

재생에너지 수용용량 증대를 위한 능동배전망용 통신 네트워크

손예지, 양준혁, 윤성국
숭실대학교

요약

우리나라의 배전망 운용시스템은 배전자동화, 배전지능화를 거쳐 능동배전망으로 발전하고 있다. 능동배전망에서는 배전선로 기기의 원격 제어 기능 및 선로운전 상황을 실시간으로 감시하고 있다. 최근 최대 초당 120회의 데이터를 생성하는 D-PMU(Distribution Phasor Measurement Unit)의 도입으로 인해 기존보다 빠른 전송속도와 높은 신뢰성을 지닌 통신 네트워크의 배전망 적용이 요구되고 있다. 따라서 본고에서는 LTE, 5G와 같은 무선 네트워크 및 유선 네트워크의 고장 복구 기법의 장단점을 분석하고, 능동배전망 적용 가능성을 검토한다.

I. 서론

발전소로부터 소비자 단으로 단방향 전력공급을 가정하고 설계한 배전망에 급격하게 증가하는 재생에너지로 인하여 양방향으로 전력이 흐르는 현상이 나타나고 있다. 재생에너지가 분산전원의 형태로 배전망에 인입될 때 배전망에서 주파수 및 전압 불안정 문제와 같은 문제를 야기하므로 적절한 수준에서 인입을 허가해야 한다[1]. 최근 국내에서도 재생에너지의 지속적인 증가로 인해 배전망에서의 전력 공급의 신뢰도 향상과 전력 품질 유지의 중요성이 대두되었다. 이에 대한 해결책의 일환으로 고성능의 계측과 통신 기능을 가진 지능형 배전설비 기반 능동배전망이 고려되고 있으며, 이를 구축하기 위해서는 전력 계통 특수설비 도입 및 통신 네트워크 개선이 필요하다.

다수의 분산전원 및 배터리, 전기차 등 비선형 부하로 인하여 배전망은 보다 정밀한 운용이 요구되고 있다. 운용의 기본 조건으로 먼저 정확한 배전망 상태측정이 필요하기에 D-PMU(Distribution-Phasor Measurement Unit)이 도입이 고려되고 있다. D-PMU는 전류, 전압의 크기 및 위상각, 주파수 등의 정보를 최대 초당 120회로 측정 가능한 계측기이다. 그러나 현재 배전망 계통에 사용되고 있는 통신 네트워크는 D-PMU

를 수용하기 위해 보완해야 할 점들이 있다.

배전망용 통신 네트워크 중 광통신 기반의 유선 네트워크의 경우 전송속도는 충분하나, 현재 통신망의 고장 복구를 위해 적용되고 있는 RSTP(Rapid Spanning Tree Protocol) 기법은 1초 수준의 고장 복구 시간을 소요하여 통신 네트워크의 신뢰성을 저해한다[3].

산간 지역 등 광케이블 포설이 어려운 지역에서는 무선 통신 기술을 사용하는 것이 현실적이다. 그러나 현재 배전망 계통에 사용되고 있는 무선 네트워크인 TRS(Trunked Radio System) 망은 송신 속도 한계로 인해 D-PMU를 적용하기 어렵다[2]. 전력분야를 위해 새롭게 표준화된 에너지 전력분야 사물인터넷(e-IoT) 기술[14] 역시 전송속도가 낮다는 한계를 가지고 있다. 본고에서는 위 두 기술과 더불어 LTE, 5G와 VPN 기술의 배전망 적용에 대하여 분석한다.

본고에서는 능동배전망용 통신 네트워크의 전송속도 및 신뢰도 향상을 위해 유선 네트워크 고장 복구 기법과 무선 네트워크의 능동배전망 적용을 검토한다.

II. 본론

1. 능동배전망 통신 네트워크

1.1. 능동배전망 통신 네트워크 구성

〈그림 1〉은 배전지능화시스템의 광통신 구성을 나타낸다. 실제 배전망에 설치된 기기는 FRTU(Feeder Remote Terminal Unit)를 통해 운용센터와 데이터를 주고받는다. 유선 네트워크로 구성된 경우 배전망을 링 형태의 광통신으로 구성한다(REMOTE 영역). 네트워크 및 FRTU의 고장에 대비하여 통신 네트워크의 신뢰성을 높이기 위해 링 당 FRTU 개수를 20개 내외로 조절한다.

현재 국내 배전망은 광통신 기반의 시스템이 90% 이상을 이루고 있으며 산간 지역 등 일부 구간은 무선 통신인 TRS로 구축되었다. 전용 주파수 대역을 사용하는 TRS는 사용이 간편하고 사

설망(private network)을 사용하여 높은 수준의 보안성을 가지나, 최대 전송속도가 수십 kbps에 불과해 고속의 데이터 전송을 요구하는 능동배전망에 적용하기에는 한계가 있다.

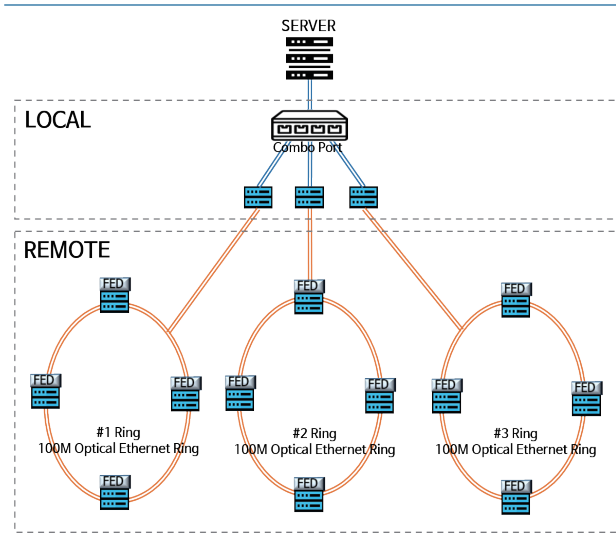


그림 1. 배전지능화시스템 통신 네트워크 구성도

1.2. 능동배전망 통신 요구사항

능동배전망용 통신 네트워크는 제어망과 수집망 두 네트워크로 구분된다.

제어망은 능동배전망 운영을 위해 중앙의 1차 제어기 측에서 현장 기기에 FRTU를 통해 제어신호를 내리는 통로이다. 전력기 기들은 제어신호에 따라 운용되고 전력망은 국가 기간망이기 때문에 제어망은 국가에서 정한 기간망의 보안 요구사항을 충족시켜야 하는 높은 수준의 보안이 요구된다.

수집망은 현장 기기에서 계측한 데이터를 중앙의 1차 제어기에 올리는 채널이다. 중앙 제어기는 수집한 데이터를 통해 배전망 운영의 제어 신호를 내린다. 현장의 계측 데이터 역시 외부 유출이 제한되는 데이터이나, 단순 계측 값이기에 상대적으로 제어신호 보다 보안 요구사항이 낮다. 따라서 수집망은 사용자 인증 및 데이터 암호화를 사용하는 공용망(public network)을 통해 구축 가능하다.

현재 수집망의 능동배전망용 계측 장치로 FRTU 및 D-PMU가 사용되고 있다. FRTU는 상태정보, 유효전력, 무효전력, 전압 크기, 전류 크기 등의 데이터를 매 2초 당 전송한다. 이를 월 기준으로 환산 시, 총 데이터 전송량 44.2MB이고 전송속도는 132 bps을 요구한다. D-PMU는 전압/전류의 크기와 위상각, 주파수 등의 데이터를 1초당 10~120회씩 전송한다. 월 최대 13.45GB의 데이터를 생성하고 40.32kbps의 전송속도를 요구한다[4]. FRTU, D-PMU의 생성 데이터를 <표 1>에 요약하였다.

표 1. PMU/FRTU 생성 데이터 비교

| | PMU/D-PMU | FRTU |
|------------|---------------------------|------------------------|
| 취득 주기 | 최대 120회/초 | 2초당 1회 |
| 취득 데이터 | 전압 크기/위상각, 전류 크기/위상각, 주파수 | 상태정보, 유효전력, 무효전력, 전압 등 |
| 데이터 생성량(월) | 13.45 GB | 44.2 MB |
| 필요 전송속도 | 40.32 kbps | 132 bps |

2. 능동배전망용 유선 통신 네트워크

배전망에 링 형태로 구성된 광통신 유선 네트워크의 고장 복구 기법은 STP에서 RSTP로 발전하였으며, 최근에는 HSR 기법의 적용을 논의 중에 있다.

2.1. STP(Spanning Tree Protocol)

STP는 중복된 프레임이 목적지에 재도달하는 루프를 방지하기 위해 한 스위치의 포트에서 다른 스위치의 포트로 2초마다 전송되는 BPDU(Bridge Protocol Data Unit)를 이용한다. 이는 MAC 주소, 브릿지 우선순위, 경로 비용 등의 값을 포함한다[5].

초기에 데이터를 전송할 활성 토폴로지(Active Topology)를 구성한 이후, 통신 고장이 발생할 시 스위치 포트 상태를 판단하고 이를 변경시켜 복구를 진행한다. 불능 상태를 해결할 수 있도록 작용하며, 복구 과정은 차단 상태에서 전송 상태로 진행된다. 다음은 STP에서 정의한 상태이다.

1. 불능 상태(Disabled State): 스위치 포트의 연결이 종료되거나, 포트에 물리적인 고장이 발생한 상태로 어떠한 통신도 이루어지지 않음.
2. 차단 상태(Blocking State): 루프 방지를 위해 포트를 논리적으로 차단하여 BPDU를 제외한 모든 송수신을 불허한 상태.
3. 청취 상태(Listening State): 모든 BPDU를 참조하여 네트워크 루프 발생 여부를 확인하고, 토폴로지를 변경시켜 차단 상태의 포트를 활성화함.
4. 학습 상태(Learning State): 전송 상태에 들어가기 위해 각 스위치마다 고유한 MAC 주소를 학습하는 단계.
5. 전송 상태(Forwarding State): 정상적인 데이터 전송이 가능한 상태로 망이 복구된 후에 재진입하는 상태.

이를 통해 STP는 <그림 2>처럼 데이터 전송 통로를 트리 형태로 구성할 수 있으며, <그림 3>과 같이 고장 상태 발생 시 포트 상태 정보 변경을 통해 통신망 복구가 가능하다[6].

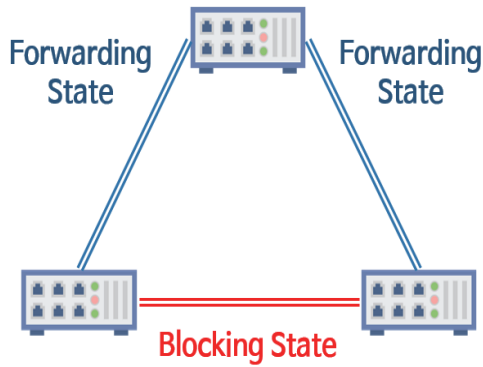


그림 2. STP의 통신망 복구(차단 상태)

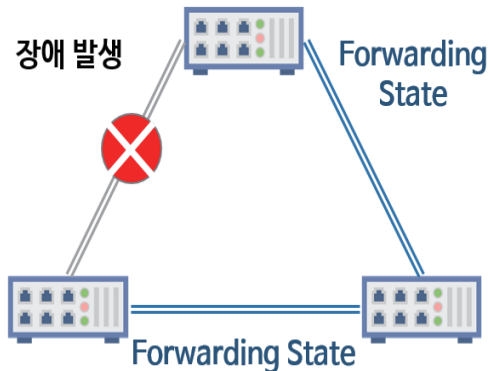


그림 3. STP의 통신망 복구(전송 상태)

2.2. RSTP(Rapid Spanning Tree Protocol)

STP는 고장복구 과정에서 청취 상태 및 학습 상태를 거쳐야하므로 고장 후 전송상태에 재진입하기 위해 30초 정도의 시간을 소요한다. RSTP는 STP와 유사하게 동작하나, 고장 복구에 소요되는 시간을 1초 내외로 단축시킨 기법이다[7].

RSTP와 STP는 <표 2>에 기술된 바와 같이 불능 상태부터 청취 단계를 폐기 상태(Discarding State)로 대체한다. 폐기 상태는 RSTP에서 새로 정의한 상태로 BPDU만 수신 가능하며 그 외의 통신을 차단해둔 상태로, 언제든지 활성화가 가능하다는 점이 차단 상태와 다르다.

표 2. STP/RSTP 포트의 차이점[8]

| STP 포트 | RSTP 포트 | 활성 토폴로지에 포함되는가? | MAC 주소를 학습하는가? |
|--------|---------|-----------------|----------------|
| 불능 상태 | 폐기 상태 | X | X |
| 차단 상태 | 폐기 상태 | X | X |
| 청취 상태 | 폐기 상태 | X | X |
| 학습 상태 | 청취 상태 | X | O |
| 전송 상태 | 전송 상태 | O | O |

새로운 포트 상태의 출현에 따라 이를 뒷받침할 수 있도록 백업 포트(Backup Port)와 대체 포트(Alternate Port)를 이용한다. 백업 포트는 RSTP 기법에서 활성 토폴로지를 이루는 포트를 의미하며, 대체 포트는 백업 포트에 장애 발생 시 새로운 루트를 생성하기 위해 백업 포트를 대체한다.

RSTP는 가능한 빠르게 포트 상태를 변경하여 고장을 복구하고자 한다. 따라서 백업/대체 포트를 폐기 상태로 두고, 통신 고장이 발생할 경우 즉시 폐기 상태를 전송 상태로 변경한다.

<그림 4>는 RSTP의 통신망 복구 단계를 나타낸다. 먼저 스위치 3의 기존 루트인 3번 포트에서 고장이 발생하면 이를 폐기 상태로 바꾼다. 동시에 대체 포트였던 1번 포트가 새로운 루트 포트로 설정된다. 이에 따라 스위치 3번과 연결된 통신 루트가 스위치 4번에서 스위치 2번으로 변경되어 데이터 전송이 유지된다.

RSTP는 기존 루트 포트의 MAC 주소 정보를 새로운 루트 포트로 전달하므로 학습 상태에서 MAC 주소를 학습하는 시간이 소요되지 않는다. 또한 통신망을 복구하기 위해 고장 발생 직후에 즉각적으로 포트 상태를 변경시키므로 1초 내외의 통신 고장 복구가 가능하다[9]. RSTP는 현재 배전망 용 광통신에서 사용되는 기법이다.

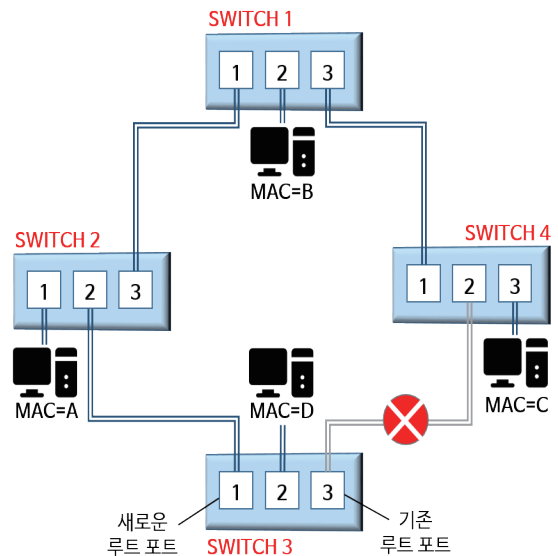


그림 4. RSTP의 통신망 복구 단계

2.3. HSR(High-availability Seamless Redundancy)

1초 내외의 고장복구시간은 기존 30초 대비 획기적인 감소이지만 변전소 안정성 관점에서 요구되는 고장 복구 시간은 수 ms에 달하고 더 나아가 버스바 보호의 경우 복구시간 0을 필요로 한다[10].

따라서 링 형 토폴로지로 전송 데이터 트래픽을 이중화함으로

써 데이터를 양방향으로 송신하고, 복구 시간을 0에 수렴시키는 (seamless) 기법인 HSR의 적용이 고려되고 있다.

〈그림 5〉는 복수의 목적지 노드(destination Node)를 가진 멀티캐스트 구성을 나타낸다. HSR의 구성요소인 DANH(Double Attached Node implementing HSR)는 “C-frame”과 같이 HSR이 적용되지 않은 프레임이 들어올 때, 해당 프레임을 복사하여 A/B 두 개의 포트에 전송한다. 소스 노드(source node)에서는 프레임을 복사해 전송을 시작하고, 이외 노드에서는 받은 A/B 프레임을 다른 노드로 전달한다. 최종적으로 목적지 노드에서는 두 개의 중복 프레임 중 먼저 도착한 ‘D-frame’만을 데이터로 수신한다[11].

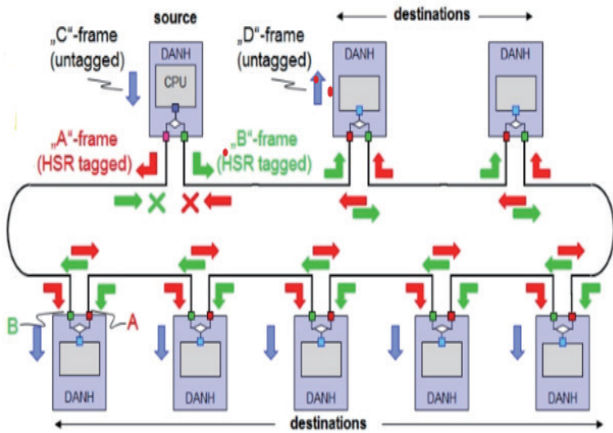


그림 5. HSR의 구성도(멀티캐스트)[12]

〈그림 6〉은 하나의 목적지 노드만 가진 유니캐스트 구성이다. 이 경우 동일한 A/B 프레임이 계속 전달하는 것은 불필요한 트래픽 증가를 야기한다. 따라서 소스 노드를 제외한 각 노드는 양방향으로 데이터를 수신하되, 데이터가 중복되지 않도록 동일한 A/B 프레임 중 나중에 도착한 프레임을 제거하고 먼저 수신한 데이터만을 전송한다[11].

차세대 배전운용 시스템인 능동배전망에서는 끊임없는 (seamless) 데이터 전송을 위해 HSR 기법의 적용을 고려할 수 있다. 링형으로 구성된 배전망의 통신망은 HSR 기법을 적용하기 적합하다. 추가적으로 양쪽으로 중복된 데이터를 보내는 HSR의 특성으로 두 배의 전송속도가 요구된다. 배전망에서 데이터를 생성시키는 FRTU, D-PMU는 최대 40.32 kbps의 속도를 요구하고 최대 20개의 원격지 기기가 있으므로 806.4 kbps의 전송속도가 필요하다. HSR을 적용한다면 최종적으로 1.6 Mbps의 속도가 필요하다. 구형의 광통신도 100Mbps 이상의 전송속도를 가지므로 배전망에서의 HSR 적용은 문제가 없을 것으로 사료된다.

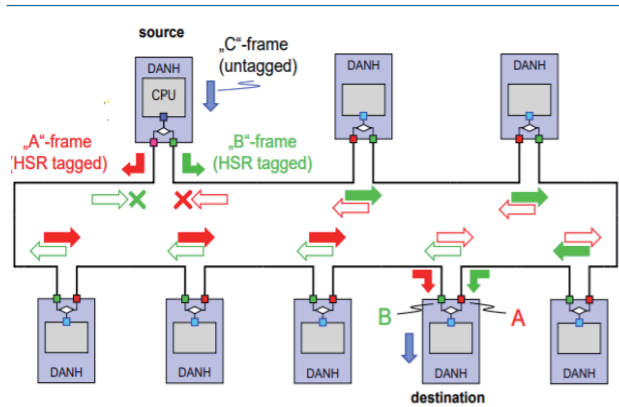


그림 6. HSR의 구성도(유니캐스트)[12]

3. 능동배전망용 무선 통신 네트워크

유선 네트워크인 광통신을 사용하면 능동배전망을 지원할 수 있다. 그러나 광케이블이 포설되지 않은 산간 지역 등의 일부 배전망에 신규로 광케이블을 설치하는 것은 고 비용을 야기한다. 따라서 설치비용이 상대적으로 적은 무선통신 기술을 적용하는 것이 하나의 방법이 된다. 본 장에서는 능동배전망에 사용할 수 있는 무선 통신 네트워크 기술에 대한 리뷰를 진행한다.

3.1. TRS(Trunked Radio System)

TRS 기술[2]은 광케이블이 포설되지 않은 산간 지역 등의 일부 배전망에 현재 적용된 무선통신 기술이다. TRS는 전송속도가 낮아서 FRTU 수준의 데이터는 수용할 수 있으나, D-PMU와 같은 고속의 데이터 전송을 요구하는 능동배전망에서는 필요 전송속도를 충족시킬 수 없다[13].

3.2. 에너지 전력분야 사물인터넷(e-IoT)

사물인터넷(Internet of Things, IoT)은 인터넷에 사람뿐만 아니라 각종 기기들을 연결시켜 초연결 사회로의 시발점이 되는 기술이다. 그러나 기존의 전력 시스템이 폐쇄망으로 운영되었기 때문에, e-IoT를 적용하기 위해 개방형 망의 검토가 필요하다. 개방형 망의 문제점으로 언급되는 보안 취약성을 보완하고자 한국전력공사와 전자통신연구원은 다음 5가지 자체 사물인터넷 표준을 진행하였다[14].

- 1) 시스템 규격, TTA.KO-10.1121-part1/R1
 - 2) 단순등록 규격 TTA.KO-10.1121-part2
 - 3) 데이터 보고 규격 TTA.KO-10.1121-part3
 - 4) 현장 단말 서비스 규격 TTA.KO-10.1121-part4
 - 5) 협대역 무선통신 물리계층 규격 TTA.KO-10.1121-part5
- 표준 5부에서 정의된 규격에 따르면 e-IoT의 물리계층은 25 kHz를 사용하고 심볼 전송률은 20 kHz이다. 〈그림 7〉과 같이

한 프레임은 8개의 서브 프레임으로 구성되어 있으며, 각 서브 프레임은 2개의 슬롯이 포함된다. 한 슬롯은 50 msec의 길이를 가지므로 한 프레임은 800 msec의 단위의 시간을 의미한다. e-IoT는 총 26개의 MCS(modulation and Coding Scheme) 단계로 이루어지므로 이론적인 전송속도는 10~100 kbps이다. e-IoT의 최대 전송속도는 D-PMU의 필요 전송속도를 만족시키나, 최고 단계의 MCS를 요구함으로써 전송거리가 수 m 이내로 매우 짧을 경우에만 최대 속도로 송신할 수 있다. 따라서 e-IoT 역시 D-PMU를 원활히 지원할 수 없을 것으로 예상된다.

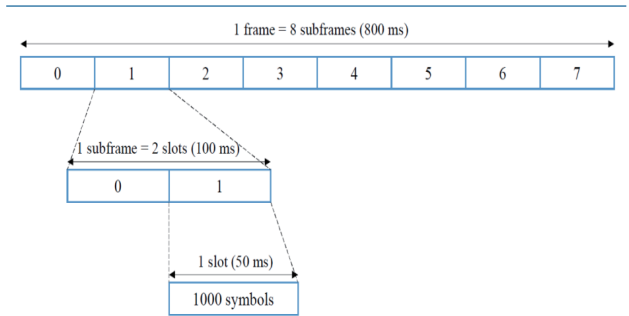


그림 7. e-IoT 프레임 구성도[14]

3.3. LTE(Long Term Evolution)

LTE는 현재 가장 대중적인 이동통신 기술이다. LTE는 이론적으로 100 Mbps의 하향 링크 속도를 낼 수 있으며, LTE-Advanced에서는 최대 300 Mbps의 속도를 가진다. 이와 같이 LTE는 높은 전송속도를 가지나 넓은 대역폭이 필요하고, 매월 비용을 지불해야 하며 e-IoT보다 높은 전력을 소모하는 단점이 있다. 또한 기본적인 보안 기술을 제공하고 있으나 공용 무선 전파를 사용함으로써 도감청의 위협으로부터 자유로울 수 없다. 이는 잠재적인 보안 위협성을 지니고 있다고 사료된다.

3.4. LTE VPN(Virtual Private Network)

LTE VPN은 물리적으로는 LTE와 같이 하나의 회선을 이용하나, 논리적으로 고객별로 트래픽을 분리하여 사설망과 동일한 수준의 보안 수준을 가진다. 해당 기술은 LTE 단말기, 기지국, 모든 네트워크 라우터에 VPN 모듈이 탑재된 경우에만 가능하다. 또한 기존 LTE보다 가격이 높고 공용망이 혼잡할 때 데이터 전송이 지연될 수 있으며, LTE 망이 다운되었을 경우 LTE VPN 망도 함께 다운된다는 단점이 있다.

3.5. 5G 네트워크

LTE보다 진보된 통신 네트워크인 5G는 2019년 4월 한국이 세계 최초로 상용화하였으며, 현재 500만 명 이상의 사용자를 확보한 대중적인 이동통신 기술이다. 5G는 기존의 기술과 달리 다수

의 안테나와 밀리미터 웨이브를 이용하여 셀보다 작은 단위로 구분된다. 이론적으로 5G는 최대 20 Gbps의 하향 링크 속도를 가진다. 지연 시간은 1 msec로 LTE의 20배로 개선되며, LTE의 10배에 해당하는 1km²당 100만대의 기기가 서비스 받을 수 있다.

5G 기술 적용 시 가장 높은 비용을 가질 것으로 예상된다. 또한 기기 간 통신 서비스가 출시되지 않았기에 현재 시점에서는 이용할 수 없다. 5G는 LTE 기술 이상의 보안 수준을 가지나 추가적인 보안성 분석이 필요하며, 공용 무선망을 사용하므로 VPN 기술을 적용하지 않는 이상 국가 기간망인 전력계통에 적용하기 어렵다.

3.6. TRS/LTE 혼합 무선 네트워크

TRS망을 LTE망으로 대체할 경우 D-PMU의 데이터 수용은 가능하나 높은 통신비용이 수반되며, 보안 수준이 낮아 계통 감시 및 제어용으로 부적합하다. LTE VPN은 보안 요건을 만족하지만 더 높은 비용을 소모한다. 따라서 본고에서는 능동배전망을 지원하기 위한 통신 네트워크로 제어망과 수집망을 분리한 혼합 무선 네트워크를 제안한다.

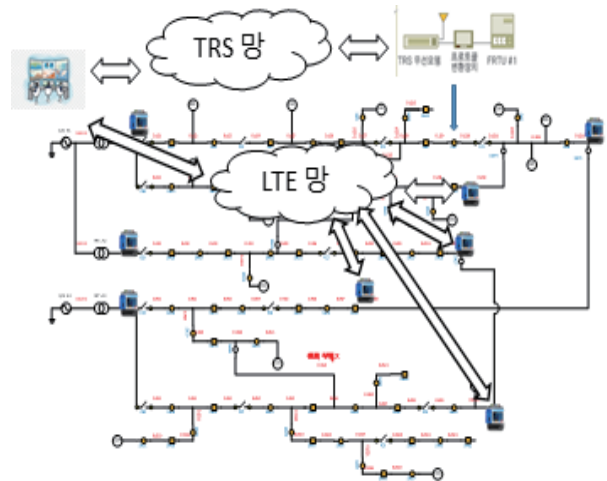


그림 8. 능동배전망용 TRS/LTE 혼합 무선 네트워크 예시

<그림 8>은 혼합 무선 네트워크의 예시이다. 높은 보안 수준이 요구되는 제어망은 TRS를 이용한 관제센터와 배전 설비의 연계를 통해 제어정보를 원격으로 전달하여 안정적인 계통 운영에 기여한다. 일반 계측 데이터를 취득하는 수집망은 전국망을 갖춘 고속 LTE망을 사용하여 비용 효과적인 네트워크를 구축한다.

III. 결론

본고에서는 능동배전망 통신 네트워크의 전송속도 및 신뢰도 향상을 위해: 1) 유선 네트워크 고장 복구 기법을 검토하고 2) 성능 및 보안, 비용을 주안점으로 무선 네트워크에 대하여 분석하였다.

유선 네트워크의 경우 기존의 고장 복구 기법인 RSTP에서 1초 내외의 복구 시간이 발생하므로, 이를 보완하기 위해 이론상 고장 복구 시간이 0초인 HSR 기법의 적용을 고려하였다. 고장 복구 시간과 필요 최소 전송 속도를 고려할 때 동시에 배전망에 기존에 설치된 광통신을 활용하여 HSR을 적용할 수 있음을 확인하였다.

능동배전망용 무선 네트워크로 TRS, e-IoT, LTE, 5G 기술을 분석하였다. 분석 결과, 기존 TRS 기술과 e-IoT는 낮은 속도, LTE, 5G는 보안성, LTE-VPN은 비용 문제가 있는 것을 확인하였다. 따라서 본고에서는 TRS와 LTE의 혼합 무선 네트워크를 제안하였으며, 이를 통해 비용 효과적으로 제어망과 수집망의 요구사항을 충족시킬 것으로 기대한다.

Acknowledgement

본 연구는 한국전력공사의 에너지 거점대학 클러스터 사업(R18XA04)으로 수행된 연구 결과임

참고 문헌

[1] Islam, M., Mithulananthan, N., Hossain, J., Shah, R., "Dynamic voltage stability of unbalanced distribution system with high penetration of single-phase PV units," *The Journal of Engineering*, vol. 17, pp. 4074-4080, 2019.

[2] ETSI EN 300 392-2, Terrestrial Trunked Radio (TETRA): Voice plus Data (V+D); Part 2: Air Interface

[3] Pallos, R., Farkas, J., Moldovan, I., Lukovszki, C., "Performance of rapid spanning tree protocol in access and metro networks," *Second International Conference on Access Networks & Workshops*, pp. 1-8, 2007.

[4] Hojabri, M., Dersch, U., Papaemmanouil, A., Bosshart, P. A., "Comprehensive Survey on Phasor Measurement Unit Applications in Distribution Systems," *Energies*, vol. 12, No. 23, p. 4552, 2019.

[5] 이숙영, 이은화, 이미정, 채기준, 최길영, 강훈, "스패닝 트리

프로토콜을 이용한 브릿지 시뮬레이션," *한국시뮬레이션학회 논문지* vol. 6, no. 2, pp 45-57, 1997.

[6] W. Wojdak, "Rapid spanning tree protocol: A new solution from an old technology," *Performance Technologies*, 2003.

[7] 신지수, 장재수. "RSTP 에서의 FDB 구축 알고리즘," *한국통신학회 종합 학술 발표회 논문집*, pp. 723-726, 2008.

[8] Pallos, R., Farkas, J., Moldovan, I., Lukovszki, C., "Performance of rapid spanning tree protocol in access and metro networks," *Second International Conference on Access Networks & Workshops*, pp. 1-8, 2007.

[9] IEEE 802.1D.IEEE standard for local and metropolitan area networks—Common specifications--Media access control (MAC) BridgesRapid Reconfiguration of Spanning Tree. <http://www.ieee802.org/1/pages/802.1w.html>

[10] 박창운, 오휘명, 김재문, 최성수. "변전소 자동화를 위한 HSR ring과 STP/RSTP LAN 간 연결 방법에 관한 연구," pp. 604-605, 2017.

[11] Kirrmann, H., Weber, K., Kleineberg, O., Weibel, H. "Seamless and low-cost redundancy for substation automation systems (high availability seamless redundancy, HSR)," *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, pp. 1-7, 2011.

[12] Kirrmann, Hubert, "HSR high availability seamless redundancy," *Faulttolerance in Ethernet networks IEC 62439*, 2012.

[13] 정길수, "디지털 주파수 공용통신 시스템(TRS)에 관한 연구," *한국통신학회 학술대회논문집*, pp. 659-660, 2017.

[14] 에너지 전력분야 사물인터넷(e-IoT), TTAK.KO-10.1121, 정보통신단체표준(TTAS), 2018.

약 력



손 예 지

2018년 송실대학교 공학사
2020년 송실대학교 공학석사
관심분야: 에너지 프로슈머, 빅데이터,
에너지 분야 통신 네트워크



양 준 혁

2019년 송실대학교 공학사
2020년~현재 송실대학교 석사과정
관심분야: 에너지 빅데이터, 스마트그리드, 제어계측공학



윤 성 국

2006년 서울대학교 공학사
2012년 서울대학교 공학박사
2012년~2014년 서울대학교 박사후연구원
2014년~2020년 송실대학교 전기공학부 조교수
2020년~현재 송실대학교 전기공학부 부교수
관심분야: 재생에너지, 에너지 빅데이터,
에너지 분야 통신 네트워크