

측정기 교정 기술 연구

윤 상 주

1. 서 론
2. 국가 검교정 제도
3. 전자파 및 시간 주파수 분야 교정검사 기준
4. 시간 및 주파수 개요
5. 주파수 발생기
6. 표준전파신호의 이용
7. 인공위성을 이용한 시각 비교
8. 결 언

1. 서 론

우리나라의 공업화 수준은 원시공업, 경공업 그리고 노동집약공업화 단계를 지나서 중화학공업의 단계에서 이제는 지식집약산업의 공업화단계인 선진국으로 진입하고 있다.

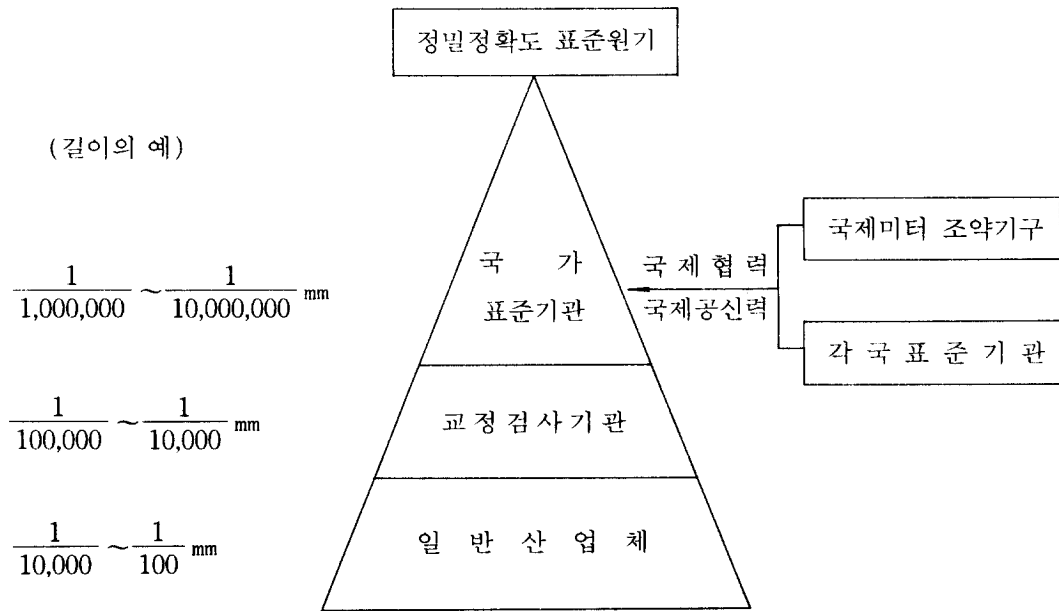
정밀정확도는 섬유공업과 같은 경공업 생산체제에서는 그 중요성이 크게 인식되지 못하였으나, 기계, 전자 등의 중화학공업과 방위산업체제에서는 이의 중요성이 절실히 요청되고 있으며, 각종 계측장비의 높은 정밀도 유지와 정확한 교정기술은 첨단산업의 발전을 촉진하고 있으며 정밀계측 기술의 발전에 따른 필수적 당면과제이다.

본 보고서에서는 전자과 계량분야 감쇄량, 임피던스 전압 및 전력 부분의 교정기술 연구와 당소에서 보유 운용중인 세습표준 주파수원기 이용 극대화에 대하여 연구하였다.

2. 국가 검교정제도

국가계량 표준은 광공업 생산에서부터 과학기술, 국방 및 병기생산, 국제무역 및 일반상거래 그리고 일상생활과 문명발달등 다양하게 활용되며, 자유경쟁과 대량생산을 특징으로 하는 현대의 모든 기업은 표준화의 품질향상을 하지 않고서는 원가절감 및 생산성 향상 등을 기대할 수 없으며, 국제경쟁력을 강화할 수 없는 것이다. 이러한 요소의 근본이 되는 것이 바로 정밀 정확한 계량계측 기술수준 향상이며 국가계량 표준이다.

특히 국가 계량표준은 기술주도형의 고도 두뇌산업발전을 촉진하며 차원높은 정밀 정확도를 요구한다. 계량계측기술 보급촉진과 계량계측 기기의 정밀 정확도 향상을 위하여 공업진흥청에서는 국가 검교정기관 관리규정과 동 실시요령을 고시하여 국가 검교정제도를 확립하고 있으며 이에 따라 한국표준연구소를 우리나라의 국가 표준정점인 국가 표준연구 기관으로 정하고 전국적인 국가 검교정 체계조직을 위하여 지역별로 국가 교정검사 기관을 확대 지정하여 각 산업체에 국가표준을 공급하므로서 국가표준에 대한 정밀도를 유지토록 하고 있다.



3. 전자파 교정검사 기준

국가 표준기관인 한국표준연구소, 교정검사기관 및 자율 교정업체로 분리하여 일반 산업체의 계측시설을 교정할 수 있도록 하고 있다.

가. 교정검사 기관

해당분야의 환경조건, 기술인력기준, 기기별 설비기준을 보유하고 공업진흥청의 승인을 득한 기관으로서 자체정비와 대외장비 등을 교정할 수 있다.

또한 계량 분야를 추가지정 받고자 하는 경우에도 역시 공업진흥청의 승인을 득해야 한다.

1) 교정검사 기관의 환경조건 기준

당소에서는 무선기기의 품질 및 성능을 보장하여 국민의 인명과 재산을 보호하고 전파질서를 유지하기 위하여 무선기기의 형식검정, 전기통신 기자로부터 발생하는 EMI를 시험측정하기 위한 EMI/EMS 시험측정, 인공위성을 추적하고 수신기술을 연구하기 위하여 위성전파 수신시설 운용, 세습주파수 원가를 이용한 주파수 표준장치의 운용을 하고 있어 이에 관련된 전자파 분야, 시간 및 주파수 분야에 관한 평가 기준을 고찰하였음.

구 분	조 건	비 고
1. 온 도	<ul style="list-style-type: none"> • $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 혹은 $20^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 온도 변화율 : $2^{\circ}\text{C} / \text{h}$ 	공 통
2. 습 도	<ul style="list-style-type: none"> • 55% 이하 	공 통
3. 먼 지	<ul style="list-style-type: none"> • $0.5\mu\text{m}$보다 큰 먼지 4×10^7개 / m^3이하 • $1.0\mu\text{m}$보다 큰 먼지 7×10^6개 / m^3이하 • $50\mu\text{m}$ 보다 큰 먼지 : 허용안됨 	공 통
4. 전 자 기 차 폐	<ul style="list-style-type: none"> • 전기자장의 세기 $150\mu\text{V} / \text{m}$이하 • 직류접지 BUS와 대지사이의 저항 2 ohm 이하 • 교류접지와 대지사이의 5 ohm 이하 	전 자 파 분 야
	<ul style="list-style-type: none"> • 직류접지 BUS와 대지 사이의 저항 2 ohm 이하 • 교류접지와 대지 사이의 저항 5 ohm 이하 	시 간 및 주파수분야
5. 소 음	<ul style="list-style-type: none"> • 55dB(A) 이하 	공 통
6. 조 명	<ul style="list-style-type: none"> • 500lx 단, 필요시는 보조 등을 사용할 것 	공 통
7. 실 내 압	<ul style="list-style-type: none"> • 실내 기압이 실외 기압보다 높을것 	
8. 전 원	<ul style="list-style-type: none"> • 모든 고조파의 전압 실효치의 합이 부하가 0에서 최대로 변할 때 기본전압의 실효치의 5%를 초과하지 않을것 • 전압 변동율이 5% 이상일 경우에는 전압 안정기를 갖출것 	공 통

2) 기술인력 기준

교정검사 기관에 확보해야 할 기술직 및 기능직의 자격요건은 다음과 같다. 다만, 해당 계량 분야의 전문교육을 이수한 자는 지정계량분야의 구분없이 업체의 형편에 따라 운영할 수 있다.

○ 기술직

전문대 이상 졸업자(동등 이상의 학력자 포함), 국가기술자격 취득자(계량기사, 정밀 측정기사등) 또는 계량분야 5년 이상 종사자로서 해당 계량분야의 전문 교육을 이수한 자로 교정절차를 숙지하고 측정능력을 갖춘자.

○ 기능직

고졸 이상자, 국가기술자격 취득자(계량 기능사, 정밀측정 기능사등) 또는 계량분야 3년이상 종사자로서 해당 계량분야의 전문교육을 이수한 자로 교정절차를 숙지하고 측정 능력을 갖춘자.

3) 시간 및 주파수 계량 분야 설비기준

가) 기기

○ 정밀 수정주파수 기준기(Aging rate ; 10^{-9} / day 이내) : 1대

○ VLF 수신기 : 1대

○ Electronic Counter With GPIB(시간간격 측정, 주파수 측정) : 1대

※ 이상 기기와 대체시킬 수 있는 기능을 가진 기기를 보유할 경우에는 대체도 가능함

나) 부대장비 및 시설

○ Phase Comparator With Recorder : 1대

○ Oscilloscope(\sim ns, Ext. trig) : 1대

○ Micro-Computer With GPIB : 1대

○ Frequency Synthesizer : 1대

4) 전자파 분야 설비기준

가) 감쇠량

(1) 기기

(가) 전력비 측정법 및 가청주파수 대체 측정 시스템

○ 신호 발생기 : 1대

○ 주파수 계수기(3×10^{-7} / month) : 1대

○ 방향성 결합기(10dB, Dir. 30dB 이상) : 1대

○ Filter 1대 : 신호 발생기의 고조파가 30dBc 이하면 면제 가능

○ Adaptor : 1 Set

○ 가변 감쇄기(0-80dB, 10dB step, 0.2dB / 10dB) : 1대

○ Thermistor Mount 또는 Power Sensor(3%) : 1대

○ Power Meter(0.5%) : 2대

○ 감쇄기 : 2대(6dB 또는 10dB, 입출력 정재파 1.1이하)

(나) 감쇠기 교정기 시스템

○ 신호발생기 : 1대

- 감쇠기 발생기(0.2dB / 10dB) : 1대
- 주파수 계수기
- 방향성 결합기 : 1대(10dB, Dir. 30dB 이상)
- 감쇠기 : 2대(6dB 또는 10dB, 입출력 정재파비 1.1 이하)
- (다) 회로망 분석기 시스템 : 1 Set($\pm 0.2\text{dB} / 10\text{dB}$, 신호발생기등 각종 Accessary 및 각종 Adaptor 포함)
- * 주1 : (가), (나), (다)의 측정시스템중 하나만 보유하면 됨
- * 주2 : 상기 각 시스템은 측정 시스템 구성에 필요한 각종 Accessary 및 Adaptor를 구비하여야 한다.
- * 주3 : 상기 장비와 대체 할 수 있는 기기 또는 시스템을 보유하면 대체도 가능

나) 임피던스

(1) 기기

(가) Vector Impedance Meter : 1대

(나) Slotted line 시스템

- 신호발생기 : 1대
- Slotted line(Max. Res. 1.1) : 1대
- SWR Meter : 1대
- 감쇠기 : 1대(6dB 혹은 10dB, 정재파비 1.1 이하)
- Precision Short : 1대
- Precision Termination : 1대
- 각종 Adaptor

(다) RF Impedance Bridge 시스템

- 신호 발생기 : 1대
- RF Impedance Bridge : 1대
- Precision Short : 1대
- Test Receiver : 1대(감쇠량을 측정 할 수 있는 다른 기기와 대체 가능)
- 각종 Adaptor

(라) 회로망 분석기 시스템 : 1대

(마) RF Impedance Analyzer : 1대

* 주1 : (다), (라), (마)는 보유권고장비로 보유치 않아도 됨.

(다), (라), (마)중 하나를 보유하면 (가), (나)를 대체 할 수 있음

※ 주2 : 상기 각 시스템은 측정시스템 구성에 필요한 Accessory 및 Adaptor를 구비하여야 함

※ 주3 : 상기 장비와 대체 할 수 있는 기기 및 시스템을 보유하면 대체도 가능함

다) 전 압

(1) 기기

(가) Thermal Voltage Converter 시스템

- 신호발생기 : 1대
- Thermal Voltage Converter($\pm 2\%$) : 1대
- T-Junction : 1대
- DVM ($\pm 10^{-5}$) : 2대(직류전압원이 DC Calibrator인 경우에는 1대로 가함)

(나) Thermal Transfer Standard 시스템

- Thermal Transfer Standard($\pm 2\%$) : 1대
- DVM : 1대
- 직류전압원 :
1대(Thermal Transfer Standard의 기능에 따라 면제 가능)
- 신호발생기 : 1대

※ 주1 : 시스템 (가), (나)중 하나를 선택하여 보유하면 됨

라) 전력

(1) 기기

- 신호 발생기 : 1대
- 주파수 계수기 : 1대
- 방향성결합기(10dB, Dir. 30dB이상) 2대 : 신호발생기에 RF monitor 단자가 있는 경우에는 1대만 필요
- Thermistor Mount 3대($\pm 3\%$) : 1대는 Thermocouple Sensor 혹은 Diode Power Sensor 로 대체 가능
- Power Meter : 2대
- Filter 1대 : 신호발생기의 고조파가 40dB C 이하의 경우에는 생략가능

5) 전자파 계량분야 및 계측기기 교정검사 주기

계측기기별 교정검사 주기는 금년을 기준으로 다시 수정을 하고 있음을 참고로 밝혀 둔다.

가) 감쇠량

기 기 명	교 정 주 기		
	표준기	기준기	정밀계기 일반계기
감쇠기 교정기(Attenuator Calibrator)	36	12	—
동축형 고정 감쇠기(Coaxial Fixed Attenuator)	—	24	12
동축형 가변 감쇠(Coaxial Variable Attenuator)	—	24	12
도파관형 고정 감쇠기(Waveguide Fixed Attenuator)	—	24	12
도파관형 가변 감쇠기(Waveguide Fixed Attenuator)	—	24	12
동축형 방향성결합기(Coaxial Directional Coupler)	—	12	12
도파관형 방향성결합기(Waveguide Directional Coupler)	—	12	12

나) 임피던스

기 기 명	교 정 주 기		
	표준기	기준기	정밀계기 일반계기
동축형 표준 부정합(Coaxial Standard Mismatch)	36	24	12
도파관형 표준 부정합(Wave-guide Standard Mismatch)	36	24	12
동축형 고정 위상천이기(Coaxial Fixed Phase Shifter)	—	12	12
동축형 가변 위상천이기(Coaxial Variable Phase Shifter)	—	12	12
도파관형 가변 위상천이기(Coaxial Variable Phase SHifter)	—	12	12
지연선(Delay line)	—	24	24

기 기 명	교 정 주 기		
	표준기	기준기	정밀계기 일반계기
고 주 파 위 생 계 (RF Phase Meter)	—	12	12
정 재 파 비 측 정 기 (SWR Meter)	—	12	12
임 피 던 스 계 (Impedance Meter)	—	12	12

다) 전 압

기 기 명	교 정 주 기		
	표준기	기준기	정밀계기 일반계기
고주파미소전압표준기 (RF Micro Potentiometer)	24	12	—
열 전 압 변 환 기 (Thermal Voltage Converter)	24	12	—
고 주 파 전 압 계 (RF Voltmeter)	—	12	12
백 터 전 압 계 (Vector Voltmeter)	—	12	12

다) 전 력

기 기 명	교 정 주 기		
	표준기	기준기	정밀계기 일반계기
동축형 써미스타 마운트 (Coaxial Thermistor Mount)	—	12	12
도파관형 써미스타 마운트 (Waveguide Thermistor Mount)	—	12	12
열전대 전력 감지기 (Thermocoupler Power Sensor)	—	12	12
고주파 전력 측정기 (RF Power Meter)	—	12	12
다이오드 전력 감지기 (Diode Power Sensor)	—	12	12
펄스 전력 측정기 (Pulse Power Meter)	—	12	12
고주파전력측정기교정기 (RF Power Meter Calibrator)	12	12	—

마) 기타 전파계측 기기

기 기 명	교 정 주 기		
	표준기	기준기	정밀계기 일반계기
전 계 강 도 측 정 기 (Field Strength Meter)	—	12	12
이 극 안 테 나 (Dipole Antenna)	36	24	24
환 상 안 테 나 (Loop Antenna)	36	24	24
혼 안 테 나 (Horn Antenna)	36	24	24
고 - 저 음 잡 음 표 준 기 (Hot-Cold Body Noise Standard)	36	24	24
등 축 형 잡 음 원 (Waveguide Noise Source)	—	24	12
도 파 관 형 잡 음 원 (Waveguide Noise Source)	—	24	12
잡 음 발 생 기 (Noise Generator)	—	24	12
잡 음 계 수 측 정 기 (Noise Figure Meter)	—	18	12
고 주 파 신 호 발 생 기 (RF Signal Generator)	—	18	12
증 폭 기 (Amplifier)	—	12	12
스 펙 트 럼 분 석 기 (Spectrum Analyzer)	—	12	12
회 로 망 분 석 기 (Netowrk Analyzer)	—	12	12
주 파 수 계 (Frequency Meter)	—	12	12
고 주 파 주 파 수 계 수 기 (RF Frequency Counter)	24	12	12
레 이 다 시 험 장 치 (Radar Test Set)	—	—	12
변 조 계 (Modulation Meter)	—	12	—
슬 로 티 드 라 인 (Slotted line)	—	24	—
탄 속 측 정 기 (Bullet Speed Meter)	—	12	—

4. 시간 및 주파수 개요

가. 태양시

시간 및 주파수는 7가지 기본 물리량(시간, 길이, 질량, 온도, 전류, 강도, 물질의 양)중 가장 정밀하게 측정할 수 있는 양이기 때문에 다른 기본 물리량을 측정하는데 이용되고 있다.

예를 들면 길이의 기본 미터가 “빛이 진공중에서 1 / 299, 792, 458초)동안 진행한 길이”로 정의됨으로써(1983년) 시간단위인 초가 길이 측정에 이용되고 있다. 이와 같이 중요한 시간의 단위를 1958년 이전에는 태양의 하루의 주기를 1년동안 평균하여 평균 태양일을 정의하였고 이 평균 태양일의 86,400분의 1을 평균 태양초로하여 사용하여 왔다.

나. 원자시

1976년에 열린 제13차 국제도량형총회(CGPM)에서는 시간의 기본 단위인 초의 정의를 세슘원자의 특성에 기반을 두어 정의하였고 1971년 제14차 국제도량형총회에서 원자시 척도를 승인하였고 1972년 이래로 원자시 척도는 세계 대부분의 나라에서 사용되고 있다.

다. 1초의 정의와 그 변천과정

1956년 이 전

평균 태양초

1초=평균 태양일의 86,400분의 1

1956년~1967년

역표시 초

1초=1956년 1월 0일 12시에 대한 태양년의 31556925.9747분의 1

1967년 이 후

원자 초

1초=세슘133원자의 기저 상태에서 있는 두 초미세 준위간의 전이에 대응하는 복사선의 9,192,631,770기의 지속시간

5. 주파수 발생기

가. 수정 발전기

수정이 가지고 있는 압전효과(Piezoelectricity)를 이용하여 주파수를 발생시키는 장치이다. 수정 공진기의 공진주파수는 다음과 같이 길이방향의 진동, 비틀림, 두께방향의 진동, 층밀리움 등과 같은 형태를 갖는다.

일반적으로 수정 결정의 두께가 얇아 질수록 공진주파수는 높아지는데 두께를 얇게 만드는 것은 한계가 있기 때문에 높은 주파수를 얻는데는 공진기의 배진 등을 이용한다.

그림5.1 수정 결정의 진동 모드

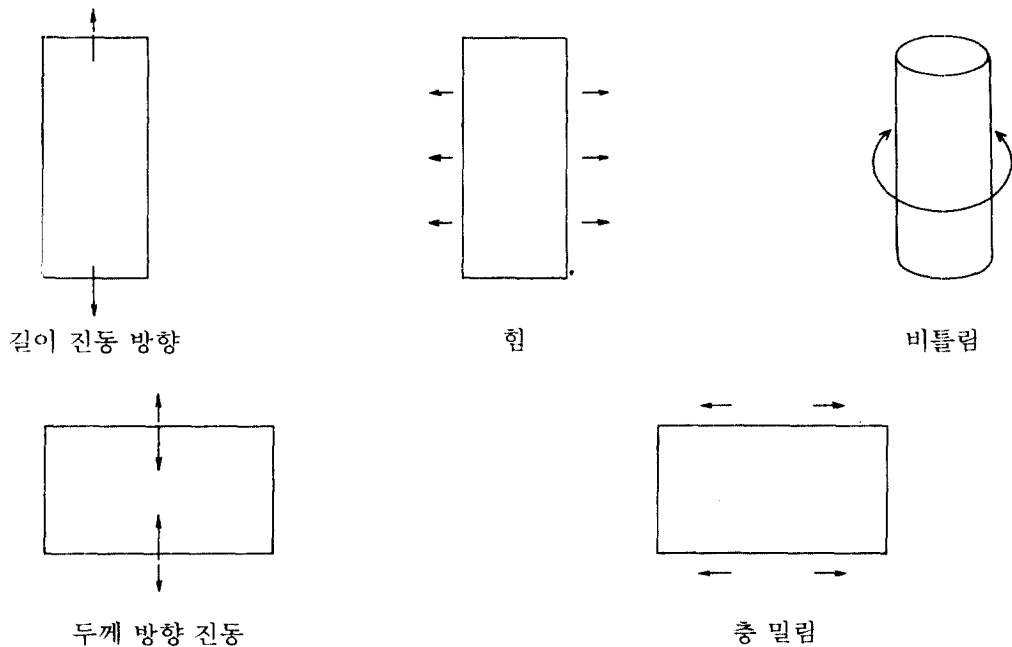
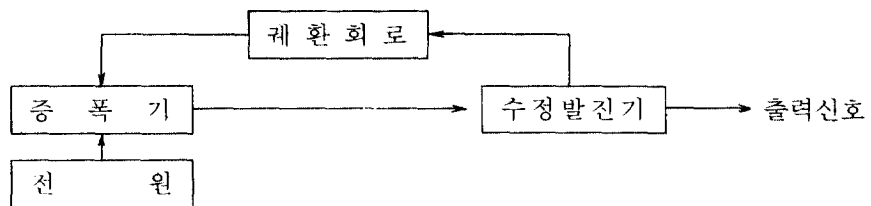


그림5.2 수정 발전기의 회로도



수정 발진기는 온도 변화에 따른 주파수 변화가 작도록 하는 것과 경년 변화가 작도록 하는 것이다. 이것은 수정편을 AT절단과 GT절단이 좋은 것으로 알려져 있다.

온도에 따른 주파수 변화를 해결하기 위해 온도보상 수정발진기(TCXO)가 개발되기도 하였다.

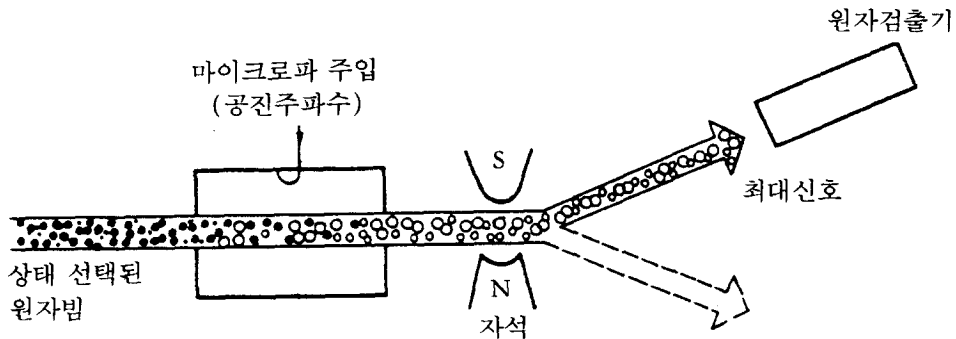
수정공진기의 Q값은 대개 $10^4 \sim 10^6$ 정도이다. 높은 Q값으로 인하여 단기 안정도는 아주 우수하다. 측정시간 1초에 대한 단기 주파수 안정도는 10^{-11} 정도로 우수한데 장기 주파수 안정도는 경년 변화로 인하여 측정 시간이 길어질수록 나빠진다. 이 때문에 수정 발진기는 적어도 1년에 한번씩은 꼭 교정을 받아야 한다.

나. 세슘원자 시계

세슘원자 시계는 Cs^{133} 원자를 사용한다.

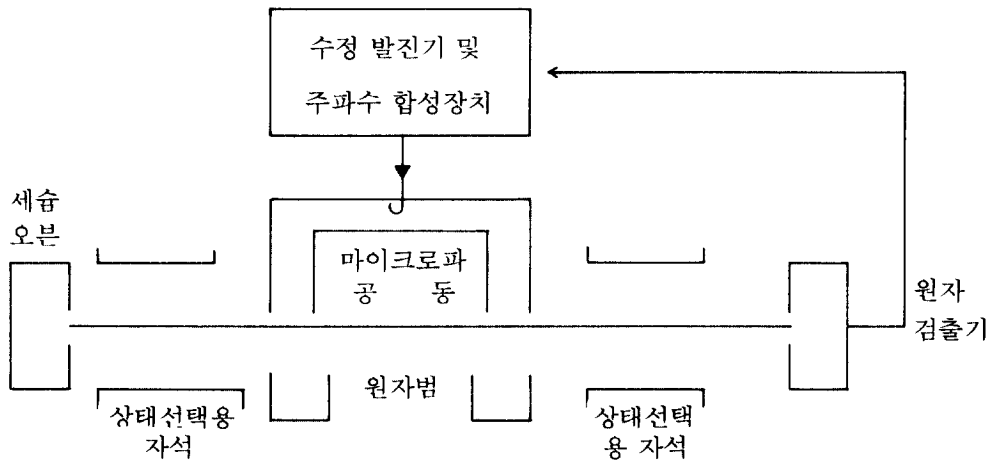
세슘원자 시계는 공진 주파수는 9,192,631,770Hz인데 이 주파수는 기저상태에 있는 세슘원자의 두개의 특정한 초미세 준위 사이의 에너지에 해당하는 값이다.

그림5.3 원자의 공진 현상과 원자 검출



세슘원자 시계의 주요 구성 요소는 세슘오븐과 상태 선택용 자석, 마이크로파 공동, 원자 검출기, 수정 발진기를 포함한 주파수 합성장치로 되어 있다.

그림5.4 세슘원자 시계의 구성도



상용 세슘원자 시계의 장기안정도는 10^{-12} 정도이고 정확도는 10^{-11} 정도이다.

상용 세슘원자 시계의 원자 빔관은 수명이 3년 정도이기 때문에 3년마다 교체해 주어야 한다.

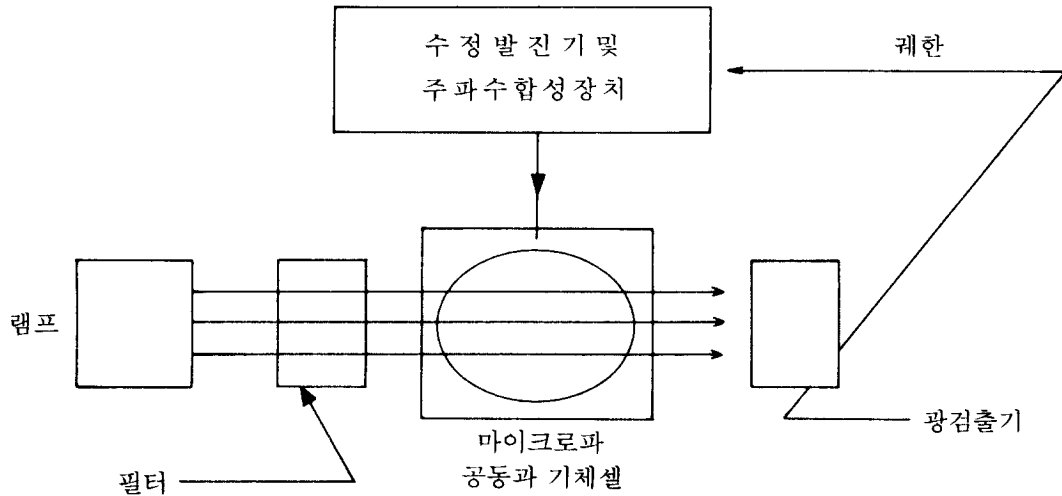
다. 루비듐 원자 시계

루비듐 원자 시계는 원자의 상태 선택과 원자검출 방법으로 광학적인 기법을 사용한다. 루비듐의 공진 주파수는 6,834,682,608Hz이다.

제작이 세슘원자 시계보다 용이하기 때문에 널리 사용되고 있으며, 단기주파수 안정도는 10^{-11} 정도로서 수정 발진기와 비슷하고 장기주파수 안정도는 10^{-12} 정도로서 세슘원자 시계보다 떨어지나 수정발진자 보다 우수하다.

루비듐 원자 시계는 2차 교정기관에서 시간주파수 표준으로 많이 이용되고 있다.

그림5.5 루비듐 원자 시계의 구성도



라. 수소 메이저 발생기

메이저(MASER)란 말은 유도방출에 의한 마이크로파의 증폭(Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation)이란 말의 축어로서 요즘 흔히 듣는 레이저(LASER)와 같은 원리로 발생하는 것인데 단지 그 주파수가 마이크로파 영역에 있다는 것만 다르다.

수소 메이저는 수소원자의 두 에너지 상태를 이용한 것인데 에너지가 높은 상태에 있던 원자가 에너지가 낮은 상태로 떨어지면서 그 두 상태 사이의 공진주파수에 해당하는 마이크로파가 발생한다. 이 마이크로파가 공동 속에서 위상 변동없이 증폭된 것이 수소 메이저이다.

수소 메이저는 공진 주파수가 1,420,405,752Hz이다.

Q값은 10^9 정도로 현재 상용화되어 있는 어떤 주파수 발생기보다 높다.

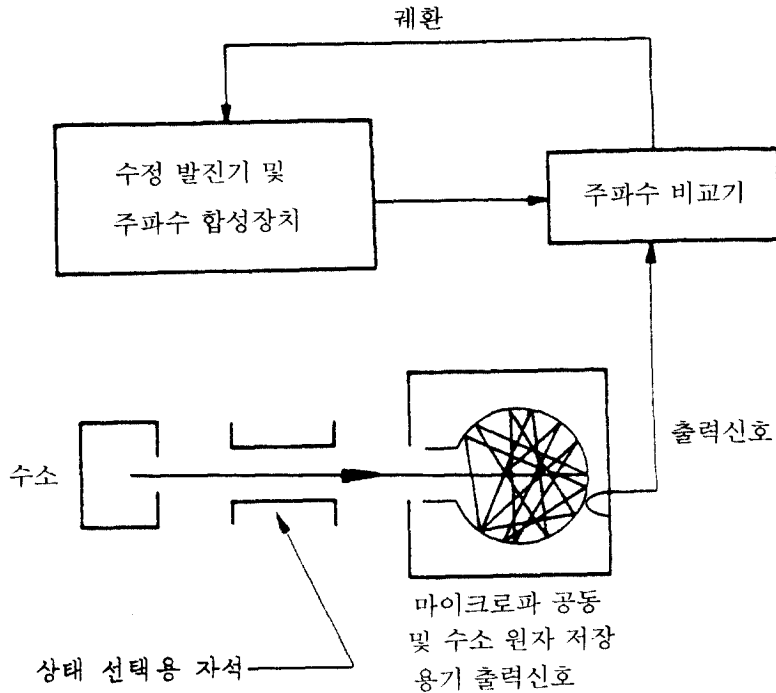
단기 주파수 안정도는 10^{-13} 정도이고 장기 주파수 안정도는 $10^{-14} \sim 10^{-15}$ 정도이다.

수소 메이저는 요즘 대륙의 이동을 측정하는데 이용되고 있다.

지구에서 멀리 떨어진 별에서 오는 빛을 동시에 수신함으로써 시간에 따라 두지점 사이의 거리가 얼마나 변화하는가를 측정하는데 이 측정에서 동시라는 개념이 아주 중요한데 이것을 담당할 수 있는 것이 수소 메이저이다.

수소 메이저는 성능이 이와 같이 좋지만 가격이 세슘원자 시계보다 10배 가량 비싸기 때문에 세슘만큼 많이 보급되어 있지는 않다.

그림5.6 수소 메이저 발생기의 구성도



6. 표준전파신호의 이용

가. 표준단파신호의 이용

한국표준연구소에서는 표준단파방송(5MHz, 호출부호 : HLA)을 출력 2Kw로 아침 10시부터 저녁 5시까지 주중에 방송하고 있는데 이 신호를 수신하여 매일매일에 측정하여 평균값을 얻음으로서 공간파의 경우 $1\text{mS} \left(\frac{1}{1,000} \text{ 초} \right)$ 까지 정확도를 얻을 수 있으며 신호의 세기와 지리적 위치에 따라 10^{-6} 의 주파수 정확도를 얻을 수 있다.

방송신호를 자세히 설명하면 다음과 같다.

○ 시각 신호

- 매시 500ms 동안 1,500Hz 신호
- 매분 200ms 동안 1,800Hz 신호
- 매초 5ms 동안 1,800Hz 신호
- 매분 29초와 59초는 초펄스 생략(외부 간섭 측정용)

○ 음성 안내

- 매시 정각과 30분에 45초 동안 송신소 안내

· 매분 시각 안내(52.5초~59초 사이)

○ 시간 부호 방송 : 1,000Hz 진폭변조(1분간 부호)

○ 변조 : 100% 진폭변조

○ 송신 ANT : 전방향 모노 폴 ANT

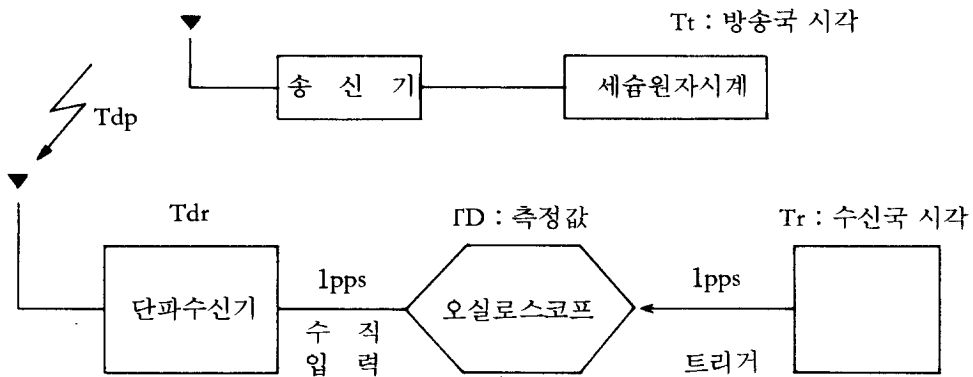
단파 수신기와 오실로스코프를 이용하여 다음 그림과 같이 시각교정이 가능하다. 이 때 유의사항은 다음과 같다.

○ 수신 상태가 양호한 시간을 택할 것

○ 해질무렵이나 저녁시간을 피할 것

○ 매일 일정한 시간에 측정할 것

그림6.1 단파수신 시각 측정장치



오실로스코프에서 측정값을 Td라 놓으면 다음과 같이 시각차를 구할 수 있다.

$$\text{시각차}(Tr - Tt) = \text{측정값}(TD) - \text{전파지연시간}(Tdt + Tdp + Tdr)$$

$$= Td - Ao$$

Tde, Tdp, Tdr는 각각 송신기, 전파지연 및 수신기의 전파지연 시간이다.

Ao는 총 전파지연 시간이다.

1) 주파수 교정

시간 측정을 통한 주파수 측정은 다음과 같다.

일정시간(T)을 주기로 시각 측정하여 시간변화를 알면 상대 주파수 $\Delta f / f$ 를

$$\frac{\Delta f}{f} = -\frac{\Delta T}{T}$$

예를 들어 5일간의 측정결과가 0.5mS, 5.5mS라면

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{-(0.5) - 5.5 \text{mS}}{5 \text{일}} = \frac{5 \times 10^{-3} \text{초}}{5 \times 86,400 \text{초}} \approx 1.2 \times 10^{-6}$$

시계의 발전주파수가 5MHz라면 주파수차 Δf 는 다음과 같다.

$$\Delta f = 5 \text{MHz} \times 1.2 \times 10^{-6} = 0.06 \text{Hz} \text{이다.}$$

즉, 수신지역 시계의 발전 주파수가 5,000,000.06Hz이다.

나. 표준장과 신호의 이용

저주파(LF)와 초저주파(VHF) 표준주파수 신호의 전파는 위상의 안정성을 물론 장거리에 전파할 수 있기 때문에 표준주파수 방송으로 특히 가치가 있다.

장파의 허용된 주파수대는 100KHz 까지이며, $\pm 50 \text{Hz}$ 이내에 위치하여야 한다. 표준장과 주파수를 수신하여 국지 주파수 표준을 위상 비교하여 10^{-11} 까지 정확도를 유지할 수 있다.

1) 주파수 교정

장파수신기는 아주 작은 주파수폭($\sim 0.1 \sim 0.01 \text{Hz}$)을 가져야 하며 비교적 근거리에서는 8시간 동안에 10^{-12} 의 정확도를 얻을 수 있다.

이 경우에는 다음 사항을 이해해야 한다.

- 송신신호
- 수신경로
- 수신 비교 장치
- 국지표준

다음 도면에서 연속 종이 기록계에 기록된 궤적의 경사는 국지표준과 수신된 신호와의 주파수 편기에 비례한다. 궤적의 두점을 선택하여 기울기를 읽을 수 있다. 만일 3시간 동안에 $N \mu\text{s}$ 편기되었다면 국지진동자가 $N \times 10^{10}$ 평균 주파수 편기를 일으켰음을 다음 계산에서 알 수 있다.

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{N \mu\text{s}}{3 \text{시간}} = \frac{N \times 10^{-6} \text{초}}{3 \times 3,600} \approx N \times 10^{-10}$$

그림6.2 장 파 수 신 기

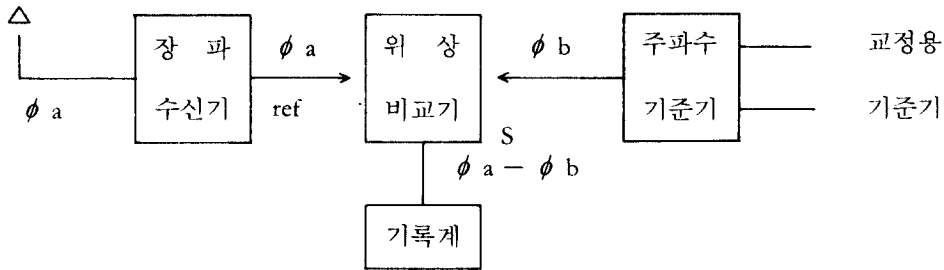
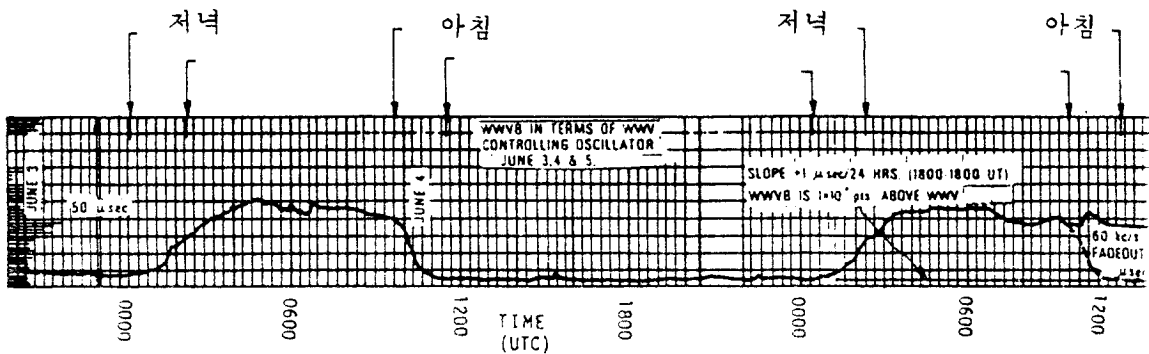


그림6.3 LF/VLF 수신 데이터



로란-C(Long Range Navigation : Loran-C)는 북반구에서 배, 잠수함, 비행기 등의 정확한 위치를 알려주기 위해 고안된 항해제도이다. 오늘날 로란-C는 세습시계로 정확한 시간을 전달하는 제도중의 하나이다.

반송 주파수는 20KHz, 주파수폭이 100KHz이고 송신방식은 펄스송신방법을 사용하고 있다.

전세계에 14개의 연쇄망의 송신조직으로서의 50여개의 송신소가 있다. 반복되는 펄수부호의 양식은 다음의 기본적인 3가지 기본적인 유익성을 제공한다.

- 연쇄조직과 개별 송신소는 분리되고 독립될 수 있다.
- 일정한 고립된 간섭현상을 제거한다.
- 특정한 지리적 장소에서는 S/N비가 낙관적이다.

1) 시각 및 주파수 교정

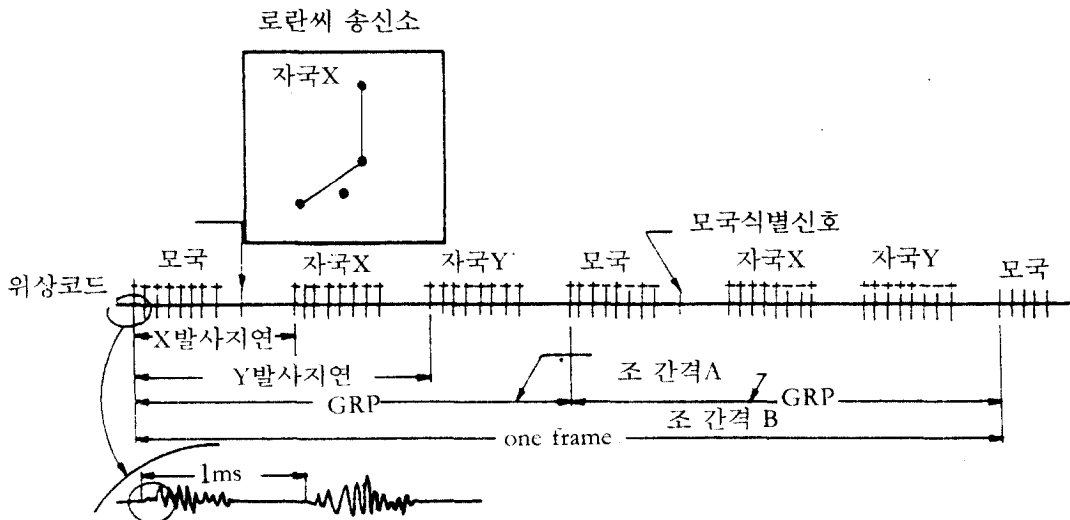
로란-C 제도는 시간 부호를 방송하지 않으므로 시각일치(TOC)가 UTC(세계 협정시)초와 어떻게 관계되는가를 알아야 한다.

각 연쇄국은 그림6.4와 같은 특별한 형태로 송신을 하고 있다.

집단 반복주기(GRP) 이내에서 모국은 정확하게 나누어진 9개의 PLUSE로 송신한다. 각 자국은 교대로 GRP 내에서 8개의 PULSE로 송신한다.

매초마다 TOC를 제공하는 GRP는 단 하나이다.

그림6.4 로란-C 송신 신호



로란-C 모국의 모시계의 시각 시작점은 1958년 1월 1일 0시 정각이다. 지역에서 일치측정을 하려면 반드시 전파 지연시간을 고려해야 한다. 미해군 관측소(USNO, U. S, Naval Observatory)에서 출간한 자료를 이용하여 다음 관계식으로 UTC와 지역시계의 차이를 알 수 있다.

$$UTC(USNO) - UTC(local) = td + ts - tm$$

td는 이동시계로 측정한 전파경로 지연(또는 계산값)이고

ts는 USNO에서 출판한 로란-C 송신시각 오차이며

tm는 수신된 로란-C 펄스와 지역시계의 측정된 시간차이다.

예를 들어 $td = 2198.8\mu s$, $ts = 1.4\mu s$, $tm = 209.8\mu s$ 이라면

$$\Delta t = td + ts - tm = 2198.8 + 1.4 - 209.8 = +0.4\mu s \text{이다.}$$

따라서 지역시계가 UTC(USNO)보다 $0.4\mu s$ 늦음을 알 수 있다.

그림6.5 로란-C 측정시스템

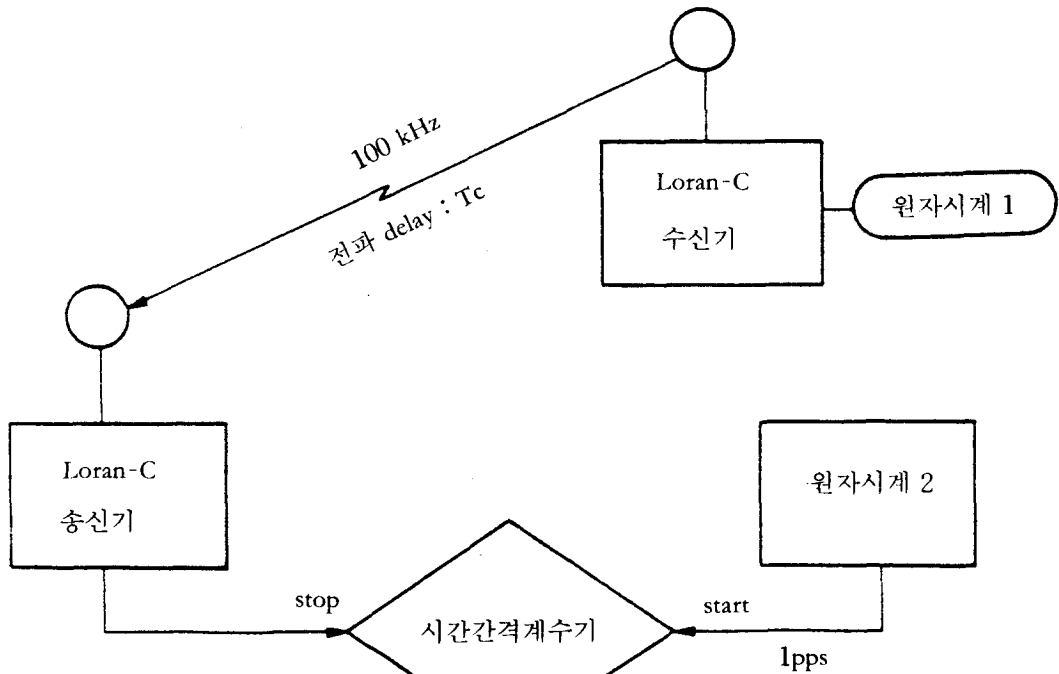
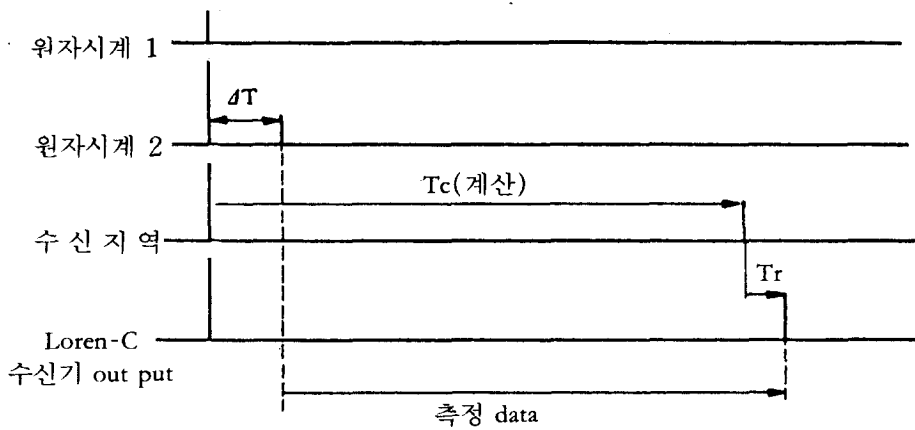


그림6.10 로란씨 측정시스템

그림6.6 로란-C 시각측정 원리



$$\therefore \Delta T = T_c + T_r - \text{측정 data} = (\text{시계1} - \text{시계2})$$

라. 이동원자 시계의 이용

시각을 한 장소에서 다른 장소로 정확하고 신빙성있게 전달하는 방법은 물리적으로 시계를 운반하여 비교하는 일이다.

1967년에 이동원자 시계로 10만 km까지 이동하여 $0.1\mu s$ 의 정확도로 전파하였으며, 기준시계와 두개의 이동원자 시계의 접근은 $3.5\mu s$ 정도로서 $5 \sim 10 \times 10^{-13}$ 이었다.

1) 측정방법

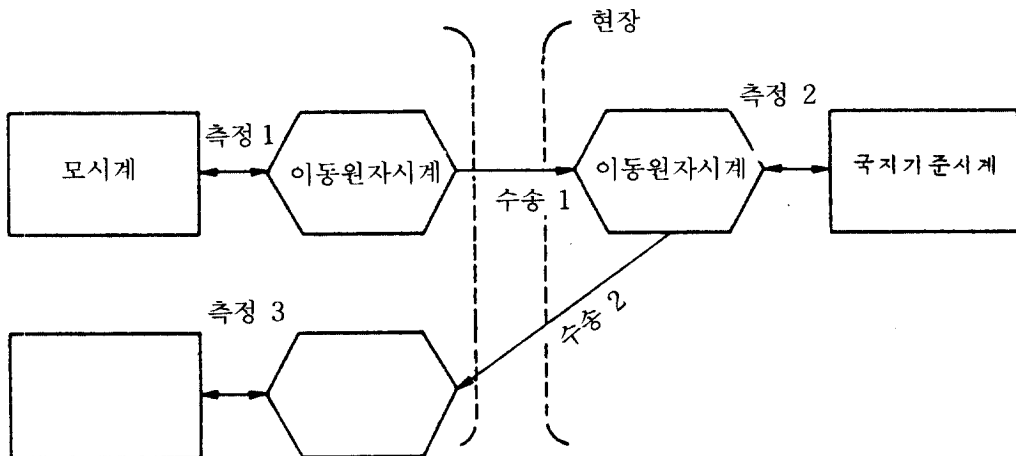
그림 6.7과 같이 선형위상 비교기와 스트립차트 기록기를 사용하여 요구되는 정확도 수준이 충분히 이루어지도록 두 표준기로부터 5MHz신호의 상대적 위상 편기를 위상 비교기로 측정하여야 한다.

기록기에 기록된 데이터에서 위상 변화를 읽어 위상편기를 계산할 수 있다.

만약 4,000초 동안에 40ns의 위상변화가 발생했다면

$$\left| \frac{\Delta f}{f} \right| = \frac{\Delta f}{T} = \frac{4 \times 10^{-9}}{4 \times 10^3} = 1 \times 10^{-12} \text{이다.}$$

그림6.7 이동원자 시계 측정방법



마. 각 표준전파신호의 이용 정확도 종합

여러가지 표준전파 또는 이동원자 시계를 이용한 시간 주파수 전달 정확도는 아래와 같이 요약된다.

○ HF

지면파($\sim 160\text{Hz}$) 수신범위 : 송신 정확도(10^{-11})

○ LF / VLF

$\sim 10^{-11}$: 지역주파수 발진자가 10^{-10} 이상 유지할 경우

$\sim 10^{-8}$: 단시간내 측정가능

$\sim 10^{-9}$: 이온층 교란 보정시

○ 로란-C

지면파 수신지역 : $0.1\mu\text{s}$

공진파 수신지역 : $10\sim 50\text{nS}$

○ 이동원자 시계

$\sim 0.05\mu\text{s}$

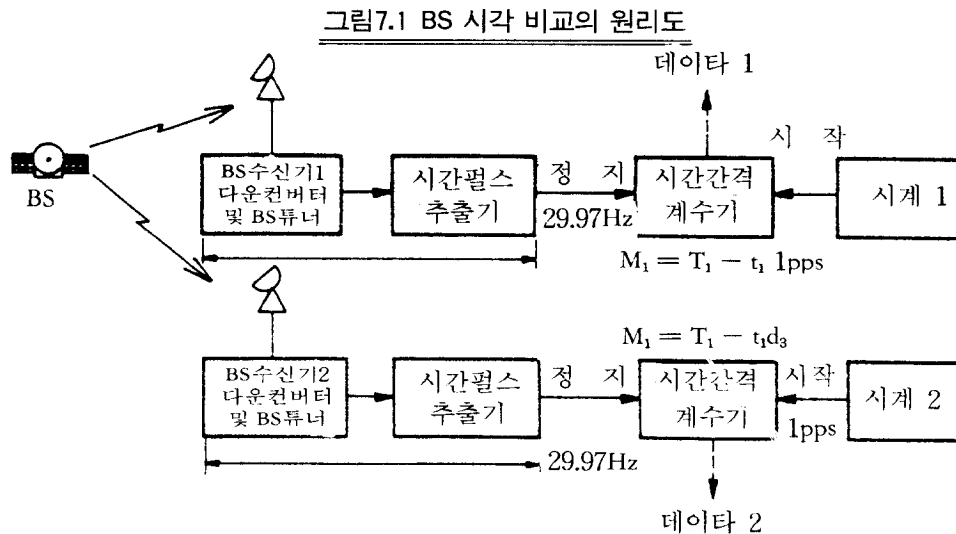
12^{-12} (1회 실시)

10^{-13} (수회 실시)

7. 인공위성을 이용한 시각 비교

가. 방송위성을 이용

방송위성을 통해 시각을 비교하면 전파경로가 복잡하지 않아 전파지연 시간을 위성 및 지상국의 위치로부터 간단히 계산할 수 있다.



그림과 같이 원자시계의 1초 신호로 계수기의 게이트를 열고 BS 튜너에서 나오는 TV 영상 신호 중에서 11번째선의 수평동기 신호로 게이트를 닫는다.

수평동기 신호주파수는 29.97Hz로서 주기가 33.36mS이므로 다음과 같이 1초에 1mS씩 남게 되어 시간 간격 계수기로 측정한 레이다가 1초마다 1mS씩 증가한다.

$$33.36\text{mS} \times 30\text{개} = 1001\text{mS}$$

1,000초 이후에는 1초 차이가 생기지만 데이터의 최대치가 33.36mS를 넘지 못하므로 1,000초전에 본래의 데이터 값을 다시 찾게 된다.

$t = T_s$ 에 BS 송신 ANT부터 동기펄스가 보내지면 이 펄스가 각 시계 설치장소에 도달하여 시간 간격 계수기를 정지 시킬 때 시각은 각각 다음과 같이 된다.

$$t_1 = T_s + \tau_1 + d_1$$

$$t_2 = T_s + \tau_2 + d_2$$

τ_1 과 τ_2 는 송신 ANT부터 수신 ANT까지 전파지연 시간이다.

d_1 과 d_2 는 수신장치 내의 전파지연 시간이다.

각각의 시간 계수기가 $t = T_1$ 과 $t = T_2$ 에 각각 초펄스로 시작되었다면 계수기에 측정되는 시간 간격은 다음과 같다.

$$M_1 = T_1 - t_1 = T_1 - T_s - \tau_1 - d_1$$

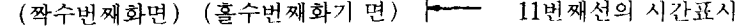
$$M_2 = T_2 - t_2 = T_2 - T_s - \tau_2 - d_2$$

따라서 두 시계 사이의 시각차는

$$\Delta T_{12} = T_1 - T_2 = (M_1 - M_2) + (\tau_1 + \tau_2) + (d_1 - d_2) \text{ 이다.}$$

동기펄스의 발사시간 T_s 는 상쇄되어 결과에 영향을 주지 않으며 $d_1 - d_2$ 는 수신장치 사이의 전파지연 차이므로 수신장치들을 동일장소에 놓고 수신함으로써 구할 수 있다. 전파경로 차에 의한 전파지연 ($\tau_1 - \tau_2$)은 수신지점의 지리좌표와 BS 위치로부터 계산된다.

1. The first line of the document is a header containing the title "The Role of the Teacher in the Classroom" and the author's name "John Doe".



50

그림 7.3 세계 정지기상위성의 관측범위

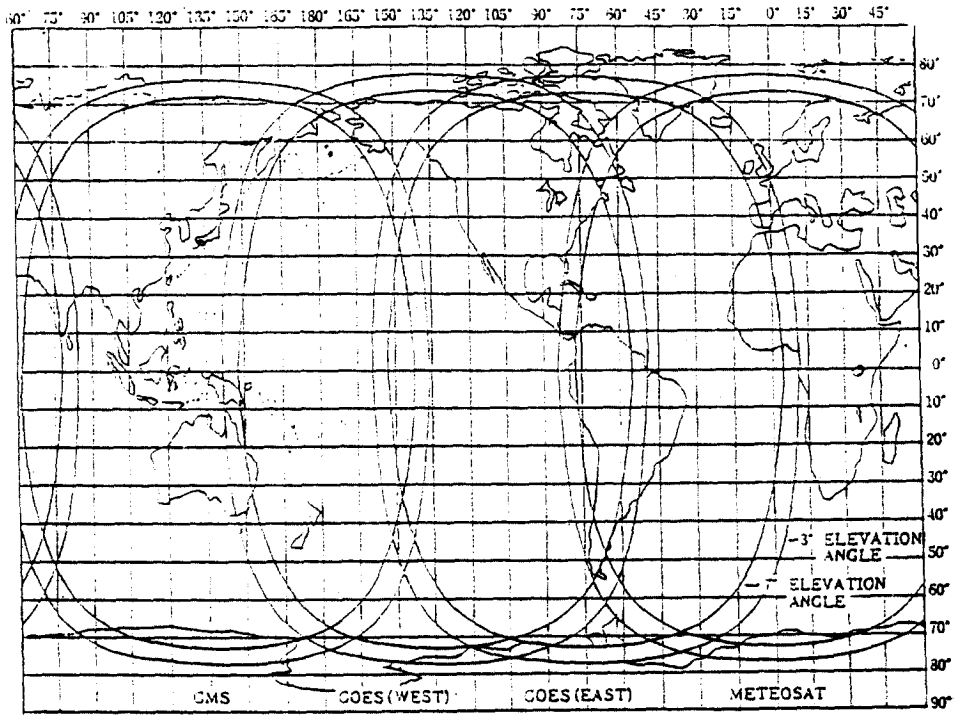


그림 7.4 GMS를 통한 시각 비교

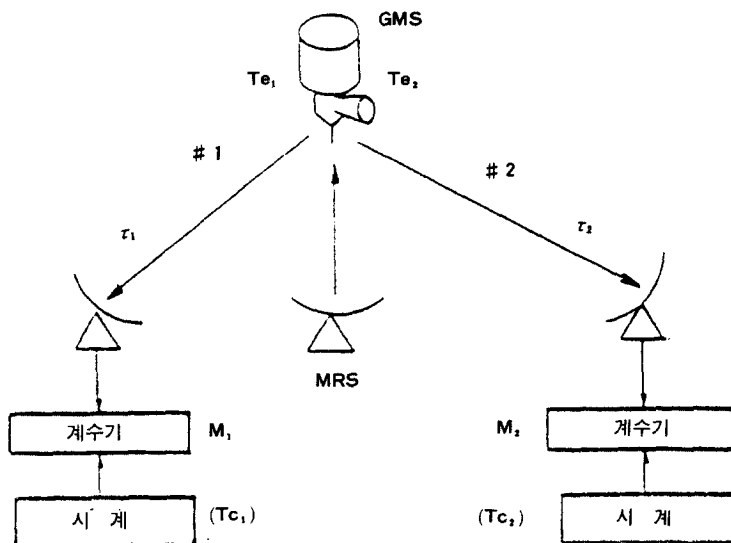
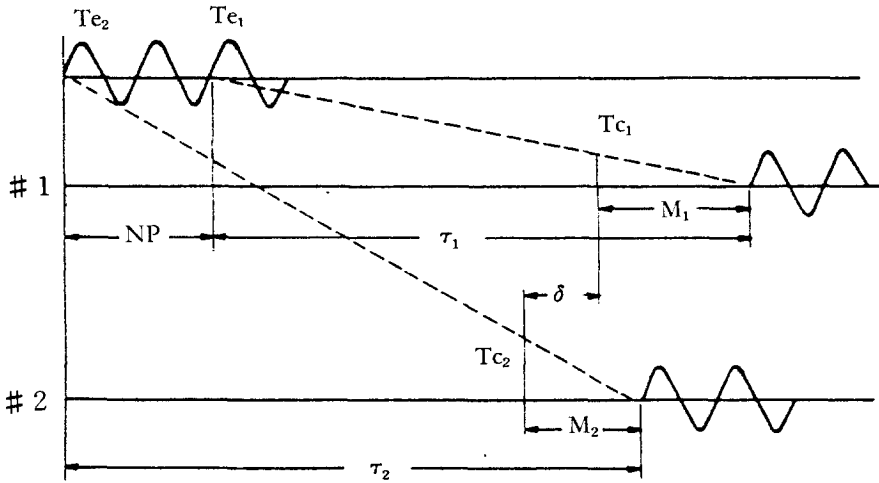


그림 7.5 GMS를 통한 시각 비교 및 원리



지상국 # 1의 시간 간격 계수기는 시계의 초펄스 Tc1에 의해서 게이트를 열고 시각 Tc1에 GMS로부터 발사된 신호에 의해서 게이트를 닫는다. 이때 시간 간격 M1을 측정한다. 동일한 측정을 지상국 # 2에서도 실시한다.

$$Te1 + \tau_1 - Tc1 = M1$$

$$Te2 + \tau_2 - Tc2 = M2$$

$$Te1 - Te2 = NP \text{이다.}$$

따라서 두시계의 시각차이 δ 는 다음식으로 얻어진다.

$$\delta = Tc1 - Tc2 = NP + (\tau_1 + \tau_2) - (M1 - M2)$$

여기서 τ_1, τ_2 는 전파의 지연시간으로 다음 식에서 얻어진다.

$$i = gi - ion - tri + rel + sys$$

$$\text{단, } gi = |\bar{x}_i(T_{ai}) - \bar{X}_s(T_{ei})| / C$$

gi : GNS와 각국 수신기 ANT간의 기하학적 지연시간

ion : 전리층의 전파지연시간 보정치

tri : 대류권의 전파지연시간 보정치

sys : 시스템내의 지연시간

rel : 상대론 효과의 지연시간 보정치

p : 거리측정 신호의 주기($5\mu s$)

tai : 거리측정신호의 수신시각($T_{ai}=T_{ci}+M_i$)

\bar{X}_s : 위성의 위치벡터 \bar{X}_i : 지상국의 위치 벡터

C : 자유공간에서의 광속 i : 지상국 $j=1, 2$

$$g_i = \frac{1}{C} \{1 \cdot Y : (T_{ai}) + (\bar{Y} : (T_{ai}), \bar{X}_s(T_{ai}) / C\}$$

$$\bar{Y}_i(T_{ai}) = \bar{Y}_i(T_{ai}) - \bar{X}_s(T_{ai})$$

$$\text{여기서 } 1 - \frac{\bar{X}_s(T_{ai})}{C} \quad 1^2 < 1$$

윗 식에서 NP는 200Khz 거리측정 신호의 불확도이다.

나. 지구 위치측정 위성계

GPS(Global Positioning System)는 현재 미국이 개발중인 전세계적인 항법 시스템이다. 전 시스템이 완성되는 1990년 대에는 지구 어느 곳에서도 위치의 측정이 가능하다. 위성의 고도는 약 20,000km, 원궤도로 각각 적도 경사각 63° , 6개의 궤도에 각 3개씩 총 18개가 배치되어 각각 12시간에 한번 지구 주위를 돌도록 되어 있다. 이 시스템이 완성되면 지구상의 한지점에서 3~4개의 위성으로부터 전파를 수신하는 것이 가능하게 된다.

표에 나타난 바와 같이 위성에는 고안정도의 원자주파수 표준기가 탑재되어 있고 이것을 기준으로 하여 항법용 신호를 송신하고 있다.

이 시스템의 위치 측정신호는 2가지 종류가 있는데, 송신주파수 L1(1,575,42MHz)로 송신되고 있는 C/A code에 의한 것과 L2(1,227,6MHz)의 두 주파수로 송신되고 있는 p-code에 의한 것이 있으며, 미국 해군 관측소(USNO)의 모시계에 $1\mu s$ 정도로 동기된 주 제어국의 기준시계(GPS Time)에 연관되어 동작하고 있다.

표7.1 GPS의 제원

평 환 고 도	20,000km
주 기	12시간
궤도 경사각	63°
탑재 주파수 표준기	Rb(대) Cs(1대)
거리측정신호 중심주파수	L1 1575.42 MHz, L2 1227.60 MHz
거리측정신호 변조방식	PN부호(Pcode, C / Acode)에 의한 확산변조
P code 송신 주파수	L1 및 L2
P code clock rate	10.23 MHz(1주기 = 1 week)
C / A code 송신주파수	L 1
C / A code 발생장치	10단 FSR 2조에 의한 Gold code (주기 1023 bits)
C / A code clock rate	1.023MHz (1주기 = 1mS)
송신 데이터	궤도정보, 탑재시각 보정치등
데이터 송신 rate	50 BPS

GPS를 이용한 시각 비교에는 다음 그림과 같이 2가지 방식이 주로 이용된다.

GPS 위성이 상공을 통과할 때 시각 비교를 행하는 기관이 GPS 신호(거리 측정신호 및 궤도 정보)를 수신하여 지상의 시계와 시각 비교를 행하는 방식이다.

지상의 두 시계와 수신신호의 시간 간격 T1, T2는 다음 식으로 표시되어 있다.

$$T1 = T1s(t1) + \frac{P1(t1)}{C}$$

$$T2 = T2s(t1) + \frac{P2(t2)}{C}$$

Tis(tj) : t = tj에 지상국 i의 시계와 탑재 시계의 시각차

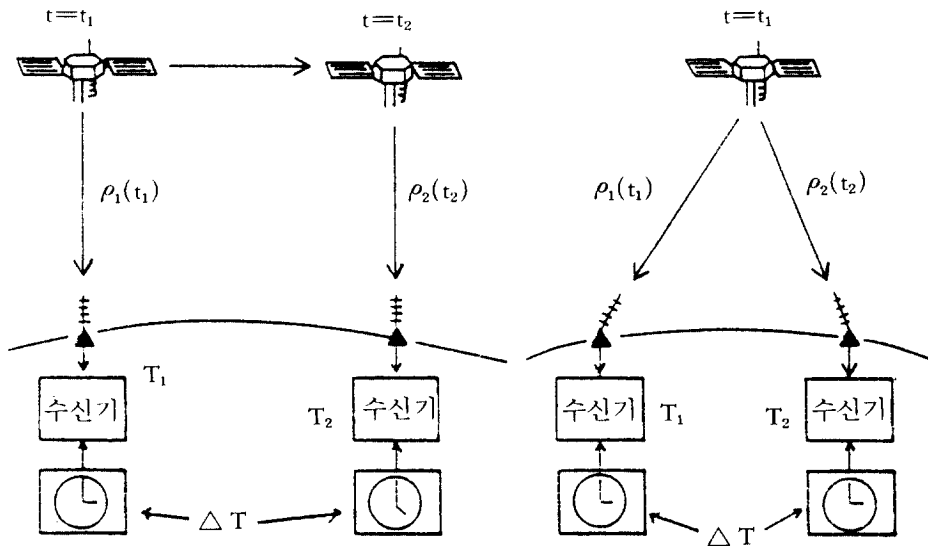
Pi(tj) : t = tj에 지상국 i와 위성간의 전파거리(전리층 대기권에 의한 GPS로부터 궤도 데이터 등에 의한 Pi(tj)의 추정치를 Pi(tj)라 하면 윗식으로부터 양국의 시각차 $\angle T$ 는

$$\Delta T = T_1 - T_2 \frac{P_2}{C} + \frac{P_2}{C}$$

$$= T_1 s(t_1) - T_2 s(t_2) + \frac{1}{C} \{P_1(t_1) - P_1(t_1)\} - \frac{1}{C}$$

$$\{P_2(t_2) - P_2(t_2)\} \text{이 된다.}$$

그림 7.6 GPS를 이용한 시각 비교



8. 결 언

한 나라의 산업발전 척도는 공업기술의 발달이며 공업기술의 필수가 정밀 정확한 계량기술 향상과 국가계량 표준이다.

전파연구소에서는 형식검정, 각종전자파 측정과 위성연구 시설등 정밀계기가 많이 이용되고 있다. 그러나 사용자의 인식 부족과 예산이 뒷받침되지 못하고 있기 때문에 정밀장비의 검교정이 제때에 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

또한 이제는 당소에서는 검교정시설을 보유하고 자체 장비만이라도 주기적으로 검교정할 수 있는 시설의 확보가 시급한 실정으로 판단된다.

시간 및 주파수 계량분야의 Cs133 세슘주파수 표준원기를 보유하고 있지만 부내의 장비에만 주파수 부분만을 교정하고 있으나 업무를 더욱 확대 주위 산업체의 정밀장비도 교정할 수 있도록 업무의 활성화에 노력하고 장비 활용의 극대화를 위하여 전파연구소내의 표준시간 공급을 위하여 필요한 예산의 뒷받침의 요구되고 있다.

전자파 계량분야의 임피던스, 감쇄량, 전압, 전력분야의 검교정장비 확보는 전자파와 무선기기 형식검정 업무를 행하는 당소에서는 보다 깊은 이해와 배려로 정밀검교정 장비를 보유할 수 있도록 업무의 활성화 그리고 새로운 분야의 힘있는 추진이 필요함을 강조한다.