

## 디지털 변전소의 HSR 적용을 위한 성능 분석

**이병훈\***, 광종갑\*, 최귀열\*, 장혁수\*, 양효식\*\*, 장병태\*\*\*, 이남호\*\*\*  
 명지대학교\*, 세종대학교\*\*, 한국전력공사 전력연구원\*\*\*

### A HSR Performance Analysis for Distal Substation

Byung-Hoon Lee\*, Jong-Kab Kwak\*, Gui-Yul Choi\*, Hyuk-Soo Jang\*, Hyo-Sik Yang\*\*, Byung-Tae Jang\*\*\*, Nam-Ho Lee\*\*\*  
 Myong-Ji University\*, Sejong University\*\*, Korea Electric Power Research Institute\*\*\*

**Abstract** - 변전소의 디지털화를 통한 변전소 자동화 시스템(SAS) 구축이 전 세계적 이슈이다. 변전소 디지털화는 기존의 변전소 기능에 정보 통신 기술을 적용시켜 변전소 운영을 효과적으로 수행할 수 있게 돕기 위해서이다. 디지털 변전소가 정상적으로 운영되기 위해 요구하는 높은 수준의 가용성과 전송능력 만족하기 위해 IEC TC 57 WG10은 IEC SC65 WG15의 IEC 62439 고 가용성 자동화 네트워크(Highly Available Automation Networks)를 디지털 변전소 네트워크로 차용하기로 결정했다.[4] 그중 가용성과 신뢰성, 전송능력, 경제성을 이유로 IEC 62439의 중복 네트워크 프로토콜 중 HSR(High-availability Seamless Redundancy)을 디지털 변전소를 위한 네트워크 프로토콜로 이용하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 디지털 변전소 내부에서도 가장 높은 수준의 가용성과 네트워크 성능을 요구하는 프로세스 버스용 네트워크 구성 프로토콜로 적합하다.[4][6] 본 논문은 실제 154Kv급 변전소 프로세스 버스에 HSR을 적용하였을 때 성능을 분석하였다.

용성과 신뢰성을 나타내는 기준을 IEC 61850에 기술하였다. <표 2>와 같이 버스바 보호와 SV와 관련된 통신에서 0초 이내의 고장 복구 시간(Zero Recovery Time)을 요구한다.

**<표 2> IEC 61850기반 디지털 변전소 고장 복구시간 요구사항**

Communicating partners	Recovery delay of communication
SCADA to IED, client-server	400 ms
IED to IED interlocking	4 ms
IED to IED, reverse blocking	4 ms
Protection trip excluding Bus Bar protection	4 ms
<b>Bus Bar protection</b>	<b>bumpless</b>
<b>Sampled Values</b>	<b>bumpless</b>

### 1. 서 론

HSR은 IEC 62439-3의 고 가용성을 위한 중복 네트워크중 하나로 디지털 변전소에서 요구하는 고 가용성을 만족할 수 있을 것으로 기대된다. HSR은 IEC 62439-3의 PRP(Parallel Redundancy Protocol)와 같이 네트워크 자체를 이중화하여 가용성을 높이는 방법이 아닌 노드를 이중화하여 가용성을 높인다. 노드의 이중화는 한 노드가 동일한 물리 주소 인터페이스를 2개 가지는 HSR의 DANH(Double Attached Node - HSR)를 이용한다. DANH를 이용하여 링 토폴로지에서 동일한 프레임이 서로 반대 방향으로 전송하는 방식으로 링의 한 지점에서 고장이 발생하더라도 반대 방향을 통해 프레임이 도착하기 때문에 고장으로 인해 프레임이 누락되지 않는다.[2]

디지털 변전소의 보호, 계측, 조작을 포함한 디지털 변전소 운영을 위한 데이터는 제한된 시간 안에 누락 없이 도달해야 하기 때문에 고 가용성이 강조된다. 본 논문에서는 실제 154kv 변전소 프로세스 버스에 HSR을 적용의 타당성을 검토하기 위한 사전 작업인 네트워크의 성능 분석을 수행하였다.

2장은 IEC 61850 네트워크 요구사항에 대한 소개를 하고 이어 3장에서는 실제 운영 중인 154Kv 규모의 변전소 프로세스 버스를 2개의 HSR적용 모델로 나누어 분석하였다.

### 2. IEC 61850 네트워크 요구사항

#### 2.1 메시지 타입별 전송시간 요구사항

IEC 61850은 메시지 타입별 전송시간 요구사항을 <표 1>과 같이 정의하였다. 보호 기능과 관련된 Type 1A의 Trip 메시지와 SV(Sampled Value)와 관련되는 Type 4의 Raw 데이터 메시지가 가장 높은 수준의 전송시간 요구사항을 가진다.[1]

**<표 1> IEC 61850기반 디지털 변전소 전송시간 요구사항**

Message Type	Class	Transfer Time
Fast Messages	Type 1A Trip	TT6 ≤ 3
		TT5 ≤ 10
	Type 1B Others	TT4 ≤ 20
Medium speed messages	TT3	≤ 100
Low speed messages	TT2	≤ 500
Raw data messages(SV)	TT6	≤ 3

#### 2.2 메시지 타입별 전송시간 요구사항

디지털 변전소 내부의 통신 유형별 고장 복구 시간도 네트워크의 가

### 3. 디지털 변전소 프로세스 버스의 HSR적용

IEC 61850의 변전소 네트워크 요구사항 중 가장 높은 수준의 전송시간 능력과 가용성 및 신뢰성을 요구하는 부분은 스테이션 레벨과 프로세스 레벨사이의 인터페이스인 프로세스 버스이다. 프로세스 버스의 성능 측정은 각 보호 구역을 라인보호, 변압기보호, 버스바보호로 구분하여 HSR 네트워크를 구성하고 각 분리된 HSR 네트워크를 QUADBOX로 연결한다. 각 보호구역은 MU(Merging Unit)과 MU으로부터 받은 SV를 이용하여 보호입부를 수행하는 하나의 보호 IED(Intelligent Electronic Device)를 가진다고 가정한다. 또 고장 복구시간은 HSR 네트워크에서 두 지점이 동시에 고장인 경우를 제외하여 만족한다고 가정한다.

#### 3.1 성능분석 파라미터 소개

네트워크의 성능은 네트워크 전송속도와 네트워크 부하량을 통하여 분석한다. 성능 분석에 영향을 미치는 파라미터는 <표 3>과 같다.[5]

**<표 3> 디지털 변전소 HSR 적용 성능분석 파라미터**

Parameter	value
Wire speed	100 Mbps
IEC 61850-9-2 LE frame size	180 Bytes
Frequency	60 Hz
Sampling rate	80 smp

<표 3>의 파라미터들을 이용하여 프레임 대역폭(bandwidth)과 홉(hop)당 전송시간을 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Frame Bandwidth} &= \text{Frame Size} * \text{Sampling Rate} * \text{Frequency} \\ \text{Transmission Time} &= \text{Frame Size} * \text{Wire Speed} \end{aligned}$$

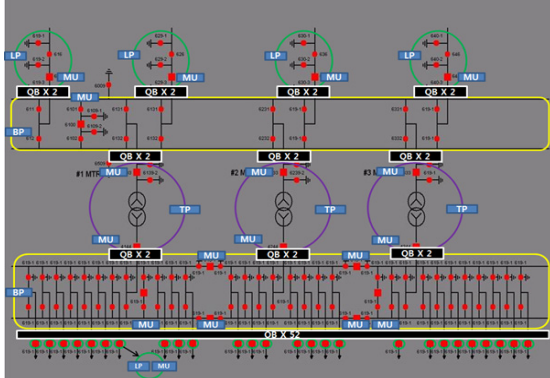
위의 식을 이용해 최대 전송 지연시간, 평균 전송 지연시간 그리고 버스바 보호구역의 네트워크 부하(Network Load)를 산정할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Maximum Delay Time} &= \text{TransmissionTime} * \# \text{ of hops} \\ \text{Average Delay Time} &= \text{Maximum Delay Time} / 2 \\ \text{Network Load} &= \# \text{ of bays} * \text{Frame Bandwidth} * 2 \end{aligned}$$

최대 전송 시간과 버스바 보호 구역의 네트워크 부하를 측정한다.

### 3.2 국내 154kV 변전소 HSR 적용 모델 - 1 성능분석

<그림 1>의 디지털 변전소의 버스바는 편의상 송전 측 버스바를 버스바 A라하고 배전 측 버스바를 버스바 B라하였다. 각 버스바 A, B의 전송 지연 시간은 HSR을 구성하는 네트워크의 홉 수에 영향을 받는다.



<그림 1> 국내 154kV 변전소 HSR 적용 모델 - 1

#### <표 4> 디지털 변전소 HSR 적용 모델-1 네트워크 부하 계산결과

버스바 A	버스바 B
4 TL bays	26 DL bays
3 T/R bays	3 T/R bays
1 bus tie bays	2 bus tie bays
0 bus section bays	4 bus section bays
= 8 bays	= 35 bays
7 Mbps X 8 X 2	7Mbps X 35 X 2
= 112Mbps	= 490Mbps

#### <표 5> 디지털 변전소 HSR 적용 모델-1 전송지연 시간 계산결과

버스-바 A	버스-바 B
Q/B : 14 (TL 4 + TR 3) * 2	Q/B : 58 (DL 26 + TR 3) * 2
MU : 1	MU : 6
BP IED : 1	BP IED : 1
Total : 16 hops	Total : 65 hops
Average delay Time = 15us X 16 / 2 = 0.120ms	Average delay time = 15us X 65 / 2 = 0.487ms
Max delay time = 15us X 16 = 0.240ms	Max delay time = 15us X 65 = 0.97ms

네트워크 부하 계산결과 <표 4>와 전송지연 시간 계산결과 <표 5>는 버스바 A와 버스바 B를 하나의 보호구역으로서 HSR 네트워크를 구성하여 얻은 결과로 <표 1>의 전송지연시간 요구사항을 만족한다. 하지만 네트워크 부하량의 경우 전송매체의 대역폭이보다 크다. 그러므로 추가적인 지연시간이 발생할 수 있다.

### 3.3 국내 154kV 변전소 HSR 적용 모델 - 2 성능분석

전송 지연 시간 요구사항을 만족하지 못한다고 가정하고, 전송 지연시간이 상대적으로 큰 버스바 B를 더 작은 규모로 <그림 2>와 같이 분리하여서 전송지연 시간과 네트워크 부하를 계산하였다. 버스바 B는 <그림 1>의 모델에 분리된 보호구역을 연결하기 위한 추가적인 4개의 QuadBox와 2개의 보호 IED 그리고 4개의 MU이 추가되었다.

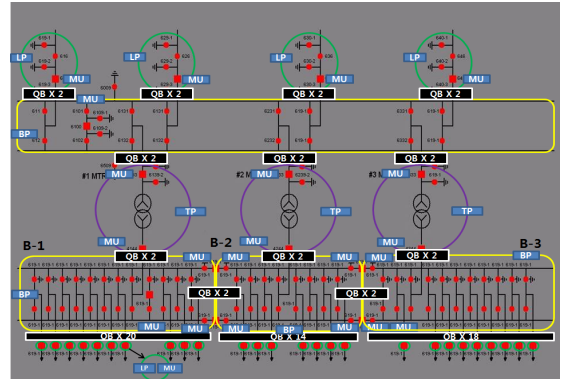
#### <표 6> 디지털 변전소 HSR 적용 모델-2 네트워크 부하 계산결과

버스바 B-1	버스바 B-2	버스바 B-3
10 DL bays	7 DL bays	9 DL bays
1 T/R bays	1 T/R bays	1 T/R bays
1 bus tie bays	0 bus tie bays	1 bus tie bays
2 bus section bays	4 bus section bays	2 bus section bays
= 14 bays	= 12 bays	= 13 bays
7Mbps X 14 X 2	7Mbps X 12 X 2	7Mbps X 13 X 2
= 196Mbps	= 168Mbps	= 182Mbps

#### <표 7> 디지털 변전소 HSR 적용 모델-2 전송지연 시간 계산결과

버스바 B-1	버스바 B-2	버스바 B-3
Q/B : 22 + 1 (DL 10 + TR 1) * 2	Q/B : 16 + 2 (DL 7 + TR 1) * 2	Q/B : 20 + 1 (DL 9 + TR 1) * 2
MU : 3	MU : 4	MU : 3
BP IED : 1	BP IED : 1	BP IED : 1
Total : 27 hpps	Total : 23 hops	Total : 25 hops
Average delay time = 0.203ms	Average delay time = 0.173ms	Average delay time = 1 0.188ms
Max delay time = 0.405ms	Max delay time = 0.345ms	Max delay time = 0.375ms

모델-2은 <표 6>과 <표 7>와 같이 전송 지연시간은 절반가량 줄어들었지만 전체 네트워크 부하량이 증가하였다.



<그림 2> 국내 154kV 변전소 HSR 적용 모델 - 2

## 4. 결 론

본 논문에서는 현재 운영하고 있는 154kV급 변전소에 HSR을 적용을 위한 타당성을 검토하기 위한 목적으로 시간 동기 메시지와 Goose등을 배제한 환경에서 네트워크 성능을 분석하였다. 그 결과 버스바 보호구역의 네트워크 부하가 100Mbps이상 발생하고 실제 네트워크 대역폭의 성능은 50%미만의 성능을 내는 것으로 알려져 있기 때문에 1Gbps이상의 큰 대역의 네트워크 환경이 필요하다는 결론을 얻었다.

실제 환경에서는 Goose 메시지와 시간동기 메시지 등 많은 네트워크 부하가 발생하기 때문에 계산 결과보다 더 큰 데이터 부하가 발생할 것이므로 디지털 변전소 HSR 적용을 위해서는 정확한 성능 분석이 필요하고 그렇기 때문에는 실제 변전소 보호스키마와 실제 네트워크의 성능 저해 요소, 그리고 Vlan등을 통한 네트워크 구성사항을 고려한 성능 분석 모델의 개발과 시뮬레이션을 통한 검증이 필요하다.

## [참 고 문 헌]

- [1] IEC 61850-5 Ed.2 CDV Communication Requirements for Functions and Device Models, 2010
- [2] IEC 61439-3 FDIS highly available automation networks, PRP(clause 4) & HSR(clause 5), 2008
- [3] IEC 61850-9-2 Ed.2 CDV Specific Communication Service Mapping (SCSM) - Sampled values over ISO/IEC 8802-3, 2009
- [4] IEC 61850-90-4 : Network Engineering Guidelines
- [5] Case Study Process Bus Configuration for Busbar Protection, Toshiba Corporation, June, 2010
- [6] Jean-Charles Tournier 외 1명 'Quantitative Evaluation of IEC 61850 Process Bus Architectures' Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE
- [7] 현무용 외 6인, IEC 61850 기반 프로세스 버스 네트워크 구조를 위한 기초 연구, 2009