

# 광전송플랫폼에서의 망동기장치 구현과 광전송망에 미치는 원더의 영향분석

정희원 양충열\*, 고제수\*\*, 이창기\*\*\*, 김환우\*\*\*\*

## An Implementation of the Network Synchronization Equipment on Optical Transmission Platform and Impact Analysis of the Wander on NG-SDH Network

Choong-reol Yang\*, Je-soo Ko\*\*, Chang-ki Lee\*\*\*, Whan-woo Kim\*\*\*\* *Regular members*

### 요약

광전송플랫폼 또는 차세대 패킷, TDM 데이터 통합 스위칭 시스템을 위한 망동기장치를 구현하고, 원더잡음 성분이 NG-SDH 광전송망에 미치는 영향을 제시하였다.

**Key Words** : 망동기장치, NG-SDH, 동기클럭, 원더, 정상상태

### ABSTRACT

We implemented the network synchronization equipment for the optical transmission platform or next generation Packet/TDM(Time Division Multiplexing) data converged switching system and then, presented an impact of wander generation on the NG-SDH optical transmission network.

### I. 서론

동기식 전송망에서 가장 먼저 고려되어야 할 사항이 망동기이다. 망동기란 이상적으로는 망을 구성하는 모든 디지털 장치들이 하나의 기준 동기 클럭원에 동기되는 것을 뜻하며 이는 장치 간 연동 시에 기준 클럭과의 차이가 모든 장치에서 최소화되도록 함으로써 통신망의 안정화 및 고품질화를 이루고자 하는 것이다.

통신망에서 전달하고자 하는 데이터를 원활하게 전송하기 위해서는 망에서 사용하는 클럭을 동기시켜야 한다. 동기망은 동기클럭을 필요로 하는 교환

망이나 전송망 등의 노드에 동기클럭을 제공하기 위한 네트워크를 말하며 동기망을 구성하는 핵심 요소로는 최초 동기 소스, 동기클럭 공급장치, 동기클럭 분배 전송노드 등이 있다.

동기식 전송망에 공급되는 동기 소스는 동기클럭 분배망, 즉 동기망을 통해 공급받는다. 국내의 동기클럭 분배망은 KRF(Korea Reference Frequency)를 중심으로 총괄국의 동기클럭 공급장치(DOTS-1)(Digital Office Timing Supply), 중심국의 동기클럭 공급장치(DOTS-2)와 하위인 단국(NE)의 동기클럭 공급장치 등 세 계위로 구성되며 모든 전송망은 KRF를 기준으로 하는 클럭으로 망동기가 실현된다.

\* 본 논문은 정통부 및 정보통신연구진흥원의 IT 원천기술 개발사업중 OTH 기반 40G 다중서비스 전송기술개발 과제의 연구결과로 수행되었습니다.

\* 한국전자통신연구원 책임연구원 (cryang@etri.re.kr), \*\* 한국전자통신연구원 책임연구원 TDM기술팀장 (jsko@etri.re.kr)

\*\*\* 위덕대학교 전자공학과 교수 (cklee@uu.ac.kr), \*\*\*\* 충남대학교 전자공학과 교수 (wwkim@cnu.ac.kr)

논문번호 : KICS2006-12-521, 접수일자 : 2006년 2월 16일, 최종논문접수일자 : 2007년 7월 9일

최근의 통신시스템은 STM-16(2.5Gbps), STM-64(10Gbps) 등의 기존 SDH(Synchronous Digital Hierarchy) 와 GbE, 10GbE, EoS(Ethernet Of SDH), FC(Fiber Channel) 등을 중속신호로 수용하고 있다. 국내에서는 아직 NG-SDH 시스템 망동기 기술, 동기클럭의 특성 및 성능연구가 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 NG-SDH 시스템에서 1계위 동기클럭 정확도와 안정도를 갖는 망동기 장치를 설계 및 구현한다.

광전송망에서 망동기 기술은 망노드 장치에서 사용되는 클럭을 망측에 제공되는 동기클럭에 동기시켜 단대단(end-to-end) 에러성능을 만족하게 하기 위한 것으로, 신뢰성 있고 안정된 광전송 시스템 전송망을 구축하려면 동기클럭의 안정도 성능이 좋아야 한다.

광전송 시스템에서의 동기클럭 상태<sup>[1-5]</sup>는 동기 소스에 의하여 정상적으로 동기기능이 수행되는 정상상태(steady-state)와 동기 소스에 장애가 발생하여 클럭 절체 등으로 인한 15초 이내의 클럭 위상변위가 일어나는 단기 위상변위상태(short-term phase transient state), 그리고 홀드오버(holdover) 상태가 지속되는 등 15초 이상의 클럭 위상변위가 발생하는 장기 위상변위 상태(long-term phase transient state)등 세 가지 형태로 나타날 수 있다. 정상상태 이외의 클럭상태에서는 클럭잡음<sup>[1],[2]</sup>과 위상변위에 의하여 시스템내 클럭성능을 변화시키고, 또한 망노드별 클럭성능이 달리 나타나게 되어서 누적 전달되는 클럭성능 변화에 의한 시스템 및 전송 망 성능에 심각한 영향을 줄 수 있기 때문에 ITU-T에서는 이 세가지에 대해서 동기클럭 규격치<sup>[3-5]</sup>를 권고하고 있으며 광전송 시스템은 이 규격치내에서 동기클럭 성능이 안정적이어야 한다. 이를 위해 실제 NG-SDH 전송망의 성능분석이 필요하다.

이를 위해 II장에서 차세대 광전송 망을 위한 망동기 장치의 구현에 대하여 기술하고, III장에서 실제 DOTS 및 SDH 장비를 이용하여 측정된 데이터를 기반으로 한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 차세대 광전송망에서 동기클럭이 정상상태에 있을 때의 동기클럭 성능을 제시한 다음, IV장에서 결론을 맺는다.

## II. 광전송 플랫폼에서의 망동기장치 구현

### 2.1 망동기 모듈의 설계

그림 1에 NG-SDH<sup>[6]</sup> 시스템의 망동기 모듈의 블록

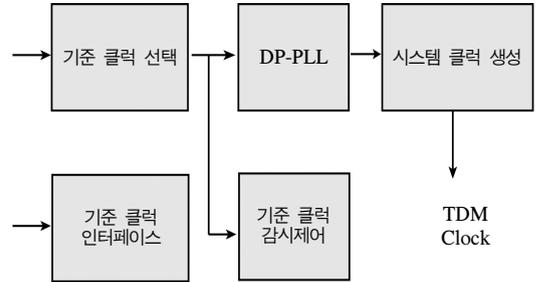


그림 1. NG-SDH 시스템의 망동기장치 블록도

도를 나타내었다. NG-SDH 시스템의 동기 기능을 위하여 PAMS(Pre Assaigned Master Slave) 동기방식으로 실현된 망동기장치는 다수의 E1 전송로로부터 기준 타이밍을 공급받아 우선 순위에 따라 PLL(Phase Licked Loop) 입력 클럭을 선택하여 동기된 클럭을 발생시켜 시스템에 공급하고 망내 타 NG-SDH 시스템에 기준 타이밍을 제공한다. 신뢰도를 고려하여 루프는 이중화(master, slave)하였으며 NG-SDH 시스템으로서 그 역할을 다하도록 1계위 동기클럭을 제공하는 콤팩트한 망동기 장치를 설계 및 구현하였다. 망동기 모듈은 W 100 mm x H 60 mm의 콤팩트한 크기로 제작되어 NG-SDH 시스템의 스위칭 보드에 탑재된다.

망동기 실현은 순간적인 동기 소스의 위상변이나 동기 소스의 장애로 인해 발생할 수 있는 급격한 동기클럭의 위상변이를 최소화할 수 있는 holdover 기능이 필요하게 됨에 따라 동기클럭 생성 기능 즉, DP-PLL(Digital Processing PLL) 기술이 필수적이다. 그림 3에 DP-PLL 을 나타내었다.

DP-PLL은 기준 클럭과 동기 클럭간의 위상차를 검출하는 위상비교기, CPU, 전압 조정 발진기 (VCXO) 및 DAC(Digital to Analog Converter) 루프 필터로 구성되어 동기클럭을 생성한다. 동작은 입력되는 기준 클럭에 동기된 클럭을 생성하며 루프 동작은 locking 모드(fast, normal 또는 stable mode),

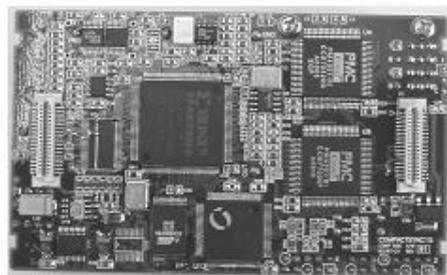


그림 2. NG-SDH 시스템의 망동기 모듈

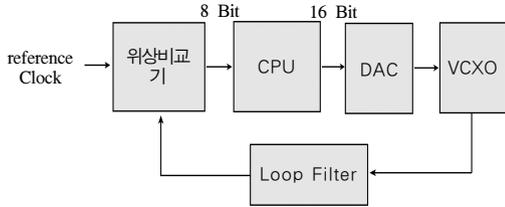


그림 3. 동기클럭 생성회로 (DP-PLL)

free-running 모드 및 holdover모드 등 세가지 모드로 동작한다.

### 2.2 망동기 모듈의 절체

그림 4에 망동기 모듈과 스위치 보드간 이중화 절체 구조를 나타내었다. 망동기 장치는 NG-SDH 시스템의 스위칭보드에 종속되도록 설계되어 스위칭 보드가 절체되는 경우에도 망동기가 50ms 이내에 순간적으로 동시 절체되어 동기를 잡는 개념으로 절체가 이루어진다.

스위칭보드가 망동기장치의 장애를 인지한 후 절체가 이루어지기까지의 시간은 ~ 50ms로 최대한 짧은 시간이어야 한다. 이는 망동기뿐만 아니라 모든 절체와 관련된 제한 시간이다. G.812, G.813, Short term phase transient, 절체시 원더 특성에 의하면 망동기의 경우는 절체될 때 절체로 인해 발생하는 출력의 위상 움직임이 120ns 이내 이어야 한다. 이를 위해 수십 ns 이내에 유닛 절체가 이루어져야 한다.

따라서 긴급을 요하는 장애(faults)가 발생하면 장애 상태를하드웨어적으로 전달하여 절체가 신속히 이루어지도록 하여야 한다. 이 때 시스템 운용에 크게 영향을 주지 않는 장애는 소프트웨어적으로 전달되어 우선 순위에 따라 망동기장치에서 절체를 수행한다.

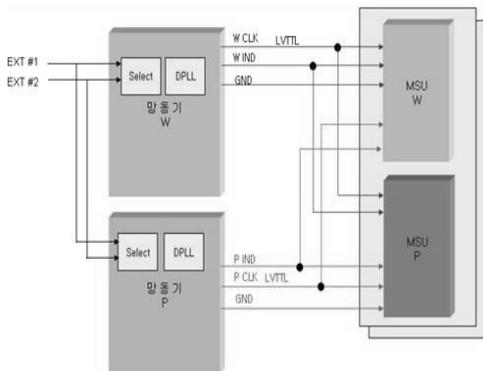


그림 4. 망동기 모듈과 스위치보드간 이중화 구조

### 2.3 시험결과 및 고찰

망동기 모듈의 동기 클럭에 관한 성능은 클럭의 주파수 정확도, 정상모드시 원더, 과도응답 및 지터 성능을 평가한다. 다음에 동기 클럭 특성 측정결과를 제시하고 결과를 고찰한다.

그림 5, 그림 6은 규격 환경조건에서 Jitter Wander Analyzer 장비로 측정된 유도클럭 출력원더 TIE 특성을 측정된 결과이다.

일반적으로 클럭규격에 적용되는 안정도의 측정 요소는 MTIE, TDEV, ADEV(Allan deviation), MADEV(Modified ADEV), TIE<sub>rms</sub>(Root mean square of time interval error)가 있지만 ITU-T나 ANSI의 동기클럭 규격에서는 MTIE 와 TDEV를 중심으로 권고하여 사용하고 있다. MTIE는 각 시간 간격에 대한 최대값이고 TDEV는 각 시간에 대한 변화량의 평균이다. 이들은 둘다 단기적인 클럭 정확도를 측정하기 위한 수단으로ITU-T에서 권고하고 있다. 단기위상 과도 응답을 보기 위해서 동기 기준 클럭이 절체될 때, 그 출력의 최대 위상 편차가 ITU-T G.812를 만족하는지 확인한다. 그림은 MTIE 측정결과로서 규격을 만족하고 있음을 보여준다. 클럭 잡음은 이 규격의Type 1을 만족하여야 한다. 그리고 TDEV는 장기위상 과도 응답을 보기 위하여 holdover를 수행할 때, 위상 오차가ITU-T G.812의 Table 24를 만족하는지 보여준다. 각 시간에 대한 변화량에 대한 평균으로서 그림 5, 그림 6은 각각 측정결과 규격을 만족하고 있음을 보여준다.

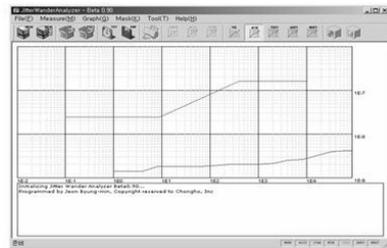


그림 5. 원더 생성 (MTIE) 측정결과

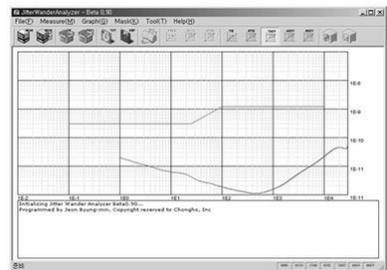


그림 6. 원더 생성 (TDEV) 측정결과

그림 7은 1계위 수준의 망동기장치에 대해 24시간 phase lock 일 때 및 holdover 때에 각각 측정된 정확도 및 안정도 측정결과를 보여주는 것으로 모두 그 규격치를 만족하고 있다.

즉, 그림 7의 위 그림은 24시간 lock 일 때 측정된 결과로서 정확도 규격치  $\pm 1 \cdot 10^{-11}$  /day 및 안정도 규격치  $\pm 1 \cdot 10^{-11}$  /day 에 대해 각각의 측정결과는 다음과 같이 규격을 만족하고 있다.

- 1) 정확도 측정결과 : -1.276256851510E-13
- 2) 안정도 측정결과 : 2.96261936637742E-13

또한, 그림 7의 아래 그림은 환경조건에서 24시간 holdover 때에 측정된 결과로서 정확도 규격치  $\pm 1 \cdot 10^{-10}$  /day 및 안정도 규격치  $\pm 5 \cdot 10^{-10}$  /day 에 대해 각각의 측정결과는 다음과 같이 규격을 만족하고 있다.

- 3) 정확도 측정결과 : -4.772817401729E-11
- 4) 안정도 측정결과 : 3.57053258900396E-11

참고로, 본 시험은 Telcordia GR-436-core 규격에

따라 안정도의 측정을 1 day 기준으로 실시하였다. 이에 따라 안정도는 24시간을 측정하며, 정확도는 안정도를 측정하면서 같이 얻을 수 있으므로 계측기를 통해서 얻은 sample data를 평균한 것이다. 규격치 10E-13/day에 대한 측정값은 오차비율(error rate)이다. 데이터의 BER이 아니고 기준과 비교한 비교치이다. 기준과 같이 나오면 "0"이지만 측정하는 계측기의 정확도와 측정 순간의 오차가 조금씩 반영되어 나오는 결과이다. 2)는 상온에서 locking 시 측정된 결과이며, 4)는 holdover 상황(기준클럭 삭제)을 인가하고 이에 더해서 온도변화를인가한 상태의 결과이다. 측정계측기는 세습클럭에서 제공되는 10MHz 를 기준으로 측정하였다. 따라서 계측기는 세습클럭을 기준으로 시험제품의 출력클럭 19.44MHz 의 정확도/안정도를 측정하는 것이다. 측정은 계측기(53132A, Universal Counter, Agilent)를 통해서 측정된 것이며 계측기에서 100초 마다 출력되는 측정치를 자체제작한 프로그램을 통해서 모아서 계산한 결과이다. 정확도는 평균한 것이며, 안정도는 Allan Variance 공식을 대입하여 얻은 결과이다.

### III. NG-SDH 기반의 동기클럭 성능분석

#### 3.1 동기클럭 성능측정 파라미터

위 망동기 실현 과정에서 KRF 클럭은 동기클럭 분배 망을 거치는 동안 전송노드인 망 요소와 DOTS의 자체 원더(wander)와 지터(jitter) 등 여러 가지 요인들의 영향을 받게 되고 실제 전송망의 동기 소스로 제공되는 동기클럭의 성능은 KRF 고유의 성능보다 저하되어 나타난다. 이 가운데서 지터 성분은 전송노드(NE; Network Element)나 DOTS의 협대역 PLL에 의해서 어느 정도 흡수되지만, 원더 성분은 다단 연결된 노드에 의해 누적되어 클럭 안정도에 영향을 주게 된다.

ITU-T에서 MTIE는 (1)식과 같이 정의하고 있다.

$$MTIE(n\tau_0) \cong \max_{1 \leq k \leq N-n} \left[ \max_{k \leq i \leq k+n} x_i - \min_{k \leq i \leq k+n} x_i \right], \quad n = 1, 2, \dots, N-1 \quad (1)$$

여기서,  $\tau$ 는 관측시간으로  $n\tau_0$ 와 동일하고,  $n$ 은 관측시간에 대한 표본화 간격(sampling interval)의 수이다. 그리고  $\tau_0$ 는 시간오차의 표본화 간격,  $N$ 은 표본의 총수,  $x_i$ 는 표본의 시간오차를 말한다.

클럭신호는 시간의 흐름에 따라 클럭의 성능이 저하되면서 파동하기 때문에 안정도 특성을 조사할

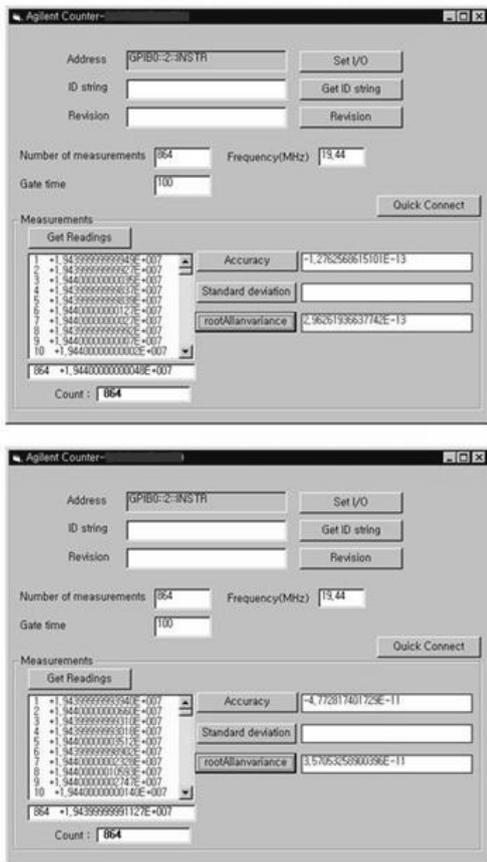


그림 7. 망동기 장치의 클럭 정확도 및 안정도 측정결과

때 표준분산이 아닌 Allan 분산을 이용하는데 이 Allan 분산은 동기식 전송에 적용하기 위해서 TDEV로 보완되었다. TDEV는 표본 시간편차를 이용하여 지정된 횟수로 여러 번 측정된 분산을 평균한 것을 말한다. TDEV의 정의 식은 (2)식과 같다.

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

위 식 (1), (2)는 실제 클럭특성을 측정할 때 사용되며, 본 논문의 시뮬레이션 결과에도 적용된다. MTIE와 TDEV는 클럭특성을 직접적으로 측정할 수 있는 파라미터이지만 이들의 상태를 간접적으로 확인할 수 있는 파라미터는 포인터조정 횟수인 PJC(Pointer justification event count)와 평균 PJC 발생 시간간격인 MTBP(Mean time between pointer justification event) 등이 있다. 이와 같은 PJC와 MTBP는 클럭특성이 변화함에 따라 발생하는 횟수와 시간이 달라지므로 이를 이용하면 클럭 성능변화를 간접적으로 확인할 수 있게 된다.

### 3.2 동기클럭 특성규격

동기 망과 전송망에 적용되는 클럭규격은 크게 적용계층에 따른 분류, 적용위치에 따른 분류 및 클럭 상태에 따른 분류 등 세 가지로 나눈다. 적용계층에 의한 분류는 모든 클럭의 소스인 PRC(Primary Reference Clock)(G.811)와 동기클럭 공급장치인 DOTS(G.812), 그리고 망노드장치인 NE(G.813)에 관한 규격 등으로 나눈다. 적용위치에 따른 분류는 장치 입력규격, 장치 출력규격 및 장치 자체규격 등으로 나눈다. 여기서 장치 자체규격은 원더생성(wander generation 또는 noise generation)이 적용되며, 원더생성은 입력 클럭잡음이 없다고 가정할 때 장치 내부에서만 발생하는 클럭잡음 성분을 말한다. 동기 망과 전송망에서 사용되는 클럭은 장치 외부와 내부 등의 여러 가지 요인으로 인하여 상태가 변하게 된다. 이와 같은 클럭상태의 변화는 클럭성능에 직접적으로 영향을 끼치게 되고, 이로 인해 시스템 성능과 망 성능에 바로 반영이 되기 때문에 반드시 감시되어야 한다. 클럭상태에 따른 분류는 노드장치에서 출력되는 클럭상태를 고려하여 정상상태(normal state)와 위상변위 과도상태(phase transient state)에서의 규격으로 나눈다.

### 3.3 기존 및 제안된 동기클럭 성능 측정방법 비교

기존에는 NG-SDH 광전송 시스템의 동기클럭 성

능 분석은 실제 망 노드의 클럭의 상태에 따른 잡음성분을 추출하여 앞에 언급한 동기클럭 특성에 영향을 미치는 파라미터(MTIE, TDEV) 들의 안정도를 측정하여야 한다. 이의 실제 측정은 어려우므로 광전송 망에서 관측되는 여러 형태의 잡음을 시뮬레이션을 통해 인위적으로 발생시켜 동기클럭 특성을 분석하였다.

본 논문에서 제안된 방법은 실제 측정된 클럭잡음(STM-1 155M급 장비)을 이용하여 만든 PRC, DOTS, NE 원더생성 모델을 NG-SDH 광전송망에 적용시켜 망노드 클럭상태가 정상상태일 때의 클럭 특성을 시뮬레이션한다.

## IV. 동기클럭 성능 시뮬레이션

### 4.1 시뮬레이션 모델링

NG-SDH 광전송 시스템의 동기클럭 성능을 분석하기 위해서는 실제 망노드의 클럭상태에 따른 잡음성분을 추출하여 동기클럭 특성에 영향을 미치는 파라미터들의 안정도를 측정하여야 하지만 이의 실제 측정은 어려우므로 광전송망에서 관측되는 여러 형태의 잡음을 시뮬레이션을 통해 인위적으로 발생시켜 동기클럭 특성을 분석하고자 한다. 동기클럭 특성을 분석하기 위해서는 우선 백색위상잡음(WPM), 플리커 위상잡음(FPM), 백색주파수잡음(WFM)을 상호 조합하여 클럭잡음 모델을 생성하고, 발생된 클럭잡음 모델을 이용하여 DOTS와 NE로 적용해야하는 노드 모델, 그리고 이를 바탕으로 하여 망모델을 구성하여야 한다. 이들 구성된 모델을 활용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 망을 구성하고 있는 광전송 노드클럭의 MTIE와 TDEV 클럭 특성을 파악한다.

동기클럭 잡음모델에 적용하여야 할 파라미터는 원더생성, 차단주파수, 클럭상태, 노드수 등이 있다. 원더생성(wander generation)은 입력 클럭잡음이 없다고 가정할 때 장치 내부에서만 발생하는 클럭잡음 성분을 말하며 앞서 살펴 본 세가지 클럭잡음을 이용하여 생성한다. 노드모델은 자체가 PLL 기능도 수행해야 하기 때문에 입력되는 잡음성분을 차단할 수 있는 차단주파수를 가지고 있는데 이 차단주파수는 일반적으로 동기클럭공급장치일 경우 0.01에서 0.1Hz, SDH 장비 클럭일 경우 0.1에서 1Hz를 ITU-T에서 권고하고 있고, 감쇠인자(damping factor)인 ζ는 5로 설정한다.

동기클럭에서 나타날 수 있는 상태는 정상상태와 단기 위상변위 과도상태 및 장기 위상변위 과도상태이며, 각 상태에 따라 클럭성능이 크게 달라져서 MTIE와 TDEV 특성에 영향을 주게 된다. 정상상태에서는 동기 소스의 특성, 원더생성과 노드수에 따라 영향을 주게 되고, 단기 위상변위 과도상태에서는 정상상태의 요소와 동기 소스 상실에 따른 위상변위 성분과 holdover상태가 지속되는 시간 등이 영향을 주게 되며, 장기 위상변위 과도상태에서는 단기 위상변위과도상태의 요소와 홀드오버 상태가 계속 유지됨에 따라 나타나는 drift 성분이 영향을 주게 된다. 본 논문에서는 정상상태만을 다룬다.

그리고 노드수는 PRC와 DOTS 혹은 DOTS와 DOTS 사이의 NE 노드수인 동기망의 노드수, 그리고 전송망을 구성하고 있는 NE 노드수를 말하며, 이와 같은 노드수에 따라 클럭잡음 특성이 누적되어 나타남에 따라 클럭성능에 매우 크게 영향을 주게 된다.

그 밖에 홀드오버 유지시간<sup>7)</sup>과 동기 상태 메시지 처리시간이 있는데, 홀드오버 유지시간은 동기 소스 장애가 발생한 시점부터 다음 동기 소스로의 절체가 수행되기 전까지 홀드오버 상태로 머물러 있는 시간을 말한다. 이 시간은 위상변위 과도상태에서만 적용되며, 동기 소스 장애 발생위치에 따라 유지시간이 달라질 수 있다. 그리고 동기 상태 메시지 처리시간은 동기 소스의 상태변화를 인식한 다음 이를 송신 동기 상태 메시지에 적용하기까지의 걸리는 시간을 말하며, ITU-T에서는 200 ms를 권고하고 있다. 이와 같은 홀드오버 유지시간과 동기 상태 메시지 처리시간은 동기클럭 시뮬레이션시에 적용되어야 한다.

광전송 시스템으로 구성되는 망은 주로 메쉬형망이나 링망이 주로 적용되지만 worst case 조건을 위해 클럭잡음이 최악으로 누적되는 선형망<sup>7)</sup>을 적용한다. NE와 DOTS에 적용되는 간략화된 클럭잡음 노드모델을 그림 8에 나타내었다. 모델은 LPF(Low Pass Filter)와 덧셈기, 그리고 원더생성 성분과 위상변위 성분으로 구성된다. 입력되는 위상잡음은 LPF를 통과한 후 장치 자체에서 생성되는 원더생성 성분과 위상변위 성분을 더한 후 출력된다. 여기서, 입력 위상잡음은 해당노드의 동기 소스 잡음이 되고, 출력 위상잡음은 다음 단의 입력 위상잡음으로 전달된다. 그리고 위상변위 성분은 단기 및 장기에 따라 적용되는 값이 달라진다. 또한 앞서 살펴본 차단주파수는 노드모델의 LPF의 차단주파수로 적용된다.

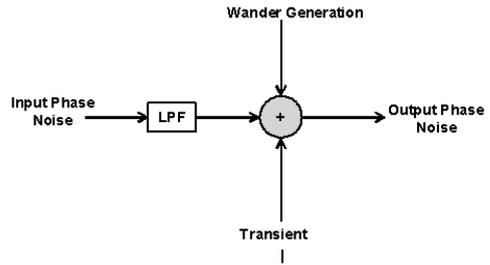


그림 8. 클럭잡음노드 모델

그림 8의 모델을 이용하여 NG-SDH 전송망을 수식으로 표현하고, n 번째 노드까지 출력클럭잡음을 구한다.

선형 모델에서 망의 입력 동기 소스가 결정 되고 원더생성과 클럭상태만 결정되면 광전송 망노드의 클럭특성을 알 수 있다. 동기망의 전달특성 모델은 PRC나 DOTS1과 DOTS2의 동기 소스를 발생시키기 위한 것이다. 기본적으로 PRC는 망을 거치지 않기 때문에 DOTS가 적용된다. DOTS의 클럭 전달 특성으로 부터 동기망을 통해 전달되어 온 DOTS1이나 DOTS2의 동기클럭에 의하여 구동되어지는 광전송 망의 각 노드클럭특성을 알 수 있다. 전달특성 모델에 PRC, DOTS와 NE의 클럭잡음이 주어지고 위상변위성분이 반영되면 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 정상상태를 포함하여 다양한 클럭상태에 따른 광전송 노드별 MTIE와 TDEV 특성을 얻을 수 있다.

#### 4.2 시뮬레이션 조건 및 적용사항

NG-SDH 전송장비가 적용되거나 적용될 수 있는 전송망에서 실제 측정된 클럭잡음은 망설계 시뮬레이션에 아주 유용하게 이용될 수 있다. 이는 클럭특성 시뮬레이션<sup>8)</sup>을 수행할 때 실제 측정 클럭잡음을 적용하면 클럭잡음 관점에서의 전송망의 최대 노드수를 정확히 산출할 수 있기 때문이다. 실제 측정 클럭잡음을 이용해서 클럭특성 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 측정 클럭잡음으로 만든 PRC, DOTS, NE의 원더생성 모델이 필요하다. 따라서 측정 클럭잡음을 이용하여 만든 원더생성을 그림 9, 그림 10 및 그림 11에 나타내었다. 그림 9는 최초 동기 소스인 PRC의 클럭잡음 특성이며, G.811 MTIE와 TDEV규격(실선), 측정 클럭잡음(0)과 측정 잡음을 이용하여 만든 원더생성(x)이 나타나 있다. 그림 5에서 만들어진 원더생성 모델은 측정 잡음과 다소 차이가 있다. 이는 워낙 측정 잡음 수치가 작기 때문에 일치하는 모델 생성에 힘들고, 또한 작은 수치로 인하여 MTIE와 TDEV 특성

을 동시에 만족하는 모델을 만들기 어렵기 때문이다. 이에 따라 기준을 MTIE로 하고 이 기준으로 원더 생성 시뮬레이션을 다수 수행하여 가장 근접한 특성을 원더생성 모델<sup>[8]</sup>로 설정하였다. DOTS의 원더생성 모델은 그림 10에 나타내었고, G.812 규격(실선)과 측정 클럭잡음(o) 및 측정 잡음을 이용하여 만든 원더생성(x)을 볼 수 있다. NE의 원더생성 모델은 그림 11에 나타내었다. 이 결과를 통해 볼 때 실제 측정된 PRC, DOTS와 NE의 자체 클럭잡음은 ITU-T 클럭규격<sup>[3-5]</sup>을 훨씬 능가하는 매우 좋은 클럭특성을 가지고 있음을 볼 수 있다.

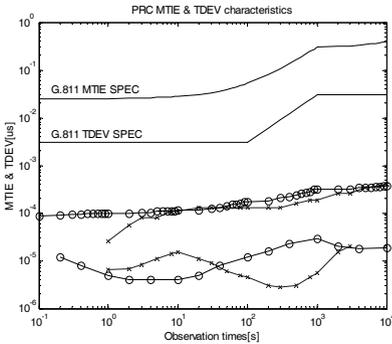


그림 9. PRC의 클럭잡음특성

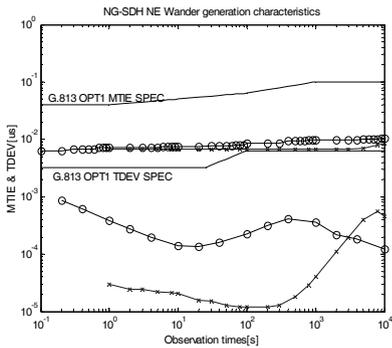


그림 10. NE의 원더특성

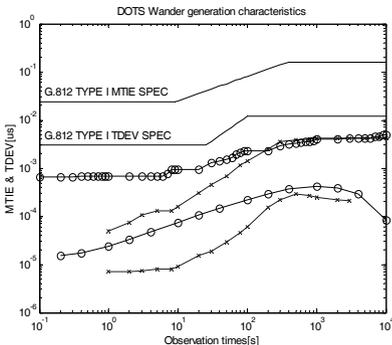


그림 11. DOTS의 원더특성

본 논문의 NE 모델 생성을 위한 동기클럭 데이터 (MTIE, TDEV)는 다음과 같이 확보하였다. KRF(표준과학연구원) G.811 자체의 MTIE와 TDEV 측정 자료는 수신중속 동기항목과 유사하게 측정될 것으로 보고 KT 등 국사에서 사용하는 방식과 같은 운용방법으로 측정된 결과 수신중속 동기 항목과 유사하게 측정되었다. 독립동기 항목은 GPS를 기준클럭원으로 DOTS를 운영했을 때 측정된 결과를 이용하였다. 수신중속 동기항목은 세습 10MHz => E1 발생계측기 => DOTS E1 출력 등의 신호 순으로 측정하고 세습 10MHz 기준으로 DOTS E1 출력을 비교 측정하였다. KRF에서는 세습에서 출력되는 10MHz를 기준으로 기준클럭을 생성하기에 유사할 것으로 보인다. 원더는 ITU-T G.813 규격 내에서 NE 모델에서 생성된다. STM-1급 장비와 SDH 기가급의 클럭 및 규격 성능은 동일하므로 NG-SDH 장비대신 STM-1급 장비의 클럭 성능을 이용하였다.

### 4.3 광전송망 동기클럭특성 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 광전송 망동기 클럭 성능을 분석하기 위하여 특성 시뮬레이션을 실제 측정된 클럭잡음(STM-1 155M급 장비)을 이용하여 만든 원더생성 모델을 NG-SDH 광전송망에 적용시켜 망노드 클럭상태가 정상상태일 때의 클럭특성 시뮬레이션을 수행하였다. 본 시뮬레이션은 네트워크에서 측정된 클럭 잡음을 사용한 관계로 ITU-T 규격치보다 클럭 성능이 훨씬 좋게 나타났다. 이 결과로 보면 현재 운용망의 클럭 잡음 성능이 우수하다는 것을 알 수 있다.

## V. 결론

NG-SDH 시스템을 위한 망동기모듈이 제안되고 망동기모듈이 시스템에 인터페이스되어 50ms 이내의 망동기 절체기능이 구현되었다. 이는 장시간 온도환경에서 클럭정확도 및 안정도가 ITU-T 규격을 만족하는 것을 보여주었으며 기능 및 비용측면에서 세계의 대표적인 통신장비 업체가 공급하고 있는 통신시스템이 공통적으로 제공하는 광전송 시스템 클럭동기 기능에 부합하는 수준이다.

광전송망을 설계할 때 고려해야 할 주요 파라미터 중의 하나는 클럭잡음이다. 기존에는 광전송망에서 관측되는 여러 형태의 잡음을 시뮬레이션을 통해 인위적으로 발생시켜 동기클럭 특성을 분석하였

으나, 본 논문에서는 전송노드와 DOTS의 실제 측정된 클럭잡음 데이터를 이용하여 망구성에 따른 누적 클럭잡음 특성을 분석하였다. 본 논문에서는 광전송 시스템이 적용되거나 적용될 수 있는 전송망에서 실제 측정된 클럭잡음을 이용하여 원더생성 모델을 만들었고, 만든 모델을 활용하여 정상상태 클럭을 가진 망에서의 클럭특성 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과, 광전송망에서 정상상태 동기클럭에 미치는 원더잡음 성분의 영향을 알 수 있었고 ITU-T의 클럭특성 규격(MTIE, TDEV)을 크게 만족하는 것을 확인하였다. 선행연구<sup>9)</sup>에서도 밝힌 바와 같이 DOTS에서 생성되는 원더잡음은 무시해도 좋을 정도로 영향이 적다. 따라서 NG-SDH 광전송망을 설계할 때 전송망 노드의 동기클럭이 정상상태일 경우에는 망구성에 따른 노드수에 큰 제약이 없을 것으로 판단된다. 이 분석결과는 동기기능이 요구되는 NG-SDH 기반 광전송장비 개발 및 광전송망 구축에 활용가능하다.

참 고 문 헌

[1] ITU-T Recommendation G.810, "Definitions and terminology for synchronization networks," Sept., 1997.  
 [2] G. Garner, "Noise accumulation in synchronization reference chains," *Contribution to T1 Standard Project*, T1X1. 3 / 95-044, 1995.  
 [3] ITU-T Recommendation G.811, "Timing characteristics of primary reference clock," Sept., 1997.  
 [4] ITU-T Recommendation G.812, "Timing requirements of slave clocks suitable for use as node clocks in synchronization networks," March 2005.  
 [5] ITU-T Recommendation G.813, "Timing characteristics of SDH equipment slave clocks(SEC)," March 2003.  
 [6] ITU-T G.707/Y.1322, "Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH)," August 2002.  
 [7] 이창기, 홍재근, "동기식 선형망에서의 망동기 클럭 특성 분석에 관한 연구," 한국통신학회 논문지, 제22권 제9호, pp.2062-2073, 1997.  
 [8] 이창기, "NG-SDH 망에서의 다양한 클럭상태 하에서의 동기클럭 성능분석에 관한 연구,"

한국정보처리학회 논문지, 제13-C권 제3호, pp.303~310, 2006년 6월.

[9] 양충열 외2, NG-SDH 시스템을 위한 망동기 설계, 구현 및 동기클럭 모델링, 한국통신학회논문지, 제30권 제12A호, pp.1120~1136, 2005년 12월.

**양 충 열 (Choong-reol Yang)** 정회원  
 1983년 2월 건국대학교 전자공학과 (학사)  
 1998년 8월 충남대학교 대학원 전자공학과 (석사)  
 2007년 8월 충남대학교 대학원 전자공학과 (박사)  
 1992년 6월~현재 한국전자통신연구원, 책임연구원  
 <관심분야> 신호처리, 광패킷스위칭, TDM기술, OTH 신호전달

**고 제 수 (Je-soo Ko)** 정회원  
 1981년 2월 울산대학교 전자공학과 (학사)  
 1983년 2월 고려대학교 대학원 전자공학과 (석사)  
 1983년 3월~현재 한국전자통신연구원, 책임연구원 TDM 기술팀장  
 <관심분야> 광전송, TDM/SDH/WDM 전송방식, OTH 신호전달

**이 창 기 (Chang-ki Lee)** 정회원  
 1984년 2월 경북대학교 전자공학과 (학사)  
 1986년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 (석사)  
 1998년 3월 경북대학교 대학원 전자공학과 (박사)  
 1993년 3월~1999년 2월 한국전자통신연구원, 책임연구원  
 1999년 3월~현재 위덕대학교 전자공학과 교수  
 <관심분야> 동기식전송기술, 망동기, WDM기술

**김 환 우 (Whan-woo Kim)** 정회원  
 1977년 2월 서울대학교 전자공학과 (학사)  
 1979년 2월 한국과학기술원 전기전자공학과 (석사)  
 1988년 6월 University of Utah, USA (Ph. D.)  
 1979년~현재 충남대학교 전자공학과교수  
 2004년 1월~2006년 12월 IEEE 대전색션의장  
 2007년 1월~현재 대한전자공학회 대전충남지부장  
 <관심분야> 신호처리, 디지털통신, 무선통신