

디지털 교환망 동기화 관한 연구

곽철영, 양성훈, 김진옥, 송양섭
한국표준연구소

A Study of Digital Network Synchronization

Chul Young Kwak, Sung Hoon Yang, Jin Ok Kim, and Yang Sup Song
Korea Standards Research Institute

Abstract

After various oscillators have been reviewed, cesium beam frequency standards are recommended as the KRF(Korea Reference Frequency) source. We have investigated the characteristics of the SP-12M coaxial cable to find out whether it is usable for the network synchronization.

1. 서 론

현대 첨단전자 기술의 발달은 컴퓨터의 발달과 더불어 새로운 정보교환 방식들을 개발하여 이용하고 있다. 우리나라의 통신당국은 다가오는 정보화 시대에 대처하기 위해서 음성, 비음성(영상)의 각종 정보를 디지털화해서 교환, 전송, 가공, 축적 및 처리할 수 있는 종합정보 통신망 (ISDN, Integrated Service Digital Network) 의 구축을 계획하고 있으며, 이에는 디지털 교환시설과 디지털 전송 시스템이 선결 되어야한다. 한편 이에 부응하여 국내 통신망의 5개 총괄국에는 No. 4 ESS 와 17개 중심국에는 AXE-10 의 디지털 교환기가 도입되어 운용이 시작 되었고, 농어촌용 디지털 교환기인 TDX-1 의 국산화가 실현된 바 있다. 이러한 디지털 통신망에 있어서 정확한 정보를 주고 받기 위해서는 전송 시스템과 교환시스템들이 특정 주파수에 동기된 상태에서 동작해야 하며, 동기가 이루어지지 않으면 수신측에서 정보의 반복 또는 유실현상이 발생된다.

본 연구에서는 국내 디지털 통신망에 적용될 동기망 구성 방안중 가장 높은 계층인 한국기준주파수(KRF, Korea Reference Frequency)네트워크에 관하여 연구 하였다.

2. 기준 주파수 발생 장치의 선정

(1) 주파수 표준기의 선정

KRF 는 국내 통신망의 primary reference 가 될 뿐 아니라 디지털 국제 관문국의 clock 구실도 수행해야한다. CCITT는 국제 디지털 링크 접속시의 national primary standards 는 정상동작 조건 아래서 1 slip/70 days 정도를 허용하는 10^{-11} 이상의 정확도를 갖도록 권고하고 있다. 현재 실용되는 주파수 표준기로는 quartz oscillator, rubidium gas cell, cesium beam frequency standards, hydrogen maser 등이 있는데, 이들중 이러한 규격에 합당한 표준기로는 세슘원자시계를 선택하는 것이 바람직하다.

세슘원자시계를 사용할 경우 주의할 사항은 세슘원자시계의 심장부인 세슘 beam tube 수명이 약 5년으로 5년마다 새 tube 로 교체 할 필요가 있고, tube 교체에 소요되는 시간은 약 2주일 정도이다.

(2) 유지 및 보수

세슘원자시계의 주파수는 환경조건 즉 온도,

습도, 자장, 기압등의 변화에 따라 변화한다. 일본의 S. Iijima 는 high performance tube 를 내장한 HP 5061A 세슘원자시계 한대를 대상으로 clock rate 의 환경조건에 대한 영향을 조사한 바 있으며, 그 결과는 다음과 같다.

$$K_t = (-1.96 \pm 0.36) \times 10^{-14}/^{\circ}\text{C}$$

$$K_a = (+0.71 \pm 0.21) \times 10^{-14}/\text{g.m}^3$$

$$K_p = (+1.92 \pm 0.20) \times 10^{-14}/100\text{mb}$$

$$K_m = (+1.34 \pm 0.61) \times 10^{-14}/100\text{mOe}$$

HP의 사양에 의하면 2 gauss field 의 변화에 대해 $\pm 2 \times 10^{-12}$, 25°C 를 기준으로 0°C 에서 50°C 사이에서 $\pm 5 \times 10^{-12}$ 의 주파수 변화가 나타난다. 이러한 제반 환경의 영향을 극소화 하기 위해서는 환경 조절장치가 필요하며, 현재 한국표준연구소에서는 세슘원자시계의 유지에 항온항습장치와 전자파 차폐 시설을 사용하여, 온도는 $20 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 로 상대습도는 $50 \pm 5\%$ 로 유지하고 있으며, 0.5-100 MHz 에서 70 dB 전자파 차폐실로 보호하고 있다.

KRF 의 운영상 중요한 점으로 기준주파수의 정확도와 함께 신뢰성 유지를 위해서 KRF 시스템에는 최소한 세대의 세슘원자시계를 운용하여야 한다.

KRF 의 10^{-11} 의 정확도를 유지하기 위해서는 10^{-12} 의 정밀도로 주파수 비교가 이루어져야 하며 또한 가능한 한 단시간내에 측정되어야 하겠다. 한국표준연구소는 주파수 정밀측정 방법으로 DMTD(Dual Mixer Time Difference) system 을 개발한바 있으며, 우리가 제작한 시스템의 성능평가 결과 위상잡음은 10ps 이내로서 10초의 짧은 측정 시간으로 10^{-12} 이내의 상대주파수 측정이 가능하였다.

KRF 용 Cs 의 소정의 정확도를 위해서는 외부의 standard frequency와 직접 또는 간접으로 비교하여야 한다. 외부의 standard frequency 와 KRF 용 Cs 의 frequency 를 비교할 수 있는 방법에는 직접 frequency standard 를 간접적으로 수송하는 portable clock

운영과 cable 을 설치하여 비교하는 방법등이 있으며, 전자파를 대체로 하여 무선통신으로 간접적으로 standard frequency 를 전달하는 방법은 LORAN-C, VLF 및 인공위성(GPS, GMS)의 이용등이 있다.

먼저 외국의 standard frequency 에 대한 KRF 용 Cs 의 모니터링으로 LORAN-C방법을 추천하며, 그때의 더욱 높은 정확도가 요구될 때는 GPS 방법을 권고한다. 한편 KSRI standard frequency와의 비교는 cable 연결방법 및 portable 운영방법을 이용할 수 있다.

3. 기준주파수 보급망

(1) 외국의 현황

현재의 reference frequency network 을 구성하여 사용하고 있는 나라는 미국 등으로 BSRF(Bell System Reference Frequency) 망을 구성하고 있다. BSRF 의 주파수로는 L5 coaxial system 의 공급선로에 20.48 MHz 를, microwave radio system 과 기략의 저용량 coaxial system 에는 2.048 MHz 을 사용하고 있다.

Bell Laboratory 의 R. E. Powers 는 1974년 BSRF 의 field trial 을 보고한 바 있다. 그는 루비듐 표준기로 부러 합성된 2.048 MHz 의 기준주파수를 1600 km 떨어진 지점에 Bell 시스템의 동축 선로와 radio 시설을 통해 전송하여 측정결과 전파오차가 $\pm 5 \times 10^{-12}$ 이내인 것으로 보고했으며, 단기 주파수 안정도는 0.1초의 sample time 에 5×10^{-9} 인 것으로 보고했다. 그리고 1×10^{-11} 의 정밀도로 주파수를 측정하는데 15분의 측정시간이 소요됨을 보고했다. 이상의 결과는 BSRF 의 cesium beam atomic standard 의 정확도가 동축선로와 radio 시설을 통과한 후에도 유지되고 있음을 보여준다. 또한 그 결과에 따르면 동축선로가 radio에 비해 영향이 약간 적은 것으로 나타났다.

(2) KRF 의 공급선로에 의한 영향

KRF 를 혜화, 부산, 대전, 대구, 광주 의 No. 4 ESS 디지털 교환설비를 갖춘 총괄국들에 공급하기

의해서는 기존의 아날로그 광대역(broadband) 동축선로와 microwave 무선시설의 사용을 고려할 수 있다. 이들중 제일차 방안으로 동축선로에 의한 기준주파수의 영향을 조사하여 그 타당성 여부를 검토하였다.

본 실험은 해화국과 대전국간의 SP-12M 동축전송 시스템을 이용 기준주파수를 대전국에서 입력시키고 해화국에서 relay loop 을 설치하여 대전국에 다시 되돌아온 기준주파수의 출력을 검출하여, 입력주파수를 기준으로 출력주파수를 test 주파수로 하여 그의 단기주파수 안정도와 장기주파수 안정도를 측정하였다. 본 실험에는 SP-12M 동축전송 시스템을 사용했으며, SP-12M 동축선로는 해화, 부산, 대전, 광주, 대구의 총괄국간의 network 를 형성하고 있다.

시험기준 주파수로는 2.048 MHz 를 선정했으며 이는 No. 4 ESS 의 external reference frequency 로도 사용되며 국내 장거리 통신망에 사용되는 SP-12M 동축 전송 시스템의 스펙트럼 내에 편리한 위치를 차지하고 있으며 이를 Fig. 1에 보여주고 있다.

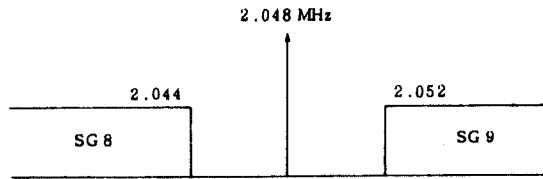


그림 1. SP-12M 전송 시스템 spectrum 내의 2.048 MHz 기준주파수의 위치

Fig. 2 는 본 실험의 개략적 불력도를 나타내며, 이중 정합장치인 2 set 의 2.048 MHz crystal filter /amplifier 는 자체제작하였다.

주파수 안정도 및 시간변동을 측정하는 방법은 여러 가지가 있으나 시간영역에서 불감시간 없이 측정할 수 있는 가장 효과적인 방법이 dual mixer time difference 방법인데, Fig. 3은 DMTD 를 이용한 본 실험의 주파수 및 주파수 안정도의 측정 시스템을 보여준다.

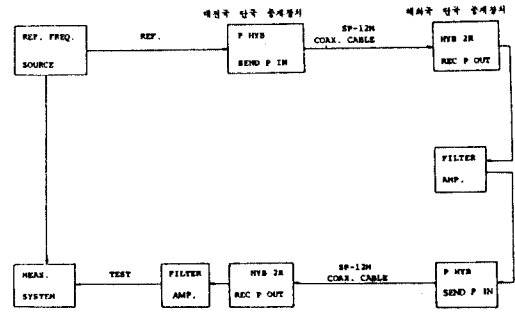


그림 2. 실험의 개략도

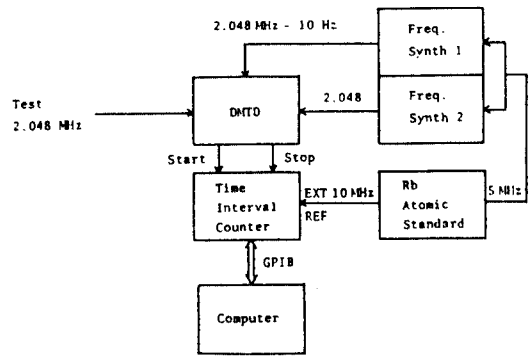


그림 3. 주파수 및 주파수 안정도 측정 시스템

4. 측정 결과 및 분석

Fig. 4 는 3주간 측정한 결과로서 동축선로의 잡음에 의한 단기주파수 안정도를 측정시간에 대한 함수로 표시하고 있다. 여기서 측정장비 자체의 잡음효과는 동축선로의 영향에 비해 대략 1/10 정도로서 무시할 수 있으며, No. 4 ESS clock 의 주파수 조정 최소 단위의 5×10^{-11} 의 주파수 정확도 추출을 위해서는 측정결과를 볼때 약 10초의 측정시간이 요구된다. 이는 No. 4 ESS 의 주파수 조정주기 8.192 초의 1.2 배에 해당하는 시간이다.

또한 본 실험의 결과는 BSRF의 field trial 결과와 잘 일치하고 있다. Fig. 5는 1회의 측정시간(8시간)동안의 time fluctuation 을 보여주며 이 기간중 2×10^{-9} 초 이내임을 보여준다. 실험 장에기간을

제한 14회의 측정 data 에서 8시간의 long-term 상대주파수 변화폭은 2×10^{-13} 으로써 최악의 경우 3.9×10^{-13} 이었다. 따라서 동축선로의 밤낮의 온도차에 의한 기준주파수의 영향은 국내 primary standard 로 요구되는 정확도 10^{-11} 에 비교할 때 무시할 수 있다고 하겠다. 측정기간이 짧아서 계절적 변화에 따른 주파수 변화는 구할 수 없었다.

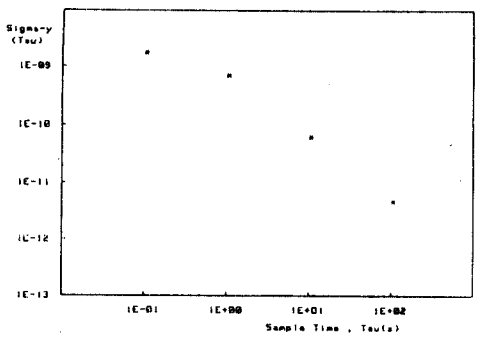


그림 4. SP-12M 동축선로에 의한 잡음

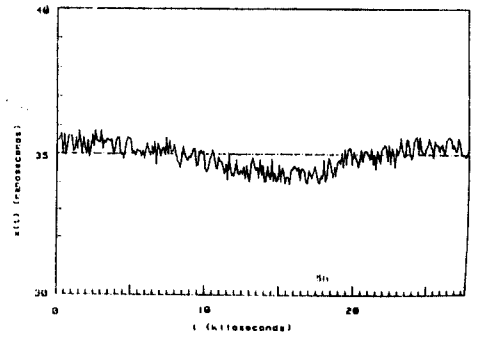


그림 5. SP-12M 동축선로 잡음에 의한 시간 변동

5. 결 론

KRF network 구성상 핵심이 되는 기준주파수 발생 장치로는 cesium beam frequency standards 를 선정했으며 이의 신뢰도를 확보키 위해서는 3데이상의 복수운영이 요구되며, 표준기 상호간의 상대주파수 비교를 위해서는 한국표준연구소에 의해 개발된 dual mixer time difference 시스템에 의한 측정이 필요하다.

2차적인 정확도 유지를 위해서는 LORAN-C 신호의 수신에 의한 daily monitoring 과 주기적인 이동원자시

계방법을 권고한다. 온도, 습도, 자장, 전자파의 제반 환경조건에 의한 표준기의 주파수 변화를 극소화하기 위해 항온·항습 및 전자파 차폐시설이 필요하며 이에 대한 자료를 제공하였다.

KRF 표준장치 시설의 위치로는 국내의 지리적 중심이 되고 표준기 유지 보수에 필요한 제반조건을 갖춘 한국표준연구소를 후보로 추천하며 국내 동기망의 제 2계층에 해당되는 해주, 부산, 대전, 대구, 광주의 5개 총괄국에 KRF 를 공급할 공급선로로 이미 총괄국간의 network 이 형성되어 있는 SP-12M 동축선로를 선정 그 타당성을 실험한 결과 기 사용중인 frequency division multiplexing 음성대역에 영향을 받지 않은 2.048 MHz 의 기준 주파수에 대해서 사용 가능성이 입증되었다. 또한 국내 디지털 망내의 local oscillator 등의 유지 방법으로는 중심국(AXE-10) 이하의 local oscillator 의 주파수 유지 back-up 용으로 TV color subcarrier 의 이용이 추천되나 현재로서는 KBS, MBC 의 기준 주파수의 정확도가 10^{-8} 이하로 떨어져 합당치 않으며 미래에 양 방송국이 원자시계를 설치시 10^{-11} 이내로 주파수 보급이 가능하리라 생각된다. 그리고 현재 방송중인 HLA 5 MHz 표준전파를 이용하여 10^{-6} 의 주파수 보급이 가능하며 현재 개발중인 표준단파수신장치에 의해서 지표파수신 가능 지역인 HLA 중심반경 약 100 km 이내의 위치에서 10^{-10} 의 주파수 보급이 가능하리라 예측된다.

Reference

- (1) Powers, R. E., "Reference Frequency Transmission over Bell System Radio and Coaxial Facilities", Proc. 28 th Frequency Control Symposium, pp 373-378, 1974.
- (2) Iijima, S., et al., "Effect of Environmental Conditions on the Rate of a Cesium Clock", TAO Japan, 1978.
- (3) Oberst, J. F., "Keeping Bell System Frequencies on the Beam".
- (4) 'TV신호를 이용한 시각 및 주파수의 정밀 비교 측정연구', KSRI, 1979.
- (5) '정밀측정 자동화 기술에 관한연구', 한국표준연구소, 1983.