

GPS Common-View 방식에 의한 원격지 동기시스템 연구

A Study on Remotely Located Synchronization System using GPS Common-View Method

김영범* · 정낙삼* · 박동철**

Young-Bum Kim* · Nak-Sam Chung* · Dong-Chul Park**

요 약

GPS Common-View 방식에 의해 원거리의 기준클럭에 위상동기되는 원격지 동기시스템을 설계하고 제작하였다. 이 원격지 동기시스템의 측정결과 10^{-12} 의 주파수 정확도를 유지하였으며 ITU-T의 권고(G.811)를 만족하는 MTIE 특성을 보여주었다. 현재 전체적으로 자동화 기능을 갖는 초기모델이 구현되었으며 가까운 시일 내에 통신망 동기용으로 사용될 수 있으리라 기대된다.

Abstract

A remotely located synchronization system which is locked to the remote master clock has been implemented by using GPS Common-View technique. The measurement results showed that the accuracy of the remote synchronization system could be kept within a few parts in 10^{-12} and MTIE(Maximum Time Interval Error) met the ITU-T Recommendation(G.811). A prototype system having fully automatic operational functions has been realized up to now and is expected to be used in the network synchronization in the near future.

I. 서 론

오늘날 가장 정밀하게 측정할 수 있는 것 중의 하나가 주파수와 그의 역수인 시간이다. 이러한 시간은 인간의 삶과 아주 밀접하면서도 무심히 다루어졌지만 최근 들어 과학기술의 급격한 발전과 더불어 그 중요성이 부각되고 있다. 특히 정보통신의 급격한 발전은 시간을 더욱 더 정밀하게 분해하기를 요구하고 있다. 그러나 시간은 클럭을 생성하고 있는 발전기의 기본회로와 재료특성의 차이 때문에 항상 똑같은 품질을 유지할 수는 없다. 처음에 아무리 정확하게 값을 맞추어 놓았다 하더라도 시간이 경과함에 따라 피할 수 없는 경년변화(aging)로 인

해 주파수값이 끊임없이 변해가게 된다^[1]. 발전기들이 본질적으로 지니고 있는 이러한 시간주파수 특성은 개별적으로만 동작할 경우에는 문제가 없으나 여러 발전기들이 유기적으로 작용을 하는 현대의 모든 시스템에서는 그 자체만으로 국한된 문제를 넘어 전체적인 성능 저하를 유발시킴에 따라 통신, 방송, 우주항공, 그리고 군사적인 면에서 커다란 혼란이 야기될 수 있다. 이러한 문제를 해결하고자 통신에서는 동기망(synchronization network)를 구축하여 원격지의 교환기를 비롯한 통신망관련 장치의 클럭을 특별한 기준신호에 일치시키는 노력을 하고 있다^[2].

원격지의 클럭을 하나의 기준주파수에 시각 및

* 한국표준과학연구원 광기술표준부(Div. of Optical Metrology, Korea Research Institute of Standards and Sciences)

** 충남대학교 공과대학 전파공학과(Dept. of Radio Science and Engineering, Chungnam National University)

· 논문 번호 : 20010411-052

· 수정완료일자 : 2001년 5월 28일

주파수를 정확하게 동기시키기가 쉬운 일이 아니다. 과거 1960년대에는 세슘원자시계를 표준기관에서 동기시킨 후 동작상태를 유지시킨채로 비행기와 자동차를 이용하여 다른 나라의 세슘원자시계들과 비교측정을 하였다^[3]. 이 경우 여러가지 부속장치를 연결하여 이동용 기준클럭을 동작시킨채로 이동하여야 하기 때문에 상당히 번거롭고 비용도 많이 들며 시간도 많이 소요되어 실시간으로 원격지의 클럭을 측정하고 동기시키기 어려웠다. 뿐만 아니라 이동용 기준클럭으로 사용하는 원자시계 또한 미세하지만 원격지의 클럭을 정확하게 측정하기까지 소요되는 시간동안 변화되고 있기 때문에 측정결과를 그대로 쓸 수 없고 이동원자시계 자체의 변화를 보상하는 작업이 수반된다. 이러한 문제점을 해소하고자 1980년대부터 GPS(전세계위치측정시스템)를 비롯한 위성을 매개로 원격지간에 실시간적으로 시각을 비교측정하기 위하여 GPS Common-View 방식을 비롯한 여러 가지 방법이 개발되기 시작하여 각국의 표준시간 유지에 이용되고 있다^{[4]-[6]}. 그러나 대부분의 연구들이 정밀한 비교측정기술에 초점이 맞추어져 있을 뿐 원격지의 클럭을 위상동기시키는 연구는 거의 이루어지지 못해왔다. 그런데 세슘에 비해 장기안정도가 나쁘지만 가격이 저렴한 루비듐 발진기에 GPS를 이용한 시각비교 기술을 적용하여 주파수 품질을 향상시키는 연구결과가 1990년 미국 국립표준국(NIST)에서 처음으로 발표된 바 있다^[7]. 그리고 그 이후 현재까지 유사한 연구결과가 보고된 바 없어 현재도 시작단계인 것으로 추정된다. 또한 당시의 발표내용을 보면 표준기관에서 요구되는 정도의 아주 정밀한 특성을 목표로 하고 있기 때문에 온도를 일정하게 유지시키고자 진공장치를 사용하는 정도로 그 장치가 복잡하고 규모도 커서 상용화의 제약이 되고 있었다.

본 논문에서는 통신사업자를 비롯한 국내의 여러 기관에서 필요로 하는 수준의 원격지 동기시스템을 GPS Common-View 방식과 상용의 루비듐발진기를 사용하여 실시간 적으로 세슘기준클럭에 위상동기될 수 있는 비교적 간단한 동기시스템 개발에 대해 기술하였으며 초기모델로 개발된 동기시스템의 클럭품질에 대한 측정결과를 보여주었다. 동기시스템의 클럭품질을 측정된 결과 10^{-12} 수준의 주파수 정

확도를 유지하고 ITU-T에서 망동기용 기준클럭을 위한 권고(G.811)를 만족하는 것을 확인할 수 있었다. 앞으로 연속동작을 위한 완결성 및 신뢰성 관련 사항을 보완한다면 국내 기간통신망의 동기시스템으로의 사용이 가능하리라 기대한다.

II. 원격지간의 클럭동기

원격지 클럭간의 시각비교에 있어서 앞서 거론한 바와 같은 이동용 기준클럭의 제약때문에 현재는 GPS를 비롯한 위성을 이용한 몇가지 시각비교 방법이 제시되고 있다^{[4]-[6]}. 그중 가장 손쉬우며 비교측정의 정밀도가 수십 ns 정도에 이르는 Commom-View 방식의 시각비교측정법이 그림 1에 주어져 있다.

여기서 사용되고 있는 GPS(Global Positioning System)수신기는 일반적으로 사용되고 있는 위치측정(Navigation)이나 클럭신호공급용이 아니고 GPS 신호와의 시각비교를 위해 내부에 시간간격계수기를 지니고 있고 GPS위성의 스케줄과 안테나의 정확한 위치정보를 입력시킬 수 있으며 측정값을 비롯한 여러 정보를 컴퓨터와 공유할 수 있는 특별한 형태의 GPS 수신기로 AOA사의 TTR-5 이다. 이러한 GPS수신기를 두 지역에 똑같이 사용하며 각기 다른 발진기로부터 만들어진 초신호(1 pps)를 입력신호로 받아들인다. 각각의 GPS수신기에는 시간차계수기(time interval counter)가 내장되어 있으며 이

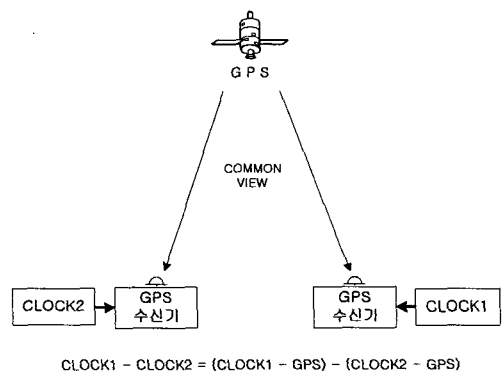


그림 1. GPS Common-View 방식의 개념도
Fig. 1. Functional diagram of GPS Common-View method.

를 통해 각각의 클럭 1, 클럭 2와 GPS 시각과의 차이를 측정하여 컴퓨터와 연결이 가능한 통신포트를 통해 관련정보를 제공한다.

그림에서 보는 바와 같이 두 지역간의 거리에 비해 훨씬 먼곳에 위치한 GPS로서는 클럭들이 각기 떨어진 두 지역에 있는 것이 아니라 같은 지역에 위치하고 있다고 보여지기 때문에 GPS신호의 도달에 따르는 오차요인이 서로 같다고 보는 것이다. 따라서 동시에 두 지역의 클럭을 같은 위성을 매개로 같은 시각에 비교측정하게 되면 이들 오차를 상쇄할 수 있다. 그러므로 식 (1)과 같이 떨어진 두 발진기의 시간차를 실시간으로 구할 수 있다.

$$\tau_1 - \tau_2 = (\tau_1 - \tau_g) - (\tau_2 - \tau_g) \quad (1)$$

여기서 τ_1, τ_2 는 비교하고자 하는 각각의 클럭 시각이고 τ_g 는 GPS 시각이다. 이 방식을 이용한 비교측정은 GPS와 같은 항법위성 뿐만 아니라 무궁화위성같은 통신위성을 이용할 경우에도 가능하다.

어떤 발진기에 의해 만들어진 시계는 서론에서 언급한 바와 같이 발진기들의 일반적인 특성 때문에 시각차가 초기의 값을 유지하지 못하고 변화될 수 있는데 발진기들의 시간에 따른 누적시간오차, $x(t)$ 는 일반적으로 식 (2)과 같이 표현될 수 있다.

$$x(t) = x_0 + y_0 t + \frac{1}{2} K t^2 + \epsilon(t) \quad (2)$$

여기서 x_0 는 초기시간차, y_0 는 당시의 주파수차를 명목상의 주파수값으로 나눈 상대주파수로 일반적으로 주파수의 정확도(accuracy)를 나타내며 K 는 상대주파수의 변화율을 나타내는 경년변화율로서 발진기의 장기안정도를 의미한다. 이들 세 가지 항목이 환경적인 원인으로 유발되는 구조적인 오차로써 개선될 수 있는 반면 $\epsilon(t)$ 는 개선되기 어려운 불규칙편차에 해당한다. 이러한 수식은 발진기의 신호가 주파수 변조되어 있거나 경년변화율 K 가 상수가 아닌, 다시 말해 직선적이지 못한 경우를 제외하고 일반적으로 발진기의 시간오차를 예측하기 위하여 사용될 수 있다^[8]. 식 (2)에서 $\epsilon(t)$ 를 제외한다면 $y = \Delta x/t$ 의 관계에 의해 다음과 같은 식 (3)으로 변형할 수 있다.

$$y_t = y_0 + \frac{1}{2} K t \quad (3)$$

식 (3)에서 의미하고 있는 바와 같이 초기정확도와 장기안정도를 알 경우 임의시간 t 에서의 예상되는 상대주파수를 알 수 있다. 이렇게 얻어진 임의시간에서의 원격지클럭의 상대주파수를 기준클럭에 가까운 값으로 동기시키기 위해 반대로 가해 주어야 할 보정상대주파수는 다음과 같다.

$$y_c = 0 - y_t \quad (4)$$

여기서 상대주파수가 영인 경우가 기준발진기에 가장 근접한 상태이므로 영에서 빼준 값이 원격지클럭을 보정해야 할 값이다.

Ⅲ. 원격지 클럭의 동기시스템

원격지의 클럭을 전용선로에 의하지 않고 GPS Common-View 방식과 데이터의 전달만을 통하여 기준클럭에 동기시키는 것이 가능한지 여부를 알아보기 위해 CLOCK1과 CLOCK2를 같은 신호로 사용하여 비교측정한 결과를 그림 2에 나타냈다. 측정결과 그림에서 보는 바와 같이 3일 정도의 측정기간 동안 약 ± 250 ns의 변화폭을 지니고 있을 뿐 그 기울기는 없으며 단지 같은 신호를 사용하기 위해 연장된 케이블의 길이에 따른 약 11.5 us의 시간차가

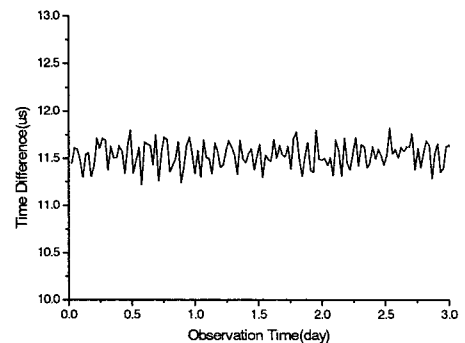


그림 2. Common-View 방식에 의한 동일신호에 대한 시각 비교측정

Fig. 2. Time-comparison of the same signal by Common-View method.

있음을 알 수 있다. 따라서 GPS를 매개로 측정된 두 지역간의 시간차 데이터를 적절한 수식을 사용하여 필터링 한다면 기준신호에 원격지 클럭을 위상동기 시킬 수 있음을 알 수 있다. 앞장에서 거론한 보정 알고리즘을 사용하여 원격지의 루비듐발진기를 기준클럭에 위상 동기시키기 위해 동일한 특성을 보여주는 2대의 시각비교용 GPS수신기와 컴퓨터 그리고 위상미세조정기, DAC 등이 별도의 제어프로그램에 의해 원격지클럭의 주파수 및 위상을 조정할 수 있도록 그림 3과 같은 장치를 구성하였다. 사용되고 있는 시각비교용 GPS 수신기의 입력 신호는 1 pps 를 기본으로 하고 있기 때문에 원격지의 루비듐발진기 출력(10 MHz)을 분주하여 1 pps 로 만들어 GPS 수신기에 입력시킨다. 양측의 시각비교용 GPS수신기는 BIPM으로부터 보내온 극동아시아지역의 시각비교 스케줄을 입력하며 이에 따라 각각의 클럭으로부터 입력된 초신호(1 pps)와 GPS 시각과의 시간간격(Time Interval)을 측정할 때 50 개 정도씩 3일간의 분량인 150개의 데이터를 저장하고 있다. 각각의 GPS수신기는 RS-232C 케이블로 컴퓨터와 통신이 가능하도록 되어 있기 때문에 필요에 따라 최근 3일간의 데이터를 컴퓨터가 연결될 수 있는 전화망이나 인터넷을 이용하여 서로 교환할 수 있다. 원격지에 있는 컴퓨터는 기준국 컴퓨터로부터 가져온 측정데이터(Master clock-GPS)를 같은 시간에 같은 위성을 상대로 측정된 자국의 측정데

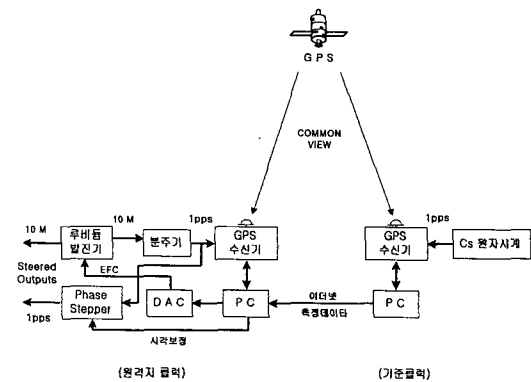


그림 3. 원격지의 루비듐발진기를 기준클럭에 동기시키기 위한 장치

Fig. 3. Synchronization scheme of remotely located Rubidium oscillator.

이터(Local clock-GPS)와의 차이를 식 (1)을 이용하여 계산하도록 하고 이로부터 원격지 클럭의 상대주파수(y_0)를 얻는다. 그리고 식 (3)과 식 (4)로부터 원격지 클럭을 위한 보정상대주파수(y_c)를 구하게 된다. 이렇게 구한 보정상대주파수는 원격지 클럭의 EFC(Electrical Frequency Control) 전압에 따른 주파수 변화율 그리고 사용한 DAC(Digital to Analog Converter)의 전압변동율과의 관계로부터 식 (4)의 보정상대주파수에 해당하는 DAC 정보를 컴퓨터로부터 원격지클럭에 반영한다. 이러한 일련의 작업을 자동으로 수행하도록 그림 4와 같은 컴퓨터 프로그램을 작성하여 사용하였다. 프로그램은 Batch Program에 의해 전체적인 흐름을 제어하도록 하였으며 세부적으로는 기준국의 데이터파일을 가져오기 위한 상용의 통신프로그램(FTP 프로그램), GPS수신기의 데이터를 내려받기 위한 제어프로그램, 그리고 알고리즘에 따라 동기시스템의 보정상대주파수와 EFC 값을 구해 루비듐발진기의 주파수(10 MHz)와 시각신호(1 pps)를 가변시키는 프로그램으로 구성되어 있다. 이 배치프로그램을 실행시킴에 따라 미리 설정한 시간(4회/1일)에 기준국의 데이터와 자국의 GPS 데이터를 내려받아 기준국과의 편차를 계산하며 이에 따라 자국의 루비듐발진기의 위상을 보정한다. 또한 기준국과의 초기 시각차는 내장하고

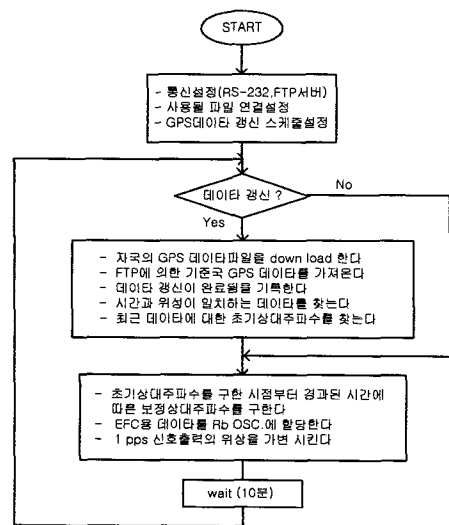


그림 4. 동기시스템의 자동화 프로그램

Fig. 4. Flow diagram of automatic operation.

있는 위상조정기를 통해 0.1 μ s까지 일치시킬 수 있으며 시간차가 일정한 범위 내에서 유지되도록 하는 것이 가능하다. 따라서 원격지 동기시스템에 내장된 루비듐발진기는 이더넷에 연결된 컴퓨터의 제어에 의해 GPS를 매개체로 기준국과의 실시간적인 측정 결과에 따라 기준국의 세습발진기에 동기되는 것이다.

IV. 원격지 동기시스템의 성능평가

원격지의 동기시스템 출력을 기준국의 세습발진기와 비교 측정하기 위하여 그림 5와 같은 측정장치를 구성하여 사용하였다. 그림에서는 원격지 동기시스템의 일부인 제어용PC와 Steered Rb. Clock의 출력신호(10 MHz, 1 pps)를 각각 측정하기 위한 장치를 동시에 나타내고 있다. 10 MHz를 측정할 경우에는 주파수 계수기를 주파수 측정모드로 선택하고 1 pps를 측정할 경우 시간간격 측정모드로 선택하여 측정되며 측정기기 전용인터페이스인 GPIB(General Purpose Interface Bus)를 통해 전자계수기가 측정용 PC에 의해 제어되도록 만든 별도의 컴퓨터프로그램을 사용한다. 또한 측정의 신뢰도를 높이기 위하여 주파수 계수기의 EXT. Ref를 세습발진기의 10 MHz를 사용하였다. 측정결과 그림 6에서 보는 바와 같이 주파수 정확도가 동기전의 1.2×10^{-10} 에서 -4×10^{-12} 로 추적해 가고 있는 것을 볼 수 있다. 이 경우 추적해 가는 속도는 동기시스템의 출력위상이 급격하게 도약하지 않도록 컴퓨터프로그램 상에서 적절히 조절할 수 있다. 또한 완전하게 동기된

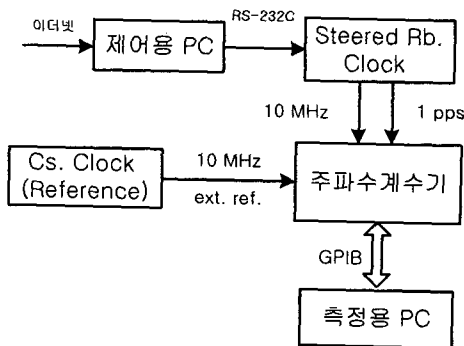


그림 5. 보정된 루비듐발진기의 측정평가장치
Fig. 5. Testing equipment of steered Rb oscillator.

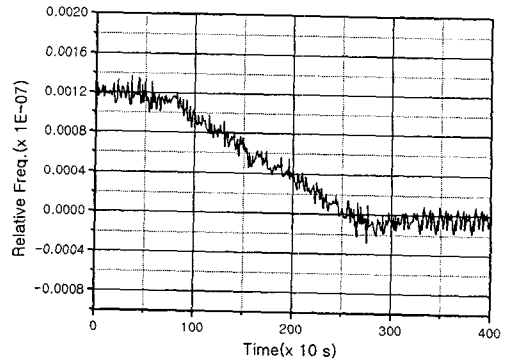


그림 6. 원격지클럭의 주파수추적 특성
Fig. 6. Frequency tracking of remotely located clock.

표 1. 관측주기에 따른 MTIE의 비교결과
Table 1. Comparison result of MTIE as a function of an observation period.

관측주기 (second)	ITU-T Rec. G.811 ^[10]	상용의 Rb 출력 (Unsync. Rb)	동기시스템 출력 (Sync. Rb)
2	25.6 _{ns}	2.2 _{ns}	0.7 _{ns}
10	27.8 _{ns}	21 _{ns}	2.3 _{ns}
100	52.5 _{ns}	230 _{ns}	5.2 _{ns}
1000	300 _{ns}	2300 _{ns}	13 _{ns}
10000	390 _{ns}	23000 _{ns}	28 _{ns}

상태 하에서의 출력신호(1 pps)를 기준신호(1 pps)와 시간간격을 측정하여 각각의 관측시간에 대한 MTIE(Maximum Time Interval Error)^[10]를 구한 결과 표 1과 같았다. 루비듐발진기를 동기시키지 않고 그대로 사용할 경우 ITU-T에서 G.811로 권고하고 있는 망동기용 기준클럭의 MTIE 권고치를 크게 초과하고 있으나 개발된 원격지 동기시스템의 출력은 만족하고 있다. 따라서 시스템의 충분한 동작과 각 단별로 평가검증을 통해 민감한 사항에 대한 보안을 한다면 더욱더 향상된 특성을 보여줄 것으로 기대하고 있다.

V. 결 론

동일한 지역이 아닌 여러 장소에서 동작중인 루비듐발진기를 실시간으로 기준국의 안정된 세습발

진기에 위상동기시키기 위해 상용의 시각비교용 GPS 수신기와 Common-View 기술을 활용한 기초 실험을 하였으며 이를 자동으로 수행하기 위한 초기모델의 원격지 동기시스템을 개발하였다. 이 시스템의 출력을 측정된 결과 주파수 정확도가 10^{-12} 의 수준으로 지속적으로 유지되었으며 MTIE 또한 ITU-T에서 통신망 동기용 기준클럭의 권고 G.811을 만족하고 있다. 따라서 원격지클럭을 기준클럭에 위상동기시키기 위해 전용선로를 사용하던 기존의 방법을 대체할 수 있음을 보여주었다. 앞으로 연속 동작을 위한 완결성 및 신뢰성 관련사항에 대한 보완을 한다면 향후 통신망동기용으로 활용이 가능하리라 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] M. E. Frerking, *Crystal Oscillator Design and Temperature Compensation*. New York:VNR, pp. 20-39, 1978.
- [2] R. Smith and L. J. Millott, "Synchronization and Slip Performance in Digital Network," *British Telecommunication Engineering*, vol. 3, pp. 99-106, July, 1984.
- [3] LaThare N. Bodily and Ronald C. Hyatt, "'Flying Clock' Comparisons Extended to East Europe, Africa and Australia using portable atomic clocks," *HP Journal*, vol. 19, no. 4, pp. 12-20, Dec., 1967.
- [4] Wlodzimierz Lewandowski and Claudine Thomas, "GPS Time Transfer," *Proc. of the IEEE*, vol. 79, no. 7, pp. 991-1000, July, 1991.
- [5] Diter Kirchner, "Two-Way Time Transfer Via Communication Satellite," *Proc. of the IEEE*, vol. 79, no. 7, pp. 983-990, July, 1991.
- [6] A.Sen Gupta, Ashok K. Hanjura and Bhupendra S. Mathur, "Satellite Broadcasting of Time and Frequency Signals," *Proc. of the IEEE*, vol. 79, no. 7, pp. 973-982, July, 1991.
- [7] David W. Allan, "A Rubidium Freq. Standard and GPS receiver : A Remotely Steered Clock System with Good short-term and long-term stability," *44th Annual Symp. on Frequency Control*, pp. 151-160, 1990.
- [8] Davad W. Allan, "Time and Frequency(Time-Domain) Characterization, Estimation, and Prediction of Precision Clocks and Oscillator," *IEEE Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics and Frequency Control*, vol. 34, pp. 647-654, Nov., 1987.
- [9] ITU-T, "Definitions and Terminology for Synchronization Network," *ITU-T Recommendation G.810*, Aug., 1996.
- [10] ITU-T, "Timing Characteristics of Primary Reference Clocks," *ITU-T Recommendation G.811*, May, 1996.

김 영 범



1982년 2월: 충남대학교 전자공학과(공학사)
1989년 2월: 충남대학교 전자공학과(공학석사)
1997년 2월: 충남대학교 전자공학과 박사수료
1986년: 독일연방물리기술청(PTB)

시간주파수연구실 방문연구원(1년)
1982년~현재: 한국표준과학연구원 광기술표준부 책임연구원
[주 관심분야] 통신망 동기시스템 설계 및 평가, 원격지의 시각동기

박 동 철



1974년 2월: 서울대학교 공과대학 전자공학과(공학사)
1976년 2월: 한국과학기술원 전기·전자공학과(공학석사)
1984년 12월: University of California, Santa Barbara(공학박사)
1976년~현재: 충남대학교 공과대학 전파공학과 교수

1977년~1978년: Ruhr University, Bochum, Germany, 방문교수
1994년~1998년: IEEE MTT Korea Chapter Chairperson
1998년~현재: IEEE EMC Korea Chapter Chairperson
2000년~현재: 한국전자파학회 회장
[주 관심분야] Microwave and millimeter-wave passive devices, EMC/EMI topics, and Antennas

정 낙 삼



1967년 2월: 서울대학교 문리과대학 물리학과(이학사)
1973년 5월: 미국 Purdue University(이학박사/물리학)
1973년 5월~1976년 6월: 미국 Purdue University, 연구원
1976년 7월~1999년 7월: 한국표준과학연구원 선임연구원, 책임연구원, 연구위원 역임

1999년 8월~현재: 한국표준과학연구원 명예연구원
1989년~현재: 한국전자파학회 부회장('89~'95), 회장('96/'97), 명예회장('98~현재)
[주 관심분야] EMI/EMC, EMC 국제표준, 국제단위계(SI)