

# 배전선로를 이용한 통신망 구성 및 통신 프로토콜 설계

주성호, 곽귀일, 임용훈, 박병석, 김영현, 이범석, 현덕화  
한국전력공사 전력연구원

## Protocol Design in Distribution Powerline Communication Network

Seong-ho Ju, Kwi-yil Gwak, Yong-hun Lim, Byung-seok Park, Young-hyun Kim,  
Beom-seok Lee, Duck-hwa Hyun  
Korea Electric Power Research Institute

### ABSTRACT

최근들어 PLC 기술의 성능 및 안정성이 보완됨에 따라 배전선로 및 설비 감시를 위한 기존의 통신방식을 대체할 수 있게 되면서 PLC를 이용한 배전선로 통신망을 구성하는 연구가 활발히 진행중에 있다. 본 논문에서는 고속PLC를 이용하여 배전 통신망을 구성할 경우 원활한 시스템을 구성하기 위한 Flooding 방지 프로토콜을 제안하고 시뮬레이션을 통해 고속 PLC망의 성능을 분석하고자 한다.

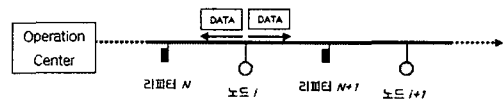
counter를 하나씩 줄여나감으로써 hop counter가 '0'가 되었을 때는 재전송하지 않는 방법이 있다.

본 연구에서는 identification number를 데이터의 헤더로 사용하여 한번 수신된 데이터가 다시 수신될 경우에는 폐기시키는 방법을 사용하는 것으로 한다. 한 개의 배전시스템을 하나의 sub-network로 구성하는 것으로 하고 각 sub-network에 subnet id-number를 부여하여 identification number는 subnet id-number와 노드(통신모듈) id-number를 합하여 사용하는 것으로 한다.

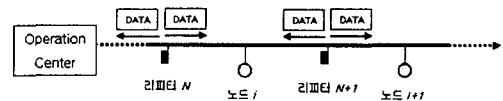
### 1. 배전시스템을 위한 전력선통신망의 구조

#### 1.1 배전시스템의 구조

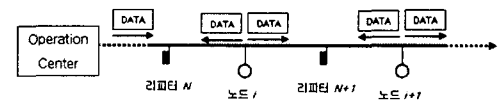
배전시스템은 배전기로부터 지역에 따라 약 10 km - 50km 정도로 구성되어 있는 버스(bus) 구조로 되어 있다. 일반적으로 도심권에서는 5-6개의 통신 모듈이 약 2km 간격으로 연결되어 있어서 버스의 길이는 약 10km 정도이다. 반면에 도심권을 벗어나면 5-6개의 통신 모듈이 약 10km 간격으로 연결되어 있어서 버스의 총 길이는 약 50km 정도가 된다. 배전시스템을 근간으로 하는 전력선통신망은 버스 토폴로지로 구성되어 있는 통신망이기 때문에 기존에 근거리통신망(LAN)에서 사용되는 IEEE 802.3 CSMA/CD 프로토콜의 사용이 가능하다. 그러나 IEEE 802.3 CSMA/CD 프로토콜을 사용하려면 디지털 방식으로 통신이 이루어져야 한다. 일반적으로 전력선 통신에서는 아날로그 방식으로 데이터를 전송하기 때문에 본 연구에서는 IEEE 802.11 CSMA/CA 프로토콜을 사용하여 통신하는 것으로 설계하도록 한다.



(a) 노드 i에서의 최초 송신



(b) 리피터 N 및 리피터 N+1에서의 재송신



(c) 노드 i 및 노드 i+1에서의 재송신

그림 1 PLC망에서의 재송신 및 Flooding

#### 1.2 PLC망에서의 CSMA/CA 프로토콜과 Flooding

전력선통신망은 버스의 길이가 10 - 50km 로 길게 형성되게 되어 한 통신모듈에서 전송한 데이터가 버스의 끝까지 전파되기 위해서는 많은 수의 리피터들에서 재전송되어야 하며, 이는 필연적으로 flooding 현상을 유발 시킨다. 그림1은 전력선통신망에서의 flooding 현상을 보여주고 있다.

### 2. Flooding 제어 프로토콜의 설계

#### 2.1 PLC망에서의 CSMA/CA와 Flooding

일반적으로 flooding 문제를 해결하는 방법에는 identification number를 데이터 헤더에 부착하여 한번 받아서 재전송한 데이터와 동일한 데이터를 수신하는 경우에는 폐기(discard)시키는 방법과 hop counter를 헤더 내에 사용하여 한번 재전송할 때마다 hop

#### 2.2 PLC망에서의 프로토콜 스택

일반적인 네트워크에서는 물리계층(physical layer) 위에 MAC 계층, IP, TCP, 그리고 응용계층으로 구성된다. MAC 계층으로는 기존 시스템에서 사용되는 칩(chip)들을 사용하는 것이 비용측면에서 바람직하기 때문에 flooding 문제를 해결하는 기능은 MAC 계층 상위에 위치하여야 한다. 그러므로 본 연구에서는 flooding 예방 프로토콜(flooding prevent protocol)을 고안하고 이를 MAC 계층과 IP 계층 사이에 적용하는 것으로 한다(그림 3).

### 3. PLC망의 성능 분석

#### 3.1 시스템 모델

본 연구에서는 우선 제안된 시스템이 배전시스템의 배

전자동화 및 원격제어 용도로 사용되는 것을 가정하였다. 따라서 통신모듈간의 통신은 필요하지 않으며, 각 통신모듈은 operation center에 주기적으로 데이터, 즉 통신모듈의 상태정보를 전달하는 polling 방식으로 동작한다. 이 경우 flooding 방지 프로토콜은 roll-call polling 방식으로 동작하도록 하는 데이터 포맷을 포함하고 있다.

본 연구에서는 제안된 배전망시스템의 성능평가를 위하여 다음의 구체적인 사항들이 설정되었다.

- (1) 각 노드들에서의 데이터 발생은 포아송 프로세스 (Poisson process)에 의하며, 각 노드는 동일한 데이터 발생률  $\lambda$  packets/sec을 따른다.
- (2) polling을 위한 walk time,  $\omega$ 는 각 노드 간에 동일하다.
- (3) 채널의 전파지연시간은 동일하며, walk time,  $\omega$ 에 포함되어 있다.

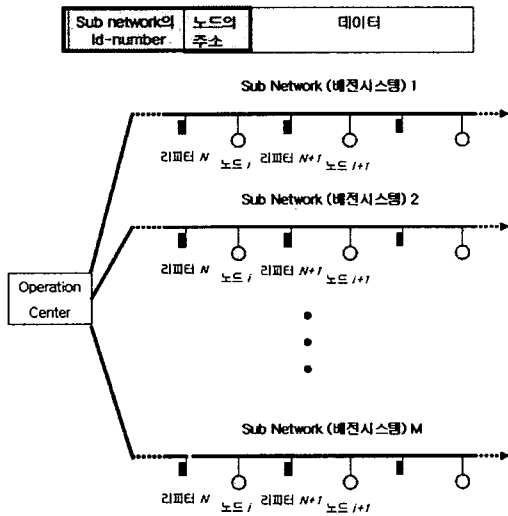


그림 2 Id-Numbering 및 Subnet 구성 예

시스템 A	시스템 B
응용(application)	응용(application)
TCP	TCP
IP	IP
Flooding 방지 프로토콜(FPP)	Flooding 방지 프로토콜(FPP)
MAC	MAC
물리(physical)	물리(physical)

그림 3 본 연구에서의 PLC 프로토콜 스택

- (4) 각 노드에 발생하는 packet의 길이,  $X$ 는 지수분포 (exponential distribution)를 따르며, 모든 노드에서 동일하다.
- (5) 망 내에는  $M$ 개의 노드가 존재하며, 채널의 전송률은  $R$  bits/sec 이다.

### 3.2 성능 분석

#### 3.2.1 수학적 성능모델 분석

제안된 배전자동화 시스템은 polling 방식으로 동작하기 때문에 polling 시스템의 성능분석 방식으로 접근할 수 있다<sup>[1]</sup>.

poll이 도착할 때 평균 패킷의 수를  $N_m$ , 패킷 평균길이를  $\bar{X}$ , 채널 용량을  $R$ 이라 하면, 패킷 전송 시간은  $\frac{\bar{X}}{R}$ 이다. 노드 버퍼를 비우기 위해서는 필요한 시간은  $N_m \cdot \frac{\bar{X}}{R}$  초이며, 평균 주기 시간  $T_c$ 는 다음과 같다.

$$T_c = M[N_m \cdot \frac{\bar{X}}{R} + \omega] \quad (1)$$

정상 상태에서 스테이션 버퍼를 비우기 위해 전송되어야만 하는 평균 패킷 수  $N_m$ 은 평균 데이터 발생률  $\lambda$  packets/sec, 평균 주기 시간  $T_c$ 에 따라 결정된다.

$$N_m = \lambda T_c \quad (2)$$

식(2)를 식(1)에 대입하면,

$$T_c = \frac{M\omega}{1 - M\lambda \frac{\bar{X}}{R}} \quad (3)$$

$$T_c = \frac{M\omega}{1 - S} \quad (4)$$

가 된다. 여기에서 walk time,  $\omega$ 는 poll이 한 송신노드에서 다음 송신노드로 넘어가는 시간을 의미한다. 처리량  $S$ 는 네트워크의 총 평균 도착율과 총 용량의 비율인  $M\lambda \bar{X}/R$ 이며, 그 값은 1보다 작아야만 한다.

즉,

$$S = M\lambda \bar{X}/R < 1 \quad (5)$$

이다.

데이터가 노드 버퍼에서 전송되기까지 기다리는 평균 대기지연시간  $W$ 는  $W_1$ 과  $W_2$  지연시간으로 구성된다.

$W_1$ 은 다른 스테이션들이 서비스되어지는 동안에 스테이션 버퍼에서 대기하는 지연시간이다.  $W_2$ 는 특정한 스테이션이 서비스되어지는 동안에 스테이션에서 대기하는 지연시간이다.

$$W = W_1 + W_2 \quad (6)$$

평균 대기시간  $W_1$ 은

$$W_1 = \frac{M\omega(1-\rho)}{2(1-M\rho)} \quad (7)$$

로 계산되어진다[3].

한편,  $W_2$ 는 M/G/1 큐잉 모델과 little law,  $N=\lambda T$  를 이용하면

$$W_2 = \frac{S\bar{X}^2}{2\bar{X}R(1-S)} \quad (8)$$

이 된다.

결론적으로 큐에서 기다리는 평균 대기지연시간  $W$ 는 다음의 식 (9)와 같다.

$$W = W_1 + W_2 = \frac{M\omega(1-S/M)}{2(1-S)} + \frac{S\bar{X}^2}{2\bar{X}R(1-S)} \quad (9)$$

그러므로 평균 데이터 전달지연시간,  $T$ 는

$$T = \frac{\bar{X}}{R} + \tau_{ave} + W \quad (10)$$

$$T = \frac{\bar{X}}{R} + \tau_{ave} + \frac{M\omega(1-S/M)}{2(1-S)} + \frac{S\bar{X}^2}{2R(1-S)} \quad (11)$$

로 계산되어 진다.

본 연구에서 제안된 프로토콜에서는 송신 노드는 한 개의 패킷을 전송한 후 인접노드에서 repeat되는 패킷을 수신한 후에 다음 패킷을 전송하게 된다. 그러므로 송신노드가 한 개의 패킷을 전송한 후 다음 패킷을 전송할 때까지의 시간, 즉 실제의 서비스 시간(effective service time),  $\overline{E}$ 는

$$\overline{E} = 2\overline{X}/R + \text{노드간 왕복전파지연시간} \approx 2\overline{X}/R \quad (12)$$

가 된다. 따라서 식 (13)과 같이 S'는 S의 2배로 적용한다.

$$S' = M\lambda \overline{E} \approx 2S \quad (13)$$

본 연구에서는 처리량을 S'로 적용하여, 평균 데이터 전달지연시간, T는 다음의 식 (14)이 된다.

$$T = \frac{\overline{X}}{R} + \tau_{ave} + \frac{M\omega(1-S'/M)}{2(1-S')} + \frac{S'\overline{X}}{2R(1-S')} \quad (14)$$

그러므로 상기의 식 (13)을 식 (14)에 적용하면 다음의 식 (15)과 같이 계산된다.

$$T = \frac{\overline{X}}{R} + \tau_{ave} + \frac{M\omega(1-2S/M)}{2(1-2S)} + \frac{2S\overline{X}}{R(1-2S)} \quad (15)$$

### 3.2.2 시스템 변수들

본 연구에서의 배전자동화 시스템에 적용하기 위하여 설정된 시스템 변수들은 다음과 같다.

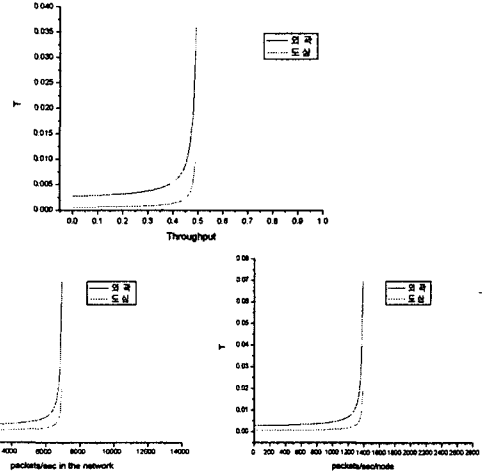
- (1) 데이터 메시지의 길이, X의 평균값은 1000 bits이며, polling을 위한 Go-ahead 패킷의 길이는 100 bits 이다.
- (2) 채널의 전송속도는 14Mbps이다.
- (3) 버스의 길이는 도심권은 10km, 외곽지역은 50km이다.
- (4) 버스에 존재하는 노드(통신모듈)의 수 M은 5개이다.
- 그리고 1km 간격으로 리피터가 연결된다.
- (5) 버스에서의 전파지연시간은 5μsec/km 이다.

### 3.3 성능분석 결과

제안된 전력선통신망에서 1개의 데이터 패킷을 전송하는 시간,  $T = X/R$  은 71.428 μsec이다. 또한, poll을 다음 송신노드로 넘겨주기 위한 go-ahead polling 패킷을 전송하는 시간,  $T_{poll} = X/R$ 은 7.1428 μsec이다. 그러므로 한 송신노드에서 다음 송신노드로 poll이 넘어가는 시간(walk time), ω는 go-ahead polling 패킷 전달시간과 전파지연시간(25μsec/km)의 합으로 계산된다. 도심권에서는 버스 내에 리피터를 포함한 통신모듈의 수가 10개이므로 인접노드까지의 평균을 5개로 간주하면, 평균 go-ahead polling packet 전달시간은 35.714 μsec 이며, 평균 전파지연시간은 25μsec 이다. 도심권에서의 walk time, ω는 60.714 μsec 이다. 외곽지역에서는 리피터를 포함한 통신모듈의 수는 50개이므로 동일한 방식으로 계산하면 평균 go-ahead polling packet walk time 은 303.57μsec 가 된다.

이제까지의 파라미터 값들을 식 (15)에 적용하여 그림 4에 도시하였다.

처음 그래프는 처리량(throughput)에 따른 평균 전달 지연 시간을 보여주고 있다. 두 번째와 세 번째 그래프는 1초에 통신망을 통하여 전달되는 패킷의 수와 1초당 1 개의 노드에서 전달할 수 있는 패킷의 수에 따른 전달지연시간 특성을 각각 보여주고 있다. 상기의 성능 특성 그래프에서 다음과 같은 사실들이 관찰 되었다.



- (1) 1번 그래프에서 전달지연시간은 최대처리율의 약 40%에 근접할 때 급격히 증가한다. 실제의 망에서 최대처리율이 50%를 처리할 수 없다. 이는 한 송신노드에서 한 개의 패킷을 전송하고, 인접노드로부터 재전송(repeat)되는 패킷을 받은 후에 다음 패킷을 전송할 수 있기 때문이다.
- (2) 2번 그래프에서 제안된 통신망은 1초에 약 6,000 ~ 6,500 개의 패킷을 전달할 수 있다.
- (3) 3번 그래프는 제안된 통신망에서 1개의 노드가 1초당 약 1200 ~ 1300개의 패킷을 전달할 수 있음을 보여주고 있다.
- (4) 외곽지역 통신망(버스)은 약 50km에 걸쳐 50개의 리피터 및 통신모듈을 연결하며, 도심권은 약 10km에 걸쳐 10개 정도의 리피터 및 통신모듈을 연결하고 있다. 따라서 외곽지역을 연결하는 전력선통신망에서는 1개의 패킷을 전송하기 위해서 약 50번의 재전송이 이루어진다. 그러므로 외곽지역 전력선통신망에서는 평균패킷전달지연시간이 도심권에 비하여 훨씬 더 긴 것을 관찰할 수 있다.

## 4. 결론

고속전력선통신망은 버스의 길이가 10 - 50km 로 길게 형성되게 되어 한 통신모듈에서 전송한 데이터가 버스의 끝까지 전파되기 위해서는 많은 수의 리피터들에서 재전송되어야 하며, 이는 필연적으로 flooding 현상을 유발 시킨다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 연구에서는 flooding 방지 프로토콜(flooding prevent protocol: FPP)을 개발하였다. 본 연구에서 개발된 flooding 방지 프로토콜은 송신기, 혹은 기존의 LAN에서 사용하는 MAC 프로토콜과 함께 사용되어 전력선통신망용 MAC 프로토콜로 사용될 수 있다. 또한, 본 연구에서 개발된 전력선통신망용 MAC 프로토콜을 배전자동화시스템 구축을 위한 전력선통신망에 적용할 경우에 예상되는 성능특성을 큐잉이론을 사용하여 수학적 성능분석 연구를 수행하였다. 그리고 본 연구에서 제안된 전력선통신망용 MAC 프로토콜과 기존에 한전에서 사용하는 TRS 통신망과의 연동을 위한 프로토콜 스택을 도출하였다.

## 참고 문헌

[1] J. L. Hammond, "Performanace Analysis of Local Computer Networks", Addison-Wesley, pp. 54-134, 1986.