



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

유도형 전력선 통신의 전기자동차
적용에 관한 연구

A Study on Applications of Inductive Power Line
Communications
in Electric Vehicles

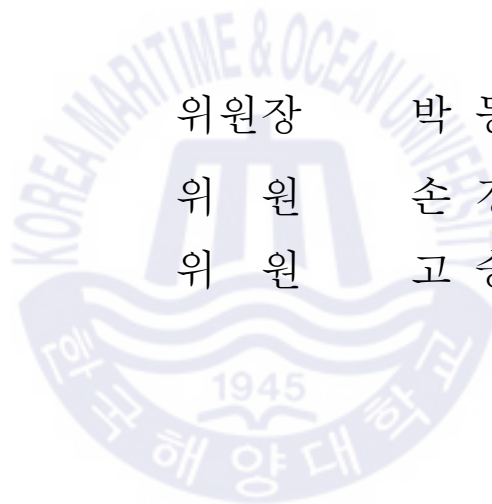
지도교수 손 경 락

2020년 2월

한국해양대학교 대학원

전자통신공학과
정재환

본 논문을 정재환의 공학석사 학위논문으로 인준함.



위원장 박 동 국 (인)

위 원 손 경 락 (인)

위 원 고 승 우 (인)

2019년 12월 20일

한국해양대학교 대학원

목 차

List of Tables	iii
List of Figures	iv
Abstract	vi

1. 서 론

1.1 연구배경 및 연구 내용	1
1.2 논문 구성	3

2. 유도형 전력선 통신

2.1 전력선 통신 개요	4
2.2 자성체	12
2.3 유도형 결합기 해석	14
2.4 토로이달 결합기와 컷 결합기의 성능시험	19

3. 유도형 전력선 통신의 전기자동차 적용 실험 및 결과

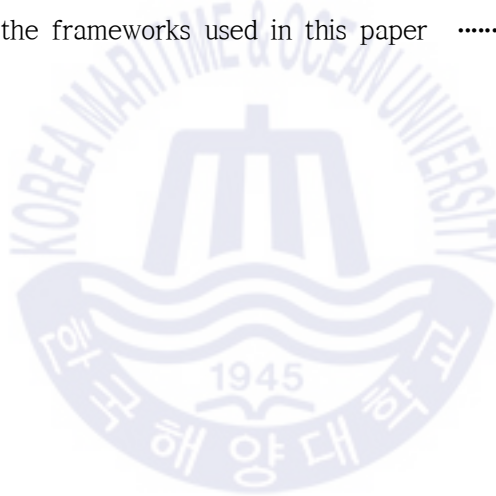
3.1 유도형 페라이트 결합기 삽입손실 측정	23
3.2 전기자동차 전력선 특성분석	25
3.3 전력선을 이용한 통신 실험	30

4. 전기자동차의 전력선 기반 객체검출 기술적용 실험	
4.1 전기자동차에 적용되는 딥러닝 동향	31
4.2 객체 검출(Object Detection)	32
4.3 유도형 전력선 통신 기반 객체검출기술 적용 실험 및 결과	34
5. 결론	36
참고문헌	37



List of Tables

Table 1. Division of PLC	5
Table 2. Standard for PLC	7
Table 3. Application field of PLC	7
Table 4. Electric vehicle PLC insertion loss and communication bandwidth measurement results	29
Table 5. Version of the frameworks used in this paper	34



List of Figures

Fig. 1 Configuration of inductive PLC (Power Line Communication)	5
Fig. 2 Dimension of Cut-core	10
Fig. 3 Appearance of inductive ferrite coupler	14
Fig. 4 B-H graph of ferrite coupler	15
Fig. 5 Simulation results of magnetic flux density distribution of toroidal and cut core coupler	16
Fig. 6 Measurement results of magnetic flux energy of the toroidal coupler and cut core coupler	17
Fig. 7 Measurement of magnetic flux energy by air-gap	17
Fig. 8 Measurement results of magnetic flux energy by air-gap	18
Fig. 9 Experiment configuration of PLC using welding line	19
Fig. 10 A ferrite coupler used in experiments	20
Fig. 11 Bandwidth measurements of welding line using a cut core coupler	20
Fig. 12 Bandwidth measurements of welding line using a toroidal coupler	21
Fig. 13 Experiment configuration of electric vehicle PLC system	22
Fig. 14 PLC Modem	23
Fig. 15 Configuration of a ferrite coupler for insertion loss measurement	24
Fig. 16 Insertion loss of ferrite coupler	24
Fig. 17 Experimental configuration between high-voltage battery and external charger	25
Fig. 18 Result of channel analysis between high-voltage battery and external charger	26
Fig. 19 Result of measuring the communication bandwidth between high voltage battery and external charger	27

Fig. 20	Electric vehicle PLC communication bandwidth measurement results	28
Fig. 21	The experiment of transfer real-time image based on IP-cam	30
Fig. 22	Structure of SSD(Single Shot MultiBox Detector)	33
Fig. 23	Deep-Learning object detection text data transfer experiment configuration and results	35
Fig. 24	The screen that detected 'person'	35



A Study on Applications of Inductive Power Line Communications in Electric Vehicles

Jeong, Jae Hwan

Department of Electronics and Communication Engineering,
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

Abstract

In this thesis, I propose the application of non-contact type inductive power line communication to the high voltage cable of electric vehicle, which is emerging as a representative vehicle to replace internal combustion engine cars. Electric vehicle batteries require high energy density, light weight and high capacity batteries to be sufficiently driveable on a single charge. And recently, various systems for deep learning-based electric vehicles have been proposed and a large amount of power lines have been added. Continuing to add power lines for additional functions will increase the weight of the vehicle, thereby reducing the efficiency of the vehicle. To address this weight problem, power line communication that can be communicated using existing power lines will be a good solution. In the experiment, non-contact type inductive power line communication method was applied and ferrite coupler was used for the inductive coupler used for it. The ferrite coupler has the characteristics of increasing coupling effects at higher voltages and having lower losses. In addition, the channel analysis and communication bandwidth of electric vehicle high voltage cables are measured to propose the applicability of power line communication and prove that power line communication-based data communication is possible through real-time image data transmission and deep learning-based object recognition experiments.

KEY WORDS: Electric Vehicle, Inductive Power Line Communication, Channel Analysis, Communication Bandwidth, Deep-Learning Object Detection

유도형 전력선 통신의 전기자동차 적용에 관한 연구

정재환

한국해양대학교 대학원
전자통신공학과

초록

본 논문은 최근 내연기관 자동차를 대체할 대표 차종으로 부각되고 있는 전기자동차의 고전류 케이블에 유도형 전력선 통신 적용을 제안한다. 전기자동차의 배터리는 한 번의 충전으로 충분히 주행가능하기 위해 높은 에너지 밀도, 가벼운 중량 그리고 대용량의 무거운 배터리를 필요로 한다. 그리고 최근 딥러닝 기반의 전기자동차에 적용되는 다양한 시스템들이 제안되고 있고 이에 따라 많은 양의 전력선이 추가되고 있는 상황이다. 추가적인 기능을 위해 계속해서 전력선을 추가하게 되면 차량의 중량이 증가하게 되어 차량의 효율이 감소하게 된다. 이러한 중량 문제를 해결하기 위해 기존의 전력선을 사용하여 통신이 가능한 전력선 통신이 좋은 방안이 될 것이다. 실험에는 유도형 전력선 통신을 적용하고 이에 사용되는 유도형 결합기의 경우 페라이트 결합기를 사용하여 높은 전압에서의 커플링 효과를 증진시키고 더 낮은 손실로 실험을 진행한다. 그리고 전기자동차 고전류 케이블의 채널 분석 및 통신대역폭을 측정하여 적용가능성에 대해 제안하고 실시간 영상 데이터 전송 및 딥러닝 기반의 객체 인식 실험을 통해 전력선 통신이 가능함을 입증하고자 한다.

KEY WORDS: 전기자동차, 유도형 전력선 통신, 채널 분석, 통신대역폭 측정, 딥러닝 객체 인식

제 1장 서 론

1.1 연구배경 및 연구 내용

전기자동차(Electric vehicle)는 전기를 동력원으로 삼아 운행하는 자동차를 일컫는다. 석유 연료와 내연 엔진을 사용하지 않고, 전기 배터리와 전기 모터를 사용한다. 배터리에 축적된 전기로 모터를 회전시켜서 자동차를 구동시키며 연료전지, 태양전지와 같은 열이나 화학반응을 통해 전기를 직접 발생시키는 경우도 있다. 1873년에 가솔린 자동차보다 먼저 제작되었으나, 배터리의 중량이 무겁고 충전 시간이 너무 긴 문제 때문에 상용화되지 못했다. 그리고 전기자동차 기술은 휘발유 내연기관 차량과의 표준 전쟁에서 패배한 이후, 오랜 기간 사장되어 있었다. 그러나 2000년대 중반 들어 전통적인 내연기관 차량을 대체할 차세대 친환경 자동차의 대표 차종으로 다시 새롭게 부각되어 오고 있다 [1]. 특히 2009년 9월의 프랑크푸르트 모터 쇼에는 전기 자동차 시제품이 23개나 등장하여 전기 자동차에 대한 높은 관심을 잘 보여주고 있다. 전기자동차가 재부상하는 이유로는 크게 장기적인 유가 상승 추세와 전 세계적인 연비 및 배기가스 배출 규제 강화를 들 수 있다. 그리고 전기자동차는 일본 및 유럽 업체를 중심으로 소형에서 중대형 차종까지 다양한 차량이 개발되고 있다. 2009년 미쯔비시의 I-Miev 출시 이후 BMW, 닛산, 혼다, GM, 기아, 르노 등의 완성차 업체들이 양산형 전기자동차를 출시하였다.

하지만 개발되고 있는 전기자동차도 아직 긴 충전시간, 복잡한 충전방식, 차량의 중량, 높은 가격, 높은 차량 유지비, 주행거리 편차 등 다양한 문제점들이 존재하고 있다. 특히 전기자동차의 핵심부품인 배터리는 에너지 밀도가 높고, 중량이 가볍고, 1회 충전으로 충분한 주행을 할 수 있는 대용량 배터리가 필요하기 때문에 배터리가 차량 중량의 많은 부분을 차지한다. 이러한 대용량 배터리 이외에 전기자동차 내에 전기케이블의 경우 차량 중량에 20%를 차지한다. 대부분의 전기자동차에 200개 이상의 커넥터를 보유하고 있으며 차량에 다양한 기능을 위해 계속해서 전기케이블을 추가적으로 설치하게 된다면 차량 중량이 계속해서 증가하게 될 것이고 이에 따라 차량의 성능과 효율이 감소하게 될 것

이다. 즉 증가하는 배선량이 중량문제로 이어지게 되는 것이다. 따라서 배선량을 줄일 수 있는 통신기술 개발이 매우 중요하다. 이러한 통신기술로 전력선통신이 매우 좋은 방안이 될 것이다.

기존의 연구들에서는 주로 내연기관 자동차에 전력선 통신을 적용하였다. 전력선통신은 내연기관 자동차와 전기자동차에서 모두 사용이 가능함으로 적용하기에 알맞다. 그리고 전기자동차에 전력선 통신을 적용하는 기존의 연구들에서는 전기자동차 충전기와 차량 간의 충전케이블을 이용하여 전력선통신으로 데이터를 송수신하는 연구가 주로 진행되었다 [2][3]. 그뿐만 아니라 전기자동차를 이용한 전력선 통신을 위해 많은 채널 모델링이 연구되었다 [4]. 그리고 전기자동차뿐만 아니라 선박에서 사용되어지는 전력선을 통신매체로 이용해 전력선 통신을 적용하였고 채널을 평균 채널이득, 지연 확산, 통신 속도 등의 용어를 이용해 분석하였고 적용이 가능함을 입증하였다 [5].

전기자동차의 고전류 케이블을 이용해 전력선 통신을 적용한 기존의 연구로는 도요타에서 하이브리드 전기자동차의 고전류 케이블 이용해 전력선 통신을 적용한 연구가 있다. 저전압 전력공급선(12V)이 아닌 고전압 배터리와 전력분배기 사이에 고전압 전력공급선(200V)을 이용해서 실험을 통해 전력선 통신 적용 가능성에 대해 입증하였고 실험에서는 고전압 배터리, 전력분배기, 변압기, 고전류 케이블의 채널 임피던스와 채널 노이즈를 측정하였다. 그리고 각 구간에 대해 통신 대역폭을 측정하여 전력선 통신 기반의 데이터 통신이 가능할 것이라 제안하였다 [6][7]. 하지만 도요타의 연구에서는 하이브리드 자동차를 사용하였고 실제로 영상데이터나 텍스트 데이터와 같은 실제 데이터 전송 실험은 진행하지 않았다.

그리하여 본 논문에서는 이러한 도요타의 연구를 기반으로 하이브리드 전기자동차가 아닌 일반 전기자동차를 이용하여 연구를 진행하였다. 이러한 전기자동차 내의 고전압 케이블(600V)을 이용해 유도형 전력선 통신을 적용하고 차량 내의 각 위치에 따른 채널 분석을 진행하였다. 채널분석 결과를 기반으로 통신 대역폭을 측정하고 어느 정도의 통신 대역폭을 갖는지 확인하였다. 그리고 실제 데이터 통신이 가능함을 입증하기 위해 IP캠을 사용해 실시간 영상 전송 실험과 딥러닝 프로그램을 적용해 차량전방 객체를 인식하고 결과 텍스트를 전력

선 통신을 통해 전달하는 실험을 진행하였다. 본 논문에서는 전기자동차의 효율 및 성능 감소를 극복하기 위해 중량의 최소화를 실현할 수 있는 유도형 전력선 통신 적용을 검증하는 것이다. 전기자동차의 고전류 케이블에서 네트워크 분석기를 이용해 통신주파수 대역의 잡음 및 손실을 측정해보고 측정 결과를 기반으로 통신대역폭을 측정하고자 한다. 그리고 통신 대역폭의 측정 결과를 기반으로 데이터 통신이 가능한지를 확인하기 위해 실시간 영상 데이터 전송 실험과 딥러닝 기반 Object detection 실험을 진행한다.

1.2 논문 구성

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 제안하는 전력선 통신에 설명하고 사용되어지는 유도형 결합기 해석에 대해 서술한다. 유도형 결합기 해석에서는 Comsol Multiphysics를 이용하여 3D분석을 진행하였다. 3장에서는 제안하는 유도형 전력선 통신의 전기자동차 적용에 관한 실험과 결과를 서술한다. 4장에서는 최근 많이 연구되고 있는 딥러닝 분야에 대해 설명하고 본 논문에서 사용하고자 하는 딥러닝 객체검출 기술에 대해 간략히 설명하고 전기자동차에 적용한 실험에 대해 서술한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

제 2장 유도형 전력선 통신

본 장에서는 전기자동차에 적용한 전력선 통신과 표준 및 통신 방식들을 서술한다. 그리고 디지털 가전시대를 맞아 TV, 디지털 냉장고, PC, 전등 등 각종 장치들을 하나로 연결해 고속의 홈 오토메이션 시스템을 구축하고, 이를 원격 제어하는 일도 가능하게 하는 것과 같은 다양한 응용분야들에 대해서도 서술한다. 이러한 전력선 통신에 대한 내용을 소개하고 통신 신호 결합 방식으로 접촉식 전력선 통신 방식과 유도형 전력선 통신 방식을 설명한다. 그리고 유도형 전력선 통신에 사용된 유도형 결합기에 대한 설명과 유도형 결합기를 3D 시뮬레이션 프로그램인 Comsol Multiphysics를 이용해 해석하고 결과를 제시한다.

2.1 전력선 통신 개요

Fig. 1의 전력선 통신(PLC : Power Line Communications)은 우리 주변에 광범위하게 설치되어 있는 전력선을 통신 매체로서 이용하는 통신 방식으로서, 단순 신호 전달 및 원격 제어에서부터 초고속 데이터 네트워크에 이르기까지 여러 응용분야에 활용될 수 있는 유선 통신 기술이다 [8]. 광대역 통신기술의 발달에 따라 2000년대 초반부터 부각되어 기술 개발이 본격적으로 추진되었다. 현재는 주로 스마트 그리드의 양방향 원격 검침(AMI: Advanced Metering Infrastructure) 혹은 홈 네트워크의 분야에 집중되고 있다. 최근의 전력선 통신 기술을 시스템 관점에서 보면, 다른 최신의 유무선 통신 기술들과 거의 유사하다. 일반적으로 전력선 통신 장치는 물리 계층(Physical Layer)과 매체접근제어(MAC: Medium Access Control) 계층만으로 구성되며, 물리 계층에서는 오류정정부호, 디지털 변복조, 다중반송파 방식 등이 채택되어 사용되고, 매체접근제어 계층에서는 시분할 및 주파수분할 방식과 반송파 감지 및 충돌 방지 알고리즘, 그리고 여러 가지 네트워크 구성 방식 등이 채택되어 사용되고 있다. 전력선 통신은 사용하는 신호의 주파수 대역에 따라 협대역 전력선 통신과 광대역 전력선 통신으로 분류 된다. 주파수 대역의 경우 전력선 통신 시스템의 표준에 따라 차이가 있을 수 있으나, 국내의 경우, 대략 9k~450kHz 대역을 사용하여

수 kbps급 통신 속도를 통해 각종 제어 신호 전송용으로 활용되는 저속의 저주파 전력선 통신을 협대역 전력선 통신으로 통칭하고 있으며, 대략 1.7M~30MHz 대역을 사용하여 수 Mbps에서 수백 Mbps급 통신 속도를 통해 음성, 영상, 데이터 등 대용량의 멀티미디어 정보까지 전송할 수 있도록 하는 고속의 고주파 전력선 통신을 광대역 전력선 통신으로 통칭하고 있다. 전력선 통신은 이미 확보되어 있는 전력선을 이용하여 특별한 부가적 통신 선로의 설치 없이 저비용으로 통신망을 구축할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이러한 전력선 통신은 주파수대역의 구분에 따라 Table 1과 같은 서비스에 사용 가능하다.

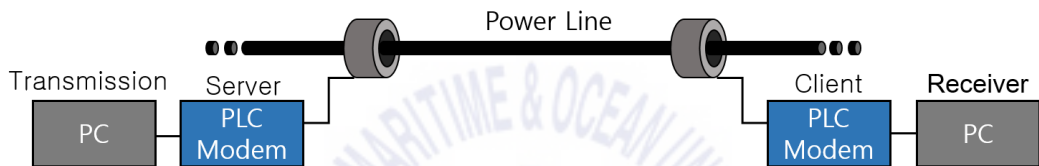


Fig. 1. Configuration of inductive PLC (Power Line Communication)

Table 1. Division of PLC

구분	주파수 대역	속도	서비스
협대역 전력선 통신	9~450KHz	1Mbps 이하	기기제어, 음성 원격검침, 배전 자동화
광대역 전력선 통신	1.7~30MHz	10Mbps 이상	데이터 네트워크, 가입자망, 스마트그리드

전 세계적으로 개발이 완료되어 국제 또는 단체 표준화가 이루어진 고속 전력선 통신 표준 기술은 다음과 같다.

- ISO/IEC 12139-1(국제표준)[9]
- ITU-T G.9960,G.9961, G.9972(국제표준)[10][11]
- IEEE 1901-2010(단체표준)[12]

먼저 ISO/IEC 12139-1 국제표준은 국내에서 전기연구원을 비롯한 쉘라인, 한

국전력공사 등의 참여로 개발된 고속 전력선통신(Class-A)기술이 KS × 4600-1로 표준화(2006.05)된 이후 국제 표준으로 제안되어 2009년 07월 제정이 완료되었다. 이는 한국전력공사에서 개발한 고속 전력선 통신기술이 국제표준화 기구(ISO)의 표준으로 채택되면서 전력선 통신에 대한 수요는 더욱 많아졌다. 그리고 한국전력공사는 이 기술을 5만 6천 호의 저압 원격검침, 전기·가스·수도 통합 검침 등에 활용하고 있으며, 제주도 스마트 그리드 시범 사업지역에 전기료, 사용기록, 안내 메시지와 같은 필수 정보들을 보여주는 IHD(In-Home Display), 전기자동차, 태양광발전 등 스마트 그리드 기반시스템의 통신망으로도 활용하고 있다.

그리고 ITU-T G.9960, G.9961, G.9972 국제표준은 스페인의 DS2사의 전력선 통신 기술과 유럽의 OPERA 프로젝트를 근간으로 전력선, 전화선, 동축선 등을 통신 매체로 활용하는 포괄적인 통신 기술에 대한 표준화를 진행하여 2010년 06월 Draft Standard가 발표되었다.

마지막으로 IEEE 1901-2010 단체표준은 미국의 HomePlug Alliance와 일본의 Panasonic사가 각각 고유의 고속 전력선 통신 기술을 제안하고 통합하여, IH(In-Home), AC(Access), CX(Coexistence) 분야의 표준으로서 2010년 12월 Draft Standard를 발표한 상황이다. 이러한 고속 전력선 통신 표준들에 대한 주요기술에 대해서 정리하면 Table 2와 같다.

이러한 표준을 갖춘 전력선 통신기술은 구내에 설치된 전원 콘센트를 통신 단자로 활용할 수 있다는 장점으로 그 응용분야가 풍부하다. 최근에는 최대 200Mbps급의 속도로 전송이 가능한 기술이 개발되어 낮은 비용으로 고속 인터넷이나 디지털 전화 등 다양한 고속 정보통신 서비스가 가능하게 되었으며 디지털 가전시대를 맞아 TV, 디지털 냉장고, PC, 전등 등 각종 장치들을 하나로 연결해 고속의 홈 오토메이션 시스템을 구축하고, 이를 원격 제어하는 일도 가능하게 되었다. 전력분야에서 사용되면 검침원 없이 원격 검침 및 직접 부하제어가 가능하며 서비스를 위한 선진 전력사업용 통신망으로도 활용가능하다 [13]. 이러한 전력선 통신의 다양한 응용 분야는 Table 3과 같다.

Table 2. Standard for PLC

표준	주요 기술	중심 국가
ISO/IEC 12139-1 KS × 4600-1	- DMT and DBPSK/DQPSK - 2.15~23.15 MHz - CSMA/CA	한국
IEEE 1901-2010	- OFDM and BPSK ~ 1024 QAM - 1.8 ~ 30 MHz - CSMA/CA and TDMA	미국
	- Wavelet OFDM - 2/4/8/16-PAM - 4.08 ~ 27.86 MHz - CSMA/CA with HCF	일본
ITU-T G.9960,G.9961, G.9972	- Scalable OFDM - 2.0 ~50.0 MHz - TDMA/TDD	스페인

Table 3. Application field of PLC

응용 분야	유형
자동 검침	- 전기, 가스, 수도 원격 검침
에너지 관리	- 전기사용 부하제어
보안 서비스	- 도난, 화재, 가스 누출 정보 - 감시 카메라 제어
의료 정보	- 의료기기 모니터링을 통한 정보 서비스
인터넷 접속	- 인터넷 접속 - 다수 PC를 연결하는 홈 네트워크
홈 오토메이션	- 에어컨, 냉장고, 전등, 보일러 등을 원격제어
구내전화연결	- 구내 전화 서비스

현재의 전력선 통신은 정보통신 기술의 발달에 따른 디지털 통신 기술과 신호처리 기술이 집적되어 보다 시스템적이면서 고속 데이터 전송이 가능한 형태이며, 전기에너지 전달과 더불어 통신 신호 전달을 위해서 특징적으로 신호결합장치(Coupler)가 사용된다. 신호결합장치는, 60Hz의 전력신호에 비해 수십 kHz에서 수십 MHz에 달하는 통신신호가 상대적으로 고주파 신호임을 고려하여, 고주파 통과 특성을 가지는 일종의 필터를 통해 통신 신호만을 분리해 내는 원리가 적용된 장치다. 효과적으로 통신신호를 분리하고, 또한 전력신호로부

터 통신 장치를 보호하는 역할을 하는 신호결합장치는 전력선 통신 기술의 핵심 요소 중 하나이다. 전력선 통신의 핵심기술은 전력선의 신호를 결합하는 커플러로서, 전기장을 결합하는 접촉식 커플러와 자기장을 결합하는 유도형 커플러로 분류된다. 접촉식 커플러는 가볍고 저가의 수동 소자를 이용하기 때문에 제조 단가가 낮고 각종 신호 손실 요소를 우회할 수 있으며 삽입 손실이 작아 신호 전달 특성이 우수한 반면, 전력선과 물리적인 접촉을 해야 하기 때문에 설치가 불편하고 전기적 안정성이 떨어진다. 한편 유도형 커플러는 전력선과 물리적인 접촉 없이 결합이 가능하기 때문에 설치가 용이하고 전기적 안정성이 우수한 반면, 투자율이 높고 포화전류 특성이 높은 고가의 자성체 코어 물질을 사용하므로 제조 단가가 비싸고 무거운 단점이 있다. 통상 접촉식 커플러는 절연되지 않은 나전선을 철탑에 애자로 매달아서 연결해 주는 가공선로에서 주로 사용되며, 유도형 커플러는 절연된 전력선을 땅속에 매설하는 형태의 지중선로에서 주로 사용되고 있다 [14].

전력선 통신의 통신방식으로는 접촉식 전력선 통신과 유도형 전력선 통신이 있다. 접촉식 전력선 통신은 전력선과 커패시터를 직렬로 연결한 형태이다. 접촉식 전력선 통신용 커플러는 선로와 물리적인 접촉을 하여 사용하므로 접촉식 커플러로 명명된다. 여기서 커패시터는 변압기 권선에 60Hz의 전류 흐름을 차단시켜 주는 역할을 한다. 따라서 접촉식 커플러는 변압기 권선과 주 도선 사이에 더 높은 주파수의 전력선 통신 신호를 쉽게 연결해 준다. 접촉식 커플러는 신호 손실이 적다는 장점을 가지고 있으나 절연문제에 의해 부피가 크고, 선로에 직접 부착해야하는 설치의 어려움과 위험성을 가지고 있다. 따라서 접촉식 전력선 통신은 가공선로에서와 같이 전송거리가 긴 선로에서 신호 손실이 적으면서 절연문제 및 태풍 등 기상변화에 대한 기계적 안전문제 등을 고려해야만 하는 곳에 적합하다.

1.7~30MHz의 고주파 영역에서의 전력선 통신기술은 액세스 기술 또는 홈 네트워킹 등의 응용 분야를 가진다. 고주파 전력선 통신에는 신호 커플링에 사용되는 커패시터는 저주파보다 더 낮은 커패시턴스를 가질 수 있으며, 이로 인하여 변압기 권선을 통해 흐르는 전류는 상대적으로 낮은 값을 갖는다. 이 경우 저주파에서 나타나는 변압기 코어의 포화보다는 변압기의 삽입손실이 중요하

다. 이러한 거동은 낮은 누설 인덕턴스와 권선의 감은 수에 의해 심화된다. 이의 개선책으로서는 높은 투자율을 갖는 자기 재료를 사용해야한다.

한편, 유도형 전력선 통신에 사용되는 유도형 커플러는 배전선로에 물리적인 접속이 없는 클램프형으로 부착되어 유도형 커플러로 명명되고 신호 손실이 비교적 크다는 단점을 가지고 있지만 고압 지중선로에서와 같이 좁은 관로나 전력구에 직접 부착하기 어려울 때 주로 사용된다. 현재 미국에서는 가공선로용으로 주로 접촉식 커플러를 사용하며 유럽에서는 대부분 시내선로의 지중케이블을 위한 유도형 커플러를 사용하고 있다. 유도형 전력선 통신 시스템에서 전류는 케이블 위의 자기 코어를 통해 제한이 없이 흐를 수 있다. 응용을 위해서는 높은 전류 값은 자기 코어의 포화와 관련하여 중요하다.

유도형 결합기는 광대역 주파수 영역의 통신신호를 전선에 결합시킬 수 있는 장치로 전력선 통신 시스템에서는 핵심소자이고 고압의 전력선에서도 물리적인 접촉점 없이 단순한 체결만으로 신호를 결합할 수 있어서 다양한 응용에 활용되고 있다. 유도형 결합기는 기본적인 구조는 일본 미쓰비시 전기에서 공기간극을 가지는 코어를 이용할 수 있음을 최초로 제안하였다 [15]. 국내에서도 유도형 결합기를 설계하고 그 특성을 발표하였다 [16]. 유도형 전력선 통신에 사용되는 결합기는 공기간극을 갖는 “cut-core” 라고 불린다 [17]. 유도형 결합기는 대개 원통형 코어에 권선이 감겨 있는 구조로서, 커플러의 자속과 전력선의 자속이 결합되어 발생한 쇄교 자속에 기인하여 동작한다.

Fig. 2는 컷 코어의 측면을 나타낸 것이다. 여기서 d_a 는 외경, d_i 는 내경, h 는 높이, δ 는 공기간극을 의미한다. 여기서 공기간극 δ 는 cut-core 양쪽으로 존재한다.

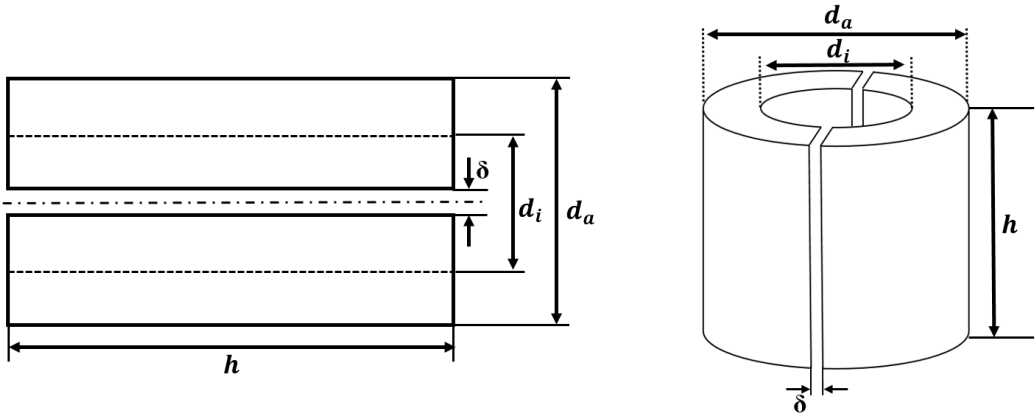


Fig. 2. Dimension of Cut-core

이러한 컷 코어의 치수들을 이용해서 단면적 A_{Fe} 에 대한 공식이 식 (1)과 같이 유도 될 수 있다. 그리고 길이 ℓ_{Fe} 는 식 (2), 체적 V_{Fe} 는 식 (3)으로 정리된다.

$$A_{Fe} = \frac{1}{2} \eta_{Fe} \cdot (d_a - d_i) \cdot h \quad (1)$$

$$\ell_{Fe} = \frac{1}{2} \pi \cdot (d_a + d_i) \quad (2)$$

$$V_{Fe} = A_{Fe} \cdot \ell_{Fe} \quad (3)$$

여기서, η_{Fe} 는 자기재료의 충전율이다. 충전율이란 둥근 원자로 채워진 공간에서 원자가 차지하는 공간의 분율로써 이 값은 금속합금에 대해서는 0.8이고, 페라이트에 대해서는 1이다. 코어의 유효 투자율 μ_e 는 공기간극에 의해 감소되면 식 (4)와 같이 계산되어 진다.

$$\mu_e = 1 / (1 / \mu + 2 \cdot \delta / \ell_{Fe}) \quad (4)$$

여기서 유효 투자율 μ_e 는 주로 δ/ℓ_{Fe} 의 비로 결정된다. 즉, 다른 자기 소재들 사이에 μ_e 의 차이는 극히 작다. 흐르는 전류 I 와 요구되는 인덕턴스 L 에 의한 코어 안에서 자기 에너지 W 는 식 (5)과 같다.

$$W = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 = \frac{1}{2} \cdot V_{Fe} \cdot B^2 / (\mu_e \cdot \mu_0) \quad (5)$$

따라서 요구되는 코어 재료의 체적 V_{Fe} 는 식 (6)과 같이 계산될 수 있다.

$$V_{Fe} = L \cdot I^2 \cdot \mu_e \cdot \mu_0 / B^2 \quad (6)$$

요구되는 코어 재료의 체적은 자속밀도 B 의 제공에 의존함에 따라 포화 자속 밀도 B 가 높은 자기재료의 사용은 그만큼 유도형 커플러에서 요구되는 코어의 크기를 감소시킬 수 있다. 커플러를 자기 코어 소재로 사용하기 위해서는 기계적인 충격 또는 열적 안정성 등은 물론 수십 MHz의 넓은 주파수 대역에서 매우 엄격한 기술적 요구를 만족해야한다. 커플러는 전력선 통신 시스템에서 중요한 부품이며, 커플러의 크기와 비용을 절감하기 위해 최적은 설계가 이루어져야한다. 특히 포화 자속이 높고, 투자율이 높은 소재를 선택하면 커플러의 크기를 줄일 수 있다.

2.2 자성체

자성체는 자기장 내에서 자화하는 물질로 자화에 따라 강자성체, 상자성체, 반자성체, 반강자성체 그리고 페리자성체로 구분된다. 자화란 물질을 자기장 내에 놓았을 때 자기적 성질, 즉 자성을 나타내는 현상이다. 이러한 자화의 원인은 전류, 즉 전자의 운동 때문이고 원자를 구성하는 전자는 원자핵의 주위를 궤도운동을 함과 동시에 전자 자신은 자전운동의 회전운동을 한다.

먼저 강자성체는 전자의 스핀 자기모멘트가 궤도 자기모멘트보다 크게 작용하는 물질로 처음부터 자구(magnetic domain)라고 하는 강한 스핀 자기모멘트의 방향이 규칙적으로 정렬되어 있는 작은 영역들을 가지고 있다. 외부 자기장이 없으면 자구들의 스핀 자기모멘트 방향이 무질서지만 외부 자기장을 가하면 자구의 스핀 자기모멘트가 회전하면서 상자성체와 같이 자기장 방향으로 정렬하면서 강한 자성을 일으킨다. 자구의 변위가 어떠한 한계점에 도달하면, 자성은 일정하게 되고, 이 상태를 자기 포화라고 하며, 이 때 자구들은 모두 한 방향으로 일정하게 정렬된 상태가 된다. 또, 외부 자기장을 제거하면 자구는 원 위치로 전환되지만 모두 되돌아오지 않고 잔류자기가 남아 있는 상태가 된다. 이와 같은 물체를 영구자석이라고 한다. 이러한 특징을 갖는 강자성체의 종류로는 철(Fe), 니켈(Ni), 코발트(Co) 등이 있다.

상자성체는 외부 자기장을 가하지 않은 상태에서 궤도 자기모멘트와 스핀 자기모멘트의 합성 자기모멘트가 0이 되지 않는 물질이므로 처음부터 영구 자기모멘트를 갖는다. 그러나 이 영구 자기모멘트는 각각 무질서하게 자유로운 방향으로 존재하기 때문에 전체적으로 자기모멘트는 0이 된다. 이 물질에 외부 자기장을 가하면 무시할 수 있을 정도로 외부 자기장과 같은 방향으로 약하게 자화되는 자성체이다. 이러한 상자성체의 종류로는 백금(Pt), 알루미늄(Al), 산소(O₂) 등이 있다.

반자성체는 외부 자기장을 가하지 않은 상태에서 각원자의 궤도 자기모멘트와 전자의 스핀 자기모멘트의 벡터 합이 0인 물질이기 때문에 원래부터 자기모멘트가 존재하지 않는 자성체이다. 이러한 반자성체의 종류로는 금(Au), 은(Ag), 구리(Cu), 비스무트(Bi), 물(H₂O) 등이 있다.

반강자성체는 원자의 스핀에 의한 인접된 자기모멘트가 서로 같은 크기로 역 배열되어 전체 자기모멘트의 합이 0(상쇄)이 되기 때문에 외부 자기장에 의해 자화가 거의 일어나지 않는 자성체이다.

마지막으로 페리자성체는 자성체의 자기모멘트 배열은 반강자성체와 마찬가지로 역 배열의 구조를 갖지만 인접한 자기모멘트의 크기가 다르고, 이 차에 해당하는 자화가 외부에 매우 강하게 나타난다. 따라서 전체적으로 큰 자화를 나타낸다는 점에서 강자성체와 가까운 물질이다. 이러한 페리자성체의 종류로는 자석철 (Fe_3O_4)과 페라이트가 있다.



2.3 유도형 결합기 해석

실험에 사용한 유도형 결합기인 페라이트 결합기의 자속밀도분포와 자속에너지를 계산하기 위하여 다중물리 해석툴의 일종인 Comsol-Multiphysics의 Electrical-AC/DC 모듈을 이용하여 결합기 분석을 진행하였다. Comsol-Multiphysics는 편미분 방적식(PDE)으로 구현된 물리현상을 시뮬레이션 할 수 있는 모델링 패키지 소프트웨어이다 [18].

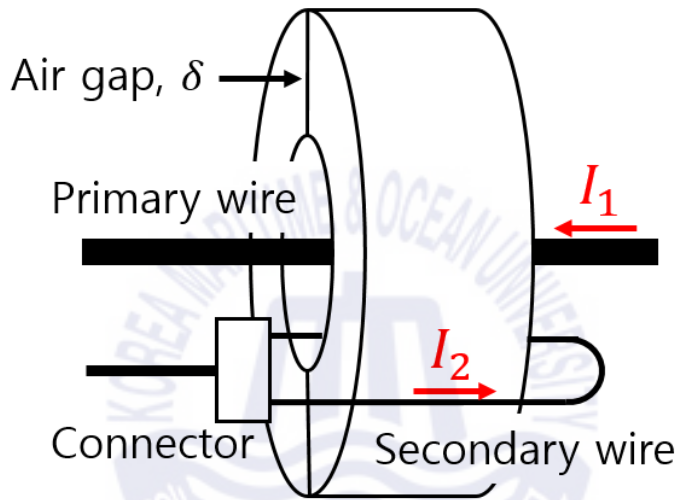


Fig. 3. Appearance of inductive ferrite coupler

유도형 페라이트 결합기의 외형은 Fig. 3과 같다. 결합기의 최적설계를 위해서 결합기 크기와 공공간극별 시뮬레이션을 진행하고 자속밀도분포 확인과 자속에너지의 크기를 계산하였다. 유도형 결합기는 토로이달 결합기와 컷 결합기로 구분하여 시뮬레이션을 진행하였다.

결합기의 자심재료로 사용한 페라이트의 B-H 그래프는 Fig. 4와 같다. 토로이달 결합기인 경우에는 약 0.4T에서 자속이 포화되기 시작하는 특성을 갖는다. 하지만 같은 자속포화가 일어나더라도 컷 코어 결합기의 경우 공공간극으로 인해 자속이 누설이 일어나게 되어 토로이달 결합기보다 더욱 높은 전류에서 자속포화가 일어난다. 따라서 전기자동차의 고전류 조건이라면 토로이달 결합기보다는 컷 코어 결합기가 더 적합할 것이다.

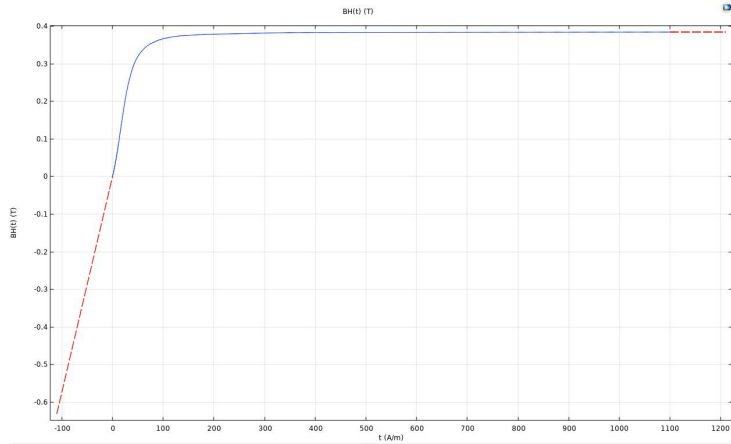


Fig. 4. B-H graph of ferrite coupler

먼저 토로이달 결합기와 컷 결합기의 두께를 1cm에서 5cm까지 1cm간격으로 증가시키며 변화를 확인하였다. 그리고 1회 감겨있는 권선과 1A를 인가한 전류의 조건으로 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션 결과의 자속밀도 분포는 Fig. 5와 같다. 토로이달과 컷 코어 결합기의 자속밀도를 비교해보면 토로이달이 컷 보다 더 높은 자속밀도분포를 보이는 것을 확인할 수 있다. 이는 컷 코어의 공공간극에 의해 자속이 누설되어 토로이달 결합기보다 결합기내부에 존재하는 자속의 크기가 작아지기 때문이다. 그리고 크기를 살펴보면 두 결합기 모두 크기가 증가함에 따라 결합기 내부의 자속의 크기가 증가한다는 것을 확인할 수 있었다.

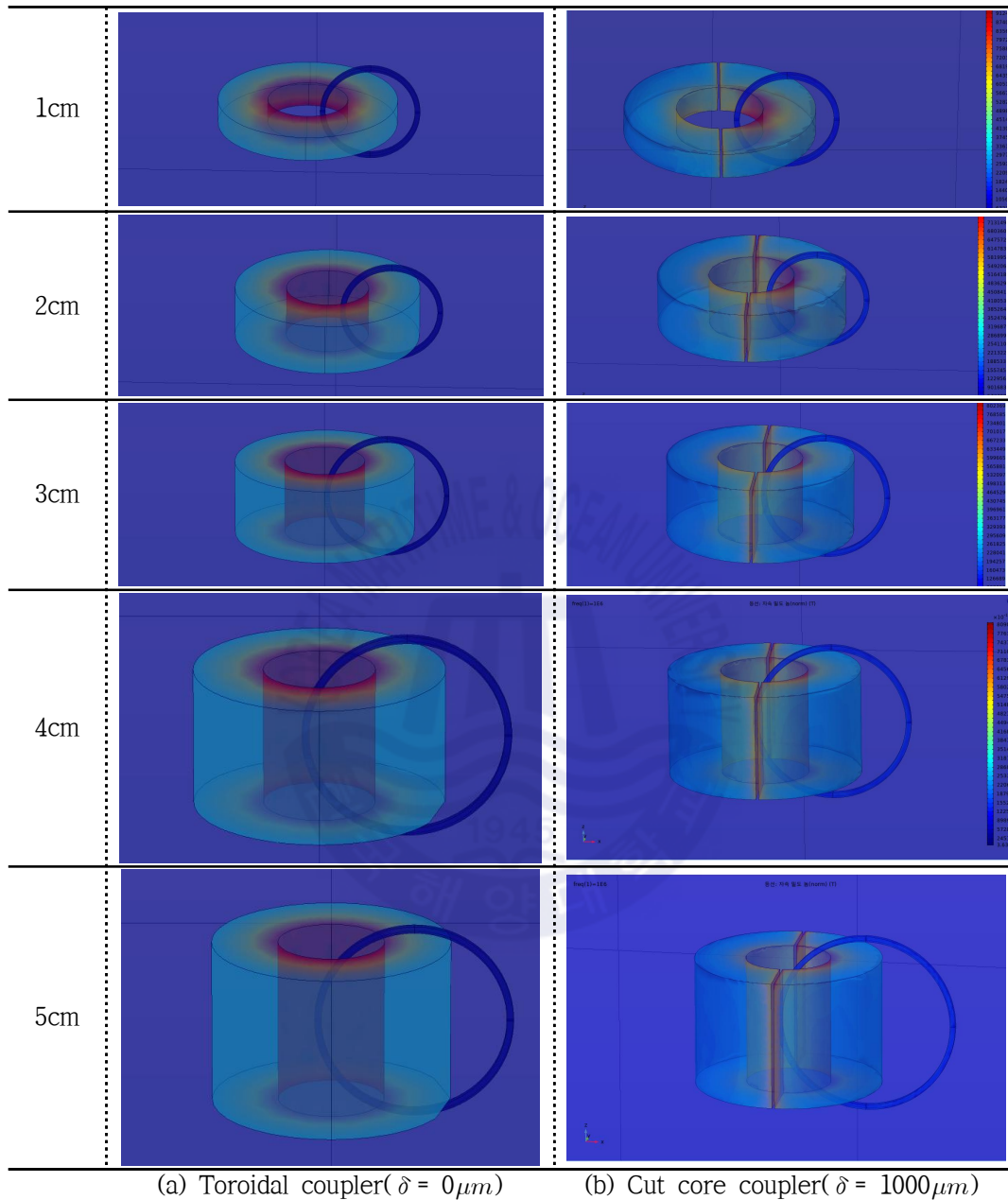


Fig. 5. Simulation results of magnetic flux density distribution of toroidal and cut core coupler (1 A, 1 turn)

토로이달 결합기와 컷 결합기의 자속밀도분포를 확인하였고 이어서 자속에너지 크기를 측정하였다. 자속밀도분포 측정과 마찬가지로 크기를 1cm 간격으로 증가시키며 측정을 진행하였고 측정 결과는 Fig. 6과 같다. 두 결합기 모두 크기의 단위에서는 차이가 있지만 크기가 증가함에 따라 자속에너지의 크기가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

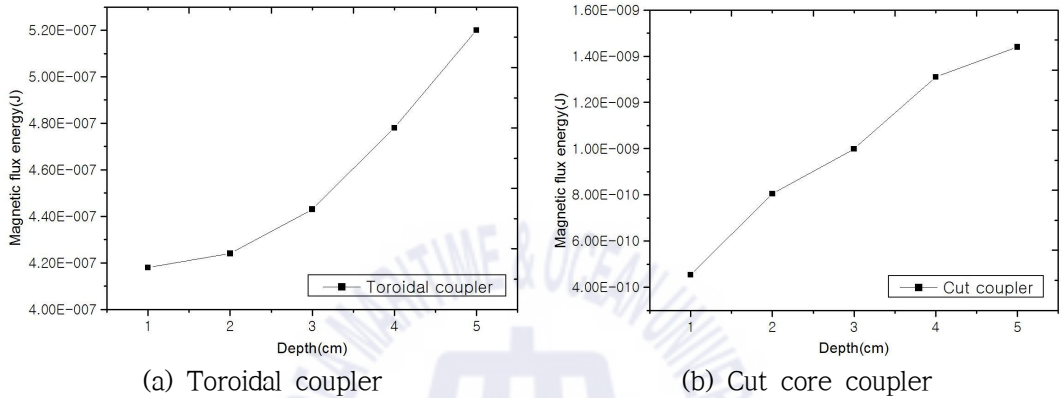


Fig. 6. Measurement results of magnetic flux energy of the toroidal coupler and cut core coupler

공기간극에 의한 자속누설로 인해 토로이달 보다 컷 결합기의 포화자속전류가 더욱 높으므로 컷 결합기를 시스템에 적용하는 것이 전류변동 조건에서는 더욱 좋은 통신 성능을 보일 것이라 예상하였다. Fig. 7과 같이 공기간극을 1000 μm 에서 5000 μm 까지 1000 μm 간격으로 크기를 증가시켜 측정을 진행하였고 측정 결과는 Fig. 8과 같다. 측정 결과 공기간극이 증가함에 따라 자속에너지의 크기가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이는 공기간극이 증가하여 누설되는 자속의 크기가 증가하게 됨에 따라 자속에너지의 크기가 감소하게 된다.

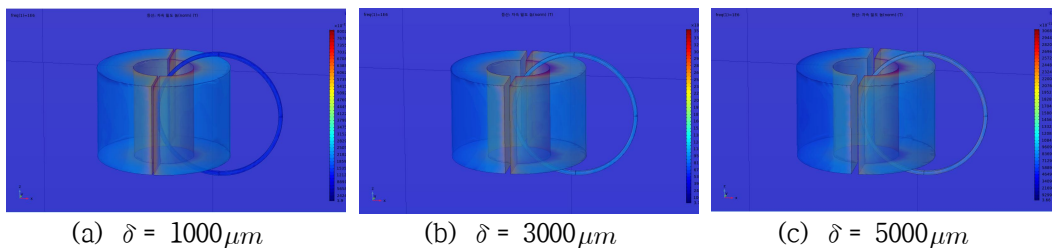


Fig. 7. Measurement of magnetic flux energy by air-gap

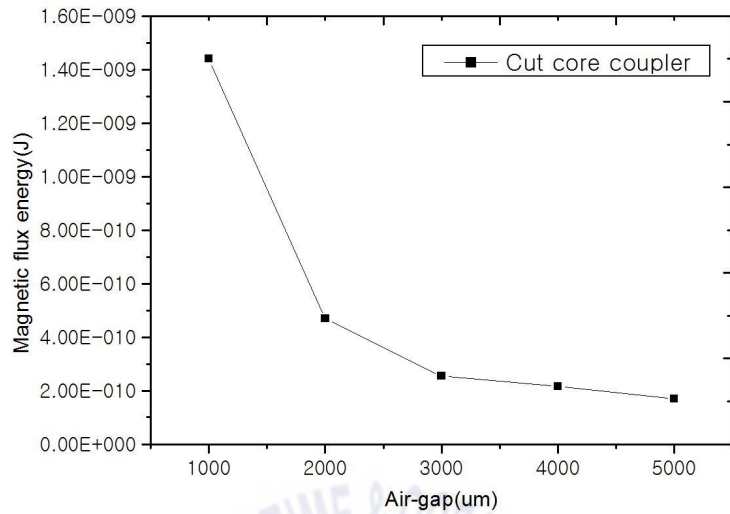


Fig. 8. Measurement results of magnetic flux energy by air-gap

결합기 두께와 공기간극의 크기에 따른 시뮬레이션 결과를 통해 결합기의 두께와 공기간극의 크기에 따라 자속에너지의 영향이 어떠한지 확인하였다. 이를 통해 결합기를 제작할 때 두께는 두껍고 공기간극의 크기는 최소화하는 것이 결합기 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

2.4 토로이달 결합기와 컷 코어 결합기의 성능 시험

2.3절에서 진행한 시뮬레이션을 바탕으로 토로이달 결합기와 컷 결합기를 이용해 고전류 케이블에서의 전력선 통신 성능 비교 실험을 진행하였다. 전기자동차의 고전류 케이블 이외에 적용해 볼 수 있는 고전류 케이블의 예로는 용접선로를 활용하는 것이다 [19]. 용접선로는 최대 130A의 전류가 흐르는 100m길이의 용접선로를 활용하여 통신 대역폭 측정실험을 진행하였다.

실험 구성은 Fig. 9와 같다. 용접선로 양단에 각각 페라이트 결합기를 1차와 2차 결합기로 설치하고 PLC Modem을 연결한다. PLC모뎀과 모니터링PC를 연결해 주고 모니터링PC에서 결과들을 전달받는다. Jperf 프로그램을 이용해서 통신 대역폭 측정을 진행하고 측정을 할 때는 1차 결합기에서 서버를 열어주고 2차 결합기에서는 1차 결합기가 연결된 모니터링 PC의 IP주소를 이용해 클라이언트로 데이터 통신을 한다 [20]. 여기서 사용한 Jperf는 네트워크 성능 측정 및 조정에 널리 사용되는 프로그램으로 모든 네트워크에 표준화 된 성능 측정을 수행할 수 있는 크로스 플랫폼 도구이며 iPerf 기반으로 동작하고 iPerf와 같은 결과를 얻지만 그래프를 시각적으로 확인할 수 있다.

구매하여 실험에 적용한 유도형 결합기의 실물사진은 Fig. 10과 같다. 외부의 플라스틱 케이스로 패키징되어있고 페라이트 결합기는 컷 코어의 형태이다. 외경은 5.8cm, 내경은 2.8cm, 높이는 6cm이다. 그리고 공기간극은 플라스틱 케이스에 의해서 1000 μm 이상이다.

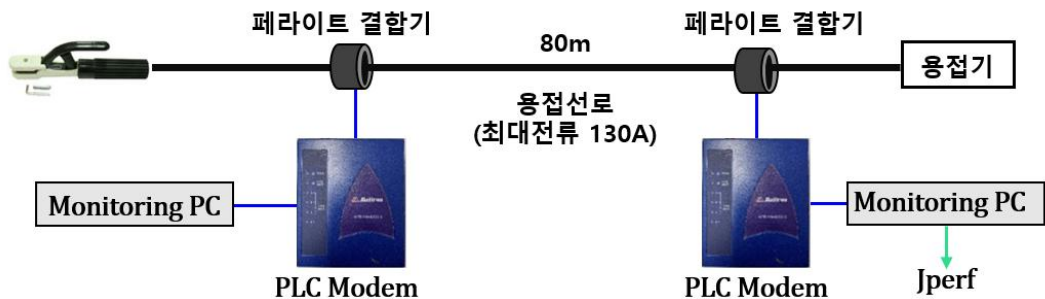


Fig. 9. Experiment configuration of PLC using welding line

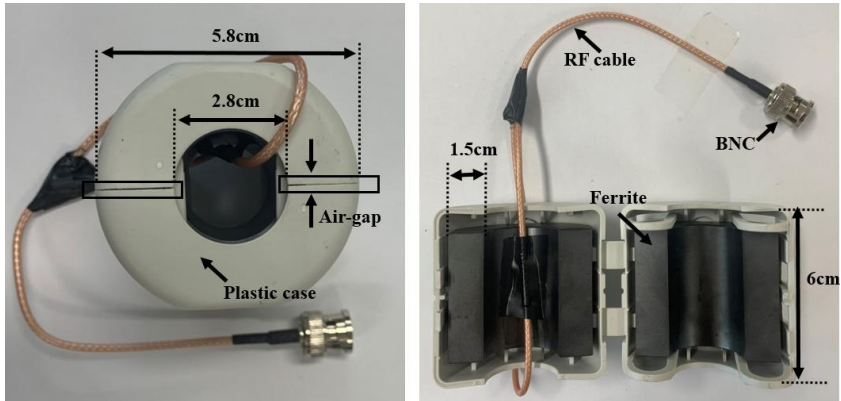


Fig. 10. A ferrite coupler used in experiments

용접선로를 이용해서 용접을 진행하면 용접선로에 전류가 흐르게 되어 채널의 부하변동이 있고 저주파대역 노이즈가 증가하게 된다. 용접을 진행하여 부하변동이 있을 때도 전력선 통신이 가능하다는 것을 확인하기 위해 용접을 진행하면서 통신 대역폭 측정을 진행하였다. 직접 용접을 진행하는 상태에서 Jperf 프로그램을 이용해 통신 대역폭 측정을 진행하였다.

컷 결합기를 이용한 유도형 전력선 통신 대역폭을 측정한 결과는 Fig. 11과 같다. 측정 결과 용접전과 용접중 그리고 용접후의 통신 대역폭이 10Mbps 이상의 일정한 통신 대역폭을 갖는다는 것을 확인할 수 있었다.

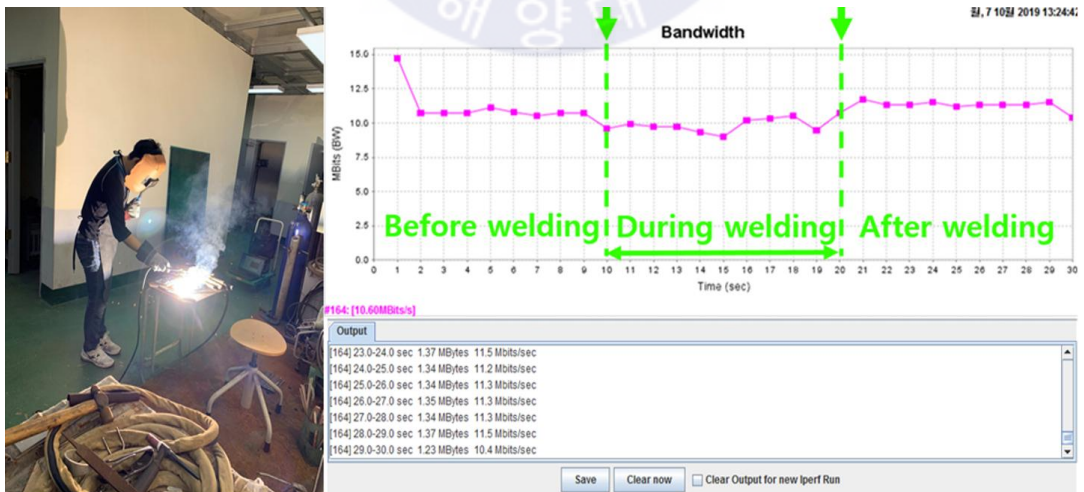


Fig. 11. Bandwidth measurements of welding line using a cut core coupler

한편 토로이달 결합기를 이용한 유도형 전력선 통신 대역폭을 측정한 결과는 Fig. 12와 같다. 토로이달 결합기는 컷 결합기와는 달리 용접을 진행함에 따라 통신 대역폭이 0으로 내려가 통신 성능이 좋지 못한 결과를 확인할 수 있다.

이러한 결과를 보이는 이유로는 토로이달 결합기는 내부의 자속이 쉽게 포화되다. 그리고 컷 결합기는 공기관극으로 인해서 자속이 누설되어 자속포화전류가 토로이달 결합기보다 높아서 고전류에서도 통신이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 전기자동차의 고전류 케이블을 이용하여 전력선 통신을 적용하는 시스템에서도 토로이달 결합기보다 컷 결합기가 더욱 적합할 것이다.

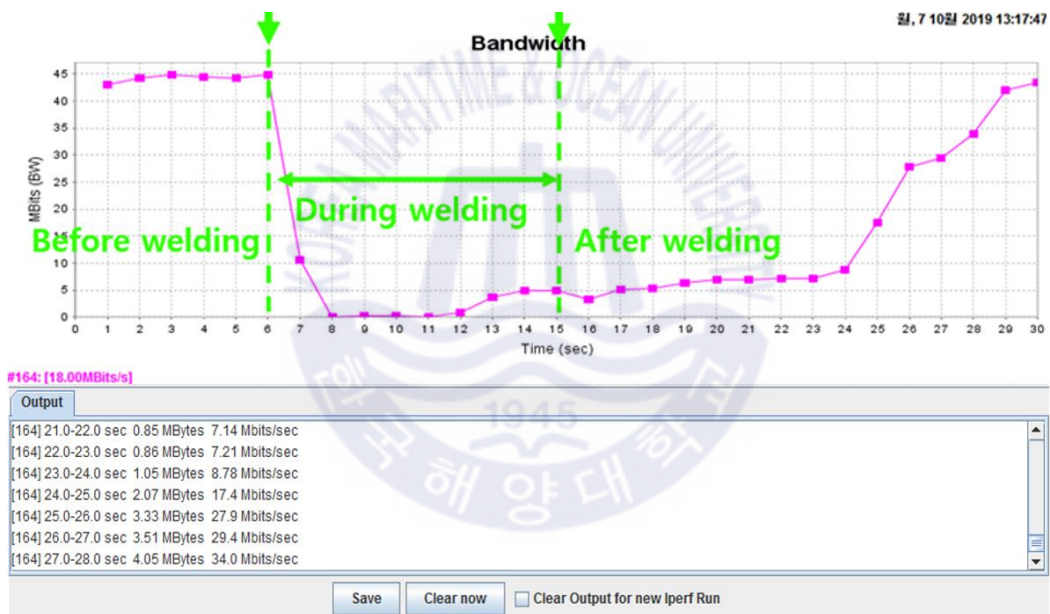


Fig. 12. Bandwidth measurements of welding line using a toroidal coupler

제 3장 전기자동차 전력선 통신 실험 및 결과

본 장에서는 전기자동차 유도형 전력선 통신 적용에 대해 진행한 실험 구성과 실험 결과에 대해 서술한다. 본 논문에서 제안하는 전기자동차 유도형 전력선 통신 시스템은 Fig. 13과 같다. 실험에는 울산 테크노파크 그린카센터 소유의 전기자동차를 이용하였다. 실제 시중에 존재하는 전기자동차의 경우 고전류 케이블이 내부에 위치하여 실험을 진행할 수 없으나 울산 테크노파크에서는 연구를 위해 고전류 케이블이 외부에 노출되어 있고 이를 이용해 유도형 결합기를 설치할 수 있는 상태이다.

전기자동차 내의 각 위치에 있는 고전류 케이블 양단에 페라이트 결합기를 1차 결합기, 2차 결합기로 설치한다. 페라이트 결합기는 BNC커넥터를 이용해 PLC Modem과 연결하고 PLC Modem은 LAN 케이블을 이용해 모니터링 PC와 연결된다. 모니터링 PC에서는 Jperf 프로그램을 이용해서 통신 대역폭을 측정한다.

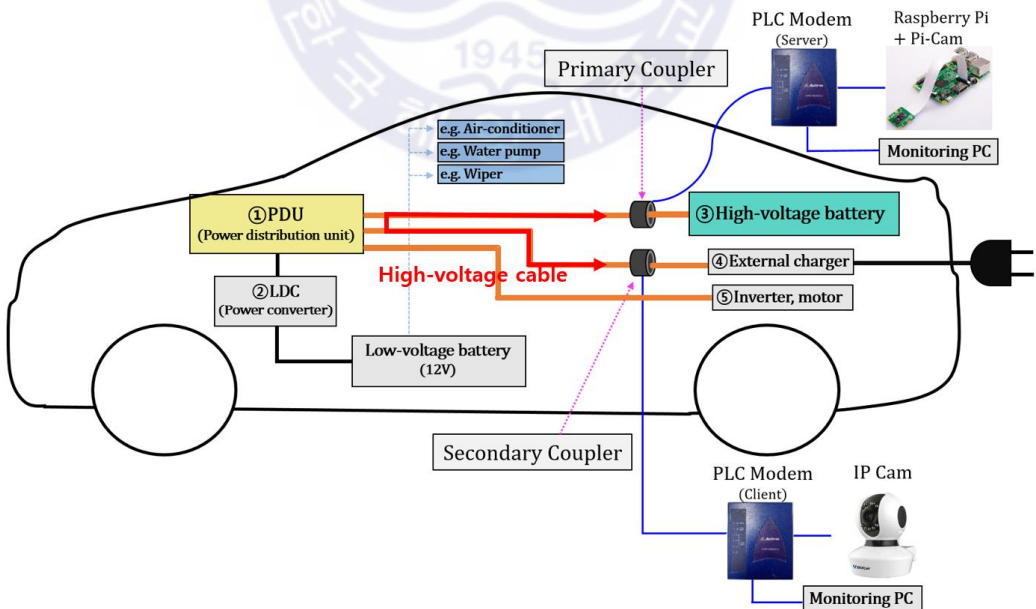


Fig. 13. Experiment configuration of electric vehicle PLC system

본 논문의 통신 대역폭 측정 실험에 사용한 PLC Modem과 제원은 Fig. 14와 같다. 전력선 통신용 모뎀은 기존의 집안 및 사무실의 플러그를 이용하여 인터넷 및 홈네트워크가 가능하게 하는 장치로, 전력선을 이용하여 가정 및 소호(SOHO) 환경에서 최고 200Mbps의 고속 전력선 네트워크를 간편하게 구축할 수 있다. 1차 결합기에 PLC Modem을 연결해 서버를 구축하고 2차 결합기에서 PLC Modem을 통해 클라이언트로 서버와 통신을 한다.



Model	MTR-MM-D200-A
PHY Rate (Mbps)	200
Frequency(MHz)	2~34
Power Consumption	5W
Connect Port	BNC Connector × 1 ea Ethernet Port : RJ 45 × 4 ea
Power Supply	85~265 VCA (50/60 Hz)
Operating Temp.(°C)	-20 ~ 70
Humidity(%)	10 ~ 95
Dimension(mm) L×W×H	145×110×32

Fig. 14. PLC Modem

3.1 유도형 페라이트 결합기 삽입손실 측정

본 논문의 전기자동차 전력선 통신에 사용한 유도형 페라이트 결합기는 페리자성체인 페라이트로 제작되었다. 페리자성체는 강자성체와 비슷한 특성을 갖지만 전기저항이 크고 유도 전류에 의한 손실이 적다는 장점이 있다. 실험을 진행하기에 앞서 사용한 페라이트 결합기의 특성을 확인해보기 위해 삽입 손실을 측정하였다.

Fig. 15와 같이 결합기와 네트워크 분석기를 구성하고 측정을 진행하였다. 네트워크 분석기를 이용해 Network Analysis 모드로 측정을 하였고 1차 권선을 통해 신호가 전달되고 2차 권선으로 신호가 되 돌아오는 것을 분석하여 삽입 손실을 확인할 수 있다. 측정은 start frequency를 100kHz, stop frequency를 30MHz로 설정하여 측정하였고 고속 전력선 통신에 사용되는 주파수 대역인

1.7MHz~30MHz에 해당하는 대역에서의 삽입손실을 확인해보았다. 측정 결과는 Fig. 16과 같고 1.7MHz~30MHz의 대역에서 모두 -2dB보다 낮은 삽입 손실을 갖는 것을 확인할 수 있었다.

이를 통해 실험에 사용한 페라이트 결합기는 낮은 삽입 손실을 갖는다는 특성을 확인할 수 있었고 채널 분석에도 많은 영향을 미치지 않을 것이라 예상할 수 있다. 그리고 유도형 결합기의 높은 삽입 손실이 통신 성능에 영향을 끼치지만 실험에 사용한 유도형 페라이트 결합기는 낮은 삽입 손실 특성을 보이므로 통신 대역폭을 측정하여도 좋은 성능을 보일 것이라고 예상할 수 있다.

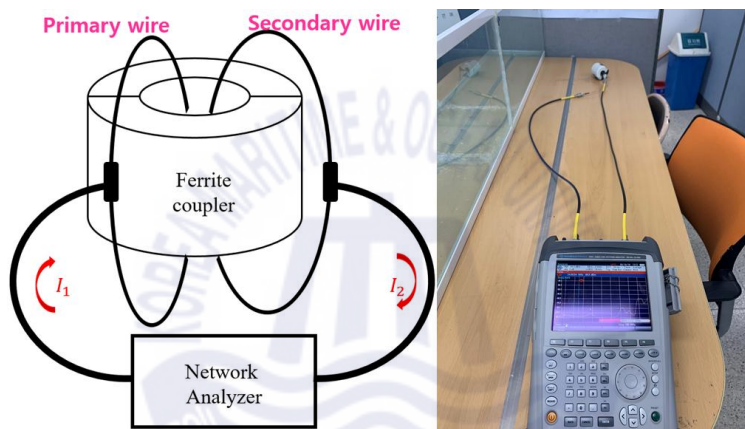


Fig. 15. Configuration of a ferrite coupler for insertion loss measurement

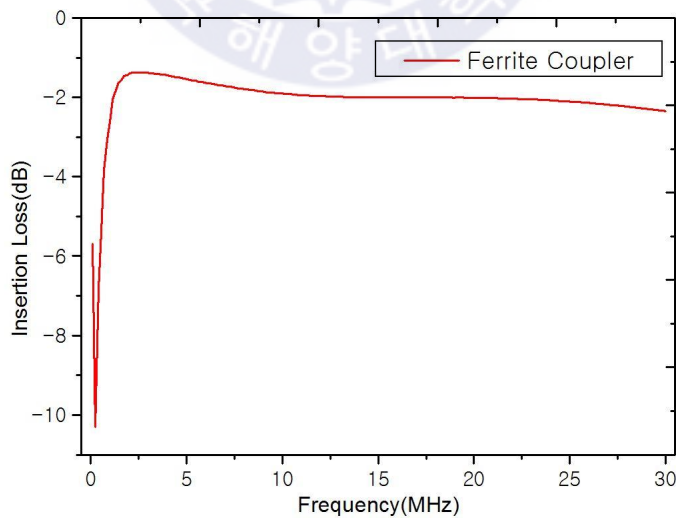
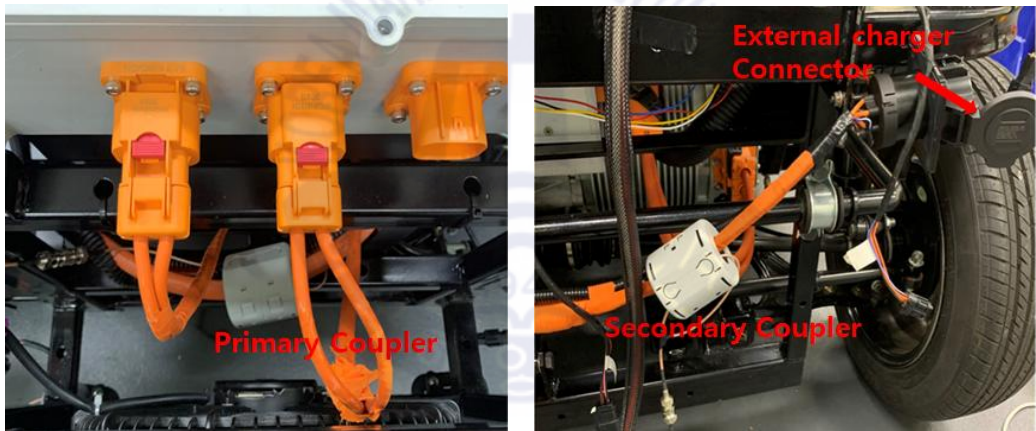


Fig. 16. Insertion loss of ferrite coupler

3.2 전기자동차의 전력선 특성분석

본 논문의 실험 구성인 Fig. 13에서 1차 페라이트 결합기와 2차 유도형 페라이트 결합기를 고전압 배터리, 전력분배기, 전력변환기, 외부충전기, 인버터에 설치하고 채널 분석과 통신 대역폭 측정을 진행한다. 전기자동차의 엔진전원이 켜있을 경우와 꺼져있을 경우에 대해 각각 실험을 진행하였고 그에 따른 결과를 비교, 분석하였다.

먼저 고전압 배터리와 외부 충전기 사이의 채널 분석과 통신 대역폭 측정을 진행하였다. Fig. 17과 같이 1차 결합기를 고전압 배터리에 설치하고 2차 결합기는 외부충전기에 설치하였다. 각 결합기는 BNC커넥터를 통해 전력선모뎀과 연결되어 있고 전력선모뎀에서 모니터링 PC로 LAN선을 이용해 통신을 수행한다.



(a) high voltage battery - primary coupler

(b) external charger - secondary coupler

Fig. 17. Experiment configuration between high voltage battery and external charger

네트워크 분석기를 이용해 1차 결합기와 2차 결합기 사이의 고전류 케이블의 채널 분석을 진행하였고 차량 엔진의 전원이 켜있을 경우와 꺼져있을 경우에 채널 분석을 통해 삽입 손실을 측정된 결과는 Fig. 18과 같다. 전력선 통신에 사용되는 통신 주파수 대역인 1.7MHz이상 30MHz이하의 주파수 대역에서 차량의 전원이 켜있을 경우에 더 많은 손실을 갖는 것을 확인할 수 있다. 전원이 켜있을 경우에는 통신 주파수 대역에서 약 -90dB의 손실이 측정되었고 전원이

꺼져있을 경우에는 약 -40dB 의 손실이 측정되었다. 이를 통해 통신 대역폭을 측정한다면 전원이 켜있을 경우에 더 낮은 통신 대역폭을 갖는 것을 확인할 수 있을 것이라 예상할 수 있다.

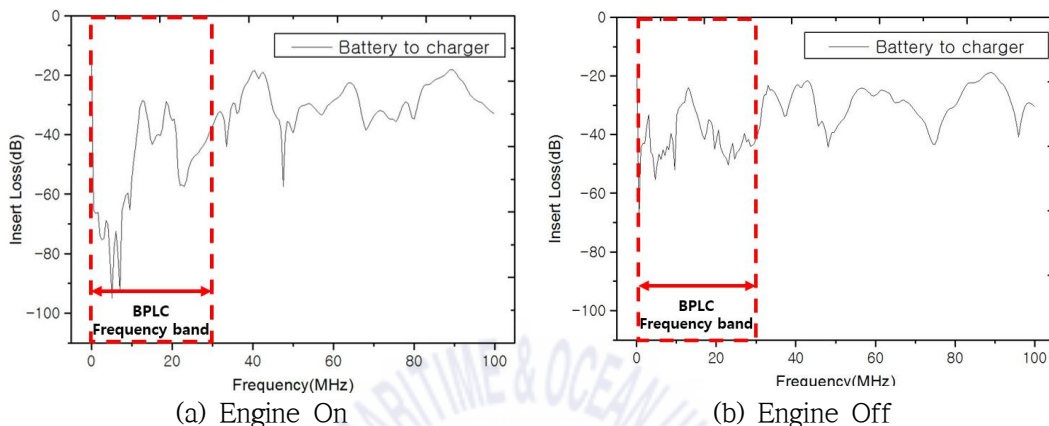
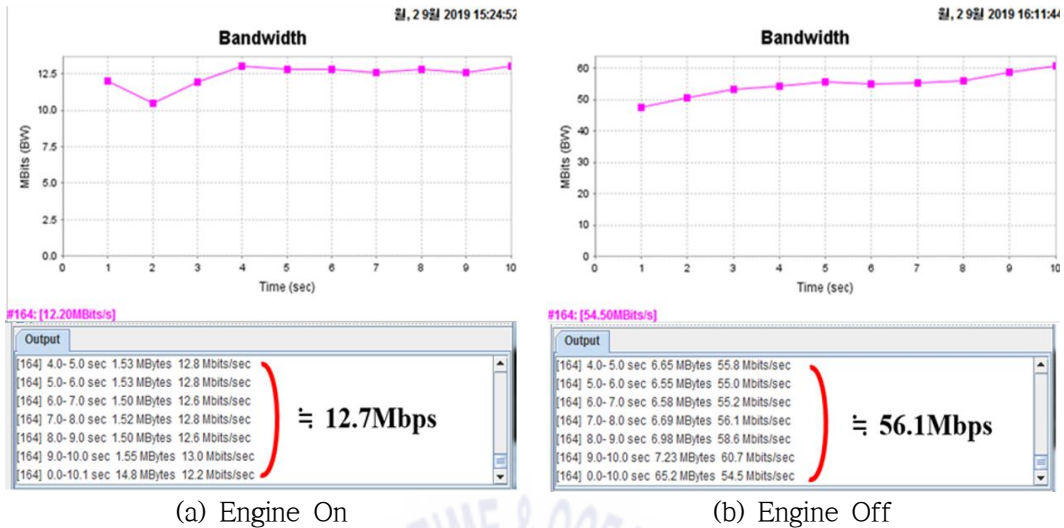


Fig. 18. Result of channel analysis between high voltage battery and external charger

채널분석 결과를 기반으로 1차 결합기와 2차 결합기를 같은 위치에 설치한 상태에서 통신 대역폭 측정을 진행하였고 측정 결과는 Fig. 19와 같다. 전원이 켜있는 경우에는 약 12.7Mbps 의 통신 대역폭을 갖는다. 이는 2.4절에서 확인하였던 용접중인 용접선로에서의 통신 대역폭과 비슷한 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다. 즉, 전기자동차의 전력선은 용접선로와 같이 높은 전류가 인가되었을 경우에도 10Mbps 급 이상의 통신 대역폭을 갖는다는 것을 확인할 수 있었다. 전원이 꺼져있는 경우에는 약 56.1Mbps 의 통신 대역폭을 보였다. 이러한 결과의 이유는 전원이 켜있는 경우에는 Fig. 18의 삽입 손실 측정결과에 의하면 많은 손실이 존재하기 때문에 더 낮은 통신 대역폭을 갖고 전원이 꺼져있는 경우에는 비교적 적은 손실이 존재하기 때문에 더 높은 통신 대역폭을 갖는 것을 확인할 수 있었고 채널 분석을 통해 예상해보았던 결과와 같은 결과를 얻을 수 있었다.



(a) Engine On

(b) Engine Off

Fig. 19. Result of measuring the communication bandwidth between high voltage battery and external charger

고전압 배터리와 외부충전기 간의 특성분석 실험 결과를 기반으로 고전압 배터리와 전력변환기, 고전압 배터리와 외부충전기, 고전압 배터리와 인버터 그리고 고전압 배터리와 전력분배기 간 총 네 가지 경우에 대하여 채널 분석과 통신 대역폭 측정을 진행하였다.

고전압 배터리와 외부충전기 간의 측정 결과와 마찬가지로 모든 위치에서 채널 분석 결과는 전기자동차의 엔진 전원이 켜있을 경우가 엔진 전원이 꺼져있을 경우보다 더 많은 손실을 보였다. 통신 대역폭도 마찬가지로 엔진 전원이 켜있을 경우가 엔진 전원이 꺼져있을 경우보다 더 낮은 통신대역폭을 보이는 결과를 보였고 이러한 결과들은 Fig. 20과 같다. 엔진 전원이 켜있을 경우의 저주파대역 잡음 때문에 피크 손실이 높고 이에 따라 통신 대역폭을 측정하면 엔진 전원이 켜있을 때가 더 낮은 통신 대역폭을 보이는 경향성을 갖는 결과를 확인할 수 있다. 즉, 삽입 손실이 높으면 통신 대역폭이 낮다는 결과를 얻을 수 있었다.

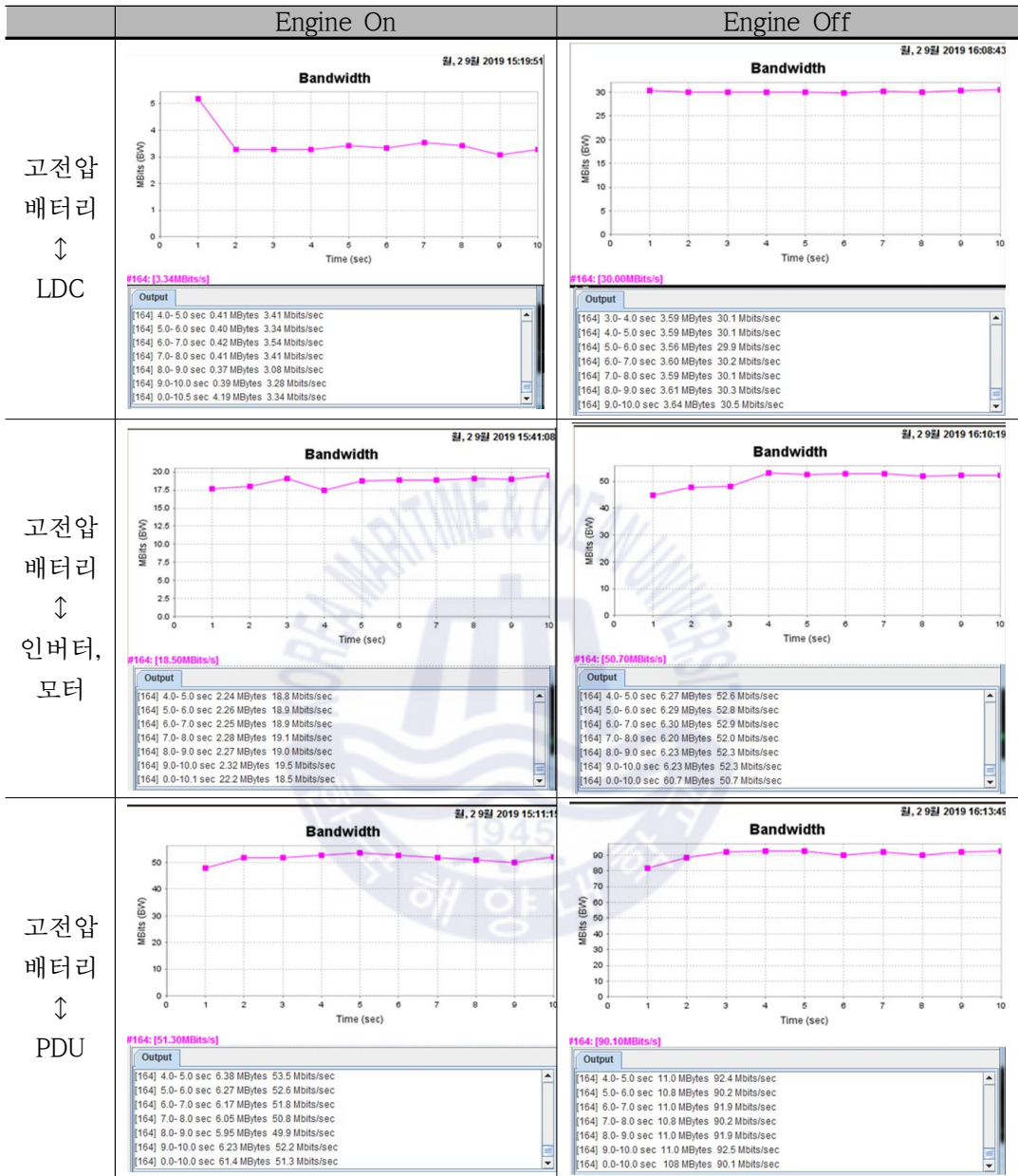


Fig. 20. Electric vehicle PLC communication bandwidth measurement results

실험 결과들을 정리하면 Table 4와 같다. 여기서 각 위치에서 엔진이 켜져있는 경우에 더 낮은 통신 대역폭을 갖고 있고 그림에도 불구하고 3Mbps이상의 통신 대역폭을 갖추고 있다. 이러한 통신 대역폭을 이용해 데이터 통신이 가능

한지 실험을 진행하였고 이를 입증하기 위해 IP-cam을 이용한 실시간 영상 데이터 전송 실험을 통해 실제 데이터 통신 가능성에 대해 확인하도록 한다.

Table 4. Electric vehicle PLC insertion loss and communication bandwidth measurement results

Primary coupler	Secondary coupler	Peak Loss (dB)	Bandwidth (Mbps)
③High-voltage battery	②LDC(Power converter)	-50	3.41
③High-voltage battery	④External charger	-40	12.8
③High-voltage battery	⑤Inverter, motor	-40	18.5
③High-voltage battery	①PDU(Power distribution unit)	-27	51.8



3.3 전력선을 이용한 통신 실험

3.2절의 총 네 가지 조건의 실험 결과에서 최소 3Mbps급 이상의 통신 대역폭을 갖는 것을 확인하였고 이를 통해 데이터 통신이 가능할 것이라 예상하였다. 이 절에서는 전기자동차 내의 고전류 케이블을 이용해 유도형 전력선 통신으로 데이터 통신이 가능함을 실험으로 확인하였다.

IP-cam을 이용한 실시간 영상 데이터 전송 실험에서는 IP-cam을 차량 후방에 위치한 2차 결합기와 연결된 모뎀에 추가하였다. IP-cam으로 차량 후방을 촬영하고 영상을 고전류 케이블을 통해 1차 결합기로 전달한다. 1차 결합기 측에서 데이터를 수신하여 모니터링PC에서 결과 화면을 확인할 수 있다. Fig. 21과 같이 시스템을 구성하고 실험을 진행하였고 1차 결합기 측의 모니터링PC에 전달된 결과화면이 나타난다. 이를 통해 전기자동차 내의 전력선을 이용해 실시간 영상 데이터가 34.0Kbps의 통신 속도로 원활하게 잘 전달된다는 것을 확인할 수 있었다.

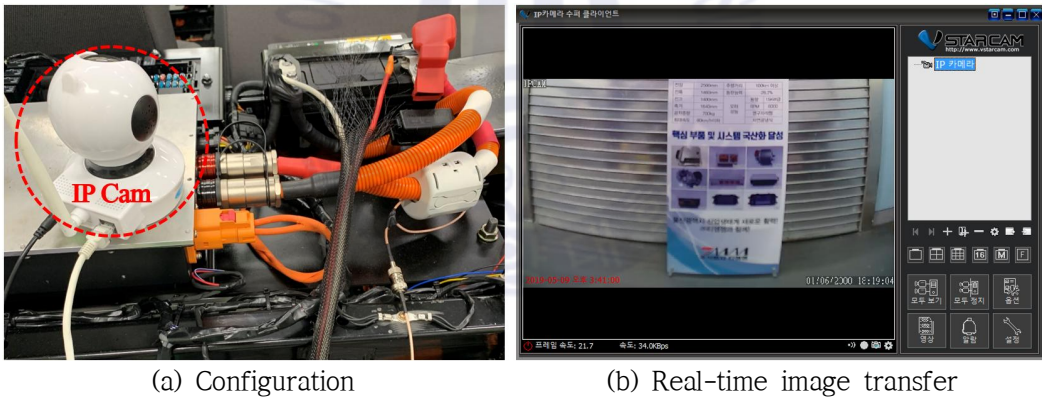


Fig. 21. The experiment of transfer real-time image based on IP-cam

제 4 장 전기자동차의 전력선 기반 객체검출 기술적용 실험

본 장에서는 최근 전기자동차에 딥러닝 기반 시스템이 많이 적용되고 있는 것을 바탕으로 유도형 전력선 통신에 딥러닝을 적용하는 것을 제안한다. 3.3절에서 전기자동차 유도형 전력선 통신을 이용해 데이터 통신이 가능하다는 것을 확인하였고 다른 적용기술로 딥러닝 객체 인식 기술을 적용하도록 한다.

4.1 전기자동차에 적용되는 딥러닝 동향

최근 전기자동차에 적용되고 있는 딥러닝 기술 동향으로는 컴퓨팅 하드웨어 제조사인 NVIDIA가 자사의 GPU 제조 역량을 활용해 자율주행 자동차시장에 진출하고 있다. NVIDIA는 딥러닝 기반의 자율주행 관련 논문을 발표하고 자사가 개발한 자율주행 차량의 데모영상을 공개했다. 데모영상에서 NVIDIA가 개발한 자율주행 자동차는 눈, 비가 내리거나 어두운 밤, 혹은 비포장도로와 같이 주행이 쉽지 않은 다양한 환경에서도 자율주행 기능이 완벽하게 동작한다.

전기자동차 혁신 기업인 테슬라는 다음 혁신을 인공지능 기반 자율주행 자동차 구현에서 만들어가고 있다. ‘Autopilot’ 이라 불리는 반자율 주행기능을 시장에 가장 안정적으로 상용화시키며 관련 기술을 빠르게 발전시켜 나가고 있다. 테슬라의 Autopilot 기능은 일반적인 차선 유지, 차간 거리 조정 등과 같은 기능보다 더욱 진화된 차선 변경, 자동 차고 입.출입 등과 같은 기능들을 포함하고 있다. 무엇보다 테슬라의 Autopilot은 차량에서 발생하는 거의 모든 데이터를 수집하고 분석해 인공지능으로 구현했다는 점에서 향후 더욱 큰 혁신이 예상된다. 그리고 자율주행 자동차를 실현하기 위해 차량 전방의 객체를 정확하게 인식하는 기술이 연구되고 있다 [21]. 주로 CNN(Convolutional Neural Network)과 같은 이미지처리에 효율적인 성능을 보이는 알고리즘들을 주로 택하여 객체를 인식한다. 본 논문에서는 객체 검출에 SSD(Single Shot MultiBox Detector)를 이용해 차량 전방의 객체를 인식하는 실험을 진행하였다.

4.2 객체 검출

4.1절에서 서술한 자율주행 기술에 필수 요소인 객체 인식은 사람이 가장 많은 정보를 받아들이는 시각 정보를 컴퓨터가 대신하여 분석하고 해석할 수 있도록 하는 연구 분야이다. 이는 영상 감시, 얼굴 인식, 로봇 제어, IoT, 자율 주행, 보안 등에 활용됨으로써 산업 전반에서 빠질 수 없는 핵심기술로 사용되고 있다.

객체 인식 분야의 연구자들은 PASCAL, ImageNet, 그리고 최근 MS COCO에 이르기까지 객체 인식 관련 대회를 개최하여 분야 발전을 도모하고 있다. 과거의 객체 인식 연구는 객체가 가지는 특징을 설계하고 검출함으로써 객체를 찾아내는 방식으로 진행되었다. 그 후, DPM(Deformable Part-based Model)에서는 물체를 여러 부분으로 나누어 특징 정보를 구성하고, 각 부분의 유동적인 구조를 SVM(Support Vector Machine)과 같은 기계학습 방법으로 연결함으로써 객체 인식 성능을 높였다. 하지만 합성곱 신경망(CNN: Convolutional Neural Network)이 기본 방식의 성능을 압도적으로 뛰어넘는 결과를 보여주며 학계에 주목을 받았다.

한편, 영상에서 객체가 무엇인지 인식하는 문제는 CNN을 통해 어느 정도 성공을 거뒀으나, 영상에서 객체가 어디에 존재하는지를 찾아내는 것은 또 다른 문제였다. 따라서 근래에는 객체의 위치를 검출하는 방법에 대한 연구가 등장하였다. R-CNN(Region-based Convolutional Neural Networks)은 이 문제를 딥러닝 회귀방법으로 해결한 초기 연구다. R-CNN의 단점이었던 느린 검출 속도를 보완하기 위해 Fast R-CNN이 개발되었으나, 여전히 객체의 후보 영역을 찾는 데에는 딥러닝을 이용할 수 없다는 단점이 있었다. Faster R-CNN에서는 이를 해결함으로써 검출 속도를 향상시키는 것뿐만 아니라, 딥러닝만을 이용하여 객체 인식을 구현할 수 있게 되었다.

최근에는 SSD와 같이 모바일에서도 동작 가능한 정도의 빠른 검출 속도를 보이는 방법들이 제안되고 있다. SSD는 후보 영역을 생성하기 위한 RPN을 따로 훈련시키지 않고 다양한 크기의 Feature Map을 이용하여 객체를 인식한다. CNN 모델로부터 얻은 Feature Map은 합성곱 층이 진행됨에 따라 크기가 줄어

들게 된다. SSD는 이 과정에서 추출된 모든 Feature Map들을 추론 과정에서 사용하여 객체를 인식한다. 얇은 깊이에서 추출되어 크기가 큰 Feature Map은 작은 물체를 검출할 수 있고, 깊은 깊이에서 추출되어 크기가 작은 Feature Map은 큰 물체들은 검출할 수 있다. SSD는 RPN을 제거함으로써 Faster R-CNN보다 학습속도를 향상시켰으며, 다양한 크기의 Feature Map을 이용하여 정확하게 객체를 인식할 수 있다. SSD를 이용한 이미지 검출 과정은 Fig. 22와 같다 [22].

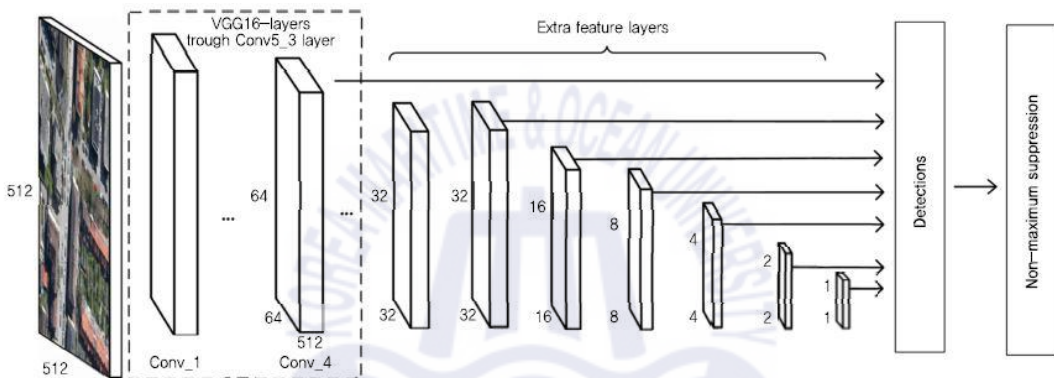


Fig. 22. Structure of SSD(Single Shot MultiBox Detector)

본 논문에서는 Tensorflow에서 제공하는 Object detection API에 포함된 SSD를 이용하여 MS COCO 데이터 셋에 대해 학습을 진행하고 라즈베리파이를 시스템에 적용하여 전기자동차 전방의 객체를 검출하는 프로그램을 실험에 사용하였다. 파이썬을 이용해 TensorFlow와 OpenCV 라이브러리를 설치하고 MS COCO 데이터 셋을 기반으로 학습된 모델을 실험에 적용하였다. 여기서 텐서플로는 구글에서 만든, 딥러닝 프로그램을 쉽게 구현할 수 있도록 다양한 기능을 제공해주는 라이브러리이다 [23]. 그리고 OpenCV는 인텔이 개발한 이미지 및 영상처리 관련 라이브러리이며, 윈도우, 리눅스, 안드로이드, iOS 등에서 사용가능한 오픈소스 컴퓨터 비전 및 기계학습 소프트웨어 라이브러리이다 [24].

본 논문에서 적용한 딥러닝 객체인식 기술은 라즈베리파이에 파이 캠을 부착하여 차량 전방의 객체를 촬영하고 검출된 결과 텍스트를 소켓 통신을 통해 전달한다. 실험에 사용하기 위해 라즈베리파이에 설치한 프레임 워크와 버전은 Table 5와 같다.

Table 5. Version of the frameworks used in this paper

Frame Works	Version
OS	Raspbian
Python	3.5.3
OpenCV	3.4.1
TensorFlow	1.13
MS COCO	2018.09.05

4.3 유도형 전력선 통신 기반 객체검출기술 적용 실험 및 결과

라즈베리파이를 이용해 객체를 검출하기 위해 학습된 프로그램을 사용하여 객체 검출 결과 텍스트 전달 실험을 진행하였다. Fig. 23에서 라즈베리파이에 파이 캠을 추가하고 1차 결합기에 설치하여 실험을 구성하였다. 전기자동차 전방의 객체를 라즈베리파이 캠을 통해 촬영하고 라즈베리파이 내의 학습되어진 프로그램을 통해 전방의 객체가 무엇인지를 검출 및 구별한다. 그리고 객체에 대한 결과 텍스트를 고전류 케이블을 이용해 2차 결합기 측으로 전달하고 전달 받은 텍스트 데이터는 2차 결합기와 연결된 모니터링PC에서 확인한다.

Fig. 23의 2차 결합기 측 모니터링PC에서 수신한 결과 텍스트 데이터는 Fig. 24와 같이 라즈베리파이에서 ‘person’ 이라는 객체를 검출한 결과를 전달받아 모니터링PC에서 확인하게 된다. 이를 통해 차량 전방에 위치한 사람과 물병이라는 객체에 대해 정확하게 인식하고 실험 결과 텍스트가 정확하게 전달되는 것을 확인할 수 있었다. 이번 절에서 진행한 라즈베리파이를 이용한 딥러닝 기반 객체 검출 결과 텍스트 전송 실험을 통해 전기자동차 내의 전력선을 이용해 유도형 전력선 통신이 적용가능하고 데이터 통신이 원활하게 이루어지는 것을 입증할 수 있었다.

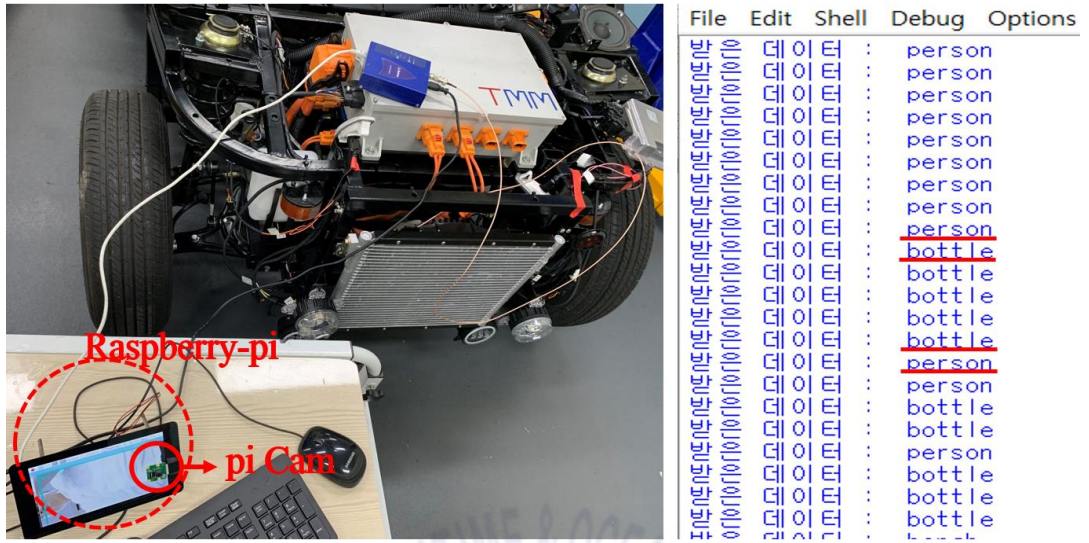


Fig. 23. Deep-Learning object detection text data transfer experiment configuration and results

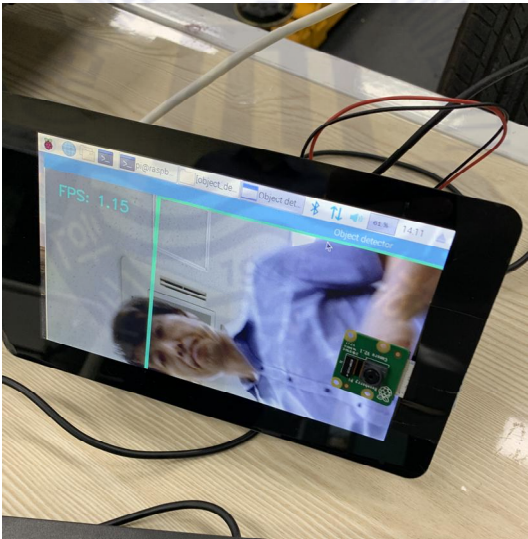


Fig. 24. The screen that detected 'person'

5. 결론

본 논문에서는 전기자동차 내의 고전류 케이블을 이용한 전력선 통신 적용에 대해 연구하였다. 실험에는 유도형 페라이트 결합기를 사용하였다. 유도형 페라이트 결합기의 3D시뮬레이션 해석을 진행하였고 두께와 공기간극에 의한 자속 밀도분포와 자속에너지의 변화를 확인할 수 있었다. 시뮬레이션을 통해 컷 코어 결합기는 공기간극으로 인해 자속포화전류가 토로이달 결합기보다 높은 값을 보이고 이를 통해 고전류에서도 사용이 가능할 것이라 예상할 수 있었다. 공기간극을 갖는 유도형 페라이트 결합기를 전기자동차의 고전류 케이블을 이용해 실험을 진행하기에 앞서 용접선로를 이용해 부하변동이 있는 상태에서의 전력선 통신 기초실험을 진행하였다. 측정 결과 10Mbps이상의 통신 대역폭을 확인할 수 있었다. 이러한 기초실험의 결과를 바탕으로 전기자동차 내의 여러 위치에서 채널 분석을 진행하였고 차량의 엔진이 켜있는 상태가 엔진이 꺼진 경우에 비해 더 많은 잡음과 손실을 갖는 것을 확인할 수 있었다. 이 결과에 의해 통신 대역폭을 측정한다면 엔진 전원이 켜있을 때 더 낮은 통신 대역폭을 보일 것이라 예상하였다. 그 후 통신 대역폭 측정을 진행하였고 채널 손실을 통해 예상한 결과와 같은 엔진이 켜있는 상태에서 더 낮은 통신 대역폭을 갖는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 엔진이 켜있는 상태에서도 3Mbps급 이상의 통신 대역폭을 갖는다. 따라서 데이터 통신이 가능하다는 것을 입증하기 위해 실시간 영상 데이터 전송 실험과 라즈베리파이을 이용한 딥러닝 객체 검출 결과 텍스트 전송 실험을 진행하였고 두 가지 실험에서 원활하게 데이터를 수신하는 결과를 통해 데이터 통신이 가능하다는 것을 입증할 수 있었다. 이 연구의 결과를 통해 전기자동차 내의 전력선 통신 적용에 관한 많은 활용과 차량 중량의 경량화 및 배선의 간편화에 기여할 것이라고 기대된다.

참고문헌

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle
- [2] Ezio Bassi, Francesco Benzi, Tullio Facchinetti, Luis Almeida, and Thomas Nolte, “Powerline Communication in Electric Vehicles” , 2009 IEEE.
- [3] Technology and Standards Trends of Electric Vehicle ICT, S. Y. Lee, S. J. Park, ETRI, 전자통신동향분석 제 26권 제 6호 2011년 12월.
- [4] Martine Lienard, Marc Olivas Carrion, Vignei Degardin, and Pierre Degauque, “Modeling and Analysis of In-Vehicle Power Line Communication Channels” , IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL 57, 2 March 2008.
- [5] Alberto Pittolo, Marco Piante, Fabio Versolatto, and Andrea M.Tonello, IN-VEHICLE POWER LINE COMMUNICATION Differences and Similarities Among the In-Car and the In-Ship Scenarios, IEEE, 2016.
- [6] Masaki Takanashi, Atsuhiko Takahashi, Hiroya Tanaka, Hiroaki Hayashi, Tomohisa Harada and Yoshiyuki Hattori, “Channel Measurement and Modeling of High-Voltage Power Line Communication in a Hybrid Vehicle” , 2014 18th IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications.
- [7] Masaki Takanashi, Tomohisa Harada, Atsuhiko Takahashi, Hiroya Tanaka, Hiroaki Hayashi, and Yoshiyuki Hattori, “High-Voltage Power Line Communication System for Hybrid Vehicle” , 2015 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications (ISPLC).
- [8] https://en.wikipedia.org/wiki/Power-line_communication
- [9] ISO/IEC 12139-1, “Information Technology – Telecommunications and Information Exchange Between Systems – Powerline Communication(PLC) – High Speed PLC Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) – Part 1 : General Requirements” , July 2009.
- [10] ITU-T G.9960, “Series G : Transmission Systems and Media, Digital Systems and Networks, Access Networks – In Premises Networks, Unified High-Speed Wire-Line Based Home Networking Transceivers – System Architecture and Physical Layer Specification” , June 2010.
- [11] ITU-T G.9972, “Series G : Transmission Systems and Media, Digital Systems and Networks, Access Networks – In Premises Networks, Unified High-Speed Wire-Line

Based Home Networking Transceivers – Coexistence Mechanism for Wireline Home Networking Transceivers” , June 2010.

[12] IEEE Std 1901-2010, “IEEE Standard for Broadband over Power Line Networks : Medium Access Control and Physical Layer Specifications” , Dec. 2010.

[13] H. C. Ferreira, L. Lampe, J. Newbury, and T. G. Swart, “Power Line Communications : Theory and Applications for Narrowband and Broadband Communications over Power Lines.” , Wiley, 2011.

[14] Seung-Ho Yang, Jae-Hwan Jeong, Hyun-sik Kim, and Kyung-Rak Sohn, “Implementation of Soft Magnetic Core Type Coupler for Broadband Power Line Communication” , The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, 19-04 Vol.44. No.44.

[15] Y. Murata and T. Kimura, “Inductive coupling unit and bypass tool for power line communications.” Advance, vol. 109, 2005.

[16] Jae-Hwan Jeong, Seung-Ho Yang, Hyun-Sik Kim, and Kyung-Rak Sohn, “Soft magnetic-core coupler suitable for low-frequency band power-line communication” , Journal of the Korean Society of Marine Engineering 42, 2018.

[17] Hyun-Sik Kim, Kyung-Rak Sohn, “Channel characteristics of multi-path power line using a contactless inductive coupling unit” , Journal of the Korean Society of Marine Engineering 40, 2016.

[18] C. H Kim, “COMSOL Multiphysics 3.3” , The Korean Society of Mechanical Engineers, 2006.

[19] Jae-Hwan Jeong, Seung-Ho Yang, Hyun-Sik Kim, and Kyung-Rak Sohn, “Power Line Communication Characteristics of Inductive Cut-Core Coupling Unit Robust to Current Fluctuation” , The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences 43, 2018.

[20] <https://jperf.fr>.

[21] Ju-Chan Han, Bon-Cheol Koo, and Kyung-Joo Cheoi, “Obstacle Detection and Recognition System for Autonomous Driving Vehicle” , ISSN, 2017

[22] Seung-Ho Yang, Jae-Hwan Jeong, Hyun-Sik Kim, and Kyung-Rak Sohn, “SSD-based Fire Recognition and Notification System Linked with Power Line Communication” , Institute of Korean Electrical and Electronics Engineers 23, 2019.

[23] 조만석, “인공지능 오픈소스 라이브러리 텐서플로우(tensorflow)와 인공지능 응용 소프트웨어 개발”, The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences 34, 2017.

[24] <https://ko.wikipedia.org/wiki/OpenCV>

