

TCP/IP기반의 전력기기 제어용 프로토콜 개발

서종완, 이승연, 이종주, 정호성, 신명철
성균관대학교

Development of Protocol for Power system equipment based on TCP/IP

J.W.SEO, S.Y.LEE, J.J.LEE, H.S.JUNG, M.C.SHIN
SungKyunKwan university

Abstract - TCP/IP는 internet의 표준 통신규약으로 오랜 기간동안 많은 응용 프로그램의 기본 프로토콜로 사용되고 있으며, 다양한 통신 환경에서도 상당히 안정적인 동작을 하도록 고안된 방식이다. 그러나 데이터 전송의 안정성에 비중을 두어 고안된 방식으로 전력시스템 등의 산업용 기기 제어와 같은 실시간 특성이 요구되는 응용에는 다소 부적합한 면이 없지 않다. 따라서 본 논문에서는 인터넷을 통한 원격 제어가 가능하도록 TCP/IP를 기반으로 하되, 실시간 제어를 고려한 응용계층에서 동작하는 데이터 전송 규약을 제안한다.

1. 서 론

최근 정보통신기술의 발달에 따라 기기들간의 통신이 중요한 역할을 차지하게 되었다. 전력시스템에 사용되는 제어 및 보호 기기들도 최근들어 이러한 통신 기능이 많이 요구되고 있으며, 일부는 TCP/IP 프로토콜을 기반으로 하는 인터넷에 연결할 수 있도록 구현된 제품들도 출시되고 있으며, Distributed Network Protocol (DNP)을 적용한 기기들도 ABB 등 일부 외국 업체에 의해 출시되고 있다. TCP/IP를 이용하는 경우 인터넷의 표준 프로토콜이므로 어느 곳에서도 인터넷망에 접근이 가능하다면 해당 기기에 연결할 수 있는 장점을 가지고 있다. 반면 DNP를 이용한 경우에는 접속하려는 원격지에서도 마찬가지로 DNP 프로토콜을 제공해야 가능하다. 그러나 DNP의 경우 프로토콜의 제안 목적이 분산되어있는 기기들의 제어가 목적이므로 전송데이터의 안정성이 보장되며, 상대적으로 작은 크기의 패킷을 전송하여 데이터 전송에서의 시간지연 문제를 해결하여 실시간 제어도 가능하도록 보장하고 있다. TCP/IP의 경우에는 인터넷망을 통하여 접속이 가능하다는 장점을 가지고 있지만, TCP/IP 프로토콜은 TCP 계층에서 사용하는 프로토콜에 따라 안정적인 데이터 전송은 보장하나 전송 데이터의 실시간성을 보장하지 못하는 경우와 전송 데이터의 시간 지연은 상대적으로 적으나, 안정적인 데이터의 송·수신을 보장하지 못하는 경우로 구분된다. 본 논문에서는 인터넷의 표준 프로토콜인 TCP/IP를 사용하되 데이터 전송의 시간 지연이 상대적으로 적은 UDP를 이용하되, 안정적인 데이터의 전송을 보장하기 위해 응용프로그램계층에서 이를 보장하고, 전력시스템에 사용되는 기기에 적합한 프로토콜을 제안한다.

2. TCP/IP 프로토콜

2.1 TCP/IP 프로토콜의 개요

TCP/IP를 구성하는 주요 프로토콜은 TCP (Transmission Control Protocol) 와 IP (Internet Protocol), 그리고 UDP(User Datagram Protocol), ICMP (Internet Control Message Protocol), IGMP (Internet Group Message Protocol), ARP (Address Resolution Protocol), RARP(Reverse ARP) 등의 프로토콜로 구성

된다.

TCP/IP 프로토콜에서는 송신측에서 그림 2-1과 같이 각 계층에서 데이터에 헤더를 붙여 패킷화한다. 마찬가지로 수신측에서는 이의 역과정을 거쳐 원래 송신한 User Data를 추출하게 된다.

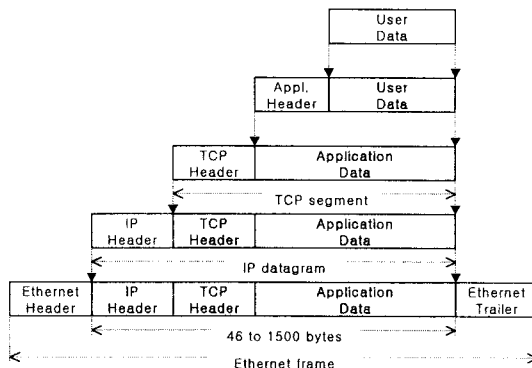
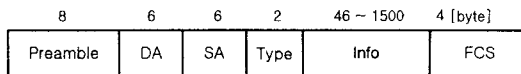


그림 2-1. TCP/IP의 Encapsulation 과정

TCP/IP에서는 그림 2-1과 같이 각 계층을 거칠때마다 각각의 계층에 대한 헤더가 붙게 되는데 Ethernet계층, IP계층, TCP계층의 헤더는 TCP/IP를 사용할 경우 항상 붙여야되는 redundancy가 된다.

Ethernet의 경우 그림 2-2와 같이 header에 22-byte, trailer에 4-byte로 모두 26-byte의 부가 데이터가 추가된다.



DA: Destination Address
SA: Source Address
Info: User Information
FCS: Frame Check Sequence

그림 2-2. Ethernet 프레임 구조

IP계층의 경우 최소 160-byte의 크기를 갖는 헤더가 존재하며 여기에는 사용하는 IP 프로코톨의 버전, 송·수신지의 IP 주소 및 기타 패킷의 유지, 관리에 필요한 정보가 포함되어 있으며 그 자세한 내용은 그림 2-3과 같다.

인터넷망을 이용하여 데이터를 송·수신하고자 할 경우 Ethernet을 사용하는 네트워크 계층에서 추가되는 Header와 Trailer, IP 계층에서 붙는 IP헤더를 포함하여 최소 182-byte의 부가적인 정보가 사용되며, 이것은 때로는 사용자의 데이터보다 더 큰 경우도 있다.

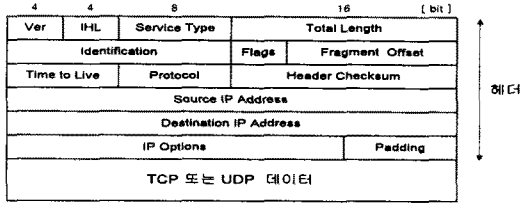


그림 2-3. IP 패킷의 헤더 구조

TCP 계층이라 불리는 곳에서는 TCP 프로토콜 또는 UDP 프로토콜을 사용할 수 있다. TCP 프로토콜은 양측 터미널간의 연결을 설정하고, 전송 데이터에 오류가 발생했을 경우 해당 패킷을 재전송할 수 있고, 전송된 패킷의 전달 순서를 확인하고, 수신된 패킷 중 중복된 패킷을 제거하고, 흐름제어가 가능하며, 네트워크의 오동작 시 오류 보고 등을 할 수 있다. 반면 UDP 프로토콜은 단순히 패킷을 하나씩 목적지 주소로 전송만 할뿐 패킷의 분실 확인이나 전달 순서를 보장해주지 않지만, 프로토콜 헤더의 크기가 작고 연결 지연이 없으므로 실시간 전송에 상대적으로 유리하다. 그림 2-4는 TCP 프로토콜의 헤더 구조를 포함한 프로토콜 데이터 단위이며, 그림 2-5는 UDP의 프로토콜 데이터 단위이다.

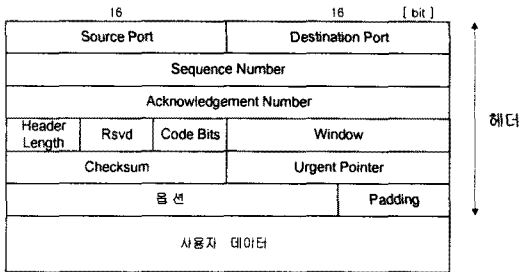


그림 2-4. TCP의 헤더 구조

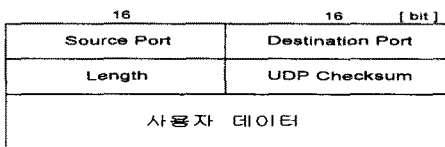


그림 2-5. UDP의 헤더 구조

그림 2-4와 그림 2-5에서 보듯이 TCP의 경우 헤더의 크기가 160-byte이며, UDP의 경우 헤더의 크기가 64-byte로 각각의 PDU가 구성되어 있다. 따라서 TCP 프로토콜 사용할 경우 IP 계층과 ethernet 계층을 경유하는 패킷의 크기는 346-byte의 헤더를 가지게 된다. 반면 UDP 프로토콜을 사용하는 경우에는 250-byte 크기의 헤더를 사용하게 된다. 다만 UDP를 사용할 경우에는 패킷 전송 순서, 흐름제어, 오류발생시 재전송 등의 기능을 제공하고 있지 않으므로 응용프로그램 계층에서 신뢰성있는 데이터 전송을 위해 이러한 기능을 구현해주어야 한다.

3. DNP(Distributed Network Protocol)

3.1 DNP의 개요

Distributed Network Protocol은 전력계통 자동화 단

말장치인 원격소장치와 지역급전소 제어장치, 지역급전 분소 제어장치, 집중감시제어배전반, IED (Intelligent Electronic Device) 전력설비 간의 자료전송에 사용되는 통신 규약으로 Physical, Data Link, Transport, Application의 4개의 계층으로 구성되며 각 계층은 에러를 최대한 억제하여 전력계통의 운전에서 요구되는 시스템 프로토콜의 안정성과 신뢰성을 최대한 확보하도록 설계되었다. 그림 3-1은 DNP의 프로토콜 모델 체계를 도시한 것이며, 그림 3-2는 각 계층의 수행과정을 개략적으로 나타낸 것이다.

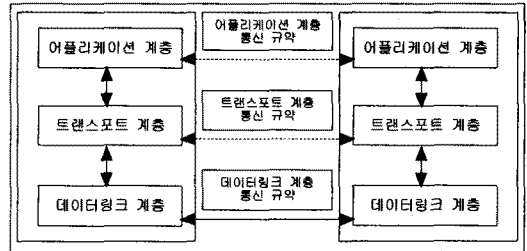


그림 3-1. DNP 프로토콜 모델 체계

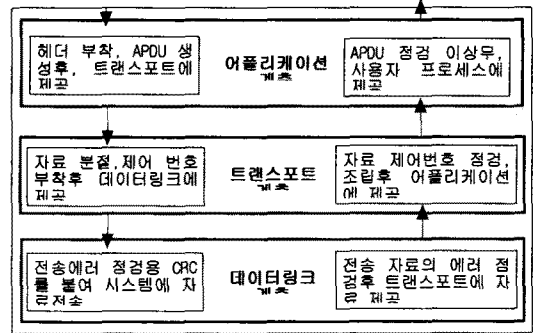


그림 3-2. 계층별 수행 내용

DNP의 경우 산업용 기기들간의 통신에 매우 적합하게 구성되어 있으며, 트랜스포트 계층에서 응용프로그램 계층으로부터 전달받은 데이터를 대형자료를 전송하는데 발생할 수 있는 비효율을 방지하기 위하여 최대 249 byte의 길이로 쪼개서 하위 계층에 제공하거나 역으로 조립하여 상위계층에 제공한다. 트랜스포트 계층의 헤더는 자료 전송의 방향, 자료의 위치 및 순서에 대한 정보를 가지고 있으며 1 byte의 크기를 갖는다.

데이터링크 계층은 시스템간의 실질적인 통신을 담당하는 계층으로 시스템간의 통신과정에 발생하는 에러의 방지와 정확한 데이터를 전송하기 위한 소기 목적을 달성하기 위하여 헤더를 사용하며, 헤더의 내용은 목적지, 출발지, 자료크기 및 제어방식 등을 담고 있다. 8 byte의 크기를 가지며 여기에 트랜스포트 계층으로부터 전달 받은 데이터의 앞뒤에 CRC가 추가된다.

DNP는 이와 같이 TCP/IP에 비하여 헤더의 크기도 작으며 패킷 구조상 redundancy가 거의 없는 효율적인 구조로 되어있다. DNP를 제공하는 기기들간의 통신에는 TCP/IP를 이용한 방식보다 자료 전송의 신뢰성 및 효율성, 시간 지연 등이 상당히 우수 하다. 다만, 연결되는 모든 기기들이 DNP를 제공해야만 통신이 가능하다는 단점이 있다.

4. Power System Control Protocol based on TCP/IP (PSCPT)

4.1 PSCPT의 개요

DNP의 경우 전력 기기들간의 신뢰성있는 데이터 전송을 보장하는 전력시스템 제어기기를 위한 가장 적절한 프로토콜이나 이를 사용하기 위해서는 접속되는 모든 기기가 DNP 프로토콜을 지원해야만 한다. 그러나 많은 정보통신 기기들은 인터넷의 표준 프로토콜인 TCP/IP를 지원하고 있으며, 전력 시스템 제어기기도 원격지에서 기기를 제어하고, 계속 데이터를 읽기 위해서는 인터넷 표준인 TCP/IP를 사용하는 것이 접속 호환성 측면에서는 유리하다. 다만, TCP/IP 프로토콜이 제안될 당시의 열악한 통신망 환경으로 상대적으로 크고 불필요한 헤더를 가지고 있으며, 전송제어에 지나치게 많은 자원을 할당함으로써 실시간 전송을 어렵게 하고 있다. 따라서 본 논문에서는 접속 호환성을 고려하여 TCP/IP 프로토콜을 기반으로 실시간 데이터 전송을 고려하여 응용프로그램 계층에서 동작하는 전력시스템 제어용 프로토콜을 제안한다.

제안한 프로토콜은 접속 호환성을 위해 TCP/IP의 IP 계층의 헤더 구조는 동일하게 사용하며, 트랜스포트 계층에서는 헤더가 큰 반면 전송 제어 및 흐름제어, 오류제어가 가능한 TCP보다는 이러한 제어 기능은 제공하지 않지만 헤더의 크기가 작고, 실시간 데이터 전송에 유리한 UDP를 사용한다. 또한 TCP의 경우 연결 설정에 상당한 시간이 소요되지만 UDP의 경우 연결 설정 과정 없이 데이터의 송·수신이 이루어지므로 전송 지연 문제를 극복할 수 있다. 다만, UDP의 특성상 실시간 전송에는 유리하지만 오류 발생 등에 대한 제어는 불가능하므로 이 부분은 응용프로그램계층에서 처리하도록 하였다.

통신 방식은 서버-클라이언트 구조를 사용하며, 항상 데이터 전송은 서버에서 종료하도록 구성하였으며 그림 4-1은 서버에서 데이터 전송을 시작한 경우이며, 그림 4-2는 클라이언트에서 데이터 전송을 시작한 경우이다.

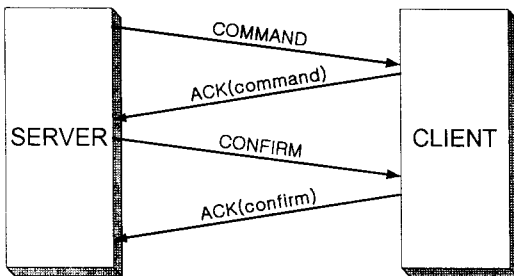


그림 4-1. 서버에서 데이터 전송을 시작한 경우

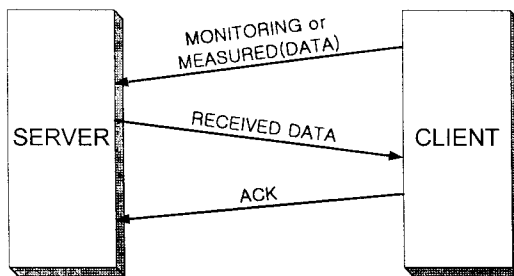


그림 4-2. 클라이언트에서 전송을 시작한 경우

전력기기의 제어를 위한 통신용 데이터는 대부분 짧은 크기의 명령어가 대부분으로 작은 크기의 패킷 전송으로 가능하나 흐름제어 및 전송 제어 등의 오류 처리가 트랜스포트계층에서 이루어지지 않으므로 그림 4-1과 그림 4-2와 같이 전송 후 확인을 하며, 서버에서 기기 제어

명령을 전송한 경우 수신한 기기에서는 확인 내용을 다시 서버로 전송하고, 서버에서는 이를 인식한 후 최종 확인 명령을 클라이언트에게 전송하여 수신한 클라이언트에서는 최종 확인 명령을 수신했다는 정보를 서버에게 전송함으로써 명령 전송을 마무리하게 된다. 이때 이 과정에서 어느 한 곳에서 오류가 발생하면 서버에서는 이를 감지하여 초기화 명령을 전송한 후 이 과정을 반복하게 된다. 클라이언트에서 전송을 시작한 경우는 기기에서 계측된 값을 전송하거나, 기기 자체에서 발생한 이벤트 또는 기기 오동작시 오류 보고 등이 해당되며 이 경우에는 그림 4-2와 같이 서버로 데이터를 전송한 후 서버로부터 수신 확인을 받아 최종 확인 메시지를 서버로 전송함으로써 데이터 전송을 마무리한다.

4.2 PSCPT의 패킷 구조

PSCPT는 TCP/IP를 기반으로 ethernet으로 연결되는 통신망에서 사용할 수 있도록 제안된 것으로 물리계층인 ethernet에서 추가되는 정보를 포함하여 모두 250-byte의 부가 정보를 가지게 된다. Ethernet의 최대 데이터 크기를 사용하면 부가 정보를 제외하고 1256-byte를 사용자 데이터로 이용할 수 있으나, 데이터의 크기가 커짐에 따라 오류 발생확률이 증가하므로, 가급적 제어에 필요한 내용만을 포함하도록 구성하되, 기기내에서 수신된 데이터의 처리과정에서 발생할 오류를 검출 또는 회피하기 위해 check 정보를 포함하도록 하여 최대 262-byte로 구성하며, 맨 앞의 1-byte는 전송 패킷의 종류를 구분하기 위해 사용하며, 뒤따르는 1-byte는 패킷의 제어에 이용되며, 맨 뒤의 2-byte 또는 4-byte는 각각 CRC-16 또는 CRC-32를 사용할 경우 CRC로 사용되며, 패킷 제어부의 CRC 선택 비트를 사용해서 CRC-16과 CRC-32를 선택하도록 한다. 그림 4-3에서 PSCPT의 패킷 구조를 보이고 있다.

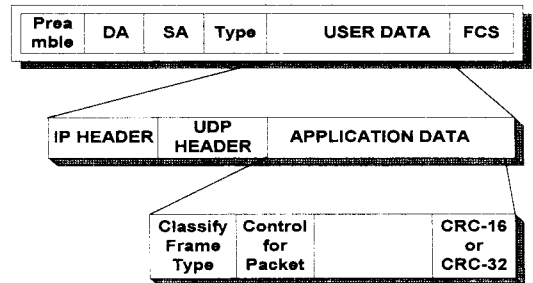


그림 4-3. PSCPT의 패킷 구조

5. 실험결과

5.1 PSCPT의 전송 시간

그림 5-1은 TCP/IP의 TCP를 사용하여 일정크기의 사용자 데이터(256-byte)를 송·수신하여 소요된 시간을 측정하는 것으로, case 1은 같은 게이트웨이를 사용하는 동일 세그먼트내에 연결된 시스템에 전송한 경우이며 case 2와 case 3은 다른 세그먼트에 존재하나 동일 도메인 네임을 사용하는 시스템과의 전송 결과이며, case 4와 case 5는 원격지에 있는 시스템과의 통신 시간에 대한 결과이다.

그림 5-2는 제안한 PSCPT를 사용하여 각각 case 1, case 2, case3, case4와 case 5에 대해 동일한 내용을 측정된 결과이다.

측정된 시간은 nano sec 단위이며, 각각의 경우에 대해 모두 30회의 측정을 하였으며, TCP/IP의 TCP를 사용한 경우는 그림 5-1에서 보듯이 데이터를 송·수신하

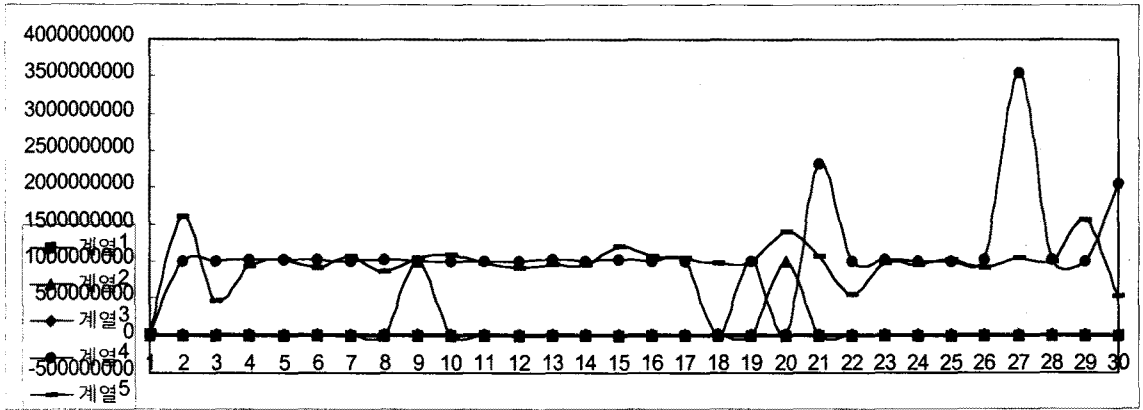


그림 5-1. TCP 자료 전송에 소요된 시간

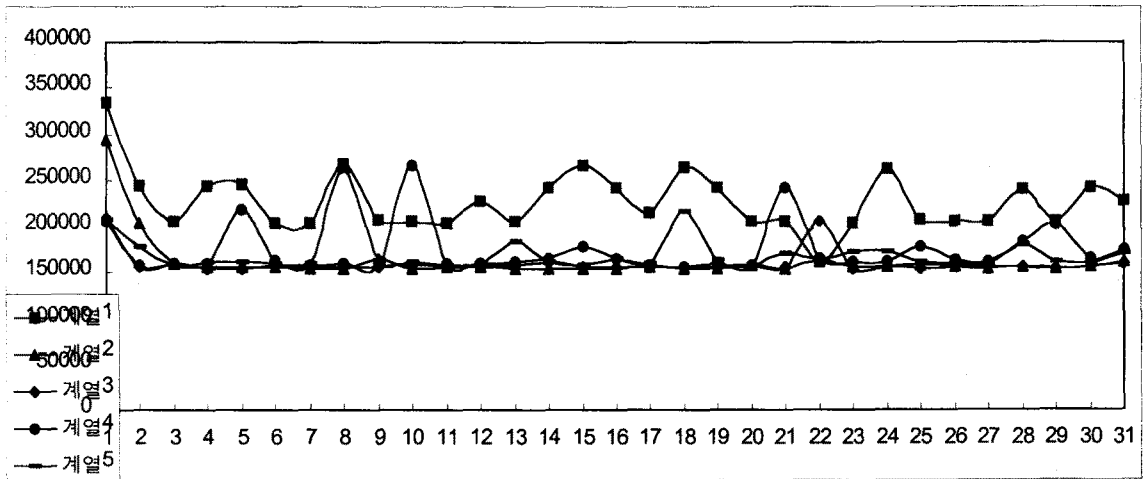


그림 5-2. PSCPT의 자료 전송에 소요된 시간

는 시스템의 네트워크상의 위치에 따라 자료 전송의 총 소요시간이 크게 차이가 나지만, 제안한 PSCPT를 사용한 경우 그림 5-2에서 보듯이 TCP를 사용한 방법에 비하여 상대적으로 균일한 시간 지연을 보이며, 실시간 제어에 무리가 없을 정도의 값을 보인다.

6. 결 론

본 논문에서는 전력시스템에 사용되는 기기들간의 실시간 제어를 고려하며, 기존의 인터넷망과의 데이터 전송 호환을 고려하여 TCP/IP망을 기반으로한 전용 프로토콜을 제안하였다.

실험결과에서 보듯이 원격지에서 명령을 전송한 경우 TCP를 사용한 경우에는 수 msec부터 수백 msec까지되어 실시간 제어 특성이 요구되는 경우에 부적절하다. 그러나 제안한 프로토콜은 시간 지연이 micro-second 단위가 되어 비교적 양호한 성능을 보이고 있다.

DNP는 접속되는 기기에서 모두 DNP를 지원하여야만 통신이 가능하나 제안한 프로토콜은 인터넷의 표준 프로토콜을 사용하고 있으므로 응용프로그램 계층에서 동작하는 프로그램만 있으면 인터넷에 접속 가능한 일반 PC를 포함한 모든 기기에서 제어 대상 기기에 명령을 송·수신할 수 있는 장점을 가지고 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] W.Richard Stevens, "TCP/IP Illustrated", Volume 1,2, 1994

CASE	TCP		PSCPT	
	시간(nsec)	시간(msec)	시간(nsec)	시간(usec)
case 1	1233891	1.233891	159647	159.647
case 2	76410168.7	76.4101687	162223	162.223
case 3	6432813	6.432813	170501	170.501
case 4	1073935907	1073.935907	173634	173.634
case 5	970906355	970.906355	227241	227.241

표 5-1. TCP와 PSCPT를 사용한 경우의 측정된 평균 전송 시간

표 5-1은 각각의 경우에 대하여 TCP를 사용하여 측정된 시간의 평균을 nano-second 단위와 mili-second 단위로 표시하였으며, PSCPT의 경우에는 nano-second와 micro-second 단위로 표시하였다.