

# NG-SDH 시스템에서의 GFP 신호동기에 관한 연구

이 창 기<sup>†</sup> · 고 제 수<sup>††</sup>

## 요 약

NG-SDH 시스템에서는 시스템으로 들어오는 이더넷신호를 GFP 프레임으로의 신호동기가 필요하다. 지금까지 외국에서는 칩셋 개발이 완료되어 관련 기술을 확보하고 있지만 국내에서는 아직 확보하지 못하고 있다. 따라서 본 논문에서는 GFP를 통한 이더넷 신호의 동기화 방법을 제시하였다. GFP-F를 통한 이더넷 신호의 동기화 방법은 Ingress 및 Egress 버퍼와 GFP idle를 통해서 신호동기를 얻을 수 있음을 알았다. 또한 GFP-T를 통한 이더넷 신호의 동기화 방법은 GFP Idle과 65B\_PAD를 적용해야 하고, 최대 3비트까지 이더넷 Idle의 추가 및 삭제되어야 함을 알았다. 또한 신호특성 시뮬레이션을 통해서 신호동기의 실현과 함께 Egress 출력에서의 MTIE와 TDEV 특성과 침투치 지터를 얻었다.

## A Study on the Synchronization of GFP Signal in NG-SDH System

Chang-Ki Lee<sup>†</sup> · Je-Soo Ko<sup>††</sup>

### ABSTRACT

The NG-SDH system requires signal synchronization to synchronize incoming ethernet signal with GFP frame. The foreign nation research completes a chipset development until now and it secures a relation technique, but it does not secure a relation technique from domestic. Therefore, in this paper, we presented with signal synchronization method of Ethernet signal through GFP frame. We knew that the synchronized method of Ethernet signal through GFP-F must apply ingress & egress buffer and GFP Idle. We understood that the synchronized method of Ethernet signal through GFP-T must apply GFP Idle and 65B\_PAD, and require maximum 3-bit addition & deletion of idle. Also we showed signal synchronization realization through simulation and obtained MTIE/TDEV characteristics and peak to peak jitter in egress output.

**키워드 :** 동기식 전송(SDH), 차세대 동기식 전송(NG-SDH), 신호동기(Signal synchronization), 기가비트이더넷(GbE), 포괄 프레임 과정(GFP)

### 1. 서 론

SDH(synchronous digital hierarchy)[1]를 기본으로 하는 동기식 전송기술과 OTN(optical transport network)[2] 기반의 WDM 전송기술은 지금까지 매우 빠른 속도로 발전하여 초고속 전송장치 개발에 적용되었다. 그리고 IP(Internet protocol) 트래픽 또한 최근 폭발적인 증가세를 보이고 있으며, 그 추세는 계속 이어질 것으로 예측되고 있다. IP를 전송하기 위해서는 POS(packet over SDH) 기능을 도입하거나 ATM 등의 방법을 사용해야 한다. 그러나 POS를 위한 HDLC(high level data link control) 프레임의 사용[11]은 Gbps 이상에서 고속신호처리의 어려움이 상존하고 있고, ATM은 10% 이상 오버헤드로 소비되는 cell tax 문제를 안고 있기 때문에 활발하게 적용되지 못하였으며, 또한 다양한 클라이언트 신호와 데이터 트래픽을 처리할 수 있는 기능적인 측면에서도 많은 문제점을 안고 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기

위하여 최근 ITU-T에서는 기존 SDH 장치에 효율적으로 EOS(ethernet over SDH)기능을 수행할 수 있는 차세대 기능들인 GFP(generic framing procedure) [5,9-15]와 가상연접(virtual concatenation)[1] 및 LCAS(link capacity adjustment scheme)[1,6] 기능 등을 제안 권고하고 있으며, 이를 적용한 장치를 NG(next generation)-SDH[9] 시스템이라고 한다.

미국 T1X1.5[16,17]에서 처음으로 제안된 GFP는 이더넷, IP/PPP, FC(fibre channel), FICON(fibre connection)과 ESCON(enterprise systems connection) 등 다양한 클라이언트 신호를 수용할 수 있는 정형화된 형태의 프레임구조를 가지고 있으며, 다양한 비트레이트 전달능력과 연결의 단순성 및 가상연접과 LCAS를 통하여 대역 이용효율을 높이면서 효과적인 전송을 가능케 하는 장점을 가지고 있다. 그리고 NG-SDH는 STM-N과 DS-n 신호 뿐 아니라 이더넷 신호도 종속신호로 적용하고 있어서 향후 본격적인 시장이 형성될 것으로 예상되고 있는 전송시스템이다. 이에 따라 NG-SDH에 대한 설계기술의 확보가 요구되고 있다. NG-SDH에서 중요한 하드웨어 설계기술 중의 하나는 이더넷신호를 종

<sup>†</sup> 정 회 원 : 위덕대학교 정보통신공학부 조교수

<sup>††</sup> 정 회 원 : 한국전자통신연구원 광대역통신방연구단 BcN전달방연구그룹 TDM기술팀

논문접수 : 2004년 2월 23일, 심사완료 : 2004년 10월 19일

속신호로 수용하여 이를 GFP로 맵핑한 다음 SDH 프레임에 정렬시키는 것이다. 즉 수신된 이더넷신호를 GFP-F(Framed GFP)나 GFP-T(Transparent GFP)신호에 실어주면서 데이터 손실을 막기 위하여 신호동기를 시켜 주어야 하고 SDH 프레임으로 정렬해 주어야 하는 기술을 말하며, 이와 같은 설계기술을 확보하지 않는다면 EOS 기능을 실현할 수 없다.

한편 장치에서 지터와 클럭성능은 전송망을 통하여 누적되기 때문에 신호 손실과 망성능 저하를 초래하게 된다. 이에 따라 지금까지 SDH장치에서의 지터와 클럭 특성에 대한 연구[22,24]는 많이 수행되었다. 그러나 아직 NG-SDH에서는 제시된 연구결과가 없어서 이더넷신호를 GFP 신호로 형성되는 과정 혹은 이의 역과정에서 나타나는 신호특성과 지터 및 클럭 특성변화에 대한 연구가 필요하며, 이 결과를 시스템 설계할 때 반영하여야 한다.

지금까지 국외 연구결과[18-20]는 10GbE/SDH 기능과 GbE/GFP/SDH기능을 칩셋으로 개발 완료하였거나 시스템을 개발 중에 있는 것으로 나타나고 있어서 GFP를 통한 신호동기기술 역시 확보하였다고 볼 수 있지만 기술보호를 위해서 아직 공개되지 않고 있다. 국내에서는 SDH 시스템 [25, 26] 경우 지금까지 많이 개발되어 왔으나 GbE(Gigabit Ethernet)와 10GbE등의 클라이언트 신호를 GFP로 통하여 SDH 프레임에 실어주는 NG-SDH과 GFP 신호동기기술은 아직 개발되지 않고 있으며, 현재 ETRI에서 연구 개발이 진행 중에 있다. GFP 신호동기 기술은 주변 다중화 기능과 함께 ASIC화로 추진해야 하기 때문에 자체 기술력을 확보하지 않고 개발된 외국 칩셋을 국내 NG-SDH 시스템에 채용하기도 어려운 점이 많을 것으로 판단되어서 관련기술을 국산화하여 독자적으로 확보해야 한다.

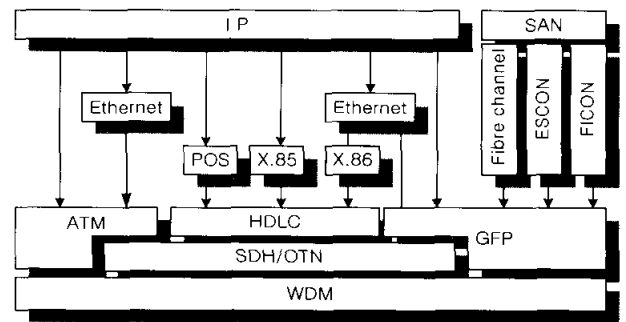
따라서 본 논문에서는 40Gb/s급 ETDM 방식의 NG SDH 시스템에서 종속신호로 사용되고 있는 GbE 신호를 GFP-F나 GFP-T로 형성한 다음 SDH 프레임 내 페이로드에 정렬될 때 필요한 신호동기 방법을 제시하고, 이와 함께 시뮬레이션을 통하여 GFP 신호형성에 따른 신호특성과 지터특성 및 클럭성능을 살펴보기 위한 것이다. 본 논문의 구성은 2장과 3장에서 NG-SDH 시스템과 GFP 프레임을 알아보고, 4장에서 제시된 GFP 신호동기 방법을 살펴본다. 5장에서는 GFP-T로 형성될 때 잡음에 따른 신호특성과 지터 및 클럭성능 시뮬레이션 수행과 그 결과를 기술하고, 6장에서 결론을 맺는다.

## 2. NG-SDH 시스템

SDH는 기본적으로 DS-n 신호인 비동기식 제위 신호를 실어 나르기에 적합한 가상 컨테이너를 사용하기 때문에 고정된 비트레이트를 가진 종속신호의 전송에 적합하다. 그러나 EOS를 위한 이더넷신호와 SAN(storage area network)의 fibre channel 등 다양한 클라이언트 데이터 그램 신호의 직접적인 전송인 DOS(data over SDH)에서는 대역이용 효율이 좋지 않은 문제가 존재하고 있다. 실제적으로 기가비트 이더넷신호는 컨테이너-3을 16개 연결(contiguous concatenation)하면 가능하지만 연결한 전체 페이로드 중 42%밖에 이용하지 못하게 된다[13]. 이에 따라 최근 기존 망을 활용하면서 이용효율을 높일 수 있도록 GFP와 가상 연결 및 LCAS 등의 기능을 포함하고 있는 SDH시스템이 NG-SDH 시스템이다. GFP는 다양한 타입의 데이터를 고정된 레이트를 가진 채널 페이로드에 맵핑하기 위한 새로운 메커니즘이다. 가상연접은 SDH경로나 OTN 상에서 고정되지 않고 융통성 있게 대역을 설정할 수 있도록 가상적으로 여러 개의 페이로드를 동시에 연결해주는 기능을 말하고, LCAS는 가상연접 된 페이로드 수를 효과적이고 융통성 있게 조절해주는 링크용량 조정기법을 말한다. 여기서 가상연접과 LCAS는 본 논문과 직접적인 관계가 없기 때문에 논하지 않는다.

## 3. GFP

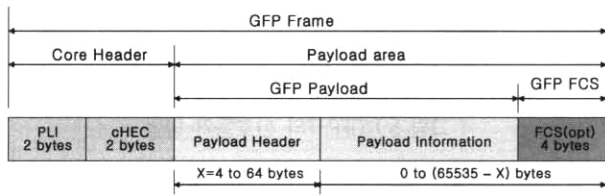
GFP는 물리적 링크 계층 클라이언트나 논리적 데이터 링크 클라이언트 등 다양한 형태의 클라이언트 신호를 비트 동기 혹은 바이트동기 전송채널에 적용시킬 수 있는 포괄적 개념이기 때문에 고속데이터 환경에서의 ATM, PPP/HDLC; POS, X.85[7]/X.86[8] 등과 같은 솔루션의 대안으로 매력적인 것으로 평가되고 있다. 다양한 데이터 전달을 위한 프로토콜 스택은 (그림 1)에 나타나 있다. (그림 1)에서 볼 때 GFP는 IP와 이더넷 접속을 단순화할 수 있고, 또한 SAN의 다양한 데이터 트래픽도 수용할 수 있으며, 또한 맵핑된 GFP는 SDH와 OTN/WDM으로 형성될 수 있다.



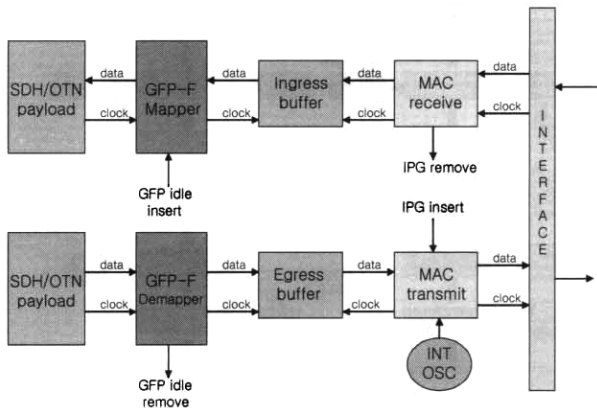
(그림 1) 다양한 데이터 전달을 위한 프로토콜 스택

GFP 클라이언트 프레임의 기본적인 구조[5]는 (그림 2)에 나타나 있다. GFP 프레임은 크게 4바이트의 코어 헤더(Core header)와 최대 65535바이트의 페이로드 영역(Payload area)으로 나누어진다. 여기서 GFP 페이로드는 4에서 64바이트(X)의 페이로드 헤더(payload header)와 페이로드 정보(payload information)로 분리되고, 페이로드 정보와 GFP FCS는 0에서 (65535 X) 바이트의 크기를 갖는다. 이와 같은 GFP는 크게 frame mapped GFP(GFP F)와 transparent mapped GFP(GFP-T)로 나뉘어 진다[5]. GFP -F는 클라이언트신호

를 프레임 대 프레임으로 맵핑하는 GFP 모드이고, 이더넷 MAC[21]을 사용할 경우 프레임 중 DA(destination address)부터 FCS까지만 페이로드 정보영역에 실리게 되며, 최대 1518 바이트의 길이를 가질 수 있다. 그리고 GFP-T는 클라이언트신호를 캐릭터 단위로 맵핑하는 모드이고, 기본적으로 클라이언트신호가 8B/10B 부호화 되어 있어서 8B/10B 복호화, 64B/65B 부호화, GFP 프레임으로 형성된다. GFP-T의 세부적인 프레임 구조는 페이로드 정보영역에서 8개의 65비트와 에러 체크용 16비트로 구성된 67바이트 슈퍼 블록(super block) N개로 구성되어 캐릭터 단위로 맵핑된다[5].



(그림 2) GFP의 기본적인 프레임 포맷



(그림 3) GFP-F의 신호동기 방법

#### 4. NG-SDH 시스템에서의 GFP 신호 동기

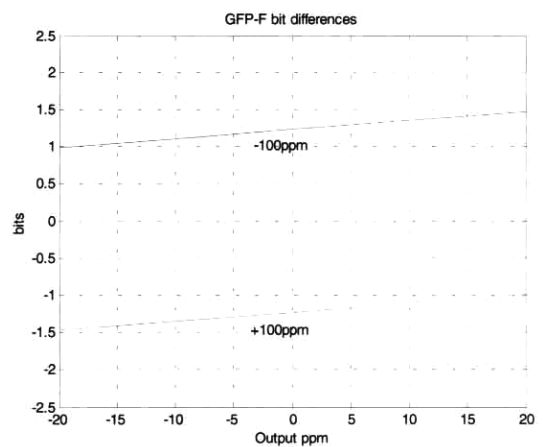
##### 4.1 GFP-F를 통한 GbE MAC의 신호 동기 방법

GFP-F 신호는 하나의 전체 클라이언트 프레임을 하나의 GFP-F 프레임에 맵핑되고, 이더넷 신호가 GFP 페이로드에 들어가는 프레임의 길이는 최소 64에서 최대 1518바이트까지 맵핑된다. 여기서 신호 동기화 방법을 살펴보기 위해서는 GbE MAC신호의 접속 레이트 적용(rate adaptation)부분과 GFP신호를 SDH/OTN 페이로드로의 맵핑 레이트 적용부분 등을 고려해야한다. 상기 부분들을 포함하여 GbE MAC의 신호동기를 얻기 위한 블록구성(그림 3)에 나타나 있다. (그림 3)에서 Ingress 방향을 살펴보면 인터페이스를 통해 수신된 GbE MAC은 우선 IPG를 제거한 후 순수 프레임단위 데이터만을 수신데이터에서 추출된 클럭으로 Ingress 버퍼에 쓴 다음 시스템 클럭에서 파생되어 내려온 GFP-F Mapper 클럭에 의해서 프레임단위로 데이터를 읽으면 된다.

즉 프레임 단위 데이터가 연속적으로 들어오지 않기 때문에 쓰기클럭과 읽기클럭과의 차이는 다음 프레임 데이터가 들어 오기 전에 start와 end address를 초기화하면 버퍼에서 충분히 흡수될 수 있어서 접속레이트 적용은 버퍼에서 처리 가능하다. 여기서 GFP-F 신호형성 Mapper가 읽은 데이터는 SDH C-n[1] 혹은 OTN OPUk[2]의 페이로드 용량과의 차이가 발생할 수 있다. 그러나 페이로드 용량을 Mapper에서 읽은 데이터 용량보다 항상 크게 되도록 설정하고 부족한 GFP 신호 용량 부분을 4바이트 구조의 GFP Idle 프레임[5]으로 채워나간다면 용량차이는 해결된다. 이와 같이 동작으로 (그림 3)의 Ingress 방향 레이트 적용이 완성된다.

Egress 방향의 동작을 살펴보면 SDH/OTN 페이로드에 정렬되어 있는 GFP-F 프레임은 GFP-F demapper에서 추출하여 송신버퍼에 쓴 후 MAC 송신부에서 이를 내부클럭으로 읽은 후 송신한다. 여기서 demapper에서는 GFP Idle 프레임을 제거하고, Egress 버퍼에서는 SDH/OTN 파생클럭과 MAC 송신부의 내부 오실레이터와의 차이를 흡수한다. MAC 송신부는 Egress 방향의 클럭차이를 프레임 단위로 저장하는 버퍼에서 흡수할 수 있지만 IPG를 삽입되어야 하기 때문에 이를 통해서도 차이를 흡수할 수 있다. 여기서 Egress 송신용 클럭 오실레이터는 ±100PPM 클럭 정확도를 가진다.

클럭 정확도를 사용하여 Ingress 방향에서 수신되는 GbE MAC(±100ppm)과 GFP-F(±20ppm)를 형성하는 클럭간의 차이는 기본적으로 버퍼에서 흡수되어 이들 간의 차이는 나타나지 않는다. 다만 클럭 정확도에 따른 변동성분이 존재할 수 있다. 이와 같은 변동성분을 데이터 비트 값으로 환산하여 최대 비트 차이를 구해보면 (그림 4)에 나타나 있다. 여기서 x축은 GFP-F의 클럭 정확도이고, y축은 차이비트 값이다. 결과를 살펴보면 -100ppm을 사용할 경우 차이비트 값은 0.983에서 1.474이며, +100ppm을 사용할 경우는 -1.474에서 -0.983이다. 따라서 정확도의 차이에 따라 1.47비트가 앞서거나 뒤질 수 있어서 최소 ±2비트 이상, 즉 총 4비트를 Ingress 혹은 Egress 버퍼를 설계하거나 혹은 IPG를 삽입할 때 이를 반드시 반영하여야 한다.



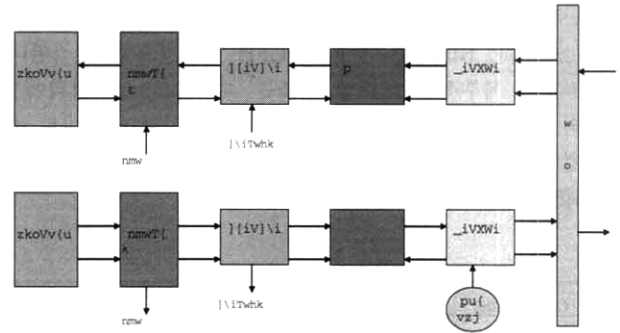
(그림 4) GFP-F의 신호동기를 위한 비트 차이

4.2 GFP-T를 통한 GbE PHY의 신호 동기 방법

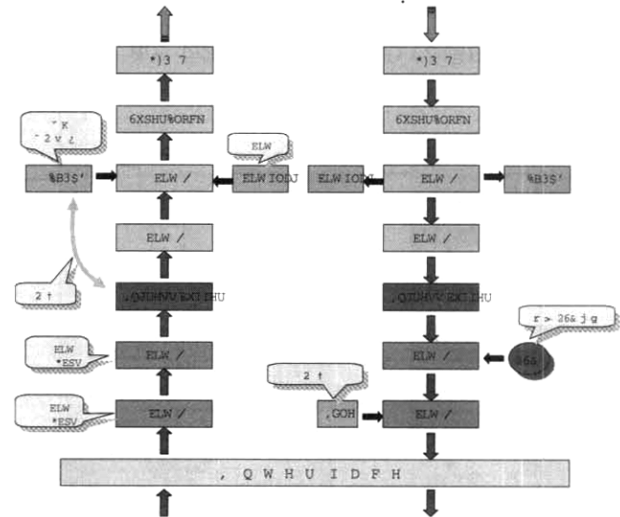
GFP-T는 고정된 프레임 크기를 가지고 있어서 GFP-F의 프레임 단위가 아니라 캐릭터단위로 연속적으로 맵핑되기 때문에 추가적인 신호 동기화가 요구된다. 즉 버퍼에 쓰인 데이터는 하나의 프레임 전체가 아니라 8비트 단위의 클라이언트 data 혹은 control 캐릭터 단위가기 때문에 버퍼의 쓰기클럭과 읽기클럭 사이에는 항상 비동기 상태로 인한 지속적인 클럭차이가 발생하게 되어 이를 보상할 수 있는 추가적인 방법이 필요하게 된다. GFP-T를 통한 GbE PHY의 신호 동기방법은 (그림 5)에 세부적으로 나타나 있다. Ingress 접속 레이어적용 부분을 살펴보면 PHY 접속을 통하여 얻어진 수신데이터는 수신 복원클럭을 이용하여 8B/10B 복호화되고, 복호화된 8비트 캐릭터 데이터는 수신 복원클럭인 쓰기클럭에 의해서 버퍼에 저장된다. 여기서 수신되는 GbE 신호는 GFP-T로 형성될 때 프레임 전체가 아니라 캐릭터 단위로 맵핑되기 때문에 Ingress 버퍼에서 프레임 전체를 저장하지 않음에 따라 수신 GbE신호와 GFP-T 신호간의 레이트 차이가 버퍼에서 흡수되지 않는다. 따라서 SDH/OTN에서 파생된 64B/65B 부호화기의 읽기클럭을 쓰기클럭보다 신호용량 차이를 통해 빠른 클럭으로 설정하면 버퍼에서는 항상 언더플로어가 발생하게 되고, 이들 간의 차이는 GFP-T 신호 형성을 위한 64B/65B 부호화할 때 적용할 수 있는 control 캐릭터용 4비트 65B\_PAD[5]를 positive stuffing[1]의 용도로 삽입한다면 레이트 차이를 흡수할 수 있어서 레이트적용을 완성할 수 있다. Ingress 맵핑 레이어적용 부분을 살펴보면 GFP-T로 형성된 신호는 GFP-F경우와 동일하게 SDH/OTN 페이로드로의 맵핑 등 이후의 모든 단계에서 동기된 시스템 클럭을 사용하여 처리하기 때문에 SDH/OTN 페이로드와 GFP-T와의 단순한 신호 용량에 따른 차이만 존재한다. 따라서 이는 GFP-F에서 사용한 GFP Idle 프레임을 그대로 활용하면 레이트를 맞출 수 있다. Egress 방향을 살펴보면 SDH/OTN 페이로드에 정렬되어 있는 GFP-T 프레임은 GFP-T demapper에 의해서 추출되고, 이 때 맵핑 레이트 적용을 위해 삽입되어진 GFP Idle는 제거된다. 64B/65B 부호화기에서는 GFP-T 프레임에 들어 있는 슈퍼블록을 해석하여 65B\_PAD를 제거하고, 64B 데이터를 얻은 후 버퍼에 쓰게 된다. 버퍼의 읽기클럭은 내부 오실레이터 클럭으로 사용하는데, 이럴 경우 상대국 Ingress 버퍼의 쓰기클럭과 자국 Egress 버퍼의 읽기클럭의 레이트 차이가 또다시 발생하게 된다. 이를 해결하기 위해서는 8B/10B 부호화기에서 GbE PHY Idle의 일부 비트를 제거하거나 혹은 추가하면 차이성분을 흡수할 수 있다.

(그림 5)에서 살펴본 GFP-T 신호 동기방법을 좀 더 세부적인 기능블록으로 표현하면 (그림 6)과 같이 나타낼 수 있다. (그림 6)의 Ingress 방향에서 GbE PHY의 입력신호는 부호화되어 있는 10비트 구조의 신호를 8비트 구조의 신호로 복호화한 다음 Ingress buffer에 저장된다. SDH/OTN 페이로드 클럭에서 파생된 클럭으로 저장된 데이터를 읽고 이를 다시 64비트 구조로 바꾼 후 1비트 플래그[5]를 추가하면

슈퍼블록으로 형성된다. 슈퍼블록으로 형성되면 GFP-T에 실은 후 SDH/OTN 페이로드로 정렬시킨다. 여기서 슈퍼블록으로 형성할 때 Ingress buffer에서 생기게 되는 비동기상태에 따른 클럭 차이는 65B\_PAD의 삽입으로 보상된다.



(그림 5) GFP-T의 신호동기 방법

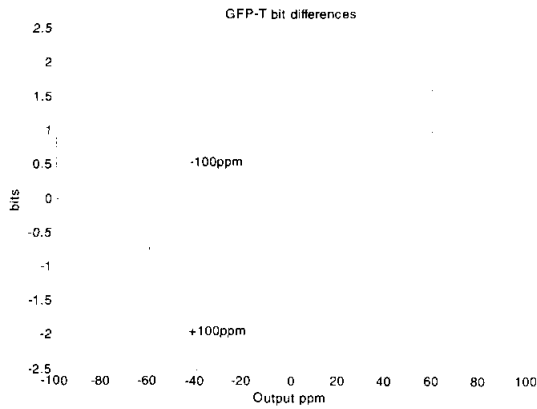


(그림 6) GFP-T 세부블록

Egress 방향에서는 GFP-T에 실려 있는 슈퍼블록을 뽑아낸 다음 1비트의 플래그와 65B\_PAD를 제거하여 64비트로 복호화한다. 이를 다시 8비트 구조로 변경하여 Egress 버퍼에 쓰면 내부 오실레이터를 이용하여 데이터를 읽는다. 읽은 데이터는 10비트 구조로 변경한 후 출력시키게 된다. 여기서 버퍼에 쓰인 데이터는 상대국에서 전송되어진 비트율을 가진 데이터이며, 내부 오실레이터와의 클럭 차이가 발생되지만 Idle의 삽입 및 제거하면 충분히 보상된다.

GFP-T에서 클럭 정확도에 따른 최대 비트 차이를 구해본 결과는 (그림 7)에 나타나 있다. (그림 7)은 Ingress와 Egress의 GbE PHY 클럭 정확도가 ±100ppm 이내이기 때문에 Ingress 최소과수로 나타나는 -100ppm일 때와 최대과수로 나타나는 +100ppm을 사용하여 프레임 당 Egress 클럭과의 차이 비트를 구한 결과이다. 그림 결과를 살펴보면 -100ppm을 사용할 경우 차이비트 값은 0.0에서 2.457이며, +100ppm을 사용할 경우는 -2.457에서 0.0이다. 따라서 정확

도의 차이에 따라 프레임 단위로 2.457비트가 앞서거나 뒤질 수 있다. 따라서 최대 ±3 이상의 차이를 고려한다면 Egress GbE에서 최대 3비트까지 Idle을 제거하거나 삽입해야 함을 알 수 있고, 이를 설계에 반영하여야 한다.



(그림 7) GFP-T의 신호동기를 위한 비트 차이

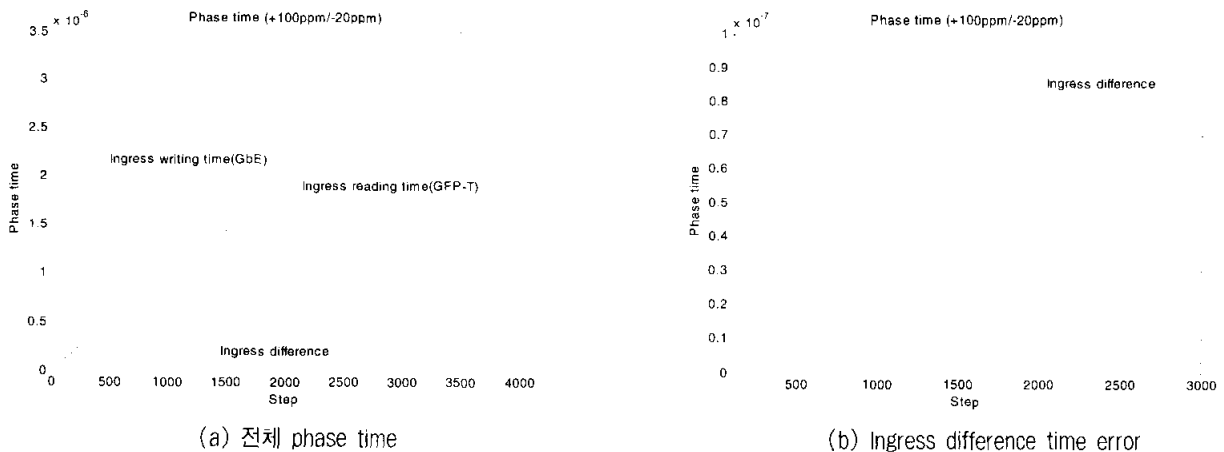
5. 신호동기 방안에 따른 신호특성

5.1 무잡음에서의 신호특성

GbE PHY 신호는 7개의 C-4(149.760Mb/s)를 가상 연결한 페이로드에 실을 수 있고, 이의 비트율은 GFP-T 신호를 형성할 때 그대로 사용할 수 있다. 이와 같은 빠른 비트율을 사용하면 65B\_PAD가 positive stuffing 처리할 수 있게 되어서 순수한 비동기 상태에 따른 차이뿐 아니라 빠른 비트율을 적용하면서 나타나는 차이도 함께 보상이 될 수 있다. 또한 GbE 신호가 없을 경우는 GFP Idle 신호로 채워진다. 따라서 4.2절의 방법을 사용하여 1.04832Gb/s의 GFP-T 비트율과 1Gb/s의 GbE 비트율을 적용하고, GFP T Ingress와 Egress 방향에 따라 잡음이 없거나 있을 경우의 신호특성과 MTIE (maximum time interval error)/TDEV(time deviation)[3,4], 그리고 지터 특성을 컴퓨터 시뮬레이션으로

수행 분석한다. 여기서 GFP-F는 버퍼에서 신호동기를 얻을 수 있고, 단순 정확도차이에 의한 4.1절의 결과만 나타나며, 스텝핑 기능이 처리되지 않기 때문에 신호특성 분석을 제외하였다.

잡음이 없는 경우 Ingress방향에서의 GFP-T 위상시간 시뮬레이션 결과는 (그림 8)에 나타나 있다. 여기서 GFP-T 비트율을 1.04832Gb/s-20ppm, GbE 비트율을 1Gb/s+100ppm으로 각각 적용하였으며, 결과그림의 x축은 비트동작이 일어나는 스텝을 나타내고, y축은 각 스텝에 따라 나타나는 누적위상시간 혹은 위상시간차를 말한다. (그림 8)의 (a)는 Ingress 방향에서 버퍼에 데이터를 쓰기 위한 GbE 쓰기 위상시간과 데이터를 읽기 위한 GFP-T 읽기 위상시간, 그리고 이들 시간간의 차이를 모두 나타낸 것이다. 여기서 GbE 쓰기 위상시간과 GFP T 읽기 위상시간은 스텝의 증가에 따라 계속 누적됨에 따라 증가함수로 나타나고 있고, 쓰기 시간에 비해서 읽기시간의 값이 빠른 것은 GFP-T 비트율이 GbE 비트율보다 빠르기 때문에 비트주기가 짧아 누적되는 시간이 빠르게 나타난 것이다. 쓰기시간과 읽기시간과의 차이가 스텝이 증가함에 따라 차이폭도 계속 증가해야 하지만 증가하지 않고, 일정하게 유지되고 있는 것은 4비트의 65B\_PAD 삽입으로 비트율의 차이를 보상되어 신호동기가 되고 있기 때문이다. 이와 같은 현상은 'Ingress difference'로 표시된 GbE 쓰기 위상시간과 GFP T 읽기 위상시간간의 차이 위상시간에서도 일정하게 유지되고 있음을 볼 수 있다. (그림 8) (b)는 (그림 8) (a)의 GbE 쓰기 위상시간과 GFP-T 읽기 위상시간사이의 차이시간만을 확대하여 나타낸 것이다. 차이시간 값은 임계치로 설정된 GFP-T의 99개 비트까지 지속적으로 증가하다가 이 값을 넘어서면 65B\_PAD가 삽입됨에 따라 차이시간 값이 감소된다. 또 이들 간의 차이시간 값이 반복적으로 보상되어서 차이시간의 파형이 톱니파 형태로 나타남을 볼 수 있다. 여기서 임계치는 GFP-T의 PLI, cHEC, PH와 FCS 총12바이트의 연속적인 오버헤드와 4비트차이가 나타나기 전 값인 3비트를 합한 99비트로 설정하였다.



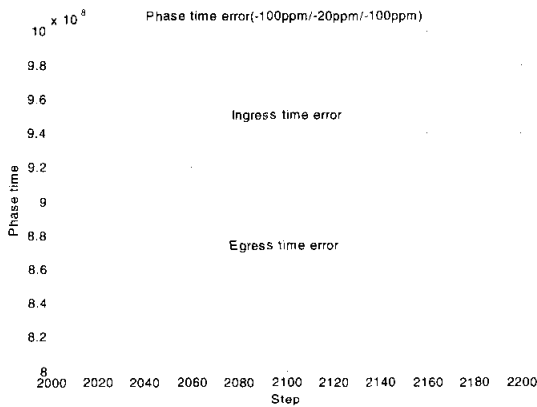
(그림 8) GFP-T Ingress Phase time

Egress를 고려한다면 Ingress에서 사용한 수신 GbE 및 Ingress GFP-T 클럭과 Egress GFP-T 및 송신 GbE 클럭이 적용된다. 여기서 Egress GFP-T 클럭은 동기식 전송망 클럭이 동기 되어 있기 때문 Ingress GFP-T와 동일하다. 따라서 Ingress GbE 클럭, GFP-T 클럭과 Egress GbE 클럭인 3가지 클럭에 대하여 정확도에 따른 위상시간 차의 시뮬레이션 결과는 (그림 9)에 나타나 있다. (그림 9) (a)는 Ingress GbE 클럭, GFP-T 클럭과 Egress GbE 클럭의 정확도가 각각  $-100\text{ppm}$ ,  $-20\text{ppm}$ ,  $-100\text{ppm}$  일 때의 Ingress 위상시간 차이와 Egress 위상시간 차이이며, Ingress와 Egress 사이는 시스템 데이터 지연으로 설정한 4비트 값인 약  $4 \times 10^{-9}$ 의 차이를 가지면서 일정(통니과형 유지)하게 신호동기가 됨을 볼 수 있다. (그림 9) (b)는 (그림 9) (a)와 비교할 경우 정확도의 차이가 증가함에 따라 비트 주기가 짧아져서 (그림 9) (b)의 경우가 조금 앞서서 나타나고 있다. (그림 9) (c)와 (그림 9) (d)의 경우는 Ingress GbE 클럭을  $+100\text{ppm}$ 으로 사용할 때의 결과이다. 여기서 (그림 9) (a)와 (그림 9) (c)를 비교해 보면 정확도의 부호가 바뀔에 따라 65B\_PAD의 발생 위치가 달라지고 있는 것을 볼 수 있고, (그림 9) (c)와

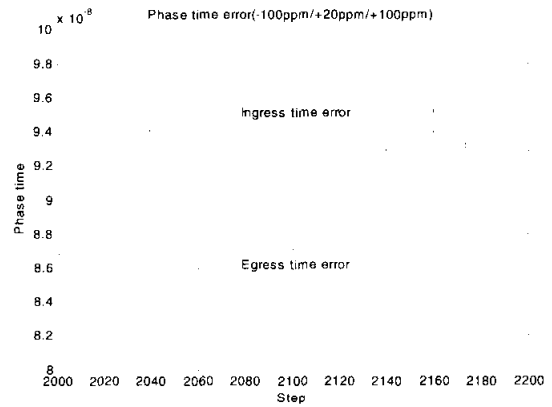
(그림 9) (d)의 경우도 앞에서 언급한 현상이 동일하게 나타나는 것을 볼 수 있다.

5.2 잡음환경에서의 신호특성

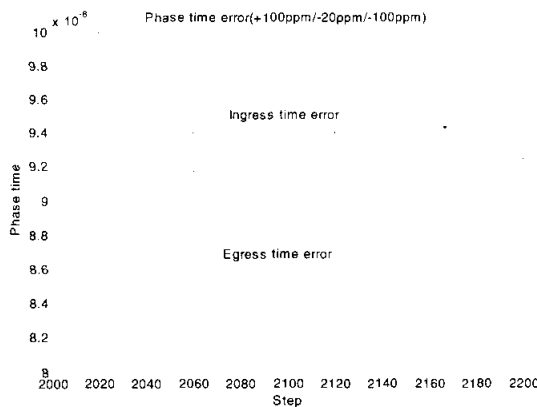
지금까지 시뮬레이션 결과는 잡음을 삽입하지 않을 경우를 살펴보았다. 그러나 신호 특성에 영향을 줄 수 있는 클럭잡음은 통신망에서 항상 존재하고 있기 때문에 잡음이 첨가된 상태에서의 GFP-T 신호특성 분석이 필요하다. 따라서 동기식 전송망에 적용되고 있는 클럭잡음을 첨가하여 신호특성 시뮬레이션을 수행하였다. 동기식 전송망을 포함한 통신망의 클럭잡음[3, 4, 22]은 WPM(white phase modulation), WFM(white frequency modulation)과 FPM(flicker phase modulation) 성분이 섞여 나타나고 있다. 이들의 클럭잡음은 MTIE와 TDEV로 이를 제한하고 있다. 여기서 MTIE는 클럭의 시간편차를 이용하여 임의의 관측시간에서 가장 큰 시간편차와 가장 작은 시간편차 간의 차이인 최대 시간간격 편차를 말하고, TDEV는 클럭의 안정도 추정을 위한 것이며, 지정된 횟수로 여러 번 측정된 분산을 평균하여 얻은 값을 말한다. MTIE와 TDEV의 정의식[3]은 아래 수식과 같다.



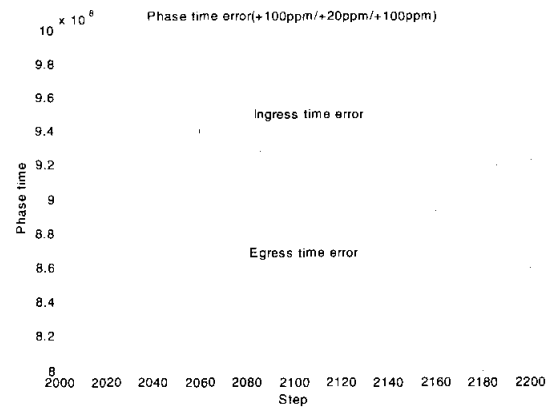
(a)  $-100\text{ppm}/-20\text{ppm}/-100\text{ppm}$



(b)  $-100\text{ppm}/+20\text{ppm}/+100\text{ppm}$



(c)  $+100\text{ppm}/-20\text{ppm}/-100\text{ppm}$



(d)  $+100\text{ppm}/+20\text{ppm}/+100\text{ppm}$

(그림 9) 정확도에 따른 Ingress와 Egress의 phase time error

$$MTIE(n\tau_0) = \max_{k=1}^{N-n} \left[ \max_{i=k}^{k+n} x_i - \min_{i=k}^{k+n} x_i \right] \tag{1}$$

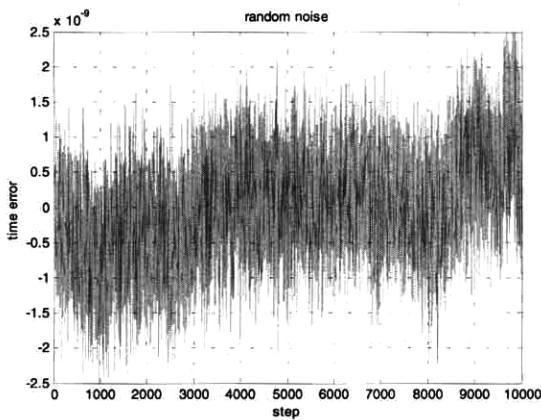
$$TDEV(n\tau_0) = \sqrt{\frac{1}{6n^2(N-3n+1)} \sum_{i=1}^{N-3n+1} \left[ \sum_{j=i}^{n+j-1} (x_{i+n} - 2x_{i+n} + x_i) \right]^2} \tag{2}$$

본 논문에서는 GFP-T 신호가 SDH 페이로드에 맵핑되기 때문에 ITU-T에서 권고하고 있는 SDH NE(network element)의 자체 잡음생성 성분이 되는 원더생성(wander generation)[4]을 Ingress GbE 클럭, GFP-T 클럭과 Egress GbE 클럭에 모두 적용시켜 잡음이 첨가된 상태에서 신호특성을 분석한다. ITU-T에서 권고하고 있는 SDH NE의 원더생성에 맞는 클럭잡음은 (그림 10)에 나타나 있다. (그림 10) (a)는 생성된 잡음의 시간오차이고, (그림 10) (b)는 잡음의 MTIE와 TDEV특성이며, (그림 10) (b)의 실선은 ITU-T의 SDH NE 규격[4]을 나타낸 것이다. 이와 같은 잡음을 Ingress와 Egress에 적용하였을 때 차이 위상시간을 시물레이션으로 구한 결과는 (그림 11)에 나타내었다. (그림 11) (a)를 (그림 8)과 비교해 보면 차이 위상시간에 잡음이 섞여 있음을 알 수 있고, 첨가된 잡음도 나타나 있다. (그림 11) (b) (그림 11) (c)는 Ingress GbE 클럭, GFP-T 클럭과 Egress GbE 클럭이 각각 +100ppm/+20ppm/+100ppm과 -100ppm/-20ppm/100ppm일 때 차이 위상시간을 비교해본 것이다. 결과를 살펴보면 잡음이 섞여 있는 상태에서 65B\_PAD의 삽입에 따라 나타나는 톱니파의 형태가 유지되고 있으며, 다만 잡음의 영향에 따라 65B\_PAD의 삽입 주기가 일정하지 않음을 볼 수 있다.

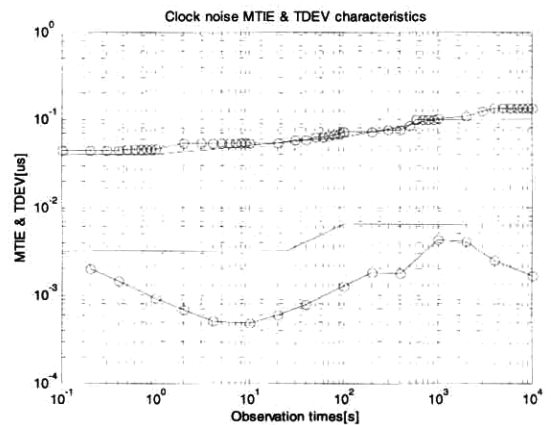
지금까지 Ingress와 Egress에서의 위상시간 차이에 대한 사항을 살펴보았지만 GFP-T에서는 Ingress의 영향이 Egress에 모두 나타난다. 따라서 잡음이 첨가된 신호상태에서 Egress 출력의 MTIE와 TDEV 특성을 구해보면 (그림 12)와 같이 나타났다. 여기서 측정된 MTIE와 TDEV는 첨가

된 잡음이 랜덤 데이터를 활용하기 때문에 10회 측정 후 이를 평균한 결과이다. (그림 12) (a)는 -100ppm/-20ppm/-100ppm일 때이고, (그림 12) (b)는 +100ppm/+20ppm/+100ppm이며, MTIE와 TDEV특성 차이는 크지 않음을 볼 수 있다. 또한 GbE에 대한 MTIE와 TDEV특성은 현재 권고하지 않지만 이것이 SDH NE로 작용할 수 있기 때문에 SDH NE의 출력 MTIE와 TDEV 규격과 비교해 본다면 실선으로 표시된 규격치보다 측정값이 상당히 작다는 것을 알 수 있고 규격치를 만족함을 볼 수 있다. Egress 출력신호에 대한 침두치 지터 특성은 (그림 13)에 나타나 있다. 여기서 침두치 지터는 10회 반복하여 얻어진 출력신호데이터를 400Hz부터 800MHz까지 1차 HPF와 LPF를 차례로 통과시킨 후 측정된 평균값이다. (그림 13) (a)는 -100ppm/-20ppm/-100ppm인 경우이며, 침두치 지터가 최대 2.57UI로 나타나고 있고, +100ppm/+20ppm/+100ppm 경우인 (그림 13) (b)에서 침두치 지터가 최대 2.56UI로 나타나고 있다. (그림 13) (a)와 (그림 13) (b)의 차이는 거의 없는 것으로 나타나고 있다.

지금까지 신호특성 시물레이션을 잡음이 없는 경우와 잡음이 있는 경우로 나누어서 시물레이션 결과를 얻었다. 잡음이 없는 경우는 다양한 위상시간 시물레이션 결과를 통해 신호동기가 됨을 보았고, 또한 65B\_PAD의 발생을 명확히 볼 수 있었다. 그리고 Ingress 클럭 차이의 영향이 Egress에 그대로 나타나는 것을 볼 수 있었으며, 클럭 정확도에 따라 65B\_PAD 발생위치가 달라지는 것을 살펴볼 수 있었다.

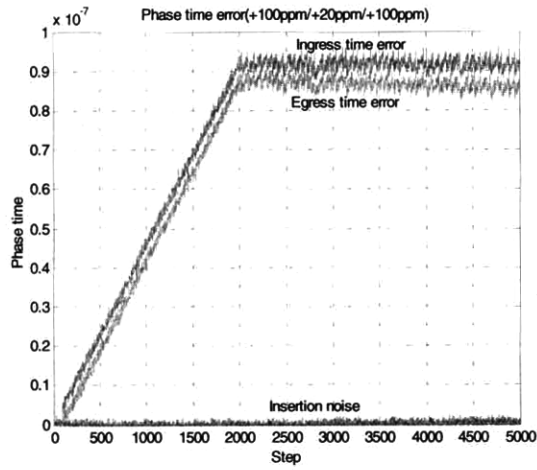


(a) 클럭잡음의 시간오차

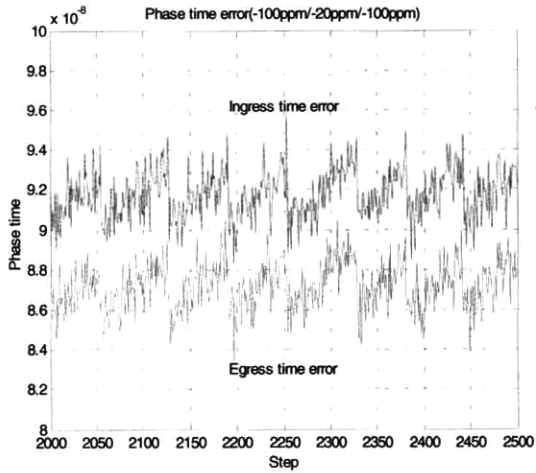


(b) 클럭잡음의 MTIE와 TEDV 특성

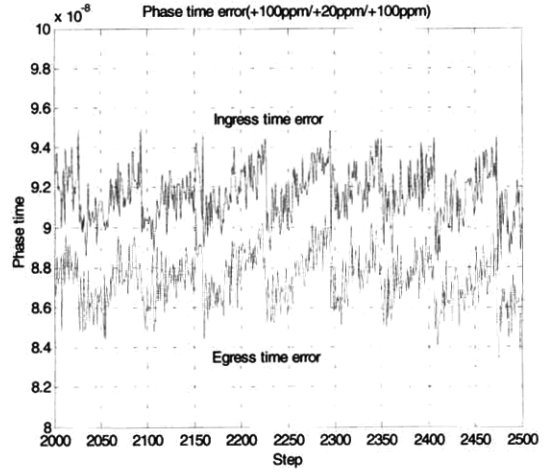
(그림 10) 클럭잡음의 시간오차와 MTIE/TEDV 특성



(a)

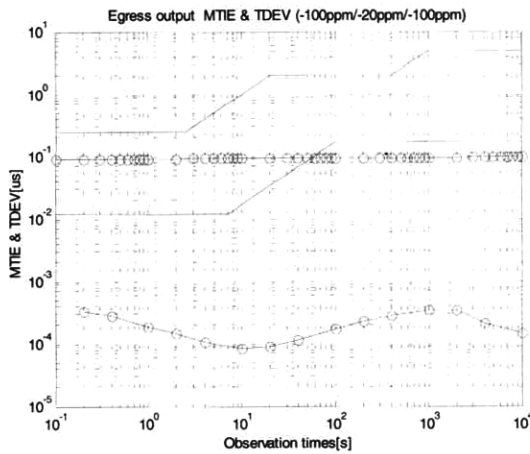


(b) -100ppm/-20ppm/-100ppm

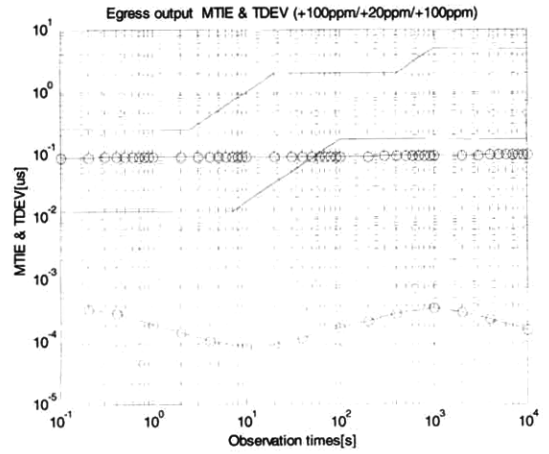


(c) +100ppm/+20ppm/+100ppm

(그림 11) 클럭잡음이 첨가된 상태에서의 Ingress와 Egress의 phase time



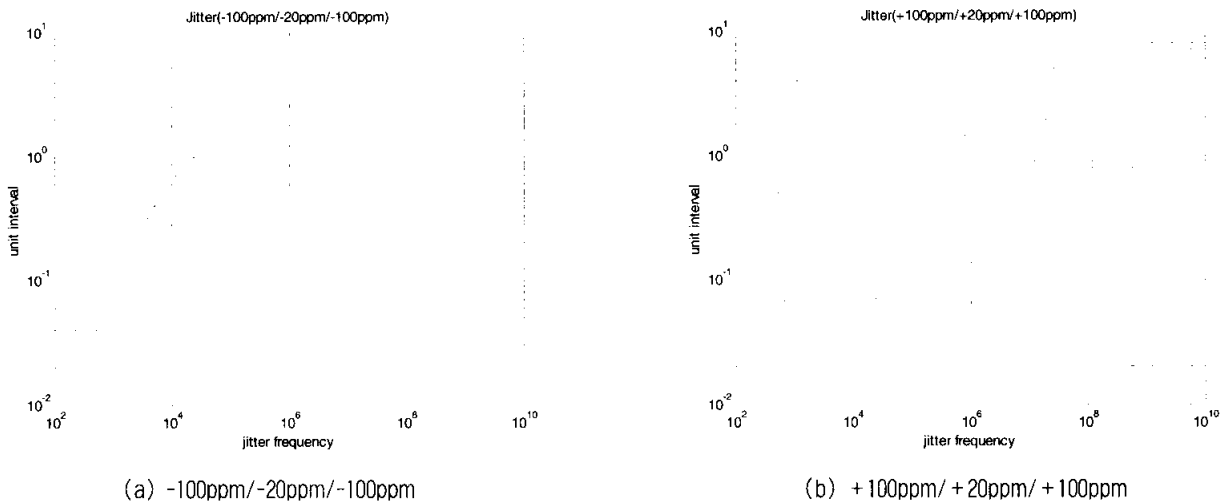
(a) -100ppm/-20ppm/-100ppm



(b) +100ppm/+20ppm/+100ppm

(그림 12) Clock noise가 첨가된 상태에서의 Egress 출력 MTIE 및 TDEV 특성





(그림 13) 클럭잡음이 첨가된 상태에서의 Egress 출력 침두치 지터 특성

SDH NE의 원더생성을 만족하는 잡음을 인가할 경우에 대해서 다양한 위상시간 시뮬레이션 결과와 함께 Egress 출력에서의 MTIE와 TDEV 특성, 그리고 침두치 지터특성을 얻었다. MTIE와 TDEV 특성은 SDH NE의 출력 규격치를 만족하고 있음을 볼 수 있었다. 여기서 얻어진 MTIE와 TDEV 데이터는 현재 ITU-T에서 권고되고 있지 않지만 향후 NG-SDH 시스템 단기안정 성능분석에 활용할 수 있을 것이다. 그러나 침두치 지터 특성은 약 2.57UI가 나옴에 따라 GbE 출력지터[23]가 0.749UI로 나타나고 있어서 이를 줄여주는 방안을 연구하여야 한다. 해결 가능성이 높은 방법 중 하나는 SDH 신호동기에서 사용되고 있는 비트리킹 방법[24] 등이 있으며, 이에 대한 연구가 계속되어야 할 것이다.

## 6. 결 론

NG-SDH 시스템에서는 시스템으로 들어오는 종속신호를 시스템 클럭에 동기시키는 신호동기 기술이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 GFP를 통한 이더넷 신호의 동기화 방법을 제시하였다. GFP-F를 통한 이더넷 신호의 동기화 방법은 Ingress 및 Egress 버퍼와 GFP idle를 통해서 신호동기를 얻을 수 있음을 알았고, 정확도 차이를 흡수하기 위하여 총 4비트를 Ingress 혹은 Egress 버퍼를 설계하거나 혹은 IPG를 삽입할 때 이를 반영해야 함을 알았다. 또한 GFP-T를 통한 이더넷 신호의 동기화 방법은 Ingress 및 Egress 버퍼에서 흡수되지 않으며, 신호동기를 위하여 GFP Idle과 65B\_PAD를 적용해야 하고, 또한 Egress의 내부 오실레이터를 사용하면서 최대 3비트까지 이더넷 Idle의 추가 및 삭제될 수 있음을 알 수 있었다 그리고 GFP 신호 동기방안에 따르는 신호특성을 분석하기 위하여 클럭잡음을 첨가한 시뮬레이션을 수행하여서 65B\_PAD의 발생과 Ingress 클럭차이의 영향이 Egress에 그대로 나타나는 것

을 볼 수 있었다. 또한 Egress 출력에서의 MTIE와 TDEV 특성은 SDH NE의 출력 규격치 내에 존재함을 알았고, 침두치 지터 특성은 약 2.57UI가 나타남을 알았다. 본 연구 결과는 향후의 40Gb/s급 NG-SDH 시스템에서의 종속신호 접속을 위한 회로설계 자료로 활용할 수 있을 것으로 판단되고, GbE와 10GbE 접속위한 EOS 기술이 필요한 전송시스템에 적용 가능할 것이다. 그리고 GFP-F 기능과 다소 복잡할 것으로 예측되는 GFP-T 기능에 대한 국내 칩셋 개발 연구와 지터특성 개선을 위한 연구가 계속해서 이어져야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] ITU-T G.707/Y.1322, "Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH)," August, 2002.
- [2] ITU-T G.709/Y.1331, "Interfaces for the optical transport network (OTN)," January, 2003.
- [3] ITU-T Recommendation G.811, "Timing characteristics of primary reference clock," Sept., 1997.
- [4] ITU-T Recommendation G.813, "Timing characteristics of SDH equipment slave clocks(SEC)," August, 1996.
- [5] ITU-T Draft Recommendation G.7041, "Generic framing procedure(GFP)," December, 2001.
- [6] ITU-T Draft Recommendation G.7042, "Link capacity adjustment scheme(LCAS) for virtual concatenated signals," August, 2002.
- [7] ITU-T Draft Recommendation X.85/Y.1321, "IP over SDH using LAPS," Feb., 2001.
- [8] ITU-T Draft Recommendation X.86/Y.1323, "Ethernet over LAPS," Feb., 2001.
- [9] Dirceu Cavendish *et al.*, "Next Transport Services for

Next Generation SONET/SDH Systems," *IEEE Communications Magazine*, pp.80-87, May, 2002.

[10] Michael Scholten *et al.*, "Generic Framing Procedure (GFP) : An Overview," *IEEE Communications Magazine*, pp.63~71, May, 2002.

[11] Tim Armstrong *et al.*, "Generic Framing Procedure (GFP) and Data over SONET/SDH and OTN," *IEEE Communications Magazine*, pp.60-61, May, 2002.

[12] Steven s. Gorshe *et al.*, "Generic Framing Procedure (GFP) : A Protocol for Efficient Transport of Block-coded Data through SONET/SDH Networks," *IEEE Communications Magazine*, pp.88-95, May, 2002.

[13] Huub van Helvoort, Trevor Wilson, "Standards bring more flexibility to optical transport," *Optical Networks Magazine*, pp.53-58, Jan./Feb., 2003.

[14] Enrique Hernandez-Valencia, "Generic Framing Procedure (GFP) : a Next Generation Transport Protocol for High-speed Data Networks," *Optical Networks Magazine*, pp.59-69, Jan./Feb., 2003.

[15] Steven s. Gorshe, "Master Transparent-mode GFP : Part1," *Communication System Design*, Sept., 2002.

[16] T1X1.5, "Draft ANSI T1.xxx.yy-200x : Generic Framing Procedure(GFP)," T1X1.5/2001-024R5, 2001.

[17] Mike Scholte, Trevor Wilso "Rate Adaptation in Transparent GFP Mapping," T1X1.5/2001-050R2, 2001.

[18] Hussian Qureshi *et al.*, "Generic Framing Procedure : ITU-T G.7041," *Agilent Technologies white paper*, 2002.

[19] Mimi Dannhardt *et al.*, "Ethernet over SONET," *PMC-Sierra white paper*, Feb., 2002.

[20] Steven s. Gorshe *et al.*, "Transparent Generic Framing Procedure," *PMC-Sierra white paper*, May., 2002.

[21] 윤종호, 이형호, 강성수, 정해원, 강태규, 한국이더넷포럼, *네트워크 엔지니어를 위한 최신 이더넷 교과서*, 2002.

[22] 이창기, "동기망과 동기식전송망에서의 동기클럭 단기 안정 특성분석," 정보처리학회논문지C, 제8-C권 제3호, pp.299-310, 2001.

[23] IEEE Std 802.3, "Carrier sense multiple access with collision detection(CSMA/CD) access method and physical layer specifications," 2002.

[24] 이창기, 김재근, "SDH 시스템에서의 포인터 조정지터 감소 알고리즘 및 성능연구," 대한전자공학회논문지 A권, 제30권 제2호, pp.1-9, 1993.

[25] 김재근, "동기식 전송시스템의 연구개발 현황과 동향," *텔레콤*, 제7권 제1호, pp.64-73, 1991.

[26] 이만섭, 박창수, 최준근, "광전송장치 개발," 한국통신학회지, 제12권 제4호, pp.89-103, 1995.

### 이 창 기



e-mail : cklee@uu.ac.kr

1984년 경북대학교 전자공학과(학사)

1986년 경북대학교 대학원 전자공학과(석사)

1987년~1998년 한국전자통신연구원 광통신연구부 선임연구원

1998년 경북대학교 대학원 전자공학과(박사)

1999년~현재 위덕대학교 정보통신공학과 조교수

관심분야 : SDH, WDM 전송시스템

### 고 제 수



e-mail : jsko@ctri.re.kr

1981년 울산대학교 전기공학과(학사)

1983년 고려대학교 대학원 전자공학과(석사)

1983년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원, 광대역통신망연구단 BcN전달

망연구그룹 TDM기술팀장

관심분야 : 광전송, TDM/SDH/WDM 전송방식, OTN 신호전달