

전력수용가포털을 위한 구내 통신 및 컴퓨터 네트워크 용량 설계

(Network Capacity Design in the Local Communication and Computer Network for Consumer Portal System)

홍준희* · 최중인 · 김진호 · 김창섭 · 손성용 · 손광명 · 장길수 · 이재복

(Jun-Hee Hong · Jung-In Choi · Jin-Ho Kim · Chang-Sub Kim · Sung-Young Son ·

Kwang-Myung Son · Gil-Soo Jang · Jea-Bok Lee)

요 약

고전력수용가포털(Consumer Portal)은 소비자의 다양한 장치들과 광역 네트워크, 그리고 에너지서비스사업자(ESP: 한전 등)의 서비스 애플리케이션 플랫폼을 연결하는 물리적 링크이자 논리적 결합으로, 전력서비스 체계에서 소비자-공급자 간 정보교환과 서비스 거래를 담당하는 양방향 통신의 핵심 인프라로서 포털이다.

전력수용가포털(Consumer Portal)의 성공적인 설계와 개발을 위해서는 효율성, 경제성, 확장성을 고려한 네트워크 설계가 선행되어야 한다. 그러나 전력수용가 포털의 네트워크 설계에 필요한 네트워크 용량 설계 모델링에 대한 공학적 연구는 아직 부족한 실정이다.

본 논문에서는 전력수용가포털의 네트워크 설계에 필요한 네트워크 용량 설계 모델링 방법을 논하고 실제 구축 중인 시스템에 적용하였다. 그 결과 기존 네트워크 설계방법의 문제점을 파악하고, 개선하여 네트워크의 최대수용 단말기의 수를 30~40배 증대시킬 수 있는 데이터 수집 알고리즘을 개발할 수 있게 되었다.

Abstract

Consumer Portal is defined as "a combination of hardware and software that enables two-way communication between energy service providers(ESP, like KEPCO) and equipment within the consumer's premises". The portal provides both a physical link (between wires, radio waves, and other media) and a logical link (translating among language-like codes and etiquette-like protocols) between in-building and wide-area access networks. Thus, the consumer portal is an important, open public shared infrastructure in the future vision of energy services.

In this paper, we describe a new methodology for local communication and computer network capacity design of consumer portal, and also presents capacity calculation method using a network system limitation factors. By the approach, we can check into the limitations of existing methods, and propose an improved data processing algorithm that can expand the maximum number of the networked end-use devices up to 30~40 times. For validation, we applies the proposed method to our real system design. Our contribution will help electrical power information network design.

Key Words : Consumer Portal, Energy Service System, Network Design, Network Capacity, Communication Traffic, Queueing System

* 주저자 : 경원대학교 전기공학과 부교수

Tel : 031-750-5350, Fax : 031-750-8571, E-mail : hongpa@kyungwon.ac.kr

접수일자 : 2007년 7월 26일, 1차심사 : 2007년 7월 27일, 심사완료 : 2007년 8월 17일

1. 서 론

1.1 전력수용가포털 소개

전력수용가포털(Consumer Portal)은 소비자의 다양한 장치들과 광역 네트워크, 그리고 에너지서비스 사업자(ESP: 한전 등)의 서비스 애플리케이션 플랫폼을 연결하는 물리적 링크이자 논리적 결합으로, 전력서비스 체계에서 소비자-공급자 간 정보교환과 서비스 거래를 담당하는 양방향 통신의 핵심 인프라로서 포털이다[1-2].

그림 1이 전력수용가포털의 역할을 보여주는 개념도인데, 기존의 전력산업(혹은 전력회사)의 사업영역이 그림의 아래 부분(발전-송변전-배전 부분)이라면 수용가포털에 의하여 수용가 대내로의 서비스 확장이 이루어진다. 이는 수용가의 수배전반 직전까지에만 머무르던 기존 전력회사의 사업범위가 수용가포털에 의해 수배전반을 넘어 홈 네트워크나 빌딩 설비관리 등 새로운 수익을 내는 분야(소비자 구내 영역)로 시장을 확장함을 의미한다.

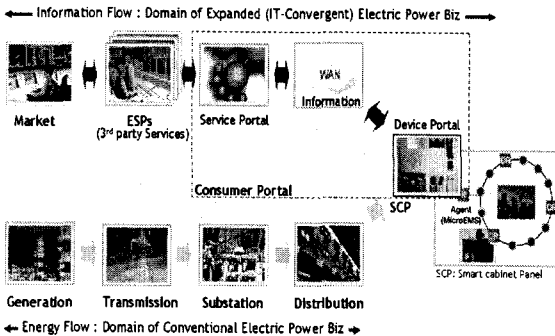


그림 1. 전력수용가포털 개념도
Fig. 1. Consume Portal Concept Diagram

즉 수용가포털은 전력사업자가 수용가로부터 전력정보(요금, 소비전력, 전압, 전류, 전기안전 및 품질 정보 등)를 수집, 분석하여 원격검침(Auto-Metering), 수요관리(Demand Response), 직접부하제어(Direct Load Control), 전기설비관리, 전기안전관리, 기타 정보조회 등의 다양한 부가서비스를 제공하기 위한 시스템이다. 그림 2는 전력수용가

포털의 네트워크 구성 예이며 그림 3은 논리적 데이터 흐름도이다. 각 요소들의 기능은 다음과 같다.

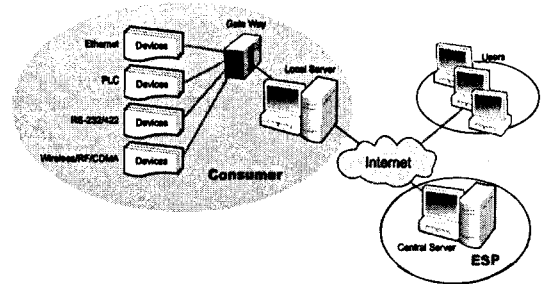


그림 2. 전력수용가포털의 네트워크 구성 예
Fig. 2. Network Diagram of Consumer Portal

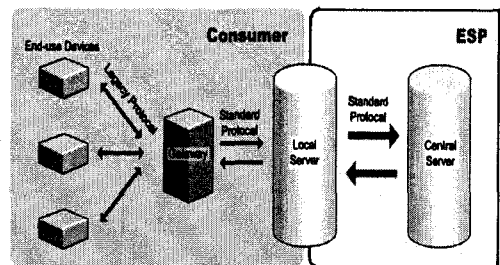


그림 3. 논리적 데이터 흐름도
Fig. 3. Logical Data Flow Diagram

1.1.1 Gateway

기초 정보를 생성하고 필요시 서버로부터의 명령을 실행하는 말단의 장비들(전력량계, 분전반, 수배전반 등)은 외부와의 통신을 위해 각자 고유의 통신 규약(Legacy Protocol)을 사용하는 것이 현실이다. 일반적으로 서버는 이들과의 통신을 통해서 수집한 데이터를 일괄적으로 통합관리하기 위하여 표준화된 통신규약(Standard Protocol)을 통하여 데이터를 수집한다. 말단장비로부터 고유통신규약(Legacy Protocol)에 의해 전송되는 데이터를 표준통신규약(Standard Protocol)으로 변환하여 상부로 전달하는 장비를 Gateway라 한다.

1.1.2 Local Server

전력수용가포털을 구축할 때 수용가측(아파트, 빌딩, 공장 등)에 설치되는 서버(Local Server)로서 하부에 연결된 말단장비(전력량계, 분전반, 수배전반

등)의 프로파일과 이들로부터 전송된 기초 데이터들을 데이터베이스에 저장하고 관리한다. 아울러 전력 서비스 사업자 측에 설치된 중앙서버(Central Server)로 필요한 데이터를 전달하며, 필요시에는 제어명령을 말단장비로 전달하게 된다. 이 서버는 각 장비로부터 Gateway를 거쳐 표준통신규약으로 변환된 데이터를 수신하며, 중앙서버로부터 수신된 표준통신규약의 데이터를 Gateway를 통하여 해당 장비의 고유 통신규약(Legacy Protocol)으로 변환, 전달한다.

1.1.3 Central Server

전력서비스 사업자 측에 설치되는 서버로서 다수의 수용가 측 서버(Local Server)와의 통신을 통하여 부가서비스를 제공한다. 즉 수용가 측의 말단장비로부터 수집된 데이터를 분석하여 과금, 수요관리, 직접부하제어, 전기설비관리, 전기안전관리, 전력품질관리 등의 서비스 애플리케이션을 제공하는 플랫폼의 역할을 한다. 개인사용자는 이 서버에 웹을 통하여 접속하여 여러 형태의 데이터를 조회할 수 있다.

1.2 네트워크 용량설계 모델링 연구의 필요성

전력수용가포털의 성공적인 설계와 개발을 위해서는 효율성, 경제성, 확장성을 고려한 네트워크 설계가 선행되어야 한다. 그러나 전력수용가 포털의 네트워크 설계에 필요한 네트워크 용량 설계 모델링에 대한 공학적 연구는 아직 부족한 실정이다[1-2].

특히 수용가포털을 구성하는 네트워크에는 다양한 말단장비들이 노드로 연결되어야 하며, 그 수는 기존의 전력시스템을 구성하는 노드 수와 비교할 때 어마어마한 크기가 된다. 네트워크의 규모가 이와 같이 커지면 그 전체는 부분의 합 보다 차원이 다른 특성을 보이며, 이를 감안하여 네트워크를 설계할 때 충분한 성능이 보장될 수 있도록 용량을 설정하여야 한다[2].

본 논문에서는 전력수용가포털의 네트워크 설계에 필요한 네트워크 용량 설계방법을 논하고 실제

구축 중인 시스템을 예로 하여 본 논문의 모델링 기법을 적용해 보았다. 이를 통하여 기존 네트워크 설계방법의 문제점을 파악하고, 개선하여 네트워크의 최대수용 단말기의 수를 30~40배 증대시킬 수 있는 데이터 수집 알고리즘을 개발하였다.

2. 네트워크 통신용량 제한 요소

네트워크 통신용량을 결정하는 것은 네트워크를 구성하는 장비(전력량계, 수배전반, 분전반, Gateway, 서버 등)간의 통신응답시간(Communication Delay, Response Time)이다. 장비간의 통신은 통신라인 지연시간(Communication Line Delay), 연산을 위한 중앙처리장치 연산시간(CPU Delay) 등의 요소로 결정된다.

2.1 통신라인 지연시간 (Communication Line Delay)

데이터가 통신라인을 통과하면서 발생하는 지연시간으로 데이터의 크기, 통신라인의 대역폭(Band Width), 데이터 발생 빈도 등에 의해 결정된다. 이러한 통신라인 지연시간을 결정하기 위하여 많이 사용되는 것이 대기행렬이론이다[3].

2.1.1 대기행렬이론(Queueing Theory)이란?

은행창구와 같이 고객이 서비스를 받기위해 대기행렬에서 기다리는 시스템에서 비용절감과 서비스 품질향상을 위하여 대기비용과 서비스비용의 상관관계를 수학적으로 모델링한 이론이다[4].

2.1.2 용 어

고객(Customer): 서비스를 받기위해 대기행렬에서 기다리는 사람으로 통신망에서는 데이터에 해당한다.

서버(Server): 서비스를 제공하는 곳으로 은행에서는 창구이며 통신망에서는 데이터 수신장비가 해당된다.

대기행렬(Queue): 고객들이 줄지어 대기하는 장소로 통신망에서는 통신버퍼가 해당된다.

2.1.3 지연시간 모델

어떤 대기행렬 시스템의 수학적 모델을 결정하고 분석하기 위해서는 고객이 대기행렬에 도착하는 방식과 서비스 소요 시간 등이 파악되어야 한다. 대기행렬모델은 6 가지 기준에 따라 구분되는데 고객도착분포(a), 서비스시간분포(b), 서버의 수(c), 서비스규칙(d), 대기공간(e), 고객 모집단(f) 등이다.

모델의 표현 : (a/b/c):(d/e/f)

고객도착의 분포

지수분포(Exponential inter-arrival times): M

서비스시간분포

지수분포(Exponential inter-arrival times): M

지수분포 이외의 분포(General service times): G

예: M/M/1 - 고객도착분포와 서비스 시간분포가 지수분포이고 서버가 하나인 모델로서 데이터 통신 네트워크 설계 모델링에 적합하다. 다음 식은 M/M/1 모델에서 고객이 도착에서 서비스 종료까지 걸리는 평균 시간을 나타낸다.

$$W = \frac{1}{\mu - \lambda} \tag{1}$$

W : 도착에서 서비스 종료까지 평균시간

μ : 서비스 처리율

λ : 고객 도착율

위의 수식을 이용하여 W를 통신라인 지연시간으로, μ 를 데이터 처리율, λ 를 데이터 전송빈도로 치환하여 통신라인 지연시간을 모델링할 수 있다.

2.2 중앙처리장치 연산시간 (CPU Delay)

Gateway와 같이 데이터를 수신하여 통신규약 (Communication Protocol)을 변환하여 주는 장비는 중앙처리장치(CPU)의 연산이 필요하며, 이러한 연산처리시간이 통신응답시간에 포함된다. 이 연산시간을 도출하는 방법은 적당한 통신규약 변환 프로그램을 작성하여 이를 해당 중앙처리장치(CPU)에서 실행하기 위하여 필요로 하는 클럭 수를 계산하거나 PC에서 유사 프로그램을 돌려 실행시간을 도출한

후 해당 중앙처리장치와 PC의 연산능력(MIPS: Million Instruction Per Second) 비율로부터 도출하는 방법이 있다. 본 논문에서는 후자의 방법을 사용한다.

3. 네트워크 용량 계산을 위한 모델링

이 장에서는 위의 대기행렬이론과 중앙처리장치 연산시간 도출방법을 이용하여 통신라인 지연시간과 중앙처리장치 연산시간 도출 모델링을 기술한다.

3.1 통신라인 지연시간 모델링

모델링 대상 통신망의 평균 데이터 크기를 K bits, 대역폭을 C bps라 하면 평균 서비스율 μ 는 $\mu = C/K$ pps(Packet per Second)로 정의된다. 데이터의 평균 도착률을 λ pps(Packet per Second)라 하면 전장에서 언급한 M/M/1 대기행렬모델의 수식을 적용하여 데이터의 통신라인 지연시간 D를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$D = \frac{1}{\mu - \lambda} \tag{2}$$

이때 평균데이터의 크기를 1K bytes, 통신라인의 대역폭을 1.54[Mbps]라 가정하면 평균 서비스율은

$$\mu = 1.54 \times 10^6 / (8 \times 10^3) \approx 190 \text{pps} \tag{3}$$

이다. 대역폭 사용률을 $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ 라 하면 지연시간은

$$D = \frac{1}{190(1 - \rho)} \tag{4}$$

이다. 그림 4는 대역폭 사용률과 지연시간과의 관계를 보여주는 그래프이다.

그림에서 만약 허용지연시간이 15[ms]라면 64.5[%]이하의 대역폭 사용률을 유지해야 함을 알 수 있다.

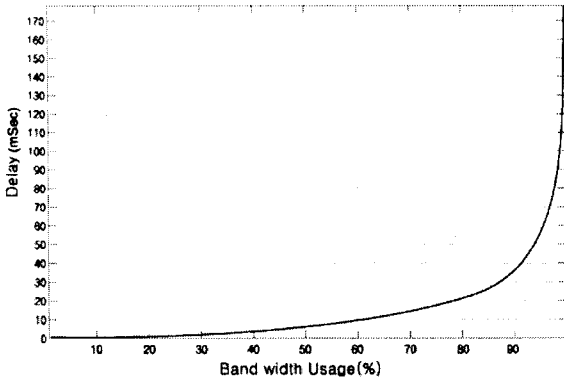


그림 4. 대역폭 사용률((%)) 대 지연시간((msec)) 그래프

Fig. 4. Graph of Bandwidth((%)) usage vs. Delay((msec))

그러나 실제로는 위의 M/M/1 그래프의 경우보다 시간지연이 심하므로 이를 반영하는 보정계수를 사용한다.

$$D_w = \frac{w}{190(1-\rho)} \quad (5)$$

w : 보정계수

그림 5는 보정계수를 1.5로 했을 때의 M/M/1과 보정계수 적용 그래프로, 허용지연시간이 15[ms]일 때 보정된 그래프에서는 50[%]이하의 대역폭 사용률을 유지해야 함을 알 수 있다.

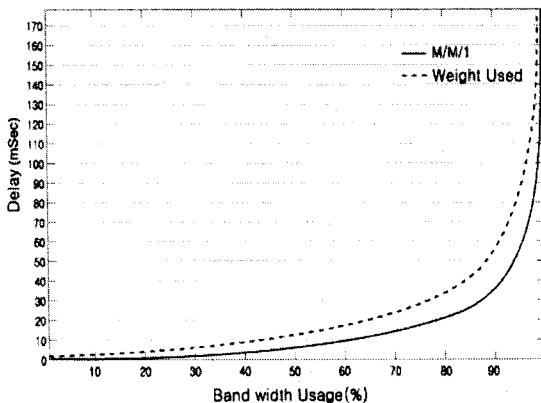


그림 5. 보정계수 적용 대역폭 사용률 대 지연시간 그래프
Fig. 5. Graph of Bandwidth usage vs. Delay(Weight Used)

3.2 중앙처리장치 연산시간 (CPU Delay)

중앙처리장치 연산시간은 통신규약변환과 같은 연산을 수행하는 Gateway와 같은 곳에서 발생하는 지연시간이다. 본 논문에서는 수신 장비의 중앙처리장치가 데이터에 대하여 행하는 연산 알고리즘을 일반 PC에서 구현하여 그 시간을 측정하고 PC와 해당 장치의 중앙처리장치 연산능력(MIPS)의 비율로부터 수신 장비의 중앙처리장치 연산시간을 도출하였다.

수신 장비의 중앙처리장치 연산능력을 M_u , PC의 연산능력을 M_p , PC의 연산알고리즘 수행시간을 T_p 라 하면 수신 장비의 연산알고리즘 수행시간은 다음과 같다.

$$T_u = \frac{M_p}{M_u} T_p \quad (6)$$

4. 모델링을 이용한 시스템의 네트워크 설계

4.1 다단계 통신경로의 지연시간

하나의 장비가 말단의 장치로부터 데이터를 수신할 때는 일반적으로 중간에 서로 다른 통신라인과 장비를 거치게 된다. 그림 6은 2 개의 통신라인과 3 개의 노드가 존재하는 시스템을 예시하는 그림이다.

이 경우 노드 1에서 노드 3으로 데이터가 전송될 때 발생하는 시간지연은 노드 1-노드 2 시간지연과 노드 2-노드 3 시간지연의 합으로 구해진다.

$$D_{13} = D_{12} + D_{23} \quad (7)$$

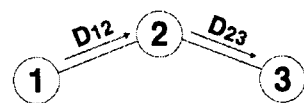


그림 6. 3 노드, 2 라인 통신망
Fig. 6. 3 Nodes, 2 Lines Communication Network

전력수용가포털을 위한 구내 통신 및 컴퓨터 네트워크 용량 설계

n개의 노드로 구성된 일반적인 통신시스템에서의 말단노드 간 시간지연은 다음 식으로 표현된다.

$$D_{1n} = \sum_{i=1}^{n-1} D_{ij(j=i+1)} \quad (8)$$

아울러 각 노드에서 발생하는 데이터 변환 등의 연산에 따르는 중앙처리장치 연산시간을 반영하면 다음 식으로 표현된다.

$$D_{1n} = \sum_{i=1}^{n-1} (D_{ij(j=i+1)} + T_i) \quad (9)$$

D_{ij} : 인접노드간 통신라인지연시간

T_i : 중앙처리장치 연산시간

4.2 네트워크 설계

정보시스템 구현 시에는 설계단계에서 데이터의 응답시간(Response Time)을 시스템 요구사항으로 결정해놓고 이를 기초로 하여 네트워크를 설계하는 것이 일반적이다. 즉

$$D_{1n} \leq R_i \quad (10)$$

(D_{1n} :지연시간 R_i :시스템허용응답시간)

의 조건을 만족하도록 설계하며, 이로부터 노드 간 통신라인의 대역폭, 연결되는 하부 노드(말단장비)의 최대 수 등이 결정된다. 이 식 (10)이 네트워크의 구조와 통신라인의 매체 선정을 결정하는 식이다.

본 논문에서 기술한 상기의 모델링은 특정 시스템의 말단장치의 최대허용대수를 계산하거나 네트워크 구조 및 성능 개선 등에 이용할 수 있다.

5. 구축 중인 시스템에 모델링을 적용한 예

그림 7은 현재 개발 중인 전력수용가포털(Consumer Portal)을 시범사업의 일환으로 분양예정 아파트에 적용하기 위한 시스템 구성도이다.

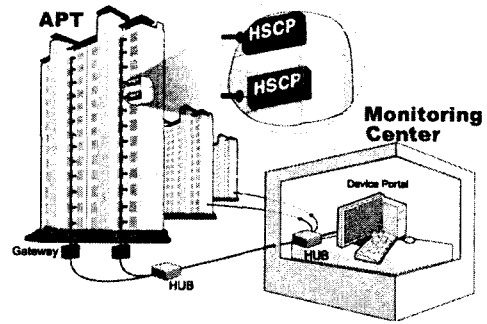


그림 7. 수용가포털 시범사업 시스템 개념도
Fig. 7. System Diagram for Consumer Portal Field Test

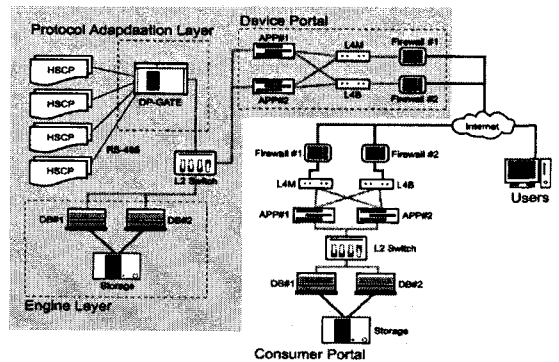


그림 8. 수용가포털 시범사업 네트워크 구성도
Fig. 8. Network Diagram for Consumer Portal Field Test

그림의 HSCP(Home Smart Cabinet Panel)는 각 가정에 설치되어 전력량 정보(Metering), 전압 및 전류정보, 분전반(Distribution Switchboard) 기능, 아크방전감지기능(Arc Discharge Detection) 등을 제공하는 지능형 복합장비이다. 디바이스 포털(Device Portal)은 1장에서 설명한 전력수용가포털의 Local Server에 해당되며, 그림에 Consumer Portal로 표시된 것은 중앙서버(Central Server)에 해당된다.

본 연구에서는 HSCP에서부터 디바이스 포털까지의 네트워크 용량설계에 대하여 전문화된 모델링 방법을 적용하였다. 이때 디바이스포털에서 수용가 포털 사이의 네트워크는 일반적으로 인터넷이 사용되며 설계의 대상이 아니므로 여기서는 다루지 않는다.

5.1 모델링

그림 8이 모델링 대상 네트워크 구성도이다. 이 시스템은 각 가정의 전력량정보를 60초 주기로, 전압정보를 20초 주기로 디바이스 포탈에 전송한다. 이때 아크방전 감지 시 발생하는 데이터는 발생빈도가 매우 작으므로 모델링 대상에서 제외하였다.

5.2 HSCP와 Gateway간 통신라인 지연 시간

HSCP와 Gateway 사이의 통신은 RS-485를 통하여 이루어지며 RS-485 버스의 통신대역폭은 최대 100kbps 정도로서 가용대역폭을 50kbps로 가정한다. 그리고 Gateway는 단순히 통신규격(Protocol)을 변환하는 기능만을 갖는다. 그림 9는 HSCP의 통신 데이터 형식의 예이다. 그림 9에서 보듯 HSCP는 데이터 패킷을 32Bytes 단위로 송수신한다.

Header	HSCP ID	Packet Type	Value	Packet Serial	Filter	Tail
2 Bytes	2 Bytes	2 Bytes	4 Bytes	4 Bytes	16 Bytes	2 Bytes

그림 9. HSCP 데이터 형식
Fig. 9. HSCP Data Format

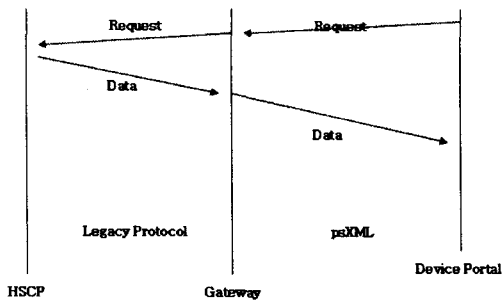


그림 10. HSCP의 동기화 통신방식
Fig. 10. Synchronous Communication of HSCP

그림 10은 HSCP가 데이터를 송수신할 때 사용하는 동기화 통신방식(Synchronous Communication)이다. 이는 수신노드가 먼저 요청(Request)을 보내고 해당 데이터를 수신하는 방식이다. HSCP와

Gateway간 통신에서의 평균데이터 크기는 32 Bytes이고 RS-485의 대역폭은 50[kbps]이므로 평균서비스율은 다음과 같다.

$$\mu_{hg} = (50 \times 1000) / (32 \times 8) \approx 195 \text{pps} \quad (11)$$

또한 평균데이터 도착률 λ_{hg} 는 Gateway 당 n_h 대의 HSCP가 연결된다고 가정할 때 다음과 같다.

$$\lambda_{hg} = (1/60 + 1/20) \times n_h \approx 0.067 n_h \text{pps} \quad (12)$$

이때 보정계수 1.5를 적용한 통신라인 지연시간은

$$D_{hg} = \frac{1.5}{195 - 0.067 n_h} \quad (13)$$

이다. 그러나 이 식은 단방향 데이터 통신의 경우이고 실제로는 그림 10과 같이 동기화 통신방식을 사용하므로 최종 지연시간은 다음이 된다.

$$D_{hg} = \frac{3}{195 - 0.067 n_h} \quad (14)$$

5.3 Gateway 데이터 변환 연산지연시간

그림 10에서 Gateway는 HSCP로부터 고유의 통신규격(Legacy Protocol) 데이터를 전송받아 psXML이라는 XML 기반의 개방형 표준규격으로 변환하여 Device Portal로 전달한다. 이때 데이터 변환 작업을 위한 중앙처리장치 연산시간지연이 발생하게 된다.

그림 11은 psXML의 예로서 "apt1"이라는 Device Portal에 부착된 "gw1" Gateway가 관장하는 "hscpl"으로부터 전압값 220[V]를 읽어온 결과이다. 그리고 그림 12는 데이터 변환속도를 PC에서 측정하기 위하여 작성한 프로그램의 동작그림이다.

데이터 변환시간을 보다 정확하게 측정하기 위하여 아주 큰 값의 변환수행 횟수(Conversion Count)를 지정한 후 전체시간을 측정하여 1회 변환 당 평균 시간(Average Conversion Time)을 데이터 변환시간으로 간주하는 방식을 사용하였다. 변환수행 횟수

전력수용가포털을 위한 구내 통신 및 컴퓨터 네트워크 용량 설계

가 많을수록 실제에 가까운 값이 도출될 것이다.

```
<?xml version="1.0" encoding="euc-kr"?>
<psxml version="1.0" type="Response">
  <response source="hscplgw18apt1">
    <property id="a" do="get" name="Voltage">220</property>
  </response>
</psxml>
```

그림 11. psXML의 예
Fig. 11. psXML Example

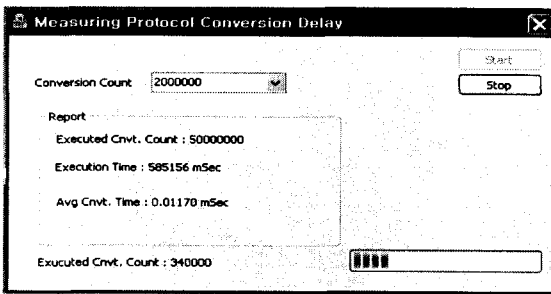


그림 12. 데이터변환 속도측정 프로그램
Fig. 12. Program for Data Conversion Time Calculation

그림 13은 변환횟수를 달리하여 얻은 결과를 보여 주는 테이블이며 그림 14는 소스코드이다.

변환횟수	1000000	5000000	50000000	100000000
평균시간(mSec)	0.01678	0.01264	0.01170	0.01172

그림 13. 변환횟수에 따른 소요시간
Fig. 13. Conversion Time for Various Conversion Count

5×106회 또는 1×108회의 변환시간이 0.01172 [msec] 정도로 유사하므로 이를 최종 평균변환시간으로 취한다. 아울러 데이터변환속도 측정 프로그램을 동작시킨 PC의 성능을 속도측정 프로그램으로 측정해본 결과 3[GHz]의 속도를 나타내었으며 Intel의 ixp 420을 탑재한 Gateway의 데이터 변환속도는 ixp 420의 최대 클럭주파수가 0.5[GHz] 정도이므로 통상적으로는 250[MHz]의 성능이 나온다. 한편 데이터 변환에 20[%] 정도의 연산능력을 사용한다고 가정하면 Gateway에서의 평균 변환시간은 PC의 평

균변환시간의 60배로 추정할 수 있고, 다음 식과 같다.

$$D_c = 0.0117 \times 60 \approx 0.7 \text{ mSec} \quad (15)$$

5.4 Gateway-Device Portal간 통신 라인 지연시간

Gateway와 Device Portal은 Ethernet으로 연결되고 psXML 데이터의 평균 크기를 500 bytes 정도이다. 그림 15와 그림 16의 Ethernet과 TCP의 Packet 구조로부터 약 50[bytes] 정도의 데이터 양이 추가됨을 알 수 있다. 따라서 실제 Ethernet으로 송신되는 데이터의 평균크기를 600[bytes]라 가정한다.

```
typedef struct {
  BYTE  hdr[2];
  short id;
  short pktType;
  int   value;
  int   pktSerial;
  BYTE  filler[16];
  BYTE  tail[2];
}stHSCPPacket;

CString CWorkThread::Convert2psXML(stHSCPPacket* pPacket)
{
  CString sRet;
  sRet.AppendFormat(_T("<?xml version=1.0 encoding=euc-kr?>"),
    ...);
  sRet.AppendFormat(_T("<psxml version=1.0 type=Response>"),
    ...);
  sRet.AppendFormat(_T("<response source=hscplgw18apt1>"),
    ...);

  switch(pPacket->pktType) {
    case PACKET_TYPE_WATTAGE:
      break;
    case PACKET_TYPE_WATT_HOUR:
      break;
    case PACKET_TYPE_CURRENT:
      break;
    case PACKET_TYPE_VOLTAGE:
      sRet.AppendFormat(_T("<property id=1 do=get name=Voltage>"),
        ...);
      break;
  }
  sRet.AppendFormat(_T("</property>"), pPacket->value);
  sRet.AppendFormat(_T("</response></psxml>"));
  return sRet;
}

int CWorkThread::Run()
{
  int nCnt=(int)((float)m_MaxCnt/100);
  TRACE(_T("Run. %n"));
  stHSCPPacket packet;
  memset(&packet, 0, sizeof(stHSCPPacket));
  packet.pktType=PACKET_TYPE_VOLTAGE;
  packet.value=220;

  while(m_bRun) Sleep(10);
  TRACE(_T("Start. %n"));
  while(m_bRun) {
    Convert2psXML(&packet);
    m_nCnt++;
    if(m_nCnt >= m_MaxCnt) m_bRun=FALSE;
    if(m_nCnt%nCnt==0) {
      m_nMaxInWnd->PostMessage(WM_WORK_THREAD_PROGRESS, m_nCnt);
      Sleep(50);
    }
  }
  PostQuitMessage(0);
  return CWinThread::Run();
}
```

그림 14. 변환 프로그램 소스
Fig. 14. Source Code of the Conversion Program

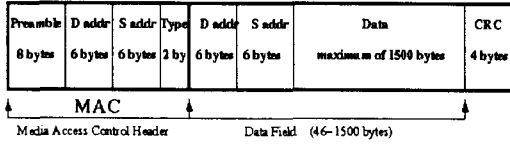


그림 15. Ethernet 패킷 프레임 [5]
Fig. 15. Ethernet Packet Frame

한편 Ethernet의 실제 대역폭을 B_m [bps]로 가정한다. HSCP들이 60초마다 전력량 정보를, 20초마다 전압 정보를 디바이스 포탈에 전송한다고 가정하면 평균서비스율 μ_{gd} 는 $\mu_{gd} = \frac{B_m}{600 \times 8} \text{ pps}$ 이다.

Source Port(1 Byte)	Destination Port(1 Byte)
Sequence Number(2Bytes)	
Acknowledgement Number(2Bytes)	
Offset, Control Bits(1Byte)*	Window(1 Byte)
Checksum(1Byte)*	Urgent Pointer(1 Byte)
Options	
Data(Variable Bytes)	

그림 16. TCP 패킷 구조 [6]
Fig. 16. TCP Packet Frame

평균데이터 도착율 λ_{gd} 는 Device Portal 한대에 N_h 대의 HSCP가 연결된다고 가정하면

$$\lambda_{gd} = (1/60 + 1/20) \times N_h \approx 0.067 N_h \text{ pps} \quad (16)$$

이다. 이때 보정계수 1.5를 적용하고 동기화 통신방식을 고려하면 통신라인 지연시간은 다음과 같다.

$$D_{gd} \approx \frac{14400}{B_m - 965 N_h} \quad (17)$$

5.5 HSCP-Device Portal간 지연시간

HSCP와 Device Portal간 지연시간은 HSCP-

Gateway 지연시간, Gateway의 연산지연시간, Gateway-Device Portal 지연시간의 합이다. 즉,

$$D_{hd} = D_{hg} + D_c + D_{gd}$$

$$= \frac{3000}{195 - 0.067 n_h} + 0.7 + \frac{14400 \times 1000}{B_m - 965 N_h} \text{ (mSec)} \quad (18)$$

- D_{hd} : HSCP-Device Portal간 통신지연시간
- D_{hg} : HSCP-Gateway간 통신지연시간
- D_c : Gateway 데이터변환연산 시간
- D_{gd} : Gateway-Device Portal간 통신지연시간
- n_h : Gateway한대당 연결된 HSCP의 수
- N_h : Device Portal에 연결된 전체 HSCP의 수
- B_m : Gateway-Device Portal간 통신대역폭

5.6 네트워크 설계 검증 및 개선방안

Device Portal이 매 60초마다 전력량 정보를, 20초마다 전압정보를 수집하는 시스템에서 가장 짧은 데이터 수집주기 시간 내에 모든 장비에 대한 데이터 수집이 완료되어야 하는 조건을 적용하면 시스템의 허용응답시간은 다음과 같다.

$$R_t = \frac{20 \times 1000}{N_h} \quad (19)$$

R_t : 시스템허용응답시간

N_h : Device Portal에 연결된 전체 HSCP의 수

전체 지연시간이 시스템 허용응답시간 보다 작도록 네트워크가 설계되어야 하므로

$$D_{hd} \leq R_t \text{ 즉,}$$

$$\frac{3000}{195 - 0.067 n_h} + 0.7 + \frac{14400 \times 1000}{B_m - 965 N_h} \leq \frac{20000}{N_h} \quad (20)$$

의 조건을 만족해야 한다.

5.5.1 Device Portal에 연결되는 최대허용 HCSP의 수

한대의 Gateway에 20대의 HSCP가 연결되고 Ethernet 라인의 실제 대역폭이 50[Mbps]라 가정하면

$$n_h = 20, \quad B_m = 5 \times 10^7 \quad (21)$$

$$D_{hd} = \frac{3000}{195 - 0.267 \times 20} + 0.7 + \frac{14400 \times 1000}{5 \times 10^7 - 965 N_h}$$

$$R_t = \frac{20000}{N_h} \text{ 일 때 } D_{hd} \leq R_t$$

의 조건을 만족하여야 한다. 그림 17은 N_h 에 대한 D_{hd} 와 R_t 의 그래프이다. 그림에서 위의 조건을 만족시키는 N_h 의 최대값, 즉 Device Portal 한 대당 수용가능한 HSCP의 최대수는 1,200 대가 된다.

5.5.2 문제점 분석 : 동기화 알고리즘 (SDGA)의 한계

기존에 사용하는 데이터 수집방식은 Device Portal이 말단의 HSCP 데이터를 요구하는 것에 맞추어 Gateway가 직접 HSCP로부터 데이터를 가져 오는 동기화 데이터 수집 방식(SDGA: Synchronous Data Gathering Algorithm)이다. 이 경우는 Device Portal의 데이터수집 과정에서 HSCP-Gateway 구간이 통신병목으로 작용하여 최대허용 HSCP의 수를 제한하는 요인이 된다.

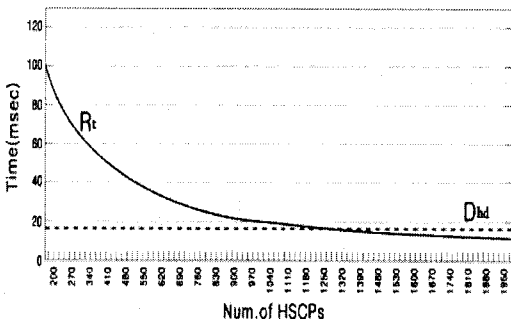


그림 17. 연결된 HSCP 수에 대한 지연시간
Fig. 17. Delay Time vs. Connected Number of HSCPs

5.5.3 개선방법 제안 : 비동기화 알고리즘 (ADGA)

그러나 만약 Gateway를 지능화하여 Device Portal-Gateway Data Process와 HSCP-Gateway Data Process를 비동기화 시키고, Gateway가 독자적인 시간계획에 의하여 하부 장비들로부터 필요한 데이터를 미리 읽어 표준규격으로 변환시켜 놓는다면 Device Portal의 요청에 대하여 단순히 메모리로부터 읽어 전송하면 된다. 이러한 비동기화 데이터 수집 방식(ADGA: Asynchronous Data Gathering Algorithm)을 사용하면 Device Portal의 데이터수집 과정에서 HSCP-Gateway 구간의 통신병목을 크게 완화할 수 있게 된다. 비동기적 방식으로 통신병목 구간에 대한 과부하 집중을 완화시키는 것이다.

(가) Gateway의 데이터 수집 조건

한대의 Gateway에 동일한 대수의 HSCP가 연결되어 있다고 가정하면 아래의 조건을 만족하도록 Gateway가 HSCP의 데이터를 수집하면 된다.

$$R_{hg} = (20 \times 1000) / n_h, \quad D_{hg} \leq R_{hg}$$

$$\therefore \frac{3000}{195 - 0.067 n_h} + 0.7 \leq (20 \times 1000) / n_h \quad (22)$$

- n_h : Gateway한대당 HSCP수
- R_{hg} : HSCP-Gateway 허용응답시간
- D_{hg} : HSCP-Gateway 지연시간

이렇게 하면 그림 18에서 보듯이 Gateway 한 대에 최대 800대의 HSCP를 수용할 수 있다.

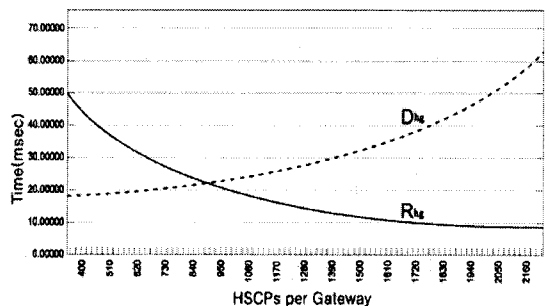


그림 18. Gateway당 HSCP수에 대한 지연시간
Fig. 18. Time Delay vs. HSCPs per Gateway

(나) Device Portal의 데이터 수집조건
Device Portal의 데이터수집 조건은 다음과 같다.

$$D_{gd} = \frac{14400 \times 1000}{5 \times 10^7 - 965 N_h}, \quad R_t = \frac{20000}{N_h}$$

$$D_{gd} \leq R_t$$

$$\therefore \frac{14400 \times 1000}{5 \times 10^7 - 965 N_h} \leq \frac{20000}{N_h} \quad (23)$$

D_{gd} : Gateway-Device Portal 통신지연시간

R_t : 시스템허용응답시간

N_h : 전체 HSCP 대 수

이로부터 최대 45,000대의 HSCP로부터 데이터를 수집할 수 있음을 알 수 있다.

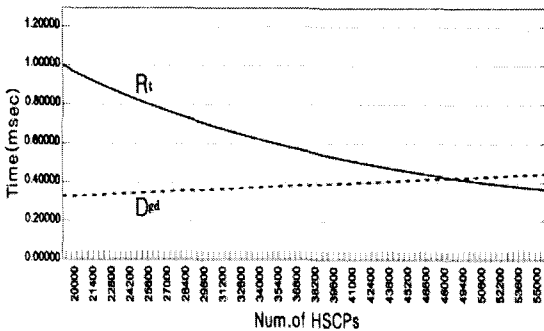


그림 19. Device Portal 당 전체 HSCP 수에 따른 지연시간

Fig. 19. Time Delay vs. Total HSCPs per Device Portal

6. 결 론

전력산업의 환경변화에 따라 한전을 비롯한 전력 판매사업, 민간부하사업, 에너지컨설팅사업, 구역전기사업 등을 수행하는 에너지관련 서비스 사업자(ESP: Energy Service Provider)들이 다양하게 나타나고 있다. 이에 따라 전력에너지 관리 최적화를 위한 전력자원, 특히 수요자원의 통합관리와 새로운 서비스 모델로 수익원을 발굴하는 것이 매우 중요해지고 있다[7]. 전력수용가포털은 이를 위한 핵심 인프라 시스템으로 국내외의 거의 모든 전력사업자들이 이의 개발에 집중하고 있다.

본 논문에서는 전력수용가포털의 네트워크 설계에 필요한 네트워크 용량 설계 모델링 방법을 논하고 실제 구축 중인 시스템에 적용하였다. 그 결과 기존 네트워크 설계방법의 문제점을 파악하고, Gateway에 Device Portal의 데이터 수집 기능을 분산시키는 데이터 수집 알고리즘을 개발하였다. 이를 적용한 결과 네트워크의 최대수용 단말기의 수를 1,200대에서 45,000대로 크게 개선하여 30~40배 증대시킬 수 있음을 확인하였다. 본 논문에서 제안하는 방법은 전력수용가포털만이 아니라 향후 다양한 전력정보 시스템의 구축을 위한 네트워크 설계에 많은 도움이 되리라 믿는다.

감사의 글

본 연구는 "산업자원부 전력IT기술개발사업(R-2005-1-396-001-01)"의 지원으로 수행되었으며, 관계부처에 감사드립니다.

References

- (1) EPR 2006 Portfolio 161 Intelligrid, Electric Power Research Institute Report, 2006.
- (2) San Diego Smart Grid Study Final Report, The Energy Policy Initiative Center, 2006 October.
- (3) Routing, Flow, and Capacity Design in Communication and Computer Network by Deepankar Medhi.
- (4) Queuing Theory and Telecommunications by Giambene, Giovanni.
- (5) IETF(Internet Engineering Task Force) <http://www.ietf.org/>
- (6) IEEE 802.3 <http://grouper.ieee.org/groups/802/3/index.html>
- (7) Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving Them, U.S. Department of Energy, 2006 February.

◇ 저자소개 ◇

홍준희 (洪俊熹)

1963년 3월 1일생. 1995년 서울대학교 졸업(박사). 2006년~현재 한국전산원 U-KOREA 기획위원. 2005년~현재 대한전기학회 정보화 위원. 1995년~현재 경원대학교 전기공학과 교수.

TEL : (031)750-5350

E-mail : hongpa@kyungwon.ac.kr

전력수용가포털을 위한 구내 통신 및 컴퓨터 네트워크 용량 설계

최중인 (崔重仁)

1956년 10월 7일생. 1979년 서울대 공대 원자핵공학과 졸업. 1987년 미국 MIT 계측제어전공 졸업(박사). 1993년~현재 경원대학교 전기공학과 정교수.
TEL : (031)750-5349
E-Mail : jichoi@kyungwon.ac.kr

김진호 (金眞鎭)

1971년 11월 27일생. 2001년 서울대학교 졸업(박사). 2001~2003년 기초전력연구원 선임연구원. 2003~2004년 University of Washington Post Doc. 2004~2007년 부산대학교 전기공학과 조교수. 2007년~현재 경원대학교 전기공학부 조교수.
TEL : (031)750-8825
E-mail : kimjh@kyungwon.ac.kr

김창섭 (金昌燮)

1962년 1월 16일생. 1990년 서울대학교 졸업(박사). 1992~2003년 에너지관리공단 연구원. 2003년~현재 한국산업기술대학교 에너지대학원 정책과정 교수. 1999년~현재 지속가능발전위원회 에너지부문 전문위원. 1995년~현재 소비자시민의 모임 에너지위원회 위원장.
TEL : (031) 4968-041
E-mail : cskim@kpu.ac.kr

손성용 (孫晟榕)

1968년 1월 28일생. 2000년 Univ. of Michigan 졸업(박사). 1992~1995년 LG 소프트웨어. 2000~2004년 포디홈네트. 2004~2005 아이크로스테크놀로지. 2005년~현재 경원대학교 정보통신공학과 전임강사.
TEL : (031)750-5347
E-mail : xtra@kyungwon.ac.kr

손광명 (孫光明)

1966년 9월 6일생. 1989년 서울대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1997년~현재 동의대학교 전기공학과 부교수.
Tel : 051-890-1671
E-mail : kmson@deu.ac.kr

장길수 (張吉洙)

1967년 10월 26일생. 1997년 Iowa State Univ. 졸업(박사). 1997~1998년 Iowa State Univ. Visiting Scientist. 1998~2000년 한전 전력연구원 선임연구원. 2000년~현재 고려대학교 전기전자전파공학부 부교수
TEL : (02)3290-3246
E-mail : gjang@korea.ac.kr

이재복 (李在馥)

1963년 10월 14일생. 1989년 8월 서울대 전기공학과 졸업. 1989년 9월~1992년 8월 태일자동제어. 1992년 9월~2002년 3월 영산정보통신 연구 소장. 2005년 1월~2006년 2월 디지털웨이 차이나. 2006년 9월~현재 경원대전력IT센터 연구 실장.
TEL : (031)-750-8558
E-mail : ljbk@kyungwon.ac.kr