

IEEE 802.11a WLAN 기술의 사용에 의한 배전자동화용 광무선 복합통신망의 구현

(Implementation of Fiber Optic and Wireless Complex Communication Network for
Distribution Automation using IEEE 802.11a WLAN technology)

황진권* · 최태일

(Jin-Kwon Hwang · Tae-Il Choi)

Abstract

In order to provide electricity to users economically and safely, distribution automation systems (DASs) monitor and operate components of distribution systems remotely through communication networks. The fiber optic communication network has been mainly installed for the DAS of Korea Electric Power Corporation (KEPCO) because of its huge bandwidth and dielectric noise immunity. However, the fiber optic communication network has some shortcomings that its installation cost and communication fee are expensive. This paper proposes a complex network where WLANs are combined with conventional fiber optic communication networks in order to expand DAS easily and inexpensively. A fixed wireless bridge communication unit (FWB-CU) for the proposed complex network is implemented using IEEE 802.11a WLAN technology. The proposed complex network is built actually to verify its feasibility experimentally as a DAS communication network.

Key Words : DAS, WLAN, Fiver Optic Network, FRTU, DNP

1. 서 론

전력계통은 전기를 생산하는 발전계통, 고압의 전기를 송변전하는 송전계통 그리고 전기를 수용가에 분배하는 배전계통으로 나눌 수 있다. 전기를 경제적이고 안정적으로 공급하기 위하여 각 계통마다 설치된

여러 전력 설비들을 중앙에서 실시간으로 감시하고 자동적으로 제어할 수 있는 계통 운영 시스템들이 필요하다. 전력 계통의 효율적인 감시와 제어를 위한 운영 시스템은 지속적으로 발전하여 왔다. 현재, 국내에 발전계통, 송전계통 및 배전계통에 각기 EMS (Energy management System), SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition system), 배전자동화 시스템(DAS: Distribution Automation System)이 설치되어 운용되고 있다. 향후에 이러한 계통 운영 시스템들은 스마트 그리드(smart grid)를 통하여 통합될 것이다.

* 주저자 : 우석대학교 소방안전학과
Tel : 063-290-1477, Fax : 063-290-1478
E-mail : jkhwang@woosuk.ac.kr
접수일자 : 2010년 6월 29일
1차심사 : 2010년 7월 6일
심사완료 : 2010년 8월 4일

배전계통에서 주요한 운영 사항은 보호협조, 고장복구 및 설비운전이며 DAS는 배전선로의 자동화용 개폐기에 원격감시와 원격제어를 통하여 이러한 사항들을 수행한다[1]. DAS에 의하여 배전선로의 전기품질 저하, 정전시간 및 사고구간을 최소화할 수 있고 배전계통의 효율증대, 관리비용 절감 및 신뢰성 향상을 가져올 수 있다. DAS 서버는 주기적인 폴링(polling)을 통하여 자동화용 개폐기에 명령을 하달하고 응답을 수집한다. 이 명령과 응답의 데이터는 COT(Central Office Terminal)와 RT(Remote Terminal)로 구성된 양방향 통신망을 통하여 송수신된다[2]. 따라서 DAS의 확장에는 DAS 통신망의 확장이 선행되어야 한다.

DAS 통신망에 다양한 통신매체가 사용될 수 있다[3]. 현재 광 케이블, 무선 및 전화선 등이 국내 DAS 통신망의 매체로 활용되고 있다. DAS의 통신 매체는 도시와 농어촌 등의 지역적인 여건, 통신비용 그리고 통신신뢰성 등의 고려에 의하여 선정될 수 있다. 광케이블은 다른 매체에 비하여 고속전송과 전자기 잡음영향 등에 우월하여 국내 DAS의 통신망에 가장 많이 설치되어 있다. 한편, 무선통신은 잡음과 통신채널 간의 간섭이 크다는 단점은 있으나 통신망 구축의 비용이 비교적 저렴하며, ISM(Industrial, Scientific, Medical) 주파수 대역이나 U-NII(Unlicensed National Information Infrastructure) 주파수 대역을 사용할 경우에 통신비용이 없다는 장점도 있다[4].

지리적 여건이나 비용적인 측면에서 기존의 통신매체를 활용하기가 어려운 배전지역이 산재하고 있다. 이러한 지역에 통신 사용료가 없는 WLAN(Wireless LAN)으로 무선통신망을 구축하고 인근의 DAS 광통신망과 이것을 연결하면 DAS를 저비용으로 확장해 나갈 수 있다. 현재 DAS 통신망의 이러한 확장 용도에 적용될 수 있는 IEEE 802.11a WLAN[5]의 다양한 제품들이 출시되어 있다. IEEE 802.11a WLAN은 U-NII 및 ISM의 5[GHz] 대역을 사용하고 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 통신 방식을 채택하고 있어서 다중경로 간섭에 강건한 장점을 가지며 6~54[Mbps]의 고속 전송속도를 제공하고 있다.

본 논문에서는 DAS의 광통신망을 기간망(back-

bone network)으로 활용하고 여기에 WLAN을 연계하는 광무선 복합통신망을 제안한다. IEEE 802.11a WLAN의 상용화된 모뎀을 사용하여 이 광무선 복합통신망의 무선통신장치인 FWB-CU(Fixed Wireless Bridge Communication Unit)를 제작하였다. 기존의 DAS 광통신망과 연계된 FWB-CU의 WLAN을 실제로 구축하여 제안된 광무선 복합통신망의 실용성을 실험으로 검증하였다.

2. 국내 DAS 통신망

2.1 DAS의 광통신망

표 1. DAS의 통신매체 현황
Table 1. Communication media of the DAS

통신 매체	망 제공자	속도 [bps]	월요금 [원]	도입 년도	비율 [%]
광 케이블	파워콤	9,600	54,000	2000	88.6
전화선	KT	1,200	49,400	1998	3.9
TRS	한전	9,600	0	2000	4.6
무선 데이터	에어미디어	9,600	18,000	1998	1.9
CDMA	SKT	9,600	17,000	2000	1.0

국내 배전선로에 설치된 자동화 개폐기의 수는 2009년도에 약 4.5만대에 도달하여 개폐기의 자동화율은 40[%] 정도이다. 한국전력은 DAS를 계속 확대하여서 2015년에 전체 개폐기 자동화율을 50[%]까지 끌어올릴 계획이다. DAS에 다양한 통신매체가 사용되고 있으나 기본적인 통신매체는 광케이블이다. 2010년도 2월 시점에서 DAS에 사용되고 있는 통신매체들이 표 1에 나타나 있다. 광케이블은 가장 많이 사용되고 있으나 통신비용은 가장 고가인 것을 알 수 있다. DAS의 광통신망은 링(ring) 망의 구조로서 2.048[Mbps] E1급 신호가 사용되고 30개까지의 RT가 하나의 링 망에 연결될 수 있다.

광통신망의 DAS 서버와 FRTU(Feeder Remote Terminal Unit)는 각기 광모뎀의 COT와 RT를 통하여 통신한다. FRTU는 선로의 전류와 전압의 데이터 취득 및 자동화 개폐기의 조작을 수행한다. DAS 서

버와 COT 그리고 FRTU와 RT는 각기 이더넷(Ethernet) 및 RS-232로 접속되어 있다. DAS 광통신망은 하나의 배선선로(D/L; Distribution Line)에 일반적으로 다수의 링 망들로 구성된다. 그림 1은 한 배선선로에 3개 링들로 구성된 DAS 광통신망을 나타낸 것이며 간략한 도식화를 위하여 RT에 연결된 자동화 개폐기들과 FRTU들은 생략되어 있다.

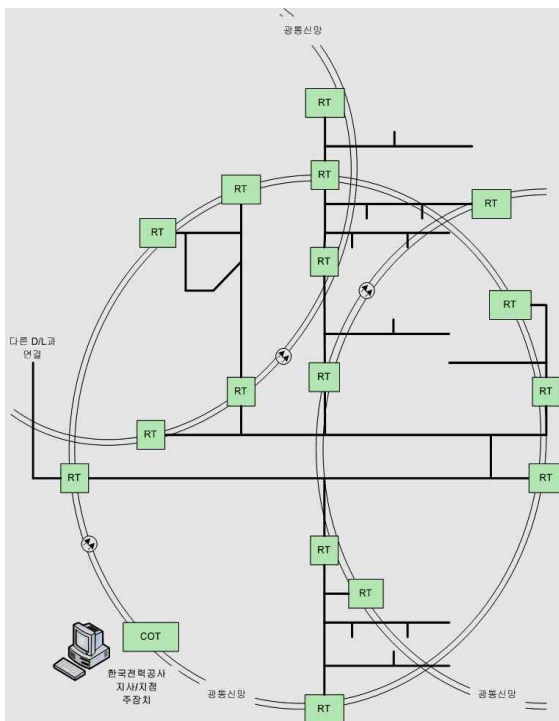


그림 1. 기존의 DAS 광통신망
Fig. 1. Existing fiber optic communication network of the DAS

국내의 DAS 통신망에 DNP(Distributed Network Protocol) 3.0이 표준으로 사용되고 있다[6]. DNP 3.0은 구조가 간단하고 개방된 프로토콜이어서 EMS와 SCADA 등에도 사용되고 있다. DNP 3.0 규격은 중앙에 위치한 서버와 원격에 위치한 단말기 간의 정보 및 명령 데이터의 전송에 관한 규칙이며 폴링 방식이 기본이나 긴급한 상황의 경우에 RT는 COT의 폴링 없이도 메시지를 송출할 수 있다. DNP 3.0은 OSI 7계층 모델에서 물리 계층, 데이터 링크 계층 및 응용 계층 등의 3계층으로 구성된다.

2.2 광무선 복합통신망의 제안

DAS의 광통신망은 표 1에서 통신요금이 가장 고가일 뿐만 아니라 하나의 링 망에 기껏해야 30개의 노드(node)만을 수용할 수 있다. 또한 DAS의 광통신망은 배선 선로의 설치 여건에 따라서 그림 1과 같이 다수의 링 망으로 구성될 수 있다. 본 논문에서는 WLAN을 사용하여서 최대 150개까지의 노드를 단일의 광통신 링 망에 수용할 수 있는 광무선 복합통신망을 제안한다. 이 광무선 복합통신망은 기존의 광통신 링 망의 RT에 각기 최대 5개까지의 무선노드를 연계시키는 DAS 통신망이다. 제안된 광무선 복합통신망은 DAS의 손쉬운 확장 및 통신요금과 공사비용의 절감효과 등의 장점을 줄 수 있다.

광무선 복합통신망에서 WLAN의 무선통신망은 무선노드 간의 거리에 따라 스타(star) 망, 일렬 망 또는 이것들의 혼합 망 형태로 구성될 수 있다. 스타 망은 무선노드들이 500[m] 이내에 밀집되는 도심지역에 적용될 수 있고 일렬 망은 원거리의 무선노드 간에 사용될 수 있다. 스타 망은 하나의 주국(master node)에 다수의 종국(slave node)이 연결되는 1 : N(N=1, 2, 3, 4)의 망 구성이다. 따라서 스타 망의 각 무선노드는 하나의 무선채널과 하나의 안테나를 사용한다. 일렬 망은 무선노드가 인접된 무선노드들과 순차적으로 연결되는 망 구성이다. 일렬 망에서 시작의 무선노드와 종단의 무선노드는 각기 주국과 종국의 역할만을 수행하고 그것들 사이에 있는 중간의 무선노드들은 주국과 종국의 역할을 모두 수행한다. 따라서 중간의 무선노드는 2개의 무선채널과 2개의 지향성 안테나를 사용한다.

그림 2는 그림 1의 광통신망들을 단일 링의 광무선 복합통신망으로 재구성한 것이다. 이 광무선 복합통신망은 점선 영역으로 구별되는 4개의 무선통신망을 가지고 있다. 그림 2에서 무선노드 ①, ②와 ③은 스타 망으로 연결되어 있고 무선노드 ④, ⑤, ⑥과 ⑦은 일렬 망으로 구성되어 있다. 무선노드 ①과 ⑦은 RT와 접속되고 무선노드 ⑤와 ⑥에는 2개의 안테나가 부착되며 반면에 무선노드 ①, ②, ③, ④와 ⑦에는 1개의 안테나가 부착된다.

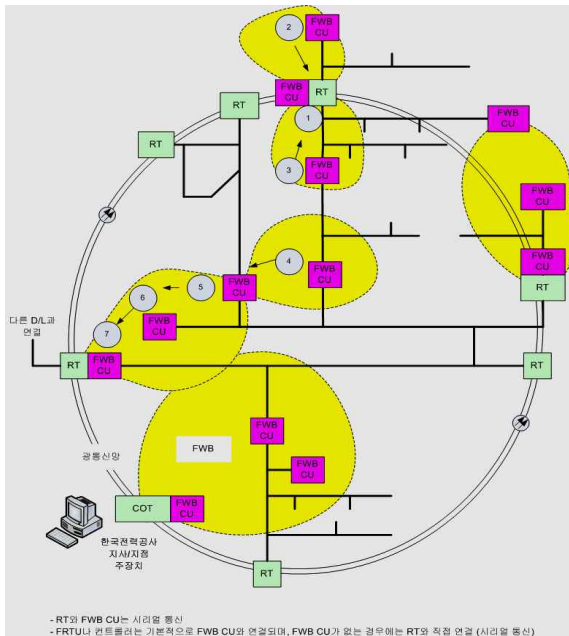


그림 2. DAS의 광무선 복합통신망
Fig. 2. The complex communication network of the DAS

무선통신은 유선통신보다 환경요인에 더 민감하고 불특정 다수의 사용자가 ISM이나 U-NII 대역을 사용할 수 있기 때문에 WLAN의 무선채널 특성은 장소와 시간에 따라 불규칙하게 변동될 수 있다. 따라서 무선채널에 장애가 발생되면 빠른 시간 안에 무선통신망이 정상화되도록 광무선 복합통신망은 잡음과 간섭이 없는 새로운 무선채널을 각 무선노드별로 설정하는 기능을 갖추도록 한다. 무선통신에 의한 정보유출을 방지하기 위하여 통신보안 기능도 보유하도록 한다.

3. 무선통신망 단말기의 설계

3.1 IEEE 802.11a WLAN 시스템

무선통신망이 기존 광통신망과 유사한 통신성능을 얻기 위하여서는 고속전송속도, 통신지연의 최소화, 잡음환경의 강인성 그리고 통신보안 등을 확보하여야 한다. IEEE 802.11a WLAN 시스템을 도입하게 되면 이러한 무선통신망을 보다 효과적으로 구현할 수 있다. 현재 IEEE 802.11a WLAN 모델들이 세계의 여러

회사들에서 양산되고 있다. IEEE 802.11a WLAN 기술을 FWB-CU의 구현에 적용하게 되면 신뢰성 있는 고속의 광무선 복합통신망의 구축이 가능하다.

IEEE 802.11a WLAN 시스템은 CSMA/CA(Carrier sense multiple access with collision avoidance)와 OFDM 통신방식을 채택하고 있다. IEEE 802.11a OFDM 시스템은 20[MHz] 채널 대역폭을 사용하며 이 채널은 다시 64개의 직교 부채널들로 분할되어 사용된다. 또한 각 OFDM 심볼의 앞 부분에 cyclic prefix-용의 GI(Guard Interval)가 설정되어 있다. 따라서 IEEE 802.11a WLAN 시스템은 고속의 무선통신에서 발생하는 ISI(Inter-Symbol Interference)와 무선채널의 다중경로(multi-path) 문제들을 효과적으로 대처할 수 있다.

IEEE 802.11a WLAN 시스템은 다양한 전송속도를 제공하여서 통신 잡음환경에 따라서 적절한 전송속도를 선택할 수 있다. 길쌈부호화의 코딩 비율과 BPSK, QPSK 및 QAM 등의 변조방식을 달리하여서 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 및 54[Mbps]의 8개 전송속도가 선택될 수 있다. IEEE 802.11a WLAN의 8개 전송속도들에 대한 RF 수신신호 최소감도(minimum sensitivity)가 규정되어 있으며 6[Mbps]와 12[Mbps] 전송속도 경우에 이것들은 각기 -82[dBm]과 -79[dBm]이다. 각 전송속도에 대한 SNR(signal to noise ratio)의 한계 허용치는 이 최소감도들에서 계산될 수 있다. 온도가 20 [°C]이고 잡음지수(noise figure)가 5[dB]일 때에 6[Mbps]와 12[Mbps] 전송속도에서 SNR 한계 허용치는 각기 14.8[dB]와 17.8[dB] 정도가 된다[7].

IEEE 802.11a WLAN 모델의 대부분의 제품들은 5[GHz] 대역의 ISM과 U-NII 무선채널을 지원한다. 또한 무선채널의 대역폭은 20[MHz], 10[MHz] 및 5[MHz]로 설정될 수 있다. 10[MHz]와 5[MHz] 대역폭에서의 전송속도는 20[MHz] 대역폭에 해당하는 전송속도의 각기 1/2과 1/4이 된다. 국내에서 ISM 대역인 5.725~5.825[GHz] 사이의 100[MHz] 대역폭 그리고 U-NII 대역인 5.15~5.35와 5.47~5.65[GHz] 사이의 380[MHz] 대역폭을 IEEE 802.11a WLAN 용도로 사용할 수 있다.

3.2 FWB-CU의 제작

FWB-CU의 주요한 설계사항이 표 2에 요약되어 있다. 대역폭 10[MHz]의 사용은 5.725~5.825[GHz]의 ISM 대역에서 10개의 무선채널을 만들어서 20[MHz]의 그것보다 무선 채널을 2배로 확보하는 장점이 있다. 향후에 DAS 통신망에서 고속전송속도의 요구를 대비하여서 FWB-CU의 전송속도를 6[Mbps]로 선정하였다. 대역폭 10[MHz]에서 6[Mbps]의 전송속도는 -79[dBm] 이상의 RF 수신신호 감도를 요구한다. 통신거리에 따라 이러한 요구조건을 선택적으로 만족하는 지향성(direction)과 무지향성(omni)의 RF 안테나들을 선정하였다.

표 2. FWB-CU의 설계사항
Table 2. Design specification of the FWB-CU

Parameter	Specification
Frequency	5.725~5.825[GHz]
Output Power	Max. 17[dBm]
Direction Antenna Gain	19[dBi]
Omni Antenna Gain	2[dBi]
Distance Range	Max. 4[km](LOS)
Channel Bandwidth	10[MHz]
Modulation (IEEE 802.11a)	OFDM QPSK
Data Rate	6[Mbps]
Number of Channel	10
Authentication Security	SSID
Encryption Security	WEP
Number of Node per RT	5
Response Time	100[msec]

FWB-CU는 WLAN 모뎀, FWB 제어 모듈 및 안테나들로 구성되며 그림 3에 제작된 FWB-CU의 외관과 지향성 안테나가 나타나 있다. FWB 제어 모듈은 RS-232 직렬통신으로 FRTU와 RT의 DNP 3.0 데이터를 송수신하고 이것에 WLAN을 위한 TCP/IP 프로그램 모듈을 수행한다. WLAN 모뎀은 인터넷 프로토콜을 TCP/IP 데이터에 수행하고 IEEE 802.11a 규격으로 OFDM 무선신호를 안테나에 송수신한다. 또

한 WLAN 모뎀은 통신보안 알고리즘인 SSID (Service Set Identifier)와 WEP(Wired Equivalent Privacy)를 수행한다. 기존의 RT와 DAS 서버의 소프트웨어를 수정이 없이 그대로 사용하도록 FWB-CU를 설계하여서 광무선 복합통신망의 설치 편리성을 도모하였다.

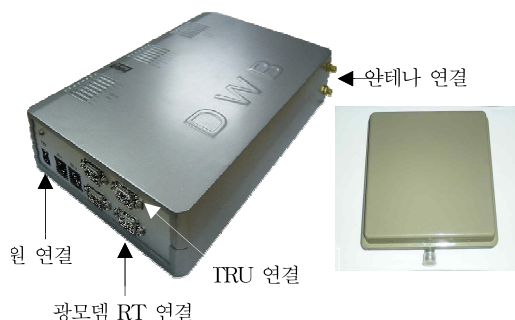


그림 3. 제작된 FWB-CU의 외관 및 지향성 안테나
Fig. 3. The appearance and directional antenna of the FWB-CU

FWB-CU의 제작에 사용되는 안테나와 무선 모뎀의 개수는 WLAN의 망 구성 방식에 따라 다르게 된다. 무선노드간의 거리에 따라 무지향성과 지향성 안테나를 선택적으로 선정할 수 있다. 지향성 안테나는 설치시에 방향 조절이 가능하도록 설계되어 있다. 근거리 300[m] 이내에서 2[dBi]의 무지향성 안테나들의 조합이 사용될 수 있고 500[m] 이내에서 2[dBi]의 무지향성 안테나와 19[dBi]의 지향성 안테나의 조합이 사용될 수 있다. 최대 4[km] 거리까지의 무선노드 간에 지향성 안테나 조합이 사용될 수 있다.

사용 중인 무선채널에 통신장애가 발생되는 경우에 FWB-CU는 10개의 무선채널의 잡음 정도를 검사하여 잡음이 가장 작은 무선채널로 교체할 수 있도록 설계되어 있다. FWB-CU는 정상상태에서 그림 4와 같이 RT와 FRTU에 연결된다. 그러나 FWB-CU가 자체 고장을 감지하면 RT와 FRTU를 물리적으로 곧바로 연결시킨다. 이것은 FWB-CU의 고장상태에서도 RT가 있는 무선노드에 FRTU는 DAS 서버와 통신을 그대로 유지할 수 있도록 한 것이다.

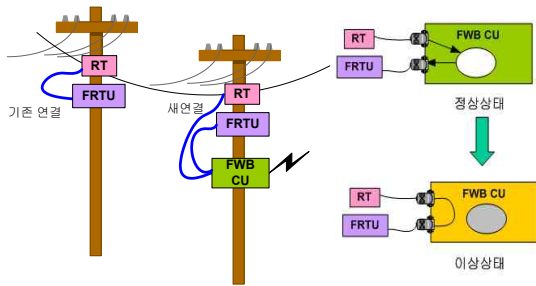


그림 4. RT와 FRTU에 FWB-CU의 결선
Fig. 4. Connection with an RT and an FRTU through the FWB-CU

일렬 망에서 어떤 무선노드는 양 옆의 인접 노드 이외에 다른 노드와 LOS(Line Of Sight)를 확보할 수 있다. 이러한 경우에 인접 노드가 고장일 경우에 LOS가 확보된 노드와 우회통신 경로를 자동적으로 설정하도록 FWB-CU를 설계하였다. 그림 5는 4개의 노드가 무선통신망으로 연결되어 있고 RT는 #1 노드에 연결되어 있고 정상적인 통신경로는 #1과 #2 노드, #1과 #3 노드, 그리고 #3과 #4 노드이다. 노드 #4는 LOS 관계를 갖는 #2 노드와 예비 통신경로로 설정되어 있다. 고장이 #3 노드에 있는 경우에 #2와 #4 노드 사이에 통신경로가 새롭게 재편성되고 노드 #3만 배제된 상태에서 DAS의 통신이 정상적으로 수행된다.

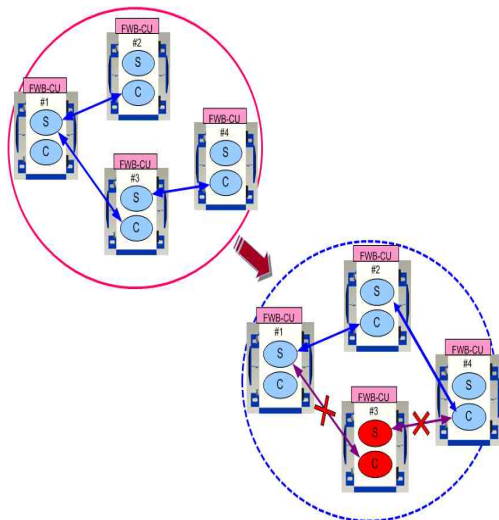


그림 5. 노드 장애에 대한 통신 링크 복구 과정
Fig. 5. Recovery of communication link form a nodal failure

4. 광무선 복합통신망의 실험

4.1 FWB-CU의 유효 전송속도 측정

무선노드 사이의 거리에 따른 FWB-CU의 유효 전송속도 등의 통신성능을 측정하였다. 실험 장소는 4[km] 이상의 LOS가 확보되는 영종도 공항의 북쪽 도로이었다. 실험 장소의 지형 사진이 그림 6에 나타나 있고 거리 간격이 1[km] 단위로 표시되어 있다. 실험에서 FWB-CU 사이의 노드 거리는 300, 500 및 4000[m]이었다. 노드 거리 300[m] 실험에 한 쌍의 2[dBi] 무지향성 안테나, 500[m]에는 2[dBi] 무지향성과 19[dBi] 지향성 안테나 그리고 4000[m]에는 한 쌍의 19[dBi] 지향성 안테나가 2 대의 FWB-CU들에 장착되었다. 지향성 안테나들은 최대의 수신감도가 나오도록 방향이 설정되었다.

통신성능의 측정실험에서 송신 측의 FWB-CU는 6[Mbps] 속도로 데이터를 보내고 수신 측의 FWB-CU에서 RF 수신신호의 감도 및 유효 전송속도를 측정하였다. 노드 거리 300, 500 및 4000[m]마다 통신실험을 100 회씩 수행하였다. 두 FCU-CB 사이에 재전송 횟수와 관계없이 특정한 데이터를 전달하게 되면 통신시험 1회가 완료된다.



그림 6. FWB-CU의 통신성능 측정시험 위치
Fig. 6. Test site for experiment of the FWB-CU

통신실험의 수행 결과가 표 3에 나타나 있고 여기서 안테나 이득 2[dBi]와 19[dBi]는 각기 무지향성 안테나와 지향성 안테나의 사용을 의미한다. 표 3에서 수신신호의 감도는 모두 -75[dBm] 이상을 만족하고 있다. 유효 전송속도의 평균치는 모두 3[Mbps]를 넘지 않는데, 이것은 잡음 등에 의하여 오류가 없는 데이터를 수신하기 위하여 1 번 이상의 재전송이 필요하다는 것을 의미한다. 최저의 유효 전송속도는 4000[m]의 통신거리 실험에서 99[kbps]로 측정되었다. 이 최저 전송속도는 DAS 광통신망의 전송속도인 9.6[kbps]보다 10 배 이상 크기 때문에 DAS 데이터 전송에 큰 문제가 없음을 알 수 있다. 표 3의 실험결과에서 무선노드들이 500[m] 이내로 밀집된 경우에 스타 망의 사용이 가능함을 알 수 있다.

표 3. 시험 결과에 의한 FCU-CB의 유효 데이터 전송속도

Table 3. Effective data transmission rate of the FWB-CU

거리 [m]		300	500	4000
안테나 이득 [dBi : dBi]		2 : 2	2 :19	19:19
RF 수신신호 감도 [dBm]		-71	-70	-74
유효 전송속도 [Mbps]	최저	0.448	0.172	0.099
	최고	5.46	5.46	3.27
	Average	2.51	2.36	1.35
	Median	2.90	2.75	1.47

4.2 광무선 복합통신망의 성능 측정

DAS 통신망으로서 광무선 복합통신망의 유용성을 검증하기 위하여 한국전력 충북지사의 협력을 받아서 청주에 3개의 무선노드를 가진 일렬 망을 기존의 광통신 망에 그림 7과 같이 설치하였다. 그림 7에 이 3개 무선노드의 이름이 각기 DWB-id #1, #2 및 #3으로 나타나 있고 내덕60, 북부131 및 북부127 이름의 개폐기들이 FRTU들을 통하여 각기 설치되어 있다. 통신경로는 DWB-id #1와 #2 사이 그리고 DWB-id #2와 #3 사이로 설정되어 있고 이득 19[dBi]의 지향성 안테나들이 모든 노드에 사용되었다. RT는 DWB-id #1에 설

치되어 있다. 내덕60 개폐기는 기존 DAS 서버에 포트 식별인자 #1로 등록되어 있었다. 북부131 및 북부127의 개폐기들에 포트 식별인자 #1을 부여함으로써 기존 DAS 서버 소프트웨어의 수정 없이 이것들을 등록할 수 있었다.

그림 7에 DWB-id #2와 #3 사이의 동그라미들은 전신주 또는 나무를 표시한 것이고 이것들에 의한 전파 감쇄 영향으로 DWB-id #2와 #3 사이의 수신신호 감도는 -70[dBm]로 측정되었다. 또한 DWB-id #1과 #3 사이의 수신신호 감도도 -74[dBm]로 측정되어서 예비 통신경로를 DWB-id #1와 #3 사이에 설정하였다. DWB-id #2와 #3 사이의 수신신호 감도가 -74[dBm] 이하가 되거나 통신장애가 있을 경우에 DWB-id #1을 주국으로 그리고 DWB-id #2와 #3을 중국으로 하는 스타 망을 구성하도록 설정하였다. DWB-id #2와 #3 사이의 RF 수신신호 감도를 강제로 -75[dBm]으로 만들었을 때에 일렬 망이 스타 망으로 전환됨을 확인할 수 있었다.

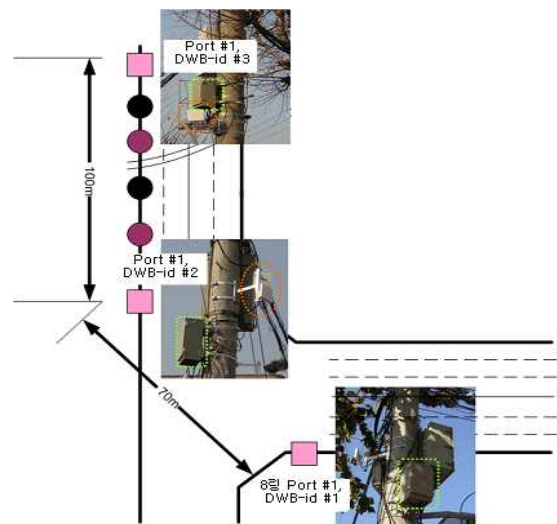


그림 7. 실험의 광무선 복합통신망
Fig. 7. The experiment complex network

DAS 서버가 DWB-id #1, #2와 #3의 FRTU들에 폴링을 수행하고 이 3개 노드들에서 각기 응답 성공률을 측정하였다. 한국전력의 DAS 규격에 FRTU의 응답 성공률은 98[%] 이상이 되도록 규정되어 있다. 폴링

FEP#8-GI05 (DNP 3.0 Protocol)									
초기화/설정 도움말(남)									
개폐기명	SWD	Frtu	Port	성공	무응답	오류	성공률	상태	최종시각
내덕60	6742	8450	1	606720	3814	1	99.38	성공	12/21 11:37:16
북부131	6420	8289	1	519414	94	1	99.98	성공	12/21 11:37:20
북부127	6410	8194	1	519401	61	0	99.99	성공	12/21 11:36:28
내덕81	6464	8451	2	605303	5227	1	99.14	성공	12/21 11:37:22
우암76	6690	14598	3	602758	7735	0	98.73	성공	12/21 11:36:32
남주113	11403	13835	4	301259	4237	0	98.61	성공	12/21 11:36:34
용담24	4439	11521	5	606622	3849	0	99.37	성공	12/21 11:36:37
용담25R3	4441	11532	6	606568	3915	0	99.36	성공	12/21 11:36:39
명암36L1	4754	12045	7	606685	3823	0	99.37	성공	12/21 11:36:42
명암35	4748	12039	7	735094	6386	0	99.14	성공	12/21 11:36:45
명암46	4759	4866	7	701102	109	0	99.98	성공	12/21 11:36:47
대성53L17	8050	12046	8	606602	3940	0	99.36	성공	12/21 11:36:49
용담#62	11394	16276	9	301556	4031	0	98.68	성공	12/21 11:36:51

그림 8. 실험의 광무선 복합통신망에 응답 성공률의 표시화면
 Fig. 8. Monitor screen of the response rate in the experimental complex network

응답에 대한 성공률의 실험 결과가 그림 8의 DAS 서버 모니터 화면에 나타나 있다. DWB-id #1, #2 및 #3의 FRTU들은 그림 8에서 각기 내덕60, 북부131 및 북부127에 해당되며 이 3개 개폐기의 포트 식별인자는 모두 1로 동일하게 부여되어 있다. DWB-id #1, #2 및 #3에 대한 폴링의 응답 성공률은 모두 99[%] 이상이며 한국전력의 규격인 98[%]를 만족한다.

표 4. 광무선 복합통신망의 시간지연
 Table 4. Delay time of the experimental complex network

데이터	통신장비	통신매체	시간지연
명령	COT --> RT	광케이블(E1)	500[ms]
	RT --> FWB-CU	RS232C	100[ms]
	FWB-CU --> FWB-CU	WLAN	100[ms]
	FWB-CU --> FRTU	RS232C	100[ms]
응답	FRTU --> FWB-CU	RS232C	200[ms]
	FWB-CU --> FWB-CU	WLAN	100[ms]
	FWB --> RT	RS232C	200[ms]
	RT --> COT	광케이블(E1)	500[ms]
합계			1800[ms]

한국전력의 DAS는 폴링 명령에 의하여 COT가 FRTU의 응답을 받을 때까지의 총 시간지연을 2,500 [msec] 이내로 규정하고 있다. 폴링 데이터는 50 바이트 정도로 구성되며 이의 응답 데이터는 200바이트 정도로 구성된다. 마이크로프로세서용 소프트웨어 개발

장비를 사용하여 그림 7에 DAS 서버의 COT에서 DWB-id #2의 FRTU까지의 시간지연들을 계산하였다. 그 결과가 표 4에 정리되어 있고 폴링에서 응답까지의 총 시간지연은 1,800[msec]로 계산되었다. RS 232C의 저속통신 구간인 RT와 FRTU 사이에 상방향과 하방향 시간지연의 차이는 폴링과 응답의 데이터 개수 차이에서 비롯되었다.

표 5에서 WLAN 구간인 FWB-CU들 사이의 시간지연은 100[msec]로 계산되어 있다. 따라서 FWB-CU 사이의 통신 지연시간을 제외하면 기존의 광통신망에서 RT에 연결된 FRTU의 폴링에서 응답까지의 최대 총 시간지연은 1,300[msec]임을 알 수 있다. 또한 무선 노드 5개로 구성된 일렬 망에서 첫 번째 노드에 RT가 연결된 경우에 끝단의 다섯 번째 노드에 대한 폴링에서 응답까지의 총 시간지연은 2,400[msec]로 계산될 수 있다. 이 지연시간은 한국전력의 임계 시간지연인 2,500[msec]보다 작다.

5. 결 론

본 논문에서는 기존의 광통신망에 WLAN을 연계한 광무선 복합통신망을 제안하였다. 제안한 광무선 복합통신망은 광케이블 연결의 지역적 한계를 극복할 수 있어서 DAS의 확장 용이성과 아울러 DAS 운용의 비용을 절감할 수 있다.

광무선 복합통신망의 WLAN 구축에 필요한 FWB-CU

를 IEEE 802.11a WLAN의 기술로 구현하였다. FWB-CU는 10[MHz] 대역폭에 6[Mbps]의 고속의 전송속도를 갖는다. 통신신뢰성이 향상하도록 10개 무선채널 중에서 잡음이 가장 작은 무선채널을 선택하는 기능과 LOS 노드에 대한 예비 통신경로를 설정 기능이 FCU에 구현되어 있다. 또한 DAS 서버의 소프트웨어 수정 없이 FWB-CU를 사용할 수 있어서 기존 DAS 연계의 편리성을 도모하였다.

광무선 복합통신망을 FWB-CU로 구축하고 수신 신호감도, 폴링의 응답률 및 시간지연 등을 실험하고 계산하였다. 실험 결과를 통하여 제안된 광무선 복합통신망은 DAS 통신망으로서의 실용성이 있음을 확인할 수 있었다.

References

- [1] D. Bassett, K. Clinard, J. Grainger, S. Purucker, and D. Ward, Tutorial Course: Distribution Automation, IEEE Tutorial Publication 88EH0280-8-PWR, 1988.
- [2] P. Adrian, J. Newbury, and S. Gargan, "Two-way communications Systems in the Electricity Supply Industry." IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 13, No. 1, Jan. 1998, pp. 53-58.
- [3] Tae-II Choi Lee, K.Y. Dong Ryul Lee Jeong Kil Ahn, "Communication System for Distribution Automation Using CDMA," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 23, Issue 2, Apr. 2008, pp. 650-656.
- [4] S. Schoenherr, "Wireless technologies for distribution automation." Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2003 IEEE PES, Vol. 1, Sep. 7-12 2003, pp. 375-378.
- [5] IEEE, "IEEE802.11a-1999 part II: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," IEEE, 1999.
- [6] Distributed Network Protocol, <http://www.dnp.org/>, ©2005 DNP Users Group.
- [7] 황진권, 이창수, "팻킷 OFDM 시스템에서 DPLL 사용에 의한 심볼 위상회전의 추정," Telecommunications Review, 제 17 권 3 호, 2007년 6월, pp 481~492.

◇ 저자소개 ◇



황진권(黃鎭權)

1985년 서울대학교 제어계측공학과 졸업. 1987년 동대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 1997년 동대학원 제어계측공학과 졸업(박사). 1987~1993년 삼성전자 전송연구실 선임연구원. 2003년~현재 우석대학교 소방안전학과 부교수.



최태일(崔泰一)

1982년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1993년 Pennsylvania State 대학교 Electrical Engineering학과 졸업(석사). 1997년 동대학원 Electrical Engineering학과 졸업(박사). 1982년~현재 한국전력 스마트 그리드 추진실 기술개발팀장.