

NG-SDH 망에서 다양한 클럭상태 하에서의 동기클럭 성능분석에 관한 연구

이 창 기[†]

요 약

본 논문은 NG-SDH망에서 정상상태와 SPT상태 및 LPT상태 등 다양한 클럭상태에 따른 동기클럭 특성분석과 최대 망노드수 도출을 위한 연구를 수행하는 것이다. 시뮬레이션을 통해서 정상상태일 경우 NG-SDH 최대 망노드수는 42개에서 38개로 나타났다. SPT상태에서 최종단 NE망을 SPT상태로 적용할 때 최대 망노드수는 19개에서 4개까지로 정상상태에 비하여 많이 감소하였고, 모든 NE망에서 SPT상태가 발생하면 규격만족 노드수가 크게 감소하였다. LPT상태에서 최종단 NE망을 LPT상태로 적용할 경우 최대 노드수는 모두 50개 이상까지로 나타났고, 모든 NE망을 LPT상태로 적용하더라도 동일한 결과를 얻었다. 그러나 모든 DOTS를 LPT상태로 적용하였을 경우 규격만족 전송망 노드수는 SPT상태나 정상상태에 비해 차이가 크지 않았다.

키워드 : 동기클럭, 클럭잡음, 클럭상태, 차세대 동기식전송

A study on performance analysis of synchronization clock with various clock states in NG-SDH networks

Chang-ki Lee[†]

ABSTRACT

This paper is to execute a study for characteristic analysis of synchronization clock and maximum network node number with various clock states, normal, SPT, LPT, in NG-SDH networks. Through the simulations, maximum network node numbers showed from 42 to 38 nodes in normal state. In SPT state, maximum network node numbers, when the last NE network applied to only SPT state, presented from 19 to 4 nodes, much less than normal state. Node numbers to meet specification in case of occurrence of SPT state in all NE networks decreased greatly. In LPT state, all maximum node numbers, when the last NE network applied to only LPT state, presented more than 50 nodes, and the results in case of occurrence of LPT state in all NE networks were also identified. However, node numbers to meet specification in case of LPT state in all DOTS networks were few large with difference between LPT and normal or SPT state.

Key Words : Synchronization Clock, Clock Noise, Clock State, NG-SDH

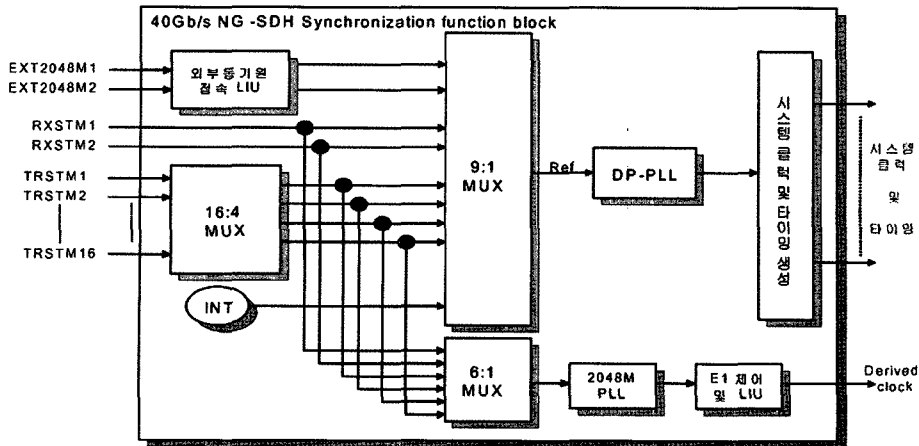
1. 서 론

NG-SDH(next generation-synchronous digital hierarchy) [1]는 기존 SDH기능과 함께 효율적으로 EOS(ethernet over SDH)을 수행할 수 있는 차세대 기능들인 GFP(generic framing procedure)[2, 3]와 가상연접(virtual concatenation)[2] 및 LCAS(link capacity adjustment scheme)[2, 4] 기능들을 수행할 수 있는 전송기술을 말한다. NG-SDH에서의 망동기 기술은 망 노드장치에서 사용되는 클럭을 망측 제공 동기클럭에 동기시키는 것이다. 따라서 초고속 신호를 전송하는 NG-SDH

시스템에서는 동기클럭의 성능이 매우 중요하고, 그리고 NG-SDH 전송망을 통해 클럭잡음[5, 6]이 누적됨에 따라 망 설계할 때 클럭성능이 중요하게 고려되어야 한다. NG-SDH 시스템에서의 동기클럭 상태[7, 8]는 정상상태(normal state)와 단기위상변위상태(short-term phase transient state; SPT), 그리고 장기위상변위상태(long-term phase transient state; LPT)로 나타날 수 있다. 이와 같은 클럭상태는 클럭성능을 변화시키고, 또한 망노드별 클럭성능은 망을 통해 누적 전달되기 때문에 전송망 성능에 심각한 영향을 줄 수 있다. 따라서 NG-SDH 전송장치나 전송망에서 다양한 동기클럭 상태에 따른 동기클럭 성능연구가 요구된다. 또한, ITU-T 동기클럭 규격[7-9]은 최근 보완하여 권고하고 있어서 NG-SDH 시스템도 이를 만족하여야 한다. 지금까지의 연구를 살펴보면 미국 Lucent사와 Mintera사는 현재 40Gb/s 시스템

* 본 연구는 한국전자통신연구원 정보통신연구개발사업(특정연구개발사업)의 위탁연구과제로 수행한 연구임.

† 정 회원 : 위덕대학교 정보통신공학부 부교수
논문접수 : 2006년 1월 27일, 심사완료 : 2006년 4월 4일



(그림 1) NG-SDH시스템의 동기기능 블록도

을 개발하였거나 개발 중에 있고, 지멘스등 기타 우수 기업에서는 주로 STM-4/16급 NG-SDH 시스템을 개발하였으나 기가급 이하의 시스템이 주류를 이루고 있다. NG-SDH 시스템에 적용되는 동기클럭 기술 역시 분석 개발 중이거나 완료하였을 것이나 관련된 사항은 아직까지 공개되고 있지 않다. 국내에서는 현재 ETRI에서 40Gb/s급 NG-SDH시스템을 개발 중에 있고, 망동기 기술도 현재 연구 중이다. 그리고 NG-SDH 동기클럭의 특성 연구에서는 클럭상태가 정상 상태인 경우에 대한 연구[10]가 수행되었으나 위상변위상태에 대한 연구가 이루어지지 않아서 이에 대한 계속적인 연구가 필요하다.

따라서 본 논문은 NG-SDH망에서 다양한 클럭상태에 따른 동기클럭 성능분석 연구를 목표로 하여 동기클럭 잡음모델, 동기클럭의 단기간정특성인 MTIE(maximum time interval error)[5]와 TDEV(time deviation)[5], 그리고 다양한 클럭상태에 따른 최대 망노드수 등에 대한 연구를 수행하는 것이다. 상기 내용을 바탕으로 하여 NG-SDH 동기기능 블록과 동기클럭 및 특성규격을 2장, 3장과 4장에서 기술하고, 5장에서는 다양한 클럭상태에 따른 동기클럭 성능 시뮬레이션 결과를 기술하며, 6장에서는 마지막 결론으로 맺는다.

2. NG-SDH시스템의 망동기

40Gb/s NG-SDH시스템은 STM-16과 STM-64, 그리고 기가비트 이더넷과 10기가비트 이더넷 신호 등을 종속신호로 하고, 이를 접속 다중화 후 STM-256 선로신호로 형성한다. 이와 같은 종속신호의 송수신과 다중신호를 형성하기 위해서는 망동기기능이 필요하다. NG-SDH 시스템의 망동기기능은 기본적으로 동기망에서 공급되는 동기클럭과 이의 파생클럭에서 추출된 동기원에 의해서 실현된다. 40Gbps NG-SDH 시스템의 동기원은 외부 DOTS(digital office timing supply)에서 제공되는 외부 동기원, STM-N에서 추출된 선로동기원, 종속신호에서 추출된 종속동기원과 내부동기원 등을 적용할 수 있다. NG-SDH 망동기 실현을 위한 세부적 기능블록도[10]는 (그림 1)과 같다. (그림 1)은 ITU-T 권고

기능블록[11]을 바탕으로 하여 4가지의 동기원을 모두 적용할 수 있도록 구성한 것이다. 외부동기원은 LIU(line interface unit)를 통해서 동기클럭을 추출한 다음 동기원으로 사용하고, 수신동기원은 양방향 선로 수신신호를 고려해서 2개의 동기원을 적용하며, 그리고 종속동기원은 종속신호중 최대 4개를 선택하여 종속동기원 후보로 사용하고, 내부동기원은 ITU-T 클럭규격을 만족하는 내부 오실레이터를 사용한다. 이와 같이 동기기능블록을 구성하면 다양한 동기원 중에서 동기품질 등의 우선순위에 의해서 기준동기원을 선택하고 선택된 동기원은 DP-PLL[12]을 이용하여 시스템내 필요한 클럭을 생성 공급함으로써 NG-SDH 망동기 기능이 실현된다. 그러나 망동기 기능이 실현되더라도 동기클럭 특성에 의해서 클럭성능이 좌우되기 때문에 NG-SDH망 노드에 적용되는 동기클럭의 특성분석이 요구된다.

3. 동기클럭

전송망에서 필요한 동기클럭은 동기원에 의해서 얻어진다. 이러한 동기원은 동기클럭 분배망, 즉 동기망을 통해 공급받는다. 국내 동기클럭 분배망은 KRF(korea reference frequency) 혹은 PRC(primary reference clock)를 중심으로 총괄국의 동기클럭 공급장치(DOTS1), 중심국의 동기클럭 공급장치(DOTS2)와 하위인 단국의 동기클럭 공급장치 등으로 구성되어 있다. KRF에서 제공되는 동기원은 분배망을 통해 DOTS1나 DOTS2에 입력되고, 이에 따라 동기된 동기클럭이 발생, 공급되어 계층내 모든 전송망이 KRF 기준 망동기가 실현된다. 그러나 고안정도의 특성을 가지고 있는 KRF 클럭은 동기클럭 분배망을 거치는 동안에 망요소들의 자체 원더와 지터 등 여러 가지 요인들의 영향을 받아 실제 전송망의 동기원으로 제공되는 동기클럭 성능은 KRF 고유의 성능보다 저하되어 나타난다. 이중 지터성분은 협대역 PLL에 의해서 어느 정도 흡수될 수 있지만, 원더성분은 다단 연결된 노드에 의해 누적되어 클럭안정도에 영향을 주게 된다. 이에 따라 KRF와 DOTS, 그리고 NE(network element)에 대해서 자체적으로 발생하는 원더생성과 입력 및 출력클럭에 대한 클럭안정도를 규격으로

규정하여 제한하고 있다.

동기클럭 분배망을 통하여 분배된 동기클럭의 성능을 비교하고 특성을 이해하기 위해서는 먼저 적용되고 있는 동기클럭의 특성 파라미터를 알아야하고, 그리고 이를 활용하여 각각의 망요소에서 성능을 측정해야 한다. 그러나 이들을 측정하기 어렵기 때문에 시뮬레이션을 통하여 성능을 예측해야한다. 따라서 이와 같은 일련의 작업들을 수행하기 위해서는 우선 동기클럭의 수학적인 모델과 이를 바탕으로 한 망모형을 설정해야 한다. 따라서 ITU-T에서는 동기클럭의 수학적 모델[5, 13]을 권고하고 있다. 수학적 모델에서 클럭 특성변화는 이상적인 클럭신호와 실제의 클럭신호 간의 시간적인 편차로 나타낼 수 있다. 주어진 클럭의 시간함수 $T(t)$ 와 이상적인 시간함수 $T_{ref}(t)$ 사이의 시간오차 $x(t)$ 는 (1)식과 같이 쓸 수 있다. 여기서 x_0 는 초기 시간오차 음셋이며, f_0 는 클럭의 기준 주파수, y_0 는 초기 주파수 변동 성분, D 는 주파수 표류(drift)율이며, $\varphi(t)$ 는 랜덤 위상편차를 나타낸다.

$$x(t) = T(t) - T_{ref}(t) = x_0 + y_0 t + \frac{D}{2} t^2 + \frac{\varphi(t)}{2\pi f_0} \quad (1)$$

정규화된 주파수 변동(frequency fluctuation) $y(t)$ 는 (2)식과 같이 시간오차 함수를 미분함으로써 얻을 수 있다

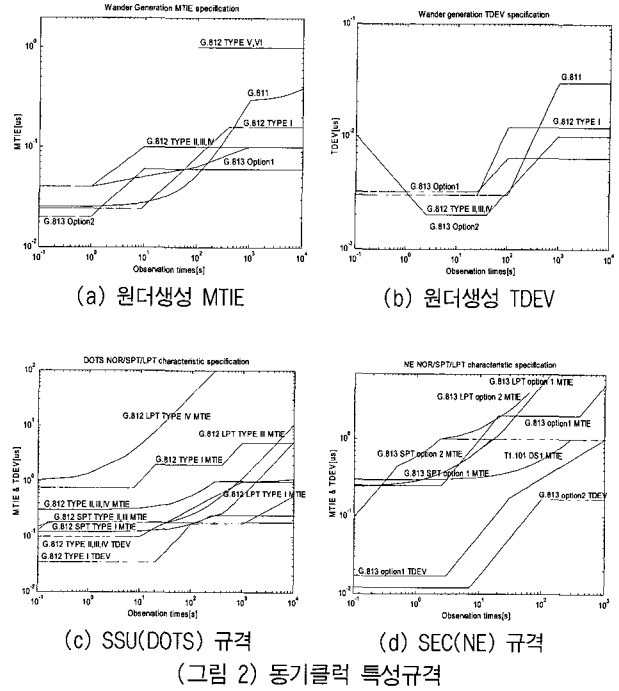
$$y(t) = \frac{f(t) - f_0}{f_0} = \frac{1}{2\pi f_0} \frac{d\Phi(t)}{dt} = \frac{dx(t)}{dt} \quad (2)$$

(1)식과 (2)식은 동기망이나 전송망의 클럭특성 변화 측정[14]에 직접 이용할 수 있다. 다만 y_0 와 D 는 규정될 수 있는 성분이지만 랜덤 위상편차인 $\varphi(t)$ 는 결정적 성분이 아니고 랜덤한 성분이기 때문에 클럭에서 나타나고 있는 다양한 클럭잡음 성분[16]을 적용해야만 클럭신호의 시간오차 모델을 적용할 수 있다.

4. 동기클럭 특성규격

일반적으로 동기클럭 안정도 특성을 측정하기 위하여 ITU-T나 ANSI의 동기클럭 규격에서는 MTIE와 TDEV를 중심으로 권고하여 사용하고 있다. MTIE는 클럭의 시간오차를 이용하여 임의의 관측시간에서 가장 큰 시간오차와 가장 작은 시간오차간의 차이인 최대 시간간격 편차, 즉 측정주기 내에서 모든 관측시간에서의 최대 TIE를 말한다[18]. TDEV는 표본 시간편차를 이용하여 지정된 횟수로 여러 번 측정된 분산을 평균한 것을 말한다.

동기망과 전송망에 적용되는 중요한 클럭규격은 모든 클럭의 소스인 PRC(G.811)와 동기클럭 공급장치인 DOTS(G.812), 그리고 망노드장치인 NE(G.813)에 관한 규격 등이다. 본 규격은 장치 입력규격과 장치 자체규격인 원더생성[6, 9]등이 적용된다. 여기서 원더생성은 입력 클럭잡음이 없다고 가정할 때 장치 내부에서만 발생하는 클럭잡음 성분을 말한다. 이러한 규격은 클럭상태에 따라 정상상태, 단기위상변위상태,



(그림 2) 동기클럭 특성규격

장기위상변위상태[7, 8]로 나누어서 규격치를 권고하고 있다. 정상상태는 동기원에 의해 정상적인 동기기능이 수행되는 상태를 말하고, SPT상태는 동기원 장애로 인해 홀드오버로 전환될 때나 혹은 홀드오버 상태에서 다시 차순위 동기원을 선택할 때 발생하는 15초 이내의 위상변위상태를 말한다. 그리고 LPT상태는 모든 동기원에 장애가 발생하여 홀드오버 상태가 15초 이상 지속되는 위상변위상태를 말한다. 지금까지 살펴본 세부적인 사항에 대한 ITU-T 동기클럭 규격은 (그림 2)에 나타나있다. (그림 2)의 (a)와 (b)는 각 계층별 자체 생성되는 잡음성분인 원더생성에 대한 규격을 MTIE와 TDEV로 나타낸 것이다. G.811[9]은 PRC 혹은 KRF에 적용되고, G.812[7]는 DOTS, 그리고 G.813[8]은 전송망 노드인 NE에 적용된다.(그림 2)의 (c)와 (d)는 클럭상태에 따른 SSU(DOTS)와 SEC(NE)의 출력클럭 특성규격이다. 여기서 정상상태 NE option2 MTIE규격은 아직 연구 중이기 때문에 미국 ANSI 규격[15]을 적용하였고, 그리고 PRC는 SPT와 LPT상태가 적용되지 않는다. 이중 본 논문에서는 많이 사용되는 G.812 TYPE 중 TYPE I과 G.813 option 1만을 고려한다. 이와 같은 동기클럭 규격은 SDH망뿐만 아니라 NG-SDH 망에서도 관련규격을 만족해야 한다.

5. 다양한 클럭상태에 따른 동기클럭 성능시뮬레이션

5.1 시뮬레이션 적용

NG-SDH 망은 다양하게 구축될 수 있지만 전송노드가 단형태로 연결되어 동기원 특성이나 전송노드 수와 클럭상태 등에 의해서 최악의 출력클럭 특성이 발생할 수 있는 선형망[16]이 특성분석에 적합하다. 선형망으로 구성된 NG-SDH 전송망의 모델을 수식으로 표현하면 (3)식으로 표현할 수

있고, 동기망은 (4)식으로 표현된다.

$$N_O^{(k)}(s) = (H_1(s))^k N_{IN}(s) + \sum_{n=1}^k (H_1(s))^{k-n} [N_{WG}^{(n)}(s) + N_{PT}^{(n)}(s)] \quad (3)$$

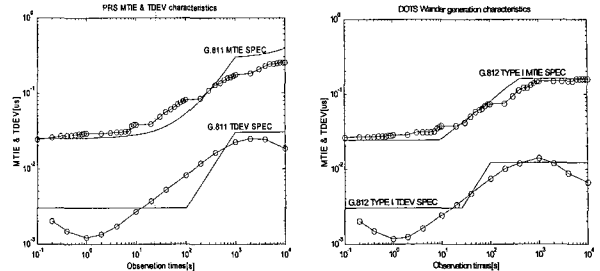
$$DT_O(s) = H_2(s)N_s(s) + DT_{WG}(s) + DT_{PT}(s) \quad (4)$$

여기서 $N_O^{(k)}(s)$ 는 k 번째 노드에서의 출력클럭잡음이고, $N_{IN}(s)$ 는 첫 번째 노드로 입력되는 입력클럭잡음이다. 또한 $H_1(s)$ 는 노드의 저역 통과필터 전달함수, $N_{WG}^{(n)}(s)$ 는 n 번째 노드의 원더생성, 그리고 $N_{PT}^{(n)}(s)$ 는 n 번째 노드의 단기 및 장기위상변위성분이다. 그리고 $DT_O(s)$ 는 동기망의 DOTS[17] 출력되는 동기원특성이고, $DT_{PT}(s)$ 는 DOTS의 위상변위성분, $DT_{WG}(s)$ 는 DOTS 원더생성, $N_s(s)$ 는 DOTS로 입력되는 동기클럭이다. 따라서 망의 입력 동기원인 $N_{IN}(s)$ [16, 18]와 원더생성과 클럭상태만 결정되면 NG-SDH 망노드의 클럭특성을 알 수 있다. 본 연구에서 적용한 원더생성은 (그림 3)에 나타나 있다. (그림 3) (a)는 PRC로 사용될 클럭잡음의 MTIE와 TDEV특성이며, G.811 규격을 적용하여 최대한 규격치에 근접하게 생성하였고, (b)와 (c)는 DOTS와 NE에서 자체생성 원더생성 성분으로 사용될 MTIE와 TDEV 클럭잡음 특성이다. 시뮬레이션에 적용되는 노드수는 NE망에 따라 i, j 및 k 로 적용된다. 만일 PRC(혹은 KRF)를 동기원으로 하는 선형 NG-SDH망(NE1)이 있다면 선형전송망의 노드수가 i 가 된다. 선형 NG-SDH망이 DOTS1에서 오는 동기원을 사용할 경우(NE2)에는 PRC에서 DOTS1까지의 노드수가 i 가 되고, 선형전송망의 노드수는 j 가 된다. DOTS2를 동기원으로 하는 선형전송망(NE3)은 PRC에서 DOTS1까지의 노드수가 i , DOTS1에서 DOTS2까지의 노드수가 j , DOTS2 클럭을 동기원으로 하여 구성된 선형전송망의 노드수가 k 로 적용된다. 클럭상태는 정상상태, 단기위상변위상태와 장기위상변위상태를 사용하여 NE와 DOTS에 모두 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

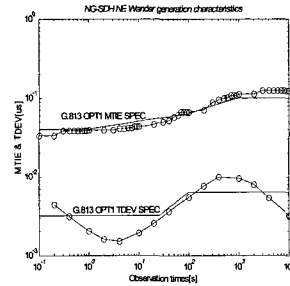
그리고 DOTS의 차단주파수는 0.1Hz, NE의 차단주파수는 1Hz로 사용하였고, 클럭 비트레이트는 선로신호인 40Gbps를 사용하였다. 지금까지 살펴본 특성 파라미터들을 이용하여 NG-SDH 선형전송망에 적용하여 시뮬레이션을 수행하고, 그 결과를 NE 특성규격과 비교하면 규격 만족하는 망 최대 노드수 결과를 얻을 수 있다.

5.2 정상상태 시뮬레이션

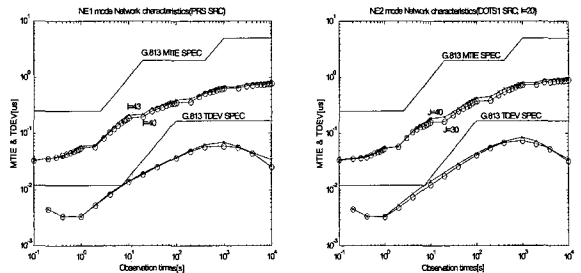
정상상태일 때 NG-SDH 망동기클럭 특성 시뮬레이션은 NE1, NE2, NE3 별로 수행하였다. 정상상태 시뮬레이션 결과는 (그림 4)에 나타나 있다. (그림 4) (a)는 PRC를 동기원으로 사용하는 NE1에서 i 가 40일 때와 43일 때의 노드클럭 MTIE 및 TDEV 특성이고, 모든 관측시간에서 얻어진 MTIE 값은 G.813의 MTIE 출력규격에는 크게 못 미쳤으나 TDEV 특성은 i 가 43일 때 7초의 관측시간에서 TDEV 출력규격을 만족하지 않는 것으로 나타나고 있다.



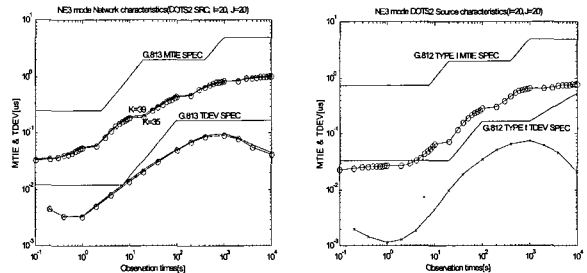
(a) PRC의 클럭잡음특성 (b) DOTS 원더생성



(c) NE 원더생성 (그림 3) 원더생성

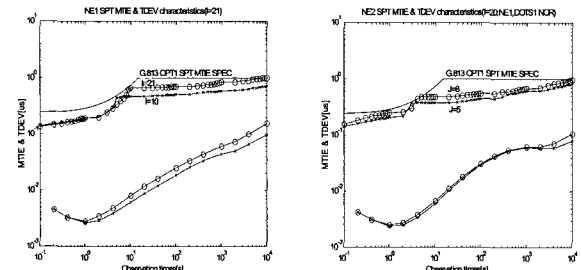


(a) i 가 40,43인 NE1특성 (b) j 가 30,40인 NE2특성($i=20$)

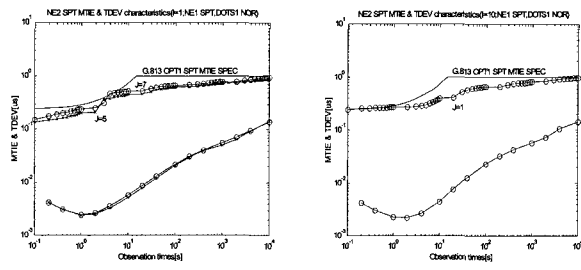


(c) k 가 35,39인 NE3특성($i,j=20$) (d) (c)경우의 DOTS2특성 (그림 4) 정상상태의 노드클럭특성

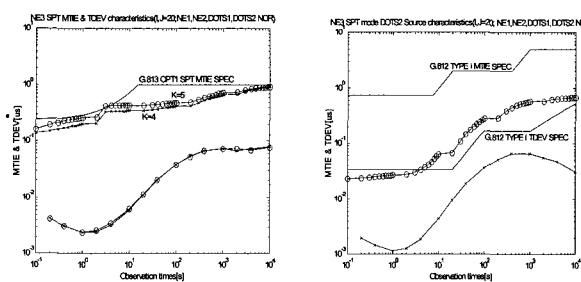
(그림 4) (b)는 i 가 20이고 j 가 30과 40일 때 노드클럭 특성을 나타낸 것으로 MTIE 특성은 G.813의 규격을 만족하지만 j 가 40일 때 7초의 관측시간에서 G.813의 TDEV규격을 만족하지 못하였다. (그림 4) (c)는 i, j 가 20인 DOTS2 동기원을 사용하였을 경우 k 가 35와 39일 때의 클럭특성이고, MTIE 특성은 모든 관측시간에서 G.813의 출력규격을 만족하고 있지만 TDEV 특성은 k 가 39일 때 TDEV 출력규격을 만족하지 못하였다. (그림 4) (d)는 (c)경우인 i, j 가 20인 DOTS2 동기원 클럭의 MTIE('o')와 TDEV('x') 클럭특성으로 G.812 TYPE I 규격을 모두 만족함을 볼 수 있다.



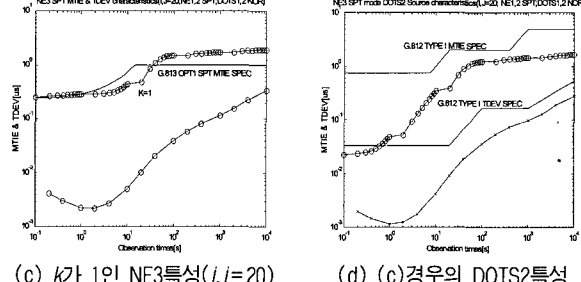
(a) i 가 10,21인 NE1특성 (b) j 가 5,8인 NE2특성($i=20$)



(a) j 가 5,7인 NE2특성($i=1$) (b) j 가 1인 NE2특성($i=10$)



(c) k 가 4,5인 NE3특성($i,j=20$) (d) (c)경우의 DOTS2특성
(그림 5) NENS SPT상태의 노드클럭특성



(c) k 가 1인 NE3특성($i,j=20$) (d) (c)경우의 DOTS2특성
(그림 6) NSNS SPT상태의 노드클럭특성

5.3 SPT상태 시뮬레이션

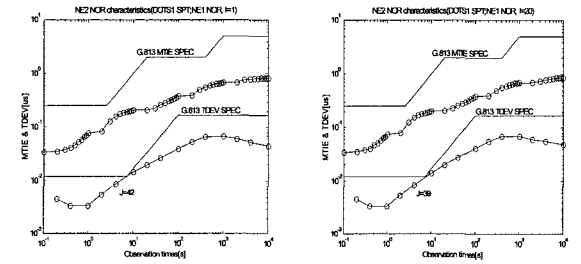
SPT상태는 NE와 DOTS에서 각각 일어날 수 있다. 따라서 발생할 수 있는 여러 가지 경우중 1) 최종단 전송망에만 SPT상태를 적용하고 중간단 전송망과 DOTS는 정상상태인 경우와 2) 전체 전송망을 SPT상태, DOTS는 정상상태인 경우, 3) 전체 DOTS는 SPT상태, 모든 전송망은 정상상태로 적용한 경우 등으로 가정하여 각각 시뮬레이션을 수행하였다.

5.3.1 최종단 전송망의 SPT상태 적용(NENS)

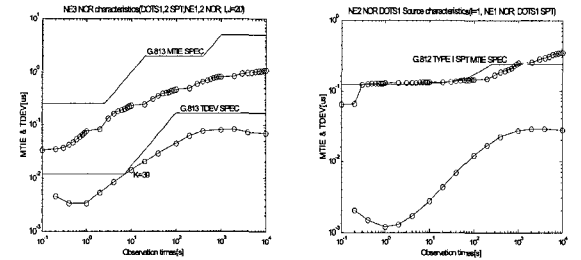
노드수 i 개를 가진 망에서의 SPT상태 적용은 가장 열악하게 나타날 수 있는 i 번째 노드에서 동기원 절체(PCR와 $i-1$ 노드간)가 발생한 경우에 해당되므로 i 번째 노드에서의 클럭성능을 구하여 SPT MTIE규격과 비교해야 한다. NENS SPT상태일 때 노드클럭 특성은 (그림 5)에 나타내었다. (그림 5) (a)는 i 가 10('x')과 21('o')일 때 MTIE와 TDEV(아랫부분 특성곡선) 특성이며, i 가 21일 때 관측시간 9000초에서 MTIE규격을 만족하지 않았다. SPT상태에 대한 TDEV규격은 권고하지 않고 있기 때문에 TDEV 특성은 결과값 만을 (그림 5) (a)의 아랫부분에 나타내었다. (그림 5) (b)는 NE2에서 i 가 20이고, j 가 5와 8일 때의 클럭특성이고, j 가 8일 때 MTIE규격을 만족하지 않았다. (그림 5) (c)는 i,j 가 20이고, k 가 4와 5일 때의 MTIE와 TDEV 특성이며, k 가 5일 때 6000초의 관측시간에서 MTIE규격을 만족하지 않음을 볼 수 있다. (그림 5) (d)는 (c)경우에서 정상상태인 DOTS2의 동기원 클럭특성이며, 이는 G.812 TYPE I 관련규격을 만족하였다.

5.3.2 전체 전송망의 SPT상태 적용(NSNS)

전체 전송망을 SPT상태로 적용하는 NSNS의 노드클럭 특성은 (그림 6)에 나타나 있다. (그림 6) (a)는 i 가 1이고, j



(a) j 가 42인 NE2특성($i=1$) (b) j 가 39인 NE2특성($i=20$)



(c) k 가 39인 NE3특성($i,j=20$) (d) (a)경우의 DOTS1특성
(그림 7) DSDS SPT상태의 노드클럭특성

가 5와 7일 때의 NE2 MTIE와 TDEV 특성이며, j 가 7일 때 G.813 OPT1 MTIE규격을 만족하지 않음을 볼 수 있다. 또한 (그림 6) (b)는 i 가 10이고, j 가 1일 때의 클럭특성이며, j 가 1일 때부터 MTIE규격을 만족하지 않았다. (그림 6) (c)는 i 와 j 가 20이고, k 가 1일 때의 NE3 MTIE와 TDEV 특성으로 k 가 1일 때부터 MTIE규격을 만족하지 못하였다. 그러나 (그림 6) (d)에서 (c)경우의 정상상태 DOTS2 동기원은 G.812 TYPE I MTIE 정상상태 규격을 만족하였다.

5.3.3 전체 동기클럭 분배장치의 SPT상태 적용(DSDS)

모든 DOTS를 SPT상태로 적용하는 DSDS 경우의 노드

클럭 특성은 (그림 7)에 나타나 있다. (그림 7) (a)는 NE2에서 DOTS1이 SPT상태, NE1과 NE2가 정상상태이고, i 가 1이고 j 가 42일 때의 MTIE와 TDEV 특성이며, j 가 42일 때 7초의 관측시간에서 G.813 정상상태 TDEV규격을 만족하지 않았다. (그림 7) (b)는 i 가 20이고 j 가 39일 때의 클럭특성이며, j 가 39일 때 TDEV규격을 만족하지 않음을 볼 수 있다.

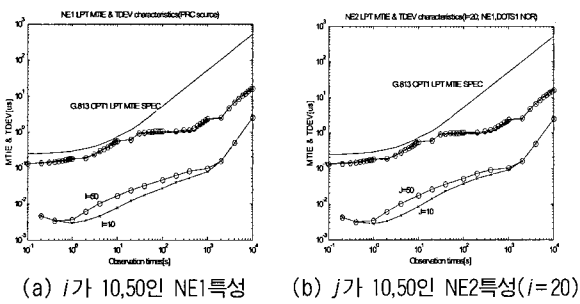
(그림 7) (c)는 i 와 j 가 20이고, k 가 39일 때의 클럭특성이며, k 가 39일 때 TDEV규격을 만족하지 않았다. (그림 7) (d)는 (a)경우에서 SPT상태인 DOTS1 동기원은 i 가 1일 때부터 G.812 TYPE I SPT MTIE규격을 만족하지 않았다.

5.4 LPT상태 시뮬레이션

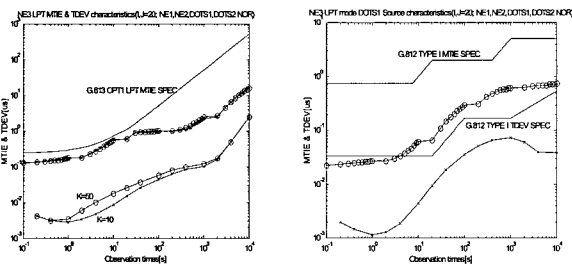
LPT상태를 반영한 시뮬레이션도 SPT상태와 동일하게 1) 최종단 전송망에만 LPT상태를 적용하고 중간단 전송망과 DOTS는 정상상태인 경우, 2) 전체 전송망을 LPT상태로 하고 DOTS는 정상상태인 경우, 3) 전체 DOTS를 LPT상태로 적용하고 모든 전송망은 정상상태인 경우로 나누어 수행하였다.

5.4.1 최종단 전송망의 LPT상태 적용(NENL)

최종단 전송망에만 LPT상태를 적용하고 중간단 전송망과 DOTS는 정상상태로 적용하였을 때의 노드클럭 특성은 (그림 8)에 나타나 있다. (그림 8) (a)는 i 가 10('x')과 50('o')일 때 NE1 MTIE와 TDEV 특성이며, i 가 50까지도 MTIE 규격을 만족하였다. 50개 이상의 노드수는 현실성이 떨어지기 때문에 시뮬레이션을 수행하지 않았다. 실제적으로 노드수가 증가하더라도 MTIE값의 증가는 아주 작음을 볼 수 있었다. TDEV 관련규격은 권고하지 않고 있다. (그림 8) (b)는 i 가 20이고, j 가 10과 50일 때의 NE2 클럭특성이며, j 가 50일 때도 MTIE규격을 만족하였다. (그림 8) (c)는 i, j 가 20이고, k 가 10과 50일 때의 MTIE와 TDEV 특성이나



(a) i 가 10,50인 NE1특성 (b) j 가 10,50인 NE2특성($i=20$)

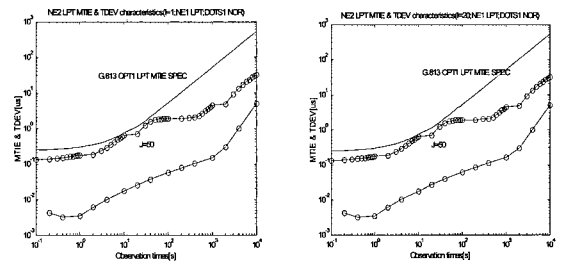


(c) k 가 10,50인 NE3특성($i,j=20$) (d) (c)경우의 DOTS2특성
(그림 8) NENL LPT상태의 노드클럭특성

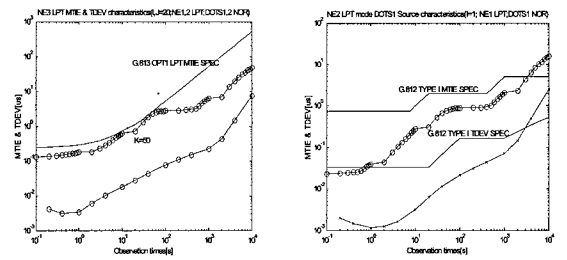
k 가 50일 때도 역시 MTIE규격을 만족하고 있음을 볼 수 있다. (그림 8) (d)는 (c)경우에서 정상상태인 DOTS2 동기원의 클럭특성이며, G.812 정상상태 규격을 만족하였다.

5.4.2 전체 전송망의 LPT상태 적용(NLNL)

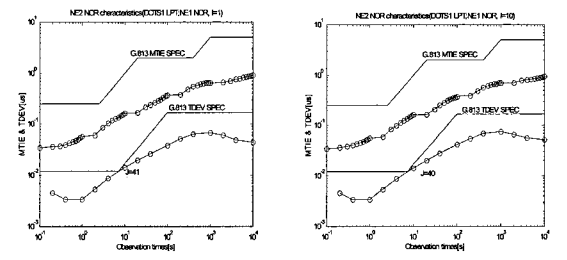
운용중인 모든 전송망을 LPT상태를 적용한 NLNL 경우의 클럭특성은 (그림 9)에 나타내었다. (그림 9) (a)는 i 가 1이고, j 가 50일 때의 NE2 MTIE와 TDEV 특성이며, j 가 50일 때는 모든 관측시간에서 G.813 OPT1 MTIE규격을 만족하였다. (그림 9) (b)는 h 가 20이고, j 가 50일 때의 노드클럭 특성이며, 역시 j 가 50일 때는 MTIE규격을 만족하였다. (그림 9) (c)는 i,j 가 20이고 k 가 50일 때의 클럭특성이지만



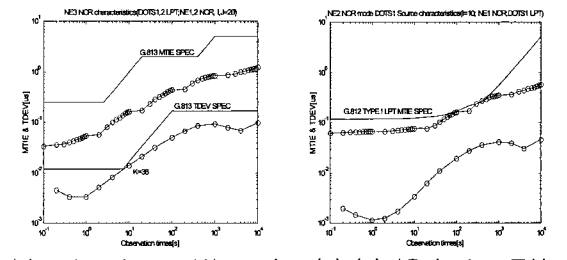
(a) j 가 50인 NE2특성($i=1$) (b) j 가 50인 NE2특성($i=20$)



(c) k 가 50인 NE3특성($i,j=20$) (d) (a)경우의 DOTS1특성
(그림 9) NLNL LPT상태의 노드클럭특성



(a) j 가 40인 NE2특성($i=1$) (b) j 가 40인 NE2특성($i=10$)



(c) k 가 38인 NE3특성($i,j=20$) (d) (b)경우의 DOTS1특성
(그림 10) DLNL LPT상태의 노드클럭특성

k 가 50이 되더라도 G.813 OPT1의 MTIE규격을 만족하였다. 그러나 (그림 9) (d)에서 (a)경우의 정상상태인 DOTS1 동기원은 G.812 TYPE I MTIE 규격치를 벗어났다.

5.4.3 전체 동기클럭 분배장치의 LPT상태 적용(DLDL)

모든 DOTS를 LPT상태로 적용하였을 때의 노드클럭 특성은 (그림 10)에 나타내었다. (그림 10) (a)는 i 가 1이고, j 가 41일 때의 노드클럭특성이며, j 가 41일 때 7초의 관측시간에서 G.813 TDEV규격을 만족하지 않았다. (그림 10) (b)는 i 가 10이고, j 가 40일 때의 노드클럭특성이며, j 가 40부터 규격을 넘어섰다.

(그림 10) (c)는 i, j 가 20이고 k 가 38일 때의 MTIE와 TDEV 특성이며, k 가 38일 때 정상상태 G.813 TDEV규격을 만족하지 않았다. (그림 10) (d)는 (b)경우인 DOTS1 동기원이 G.812 SPT MTIE규격을 넘어섰다.

5.5 시뮬레이션 결과분석

지금까지 다양한 클럭상태별로 수행한 시뮬레이션을 통해 NE1, NE2, NE3 별 동기원 클럭특성과 노드수에 따른 NGSDH 노드클럭의 MTIE 및 TDEV 특성 등의 결과를 얻었다. 먼저 (그림 4)의 정상상태에서 살펴볼 때 망노드클럭 MTIE와 TDEV 특성은 노드수를 거침에 따라 특성값이 조금씩 증가하였고, TDEV 값에 의해서 노드수가 제한되고 있음을 볼 수 있었다. 정상상태에서의 NE별 최대 노드수는 <표 1>에 나타내었다. 여기서 본 논문에 수록하지 못한 많은 시뮬레이션 결과도 포함하였다. 정상상태에서 망을 구성할 수 있는 최대 노드수는 NE1, NE2, NE3일 경우 각각 42개, 42개에서 39개, 40개에서 38개로 나타났고, 노드수가 증가하더라도 최대 노드수는 크게 감소하지 않았다. 이는 노드에 의한 누적성분이 작고, DOTS 동기원 클럭특성도 크게 영향을 끼치지 않음을 알 수 있었다.

(그림 5)에서 (그림 7)까지의 SPT상태일 때 최대 노드수 도출 결과는 <표 2>에 나타나있다. <표 2> (a)에서 최종단 NE망을 SPT상태로 적용할 경우의 최대 노드수는 NE망별로 20개, 19개에서 7개, 18개에서 4개로 나타나고 있으며, 정상상태에 비해서, 그리고 i, j 의 노드수가 증가함에 따라 규격을 만족하는 노드수가 많이 감소하였다. 이는 SPT상태가 노드클럭 특성에 많은 영향을 주고 있음을 알 수 있었다.

<표 2> (b)는 모든 NE망을 SPT상태로 적용하였을 경우이며, NE2일 경우 i 가 1에서 5까지는 규격 만족 노드수가 6개, 4개로 감소하였고, i 가 10부터는 j 가 1인 노드부터 NE SPT규격을 만족하지 않았으며, NE3일 경우 i 와 j 가 1일 때 k 가 1부터 만족하지 않았다. 따라서 모든 NE망에 SPT상태가 발생하면 규격만족 노드수가 크게 감소하였고, 최악의 경우 규격만족 노드수가 존재하지 않음을 알 수 있었다. 그러나 분배되어진 DOTS 동기원은 모두 규격을 만족하였다. <표 2> (c)는 모든 DOTS만을 SPT상태로 적용하였을 경우이며, NE2일 때 규격만족 노드수는 41개에서 38개, NE3일 때 40개에서 38개로 나타났다. 이는 정상상태와 비교해볼 경우 DOTS만 SPT상태로 변화하더라도 최대 노드수는 거의

<표 1> 정상상태에서의 최대 노드수

형태	NE1	NE2					NE3				
		DOTS1					DOTS2				
동기원	PRC	$i=1$	$i=5$	$i=10$	$i=15$	$i=20$	$i, j=1$	$i, j=5$	$i, j=10$	$i, j=15$	$i, j=20$
노드수	42	42	40	40	39	39	40	39	39	39	38

<표 2> SPT상태에서의 최대 노드수
(a) 최종단 전송망의 SPT상태 적용(NENS)

형태	NE1	NE2(SPT)					NE3(SPT)				
		DOTS1(NOR)					DOTS2(NOR)				
동기원	PRC	$i=1$	$i=5$	$i=10$	$i=15$	$i=20$	$i, j=1$	$i, j=5$	$i, j=10$	$i, j=15$	$i, j=20$
노드수	20	19	18	15	14	7	18	15	11	8	4
조건	SPT	NE1 NOR					NE1, DOTS1 NOR				

(b) 전체 전송망의 SPT상태 적용(NSNS)

형태	NE1	NE2(SPT)					NE3(SPT)				
		DOTS1(NOR)					DOTS2(NOR)				
동기원	PRC	$i=1$	$i=5$	$i=10$	$i=15$	$i=20$	$i, j=1$	$i, j=5$	$i, j=10$	$i, j=15$	$i, j=20$
노드수	20	6	4	1<	1<	1<	1<	1<	1<	1<	1<
조건	SPT	NE1 SPT					NE1, NE2 SPT, DOTS1 NOR				

(c) 전체 DOTS의 SPT상태 적용(DSDS)

형태	NE1	NE2(NOR)					NE3(NOR)				
		DOTS1(SPT) ($i=1$ 부터 규격초과)					DOTS2(SPT) ($i, j=1$ 부터 규격초과)				
동기원	PRC	$i=1$	$i=5$	$i=10$	$i=15$	$i=20$	$i, j=1$	$i, j=5$	$i, j=10$	$i, j=15$	$i, j=20$
노드수	42	41	40	39	39	38	40	39	39	38	38
조건	NOR	NE1 NOR					NE1, NE2 NOR, DOTS1 SPT				

<표 3> LPT상태에서의 최대 노드수
(a) 최종단 전송망의 LPT상태 적용(NENL)

형태	NE1	NE2(LPT)					NE3(LPT)				
		DOTS1(NOR)					DOTS2(NOR)				
동기원	PRC	$i=1$	$i=5$	$i=10$	$i=15$	$i=20$	$i, j=1$	$i, j=5$	$i, j=10$	$i, j=15$	$i, j=20$
노드수	50≥	50≥	50≥	50≥	50≥	50≥	50≥	50≥	50≥	50≥	50≥
조건	LPT	NE1 NOR					NE1, DOTS1 NOR				

(b) 전체 전송망의 LPT상태 적용(NLNL)

형태	NE1	NE2(LPT)					NE3(LPT)				
		DOTS1(NOR)					DOTS2(NOR)				
동기원	PRC	$(i=1$ 부터 규격초과)					$(i, j=1$ 부터 규격초과)				
동기원	PRC	$i=1$	$i=5$	$i=10$	$i=15$	$i=20$	$i, j=1$	$i, j=5$	$i, j=10$	$i, j=15$	$i, j=20$
노드수	50≥	50≥	50≥	50≥	50≥	50≥	50≥	50≥	50≥	50≥	50≥
조건	LPT	NE1 LPT					NE1, NE2 LPT, DOTS1 NOR				

(c) 전체 DOTS의 LPT상태 적용(DLDL)

형태	NE1	NE2(NOR)					NE3(NOR)				
		DOTS1(LPT) ($i=10$ 부터 규격초과)					DOTS2(LPT) ($i, j=5$ 부터 규격초과)				
동기원	PRC	$i=1$	$i=5$	$i=10$	$i=15$	$i=20$	$i, j=1$	$i, j=5$	$i, j=10$	$i, j=15$	$i, j=20$
노드수	42	40	39	39	38	38	39	39	38	38	37
조건	NOR	NE1 NOR					NE1, NE2 NOR, DOTS1 LPT				

차이가 없어서 이에 대한 영향이 미미함을 알 수 있었다. 그러나 모든 경우에서 DOTS SPT규격을 넘어서고 있어서 전반적으로 DOTS SPT규격도 엄격함을 볼 수 있었다.

(그림 8)에서 (그림 10)까지의 LPT상태일 경우에 대한 최대 노드수는 <표 3>에 나타내었다. <표 3> (a)에서 최종단 NE망을 LPT상태로 적용할 경우 최대 노드수는 모두 50개 이상까지로 나타나고 있다. <표 3> (b) 결과에서 모든 전송망

을 LPT상태로 적용하더라도 50개까지의 최종단 전송망은 모두 LPT 상태규격을 만족하였다. 그러나 DOTS는 NE LPT 상태로 인하여 정상상태 규격을 만족하지 못하여서 동기클럭 분배망상의 NE LPT는 DOTS에 아주 큰 영향을 주고 있음을 알 수 있었다. <표 3> (c)는 모든 DOTS를 LPT 상태로 적용하였을 경우이며, 규격 만족 전송망 노드수는 NE2일 경우 40개에서 38개, NE3일 경우 39개에서 37개로 나타났지만 SPT와 비교해봤을 때 최대 노드수는 1개 정도나 혹은 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 DOTS LPT규격이 SPT에 비해서 비교적 여유가 있음을 볼 수 있다. 정상상태 결과와 비교해보면 규격만족 노드수는 2개나 혹은 1개 정도의 차이밖에 없어서 DOTS만의 LPT 상태변화는 전송망 노드수에 대한 영향이 크지 않음을 알 수 있다. 그러나 DOTS 동기원은 i 가 10과 j 가 10이상부터 DOTS LPT규격을 만족하지 않아서 DOTS 클럭성능 관리가 절대적으로 필요함을 볼 수 있었다.

6. 결 론

본 논문은 NG-SDH망에서 정상상태와 SPT상태 및 LPT 상태 등 다양한 클럭상태에 따른 동기클럭 특성분석과 최대 망노드수 도출을 위한 연구를 수행하는 것이다. 이에 따라 NG-SDH망에 적용할 수 있는 동기기능 블록을 살펴보고, 동기클럭 잡음모델과 다양한 클럭상태 등에 대해서 연구하였으며, 망에서 나타날 수 있는 다양한 클럭상태에 대한 시뮬레이션을 수행하여 결과를 얻었다. 정상상태에서 망노드클럭 MTIE와 TDEV 특성은 노드수 증가에 따라 클럭잡음 누적으로 특성값이 조금씩 증가하였고, MTIE 규격값보다 TDEV 값에 의해서 노드수가 제한되었고, 최대 노드수는 NE1, NE2, NE3일 경우 각각 42개, 42개에서 39개, 40개에서 38개로 나타났으며, i 와 j 의 노드수가 증가하더라도 최대 노드수는 크게 감소하지 않았다. SPT상태에서 최종단 NE망을 SPT상태로 적용할 때 최대 망노드수는 19개에서 4개까지로 정상상태에 비하여 많이 감소하였고, 모든 NE망에서 SPT상태가 발생하면 규격만족 노드수가 크게 감소하였고, 최악의 경우 규격만족 노드수가 존재하지 않음을 알 수 있었으나 DOTS만 SPT상태로 변하면 규격만족 노드수는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. LPT상태에서 최종단 NE망을 LPT상태로 적용할 경우 최대 노드수는 모두 50개 이상까지로 나타났고, 모든 NE망을 LPT상태로 적용하더라도 동일한 결과를 얻었으며, 모든 DOTS를 LPT상태로 적용하였을 경우 SPT상태나 정상상태에 비해 규격만족 전송망 노드수에 대한 영향이 크지 않음을 알 수 있었다. 본 논문결과는 40Gb/s급 NG-SDH 전송장비의 동기기능 개발과 NG-SDH 망설계에 설계기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 판단되고, 그 외의 다양한 NG-SDH 전송장비 개발에도 유용하게 활용할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] Dirceu Cavendish *et al.*, "Next Transport Services for Next Generation SONET/SDH Systems," *IEEE Communications*

Magazine, pp.80~87, May. 2002.

[2] ITU-T G.707/Y.1322, "Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH)," August. 2002.
 [3] ITU-T Draft Recommendation G.7041, "Generic framing procedure(GFP)," Dec. 2001.
 [4] ITU-T Draft Recommendation G.7042, "Link capacity adjustment scheme(LCAS) for virtual concatenated signals," August. 2002.
 [5] ITU-T Recommendation G.810, "Definitions and terminology for synchronization networks," Sept. 1997.
 [6] ANSI Draft T1.105.09, "Network element timing and synchronization," 1995.
 [7] ITU-T Recommendation G.812, "Timing requirements of slave clocks suitable for use as node clocks in synchronization networks," March. 2005.
 [8] ITU-T Recommendation G.813, "Timing characteristics of SDH equipment slave clocks(SEC)," March. 2003.
 [9] ITU-T Recommendation G.811, "Timing characteristics of primary reference clock," Sept. 1997.
 [10] 이창기, "NG-SDH 망동기에 관한 연구", 한국전자통신연구원 최종연구보고서, 2004년 11월.
 [11] ITU-T Recommendation G.783, "Characteristics of synchronous digital hierarchy (SDH) equipment functional blocks," 1997.
 [12] 이창기, 홍재근, "동기식 전송망에 적용되는 DP-PLL특성에 관한 연구", 한국통신학회 논문지, 제22권, 제6호, pp.1289~1301, 1997년 6월.
 [13] G. Garner, "Noise accumulation in synchronization reference chains," *Contribution to T1 Standard Project*, T1X1.3/95-044, 1995.
 [14] 이창기, "동기망과 동기식 전송망에서의 동기클럭 단기안정 특성 분석", 한국정보처리학회 논문지, 제8-C권, 제3호, pp.299~309, 2001년 6월.
 [15] ANSI Revised Draft T1.101, "Synchronization interface standard," 1999.
 [16] 이창기, 홍재근, "동기식 선형망에서의 망동기 클럭 특성 분석에 관한 연구", 한국통신학회 논문지, 제22권 제9호, pp.2062~2073, 1997.
 [17] 한국전기통신공사, 디지털 클럭 공급장치(DOTS) 설명서, 1988.
 [18] 이창기, "동기망과 전송망에서의 동기클럭 성능분석을 위한 시뮬레이터 개발", 한국정보처리학회 논문지, 제11-C권, 제1호, pp.123~134, 2004년 2월.

이 창 기

e-mail : cklee@uu.ac.kr
 1984년 경북대학교 전자공학과(학사)
 1986년 경북대학교 전자공학과(석사)
 1987년~1998년 한국전자통신연구원 광통신연구부 선임연구원
 1998년 경북대학교 전자공학과(박사)



1999년~현재 위덕대학교 정보통신공학과 부교수
 관심분야: SDH, WDM 전송시스템