

전송망에서의 망동기클럭 성능 분석 시뮬레이터에 관한 연구

이창기*

*위덕대학교 정보통신공학부
e-mail: cklee@mail.uiduk.ac.kr

A Study on Simulator for Performance Analysis of Synchronization Clock in SDH Transmission Network

Chang-Ki Lee*

*Div. of Information & communication Engineering, Uiduk
University

요 약

동기식 전송망에서는 다양한 동기클럭 성능과 상태가 나타날 수 있고, 이는 전송성능에 영향을 줄 수 있기 때문에 전송망 설계에 필요한 최대노드수의 변화가 생길 수 있다. 이에 따라 전송망에서 다양한 클럭성능과 상태를 적용할 수 있는 시뮬레이터가 요구된다. 따라서 본 논문에서는 전송망 동기클럭 시뮬레이터를 살펴보고, 또한 이를 이용하여 NE 노드에 따른 동기클럭 특성과 최대 노드수 결과를 얻었다. 본 연구 결과를 통해 볼 때 NE 노드의 성능보다 동기원의 성능이 최대 노드수에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있었다.

1. 서론

동기식 전송기술인 SDH(synchronous digital hierarchy) [1] 전송망에서의 동기클럭 성능은 데이터 전송 보장과 망 안정성 확보 측면에서 아주 중요한 요소이다. 동기식 전송망의 망동기는 PRS(primary reference source) 혹은 KRF(Korea reference frequency)에서 제공되는 최초 동기원과 SSU(synchronization supply unit) 혹은 DOTS(digital office timing supply)클럭을 전송망에 제공함으로써 실현된다. 이와 같은 망동기 상태에서도 동기클럭이 상실 혹은 절체되거나 망상 지터나 윈더 등의 원인으로 동기클럭에 단기적인 특성변화가 발생할 수 있다. 이는 데이터 전송 성능에 심각한 영향을 줄 수 있어서 동기클럭 단기적 변동성분을 제한하기 위하여 MTIE[2](maximum time interval error)와 TDEV[2](time deviation)을 활용하여 ITU-T 동기클럭 관련 규격인 G.811[3], G.812[4], G.813[5] 등을 수정 보완하였고, 계속 보완될 예정에 있다.

동기클럭 특성을 분석하려면 윈더생성, 차단주파수, 클럭상태와 노드수 등의 파라미터가 필요하다[13]. 여기서 클럭상태는 정상상태(normal state)와 단기위상변위상태(short-term phase transient state; SPT) 및 장기위상변위상태

(long-term phase transient state; LPT) 등이 있다[4]. 이와 같은 다양한 파라미터를 적용하여 전송망의 동기클럭 특성을 분석할 수 있는 시뮬레이터가 있으면 다양한 환경에서 나타날 수 있는 클럭특성과 그리고 이에 따른 전송망을 구성할 수 있는 최대 노드수를 도출할 수 있다. 동기클럭에 관한 지금까지의 연구 결과는 클럭잡음의 특성 및 측정에 관한 기초적인 연구와 망을 고려한 연구가 수행되었지만 [8-15] 전송망 시뮬레이터에 대한 연구가 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 논문에서는 실제 전송망에서 나타날 수 있는 다양한 클럭의 윈더생성과 노드수 및 클럭상태에 따라 전송망의 동기클럭 특성을 분석할 수 있는 전송망 동기클럭 시뮬레이터를 소개하고, 이를 활용하여 다양한 환경에서의 동기클럭 특성을 분석하고, 이에 따르는 최대 망노드수를 알아본다.

2. 전송망의 동기클럭과 특성규격

동기식 전송망은 그림 1에서와 같이 PRS, DOTS등에서 공급되어지는 동기클럭에 의해서 망동기가 이루어진다. 이와 같은 전송망은 다양한 토폴로지를 가지지만 이중 환형(Ring)이나 선형(Linear)망에서 자체 윈더 및 지터 등의 성분 누적이 가장 크게 나타나며, 이에 따라 공급되

는 동기클럭은 전송노드(NE; network element)를 거치면서 클럭성능이 저하되어 나타나게 된다. 따라서 ITU-T에서는 PRS와 DOTS, 그리고 NE에 대해서 자체적으로 발생하는 원더생성과 입력 및 출력 클럭에 대한 클럭특성을 규격으로 규정하여 제한하고 있다.

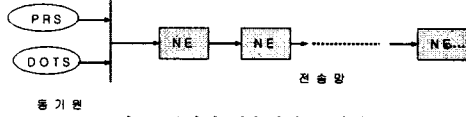
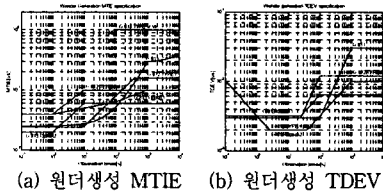


그림 1. 동기식 전송망의 동기원

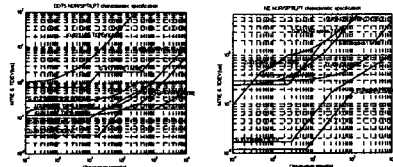
동기클럭의 성능을 분석하기 위하여 전송망에서 사용되고 있는 클럭신호의 시간편차 $x(t)$ 가 활용되며, (1)식과 같이 쓸 수 있다[2]. 여기서 f_0 는 기준주파수, ϕ_0 는 초기 위상오프셋, y_0 는 기준주파수의 fractional 주파수 오프셋, x_0 는 초기 시간편차 오프셋, D 는 주파수 드리프트율, $\phi(t)$ 는 랜덤 위상편차 등을 말한다. 랜덤하게 발생하는 위상편차 성분은 WPM, FPM과 WFM 등의 잡음이 포함되어 있다 [9,10,13].

$$x(t) = x_0 + y_0 t + \frac{D}{2} t^2 + \frac{\phi(t)}{2\pi f_0} \quad (1)$$

(1)식을 이용하면 실제 망에서 나타나는 다양한 클럭잡음에 의한 동기클럭 특성을 분석할 수 있다. 동기클럭의 성능을 측정하기 위하여 ITU-T에서는 MTIE와 TDEV를 이용한다. MTIE는 임의의 관측시간에서 클럭의 최대 시간간격 편차를 말하고, TDEV는 표본 시간편차를 이용하여 지정된 횟수로 여러 번 측정된 분산을 평균한 것을 말한다[2]. 전송망에서의 클럭상태는 일반적인 정상상태와 동기원 절체 등에 의한 단기위상변위상태, 그리고 동기원 장애로 인한 장기위상변위상태 등으로 나타난다[4,5]. 이와 같은 클럭상태들은 망에서 항상 발생할 수 있으며, 또한 이로 인하여 불규칙적인 포인터 조정이 많이 발생하여 망 성능에 영향을 주기 때문에 ITU-T에서는 각 상태에 따른 클럭성능을 MTIE와 TDEV를 이용하여 규격으로 제한하고 있다. 그리고 PRS, DOTS와 NE의 자체 잡음 생성성분인 원더생성(wander generation)을 MTIE와 TDEV로 제한하고 있다. ITU-T에서 권고하고 있는 원더생성과 클럭상태에 따른 규격[3-5]은 그림 2에 나타나 있다. 그림 2의 (a)와 (b)는 PRS, DOTS, NE에 대한 원더생성 MTIE와 TDEV규격이고, 그림 2(c)와 (d)는 클럭상태에 따른 DOTS와 NE의 출력클럭 특성규격을 나타내고 있다.



(a) 원더생성 MTIE (b) 원더생성 TDEV



(c) DOTS 규격 (d) NE 규격

그림 2. 동기클럭 특성규격

3. 전송망 동기클럭 시뮬레이터

전송망 동기클럭 시뮬레이터에 적용되는 파라미터는 노드 모델[12]의 원더생성, 클럭상태와 노드수 등이 있다. 이를 활용하여 전송망 클럭모델 시뮬레이터는 그림 3과 같이 구성하였다. 여기서 PRS, DOTS, NE의 원더생성, 클럭상태와 노드수를 선택하면 원하는 노드와 최종노드의 MTIE/TDEV 특성을 얻을 수 있다.

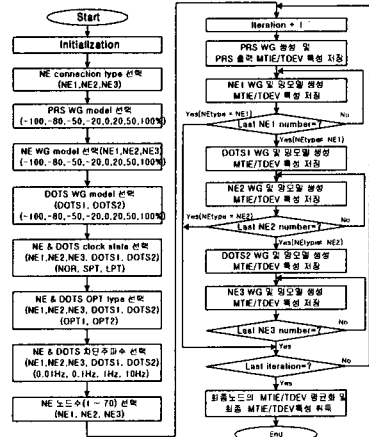
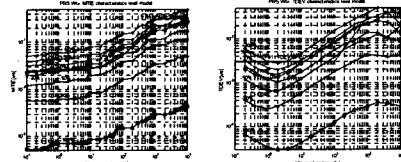
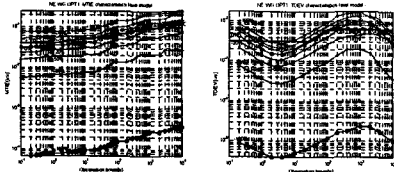


그림 3. 전송망 동기클럭 시뮬레이터

클럭잡음을 생성할 때는 랜덤한 잡음을 사용하기 때문에 10회 반복측정 후 평균 처리하도록 되어있다. 그리고 원더생성은 전송망에서 다양한 성능을 가지고 나타나기 때문에 이를 시뮬레이터에 반영하기 위하여 그림 4와 같이 PRS, NE, 별로 해당규격의 -100%, -80%, -50%, -20%, 0%, 20%, 50%와 100% 등 모두 8가지의 모델을 각각 설정하였다. 클럭상태는 정상상태, SPT와 LPT상태에서 선택할 수 있다. 그리고 노드수는 최대 70개까지 사용할 수 있다.



(a) PRS MTIE (b) PRS TDEV

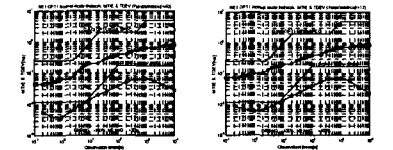


(c) NE MTIE (d) NE TDEV

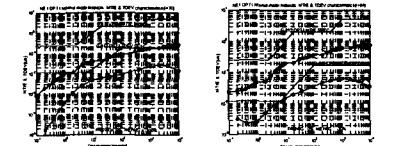
그림 4. 원더생성 모델

4. 시뮬레이션 수행 및 결과분석

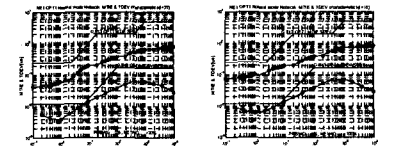
전송망에서의 망동기클릭 성능분석 시뮬레이터를 통해 원하는 원더생성, 노드수, 클릭상태 등의 입력상태에 따른 최종 출력 클릭성능을 얻을 수 있다. 본 논문에서는 PRS를 소스로 하는 경우만 고려하고, 이에 따라 얻어진 클릭성능은 그림 2와의 비교를 통해서 ITU-T 규격에 만족 여부를 확인할 수 있고, 또한 규격을 만족하는 최대 노드수의 결과를 얻을 수 있다. 본 시뮬레이터에서 적용되는 식 (1)의 x_0 , y_0 , D 값은 $120ns$, $50ns/s$, $1.16 \times 10^{-4} ns/s^2$ 으로 적용하였다. PRS를 동기원으로 하고, i 개의 NE 노드를 통과한 정상상태에서의 클릭특성은 그림 5에서 그림 7까지 나타나 있다. 그림 5는 NE를 최상의 경우인 -100%로 하고 PRS 모델을 -100%, -20%, +20%, +100%로 사용하였을 때 노드수 i 에 따른 MTIE/TDEV 클릭특성이다. 그 결과는 -100%일 경우 70, -20%일 경우 68, +20%일 경우 40, +100%일 경우 17개 까지 표준규격을 만족하였다. 그림 6는 NE를 0%로 사용할 경우이며, PRS 성능에 따라 70(-100%), 64(-20%), 37(+20%), 16(+100%)개로 나타나고 있고, 그림 7의 +100%에서는 70(-100%), 56(-20%), 34(+20%), 15(+100%)개로 나타남을 볼 수 있다. 지금까지의 결과와 기타 다양한 클릭성능에 따른 NE에서의 최대노드수를 정리한 결과는 표 1에 나타나 있다. 그림 8은 SPT와 LPT상태에서의 NE 클릭성능이다. 그림 8(a)는 SPT상태에서 가장 최악의 상태인 +100% PRS와 +100%를 사용할 때의 최대 노드수이고, i 가 9까지 규격값을 만족하였다. 그림 8(b)도 LPT상태에서 가장 최악의 상태인 +100% PRS와 +100%를 사용할 때 i 가 70에서도 표준규격을 만족하고 있는 것으로 나타났다. 그의 다양한 클릭 원더생성에서 SPT상태와 LPT상태에 대한 최대 노드수는 표 2와 표 3에 나타나 있다. 여기서 '70+'는 70개의 노드를 사용하더라도 규격치를 만족한다는 것이다. 본 논문에서 제시된 표 1, 표 2와 표 3의 모든 경우에 대한 MTIE 및 TDEV 클릭성능 결과 그림은 방대한 량으로 인해 본 논문에 게재하지 못하였다.



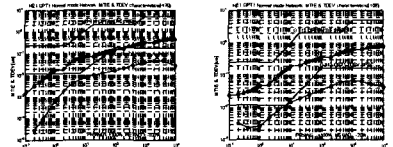
(c) +20% PRS, $i=40$ (d) +100% PRS, $i=17$
그림 5. 정상상태에서의 NE 클릭특성(-100%)



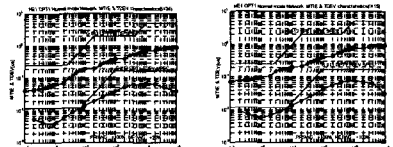
(a) -100% PRS, $i=70$ (b) -20% PRS, $i=64$



(c) +20% PRS, $i=37$ (d) +100% PRS, $i=16$
그림 6. 정상상태에서의 NE 클릭특성(0%)



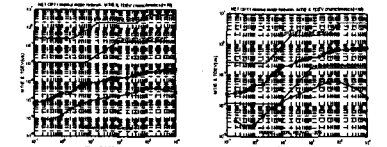
(a) -100% PRS, $i=70$ (b) -20% PRS, $i=56$



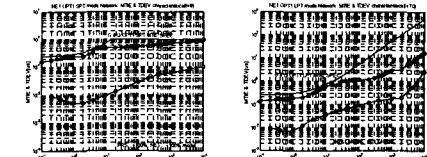
(c) +20% PRS, $i=34$ (d) +100% PRS, $i=15$
그림 7. 정상상태에서의 NE 클릭특성(+100%)

표 1. NE 정상상태에서의 최대 노드수

PRS \ NE	-100%	-50%	-20%	0%	+20%	+50%	+100%
-100%	70+	70+	68	45	40	26	17
-50%	70+	70+	66	44	39	26	17
0%	70+	70+	64	42	37	26	16
50%	70+	70+	60	40	36	25	16
100%	70+	70+	56	38	34	23	15



(a) -100% PRS, $i=70$ (b) -20% PRS, $i=68$



(a) SPT, 100% PRS, $i=9$ (b) LPT, 100% PRS, $i=70$
그림 8. SPT/LPT상태에서의 NE 클릭특성(100%)

표 2. NE SPT상태에서의 최대 노드수

PRS NE	-100%	-50%	-20%	0%	+20%	+50%	+100%
-100%	38	31	26	23	21	18	15
-50%	35	29	26	22	21	17	14
0%	30	26	23	22	19	16	13
50%	27	24	21	18	18	16	11
100%	22	20	18	16	15	14	9

표 3. NE LPT상태에서의 최대 노드수

PRS NE	-100%	-50%	-20%	0%	+20%	+50%	+100%
-100%	70+	70+	70+	70+	70+	70+	70+
-50%	70+	70+	70+	70+	70+	70+	70+
0%	70+	70+	70+	70+	70+	70+	70+
50%	70+	70+	70+	70+	70+	70+	70+
100%	70+	70+	70+	70+	70+	70+	70+

지금까지 다양한 원더생성과 상태에 따른 NE의 클럭특성과 최대 노드수 결과를 살펴보았다. 정상상태인 그림 5에서 그림 7까지의 결과와 표 1을 통해 살펴보면 전반적으로 클럭성능이 악화되면 만족하는 최대노드수가 감소하는 것을 볼 수 있다. 또한 고정된 NE 성능에서 PRS 클럭성능이 좋지 않을 경우 -20%에서부터 최대 노드수가 비교적 많이 감소하였다. 그러나 고정된 PRS성능을 사용하고 NE1의 성능을 악화시킬 경우에는 최대 노드수의 감소폭이 고정된 NE 성능을 사용할 때보다 크지 않음을 볼 수 있다. SPT상태인 그림 8(a)와 표 2에서는 정상상태와 동일하게 전반적으로 성능이 악화되면 만족하는 최대노드수도 감소하였으나, 정상상태에 비해서 클럭성능이 좋은 환경에서 감소폭이 크고, 클럭성능이 좋지 않은 환경에서는 최대노드수의 감소폭이 작음을 볼 수 있다. LPT상태에서는 모든 조건에서 70개 이상에서도 표준규격을 만족함을 볼 수 있다. 따라서 전체적으로 ITU-T 표준규격이 SPT상태, 정상상태, LPT상태 순으로 규격이 엄격히 적용되고 있음을 볼 수 있어서 상태에 따른 규격 불균형이 나타나고 있다. 그리고 본 결과를 통해 볼 때 고정된 PRS 성능보다 고정된 NE성능일 때 최대노드수의 감소폭이 크다는 것은 NE 노드의 성능보다 동기원의 성능이 최대 노드수에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있었다.

5. 결 론

동기식 전송망에서는 다양한 클럭성능과 상태가 나타날 수 있다. 이는 전송성능에 영향을 줄 수 있기 때문에 전송망 설계에 필요한 최대노드수의 변화가 생길 수 있다. 이에 따라 전송망에서 다양한 클럭성능과 상태를 적용할 수 있는 시뮬레이터가 요구된다. 따라서 전송망에서 적용할 수 있는 시뮬레이터를 살펴보고, 또한 이를 이용하여 NE 노드에 따른 동기클럭 특성과 최대 노드수 결과를 얻었다. 본 연구 결과를 통해 볼 때 NE 노드의 성능보다 동기원의 성능이 최대 노드수에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있어서 최대 노드수를 증가시키려면 클럭성능을 개선하여야 하고, 또한 전송망의 노드성능보다 동기원 성능을 개선시킬 수

있도록 설계해야 할 것이다. 본 논문에서 얻어진 시뮬레이터와 이에 따른 연구결과는 기존 SDH망, WDM망뿐 아니라 NG-SDH 장치 개발과 망 설계 연구 등에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] ITU-T Recommendation G.707, "Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH)," August 2002.
- [2] ITU-T Draft Recommendation G.810, "Definition and terminology for synchronization network," Nov. 2001.
- [3] ITU-T Draft Recommendation G.811, "Timing characteristics of primary reference clocks," Sept. 1996.
- [4] ITU-T Draft Recommendation G.812, "Timing requirements of slave clocks suitable for use as node clocks in synchronization networks," June 1998.
- [5] ITU-T Draft Recommendation G.813, "Timing characteristics of SDH equipment slave clocks(SEC)," Aug. 1996.
- [6] ANSI T1.101, "Synchronization interface standard," 1999.
- [7] ANSI T1.105.09, "Network element timing and synchronization," 1997.
- [8] S. Bregni, M. Carbonelli, D. De Seta, and D. Perucchini, "Clock stability measure dependence on time error sampling period," *Proceedings of IEEE GLOBECOM '94*, pp.1451- 1455, 1994.
- [9] G. M. Garner, "Accumulation of random noise in a chain of slave clocks," *Proceedings of the 48th Annual Symposium on Frequency Control, IEEE*, Boston, USA, June 1994.
- [10] 임범중, 이두복, 최승국, 김장복, "동기식 통신망에서 발생하는 위상시간 에러의 컴퓨터 시뮬레이션에 관한 연구", 한국통신학회논문지, 제19권 제11호, pp.2160-2169, 1994.
- [11] S. Bregni and D. Perucchini, "Different behaviour of frequency stability measures in independent and synchronized clocks ; theoretical analysis and measurements results," *Proc IEEE SUPERCOMM/ICC'94*, pp.1066-1070, New Orleans, May 1995.
- [12] G. Garner, "Noise accumulation in synchronization reference chains," *Contribution to T1 Standard Project*, T1X1. 3/95-044, 1995.
- [13] 이창기, 홍제근, 동기식 선형망에서의 망동기 클럭 특성 분석에 관한 연구, 한국통신학회 논문지, 제22권 제9호, pp.2062-2073, 1997.
- [14] 이창기, "동기식 전송망에서의 차단주파수에 따른 단기간 정 클럭 특성 분석", 한국통신학회 추계학술발표회 논문집, 제20권 제2호, pp.2054-2057, 1999.
- [15] 이창기, "동기망과 동기식 전송망에서의 동기클럭 단기간 정 특성 분석", 한국정보처리학회 논문지, 제8-C권, 제3호, pp.299-310, 2001.