

430

주 파 수 표 준 치 확 보 연 구

## 목 차

1. 서 론	67
2. Cesium 표준원기의 동작이론	69
가. Cesium의 공진주파수에 의한 제어회로	69
나. Cesium Beam Tube	72
다. 주파수 변별작용	77
3. VLF 표준전파	80
가. 장파대 표준전파의 중요성	80
나. VLF수신기의 분류 및 이론	81
다. VLF표준전파 위상비교측정에 사용된 장비 및 측정방법	89
라. VLF의 원거리 전파전파의 일출불 효과	95
4. 결 론	101
5. 참 고 문 헌	108

통 신 기 정      오    주    한

통 신 기 좌      여    성    규

전 송 기 사 보      회    중    복

## 1. 서론

국가산업의 비약적인 발전과 아울러 국내 전자산업계의 발전은 놀라운 속도로 급진전을 보여주고 있으며 따라서 주파수표준치의 필요성이  $10^{-8}$  이상의 높은 확도를 요구하기에 이르렀다.

당 연구소에 보유하고 있는 세습표준원기는 그 확도가  $\pm 1 \times 10^{-11}$  이상으로 되어 있으나 국제표준전파와 비교측정을 행할 때 그 비교정도(精度)가 단파대에서는  $10^{-8}$  이상을 기대하기는 곤란하다. 그러나 VLF대의 표준전파를 이용하면 높은 정도의 비교측정이 가능한 것이다.

그러므로 VLF대의 표준전파의 전파특성을 연구함으로써 그 표준전파와의 비교측정에서 얻은 Data로서 당소 표준원기의 확도 또는 안정도를 어느정도로 평가할 수 있는가를 연구목적으로 하였다.

주파수의 표준이란 우리가 표현에 의하여 한정 하듯이 그리 쉬운 일이 아니다.

물론 단위시간(초) 동안에 같은 행정을 반복한 횟수가 주파수라는데는 별로 어려울 것도 없겠다. 하지만 그 단위시간에 문제가 있는 것이다.

인류는 오래전부터 시간의 단위를 사용하였다. 그 시간의 단위는 간단히 말해서 태양 또는 그외의 항성을 기점으로 한 지구의 자전에 근거를 두어서 지구의 1자전시간을 86,400으로 나눈 값이 1초라고 하였다.

그러나 지구의 자전은 지축의 장동 또는 계절에 따른 영향에 의하여 그 자전속도가 미소한 편차를 일으킨다는 것을 알게 되었다.

그래서 이 미소한 편차를 제거하기 위하여 1967년 10월 제 13차 국제도량형총회에서 역표시초를 사용하기로 결정하였다. 이것이 바로 원자표준시로서 세슘( $Cs$ ) 원소의 접지상태에서 두개전자의 초미세 전위레벨간에 9,192,631,770 회를 천이하는 동안을 1초라고 정의하는 것이다.

그러므로 1초라는 표준단위는 미소의 편차도 배제하는 확고불변한 단위로서 사용할 수 있게 되었고 세슘원소의 공동공진(Resonating Cavity) 작용을 이용한 당소의 세슘표준원기는 명실공히 국제표준주파수 또는 국제표준시간(Time Interval)의 원기로서 공인하는 것이다.

그러나 당소 표준원기의 공칭확도를 재확인 또는 점검하는 의미에서 국제표준전파와 비교측정을 년중 계속적으로 행하고 있는 것이다.

표준전파의 수신 대상국은 NDT(17.4 KHZ 대원거리, 1,130 Km) NPG(18.6 KHZ 대원거리, 8,310 Km) NWC(22.3 KHZ 대원거리, 6,655Km) 이상 3국을 선정하였으며 수신상대국을 주기적으로 바꾸어 측정하였다.

## 2. Cesium 표준원기의 동작 이론

가. Cesium의 공진주파수에 의한 제어회로

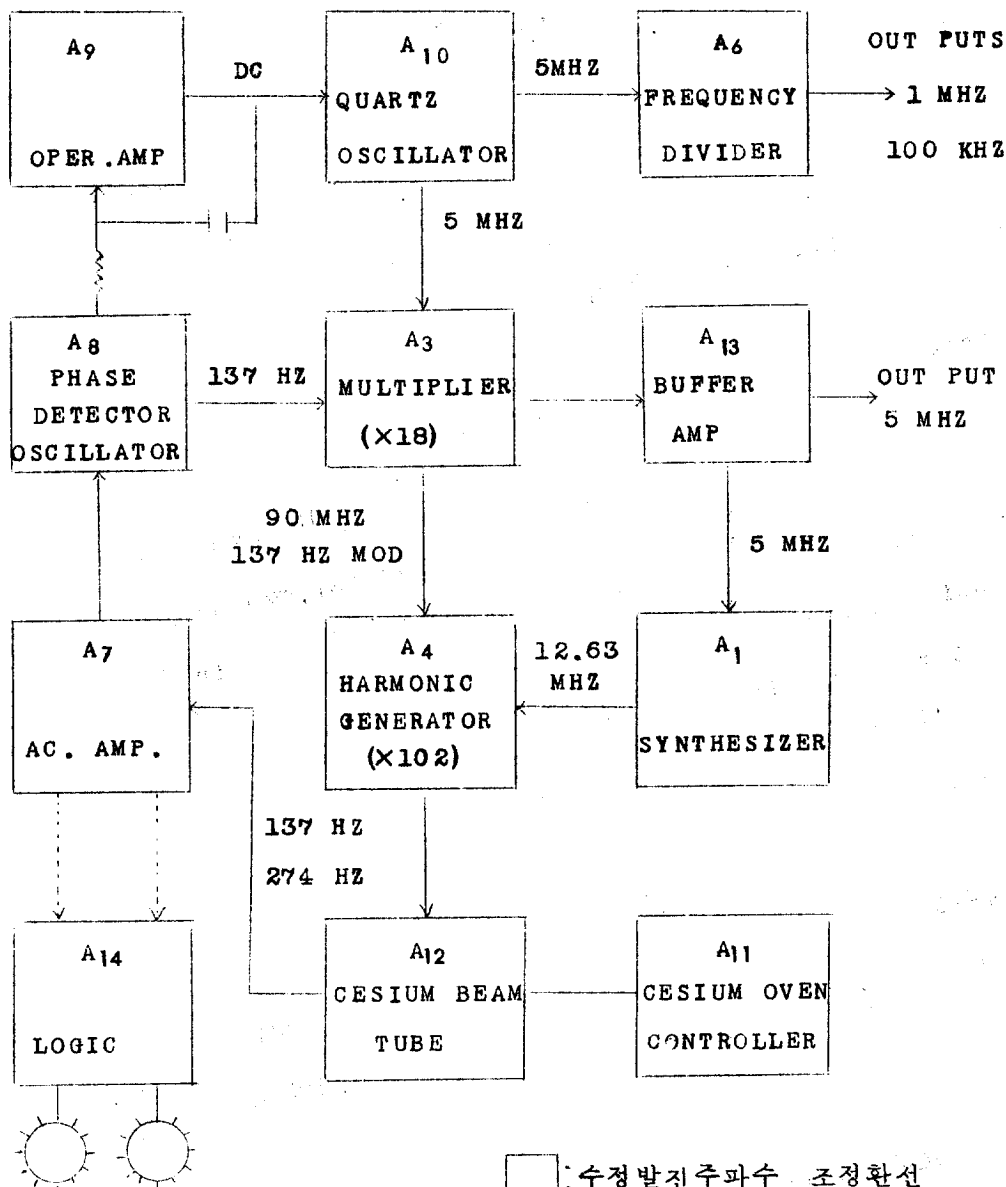
Cesium 표준원기는 확도와 안정도가  $\pm 1 \times 10^{-11}$  정도나 되는 고안정, 고확도의 표준주파수 발진기로서 9,192,631,770 HZ 라는 주파수를 만들기 위하여 미세천이를 일으킬 수 있는 Cesium 133의 Passive Resonator를 사용하고 있다.

이 Resonator ( Beam Tube )는 정확하게 조정된 공진 주파수와 대단히 높은 Q의 값을 가지고 있으며 Feed Back Control 회로로 X-tal 발진기를 안정화 함으로서 원자주파수 표준으로 사용되고 있다.

이 원기의 계통도는 그림 1과 같다. 수정 발진기 A<sub>10</sub>의 5 MHz 출력은 A<sub>9</sub>의 Oscillator에 의하여 137 HZ 신호로서 위상변조된다.

변조된 5 MHz 신호는 체배기 A<sub>8</sub>에 의하여 18 체배 된 후 ( 90 MHz ) 다시 고조파 발생기 A<sub>4</sub>에 의하여 102 체배된다 ( 9,180 MHz )

역시 수정 발진기의 5 MHz를 받아서 동작하는 Synthesizer A<sub>1</sub>의 출력 ( 12.63 MHz )은 고조파발생기 A<sub>4</sub>에서 체배된 신호와 함께 혼합된다. 체배 혼합에 의하여 주파수는 Cesium 133의 천이주파수인 9,192.63 ..... MHz에 매우 가깝게 된다. 이 최종의 MICRO 파는 Cesium Beam관의 입력측에 공급된다.



AEC

수정발진주파수 조정환선

ALARM CONTINUOUS  
OPERATION

제 1 도 Cesium 표준원기의 계통도

5 MHz의 수정발진 주파수는 체배기  $A_3$ 에서 137 Hz로 위상변조되어 있으므로 9,192.63 ..... MHz의 MICRO파는 이 변조성분을 포함하고 있다.

위상변조된 MICRO파가 정확히 Cesium 공진의 침투치에 있을때 Cesium Beam관의 출력은 변조된 주파수의 제 2고조파(274 Hz)가 되며 공진 침투치에서 벗어났을 때는 출력은 기본주파수인 137 Hz가 된다. (이 이론은 다음 항에서 설명한다.) 이 두 신호는 AC 증폭기  $A_7$ 에서 분리된다.

AC 증폭기  $A_7$ 은 저잡음, 협대역, 고이득 증폭기로서 Cesium Beam관 전자체배기로부터 낮은 Level의 신호를 수신하며 입력의 진폭과 위상에 비례하는 AC 전압을  $A_8$ 에 공급한다.

또한 274 Hz의 2차고조파와 137 Hz의 기본파의 일부는 Logic Circuit  $A_{14}$ 에 보내지며 이 신호에 의하여 OPERATIONAL Lamp와 ALARM Lamp를 조정한다.  $A_7$ 의 증폭기 회로는 역시 Beam I를 Monitor하는 회로를 포함하고 있다.

$A_8$ 은 변조용 기준발진기와 위상검파기를 포함한다. 기준발진기는 274 Hz의 정현파 출력을 발생시키는 Wien Bridge형 발진기이며 이 신호는 Schmitt Trigger 회로에서 구형파로 형성되며 다시 5로 분주되어 137 Hz의 구형파를 발생한다 이 신호는 5 MHz 수정발진기 출력을 변조시키기 위하여 체배기  $A_6$ 에 보내진다.

또한 위상검파기는 AC 증폭기  $A_7$ 에서 수신된 오차신호(137 Hz



성분)에 비례하는 DC 전압을 만든다. 이 직류전압은 연산증폭기  $A_0$ 에 공급된다.

$A_0$ 은  $A_1$ 로부터의 직류오차전압을 집적하며 또 5 MHz 수정 발진기의 전기적 동조용 직류조정 전압을 공급하는 광대역, 안정화된 Chopper 연산증폭기로 구성된다. 즉  $A_1$ 의 출력과 Cesium Beam 관의 공진 주파수와 오차는  $A_0$ 에서 직류오차전압으로 나타나며 이 직류오차전압은 5 MHz 수정 발진기 출력 주파수를 전기적으로 조정하는데 이용된다.

이와같이 feed back control 회로로서 X-tal 발진기를 안정화 함으로서 높은 확도의 세슘 원자제어 표준 주파수를 이용할 수 있게 된다.

#### 나. Cesium Beam Tube의 구조

Cesium Beam 관은 수동 공진기로 동작되는 것으로서 그 우수한 특성은 정확하게 조정된 공진 주파수와 아주 높은 Q의 값을 가지고 있다는 것이다.

Beam 관은 주파수변조된 원자천이 주파수로서 여진된다. 이 MICRO 파 신호는 5 MHz X-tal 발진기로부터 얻어진다.

Cesium 관의 출력 회로에서는 인가된 MICRO 파 신호와 원자천이 주파수간의 주파수차를 나타낸다고 볼 수 있다. 이 신호는 폐환 조정 회로에서 X-tal 발진기의 주파수를 제어하는데 사용된다고 전항에서 말하였다.

그러면 이번에는 Cesium Beam 관의 구조를 보기로 한다.

Cesium Beam 관 공진기는 Cesium 133 (원자번호 55, 원자가 1가) 원자의 2개의 초미세 Level ( $F=4 \quad mf=0$ ,  $F=3 \quad mf=0$ ) 간의 Energy 천이에 따라 동작한다.

Energy Level 및 Level 간의 천이는 일정한 양자역학원칙에 의하여 결정된다. 즉 원자는 일정한 분자량의 Energy Level 만 가질 수 있으며 또 Energy Level 간의 천이는 양자역학에 의하여 설명된다.

Bohr 의 이론에 따라

$$E = hf$$

$E$  : 초미세 Level 간의 Energy

$h$  : Planck 상수

$f$  : 주파수

Planck 상수 :  $h = \lambda P$

$\lambda$  : 파장

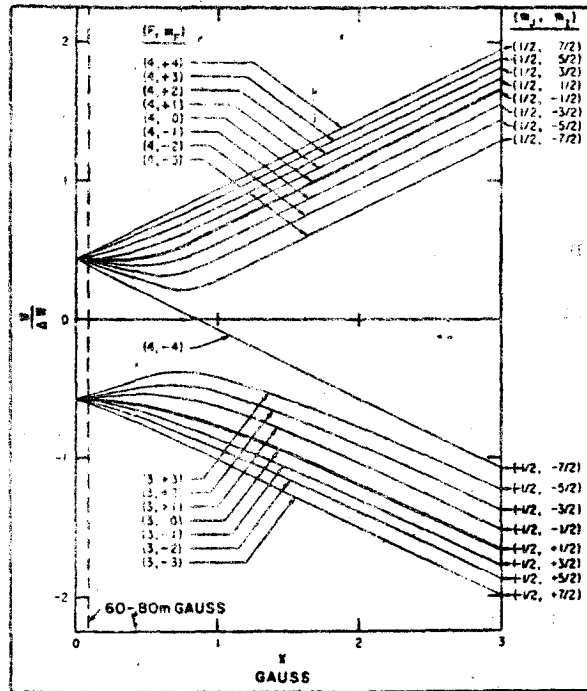
$P$  : 운동량

주파수  $f$  는  $E$  에 의하여 선별된 원자의 두개의 Level 로서 결정된다.

주파수표준으로 결정된 이 두개의 Level 은 Cesium 133 원자의 ( $F=3$ ,  $mf=0$ ), ( $F=4$ ,  $mf=0$ ) 두 Level 사이에 천이주파수이다.

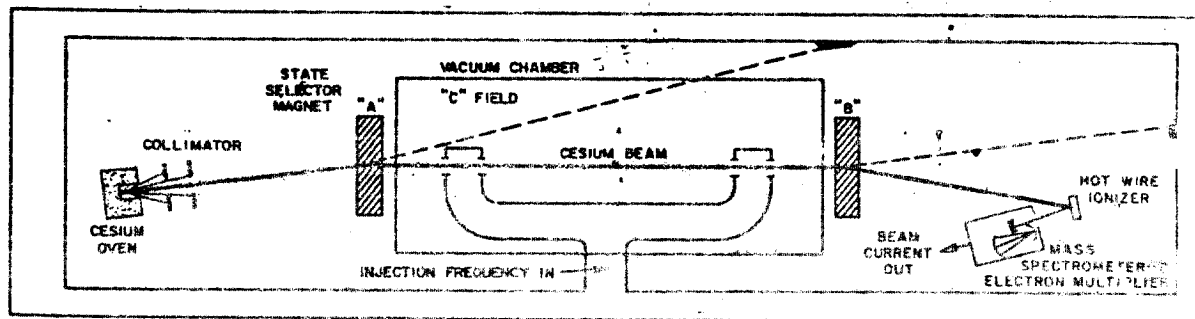
Cesium Beam 공진기에서 천이 형태는 외부자계의 영향이 약간 예민하다. Energy Level 과 자계와의 영향과의 관계를 제 2도에

표시 한다.



제 2 도 자계의 영향에 따른 Energy Level의 변화

Cesium Beam 원의 개략도는 제 3 도와 같다.



제 3 도 Cesium Beam 원의 개략도

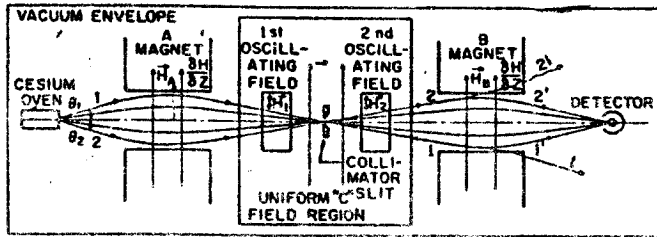
Cesium Beam 원자는 Oven Source 에서 분출되며 가느다란 틈에 의하여 Beam 모양이 만들어진다. Beam 은 제 1 단계 선택기 A 마그네틱트의 이질의 자계를 통과한다 Beam 은 이질의 자계를 통과할 때 굴절되는 성질이 있으므로 A 마그네틱트의 자계에 의하여 필요한 원자만을 선택한다.

공동 내에 선택되어 들어 온 원자는 5 MHz 수정 발진자로부터 유도된 MICRO파 주입에 의하여 작용한다.

만약 주입된 MICRO 파 주파수가 Cesium 원자의 천이주파수 ( 9,192.631.....MHZ ) 에 일치한다면 원자는 회망하는 상태로 약동하는 양자의 물리적 변화를 받게 된다.

공동내의 작용에 따라 Beam 은 제 2 단계 선택기 B 마그네틱트를 통과한다. B 마그네틱트는 약동된 원자를 선별하며 또 굴절된 원자를 다

시 모아서 신호전류로 변화시키기 위하여 검출기로 보내는 것이다.



제 4 도 공동내에서의 Cesium Beam의 분광도

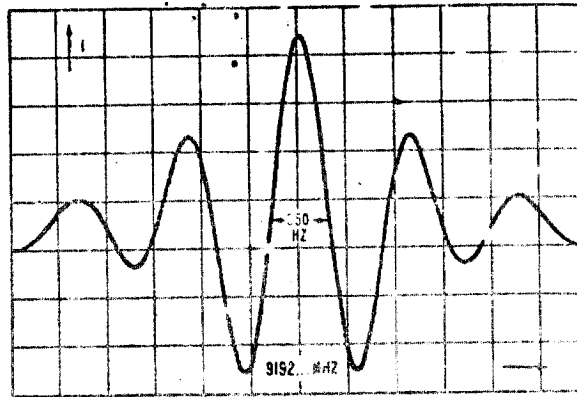
제 4 도는 이 모양을 그림으로 보여주고 있다.

검출기는 충돌하는 원자를 이온화 시키는 열선으로 구성되어 있으며 Cesium Ion은 질량분석기에서 수집되어 적당한 출력 Level로 증폭된다.

주입된 MICRO 파 주파수의 기능에 따라 출력 전류는 제 5 도와 같이 된다.

MICRO 파 주파수를 공진점 부근에서 Sweep 할때 Cesium 원이 주파수의 공진점에서 Beam 전류가 최대점을 통과한다.

중앙부의 침두폭과 침두치간의 거리는 작용하는 공동의 길이와 원자의 평균속도의 함수이다. 침두점과 만곡점간에 측정된 5061A Beam 관의 직선폭은 약 550 HZ 이다.



제 5 도 주입된 MICRO 파에 따른 Beam 전류의 변화

희망하는 천이주파수만 신호출력에 보내기 위하여 작고 균일하며 일정한 상태의 자계 ("C" field)를 공동주위에 유지시킨다. 이 자계는 정밀하게 Cesium의 공진점에 맞추기 위하여 60 ~ 80 m Gauss 범위내의 값으로 맞춘다.

공동 공진기는 외부의 자계영향을 감소시키기 위하여 차폐함 속에 넣고 진공을 유지시키기 위하여 밀폐상자 속에 넣는다. 또한 진공 Pump 작용을 계속하여 아주 낮은 압력을 유지시킴으로서 Beam의 산란작용을 방지한다.

소비된 Cesium 원소는 gester에 의하여 수집된다.

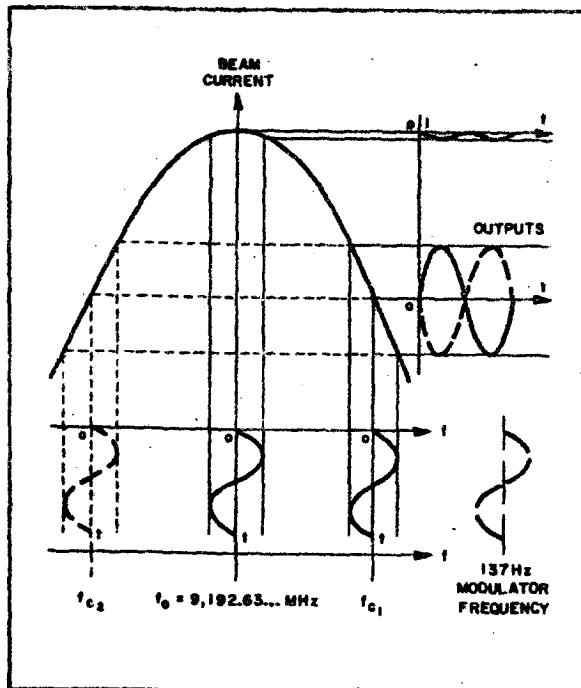
다. Cesium Beam 관의 변별작용

Beam 관은 주파수변별기와 같은 역할도 행한다.

제 6 도는 Beam 전류 Pattern에 따르는 반송파  $f_c$ 의 3가지 값에 대한 변환의 한 주기를 나타낸 것이다.

미세천이주파수  $f_0$ 인 중앙점에  $f_c$ 에서는 Beam 출력전류가 변조주파수의 2배로 변화한다.

만약 MICRO 파 반송파가  $f_{c1}$ 으로 표시된 것처럼  $f_0$  윗쪽에 있다면 출력전류는 변조주파수와 똑같이 변화한다.



제 6 도 Beam tube 의 주파수 변별 작용

$f_{c1}$  와 같이  $f_0$  아래쪽에 있다면 출력전류는 변조주파수와 똑같이 변화하나 위상이  $180^\circ$ 번이 된다.

인가한 MICRO 파 신호가 Cesium 공진 주파수에 matching 되었을 때에는 변조신호의 제 2고조파 성분만 Beam 출력에 나타난다. 그러나 인가한 신호가 matching 주파수 이상이거나 또는 그 이하라면 Beam 출력전류는 기본파와 제 2고조파 성분 양쪽이 포함된다.

여기서 기본파성분은 X-tal 발진기를 주파수오차가 Zero가 되도록 동조시키기 위한 보정치를 구하는데 사용된다.



### 3. VLF 표준전파

#### 가. 장파대 표준전파의 중요성

단파대의 눈부신 발달에 밀려난 장파대는 공전영향, 인공잡음 또는 다액의 시설경비등으로 인해 차차 실용통신으로부터 멀어지게 되어 한때는 잊어버린 감 마저도 있었다.

그러나 장파대 전파는 먼거리까지 도달될 뿐만 아니라 극히 안정한 전리층 하부영역에 의해 반사되기 때문에 그 일주변동은 다소 있다하더라도 고정도의 주파수 비교가 가능함으로 최근에는 장파대의 표준전파 이용이 활발하게 진행되고 있다.

단파대 표준전파로 전송되어지는 시작신호는 서로 다른 반사횟수로 (h<sub>o</sub>p<sub>e</sub>) 도래하는 것 또는 서로 다른 통로로 도래하는 것이 형성되어 서로 간섭하여 수신파형이 찌그러짐으로 정밀하게 동일통로에 의한 도래신호의 파형을 구별한다는 것은 어려운 일이다.

한편 장파대 신호는 시작신호의 파형 전송에는 주파수 스펙트럼상 부적당하다. 그러므로 원거리에서의 장파대의 주파수 비교측정은 단위시간의 전송은 직접 행하지 않지만 장시간동안 반송파 주파수를 비교측정 하므로써 주파수 편차를 정밀하게 측정할 수 있는 가장 좋은 방법이라고 생각된다.

즉 단파대는 전파특성상 일반적으로 변동이 심한 전리층 내부에 깊숙히 침투하고 거기서 수신측으로 반사되어\* 오기 때문에 전파통로의 길이가 비교적 빨리 변동하며 따라서 위상편차가 크게 일어나

표준전파의 비교측정에서 그 정도(精度)가  $10^{-8} \sim 10^{-7}$  정도 밖에 기대할 수가 없다. 그러나 장파대 전파는 공간파와 지표면을 따라가는 회절파와의 구별은 일반적으로 곤란하지만 공간파는 일반적으로 대단히 안정한 전리층 하부영역(주간 70 ~ 80 km, 야간 약 90 km)에서 반사되어 가면서 전송된다고 생각한다. 따라서 공간파의 감쇠가 단파에 비하여 적고 또한 지표파에 대한 감쇠도 적기 때문에 통달거리도 멀며 더욱이 전파전파가 단파에 비하여 매우 안정하다. 그러나 장파대에서는 잡음레벨이 대단히 높다는 것을 결점으로 들 수 있다. 따라서 필연적으로 큰 송신출력을 필요로 하며 긴 파장에 대응해서 송신시설에 경비가 많이 든다고 말할 수 있다. 또한 수신장치에서는 잡음레벨을 가능한 한 제한하려는 의도로서 수신주파수 대역폭을 제한하게 되며 사용전파의 주파수가 낮기 때문에 사용가능 주파수폭이 제한되고 있다는 점, 공중선의 Band 폭을 넓게 취할 수 없다는 점 등 주파수폭이 좁게 취하여지기 때문에 장파대는 통신용에는 적합하지 못한 이유가 되겠다.

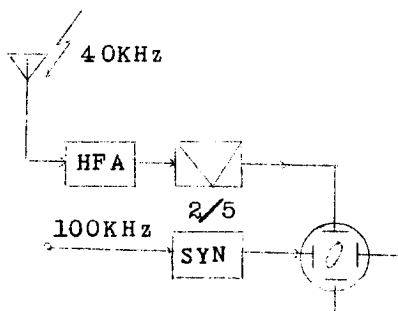
그러나 이 결점을 최대한의 가치가 있는 이용면에 활용한다면 이것이 곧 대역폭이 좁아도 무방하며 전파의 안정성만 최대한으로 요구되는 표준전파의 전송이라 하겠다. 다시 말하면 장파는 표준전파로서 최적의 전파라고 할 수 있다.

#### 나. VLF수신기의 분류 및 이론

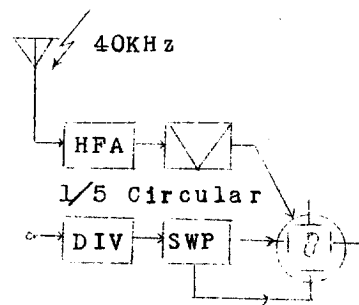
1) 직접비교방식 : 수신출력을 그대로 표준주파수로서 직접 이용하는 방식으로 위상비교와 Beat비교의 연속기록을 목적으로 하는 약간 고급의 방식이라도 Servo Loop를 포함하지 않는다.

그림(1)에 표시한 것은 Oscilloscope상에서의 리샤조도이며 누에고치형의 파형이 움직이는 모양을 육안으로 관찰하는 방식이다. 이 방식은 비교정도도 상당히 낮고 이용범위도 송신점에 비교적 가까운 장소에 한한다.

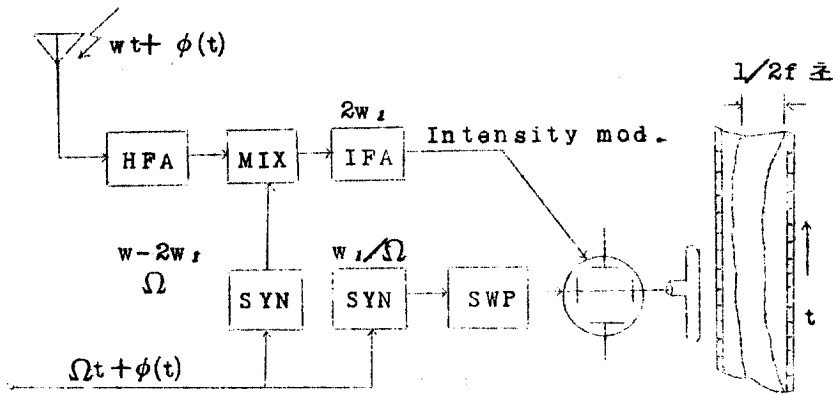
그림(1)의 a, b는 40 KHz 표준전파를 비교표준의 100 KHz와 비교하는 일례를 보이고 있다. 제(1)도 c.는 중간주파 증폭관을 설계하여 수신감도 선택도를 향상시키며 비교결과를 긴 film 상에 연속기록 시키는 방법의 일례이다. 소인시간은  $1/f$  초 ( $f = \frac{w}{2\pi}$ ) 이고 한쪽의 Beat출력은  $2f$  HZ이고 따라서 언제든지 그 Cycle분이 소인된다. 여기서는 이 Beat출력의 극소 또는 극대점에서 휘도변조를 거는 것이니까 오시로스코프상에서는 2개의 휘점이 나



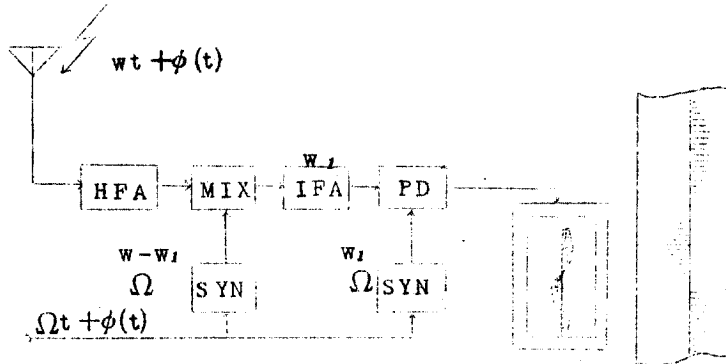
a) 리샤조도형 표시



b) 원형소인식



c) film 에 의한 연속기록



d) 위상검파기 출력을 기록

제 1 도 직접비교방식

란히 나타난다. 제(1)도 d.에 표시된 것은 이것의 왼쪽부분은 제(1)도 c.의 경우와 동일한 것이고 여기서는 위상검파기 ( PD )를 이용하여 그 출력을 연속기록기에 넣는 것이다. 이 경우 ( PD )의 두개의 입력의 위상은 각각

$$\{ \phi(t) - \frac{w}{\Omega} \phi(t) \} + \{ w_1 t + \frac{w_1}{\Omega} \phi(t) \}$$

$$\text{와 } \{ w_1 t + \frac{w_1}{\Omega} \phi(t) \}$$

로 된다. 따라서  $\{ \phi(t) - \frac{w}{\Omega} \phi(t) \}$ 가  $2\pi$  변화하면 Beat Cycle을 그리고 이 때

$$\frac{\phi'(t)}{w} - \frac{\phi(t)}{\Omega} = \frac{1}{f}(s)$$

그러므로 Beat Cycle로서 도래파와 비교표준간의 상대 시각차가  $1/f$  초에 해당하는 것으로 표시된다. 이 관계는 제(1)도 (a)(b) 및 (c)의 경우에 대하여도 같은 형식이다.

VLF파는 보통 초신호가 모르스부호로서 단속되어지고 있다.

이 PD출력을 충분평활해서 포화증폭시키고 다시 Pulse화 하면 다시 Beat Cycle이 정점 영점을 끊는점에 대개 해당하며 Pulse가 나타나게 되어서 비교의 정도가 한층더 좋게 된다.

이렇게 하면 이 방식에서는 Beat Cycle의 영점통과를 읽을 수 있어서 도래파와 비교표준간에 어느정도 ( $10^{-6} \sim 10^{-7}$ )의 위상차를 측정할 수 있는 것이다.

2) 위상추미방식 : 이상기를 통과시켜서 비교표준출력을 수신했을 때에 도래파와 위상비교를 하는 것으로 이 위상차가 항상 일정치를 유지시킬 수 있도록 Servo Loop를 통과시켜서 이상기를 제어한다.

이 대표적인 일례를 제 2도 (a)에 표시한다. (LF)는 Loop Filter, (SVA)는 Servo 증폭기, (SVM)는 Servo Motor, (GR)는 감속치차, (PS)는 이상기를 의미한다.

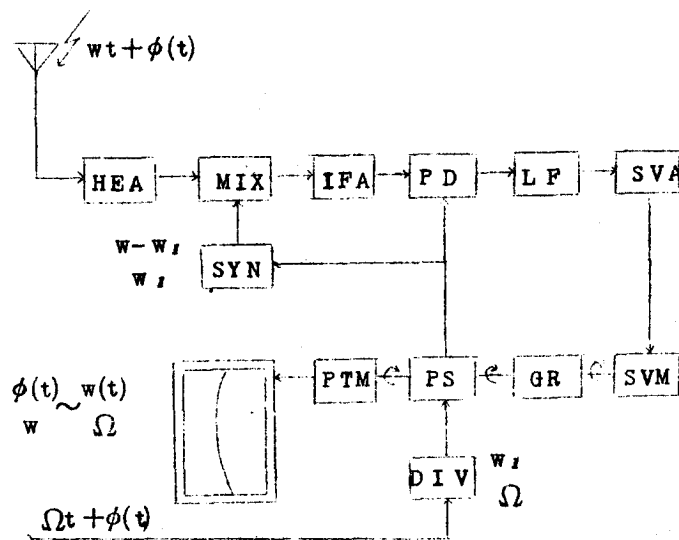
(PS)의 한바퀴는 원형의 전위자계 (PTM)을 통과시켜서 연속 기록기의 Chart 폭에 굴곡시켜서 기록한다. 기록기에는  $\phi(t)/w$   $\phi(t)/\Omega$ 로 Chart 폭에  $1/f_1$ 초 ( $f_1 = \frac{w_1}{2\pi}$ )로서 나타낸다.

제 2도 (b)는 전자회로식 Servo를 이용한 일례를 보여주는 것으로서 본질적으로는 제 2도 (a)와 다를것이 없다.

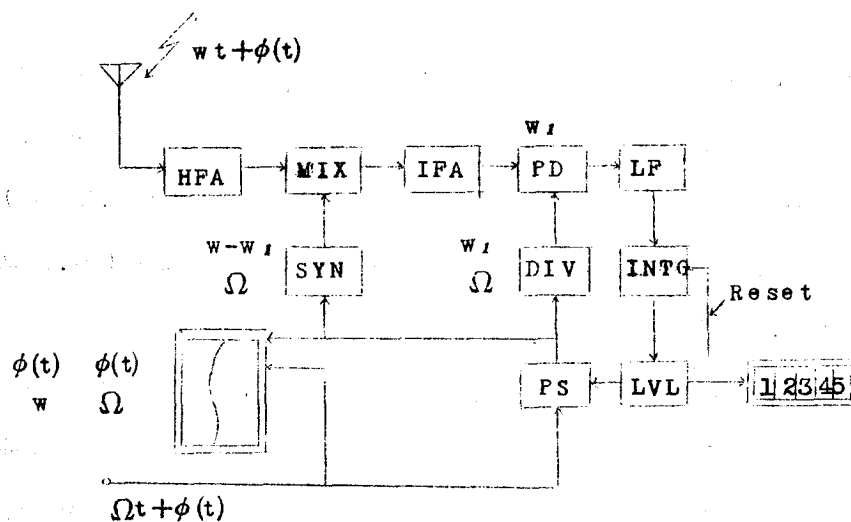
Loop filter (LF)를 통과시켜서 정 또는 부의 직류출력은 (INTG) 적분기를 충전시키고 다음에 그 전위를 높여준다. 이렇게 하여 일정치에 달하면 (LVL)단위의 위상량 ( $0.1 \mu s$ )만큼만 이상하는 동시에 기계적 Counter의 지시를 1점 ( $0.1 \mu s$ ) 변화시킨다. 이와 동시에 적분기를 Reset시킨다.

이경우 이상기에는 기계적 회전이 없기 때문에 위상기록은 비교표준과 이상기출력과의 위상관계를 따로따로 위상기록기에 묘사한다. 이와같이 위상추미방식은 모든 경우에 더욱 널리 이용되며 비교정도도 우수하다.

3) 발진기 제어방식 : 수신신호에 수반되는 제어 발진기로 위상



a) 전기기계식 Servo에 의한 것



b) 전자회로식 Servo에 의한 것

제 2 도 위상추미방식

을 고정시키고 이 발진기를 주파수표준으로 이용하려는 것이다.

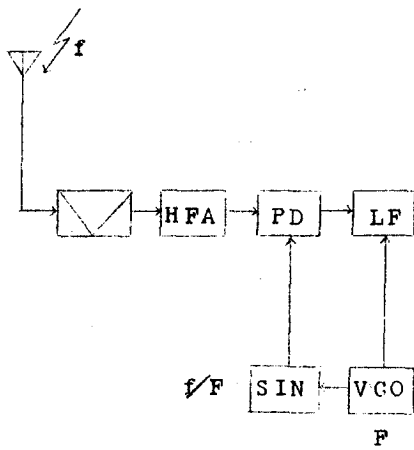
여기에는 정위식과 부정위식의 두 종류가 있으며 전자는 수신 신호가 중단되면 발진기의 제어가 정지되며 발진주파수도 제어이전의 원점으로 돌아간다.

후자의 부정위식은 이것과 달라서 수신신호가 중단되어도 그때의 발진주파수를 그대로 지속한다.

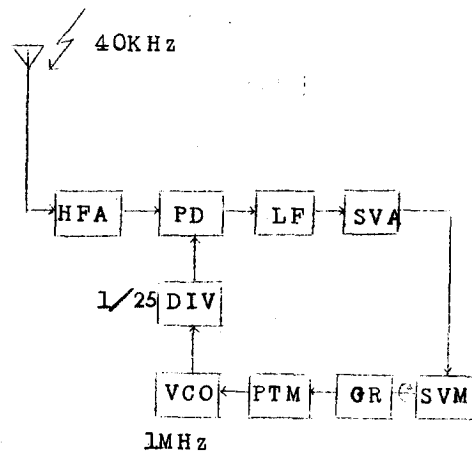
제 3도 (a)는 정위식의 대표적 block diagram을 보여주고 있다. 위상검파기 (PD)의 출력은 Loop filter (LF)를 통과한 후 전압제어발진기 (VCO)로 들어가서 발진주파수를 제어한다. 이 출력은 주파수합성기 (SYN)를 경유해서 도래파와 같은 주파수로 변화시켜서 (PD)의 비교입력으로 된다. 표준전파가 중단되면 (PD)의 검파출력이 발생되지 않으며 (VCO)는 스스로 동작한다.

제 3도 (b)는 부정위식의 대표적 구성을 보여주고 있다. 위상검파기 (PD)의 출력은 Loop filter (LF), Servo 증폭기 (SVA)를 거쳐서 Servo Motor (SM)를 돌리고 이 회전이 감속되어서 (GR) 제어용발진기 (OSC)의 바리콘을 돌린다. 표준전파가 중단되어 (PD)의 출력이 없어져도 바리콘은 그대로 이 위치에 머문다. 결과적으로 그때의 발진주파수가 지속된다. 그러나 이대로 시간이 지나면 얼마후에는 자기자신의 불안정으로 발진 주파수가 drift된다.

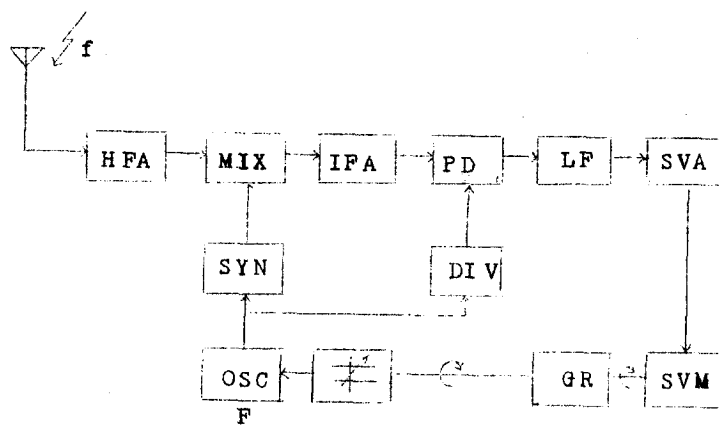




(a) 정 위식



(c) 부정 위식 ( NHK )

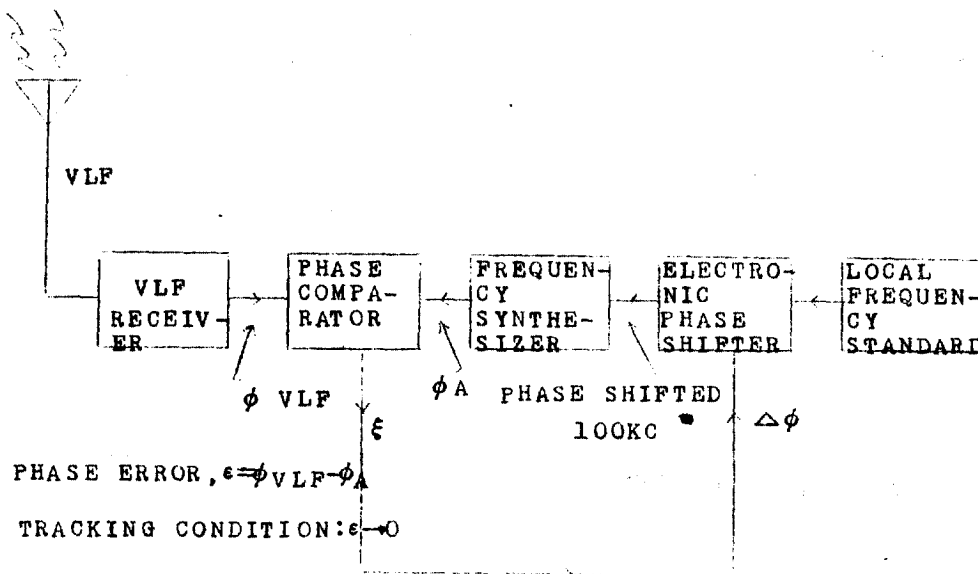


(b) 부정 위식

### 제 3 도 발진기 제어방식

다. VLF 표준전파 위상비교측정에 사용된 장비 및 측정방법

앞에서 설명한 VLF 위상비교측정 방법에는 여러종류가 있으나 당연구소에서 보유한 VLF 수신기는 위상추미방식을 이용한 것이다. 제 4 도에는 당연구소에 보유한 599H VLF 수신기의 계통도이다.



제 4 도 VLF PHASE TRACKING RECEIVER SYSTEM

수신가능한 주파수범위는 8 ~ 31.9 KHZ 까지 100 HZ step 으로 수신주파수의 가변이 가능하다. 이 수신기는 단일장치내에 VLF 수신장치, 위상비교장치, 보조위상편이장치, 주파수합성장치 및 전원공

급장치 등으로 구성되어 있다.

전면의 십진계수기는 수신된 VLF 반송파의 위상 ( $\phi_{VLF}$ ) 과 국부표준주파수원으로부터 얻어지는 위상 ( $\phi_A$ ) 사이의 상대적인 시작차 (時刻差) 를 연속적으로 나타내 주고 있다.

위상비교기의 위상차출력은 Electronic Servo의 적분기에 의하여 위상차 신호에 비례하는 주파수의 톱니파신호로 만들어져 계수기를 동작시키며 또한 이 신호는 주파수합성기 입력신호를 제어하여 위상차 출력을 Zero로 되도록한다. 이와같은 과정으로서 표준주파수신호의 위상  $\phi_A$ 는 VLF 반송파의 위상  $\phi_{VLF}$ 에 자동적으로 제어되며 제어된 위상량이 계수기에  $\mu s$ 로서 집적된다.

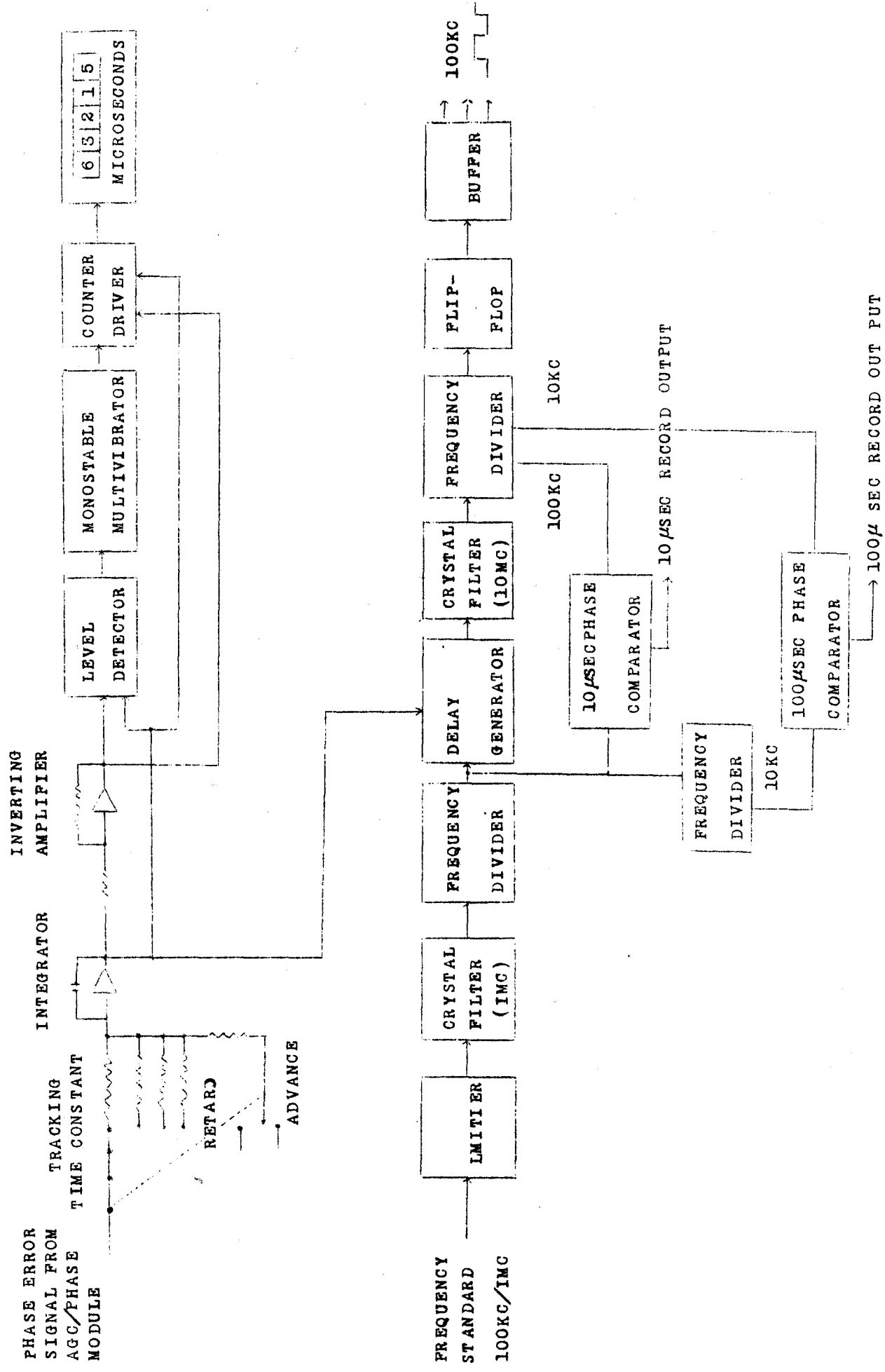
599H VLF 수신기의 중요기능은 수신된 VLF 반송파신호를 1 KHZ의 중간주파수로 변환하는 것인데 중간주파수로 변환중 기본위상 및 진폭은 변환과정에서 그대로 유지되는 것이다.

IF 신호는 증폭 및 여파된 후 두개의 동기 검파기에서 동시에 검파된다. 한쪽의 검파출력은 위상차를 나타내며 그 출력은 Electronic Servo를 제어하며 다른한쪽은 Signal Level Meter를 동작시키며 이 신호는 또한 AGC로도 사용된다.

또하나의 중요기능은 Electronic Servo로서 그 첫번째 역할은 위상차 신호를 주파수로 바꾸는 것이고, 두번째 역할은 100 KHZ 표준주파수 입력신호가 Crystal filter를 2단 거쳐서 10 MHZ 신호로 되는 것이다.

여기에 사용된 Crystal filter는 입력신호의 지정된 배수의

사  
이  
8  
절  
7  
내



\* 5 E ELECTRONIC SERVO SYSTEM

신호에 공진되어 출력측에는 입력신호의 기본위상을 그대로 재현할 수 있는 배수의 신호가 나타날뿐만 아니라 그 진폭도 일정하게 하여주고 있다.

이 crystal filter는 적분기가 reset 되는동안 10 MHz 신호의 위상과 진폭을 보호하는데 사용되는 "flywheel"과 같은 역할을 한다.

제 5도는 Electronic Servo의 block diagram이다.

위상차신호는 적분기에서 위상차신호의 역이되는 극성을 가진, 위상차신호에 비례하는 주파수의 톱니파신호를 발생시키며 이 톱니파신호는 monostable multivibrator를 트리거하여 양방향성계수기를 동작시킨다.

Electronic Servo에서 이 부분은 전압을 주파수로 바꾸는 역할을 담당하고 있다.

Electronic Servo에서 두번째 부분은 국부표준주파수신호를 crystal filter에 의하여 제한하고 여파하는 것이다.

이 신호는 Delay Generator를 거쳐서 10 MHz crystal filter를 "Ringling"시키며 Delay Generator는 적분기출력에 의하여 위상차신호만큼 입력신호의 위상을 지연시키며 지연된 신호는 기본위상이 그대로 재현되는 10 MHz 신호로 되어 0.1  $\mu$ s의 지연은 정확히 1 Hz의 변화에 해당된다.

이렇게 위상이 제어된 신호는 Divider단에서 100 KHz와 10 KHz로 분주되어 외부기록기에서 위상비교기록에 사용된다.

Divider의 다른 출력은 주파수합성기에 보내어져 위상비 교기의 신호원이 된다.

다시 말하면 위상편차는 계수기에 집적되며 국부표준주파수를 편차량 만큼 위상제어하여 항상 위상차가 Zero로 되도록 자동적으로 VLF 표준전파의 위상을 추미하는 방식이다.

수신된 VLF 표준전파와 국부표준주파수와의 단위시간동안 위상편차가 MICROSECOND DIGITAL 계수기에 집적되며 이 위상편차는 직접 단위시간동안 주파수편차로 환산된다.

즉 단위시간동안 주파수편차  $\Delta f$  는

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta t}{T} \dots \dots \dots (1)$$

$f$  : 비교주파수

$\Delta f$  : 주파수편차

$T$  : 측정시간 (초)

$\Delta t$  : T 초동안의 MICROSECOND DIGITAL 계수기의 편차 (초)

측정 예를 보면 다음과 같다.

77년 5월 6일 12:00 계수기 지시 4456,5  $\mu s$

77년 5월 7일 12:00 계수기 지시 4453,7  $\mu s$  라 하면

여기서  $T = 24시간 = 86400 초$

$$\Delta t = -2,8 \mu s = -2,8 \times 10^{-6} 초$$

(1)식에 대입하면

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta t}{T} = \frac{-2,8}{86400} \times 10^{-6} \approx -3,2 \times 10^{-11} / day \text{ 로 나타낼 수 있다.}$$

이 값은 전파상태가 위상비교측정에 전혀 영향을 주지 않고 수신한 표준전파가 절대적인 표준치라면 비교측정에 사용된 표준원기의 확도가  $-3.2 \times 10^{-11} / \text{day}$  라고 말할 수 있다. 그러나 이 값은 전파상태에 영향을 받았고 표준전파도 절대치라고 말할 수 없으므로 비교정도라고 할 수 있겠다.

#### 라. VLF의 원거리 전파전파의 일출몰 효과

VLF 표준전파의 원거리전파에는 위상측정기록에 몇 번이고 주기적인 급변화가 일출몰시에 나타나며 동시에 진폭기록에서도 Level 변동울 볼 수 있다. 이와같은 현상은 최근 도파관이론에 따라서 일출몰시의 지표파와 공간파의 간섭현상으로 설명되고 있지만 아직도 불명확한 점이 많다.

그림 6은 당연구소에서 77. 5. 7일 NLk (18.6 KHZ Jim Greek)를 수신하여 당소에 보유된 세슘표준원기의 100 KHZ 출력과 비교 기록된 위상 및 진폭변화의 일레이다.

T - SS, R - SS는 각각 송신측과 수신측의 지상 일몰시간이며 T - SR, R - SR는 각각 송신측과 수신측의 지상일출 시간을 표시한 것이다.

여기에서 보면 송신점의 일출몰 효과보다는 수신점의 일출몰 효과가 현저하게 나타나며 또한 일출 효과는 일출이전에 일몰효과는 일몰이후에 나타나고 있다. 여기서 일출몰시에 나타나는 위상급변화현상을 Phase Step이라고 부르는데 다음과 같은 도파관이론으로

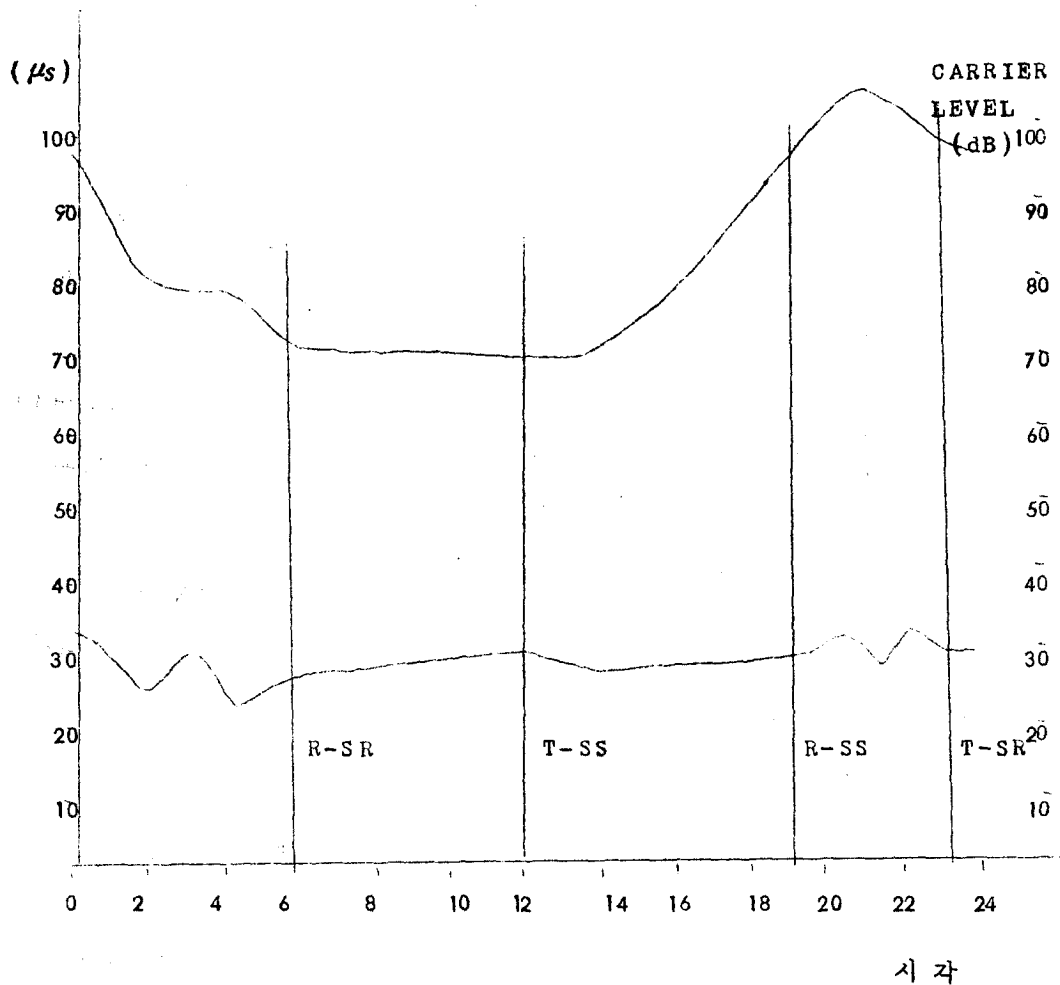
STATION : NLK(18.6 KHZ)

DISTANCE : 8300 km

: CARRIER LEVEL(dB)

DATE : 77. 5. 7.

: 위상변화 ( $\mu s$ )



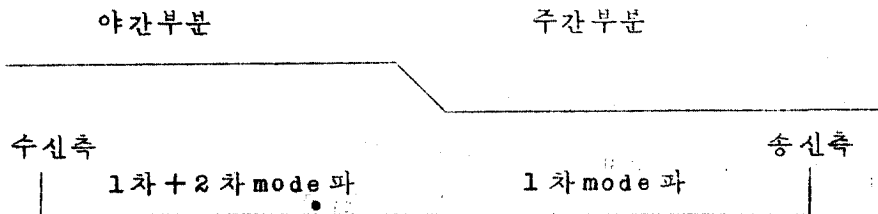
제 6 도 NLK 전제 강도 및 위상변화



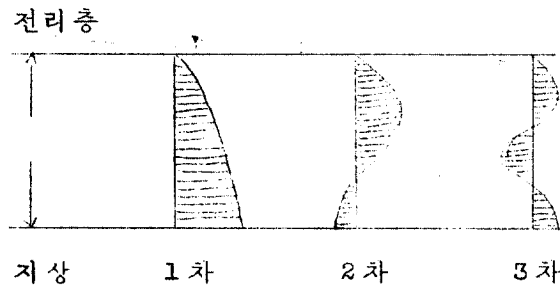
설명된다.

제 7도는 지표와 전리층간을 도파하는 긴 전송로를 가정한 것이다.

여기서 취급되는 긴 전송로에서 주간부분은 1차 mode 파가 존재한다고 가정하고 2차 mode 파 이상에 대해서는 감쇠가 크기 때문에 무시해도 좋다.



a) 일출에 의한 전리층 모형



b) 각 mode 파의 수직진동모양

제 7 도

주간부분에 존재하는 1차 mode파는 주야 경계의 야간부분에서 1차와 2차 mode파로 변환된다. 따라서 주야의 경계가 전파 통로상을 이동하면서 야간부분의 1차와 2차 mode파가 주간부분의 1차 mode파와 서로 간섭하여 전술한 규칙적인 Phase step을 일으킨다. 동시에 진폭은 최소로 되며 또 일출시 Phase Step과 일몰시 Phase Step을 비교해 보면 일몰시가 일출시에 비하여 완만하게 나타나고 있는데 이것은 일출시의 D층의 형성이 급격히 이루어지며 일몰시에는 D층의 소멸이 완만하기 때문인 것으로 설명할 수 있다.

이와같은 이유로 송신점과 수신점 사이에 주야의 경계가 지속될 경우 1일동안의 위상편차 (Phase flaction)가  $30 \sim 50 \mu s$  정도이며 주간에만도 보통  $10 \mu s$  이상의 Phase flaction이 있으므로 주파수표준원기의 표준확도 비교를 목적으로 한다면 24시간 계속 측정하면서 얻은 자료가 아니면 거의 무의미하다.

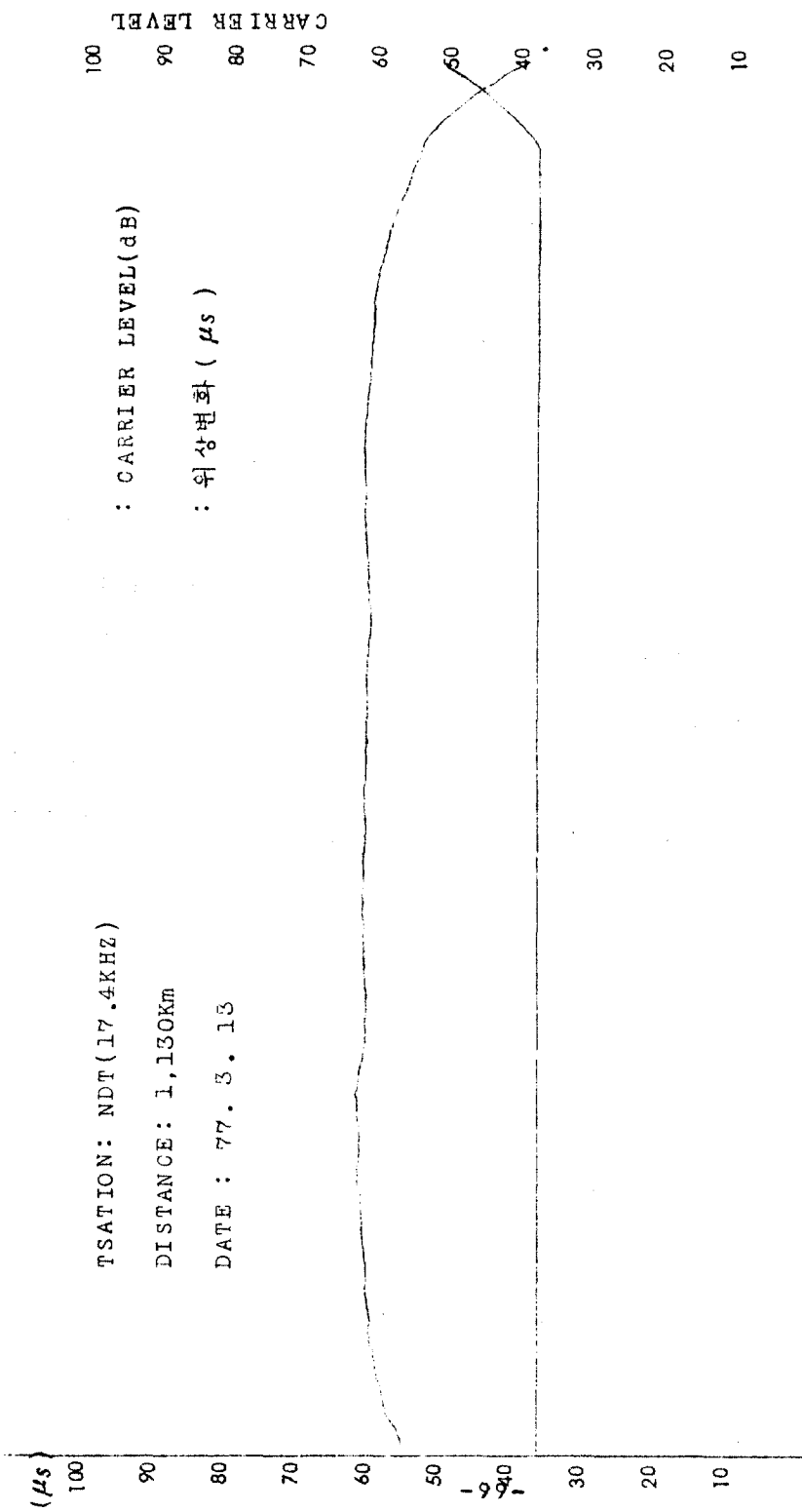
그러나 비교적 근거리에는 NDT (17.4 KHZ : Kogani)를 수신하게 되면 주간근무시간만을 이용하며 측정하더라도  $10^{-11}$ 의 정도로 비교측정이 가능하다.

그 한 예로서 77.3.13 측정된 값을 제 8도에 보여주고 있다.

09:00 계수기 지시  $37.3 \mu s$

17:00 계수기 지시  $37.7 \mu s$

여기서  $T = 8 \text{ 시간} = 28800 \text{ 초}$



제 8 도 NDT 전제 강도 및 위상변화

시각

$$\Delta t = 0.4 \mu s$$

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta t}{T} \text{ 의 공식에 의하여}$$

$$\frac{\Delta t}{T} = \frac{0.4}{28800} \times 10^{-6} \approx 1.4 \times 10^{-11}$$

즉  $1.4 \times 10^{-11}$  정도로 비교측정됨을 볼 수 있다. 이는 송수신점이 모두 주간에 걸쳐있는 동안에 측정된 값이다.

이와같은 측정을 1회 또는 2회를 행하며 당소에 보유된 표준원기의 규정확도 ( $\pm 1 \times 10^{-11}$ ) 보유 여부를 판단 하기에는 곤란 하지만 장기적인 측정에 의하여 Data를 종합하면 규정확도여부를 판단하는데 무리가 없을 것으로 생각된다.

별표는 VLF 표준전파 18.6 KHZ와 당소 세습표준원기와의 24시간 측정된 일람표로서  $\pm 1 \sim 3 \times 10^{-11}$ 의 비교정도를 보여주고 있다.

#### 4. 결 론

당소의 세습표준원기의 공칭확도를 비교측정하기 위하여는 비교적 근거리에 있으며 비교정도가 높고 정보교환이 가능한 일본 NDT를 대상으로 하며 년중 계속 주간근부심간에 한하여 측정하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

그리고 높은 확도의 국제표준주파수원기를 확보한지도 오래 되었고 그동안 계속 국제표준전파와 비교측정을 한 결과 전혀 결함이 없음이 확인되었고 지난 2년동안은 관내의 주파수측정장치 교정을 의뢰받음에 문제점이 없었던 것으로 보아 국내 일반기업체 또는 연구소, 학교 등을 대상으로 주파수측정장치 교정에 관한 수탁업무를 시작하여도 부방할 것으로 생각된다.

## VLF 표준전파 비교측정 일람표

4월

STATION: NLK(18.6 KHZ)

월일	10:00		12:00		14:00		16:00	
	Digit ( $\mu s$ )	비교정도 $\times 10^{-10}$	Digit ( $\mu s$ )	비교정도 ( $\mu s$ )	Digit $\times 10^{-10}$	비교정도 $\times 10^{-10}$	Digit ( $\mu s$ )	비교정도 $\times 10^{-10}$
1	4413		4412		4428		4436	
2	4411	-0.2	4412	0	4428	0	4435	-0.1
3	4409	-0.2	4410	-0.2	4425	-0.3	4434	-0.1
4	4407	-0.2	4408	-0.2	4423	-0.2	4431	-0.3
5	4406	-0.1	4408	0	4423	0	4433	+0.2
6	4408	+0.2	4410	+0.2	4425	+0.2	4433	0
7	4409	+0.1	4410	0	4424	-0.1	4435	+0.2
8	4408	-0.1	4412	+0.2	4426	+0.2	4435	0
9	4410	+0.2	4413	+0.1	4426	0	4435	0
10	4414	+0.4	4413	0	4423	-0.3	4435	0
11	4417	+0.3	4414	+0.1	4427	+0.4	4437	+0.2
12	4414	-0.3	4415	+0.1	4428	+0.1	4440	+0.3
13	4414	0	4415	0	4426	-0.2	4433	-0.8
14	4487	+0.3	4417	+0.2	4428	+0.2	4435	+0.2
15	4383		4385		4395		4404	
16	4388	+0.5	4386	+0.1	4402	+0.7	4412	+0.9
17	4382	-0.7	4386	0	4396	-0.7	4406	-0.7
18	4388	+0.7	4386	0	4398	+0.2	4410	+0.4

월 일	10:00		12:00		14:00		16:00	
	Digit ( $\mu s$ )	비교정도 $\times 10^{-10}$	Digit ( $\mu s$ )	비교정도 ( $\mu s$ )	Digit $\times 10^{-10}$	비교정도 $\times 10^{-10}$	Digit ( $\mu s$ )	비교정도 $\times 10^{-10}$
19	4389	+0.1	4388	+0.2	4391	-0.8	4413	+0.3
20	4387	-0.2	4387	-0.1	4394	+0.3	4403	0
21	4388	+0.1	4387	0	4392	-0.2	4403	0
22	4384	-0.4	4406	-0.2	4390	-0.2	4401	-0.2
23	4384	0	4406	0	4391	-0.1	4404	+0.3
24	4379	-0.5	4399	-0.7	4379	-1.3	4379	-2.6
25	4379	0	4379	-2.0	4379	0	4379	0
26	4379	0	4379	0	4381	+0.2	4381	+0.2
27	4381	+0.2	4379	0	4383	+0.2	4382	+0.1
28	4383	+0.2	4381	+0.2	4385	+0.2	4383	+0.1
29	4382	-0.1	4380	0	4383	-0.2	4383	0
30	4380	-0.2	4380	0	4383	0	4381	-0.2
31								
평 균		$\pm 0.2$		$\pm 1.1$		$\pm 0.27$		$\pm 0.3$

VLF 표준전파 비교측정 일람표

5월

STATION: NLK(18.6KHZ)

월 별	10:00		12:00		14:00		16:00	
	Digit ( $\mu s$ )	비교정도 $\times 10^{-10}$	Digit ( $\mu s$ )	비교정도 $\times 10^{-10}$	Digit ( $\mu s$ )	비교정도 $\times 10^{-10}$	Digit ( $\mu s$ )	비교정도 $\times 10^{-10}$
1	4461		4458		4466		4477	
2	4462	+0.1	4462	+0.4	4470	+0.4	4481	+0.4
3	4460	-0.2	4460	-0.2	4464	-0.7	4472	-1.0
4	4466	+0.7	4466	+0.7	4471	+0.8	4480	+0.9
5	4464	-0.2	4464	-0.2	4469	-0.2	4479	-0.1
6	4456	-0.9	4455	-1.0	4458	-1.2	4468	-1.2
7	4454	-0.2	4453	-0.2	4458	0	4468	0
8	4452	-0.2	4452	-0.1	4461	+0.3	4468	0
9								
10	4508		4508		4516		4526	
11	4507	-0.1	4506	-0.2	4509	-0.8	4524	-0.2
12	4507	0	4506	0	4506	-0.3	4521	-0.3
13	4506	-0.1	4506	0	4513	+0.8	4521	0
14	4505	-0.1	4505	-0.1	4511	-0.2	4520	-0.1
15	4501	-0.4	4500	-0.5	4506	-0.5	4527	+0.8
16	4500	-0.1	4501	+0.1	4505	-0.1	4526	-0.1
17	4502	+0.2	4503	+0.2	4507	+0.2	4528	+0.2
18	4504	+0.2	4503	0	4508	+0.1	4529	+0.1



월 일	10:00		12:00		14:00		16:00	
	Digit ( $\mu s$ )	비교정도 $\times 10^{-10}$	Digit ( $\mu s$ )	비교정도 $\times 10^{-10}$	Digit ( $\mu s$ )	비교정도 $\times 10^{-10}$	Digit ( $\mu s$ )	비교정도 $\times 10^{-10}$
19	4506	+0.2	4504	+0.1	4510	+0.2	4530	+0.1
20	4506	0	4505	+0.1	4510	0	4530	0
21	4506	0	4507	+0.2	4510	0	4531	+0.1
22	4500	-0.7	4501	-0.7	4508	-0.2	4529	-0.1
23	4501	+0.1	4501	0	4509	+0.1	4530	+0.1
24	4498	-0.3	4497	-0.4	4507	-0.2	4528	-0.2
25	4497	-0.1	4496	-0.1	4506	-0.1	4527	-0.1
26	4493	-0.4	4492	-0.4	4503	-0.3	4524	-0.3
27	4493	0	4493	+0.1	4504	-0.1	4522	-0.2
28	4491	-0.2	4491	-0.2	4501	-0.3	4520	-0.2
29	4493	+0.2	4492	+0.1	4503	-0.2	4521	-0.1
30	4493	0	4492	0	4503	0	4521	0
31								
		$\pm 0.22$		$\pm 0.23$		$\pm 0.3$		$\pm 0.26$

VLF 표준전파 비교측정 일람표

STATION:NLK(18.6KHZ)

6월

월 일	10:00		12:00		14:00		16:00	
	Digit ( $\mu s$ )	비교정도 $\times 10^{-10}$	Digit ( $\mu s$ )	비교정도 $\times 10^{-10}$	Digit ( $\mu s$ )	비교정도 $\times 10^{-10}$	Digit ( $\mu s$ )	비교정도 $\times 10^{-10}$
1	4495		4494		4497		4501	
2	4493	-0.2	4493	-0.1	4495	-0.2	4501	0
3	4490	-0.3	4492	-0.1	4493	-0.2	4499	-0.2
4	4490	0	4491	-0.1	4492	-0.1	4494	-0.5
5	4492	-0.2	4492	+0.1	4494	+0.2	4497	+0.3
6	4489	-0.3	4488	-0.4	4490	-0.4	4495	-0.2
7	4490	+0.1	4491	+0.3	4492	+0.2	4496	+0.1
8	4491	+0.2	4492	+0.1	4493	+0.1	4496	0
9	4489	-0.2	4490	-0.2	4491	-0.2	4495	-0.1
10	4489	0	4491	+0.1	4493	+0.2	4496	+0.1
11	4487	-0.2	4489	-0.2	4491	-0.2	4495	-0.1
12	4487	0	4488	-0.1	4489	-0.2	4495	0
13	4489	+0.2	4489	+0.1	4489	0	4496	+0.1
14	4490	+0.1	4491	+0.2	4493	+0.4	4499	+0.3
15	4491	+0.1	4492	+0.1	4493	0	4496	-0.3
16	4491	0	4492	0	4492	-0.1	4497	+0.1
17	4492	+0.1	4492	0	4493	+0.1	4498	+0.1
18	4493	+0.1	4494	+0.2	4494	+0.1	4499	+0.1

월 별	10:00		12:00		14:00		16:00	
	Digit ( $\mu s$ )	비교정도 $\times 10^{-10}$	Digit ( $\mu s$ )	비교정도 $\times 10^{-10}$	Digit ( $\mu s$ )	비교정도 $\times 10^{-10}$	Digit ( $\mu s$ )	비교정도 $\times 10^{-10}$
19	4493	0	4494	0	4495	+0.1	4499	+0
20	4494	+0.1	4495	+0.1	4497	+0.2	4501	+0.2
21	4495	+0.1	4495	0.	4496	-0.1	4501	0.
22	4495	0	4496	+0.1	4497	+0.1	4503	+0.2
23	4497	+0.2	4497	+0.1	4498	+0.1	4503	0
24	4498	+0.1	4499	+0.2	4499	+0.1	4505	+0.2
25	4499	+0.1	4499	0	4501	+0.2	4506	+0.1
26	4501	+0.2	4502	+0.3	4502	+0.1	4507	+0.1
27	4502	+0.1	4502	0	4503	+0.1	4508	+0.1
28	4502	0	4503	+0.1	4503	0	4509	+0.1
29	4500	-0.2	4501	-0.2	4503	0	4508	-0.1
30	4498	-0.2	4499	-0.2	4501	-0.2	4505	-0.3
		$\pm 0.12$		$\pm 0.13$		$\pm 0.15$		$\pm 0.14$

## 5. 참고문헌

- 1) Technical Note Book
- 2) 일본전기 학회기술보고 ( 장파표준전파수신장치 )
- 3) 일본전파연구소계보 ( Vol.14 )
- 4) VLF수신기 설명서 ( Tracor )