

# HILS를 이용한 능동배전망 시뮬레이션용 통신 컴포넌트 개발

양준혁, 윤성국  
송실대학교

## Development of Communication Components for Active Distribution Network Simulation using HILS

June-Hyuck Yang, Sung-Guk Yoon  
Soongsil University

**Abstract** - 소비자에게 전력을 전달하던 배전망은 다수의 재생에너지 투입에 따라 양방향 전력 조류가 생성되는 변화를 맞이하고 있다. 이를 대응하기 위해 기존의 설치 후 거의 제어가 없었던 배전망은 배전선로 기기의 원격제어 및 선로 운전상황을 실시간으로 감시하는 능동배전망으로 발전하고 있다. 본 논문에서는 능동배전망 모의 시에 통신설비 고장 및 다양한 통신 지연 시간을 반영할 수 있는 통신 컴포넌트 개발을 기술하였다. 개발한 통신 컴포넌트는 OPAL-RT를 이용한 HILS(Hardware-in-the-Loop-Simulation) 환경에서 모의를 진행함으로써 그 실효성을 검증하였다.

### 1. 서 론

단방향 전력조류를 위해 설계된 배전망에 분산자원으로 재생에너지가 다수 투입됨에 따라 원활한 배전망 운용에 어려움이 발생하고 있다. 배전망에서 전력 공급의 신뢰도 향상과 전력품질 유지를 위해 고성능의 계측기와 통신 기능이 탑재된 보호 설비를 포함한 배전 설비가 설치된 능동배전망이 고려되고 있다. 능동배전망에서는 분산 및 협조 제어를 통해 기존 인프라를 최대한 활용하여 배전망 이용 효율을 높이는 능동적 운영이 가능하다. 예를 들어 능동배전망에서는 기기 간 통신을 활용한 적응형 보호 및 복구 방식의 적용이 고려되고 있다.[1] 이와 같은 능동적 배전운영으로 변화하기 위해 배전망에서의 통신 네트워크의 활용이 강조되고 있다.[2][3]

하지만 통신설비의 고장 혹은 데이터의 과다한 지연은 능동배전망의 원활한 운영에 악영향을 끼친다. 배전망에 설치된 통신 네트워크가 데이터 전송 속도, 지연시간, 트래픽, 보안 등의 필요조건을 충족하지 못하면 실시간 모니터링을 통한 효율적인 능동배전망 운영에 어려움이 존재한다.[4] 능동배전망에서의 통신 지연 및 고장에 대한 영향을 미리 분석하기 위해 본 논문에서는 OPAL-RT를 이용한 HILS(Hardware-in-the-Loop-Simulation) 기반 통신 컴포넌트를 개발하였다. 이 컴포넌트를 이용하여 실제 상황과 유사하게 지연 및 고장 상황을 반영할 수 있고 따라서 더욱 현실 상황에 근접한 능동배전망 모의를 할 수 있을 것이라 기대한다. OPAL-RT는 실제 환경과 가상 환경의 하드웨어 혹은 소프트웨어를 연계하여 시뮬레이션이 가능한 시뮬레이터이며 항공우주·자동차·전력전자·전력시스템·발전 등 다양한 분야에서 사용되고 있다. [5]

이 연구는 Matlab Simulink 기반으로 한국전력공사에서 제공한 능동배전망 테스트 계통에서 이루어졌으며 Simulink와 연계된 HILS 시뮬레이터 중 하나인 OP5600을 통해 모의를 진행하여 HILS 환경에 개발한 컴포넌트 적용이 가능함을 확인하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 확률적 통신설비 고장 컴포넌트

##### 2.1.1 통신설비 고장률 정의

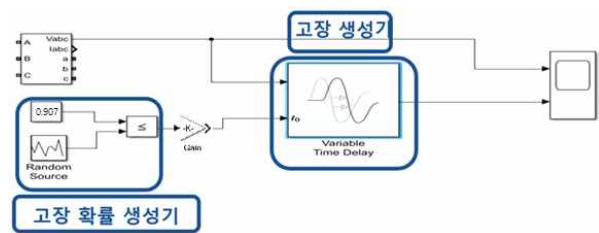
통신설비 고장률은 통신 고장률과 통신설비가 탑재된 개폐기 고장률로 나뉜다. 본 논문에서는 **통신 고장률**을 통신 오류가 발생하여 개폐기 조작에 실패할 확률로 정의한다. 통신 고장률은 한 기기가 일 년에 1회 고장 발생 기준으로 약 1.5%로 집계되었다. **개폐기 고장률**은 낙뢰와 같은 이유로 개폐기가 고장이 발생할 확률을 뜻하며 개폐기 고장률은 한 기기가 일 년에 1회 고장 발생 기준으로 약 7.8%로 집계되었다. 본 연구에서는 개폐기에 물리적인 고장이 발생할 경우, 개폐기 내부에 설치된 통신 장치 역시 고장이 된다고 가정하였다. 따라서 본 논문에서는 통신설비 고장률을 통신 고장률과 개폐기 고장률의 합인 약 9.3%로 설정하였다.

##### 2.1.2 통신설비 고장 모의 컴포넌트

통신설비 고장 모의를 위해 고장확률을 적용하기 위한 '고장 확률 생성기'와 고장 적용을 위한 '고장 생성기'로 <그림 1>과 같이 나누어 구성하였다.

**고장 확률 생성기**에서는 통신설비 고장률을 9.3%로 설정하고 확률에 대한 시간기준(회/년/초)과 통신설비 개수에 대해 설정하였다. **고장 생성기**에서 1차 측 입력으로 전압, 전류, 제어 신호 등을 받으며 2차 측 입력으로 고장 확률생성기의 출력을 입력받아 고장 혹은 정상 상태의 데이터를 출력하도록 설정하였다.

구성된 컴포넌트를 이용하여 컴포넌트의 위치에 따라 제어, 계측, 데이터 전송 등에 해당하는 모든 통신 실패를 적용할 수 있고, 모의하고자 하는 능동배전망에 연계된 통신설비 상황에 따라 동시 적용 혹은 개별 적용이 가능하다. 고장 난 통신설비는 제어부를 통하여 복구하거나 자동복구시간을 설정할 수 있도록 설계하였다.



<그림 1> 통신설비 고장 모의 컴포넌트

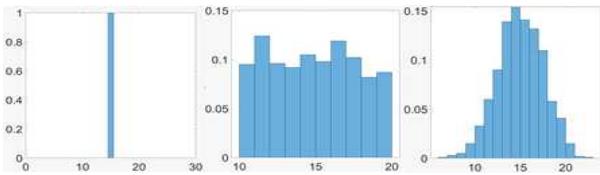
#### 2.2 다양한 지연 조건을 반영한 통신 컴포넌트

##### 2.2.1 다양한 지연 조건

통신 지연 조건은 TRS(Trunked Radio System), LTE(Long Term Evolution), 5G와 같이 '통신 기술에 따른 구분'과 고정, 균등분포, 정규분포와 같이 '통신 지연분포에 따른 구분'으로 정의하였다. 다양한 통신 기술에 따른 평균 지연시간은 <표 1>에 통신 지연분포에 따른 히스토그램은 <그림 2>에 좌측부터 단일분포, 균등분포, 정규분포의 순서로 도시하였다.

**<표 1> 통신 기술에 따른 평균 지연시간**

	TRS	LTE	5G
평균 지연시간	500 ms	10~20 ms	1~2 ms

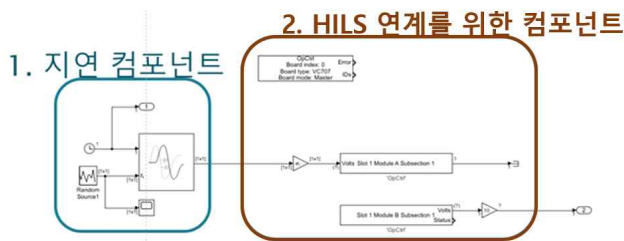


**<그림 2> LTE 기준 통신 지연분포 히스토그램**  
(x축 : 지연시간(ms), y축 : 확률 밀도)

**2.2.2 통신 지연 컴포넌트**

HILS 환경에서 능동배전망 모의를 진행하기 위해 두가지 컴포넌트를 설계하였다. 먼저 다양한 통신 지연 조건을 적용하기 위한 ‘지연시간 생성기’ 데이터 및 신호에 지연을 적용하기 위한 ‘지연기’로 통신 지연 컴포넌트를 구성하였다. 다음으로 HILS 연계를 위한 컴포넌트를 추가하여 <그림 3>과 같이 HILS 연계 통신지연 컴포넌트를 구성하였다.

지연시간 생성기에서 적용하고자 하는 통신 기술의 지연시간 분포에 따라 지연시간, 최소·최대 지연시간, 변동 시간 단위, 평균, 분산을 설정하였다. 지연기의 1차 측 입력으로 전압, 전류, 제어신호 등을 받으며 2차 측 입력으로 지연시간 생성기의 출력을 입력받아 2차 측의 입력에 따라 1차 측의 입력이 지연된 데이터 혹은 신호가 출력하도록 설정하였다.



**<그림 3> HILS 연계 통신지연 컴포넌트**

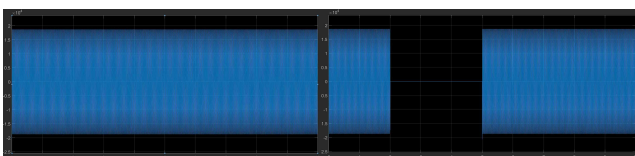
**3. 결 과**

**3.1 모의 환경**

HILS 모의를 위한 시뮬레이터로 OP5600을 사용하였고 테스트 계통은 한국전력공사가 제공한 능동배전망 테스트 모델을 사용하였다.

**3.2 확률적 통신설비 고장 모의**

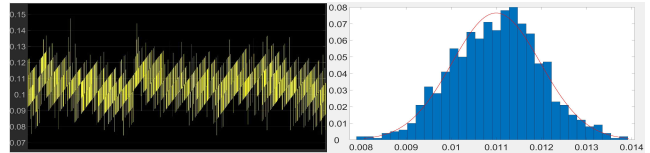
정의된 통신설비 고장률에 따라 컴포넌트를 설정하고 모의를 진행하였다. <그림 4>의 좌측은 정상 데이터를 나타내며 우측은 컴포넌트가 적용된 데이터를 나타낸다. 우측 모의실험에서는 2s에 통신설비 고장으로 데이터를 전송받지 못하였고 5s에 통신설비가 복구되어 다시 데이터를 정상적으로 수신받고 있음을 보여준다. 본 모의실험에서는 통신설비 복구가 제어부를 통해 이루어졌다.



**<그림 4> 통신설비 고장 모의결과(x축 : s, y축 : V)**

**3.3 다양한 지연 조건을 반영한 통신 컴포넌트 모의**

LTE 기술을 기준으로 평균 지연시간(10ms), 정규분포로 구성된 지연을 구성하여 모의를 진행하였다. <그림 5>의 좌측 그래프의 y축은 (기준 데이터 도착 시간) - (지연된 데이터 도착 시간)으로 즉 지연된 시간을 나타낸다. 우측 그래프는 좌측 그래프 데이터에서 1000개의 지점을 무작위로 추출한 데이터를 통해 도출한 히스토그램이다. HILS 시뮬레이터에 거치는 과정을 통해 지연시간에서 오차와 잡음이 발생하였으나, 분포의 구성은 빨간색 선의 정규분포와 유사한 것을 확인하였다. 본 모의에서는 정규분포를 가지는 지연시간만을 도출하였으나, 개발한 통신 컴포넌트는 다른 분포의 통신 지연시간을 생성할 수 있다.



**<그림 5> HILS를 이용한 통신 컴포넌트 모의**

**4. 결 론**

미래에는 송전망뿐만 아니라 배전망에서도 통신설비가 구축되고 능동적으로 관리될 것으로 전망한다. 본 논문에서는 실제 환경과 유사한 상황을 모의하기 위하여 HILS에 적용할 수 있도록 개발한 통신 컴포넌트에 관하여 기술하였다. 개발한 컴포넌트를 통해 1) 통신설비 고장 2) 다양한 통신 지연시간과 같은 통신 환경을 반영한 능동배전망 모의를 수행할 수 있다. 이 컴포넌트는 Matlab Simulink 환경뿐 아니라 OP5600 시뮬레이터를 통한 HILS 환경에서도 적용 가능함을 확인하였다.

개발한 컴포넌트는 목적에 맞는 재구성/위치선정을 통해 LTE, 5G와 같은 모든 통신 기술이 적용 가능하고 계측, 데이터 전송, 제어 등 통신 실패 및 지연 상황을 적용할 수 있게 설계되었다. 개발한 컴포넌트를 이용한 모의를 진행할 시 능동배전망에서 통신설비로 인해 발생하는 문제를 예측·예방하여 안정적인 능동배전망 구축에 기여할 것으로 기대한다.

**감사의 글**

본 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No.NRF-2015R1C1A1A02037774).과 한국전력공사의 2018년 착수 에너지 거점대학 클러스터 사업의 지원을 받아 수행된 연구임.  
(Grant number.R18XA04)

**[참 고 문 헌]**

[1] 심기도, 윤상운, 김민재, 김민중, 정현호. (2019). 능동배전망 운영을 위한 적응형 보호 및 복구기술 개발. 대한전기학회 학술대회 논문집, 139-140.  
 [2] Bogdan Constantin Neagu, “The Optimal Operation of Active Distribution Networks with Smart Systems”, IntechOpen.88032, 2019.11  
 [3] Salvador Ruiz-Romero, Antonio Colmenar-Santos, Francisco Mur-Pérez, África López-Rey, Integration of distributed generation in the power distribution network, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 38, 2014, Pages 223-234,  
 [4] 손예지, 양준혁, 윤성국. (2020). 재생에너지 수용용량 증대를 위한 능동배전망용 통신 네트워크. 한국통신학회지(정보와통신), 37(11), 20-26.  
 [5] 유형준, 김학만. (2013). OPAL-RT 기반의 Hardware-in-the-Loop Simulation (HILS) 시스템을 이용한 독립운전모드 마이크로그리드 시뮬레이션. 전기학회논문지, 62(4), 566-572.