의 구성 방식과 시스템 구현에 대해 살펴봄, III장에서는 PLC 제어기와 UI 그리고 PLC 제어기와 PLC 스피커 간의 통신을 제어하기 위한 펌웨어 구현에 대해 설명한다. IV장에서는 사용 편의성을 고려한 UI 소프트웨어 개발에 대해 논한다.

## II. PLC 기반 PA 시스템

### 2.1 PLC PA 제어기

PLC PA 제어기는 아래와 같은 기능을 수행한다 [10].

- 1) 다채널 오디오 전송기능
  - 다채널 아날로그 오디오 입력 및 출력
  - 채널별 오디오 변조 및 전송
  - 브로드 캐스팅 방식의 전송으로 딜레이 및 음원 간섭 해결
  - 화재 대피방송 및 시보 등의 기능
- 2) PLC 스피커 제어기능
  - PLC 스피커 ID 식별 및 필터링
  - 제어 메시지 전송 및 PLC 스피커 상태관리
  - 통합제어 소프트웨어와 통신을 위한 이더넷 인터페이스

PA 제어기는 그림 1과 같이 오디오 입력 신호를

처리하는 Sound Encoding 부, CPU 부, OFDM PLC PHY 모듈 부, 그리고 User Interface 부 등으로 구성 되어진다.

### 2.2. PLC 스피커

PLC 스피커는 아래와 같은 기능을 수행한다[10].

- 1) 오디오 수신기능
  - 8채널 오디오 중 특정 채널 선택 기능
  - 수신 오디오 신호 복조 기능
  - 오디오 음량조절 및 음소거 기능
- 2) 데이터 통신기능
  - PLC PA 제어기와 통신 기능 제공
  - UART 방식 통신

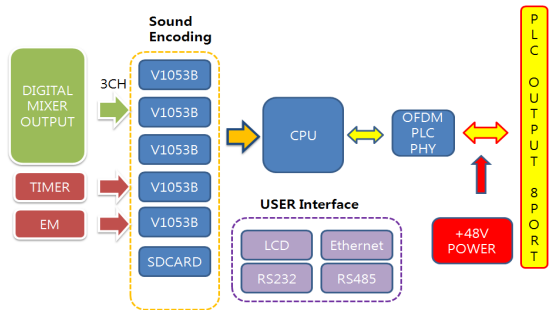


그림 1. PLC PA 제어보드 구성도  
Fig. 1 Block diagram of PLC PA control board

PLC 기반 스피커 하드웨어는 그림 2와 같이 OFDM PLC PHY 모듈 부, CPU부, Sound Decoding 부, 그리고 오디오 앰프 출력부(TPA3123D2) 등으로 구성되어진다.

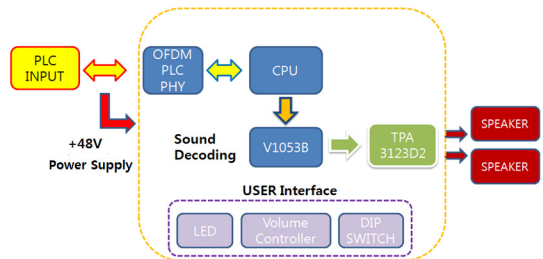


그림 2. PLC 스피커 구성도  
Fig. 2 Block diagram of PLC speaker

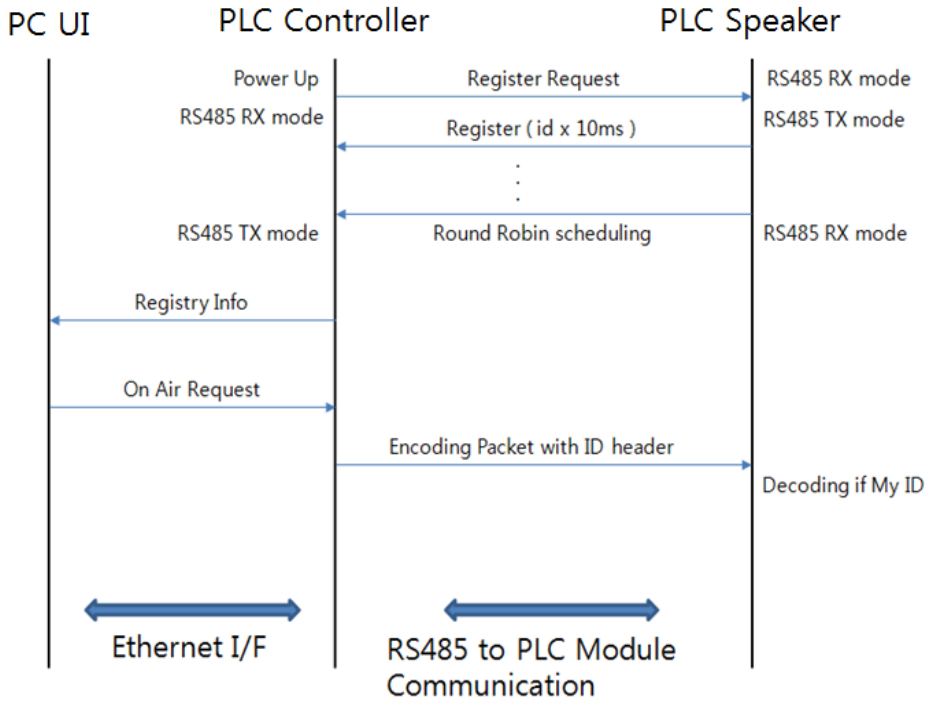


그림 3. PLC PA 제어기 펌웨어의 동작 흐름도  
Fig. 3 Flow diagram of a firmware for PLC PA controller

구현한 PLC 기반 PA 제어기와 PLC 기반 스피커의 성능측정 결과, 오디오 최대 출력은 1.44W, 오디오 채널 응답 시간은 최대 215ms, 오디오 출력 SNR은 최소 65dB, 그리고 오디오 출력 THD+N은 7%를 보여 만족할 만한 성능을 얻었다.

### III. 펌웨어 개발

PLC PA 제어기의 펌웨어를 개발하기 위해 아래와 같은 툴을 사용하였다.

- Development Tool: MPLAP X-IDE v3.40 [MPLAP]
- Compiler Tool-chain: XC32 v1.42 [X컴파일러]
- Debug Tool: MPLAP ICD3 [MPLAP 인서킷 디버거]

PLC PA 제어기의 펌웨어는 그림 3과 같이 PLC 제어기 ↔ PC UI와 PLC 제어기 ↔ PLC 스피커 사

이의 통신을 제어하는 역할을 수행하며, PLC 제어기와 PC UI 간의 통신은 이더넷의 UDP 방식을 사용하며, PLC 제어기와 PLC 스피커 간의 통신은 RS485 시리얼 통신 방식을 이용하여 데이터를 송수신하도록 구현하였다.

#### 3.1 PLC PA 제어기와 PLC 스피커 간의 통신

PLC PA 제어기와 PLC 스피커의 하드웨어 구동을 위한 소프트웨어 계층도는 그림 4와 같고, PLC PA 소프트웨어는 PLC 스피커 ID 식별 및 필터링, Round Robin Scheduling, Short 메시지 전송을 통한 PLC 스피커 상태관리 및 설정 변경, 통합제어 소프트웨어와 통신을 위한 이더넷 인터페이스, TCP/IP Session 관리 기능 등이 있다.

PLC PA 제어기와 PLC 스피커 사이의 통신은 아래와 같이 스피커를 등록하는 과정과 음원 데이터를 스피커로 전송하는 과정이 있다.

- PLC 스피커 등록 과정

PLC PA 제어기 장비 온 -> PLC 스피커로 PA에 등록 요청 -> 10ms 마다 PLC 스피커 등록 정보 확인 -> 등록된 스피커 정보를 PC UI로 데이터 전송  
 - 음원 데이터 전송 과정

PLC PC UI ON AIR 요청 -> 음원 인코딩 -> 인코딩데이터에 ID 첨부하여 스트리밍 데이터 PLC 스피커로 전송 -> PLC 스피커에서 해당 ID 및 음원 정보 확인하여 방송 송출

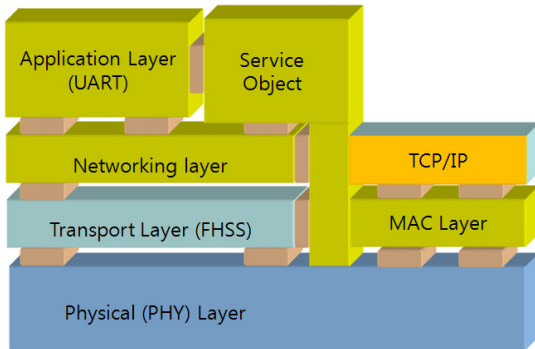


그림 4. PLC PA 소프트웨어 계층도  
 Fig. 4 Hierarchy of PLC PA software

PLC PA 제어기와 스피커간의 통신 프로토콜은 이더넷의 UDP 방식을 사용하였고, 커맨드를 전송할 때 사용하는 커맨드 데이터 패킷과 음원을 전송할 때 사용하는 스트리밍 데이터 패킷으로 구분하여 설계 하였다.

- 커맨드 데이터 패킷 구성

커맨드 데이터 패킷은 그림 5와 같이 커맨드 구분 식별자 2바이트, Op code 2바이트, 파라미터 데이터 11바이트로 구성되어 있으며, 커맨드 데이터를 이용하여 스피커 ID를 식별하고 등록 할 수 있으며, PLC 스피커의 온/오프라인 상태를 확인 할 수 있도록 구현 하였다.

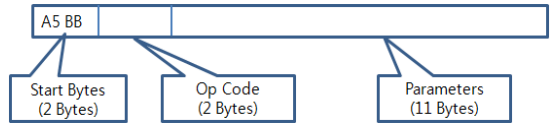


그림 5. 커맨드 데이터 패킷 구조  
 Fig. 5 Structure of command data packet

- 스트리밍 데이터 패킷 구성

스트리밍 데이터 패킷은 그림 6과 같이 스트리밍 데이터 구분 식별자 2바이트, 그룹정보 1바이트, 스피커 ID 1바이트, 스트리밍 데이터 10바이트로 구성되어 있으며, PA 제어기는 동시에 3음원을 시리얼하게 PLC 스피커로 전송하게 구현하였다.

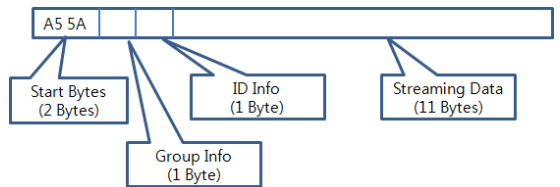


그림 6. 스트리밍 데이터 패킷 구조  
 Fig. 6 Structure of streaming data packet

3.2 PLC PA 제어기와 PC UI 간의 통신

PLC PA 제어기와 PC UI 간의 통신 프로토콜은 UDP 방식을 사용하며, 디바이스 검색포트는 23002번, 디바이스 통신 포트는 23003번을 사용하도록 설계되어 있다. 패킷구조는 2바이트 헤더와 1바이트 Op code 로 구성되어 구현하였다.

PLC PA제어기와 PC UI 간의 통신을 위한 주요 패킷을 살펴보면 다음과 같다.

- PLC\_DEV\_SEARCH: 동일 네트워크에 존재하는 디지털믹서 장비 검색을 위한 패킷
- PLC\_HELLO: PC UI에서 PLC 제어기와 연결 상태를 유지하기 위해 주기적으로 전송하는 패킷
- PLC\_CONN: 운영 PC의 IP 주소를 서버에 등록 요청하고 응답하는 패킷
- PLC\_SPK\_CFG: 운영 UI에서 PLC 제어기와 통신하고 있는 PLC 스피커의 정보를 요청하는 패킷과 이에 대한 응답메시지로 요구하는 믹서 상태 값을 전송하는 패킷, 운영 UI에서 PLC 제어기에 PLC 스피커의 설정을 위해 송신하는 패

킷과 이에 대한 PLC 제어기의 응답패킷, 운영 UI에서 PLC 제어기에 PLC 스피커 상태를 요청하고 응답받기 위한 패킷, PLC 제어기의 내부 상태가 바뀔 때마다 전송하는 패킷 등으로 구성 이외에도 PLC의 상태를 제어하고 모니터링하기 위한 패킷과 PLC 스피커의 자가진단을 위한 패킷, 그리고 사용자 방송을 요청하기 위한 패킷 등으로 구성하였다.

### 3.3 펌웨어 동작 검증

개발한 펌웨어의 동작을 검증하기 위해 PLC PA 제어기와 PLC 스피커간의 식별 ID 및 디바이스를 등록하는 동작을 살펴보았다. 이를 위해 PLC PA 제어기가 등록 패킷을 보내면 PLC 스피커에서는 자신의 현재 정보를 커맨드 패킷 포맷에 맞춰 응답하는지 확인하였다. PLC PA제어기가 커맨드 패킷으로 PLC 스피커에 등록 정보를 요청하는 데이터를 보낸 뒤 데이터 수신을 기다리도록 펌웨어를 설계하였으며, 그림 7의 빨간색 부분과 같이 PA 제어기에서 데이터 송신이 잘 이루어지는 것을 확인할 수 있다.

```

RS485_Task start
Sequential_Request_Speaker_ID
Remote register request : ID3
Sent Data :
a5 bb d1 03 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 ff 00 e0 Received Speaker ID from 1
00 00 f0 Received Speaker ID from 2
00 e0 Received Speaker ID from 3
    
```

그림 7. PLC PA 제어기가 PLC 스피커에 등록 정보를 요청하는 콘솔 화면

Fig. 7 Console screen which displays requesting registration information from PLC PA controller to PLC speakers

또한 PLC 스피커는 PA 제어기로부터 받은 등록 요청 커맨드를 수행하여 PA 제어기로 디바이스 해당 정보를 송신하고 대기하도록 펌웨어를 설계하였으며, 그림 8의 빨간색 부분에서 PLC 스피커에 정보가 등록되는 것을 확인할 수 있다. 그림 9에서는 현재 등록되어 있는 PLC 스피커의 상태를 확인 할 수 있다.

## IV. PC 기반 UI 소프트웨어 구현

UI 소프트웨어는 장비 설정과 제어 기능의 목적으로 Visual studio 2015 (C#)를 사용하여 개발하였으며, 전문가뿐만 아니라 초보자 등 다양한 사용자가 쉽게 접근할 수 있도록 단순함과 편리함을 극대화시키는 방식으로 구현하였다.

```

RS485_Task start
Sequential_Request_Speaker_ID
Remote register request : ID3
Sent Data :
a5 bb d1 03 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 ff 00 e0 Received Speaker ID from 1
00 00 f0 Received Speaker ID from 2
00 e0 Received Speaker ID from 3
    
```

그림 8. PLC 스피커에서 정보가 등록되는 콘솔 화면

Fig. 8 Console screen which displays information registered in PLC speakers

```

Remote Speaker register finished
-- Remote Speaker Registry --
      0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
0)    - 0 0 0 - - - - -
10)   - - - - - - - - -
20)   - - - - - - - - -
30)   - - - - - - - - -
    
```

그림 9. 현재 등록되어 있는 PLC 스피커 상태 콘솔 화면

Fig. 9 Console screen which displays registered status of PLC speakers

### 4.1 메인 화면

메인 화면은 상태 알림창과 그룹 선택 창 그리고 스피커 화면 창으로 구성되며, 상태 알림 창을 통해서 현재 PLC PA 제어기의 상태 메시지를 확인 할 수 있다. 그룹 선택 창을 통해서는 각 그룹에 해당하는 스피커의 방송 출력을 제어 할 수 있다. 스피커 화면 창은 시스템에 등록 되어 있는 스피커의 수량 및 그룹 상태를 확인 할 수 있으며, 아이콘을 활성화시키면 개별 방송을 진행 할 수 있다.

그림 10은 설정된 그룹에 맞춰 스피커들의 아이콘 색상을 분류 하였으며, 아이콘 상태 표시를 통해 사용 가능한 스피커의 상태를 확인할 수 있다. 방송 운영

화면에서는 총 7개의 스피커를 설정하였으며, 그룹 0번에 5개의 스피커를 설정하고 그룹 1번에 2개의 스피커를 설정한 상태를 볼 수 있다. 현재 사용 가능한 스피커는 아이콘의 상태 표시등이 ON 되어 있는 그룹 0번의 3개 스피커이다.



그림 10. 메인 화면  
Fig. 10 Main window

## 4.2 장비 설정

### (1) PLC PA 제어기 검색

다원화 방송 시스템 UI는 UDP로 PA 제어기와 통신을 진행하기 때문에 사용자 PC에서 PA 제어기의 등록 과정이 필요하며, 시스템 구축 시 해당 장비를 검색하여 등록하도록 구현하였다. 그림 11은 IP 주소 192.168.0.73을 갖는 PA 제어기를 등록한 화면이다.



그림 11. PLC PA 제어기 검색  
Fig. 11 Searching for PLC PA controller

### (2) PLC PA 제어기 설정

장비 설정은 그림 12와 같이 현재 등록된 장치의 IP 주소와 S/W버전, 디바이스정보를 조회할 수 있으며, PA 제어기의 네트워크 주소 등을 설정 및 등록할 수 있다.

### (3) PLC PA 제어기 환경 설정

환경 설정은 그림 13과 같이 PLC PA 제어기의 실행 모드 및 운영 PC IP, BGM 자동방송 옵션을 선택할 수 있다.

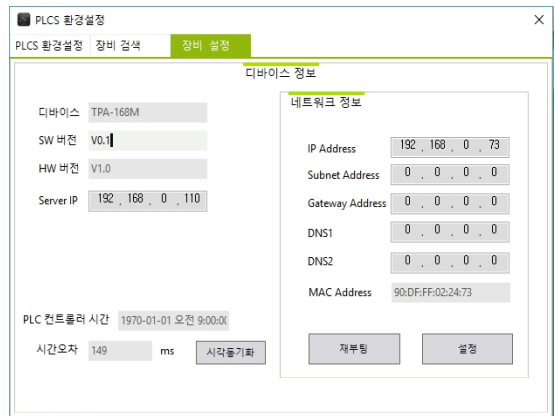


그림 12. PLC PA 제어기 설정  
Fig. 12 Setting up of PLC PA controller

## 4.3 PLC 스피커 설정

### (1) 스피커 설정 화면

스피커 설정 화면은 그림 14와 같이 메인 화면->

설정->디바이스 설정 항목에서 PLC 스피커를 등록 및 삭제 그리고 설정 할 수 있으며, 화면 설정 창에서 PLC 스피커를 추가로 등록 할 수 있다. 스피커 설정 화면에서 스피커 아이콘을 누르면 오른쪽 하단에 스피커의 이름과 출력 채널 그리고 그룹을 변경할 수 있으며, 수정 및 업데이트 할 수 있다.



그림 13. PLC PA 제어기 환경 설정  
Fig. 13 Environment setting of PLC PA controller

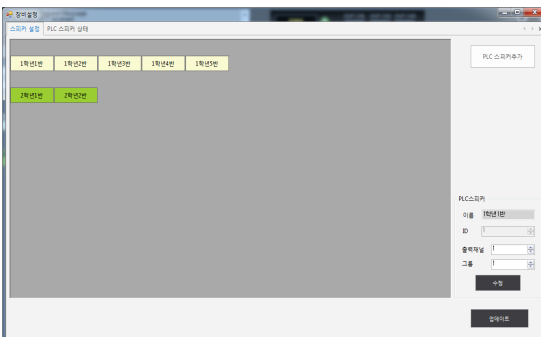


그림 14. 스피커 설정 화면  
Fig. 14 Window for setting speakers

(2) PLC 스피커 추가

스피커 메인 화면에서 PLC 스피커 추가 버튼을 누르면 그림 15와 같이 PLC 스피커 등록 화면이 팝업되며, 등록하고자 하는 PLC 스피커의 정보를 입력하여 스피커를 등록 할 수 있다.

(3) PLC 스피커 상태

PLC 스피커 상태 창은 그림 16과 같이 현재 등록된 스피커의 설정 상태를 확인 할 수 있으며, PLC 스피

커의 온/오프 상태를 표시하여 스피커의 이상 여부를 손쉽게 알 수 있다.

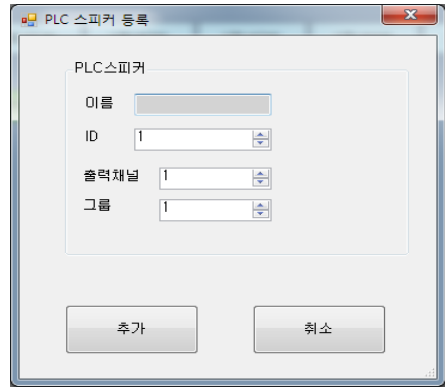


그림 15. PLC 스피커 등록 팝업창  
Fig. 15 Pop-up window for PLC speaker registration

V. 결 론

현재 건물의 안내 방송이나 화재 등 비상시에 사용되는 PA 시스템은 중앙 통제실에서 운영 및 제어를 통하여 이벤트, 홍보, 공지, 비상 방송 등을 전달하고자 하는 목적으로 설치·운영되고 있다. 본 논문에서는 복잡한 방송장비와 케이블을 단순하면서 모든 기능을 완벽히 소화하는 PLC 기반 PA 시스템을 안정적으로 손쉽게 운영할 수 있는 시스템 펌웨어와 운영 PC를 위한 UI 소프트웨어를 개발하였다.

PLC PA 제어기의 펌웨어는 PLC 제어기와 PC UI 그리고 PLC 제어기와 PLC 스피커 사이의 통신을 제어하는 역할을 수행하며, PLC 제어기와 PC UI 간의 통신은 이더넷의 UDP 방식을 사용하며, PLC 제어기와 PLC 스피커 간의 통신은 RS485 시리얼 통신 방식을 이용하여 데이터를 송수신하도록 구현하였다.

전관 방송 시스템 UI 소프트웨어는 장비 설정과 제어 기능의 목적이 있으며, 전문가뿐만 아니라 초보자 등 다양한 사용자가 쉽게 시스템에 접근할 수 있도록 단순함과 편리함을 극대화시키는 방식으로 구현하였다.

ID	ID32	Name	On LINE	그룹	출력채널
0	D0000001		Off Line	그룹할당안됨	0
1	D0000002	1학년1반	Online	그룹0	0
2	D0000004	1학년2반	Online	그룹0	0
3	D0000008	1학년3반	Online	그룹0	0
4	D0000010	1학년4반	Off Line	그룹0	0
5	D0000020	1학년5반	Off Line	그룹0	0
6	D0000040		Off Line	그룹할당안됨	0
7	D0000080		Off Line	그룹할당안됨	0
8	D0000100		Off Line	그룹할당안됨	0
9	D0000200		Off Line	그룹할당안됨	0
10	D0000400	2학년1반	Off Line	그룹1	1
11	D0000800	2학년2반	Off Line	그룹1	1
12	D0001000		Off Line	그룹할당안됨	0
13	D0002000		Off Line	그룹할당안됨	0
14	D0004000		Off Line	그룹할당안됨	0
15	D0008000		Off Line	그룹할당안됨	0
16	D0010000		Off Line	그룹할당안됨	0
17	D0020000		Off Line	그룹할당안됨	0
18	D0040000		Off Line	그룹할당안됨	0
19	D0080000		Off Line	그룹할당안됨	0
20	D0100000		Off Line	그룹할당안됨	0
21	D0200000		Off Line	그룹할당안됨	0
22	D0400000		Off Line	그룹할당안됨	0
23	D0800000		Off Line	그룹할당안됨	0
24	D1000001		Off Line	그룹할당안됨	0
25	D1000002		Off Line	그룹할당안됨	0
26	D1000004		Off Line	그룹할당안됨	0

그림 16. PLC 스피커 상태 창  
Fig. 16 Window for status of PLC speakers

## References

- [1] H. Kim, M. Lee, K. Koo, and S. Han, "Analysis of Sound Transmitting System using Power line Communication Technique," *J. of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, vol. 18, no. 3, 2004, pp. 128-134.
- [2] K. Kim, K. Yeom, K. Kim, and Y. Kim, "Sound System Design and Characteristic Analysis based on Power Line Communication," *J. of The Korea Contents Association*, vol. 8, no. 6, 2008, pp. 1-7.
- [3] A. Papaioannou and F. Pavlidou, "Evaluation of Power Line Communication Equipment in Home Networks," *IEEE Systems Journal*, vol. 3, no. 3, Sept. 2009, pp. 288-294.
- [4] B. Jensen, "Experimental studies of the noise recovery ability of in-house powerline equipment," In *Proc. IEEE Int. Symp. Power Line Communications and Its Applications (ISPLC)*, Jeju, Korea, Apr. 2008, pp. 269-273.
- [5] C. Lin, S. Yeh, and H. H. Chen, "Bandwidth estimation of in-home power line networks," In *Proc. IEEE Int. Symp. Power Line Communications and Its Applications (ISPLC)*, Pisa, Italy, Mar. 2007, pp. 413-418.
- [6] K. Park, "Implement of a Watt-Hour Meter Monitoring System using Powerline Communication," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 8, 2013, pp. 1143-1148.
- [7] K. Park and Y. Lee, "Implement of Watt-Hour Meter Monitoring System by Internet Map Based GUI using Power Line Communication," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 10, 2013, pp. 1435-1441.
- [8] V. Parthasarathy, S. Sakthivel, PA. Logeshwaran, R. Prabhakaran, and G. Kamalkannan, "Data Transmission and Public Addressing System Using Power line," *SSRG International Journal J. of Computer Science and Engineering*, Special Issue, Mar. 2017, pp. 194-196.
- [9] J. Kim, "Development of an Operational MICOM for efficient Central Control of Public Address System," *J. of the Korea Institute of*



*Electronic Communication Sciences*, vol. 6, no. 2, 2011, pp. 325-329.

- [10] S. Kim and D. Kim, "Power Line Communication Based Public Address System," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 6, 2017, pp. 1035-1042.

## 저자 소개



### 김석(Seok Kim)

1988년 전북대학교 전기공학과 졸업(공학사)

1990년 전북대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)

1996년 전북대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)

1996년~현재 건양대학교 의공학부 교수

※ 관심분야 : 아날로그 회로설계, 생체계측시스템



### 김대익(Dae-ik Kim)

1991년 전북대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1993년 전북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1996년 전북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

2002년~현재 전남대학교 전기전자통신컴퓨터공학부 교수

※ 관심분야 : VLSI 설계, 저전력 회로설계

