

원격지의 시각동기를 위한 일반적인 방법에 대한 고찰

김방엽*, 이상철**

A Survey of the General Time Synchronization Methods between the Remote Places

Bang-Yeop Kim*, Sang-Cherl Lee**

Abstract

In this study, a survey of time synchronization methods between the remote places. Generally, there are many kinds of time synchronization methods for distant places and they can be grouped three categories according to the type of time transfer methods. The three methods are ground based network, GPS/NAVSTAR and geostationary satellite. Especially, the relay base stations for wireless digital communication are operated based on the timing signal service of the GPS/NAVSTAR satellite network. And as the back-up of the timing signal service of the GPS/NAVSTAR, the geostationary satellite based time synchronization method have been researched. In this short paper, the brief explanations about each category were presented.

초 록

멀리 떨어진 장소의 시계를 동기시키기 위해 사용하는 일반적인 방법에 대한 조사 연구를 수행하였다. 현재까지 사용되었거나 사용 중인 시각동기 방법은 여러 가지가 있는데 크게 세가지 범주로 분류할 수 있다. 첫 번째는 지상망에 의한 방법, 두 번째는 GPS/NAVSTAR 위성망에 의한 방법, 그리고 세 번째, 정지위성에 의한 시각동기 방법이다. 특히 GPS/NAVSTAR 위성망은 무선 디지털 통신용 기지국의 시각동기에 사용되고 있으며, 이것의 백업 시스템으로써 정지위성에 의한 시각동기 방법이 연구되고 있다. 본 논문에서는 세 가지로 분류된 각각의 시각동기 방법에 대해 설명한다.

키워드 : 시각동기(time synchronization), GPS(Global Positioning System), 정지위성(geostationary satellite)

* 통신위성체계그룹/kby@kari.re.kr

** 통신위성체계그룹/sclee@kari.re.kr

1. 서론

국가 표준 시각을 규정하여 운영하고 관리하는 일은 어느 나라에서든지 가장 기본적으로 구축해야 할 산업 인프라의 하나이다. 국가의 산업 활동과 국민의 생활 활동에 있어서의 가장 중요한 기준이 되기 때문이다. 그래서 세계 어느 나라에서든 표준 시각을 규정하고 관리하는 기관을 운영하는 것이 상례이다. 우리나라에서는 한국표준과학연구원이 그러한 역할을 맡고 있다.

표준 시각의 관리와 함께 또한 중요한 일이 정확도 손실 없이 표준 시각을 보급하는 기술이다. 과거에는 표준 시각이 단순히 금융 거래나 방송, 교통 등 시민 생활에서의 기준 역할만을 하였기 때문에 보급되는 표준 시각의 정밀도가 수 밀리 초 이내면 충분하였다. 따라서 라디오 방송의 시보 정도면 그다지 큰 불편이 없었다. 그러나 오늘날의 무선 디지털 통신 시대에서는 그 요구 정밀도가 크게 상향되고 있다. 즉, 현재 우리나라의 거의 모든 국민들이 가지고 있는 휴대폰의 기지국에 공급해야 할 표준 시각 동기 서비스가 필요하게 된 것이다. 게다가 무선 디지털 통신의 꽃으로 불리는 동기식 CDMA 통신망은 코드 분할을 위해 GPS 위성으로부터 동기 신호 서비스를 받아서 운영되고 있다.

본 논문에서는 멀리 떨어진 두 장소의 시각을 동기 시키는 방법에 대해 고찰해 보고자 한다. 원격지간의 시각을 동기 시키는 방법은 유, 무선을 통틀어 여러 가지가 있는데 실제로 널리 사용되는 것들은 대략 세 가지 범주로 분류할 수 있다. 첫 번째는 지상의 유, 무선망을 이용하는 것으로서 미국의 GPS(Global Positioning System)가 나오기 전에 널리 사용되던 방법이다. 두 번째로는 현재 실질적인 표준 시각 동기망 역할을 하고 있는 GPS/NAVSTAR 시스템이다.

끝으로 세 번째는 GPS 위성의 백업 수단으로 등장한 방법으로써 지구 정지위성을 이용하여 동기 신호를 전파하는 방법이다. 이것은 비교적 최근에 등장한 방법으로써 아직 연구가 진행 중이며, 실용화가 된다면 GPS 위성보다 훨씬 저렴한

비용으로 시각 동기 서비스를 받을 수 있는 방법이다. GPS 위성의 서비스가 중단될 경우 또는 유료화가 될 경우를 대비하여 몇몇 나라에서 연구가 진행되고 있는데, 한국항공우주연구원에서도 이와 관련한 연구를 수행하고 있다. 본 논문에 서술된 조사 연구는 현재 수행중인 정지위성을 이용한 시각 동기 기술 연구의 초기 단계로써, 현재 사용 중인 시각 동기 방법들에 대한 조사를 그 목적으로 하였다.

2. 본론

2.1 지상망에 의한 시각동기 기술

인공위성이 등장하기 전에 표준 시각 동기는 지상망에 의해 이루어졌다. 그 대표적인 시스템으로서 다음 것들을 들 수 있다.

- LORAN-C 항법 시스템
- USNO(미해군천문대)의 이동원자시계에 의한 시각동기
- 무선전파(표준주파수)에 의한 시각동기
- 전화시보 및 인터넷에 의한 시각동기

2.1.1 LORAN-C 항법시스템

LORAN-C (LONG RANGE C-Type) 항법시스템은 GPS가 등장하기 전, 미해군 및 선박의 항법시스템으로써 널리 쓰이던 장비이다. 이 시스템은 해안선을 따라 육지에 설치된 송신소에서 방사되는 장파(100 kHz)의 펄스를 이용하여 송신소로부터 선박까지의 거리를 측정하고 이를 이용하여 선박의 위치를 알 수 있게 하는 방법이다. LORAN-C 자체는 본래 항법 즉, 선박이나 항공기의 위치를 알기위해 설치한 시스템이나, GPS와 마찬가지로 전파의 도달 시간으로 거리를 측정하기 때문에 정밀한 시각의 유지가 필수 조건이다.

송신소의 관리는 주로 미해군에서 하고 있으며, 송신소로부터 약 1000 km 이내에서 사용가능하다는 단점이 있다. 즉, 해안선으로부터 멀리 떨어진 바다 한 가운데나 사막지대에서는 전파를

수신할 수가 없다[1].

본래 계획으로는 GPS 시스템이 완성된 후에 LORAN-C는 서비스를 중단하려 했으나, 워낙 기존의 선박들이 많이 사용하고 있기 때문에 아직까지는 서비스를 계속하고 있다. 러시아에는 이와 유사한 시스템으로 'Chayka' 라는 것이 있다. 그림 1에 LORAN-C의 사용 가능 지역을 나타내었다[1].

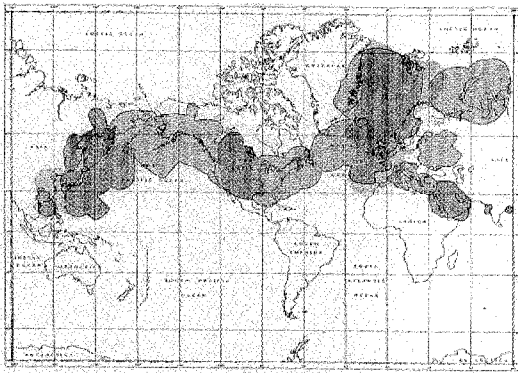


그림 1. LORAN-C 시스템의 전파 수신 가능 지역

2.1.2 USNO의 이동원자시계에 의한 시각동기

GPS 시스템이 완성 되기전, 미 해군에서는 전 세계에 배치된 미군의 작전 수행에 필요한 각종 장비의 시각동기를 위해, 선박에 원자시계를 싣고 다니며, 시각동기를 하는 방법을 사용하였다. 원자시계를 직접 가지고 다니는 것이므로 비용과 시간이 많이 소요되었지만, 전파를 사용할 때처럼 대기나 전리층 등에 의한 지연 오차가 발생하지 않으므로, 정밀도면에서는 가장 정확한 방법이라 할 수 있었다. 1994년, GPS/NAVSTAR 시스템이 완전 가동된 후로는 이 방법이 사용되지 않는 것으로 알려져 있다.

2.1.3 표준주파수국(HLA)에 의한 시각 동기

표준주파수국이란 표준시간 및 주파수를 무선 전파(단파) 방송을 통하여 일반산업체와 방송국, 연구기관 등 공공기관과 일반 국민에게 보급하는

시간주파수 방송국이다. 이러한 표준주파수국은 현재 세계19개국, 32개 방송국에서 방송하고 있으며, 아시아에서는 일본, 중국, 인도, 대만이 방송하고 있다. 우리나라는 1984년 11월 24일 호출 부호 HLA를 할당 받아 주파수 5 MHz, 방송출력 2 kW로 방송을 시작하였고 지금은 방송시설 장비의 확충으로 주야 24시간 방송을 하고 있다. 이러한 방송신호는 주로 공간파(전리층 반사파)를 이용하고 있기 때문에 적절한 옥외안테나를 설치하면 우리나라 전역은 물론 일본 및 중국의 일부지역까지 수신이 가능하다. 그림 2와 그림 3에 각각 표준주파수국 HLA의 운용 개요와 방송 장비의 모습을 나타내었다[2].

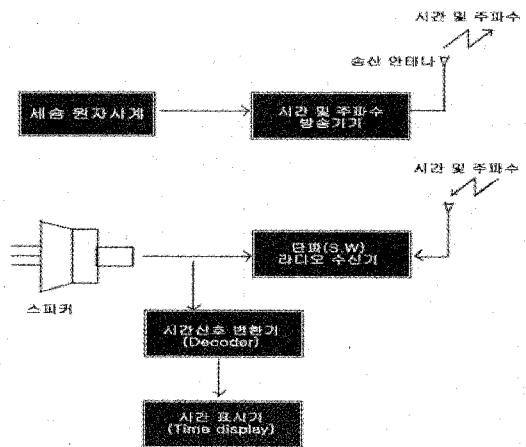


그림 2. 표준주파수국 HLA의 운용 개요

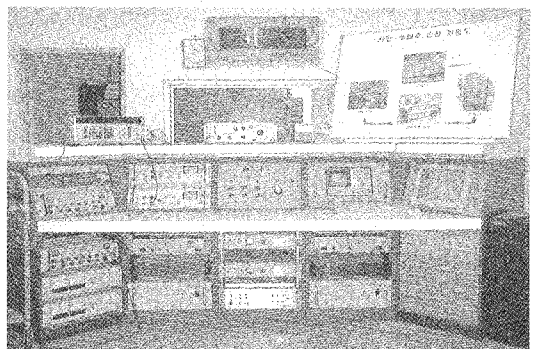


그림 3. 표준주파수국 HLA의 운용장비

2.1.4 전화시보서비스

전화시보 서비스는 전화망을 이용하여 우리나라 전 국민에게 한국표준시에 동기된 정확한 시각을 안내하는 서비스로 한국통신과 한국표준과학연구원 공동으로 제공하고 있다. 전화시보는 전화번호 "116" 번으로 서비스되고 있는데, 한국표준과학연구원에서 유지하고 있는 대한민국 표준시를 전화선을 통하여 매 10초마다 컴퓨터로 합성된 음성으로 사용자에게 알려준다. 현재 대한민국 전역에서 서비스 청취가 가능하며, 년중 매일 24시간 서비스되고 있다.

2.1.5 인터넷에 의한 시각 동기

개인용 컴퓨터(PC)가 널리 보급되면서 PC는 산업 전 분야에서 다양하게 사용되고 있다. 이에 따라 PC에 내장된 시계의 정확도도 그 중요성이 증가하고 있다. 예를 들면, 방송국의 프로그램 관리를 위해 PC를 사용하는 경우, 원하는 시각에 원하는 프로그램이 방송되도록 하기 위해서는 PC의 시계는 중요한 역할을 한다. 또 다른 예로, 인터넷을 통해서 전자 상거래를 하거나 은행 입출금을 하는 경우, PC의 시계가 서로 틀리면 중대한 문제를 일으킬 수 있다. 한국표준과학연구원에서는 PC의 시계를 한국 표준시에 맞추는 프로그램을 개발하여 보급하고 있다. 이 프로그램을 사용자 PC에서 실행시키면 PC의 시각이 자동적으로 한국 표준시각에 맞추어진다. 그림 4에는 한국표준과학연구원에서 운영하고 있는 인터넷 시각동기 장치의 구성을 나타내었다[2].

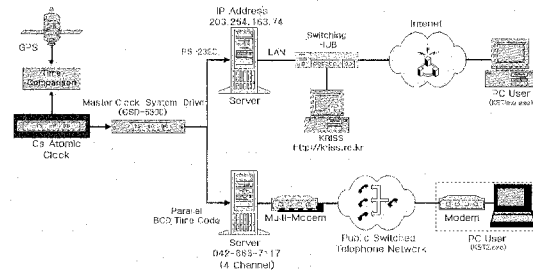


그림 4. 한국표준과학연구원의 인터넷 시각 동기 시스템 구성도

2.2 GPS 위성을 이용한 시각동기 기술

2.2.1 GPS/NAVSTAR 개요

GPS/NAVSTAR란 1960년대부터 미국 국방성에 의해 개발된, 중궤도 위성을 이용한 전지구 항법 시스템을 뜻한다[3]. 본래는 군사적인 목적에 의해 개발이 시작되었으나, 항공 분야를 비롯하여 여러 가지 민간용 목적으로의 효용성이 확인되어 현재는 군사용과 민간용 양쪽의 목적으로 사용되고 있다. GPS 시스템의 본래 목적은 항법 즉, 선박이나 항공기, 작전중인 병사의 위치 파악이 목적이었으나, 전파의 도달 시간을 측정하여 위성으로부터 지상의 사용자까지의 거리를 파악하는 방법을 사용하고 있기 때문에 정확한 시각의 유지가 필수적이다. GPS라는 단어는 Global Positioning System의 약어로서, GPS의 세가지 Segment 즉, Space Segment, Control Segment, User Segment를 총칭하는 말이며, NAVSTAR는 NAVigation Satellite Timing And Ranging의 약어로서, 국방성에서 GPS를 일컫는 공식 명칭이다. 그림 5에 각 Segment들을 나타내었다.

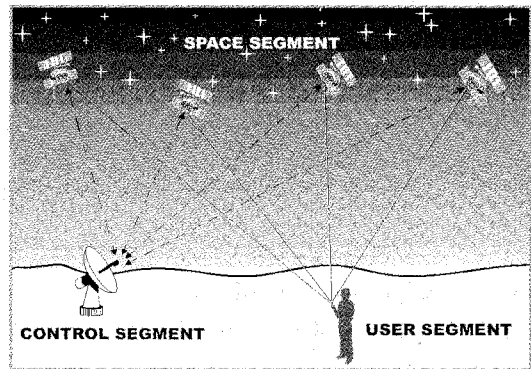


그림 5. GPS 시스템의 3가지 Segment

2.2.2 Space Segment

Space Segment는 지구 상공 약 20,200 km 위를 돌고 있는 20여기의 중궤도 위성군으로 구성되어 있는데 24기의 위성이 궤도면당 4기씩 모두 6개의 궤도면에 나누어 분포된다(그림 6 참조).

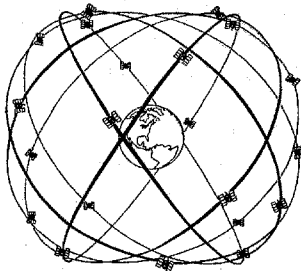


그림 6. GPS 위성군의 궤도면과 위성 분포

각 궤도면의 궤도 경사각은 55° 이며, 각 궤도면 사이의 간격은 60° , 한 궤도면 내에서 위성의 위치는 90° 간격을 유지하도록 Control Segment에 의해 궤도가 유지되고 있다. 현재는 24기의 위성에 예비위성이 추가되어 총 28기의 GPS위성이 지구 상공을 돌고 있다(표 1 참조).

표 1. 2002년 1월 현재 GPS 위성의 현황

궤도면	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5
A	IIA-21	IIA-12	IIA-28	IIA-15	
B	IIA-18	IIA-27	II-2	IIA-22	IIR-5
C	IIA-24	IIA-25	IIA-19	IIA-20	

2.2.3 Control Segment

Control Segment는 말 그대로 GPS 시스템이 원활하게 움직일 수 있도록 감시하고 제어하는 역할을 한다. Control Segment는 1개의 Master Control Station과 5개의 Monitoring Station으로 구성되어 있다. Master Control Station은 미국의 콜로라도주의 콜로라도 스프링스에 위치해 있고 위성의 궤도 수정이나 예비위성의 작동여부 등, 위성 운용에 관한 전체적인 사항을 최종 결정하는 곳이다. Monitoring Station에서는 각 위성의 텔레메트리를 수신하여 운용 상태를 점검하고 궤도 추적을 수행하며, 대기나 전리층에 의한 신호 지연 효과를 점검하여 보정하는 기준국 역할을 한다. 이러한 목적에서 각 Monitoring Station에는 원자 시계가 배치되어 있다. 또한 위성에 명

령을 송신할 수 있는 송신 안테나가 3개소에 배치되어 있다. Master Station을 비롯하여 각 지상국의 위치는 그림 7과 같다[3].

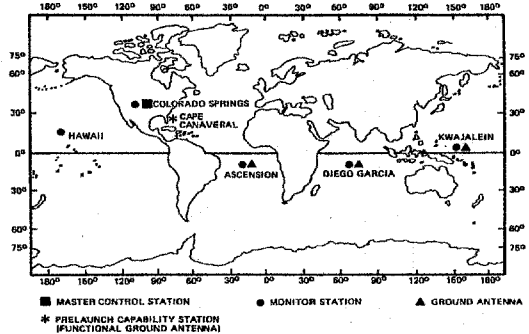


그림 7. GPS 시스템의 Control Segment 위치

2.2.4 User Segment

User Segment는 GPS 수신기를 지닌 모든 사람, 항공기, 선박, 자동차 등이 해당된다. GPS 시스템은 One Way 서비스 시스템이므로 수신기만 가지고 있으면 누구나 사용을 할 수가 있다. GPS 수신기는 일반적으로 위성으로부터의 신호를 수신하기 위한 안테나와 신호 증폭을 위한 Preamplifier(LNA: Low Noise Amplifier), 시각/주파수의 기준이 되는 Local Oscillator, Oscillator 구동용 Frequency Synthesizer, RF→IF 변환용 Down Converter 그리고 가장 핵심이 되는 Signal Processor 와 Code Generator 등으로 구성된다. 여기서 Signal Processor와 Code Generator는 위성으로부터 전송되어 오는 코드를 해석하여 위성과의 거리와 수신기와의 거리를 계산하는 기능을 한다. 기타, 사용자의 목적에 따라 여러 가지 형태의 부수장치가 추가된다.

GPS 수신기는 수신 주파수에 따라 크게 L1 반송파(1.57542 GHz)만 수신되는 민간용과 L1, L2(1.22760 GHz) 반송파가 모두 수신되는 군용 수신기로 분류할 수 있다. 군용 수신기로서만 수신할 수 있는 L2 반송파에는 위성과의 정확한 거리 파악을 위해 군사용 정밀 코드인 P Code (Precision Code)만 실려 있는 반면에, 민간용 반

송파인 L1 반송파에는 P Code 보다 정밀도를 떨어뜨린 C/A Code(Coarse Acquisition Code)가 함께 실려 있다. 따라서 민간용 수신기와 군사용 수신기 사이에는 많은 정밀도 차이가 있다. 또한, 수신기의 사용목적에 따라 항법용, 측지용, 시각 측정 및 동기용 등으로 분류하기도 한다.

2.2.5 GPS 시스템의 작동원리

GPS 시스템에서는 기본적으로 위성과 수신기와의 거리 측정을 위해 신호의 지연 시간을 측정하는 방법을 사용하고 있다. 사용자가 휴대중인 수신기의 스위치를 켜면, 수신기는 가장 먼저 그 내부에 있는 Frequency Oscillator를 작동시켜 가장 먼저 들어오는 GPS의 위성의 신호에 동기 시키는 작업을 수행한다. 그리고 위성에서 송신되는 P Code 또는 C/A Code를 수신하는데, 이때 동일한 형태의 Code가 수신기내에서 발생한다. 그러면 위성으로부터 수신한 코드와 수신기 내부에서 만들어진 코드를 비교하여 위성 신호의 지연 시간을 측정하고 이것으로부터 위성과 수신기와의 거리를 산출한다. 그림 8에서 지연 시간 Δt 가 구해지면 이것에 광속(299,792,458 m/sec)을 곱하여 위성과 수신기와의 거리를 구할 수 있다. 단, 이 때 계산된 거리에 대해서는 수신기 시계의 바이어스 오차로 인한 거리 오차가 포함되어 있기 때문에 의사거리(Pseudo Range)라는 용어를 사용한다.

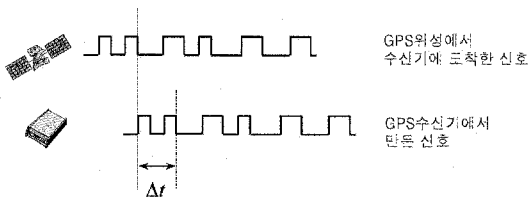


그림 8. GPS 수신기에서의 시간 지연 측정 원리

2.2.6 시각동기 목적으로서의 GPS

무선 통신이 정보통신에 있어서 핵심을 이루는 현재의 통신 인프라에서는 각종 통신장비의 기본이 되는 표준주파수 및 시각을 정확하게 비

교 또는 동기 시키는 기술이 가장 중요한 핵심사항으로 대두되고 있다. 극히 제한적인 주파수 자원을 수많은 가입자가 쪼개어 쓰기 위해서는 정확한 주파수 기준과 시각 기준의 제공은 기본 사항에 해당한다고 말할 수 있다. 특히 무선 데이터 통신의 핵심 기술인 디지털 통신에 있어서는 그 성능 요구사항을 만족하기 위해서 1 μ s 이하의 기준시각 정밀도와 10-11이하의 주파수 안정도를 가진 동기 신호를 제공할 수 있어야 한다. 이 정도의 요구사항을 만족하기 위해서라면 각 기지국마다 원자시계를 갖추어야 하겠지만 고가 장비로 인한 비용 문제 때문에 그리 현실성 있는 해답이라고는 볼 수 없다. 현재의 기술수준에서, 이러한 용도로 가장 손쉽게 사용할 수 있고 또 사용자의 요구 조건을 충족하면서 현실적인 방법이 바로 GPS/NAVSTAR 시스템이다. 미국의 군사용 항법 시스템으로 처음 개발되었던 GPS 시스템은 그 편리성과 저렴한 사용 비용, 게다가 정확성까지 갖추었기 때문에 이제는 무선 통신의 기반 시설로써 없어서는 안될 중요한 시설이 되었다. 특히, CDMA 통신의 규격을 규정한 IS-95B 문서에 의하면, CDMA 통신의 표준주파수 및 시각동기의 기준을 GPS 주파수 및 시각으로 사용하도록 아예 규정을 해 놓았다.

GPS 시각은 주파수 변동에서 오는 바이어스 오차들을 제거하고 고도의 품질과 안정도를 유지하도록 조정된 시각과 주파수 신호를 제공하고 있다. 또한 전원만 공급된다면 언제든지 주파수와 시각동기 신호를 동시에 만들어 내며, 제조정이 필요 없다는 장점도 가지고 있다. 그리고 기술의 발전으로 수신기 가격이 낮아져 저렴한 가격으로 고품질의 동기 신호를 제공받을 수 있게 되었다.

GPS 위성에 장착된 시계들은 고도로 안정된 주파수와 시각을 유지하고는 있으나 각종 오차로 인해 신호 자체는 오차도 크고 단기적으로는 불안정한 형태를 가지고 있다. 이러한 이유로 인해 GPS 신호를 표준 주파수나 시각 동기용으로 바로 쓸 수가 없어서, 일반적으로는 GPS Clock 이라 하여, GPS 수신기외에 Local Oscillator를 장착하여 GPS 신호의 불안정함을 보완하는 방법을

사용한다. 초기 GPS Clock에서는 이 Local Oscillator용으로 Rubidium 발진기를 사용했는데, 안정성은 우수했지만 너무 고가의 부품이었다. 후에 가격이 저렴한 수정 발진자를 이용한 제품들이 등장하였고, 최근에는 GPS 수신기 자체를 Micro Processor로 만든 초소형 제품까지 등장하게 되었다(그림 9 참조).

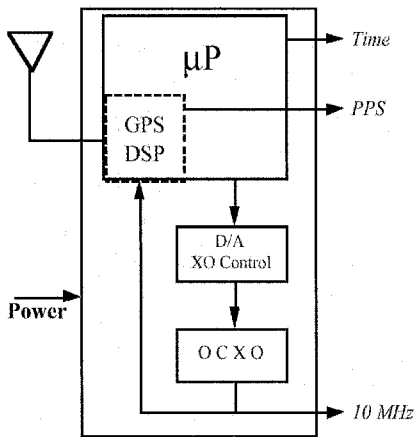


그림 9. 제3세대 GPS Clock 구성도

2.3 정지위성을 이용한 시각동기 기술

2.3.1 INSAT 위성을 이용한 표준시각 동기 운용

인도의 우주기구인 ISRO (Indian Space Research Organization)과 인도 통신부 (Indian Department of Telecommunication)에서 운영하는 INSAT 위성은 동경 74도 적도 상공에 위치한 정지궤도 위성으로써 1982년 4월에 1호 위성이 발사되었으며, 현재 3C까지 발사되었다.

INSAT 위성 시리즈는 방송, Direct TV 방송, 기상관측, Radio Networking, 재해감시 그리고 표준주파수 및 시각 동기를 임무로 하는 위성들이다.

INSAT 위성에서의 시각동기 신호 방송은 상향(uplink) 주파수 5899.675MHz, 하향(downlink) 주파수 2599.675MHz를 사용하고 있다. RF (Radio

Frequency)단에서의 주파수 점유폭은 160KHz이다. 캐리어 신호는 시각 동기 신호를 주파수변조(FM: Frequency Modulation) 시켜 전송하고 있다. 그림 10은 INSAT에서 사용하는 시각 동기 신호의 코드 형식이다. 시각동기 신호의 프로토콜에 대해서는 어떤 표준 형식이 있는 것이 아니므로, 송신국과 수신국이 동일한 체계만 쓴다면 어떤 형식이든 당연히 사용이 가능하다. 단, 이 신호 형식에는 동기 비트와 위성의 위치 정보가 반드시 포함되어야 한다.

동기신호 코드는 우선, 5 KHz의 정현파를 기본으로 사용하여 초당 100개, 즉 1개의 신호 길이가 10 ms에 해당하는 비율로 발생하는 비트 신호를 이용한다. 각 비트 신호는 이진 모드로 구성되는데, 5 KHz의 정현파가 2.5 ms 동안 지속되는 것을 "0", 7.5 ms 동안 지속되는 경우를 "1"로 정의한다. 1초 동안 발생하는 100개의 비트를 모아 하나의 패킷이 구성되는데 그 순서는 다음과 같다. 그림 10에서 첫 번째와 두 번째 비트, 즉 0번과 1번 비트는 매분마다 0초 때에는 "1"이며 그 외에 1초부터 59초까지는 "0"이 된다. 시각 동기의 기준은 0번 비트가 되며 매분의 0초마다 정확도 비교가 가능하다. 2번과 3번 비트는 항상 "0"이다. 4번 비트부터 11번 비트까지는 8 비트, 즉 1 바이트(Byte)의 데이터가 전송될 수 있도록 되어 있다. 전송 데이터의 내용은 매 초마다 달라지는데, 15초 동안 전송된 정보를 모으면 한 세트의 관측 정보가 완료되고 그 다음부터는 15초를 주기로 1분간 같은 내용이 반복된다. 15초 동안 전송되는 내용은 다음과 같다. 0초에는 데이터가 없고, 1초와 2초에는 각각 국가 표준시의 시(hour)와 분(minute) 데이터가 실린다. 3초부터 14초까지는, 각각 4 Byte의 실수로 표현되는 위성의 위치 정보 즉, X_s , Y_s , Z_s 가 들어있다. 세 축에 대한 데이터이므로 총 12 Byte가 소요되며, 위성의 위치 정보는 1분 단위로 갱신된다. 이 때에 사용되는 위성의 위치 정보가 시각 동기의 정밀도를 결정하는 관건이 된다. INSAT의 경우에는 지상국에서 실시간 예측 방법을 사용하지 않고 지상국에서 궤도 전파 프로

그램을 이용하여 일정 기간의 궤도 정보를 미리 만들어서 매분마다 반복하여 전파에 실어 보내게 된다. 12번 비트부터 91번 비트까지는 사용되지 않는 비트로써 80개의 "1" 신호만 이어진다. 92번부터 99번 비트까지의 8비트는 동기 신호 비트 앞에 나오는 예비 신호로써 16진수로 "AA" 신호를 전송한다. 이진 모드로는 "10101010" 로써, 시각 동기 비트가 바로 이어짐을 뜻하는 일종의 준비 신호인 셈이다. 이러한 방법으로 시각동기 신호는 위성을 경유하여 연속적으로 지상의 수신국과 사용자들에게 전달된다[4].

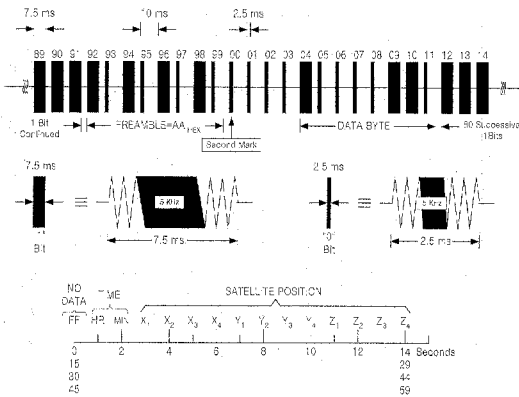


그림 10. INSAT 위성의 시각동기 코드 형식과 신호 체계

동기 신호에 실리는 INSAT 위성의 위치 정보는, 사용자가 전파의 지연 시간을 수월하게 계산할 수 있도록 Cartesian 좌표계의 x, y, z 축으로 정의되는데, 보통 7일에서 10일 간격으로 INSAT 위성의 주 관제소로부터 제공받는 케플러 궤도 요소를 Cartesian 좌표계로 변환하여 사용한다. 관제소로부터 제공받는 궤도 정보는 6개의 케플러 궤도요소를 입력값으로 하고, 각 섭동력을 포함한 궤도 전파 프로그램을 이용하여 2주간의 위치 정보를 한시간 간격으로 출력하여 매 시간마다 동기 신호에 사용하고 있다.

INSAT 위성의 시각신호 송신국은 북위 28°, 동경 78°의 Sikandrabad에 위치하고 있다. 동기 신호 송신 시스템의 대략적인 구조를 그림 11에 나타내었다. 우선 송신국의 기준 시각이 되는

Cesium 시계는 이동원자시계 방법에 의해 UTC와 항상 동기가 되어 있고, 이 Cesium 시계가 인도의 국가 표준시가 된다. Cesium 시계에서는 1 MHz와 1 pps(part per second)의 비율로 시각 신호가 생성된다. 그림 11의 시각동기 신호 생성 과정에서 중심이 되는 부분이 시각 정보와 위성의 위치 정보를 모아 5 KHz의 시각 신호를 생성하는 Time Code Generator이다. 이곳에서는 8비트 마이크로 프로세서와 논리회로의 작동에 의해 앞서 설명한 1초당 100개의 비트 신호들을 생성한다. 여기에 개인용 컴퓨터에서 작성된 위성의 위치 정보가 모아져서 주파수가 5 KHz의 시각 코드가 생성되고 이 신호는 중간 주파수 캐리어에 의해 54.675 MHz로 주파수 변조가 된다. 여기에 combiner에 의해 광대역 TV 신호를 비롯한 몇 가지 신호가 합해져 70 MHz로 상향 변조되고, UP CONVERTER를 지나는 동안 다시 송신주파수(5899.675 MHz)까지 상향 변조되어 직경 11.8 미터의 송신 안테나로 보내진다.

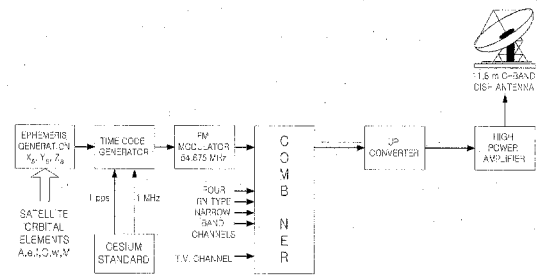


그림 11. INSAT 위성의 시각동기 신호 송신 체계

시각동기 신호의 수신 시스템의 대략적인 구조를 그림 12에 나타내었다. 일단 신호는 직경 2.5 미터의 수신 안테나에 하향 주파수 2599.675 MHz로 수신된 다음, 54.675 MHz로 하향 변조된다. 그리고 FM 수신기를 거치면서 복조(Demodulation) 단계를 거치면 5 KHz의 시각 코드를 얻게 된다. 이 시각 코드를, 송신 시스템의 Time Code Generator와 반대 작용을 하는 신호 복호기(Signal Decoder)로 해석하면 원하는 시각동기 신호와 위성의 위치 정보를 얻을 수 있

게 되며, 수신국의 Local Clock 신호를 읽어서 시각 비교 내지는 동기화를 할 수 있게 된다[5].

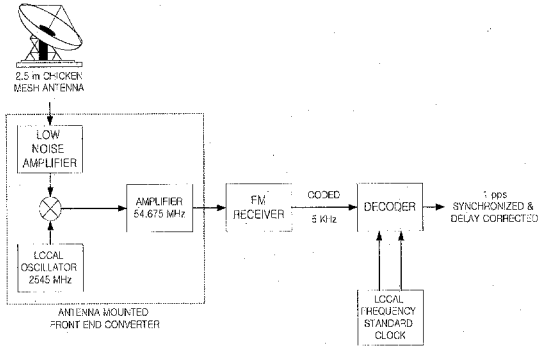


그림 12. INSAT 위성의 시각동기 신호 수신 체계

송신국과 수신국의 위치 좌표는 변하지 않으므로 수신기의 기억장치에 사전에 입력이 되어있다. 송신국, 수신국, 위성의 위치를 모두 알게 되면, 동기 신호의 전달 경로를 알수 있고, 경로 길이를 광속으로 나누어 주면 신호의 지연 시간을 알수 있다. INSAT 위성의 경우, 시각 동기 정확도를 측정하기 위해 두 종류의 장비가 수신국 쪽에 마련되어 있다. 하나는 Linear Phase Comparator 로써 표준 주파수의 변이를 측정하기 위한 장비이며, 나머지 하나는 Time Interval Counter로써 Local Clock과 시각동기 신호와의 시각차 측정에 사용된다.

2.3.2 TDF2 위성을 이용한 표준 시각 동기 실험

지구정지궤도 상의 TV방송위성은 지상 어느 곳에서든 서비스 지역 내에서라면 항상 볼 수 있다는 장점 때문에 멀리 떨어진 지역간의 시각동기 신호의 중계 매체로 관심을 모으고 있다. 프랑스에서도 TV방송위성인 TDF2 위성의 신호를 이용하여 10 ns 이내의 오차 정밀도로 시각동기 신호를 송수신하는데 성공하였다. 표준주파수 동기에 있어서도 10일간 측정하여 평균값을 계산해본 결과, 10-14의 주파수 안정도를 나타내었다. 프랑스의 실험에서 사용한 방법에 대해 알아보기

로 한다.

위성을 이용한 시각동기를 수행함에 있어서 발생할 수 있는 오차는 대기에 의한 지연 오차, 전리층 지연 오차, 송수신 장비에서의 기계적인 오차, 안테나의 위치 오차 등 여러 가지가 있다. 그러나 이러한 모든 오차는 10 ns 미만의 아주 적은 오차를 유발할 뿐이며, 가장 큰 오차 원인이 되는 것은 위성의 위치 오차이다. 위성의 위치 오차는 경우에 따라 수 μ s까지도 발생할 수 있다. 정지궤도 위성을 이용한 시각동기 기술에서 가장 핵심이 되는 것이 바로 위성의 위치를 정밀하게 예측하는 기술이다. 이 때, 정밀한 위치 예측을 위해 널리 쓰이는 방법이, 미리 동기가 된 지상의 기준국을 이용하여 송신 시각을 보정하는 미분보정 방법이다. 인도의 INSAT의 경우에도 이러한 방법을 쓰고 있으며, 프랑스의 TDF2 위성의 경우에도 미리 시각이 동기된 4곳의 기준국을 이용하여 수신 시각을 수집하고 이를 토대로 위성의 시각별 위치를 예측하는 방법을 사용하고 있다. 실험에 사용된 TDF2 위성은 서경 19도 적도 상공에 위치한 TV 방송용 위성으로써, D2 MAC 방식 표준 TV 신호를 송출하고 있다.

이러한 기본 원리는 우선 TV 신호의 특정 부분을 시각동기용으로 쓰도록 기준을 정하는 것이 필요하다. 두 곳의 수신국에서 수신한 이 기준 신호의 수신시각(TOA, Time of Arrival) 차이에서 각종 오차 요인을 제거할 수 있다면 순수한 두 지역의 Local Clock의 차이만을 구할 수 있을 것이다. 단, TDF2 위성을 이용한 실험의 경우 Baseline이 1,000 km 이상인 기준국이 적어도 4개 이상 필요하다는 약점이 있다[6].

2.3.3 정지궤도 위성을 이용한 시각동기 시스템의 문제점

정지궤도 위성의 경우에는, 1주일 내지 2주일 간격으로 East West 혹은 North South Station-keeping Maneuver를 수행해야 하는데 이 때에는 위성의 위치가 급격하게 변하게 된다. 따라서 Time Code에 실리는 위성의 위치 정보의 오차가 잠시 커지게 되는데, 이 때에는 지상 수신기

에 설치된 Local Oscillator를 사용하여 표준 주파수 및 시각을 제공하는 방법을 이용한다.

3. 결 론

지금까지 원격지 사이의 시각을 동기시키기 위한 일반적인 방법들에 대해 살펴보았다. 과거 GPS 위성 시스템이 등장하기 이전에는 원격지 간의 시각 동기를 위해서 유선이나 무선 단파 방송, 이동원자시계 등을 사용했으며 시각 동기 목적에 교통이나 방송 등의 주로 국민들의 일상적인 생활과 연관된 부분이었다. 최근에 와서 휴대폰을 비롯한 각종 무선 데이터 통신을 위해 수많은 기지국들이 필요해졌고, 미국의 군사위성 시스템인 GPS 위성이 이들에 대한 시각 동기 신호 서비스를 담당하고 있다.

최근에 와서 미국의 GPS 위성에만 의존하고 있는 시각 동기 서비스의 대안으로써 정지위성을 이용한 시각 동기 방법이 제시되었다. 이에 대한 연구는 인도에서 처음 시작되었으며, 프랑스, 일본, 우리나라 등이 관련 기술 연구를 수행하고 있다. 본 논문에서 서술된 내용들은 한국항공우주연구원에서 수행중인 '정지위성을 이용한 시각동기 기술 연구'의 기초 자료로써 사용될 예정이다.

참 고 문 헌

1. <http://www.eurofix.tudelft.nl/indexjs.htm>
2. 한국표준과학연구원 시간주파수연구실.
홈페이지 <http://www.kriss.re.kr/time>
3. 미 해군천문대 홈페이지.
<http://www.usno.navy.mil>
4. Gupta, A. S. and Mathur, B. S., "Standard Time and Frequency Signal Broadcast Via INSAT-Accuracy Improvements Using Differential Mode", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 46, No. 2, 1997, pp. 212-215.
5. Gupta, A. S., Hanjura, A. K. and Mathur, B. S., "Satellite Broadcasting of Time and Frequency Signals", Proceedings of the IEEE, Vol. 79, No. 7, 1991, pp.973-981.
6. Meyer, F., "One-Way Time Transfer Using Geostationary Satellite TDF2", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 44, No. 2, 1995, pp.103-106.