

# 電離層研究을 爲한 電子計測

徐 廷 旭

洪陵機械工業株, 工博

## 1. 序 論

우리가 短波로 無線通信을 하면 世界 어디서나 通信이 可能하다는 것은 잘 알려진 事實이다 이것은 地球를 둘러싸고 있는 電離層에 의해서 電波가 反射되기 때문이다. 즉 電波가 電離層과 大地사이에서 여러번 反射를 反復해서 地球의 反對쪽까지도 傳播되어가는 것이다.

1901년 Marconi의 大西洋橫斷 無線信號傳送의 成功에 이어, A.E. Kennelly와 Oliver Heaviside가 地球의 上層大氣에 電波의 反射領域, 즉 電離層의 存在를 提案한 것이 電離層 研究의 初음이었다.

電離層에서 電波의 反射에 影響을 주는 것은 電子密度이다. 電子密度는 時間的으로나 地域的으로 變動이 크므로 氣象觀測과 같이 全世界에 電離層觀測地點을 많이 두어 觀測의 正確度を 높임으로써 短波通信의 確實性和 計劃性 卽信賴性を 높일 수 있다. 한편 純粹科學的인 側面에서도 地球還境의 構成要素인 電離層 研究가 進展되고 있다. 電波를 利用하여 電離層의 特性을 觀測하는 方法에는 地上信號의 電離層反射效果를 利用하는 것과 로켓이나 人工衛星으로부터의 電波信號의 電離層透過效果를 利用하는 것이 있다. 現在 普偏的으로 使用되며 標準화된 觀測方法으로는 여러 周波數(HF~VHF)의 펄스 電波를 發射하고, 各 周波數에 對하여 電離層으로부터

더 反射되어 되돌아오는 時間遲延을 測定하여 電離層의 겉보기 높이(virtual height)를 計算하는 方法이 있다. 이것은 各層(高度)마다 臨界周波數가 存在하여, 어떤 周波數의 電波를 垂直入射 시켰을 때 그 周波數가 臨界周波數보다 높으면 電離層을 透過하고 낮으면 反射되어 되돌아 오는 事實을 利用하는 것이다. 다시 말해서 臨界周波數는 電波의 電離層透過에 關한 遮斷周波數이다. 또 臨界周波數는 그 層의 最大電子密度와 關聯을 가지므로 電子密度의 높이分布도 同時에 알 수 있다. 時間遲延으로부터 計算한 電離層의 겉보기 높이는 電波의 電離層內 傳播速度가 光速보다 느리므로 참 높이보다 높아진다. 電離層은 플라스마로 되어 있고 또 여기에 地磁場이 作用하고 있으므로 電離層은 磁化된 플라스마, 즉 異方性 플라스마로서 作用한다. 實際測定에서 “周波數-겉보기 높이의 그래프를 구해보면 높은 周波數領域에서는 그래프가 2부분으로 나뉘는데, 이것은 電離層에 入射한 電波가 地磁場의 影響을 받아 電波의 傳播樣態(mode)가 2가지로 되기 때문이며, 各各의 傳播樣態를 正常波, 異常波라고 부른다. 正常波는 反射되어 되돌아오는 時間이 길고 異常波는 짧다. 또 異常波 臨界周波數는 正常波보다 약간 높다 送信機와 受信機를 같은 場所에 놓고 電離層測定을 하는 裝置를 電離層垂直觀測裝置라고 한다.

이 電離層垂直觀測方法에는 地上에서 上方 垂直으로 電波를 보내어 測定하는 下側測定法

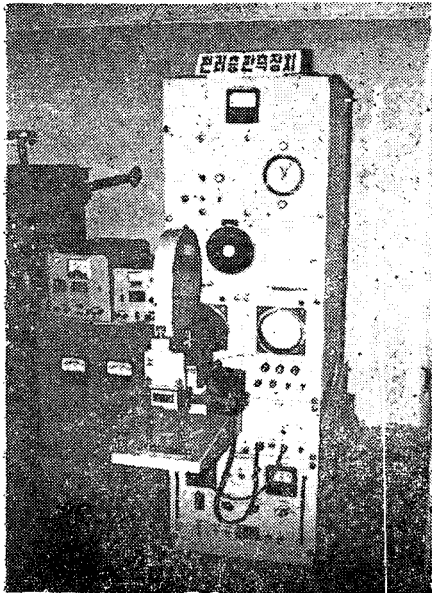
(bottom side sounding)과 人工衛星에 小型 Ionosonde를 積載하여 電離層밖의 높은 (1000 km)곳에서 下方으로 電波를 쏘아 測定하는 上方測定法(top side sounding)의 2가지 方法이 있다. 또 送信機와 受信機를 수천km 거리에 띄어 놓고 그 사이에 펄스 電波를 보내서 途中의 電離層의 狀態를 測定하는 入射電離層觀測裝置가 있다. 이 裝置를 path sounder라고 한다. 또 人工衛星을 利用하는 觀測方法에 人工衛星으로부터 beacon信號를 地上을 向해 發射하여 Faraday回轉을 測定함으로써 電子總量을 求하는 Faraday回轉法도 있다.

## 2. 電離層垂直觀測裝置

### 2.1 下側測定法

地上에 設置된 電離層垂直觀測裝置는 넓은 범위에서 周波數를 可變할수 있는 펄스식레이더裝置로서 地上에서 펄스波를 垂直上方으로 電離層까지 傳播시켜 反射되어 되돌아올 때까지의 時間  $t$ 를 周波數의 函數로서 구할 수 있도록 한 것이다. 즉

$$h' \text{ (km)} = \frac{1}{2} ct = 0.15t \text{ (\mu s)}$$



(a)

의 關係에서  $t$ 를 걸보기높이  $h'$ 로 換算해서  $h'$ 와 臨界周波數와의 關係를 測定한다. 그림 1은 測定데이터의 한例를 보인 것으로서 이것을 Ionogram 또는  $h'-f$  曲線이라고 한다.

한편 反射電波의 周波數 즉 臨界周波數와 反射點의 電子密度  $N$ 과의 關係는 다음식으로 주어진다.

$$N \text{ (個/cm}^3\text{)} = 1.24 \times 10^4 f_0^2$$

$$\text{또는 } N \text{ (個/cm}^3\text{)} = 1.24 \times 10^4 (f_x^2 - f_x f_H)$$

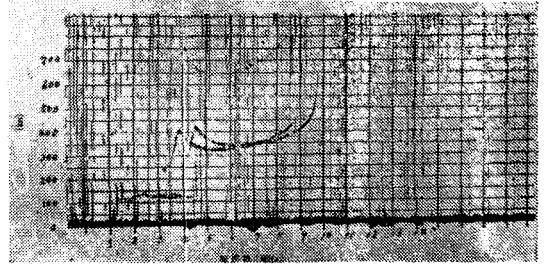
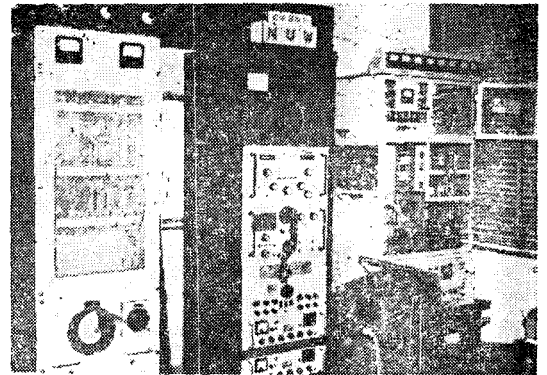


그림 1. Ionogram의 예

여기서  $f_0$ 와  $f_x$ 는 각각 正常波 및 異常波의 臨界周波數(MHz)이다. 그리고  $f_H$ 는 電離層의 Gyro 周波數 혹은 Cyclotron周波數로서 대략 1.2~1.4MHz이다.  $f_H$ 는 電離層內的 電子가 地磁場의 영향을 받아 回轉運動할 때의 回轉周波數이다. 上記式의 關係에 의해서 電離層의 臨界



(b)

그림 2. Ionosonde

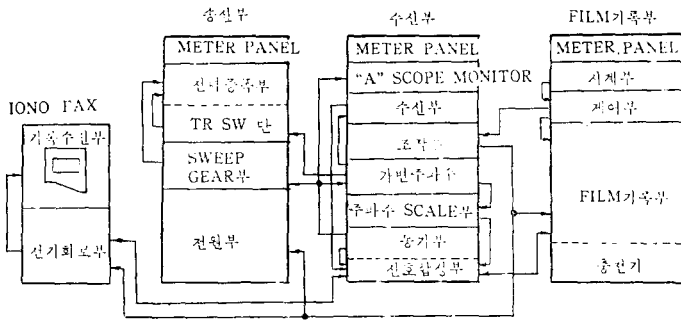


그림 3. 電離層垂直觀測裝置의 系統圖

周波數를 測定하면 結局 길보기 높이에 對해 電子密度의 分布狀態를 구할 수 있다.

그림 2는 安養의 靑心부 電波研究所에 있는 電離層垂直觀測裝置의 送受信 및 記錄部이다.

그림 3은 電離層垂直觀測裝置의 系統圖이다. 또 全體의 性能例를 보이면 表 1과 같다. 受信機와 送信機가 連動으로 되어 있고 同調는 共通의 VFO(可變周波數發振器)信號를 使用

함으로써 受信機의 IF信號는 恒常 一定周波數가 되도록 自動的으로 tracking 된다. 送信機 또는 指示部의 트리거用 펄스는 30MHz 水晶發振器 에서 供給되며 이것을 分周回路에 의하여 3kHz 의 펄스로 만든 후에 적당히 整形해서 50km높이 눈금으로 使用한다. 또 750Hz로 分周해서 200 km마다의 높이눈금을 만든다. 周波數눈금은 VFO의 周波數를 計數하여 1MHz마다 펄스를 發生시켜 만든다.

指示部는 A 走査法을 使用한다. 오실로스코프의 時間軸에 電源周波數에 同期되는 펄스反復周波가 加해지거 때문에 靜止펄스 反射信號가 觀測된다. 縱軸에는 受信機出力에 높이눈금信號가 重疊되어가 해진다. 35mm 필름에 記錄하는 境遇는 오실로스코프 前面에 slit를 設置하고 이를 통하여 펄스 反射信號에 의해 輝線으로 明暗을 만들어 필름에 撮影한다. 필름은 30秒 사이에 10cm의 一定한 速度로 감겨지거 때문에 周波數가 높으면 一般的으로 時間遲延이 增大해서 反射信號는 오른쪽으로 移動하는 것처럼 되어 그림 1과 같은 Ionogram이 얻어진다. Iono Fax에 記錄하는 境遇에 오실로스코프는 特殊한 電子비임 走査方式의 optical fiber tube가 使用되며 靜電寫眞의 原理가 應用된다. 즉 半導體를 塗布한 電子寫眞用 roll 紙가 一定한 速度로 나오거 고, 記錄紙의 表面에 코로나 放電이 일어나 現象機를 통하여서 現象되어 紙上에 記錄되는 것이다.

表 1. Ionosonde의 性能

測定項目	h'-f	
環境條件	保存溫度	-10°~40°C
	動作溫度	10°~30°C
	濕度	30~80%
記錄樣式	指示方法	Braun管
	記錄方法	35mm필름(120m收容)
	필름進行量	38mm(1觀測)
	Iono-Fax	付加加能
電氣的特性	送信尖頭出力	10kW
	펄스幅	80μs ± 10%
	反復周波數	商用電源
	1觀測所要時間	30秒
	觀測時間間隔	連續 1.5分 定時觀測(15, 30, 60分) 프로그램 觀測
	높이 눈금 間隔	50km, 200km
	높이 눈금安定度	水晶發振器
	觀測 높이 範圍	800km ± 10%
	周波數 Sweep	直線 및 Log
	觀測周波數	550kHz ~ 20MHz
	周波數 눈금	1MHz, 5MHz
	送信出力임피던스	600Ω 平衡
	受信入力임피던스	50Ω 不平衡

## 2.2 上側測定法

電離層觀測은 地上에서의 垂直觀測에 의하여

이루어지지만, 이 方法으로는 F<sub>2</sub>層보다 上側의 觀測을 할수는 없다. 따라서 美國과 카나다는 共同으로 Top Side Sounder 計劃을 위하여 人工衛星 Alouette I號를 1962년 9월 29일에 쏘아 올렸다. 그 후 美國은 獨自의으로 Alouette II號, ISIS I號 등을 쏘아 올렸다. 또 日本도 1976년에 電離層觀測衛星 ISS를 發射하기 위한 計劃을 推進中이라고 한다. ISS는 아래의 4個 任務를 遂行할 수 있도록 開發이 이루어지고 있다.

(1) 電離層臨界周波數의 世界分布 觀測

(2) 電波雜音의 世界分布 觀測

(3) 衛星이 飛行하는 空間의 플라즈마 特性 測定

(4) 衛星이 飛行하는 空間의 正이온 質量的 測定

ISS 本體의 形態는 圓筒形(直徑 94cm, 높이 82cm)이고, 電離層觀測은 周波數 0.5~15MHz의 펄스波가 sweep되어 發射되던 下方의 電離層에서 反射된 電波를 受信함으로써 電子密度의 分布 및 臨界周波數가 觀測된다. ISS의 構成概要를 그림 4에 나타내었다.

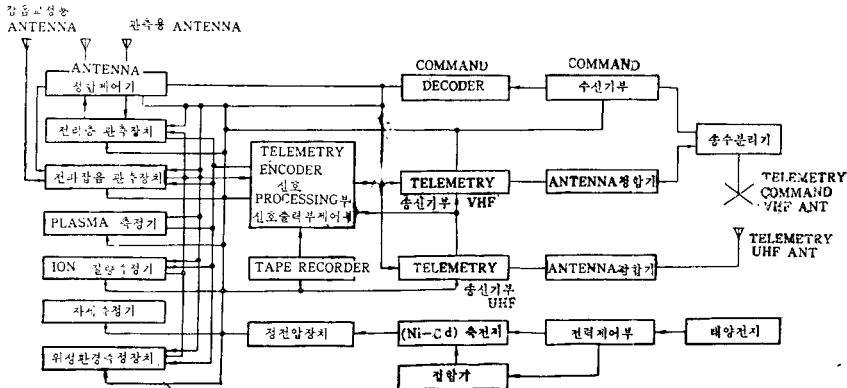


그림 4. ISS의 構成

Alouette I號의 任務는 다음과 같다.

- (1) 電離層 上方의 觀測
- (2) 宇宙電波雜音의 觀測
- (3) VLF 帶 電波雜音의 觀測
- (4) 粒子流의 觀測

이들의 任務를 위한 機器를 積載한 Alouette I號의 Top Side Sounder의 系統圖는 그림 5와 같고, 그 性能概要는 表 2에 表示하였다.

測定原理는 地上에서 觀測하는 電離層垂直觀測裝置와 같으며, 데이터는 텔레미터 回線으로 地球局으로 보내진다. 텔레미터 系統은 廣帶域, 狹帶域의 2系統으로 되어 있다. 廣帶域텔레미터는 Top Side Sounder 및 VLF의 데이터를 傳送하기 위한 것이고, 狹帶域 텔레미터는 Housekeeping 데이터와 其他 任務觀

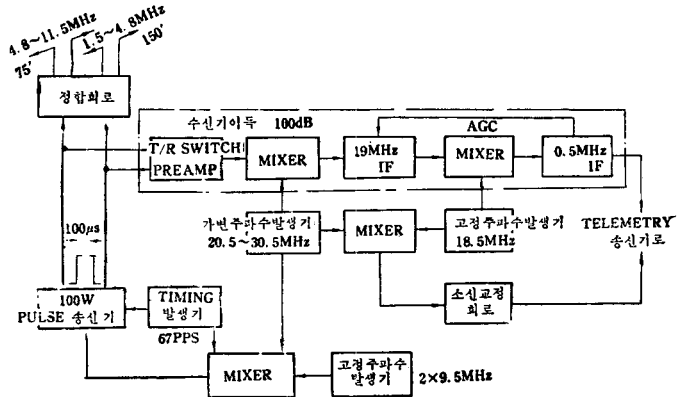


그림 5. Alouette I號의 Top Side Sounder의 系統圖

測데이터를 傳送하기 위한 것이다. 2系統의 텔레미터를 使用하는 것은 故障時에 被害를 輕減시키며 또한 한系統當의 帶域幅을 좁게 함으로써 地球局에서 데이터를 記錄하는 磁氣테이프의 速度를 느리게 할 수 있기 때문이다. 그림 6은

表 2. Alouette I號의 Top Side Sounder Sweep 의 性能概要

項 目	諸 元	性 能 概 要
送 信 機	尖頭出力	100W(400Ω入力端)
	實効放射電力	約 10W
	펄스幅	100μs(分解能10km)
	펄스反復周波數	67PPS
	觀測周波數範圍	1.5~11.5MHz(實効)
	觀測所要時間	18秒(1回觀測)
	Sweep速度	1MHz/s
	廣帶域增幅部	平均 4.3W
	消費電力	
受 信 機	雜音指數	16dB
	最低信號檢出레벨	-110dBm
	受信機帶域幅	33kHz(-3dB)
	dynamic range	40dB
	AGC 時定數	20ms
	宇宙雜音레벨	45dB(2MHz에서)
	受信機消費電力	1.4W

텔레미터 및 指令系의 系統圖이다.

指令系는 信賴性을 考慮해서 2系統을 並列로 하여 常時稼動시키는 形態를 취하고 있다. 指令項目은 24個의 基本動作과 여러個의 豫備裝置의 切換, 動作모우드切換, 豫備電池切換 등 合計 40項目의 指令動作이 可能하다. 이 中에는 觀測 開始指令後 一定時間後에 自動的으로 觀測을 停止시키는 保護指令도 包含되어 있다. 指令信號는 4個의 低周波 tone을 組合시킨 符號形式이고, 이 信號는 148.26MHz를 振幅變調하고 있다. 이 4個 tone 이 組合된 指令信號는 地上에서의 混信으로 因한 誤動作을 除去하기 위하여 2個의 address tone의 送信에 이어 指令系의 動作을 10秒로 制限하는 게이트 回路를 附着하여 誤動作을 改善한다.

Alouette I號의 動作概要는 다음과 같다.

- (1) 指令受信機, Beacon 受信機 및 制御用 타이머는 恒常 稼動된다.

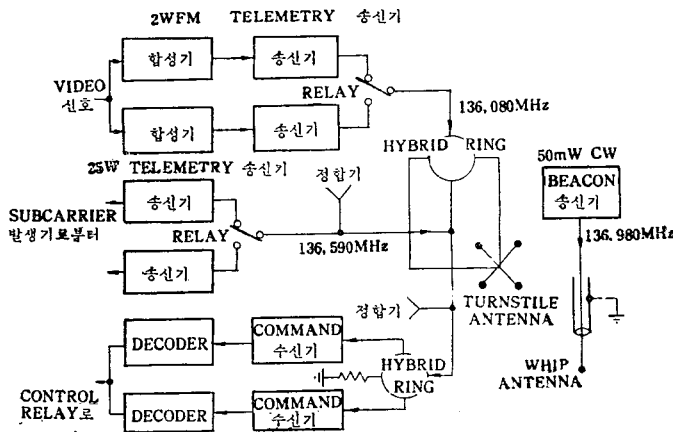


그림 6. Alouette I號의 텔레미터 및 指令系

- (2) 地球局의 可視範圍에 들어오면 指令에 의하여 Top Side Sounder 또는 VLF의 둘중 하나를 選擇해서 觀測을 開始한다. 이 觀測 結果는 實時間으로 廣帶域텔레미터 回線에 의하여 地球局에 보내진다.
- (3) (2)項의 動作과 同時에 宇宙雜音, 粒子流 및 衛星環境의 觀測이 開始되어 그 結果는

狹帶域텔레미터 回線을 통해 實時間으로 地球局에 보내진다.

- (4) (2), (3)項의 觀測은 觀測開始指令後 10分間 繼續된 後에 地上에서의 觀測停止指令이 없어도 自動的으로 電源이 遮斷된다.

Top Side의 觀測은 1회의 觀測(1장의 Ionogram을 얻는 데 必要한 時間)에 約 18秒 걸린

다. 따라서 衛星速度를 7km/s로 하면 地域的으로 約 125km마다 샘플된 觀測值가 얻어진다. 그림 7에 Top Side Ionogram의 一例를 나타내었는데, 電離層反射波의 trace는 地上에서 觀測한 것을 거꾸로 놓은 모양이다. 또 地上反射波의 trace등이 主反射波로서 觀測되는 일이 있다.

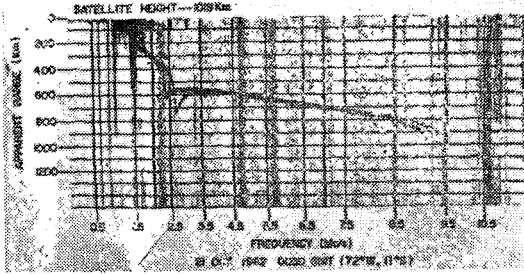


그림 7. Top Side Ionogram

### 3. 電離層斜入射觀測裝置 (Path Sounder)

#### 3.1 Path Sounder 의 개요

Path Sounder는 送受信裝置를 겸비한 것이기 때문에 自局에서 送信한 電波가 電離層을 통해서 대기에서 산란하여 거꾸로 傳播되어 오는 것을 受信할 수도 있고 또 相對局을 설치하여 傳

播實驗을 할 수도 있는 裝置이다. 이 裝置는 펄스변조된 電源周波數를 4~64MHz에서 step 상 태로 변화시켜서 送信하고 相對局은 이것에 同期된 受信裝置의 周波數를 變化시켜서 傳播波의 有無를 自動記錄하는 것이다. 記錄은 오실로스코프상의 受信出力을 35mm 필름으로 촬영하는 방법을 채택하고 있으며, 횡축이 周波數, 종축이 相對인 傳播時間이고 어느 周波數까지 傳播波가 受信되는지를 바로 알 수 있게 된다. 이 기록을 斜 Ionogram이라고 부르고 있다. 이 裝置는 尖頭出力 30kW의 分布增幅部, 標準水晶發振器, 周波數合成器, 프로그래머, 受信 및 記錄部, 電子振幅勵振部, 電源 등으로 構成되어 있다.

그림 8은 裝置의 系統圖이다. 送信時에는 標準水晶發振器의 1MHz 및 100KHz, 10KHz의 出力이 固定 및 可變周波合成器로 공급된다. 可變周波合成器는 이 二波와 제어기로부터의 信號에 의하여 100kHz step의 15~18MHz를 발생시켜서 채배기 및 변환부에 供給한다. 채배기는 이것을 2배, 4배, 8배로채배하기 때문에 出力은 200kHz step으로 변화하는 30~37.8KHz, 400kHz step으로 변화하는 60~75.6MHz, 800 kHz step으로 변화하는 120~151.2MHz로 된다. 이들의 周波數帶가 固定周波合成器에서 供

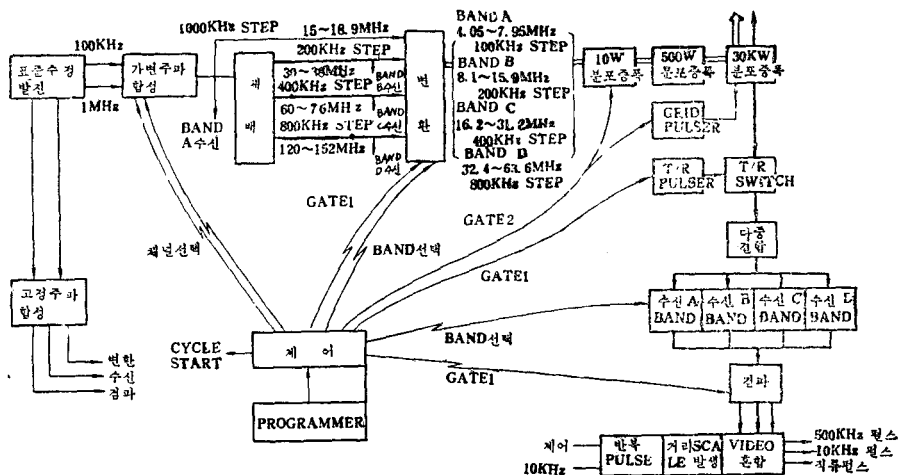


그림 8. Path Sounder의 系統圖

給되는 1.45 및 9.5MHz와 변환기에서 混合되어 밴드 A는 4.05~7.95MHz가 된다. 같은 방법으로 밴드 B는 8.1~15.9MHz, 밴드 C는 16.2~31.8MHz, 그리고 밴드 D는 32.4~63.6MHz의 周波數帶로 변환되고 펄스變調되어 10W, 500W 및 30kW의 各 分布增幅部를 通하여 對數 周期안테나에 供給되어 放射된다. 한편 受信時에는 對數 周期안테나에서 포착된 電波는 終端 分布增幅部의 플레이트라인을 通하고 高耐壓 다이오드로 構成된 T/R 스위치를 通해서 多重結合器에 供給되며 여기서 4.05~63.6MHz의 周波數가 A,B,C,D의 各 밴드로 分離되어 4개의 別개 受信部에 接續된다. 이들의 受信信號는 채배기에서 만들어지는 各 밴드의 局發周波數와 固定周波合成器 出力에 의해서 三重周波數變換을 行하여 500kHz 信號가 된다. 예를 들면 밴드 A에서는 4.05~7.95MHz의 受信波가 채배기에서 만들어진 1.5~18.9MHz와 混合되어 10.95MHz로 되고 다시 10MHz와 混合되어 500KHz의 出力으로 된다. 檢波器를 지난 最終出力은 500kHz, 10kHz 및 直流펄스出力으로 된다. 따라서 만일 Sweep을 끝내어 固定周波數로 하고 10kHz의 受信出力을 오실로스코우프에 表示시켜 그 시간경과를 보면 Doppler 효과로부터 電離層의 움직임도 알 수가 있는 것이다. 또 可變周波數의 檢波出力에서 斜 Ionogram을 만드는 것도 可能하다.

Path Scounder의 制御關係는 다음과 같이 되어 있다. 프로그래머에는 標準 100kHz를 分周하여 構成한 標準 時計가 있고 24시간을 1ms step으로 選別할 수 있는 펄스를 發生시키고 있다. 따라서 지금 送信하고자 하는 時刻에 프로그래머를 設定하여 놓으면 이 時刻에 start 펄스가 發生되어 裝置內의 펄스反復周波數(PRF)發生器의 게이트가 열려 變調펄스를 送出하게 된다. 또한 이 裝置는 채널 反復數(PPC, pulse per channel)의 選定에 따라 同一周波數로 어떤 펄스를 送信하는 가를 決定하는 것에 可能하게 되어 있다. 예를 들면 PRF=50, PPC=4로 選定하여 놓으면 計數裝置에 의해서 4개의 펄스마다

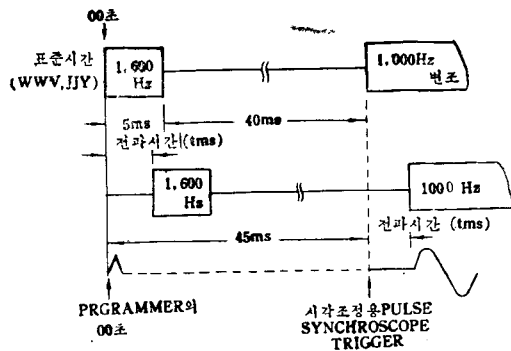
制御信號가 可變周波數合成器에 送出되어 LC 發振器의 容量을 變化시키며 이 周波數가 標準水晶發振器의 出力으로 位相固定(phase locking) 되어 送信된다.

送信되는 周波數(채널 周波數)는 各 밴드 40波로 되어 있기 때문에 640 펄스가 計數되면 sweep 完了펄스가 發生되어 PRF의 게이트가 닫힌다. 이 경우 4.05~63.6MHz를 sweep하는 데에 必要한 時間은  $640P \div 50p/s = 12.8s$ 가 된다.

受信時的 動作도 거의 같으며 變調펄스가 끝나면 촬영용 오실로스코우프, 카메라 등이 作動하게 되어 있다. 裝置의 性能을 보면 表 3과 같다.

### 3.2 時刻 Setting

Path Sounder裝置는 모두 獨立同期式이므로 미리 各 局의 時刻를 正確히 맞추어 둘 必要가 있다. 이를 위하여는 標準電波 WWV나 JJY를 受信해서 每日 時刻 調整을 하는데 그 方法은 그림 9와 같다. 그림의 上端은 標準電波의 變調



기린 9. 標準時間과 Path Sounder의 時刻 Setting

方式으로서 0秒부터 5ms동안 160Hz의 펄스가 나가고 그 後 40ms 동안은 無變調로 된다. 그 後 1,000Hz의 變調가 다음 秒信號 가까이까지 繼續된다. 元來 時刻를 맞추는 데는 秒信號를 利用하면 좋지만 混信등의 影響을 받기 때문에 正秒에서 45ms 늦은 1,000Hz의 상승점을 잡아 時計를 맞춘다. 그림의 中端은 標準電波가 標準電波 發射地點과 受信點 사이의 傳播에 必要한 時間을 表示한 것이다.

表 3. Path Sounder의 性能

周波數	範圍 安定度	4.05~63.6MHz $5 \times 10^{-10}$ /日
채널	總數	160채널
	밴드 A	4.05~7.95MHz, 100kHz step
	밴드 B	8.1~15.9MHz, 200kHz, step
	밴드 C	16.2~31.8MHz, 400kHz step
	밴드 D	32.4~63.6MHz, 800kHz step
펄스	幅	50, 100, 200, 500, 1000 $\mu$ s
	反復數	2, 5, 10, 20, 50 PPS
	채널反復數	1, 2, 4, 8
送信	尖頭值出力	30kW
	入出力임피던스	50 $\Omega$
受信	入力임피던스	50 $\Omega$
	밴드幅	6.16kHz
	感度	0.5 $\mu$ V(S+N/N=2:1)
	Dynamic Range	40dB
	비레오出力	500kHz, 10kHz, DC 펄스
안테나	型	對數周期
	偏波	垂直
	element 數	逆 V element 9
	利得	5 dB / $\frac{\lambda}{4}$ 接地垂直 폴

Path Sounder의 프로그래머에는 前述한 바와 같이 時間間隔이 正確한( $5 \times 10^{-10}$ /日)時計가 있고 이로부터 1秒마다 두가지 信號가 나오고 있다. 하나는 時計와 同一時刻의 것이고 다른 하나는 Plug Board에 設定한 任意의 量만큼 時計보다도 늦게 나오는 秒信號(時刻調整用 秒펄스)이다. 여기서 後者의 量을 45ms로 決定해 놓는다 標準電波의 發射地點과 受信點 사이의 傳播에 tms가 걸린다고 하면 下端과 같이 時刻調整用秒펄스에 의해서 synchroscope를 同期시키고 標準電波의 1,000Hz 상승점이 左端에서 tms에 오도록 時計 전체를 微調하면, 프로그래머의 時計는 標準電波와 一致하게 된다. 이 微調의 量을 每日 調査함으로써 水晶發振器가 流動하는 量도 判定할 수 있다. 같은 方法으로 相對局에서도 時刻調整을 행하면 各局의 時計가 一致하게 된다

이 時刻調整은 電離層 높이가 日變化하는 것을 考慮해서 每日 定刻에 행하면 되지만 自然現象이기 때문에 多少의 誤差가 混入되는 것은 可할 수 없다. 最近 試圖되고 있는 플라잉 클럭(flying clock)에 의해서 時刻을 맞추든가 세슘이나 리튬의 電子振動을 利用한 時計裝置를 쓰면 이 誤差는 減少된다.

### 3.3 送受信裝置의 同期

Short펄스, long펄스라고 부르는 펄스幅이 다른 電波로 各各 sweep하여 1회의 觀測을 마치게 되어 있다. short 펄스는 幅 100 $\mu$ s, 反復周波數 50, 同一波數 反復數 4회이기 때문에 sweep時間은 12.8초가 된다. short펄스 sweep의 最後의 펄스에서 long 펄스로 移行하는데, 펄스幅, 1ms, 反復數 20, 同一周波數反復數 2회로 sweep을 행한다. 이것에 必要한 時間은 16秒이다. 이 펄스幅의 切換과 同時에 受信機의 밴드幅이 16kHz에서 6kHz로 또, 오실로스코우프의 掃引時間도 10ms에서 40ms로 切換된다.

送信波를 어떻게 同期시켜 受信하는가를 說明하기 위하여 호주 "세인트 길더"를 送信局, 일본 "야마가와"를 受信局으로 例를 든다. 送信局에서는 4分 00秒, 14分 00秒...와 같이 送信을 每時 6회 행하고 있다. 送受信 地點間的 傳播時間은 約 26ms가 되므로 4分 00秒에 發射된 4MHz의 제 1 펄스는 4分 00.026秒에 受信局에 到達하게 된다 受信局의 Path Sounder는 프로그램 펄스가 나온 후 4MHz의 最初 펄스가 나오기까지 및 오실로스코우프의 最初 sweep를 開始하기 까지 31ms가 걸리도록 遲延回路가 設置되어 있다.

지금 受信信號가 오실로스코우프의 左端에서 5ms 位置에 나타나게 周波數의 同期를 잡으려면 送信波가 到達하기 36ms 前에 受信系統, 오실로스코우프 등이 start되게끔 프로그램을 한다. 즉 그림 10과 같이 每 10分 마다 03分 59.990秒에 프로그래머에서 start pulse가 나오게 해 놓으면 送信局에서 送信된 電波中の 傳播可 能한 周波數帶는 모두 受信局의 필름에 記錄되



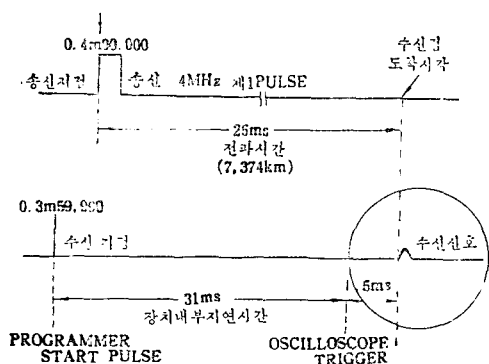
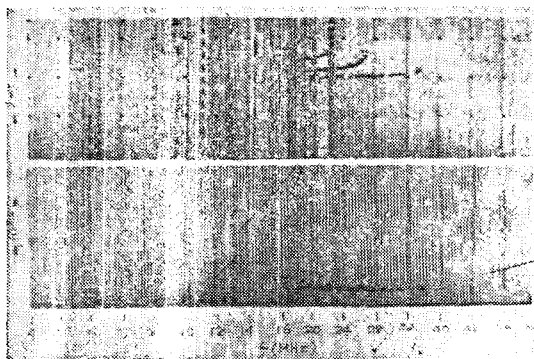


그림 10. 送受信의 同期

어斜 Ionogram 이 얻어진다. Path Sounder는 送受信裝置가 겸비되어 있으므로 國際共同實驗이 可能하다.

그림 11은 Path Sounder를 使用하여 얻은 斜 Ionogram의 一例이다. 記錄에서 直接 알 수 있는 바와 같이 16MHz 以下の 周波數는 電離層의 減衰 때문에 受信이 不可能하고, 또 36MHz 以上の 電波는 電離層을 透過해서 受信이 不可



上 : short pulse 下 : long pulse

그림 11. 斜 Ionogram

能하다. 또한 27MHz 以下는 多重反射波가 있기 때문에 實際 通信에서는 이들의 干涉 때문에 質의 劣化가 豫測되는 範圍이다.

이와 같이 Path Sounder는 綿密한 計算을 하지 않고도 2點間의 電波傳播狀態를 調查할 수 있는 裝置이다.

#### 4. 電離層 電子總量測定

電離層의 各 高度에서의 電子密度를 測定하지 않고 電離層의 電子總量을 測定하는 方法으로 人工衛星에서 發信되는 Beacon 電波를 受信하여 그 偏波面이 回轉하는 量을 알아서 電波가 通過한 電離層內의 電子總量을 구하는 方法, 즉 Faraday 回轉法이 있다.

磁化이온(magnetoion)媒質內를 通過할 때 平面波는 그 偏波面이 回轉하는데, 그 總回轉角은 대략 磁場의 傳播方向成分의 平均値에 비례하고, 또 單位面積의 傳播路徑이로 된 실린더에 包含되어 있는 電子總數에 비례한다. 人工衛星이 磁場에 대하여 繼續 移動함에 따라 傳播路에서 電波의 電氣벡터가 받는 總回轉角은 時間에 따라 변한다. 그 結果 受信地點의 電氣벡터는 連續回轉한다. 地磁場의 크기는 알려져 있으므로 傳播路에서의 總回轉角을 알면 그 傳播路에 包含되어 있는 電子量이 대략 求해진다. 실제로 總回轉角을 測定할 수는 없고 그 대신 回轉率과 軌道에 2點間에 일어나는 回轉의 個數를 구한다. 이로부터 電子總量을 구하는 方法에는 單周波數法, 2次 Faraday 回轉法과 둘 이상의 近接 2周波數法이 있다.

Faraday 回轉法의 利點은 測定資料의 蒐集과 分析이 간단하여 努力과 經費가 적게 든다. 또 이 方法은 長期間 測定實驗에 適合하다.

그림 12는 우리空軍의 Faraday 回轉測定裝置이고, 그림 13은 Beacon 信號受信用 수퍼헤테로

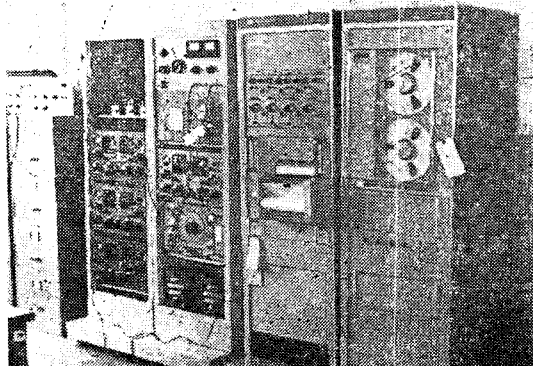


그림 12. Faraday 回轉測定裝置

다인 受信機이다. 그림 14는 近接周波數法에 쓰이는 Faraday 回轉 記錄데이터이다.

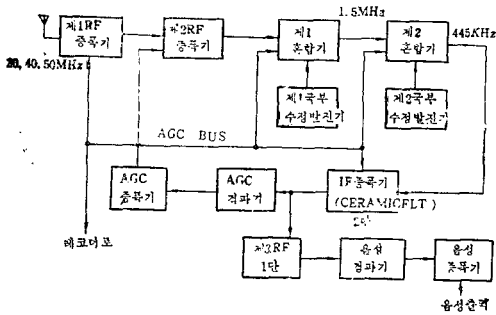


그림 13. Beacon 信號受信用 수퍼헤테로다인 受信機

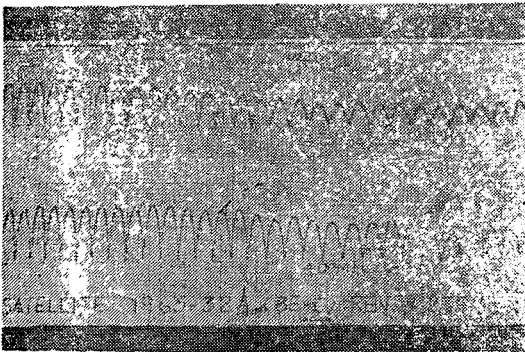


그림 14. Faraday回轉 記錄 데이터

### 5. 結 言

電離層의 觀測方法에는 前述한 것 외에 그 對象으로 하는 電離層의 領域, 現象, 運動 等에 따라 여러가지 種類의 方法이 있지만 紙面 關係上 種類만 들어 본다.

一般的으로 電離層의 吸收現象을 研究하기 爲한 A觀測法(Absorption)에  $A_1$ (펄스振幅測定)  $A_2$ (宇宙雜音吸收測定, 리오메터라고도 한다).  $A_3$ (CW電界強度測定)가 있고, 電離層의 移動(혹은 電離層風)을 測定하기爲한 D觀測法(Drift法)에  $D_1$ (近接地點受信 Fading法),  $D_2$ (流星尾觀測)  $D_3$ (電波星, Scintillation法),  $D_4$ (遠地點反射觀測法) 등이 있다. 또 電離層內의 中性大氣의 移動을 測定하기 爲하여 Laser를 利用하는

것이 近年 開發 되고 있다. 또한 下部 電離層(D領域等)을 測定하기 爲해 LF 혹은 VLF가 傳播할 때의 強度의 變動이나 特히 移相을 測定하는 方法이 극히 有力視되고 있다.

또한 特히 注目되는 것은 強力한 VHF 以上の 펄스電波를 發射해서 電子로부터의 非干涉性 後方散亂波를 受信함으로써 地上에서 最大電子密度의 上側도 測定할 수 있는 方法이다. 이 方法에 의하면 電子密度 뿐만 아니라 電子溫度, 이온 溫度도 알 수 있지만 극히 큰 送受信施設을 必要로 하기 때문에 아직 널리 使用되고 있지 않다.

電波에 의한 電離層의 反射波를 受信하는 方法에도 上述한 方法外에 單純펄스가 아니라 CW를 쏘아 測定하는 方法, 즉 FM-CW 方法도 最近 注目되어 數W 程度로 Ionogram을 얻고 있다. 펄스에 對해서도 레이더와 같이 Code-pulse 方式으로 感度和 높이測定精度를 높이는 技術이 開發되고 있다.

電波를 利用하지 않는 方法으로서로는 로켓에 測定器를 積載하여 直流 Probe 혹은 高周波 Probe에 흐르는 電流의 크기로부터 電子密度를 直接測定하는 方法, 또한 質量分析器를 로켓트 혹은 人工衛星에 塔載하여 電離層을 構成하고 있는 이온의 種類와 密度 및 에너지 즉 이온 溫度를 研究하는 것이 開發되었다.