

# 전력선 통신 기술의 연구 동향과 앞으로의 방향성에 대한 고찰

최동락, 박세웅

서울대학교 전기정보공학부 뉴미디어통신연구소

drchoi@netlab.snu.ac.kr, sbahk@snu.ac.kr

## A Review of Research Trends and Future Directions in Power Line Communication Technology

Dongrak Choi, Saewoong Bahk

Department of Electrical and Computer Engineering, INMC, Seoul National University

### 요약

본 논문은 전력선 통신 (Power Line Communication, PLC)의 기술 개발 및 연구 동향에 대해서 살펴본다. 교류 전력선 통신 (AC-PLC)와 직류 전력선 통신 (DC-PLC)로 분류를 나누어 최근 이루어지고 있는 연구 및 개발에 대해 알아보고, 향후 PLC의 연구 방향성에 대해서 논의한다.

### I. 서론

전력선 통신 (Power Line Communication, PLC)는 스마트 그리드, 홈 네트워크, Internet-of-Things (IoT) 등과 같은 기술에 널리 적용되어 사용되고 있다. 최근 스마트 그리드 및 분산 에너지 자원의 통합에 대한 요구가 증가하면서 PLC 기술에 대한 관심이 커지고 있다. 특히, 직류 전력선 통신 (DC-PLC)은 에너지 효율성과 신뢰성을 개선할 수 있는 새로운 연구 분야로 부상하고 있다. 기존의 교류 전력선 통신 (AC-PLC) 연구가 전통적인 전력 그리드와 가정 내 통신에 초점을 맞추어 왔다면, DC-PLC는 태양광 패널, 전기차 충전소 및 다른 DC 기반 인프라에 적합한 해결책을 제공할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 PLC의 국내외 동향을 살펴보고 향후 PLC의 연구 방향성에 대해 논의한다.

### II. 본론

#### (1) AC-PLC 연구 동향

AC-PLC의 경우, 우리가 흔히 알고 있는 PLC 기술의 형태이다. 과거에서부터 논의가 시작되어 현재는 일정 부분 상용화된 부분들도 많다. 최근에는 스마트 그리드, 홈 및 산업 자동화 기술의 발전과 함께 높아지고 있는 데이터 속도에 대한 요구에 맞춰 성능을 개선시키는 방향으로 연구가 이루어지고 있다.

광대역 PLC 기술은 데이터 전송 속도의 증가와 관련된 수요를 충족시키기 위해 개발되었다. 예를 들어, 철도 트랙선 라인에서의 PLC 활용은 다른 통신 인프라가 부족한 지역에서 철도 운영자에게 대안적인 데이터 네트워크를 제공할 수 있는 가능성을 보여준다 [1].

AC-PLC 시스템에서 주요 문제 중 하나는 강력한 비가우시안 잡음과 간섭이다. 이를 극복하기 위해 OFDM (직교 주파수 분할 다중화) 기반의 PLC 시스템을 위한 로버스트 타이밍 및 주파수 동기화 방법이 제안되었다 [2]. 이러한 기술은 스마트 그리드에서의 신호 동기화 성능을 크게 향상시킬 수 있다.

PLC 시스템의 성능을 향상시키기 위한 또다른 노력으로 MIMO PLC 모델과 같은 다양한 연구 모델이 제안되었다 [3]. 이러한 연구는 적응형

필터, 스케줄링 전략 및 효율적인 PLC 코드 개발에 초점을 맞추고 있다.

#### (2) DC-PLC 연구 동향

AC-PLC의 경우 변조된 데이터 신호를 전력 신호에 중첩시켜 전송한다. 이 기술에서 교란으로 존재하는 데이터 신호는 전원을 안정화시키는 회로들에 의해 안정된 통신이 어렵다는 문제를 가지고 있다. DC-PLC는 AC-PLC에 비해 비교적 새로운 연구 분야로, 앞서 언급한 문제를 해결하는 새로운 통신 방식을 위해 DC 전력 시스템의 안정성과 단순성을 활용할 수 있다.

IEEE 2847-2021 표준은 새로운 통신 방식인 전압 스위칭 기반 통신 (Voltage Switching based communication)을 제안하고 있다 [4]. 이를 위해 DC 전력 송신 및 다중 DC 부하에 대한 통신을 위한 물리적 및 데이터 링크 계층 사양을 명시하고, 각 수신기가 고유한 물리적 주소를 가지고 있으며, 다중 트립 버스 또는 트리 토폴로지를 통해 송신기에 연결된다는 점을 설명한다. 전송된 DC 전력을 이용하여 DC 부하를 효율적으로 제어할 수 있도록 지원하며, 전자기 호환성 규정을 준수하고 있다.

위의 표준에서는 하향 링크에 대해서만 다루고 있다. 하향 링크에서 구현한 전력 스위칭 때문에 상향 링크 통신에서는 위의 표준에 의한 방식을 적용하기 어렵다. 이를 해결하기 위한 노력으로 국내에 출원된 특허 “전력 및 데이터 동시 송신 장치 및 그 수신 장치”에서는 상향 링크 통신도 고려하고 있다 [5].

#### (3) 향후 PLC 연구 방향성 논의

앞서 언급한 바와 같이 DC-PLC는 DC 전력 시스템의 안정성과 단순성을 적극적으로 활용하여 신뢰성 있는 전력 공급과 데이터 전송을 동시에 진행할 수 있다. DC-PLC 기술의 개발은 태양광 에너지 시스템과 같은 분산 에너지 자원의 효율적인 관리와 통합에 필수적이다. 예를 들어, DC 전력선을 사용하는 전기차 충전 네트워크에서는 충전 상태, 에너지 소비 및 요금 결제 데이터를 효과적으로 교환할 수 있는 강력한 통신 시스템이 요구된다. 이러한 시스템은 에너지 사용 최적화 및 비용 절감을 가능하게 하며, 지속 가능한 에너지 솔루션으로의 전환을 가속화할 수 있다.

위와 같은 영향을 위해서 향후 연구에서는 DC-PLC의 실시간 데이터 처리 및 에너지 관리 능력 개선을 위한 내용을 다룰 수 있다. DC-PLC 통신을 위한 프로토콜 설계, 장비 간 호환성 극대화, 보안 기능 등을 집중적으로 다루어 DC-PLC 시스템의 효과와 실용성을 높이는 방향으로 연구를 진행하면 발전된 PLC 기술을 통해 에너지 및 통신 시스템의 혁신을 불러올 것으로 예상된다.

### III. 결론

본 논문에서는 전력선 통신 기술의 연구 및 개발 동향에 대해 살펴보고, 향후 연구 방향성에 대해서 논의하였다. 전력선 통신 연구는 스마트 인프라의 미래에 전력 공급과 데이터 전송을 통합함으로써 중요한 역할을 할 것이다. 특히, 재생 가능 에너지 소스와 전기차 같은 기술이 빠르게 발전함에 따라 전력 공급과 데이터 전송에 효과적인 통합을 위하여 더욱 신뢰성 높고 효율적인 통신 방법의 개발이 필수적이다. 현재 연구되고 있는 PLC 기술을 AC-PLC와 DC-PLC로 나누어 살펴보고, DC-PLC가 가지는 미래 비전에 대해서 알아보았다. 향후 연구 방향으로 DC-PLC에 집중하여 실시간 데이터 처리 및 에너지 관리 능력을 개선하기 위해 통신 프로토콜, 장비 간 호환성 및 보안 기능을 집중적으로 논의했다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터 육성지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2024-2021-0-02048)

### 참 고 문 헌

- [1] Angrisani, Leopoldo, et al. "Broadband Power Line Communication in Railway Traction Lines: A Survey." *Energies* 16.17 (2023): 6387.
- [2] Liu, Sicong, et al. "Power Line Communication with Robust Timing and Carrier Recovery against Narrowband Interference for Smart Grid." *Sensors* 22.11 (2022): 4013.
- [3] Ndolo, Antony, and İsmail Haklı Çavdar. "Current state of communication systems based on electrical power transmission lines." *Journal of Electrical Systems and Information Technology* 8 (2021): 1-10.
- [4] IEEE 2847-2021, "IEEE Standard for DC Power Transmission and Communication to DC Loads.", 2022.04.01
- [5] 김준환, "전력 및 데이터 동시 송신 장치 및 그 수신 장치", 출원번호 10-2022-0087957, 2022년 07월 18일